المملكة العربية السعودية

وزارة التعليم
Ministry of Education

قررت وزارة التعليم تدريس
هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

الفيزياء 3

التعليم الثانوي- نظام المسارات

السنة الثالثة

قام بالتأليف والمراجعة

فريق من المتخصصين

طبعة 1445-2023

يُوزع مجاناً ولا يُباع
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

ⓒ وزارة التعليم ، ١٤٤٤هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر
وزارة التعليم
الفيزياء ٣ – التعليم الثانوي – نظام المسارات – السنة الثالثة.
وزارة التعليم.– الرياض ، ١٤٤٤هـ
٦٢٤ ص؛ ٢١ x ٢٧.٥ سم
ردمك : ٨ – ٤٣١ – ٥١١ – ٦٠٣ – ٩٧٨

١ – الفيزياء – تعليم – السعودية ٢ – التعليم الثانوي – السعودية – كتب دراسية أ. العنوان
ديوي ٥٣٠.٠٧١٢ ١٤٤٤/٨٧٦٤

رقم الإيداع : ١٤٤٤/٨٧٦٤
ردمك : ٨ – ٤٣١ – ٥١١ – ٦٠٣ – ٩٧٨

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم

www.moe.gov.sa

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين الإثرائية"

ien.edu.sa

أعزاءنا المعلمين والمعلمات، والطلاب والطالبات، وأولياء الأمور، وكل مهتم بالتربية والتعليم؛
يسعدنا تواصلكم؛ لتطوير الكتاب المدرسي، ومقترحاتكم محل اهتمامنا.

fb.ien.edu.sa

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

رموز السلامة	المخاطر	الأمثلة	الاحتياطات	العلاج
التخلص من المخلفات	مخلفات التجربة قد تكون ضارة بالإنسان.	بعض المواد الكيميائية، والمخلوقات حية.	لا تتخلص من هذه المواد في المغسلة أو في سلة المهملات.	تخلص من المخلفات وفق تعليمات المعلم.
ملوثات حيوية بيولوجية	مخلوقات ومواد حية قد تسبّب ضررًا للإنسان.	البكتيريا، الفطريات ، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، وارتد كمامة وقفازين.	أبلغ معلمك في حالة حدوث ملامسة للجسم، واغسل يديك جيدًا.
درجة الحرارة المؤذية	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديدتين.	غليان السوائل، السخانات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	استعمال قفازات واقية.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأجسام الحادة	استعمال الأدوات والزجاجيات التي تجرح الجلد بسهولة.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات المدبّبة، أدوات التشريح، الزجاج المكسور.	تعامل بحكمة مع الأداة، واتبع إرشادات استعمالها.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأبخرة الضارة	خطر محتمل على الجهاز التنفسي من الأبخرة.	الأمونيا، الأستون، الكبريت الساخن، كرات العث (النفثالين).	تأكد من وجود تهوية جيدة، ولا تشم الأبخرة مباشرة، وارتد كمامة.	اترك المنطقة، وأخبر معلمك فوراً.
الكهرباء	خطر محتمل من الصعقة الكهربائية أو الحريق.	تأريض غير صحيح، سوائل منسكبة، تماس كهربائي، أسلاك معرّاة.	تأكد من التوصيلات الكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، واستعن بمعلمك فوراً.
المواد المهيّجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي للقناة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العث، سلك المواعين، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ضع واقيًا للغبار وارتد قفازين وتعامل مع المواد بحرص شديد.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي قد تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتتلفها.	المبيضات مثل فوق اكسيد الهيدروجين والأحماض كحمض الكبريتيك، القواعد كالأمونيا وهيدروكسيد الصوديوم.	ارتد نظارة واقية، وقفازين، والبس معطف المختبر.	اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.
المواد السامة	مواد تسبب التسمم إذا ابتُلعت أو استُنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيدًا بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
مواد قابلة للاشتعال	بعض الكيماويات التي يسهل اشتعالها بوساطة اللهب، أو الشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكيروسين، الأستون، برمنجنات البوتاسيوم ، الملابس، الشعر.	تجنب مناطق اللهب عند استخدام هذه الكيماويات.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.
اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحاً يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للاشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف، ولا تلبس الملابس الفضفاضة، واتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.

سلامة العين
يجب دائماً ارتداء نظارة واقية عند العمل في المختبر.

وقاية الملابس
يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعًا أو حريقًا للملابس.

سلامة الحيوانات
يشير هذا الرمز للتأكيد على سلامة المخلوقات الحية.

نشاط اشعاعي
يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.

غسل اليدين
اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارة الواقية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين وعلى آله وصحبه أجمعين وبعد:

يأتي اهتمام المملكة بتطوير المناهج الدراسية وتحديثها من منطلق أحد التزامات رؤية المملكة العربية السعودية (2030) وهو: «إعداد مناهج تعليمية متطورة تركز على المهارات الأساسية بالإضافة إلى تطوير المواهب وبناء الشخصية»، وذلك من منطلق تطوير التعليم وتحسين مخرجاته ومواكبة التطورات العالمية على مختلف الصعد.

ويأتي كتاب فيزياء 3 للتعليم الثانوي (نظام المسارات) داعماً لرؤية المملكة العربية السعودية (2030) نحو الاستثمار في التعليم «عبر ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة»، بحيث يكون الطالب فيهما هو محور العملية التعليمية التعلمية.

والفيزياء فرع من العلوم الطبيعية يهتم بدراسة الظواهر الطبيعية واستنباط النظريات وصياغة القوانين الرياضية التي تحكم المادة والطاقة والفراغ والزمن، ويحاول تفسير وإيجاد علاقات لما يدور في الكون من خلال دراسة تركيب المادة ومكوناتها الأساسية، والقوى بين الجسيمات والأجسام المادية، ونتائج هذه القوى، إضافة إلى دراسة الطاقة والشحنة والكتلة. لذا يهتم علم الفيزياء بدراسة الجسيمات تحت الذرية مرورًا بسلوك المواد في العالم الكلاسيكي إلى حركة النجوم والمجرات.

وقد تم بناء محتوى الكتاب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وبما يعزز مبدأ رؤية (2030) «نتعلم لنعمل»، وقد جاء تنظيم المحتوى بأسلوب شائق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها سلسلة مناهج العلوم، من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة، المبني والموجه والمفتوح. فقبل البدء في دراسة محتوى كل فصل من فصول الكتاب، يطلع الطالب على الأهداف العامة للفصل التي تقدم صورة شاملة عن محتواه، وكذلك الاطلاع على أهمية الفصل من خلال عرض ظاهرة أو تقنية ترتبط بمحتوى الفصل، إضافة إلى وجود سؤال فكِّر الذي يحفز الطالب على دراسة الفصل. ثم ينفِّذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت عنوان «تجربة استهلالية» والتي تساعد أيضًا على تكوين نظرة شاملة عن محتوى الفصل. وتتيح التجربة الاستهلالية في نهايتها ممارسة شكل آخر من أشكال الاستقصاء الموجه من خلال سؤال الاستقصاء المطروح. وهناك أشكال أخرى من النشاطات الاستقصائية التي يمكن تنفيذها في أثناء دراسة المحتوى، ومنها التجربة العملية، ومختبر الفيزياء الذي يرد في نهاية كل فصل، ويتضمن استقصاءً مفتوحًا في نهايته.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

يبدأ محتوى الدراسة في كل قسم بعرض الأهداف الخاصة والمفردات الجديدة التي سيتعلمها الطالب. وستجد أدوات أخرى تساعدك على فهم المحتوى منها الروابط الرقمية بمنصة عين الإثرائية التعليمية، ومنها ربط المحتوى مع واقع الحياة من خلال تطبيق الفيزياء، والربط مع العلوم الأخرى، والربط مع محاور رؤية (2030) وأهدافها الاستراتيجية. وستجد شرحًا وتفسيرًا للمفردات الجديدة التي تظهر باللون الأسود الغامق والمظللة بالأصفر، وأمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمق معرفة الطالب بمحتوى المقرر واستيعاب المفاهيم والمبادئ العلمية الواردة فيه. كما ستجد أيضًا في كل فصل مسألة تحفيز تطبق فيها ما تعلمته في حالات جديدة. ويتضمن كل قسم مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية بدرجة عالية الوضوح تعزز فهمك للمحتوى.

وقد وظفت أدوات التقويم الواقعي في التقويم بمراحله وأغراضه المختلفة: القبلي، والتشخيصي، والتكويني (البنائي)، والختامي (التجميعي)؛ إذ يمكن توظيف الصورة الافتتاحية في كل فصل والأسئلة المطروحة في التجربة الاستهلالية بوصفها تقويمًا قبليًّا تشخيصيًّا لاستكشاف ما يعرفه الطلاب عن موضوع الفصل. ومع التقدم في دراسة كل جزء من المحتوى تجد تقويمًا خاصًّا بكل قسم من أقسام الفصل يتضمن أفكار المحتوى وأسئلة تساعد على تلمّس جوانب التعلم وتعزيزه، وما قد يرغب الطالب في تعلمه في الأقسام اللاحقة. وفي نهاية كل فصل يأتي دليل مراجعة الفصل متضمنًا تذكيرًا بالمفاهيم الرئيسة والمفردات الخاصة بكل قسم. يلي ذلك تقويم الفصل الذي يشمل أسئلة وفقرات متنوعة تهدف إلى تقويم تعلم الطالب في مجالات عدة، هي: إتقان المفاهيم، وحل المسائل، والتفكير الناقد، والمراجعة العامة، والمراجعة التراكمية، ومهارات الكتابة في الفيزياء. وفي نهاية كل فصل يجد الطالب اختبارًا مقننًا يهدف إلى تدريبه على حل المسائل وإعداده للتقدم للاختبارات الوطنية والدولية، إضافة إلى تقويم فهمه لموضوعات كان قد درسها من قبل.

والله نسأل أن يحقق الكتاب الأهداف المرجوة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

فهرس أقسام الكتاب

القسم الأول (1-3) 7

القسم الثاني (2-3) 221

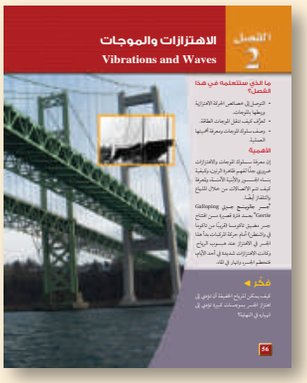
القسم الثالث (3-3) 423

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

القسم الأول (1-3)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

قائمة المحتويات



الفصل 1

حالات المادة 10

1-1 خصائص الموائع 11

1-2 القوى داخل السوائل..... 22

1-3 الموائع الساكنة والموائع المتحركة 26

1-4 المواد الصلبة 36

الفصل 2

الاهتزازات والموجات 56

2-1 الحركـة الدوريـة 57

2-2 خصائـص الموجـات 63

2-3 سـلوك الموجـات 69

الفصل 3

الصوت 84

3-1 خصائص الصوت والكشف عنه 85

3-2 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار 93

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

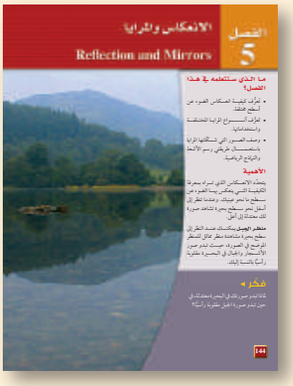
قائمة المحتويات

الفصل 4

أساسيات الضوء 112

4-1 الاستضاءة 113

4-2 الطبيعة الموجية للضوء 122



الفصل 5

الانعكاس والمرايا 144

5-1 الانعكاس عن المرايا المستوية 145

5-2 المرايا الكروية 152

الفصل 6

الانكسار والعدسات 172

6-1 انكسار الضوء 173

6-2 العدسات المحدبة والمقعرة 182

6-3 تطبيقات العدسات 190

دليل الرياضيات 205

الجداول 206

المصطلحات 210

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 1

حالات المادة
States of Matter

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تفسير تمدّد المادة وتقلصها بسبب التغيرات في درجات الحرارة.
- تطبيق مبادئ باسكال وأرخميدس وبرنولي في مواقف الحياة اليومية.

الأهمية

إن الموائع والقوى التي تبذلها تمكّننا من السباحة والغطس، وتمكّن المناطيد من الطفو، والطائرات من الطيران.

يؤثر التمدّد الحراري في تصميم المباني، والطرق، والجسور، والآلات.

الغواصات تُصمّم الغواصات النووية لتقوم بمناورات بحرية في أعماق مختلفة في المحيط؛ لذا يجب أن تقاوم الاختلافات الهائلة في الضغط والحرارة عندما تغوص تحت الماء.

فكِّر ◄

كيف تستطيع الغواصة أن تطفو على سطح المحيط وتغوص في أعماقه؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

هل تطفو أم تغطس؟

سؤال التجربة كيف تقيس طفو الأجسام؟

الخطوات

1. أحضر عبوة صغيرة (مرفقة بغطاء أو سدادة) ومخبار مدرج 500 ml، وصل شريطًا مطاطيًّا بالعبوة؛ لتعليقها بميزان نابضي.
2. استخدم الميزان النابضي لإيجاد وزن العبوة، ثم استخدم الأسطوانة المدرجة لإيجاد حجم الماء الذي أزيح عن طريق العبوة المغلقة عندما طفت. وسجّل كلتا القراءتين؛ وامسح أي سائل مسكوب.
3. ضع قطعة نيكل في العبوة ثم أغلقها جيدًا. كرّر الخطوة الثانية، ثم سجل وزن العبوة وقطعة النيكل، وحجم الماء المزاح. وسجل أيضًا هل طفت العبوة أم غطست.
4. كرّر الخطوتين 2 و 3، وأضف في كل مرة قطعة نيكل حتى تغطس العبوة، وعندما تغطس استخدم الميزان النابضي لإيجاد الوزن الظاهري لها. تأكد أن العبوة لا تلامس الأسطوانة المدرجة عندما تكون تحت سطح الماء.

التحليل

استخدم المعلومات التي دوّنتها في حساب كثافة نظام العبوة – قطعة النيكل، ثم احسب كتلة الماء المزاح عن طريق النظام في كل مرة. كيف ترتبط الكثافة بالطفو؟

التفكير الناقد كيف ترتبط كتلة نظام العبوة – قطعة النيكل مع كتلة الماء المزاح عن طريق النظام؟ وهل تستمرّ هذه العلاقة بغض النظر عن طفو النظام؟

1–1 خصائص الموائع Properties of Fluids

الماء والهواء من أكثر الموادّ شيوعًا في حياة الإنسان اليومية، ونشعر بتأثيرهما عندما نشرب، وعندما نستحم، ومع كل هواء نستنشقه.

في ضوء خبراتك اليومية، قد لا يبدو أن هناك خصائص مشتركة بين الماء والهواء، أما إذا فكّرت في طريقة أخرى فسوف تدرك أن لهما خصائص مشتركة؛ فكل من الماء والهواء يتدفقان وليس لأي منهما شكل محدد، على عكس الموادّ الصلبة. ولذرات المادة وجزيئاتها الغازية والسائلة حرية كبيرة لتتحرك.

سوف تستكشف في هذا الفصل حالات المادة، مبتدئًا بالغازات والسوائل، وتتعلم المفاهيم التي توضح كيف تستجيب المادة لتغيرات الحرارة والضغط، وكيف تستطيع الأنظمة الهيدروليكية مضاعفة القوى، وكيف تستطيع السفن المعدنية الضخمة الطفو على سطح الماء. وستتعرّف أيضًا خصائص الموادّ الصلبة، مكتشفًا كيف تتمدّد وتتقلص، ولماذا تكون بعض المواد الصلبة مرنة، ويكون بعضها كأنه في حالة بين الصلابة والسيولة.

الأهداف

- **تصف** كيف تُحدث الموائع الضغط.
- **تحسب** ضغط الغاز وحجمه وعدد مولاته.
- **تقارن** بين الغازات والبلازما.

المفردات

الموائع	قانون الغاز المثالي
الضغط	التمدد الحراري
باسكال	البلازما
القانون العام للغازات	

الضغط Pressure

الشكل 1–1 مكعبات الجليد الصلبة لها شكل محدّد، في حين يأخذ الماء السائل (مائع) شكل الإناء الذي يحتويه. ما المائع الذي يملأ الفراغ فوق الماء؟

افترض أنك وضعت مكعبًا من الجليد في كوب فارغ ستلاحظ أن معكب الجليد له كتلة معينة وشكل محددٌ، ولا تعتمد هاتان الكميتان على حجم الكوب أو شكله. لكن ماذا يحدث عندما ينصهر مكعب الجليد؟ تبقى كتلته كما هي، ولكن شكله يتغير، ويتدفق الماء ليأخذ شكل الإناء الذي يحتويه، بحيث يتخذ السطح العلوي شكلاً محددًا ومستويًا، كما في **الشكل 1–1**. من جهة أخرى، إذا غليت الماء، فسوف يتحول إلى الحالة الغازية في صورة بخار ماء، وينتشر ليملأ الغرفة ولن يكون له سطح محدّد. وتشترك كل من السوائل والغازات في كونها **موائع**؛ حيث إنها موادّ تتدفق، وليس لها شكل محدد.

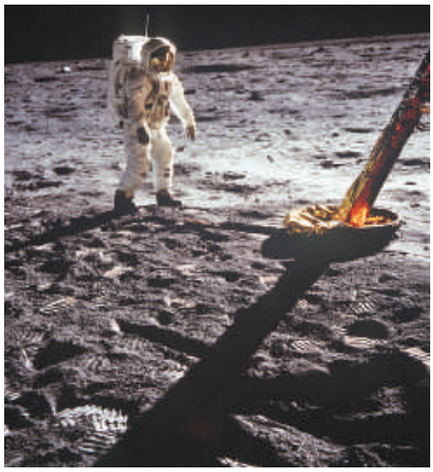
سنوجه اهتمامنا في الوقت الحالي لدراسة الموائع المثالية، التي يمكن التعامل معها على اعتبار أن جزيئاتها لا تشغل حيزًا ، وليس لها قوى تجاذب تربطها بعضها مع بعض.

الضغط في الموائع لقد طبقت قانون حفظ الطاقة على الأجسام الصلبة، فهل يمكن تطبيق هذا القانون على الموائع؟ يمكن أن نعرّف كلًّا من الشغل والطاقة باستخدام مفهوم **الضغط**، الذي يمثل القوة المؤثرة في سطح ما مقسومة على مساحة ذلك السطح. ولأن الضغط قوة تؤثر في السطح فإن أي شيء يولد ضغطًا لابد أن يكون قادرًا على إحداث تغيير وإنجاز شغل.

الضغط $P = \frac{F}{A}$

الضغط يساوي القوة مقسومة على مساحة السطح.

الشكل 2–1 إن رائد الفضاء ومركبته يولدان ضغطًا على سطح القمر. إذا كانت كتلة المركبة 7300 kg تقريبًا، وتستقر على أربعة أقدام قطر كل منها 91 cm، فما مقدار الضغط الذي تؤثر به على سطح القمر؟ وكيف تستطيع أن تقدر الضغط الذي يؤثر به رائد الفضاء.



ويعد الضغط P كمية قياسية (غير متجهة)، ويقاس الضغط وفقًا للنظام العالمي للمقاييس SI بوحدة **باسكال** (Pa) وهي تعادل $1\ N/m^2$. ولأن الباسكال وحدة صغيرة فإن الكيلو باسكال (kPa) الذي يُساوي 1000 Pa أكثر استخدامًا وشيوعًا.

ويُفترض عادة أن القوة F المؤثرة في سطح ما عمودية على مساحة ذلك السطح A، ما لم تتم الإشارة إلى غير ذلك. ويوضح **الشكل 2–1** العلاقات بين القوة، والمساحة والضغط، حيث يؤدي الضغط الناتج عن وزن المركبة الفضائية إلى إحداث حفرة صغيرة في سطح القمر، أما الضغط الناتج عن وزن رائد الفضاء، فيكون قليلاً جدًّا. ويوضح **الجدول 1–1** كيف يتغير الضغط في حالات مختلفة.

المواد الصلبة والسوائل والضغط تخيل أنك تقف على سطح بحيرة متجمدة، إن القوى التي تؤثر بها قدماك في الجليد تتوزع على مساحة حذائك مولّدة ضغطًا على الجليد. إن الجليد مادة صلبة تتكون من جزيئات الماء المتذبذبة، والقوى التي تحافظ على جزيئات الماء في مكانها تجعل الجليد يؤثر بقوى رأسية في قدميك إلى أعلى تساوي وزنك، أما إذا انصهر الجليد فإن معظم الروابط بين جزيئات الماء تصبح ضعيفة. وعلى الرغم من أن الجزيئات ستستمر في التذبذب وتبقى قريبة كل منها من الأخرى، إلا أنها

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

ستصبح قادرة على الانزلاق بعضها فوق بعض، وتبعًا لذلك ستكون قادرًا على اختراق سطح الماء. من جهة أخرى، ستستمر جزيئات الماء المتحركة في التأثير بقوى في جسمك.

جزيئات الغاز والضغط إن الضغط الذي تؤثر به الغازات يمكن فهمه بتطبيق نظرية الحركة الجزيئية للغازات التي توضح خصائص الغاز المثالي. وعلى الرغم من أن جزيئات الغاز الحقيقي تحتل حيزًا من الفراغ، ولها قوة تجاذب جزيئية، إلا أن الغاز المثالي (غير الحقيقي) عبارة عن نموذج جيد للغاز الحقيقي تحت معظم الظروف، بحيث يمكن تطبيق قوانينه على الغازات الحقيقية، وتكون النتائج عالية الدقة.

بناءً على نظرية الحركة الجزيئية فإن جزيئات الغاز تتحرك عشوائيًّا وبسرعة عالية، وتخضع لتصادمات مرنة بعضها ببعض. وعندما يرتطم جزيء الغاز بسطح الإناء فإنه يرتد مغيرًا زخمه الخطي، أي أنه ينتج دفعًا، ويتولد ضغط للغاز عند السطح بفعل الدفع الذي تؤثر به التصادمات العديدة للجزيئات.

الضغط الجوي في كل سنتمتر مربع من سطح الأرض يؤثر غاز الغلاف الجوي بقوة مقدارها 10 N تقريبًا عند مستوى سطح البحر. وتعادل هذه القوة وزن جسم كتلته 1 kg. إن ضغط الغلاف الجوي على الجسم يتعادل بصورة جيدة مع قوى الجسم المتجهة إلى الخارج، والتي نادرًا ما نلاحظها. ويثير هذا الضغط اهتمامنا فقط عندما تؤلمنا آذاننا نتيجة تغيرات الضغط. فعندما نصعد مبنى شاهق الارتفاع بالمصعد مثلاً، أو عندما ننتقل بالطائرة فإننا نشعر بذلك. إن الضغط الجوي يساوي 10 N لكل cm^2، والذي يساوي $1.0\times 10^5\ N/m^2$ أو 100 kPa تقريبًا.

هناك كواكب أخرى في المجموعة الشمسية لها أيضًا غلاف غازي، ويتباين الضغط الناتج عن أغلفتها الغازية كثيرًا، فمثلاً الضغط الجوي على سطح كوكب الزهرة أكبر من الضغط الجوي على سطح الأرض 92 مرة تقريبًا، في حين أن الضغط الجوي على سطح المريخ أقل مما على سطح الأرض بـ 1% .

الجدول 1–1

بعض قيم الضغط النموذجية

الموقع	الضغط (Pa)
مركز الشمس	2.44×10^{16}
مركز الأرض	4×10^{11}
أخدود المحيط الأكثر عمقًا	1.1×10^{8}
الضغط الجوي المعياري	1.01325×10^{5}
ضغط الدم	1.6×10^{4}
ضغط الهواء على قمة إفرست	3×10^{4}

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مثـــــال 1

حساب الضغط يجلس طفل وزنه 364 N على كرسي ثلاثي الأرجل يزن 41 N ، بحيث تلامس قواعد الأرجل سطح الأرض على مساحة مقدارها $19.3\ cm^2$.

a. ما متوسط الضغط الذي يؤثر به الطفل والكرسي في سطح الأرض؟

b. كيف يتغير الضغط عندما يميل الطفل وتلامس رجلان فقط من أرجل الكرسيِّ الأرضَ؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الطفل والكرسي، وعيّن القوة الكلية التي يؤثران بها في سطح الأرض.
- حدد المتغيرات، متضمنة القوة التي يؤثر بها الطفل والكرسي في سطح الأرض والمساحة المرتبطة بكل من الحالة A حيث الارتكاز على ثلاث أرجل، والحالة B حيث الارتكاز على رجلين.

المعلوم		المجهول
$A_A = 19.3\ cm^2$	$F_{g\,\text{الطفل}} = 364\ N$	$P_A = ?$
$A_B = \frac{2}{3} \times 19.3\ cm^2$	$F_{g\,\text{الكرسي}} = 41\ N$	$P_B = ?$
$= 12.9\ cm^2$	$F_{g\,\text{الكلية}} = F_{g\,\text{الطفل}} + F_{g\,\text{الكرسي}}$	
	$= 364\ N + 41\ N$	
	$= 405\ N$	

دليل الرياضيات

حسابات الوحدات

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد قيمة كل ضغط باستخدام العلاقة: $P = \frac{F}{A}$

a. عوّض مستخدمًا $F = F_{g\,\text{الكلية}} = 405\ N$ ، $A = A_A = 19.3\ cm^2$

$$P_A = \left(\frac{405\ N}{19.3\ cm^2}\right)\frac{(100\ cm)^2}{(1m)^2}$$
$$= 2.1 \times 10^2\ kPa$$

b. عوّض مستخدمًا $F = F_{g\,\text{الكلية}} = 405\ N$ ، $A = A_B = 12.9\ cm^2$

$$P_B = \left(\frac{405\ N}{12.9\ cm^2}\right)\frac{(100\ cm)^2}{(1m)^2}$$
$$= 3.14 \times 10^2\ kPa$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يجب أن تكون وحدات الضغط هي الباسكال Pa أو $1\ Pa = 1\ N/m^2$.

مسائل تدريبية

1. إذا كان الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر يساوي 1.0×10^5 Pa تقريبًا، فما مقدار القوة التي يؤثر بها الهواء عند مستوى سطح البحر في سطح مكتب طوله 152 cm وعرضه 76 cm؟
2. يلامس إطار سيارة سطح الأرض بمساحة مستطيلة عرضها 12 cm وطولها 18 cm، فإذا كانت كتلة السيارة 925 kg، فما مقدار الضغط الذي تؤثر به السيارة في سطح الأرض إذا استقرت ساكنة على إطاراتها الأربعة؟
3. كتلة من الرصاص أبعادها $20.0\ \text{cm} \times 10.0\ \text{cm} \times 5.0\ \text{cm}$ تستقر على الأرض على أصغر وجه، فإذا علمت أن كثافة الرصاص $11.8\ \text{g/cm}^3$، فما مقدار الضغط الذي تؤثر به كتلة الرصاص في سطح الأرض؟
4. يمكن أن يصبح الضغط في أثناء الإعصار أقل 15 % من الضغط الجوي المعياري ، افترض أن الإعصار حدث خارج باب طوله 195 cm وعرضه 91 cm، فما مقدار القوة المحصلة التي تؤثر في الباب نتيجة هبوطٍ مقدارُه 15 % من الضغط الجوي المعياري؟ وفي أي اتجاه تؤثر القوة؟
5. يلجأ المهندسون في المباني الصناعية إلى وضع المعدات والآلات الثقيلة على ألواح فولاذية عريضة، بحيث يتوزع وزن هذه الآلات على مساحات أكبر. فإذا خطط مهندس لتركيب جهاز كتلته 454 kg على أرضية صُمِّمت لتتحمل ضغطًا إضافيًّا مقداره 5.0×10^4 Pa، فما مساحة صفيحة الفولاذ الداعمة؟

قوانين الغاز The Gas Laws

عندما بدأ العلماء دراسة الغازات والضغط لاحظوا وجود بعض العلاقات المثيرة للاهتمام، وكانت أول علاقة يتم اكتشافها هي قانون بويل، نسبة للكيميائي والفيزيائي روبرت بويل، أحد أشهر علماء القرن السابع عشر. ينص قانون بويل على أن حجم عينة محددة من الغاز يتناسب عكسيًّا مع الضغط المؤثر عليه عند ثبوت درجة الحرارة ، ولأن حاصل ضرب المتغيرات المتناسبة عكسيًّا ثابت، فيمكن كتابة قانون بويل على النحو الآتي:

$$PV = \text{ثابت} \quad \text{أو} \quad P_1V_1 = P_2V_2$$

إن الرموز السفلية التي تلاحظها في قانون الغاز تساعدك على تحديد مسار المتغيرات المختلفة– ومنها الضغط والحجم– عندما تتغير في المسألة. ويمكن إعادة ترتيب هذه المتغيرات لحل المسألة بالنسبة لضغط أو حجم مجهول. وكما يتضح من **الشكل 3–1**، فإن هناك علاقة بين ضغط الغاز وحجمه تتمثل في حجم الفقاعات الخارجة من المنظّم، حيث يزداد حجم هذه الفقاعات في أثناء ارتفاعها في الماء؛ بسبب نقصان الضغط المؤثر فيها من الماء، مما قد يؤدي إلى انفجار كثير منها في أثناء ارتفاعها.

الشكل 3–1 يكون الغاز ذا ضغط مرتفع في الأسطوانة المحمولة على ظهر الغوّاص؛ ويقوم منظّم بتخفيض هذا الضغط ليتساوى ضغط الغاز الذي يستنشقه الغوّاص مع ضغط الماء. وتستطيع أن ترى في الصورة، الفقاقيع الخارجة من المنظّم.

تم اكتشاف العلاقة الثانية بعد 100 سنة تقريبًا من اكتشاف بويل على يد العالم جاك شارلز Jacques Charles. لاحظ العالم شارلز في أثناء تبريده للغاز أن حجمه يتقلص بمقدار $\frac{1}{273}$ من حجمه الأصلي عند انخفاض درجة حرارته بمقدار درجة كلفن واحدة، أي أن العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته علاقة خطية. أراد العالم شارلز أن يعرف ما إذا كانت

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

هناك حدود دنيا لانخفاض درجات الحرارة، لكنه لم يستطع تبريد الغاز إلى درجات حرارة منخفضة جدًّا كما يحصل في المختبرات الحديثة الآن، ولذلك قام بمد المنحنى البياني لبياناته عند درجات الحرارة المنخفضة تلك، فتبين له من ذلك أنه إذا انخفضت درجة الحرارة إلى $-273\ ^\circ C$ فإن حجم الغاز يصبح صفرًا. وسميت درجة الحرارة التي يصبح عندها حجم الغاز يساوي صفرًا بالصفر المطلق، والتي تمثل الآن الصفر بمقياس كلفن الحراري.

تشير التجارب إلى أنه عند ثبوت الضغط فإن حجم عينة الغاز يتغيّر طرديًّا مع درجة حرارتها، وتسمى هذه النتيجة بقانون شارلز، ويمكن صياغة قانون شارلز على النحو الآتي:

$$\frac{V}{T} = \text{ثابت} \quad \text{أو} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

إن دمج كل من قانوني بويل وشارلز يربط بين الضغط، والحرارة، والحجم لكمية معينة من الغاز المثالي، والتي تقود إلى معادلة تسمى **القانون العام للغازات**.

القانون العام للغازات

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} = \text{ثابت}$$

لكمية معينة من الغاز المثالي، يكون حاصل ضرب ضغط الغاز في حجمه مقسومًا على درجة حرارته بوحدة الكلفن يساوي قيمة ثابتة.

وكما يتضح من **الشكل 4–1**، فإن القانون العام للغازات يُختزل لقانون بويل عند ثبات درجة الحرارة، ويختزل أيضًا لقانون شارلز عند ثبات الضغط.

قانون الغاز المثالي تستطيع استخدام نظرية الحركة الجزيئية لتكتشف كيف أن الثابت في القانون العام للغازات يعتمد على عدد الجزيئات N. افترض أن حجم الغاز المثالي ودرجة حرارته ثابتان، فإذا ازداد عدد الجزيئات فسوف يزداد عدد التصادمات التي تؤثر بها الجزيئات في الإناء؛ لذا يزداد الضغط، وفي المقابل تقلل إزالة بعض الجزيئات من عدد

تجربة

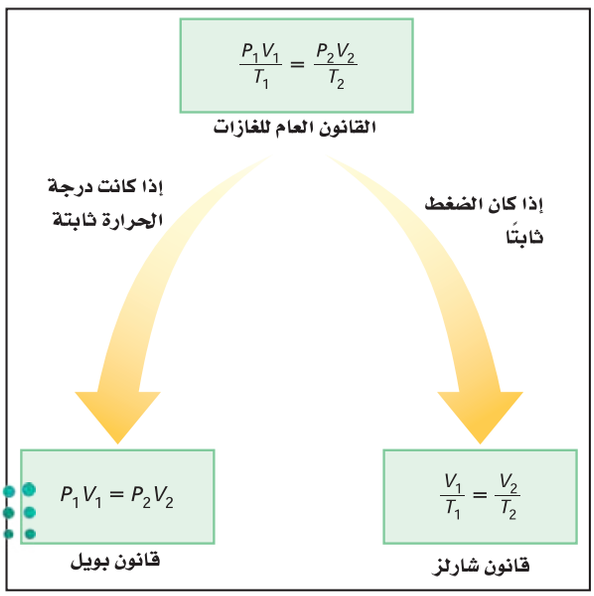
الضغط

ما مقدار الضغط الذي تؤثر به عندما تقف على أحدى رجليك؟ اطلب إلى زميلك رسم مخطط لقدمك، ثم استخدم ذلك المخطط لتقدير مساحة قدمك.

1. **حدّد** وزنك بوحدة النيوتن ومساحة مخطط قدمك بوحدة cm^2.
2. **احسب** مقدار الضغط.
3. **قارن** بين الضغط الذي تؤثر به أنت في الأرض، والضغط الذي تؤثر به أجسام مختلفة. فمثلاً تستطيع أن تزن كتلة طوبة بناء، ثم تحسب الضغط الذي تؤثر به عندما تستقر على أوجه مختلفة.

التحليل والاستنتاج

4. **كيف** يؤثر الحذاء ذو الكعب العالي الرفيع في قيمة الضغط الذي يؤثر به شخص في الأرض؟



الشكل 4–1 تستطيع أن تستخدم القانون العام للغازات لاشتقاق كل من قانوني بويل وشارلز، فماذا يحدث إذا حافظت على الحجم ثابتًا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

التصادمات؛ لذا يقل الضغط، كما تستطيع أن تستنتج أن الثابت في معادلة القانون العام للغازات يتناسب طرديًّا مع N.

$$\frac{PV}{T} = kN$$

ويسمى الثابت k بثابت بولتزمان، ويساوي $1.38 \times 10^{-23}\ Pa.m^3/K$، وبالطبع فإن N الذي يمثل عدد الجزيئات هو عدد كبير جدًّا، لذلك بدلاً من استخدام N لجأ العلماء إلى استخدام وحدة تسمى المول (mole)، وتُختصر (mol) وتُمثل في المعادلات بالحرف (n)، والمول الواحد يساوي 6.022×10^{23} من الجزيئات، ويسمى هذا العدد بعدد أفوجادرو نسبة إلى العالم الإيطالي أميديو أفوجادرو.

يساوي عدد أفوجادرو عدد الجزيئات في عينة من المادة كتلتها تساوي الكتلة المولية (الكتلة الجزيئية) من المادة. وتستطيع أن تستخدم هذه العلاقة للتحويل بين الكتلة والعدد n (عدد المولات الموجودة). إن استخدام المولات عوضًا عن عدد الجزيئات يغير ثابت بولتزمان، ويختصر هذا الثابت بالحرف R، وقيمته تساوي $8.31\ Pa.m^3/mol.K$. وبإعادة الترتيب تستطيع كتابة **قانون الغاز المثالي** بأكثر الصيغ شيوعًا.

قانون الغاز المثالي $PV = nRT$

للغاز المثالي، يكون حاصل ضرب ضغط الغاز في حجمه يساوي عدد المولات مضروبًا في الثابت R ودرجة حرارته بوحدة كلفن.

لاحظ أنه إذا كانت قيمة R معلومة فإن الحجم يجب أن يعبّر عنه بوحدة m^3، ودرجة الحرارة بوحدة K والضغط بوحدة Pa. يتوقع قانون الغاز المثالي عمليًّا سلوك الغازات بصورة جيدة، ما عدا الحالات التي تكون تحت ظروف الضغط العالي أو درجات الحرارة المنخفضة.

مثال 2

قوانين الغازات عينة من غاز الأرجون حجمها 20.0 L، ودرجة حرارتها 273 K عند ضغط جوي مقداره 101.3 kPa، فإذا انخفضت درجة الحرارة حتى 120 K، وازداد الضغط حتى 145 kPa،

a. فما الحجم الجديد لعينة الأرجون؟

b. أوجد عدد مولات ذرات الأرجون في العينة؟

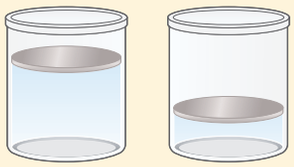
c. أوجد كتلة عينة الأرجون، إذا علمت أن الكتلة المولية M لغاز الأرجون 39.9 g /mol؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- وضح الحالة بالرسم.
- حدّد الشروط في وعاء غاز الأرجون قبل التغير في درجة الحرارة والضغط وبعده.
- عيّن المتغيرات المعلومة والمجهولة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المعلوم	المجهول
$V_1 = 20.0\ L,\ P_1 = 101.3\ kPa$	$V_2 = ?$
$T_1 = 273\ K,\ P_2 = 145\ kPa$	عدد مولات الأرجون(n) = ?
$T_2 = 120\ K$	$m_{\text{عينة الأرجون}} = ?$
$R = 8.31\ Pa.m^3/mol.K$	
$M_{\text{الأرجون}} = 39.9\ g/mol$	



2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم القانون العام للغازات، وحل المعادلة بالنسبة للحجم V_2.

عوض مستخدمًا $P_1 = 101.3\ kPa,\ P_2 = 145\ kPa$

$V_1 = 20.0\ L, T_1 = 273\ K, T_2 = 120\ K$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$V_2 = \frac{P_1V_1T_2}{P_2T_1}$$

$$= \frac{(101.3\ kPa)\ (20.0\ L)\ (120\ K)}{(145\ kPa)\ (273\ K)}$$

$$= 6.1\ L$$

b. استخدم قانون الغاز المثالي، وحل المعادلة لحساب n

عوض مستخدمًا $P = 101.3\times10^3 Pa, V = 0.0200 m^3$

$R = 8.31\ Pa.m^3/mol.k, T = 273K$

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$n = \frac{(101.3\times10^3\ Pa)(0.0200\ m^3)}{(8.31 Pa.m^3/mol.K)(273\ K)}$$

$$= 0.893\ mol$$

c. استخدم الكتلة المولية للتحويل من المولات لغاز الأرجون في العينة لكتلة العينة.

عوض مستخدمًا $M = 39.9\ g/mol, n = 0.893\ mol$

$$m = Mn$$

$$m_{\text{عينة الأرجون}} = (39.9\ g/mol)\ (0.893\ mol)$$

$$= 35.6\ g$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الحجم V_2 بوحدة اللترات، وكتلة العينة بوحدة الجرامات.
- **هل الجواب منطقي؟** إن التغير في الحجم يتكافأ مع الزيادة في الضغط والانخفاض في درجة الحرارة. والكتلة المحسوبة لعينة الأرجون منطقية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسائل تدريبية

6. يُستخدم خزان من غاز الهيليوم ضغطه 15.5×10^6 Pa، ودرجة حرارته 293K، لنفخ بالون على صورة دمية، فإذا كان حجم الخزان $0.020\ m^3$، فما حجم البالون إذا امتلأ عند 1.00 ضغط جوي، ودرجة حرارة 323 K؟
7. ما مقدار كتلة غاز الهيليوم في المسألة السابقة إذا علمت أن الكتلة المولية لغاز الهيليوم 4.00 g /mol؟
8. يحتوي خزان على 200.0 L من غاز الهيدروجين درجة حرارته 0.0 °C ومحفوظ عند ضغط مقداره 156 kPa، فإذا ارتفعت درجة الحرارة إلى 95 °C، وانخفض الحجم ليصبح 175 L، فما الضغط الجديد للغاز؟
9. إن معدل الكتلة المولية لمكونات الهواء (ذرات الأكسجين الثنائية وذرات غاز النيتروجين الثنائية بشكل رئيس) 29 g /mol تقريبًا. ما حجم 1.0 kg من الهواء عند ضغط يساوي الضغط الجوي ودرجة حرارة تساوي 20.0 °C؟

التمدد الحراري Thermal Expansion

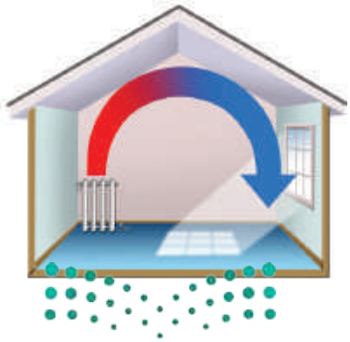
لعلك اكتشفت بعد تطبيق القانون العام للغازات أن الغازات تتمدّد كلّما ارتفعت درجة حرارتها. فعندما تسخن المادة في حالاتها الصلبة والسائلة والغازية تصبح أقل كثافة، وتتمدّد لتملأ حيزًا أكبر. وتسمى هذه الخاصية **التمدد الحراري**، ولها عدة تطبيقات مهمة، منها دوران الهواء في الغرفة.

عندما يُسخّن الهواء الملامس لأرضية الغرفة فإن قوة الجاذبية تسحب الهواء البارد الأكثر كثافة والملامس لسقف الغرفة إلى أسفل، فيدفع بدوره الهواء الأكثر سخونة إلى أعلى. ويُسمى دوران الهواء في الغرفة تيار الحمل. انظر **الشكل 5–1** الذي يوضح تيارات الحمل في الغرفة. وتستطيع أن تشاهد أيضًا تيارات الحمل في وعاء ماء ساخن، دون درجة الغليان؛ فعندما يسخّن الوعاء من القاع فإن الماء الأبرد ذا الكثافة الكبرى يهبط إلى أسفل، حيث يسخن، ثم يُدفع إلى أعلى عن طريق تدفق الماء الأبرد من أعلى.

يحدث التمدّد الحراري في معظم السوائل، وليس هناك نموذج مثالي ينطبق عليها جميعًا، ولكن من المفيد أن تفكر في السائل كما لو كان مسحوقًا ناعمًا لمادة صلبة، حيث تتحرك المجموعات المكونة من جسيمين أو ثلاثة جسيمات أو أكثر من ذلك معًا كما لو كانت قطعًا صغيرة جدًّا من المواد الصلبة. وعندما يسخن السائل، وتتمدد هذه المجموعات بفعل الحركة الجزيئية، تمامًا كما تُدفع الجسيمات في الموادّ الصلبة فيبتعد بعضها عن بعض في أجزاء متفرقة، كما تتزايد الفراغات بين المجموعات، ويتمدد السائل كله.

وعندما تتغير درجة الحرارة بصورة متساوية تتمدّد السوائل بصورة أكبر كثيرًا من المواد الصلبة، ولكن ليس بالقدر الذي تتمدّد به الغازات.

الشكل 5–1 تيارات الحمل الحراري أداةٌ للتدفئة، إذ يرتفع الهواء الدافئ الأقل كثافة إلى أعلى ثم يبرد، وينخفض الهواء البارد الأعلى كثافة.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

لماذا يطفو الجليد؟ لأن المادة تتمدّد عند تسخينها فقد تتوقع أن الجليد أكثر كثافة من الماء، وفي ضوء توقعاتك لابد أن يغطس الجليد في الماء! لكن الحقيقة أنه عند رفع درجة حرارة الماء من $0\ ^\circ C$ إلى $4\ ^\circ C$ فإنه يتقلص بدلاً من أن يتمدد، وذلك بسبب تزايد قوى الترابط بين جزيئات الماء، وانهيار بلورات الجليد وضمورها. وهذه القوى التي بين جزيئات الماء قوى كبيرة والبلورات المكونة للجليد لها تركيب مفتوح بصورة كبيرة. عندما ينصهر الجليد تبقى بعض البلورات المتناهية في الصغر، ومع استمرار التسخين تأخذ البلورات المتبقية في الانصهار، ويتناقص حجم الماء حتى تصل إلى $4\ ^\circ C$. لكن بمجرد أن ترتفع درجة حرارة الماء فوق $4\ ^\circ C$ يتزايد حجمه بسبب تزايد الحركة الجزيئية. والنتيجة أن الماء يكون أكبر كثافة عند $4\ ^\circ C$؛ لذا يطفو الجليد فوق الماء. وهذه الحقيقة مهمة جدًّا في حياتنا وفي البيئة من حولنا؛ فلو كان الجليد يغطس تحت الماء لبدأ تجمد البحيرات عند قيعانها بدلًا من سطوحها، وما انصهر العديد من البحيرات تمامًا في فصل الصيف.

البلازما Plasma

إذا سخّنت مادة صلبة فإنها تنصهر لتكوّن سائلاً. ومع استمرار التسخين يتحول السائل إلى غاز، فماذا يحدث إذا استمر تسخين الغاز؟ تصبح التصادمات بين الجزيئات كبيرة إلى حدّ يكفي لانتزاع الإلكترونات من الذرات، وتنتج أيونات موجبة الشحنة. إن الحالة شبه الغازية للإلكترونات السالبة الشحنة والأيونات الموجبة الشحنة تسمى **البلازما**. وتعد البلازما حالة أخرى من حالات الموائع للمادة.

■ **الشكل 6–1** تنتج التأثيرات الضوئية الملونة في إشارات النيون عن البلازما المضيئة المتكوّنة في الأنابيب الزجاجية.

قد يبدو أن البلازما حالة غير شائعة، رغم أن معظم الموادّ في الكون في حالة البلازما؛ فمعظم مكونات النجوم بلازما في درجات حرارة عالية جدًّا، كما أن أكثر المواد الموجودة بين النجوم والمجرات تتكون من ذرات الهيدروجين الفعّالة النشطة التي لا تحتوي على إلكترونات، ويكون غاز الهيدروجين في حالة البلازما.

والفرق المبدئي بين الغاز والبلازما أن البلازما لها قدرة على التوصيل الكهربائي، في حين أن الغازات ليس لها هذه القدرة، والصواعق المضيئة تكون أيضًا في حالة البلازما. وإشارات النيون كما في **الشكل 6–1** أعلاه، ومصابيح الفلورسنت، ومصابيح غاز الصوديوم تحتوي جميعها البلازما المتوهجة.

1–1 مراجعة

10. **الضغط والقوة** افترض أن لديك صندوقين، أبعاد الأول 20 cm × 20 cm × 20 cm، وأبعاد الثاني 20 cm × 20 cm × 40 cm . قارن بين:

a. ضغطي الهواء في المحيط الخارجي لكل من الصندوقين.

b. مقداري القوة الكلية للهواء المؤثرة في كل من الصندوقين.

11. **علم الأرصاد الجوية** يتكون منطاد الطقس الذي يستخدمه الراصد الجوي من كيس مرن يسمح للغاز في داخله بالتمدد بحرية. إذا كان المنطاد يحتوي على $25.0\ m^3$ من غاز الهيليوم وأطلق من منطقة عند مستوى سطح البحر، فما حجم الغاز عندما يصل المنطاد ارتفاع 2100 m، حيث الضغط عند ذلك الارتفاع $0.82 \times 10^5\ Pa$؟ افترض أن درجة الحرارة ثابتة لا تتغير.

12. **انضغاط الغاز** تحصر آلة احتراق داخلي في محرك كمية من الهواء حجمها $0.0021\ m^3$ عند ضغط يعادل الضغط الجوي ودرجة حرارة 303 K، ثم تضغط الهواء بسرعة ليصل إلى ضغط مقداره $20.1 \times 10^5\ Pa$ وحجم $0.0003\ m^3$، ما درجة الحرارة النهائية للهواء المضغوط؟

13. **الكثافة ودرجة الحرارة** إذا كانت درجة الحرارة الابتدائية للماء 0 °C، فكيف تتغير كثافة الماء إذا سُخّن إلى 4 °C، وإلى 8 °C؟

14. **الكتلة المولية المعيارية** ما حجم 1.00 mol من الغاز عند ضغط يعادل الضغط الجوي ودرجة حرارة تساوي 273 K؟

15. **الهواء في الثلاجة** ما عدد مولات الهواء الموجودة في ثلاجة سعتها $0.635\ m^3$ عند 2.00 °C؟ وما مقدار كتلة الهواء في ثلاجة إذا كان متوسط الكتلة المولية للهواء 29 g/mol؟

16. **التفكير الناقد** الجزيئات المكونة لغاز الهيليوم صغيرة جدًّا مقارنة بالجزيئات المكونة لغاز ثاني أكسيد الكربون. ماذا يمكن أن تستنتج حول عدد الجزيئات في عينة من غاز ثاني أكسيد الكربون حجمها 2.0 L مقارنة بعدد الجزيئات في عينة من غاز الهيليوم حجمها 2.0 L إذا تساوت العينتان في درجة الحرارة والضغط؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1–2 القوى داخل السوائل Forces within Liquids

الأهداف

- **توضح** كيف تسبب قوى التماسك التوترَ السطحي.
- **توضح** كيف تسبب قوى التلاصق الخاصيةَ الشعرية.
- **تناقش** التبريد التبخري ودور التكثف في تكوّن السحب.

المفردات

قوى التماسك

قوى التلاصق

تعاملنا مع السوائل، حتى الآن، باعتبارها سوائل مثالية تمتاز جميع جزيئاتها بحرية الحركة، والانزلاق بعضها فوق بعض. ولكن خصوصية الماء في تمدّده بين درجتي حرارة 0 °C و4 °C تبين أنه في حالة السوائل الحقيقية تؤثر الجزيئات بعضها في بعض بقوى تجاذب كهرومغناطيسية تسمى **قوى التماسك**، تؤثر هذه القوى وغيرها في سلوك الموائع.

قوى التماسك Cohesive Forces

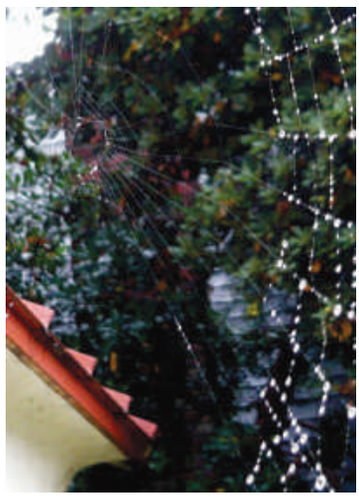
هل سبق أن لاحظت أن قطرات الندى على خيوط العنكبوت –وكذلك قطرات الزيت الساقطة– تتخذ شكلاً كرويًّا تقريبًا؟ ماذا يحدث عندما يسقط المطر على سيارة مغسولة حديثًا ومشمعة؟ تتكوّر قطرات الماء وتتخذ أشكالًا كروية، كما في شبكة العنكبوت في **الشكل 7–1**.

تعد جميع الظواهر السابقة أمثلة على التوتر السطحي، وهي الخاصية المتمثلة في ميل سطح السائل إلى التقلص لأقل مساحة ممكنة. وخاصية التوتر السطحي ناجمة عن **قوى التماسك** بين جزيئات المائع.

لاحظ أن جميع جزيئات السائل الموجودة تحت سطحه تتأثر بقوى جذب متساوية المقدار تشدها إلى جميع الاتجاهات عن طريق الجزيئات المجاورة لها، كما تنجذب أيضًا إلى الجزيئات المكونة لجدار الإناء الذي يحتوي السائل كما في **الشكل 8a–1**، ونتيجة لذلك ليس هناك قوة محصلة تؤثر في أي من الجزيئات تحت سطح السائل. أما عند السطح فتنجذب الجزيئات إلى أسفل وفي اتجاه الجوانب، ولكن ليس إلى أعلى؛ لذا يكون هناك قوة محصلة إلى أسفل تؤثر في الطبقات العلوية، مما يؤدي إلى ضغط الطبقة العلوية قليلاً. وتعمل الطبقة السطحية في السائل كغشاء مطاطي مشدود، قوي بما يكفي لحمل الأجسام الخفيفة جدًّا ومنها صرصور الماء كما في **الشكل 8b–1**. ويكون التوتر السطحي للماء كبيرًا بحيث يحمل مشبك ورق فولاذيًّا على الرغم من أن كثافة الفولاذ أكبر تسع مرات من كثافة الماء. جرّب ذلك.

لماذا يكوّن التوتر السطحي قطرات كروية؟ تدفع القوة الجزيئات السطحية بحيث يصبح السطح صغيرًا قدر الإمكان، كما أن الشكل الكروي هو الشكل الذي له أقل مساحة سطح لحجم معين. وكلما زاد التوتر السطحي للسائل زادت ممانعة السائل لتحطم سطحه، فلسائل الزئبق مثلاً قوة تماسك أكبر من قوة تماسك الماء، ولهذا يشكّل الزئبق السائل قطرات كروية حتى عندما يوضع على سطح مصقول. وفي المقابل، بعض السوائل – ومنها الكحول والإيثر– لها قوى تماسك ضعيفة، ولذلك تتسطح قطراتها على السطح المصقول.

الشكل 7–1 تصطف قطرات صغيرة من مياه الأمطار على شبكة العنكبوت؛ لأن قطرات الماء لها خاصية التوتر السطحي.

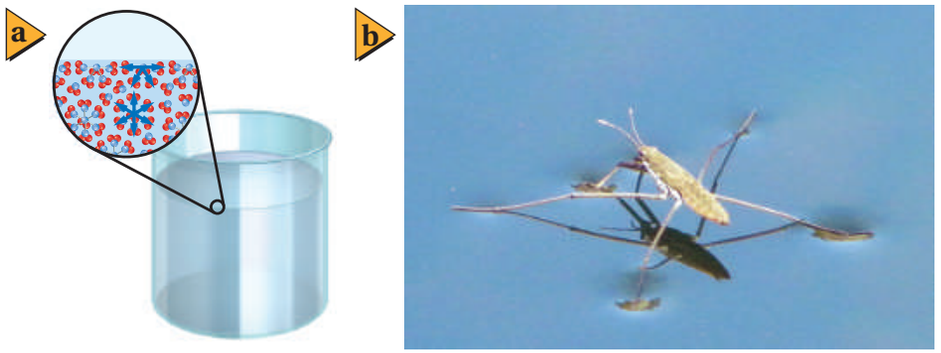


وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

اللزوجة تسبب قوى التماسك والتصادمات بين جزيئات المائع في الموائع غير المثالية احتكاكًا داخليًّا يعمل على إبطاء تدفق السائل، وتبديد الطاقة الميكانيكية. وتعد لزوجة السائل مقياسًا للاحتكاك الداخلي للسائل. ولزوجة الماء منخفضة ، في حين أن زيت المحرك عالي اللزوجة؛ إذ يتدفق ببطء على الأجزاء المعدنية للمحرك، فيقلل من احتكاكها بعضها ببعض.

وتعد اللابة والصخور المنصهرة التي تتدفق من البركان وتتصاعد نحو سطح الأرض واحدة من أشد الموائع لزوجة، ولأنواع اللابة المتعددة لزوجات تتباين وفق تركيبها ودرجة حرارتها.

الربط مع علم الأرض



■ **الشكل 8–1** تنجذب الجزيئات في داخل السائل إلى كل الاتجاهات (**a**). يتمكن صرصور الماء من السير على سطح الماء؛ لأن جزيئات الماء عند السطح لها قوة تجاذب محصلة في اتجاه الداخل تولد التوتر السطحي (**b**).

قوى التلاصق Adhesive Forces

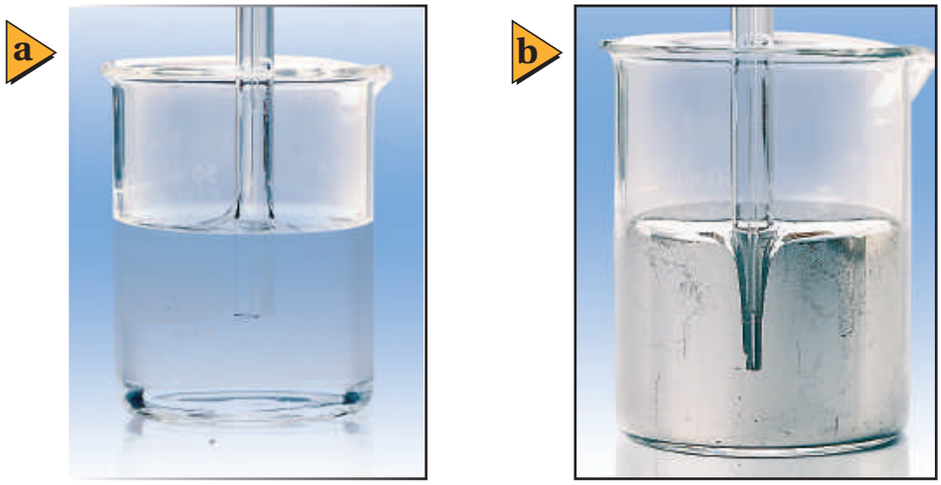
قوى التلاصق تشبه قوى التماسك؛ فهي عبارة عن قوى تجاذب كهرومغناطيسية تؤثر بين جزيئات المواد المختلفة. فإذا وضع أنبوب زجاجي نصف قطره الداخلي صغير في الماء فسيرتفع الماء داخل الأنبوب؛ لأن قوى التلاصق بين سطح الزجاج وجزيئات الماء أكبر من قوى التماسك بين جزيئات الماء.

وتعرف هذه الخاصية بالخاصية الشعرية، ويستمرّ الماء في الارتفاع حتى يتوازن وزن الماء الذي ارتفع مع قوة التلاصق الكلية بين سطح الزجاج وجزيئات الماء. وإذا ازداد نصف قطر الأنبوب فإن كلًّا من حجم الماء ووزنه سيتزايد طرديًّا وبمقدار أسرع من المساحة السطحية للأنبوب. وعليه، فسيرتفع الماء في الأنبوب الضيّق أكثر من ارتفاعه في الأنبوب الأكثر اتساعًا.

إن الخاصية الشعرية هي التي تسبب ارتفاع الوقود في فتيلة القنديل، كما تسبب أيضًا ارتفاع الماء من أسفل التربة إلى أعلاها وارتفاعه أيضًا في جذور النبات.

عندما يوضع أنبوب في وعاء من الماء يرتفع سطح الماء على السطح الخارجي للأنبوب كما في **الشكل 9a–1**؛ لأن قوى التلاصق بين جزيئات الزجاج وجزيئات الماء أكبر من قوى التماسك بين جزيئات الماء. وفي المقابل، فإن قوى التماسك بين جزيئات الزئبق أكبر من قوى التلاصق بين الزئبق وسطح الزجاج؛ لذا لا يرتفع الزئبق في الأنبوب، وتسبب هذه القوى أيضًا انخفاضًا في سطح الزئبق حول الأنبوب الزجاجي كما في **الشكل 9b–1**.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 9–1 يصعد الماء على جدار الأنبوب الزجاجي من الخارج (a)، في حين ينخفض سطح الزئبق حول الأنبوب (b)، إن قوى التجاذب بين ذرات الزئبق أقوى من قوى التلاصق بين الزئبق والزجاج.

التبخر والتكثّف Evaporation and Condensation

لماذا يختفي الماء من بركة صغيرة في يوم حار وجاف؟ تتحرك جزيئات السائل بسرعات عشوائية، كما تعلمت سابقًا. وإذا استطاعت الجزيئات المتحركة بسرعة كبيرة أن تنفذ خلال الطبقة السطحية، فإنها سَتنفذ من السائل، لكن وجود قوة تماسك محصلة إلى أسفل على السطح يعيق ذلك؛ لذا لا تفلت من السطح إلا الجزيئات التي لها طاقة كبيرة، ويسمى هروب الجزيئات التبخر.

التبريد بالتبخر لعملية التبخر أثر في خفض الحرارة (التبريد)؛ ففي الأيام الحارة يفرز الجسم عرقًا، وتبخر العرق يجعلك تشعر بالبرودة. ويؤدي التبخر في بركة الماء الصغيرة إلى تبريد الماء المتبقي. وكلما كانت الطاقة الحركية لجزيء ما أكبر من متوسط الطاقة الحركية لمجموع الجزيئات كانت فرصته في التحرر من الماء أكبر. وعند تحرره ينخفض متوسط الطاقة الحركية للجزيئات المتبقية. وكما تعلمت سابقًا، فإن الانخفاض في متوسط الطاقة الحركية يؤدي إلى انخفاض درجة الحرارة. وتستطيع أن تختبر أثر التبريد عند سكب كمية قليلة من الكحول وفركها براحة يديك؛ إذ تتبخر جزيئات الكحول بسهولة؛ لأن قوى التماسك بينها قليلة جدًّا. وعندما تتبخر الجزيئات يمكن ملاحظة أثر التبريد، وتُسمى السوائل التي تتبخر بسرعة السوائل المتطايرة.

لماذا تشعر أن الجو في الأيام الرطبة أكثر دفئًا منه في الأيام الجافة عند درجة الحرارة نفسها؟ في اليوم الرطب تكون كمية بخار الماء في الهواء مرتفعة، بسبب وجود الكثير من جزيئات الماء في الهواء، ويقل تبعًا لذلك احتمال تبخر جزيئات الماء في العرق. ويعد التعرق ميكانيكية التبريد الرئيسة في جسم الإنسان؛ لذا فإن الجسم لا يكون قادرًا على تبريد نفسه بصورة فعّالة في اليوم الرطب.

تطبيق الفيزياء

النباتات

تسمح قوى التماسك في السوائل بتمددها كما لو كانت شريطًا مطاطيًّا مرنًا. ومن الصعب تحقيق حالة التمدد هذه في المختبر، ولكنها شائعة في النباتات.

وتحفظ شدة قوى التماسك الماء من أن ينقطع اتصاله بعضه ببعض، أو يشكل فقاقيع، عندما ينتقل إلى الأوراق عبر أنسجة النبات. ولولا هذه القوى ما تمكنت الأشجار من النمو أكثر من 10 أمتار.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

إن جزيئات السائل التي تبخرت في الهواء تستطيع العودة أيضًا إلى الحالة السائلة إذا انخفضت طاقتها الحركية أو درجة حرارتها، وتسمى هذه العملية التكثّف.

ماذا يحدث عندما تحمل كأسًا باردة في منطقة حارة ورطبة؟ سيُغطى السطح الخارجي للكأس بالماء المتكثّف، وستتحرك جزيئات الماء عشوائيًّا في الهواء المحيط بالكأس وترتطم بالسطح البارد، وإذا فقدت طاقة كافية فإن قوى التماسك تصبح قوية إلى درجة تمنعها من الإفلات.

يحتوي الهواء الواقع فوق أي سطح مائي- كما موضح في **الشكل 10–1** -على بخار ماء؛ فهو إذن ماء في الحالة الغازية. وإذا انخفضت درجة الحرارة يتكاثف بخار الماء حول جزيئات الغبار المتناهية في الصغر الموجودة في الهواء، ويكوّن قطيرات من الماء قطرها 0.01 mm. وتسمى السحابة المتكوّنة من هذه القطيرات الضباب. ويتكون الضباب غالبًا عندما يبرد الهواء الرطب عن طريق سطح الأرض البارد. ويمكن أن يتكون الضباب داخل المنزل؛ فعندما تفتح زجاجة مياه غازي يحدث انخفاض مفاجئ في الضغط يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة الغاز في الزجاجة، مما يُكثّف بخار الماء المذاب في ذلك الغاز.

الشكل 10–1 يرتفع الهواء الدافئ والرطب القريب من سطح الأرض حتى يصل إلى ارتفاع تكون درجة الحرارة عنده مساوية لدرجة تكثّف بخار الماء، فتتشكل الغيوم عند هذا الارتفاع.

2–1 مراجعة

17. **التبخر والتبريد** في الماضي، عندما يصاب طفل بالحمى كان الطبيب يقترح أن يُمسح الطفل بقطعة إسفنج مبللة بالكحول. كيف يمكن أن يُساعد هذا الإجراء؟
18. **التوتر السطحي** لمشبك الورق كثافة أكبر من كثافة الماء، ومع ذلك يمكن أن يطفو على سطح الماء. فما الخطوات التي يجب أن تتبعها لتحقيق ذلك؟ وضح إجابتك.
19. **اللغة والفيزياء** نستخدم في لغتنا العربية مصطلحات، منها "الشريط اللاصق" و "العمل كمجموعة متماسكة"، فهل استخدام المفردتين (التلاصق والتماسك) في سياق كلامنا مطابقٌ لمعانيهما في الفيزياء؟
20. **التلاصق والتماسك** وضح لماذا يلتصق الكحول بسطح الأنبوب الزجاجي في حين لا يلتصق الزئبق.
21. **الطفو** كيف يمكن لمشبك الورق في المسألة **17** ألا يطفو؟
22. **التفكير الناقد** تجلس فاطمة في يوم حار ورطب في باحة منزلها، وتحمل كأسًا من الماء البارد، وكان السطح الخارجي للكأس مغطى بطبقة من الماء، فاعتقدت أختها أن الماء يتسرب من خلال الزجاج من الداخل إلى الخارج. اقترح تجربة يمكن لفاطمة أن تجريها لتوضح لأختها من أين يأتي الماء.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1–3 الموائع الساكنة و الموائع المتحركة Fluids at Rest and in Motion

الأهداف

- **تربط** مبدأ باسكال بالآلات البسيطة وحالاتها.
- **تطبّق** مبدأ أرخميدس للطفو.
- **تطبّق** مبدأ برنولي لتدفق الهواء.

المفردات

مبدأ باسكال
قوة الطفو
مبدأ أرخميدس
مبدأ برنولي
خطوط الانسياب

تعلمت سابقًا أن الموائع تولد ضغطًا، هوالقوة المؤثرة في وحدة المساحة. وتعلمت أيضًا أن الضغط الذي تولده الموائع يتغير، فمثلاً ينخفض الضغط الجوي كلما زاد ارتفاعك في أثناء تسلقك جبلاً. وستدرس في هذا الفصل القوى الناتجة عن الموائع الساكنة والموائع المتحركة.

الموائع الساكنة Fluids at Rest

إذا غطست في بركة سباحة أو بحيرة إلى عمق معين فستدرك عندئذٍ أن جسمك – وخصوصًا أذنيك – حساس جدًّا لتغيرات الضغط. ومن المحتمل أنك لاحظت أن الضغط الذي شعرت به على أذنيك لا يعتمد على وضع رأسك إذا كان مرفوعًا أو مائلاً إلى أسفل، ولكن يزداد الضغط إذا غطست إلى أعماق كبيرة.

مبدأ باسكال لاحظ عالم الفيزياء الفرنسي بليز باسكال أن الضغط في المائع يعتمد على عمق المائع، ولا علاقة له بشكل الوعاء الذي يحوي المائع، وقد اكتشف أيضًا أن أي تغير في الضغط المؤثر في أي نقطة في المائع المحصور ينتقل إلى جميع نقاط المائع بالتساوي، وتُعرف هذه الحقيقة بمبدأ باسكال.

ويظهر مبدأ باسكال في كل مرة تعصر فيها أنبوب معجون الأسنان، إذ ينتقل الضغط الذي تؤثر به أصابعك في مؤخرة الأنبوب إلى معجون الأسنان، بحيث يندفع المعجون خارجًا من مقدمة الأنبوب. وبطريقة مماثلة، إذا عصرت إحدى نهايتي بالون غاز الهيليوم فإن نهايته الأخرى تنتفخ.

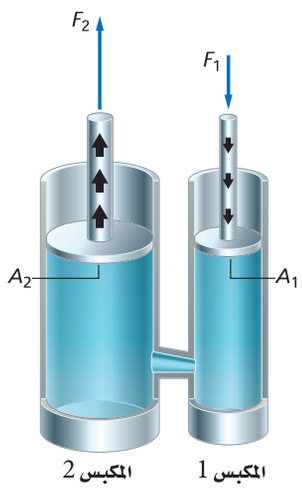
وعندما تستخدم الموائع في الآلات بهدف مضاعفة القوى فإنك في هذه الحالة تطبق مبدأ باسكال، ففي النظام الهيدروليكي عمومًا، يُحصر المائع في حجرتين متصلتين معًا، كما في **الشكل 11–1**، حيث يوجد في كل حجرة مكبس حر الحركة، ولكل من المكبسين مساحة سطح مختلفة، فإذا أثرت القوة F_1 في المكبس الأول الذي مساحة سطحه A_1 أمكن حساب الضغط P_1، المؤثر في المائع باستخدام المعادلة الآتية:

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

والتي تمثل تعريف الضغط، حيث الضغط يساوي القوة المؤثرة في وحدة المساحة. ويمكن حساب الضغط الناتج عن المائع في المكبس الثاني الذي مساحة سطحه A_2 باستخدام المعادلة الآتية:

$$P_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

الشكل 11–1 ينتقل الضغط الناشئ عن تأثير القوة في المكبس الصغير خلال المائع، بحيث ينتج كقوة مضاعفة في المكبس الكبير.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

واعتمادًا على مبدأ باسكال، ينتقل الضغط دون تغيير خلال المائع؛ لذا فإن مقدار P_2 يساوي مقدار P_1، وتستطيع أن تحسب القوة المؤثرة في المكبس الثاني باستخدام العلاقة:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

وبحل المعادلة بالنسبة للقوة F_2، يمكن تحديد هذه القوة باستخدام المعادلة الآتية:

القوة الناتجة عن الرافعة الهيدروليكية $F_2 = \frac{F_1 A_2}{A_1}$

القوة المؤثرة في المكبس الثاني تساوي القوة التي يؤثر بها المكبس الأول مضروبة في نسبة مساحة المكبس الثاني إلى مساحة المكبس الأول.

مسائل تدريبية

23. تُعد كراسي أطباء الأسنان أمثلة على أنظمة الرفع الهيدروليكية. فإذا كان الكرسي يزن 1600 N ويرتكز على مكبس مساحة مقطعه العرضي $1440\ cm^2$، فما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر في المكبس الصغير الذي مساحة مقطعه العرضي $72\ cm^2$ لرفع الكرسي؟

24. تؤثر آلة بقوة مقدارها 55 N في مكبس هيدروليكي مساحة مقطعه العرضي $0.015\ m^2$ ، فترفع سيارة صغيرة. فإذا كانت مساحة المقطع العرضي للمكبس الذي ترتكز عليه السيارة $2.4\ m^2$، فما وزن السيارة؟

25. يحقق النظام الهيدروليكي الهدف نفسه تقريبًا الذي تحققه الرافعة ولعبة الميزان، وهو مضاعفة القوة. فإذا وقف طفل وزنه 400 N على أحد المكبسين بحيث يتزن مع شخص بالغ وزنه 1100 N يقف على المكبس الثاني، فما النسبة بين مساحتي مقطعي المكبسين العرضيين؟

26. تستخدم في محل صيانة للآلات رافعة هيدروليكية لرفع آلات ثقيلة لصيانتها. ويحتوي نظام الرافعة مكبسًا صغيرًا مساحة مقطعه العرضي $7.0 \times 10^{-2}\ m^2$، ومكبسًا كبيرًا مساحة مقطعه العرضي $2.1 \times 10^{-1}\ m^2$، وقد وضع على المكبس الكبير محرك يزن 2.7×10^3 N .

a. ما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر في المكبس الصغير لرفع المحرك؟

b. إذا ارتفع المحرك 0.20 m، فما المسافة التي تحركها المكبس الصغير؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

السباحة تحت الضغط swimming under pressure

عندما تسبح تشعر أن ضغط الماء يتزايد كلما غطست إلى مسافة أعمق، وينشأ هذا الضغط حقيقة عن قوة الجاذبية الأرضية، التي ترتبط مع وزن الماء فوق الجسم. فإذا غطست إلى أعماق كبيرة فستكون كمية أكبر من الماء فوق جسمك؛ لذا سيكون الضغط عليك أكبر. إن ضغط الماء يساوي وزن عمود الماء F_g فوقك مقسومًا على مساحة المقطع العرضي لعمود الماء A. وعلى الرغم من أن قوة الجاذبية الأرضية تسحب فقط في الاتجاه الرأسي إلى أسفل فإن المائع ينقل الضغط في الاتجاهات جميعها، إلى أعلى وإلى أسفل وإلى الجوانب. وتستطيع أن تجد ضغط الماء بتطبيق العلاقة الآتية:

$$P = \frac{F_g}{A}$$

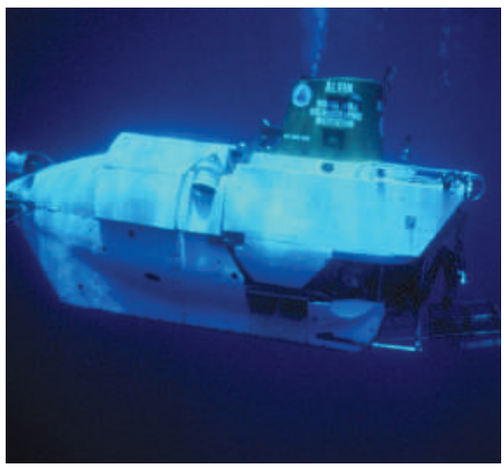
وزن عمود الماء $F_g = mg$ ، والكتلة تساوي كثافة الماء ρ مضروبة في حجمه، $m = \rho V$. وتعلم أيضًا أن حجم الماء يساوي مساحة قاعدة عمود الماء مضروبة في ارتفاعه $V = Ah$؛ لذا فإن $F_g = \rho Ahg$. عوض بـ ρAhg بدلاً من F_g في معادلة ضغط الماء فستجد أن $P = \frac{F_g}{A} = \frac{\rho Ahg}{A}$، ثم اختزل A من البسط والمقام للوصول إلى الصورة المبسطة لمعادلة الضغط الذي يؤثر به عمود الماء في جسم الغطّاس.

ضغط الماء على الجسم $P = \rho hg$

الضغط الذي يؤثر به عمود الماء في الجسم يساوي حاصل ضرب كثافة الماء في ارتفاع عمود الماء في تسارع الجاذبية الأرضية.

تطبق هذه المعادلة على الموائع جميعها، وليس فقط على حالة الماء. ويعتمد ضغط المائع الذي يؤثر في الجسم على كثافة المائع، وعمقه، و g. وإذا كان هناك ماء على سطح القمر فإن قيمة ضغطه عند أي عمق ستكون سُدس قيمته على الأرض. يوضح **الشكل 12–1** غواصة تنتقل في أخاديد المحيط العميقة، وتتعرض لضغوطٍ تزيد 1000 مرة على مقدار ضغط الهواء المعياري.

الشكل 12–1 في عام 1960 م نزل طاقم الغطس تريست (Triste) إلى أعماق الأخدود ماريانس (Marianas) الذي يزيد عمقه على 10500 m. وتمكن أحد الغواصين من الغطس بأمان إلى عمق 4500 m في مياه المحيط.



قوة الطفو ما الذي يولد القوة الرأسية إلى أعلى التي تسمح لك بالسباحة؟ إن زيادة الضغط الناجمة عن زيادة العمق تولد قوة رأسية إلى أعلى تسمى **قوة الطفو**. وبالمقارنة بين قوة الطفو المؤثرة في جسم ووزنه نستطيع أن نتوقع ما إذا كان الجسم سيغوص أم يطفو.

افترض أن صندوقًا ارتفاعه l ومساحة سطحيه العلوي والسفلي A غُمر في الماء، فيكون حجم الصندوق $V = lA$، ويؤثر ضغط الماء بقوى في كل جوانبه، كما هو موضّح في **الشكل 13–1**. هل يغوص الصندوق أم يطفو؟ كما تعلم، يعتمد الضغط المؤثر في الصندوق على عمقه h. ولتعرف ما إذا كان الصندوق سيطفو على سطح الماء أم لا فإنك تحتاج أن تعيّن مقدار الضغط المؤثر في السطح العلوي للصندوق مقاومة بالضغط المؤثر في

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

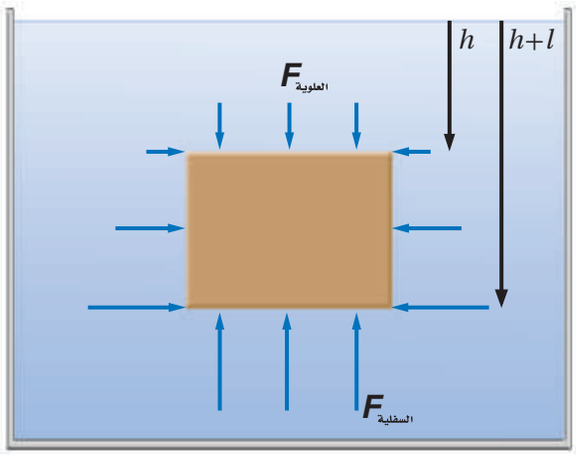
قاع الصندوق. قارن بين المعادلتين الآتيتين:

$$F_{\text{العلوية}} = P_{\text{العلوي}} A = \rho h g A$$

$$F_{\text{السفلية}} = P_{\text{السفلي}} A = \rho (l+h) g A$$

إن القــوى المؤثرة في الجوانب الأربعة الرأســية متســاوية في جميع الاتجاهات؛ لذا ليس هناك قوة محصلة أفقية. والقوة الرأسية إلى أعلى المؤثرة في قاع الصندوق أكبر من القوة الرأســية إلى أسفل المؤثرة في سطحه العلوي؛ لذا فهناك قوة محصلة رأسية. ويمكن الآن حساب مقدار قوة الطفو.

$$\begin{aligned} F_{\text{الطفو}} &= F_{\text{السفلية}} - F_{\text{العلوية}} \\ &= \rho (l + h) g A - \rho h g A \\ &= \rho l g A = \rho V g \end{aligned}$$



الشكل 13–1 يؤثر المائع بقوة إلى أعلى في قاع الجسم المغمور أكبر من القوة المؤثرة إلى أسفل في السطح العلوي للجسم. وتسمى محصلة القوة إلى أعلى بقوة الطفو.

وتبين هذه الحسابات أن القوة المحصلة الرأسية إلى أعلى تتناسب طرديًّا مع حجم الصندوق، وهذا الحجم يســاوي حجم المائع المزاح أو المدفوع خارجًا عن طريق الصندوق؛ لذا فإن مقدار قوة الطفو ρVg تساوي وزن المائع المزاح عن طريق الجسم.

قوة الطفو $F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{المائع}} Vg$

قوة الطفو المؤثرة في الجســم تساوي وزن المائع المزاح عن طريق الجسم، والتي تساوي كثافة المائع المغمور فيه الجسم مضروبًا في حجم الجسم وفي تسارع الجاذبية الأرضية.

تجربة عملية

لماذا تبدو الصخرة خفيفة في الماء؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

اكتشــف هذه العلاقة في القرن الثالث قبل الميلاد العالم الإغريقي أرخميدس، وينص **مبدأ أرخميدس** على أن الجســم المغمور في مائع تؤثر فيه قوة رأســية إلى أعلى تساوي وزن المائع المزاح عن طريق الجســم. ولا تعتمد القوة على وزن الجســم، ولكن تعتمد فقط على وزن المائع المزاح.

هل يغوص الجسم أم يطفو؟ إذا أردت أن تعرف ما إذا كان الجســم سيطفو أم يغوص فإنه يجب أن تأخذ بعين الاعتبار كل القوى المؤثرة في الجسم. فقوة الطفو تدفع الجسم إلى أعلى، ولكن وزن الجسم يسحبه إلى أسفل، ويحدّد الفرق بين قوة الطفو ووزن الجسم ما إذا كان الجسم سيغوص أم يطفو.

افترض أنك غمرت ثلاثة أجســام في خزان مملوء بالمــاء ($\rho_{\text{ماء}} = 1.00 \times 10^3\ \text{kg/m}^3$)، وكان حجم كل جســم منها $100\ \text{cm}^3$ أو $1.00 \times 10^{-4}\ \text{m}^3$. فإذا كان الجسم الأول قالبًا فولاذيًّا كتلته $0.90\ \text{kg}$، والجســم الثاني عبوة صودا مــن الألومنيوم كتلتها $0.10\ \text{kg}$، أما الجسم الثالث فمكعب من الجليد كتلته $0.090\ \text{kg}$، فكيف يتحرك كل من الأجسام الثلاثة عندما تغمر في الماء؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

إن القوة الرأسية على الأجسام الثلاثة متساوية، انظر إلى **الشكل 14–1** ، لأن كلًّا منها قد أزاح الوزن نفسه من الماء، ويمكن حساب قوة الطفو على النحو الآتي:

$$F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{ماء}} Vg$$

$$= (1.00 \times 10^{3}\ \text{kg}/\text{m}^3)\ (1.00 \times 10^{-4}\ \text{m}^3)\ (9.80\ \text{m}/\text{s}^2)$$

$$= 0.980\ \text{N}$$

إن وزن قالب الفولاذ يساوي 8.8 N وهو أكبر كثيرًا من قوة الطفو. وتبعًا لذلك تكون القوة المحصلة الرأسية المؤثرة فيه إلى أسفل؛ لذا يغوص القالب. لاحظ أن القوة المحصلة الرأسية إلى أسفل هي وزن الجسم الظاهري، وهي أقل من وزنه الحقيقي، وكل الأجسام التي في سائل، – ومنها تلك التي تغوص – لها وزن ظاهري أقل من وزنها عندما تكون في الهواء. ويمكن التعبير عن الوزن الظاهري بالمعادلة الآتية:

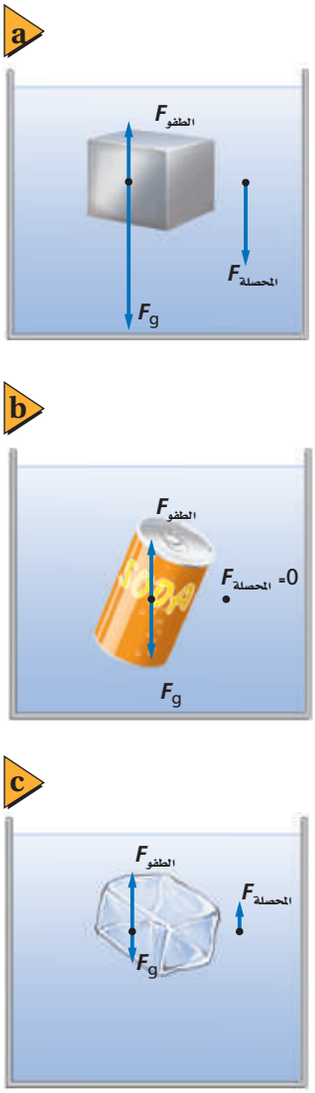
$$F_{\text{الظاهري}} = F_g - F_{\text{الطفو}}$$

وبالنسبة لقالب الفولاذ فإن وزنه الظاهري يساوي (8.8 N – 0.98 N) أو 7.8 N.

ووزن علبة الصودا يساوي 0.980 N، وهذا يماثل وزن الماء المزاح؛ لذا لا توجد قوة محصلة تؤثر في العبوة، ولذلك تبقى العبوة حيث توضع في الماء ولها قوة طفو متعادلة. وتوصف الأجسام ذات قوة الطفو المتعادلة بالأجسام العديمة الوزن، أيْ أن وزنها الظاهري صفر. إن هذه الخاصية مماثلة لتلك التي يعاني منها روّاد الفضاء في الفضاء. وهذا يفسر تدرب رواد الفضاء أحيانًا في برك السباحة.

أما وزن مكعب الجليد فيساوي 0.88 N، وهو أقل من قوة الطفو، ولذلك توجد قوة محصلة رأسية إلى أعلى؛ لذا يرتفع مكعب الجليد إلى أعلى. إن القوة المحصلة الرأسية إلى أعلى ستجعل جزءًا من مكعب الجليد خارج الماء. ونتيجة لذلك، تزاح كمية أقل من الماء وتقل القوة الرأسية إلى أعلى، ويطفو مكعب الجليد في الماء ويكون جزء منه داخل الماء والآخر خارجه حتى يتساوى وزن الماء المزاح مع وزن مكعب الجليد. وعمومًا يطفو الجسم إذا كانت كثافته أقل من كثافة المائع المغمور فيه.

السفن يفسر مبدأ أرخميدس كيف يمكن للسفن المصنوعة من الفولاذ أن تطفو على سطح الماء، فإذا كان جسم السفينة مفرغًا وكبيرًا بما يكفي فإن معدل كثافة السفينة يكون أقل من كثافة الماء، ولذلك تطفو.



الشكل 14–1 قالب من الفولاذ (a)، عبوة ألومنيوم لمشروب الصودا (b) ومكعب جليد (c) لكل منها الحجم نفسه، تزيح كمية متساوية من الماء، وتخضع لتأثير قوى طفو متماثلة. ولأن أوزانها مختلفة فإن محصلة القوى المؤثرة في الأجسام الثلاثة مختلفة أيضًا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

ويمكن أن تلاحظ أنّ السفينة المحملة بالبضائع تبحر بحيث تنخفض في الماء أكثر من السفينة الفارغة. وتستطيع توضيح هذا من خلال صنع قارب صغير من رقائق الألومنيوم، حيث يطفو هذا القارب بسهولة، وينغمر جزءٌ أكبر منه في الماء إذا أضيف إليه حمولة من مشابك الورق. وإذا حطمت القارب وجمعت رقائق الألومنيوم التي تكونه على شكل كرة مصمتة، فإنها في هذه الحالة تغطس بسبب زيادة كثافتها.

الربط مع علم الأرض

وبطريقة مماثلة، تطفو القارات الأرضية فوق مواد ذات كثافة كبيرة تحت السطح، وحركة الانجراف للصفائح القاريّة هي المسؤولة عن الأشكال والمواقع الحالية للقارات.

وهناك أمثلة تطبيقية أخرى على مبدأ أرخميدس، منها الغواصات البحرية والأسماك؛ إذ توظف الغواصات مبدأ أرخميدس في عملها، فكلما ضُخ الماء داخل عدد من الحجرات المختلفة وخارجها يتغير متوسط كثافة الغواصة، مما يجعلها تطفو أو تغطس. أما بالنسبة للأسماك، فلدى بعضها انتفاخ غشائي للسباحة يسمى مثانة العوم، وهي تطبق مبدأ أرخميدس لتتحكم في العمق الذي توجد فيه، فالأسماك تنفخ مثانة العوم أو تقلّصها كما ينفخ الإنسان خديه. فتنفخه لإزاحة كمية أكبر من الماء، وبذلك تزيد من قوة الطفو فترتفع، وفي المقابل تنزل إلى أسفل في الماء بتقليص حجم مثانة العوم.

تجربة عملية

لماذا تؤلمك أذناك عندما تغوص في الماء؟

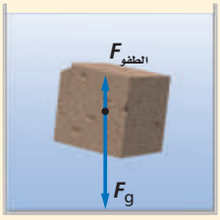
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

مثـــال 3

مبدأ أرخميدس ينغمر قالب بناء من الجرانيت حجمه ($1.00 \times 10^{-3}\ m^3$)، في الماء، فإذا كانت كثافة الجرانيت $2.7 \times 10^3\ kg/m^3$، فما مقدار:

a. قوة الطفو المؤثرة في قالب الجرانيت؟

b. الوزن الظاهري لقالب الجرانيت؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم قالب جرانيت مغمورًا في الماء.
- بين قوة الطفو الرأسية إلى أعلى وقوة الجاذبية الأرضية الرأسية إلى أسفل اللتين تؤثران في القالب.

المعلوم

$V = 1.00 \times 10^{-3}\ m^3$

$\rho_{\text{الجرانيت}} = 2.70 \times 10^3\ kg/m^3$

$\rho_{\text{الماء}} = 1.00 \times 10^3\ kg/m^3$

المجهول

$F_{\text{الطفو}} = ?$

$F_{\text{الظاهري}} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. احسب قوة الطفو على قالب الجرانيت.

عوض مستخدمًا $\rho_{\text{الماء}} = 1.00 \times 10^3\ kg/m^3$

$V = 1.00 \times 10^{-3}\ m^3$ و $g = 9.80\ m/s^2$

$F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{الماء}} Vg$

$= (1.00 \times 10^3\ kg/m^3)(1.00 \times 10^{-3}\ m^3)(9.80\ m/s^2)$

$= 9.80\ N$.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

b. احسب وزن قالب الجرانيت، ثم أوجد وزنه الظاهري.

عوض مستخدمًا $\rho_{\text{جرانيت}} = 2.70 \times 10^3\ \text{kg/m}^3$

$V = 1.00 \times 10^{-3}\ \text{m}^3$ و $g = 9.80\ \text{m/s}^2$

$$F_g = \rho_{\text{الجرانيت}} Vg$$
$$= (2.70 \times 10^3\ \text{kg/m}^3)(1.00 \times 10^{-3}\ \text{m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)$$
$$= 26.5\ \text{N}$$

عوض مستخدمًا $n = 0.893\ \text{mol}$، $M = 39.9\ \text{g/mol}$

$$F_{\text{الظاهري}} = F_g - F_{\text{الطفو}}$$
$$= 26.5\ \text{N} - 9.80\ \text{N}$$
$$= 16.7\ \text{N}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس كل من القوى والوزن الظاهري بوحدة النيوتن، كما هو متوقع.
- **هل الجواب منطقي؟** قوة الطفو تساوي تقريبًا ثلث وزن قالب الجرانيت، وهذه إجابة منطقية؛ لأن كثافة الماء تساوي ثلث كثافة الجرانيت تقريبًا.

مسائل تدريبية

27. إن كثافة القرميد الشائع الاستخدام أكبر 1.8 مرة من كثافة الماء. ما الوزن الظاهري لقالب من القرميد حجمه $0.20\ \text{m}^3$ مغمور تحت الماء؟

28. يطفو سباح في بركة ماء، بحيث يعلو رأسه قليلاً فوق سطح الماء. فإذا كان وزنه 610 N فما حجم الجزء المغمور من جسمه؟

29. ما مقدار قوة الشد في حبل يحمل كاميرا وزنها 1250 N مغمورة في الماء، إذا علمت أن حجم الكاميرا $16.5 \times 10^{-3}\ \text{m}^3$؟

30. لوح من الفلين الصناعي كثافته تساوي 0.10 مرة من كثافة الماء تقريبًا. ما أكبر وزن من قوالب القرميد تستطيع وضعها على لوح الفلين الصناعي الذي أبعاده $1.0\ \text{m} \times 1.0\ \text{m} \times 0.10\ \text{m}$ ، بحيث يطفو اللوح على سطح الماء، وتبقى قوالب القرميد جافة؟

31. يوجد عادة في الزوارق الصغيرة قوالب من الفلين الصناعي تحت المقاعد؛ لتساعدها على الطفو في حال امتلأ الزورق بالماء. ما أقل حجم تقريبي من قوالب الفلين اللازمة ليطفو قارب وزنه 480 N؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الموائع المتحركة: مبدأ برنولي

Fluids in Motion: Bernoulli's Principle

حاول تنفيذ التجربة الموضحة في **الشكل 15–1**. ضع قطعة من ورق دفتر ملاحظاتك أسفل شفتك السفلى قليلاً، ثم انفخ بقوة فوق سطحها العلوي. لماذا ترتفع قطعة الورق؟ يقلل نفخ الهواء الضغط فوق الورقة. وبسبب انخفاض الضغط أعلى الورقة فإن ضغط الهواء الساكن نسبيًّا أسفل الورقة يدفع الورقة إلى أعلى. إن العلاقة بين السرعة والضغط المؤثر عن طريق الموائع المتحركة يسمى مبدأ برنولي نسبة إلى العالم السويسري دانييل برنولي.

الشكل 15–1 يوضح النفخ فوق سطح صفيحة من الورق مبدأ برنولي.

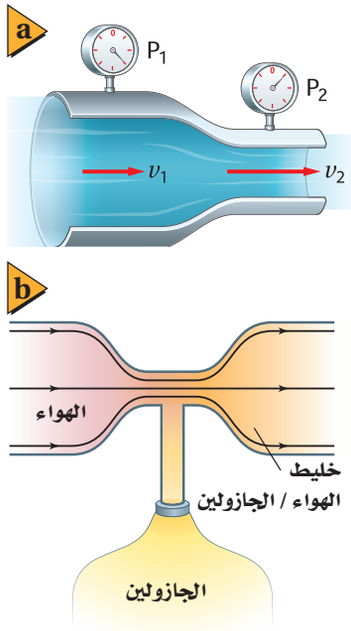
ينص **مبدأ برنولي** على أنه عندما تزداد سرعة المائع يقل ضغطه. وهذا المبدأ تمثيل لمبدأ حفظ الشغل والطاقة عند تطبيقه على الموائع. ويعتبر تدفق المائع عبر مقطع ضيق حالة من الحالات التي تزداد فيها سرعة المائع. فصنابير الماء في بعض خراطيم الحدائق يمكن أن تتسع أو تضيق؛ لذا تتغير سرعة تدفق الماء.

ولعلك لاحظت أنّ سرعة الماء تتزايد في جدول الماء (الوادي) عندما يمر عبر مقطع ضيّق في مجرى الجدول، وعمومًا يغير اتساع أو ضيق مجرى المائع – كخرطوم الماء أو قناة جدول الماء– من سرعة المائع، بحيث يبقى معدل التدفق للمائع محفوظًا. وبالإضافة إلى الجداول وخراطيم الماء فإن ضغط الدم في دورتنا الدموية يعتمد جزئيًّا على مبدأ برنولي. كما تتضمن معالجة أمراض القلب إزالة الانسداد في الشرايين والأوردة، وتجنب حدوث تخثرات في الدم.

لنأخذ حالة أنبوب أفقي مملوء بمائع مثالي يتدفق بسهولة؛ فإذا عبرت كمية معينة من المائع في أحد طرفي الأنبوب، فإن الكمية نفسها يجب أن تخرج من الطرف الآخر. افترض الآن أن المقطع العرضي أصبح أضيق، كما في **الشكل 16–1a**، فيجب أن تزداد سرعة تدفق المائع للحفاظ على كتلته المتنقلة عبر المقطع الضيّق خلال فترة زمنية ثابتة. لكن كلما ازدادت سرعة المائع ازدادت طاقته الحركية، وهذا يعني أن هناك محصلة شغل بُذلت على المائع السريع الحركة، وينتج هذا الشغل المحصل عن الفرق بين الشغل الذي بُذل لانتقال كمية من المائع داخل الأنبوب والشغل الذي بذل عن طريق المائع لدفع الكمية نفسها من المائع خارج الأنبوب. ويتناسب الشغل طرديًّا مع القوة المؤثرة في المائع، والتي تعتمد بدورها على الضغط. فإذا كانت محصلة الشغل موجبة وجب أن يكون ضغط المائع في المدخل عند بداية المقطع (حيث تكون سرعة المائع أقل) أكبر من الضغط في المخرج عند نهاية المقطع، حيث تكون سرعة المائع أكبر.

تطبيقات على مبدأ برنولي هناك بعض التطبيقات العملية الشائعة على مبدأ برنولي، ومنها مرش (بخّاخ) الطلاء، ومرذاذ العطر. ويعمل المرذاذ البسيط في زجاجة العطر بنفخ الهواء عبر الجزء العلوي من الأنبوب المغمور في العطر، فينخفض الضغط عند قمة الأنبوب، بحيث يصبح أقل من الضغط داخل الزجاجة، ونتيجة لذلك، يندفع العطر عبر تيار الهواء.

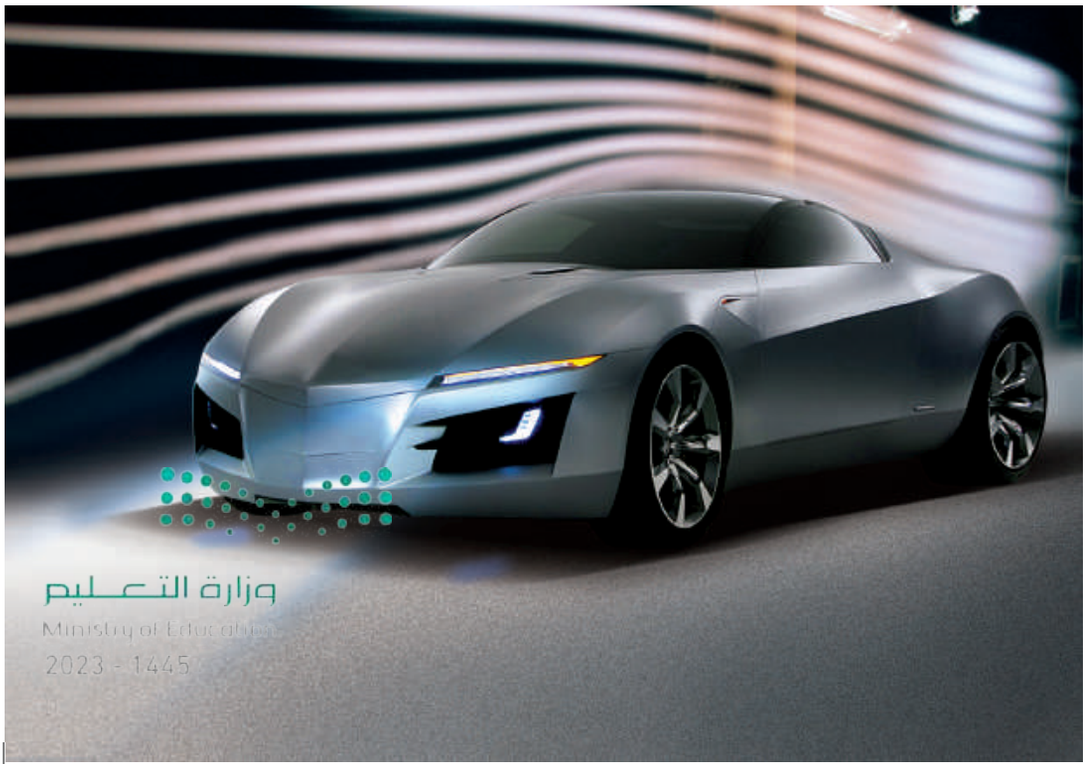
يعد المـازج (Carburetor) في محرك الجازولين، حيث يختلط الهواء بالجازولين، ، تطبيقًا شـائعًا آخر على مبدأ برنولي. إن أحد أجزاء المازج عبارة عـن أنبوب فيه ضيق في منطقة معينـة، كما في **الشـكل 16b–1** ، ويكون الضغط على الجازولين في خـزان الوقود مماثلاً للضغط في الجزء الأكثر اتسـاعًا في الأنبـوب. لكنّ تدفق الهواء عـبر المقطع الضيّق من الأنبـوب والموصول بخزان الوقود يجعل الضغط منخفضًا؛ لـذا يندفع الوقود في منطقة تدفق الهـواء. وتتغير كمية الوقود الممزوجة بالهواء في الأنبـوب تبعًا لتنظيم هذا التدفق. تتجه السيارات الحديثة إلى اسـتخدام محقنة الوقود أو نفثه بدلاً من نظام المازج، ولكن لا تزال أنظمة المازج شائعة الاسـتخدام في السيارات القديمة، وفي الآلات ذات المحركات التي تدار بالجازولين ومنها آلات جز العشب.



■ **الشـكل 16–1** يكون الضغط P_1 أكبر من P_2؛ لأن v_1 أقل من v_2 (**a**). يعمل الضغط المنخفض في الجزء الضيق من أنبوب المـازج (carburetor) على سحب الوقود إلى مجرى الهواء (**b**).

خطـوط الانسـياب يسـتنفد صانعو السـيارات والطائرات الكثير من الوقت والجهد في اختبار تصاميم جديدة للسـيارات والطائرات داخل أنفاق هوائية للتحقق من قدرتها على العمـل بكفاءة عظمى في أثناء حركتها خلال الهواء. ويُمثَّل تدفق الموائع حول الأجسـام **بخطوط الانسـياب** الموضحة في **الشـكل 17–1**. وتحتاج الأجسام إلى طاقة أقل لتتحرك عبر تدفق منتظم من خطوط الانسياب.

يمكن توضيح خطوط الانسـياب بصورة أفضل من خلال التمثيل البسـيط الآتي: تخيل أنك تضيف بعناية قطرات صغيرة من صبغة الطعام داخل مائع ينسـاب بشـكل منتظم، فإذا بقيت الخطوط الملونة التي تشـكلت دقيقة ومحددة قيل عندئذ؛ إن التدفق انسـيابيٌّ. لاحظ أنه إذا ضاق مجرى التدفق فإن خطوط الانسياب تتحرك مقتربة بعضها من بعض. وتشـير خطوط الانسياب التي تفصلها مسافات قليلة إلى سرعة انسياب كبيرة؛ لذا يكون الضغـط منخفضًا. من جهة أخرى إذا تحركت خطوط الانسـياب حركة ملتفة كالدوّامة بحيث أصبحت منتشرة، فعندئذ يقال: إن المائع مضطرب. ولا يطبق مبدأ برنولي في حالة التدفق المضطرب للموائع.



■ **الشـكل 17–1** تدفق خطوط للهواء فوق سيارة جرى اختبارها في نفق رياح.

3–1 مراجعة

32. الطفو والغطس هل تطفو علبة شراب الصودا في الماء أم تغوص فيه؟ جرّب ذلك. وهل يتأثر ذلك بكون الشراب خاليًا من السكر أم لا؟ تحتوي بعض علب شراب الصودا على الحجم نفسه من السائل 354 ml، وتزيح الحجم نفسه من الماء، فما الفرق بين العلبة التي تغوص والأخرى التي تطفو؟

33. الطفو والكثافة تُزوَّد صنارة الصيد بقطعة فلين تطفو بحيث يكون عشر حجمها تحت سطح الماء. ما كثافة الفلين؟

34. الطفو في الهواء يرتفع منطاد الهيليوم؛ لأن قوة طفو الهواء تحمله، فإذا كانت كثافة غاز الهيليوم $0.18\ kg/m^3$ وكثافة الهواء $1.3\ kg/m^3$، فما حجم منطاد الهيليوم اللازم لرفع قالب من الرصاص وزنه 10 N؟

35. انتقال الضغط صُمّمت لعبة قاذفة للصواريخ بحيث يدوس الطفل على أسطوانة من المطاط، مما يزيد من ضغط الهواء في أنبوب القاذف فيدفع صاروخًا خفيفًا من الرغاوي الصناعية في السماء، فإذا داس الطفل بقوة 150 N على مكبس مساحته $2.5\times10^{-3}\ m^2$، فما القوة المنتقلة إلى أنبوب القذف الذي مساحة مقطعه $4.0\times10^{-4}\ m^2$؟

36. الضغط والقوة رُفعت سيارة تزن $2.3\times10^4\ N$ عن طريق أسطوانة هيدروليكية مساحتها $0.15\ m^2$.

a. ما مقدار الضغط في الأسطوانة الهيدروليكية؟

b. ينتج الضغط في أسطوانة الرفع عن طريق التأثير بقوة في أسطوانة مساحتها $0.0082\ m^2$، ما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر في هذه الأسطوانة الصغيرة لرفع السيارة؟

37. الإزاحة أيّ مما يلي يزيح ماءً أكثر عندما يوضع في حوض مائي؟

a. قالب ألومنيوم كتلته 1.0 kg، أم قالب رصاص كتلته 1.0 kg؟

b. قالب ألومنيوم حجمه $10\ cm^3$، أم قالب رصاص حجمه $10\ cm^3$؟

38. التفكير الناقد اكتشفت في المسألة التدريبية رقم 4، أنه عندما يمر إعصار فوق منزل فإنّ المنزل ينهار أحيانًا من الداخل إلى الخارج. فكيف يفسر مبدأ برنولي هذه الظاهرة؟ وماذا يمكن أن نفعل لتقليل خطر اندفاع الباب أو الشباك إلى الخارج وتحطمه؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1–4 الموادّ الصلبة Solids

الأهداف

- **تربط** خصائص المواد الصلبة بتراكيبها.
- **تفسر** لماذا تتمدّد المواد الصلبة وتتقلص عندما تتغير درجة الحرارة.
- **تحسب** تمدّد المواد الصلبة.
- **توضح** أهمية تمدّد المواد بالحرارة.

المفردات

الشبكة البلورية
المواد الصلبة غير البلورية
معامل التمدّد الطولي
معامل التمدّد الحجمي

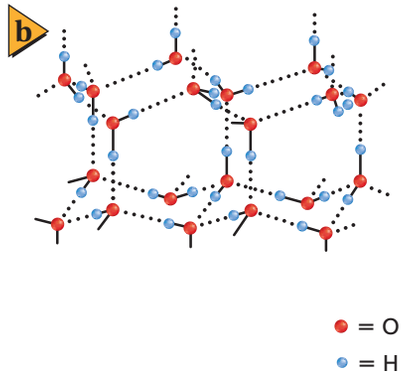
كيف تختلف الموادّ الصلبة عن السائلة؟ المواد الصلبة قاسية، ويمكن أن تُقطّع عدة قطع، وتحتفظ بشكلها، كما يمكنك دفع المادة الصلبة. أمّا السوائل فتتدفق، وإذا دفعت سائلاً، كالماء مثلاً، بإصبعك، فإن إصبعك يتحرك خلاله، فخصائص المواد الصلبة تختلف عن خصائص المواد السائلة، لكنك إذا شاهدت قطعة من الزبد تُسخّن، وتفقد شكلها، فقد تتساءل عما إذا كان الحد الفاصل بين حالتي الصلابة والسيولة واضحًا ومحددًا دائمًا.

الأجسام الصلبة Solid Bodies

يصعب التفريق بين المواد الصلبة والسائلة تحت ظروف معينة ، فمثلاً في أثناء تسخين عبوة زجاجية لصهرها، يتم التغير من حالة الصلابة إلى حالة السيولة بشكل تدريجي، بحيث يصعب معرفة الحالة في لحظة ما. وبعض الموادّ الصلبة (ومنها الكوارتز البلوري) يتكون من جزيئات مصطفة بأنماط مرتبة ومنظمة، وبعض المواد الصلبة الأخرى (ومنها الزجاج) مكونة من جزيئات ليس لها ترتيب منتظم، وحالها في ذلك مشابه للسوائل. وكما ترى في **الشكل 18–1**، فالكوارتز والكوارتز غير البلوري (ويسمى أيضًا الكوارتز الزجاجي) متماثلان كيميائيًّا، ولكن خصائصهما الفيزيائية مختلفة تمامًا.

فعندما تنخفض درجة حرارة السائل ينخفض متوسط الطاقة الحركية لجزيئاته، وعندما تبدأ الجزيئات في التباطؤ تؤثر قوة التماسك بصورة أكبر. وتصبح جزيئات بعض المواد الصلبة متجمدة على نمط ثابت يُسمى **الشبكة البلّورية**، الموضحة في **الشكل 19–1**. وعلى الرغم من أن قوة التماسك تحجز الجزيئات في مكانها إلا أن الجزيئات في المواد الصلبة البلورية لا تتوقف عن الحركة تمامًا، بل تتذبذب حول أماكن ثابتة. وهناك مواد أخرى – منها الزبدة والزجاج – لا تشكّل جزيئاتها نمطًا بلوريًّا ثابتًا ومحددًا.وهذه المواد التي ليس لها تركيب بلوري منتظم ولكن لها حجم وشكل محددان تُسمى **المواد الصلبة غير البلورية**، كما تصنّف أيضًا على أنها سوائل لزجة أو بطيئة التدفق.

الشكل 18–1 تترتب الجزيئات في الشبكة البلورية في نمط منظم (a). تنصهر المواد الصلبة البلورية عند درجة حرارة معينة. الكوارتز غير البلوري متماثل كيميائيًّا مع الكوارتز البلوري، ولكن جزيئاته عشوائية الترتيب. وعندما ينصهر الكوارتز غير البلوري تتغير خصائصه ببطء على مدى معين من درجات الحرارة، مما يسمح بتشكيله بطريقة مشابهة للزجاج المعروف (b).



■ **الشكل 19 – 1** الجليد هو الشكل الصلب للماء، وله حجم أكبر من الشكل السائل للكتلة نفسها من الماء (a)، التركيب البلوري للجليد على شكل شبكة بلورية (b).

الضغط والتجمد عندما يتحول سائل إلى مادة صلبة فإن جزيئاته عادة تُعيد ترتيب نفسها لتصبح قريبة من بعضها البعض أكثر ممّا كانت عليه في الحالة السائلة، مما تجعل المواد الصلبة أكثر كثافة من السوائل. وكما تعلمت سابقًا، فإن للماء حالة خاصة في تمدّده؛ حيث تكون كثافته أكبر ما يمكن عند $4C^{\circ}$، مما يجعله يتمدد عند تجمده، فإن الزيادة في الضغط تجبر الجزيئات على الاقتراب من بعضها البعض لتقاوم التجمد؛ لذا فإنه عند التعرض لضغط أكبر تنخفض درجة تجمد الماء على نحو طفيف.

كانت هناك فرضية مقترحة لتفسير تكوُّن طبقة رقيقة من الماء السائل بين الزلاجات والجليد. تزعم الفرضية أن الضغط الناجم عن الزلاجات فوق سطح الجليد يخفض درجة التجمد، مما يؤدي إلى صهر بعض الجليد. لكن الحسابات الفعلية لمقدار الضغط الناتج عن الزلاجات (حتى الرفيعة منها) لا يكفي لصهر الجليد بسبب درجة حرارته المنخفضة جدًّا، وقد بينت القياسات الحديثة أن الاحتكاك بين الشفرات والجليد يولد طاقة حرارية كافية لصهر الجليد وتشكيل طبقة رقيقة من الماء. وقد عُزّز هذا التفسير عن طريق بعض القياسات التي بينت أن درجة حرارة رذاذ الجليد المتطاير أعلى بشكل ملحوظ من درجة حرارة الجليد نفسه، وعملية انصهار الجليد بالطريقة نفسها هي التي تحدث خلال التزلج على الثلج.

مرونة المواد الصلبة من الممكن أن تؤدي القوى الخارجية المؤثرة في الأجسام الصلبة إلى انحناء هذه الأجسام. وتسمى قدرة الأجسام الصلبة على العودة إلى شكلها الأصلي عندما يزول تأثير القوى الخارجية بمرونة المواد الصلبة. أمّا إذا حدث تشوه كبير جدًّا فإن الجسم لا يعود إلى شكله الأصلي؛ لأنه قد تجاوز حد مرونته. وتعتمد المرونة على القوى الكهرومغناطيسية التي تحافظ على بقاء جزيئات المادة معًا.

إن قابلية الطرق وقابلية السحب خاصيتان تعتمدان على تركيب المادة ومرونتها؛ فالذهب يمكن تشكيله على صورة رقائق دقيقة جدًّا، ولذلك يُقال: إنه قابل للطرق. والنحاس يمكن سحبه على شكل سلك، ولذلك يقال: إنه قابل للسحب.

King Faisal PRIZE

مُنح البروفيسور كارل وايمان جائزة الملك فيصل لعام 1417هـ/ 1997م لنجاحه، مع زميله الدكتور إريك كورنل، في اكتشاف أنَّ للمادة حالة جديدة لم تسبق مشاهدتُها هي حالة التكاثف التي تحدث إذا انخفضت درجة حرارتها تحت مستوى معين.

المصدر: موقع جائزة الملك فيصل/ فرع العلوم

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

التمـدد الحراري للمواد الصلبة Thermal Expansion of Solids

من الإجراءات المعتادة عند تصميم الجسور الخرسانية والفولاذية على الطرق السريعة، أن يترك المهندسون فجوات صغيرة (فواصل)، تسمى وصلات التمدد، بين أجزاء الجسور، وذلك للسماح بتمدد أجزاء الجسر في أيام الصيف الحارة. تتمدد الأجسام بمقدار يسير فقط عندما تتعرض للتسخين، ولكن هذا المقدار اليسير قد يكون عدة سنتمترات في حالة جسر طوله 100 m، وإذا أُغفلت فجوات التمدد هذه في التصميم فقد يتقوس الجسر أو تتحطم أجزاؤه. وقد تحطم درجات الحرارة العالية كذلك مسارات السكك الحديدية التي تُغفل فيها وصلات التمدد، انظر **الشكل 20–1**. وتصمم بعض المواد –ومنها زجاج الأفران التي تستخدم في الطبخ في التجارب المختبرية لتتمدّد بأقل ما يمكن. وتصنع مرايا التلسكوبات الكبيرة من مادة السيراميك، والتي تصمّم لتعمل دون تمدد حراري يذكر.

الشكل 20–1 لقد تسببت درجات الحرارة العالية أيام الصيف الحارة في تقوس مسارات سكة الحديد.

ولكي تفهم تمدد الموادّ الصلبة المسخنة، تصور المواد الصلبة مجموعة من الجزيئات المتصلة معًا من خلال نوابض، حيث تمثل النوابض قوى التجاذب بين الجزيئات؛ فعندما تصبح الجزيئات قريبة جدًّا بعضها من بعض فإن النابض يدفعها بعيدًا. وعندما تسخّن المادة الصلبة تزداد الطاقة الحركية لجزيئاتها وتبدأ في الاهتزاز السريع، وتتحرك مبتعدة بعضها عن بعض، مما يُضعف قوى التجاذب بين الجزيئات فتهتز باضطراب أكثر من السابق؛ بسبب زيادة درجة الحرارة، ويزداد متوسط التباعد بين الجزيئات، فتتمدد المادة الصلبة.

يتناسب التغير في طول المادة الصلبة طرديًّا مع التغير في درجة حرارتها، كما هو موضّح في **الشكل 21–1**. فإذا ازدادت درجة حرارة جسم صلب بمقدار $20\ ^\circ C$ فإن تمدده يساوي ضعف تمدده عندما تكون الزيادة في درجات حرارته بمقدار $10\ ^\circ C$. ويتناسب التمدّد أيضًا طرديًّا مع طول الجسم؛ لذا يتمدّد قضيب طوله 2 m ضعف تمدد قضيب طوله 1 m عند التغير نفسه في درجة الحرارة. ويمكن إيجاد الطول الجديد L_2 للمادة الصلبة عند درجة حرارة T_2 باستخدام المعادلة الآتية، حيث L_1 الطول عند درجة الحرارة T_1 ؛ أمّا ألفا α، فتمثل **معامل التمدد الطولي للمادة**.

$$L_2 = L_1 + \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

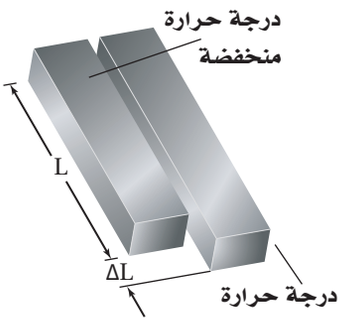
باستخدام مبادئ الجبر البسيطة، يمكنك حل المعادلة بالنسبة للمعامل α.

$$L_2 - L_1 = \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T$$

معامل التمدد الطولي $\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T}$

معامل التمدد الطولي يســاوي التغير في الطول مقسومًا على الطول الأصلي والتغير في درجة الحرارة.



■ **الشكل 21–1** يتناسب التغير في طول المادة طرديًا مع الطول الأصلي والتغير في درجة الحرارة.

ووحــدة معامل التمدد الطولي هــي $(^\circ C^{-1}$ أو $\frac{1}{^\circ C})$. ولأن الموادّ الصلبة تتمدد في ثلاثة أبعاد فإن **معامل التمدد الحجمي** β، يعادل ثلاثة أضعاف معامل التمدّد الطولي.

معامل التمدّد الحجمي $\beta = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta T}$

معامل التمدّد الحجمي يساوي التغير في الحجم مقسومًا على الحجم الأصلي والتغير في درجة الحرارة.

إن وحــدة المعامل β هــي $(\frac{1}{^\circ C}$ أو $^\circ C^{-1})$. ويبين **الجــدول 2–1** معاملي التمدد الحراري لمجموعة من المواد المختلفة.

الجدول 2–1

معامل التمدد الحراري عند 20 °C

	المادة	معامل التمدد الطولي $(^\circ C^{-1})\ \alpha$	معامل التمدد الحجمي $(^\circ C^{-1})\ \beta$
الموادّ الصلبة	الألومنيوم	25×10^{-6}	75×10^{-6}
	الزجاج (الناعم)	9×10^{-6}	27×10^{-6}
	الزجاج (واقي الفرن)	3×10^{-6}	9×10^{-6}
	الأسمنت	12×10^{-6}	36×10^{-6}
	النحاس	16×10^{-6}	48×10^{-6}
السوائل	الميثانول		1200×10^{-6}
	البنزين		950×10^{-6}
	الماء		210×10^{-6}

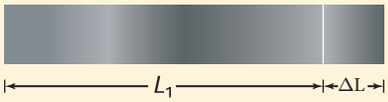
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مثـــــال 4

التمدّد الطولي قضيب معدني طوله 1.60 m عند 21 °C، فإذا وضع هذا القضيب في فرن وسُخّن إلى درجة حرارة 84 °C، وقيس طوله فوجد أنه ازداد بمقدار 1.7 mm، فما معامل التمدد الطولي للمادة المصنوع منها القضيب؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- وضح بالرسم القضيب الذي ازداد طوله بمقدار 1.7 mm عند درجة حرارة 84 °C وأصبح طوله أكبر مما كان عليه عند درجة حرارة 21 °C.
- حدد الطول المبدئي للقضيب L_1، والتغير في الطول ΔL.



المعلوم	المجهول
$L_1 = 1.60\ m$	$\alpha = ?$
$\Delta L = 1.7 \times 10^{-3}\ m$	
$T_1 = 21\ ^\circ C$	
$T_2 = 84\ ^\circ C$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب معامل التمدّد الطولي مستخدمًا الطول المعلوم، والتغير في كل من الطول ودرجة الحرارة.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T}$$

عوّض مستخدمًا $\Delta T = (T_2 - T_1) = 84\ ^\circ C - 21\ ^\circ C$، $L_1 = 1.60\ m$، $\Delta L = 1.7 \times 10^{-3}\ m$

$$\alpha = \frac{1.7 \times 10^{-3}\ m}{(1.60\ m)\ (84\ ^\circ C - 21\ ^\circ C)}$$

$$= 1.7 \times 10^{-5}\ ^\circ C^{-1}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تم التعبير عن الوحدات بطريقة صحيحة بوحدة $^\circ C^{-1}$.
- **هل الجواب منطقي؟** إن مقدار المعامل قريب من القيمة المقبولة للنحاس.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسائل تدريبية

39. قطعة من الألومنيوم طولها 3.66 m عند درجة حرارة 28 °C−. كم يزداد طول القطعة عندما تصبح درجة حرارتها 39 °C؟

40. قطعة من الفولاذ طولها 11.5 cm عند 22 °C، فإذا سُـخّنت حتى أصبحت درجة حرارتها 1221 °C، وهي قريبة من درجة حرارة انصهارها، فكم يبلغ طولها بعد التسخين؟(معامل التمدد الطولي للفولاذ $12 \times 10^{-6}\ ^{\circ}C^{-1}$)

41. مُلئ وعاء زجاجي سعته 400 ml عند درجة حرارة الغرفة بماء بارد درجة حرارته 4.4 °C. ما مقدار الماء المسكوب من الوعاء عندما يسخن الماء إلى 30.0 °C ؟

42. مُلئ خزان شاحنة لنقل البنزين سـعته 45,725 L بالبنزين لينقله من مدينة الدمام نهارًا حيث كانت درجة الحرارة 38.0 °C، إلى مدينة تبوك ليلاً حيث درجة الحرارة 2.0 °C −.

a. كم لترًا من البنزين سيكون في خزان الشاحنة في تبوك؟

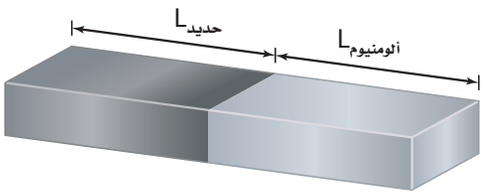
b. ماذا حدث للبنزين؟

43. حُفر ثقب قطره 0.85 cm في صفيحة من الفولاذ عند 30.0 °C فكان الثقب يتسع بالضبط لقضيب من الألومنيوم له القطر نفسه. ما مقدار الفراغ بين الصفيحة والقضيب عندما يبردان لدرجة حرارة 0.0 °C؟

44. دُرِّجت مسطرة من الفولاذ بوحدة الملمترات، بحيث تكون دقيقة بصورة مطلقة عند 30.0 °C. فما النسبة المئوية التي تمثل عدم دقة المسطرة عند 30.0 °C − ؟

مسألة تحفيز

تحتاج إلى صنع قضيب طوله 1.00 m يتمدّد بازدياد الحرارة بالطريقة نفسها التي يتمدد بها قضيب من النحاس طوله 1.00 m. يشترط في القضيب المطلوب أن يكون مصنوعًا من جزأين، أحدهما من الفولاذ والآخر من الألومنيوم موصولين معًا، كما يبين الشكل. فكم يجب أن يكون طول كل منهما؟



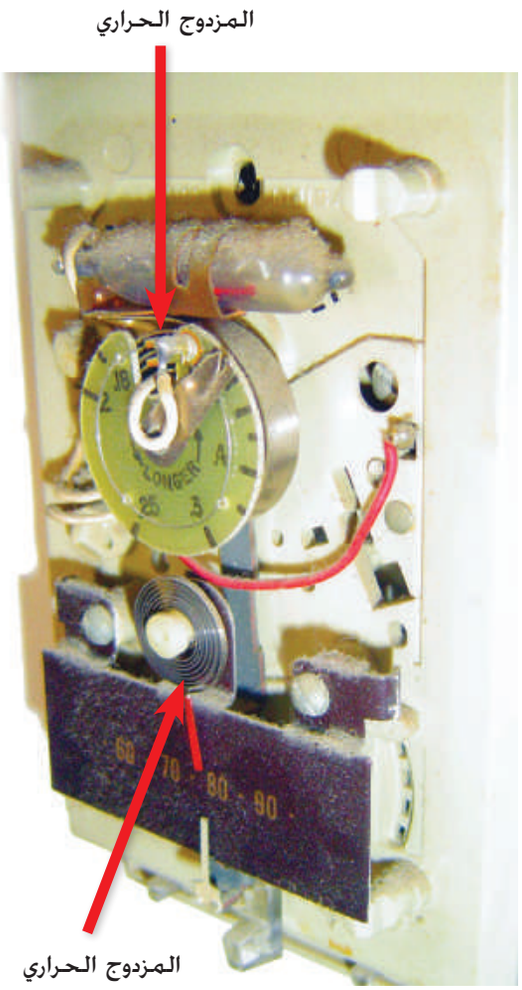
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تطبيقات التمدّد الحراري تتمدّد المواد المختلفة بمعدلات مختلفة، كما أشير إليها بمعاملات التمدّد المختلفة الموضحة في **الجدول 2–1**. وعلى المهندسين الأخذ بعين الاعتبار معدلات التمـدّد المختلفة هذه عند تصميم المباني. فمثلاً تستخدم القضبان الفولاذية غالبًا لتقوية الأسمنت؛ لذا يجب أن يكون للفولاذ والأسمنت معامل التمدد نفسه، وإذا لم يكن كذلك فإن المبنى سيتصدع في الأيام الحارّة. وبطريقة مماثلة، يكون على طبيب الأسنان استخدام الموادّ التي يحشو بها الأسنان بحيث تتمدد وتتقلص بالمعدل نفسه لتمدد مينا الأسنان.

إنّ المعـدلات المتباينة للتمدد لهـا تطبيقات مهمة؛ فمثلاً يستفيد المهندسون من هذه الاختلافات في صنع أداة مفيدة تُسمى المزدوج الحراري، وهي عبارة عن شريحة ثنائية الفلز تستخدم في منظمات الحرارة (أجهزة الثرموستات).

يتكون المزدوج الحراري من شريحتين من فلزين مختلفين، ملحومتين أو مثبتتين إحداهما إلى جوار الأخرى، وتكون إحداهما عادة من النحاس الأصفر، والأخرى من الحديد، وعند تسخينهما يتمدد النحاس الأصفر أكثر من الحديد. وعندما يُسخّن الشريط الثنائي الفلز (النحاس الأصفر والحديد)، يصبح جزء النحاس أطول من جزء الحديد، ونتيجة لذلك ينحني الشريط الثنائي الفلز بحيث يكون النحاس على السطح الخارجي للمنحنى، وعندما يبرد ينحني في الاتجاه العكسي، حيث يكون النحاس في الجزء الداخلي للمنحنى.

يُركَّب الشريط الثنائي الفلز في منظم الحرارة (الثرموستات) في أجهزة التدفئة المنزلية، كما في **الشكل 22–1**، بحيث ينحني في اتجاه نقطة التوصيل الكهربائي عندما تبرد الغرفة؛ فعندما تنخفض درجة حرارة الغرفة أقل من درجة الحرارة المحددة في جهاز الثرموستات ينحني الشريط الثنائي الفلز بمقدار يكون كافيًا لإحداث توصيل كهربائي مع المفتاح حيث يُشغِّل المُسخِّن، وحينما تصل درجة حرارة الغرفة إلى درجة الحرارة المحددة في جهاز الثرموستات تفتح الدائرة الكهربائية، ويتوقف المسخِّن عن العمل. أما في أجهزة التبريد فيصمم الشريط الثنائي الفلز بحيث ينحني لإحداث توصيل كهربائي يشغل المبرد إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى حد معين في جهاز الثيرموستات، وعندما تنخفض الحرارة عن حد معين ينحني في الاتجاه المعاكس، فيوقف عمل المبرد.



الشكل 22–1 في منظم الحرارة (الثيرموستات) المبين هنا، يتحكم شريط حلزوني الشكل مصنوع من فلزين (مزدوج حراري) في تدفق الزئبق لفتح الدوائر الكهربائية وإغلاقها.

4–1 مراجعة

45. التقلص الحراري النسبي إذا ركَّبت بابًا من الألومنيوم في يوم حار على إطار باب من الأسمنت، وأردت أن يكون الباب محكم الإغلاق تمامًا في أيام الشتاء الباردة، فهل ينبغي أن تجعل الباب محكمًا في الإطار أم تترك فراغًا إضافيًّا؟

46. حالات المادة لماذا يعد الشمع مادة صلبة؟ ولماذا يُعد أيضًا سائلاً لزجًا؟

47. التمدد الحراري هل يمكنك تسخين قطعة من النحاس بحيث يتضاعف طولها؟

48. حالات المادة هل يزودنا **الجدول 2–1** بطريقة للتمييز بين الموادّ الصلبة والسوائل؟

49. المواد الصلبة والسوائل يمكن تعريف المادة الصلبة على أنها تلك المادة التي يمكن ثنيها على الرغم من أنها تقاوم الانحناء. فسر كيف ترتبط هذه الخصائص مع ترابط الذرات في المواد الصلبة لكنها لا تنطبق على السوائل؟

50. التفكير الناقد قُطع من الحلقة الحديدية الصلبة في **الشكل 23–1** قطعة صغيرة. فإذا سُخِّنت الحلقة التي في الشكل، فهل تصبح الفجوة أكبر أم أصغر؟ وضح إجابتك.

الشكل 23–1

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مختبر الفيزياء

التبريد بالتبخر

هل سبق أن سكبت كمية صغيرة من الكحول على جلدك؟ من المحتمل أنك قد شعرت بالبرودة. وقد تعلمت سابقًا أن هذه البرودة تكون نتيجة التبخر. ستختبر في هذه التجربة المعدلات التي تتبخر بها أنواع مختلفة من الكحول. إن الكحول مادة مكونة من مجموعة الهيدروكسيل الوظيفية (OH–) مرتبطة مع الكربون أو مع سلسلة كربونية. وستستنتج من خلال ملاحظاتك عن التبريد بالتبخر الشدة النسبية لقوى التماسك في الكحول الخاضع للاختبار.

سؤال التجربة

ما الفرق بين معدلات تبخر أنواع مختلفة من الكحول؟ وما أوجه الشبه بينها؟

الأهداف

- **تجمع** البيانات حول تبخر أنواع مختلفة من الكحول وتنظمها.
- **تقارن** بين معدلات تبخر أنواع مختلفة من الكحول.
- **تحلّل** سبب تبخر بعض أنواع الكحول بمعدل أكبر مقارنة بالأنواع الأخرى.
- **تستنتج** العلاقة بين قوى التماسك ومعدلات التبخر.

المواد والأدوات

ميثانول (كحول الميثيل)
إيثانول (كحول إيثيلي)
2–بروبانول (كحول إيزوبروبيلي)
شريط لاصق (قطعتان)
مقياس حرارة (غير زئبقي)
ورق ترشيح (ثلاث قطع 2.5 cm × 2.5 cm)
رباطات مطاطية صغيرة

احتياطات السلامة

- **الموادّ الكيميائية المستخدمة في هذه التجربة قابلة للاشتعال وسامّة، فلا تستنشق الأبخرة المتصاعدة من هذه الكيماويات، ولا تترك مصدرًا مشتعلاً بالقرب من هذه المواد، واستخدم هذه المواد في غرفة جيدة التهوية أو تحتوي على جهاز طرد الغازات.**
- **احذر ملامسة هذه المواد لجلدك أو ملابسك، وأخبر معلمك فورًا إذا وقع حادث أو انسكبت إحدى هذه الموادّ.**
- **اغسل يديك جيدًا بعد إنهاء التجربة.**

الخطوات

1. غلّف مقياس الحرارة بقطعة مربعة من ورق الترشيح، وثبتها جيدًا برباط مطاطي صغير. ولتنفيذ ذلك ضع الرباط المطاطي أولاً على مقياس الحرارة، ثم لف الورقة حول مقياس الحرارة، ولف الرباط المطاطي حول الورقة، واحرص على أن تكون الورقة ملفوفة بإحكام حول نهاية مقياس الحرارة.
2. أحضر إناءً صغيرًا فيه ميثانول، وضع نهاية مقياس الحرارة المغطاة بالورقة فيه . ولا تدع الإناء ينقص، واترك مقياس الحرارة في الإناء دقيقة واحدة.
3. سجّل بعد دقيقة واحدة درجة الحرارة التي يقرؤها مقياس الحرارة في جدول البيانات في العمود T_1. حيث تمثل هذه القراءة درجة الحرارة الابتدائية للميثانول.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

جدول البيانات			
سائل	T_2 (°C)	T_1 (°C)	ΔT (°C)
الكحول الميثيلي			
الكحول الايثيلي			
الكحول الأيزوبروبيلي			

4. أزل مقياس الحرارة من الميثانول وضعه على حافة الطاولة بحيث يمتد طرف مقياس الحرارة 5 cm تقريبًا خلف الحافة. واستخدم الشريط اللاصق لتثبيت مقياس الحرارة في مكانه.
5. راقب درجة الحرارة خلال التجربة، وبعد مضي أربع دقائق راقب، ثم سجل درجة الحرارة في البيانات في العمود T_2.
6. أزل الرباط المطاطي من مقياس الحرارة، وتخلص من ورقة الترشيح حسب تعليمات المعلم.
7. كرر الخطوات من 1 إلى 6، متخذًا الإيثانول سائلاً في هذه الحالة، وسجّل النتائج في جدول البيانات.
8. كرر الخطوات من 1 إلى 6، متخذًا كحول الأيزوبروبيل سائلاً في هذه الحالة، وسجّل النتائج في جدول البيانات.

التحليل

1. **فسر النتائج** هل أظهر مقياس الحرارة في أثناء محاولاتك ارتفاعًا في درجة الحرارة أم انخفاضًا؟ ولماذا؟
2. احسب ΔT لكل من السوائل، وذلك بإيجاد الفرق بين درجة الحرارة النهائية ودرجة الحرارة الابتدائية للسوائل $(T_2 - T_1)$.
3. استخدم الصيغ الكيميائية للميثانول (CH_3OH)، والإيثانول (C_2H_5OH)، وكحول الأيزوبروبيل (C_3H_7OH)؛ لتحديد الكتلة المولية لكل من المحاليل التي تم اختبارها. ستحتاج إلى الرجوع للجدول الدوري لحساب الكتلة المولية.
4. **استنتج** ماذا تستنتج من قيمة ΔT في كل محاولة بالنسبة لمعدل التبخر للأنواع المختلفة من الكحول؟
5. **التفكير الناقد** لماذا وُضع الورق على مقياس الحرارة بدلاً من استخدام مقياس الحرارة وحده؟

الاستنتاج والتطبيق

1. استخدم معدلات التبخر للكحول التي درستها، كيف يمكن أن تحدد أي أنواع الكحول قوة تماسكه أكبر؟
2. أي أنواع الكحول قوة تماسكه أقل؟
3. ما العلاقة العامة التي وجدتها بين التغير في درجة الحرارة (ΔT) والكتلة المولية للكحول؟
4. **كوّن فرضية** هل يؤدي تشغيل مروحة في المختبر إلى تغيير درجة حرارة الغرفة؟ وهل يغير قيمة ΔT التي راقبتها؟ وضح ذلك.

التوسع في البحث

توقع مقدار ΔT لكحول 1- بيوتانول الذي صيغته الكيميائية C_4H_9OH بالنسبة إلى قيم ΔT لأنواع الكحول التي اختبرتها.

الفيزياء في الحياة

بدأت دائرة الأرصاد الجوية الأمريكية في استخدام دليل برودة الرياح عام 2001م، وكانت خرائط الطقس القديمة تعتمد على البيانات المستخلصة من تجارب تجمد الماء التي أُجريت في منطقة القطب الجنوبي سنة 1940م. وضح كيف ترتبط برودة الرياح مع التبريد بالتبخر؟ ولماذا تعد هذه الظاهرة مهمة في الطقس البارد؟ وما التعديل الذي أضافته الخرائط الحديثة للخرائط القديمة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

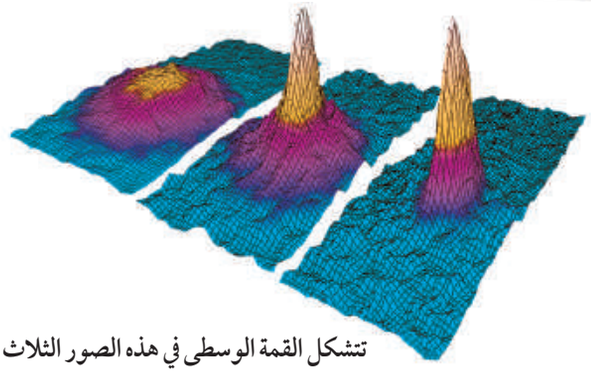
المادة العجيبة A Strange Matter

أصبحت حالات المادة الأربع الأكثر شيوعًا (الصلبة، والسائلة، والغازية، والبلازما) مألوفة لديك، ولكن هل علمت أن هناك حالة خامسة للمادة؟ تَعرَّفْ تكثّف بوز – أينشتاين (BEC).

ما تكثّف بوز - أينشتاين؟ إن بدايات BEC كانت عام 1920م من خلال الدراسات التي قام بها ستندراناث بوز على قوانين فيزياء الكم التي تخضع لها طاقات الفوتونات. فقد طبّق أينشتاين معادلات بوز على الذرات، وأظهرت المعادلات أنه إذا كانت درجة الحرارة لذرات معينة منخفضة فإن معظم الذرات ستكون في مستوى الطاقة الكمي نفسه. وبتعبير آخر، عند درجات الحرارة المنخفضة جدًّا تهبط الذرات التي تحتل مستويات مختلفة للطاقة فجأة إلى أقل مستوى ممكن للطاقة. وعند درجات الحرارة هذه – والتي لا توجد في الطبيعة، ولكن يمكن إيجادها في المختبر باستخدام تقنية متقدمة جدًّا – لا يمكن التمييز بين ذرات BEC كما تكون مواقعها متماثلة.

كيف نشأت BEC؟ تمكن العالمان إيرك كورنيل وكارل وايمن من التوصل إلى أول حالة BEC في عام 1995م، ولإيجاد BEC استخدم العالمان ذرات عنصر الروبيديوم. وكان عليهما أن يقررا كيفية تبريد هذه الذرات إلى درجة حرارة أخفض من أي درجة تم الوصول إليها حتى تلك اللحظة.

وقد تندهش عندما تعلم أن إحدى الخطوات المهمة للوصول إلى درجات حرارة منخفضة جدًّا هي استخدام أشعة الليزر لتبريد ذرات الروبيديوم. يمكن لليزر صهر الفلز، ويمكنه أيضًا تبريد عينة من الذرات إذا ضُبط؛ لكي ترتد فوتوناته عن الذرات، وفي هذه الحالة ستحمل الفوتونات جزءًا من طاقة الذرات ممّا يؤدي إلى انخفاض



تتشكل القمة الوسطى في هذه الصور الثلاث عند تكثف الذرات لتكوين BEC.

درجة حرارة العينة، ولكن أشعة الليزر لن تُبرّد العينة إذا لم يتم ضبطها بدقة عالية.

وعندما تُضبط أشعة الليزر عند التردّد المناسب فإن النتيجة تكون عبارة عن عينة ذراتها باردة جدًّا.

تُحفظ هذه الماده المتكوّنة في حيّزٍ يحدده شعاع الليزر مع المجال المغناطيسي، ولا تُحفظ في وعاء ماديّ لمنع حدوث تماسٍّ حراري يكسبها حرارة.

تُبرّد هذه العينة عن طريق الليزر إلى درجة حرارة ($\frac{1}{10000}$K) تقريبًا)، لكنها بذلك لن تكون باردة بما يكفي لتكوين BEC؛ لذا يستخدم العلماء التبريد بالتبخير لإنجاز الخطوة النهائية للوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة. وتتم عملية التبريد بالتبخير كالآتي:

يتم احتجاز الذرات في وعاء ثم يطبق عليه مجال مغناطيسي قوي جداً، يؤثر هذا المجال عليها بقوة فيسمح للذرات ذات الطاقة الأعلى بالانطلاق تاركة الذرات ذات الطاقة المتدنية جداً، وهذه هي الذرات التي تتكثف فجأة لتكوين BEC.

التوسع

1. **قوِّم** الصعوبات التي يمكن أن تواجه العلماء للتغلب على إيجاد تطبيقات لحالة BEC.
2. **قارن** هل عملية التبريد بالتبخير التي توجِد حالة BEC هي العملية نفسها التي تساعدك على الحفاظ على برودتك في يوم حار؟ وضح ذلك

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 1
دليل مراجعة الفصل

1–1 خصائص الموائع Properties of fluids

المفردات

- الموائع
- الضغط
- باسكال
- القانون العام للغازات
- قانون الغاز المثالي
- التمدد الحراري
- البلازما

المفاهيم الرئيسة

- من خصائص المواد في الحالة السائلة القدرة على التدفق وعدم ثبات الشكل.
- الضغط يساوي القوة مقسومة على المساحة التي تؤثر فيها القوة. $P = \frac{F}{A}$
- يمكن استخدام القانون العام للغازات لحساب التغير في الحجم، ودرجة الحرارة، وضغط الغاز المثالي.

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

- يمكن كتابة قانون الغاز المثالي على النحو الآتي: $PV = nRT$

1–2 القوى داخل السوائل Forces within Liquids

المفردات

- قوى التماسك
- قوى التلاصق

المفاهيم الرئيسة

- قوى التماسك هي قوى التجاذب التي تؤثر بها الجزيئات المتماثلة بعضها في بعض، ويَنتج كلٌّ من التوتر السطحي واللزوجة عن قوى التماسك.
- قوى التلاصق هي قوى تجاذب تؤثر بها جزيئات المواد المختلفة بعضها في بعض، وتنتج الخاصية الشعرية عن قوى التلاصق.

1–3 الموائع الساكنة و الموائع المتحركة Fluids at Rest and in Motion

المفردات

- مبدأ باسكال
- قوة الطفو
- مبدأ أرخميدس
- مبدأ برنولي
- خطوط الانسياب

المفاهيم الرئيسة

- ينتقل التغير في الضغط، دون نقصان، خلال السائل اعتمادًا على مبدأ باسكال. $F_2 = \frac{F_1A_2}{A_1}$
- يتناسب الضغط عند عمق معين طرديًّا مع وزن المائع عند ذلك العمق. $P = \rho hg$
- قوة الطفو تساوي وزن المائع المزاح عن طريق جسم اعتمادًا على مبدأ أرخميدس.

$$F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{المائع}} Vg$$

- ينص مبدأ برنولي على أن ضغط المائع ينخفض كلّما ازدادت سرعته.

1–4 المواد الصلبة Solids

المفردات

- الشبكة البلورية
- الموادّ الصلبة غير البلورية
- معامل التمدد الطولي
- معامل التمدد الحجمي

المفاهيم الرئيسة

- تترتب الجزيئات في المواد الصلبة البلورية وفق نمط منتظم، أما المواد الصلبة غير البلورية فلا يوجد لجزيئاتها نمط منتظم.
- يتناسب التمدد الحراري طرديًّا مع التغير في درجة الحرارة والحجم الأصلي، ويعتمد ذلك على نوع المادة.

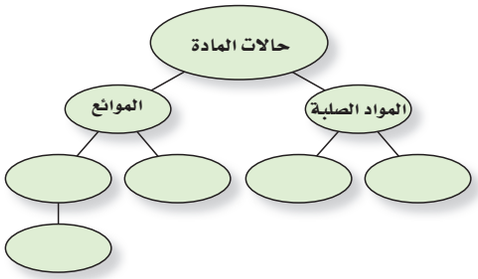
$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T} \qquad \beta = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta T}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 1 التقويم

خريطة المفاهيم

51. أكمل خريطة المفاهيم أدناه مستخدمًا المصطلحات الآتية: الكثافة، اللزوجة، المرونة، الضغط. ويمكن استخدام المفهوم الواحد أكثر من مرة.



إتقان المفاهيم

52. كيف تختلف القوة عن الضغط؟ (1-1)

53. حُصِر غاز في وعاء مغلق بإحكام، ووضع سائل في وعاء له الحجم نفسه وكان لكل من الغاز والسائل حجم محدد، فكيف يختلف أحدهما عن الآخر؟ (1-1)

54. ما أوجه التشابه والاختلاف بين الغازات والبلازما؟ (1-1)

55. تتكون الشمس من البلازما، فكيف تختلف بلازما الشمس عن تلك التي على الأرض؟ (1-1)

56. **البحيرات** تنصهر البحيرات المتجمدة خلال فصل الربيع، فما تأثير ذلك في درجة حرارة الهواء فوق البحيرة؟ (1-2)

57. **الكشافة** تُغطي المطّارات التي يستخدمها الكشافة أحيانًا بكيس من قماش الكتّان. إذا رطّبت الكيس الذي يغطي المطرة فإن الماء في المطرة سيبرد. فسر ذلك. (1-2)

58. ماذا يحدث للضغط عند قمة الإناء إذا ازداد الضغط عند قاعه اعتمادًا على مبدأ باسكال؟ (1-3)

59. ينتقل تيار مائي خلال خرطوم ويخرج من فوهته. فماذا يحدث لضغط الماء عندما تزداد سرعته؟ (1-3)

60. بم تخبرك الأواني المستطرقة الموضحة في **الشكل 1-24** عن الضغط المؤثر بواسطة السائل؟ (1-3)

الشكل 1-24

61. قارن بين ضغط الماء على عمق 1 m تحت سطح بركة صغيرة وضغط الماء عند العمق نفسه تحت سطح بحيرة؟ (1-3)

62. كيف يختلف ترتيب الذرات في المادة البلورية عن ترتيبها في المادة غير البلورية؟ (1-4)

63. هل يعتمد معامل التمدد الطولي على وحدة الطول المستخدمة؟ فسر ذلك. (1-4)

تطبيق المفاهيم

64. يستقر صندوق على شكل متوازي مستطيلات على وجهه الأكبر على طاولة. فإذا أُدير الصندوق بحيث أصبح يستقر على وجهه الأصغر، فهل يزداد الضغط على الطاولة، أم ينقص أم يبقى دون تغيير؟

65. بَيّن أن وحدة الباسكال تكافئ وحدة $kg/m.s^2$.

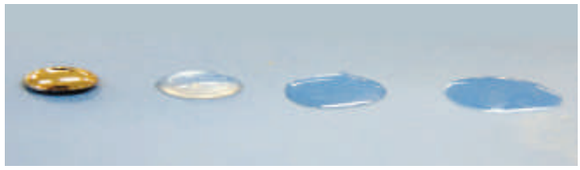
66. **شحن البضائع** أيهما تغطس لمسافة أعمق في الماء: باخرة مملوءة بكرات تنس الطاولة أم باخرة فارغة مماثلة لها؟ فسر إجابتك.

67. ما عمق وعاء من الماء الضغط عند قاعه يساوي قيمة الضغط في قاع وعاء مملوء بالزئبق، وعمقه 10.0 cm ، علمًا بأن كثافة الزئبق تزيد 13.55 مرة على كثافة الماء؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 1

68. وضعت قطرات من الزئبق، والماء، والإيثانول والأسيتون على سطح مستو أملس، كما في **الشكل 25–1**. ماذا تستنتج عن قوى التماسك في هذه السوائل من خلال هذا الشكل ؟



الشكل 25–1

69. يتبخر الكحول بمعدل أسرع من تبخر الماء عند درجة الحرارة نفسها، ماذا تستنتج من هذه الملاحظة عن خصائص الجزيئات في كلا السائلين؟

70. افترض أنك استخدمت مثقبًا لإحداث ثقب دائري في صفيحة من الألومنيوم. إذا سخنت الصفيحة، فهل يزداد حجم الثقب أم يقل؟ فسر ذلك.

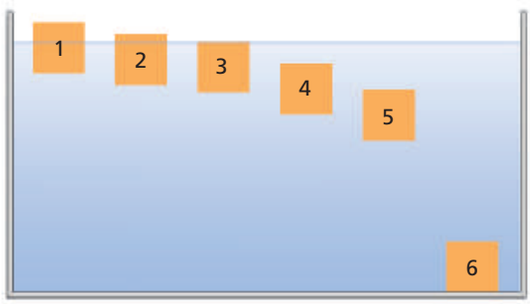
71. وضعت خمسة أجسام في خزان من الماء كثافاتها على النحو الآتي:

a. $0.85\ g/cm^3$ **d.** $1.15\ g/cm^3$

b. $0.95\ g/cm^3$ **e.** $1.25\ g/cm^3$

c. $1.05\ g/cm^3$

وكثافة الماء $1.00\ g/cm^3$. ويوضح **الشكل 26–1** ستة مواقع محتملة لهذه الأجسام، اختر المواقع من 1 إلى 6 لكل من الأجسام الخمسة. (ليس من الضروري اختيار المواقع كلها)



الشكل 26–1

72. تم تسخين حجمين متساويين من الماء في أنبوبين ضيقين ومتماثلين، إلا أن الأنبوب A مصنوع من الزجاج العادي، والأنبوب B مصنوع من الزجاج القابل للتسخين في الأفران. وعندما ارتفعت درجة الحرارة، ارتفع مستوى الماء في الأنبوب B أكثر من الأنبوب A. فسر ذلك.

إتقان حلّ المسائل

1–1 خصائص الموائع

73. **الكتاب المقرر** كتاب فيزياء كتلته 0.85 kg، وأبعاد سطحه $24.0\ cm \times 20.0\ cm$، يستقر على سطح طاولة.

a. ما القوة التي يؤثر بها الكتاب في الطاولة؟

b. ما الضغط الذي يؤثر به الكتاب؟

74. أسطوانة مصمتة كتلتها 75 kg وطولها 2.5 m ونصف قطر قاعدتها 7.0 cm تستقر على إحدى قاعدتيها. ما مقدار الضغط الذي تؤثر به؟

75. ما مقدار القوة الرأسية الكلية أسفل الغلاف الجوي التي تؤثر في قمة رأسك الآن؟ افترض أن مساحة قمة رأسك $0.025\ m^2$ تقريبًا.

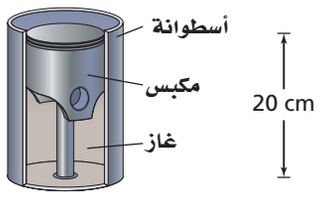
76. **المشروبات الغازية** إن غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) المذاب في شراب الصودا يجعله يفور، وتتم عادة إذابة كمية من غاز ثاني أكسيد الكربون تساوي 8.0 L تقريبًا عند ضغط يساوي الضغط الجوي ودرجة حرارة 300.0 K في زجاجة مشروبات غازية سعتها 2 L. إذا كانت الكتلة المولية للغاز CO_2 تساوي $44\ g/mol$.

a. فما عدد المولات من غاز ثاني أكسيد الكربون في زجاجة سعتها 2 L؟

b. وما كتلة غاز ثاني أكسيد الكربون الموجودة في زجاجة صودا سعتها 2 L؟

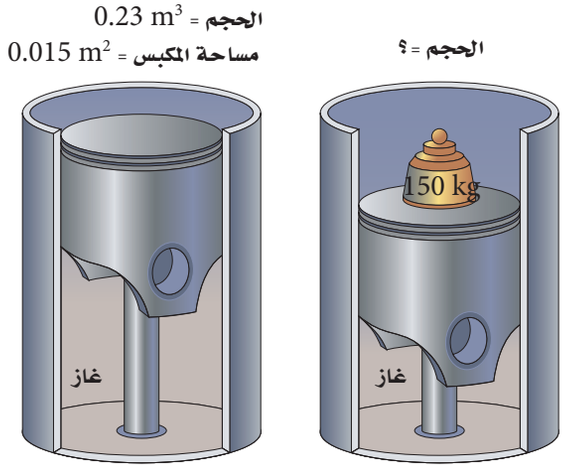
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

77. كما هو موضّح في **الشكل 27–1**، يتكوّن مقياس الحرارة ذو الضغط الثابت من أسطوانة تحتوي على مكبس يتحرك بحرية داخل الأسطوانة، ويبقى كل من الضغط وكمية الغاز داخل الأسطوانة ثابتين. وعندما ترتفع درجة الحرارة أو تنخفض يتحرك المكبس إلى أعلى الأسطوانة أو إلى أسفلها. إذا كان ارتفاع المكبس في الأسطوانة 20 cm عند 0 °C، فما ارتفاع المكبس عندما تكون درجة الحرارة 100 °C؟



الشكل 27–1

78. يَحصر مكبس مساحته $0.015\ m^2$ كمية ثابتة من الغاز في أسطوانة حجمها $0.23\ m^3$. فإذا كان الضغط الابتدائي للغاز $1.5\times10^5\ Pa$، ووضع جسم كتلته $150\ kg$ على المكبس، فتحرك المكبس في اتجاه الأسفل إلى موقع جديد كما موضّح في **الشكل 28–1**، فما الحجم الجديد للغاز داخل الأسطوانة؟، علمًا بأن درجة الحرارة ثابتة؟



الشكل 28–1

79. **المركبات** يصمم إطار سيارة معينة ليستخدم عند ضغط معاير مقداره 30.0 psi، أو 30.0 باوند لكل إنش مربع (واحد باوند لكل إنش مربع يساوي $6.90\times10^3\ Pa$) ومصطلح ضغط معاير يعني الضغط الأعلى من الضغط الجوي. إن الضغط الحقيقي داخل الإطار يساوي $1.01\times10^5 Pa + (30.0 psi)(6.90\times10^3\ Pa/psi) =$ $3.08\times10^5\ Pa$، وعندما تتحرك السيارة تزداد درجة حرارة الإطار ويزداد الضغط والحجم كذلك. افترض أنك ملأت إطار السيارة للحجم $0.55\ m^3$ عند درجة حرارة 280 K وكان الضغط الابتدائي 30.0 psi، ولكن ازدادت درجة حرارة الإطار في أثناء القيادة لغاية 310 K وازداد الحجم ليصبح $0.58\ m^3$.

a. ما مقدار الضغط الجديد في الإطار؟

b. ما الضغط المعاير الجديد؟

3–1 الموائع الساكنة والموائع المتحركة

80. **الخزان** إذا كان عمق الماء خلف سد 17m، فما ضغط الماء عند المواقع المختلفة الآتية؟

a. عند قاعدة السد.

b. على عمق 4.0 m من سطح الماء.

81. يستقر أنبوب اختبار رأسيًّا على حامل أنابيب اختبار، ويحتوي على زيت ارتفاعه 2.5cm وكثافته $0.81\ g/cm^3$، وماء ارتفاعه 6.5 cm. ما مقدار الضغط المؤثر للسائلين عند قاع أنبوب الاختبار؟

82. **الأثريات** تمثال طائر أثري مصنوع من معدن أصفر مُعلق بميزان نابضي، تشير قراءة الميزان النابضي إلى 11.81 N عندما يُعلق التمثال في الهواء، وتشير إلى 11.19 N عندما يُغمر التمثال كليًّا في الماء.

a. أوجد حجم التمثال.

b. هل تمثال الطائر مصنوع من الذهب $(\rho = 19.3\times10^3\ kg/m^3)$ أم مصنوع من الألومنيوم المطلي بالذهب $(\rho = 2.7\times10^3\ kg/m^3)$؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 1

83. خلال تجربة في علم البيئة وضع حوض لتربية الأسماك مملوء حتى منتصفه بالمـــاء على ميزان، فكانت قراءة الميزان 195 N.

a. أُضيف حجر وزنه 8 N إلى الحوض، فإذا غطس الحجر إلى قاع الحوض، فما قراءة الميزان؟

b. أُزيل الحجر من الحوض، وعدّلت كمية الماء حتى عادت قراءة الميزان ثانيـــة 195 N، فإذا أضيفت ســـمكة تزن 2 N إلى الحوض، فما قراءة الميزان في حالة وجود السمكة في الحوض؟

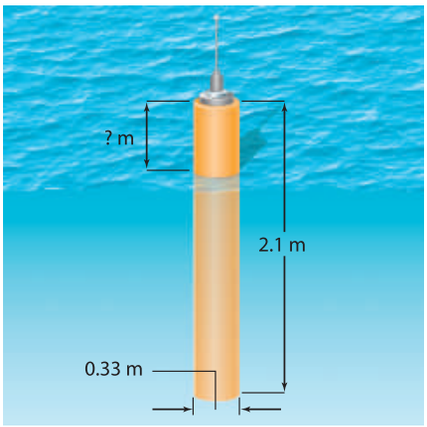
84. ما مقدار قوة الطفو المؤثرة في كرة وزنها 26.0 N إذا كانت تطفو على سطح ماء عذب؟

85. ما مقدار أقصى وزن يستطيع أن يرفعه في الهواء بالون مملوء بحجم $1.00\ m^3$ من غاز الهيليوم؟ افترض أن كثافة الهواء $1.20\ kg/m^3$ وكثافة غاز الهيليوم $0.177\ kg/m^3$، وأهمل كتلة البالون.

86. تزن صخرة 54 N في الهواء، وعندما غمرت في سائل كثافته ضعف كثافة الماء أصبح وزنها الظاهري 46 N. ما وزنها الظاهري عندما تُغمر في الماء؟

87. **جغرافية المحيطات** انظر إلى **الشكل 29–1**، تستخدم عوّامة كبيرة لحمل جهاز يستخدم في دراسة جغرافية المحيطات، وكانـــت العوّامة مصنوعـــة من خزان أسطواني مجوف. فإذا كان ارتفاع الخـــزان 2.1 m، ونصف قطـــره 0.33 m، والكتلـــة الكلية للعوّامة وجهاز البحث 120 kg تقريبًا. ويجب على العوّامة أن تطفو بحيث يكون أحد طرفيها فوق سطح الماء؛ وذلك لحمل جهاز بث راديوي.

افترض أن العوّامة تحوي الجهاز، وأن كتلتها موزعة بانتظام، فكم يكون ارتفاع العوّامة فوق سطح الماء عندما تطفو؟



الشكل 29–1

1–4 المواد الصلبة

88. إذا كان طول قضيب مصنوع من معدن مجهـول 0.975 m عند 45 °C، وتناقص طولـــه ليصبح 0.972 m عند 23 °C، فما معامل تمدده الطولي؟

89. صمّم مخترع مقياس حرارة من قضيب ألومنيوم طوله 0.500 m عند درجة حرارة 273 K. واعتمد المخترع قياس طول قضيب الألومنيوم لتحديد درجة الحرارة. فإذا أراد المخترع أن يقيس تغيرًا في درجة الحرارة مقداره 1.0 K ، فكم يجب أن تكون دقة قياس طول القضيب؟

90. **الجسور** جسر أسمنتي طوله 300 m في شهر أغسطس عندما كانت درجة الحرارة 50 °C، فكم يكون مقدار الفرق في الطول في إحدى ليالي شهر يناير إذا كانت درجة الحرارة 10 °C؟

91. أنبـــوب من النحاس طوله 2.00 m عند 23 °C. ما مقدار التغير في طوله إذا ارتفعت درجة حرارته إلى 978 °C؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

92. مـا التغير في حجـم قالب من الأسـمنت حجمه $1.0\ m^3$ إذا ارتفعت درجة حرارته بمقدار $45\ ^\circ C$؟

93. **الجسور** يسـتخدم عمال بناء الجسور عادة مسامير فولاذية بحيث تكون أكبر من ثقب المسمار؛ وذلك لجعل الوصلة مشدودة أكثر. ويُبرّد المسمار قبل وضعه في الثقب. افترض أن العامل حفر ثقبًا نصف قطره $1.2230\ cm$ لمسمار نصف قطره $1.2250\ cm$، فلأي درجة حرارة يجب أن يُبرّد المسمار ليدخل في الثقب بشكل محكم إذا كانت درجة حرارته الابتدائية $20.0\ ^\circ C$؟

94. خزان مصنـوع من الفولاذ نصف قطره $2.000\ m$ وارتفاعه $5.000\ m$ مُلئ بالميثانول عند درجة حرارة $10\ ^\circ C$. فإذا ارتفعت درجة الحرارة حتى $40.0\ ^\circ C$، فما مقدار الميثانول الذي سـيتدفق خارج الخزان إذا تمدّد كل من الخزان والميثانول؟

95. سُـخّنت كرة من الألومنيوم حتى أصبحت درجة حرارتها $580\ ^\circ C$، فإذا كان حجم الكرة $1.78\ cm^3$ عند درجة حرارة $11\ ^\circ C$، فما مقدار الزيادة في حجم الكرة عند $580\ ^\circ C$؟

96. إذا أصبح حجم كـرة من النحاس $2.56\ cm^3$ بعد تسـخينها من $12\ ^\circ C$ إلى $984\ ^\circ C$، فما حجم الكرة عند $12\ ^\circ C$ ؟

97. صفيحة من الفولاذ مربعة الشكل طول ضلعهـا $0.330\ m$، سُخنت من $0\ ^\circ C$ حتى أصبحت درجة حرارتها $95\ ^\circ C$.

a. ما مقدار تغير طول جوانب المربع؟

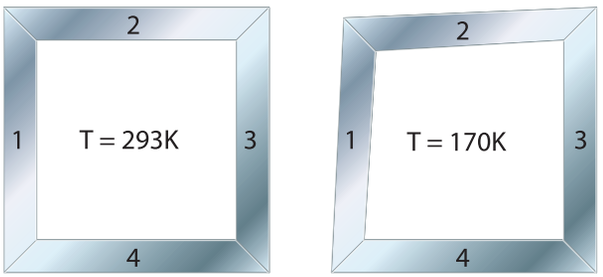
b. ما نسبة التغير في مساحة المربع؟

98. مكعب من الألومنيوم حجمه $0.350\ cm^3$ عند درجة حرارة $350.0\ K$، فإذا بُرّد إلى $270.0\ k$ فما مقدار:

a. حجمه عند درجة $270.0\ K$؟

b. طول ضلع المكعب عند درجة $270.0\ K$؟

99. **الصناعة** صمّم مهندس قطعة ميكانيكية مربعة الشكل لنظام تبريد خاص. تتألف القطعة الميكانيكية من قطعتين مسـتطيلتين من الألومنيوم، وقطعتين مستطيلتين من الفـولاذ، وكانت القطعة المصممة مربعـة تمامًا عند درجة $293\ K$، ولكن عند درجـة $170\ K$ أصبحت القطعة مفتولة كما في **الشـكل 30–1**. حدد أي القطع المبينة في الشكل مصنوعة من الفولاذ، وأيها مصنوعة من الألومنيوم؟



الشكل 30–1

مراجعة عامة

100. ما مقدار الضغط المؤثر في جسم الغواصة عند عمق $65\ m$؟

101. **جهاز الغطس** يسبح غطّاس مستخدمًا جهاز الغطس على عمـق $5.0\ m$ تحت الماء مطلقًا $4.2 \times 10^{-6}\ m^3$ من فقاقيع الهواء. ما حجم تلك الفقاقيع قبل وصولها إلى سطح الماء تمامًا؟

102. تطفو كرة بولنج وزنهـا $18\ N$ بحيث ينغمر نصفها فقط في الماء.

a. ما مقدار قطر كرة البولينج؟

b. ما الوزن الظاهري تقريبًا لكرة بولنج تزن $36\ N$؟

103. يطفو قضيب من الألومنيوم في حوض زئبق. فهل يطفو القضيب إلى أعلى أكثر أم أن جزءًا أكبر منه سـينغمر عند تسخين الزئبق والألومنيوم معًا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 1

104. وضع 100.0 ml من الماء في وعاء من الزجاج العادي سعته 800.0 ml عند 15.0 °C. كم سيرتفع مستوى الماء أو ينخفض عندما يُسخن كل من الإناء والماء إلى 50.0 °C؟

105. **صيانة السيارات** تُستخدم رافعة هيدروليكية لرفع السيارات لصيانتها، وتسمى رافعة الأطنان الثلاثة. فإذا كان قطر المكبس الكبير 22 mm، وقطر المكبس الصغير 6.3 mm. افترض أن قوة ثلاثة أطنان تعادل 3.0×10^4 N.

a. فما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر في المكبس الصغير لرفع وزن مقداره ثلاثة أطنان؟

b. تستخدم معظم رافعات السيارات رافعة لتقليل القوة اللازمة للتأثير فيها في المكبس الصغير. فإذا كان طول ذراع المقاومة 3.0 cm، فكم يجب أن يكون طول ذراع القوة لرافعة مثالية لتقليل القوة إلى 100.0 N؟

106. **المنطاد** يحتوي منطاد الهواء الساخن على حجم ثابت من الغاز. عندما يُسخَّن الغاز يتمدد ويطرد بعض الغاز خارجًا من النهاية السفلى المفتوحة، لذلك تنخفض كتلة الغاز في المنطاد. فلماذا ينبغي أن يكون الغاز في المنطاد أكثر سخونة لرفع حمولة من الأشخاص إلى قمة ارتفاعها 2400 m عن سطح البحر، مقارنة بمنطاد مهمته رفع الحمولة ذاتها من الأشخاص إلى ارتفاع 6 m عن مستوى سطح البحر؟

107. **عالم الأحياء** تستطيع بعض النباتات والحيوانات العيش تحت ضغط مرتفع جدًّا.

a. ما مقدار الضغط المؤثر بوساطة الماء في جسم سمكة أو دودة تعيش بالقرب من قاع أخدود مائي في منطقة بورتوريكو الذي يبلغ عمقه 8600 m تحت سطح المحيط الأطلنطي؟ افترض أن كثافة مياه البحر $1030\ kg/m^3$.

b. ما كثافة الهواء عند ذلك الضغط بالنسبة لكثافته فوق سطح المحيط؟

التفكير الناقد

108. **تطبيق المفاهيم** إذا كنت تغسل الأواني في حوض، فطفا أحد الأواني، فملأته بماء الحوض فغطس إلى القاع، فهل ارتفع مستوى الماء في الحوض أم انخفض عندما انغمر الإناء؟

109. **تطبيق المفاهيم** إن الأشخاص الملازمين للسرير أقل احتمالاً للإصابة بمرض تَقَرُّح الفراش إذا استخدموا فرشة الماء بدلاً من الفرشات العادية. فسّر ذلك.

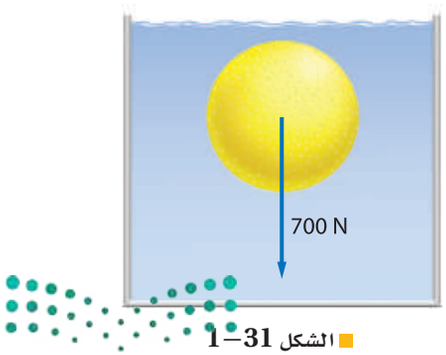
110. **حلّل** تعتمد إحدى طرائق قياس النسبة المئوية لمحتوى الدهون في الجسم على حقيقة أن الأنسجة الدهنية أقل كثافة من الأنسجة العضلية. كيف يمكن تقدير معدل كثافة شخص باستخدام ميزان وبركة سباحة؟ وما القياسات التي يحتاج الطبيب إلى تدوينها لإيجاد معدل النسبة المئوية للدهون في جسم شخص ما؟

111. **حلّل واستنتج** يلزم قوة رأسية إلى أسفل مقدارها 700 N لغمر كرة من البلاستيك كليًّا كما في **الشكل 31–1**. إذا علمت أن كثافة البلاستيك $95\ kg/m^3$، فما مقدار:

a. النسبة المئوية للجزء المغمور من الكرة إذا تُركت تطفو بحرية؟

b. وزن الكرة في الهواء؟

c. حجم الكرة؟



الشكل 31–1

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 1

112. تطبيق المفاهيم تُوضع الأسماك الاستوائية التي تُربى في أحواض السمك المنزلية عند شرائها في أكياس بلاستيكية شفافة مملوءة جزئيًّا بالماء. إذا وضعت سمكة في كيس مغلق داخل الحوض، فأي الحالات المبينة في **الشكل 32–1** تمثل أفضل ما يمكن أن يحدث؟ فسر استدلالك.

الشكل 32–1

الكتابة في الفيزياء

113. تتمدد بعض المواد الصلبة عندما تبرد، ومن أكثر الأمثلة شيوعًا تمدد الماء عند انخفاض درجة حرارته بين 4 °C و 0 °C ، ولكن تتمدد الأربطة المطاطية أيضًا عند تبريدها، ابحث عن سبب هذا التمدد.

114. بحث العالم جاي–لوساك في قوانين الغاز، فكيف ساهم إنجاز جاي–لوساك في اكتشاف صيغة الماء؟

مراجعة تراكمية

115. تتحرك سيارة كتلتها 875 kg في اتجاه الجنوب بسرعة 15 m/s فتصطدم بسيارة أخرى كبيرة كتلتها 1584 kg وتتحرك في اتجاه الشرق بسرعة 12 m/s، فتلتصقان معًا بعد التصادم، بحيث يكون الزخم الخطي محفوظًا. (فيزياء 2)

a. مثّل الحالة بالرسم، معينًا محاور الإحداثيات ومحددًا الحالة قبل التصادم وبعده.

b. أوجد سرعة حطام السيارتين مقدارًا واتجاهًا بعد التصادم مباشرة، وتذكّر أن الزخم كمية متجهة.

c. ينزلق الحطام على سطح الأرض ثم يتوقف، فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي عندما كان الحطام ينزلق 0.55. ومع افتراض أن التسارع ثابت، فما مقدار مسافة الانزلاق بعد التصادم؟

116. يرفع محرك قدرته 188 W حملاً بمعدل (سرعة) 6.50 cm/s. ما مقدار أكبر حمل يمكن للمحرك أن يرفعه عند هذا المعدل؟ (فيزياء 2)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. غاز حجمه 10.0 L محصور في أسطوانة قابلة للتمدد، فإذا تضاعف الضغط ثلاث مرات وازدادت درجة الحرارة 80.0 % عند قياسها بمقياس كلفن، فما الحجم الجديد للغاز؟

(A) 2.70 L (C) 16.7 L

(B) 6.00 L (D) 54.0 L

2. حجم عينة من غاز النيتروجين يساوي $0.080\ m^3$ عند ضغط جوي معياري 101.3 kPa، فإذا كان يوجد 3.6 mol من الغاز، فما مقدار درجة الحرارة؟

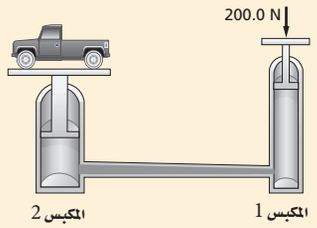
(A) 0.27 K (C) 0.27 °C

(B) 270 K (D) 270 °C

3. يؤثر عامل بقوة مقدارها 200.0 N في مكبس مساحته $5.4\ cm^2$، فإذا كان هذا المكبس هو المكبس الأول لرافعة هيدروليكية، كما هو موضح في الرسم أدناه، فما مقدار الضغط المؤثر في المائع الهيدروليكي؟

(A) 3.7×10^1 Pa (C) 3.7×10^3 Pa

(B) 2.0×10^3 Pa (D) 3.7×10^5 Pa



4. إذا كان المكبس الثاني في الرسم أعلاه يؤثر بقوة مقدارها 41000 N، فما مساحة المكبس الثاني؟

(A) $0.0049\ m^2$ (C) $0.11\ m^2$

(B) $0.026\ m^2$ (D) $11\ m^2$

5. ما مقدار الوزن الظاهري لنموذج مصنوع من خشب خاص كثافته $1.10\ g/cm^3$، إذا أزاح 786 ml ماءً، عندما غُمر في بحيرة من الماء العذب؟

(A) 0.770 N (C) 7.70 N

(B) 0.865 N (D) 8.47 N

6. ما مقدار قوة الطفو لجسم كتلته 17 kg إذا أزاح 85 L من الماء؟

(A) 1.7×10^2 N (C) 1.7×10^5N

(B) 8.3×10^2 N (D) 8.3×10^5N

7. أي الأجسام الآتية لا يحتوي على مادة في حالة البلازما؟

(A) إضاءة النيون (C) البرق

(B) النجوم (D) المصابيح العادية

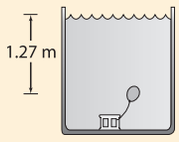
8. ما كتلة عينة من غاز ثاني أكسيد الكربون حجمها 365 ml عند 3.0 ضغط جوي (1 atm = 101.3 kPa) ودرجة حرارة 24 °C، إذا علمت أن الكتلة المولية لثاني أكسيد الكربون 44.0 g /mol؟

(A) 0.045 g (C) 45 g

(B) 2.0 g (D) 2.0 kg

الأسئلة الممتدة

9. بالون مملوء بالهواء حجمه 125 ml عند ضغط جوي معياري 101.3 kPa. فإذا استقر البالون على عمق 1.27 m تحت سطح الماء في بركة سباحة، كما في الشكل، فما الحجم الجديد للبالون؟



إرشاد

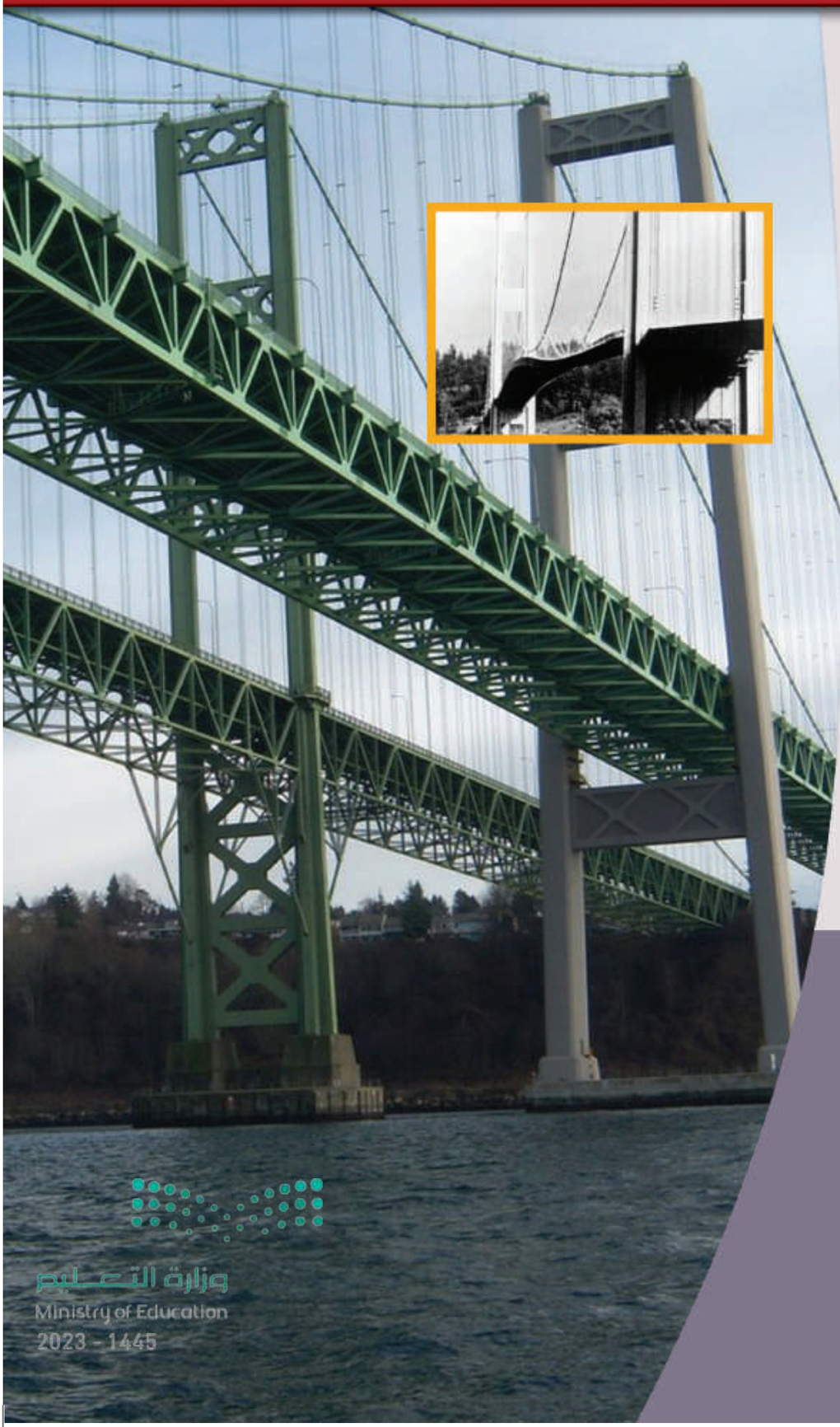
مرّن العضلة الضعيفة، وحافظ على العضلة القوية

إذا كنت تحضِّر لاختبار نهائي، فقد يكون من الصعب أحيانًا أن تركز على الموضوعات كلها؛ لذا ركّز معظم طاقتك على المواضيع التي تكون فيها ضعيفًا، وراجع المواضيع التي تكون فيها قويًّا باستمرار.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 2

الاهتزازات والموجات
Vibrations and Waves



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- التوصل إلى خصائص الحركة الاهتزازية وربطها بالموجات.
- تَعرُّف كيف تنقل الموجات الطاقة.
- وصف سلوك الموجات ومعرفة أهميتها العملية.

الأهمية

إن معرفة سلوك الموجات والاهتزازات ضروري جدًّا لفهم ظاهرة الرنين، وكيفية بناء الجسور والأبنية الآمنة، ولمعرفة كيف تتم الاتصالات من خلال المذياع والتلفاز أيضًا.

"جسر جالوبينج جيرتي Galloping Gertie" بعد فترة قصيرة من افتتاح جسر مضيق تاكوما (قريبًا من تاكوما في واشنطن) أمام حركة المركبات بدأ هذا الجسر في الاهتزاز عند هبوب الرياح. وكانت الاهتزازات شديدة في أحد الأيام، فتحطم الجسر، وانهار في الماء.

فكِّر

كيف يمكن للرياح الخفيفة أن تؤدي إلى اهتزاز الجسر بموجات كبيرة تؤدي إلى انهياره في النهاية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

كيف تنتقل الموجات في نابض؟

سؤال التجربة كيف تنتقل النبضات التي ترسل عبر نابض عندما يكون طرفه الآخر ثابتًا؟

الخطوات

1. شدَّ نابضًا لولبيًّا دون مبالغة في ذلك، ثم اطلب إلى أحد زملائك تثبيت أحد طرفي النابض، بينما يحرك زميل آخر الطرف الحر للنابض باتجاه طوله وبالعكس ليولّد نبضات فيه. راقب النبضات خلال انتقالها في النابض إلى أن تصل الطرف المثبت، وسجل ملاحظاتك.
2. كرّر الخطوة 1، بتوليد نبضات أكبر، وسجل ملاحظاتك.
3. ولّد نبضات مختلفة في النابض بتحريكه جانبيًا من أحد طرفيه، وسجل ملاحظاتك.
4. ولّد نوعًا ثالثًا من النبضات عن طريق ليّ (لف) أحد طرفي النابض، ثم تركه، وسجّل ملاحظاتك.

التحليل

ماذا يحدث للنبضات في أثناء انتقالها خلال النابض؟ وماذا يحدث عندما ضربت النبضات الطرف الثابت من النابض؟ وكيف كانت النبضة المتولّدة في الخطوة 1 مقارنة بالنبضة المتولّدة في الخطوة 2؟

التفكير الناقد اذكر بعض الخصائص التي تبدو أنها تتحكم في حركة النبضة خلال النابض.

2–1 الحركة الدورية Periodic Motion

لعلك شاهدت بندول ساعة يتأرجح ذهابًا وإيابًا، ولاحظت أن كل تأرجح يتبع المسار نفسه، وتحتاج كل رحلة ذهاب وإياب إلى المقدار نفسه من الزمن. تعتبر هذه الحركة مثالاً على الحركة الاهتزازية. ومن الأمثلة الأخرى على ذلك تذبذب جسم فلزي مثبت بنابض إلى أعلى وإلى أسفل. هذه الحركات التي تتكرّر في دورة منتظمة أمثلة على **الحركة الاهتزازية (الدورية)**.

ويكون للجسم في تلك الأمثلة كلها موضع واحد، تكون عنده القوة المحصلة المؤثرة في الجسم تساوي صفرًا، ويكون الجسم في ذلك الموضع في حالة اتزان. وعند سحب الجسم بعيدًا عن موضع اتزانه تصبح القوة المحصلة المؤثرة في النظام لا تساوي صفرًا، وتعمل هذه القوة المحصلة على إعادة الجسم في اتجاه موضع الاتزان. وإذا كانت القوة التي تعيد الجسم إلى موضع اتزانه تتناسب طرديًّا مع إزاحة الجسم فإن الحركة الناتجة تُسمى **حركة توافقية بسيطة**.

هناك كميتان تصفان الحركة التوافقية البسيطة، هما: **الزمن الدوري** T؛ وهو الزمن الذي يحتاج إليه الجسم ليكمل دورة كاملة من الحركة ذهابًا وإيابًا، و**سعة الاهتزازة** A؛ وهي أقصى مسافة يتحركها الجسم مبتعدًا عن موضع الاتزان.

الأهداف

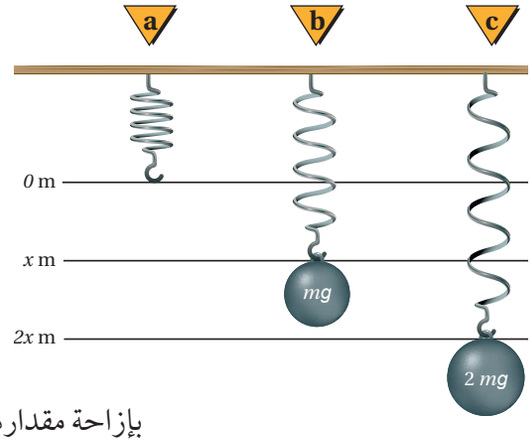
- **تصف** القوة في نابض مرن.
- **تحدّد** الطاقة المختزنة في نابض مرن.
- **تقارن** بين الحركة التوافقية البسيطة وحركة بندول.

المفردات

الحركة الاهتزازية (الدورية)
الحركة التوافقية البسيطة
الزمن الدوري
سعة الاهتزازة
قانون هوك
البندول البسيط
الرنين

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الكتلة المعلقة بنابض The Mass on a Spring



الشكل 2–1 تتناسب القوة التي يؤثر بها نابض طردياً مع الإزاحة التي يستطيلها.

كيف يتفاعل النابض مع القوة المؤثرة فيه؟ يبين **الشكل 2–1a** دعامة معلّقًا بها نابض دون تعليق أي شيء في نهايته. والنابض في هذا الموضع لا يستطيل؛ لأنه لا يوجد قوة خارجية تؤثر فيه. أما **الشكل 2–1b** فيبين النابض نفسه معلقًا في نهايته جسم وزنه mg، وقد استطال النابض إزاحة x؛ بحيث تُوازِن قوةُ النابض المؤثرةُ إلى أعلى قوةَ الجاذبية الأرضية المؤثرةَ إلى أسفل. ويبين **الشكل 2–1c** استطالة أو تمدد النابض نفسه بإزاحة مقدارها $2x$؛ وذلك عند تعليق ضعف الوزن السابق mg 2 في نهايته. وهذا يتفق مع **قانون هوك** الذي ينصّ على أن القوة التي يؤثر بها نابض تتناسب طرديًّا مع مقدار استطالته، والنوابض التي تنطبق عليها هذه الحالة تسمى نوابض مرنة وتحقّق قانون هوك، المعبّر عنه بالعلاقة الآتية:

قانون هوك $F = -kx$

القوة التي يؤثر بها نابض تساوي حاصل ضرب ثابت النابض في الإزاحة التي يستطيلها أو ينضغطها النابض عن موضع اتزانه.

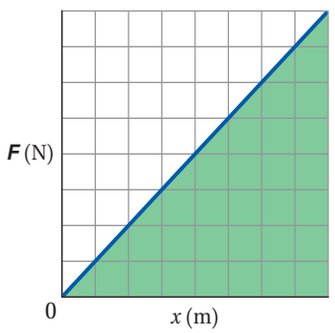
في هذه المعادلة تمثل k ثابت النابض الذي يعتمد على صلابة النابض وخصائص أخرى له، وتمثّل x الإزاحة التي يستطيلها أو ينضغطها النابض عن موضع اتزانه.

طاقة الوضع عندما تؤثر قوة ما لاستطالة نابض، مثل تعليق جسم في نهايته، فسيكون هناك علاقة طردية خطية بين القوة المؤثرة واستطالة النابض، كما يوضح **الشكل 2–2**، حيث يمثّل ميل الخط البياني ثابت النابض، مقاسًا بوحدة N/m. وتمثّل المساحة تحت المنحنى الشغل المبذول لاستطالة النابض، وهي تساوي طاقة الوضع المرونية المختزنة فيه نتيجة لهذا الشغل. وتمثل قاعدة المثلث الإزاحة x، أما ارتفاع المثلث فيمثل مقدار القوة التي تساوي kx وفق قانون هوك؛ لذا يُعبر عن طاقة الوضع المرونية المختزنة في النابض بالمعادلة الآتية:

طاقة الوضع المرونية في نابض $PE_{sp} = \frac{1}{2} kx^2$

طاقة الوضع المرونية في نابض تساوي نصف حاصل ضرب ثابت النابض في مربع إزاحته.

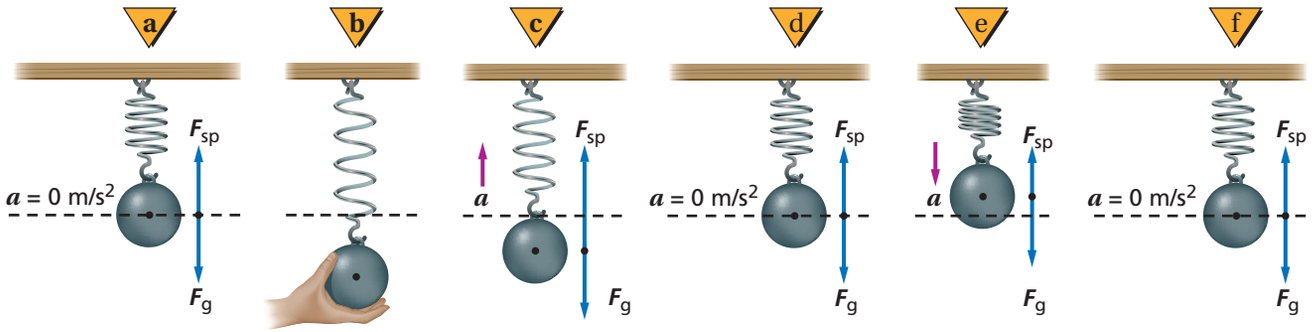
الشكل 2–2 يمكن تحديد ثابت النابض من العلاقة البيانية بين القوة المؤثرة وإزاحة النابض.



وستكون وحدة طاقة الوضع "N.m" أو جول J.

كيف تعتمد القوة المحصلة على الموضع؟ عند تعليق جسم بنهاية نابض يستطيل النابض حتى تُوازِن القوة الرأسية إلى أعلى F_{sp} وزن الجسم F_g كما في **الشكل 2–3a**، وسيكون الجسم عندئذ في موضع اتزانه. وإذا سحبت الجسم المعلق إلى أسفل كما في **الشكل 2–3b** تزداد قوة النابض، منتجةً قوة محصلة إلى أعلى تساوي قوة السحب عن طريق يدك، إضافة إلى وزن الجسم. وعندما تترك الجسم حرًّا فإنه يتسارع إلى أعلى كما في **الشكل 2–3c**. وعند حركة الجسم، إلى أعلى تتناقص استطالة النابض؛ لذا تتناقص القوة المتجهة إلى أعلى.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



■ **الشكل 3–2** توضيح الحركة التوافقية البسيطة من خلال اهتزاز جسم معلّق بنابض.

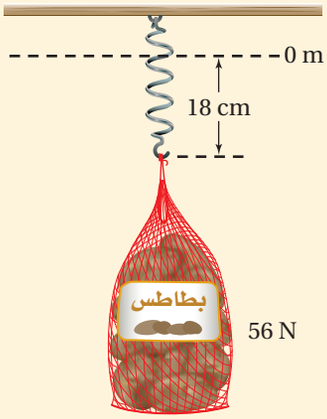
وفي **الشكل 3d–2** تتساوى قوة النابض إلى أعلى مع وزن الجسم، وتصبح القوة المحصلة صفرًا، فلا يتسارع النظام، ويستمر الجسم في حركته إلى أعلى فوق موضع الاتزان. وفي **الشكل 3e–2** تكون القوة المحصلة معاكسةً لاتجاه إزاحة الجسم، وتتناسب طرديًّا معها؛ لذا يتحرك الجسم حركة توافقية بسيطة، ويعود إلى موضع اتزانه كما في **الشكل 3f–2**.

مثـــال 1

ثابت النابض والطاقة المختزنة فيه استطال نابض إزاحة 18 cm عندما عُلّق بنهايته كيس بطاطس وزنه 56 N، احسب مقدار:

a. ثابت النابض.

b. طاقة الوضع المرونية المختزنة في النابض والناتجة عن هذه الاستطالة.



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الوضع
- بيّن الإزاحة التي استطالها النابض وموضع اتزانه، وحددهما.

المعلوم	المجهول
$x = 18\ cm$	$k = ?$
$F = 56\ N$	$PE_{sp} = ?$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم $F = -kx$، ثم أوجد قيمة k

يمكن حذف إشارة السالب؛ لأنها تعني أن القوةَ قوةُ إرجاع فقط.

عوّض مستخدمًا $x = 0.18\ m$ ، $F = 56\ N$

$$k = \frac{F}{x}$$

$$= \frac{56\ N}{0.18\ m} = 310\ N/m$$

b.

عوّض مستخدمًا $x = 0.18\ m$ ، $k = 310\ N/m$

$$PE_{sp} = \frac{1}{2}kx^2$$

$$= \frac{1}{2}(310\ N/m)(0.18\ m)^2$$

$$= 5.0\ J$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** N/m هي الوحدة الصحيحة لثابت النابض. والوحدة الصحيحة للطاقة هي $(N/m)(m^2) = N.m = J$
- **هل الجواب منطقي؟** ثابت النابض متناسق مع القيم المستخدمة في ميزان البقالة مثلاً. الطاقة 5.0 J تساوي القيمة التي نحصل عليها من $W = Fx = mgh$، عندما يكون متوسط القوة المؤثرة 28 N.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسائل تدريبية

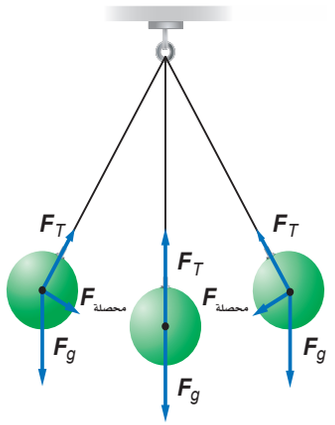
1. ما مقدار استطالة نابض عند تعليق جسم وزنه 18 N في نهايته إذا كان ثابت النابض له يساوي 56 N /m؟
2. ما مقدار طاقة الوضع المرونية المخزنة في نابض عند ضغطه بإزاحة مقدارها 16.5 cm، إذا كان ثابت النابض له يساوي 144 N /m؟
3. ما الإزاحة التي يستطيلها نابض حتى يخزّن طاقة وضع مرونية مقدارها 48 J، إذا كان ثابت النابض له يساوي 256 N /m؟

عندما تُحرّر القوة الخارجية الجسم الذي كانت تُمسكه، كما في **الشكل 3c–2** تكون القوة المحصلة المؤثرة في الجسم والتسارع أكبر ما يمكن، أما السرعة المتجهة فتساوي صفرًا. وعندما يمر الجسم بنقطة الاتزان ـ كما في **الشكل 3d–2** ـ تصبح القوة المحصلة المؤثرة فيه صفرًا، وكذلك التسارع. فهل يتوقف الجسم؟ لا؛ لأن الجسم يحتاج إلى أن تؤثر فيه قوة محصلة إلى أسفل لإبطاء حركته، وهذا لن يحدث ما لم يرتفع الجسم فوق موضع الاتزان. وعندما يصل الجسم إلى أعلى نقطة في اهتزازته تعود القوة المحصلة والتسارع إلى قيمتيهما العُظميين، وتصبح السرعة المتجهة صفرًا، فيتحرك الجسم إلى أسفل مارًّا بموضع الاتزان إلى نقطة البداية، ويستمر في الحركة بهذه الطريقة الاهتزازية. ويعتمد الزمن الدوري للاهتزازة T على مقدار كل من كتلة الجسم ومرونة النابض.

السيارات تعد طاقة الوضع المرونية عاملاً مهمًّا في تصميم السيارات الحديثة وصناعتها، ففي كل سنة تختبر تصاميم جديدة للسيارات؛ لتحديد مدى قدرتها على تحمل الصدمات والاحتفاظ بهيكلها، ويعتمد ذلك على مقدار الطاقة الحركية للسيارة قبل التصادم والتي تتحول إلى طاقة وضع مرونية في الهيكل بعد التصادم. وتحتوي معظم ماصّات الصدمات على نوابض خاصة تخزّن الطاقة عندما تصدم السياراتُ حاجزًا بسرعات قليلة. وبعد توقف السيارة وانضغاط النوابض، فإنها تعود إلى مواضع اتزانها، وترتد السيارة عن الحاجز.

البندول البسيط Simple Pendulums

يمكن توضيح الحركة التوافقية البسيطة أيضًا من خلال حركة تأرجح البندول. حيث يتكون **البندول البسيط** من جسم صلب كثافته عالية يُسمى ثقل البندول، معلق بخيط طوله l. وعند سحب ثقل البندول جانبًا وتركه فإنه يتأرجح جيئة وذهابًا، كما في **الشكل 4–2**، حيث يؤثر الخيط بقوة شد F_T في ثقل البندول وتؤثر الجاذبية الأرضية أيضًا في الثقل بقوة F_g، والجمع الاتجاهي لهاتين القوتين يمثل القوة المحصلة، وقد تم تمثيلها في ثلاثة مواضع مختلفة في **الشكل 4–2**. ففي الموضعين الأيمن والأيسر في **الشكل 4–2** تكون القوة المحصلة المؤثرة في ثقل البندول وتسارعه أكبر ما يمكن، بينما سرعته المتجهة صفرًا. وفي الموضع الوسط (الاتزان) في الشكل نفسه تكون القوة المحصلة والتسارع صفرًا، بينما السرعة المتجهة أكبر



الشكل 4–2 $F_{محصلة}$ = المجموع المتجه لـ F_T و F_g، هي القوة المعيدة (الإرجاع) في البندول.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

ما يمكن. يمكنك أن تلاحظ أن القوة المحصلة هي قوة إرجاع؛ حيث تكون دائمًا معاكسة لاتجاه إزاحة ثقل البندول، وتعمل على إرجاع الثقل إلى موضع اتزانه. وعندما تكون زاوية انحراف الخيط صغيرة (أقل من 15° تقريبًا)، فإن قوة الإرجاع تتناسب طرديًّا مع الإزاحة، ويطلق على هذه الحركة حينئذٍ حركة توافقية بسيطة. ويحسب الزمن الدوري للبندول باستخدام المعادلة الآتية:

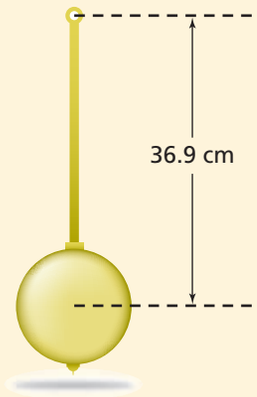
الزمن الدوري للبندول $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

الزمن الدوري للبندول يساوي 2π مضروبة في الجذر التربيعي لحاصل قسمة طول خيط البندول على تسارع الجاذبية الأرضية.

لاحظ أن الزمن الدوري للبندول البسيط يعتمد فقط على طول خيط البندول وتسارع الجاذبية الأرضية، ولا يعتمد على كتلة ثقل البندول أو سعة الاهتزازة. ومن التطبيقات على البندول استخدامه في حساب g التي تتغير قليلًا من موقع إلى آخر على سطح الأرض.

مثـــال 2

استخدام البندول لحساب g إذا كان الزمن الدوري لبندول طوله 36.9 cm يساوي 1.22 s، فما مقدار تسارع الجاذبية الأرضية g عند موقع البندول؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الوضع
- وضّح طول البندول على الرسم.

المعلوم	المجهول
$l = 36.9\ \text{cm}$	$g = ?$
$T = 1.22\ \text{s}$	

دليل الرياضيات

فصل المتغير

2 إيجاد الكمية المجهولة

حل المعادلة لحساب g.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$g = \frac{(2\pi)^2 l}{T^2}$$

عوّض مستخدمًا $T = 1.22\ \text{s}$، $l = 0.369\ \text{m}$

$$= \frac{4\pi^2\,(0.369\ \text{m})}{(1.22\ \text{s})^2} = 9.78\ \text{m/s}^2$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** m/s^2 هي الوحدة الصحيحة للتسارع.
- **هل الجواب منطقي؟** قيمة g المحسوبة كانت قريبة جدًّا من القيمة المعيارية $9.80\ \text{m/s}^2$، وبالتالي يكون البندول في منطقة أعلى من مستوى سطح البحر.

مسائل تدريبية

4. ما طول بندول موجود على سطح القمر حيث $g = 1.6\ \text{m/s}^2$ حتى يكون الزمن الدوري له 2.0 s؟
5. إذا كان الزمن الدوري لبندول طوله 0.75 m يساوي 1.8 s على سطح أحد الكواكب، فما مقدار g على هذا الكوكب؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسألة تحفيز

سيارة كتلتها m (kg) تستقر على قمة تل ارتفاعه h(m) قبل أن تهبط على طريق عديم الاحتكاك في اتجاه حاجز تصادم عند أسفل التل. فإذا احتوى حاجز التصادم على نابض مقدار ثابته يساوي k (N /m) مصمَّم على أن يوقف السيارة بأقل الأضرار.

1. بيّن أقصى إزاحة x ينضغطها النابض عندما تصطدم به السيارة بدلالة m وh وk وg.
2. كم ينضغط النابض إذا هبطت السيارة من قمة تل ارتفاعه ضعف ارتفاع التل السابق؟
3. ماذا يحدث بعد أن تتوقف السيارة؟

تطبيق الفيزياء

بندول فوكو
Foucult Pendulum

يتكون بندول فوكو من سلك طوله 16 m معلق بنهايته كتلة كبيرة مقدارها 109 kg. ووفق القانون الأول لنيوتن في الحركة يستمر البندول المتأرجح في الحركة في الاتجاه نفسه ما لم يُسحب أو يُدفع في اتجاه آخر. وبما أن الأرض تدور تحت البندول كل 24 ساعة، فإن اتجاه ذبذبة البندول يظهر متغيرًا بالنسبة للمشاهد. ولبيان ذلك قم بما يلي: رتّب أوتادًا خشبية في دائرة على الأرض تحت البندول المتأرجح على أن يضربها ثقل البندول ويوقعها مع دوران الأرض. ويدور البندول عند القطب الشمالي ظاهريًا بمعدل $15°/h$.

الرنين Resonance

لكي تجعل أرجوحة تتأرجح وأنت جالس عليها قم بدفعها بالانحناء إلى الخلف وسحب الحبل (أو السلسلة) من النقطة نفسها في كل شوط، أو أن يدفعك زميلك دفعات متكرّرة في اللحظات المناسبة. ويحدث **الرنين** عندما تؤثر قوى صغيرة في جسم متذبذب أو مهتز في فترات زمنية منتظمة، بحيث تؤدي إلى زيادة سعة الاهتزازة أو الذبذبة، وتكون الفترة الزمنية الفاصلة بين تطبيق القوة على الجسم المهتز مساويةً للزمن الدوري للذبذبة. ومن الأمثلة الشائعة على الرنين أرجحة السيارة إلى الأمام والخلف من أجل تحرير عجلاتها من الرمل عندما تنغمر فيه، والقفز المتواتر عن لوح القفز أو الغوص. وقد ينتج عن السعة الكبيرة الناتجة عن الرنين شعور بالإجهاد.

ويعد الرنين شكلًا مميّزًا للحركة التوافقية البسيطة؛ حيث تؤدي زيادات بسيطة في مقدار القوة في أزمنة محددة في أثناء حركة الجسم إلى زيادة أكبر في الإزاحة. فالرنين الناتج عن حركة الرياح مثلاً بتوافقها مع تصميم دعائم الجسر قد يكون السبب وراء انهيار جسر مضيق تاكوما.

2–1 مراجعة

6. **قانون هوك** علّقت أجسام مختلفة الوزن بنهاية شريط مطاطي مثبت بخطاف، ثم رسمت العلاقة البيانية بين وزن الأجسام المختلفة واستطالة الشريط المطاطي. كيف تستطيع الحكم ـ اعتمادًا على الرسم البياني ـ ما إذا كان الشريط المطاطي يحقق قانون هوك أم لا؟
7. **البندول** ما مقدار التغير اللازم في طول بندول حتى يتضاعف زمنه الدوري إلى الضعف؟ وما مقدار التغير اللازم في طوله حتى يقل زمنه الدوري إلى نصف زمنه الدوري الأصلي؟
8. **طاقة النابض** ما الفرق بين الطاقة المختزنة في نابض استطال 0.40 m والطاقة المختزنة في النابض نفسه عندما يستطيل 0.20 m؟
9. **الرنين** إذا كانت عجلات سيارة غير متوازِنة فسوف تهتز السيارة بقوة عند سرعة محدّدة، ولا يحدث ذلك عند سرعات أقل أو أكبر من هذه السرعة. فسّر ذلك.
10. **التفكير الناقد** ما أوجه الشبه بين الحركة الدائرية المنتظمة والحركة التوافقية البسيطة؟ وما أوجه الاختلاف بينهما؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–2 خصائص الموجات Waves Properties

تحمل كل من الجسيمات المادية والموجات طاقة، ولكن هناك اختلافًا مهمًّا بينهما في كيفية حمل الطاقة. إن الكرة جسيم مادي، فإذا قذفتها نحو زميلك فسوف تنتقل من يدك إلى يده حاملة معها طاقة. أما إذا أمسكت أنت وزميلك بطرفي حبل وهززت الطرف الذي تمسكه بسرعة، فسيبقى الحبل بيدك ولا تنتقل مادته إلى زميلك، ولكن الطاقة تنتقل في الحبل خلال الموجة التي أحدثتها. وتُعرّف **الموجة** بأنها اضطراب يحمل الطاقة خلال المادة أو الفراغ.

الأهداف

- **تحدّد** كيف تنقل الموجات الطاقة دون أن تنقل مادة الوسط.
- **تميّز** بين الموجات المستعرضة والموجات الطولية.
- **تربط** بين سرعة الموجة وطولها الموجي وتردّدها.

المفردات

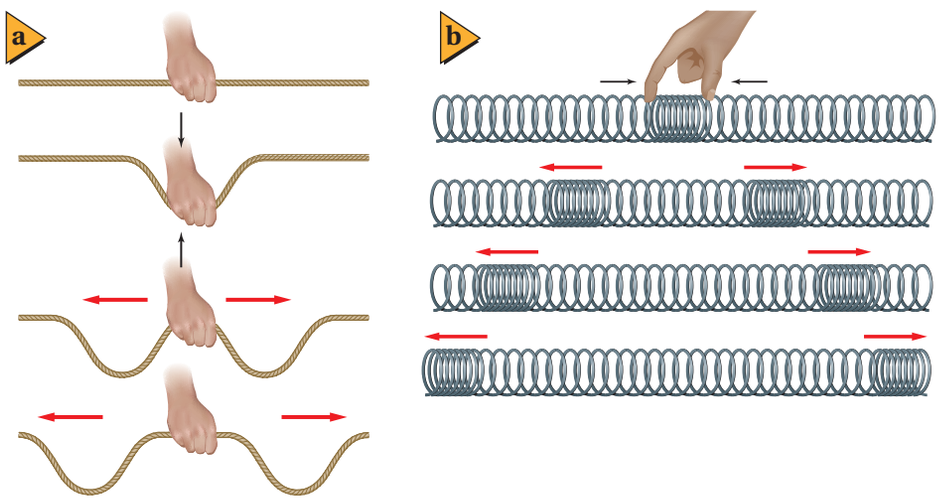
الموجة
نبضة موجية
الموجة الدورية
الموجة المستعرضة
الموجة الطولية
الموجة السطحية
سعة الموجة
القاع
القمة
الطول الموجي
التردّد

الموجات الميكانيكية Mechanical Waves

تُعد موجات الماء وموجات الصوت والموجات التي تنتقل خلال حبل أو نابض أشكالاً للموجات الميكانيكية. وتحتاج الموجات الميكانيكية إلى وسط ناقل مثل الماء أو الهواء أو الحبال أو النوابض. ولأن كثيرًا من الموجات الأخرى لا يمكن مشاهدتها مباشرة، لذا يمكن اعتبار الموجات الميكانيكية بمنزلة نموذج للموجات.

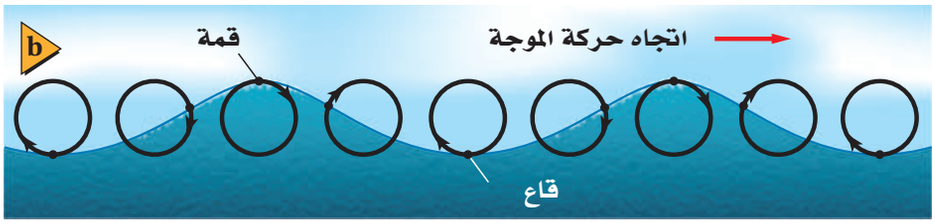
الموجات المستعرضة يبين **الشكل 2–5a** اضطرابين يسميان نبضات موجية. و**النبضة الموجية** ضربة مفردة أو اضطراب ينتقل خلال الوسط. وإذا انتشرت الموجة إلى أعلى وإلى أسفل بالمعدل نفسه تتولّد **موجة دورية**. لاحظ **الشكل 2–5a** حيث يتحرك الحبل رأسيًّا، في حين تنتقل النبضة أفقيًّا. وتُسمى الموجة التي لها هذا النمط من الحركة موجة مستعرضة، ويمكن تعريف **الموجة المستعرضة** بأنها الموجة التي تتذبذب عموديًّا على اتجاه انتشار الموجة.

الموجات الطولية يمكنك توليد نبضة موجية في ملف نابض الألعاب بطريقة مختلفة؛ فإذا ضممت (ضغطت) عدة لفات من النابض بعضها إلى بعض بشكل متراص ثم تركتها فجأة فستتحرك نبضتان – تتكون كل منهما من لفات متقاربة معًا – في اتجاهين متعاكسين، كما في **الشكل 2–5b**، وتُسمى هذه الموجات **الموجات الطولية**، وهي اضطراب ينتقل في اتجاه حركة الموجة نفسه؛ أي موازيًا لها. والموجات الصوتية مثال على ذلك.



الشكل 2–5 يولّد الاهتزاز السريع باتجاه عمودي على محور الحبل نبضات موجة مستعرضة في الاتجاهين (a). يولّد ضمّ لفات نابض بعضها إلى بعض ثم تركها نبضات موجة طولية في الاتجاهين (b).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 6–2 للموجات السطحية خصائص الموجات المستعرضة والموجات الطولية (a). مسارات الجسيمات المفردة دائرية (b).

الموجات السطحية الموجات في أعماق البحيرات والمحيطات موجات طولية، بينما تتحرك الجسيمات على سطح الماء في اتجاه موازٍ وعمودي على اتجاه حركة الموجة، كما في **الشكل 6–2**. وكل موجة من هذه الموجات هي **موجة سطحية** لها خصائص كلٍّ من الموجات المستعرضة والموجات الطولية. إن مصدر طاقة موجات الماء يأتي عادة من العواصف البعيدة التي بدورها استمدّت طاقتها من تسخين الأرض بالطاقة الشمسية. وهذه الطاقة انتقلت بدورها من الشمس إلى الأرض بواسطة الموجات الكهرومغناطيسية المستعرضة.

قياس الموجة Measuring a Wave

هناك طرائق عديدة لوصف الموجة أو قياسها؛ إذ تعتمد بعض خصائص الموجة على كيفية توليدها، في حين تعتمد خصائصها الأخرى على الوسط الذي تنتقل خلاله.

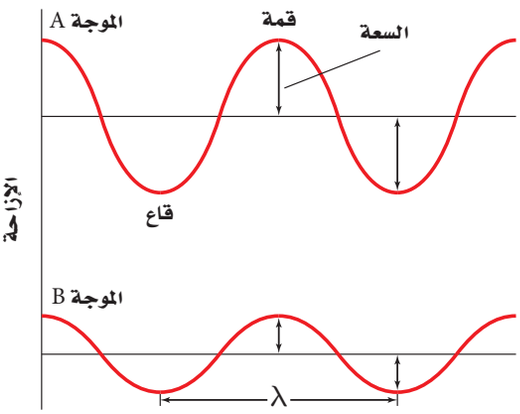
السرعة ما السرعة التي تتحرك بها الموجة؟ يمكن إيجاد سرعة انتقال النبضة ـ الموضحة في **الشكل 7–2** ـ بالطريقة نفسها التي نحدّد بها سرعة انتقال سيارة. قس أولًا إزاحة قمة الموجة Δd، ثم اقسم الناتج على الفترة الزمنية Δt لتجد السرعة $v = \Delta d / \Delta t$. ويمكن إيجاد سرعة الموجة الدورية بالطريقة نفسها. وتعتمد سرعة الموجة في معظم الموجات الميكانيكية المستعرضة والطولية على الوسط الذي تنتقل خلاله فقط.

الشكل 7–2 تم التقاط هاتين الصورتين بفارق زمني 0.20 s، وخلال هذه الفترة تحركت القمة مسافة 0.80 m، فتكون السرعة المتجهة للموجة 4.0 m/s.

السعة كيف تختلف النبضة المتولدة عند هز الحبل برفق عن تلك النبضة الناتجة عن الهز العنيف له؟ يشبه الاختلاف بينهما الفرق بين موجات حوض السباحة الخفيفة وموجات المحيط القوية، حيث تختلف سعات كل منهما. و**سعة الموجة** هي الإزاحة القصوى للموجة عن موضع سكونها أو اتزانها. ويوضح **الشكل 8–2** موجتين متشابهتين، لكنهما تختلفان في السعة.

تعتمد سعة الموجة على كيفية توليدها، ولا تعتمد على سرعتها. ويجب أن يُبذل شغل أكبر لتوليد موجة سعتها كبيرة. فمثلاً، تولّد الرياح القوية موجات ماء سعتها أكبر من سعة الموجات الناتجة عن النسائم اللطيفة. وتنقل الموجة ذات السعة الكبيرة طاقة أكبر؛ فالموجة ذات السعة القليلة تحرك الرمل سنتمترات عدة على الشاطئ، أما الموجة ذات السعة الكبيرة فيمكنها اقتلاع الأشجار وتحريكها من مكان إلى آخر. وإذا تحركت الموجات بالسرعة نفسها فإن معدل نقلها للطاقة يتناسب طرديًّا مع مربع سعتها. لذا فمضاعفة سعة إحدى الموجات يضاعف الطاقة التي تنقلها أربع مرات في الثانية الواحدة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

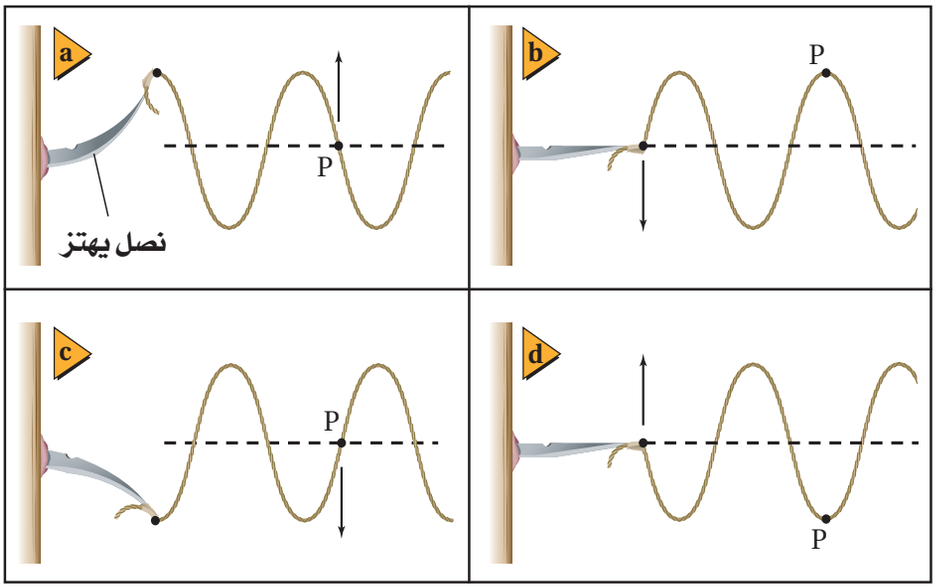


■ **الشكل 8–2** سعة الموجة A أكبر من سعة الموجة B.

الطول الموجي تخيل أنك التقطت صورة فوتوغرافية للموجة كاملة بدلاً من التركيز على نقطة واحدة عليها بحيث ترى موجة كاملة في لحظة ما. ويبين **الشكل 8–2** النقاط السفلية التي تُسمى **قاع** الموجة، والنقاط العلوية التي تسمى **قمة** الموجة. ويطلق على أقصر مسافة بين أي نقطتين يتكرّر فيها نمط الموجة نفسه اسم **الطول الموجي**. فالمسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين تساوي الطول الموجي، ويرمز للطول الموجي لموجة ما بالحرف اللاتيني λ (لمدا).

الطور أي نقطتين في الموجة تكونان في الطور نفسه إذا كانت المسافة بينهما تساوي طولًا موجيًّا واحدًا أو مضاعفاته. ويُعد جسيمان في وسط ما في الطور نفسه أيضًا إذا كان لهما الإزاحة نفسها عن موضع الاتزان، ولهما السرعة المتجهة نفسها. أما إذا كان الجسيمان في الوسط متعاكسين في الإزاحة وفي السرعة المتجهة فإنهما يكونان مختلفين في الطور بـ 180°. فمثلًا هناك اختلاف في الطور بين القمة والقاع بـ 180°. وأي نقطتين في الموجة يمكن أن تختلفا في الطور بين 0° و 180° إحداهما بالنسبة إلى الأخرى.

الزمن الدوري والتردد يمكن استخدام سرعة الموجة وسعتها لوصف أي موجة. أما الزمن الدوري T والتردد f فيطبّقان فقط على الموجات الدورية. ودرست سابقًا أن الزمن الدوري للحركة التوافقية البسيطة (كما في حركة البندول) هو الزمن الذي يحتاج إليه الجسم المهتز حتى يكمل دورة كاملة. وعادة يكون مثل هذا الجسم هو مصدر الموجة الدورية أو المسبِّب لها. ويكون الزمن الدوري للموجة مساويًا الزمن الدوري للمصدر. وتوضح **الأشكال** من **2–9a** إلى **2–9d** أن الزمن الدوري T يساوي 0.04 s؛ وهو الزمن الذي يحتاج إليه المصدر حتى يكمل دورة كاملة، وهو أيضًا الزمن نفسه الذي تتطلبه نقطة مثل P على الحبل حتى تعود إلى طورها الابتدائي.



■ **الشكل 9–2** يهتز أحد طرفي نابض متصل بنصل 25 اهتزازة في الثانية، وعليه قطعة من شريط لاصق عند النقطة P. لاحظ تغير موضع النقطة P مع الزمن.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رموز الكتب

يرمز لكمية التردد Frequency في كتاب الكيمياء بالرمز (نيو) ν، وبالرمز f في كتاب الفيزياء؛ وكلاهما صحيحان ويعبران عن نفس الكمية.

أمّا **تردّد الموجة** f فهو عدد الاهتزازات الكاملة التي يُتمّها الجسم المهتز في الثانية الواحدة، ويُقاس بوحدة هرتز Hz، والهرتز الواحد هو اهتزازة واحدة في الثانية. وبناءً عليه فإن العلاقة التي تربط بين الزمن الدوري للموجة وترددها هي:

تردد الموجة $f = \frac{1}{T}$

تردد الموجة يساوي مقلوب زمنها الدوري.

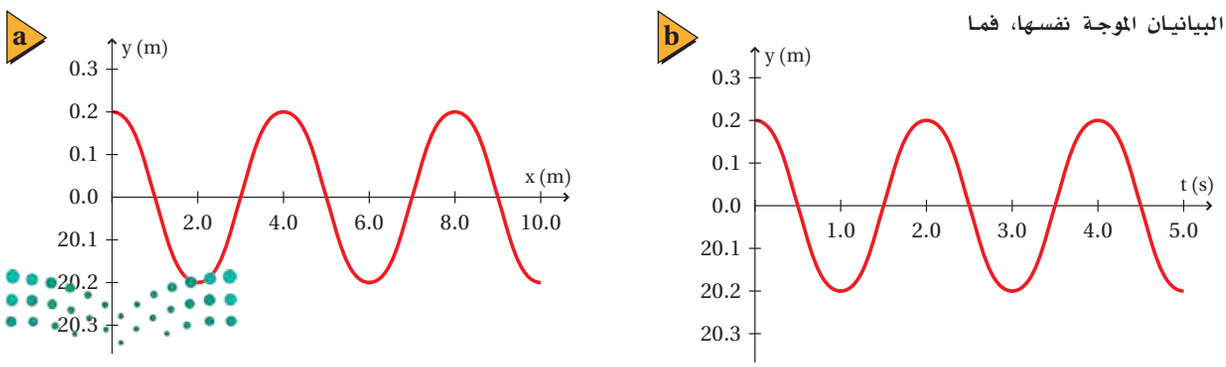
ويعتمد الزمن الدوري للموجة وترددها على مصدرها فقط، ولا يعتمدان على الوسط الذي تنتقل خلاله أو على سرعة الموجة.

وتتحرك الموجة خلال فترة زمنية تساوي زمنًا دوريًّا واحدًا مسافة تساوي طولاً موجيًّا واحدًا، لذا فالطول الموجي يساوي سرعة الموجة مضروبًا في الزمن الدوري، $\lambda = \nu T$. ولأن الحصول على التردد يكون عادة أسهل من الحصول على الزمن الدوري فإن هذه المعادلة تكتب على الشكل الآتي:

طول الموجة $\lambda = \frac{\nu}{f}$

الطول الموجي للموجة يساوي سرعتها مقسومة على ترددها.

تمثيل الموجات إذا التقطْت صورة فوتوغرافية لموجة مستعرضة في حبل، فستجدها مشابهة لإحدى الموجتين الموضحتين في **الشكل 8–2**. ويمكن وضع هذه الصورة على ورقة رسم بياني للحصول على مزيد من المعلومات عن الموجة، كما هو موضح في **الشكل 10a–2**. وبالمثل إذا رصدت حركة جسيم واحد، مثل حركة النقطة P في **الشكل 9–2**، أمكنك تمثيل هذه الحركة بيانيًّا على ورق رسم بياني، بحيث ترسم الإزاحة بوصفها متغيرًا مع الزمن، كما في **الشكل 10b–2**، والذي يمكن من خلاله إيجاد الزمن الدوري، كما يمكن تمثيل الموجات الطولية بيانيًّا على ورق رسم بياني، بحيث يتم تمثيل التضاغطات على المحور y مثلاً.



الشكل 10–2 يمكن تمثيل الموجات بيانيًا، فالطول الموجي لهذه الموجة 4.0 m **(a)**، والزمن الدوري 2.0 s **(b)**. الإزاحة أو السعة في كلا الرسمين تساوي 0.2 m فإذا مثّل هذان الرسمان البيانيان الموجة نفسها، فما سرعتها؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

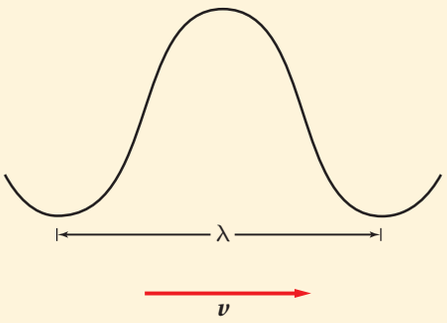
مثـــــال 3

خصائص الموجة قطعت موجة صوتية ترددها 192 Hz ملعب كرة قدم طوله 91.4 m خلال 0.271 s، احسب مقدار:

a. سرعة الموجة.
b. الطول الموجي للموجة.
c. الزمن الدوري للموجة.
d. الطول الموجي والزمن الدوري، إذا أصبح تردد الموجة 442 Hz

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم نموذجًا للموجة.
- مثّل متجه السرعة.



المعلوم	المجهول
$f = 192\ \text{Hz}$	$v = ?$
$d = 91.4\ \text{m}$	$\lambda = ?$
$t = 0.271\ \text{s}$	$T = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. أوجد السرعة v.

عوّض مستخدمًا $t = 0.271\ \text{s}$، $d = 91.4\ \text{m}$

$$v = \frac{d}{t}$$
$$= \frac{91.4\ \text{m}}{0.271\text{s}}$$
$$= 337\ \text{m/s}$$

دليل الرياضيات
إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية

b. أوجد طول الموجة λ.

عوّض مستخدمًا $f = 192\ \text{Hz}$، $v = 337\ \text{m/s}$

$$\lambda = \frac{v}{f}$$
$$= \frac{337\ \text{m/s}}{192\ \text{Hz}}$$
$$= 1.76\ \text{m}$$

c. أوجد الزمن الدوري T.

عوّض مستخدمًا $f = 192\ \text{Hz}$

$$T = \frac{1}{f}$$
$$= \frac{1}{192\ \text{Hz}}$$
$$= 0.00521\ \text{s}$$

d. أوجد الطول الموجي الجديد.

عوّض مستخدمًا $f = 442\ \text{Hz}$، $v = 337\ \text{m/s}$

$$\lambda = \frac{v}{f}$$
$$= \frac{337\ \text{m/s}}{442\ \text{Hz}} = 0.762\ \text{m}$$

أوجد الزمن الدوري الجديد.

عوّض مستخدمًا $f = 442\ \text{Hz}$

$$T = \frac{1}{f}$$
$$= \frac{1}{442\ \text{Hz}} = 0.00226\ \text{s}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الهرتز Hz هو نفسه s^{-1}، لذا فإن $\frac{m/s}{Hz} = \frac{m}{s}$. $s = m$ وهذا صحيح.
- **هل الجواب منطقي؟** السرعة القياسية لموجات الصوت في الهواء 343 m/s تقريبًا، لذا فالجواب 337 m/s منطقي، وكذلك التردد والزمن الدوري منطقيان بالنسبة لموجات الصوت، فالتردد 442 Hz قريب من التردد 440 Hz وهو التردد القياسي لموجات الصوت.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسائل تدريبية

11. أطلق فادي صوتًا عاليًا في اتجاه جرف رأسي يبعد 465 m عنه، وسمع الصدى بعد 2.75 s. احسب مقدار:

a. سرعة صوت فادي في الهواء.

b. تردّد موجة الصوت إذا كان طولها الموجي يساوي 0.750 m.

c. الزمن الدوري للموجة.

12. إذا أردت زيادة الطول الموجي لموجات في حبل فهل تهزّ الحبل بتردد كبير أم بتردد صغير؟

13. ولّد مصدرٌ في حبل اضطرابًا تردّده 6.00 Hz، فإذا كانت سرعة الموجة المستعرضة في الحبل 15.0 m/s، فما طولها الموجي؟

14. تتولّد خمس نبضات في خزان ماء كل 0.100 s، فإذا كان الطول الموجي للموجات السطحية 1.20 cm، فما مقدار سرعة انتشار الموجة؟

توصلت إلى أن الموجات تحمل طاقة مما يمكّنها من إنجاز شغل، وربما شاهدت الأضرار الهائلة الناجمة عن العواصف الشديدة والأعاصير القوية، أو التآكل البطيء للمنحدرات والشواطئ الناجم عن الموجات الضعيفة اليومية. ومن المهم أن تتذكّر أن سعة الموجة الميكانيكية هي التي تحدّد مقدار الطاقة التي تحملها الموجة، بينما يحدّد الوسط وحده سرعة الموجة.

2–2 مراجعة

15. **السرعة في أوساط مختلفة** إذا سحبت أحد طرفي نابض، هل تصل النبضة إلى طرفه الآخر في اللحظة نفسها؟ ماذا يحدث لو سحبت حبلاً؟ ماذا يحدث عند ضرب طرف قضيب حديدي؟ قارن بين سرعة انتقال النبضات في المواد الثلاث.

16. **خصائص الموجة** إذا ولّدْت موجة مستعرضة في حبل عن طريق هزّ يدك وتحريكها من جانب إلى آخر، ثم بدأت تهزّ الحبل أسرع من دون تغيير المسافة التي تتحركها يدك، فماذا يحدث لكل من: السعة، والطول الموجي، والتردد، والزمن الدوري، وسرعة الموجة؟

17. **الموجات تنقل الطاقة** افترض أنه طُلب إليك أنت وزميلك في المختبر توضيح أن الموجة المستعرضة تنقل الطاقة دون انتقال مادة الوسط، فكيف توضح ذلك؟

18. **الموجات الطولية** صِفِ الموجات الطولية. وما أنواع الأوساط التي تنقل الموجات الطولية؟

19. **التفكير الناقد** إذا سقطت قطرة مطر في بركة فستولّد موجات ذات سعات صغيرة. أما إذا قفز سبّاح في البركة فسيولّد موجات ذات سعات كبيرة. فلماذا لا تولّد الأمطار الغزيرة في أثناء العواصف الرعدية موجات ذات سعات كبيرة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

2–3 سلوك الموجات Waves Behavior

عندما تصل موجة إلى الحد الفاصل بين وسطين فإنها غالبًا تنعكس وترتد إلى الخلف داخل الوسط نفسه. وفي حالات أخرى تمر الموجة كلها أو جزء منها خلال الحد الفاصل إلى وسط آخر، ويتغير اتجاهها عند الحد الفاصل. بالإضافة إلى أن العديد من خصائص سلوك الموجة، ماهي إلا نتيجة الحقيقة التي تنص على أنه : يمكن أن تكون هناك موجتان أو أكثر في الوسط نفسه خلال الزمن نفسه؛ بخلاف الجسيمات المادية؛ إذ لا يمكن لجسمين شَغْل الحيز نفسه خلال الزمن نفسه.

الأهداف

- **تربط** بين سرعة الموجة وطبيعة الوسط الذي تتحرك فيه.
- **تصف** كيفية انعكاس الموجات وانكسارها عند الحد الفاصل بين وسطين.
- **تطبّق** مبدأ التراكُب على ظاهرة التداخل.

المفردات

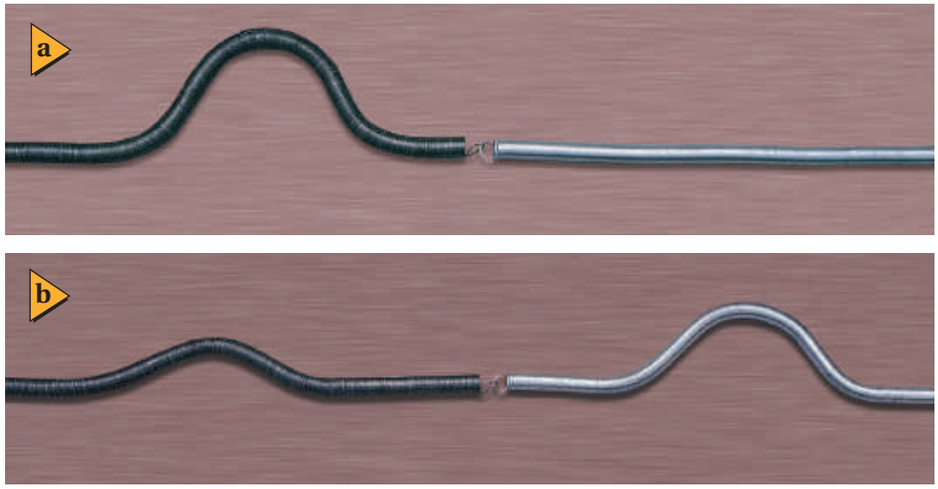
موجة ساقطة
موجة منعكسة
مبدأ التراكب
التداخل
العقدة
البطن
الموجة الموقوفة (المستقرة)
مقدمة الموجة
الشعاع
العمود المقام
قانون الانعكاس
الانكسار

الموجات عند الحواجز Waves at Boundaries

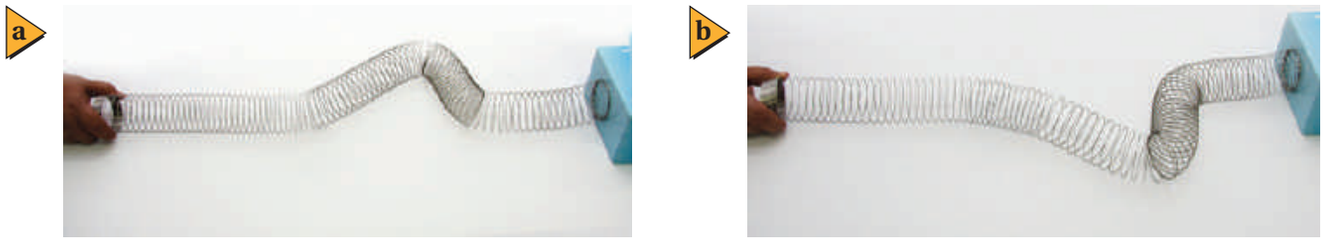
تذكُر من القسم السابق أن سرعة الموجة الميكانيكية تعتمد فقط على خصائص الوسط الذي تمر خلاله، ولا تعتمد على سعة الموجة أو ترددها. فمثلاً، يؤثر عمق الماء في سرعة موجات الماء المتكونة فيه، كما تؤثر درجة حرارة الهواء في سرعة موجات الصوت التي تنتشر فيه، وتعتمد سرعة موجات النابض على مقدار قوة شدّه وعلى كتلة وحدة أطواله.

بيّن ماذا يحدث عندما تمر موجة خلال حد فاصل بين وسطين كما في نابضين مختلفي السمك ومتصلي الطرفين. يبين **الشكل 11–2** نبضة تتحرك من النابض الأكبر سمكًا إلى النابض الأقل سمكًا، حيث تسمى الموجة التي تصطدم بالحد الفاصل بين النابضين **الموجة الساقطة**. لاحظ أن هناك اختلافًا في سرعة النبضة التي تنتقل من النابض الأسمك إلى النابض الأقل سمكًا، كما تبقى نبضة الموجة المنتقلة متجهةً إلى أعلى.

ينعكس جزء من طاقة نبضة الموجة الساقطة إلى الخلف في اتجاه النابض السميك على شكل موجة مرتدة تسمى **الموجة المنعكسة**. وتحدّد خصائصُ كلا النابضين ما إذا كان اتجاه الموجة المنعكسة معتدلًا أو مقلوبًا. فعلى سبيل المثال، تنقلب الموجة المنعكسة إذا كانت سرعة الموجات في النابض الأقل سمكًا أكبر؛ لأنه أثقل أو أكثر صلابة.



الشكل 11–2 تمثل نقطة الاتصال بين طرفي النابضين الحد الفاصل بين الوسطين. فعندما تصل النبضة إلى الحد الفاصل (a) ينعكس جزء من النبضة وينفذ جزء آخر (b).



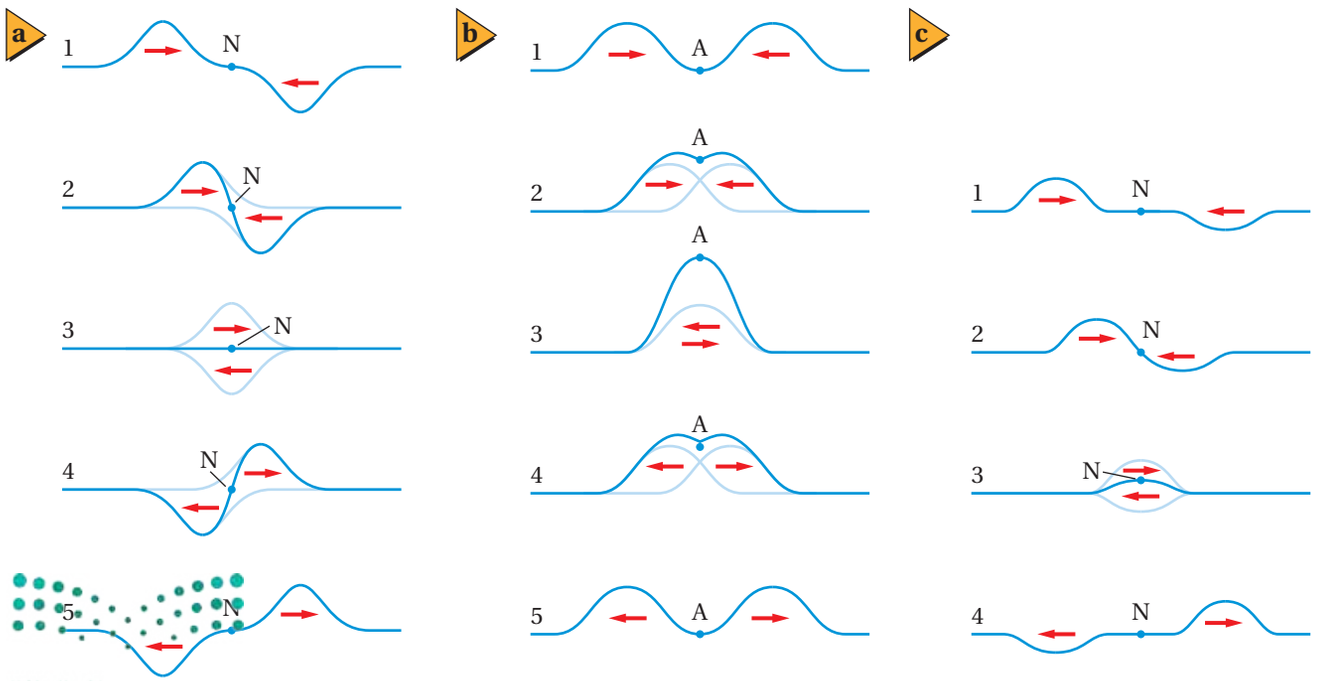
الشكل 12–2 تقترب الموجة من الحائط الصلب (a)، وتنعكس عنه مرتدة إلى الخلف (b). لاحظ أن سعة الموجة المنعكسة تساوي تقريبًا سعة الموجة الساقطة، إلا أنها مقلوبة.

ماذا يحدث لو كان الحد الفاصل حائطًا وليس نابضًا آخر؟ عندما تُطلق موجة في نابض مثبت في حائط صلب مصقول تنعكس هذه الموجة عن الحائط إلى الخلف كما في **الشكل 12–2**، ويكون الحائط هو الحد الفاصل لوسط جديد حاولت الموجة المرور خلاله، حيث تنعكس الموجة عن الحائط بدلاً من مرورها خلاله، وتساوي سعة الموجة المرتدة تقريبًا سعة الموجة الساقطة. لذا تنعكس معظم طاقة الموجة إلى الخلف، والقليل منها ينتقل إلى الحائط. ولاحظ أيضًا أن الموجة انقلبت إلى أسفل، أما لو كان النابض متصلاً بحلقة حرة الحركة حول قضيب ـ حد فاصل حر الحركة ـ فإن الموجة لن تنقلب.

تراكُب الموجات Superposition of Waves

افترض أن نبضة تنتقل في نابض وقابلت نبضة منعكسة. ما الذي يحدث في هذه الحالة؟ سيكون هناك نبضتان في الوسط في المكان والزمان نفسيهما، وتؤثر كل من النبضتين في الوسط بصورة مستقلة. وينص **مبدأ التراكُب** على أن الإزاحة الحادثة في الوسط، الناتجة عن نبضتين أو أكثر، تساوي المجموع الجبري للإزاحات الناتجة عن كل نبضة على حِدة؛ أي أنه يمكن اتحاد نبضتين أو أكثر لتكوين نبضة واحدة جديدة. وإذا انتقلت النبضتان في اتجاهين متعاكسين فإما أن تلغي كل منهما تأثير الأخرى، أو تنتج نبضة لها سعة أكبر أو أصغر من سعة كل منهما. ويسمى الأثر الناتج عن تراكُب نبضتين أو أكثر **التداخل**.

الشكل 13–2 عندما تلتقي نبضتان متساويتان تتكون نقطة تُسمى العقدة (N)؛ حيث يبقى الوسط دون اضطراب (a). وينتج التداخل البناء في أكبر صورة له عند تكوّن بطن الموجة (A). (b) وإذا كانت سعتا النبضتين المتعاكستين غير متساويتين فسيكون الهدم غير تام (c).



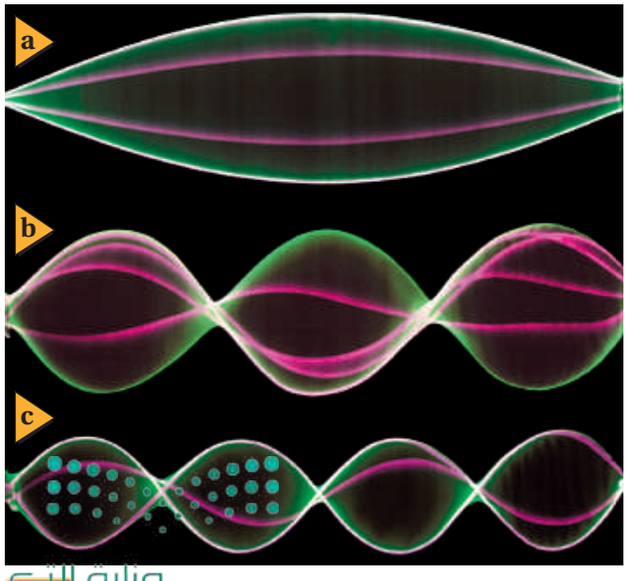
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تداخل الموجات يوجد التداخل على شكلين: فيكون تداخلاً بنّاءً، أو تداخلاً هدّامًا. فعندما تلتقي نبضتان لهما السعة نفسها ولكن في اتجاهين متعاكسين ـ أي قمة من الموجة الأولى مع قاعٍ من الموجة الثانية ـ تقل إزاحة الوسط عند النقاط كلها في منطقة التداخل، ويكون التداخل هدامًا. وإذا كانت سعتا الموجتين متساويتين كما في **الشكل 2–13a** فإن مقدار الإزاحة سيساوي صفرًا. وتُسمى النقطة N التي لم تتحرك مطلقًا **العقدة**. وتواصل النبضتان حركتيهما بعد التداخل، وتستعيدان شكلهما الأصلي.

ينتج التداخل البنّاء عندما تكون إزاحات الموجات في الاتجاه نفسه، وتكون النتيجة موجة لها سعة أكبر من سعة أي من الموجات منفردة. ويبين **الشكل 2–13b** تداخلاً بنّاءً لنبضتين متساويتين، حيث تتكون نبضة ذات سعة أكبر عند النقطة A عندما تلتقي النبضتان، وتُسمى هذه النبضة الناتجة **البطن**، وتكون إزاحتها هي الأكبر. وتمر النبضتان بعد ذلك إحداهما خلال الأخرى دون أي تغير في شكليهما أو حجميهما. وإذا كانت سعتا النبضتين غير متساويتين فإن النبضة الناتجة من التداخل تساوي المجموع الجبري لإزاحتي النبضتين، كما في **الشكل 2–13c**.

الموجات الموقوفة (المستقرة) يمكنك تطبيق مفهوم تراكب الموجات للتحكم في تكوين موجات ذات سعة كبيرة. فإذا ثُبّت أحد طرفي حبل أو نابض حلزوني في نقطة ثابتة مثل مقبض باب، ثم بدأتَ بهز الطرف الآخر فإن الموجات تنطلق من يدك متحركة في اتجاه الطرف الآخر الثابت، ثم ترتد عند هذه النهاية الثابتة وتنقلب من جديد، وتعود إلى يدك ثانية. وعندما تصل الموجة المرتدة إلى يدك تنعكس وتنقلب من جديد وتتحرك إلى الخلف مرةً أخرى. وتكون إزاحة الموجة عندما تنطلق من يدك للمرة الثانية في الاتجاه نفسه الذي انطلقت منه أول مرة.

ماذا تفعل لو أردت زيادة سعة الموجة التي ولّدتها؟ افترض أنك ضبطت حركة يدك بحيث يكون الزمن الدوري لاهتزازها مساويًا للزمن الذي تحتاج إليه النبضة حتى تكمل دورة كاملة: من يدك إلى الباب ثم العودة. عندئذٍ سوف تضاف الإزاحة التي تولّدها يدك في كل مرة إلى إزاحة الموجة المنعكسة. والنتيجة أن اهتزاز الحبل سيكون أكبر من حركة يدك، ويمكن توقع ذلك استنادًا إلى معرفتك بالتداخل البنّاء. وتعتبر هذه الاهتزازة ذات السعة الكبيرة مثالًا على الرنين الميكانيكي. وتكون العقدتان عند طرفي الحبل، في حين يكون البطن في وسط النبضة، كما في **الشكل 2–14a**. وتبدو الموجة موقوفة ولذا تسمى **الموجة الموقوفة أو المستقرة**؛ أيْ أن الموجة الموقوفة هي تداخل موجتين تتحركان في اتجاهين متعاكسين. وإذا ضاعفتَ تردد الاهتزاز تتولّد عقدة جديدة وبطن جديد في الحبل، ويظهر الحبل مهتزًّا في قسمين. وعند زيادة التردد أكثر تتولّد عقد وبطون أكثر، كما في **الشكلين 2–14b، 2–14c**.



الشكل 2–14 يُنتج التداخل موجات موقوفة في الحبل، وبزيادة التردد يزداد عدد العقد والبطون، كما هو واضح من أعلى الشكل إلى أسفله.

تجربة

تداخل الموجات

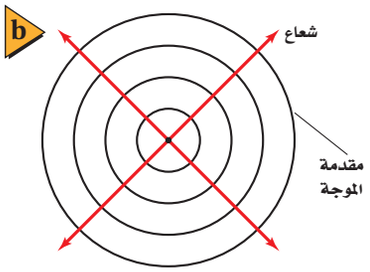
يمكنك باستعمال نابض حلزوني توليد موجة تضاغطية متغيرة في سعتها وسرعتها واتجاهها، كما في الموجة المستعرضة.

1. **صمّم تجربة** لاختبار ما يحدث عند التقاء موجتين من اتجاهين مختلفين.
2. نفّذ التجربة وسجّل ملاحظاتك.

التحليل والاستنتاج

3. هل تغيّرت سرعة أي موجة منهما؟
4. هل ترتدّ هاتان الموجتان إحداهما عن الأخرى؟ أم تمر كل منهما خلال الأخرى؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



■ **الشكل 15–2** تنتشر الموجات الدائرية إلى الخارج بعيدًا عن مصدرها (a). ويمكن تمثيل الموجة بدوائر ترسم عند قمم الموجات الدائرية (b). لاحظ أن الأشعة متعامدة مع مقدمة الموجة.

الموجات في بعدين Waves in Two Dimensions

درست الموجات في حبل أو نابض، عندما تنعكس عن حاجز صلب، حيث تصبح السعة صفـرًا نتيجة التداخل الهدام. هذه الموجات الميكانيكية تتحرك في بُعد واحدٍ. أما الموجات على سطح الماء فتتحرك في بعدين، وستدرس لاحقًا الموجات الكهرومغناطيسية وموجات الصوت التي تتحرك في ثلاثة أبعاد. فكيف يمكن توضيح الموجات في بعدين؟

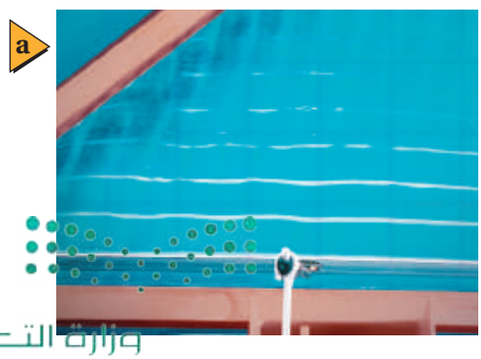
تمثيل الموجات في بعدين عندما ترمي حجرًا صغيرًا في بركة ماء ساكنة، ترى قمم وقيعان الموجات الدائرية الناتجة تنتشر إلى الخارج في جميع الاتجاهات. ويمكن تمثيل هذه الموجات برسم دوائر تُعبّر عن قمم هذه الموجات. فعندما تضع رأس إصبعك في الماء وتحركه بتردد ثابت ستنتج دوائر متتابعة متحدة في مراكزها، ويكون إصبعك مركز تلك الدوائر التي تُسمى مقدمات الموجة. **فمقدمة الموجة** هي الخط الذي يمثل قمة الموجة في بعدين. ويمكن استعمال مقدمة الموجة لتوضيح الموجات بأي شكل كانت، ومن ذلك الموجات الدائرية والموجات المستقيمة. ويوضح **الشكل 15a–2** الموجات الدائرية في الماء، بينما يوضح **الشكل 15b–2** مقدمات هذه الموجات. وتُرسم مقدمات الموجات بمقياس رسم يبيّن الطول الموجي لهذه الموجات، ولكن لا يبين سعاتها.

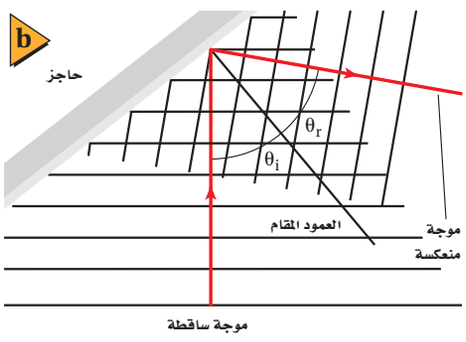
تجربة عملية
كيف تنعكس الموجات وكيف تنكسر؟
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

ومهما يكن شكل الموجات التي تتحرك في بعدين فإنها تتحرك في اتجاه متعامد مع مقدماتها، ويُمثَّل هذا الاتجاه **بشعاع** على شكل خط يصنع زاوية قائمة مع قمة الموجة. وإذا أردت بيان اتجاه انتقال الموجة فقط فمن الملائم أن ترسم أشعة بدلًا من مقدمات الموجات.

تجربة عملية
كيف يبدو حيود الموجات وتداخلها؟
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

انعكاس الموجات في بعدين يستعمل حوض الموجات لبيان خصائص الموجات المنتشرة في بعدين؛ إذ يحتوي على طبقة ماء ضحلة، وألواح اهتزاز تولّد نبضات موجية، كما موضح في **الشكل 16a–2**، أو تولّد موجات ماء تتحرك بتردد ثابت. وعند إضاءة المصباح الموجود فوق الحوض يتكون ظل تحت الحوض يبين موقع قمم الموجات وقيعانها. وعندما تنتشر موجة نحو حاجزٍ ما، فإنها تنعكس عنه في اتجاه محدّد.





■ **الشكل 16–2** نبضة موجة مرتدة عن حاجز في حوض الموجات (a). يوضّح المخطط الشعاعي التسلسل الزمني لاقتراب الموجة من الحاجز وانعكاسها عنه إلى اليمين (b).

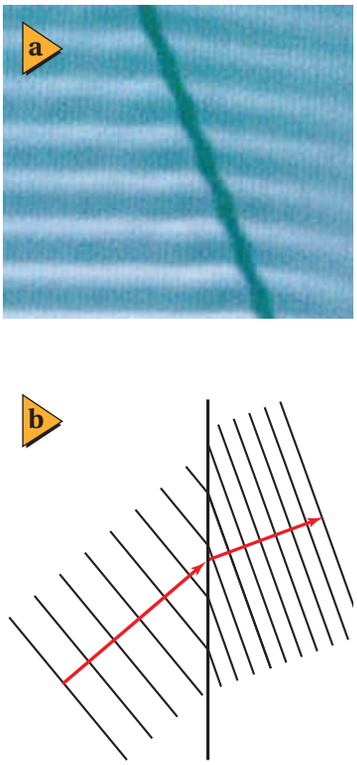
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

ويمكن تمثيل اتجاه انتشار الموجات بالمخطّط الشعاعي المبين في **الشكل 2–16b**، حيث يُمثّل الشعاع المتجه إلى أعلى الموجة الساقطة، في حين يُمثّل الشعاع المتجه إلى اليمين الموجة المنعكسة.

أما الحاجز فيمثّل بخط مستقيم يفصل بين الوسطين، والخط المتعامد مع الحاجز عند نقطة السقوط يُسمى **العمود المقام**. وتسمى الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام زاوية السقوط. أما الزاوية المحصورة بين الشعاع المنعكس والعمود المقام فتسمى زاوية الانعكاس. وينص **قانون الانعكاس** على أن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.

انكسار الموجات في بعدين يمكن استخدام حوض الموجات كذلك لتمثيل سلوك الموجات عندما تنتقل من وسط إلى آخر. ويوضّح **الشكل 2–17a** لوحًا زجاجيًّا موضوعًا في حوض الموجات، وسمك طبقة الماء فوقه أقل من سمك طبقة الماء في بقية الحوض؛ حيث يؤثر ذلك وكأنه وسط مختلف. وبانتقال الموجة من منطقة الماء العميق إلى منطقة الماء الضحل تقلّ سرعتها ويتغير اتجاهها. ولأن الموجات في منطقة الماء الضحلة تولّدت من الموجات القادمة من منطقة الماء الأعمق فإن ترددها لن يتغير. واستنادًا إلى المعادلة $\lambda = v/f$ فإن تناقص سرعة الموجات يعني أن الطول الموجي يكون أقصر في منطقة الماء الضحلة. ويعرف التغير في اتجاه انتشار الموجات عند الحد الفاصل بين وسطين مختلفين **بالانكسار**. ويبين **الشكل 2–17b** مقدمة الموجة ونموذج المخطّط الشعاعي للانكسار، وعندما تدرس انعكاس الضوء وانكساره في الفصول القادمة ستتعرف قانون الانكسار المعروف بقانون سنل.

قد تعلم أن سبب الصدى هو انعكاس الصوت عن سطح صلب مثل حائط كبير، أو انعكاسه عن جرف صخري بعيد، وأن الانكسار مسؤول جزئيًّا عن تكون قوس المطر؛ فعندما يمر الضوء الأبيض خلال قطرات المطر تعمل هذه القطرات على تحليل الضوء الأبيض إلى ألوانه (ألوان الطيف المرئي السبعة) بفعل الانكسار.



الشكل 2–17 عندما تتحرك موجات الماء فوق منطقة الماء الضحلة، حيث يوجد لوح الزجاج في حوض الموجات تتباطأ ويقل طولها الموجي (**a**). ويمكن تمثيل الانكسار بمخطّط مقدمات الموجات والأشعة (**b**).

2–3 مراجعة

20. **الموجات عند الحدود الفاصلة** أيّ خصائص الموجة الآتية لا تتغير عندما تمر الموجة خلال حد فاصل بين وسطين مختلفين: التردد، السعة، الطول الموجي، السرعة، الاتجاه؟

21. **انكسار الموجات** لاحظ **الشكل 2–17a**، وبين كيف يتغير اتجاه الموجة عندما تمر من وسط إلى آخر. وهل يمكن أن تعبر موجة في بعدين حدًّا فاصلًا بين وسطين دون أن يتغير اتجاهها؟ وضح ذلك.

22. **الموجات الموقوفة** ما العلاقة بين عدد العقد وعدد البطون في موجة موقوفة في نابض مثبت الطرفين؟

23. **التفكير الناقد** هناك طريقة أخرى لفهم انعكاس الموجات، وهي أن تغطي الطرف الأيمن لكل رسم في **الشكل 2–13a** بقطعة ورق، على أن يكون طرف الورقة موجودًا عند النقطة N (العقدة)، ثم تركز على الموجة الناتجة التي تظهر باللون الأزرق الغامق، وتلاحظ أنها تبدو مثل موجة منعكسة عن حد فاصل. فهل هذا الحد الفاصل حائط صلب أم ذو نهاية مفتوحة؟ كرّر هذا التمرين مع **الشكل 2–13b**.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مختبر الفيزياء

تذبذب البندول Pendulum Vibrations

يمكن أن يوفر البندول البسيط نموذجًا لاستقصاء خصائص الموجات. ستصمِّم في هذه التجربة طريقة لاستعمال البندول لإيجاد سعة موجة، وزمنها الدوري، وترددها. وستحدد أيضًا تسارع الجاذبية الأرضية باستعمال البندول البسيط.

سؤال التجربة

كيف يوضح البندول البسيط خصائص الموجات؟

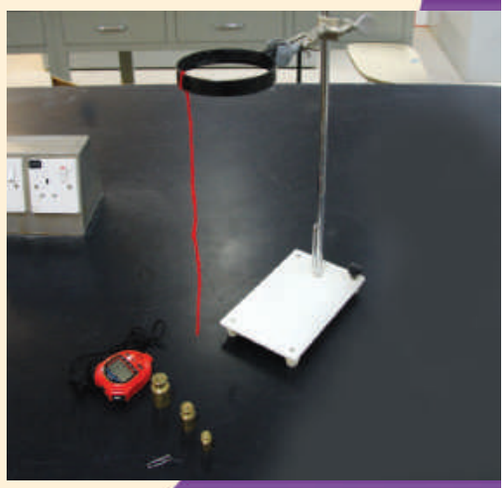
الأهداف

- **تحدّد** المتغيرات التي تؤثر في الزمن الدوري للبندول.
- **تستقصي** تردّد البندول وزمنه الدوري وسعة اهتزازه.
- **تقيس** قيمة تسارع الجاذبية الأرضية g.

احتياطات السلامة

المواد والأدوات

خيط طوله 1.5 m	ثلاثة أثقال رصاصية صغيرة
مشبك ورق	حامل حلقي
ساعة إيقاف	



الخطوات

1. صمّم بندولًا باستعمال المواد والأدوات المتوفرة لديك. وتحقق من فحص المعلم لتصميمك إذا كان ملائمًا أم لا، وذلك قبل المضي قدمًا في إجراء التجربة.
2. يكون طول البندول في هذا الاستقصاء مساويًا لطول الخيط مضافًا إليه نصف طول ثقل البندول. والسعة هي البعد بين النقطة التي سُحب إليها ثقل البندول ونقطة اتزانه. والتردد هو عدد دورات ثقل البندول في الثانية. أما الزمن الدوري فهو الزمن الذي يتطلبه ثقل البندول حتى يعمل دورة واحدة. وعند جمع البيانات حول الزمن الدوري يتعين عليك إيجاد الزمن الذي يحتاج إليه البندول حتى يكمل عشر دورات، ثم تجد بعد ذلك الزمن الدوري بوحدة ثانية (s). كما يتعين عليك عدّ الدورات التي تحدث في 10 s، ومنها تجد التردد بوحدة s^{-1}.
3. صمِّم طريقة بحيث تبقي كتلة ثقل البندول وسعة حركته ثابتتين، في حين تُغيّر طول البندول، ثم تحدّد تردّده وزمنه الدوري. سجّل نتائجك في جدول البيانات، وكرّر المحاولات مع أطوال مختلفة للبندول لجمع البيانات.
4. صمِّم طريقة بحيث تُبقي طول البندول وسعته ثابتين، بينما تغير كتلة ثقل البندول، ثم حدد تردده وزمنه الدوري. سجّل نتائجك في جدول البيانات. وكرّر المحاولات لجمع البيانات.
5. صمِّم طريقة أخرى بحيث تبقي طول البندول وثقله ثابتين، في حين تغير سعة حركته، ثم حدد تردّده وزمنه الدوري. سجّل نتائجك في جدول البيانات، وكرّر المحاولات لجمع البيانات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

جدول البيانات 1

جدول البيانات هذا مصمّم للخطوات 5–2

	المحاولة 1	المحاولة 2	المحاولة 3	المتوسط	الزمن الدوري (S)	التردّد (S^{-1})
الطول 1					_____	
الطول 2						_____
الطول 3						
الكتلة 1					_____	
الكتلة 2						_____
الكتلة 3						
الاتساع 1					_____	
الاتساع 2						_____
الاتساع 3						

جدول البيانات 2

جدول البيانات هذا مصمّم للخطوة 6، لإيجاد قيمة g

	المحاولة 1	المحاولة 2	المحاولة 3	المتوسط	الزمن الدوري (S)	طول الخيط (m)
الطول 1						
الطول 2						
الطول 3						

6. صمِّم طريقة باستعمال البندول لحساب تسارع الجاذبية الأرضية g، مستخدمًا المعادلة الآتية: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ حيث تمثل T الزمن الدوري، و l طول خيط البندول، تذكّر تنفيذ عدّة محاولات لجمع البيانات.

التحليل

1. **لخّص** ما العلاقة بين سعة حركة البندول وزمنه الدوري؟
2. **لخّص** ما العلاقة بين كتلة ثقل البندول وزمنه الدوري؟
3. **قارن** كيف يرتبط الزمن الدوري للبندول مع طوله؟
4. **حلّل** أوجد مقدار g من البيانات في الخطوة 6.
5. **تحليل الخطأ** ما النسبة المئوية للخطأ في التجربة عند إيجاد قيمة g؟ وما الأسباب المحتملة لوجود فرق بين القيمة التجريبية لـ g والقيمة المقبولة لها؟

الاستنتاج والتطبيق

1. **استنتج** ما المتغير أو المتغيرات التي تؤثر في الزمن الدوري للبندول؟
2. **قارن** كيف تكون حركة البندول مشابهة لحركة الموجة؟
3. **حلّل** لماذا يفضل تكرار الخطوة ثلاث مرات أو أكثر لإيجاد التردد والزمن الدوري للبندول؟
4. **حلّل واستنتج** متى يكون لثقل البندول أكبر طاقة حركية؟
5. **حلّل واستنتج** متى يكون لثقل البندول أكبر طاقة وضع؟

التوسع في البحث

افترض أن لديك بندولًا طويلًا، ما الملاحظات التي تتوقعها على حركة هذا البندول مدة يوم كامل؟

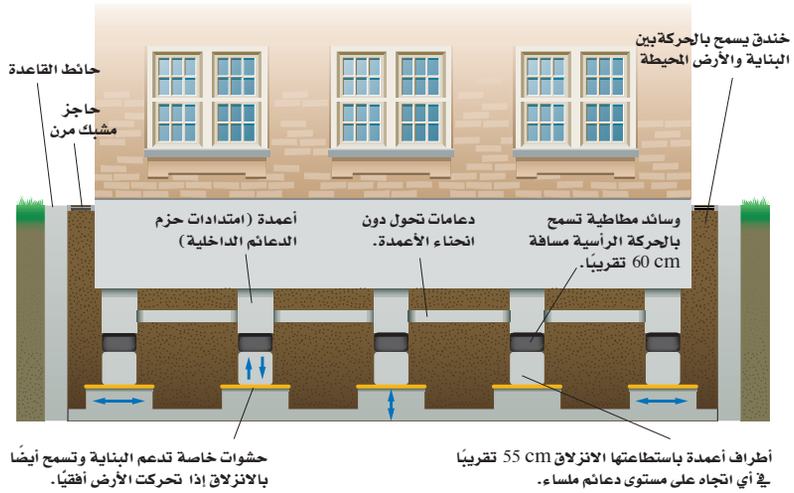
الفيزياء في الحياة

يستعمل البندول في تشغيل بعض أنواع الساعات. استعن بملاحظاتك خلال هذه التجربة لتحديد مشكلات التصميم الموجودة في بندولك عند استعماله أداة لضبط الوقت.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الحماية من الزلازل Earthquake Protection

الزلـزال يعادل انفجارًا شـديدًا وعنيفًا في مكان ما تحـت سـطح الأرض. وتكون الموجات الميكانيكيـة المنتشرة من الزلازل موجات مسـتعرضة وموجـات طولية. فتعمل الموجات المستعرضة على هزّ المباني أفقيًّا، في حين تهـز الموجات الطولية المباني رأسـيًّا. ولا يمكن توقـع وقت حدوث الزلازل أو منع حدوثها حتى الآن، وما دام الأمر كذلك فكيف يمكن اتقاء أضرارها؟



تقلّل التصاميم الحديثة للأبنية الدمار الناتج عن الهزات الأرضية

نتجة المعرفة المتزايـدة حول الزلازل، بعد الاكتشـافات الحديثة للكيفية التي تسبّب بها الزلازل، تدمير المنشـآت المختلفة، يجب أن تصمّم المباني بحيث تصمـد في وجه الزلازل وتكون قادرة على مقاومة آثارها التدميرية، بالإضافة إلى تحديث المباني القائمة.

تقليل الدمار تبنى معظم الجسور والممرات المنحدرة باستعمال طبقات خرسانية مدعومة بالفولاذ بعضها فوق بعض، وتحافظ قوة الجاذبية الأرضية عليها في مكانها. وتكون هذه التراكيب والمباني قوية جدًّا في ظل الظروف العادية. ولكنها تهتز جزئيًّا إذا تعرضت لزلازل قوية. لذا تتطلب قواعد البناء الحديثة ربط أجزاء المبنى معًا بواسطة قطع فولاذية ثقيلة وقوية.

ويمكن الحد من الأضرار التي يسببها الزلزال للمباني عن طريق السـماح بحدوث كمية صغيرة من الحركة المسيطر عليها بين هيكل البناء وقواعده. ولتقليل الاهتزاز الرأسي للبناء توضع نوابض رأسية داخل الأجزاء الرأسية لهيكل البناء، وتصنع هـذه النوابض من مُرَكَّـب مطاطي قوي مضغوط داخل أسـطوانات مصنوعة من الفولاذ الثقيل والقوي. كما يمكن التقليل مـن الاهتزاز الجانبي بوضع دعائـم انزلاقية تحت أعمدة البناء، تحفظ هيكل البناء ثابتًا إذا تحركت الأرض تحته إلى جانب من الجوانب.

أما التراكيب البنائية الطويلة – ومنها الأنفاق والجسور – فيجب أن تبنى بحيث تبقى رأسية أو أفقية إذا حدث قص أو صدع في الأرض أسفلها. فالجسر الذي يربط مملكة البحرين بالمملكة العربية السعودية له وصلات وروابط مرنة تجعله ثابتًا.

التوسع

1. **ابحث** ما المواد التي يتركّب منها بناء مدرستك؟ وكيف بُنيت قواعد هذا البناء؟
2. **لاحظ** ابحث عن بناء فيه تصدع أو تشـقق في أحد جدرانه، وبيّن سـبب حدوثـه، ولماذا اتخذ ذلك الشكل أو المسـار؟ وماذا يحدث للبناء إذا تعرّض لزلزال؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 2
دليل مراجعة الفصل

2–1 الحركة الدورية Periodic Motion

المفردات

- الحركة الدورية
- الحركة التوافقية البسيطة
- الزمن الدوري
- السعة
- قانون هوك
- البندول البسيط
- الرنين

المفاهيم الرئيسة

- الحركة الدورية هي أيّ حركة تتكرر في دورة منتظمة، وفي أزمنة متساوية.
- تنتج الحركة التوافقية البسيطة عندما تتناسب قوة الإرجاع المؤثرة في الجسم طرديًّا مع إزاحة الجسم عن وضع الاتزان. وتحقق هذه القوة قانون هوك.

$$F = -kx$$

- تحسب طاقة الوضع المرونية المختزنة في نابض يحقق قانون هوك بالمعادلة الآتية:

$$PE_{sp} = \frac{1}{2}kx^2$$

- يمكن حساب الزمن الدوري لبندول بسيط بالمعادلة الآتية:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

2–2 خصائص الموجات Waves Properties

المفردات

- الموجة
- نبضة موجية
- الموجة الدورية
- الموجة المستعرضة
- الموجة الطولية
- القاع – القمة
- الطول الموجي
- التردد – الموجة السطحية
- سعة الموجة

المفاهيم الرئيسة

- تنقل الموجة الطاقة دون أن تنقل مادة الوسط.
- تكون إزاحة الوسط في الموجة المستعرضة متعامدة مع اتجاه حركة الموجة، أمّا في الموجة الطولية فتكون الإزاحة موازية لاتجاه حركة الموجة.
- التردّد هو عدد الدورات في الثانية، ويرتبط بالزمن الدوري من خلال المعادلة الآتية:

$$f = \frac{1}{T}$$

- يمكن حساب طول موجة منتشرة باستخدام المعادلة الآتية:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

2–3 سلوك الموجات Waves Behavior

المفردات

- الموجة الساقطة
- الموجة المنعكسة
- مبدأ التراكب
- التداخل – العقدة
- بطن الموجة
- الموجة الموقوفة
- مقدمة الموجة
- قانون الانعكاس
- الشعاع – الانكسار
- العمود المقام

المفاهيم الرئيسة

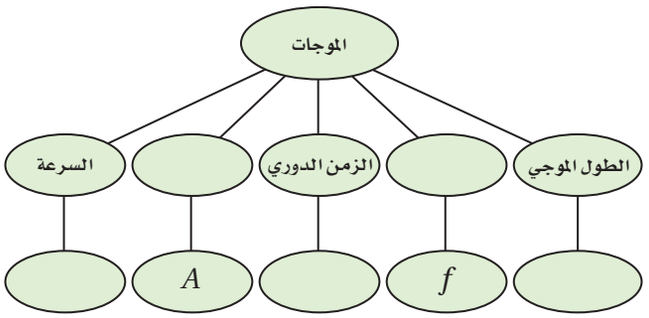
- عندما تعبر موجة خلال حد فاصل بين وسطين مختلفين ينفذ جزء منها وينعكس الجزء الآخر.
- ينص مبدأ التراكب على أن الإزاحة الحادثة في الوسط، والناتجة عن موجتين أو أكثر تساوي المجموع الجبري للإزاحات الناتجة عن كل موجة على حدِة.
- يحدث التداخل عندما تتحرك موجتان أو أكثر في الوسط ذاته وفي الوقت نفسه.
- إذا انعكست موجة في بُعدين عن حد فاصل بين وسطين فإن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.
- الانكسار هو تغير اتجاه الموجات عند حد فاصل بين وسطين مختلفين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 2

خريطة المفاهيم

24. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات والرموز الآتية: السعة، التردد، T، λ، v.



إتقان المفاهيم

25. ما الحركة الدورية؟ أعط ثلاثة أمثلة عليها (1 – 2).

26. ما الفرق بين الزمن الدوري والتردد؟ وكيف يرتبطان؟ (1 – 2)

27. إذا حقق نابض قانون هوك؛ فكيف يكون سلوكه؟ (1 – 2)

28. كيف يمكن أن نستخلص من رسم بياني للقوة والإزاحة لنابضٍ ما قيمةَ ثابت النابض؟ (1 – 2)

29. كيف يمكن أن نستخلص من الرسم البياني للقوة والإزاحة طاقةَ الوضع في نابضٍ ما؟ (1 – 2)

30. هل يعتمد الزمن الدوري لبندول على كتلة ثقله؟ وهل يعتمد على طول خيطه؟ وعلامَ يعتمد الزمن الدوري للبندول أيضًا؟ (1 – 2)

31. ما الطرائق العامة لانتقال الطاقة؟ أعط مثالين على كل منها (2 – 2).

32. ما الفرق الرئيس بين الموجات الميكانيكية والموجات الكهرومغناطيسية؟ (2 – 2)

33. ما الفروق بين كلٍّ من: الموجة المستعرضة، والموجة الطولية والموجة السطحية؟ (2 – 2)

34. ما الفرق بين النبضة الموجية والموجة الدورية؟ (2 – 2)

35. انتقلت موجات خلال نابض طوله ثابت. أجب عن السؤالين الآتيين: (2 – 2)

a. هل تتغير سرعة الموجات في النابض؟ وضح ذلك.

b. هل يتغير تردد الموجة في النابض؟ وضح ذلك.

36. افترض أنك ولّدت نبضة خلال حبل، فكيف تقارن موضع نقطة على الحبل قبل وصول النبضة بموضعها بعد مرور النبضة؟ (2 – 2)

37. افترض أنك ولّدت موجة مستعرضة بهزّ أحد طرفي نابض جانبيًّا، فكيف يكون تردد يدك مقارنة بتردد الموجة؟ (2 – 2)

38. متى تكون النقاط في موجة في الطور نفسه؟ ومتى تكون في حالة اختلاف في الطور؟ أعط مثالاً على كل حالة (2 – 2).

39. صف العلاقة بين سعة موجة والطاقة التي تحملها (2 – 2).

40. عندما تمر موجة خلال حد فاصل بين حبل رفيع وآخر سميك، كما في **الشكل 18–2**، ستتغير سرعتها وطولها الموجي، ولن يتغير ترددها. فسر لماذا يبقى التردد ثابتًا (3 – 2).

الشكل 18–2

41. ثُبتت شريحة فلزية رقيقة من مركزها، ونُثرَ عليها سكر. فإذا نقر على قوس بالقرب منها فإن أحد طرفيها يبدأ في الاهتزاز، ويبدأ السكر في التجمع في مساحات محدّدة، ويتحرك متعدًا عن مساحات أخرى. صِف هذه المناطق بدلالة الموجات الموقوفة (3 – 2)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 2

42. إذا اهتز حبل مشــكّلاً أربعة أجزاء أو أقسام فإنك تستطيع أن تلمس عددًا من النقاط عليه دون أن تُحدث اضطرابًا في حركته. بيّن عدد هذه النقاط (3 – 2).

43. مرّت مقدمات موجات بزاوية من وســط إلى آخر، وتحركت فيه بسرعة مختلفــة. صِفْ تغيرين في هذه المقدمات، وما الذي لم يتغير؟ (3 – 2)

تطبيق المفاهيم

44. تهتز كرة إلى أعلى وإلى أسفل عند طرف نابض مثبت رأســيًّا. صِف تغيرات الطاقة التــي تحدث خلال دورة كاملة. وهل تغيرت الطاقة الميكانيكية الكلية؟

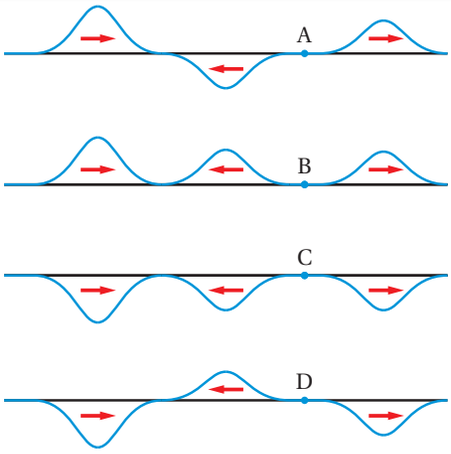
45. هل يمكن استخدام ســاعة بندول في محطة فضائية دولية تتحرك في مدارها؟ وضح ذلك.

46. افــترض أنك أمســكت قضيبًا فلزيًّــا طوله 1 m، وضربت أحد طرفيــه بمطرقة، في اتجاه موازٍ لطوله أولاً، ثم في اتجاه يصنــع زاوية قائمة مع طوله ثانيًا. صف الموجات المتولّدة في الحالتين.

47. افترض أنك غمســت إصبعك بشــكل متكرّر في حوض مملوء بالمــاء لتوليد موجــات دائرية، فماذا يحدث لطول الموجة إذا حركت إصبعك بسرعة؟

48. افــترض أنــك أحدثت نبضــة واحــدة في نابض مشــدود، فما الطاقة التي يتطلبها إحداث نبضة لها ضعف السعة؟

49. تكون النبضة اليــسرى في كل واحدة من الموجات الموضحة في **الشــكل 19–2** هي النبضة الأصلية، وتتحرك إلى اليمين، وتكــون النبضة التي في المركز هي النبضة المنعكســة، بينما تكــون النبضة اليمنى هي النبضة النافذة. صِف صلابة الحد الفاصل عند النقاط A، B، C، D.



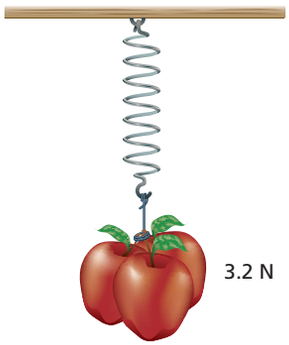
الشكل 19–2

إتقان حل المسائل

2–1 الحركة الدورية

50. **ماصّات الصدمات** إذا كان ثابت كل نابض من نوابض سيارة وزنها 1200N يساوي 25000 N /m. فكم ينضغط كل نابض إذا حُمّلت السيارة بربع وزنها ؟

51. إذا اســتطال نابض إزاحــة 0.12m عندما علّق في أســفله عدد مــن التفاحات وزنهــا 3.2 N كما في **الشكل 20–2**، فما مقدار ثابت النابض؟



الشكل 20–2

52. **قاذفة الصواريخ** تحتــوي لعبة قاذفة الصواريخ على نابض ثابته يســاوي 35 N /m. مــا الإزاحة التي يجب أن ينضغطها النابض حتى يخزن طاقة مقدارها 1.5J؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

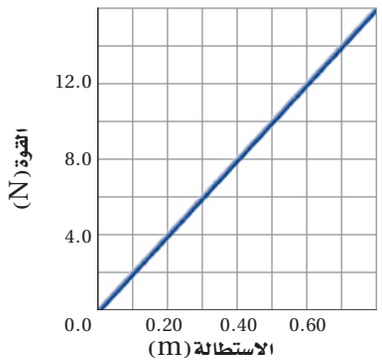
تقويم الفصل 2

53. ما مقدار طاقة الوضع المختزنة في نابض عندما يستطيل بإزاحة 16 cm علمًا بأن مقدار ثابته يساوي 27 N /m ؟

54. يبين **الشكل 21–2** العلاقة البيانية بين القوة المؤثرة في نابض ومقدار استطالته. احسب مقدار:

a. ثابت النابض.

b. الطاقة المختزنة في النابض عندما يستطيل ويصبح طوله 0.50 m



الشكل 21–2

2–2 خصائص الموجات

55. **موجات المحيط** إذا كان طول موجة محيطية 12.0 m، وتمر بموقع ثابت كل 3.0 s، فما سرعة الموجة؟

56. تنتقل موجة ماء في بركة مسافة 3.4 m في 1.8 s. فإذا كان الزمن الدوري للاهتزازة الواحدة يساوي 1.1 s، فاحسب مقدار:

a. سرعة موجات الماء.

b. الطول الموجي لهذه الموجات.

57. **السونار** يرسل سونار(جهاز يكشف المواقع تحت سطح الماء عن طريق الصدى) في الماء إشارة ترددها 1.00×10^6 Hz وطولها الموجي يساوي 1.50 mm. احسب مقدار:

a. سرعة الإشارة في الماء.

b. الزمن الدوري للإشارة في الماء.

c. الزمن الدوري للإشارة في الهواء.

58. جلس عمر وطارق بعد السباحة على شاطئ بركة، وقدّرا المسافة الفاصلة بين قاع الموجة السطحية وقمتها بمقدار 3.0 m، فإذا عدّا 12 قمة مرت بالشاطئ خلال 20.0 s، فاحسب سرعة انتشار الموجات.

59. **الزلازل** إذا كانت سرعة الموجات المستعرضة الناتجة عن زلزال 8.9 km /s وسرعة الموجات الطولية 5.1 km /s، وسجّل جهاز السيزموجراف زمن وصول الموجات المستعرضة قبل وصول الموجات الطولية بـ 68 s، فكم يبعد مركز الزلزال؟

2–3 سلوك الموجات

60. إذا كانت سرعة الموجة في وتر طوله 63 cm تساوي 265 m /s، وقد حرّكته من مركزه بسحبه إلى أعلى ثم تركته، فتحرّكت نبضة في الاتجاهين، ثم انعكست النبضتان عند نهايتي الوتر:

a. فما الزمن الذي تحتاج إليه النبضة حتى تصل طرف الوتر ثم تعود إلى مركزه؟

b. هل يكون الوتر أعلى موضع سكونه أم أسفله عندما تعود النبضتان؟

c. إذا حرّكت الوتر من نقطة تبعد 15 cm عن أحد طرفيه فأين تلتقي النبضتان؟

مراجعة عامة

61. ما الزمن الدوري لبندول طوله 1.4 m؟

62. **موجات الراديو** تبث إشارات راديو AM بترددات بين 550 kHz و1600 kHz وتنتقل بسرعة

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 2

3.00×10^8 m /s، أجب عما يأتي:

a. ما مدى الطول الموجي لهذه الإشارات؟

b. إذا كان مدى ترددات FM بين 88 MHz (ميجا Hz) و 108 MHz وتنتقل بالسرعة نفسها، فما مدى الطول الموجي لموجات FM؟

63. القفز بالحبل المطاطي قفز لاعب من منطاد على ارتفاع عالٍ بواسطة حبل نجاة قابل للاستطالة طوله 540 m، وعند اكتمال القفزة كان اللاعب معلقًا بالحبل الذي أصبح طوله 1710 m. ما مقدار ثابت النابض لحبل النجاة إذا كانت كتلة اللاعب 68 kg؟

64. تأرجح جسر يتأرجح طارق وحسن على جسر بالحبال فوق أحد الأنهار، حيث يربطان حبالهما عند إحدى نهايتي الجسر، ويتأرجحان عدة دورات جيئة وذهابًا، ثم يسقطان في النهر. أجب عن الأسئلة الآتية:

a. إذا استخدم طارق حبلاً طوله 10.0 m، فما الزمن الذي يحتاج إليه حتى يصل قمة الدورة في الجانب الآخر من الجسر؟

b. إذا كانت كتلة حسن تزيد 20 kg على كتلة طارق، فكم تتوقع أن يختلف الزمن الدوري لحسن عما هو لطارق؟

c. أي نقطة في الدورة تكون عندها KE أكبر ما يمكن؟

d. أي نقطة في الدورة تكون عندها PE أكبر ما يمكن؟

e. أي نقطة في الدورة تكون عندها KE أقل ما يمكن؟

f. أي نقطة في الدورة تكون عندها PE أقل ما يمكن؟

65. نوابض السيارات إذا أُضيفت حمولة مقدارها 45 kg إلى صندوق سيارة صغيرة جديدة، ينضغط النابضان الخلفيان إزاحة إضافية مقدارها 1.0 cm، احسب مقدار:

a. ثابت النابض لكل من النابضين الخلفيين.

b. طاقة الوضع الإضافية المختزنة في كل من النابضين الخلفيين بعد تحميل صندوق السيارة.

التفكير الناقد

66. حلّل واستنتج إذا لزمت قوة مقدارها 20 N لإحداث استطالة في نابض مقدارها 0.5 m، فأجب عما يلي:

a. ما مقدار ثابت النابض؟

b. ما مقدار الطاقة المختزنة في النابض؟

c. لماذا لا يكون الشغل المبذول لإطالة النابض مساويًا لحاصل ضرب القوة في المسافة، أو 10 J؟

67. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها عُلّقت عدة كتل في نهاية نابض، وقيست الزيادة في طول النابض. ويبين **الجدول 1-2** المعلومات التي تم الحصول عليها:

الجدول 1-2

الأوزان المعلقة في النابض

القوة F (N)	الاستطالة x (m)
2.5	0.12
5.0	0.26
7.5	0.35
10.0	0.50
12.5	0.60
15.0	0.71

a. مثّل بيانيًّا القوة المؤثرة في النابض مقابل الاستطالة فيه، على أن ترسم القوة على المحور y.

b. احسب ثابت النابض من الرسم البياني.

c. استخدم الرسم البياني في إيجاد طاقة الوضع المرونية المختزنة في النابض عندما يستطيل إزاحة 0.50m

68. تطبيق المفاهيم تتكون تموجات ترابية في الغالب على الطرق الترابية، ويكون بعضها متباعدًا عن بعض بصورة منتظمة، كما تكون هذه التموجات

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

عمودية على الطريق كما في **الشكل 22–2**. وينتج هذا التموج بسبب حركة معظم السيارات بالسرعة نفسها واهتزاز النوابض المتصلة بعجلات السيارة بالتردد نفسه. فإذا كان بعد التموجات بعضها عن بعض 1.5 m، وتتحرك السيارات على هذا الطريق بسرعة 5 m/s، فما تردد اهتزاز نوابض السيارة؟

الشكل 22–2

الكتابة في الفيزياء

69. **بحث** درس العالم كرستيان هويجنز الموجات، وحدث خلاف بينه وبين نيوتن حول طبيعة الضوء. قارن بين تفسير كل منهما لظواهر الانعكاس والانكسار. أيّ النموذجين تؤيد؟ ولماذا؟

مراجعة تراكمية

70. تقطع سيارة سباق كتلتها 1400 kg مسافة 402 m خلال 9.8 s. فإذا كانت سرعتها النهائية 112 m/s، فأجب عما يأتي: (فيزياء 2)

a. ما مقدار الطاقة الحركية النهائية للسيارة؟

b. ما أقل مقدار من الشغل بذله محرك السيارة؟ ولماذا لا يمكنك حساب مقدار الشغل الكلي المبذول؟

c. ما مقدار التسارع المتوسط للسيارة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. مـا قيمة ثابت نابض يخزن طاقة وضـع مقدارها 8.67J عندما يستطيل إزاحة 247 mm؟

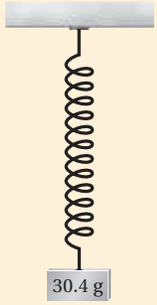
A) 70.2 N/m
B) 71.1 N/m
C) 142 N/m
D) 284 N/m

2. مـا مقدار القـوة المؤثـرة في نابـض له ثابـت مقداره 275 N /m ويستطيل بإزاحة 14.3 cm؟

A) 2.81 N
B) 19.2 N
C) 39.3 N
D) 3.93×10^{30} N

3. إذا عُلّقت كتلة في نهاية نابض فاسـتطال 0.85 m كما في الشكل أدناه، فما مقدار ثابت النابض؟

A) 0.25 N/m
B) 0.35 N/m
C) 26 N/m
D) 3.5×10^{2} N/m



4. يسـحب نابض بابًا لكي يغلقه. ما مقدار الشغل المبذول عندما يسـحب النابض الباب بسرعة ثابتة بحيث تتغيّر اسـتطالة النابض مـن 85.0 cm إلى 5.0 cm، علمًا بأن ثابت النابض 350 N /m؟

A) 112 N.m
B) 130 J
C) 224 N.m
D) 1.12×10^{3} J

5. ما الترتيب الصحيح لمعادلة الزمن الدوري لبندول بسيط لحساب طوله؟

A) $l = \frac{4\pi^2 g}{T^2}$
B) $l = \frac{gT}{4\pi^2}$
C) $l = \frac{T^2 g}{(2\pi)^2}$
D) $l = \frac{Tg}{2\pi}$

6. ما تردّد موجة زمنها الدوري 3 s؟

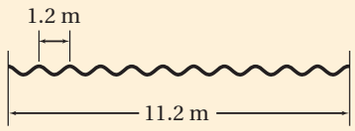
A) 0.3 Hz
B) 30 Hz
C) $\frac{\pi}{3}$ Hz
D) 3 Hz

7. أيّ الخيارات الآتية يصف الموجة الموقوفة؟

	الموجات	الاتجاه	الوسط
A	متطابقة	نفسه	نفسه
B	غير متطابقة	متعاكس	مختلف
C	متطابقة	متعاكس	نفسه
D	غير متطابقة	نفسه	مختلف

8. تحركت موجـة طولها 1.2 m مسـافة 11.2 m في اتجاه جدار، ثم ارتـدّت عنه وعادت ثانية خلال 4 s، فما تردّد الموجة؟

A) 0.2 Hz
B) 2 Hz
C) 5 Hz
D) 9 Hz



9. ما طول بندول بسيط زمنه الدوري 4.89 s؟

A) 5.94 m
B) 11.9 m
C) 24.0 m
D) 37.3 m

الأسئلة الممتدة

10. استخدم تحليل الوحدات للمعادلة $kx = mg$ لاشتقاق وحدة k.

إرشاد

تدرّب، تدرّب، تدرّب

تدرّب لتحسـين أدائـك في الاختبار المقنـن، ولا تقارن نفسك بالآخرين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 3

الصوت
Sound

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف الصوت بدلالة خصائص الموجات وسلوكها.
- اختبار بعض مصادر الصوت.
- توضيح الخصائص التي تميز بين الأصوات المنتظمة والضجيج.

الأهمية

يُعدّ الصوت وسيلة مهمة للتواصل، ونقل الثقافات المختلفة بين الشعوب. وحديثًا تعد موجاته إحدى وسائل المعالجة.

فِرَق النشيد تحتوي فرقة النشيد الواحدة على أكثر من شخص، ولكل شخص منهم صوت مختلف عن الآخر، وعندما ينشدون معًا تنتج أصوات مختلفة، ولكنها تكون ذات إيقاعات مريحة للنفس.

فكِّر

تختلف الأصوات الصادرة عن الأجسام باختلاف طبيعة هذه الأجسام، وبسبب هذا الاختلاف نستطيع التمييز بين هذه الأصوات. فما سبب هذا الاختلاف؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

كيف يمكن لكأس زجاجية أن تصدر أصواتًا مختلفة؟

سؤال التجربة كيف يمكنك استخدام كؤوس زجاجية لإصدار أصوات مختلفة؟ وكيف تختلف الأصوات الصادرة عن الكؤوس ذات السيقان عن الأصوات الصادرة عن الكؤوس التي بلا سيقان؟

الخطوات

1. اختر كأسًا زجاجية ذات ساق ولها حافة رقيقة.
2. **حضّر** تفحّص بحذر الحافة العلوية للكأس؛ حتى لا يكون هناك حواف حادة، وأخبر معلمك إذا وجدت أي حواف حادة، وتحقق من تكرار الفحص في كل مرة تختار فيها كأسًا مختلفة.
3. ضع الكأس أمامك على الطاولة، وثبِّت قاعدة الكأس بإحدى يديك، ثم بلّل إصبعك وحكّها ببطء حول الحافة العلوية للكأس. **تحذير: تعامل مع الزجاج بحذر؛ لأنه هَشّ.**
4. سجّل مشاهداتك، ثم زِد أو قلّل سرعة إصبعك قليلاً. ماذا يحدث؟
5. اختر كأسًا ذات ساق أطول أو أقصر من الكأس الأولى، وكرّر الخطوات 4–2.
6. اختر كأسًا بلا ساق، وكرّر الخطوات 4–2.

التحليل

لخص مشاهداتك، ما الكؤوس التي لها المقدرة على إصدار أصوات: ذات السيقان، أم التي لا سيقان لها، أم كلا النوعين؟ وما العوامل التي تؤثر في الأصوات الصادرة؟

التفكير الناقد اقترح طريقة لإصدار أصوات مختلفة من الكأس نفسها، واختبر طريقتك، ثم اقترح اختبارًا لاستقصاء خصائص الكؤوس التي يمكن استعمالها في إصدار أصوات.

3–1 خصائص الصوت والكشف عنه Properties and Detection of Sound

الصوت جزء مهم في حياة العديد من المخلوقات الحية؛ إذ تستخدم الحيوانات الصوت للصيد والتزاوج والتحذير من اقتراب الحيوانات المفترسة. يزيد صوت صفارة الإنذار من القلق لدى الناس، في حين تساعد أصوات أخرى ـ ومنها صوت الأذان أو تلاوة القرآن ـ على التهدئة وإراحة النفس. ولقد أصبح مألوفًا لديك ـ من خلال خبرتك اليومية ـ العديد من خصائص الصوت، ومنها علوّه ونغمته وحدّته. ويمكنك استخدام هذه الخصائص وغيرها لتصنيف العديد من الأصوات التي تسمعها. فعلى سبيل المثال، تعد بعض أنماط الصوت من مميزات الكلام، في حين يعد غيرها من ميزات فِرَق النشيد. وستدرس في هذا الفصل المبادئ الفيزيائية للموجات الصوتية.

درست في الفصل السابق وصف الموجات بدلالة السرعة، والتردد، والطول الموجي، والسعة. كما استكشفت كيفية تفاعل الموجات بعضها مع بعض وتفاعلها مع المادة. ولأن الصوت أحد أنواع الموجات فإنه يمكنك وصف بعض خصائصه وتفاعلاته. والسؤال الذي تحتاج إلى إجابته أولًا هو: ما نوع موجة الصوت؟

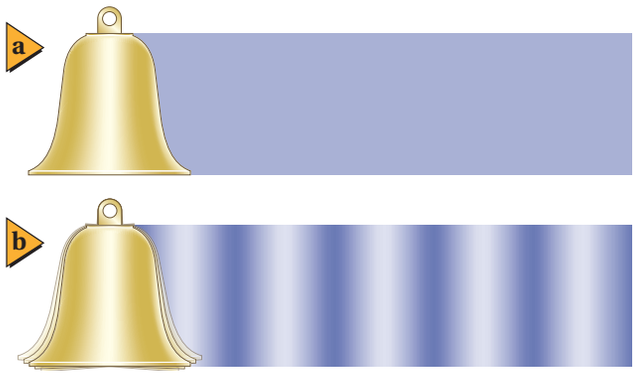
الأهداف

- **تبيّن** الخصائص المشتركة بين الموجات الصوتية والموجات الأخرى.
- **تربط** الخصائص الفيزيائية للموجات الصوتية بإدراكنا للصوت.
- **تحدّد** بعض التطبيقات على تأثير دوبلر.

المفردات

الموجة الصوتية
حدّة الصوت
علوّ الصوت
مستوى الصوت
الديسبل
تأثير دوبلر

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 1–3 يكون الهواء حول الجرس قبل قرعه ذا ضغط متوسط (a). وعند قرعه تُحدث الحافة المهتزة مناطق ذات ضغط مرتفع، وأخرى ذات ضغط منخفض؛ حيث تمثل المساحات الداكنة مناطق الضغط المرتفع، وتمثل المساحات الفاتحة مناطق الضغط المنخفض (b). ويبين الرسم التخطيطي تحرك المناطق في اتجاه واحد للتبسيط، في حين أن الموجات تتحرك فعليًا من الجرس في الاتجاهات جميعها.

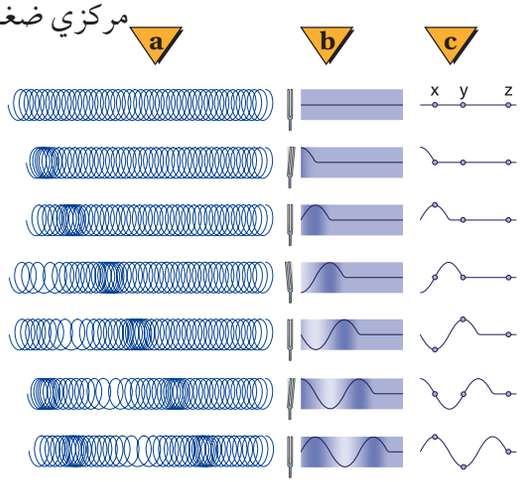
الموجات الصوتية Sound Waves

ضع أصابعك على حنجرتك وأنت تتكلم أو تُنشد. هل تشعر بالاهتزازات؟ هل حاولت مرة وضع يدك على سمّاعة مسجل؟ يوضّح **الشكل 1–3** جرسًا يهتز، وهو يشبه أوتارك الصوتية أو سمّاعة المسجل أو أي مصدر للصوت؛ فعندما يهتز الجرس إلى الخلف وإلى الأمام، تصدم حافة الجرس جزيئات الهواء، وتتحرك جزيئات الهواء إلى الأمام عندما تتحرك الحافة إلى الأمام؛ أي أن جزيئات الهواء ترتد عن الجرس بسرعة كبيرة. وعندما تتحرك الحافة إلى الخلف، ترتد جزيئات الهواء عن الجرس بسرعة أقل.

وينتج عن تغيرات سرعة اهتزاز الجرس ما يأتي: تُؤدي حركة الجرس إلى الأمام إلى تشكّل منطقة يكون ضغط الهواء فيها أكبر قليلًا من المتوسط، في حين تؤدي حركته إلى الخلف إلى تشكّل منطقة يكون ضغط الهواء فيها أقل قليلًا من المتوسط. وتؤدي التصادمات بين جزيئات الهواء إلى انتقال تغيرات الضغط بعيدًا عن الجرس في الاتجاهات جميعها. وإذا ركّزت على بقعة واحدة فستشاهد ارتفاع ضغط الهواء وانخفاضه، بخلاف سلوك البندول. وبهذه الطريقة تنتقل تغيرات الضغط خلال المادة.

وصف الصوت يسمى انتقال تغيرات الضغط خلال مادةٍ **موجةً صوتيةً**. وتنتقل موجات الصوت خلال الهواء؛ لأن المصدر المهتز ينتج تغيرات أو اهتزازات منتظمة في ضغط الهواء. وتتصادم جزيئات الهواء، وتنقل تغيرات الضغط بعيدًا عن مصدر الصوت. ويتذبذب ضغط الهواء حول متوسط الضغط، كما في **الشكل 2–3**. ويكون تردد الموجة هو عدد اهتزازات قيمة الضغط في الثانية الواحدة. أمّا الطول الموجي فيمثل المسافة بين مركزي ضغط مرتفع أو منخفض متتاليين. ويُعد الصوت موجة طولية؛ لأن جزيئات الهواء تهتز موازية لاتجاه انتشار الموجة.

يبين الشكل 2–3 نمذجة تضاغطات وتخلخلات موجة صوت باستخدام نابض (a). يرتفع ضغط الهواء وينخفض مع انتشار الموجة الصوتية خلال الهواء (b). ويمكنك استعمال منحنى الجيب وحده لتعبر عن تغيرات الضغط. لاحظ أن المواضع x، y، وz تبين أن الموجة هي التي تتحرك إلى الأمام وليست المادة (c).



تعتمد سرعة الصوت في الهواء على درجة الحرارة؛ حيث تزداد سرعته في الهواء 0.6 m/s لكل زيادة في درجة حرارة الهواء مقدارها 1°C. فمثلا، تتحرك موجات الصوت خلال هواء له درجة حرارة الغرفة، 20 °C، عند مستوى سطح البحر بسرعة 343 m/s. وينتقل الصوت خلال المواد الصلبة والموائع أيضًا. وتكون سرعة الصوت عمومًا في المواد الصلبة أكبر منها في السائلة، وأكبر منها في الغازات. ويبين الجدول 1–3 سرعات موجات الصوت في أوساط متعدّدة. ولا ينتقل الصوت في الفراغ؛ وذلك لعدم وجود جزيئات تتصادم وتنقل الموجة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تشـترك الموجات الصوتية مع الموجات الأخرى في خصائصها العامة، مثل انعكاسها عن الأجسـام الصلبة، كجدران غرفة مثلاً. وتُسمى موجات الصوت المنعكسة عند وصولها إلى مصدرها الصَّدَى. ويمكن اسـتخدام الزمن الذي يحتـاج إليه الصدى حتى يعود إلى مصدر الصوت في إيجاد المسافة بين مصدر الصوت والجسم الذي انعكس عنه. ويستخدم هذا المبدأ الخفافيش، وبعض الكاميرات، وبعض السـفن التي تسـتخدم السونار. ومن الممكن أن تتداخل موجتان صوتيتان مما يؤدي إلى نشـوء بقـع تدعى البقع الميتة، ويكون موقعها عند العقد، حيث يكون الصوت عندها ضعيفًا جدًّا. ويرتبط تردد الموجة وطولها الموجي بسرعتها، كما درست في الفصل السابق، من خلال المعادلة الآتية: $\lambda = v / f$

الجدول 1–3

سرعة الصوت في أوساط متعدِّدة

الوسط	m/s
الهواء (0 °C)	331
الهواء (20 °C)	343
الهيليوم (0 °C)	972
الماء (25 °C)	1493
ماء البحر (25°C)	1533
النحاس (25 °C)	3560
الحديد (25 °C)	5130

مسائل تدريبية

1. ما الطول الموجي لموجة صوتية ترددهـا 18 Hz تتحرك في هواء درجة حرارته 20 °C؟ (يُعد هذا التردد من أقل الترددات التي يمكن للأذن البشرية سماعها).
2. إذا وقفت عند طرف وادٍ وصرخت، وسـمعت الصدى بعد مرور 0.80 s، فما عرض هذا الوادي؟
3. تنتقل موجة صوتية ترددها 2280 Hz وطولها الموجي 0.655 m، في وسط غير معروف. حدّد نوع الوسط.

الكشف عن موجات الضغط Detection of Pressure Waves

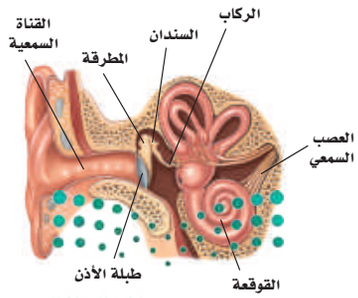
تحوّل كاشفات الصوت الطاقة الصوتية – الطاقة الحركية لجزيئات الهواء المهتزة– إلى شكل آخر من أشـكال الطاقة. ويُعد الميكروفون أحد الكاشـفات الشـائعة؛ حيث يحول طاقة الموجات الصوتية إلى طاقة كهربائية. ويتكوّن الميكروفون من قرص رقيق يهتز اسـتجابة للموجات الصوتية، وينتج إشـارة كهربائية. وستدرس عملية التحويل هذه في المقرّرات اللاحقة، خلال دراستك لموضوع الكهرباء والمغناطيسية.

الربط مع الأحياء

الأذن البشرية تعد الأذن البشرية، كما في **الشكل 3–3**، كاشفًا يستقبل موجات الضغط، ويحوّلها إلى نبضات كهربائية؛ حيث تدخل الموجاتُ الصوتية القناةَ السـمعية، وتُسـبّب اهتزازاتٍ لغشـاء طبلة الأذن، ثم تنقل ثلاثة عظام دقيقة هذه الاهتزازات إلى سـائل في القوقعـة. وتلتقط شـعيرات دقيقة تبطّن القوقعـة الحلزونية تردّدات معيّنة في السـائل المتذبذب، فتُنشِّـط هذه الشـعيرات الخلايـا العصبية، والتي ترسـل بدورها نبضات – سيّالات عصبية – إلى الدماغ، وتولّد الإحساس بالصوت.

تستشعر الأذن الموجات الصوتية لمدى واسع من الترددات، وهي حساسة لمدى كبير جدًّا من السعات. كما يستطيع الإنسان التمييز بين أنواع مختلفة من الأصوات. لذا يتطلب فهم آلية عمل الأذن معرفة بالفيزياء والأحياء. ويعد تفسـير الأصوات في الدماغ أمرًا معقدًا، وما زالت الأبحاث مستمرة لفهمه بصورة تامة.

الشكل 3–3 تُعدّ الأذن البشرية أداة إحساس معقدة؛ إذ تترجم اهتزازات الصوت إلى سيّالات عصبية ترسل إلى الدماغ لتفسيرها. وهناك ثلاثة عظام في الأذن الوسطى، هي: المطرقة، والسندان، والركاب.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

إدراك (تمييز) الصوت Perceiving Sound

حدّة الصوت كان مارن ميرسن وجاليليو أول من توصلا إلى أن **حدّة الصوت** الذي نسمعه تعتمد على تردد الاهتزاز. ولا تكون الأذن حساسة بالتساوي للترددات جميعها؛ فأغلب الأشخاص لا يستطيعون سماع أصوات ترداتها أقل من 20 Hz أو أكبر من 20,000 Hz. ويكون إحساس الأشخاص الأكبر سنًّا بالترددات الأكبر من 10000 Hz أقل مقارنة بالأشخاص الأصغر سنًّا. ولا يتمكن أغلب الناس عند عمر 70 سنة تقريبًا، من سماع أصوات ترداتها أكبر من 8000 Hz، مما يؤثر في مقدرتهم على فهم الحديث.

عُلوّ الصوت التردد والطول الموجي خاصيتان فيزيائيتان للموجات الصوتية. ومن الخصائص الأخرى لموجات الصوت السعة؛ وهي مقياس لتغير الضغط في الموجة. وتعد الأذن البشرية كاشفًا للصوت، وتنقله إلى الدماغ ليتم تفسيره هناك. ويعتمد **علوّ الصوت** ـ عند إدراكه بحاسة السمع ـ على سعة موجة الضغط في المقام الأول.

إن الأذن البشرية حساسة جدًّا لتغيرات الضغط في الموجات الصوتية، والتي تمثل سعة الموجة. فإذا علمت أن 1 atm من الضغط يساوي 1.01×10^5 Pa، فإن الأذن تستطيع تحسّس سعات موجات ضغط قيمها أقل من واحد من المليار من الضغط الجوي، أو 2×10^{-5} Pa. أما الحد الأقصى للمدى المسموع فإن تغيرات الضغط المقاربة لـ 20 Pa أو أكثر تسبّب الألم للأذن. ومن المهم تذكر أن الأذن تتحسّس تغيرات الضغط عند ترددات معينة فقط. فالصعود إلى الجبل يغير الضغط على أذنيك بمقدار الآلاف من الباسكال، ولكن هذا التغير لا يعد ذا أهمية أو تأثير في الترددات المسموعة.

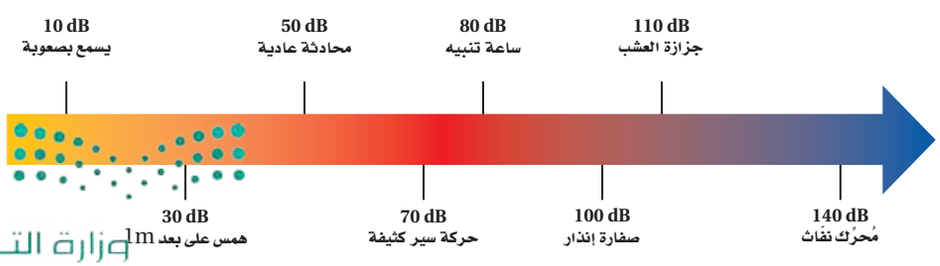
ولأن البشر يستطيعون تحسّس مدى واسع من تغيرات الضغط فإن هذه السعات تُقاس على مقياس لوغاريتمي يُسمّى **مستوى الصوت**، ووحدة قياسه هي **الديسبل** (dB). حيث يعتمد مستوى الصوت على نسبة تغير الضغط لموجة صوتية معينة إلى تغير الضغط في أضعف الأصوات المسموعة، ويساوي 2×10^{-5} Pa. ومثل هذه السعة لها مستوى صوت يعادل 0 dB. ويكون مستوى الصوت الذي سعة ضغطه أكبر عشر مرات من 2×10^{-4} Pa مساويا لـ 20 dB، ومستوى صوت سعة ضغطه أكبر عشر مرات من ذلك هو 40 dB. ويدرك أغلب الأشخاص زيادة بمقدار 10 dB في مستوى الصوت وكأنها مضاعفة لعلو الصوت الأصلي بمقدار مرتين. ويبين **الشكل 4–3** مستوى الصوت للعديد من الأصوات. وبالإضافة إلى وصفها تغيرات الضغط، تستعمل مقاييس الديسبل أيضًا لوصف قدرة موجات الصوت وشدتها.

إن التعرض للأصوات الصاخبة يسبّب فقدان الأذن لحساسيتها، وخصوصًا للترددات العالية. وكلّما تعرض الشخص للأصوات الصاخبة فترة أطول كان التأثير أكبر. ويستطيع

تجربة عملية

ما الديسبل؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية



الشكل 4–3 يبين مقياس الديسبل هذا مستويات الصوت لبعض الأصوات المألوفة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الشـــخص التخلص من أثر التعـــرض لفترة قصيرة للصوت الصاخب خلال ســـاعات معـــدودة، ولكن يمكن أن يســـتمر أثر التعرض لفترة طويلة إلى أيام أو أســـابيع. ويؤدي التعرض الطويل إلى مستوى صوت 100 dB أو أكبر من ذلك إلى ضرر دائم.

وقد ينتج ضعف السمع عن الأصوات الصاخبة في سمّاعات الرأس الموصولة بالراديو أو مشـــغلات الأقراص المدمجة. وفي بعض الحالات يغفل المستمعون عن مستويات الصوت المرتفعة. وللتقليل من الأضرار الناجمة عن الأصوات الصاخبة تم استعمال سدّادات الأذن القطنية التي تُخفّض مســـتوى الصوت بمقـــدار 10 dB فقط. وقد تختزل بعض الملحقات الخاصة بالأذن 25 dB. فيما تُخفّض ســـدّادات الأذن والملحقات الأخرى المصمّمة بصورة محدّدة، كما يبين **الشكل 5–3** مستوى الصوت بمقدار 45 dB.

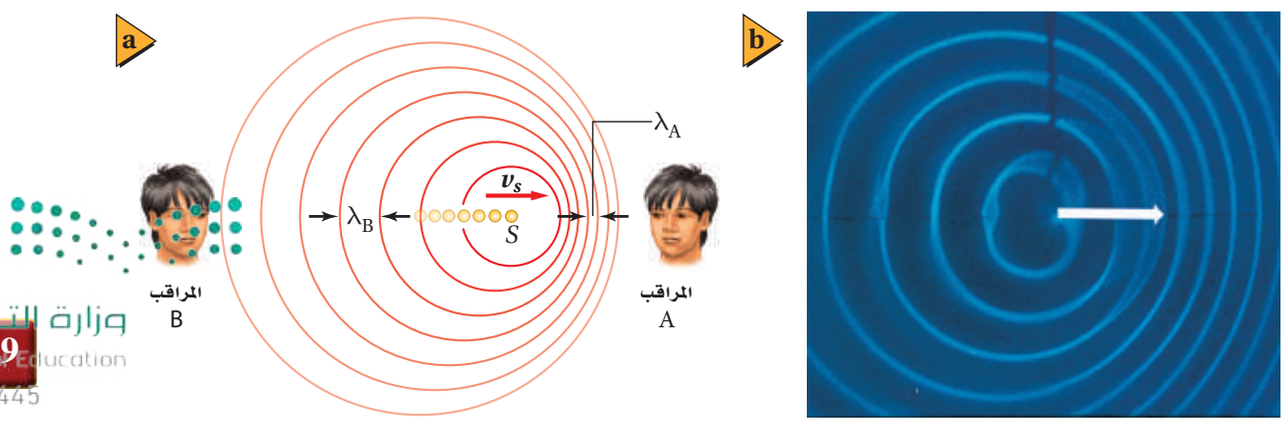
لا يتناســـب علوّ الصوت طرديًّا مع تغيرات الضغط في موجات الصوت عند إحساســـه بالأذن البشرية؛ حيث تعتمد حساســـية الأذن على كلٍّ من حدّة الصوت وســـعته. كما أن إدراك الأصوات النقية بالأذن يختلف عن إدراك الأصوات المختلطة.

الشكل 5–3 قد يؤدي التعرض المستمر للأصوات الصاخبة إلى ضعف في السمع أو فقدانه تمامًا. وعلى العاملين في بعض المهن مثل مراقب الطيران استعمال أداة لحماية السمع.

تأثير دوبلر The Doppler Effect

هل لاحظت أن حدّة صوت ســـيارة الإســـعاف أو الإطفاء أو صفـــارة الشرطة تتغير مع مرور المركبة بجانبك؟ تكـــون حدّة الصوت أعلى عندما تتحـــرك المركبة في اتجاهك، ثم تتناقص حدّة الصوت لتصبح أقل عندما تتحرك المركبة مبتعدةً عنك. ويُســـمى انزياح أو تغيّر التردد **تأثير دوبلر**، كما هو موضح في **الشـــكل 6–3**. حيث يتحرك مصدر الصوت S إلى اليمـــين بسرعة v_s، وتنتشر الموجات المنبعثة من المصـــدر في دوائر مركزها المصدر، في الوقت الذي تنتج فيه هذه الموجات. ومع تحرك المصدر في اتجاه كاشـــف الصوت، الذي هو المراقب A في **الشـــكل 6a–3**، فإن العديد من الموجات تتقارب في المنطقة بين المصدر والمراقـــب، لذا يقل الطول الموجـــي ويصبح λ_A. ولأن سرعة الصوت ثابتة في الوســـط الواحد فإن قِممًا أكثر تصل أذن المراقب في كل ثانية، مما يعني أن تردد الصوت عند المراقب A قـــد ازداد. في حين يـــزداد الطول الموجي عند تحرك المصدر بعيدًا عن الكاشـــف، وهو المراقب B في **الشـــكل 6a–3**، ويصبح λ_B، ويقل تردد الصوت عنـــد المراقب B. ويبين **الشكل 6b–3** تأثير دوبلر لمصدر صوتي متحرك في موجات الماء داخل حوض الموجات. ويحدث تأثير دوبلر أيضًا إذا كان الكاشـــف متحركًا والمصدر ثابتًا، إذ ينتج تأثير دوبلر في هذه الحالة عن السرعة المتجهة النســـبية لموجات الصوت والمراقب. فمع اقتراب المراقب من المصدر الثابت تصبح السرعة المتجهة النسبية أكبر، مما يؤدي إلى زيادة في قِمم الموجات

الشكل 6–3 يقل الطول الموجي مع تحرك مصدر الصوت في اتجاه المراقب A، ويصبح λ_A؛ ويزداد الطول الموجي مع تحرك مصدر الصوت بعيدًا عن المراقب B ويصبح λ_B (**a**). وتوضح حركة مصدر الموجات الصوتية تأثير دوبلر في حوض الموجات (**b**).



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

التـــي تصل إليه في كل ثانية. ومع ابتعاد المراقب عن المصدر تقل السرعة المتجهة النســـبية، مما يؤدي إلى نقصان في قِمم الموجات التي تصل إليه في كل ثانية.

يمكن حســـاب التردد الذي يسمعه المراقب إذا كان المصدر وحده متحركًا، أو المراقب وحده متحركًا، أو كان كلاهما متحركين، وذلك باستخدام المعادلة الآتية:

تأثير دوبلر $f_d = f_s \left(\frac{v - v_d}{v - v_s} \right)$

التردد الذي يدركه مراقب يســـاوي السرعة المتجهة للمراقب بالنسبة إلى السرعة المتجهة للموجة، مقسومًا على السرعة المتجهة للمصدر بالنسبة إلى السرعة المتجهة للموجة، وكله مضروب في تردد الموجة.

تمثـــل v في معادلة تأثير دوبلر السرعة المتجهة لموجة الصوت، و v_d السرعة المتجهة للمراقب، و v_s السرعة المتجهة لمصدر الصـــوت، و f_s تردد الموجة المنبعثة من المصدر، و f_d التردد الذي يستقبله المراقب. وتطبق هذه المعادلة عند حركة المصدر، أو حركة المراقب، أو عند حركة كليهما. عند حل المسائل باستخدام المعادلة السابقة، تأكد من تعريف نظام الإحداثيات، بحيث يكون الاتجاه الموجب من المصـــدر إلى المراقب. وتصل الموجات الصوتيـــة إلى المراقب من المصدر، لذا تكون السرعة المتجهة للصوت موجبة دائمًا. حاول رســـم مخطّطات للتحقق من أن المقدار $(v\text{-}v_d)/(v\text{-}v_s)$ يعطي نتائج كما تتوقع، اعتمادًا على ما تعلمته حول تأثير دوبلر. ولاحظ أنه بالنســـبة إلى مصدر يتحرك في اتجاه المراقب (الاتجاه الموجب، الـــذي ينتج مقام أصغر مقارنة بالمصدر الثابت)، ولمراقب يتحرك في اتجاه المصدر (الاتجاه الســـالب، الذي ينتج زيادة البسط مقارنة بمراقب ثابت) فإن التردد الذي يســـتقبله المراقـــب f_d يزداد. وبالمثل إذا تحرك المصدر بعيـــدًا عن المراقب، أو إذا تحـــرك المراقب بعيدًا عن المصدر فإن f_d تقـــل. اقرأ الرياضيات في الفيزياء أدناه لترى كيف تُختصر معادلة تأثير دوبلر عندما يكون المصدر أو المراقِب ثابتًا.

الرياضيات في الفيزياء

اختصار المعادلات عندما يساوي عنصر ما صفرًا في معادلة معقدة فإن المعادلة قد تُختصر في صورة أكثر سهولة للاستخدام.

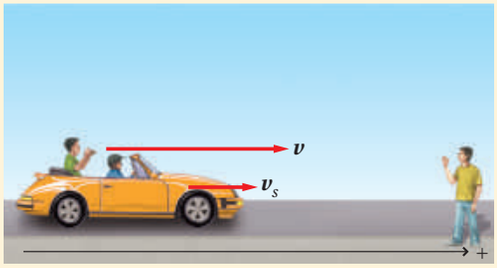
مراقب ثابت، المصدر متحرك: $v_d = 0$	مصدر ثابت، مراقب متحرك: $v_s = 0$
$f_d = f_s \left(\frac{v - v_d}{v - v_s} \right)$	$f_d = f_s \left(\frac{v - v_d}{v - v_s} \right)$
$= f_s \left(\frac{v}{v - v_s} \right)$	$= f_s \left(\frac{v - v_d}{v} \right)$
$= f_s \left(\frac{\frac{v}{v}}{\frac{v}{v} - \frac{v_s}{v}} \right)$	$= f_s \left(\frac{\frac{v}{v} - \frac{v_d}{v}}{\frac{v}{v}} \right)$
$= f_s \left(\frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}} \right)$	$= f_s \left(\frac{1 - \frac{v_d}{v}}{1} \right)$
	$= f_s \left(1 - \frac{v_d}{v} \right)$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مثـــال 1

تأثير دوبلر يركب شخص سيارة تسير في اتجاهك بسرعة 24.6 m/s، ويصدر صوتًا تردده 524 Hz. ما التردد الذي ستسمعه، مع افتراض أن درجة الحرارة تساوي 20 °C؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- مثّل الحالة.
- أسّس محاور إحداثيات، وتحقق أن الاتجاه الموجب من المصدر إلى المراقب.
- بيّن السرعة المتجهة لكل من المصدر والمراقب.

المعلوم	المجهول
$v = +343\ \text{m/s},\ v_s = +24.6\ \text{m/s}$	$f_d = ?$
$v_d = 0\ \text{m/s},\ f_s = 524\ \text{Hz}$	

دليل الرياضيات

الكسور

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم المعادلة الآتية، وعوّض القيمة $v_d = 0\ \text{m/s}$:

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

$$f_d = f_s\left(\frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}\right)$$

عوّض مستخدمًا $f_s = 524\ \text{Hz}$، $v = 343\ \text{m/s}$، $v_s = +24.6\ \text{m/s}$

$$= 524\ \text{Hz}\left(\frac{1}{1 - \frac{24.6\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s}}}\right)$$

$$= 564\ \text{Hz}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يقاس التردد بوحدة الهرتز.
- **هل الجواب منطقي؟** يتحرك المصدر في اتجاهك، لذا يجب أن يزداد التردد.

مسائل تدريبية

4. افترض أنك في سيارة تتحرك بسرعة 25.0 m/s في اتجاه صفارة إنذار. إذا كان تردد صوت الصفارة 365 Hz، فما التردد الذي ستسمعه؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء 343 m/s.

5. افترض أنك في سيارة تتحرك بسرعة 24.6 m/s، وتتحرك سيارة أخرى في اتجاهك بالسرعة نفسها. فإذا انطلق المنبه فيها بتردد 475 Hz، فما التردد الذي ستسمعه؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء 343 m/s.

6. تتحرك غوّاصة في اتجاه غوّاصة أخرى بسرعة 9.20 m/s، وتصدر موجات فوق صوتية بتردد 3.50 MHz. ما التردد الذي تلتقطه الغوّاصة الأخرى وهي ساكنة؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الماء 1482 m/s.

7. يرسل مصدر صوت موجات بتردد 262 Hz. ما السرعة التي يجب أن يتحرك بها المصدر لتزيد حدّة الصوت إلى 271 Hz؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء 343 m/s.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الشكل 7–3 تستخدم الخفافيش تأثير دوبلر لتعيين موقع الفريسة، بعملية تسمى تحديد الموقع باستخدام الصدى.

يحدث تأثير دوبلر في كل حركة موجية، في الموجات الميكانيكية والموجات الكهرومغناطيسية. وله تطبيقات عدّة؛ فمثلاً تستخدم كواشف الرادار تأثير دوبلر لقياس سرعة كرات البيسبول والمركبات. ويراقب علماء الفلك الضوء المنبعث من المجرات البعيدة، ويستخدمون تأثير دوبلر لقياس سرعاتها، ويستنتجون بُعدها عن الأرض. كما يُستخدم في الطب لقياس سرعة حركة جدار قلب الجنين بجهاز الموجات فوق الصوتية.

الربط مع الأحياء

وتستخدم الخفافيش تأثير دوبلر في الكشف عن الحشرات الطائرة وافتراسها؛ فعندما تطير الحشرة بسرعة أكبر من سرعة الخفاش يكون تردد الموجة المنعكسة عنها أقل. أما عندما يلحق الخفاش بالحشرة ويقترب منها فيكون تردد الموجة المنعكسة أكبر، كما هو موضح في **الشكل 7–3**. ولا تستخدم الخفافيش الموجات الصوتية فقط لتحديد موقع الفريسة والطيران، ولكن تستخدمها أيضًا لاكتشاف وجود خفافيش أخرى. وهذا يعني أنها تميز الأمواج الخاصة التي ترسلها وانعكاساتها عن مجموعة كبيرة من الأصوات والترددات الموجودة. ويستمر العلماء في دراسة الخفافيش وقدرتها المدهشة على استخدام الموجات.

3–1 مراجعة

8. **رسم بياني** تتحرك طبلة الأذن إلى الخلف وإلى الأمام استجابة لتغيرات ضغط موجات الصوت. مثّل بيانيًّا العلاقة بين إزاحة طبلة الأذن والزمن لدورتين لنغمة ترددها 1.0 kHz، ولدورتين لنغمة ترددها 2.0 kHz.

9. **تأثير الوسط** اذكر خصيصتين من خصائص الصوت تتأثران بالوسط الذي تتحرك فيه موجة الصوت، وخصيصتين من الخصائص التي لا تتأثر بالوسط.

10. **خصائص الصوت** ما الخصيصة الفيزيائية التي يجب تغييرها لموجة صوت حتى تتغير حدّة الصوت؟ وما الخصيصة التي يجب تغييرها حتى يتغير علوّ الصوت؟

11. **مقياس الديسبل** ما نسبة مستوى ضغط صوت جزازة العشب (110 dB) إلى مستوى ضغط صوت محادثة عادية (50 dB)؟

12. **الكشف المبكر** كان الناس في القرن التاسع عشر يضعون آذانهم على مسار سكة الحديد ليترقّبوا وصول القطار. لماذا تُعد هذه الطريقة نافعة؟

13. **الخفافيش** يرسل الخفاش نبضات صوت قصيرة بتردد عالٍ ويستقبل الصدى. ما الطريقة التي يميز بها الخفاش بين:
    a. الصدى المرتد عن الحشرات الكبيرة والصدى المرتد عن الحشرات الصغيرة إذا كانت على البعد نفسه منه؟
    b. الصدى المرتد عن حشرة طائرة مقتربة منه والصدى المرتد عن حشرة طائرة مبتعدة عنه؟

14. **التفكير الناقد** هل يستطيع شرطي يقف على جانب الطريق استخدام الرادار لتحديد سرعة سيارة في اللحظة التي تمر فيها أمامه؟ وضح ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

درس العالم الألماني هيرمن هلمهولتز في منتصف القرن التاسع عشر أصوات الناس، ثم طوّر علماء ومهندسون في القرن العشرين أداة إلكترونية لا تكتفي بدراسة مفصلة للصوت، بل بإنشاء آلات إلكترونية لإنتاج الأصوات أيضًا، بالإضافة إلى آلات تسجيل تسمح لنا بسماع القرآن والخطب والقصائد وتسجيلات متعددة في أي مكان وأي زمان نريده.

الأهداف

- **تصف** مصدر الصوت.
- **توضّح** مفهوم الرنين، وتطبيقاته على أعمدة الهواء والأوتار.
- **تفسّر** سبب وجود الاختلافات في صوت الآلات وفي أصوات الناس.

المفردات

أنبوب الرنين المغلق
أنبوب الرنين المفتوح
التردد الأساسي (النغمة الأساسية)
الإيقاع

مصادر الصوت Sources of Sound

ينتج الصوت عن اهتزاز الأجسام؛ إذ تؤدي اهتزازات الجسم إلى تحريك الجزيئات التي تتسبب في إحداث تذبذب في ضغط الهواء. فمثلاً يحتوي مكبّر الصوت على مخروط مصمّم ليهتز بواسطة التيارات الكهربائية، ويولّد سطح المخروط الموجات الصوتية التي تنتقل إلى أذنك، مما يسمح لك بسماع القرآن أو الأذان. وتعدّ الصنوج والدفوف والطبول أمثلة على السطوح المهتزة، وتعدّ جميعها مصادر للصوت.

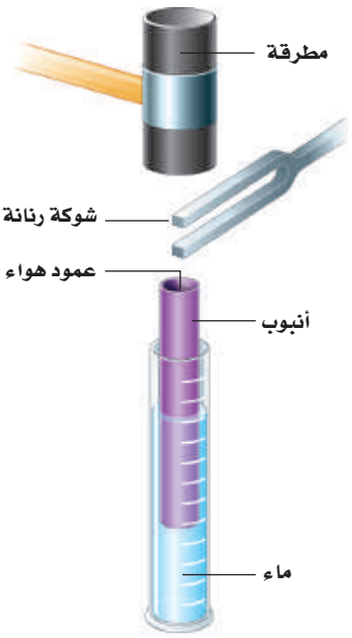
ينتج الصوت البشري عن اهتزاز الأوتار الصوتية، وهي عبارة عن زوج من الأغشية في الحنجرة، حيث يندفع الهواء من الرئتين مارًّا عبر الحنجرة، فتبدأ الأوتار الصوتية في الاهتزاز. ويتم التحكم في تردد الاهتزاز بعضلات الشد الموجودة على الأوتار الصوتية.

أما الآلات الوترية فإن الأسلاك أو الأوتار هي التي تهتز؛ إذ يُنتج ضرب الأوتار أو سحبها أو احتكاكها بقوس الوتر، اهتزازَ الأوتار. وتتصل الأوتار عادة بلوحة صوتية تهتز مع الأوتار. وتؤدي اهتزازات اللوحة الصوتية إلى إحداث ذبذبات في قيمة ضغط الهواء الذي نشعر به بوصفه صوتًا.

الرنين في الأعمدة (الأنابيب) الهوائية
Resonance in Air Columns

عند وضع شوكة رنانة فوق عمود هواء يهتز الهواء داخل الأنبوب بالتردد نفسه، أو برنين يتوافق مع اهتزاز معين للشوكة الرنانة. تذكّر أن الرنين يزيد من سعة الاهتزاز من خلال تكرار تطبيق قوة خارجية صغيرة بالتردد الطبيعي نفسه. ويحدد طول عمود الهواء ترددات الهواء المهتز التي ستكون في حالة رنين، في حين يؤدي تغيير طول عمود الهواء إلى تغيير حدّة صوت الآلة. ويعمل عمود الهواء في حالة الرنين على تضخيم مجموعة محدّدة من الترددات لتضخيم نغمة منفردة، وتحويل الأصوات العشوائية إلى أصوات منتظمة.

وتُحدث الشوكة الرنانة فوق أنبوب مجوف رنينًا في عمود الهواء، كما يبين **الشكل 8–3**، إذا تم وضع الأنبوب في الماء، بحيث تصبح إحدى نهايتي الأنبوب أسفل سطح الماء، حيث يتكون أنبوب مغلق – بالنسبة إلى الهواء – يكون في حالة رنين ويسمى هذا الأنبوب **أنبوب الرنين المغلق**. ويتم تغيير طول عمود الهواء بتعديل ارتفاع الأنبوب فوق سطح الماء. فإذا ضربت الشوكة الرنانة بمطرقة مطاطية، وتم تغيير طول عمود الهواء بتحريك الأنبوب إلى أعلى أو إلى أسفل في الماء فإن الصوت يصبح أعلى أو أخفض على التناوب. ويكون الصوت عاليًا عندما يكون عمود الهواء في وضع رنين مع الشوكة الرنانة. وعندما يكون عمود الهواء في حالة رنين فإنه يؤدي إلى تقوية صوت الشوكة الرنانة.

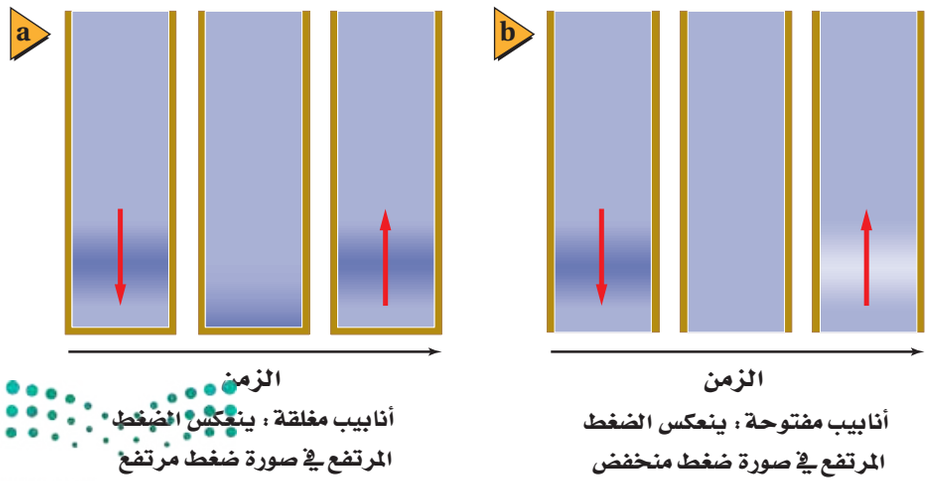


الشكل 8–3 يغير رفعُ الأنبوب أو إنزالُه، طولَ عمود الهواء، ويكون الصوت عاليًا عند حدوث رنين بين عمود الهواء والشوكة الرنانة.

موجة الضغط (الطولية) الموقوفة (المستقرة) كيف يحدث الرنين؟ تولّد الشوكة الرنانة موجات صوتية، تتكون من تذبذبات مرتفعة ومنخفضة الضغط، وتتحرك هذه الموجات إلى أسفل عمود الهواء. وعندما تصطدم هذه الموجات بسطح الماء تنعكس مرتدة إلى الشوكة الرنانة، كما في **الشكل 9a–3**. فإذا وصلت موجة الضغط المرتفع المنعكسة إلى الشوكة الرنانة في اللحظة نفسها التي تنتج فيها الشوكة الرنانة موجة ضغط مرتفع أخرى فعندها تقوّي الموجة الصادرة عن الشوكة والموجة المنعكسة إحداهما الأخرى. وهذه التقوية أو التعزيز للموجات يولّد موجة مستقرة، ويحدث الرنين.

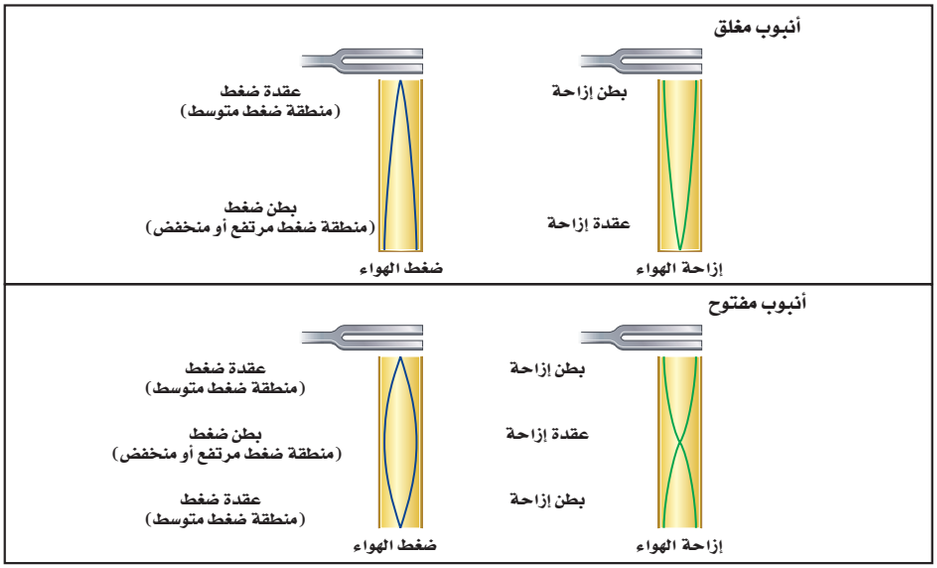
أما الأنبوب المفتوح فهو أنبوب مفتوح الطرفين، ويكون في حالة رنين مع مصدر صوت عندما تنعكس موجات المصدر من طرف مفتوح ويسمى هذا الأنبوب **أنبوب الرنين المفتوح**. ويكون ضغط الموجة المنعكسة مقلوبًا. فعلى سبيل المثال، إذا وصلت موجة ضغط مرتفع إلى الطرف المفتوح فسوف ترتد موجة ضغط منخفض، كما يبين **الشكل 9b–3**.

طول عمود هواء الرنين يمكن تمثيل موجة صوتية موقوفة في أنبوب بموجة جيبية، كما يوضح **الشكل 10–3**. كما يمكن أن تُمثّل الموجات الجيبية إما تغيّرات ضغط الهواء أو إزاحة جزيئاته. ولأن للموجات المستقرة عقدًا وبطونًا، لذا فإنه عند التمثيل البياني لتغير الضغط تكون العقد هي مناطق الضغط الجوي المتوسط، أما مناطق البطون فيتذبذب



الشكل 9–3 يمثّل الأنبوب الموضوع في ماء أنبوبًا مغلقًا. وتنعكس موجات الضغط المرتفع في الأنابيب المغلقة موجات ضغط مرتفع (a). أما في الأنابيب المفتوحة فتكون الموجات المنعكسة مقلوبة (b).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

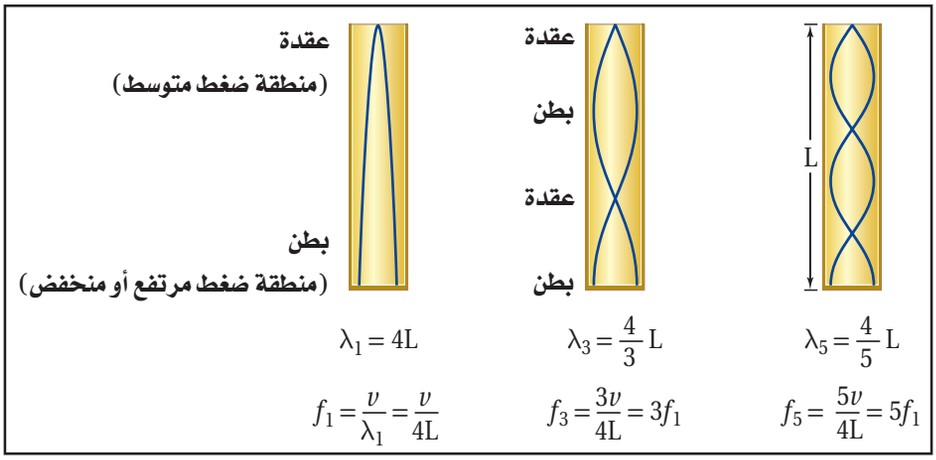


■ **الشكل 10–3** تمثّل موجات الجيب الموجات المستقرة في الأنابيب.

الضغط عندها بين قيمتيه العظمى والصغرى. وفي حالة رسم الإزاحة تكون البطون هي مناطق الإزاحة الكبيرة، وتكون العقد هي مناطق الإزاحة القليلة. وفي كلتا الحالتين تكون المسافة بين بطنين أو بين عقدتين متتاليتين مساوية لنصف الطول الموجي.

ترددات الرنين في أنبوب مغلق إن طول أقصر عمود هواء له بطن ضغط عند الطرف المغلق وعقدة ضغط عند الطرف المفتوح يكون مساويًا لربع الطول الموجي، كما يبين **الشكل 11–3**. ومع زيادة التردد يكون هناك أطوال أعمدة هواء رنين إضافية عند فترات مساوية لنصف الطول الموجي. لذا تكون الأعمدة التي أطوالها $\lambda/4$ ، $3\lambda/4$ ، $5\lambda/4$ ، $7\lambda/4$ ... وهكذا، في حالة رنين مع الشوكة الرنانة.

يكـــون طول عمود هواء الرنين الأول عمليًّا أطـــول قليلًا من ربع الطول الموجي؛ وذلك لأن تغيرات الضغط لا تنخفض إلى الصفر تمامًا عند الطرف المفتوح من الأنبوب. وتكون العقدة فعليًّا أبعد عن الطرف بمقدار 0.4 قطر الأنبوب. وتفصل بين أطوال أعمدة هواء الرنين الإضافية مسافات مقدارها نصف الطول الموجي. ويستخدم قياس هذه المسافة بين كل رنينين في إيجاد سرعة الصوت في الهواء، كما يبين المثال 2.



■ **الشكل 11–3** يكون الأنبوب المغلق في حالة رنين عندما يكون طوله مساويًا فرديًّا من مضاعفات ربع الطول الموجي.

تجربة

الرنين في الأعمدة الهوائية

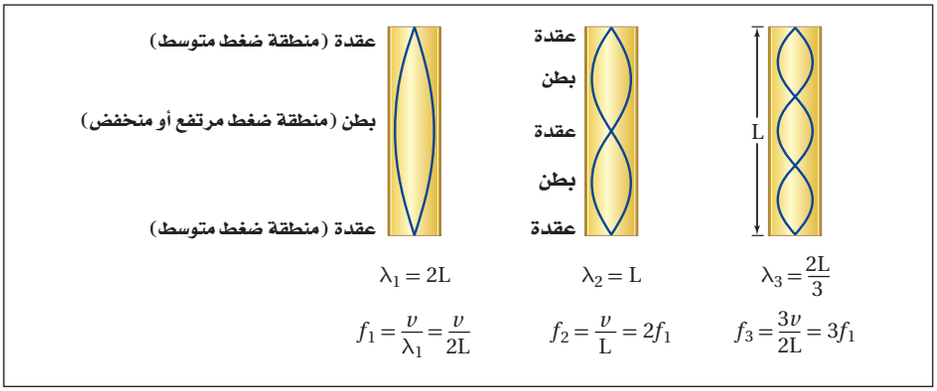
تحتاج في هذه التجربة إلى: شوكة رنانة، ومطرقة خاصة، وأنبوب مغلق.

1. اطرق الشوكة الرنانة ثم قربها من فوهة الأنبوب.
2. غيّر طول العمود الهوائي عن طريق تغيير عمق الماء فيه. وقرّب الشوكة الرنانة بعد طَرْقها من فوهة الأنبوب.
3. أعد الخطوة السابقة، واستمر في زيادة طول عمود الهواء أكثر من الحالة الأولى.

التحليل والاستنتاج

4. **لاحظ** ماذا لاحظت بعد تنفيذ الخطوة 2 والخطوة 3؟
5. **استنتج** متى يحدث الرنين؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 12–3 يكون الأنبوب المفتوح في حالة رنين عندما يكون طوله عددًا زوجيًّا من مضاعفات ربع الطول الموجي.

تجربة عملية

ما مقدار سرعة الصوت؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

ترددات الرنين في أنبوب مفتوح يكون طول أقصر عمود هواء يحتوي على عقدة عند كل من طرفيه مساويًا نصف الطول الموجي، كما يبين **الشكل 12–3**. ومع زيادة التردد يكون هناك أطوال رنين إضافية عند فترات نصف الطول الموجي. لذا تكون الأعمدة في حالة الرنين مع الشوكة الرنانة بأطوال $\lambda/2$, λ, $3\lambda/2$, 2λ... وهكذا.

إذا استعملت أنبوبين مفتوحًا ومغلقًا على أنهما أنبوبان في حالة رنين فإن الطول الموجي لصوت الرنين في الأنبوب المفتوح يكون نصف الطول الموجي الذي للأنبوب المغلق. لذا يكون التردد في الأنبوب المفتوح ضعف التردد الذي في الأنبوب المغلق. وتكون أطوال أعمدة هواء الرنين لكلا الأنبوبين مفصولة بفترات مقدارها نصف الطول الموجي.

سماع الرنين يُؤدي الرنين إلى زيادة علوّ ترددات مخصّصة. فإذا صرخت داخل نفق طويل فإن الصوت الذي يدوّي وتسمعه يكون بسبب النفق بوصفه أنبوبًا في حالة رنين. كما تعمل الصدفة في **الشكل 13–3** عمل أنبوب مغلق في حالة رنين.

تطبيق الفيزياء

السمع والتردّد

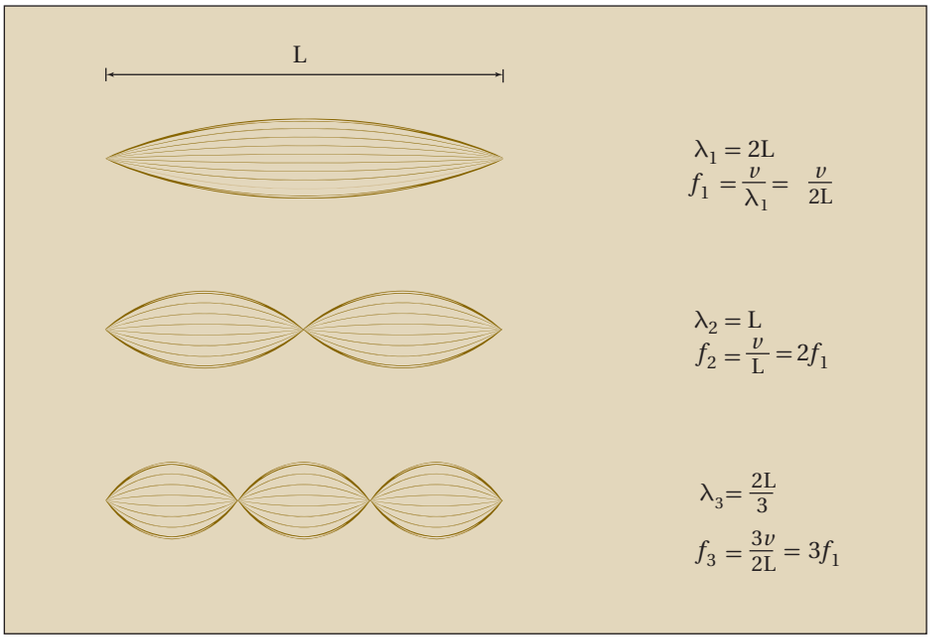
تعمل القناة السمعية البشرية كأنها أنبوب مغلق في حالة رنين، يؤدي إلى زيادة حساسية الأذن للترددات بين 2000 و5000 Hz، في حين يمتد المدى الكامل لترددات الصوت التي يسمعها البشر من 20 إلى 20000 Hz. ويمتد سمع الكلب لترددات مرتفعة تصل إلى 45000 Hz، أمّا القطّ فيمتد السمع لديه إلى ترددات تصل إلى 100000 Hz.

الشكل 13–3 تعمل الصدفة عمل أنبوب مغلق في حالة رنين، يضخّم ترددات معينة من الأصوات المحيطة

الرنين في الأوتار Resonance on Strings

تختلف أشكال الموجة في الأوتار المهتزة اعتمادًا على طريقة توليدها. ومن ذلك النقر أو الشد أو الضرب، إلّا أن لها خصائص عديدة مشتركة مع الموجات المستقرة في النوابض والحبال، كما درست في الفصل السابق. ويكون الوتر في آلة ما مشدودًا من الطرفين، لذا فإنه عندما يهتز يكون له عقدة عند كل طرف من طرفيه. وتستطيع أن ترى في **الشكل 14–3** أن النمط الأول للاهتزاز له بطن عند المنتصف، وطوله يساوي نصف الطول الموجي. ويحدث الرنين التالي عندما يكون طول الوتر مطابقًا لطول موجي واحد. وتظهر موجات مستقرة إضافية عندما يكون طول الوتر $3\lambda/2$, 2λ, $5\lambda/2$ وهكذا. وكما هو الحال للأنبوب المفتوح فإن ترددات الرنين تساوي مضاعفات أقل تردد.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

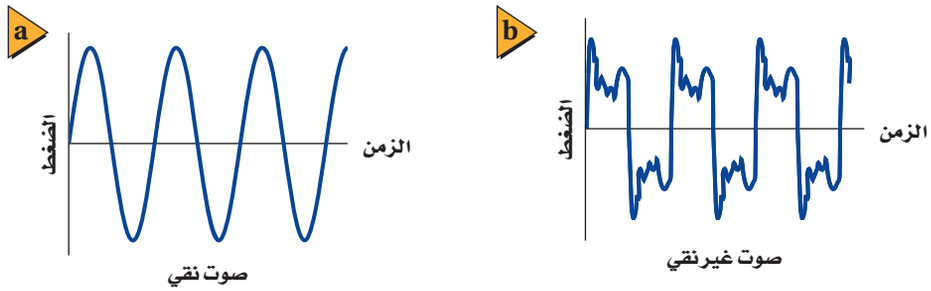


■ **الشكل 14–3** وتر في حالة رنين مع موجات موقوفة عندما يكون طوله مساويًا لمضاعفات نصف الطول الموجي.

وتعتمد سرعة الموجة في الوتر على قوة الشد فيه، وعلى كتلة وحدة طوله. لذا فإن الآلة الوترية تُضبط بتغيير شدّ أوتارها. فكلما كان الوتر مشدودًا أكثر كانت سرعة حركة الموجة أكبر، لذا تزداد قيمة تردد موجاته المستقرة.

جودة الصوت Sound Quality

تولّد الشوكة الرنانة صوتًا معتدلاً غير مرغوب فيه؛ لأن أطرافها تهتز بحركة توافقية بسيطة، وتنتج موجة جيبية بسيطة، كما يبين **الشكل 3–15a**. أما الأصوات البشرية فهي أكثر تعقيدًا، ومنها الموجة المبينة في **الشكل 3–15b**. وقد يكون لكلتا الموجتين التردّد نفسه، أو الحدّة نفسها، ولكن الصوتين مختلفان جدًّا. تولّد الموجة المعقدة باستخدام مبدأ التراكب لجمع موجات ذات تردّدات مختلفة؛ إذ يعتمد شكل الموجة على السعات النسبية لهذه التردّدات. ويُسمى الفرق بين الموجتين طابع الصوت، أو لون النغمة، أو جودتها.

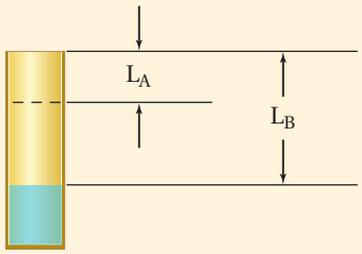


■ **الشكل 15–3** رسم بياني لصوت نقي مقابل الزمن (a). ورسم بياني لموجات صوتية غير نقية (معقدة) مقابل الزمن (b).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مثـــــال 2

إيجاد سرعة الصوت باستخدام الرنين عند استخدام شوكة رنانة بتردد 392 Hz مع أنبوب مغلق، سُمع أعلى صوت عندما كان طول عمود الهواء 21.0 cm و65.3 cm. ما سرعة الصوت في هذه الحالة؟ وهل درجة الحرارة في الأنبوب أكبر أم أقل من درجة الحرارة الطبيعية للغرفة، وهي 20° C؟ وضّح إجابتك.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الأنبوب المغلق.
- عيّن طولي عمود الهواء لحالتي الرنين.

المعلوم	المجهول
$f = 392\ \text{Hz}$	$v = ?$
$L_A = 21.0\ \text{cm}$	
$L_B = 65.3\ \text{cm}$	

دليل الرياضيات

ترتيب العمليات

2 إيجاد الكمية المجهولة

حل لإيجاد طول الموجة باستخدام علاقة: الطول– الطول الموجي للأنبوب المغلق.

$$L_B - L_A = \frac{1}{2}\lambda$$

بإعادة ترتيب المعادلة لـ λ

$$\lambda = 2(L_B - L_A)$$

عوّض مستخدمًا $L_A = 0.210\ \text{m}$، $L_B = 0.653\ \text{m}$

$$= 2(0.653\ \text{m} - 0.210\ \text{m})$$

$$= 0.886\ \text{m}$$

استخدم المعادلة الآتية لإيجاد السرعة

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

بإعادة ترتيب المعادلة لـ v

$$v = f\lambda$$

عوّض مستخدمًا $\lambda = 0.886\ \text{m}$، $f = 392\ \text{Hz}$

$$= (392\ \text{Hz})(0.886\ \text{m})$$

$$= 347\ \text{m/s}$$

السرعة أكبر قليلًا من سرعة الصوت عند درجة الحرارة 20 °C، مما يشـير إلى أن درجة الحرارة أعلى قليلًا من درجة الحرارة الطبيعية للغرفة.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدات الجواب صحيحة $(\text{Hz})(\text{m}) = (\frac{1}{\text{s}})(\text{m}) = \text{m/s}$.
- **هل الجواب منطقي؟** السرعة أكبر قليلًا من 343 m/s، التي هي سرعة الصوت عند درجة الحرارة 20 °C.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسائل تدريبية

15. إذا وضعت شوكة رنانة تهتز بتردّد 440 Hz فوق أنبوب مغلق، فأوجد الفواصل بين أوضاع الرنين عندما تكون درجة حرارة الهواء 20 °C.

16. استخدمت شوكة رنانة تهتز بتردد 440 Hz مع عمود رنين لتحديد سرعة الصوت في غاز الهيليوم. فإذا كانت الفواصل بين أوضاع الرنين 110 cm، فما سرعة الصوت في غاز الهيليوم؟

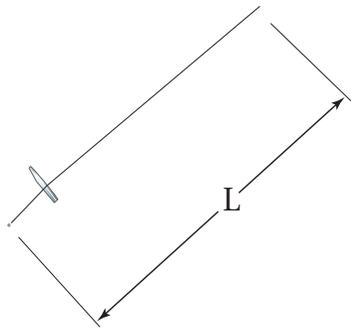
17. استخدم طالب عمود هواء عند درجة حرارة 27 °C، ووجد فواصل بين أوضاع الرنين بمقدار 20.2 cm. ما تردّد الشوكة الرنانة؟ استخدم سرعة الصوت في الهواء المحسوبة في المثال 2 عند درجة الحرارة 27 °C.

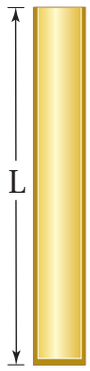
طيف الصوت: التردد الأساسي (النغمة الأساسية) والإيقاعات إن موجة الصوت المعقدة في **الشكل 3–15b** ناتجة عن عمود هواء مغلق. ارجع إلى **الشكل 3–11** الذي يبين ثلاثة تردّدات رنين لأنبوب مغلق؛ حيث يكون أقل تردد رنين f_1، يحدث في أنبوب مغلق طوله L مساويًا $v/4L$. ويسمى هذا التردد الأقل **التردد الأساسي** (النغمة الأساسية). ويكون الأنبوب المغلق في وضع رنين عند تردّدات $3f_1$، $5f_1$ ... وهكذا. وتُسمى هذه الترددات المرتفعة ـ وهي مضاعفات فردية من التردد الأساسي ـ **الإيقاعات**. وإضافة هذه الإيقاعات معًا هو الذي يُعطي الصوت طابعًا مميّزًا.

أما التردّد الأساسي – وهو الإيقاع الأول أيضًا – لأنبوب مفتوح في حالة رنين فيكون مساويًا $f_1 = v/2L$ مع إيقاعات لاحقة عند $2f_1$، $3f_1$، $4f_1$ ... وهكذا. وتعطي التركيبات والسعات المختلفة لهذه الإيقاعات كل صوت أو آلة وترية طابعها المميز. ويسمى الرسم البياني لسعة الموجة مقابل ترددها طيف الصوت.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسألة تحفيز





1. حدّد قوة الشد، F_T، في وتر كتلته m وطوله L، عندما يهتز بالتردد الأساسي، والذي يساوي التردد نفسه لأنبوب مغلق طوله L. عبّر عن إجابتك بدلالة m وL وسرعة الصوت في الهواء v. استخدم معادلة سرعة الموجة في وتر $\left(u=\sqrt{F_T/\mu}\right)$؛ حيث تمثل F_T قوة الشد في الوتر، و μ الكتلة لكل وحدة طول من الوتر.

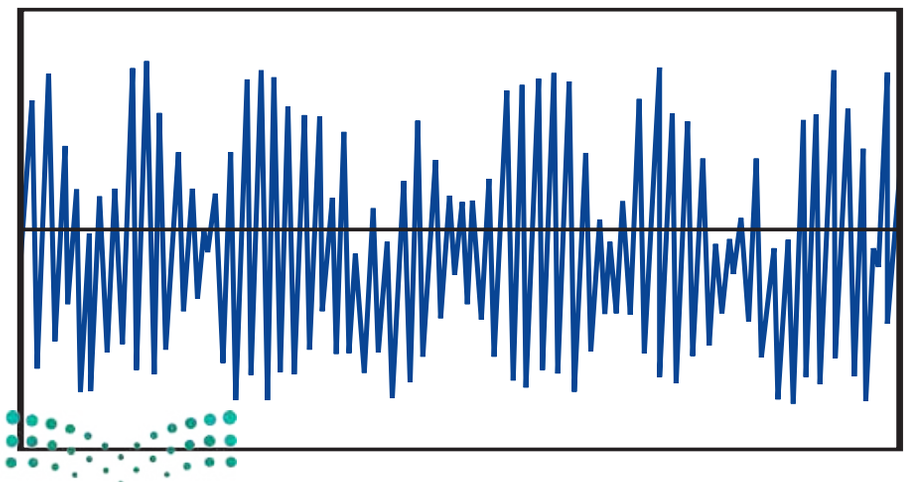
2. ما مقدار قوة الشد في وتر كتلته 1.0 g وطوله 40.0 cm يهتز بالتردد نفسه لأنبوب مغلق له الطول نفسه؟

إعادة إنتاج الصوت والضجيج

Sound Reproduction and Noise

هل استمعت إلى شخص يتلو القرآن أو آلة تسجيل؟ في أغلب الأوقات يتم تسجيل الأصوات وتشغيلها عن طريق أنظمة إلكترونية. ولإعادة إنتاج الصوت بإتقان يجب أن يلائم النظام جميع الترددات بالتساوي. فالنظام الصوتي (الاستيريو) الجيد يحافظ على السعات لكل الترددات بين 20 و20000 Hz ضمن 3 dB.

أما نظام الهاتف فيحتاج إلى إرسال المعلومات بلغة منطوقة، وتكون الترددات بين 300 و3000 Hz كافية. ويساعد تخفيض عدد الترددات الموجودة على تخفيض الضجيج. ويبين **الشكل 16–3** موجة ضجيج يظهر فيها العديد من الترددات تقريبًا بالسعات نفسها.



الشكل 16–3 يتكون الضجيج من ترددات متعددة، ويتضمن تغيرات عشوائية في التردد والسعة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

2–3 مراجعة

18. مصادر الصوت ما الشيء المهتز الذي ينتج الأصوات في كل ممّا يأتي؟

a. الصوت البشري

b. صوت المذياع

19. الرنين في الأنابيب المفتوحة ما النسبة بين طول الأنبوب المفتوح والطول الموجي للصوت لإنتاج الرنين الأول؟

20. الرنين في الأوتار يصدر وتر نغمة حادة ترددها 370 Hz. ما ترددات الإيقاعات الثلاثة اللاحقة الناتجة بهذه النغمة؟

21. الرنين في الأنابيب المغلقة يبلغ طول أنبوب مغلق 2.40 m. ما تردد النغمة التي يصدرها هذا الأنبوب؟

22. التفكير الناقد اضرب شوكة رنانة بمطرقة مطاطية واحملها بحيث تكون ذراعك ممدودة، ثم اضغط بمقبضها على طاولة، وباب، وخزانة، وأجسام أخرى. ما الذي تسمعه؟ ولماذا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مختبر الفيزياء

سرعة الصوت Speed of Sound

إذا وضعت شـوكة رنانة تهتز فوق أنبوب مغلق طوله مناسـب فإن الهواء داخـل الأنبوب يهتز بالتردد نفسه f للشوكة الرنانة. وإذا وضع أنبوب زجاجي في مخبار كبير مملوء بالماء ومدرج فإنه يمكن تغيير طول الأنبوب الزجاجي من خلال رفعه أو إنزاله في الماء. وسـيكون طول أقصر عمود هواء يحدث رنينًا عندما يساوي طوله ربع الطول الموجي. ويُنتج هذا الرنين أعلى صوت، ويوصف الطول الموجي عند هذا الرنين بالعلاقة $\lambda = 4L$؛ حيث تمثل L المسـافة من سـطح الماء إلى الطرف المفتوح للأنبوب. وسـتحدّد في هذا المختبر الطول L، لكي تحسب λ، ثم تحسب سرعة الصوت.

سؤال التجربة

كيف تستطيع استخدام أنبوب مغلق في حالة رنين لكي تحدّد سرعة الصوت؟

الأهـداف

- **تجمع البيانات وتنظمها** للحصول على نقاط رنين في أنبوب مغلق.
- **تقيس** طول أنبوب مغلق في حالة رنين.
- **تحلّل** البيانات لتحدِّد سرعة الصوت.

احتياطات السلامة

- **امسح مباشرة أي سوائل منسكبة.**
- **تعامل مع الزجاج بحذر؛ فهو هش.**

المواد والأدوات

ثلاث شوكات رنانة معلومة التردد
ماء
مخبار مدرّج سعته 1000 ml
مسطرة مترية
مطرقة خاصة بالشوكات الرنانة
مقياس درجة حرارة (غير زئبقي)
أنبوب زجاجي (طوله 40 cm تقريبًا وقطره 3.5 cm تقريبًا)

الخطوات

1. ارتد نظارة واقية، واملأ المخبار المدرّج بالماء إلى فوهته تقريبًا.
2. قـس درجـة حـرارة الغرفة، وسجّلها في جدول البيانات 1.
3. اختر شـوكة رنانة، وسـجّل ترددها في جدولي البيانات 2 و3.
4. قس قطر الأنبوب الزجاجي، وسجّله في جدول البيانات 2.
5. ضع بحذر الأنبوب الزجاجي في المخبار المدرّج المملوء بالماء.
6. أمسـك الشـوكة الرنانة من قاعدتها، ثم اضرب بسرعة على طرفها بمطرقة الشـوكة الرنانة. ولا تضرب الشـوكة الرنانة بطاولة المختبر أو أي سطح قاسٍ.
7. أمسـك الشـوكة الرنانة المهتزة فوق الطرف المفتوح للأنبوب الزجاجي، وارفع الأنبوب والشـوكة ببطء حتى تسمع صوتًا عاليًا. وعندما تعين هذه النقطة حرّك الأنبوب إلى أعلى وإلى أسفل قليلاً لتحدِّد نقطة الرنين تمامًا، ثم قس المسافة من الماء إلى أعلى الأنبوب الزجاجي، وسجّل هذه المسافة في جدول البيانات 2.
8. كرّر الخطوات 3 و6 و7 لشـوكتين رنانتين إضافيتين، وسجّل نتائجك في المـكان المخصّص للمحاولتـين 2 و3 في جداول البيانات. يجب أن تكـون ترددات الرنين الثلاثة للشـوكات الرنانة الثلاث مختلفة.
9. أفرغ المخبار المدرّج من الماء.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

جدول البيانات 1			
المحاولة	درجة الحرارة (°C)	السرعة المقبولة للصوت (m/s)	السرعة التجريبية للصوت (m/s)
1			
2			
3			

جدول البيانات 2				
المحاولة	تردد الشوكة الرنانة (Hz)	القطر (m)	طول الأنبوب فوق الماء (m)	الطول الموجي المحسوب (m)
1				
2				
3				

جدول البيانات 3				
المحاولة	تردد الشوكة الرنانة (Hz)	السرعة المقبولة للصوت (m/s)	الطول الموجي المحسوب المصحّح (m)	سرعة الصوت التجريبية المصحّحة (m/s)
1				
2				
3				

التحليل

1. احسب السرعة المقبولة للصوت باستخدام العلاقة $v = 331\ \text{m/s} + 0.60\ \text{T}$، حيث v سرعة الصوت عند درجة الحرارة T، و T درجة حرارة الهواء بالسلسيوس. سجّل هذه النتيجة على أنها السرعة المقبولة للصوت في جدولي البيانات 1 و3 للمحاولات جميعها.

2. لأن نقطة الرنين الأولى عُيّنت عندما كان جزء الأنبوب الذي فوق الماء يساوي ربع الطول الموجي، لذا استخدم الطول المقيس للأنبوب في تحديد الطول الموجي المحسوب لكل محاولة. سجّل الأطوال الموجية المحسوبة في جدول البيانات 2.

3. اضرب قيمتي الطول الموجي والتردد في جدول البيانات 2، لتحديد السرعة التجريبية للصوت، وسجّل ذلك في جدول البيانات 1 لكل محاولة.

4. **تحليل الخطأ** حدّد الخطأ النسبي بين سرعة الصوت المقبولة والتجريبية لكل محاولة في جدول البيانات 1.

$$\%\text{error} = \frac{|\text{Accepted value} - \text{Experimental value}|}{\text{Accepted value}} \times 100\%$$

$$\text{الخطأ النسبي} = \frac{|\text{القيمة المقبولة} - \text{القيمة التجريبية}|}{\text{القيمة المقبولة}} \times 100\%$$

5. **النقد** يجب أخذ قطر الأنبوب بعين الاعتبار لتحسين دقة الحسابات. وتزود العلاقة التالية حسابات الطول الموجي بدقة أكثر: $\lambda = 4(L + 0.4d)$؛ حيث تمثل λ الطول الموجي، و L طول الأنبوب فوق الماء، و d القطر الداخلي للأنبوب. استخدم قيم الطول والقطر الواردة في جدول البيانات 2، وأعد حساب λ، وسجّل القيمة في جدول البيانات 3 على أنها الطول الموجي المصحّح، ثم احسب سرعة الصوت التجريبية المصحّحة بضرب تردّد الشوكة الرنانة في الطول الموجي المصحّح، ثم سجّل القيمة الجديدة لسرعة الصوت التجريبية المصحّحة في جدول البيانات 3.

6. **تحليل الخطأ** حدّد لكل محاولة في جدول البيانات 3 الخطأ النسبي بين السرعة التجريبية المصحّحة والسرعة المقبولة للصوت، واستخدم الصيغة نفسها التي استخدمتها في الفقرة 4 سابقًا.

الاستنتاج والتطبيق

1. **استنتج** تحدث نقطة الرنين الأولى عندما يكون طول الأنبوب مساويًا $\lambda/4$. ما الطولان اللذان يحدث عندهما الرنينان اللاحقان؟

2. **التفكير الناقد** هل يمكن تعيين موقع آخر لحدوث الرنين إذا كان لديك أنبوب أطول؟ وضّح إجابتك.

التوسع في البحث

أيّ النتائج تعطي دقة أكثر لسرعة الصوت؟

الفيزياء في الحياة

فسّر العلاقة بين حجم الأنابيب المغلقة وتردّدات الرنين لها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

موجات الصوت في الشمس Sound Waves in the Sun

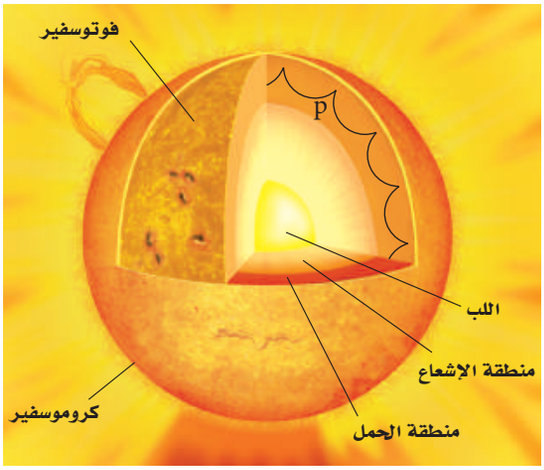
تُسمّى دراسة اهتزازات الموجات في الشمس بالسيزمولوجية الشمسية (علم زلازل الشمس)، حيث تحدث الموجات التالية طبيعيًّا في الشمس، وهي: الموجات الصوتية (موجات p)، وموجات الجاذبية، وموجات الجاذبية السطحية. وتتكون كل هذه الموجات من جزيئات مهتزة، سبّبتها قوى مختلفة.

وتسبب اختلافات الضغط اهتزاز الجزيئات في الموجات الصوتية. أما في الشمس فتنتقل موجات الصوت خلال منطقة الحمل الحراري التي تقع أسفل السطح مباشرة، أو أسفل الفوتوسفير. ولا تنتقل الموجات الصوتية في خط مستقيم، كما هو موضح في الصورة.

تقرع كالجرس تسبب موجات الصوت في الشمس اهتزاز السطح في الاتجاه القطري، مثل اهتزاز جرس يقرع. فعندما يقرع الجرس تضرب مطرقة الجرس في مكان واحد، وتنتج موجات موقوفة. ولسطح الشمس موجات موقوفة، رغم أنها لم تنتج عن حدث واحد كبير. ويفترض العلماء بدلاً من ذلك أن العديد من العواقب الصغيرة في منطقة الحمل الحراري بدأت منها معظم موجات الصوت في الشمس، مثل ضجيج الماء المغلي في قدر، إلا أن حجم الفقاعة المتكونة عند سطح الشمس يفوق مساحتي المغرب والعراق معًا، ويصدر عنها موجات صوتية.

ويكون الصوت القادم من الشمس منخفضًا جدًّا بالنسبة لنا؛ إذ إن الزمن الدوري لنغمة ترددها 440 Hz يساوي 0.00227 s، ومتوسط اهتزاز الموجات في الشمس له زمن دوري 5 min، فيكون ترددها $f = 0.003$ Hz.

ولأننا لا نستطيع سماع موجات الصوت الصادرة من الشمس فقد قاس العلماء حركة سطح الشمس لتعرّف موجاتها الصوتية. ويجب مراقبة الشمس فترات زمنية طويلة؛ لأن موجات الصوت تحتاج إلى ساعتين للانتقال من جانب إلى آخر في الشمس، وهذا يجعل المراقبة من الأرض صعبة؛ لأنه لا يمكن رؤية الشمس في أثناء الليل. لذا فقد



تنتقل الموجات الصوتية (موجات p) خلال منطقة الحمل في الشمس

أطلقت وكالة ناسا عام 1995م المرصد الشمسي (SOHO). وهو قمر اصطناعي يدور حول الأرض، ويستطيع مراقبة الشمس دائمًا.

تُقاس حركة سطح الشمس من خلال مراقبة انزياح دوبلر في ضوء الشمس. ويكون للاهتزازات المقيسة أنماط معقدة تساوي مجموع الموجات الموقوفة كلها في الشمس. ويوجد في الشمس نغمات توافقية كالنغمات التي تظهر عند دق الجرس. ويمكن حساب الموجات الموقوفة الفردية وشدتها في الشمس بالتحليل الدقيق.

النتائج تزوّد اهتزازات موجات الشمس العلماء بمعلومات تتعلق بتركيبها الداخلي؛ وذلك أن كلًّا من تركيبها ودرجة حرارتها وكثافتها يؤثر في انتشار الموجات الصوتية. وقد قدمت نتائج تحليل بيانات القمر الاصطناعي (SOHO) المزيد لفهم عميق حول معدل دوران الشمس على صورة دالة رياضية تعتمد على خط العرض والعمق، وعلى درجة حرارة الشمس وكثافتها أيضًا. وتقارن هذه النتائج بالحسابات النظرية لتحسين فهمنا للشمس.

التوسع

1. **كوّن فرضية** كيف يفرّق العلماء بين حركة سطح الشمس الناجمة عن الموجات الصوتية وحركته الناجمة عن دوران الشمس؟
2. **التفكير الناقد** هل يمكن أن يكون هناك موجات صوتية في نجم آخر مشابه للشمس، لكنه مختلف في حجمه، ولهذه الموجات الطول الموجي نفسه الذي لموجات الشمس الصوتية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 3
دليل مراجعة الفصل

3–1 خصائص الصوت والكشف عنه Properties and Detection of Sound

المفردات

- الموجة الصوتية
- حدّة الصوت
- علوّ الصوت
- مستوى الصوت
- الديسبل
- تأثير دوبلر

المفاهيم الرئيسة

- الصوت تغيُّر في الضغط ينتقل خلال مادة على هيئة موجة طولية.
- لموجة الصوت تردد، وطول موجي، وسرعة، وسعة. كما تنعكس موجات الصوت وتتداخل.
- سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة الغرفة (20 °C) تساوي 343 m /s. وتزداد سرعة الصوت بزيادة درجة الحرارة 0.6 m /s تقريبًا مع كل زيادة 1 °C في درجة الحرارة.
- تحوّل كواشف الصوت الطاقة التي تحملها موجة الصوت إلى شكل آخر من أشكال الطاقة. وتعد الأذن البشرية كاشفًا حسّاسًا ذا كفاءة عالية لموجات الصوت.
- يُميّز تردّد موجة صوت من خلال حدّته.
- يُقاس اتساع ضغط موجة صوت بوحدة الديسبل (dB).
- يعتمد علوّ الصوت ـ عندما يُدرَك بالأذن والدماغ ـ على اتساعه.
- يُعرف تأثير دوبلر بأنه التغير في تردّد موجات الصوت الناتج عن حركة المصدر أو المراقب أو كليهما. ويمكن حسابه بالمعادلة الآتية:

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

3–2 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار Resonance in Air Columns and Strings

المفردات

- أنبوب الرنين المغلق
- أنبوب الرنين المفتوح
- التردد الأساسي (النغمة الأساسية)
- الإيقاع

المفاهيم الرئيسة

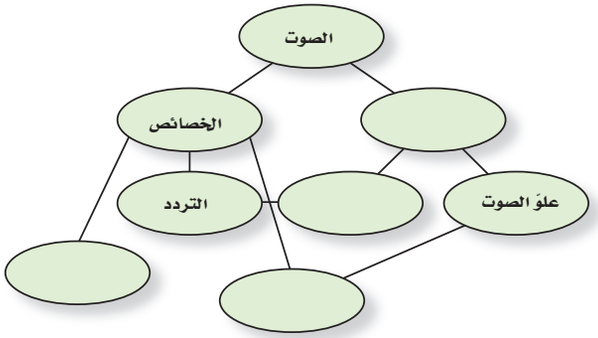
- ينتج الصوت عن تذبذب جسم في وسط مادي.
- معظم الأصوات موجات معقدة، تتكوّن من أكثر من تردّد واحد.
- يمكن أن يحصل رنين لعمود هواء مع مصدر صوت، مما يزيد سعة تردّد رنينه.
- يحصل رنين لأنبوب مغلق عندما يكون طوله $\lambda/4$، $3\lambda/4$، $5\lambda/4$ وهكذا. وتكون ترددات رنينه مضاعفات فردية للتردّد الأساسي.
- يحصل رنين لأنبوب مفتوح عندما يكون طوله $\lambda/2$، $2\lambda/2$، $3\lambda/2$، وهكذا. وتكون ترددات رنينه مضاعفات صحيحة للتردّد الأساسي.
- يكون للوتر المثبت عقدة عند كل طرف، ويحدث له رنين عندما يكون طوله مساويًا لِـ $3\lambda/2$، $\lambda/2$، $2\lambda/2$، وهكذا، مثل الأنبوب المفتوح. وتكون تردّدات رنينه مضاعفات صحيحة للتردّد الأساسي.
- ترددات وشدة الموجات المعقدة الناتجة عن حنجرة شخص تحدّد طابعَ الصوت الذي يعدّ خاصية له.
- يمكن وصف التردّد الأساسي بدلالة الرنين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 3
التقويم

خريطة المفاهيم

23. أكمل الخريطة المفاهيمية أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: السعة، الإدراك، حدّة الصوت، السرعة.



إتقان المفاهيم

24. ما الخصائص الفيزيائية لموجات الصوت؟ (1 – 3)

25. عند قياس زمن الركض لمسافة 100 m يبدأ المراقبون عند خط النهاية تشغيل ساعات الإيقاف لديهم عند رؤيتهم دخانًا يتصاعد من المسدس الذي يشير إلى بدء السباق، وليس عند سماعهم صوت الإطلاق. فسّر ذلك. وما الذي يحدث لقياس زمن الركض إذا ابتدأ التوقيت عند سماع الصوت؟ (1 – 3)

26. اذكر نوعين من أنواع إدراك الصوت والخصائص الفيزيائية المرتبطة معها. (1 – 3)

27. هل يحدث انزياح دوبلر لبعض أنواع الموجات فقط أم لجميع أنواع الموجات؟ (1 – 3)

28. الموجات فوق الصوتية موجات صوتية تردّداتها أعلى من تلك التي تسمع بالأذن البشرية، وتنتقل هذه الموجات خلال الجسم البشري. كيف يمكن استخدام الموجات فوق الصوتية لقياس سرعة الدم في الأوردة أو الشرايين؟ وضح كيف تتغير الموجات لتجعل هذا القياس ممكنًا. (1 – 3)

29. ما الضروري لتوليد الصوت وانتقاله؟ (2 – 3)

30. المشاة عند وصول جنود المشاة في الجيش إلى جسر فإنهم يسيرون على الجسر بخطوات غير منتظمة. فسّر ذلك. (2 – 3)

تطبيق المفاهيم

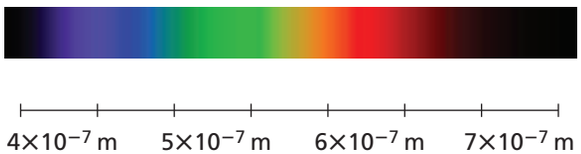
31. التقدير لتقدير المسافة بينك وبين وميض برق بالكيلومترات، عُدّ الثواني بين رؤية الوميض وسماع صوت الرعد، واقسم على 3. وضح كيف تعمل هذه القاعدة.

32. تزداد سرعة الصوت بمقدار 0.6 m/s لكل درجة سلسيوس عند ارتفاع درجة حرارة الهواء بمقدار درجة واحدة. ماذا يحدث لكل مما يأتي بالنسبة لصوتٍ ما عند ارتفاع درجة الحرارة؟

a. التردد **b.** الطول الموجي

33. الأفلام انفجر قمر اصطناعي في فيلم خيال علمي؛ حيث سمع الطاقم في مركبة فضائية قريبة من الانفجار صوته وشاهدوه فورًا. إذا أُخترِتَ مستشارًا فما الخطآن الفيزيائيان اللذان تلاحظهما ويتعين عليك تصحيحهما؟

34. الانزياح نحو الأحمر لاحظ الفلكيون أن الضوء القادم من المجرات البعيدة يبدو مُزاحًا نحو الأحمر أكثر من الضوء القادم من المجرات القريبة. فسّر لماذا استنتج الفلكيون أن المجرات البعيدة تتحرك مبتعدة عن الأرض، اعتمادًا على **الشكل 17–3** للطيف المرئي.



الشكل 17–3

35. يبلغ مستوى صوت 40 dB. هل تغيُّر ضغطه أكبر 100 مرة من عتبة السمع، أم 40 مرة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 3

36. إذا ازدادت حدّة الصوت فما التغير الذي يحدث لكل مما يأتي؟

a. التردد **b.** الطول الموجي

c. سرعة الموجة **d.** سعة الموجة

37. تزداد سرعة الصوت بازدياد درجة الحرارة. هل تزداد حدّة صوت أنبوب مغلق عند ارتفاع درجة حرارة الهواء أم تقل؟ افترض أن طول الأنبوب لا يتغير.

38. يولّد أنبوب مغلق نغمة معينة، فإذا أُزيلت السدادة من نهايته المغلقة ليصبح مفتوحًا فهل تزداد حدّة الصوت أم تقل؟

إتقان حل المسائل

3–1 خصائص الصوت والكشف عنه

39. إذا سمعت صوت إطلاق قذيفة من مدفع بعيد بعد 5.0 s من رؤيتك للوميض فما بُعد المدفع عنك؟

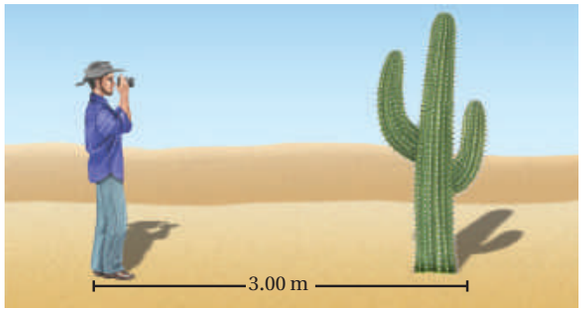
40. إذا صِحت في وادٍ وسمعت الصدى بعد 3.0 s، فما مقدار عرض الوادي؟

41. إذا انتقلت موجة صوت تردّدها 4700 Hz في قضيب فولاذي، وكانت المسافة بين التضاغطات المتتالية هي 1.1 m، فما سرعة الموجة؟

42. **الخفافيش** يُرسل الخفاش موجات صوتية طولها الموجي 3.5 mm. ما تردد الصوت في الهواء؟

43. ينتقل صوت تردده 261.6 Hz خلال ماء درجة حرارته 25 °C. أوجد الطول الموجي لموجات الصوت في الماء. (لا تخلط بين الموجات الصوتية المتحركة خلال الماء والموجات السطحية المتحركة فيه).

44. **التصوير الفوتوجرافي** تحدّد بعض الكاميرات بُعد الجسم عن طريق إرسال موجة صوت وقياس الزمن الذي يحتاج إليه الصدى للعودة إلى الكاميرا، كما يبين **الشكل 18–3**. ما الزمن الذي تحتاج إليه موجة الصوت حتى تعود إلى الكاميرا إذا كان بعد الجسم عنها يساوي 3.00 m؟



الشكل 18–3

45. إذا كان الطول الموجي لموجات صوت ترددها 2.40×10^2 Hz في ماء نقي هو 3.30 m فما سرعة الصوت في هذا الماء؟

46. ينتقل صوت تردّده 442 Hz خلال قضيب حديد. أوجد الطول الموجي لموجات الصوت في الحديد.

47. **الطائرة النفاثة** يعمل موظف في المطار بالقرب من طائرة نفاثة على وشك الإقلاع، فتأثر بصوت مستواه 150 dB.

a. إذا وضع الموظف أداة حماية للأذن تخفض مستوى الصوت إلى حد صوت النشيد الوطني المدرسي فما مقدار الانخفاض في المستوى؟

b. إذا سمع الموظف صوتًا مثل الهمس لا يكاد يُسمع إلا بصعوبة فما الذي يسمعه شخص لا يضع أداة الحماية على أذنيه؟

48. **النشيد** تُنشد فرقة نشيد بصوت مستواه 80 dB. ما مقدار الزيادة في ضغط الصوت لفرقة أخرى تُنشد بالمستويات الآتية؟

a. 100 dB **b.** 120 dB

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 3

49. يهتز ملف نابضي للعبة بتردد 4.0 Hz بحيث تظهر موجات موقوفة بطول موجي 0.50 m. ما سرعة انتشار الموجة؟

50. يجلس مشجع في مباراة كرة قدم على بُعد 152 m من حارس المرمى في يوم دافئ درجة حرارته 30 °C. احسب مقدار:

a. سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة 30 °C.

b. الزمن الذي يحتاج إليه المشجع ليسمع صوت ضرب الكرة بعد مشاهدته ركل الحارس لها.

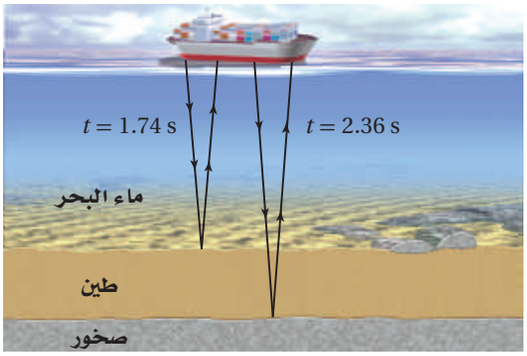
51. وقف شخص على بُعد d من جرف صخري، كما يبين **الشكل 19–3**. فإذا كانت درجة الحرارة 15 °C، وصفّق الشخص بيديه فسمع صدى الصوت بعد 2.0 s، فما بُعد الجرف الصخري؟

■ **الشكل 19–3** (الرسم ليس بمقياس رسم)

52. التصوير الطبي تستخدم موجات فوق صوتية بتردّد 4.25 MHz للحصول على صور للجسم البشري. فإذا كانت سرعة الصوت في الجسم مماثلة لسرعته في الماء المالح وهي 1.50 km/s، فما الطول الموجي لموجة ضغط تردّدها 4.25 MHz في الجسم؟

53. السونار تمسح سفينة قاع المحيط بإرسال موجات سونار مباشرة من السطح إلى أسفل سطح الماء، كما يبين **الشكل 20–3**. وتستقبل السفينة الانعكاس الأول عن الطين عند القاع بعد زمن مقداره 1.74 s من إرسال الموجات. ويصل الانعكاس الثاني عن الصخور تحت الطين بَعد 2.36 s. فإذا كانت درجة حرارة ماء المحيط 25 °C، وسرعة الصوت في الطين 1875 m/s، فاحسب ما يأتي:

a. عمق الماء. **b.** سُمك طبقة الطين.



■ **الشكل 20–3** (الرسم ليس بمقياس رسم)

54. تتحرك سيارة إطفاء بسرعة 35 m/s، وتتحرك حافلة أمام سيارة الإطفاء في الاتجاه نفسه بسرعة 15 m/s. فإذا انطلقت صفارة إنذار سيارة الإطفاء بتردد 327 Hz فما التردّد الذي يسمعه سائق الحافلة؟

55. يتحرك قطار في اتجاه مراقب صوت، وعندما كانت سرعته 31 m/s انطلقت صفارته بتردد 305 Hz. ما التردد الذي يستقبله المراقب في كل حالة مما يأتي:

a. المراقب ثابت.

b. المراقب يتحرك في اتجاه القطار بسرعة 21.0 m/s.

56. إذا تحرك القطار في المسألة السابقة مبتعدًا عن المراقب فما التردد الذي يستقبله الكاشف في كل حالة مما يأتي:

a. المراقب ثابت.

b. المراقب يتحرك مبتعدًا عن القطار بسرعة 21.0 m/s.

3–2 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار

57. أنبوب في وضع رأسيّ مملوء بالماء وله صنبور عند قاعدته، وتهتز شوكة رنانة فوق طرفه العلوي. فإذا سُمع رنين عند تخفيض مستوى الماء في الأنبوب بمقدار

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 3

17 cm، وسُمع رنين مرة أخرى عند تخفيض مستوى الماء عن فوهة الأنبوب بمقدار 49 cm، فما تردّد الشوكة الرنانة؟

58. **السمع البشري** القناة السمعية التي تؤدي إلى طبلة الأذن عبارة عن أنبوب مغلق طوله 3.0 cm. أوجد القيمة التقريبية لأقل تردّد رنين. أهمل تصحيح النهاية.

59. إذا أمسكت قضيب ألومنيوم طوله 1.2 m من منتصفه وضربت أحد طرفيه بمطرقة فسيهتز كأنه أنبوب مفتوح، ويكون هناك بطن ضغط عند مركز القضيب؛ بسبب توافق بطون الضغط لعُقَد الحركة الجزيئية. فإذا كانت سرعة الصوت في الألومنيوم 5150 m/s فما أقل تردّد اهتزاز للقضيب؟

60. إذا أنتج أنبوب مفتوح نغمة تردّدها 370 Hz فما تردّدات الإيقاعات الثاني، والثالث، والرابع المصاحبة لهذ التردّد؟

61. إذا أنتج أنبوب مغلق نغمة تردّدها 370 Hz فما تردّد أقل ثلاثة إيقاعات يُنتجها هذا الأنبوب؟

62. ضُبط وتر طوله 65.0 cm لينتج أقل تردّد، ومقداره 196 Hz. احسب مقدار:

a. سرعة الموجة في الوتر.

b. الترددين الآتيين لرنين هذا الوتر.

63. يمثّل **الشكل 21–3** أنبوبًا بلاستيكيًّا موجًا مرنًا طوله 0.85 m. وعندما يتأرجح ينتج نغمة تردّدها يماثل أقل تردّد يُنتجه أنبوب مفتوح له الطول نفسه. ما تردّد النغمة؟

الشكل 21–3

64. إذا تأرجح الأنبوب في المسألة السابقة بسرعة أكبر منتجًا نغمة حدّتها أعلى، فما التردّد الجديد؟

65. إذا كانت سعة موجة ضغط خلال محادثة عادية 0.020 Pa،

a. فما القوة المؤثرة في طبلة أذن مساحتها $0.52\ cm^2$؟

b. إذا انتقلت القوة نفسها التي في الفرع **a** كاملة إلى العظام الثلاثة في الأذن الوسطى، فما مقدار القوة التي تؤثر بها هذه العظام في الفتحة البيضية؛ أيْ الغشاء المرتبط مع العظمة الثالثة؟ علمًا بأن الفائدة الميكانيكية لهذه العظام 1.5.

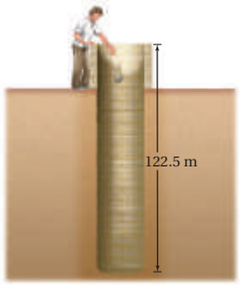
c. ما مقدار الضغط الإضافي الذي انتقل إلى السائل الموجود في القوقعة نتيجة تأثير هذه القوة، إذا كانت مساحة الفتحة البيضية $0.026\ cm^2$؟

مراجعة عامة

66. أنبوب مفتوح طوله 1.65 m. ما نغمة التردّد الأساسي التي ينتجها في الهيليوم عند درجة حرارة 0 °C؟

67. يطير طائر نحو رائد فضاء على كوكب مكتشف حديثًا بسرعة 19.5 m/s، ويُغرِّد بحدّة مقدارها 954 Hz. فإذا سمع الرائد النغمة بتردّد 985 Hz فما سرعة الصوت في الغلاف الجوي لهذا الكوكب؟

68. إذا ألقيت حجرًا في بئر عمقها 122.5 m كما في **الشكل 22–3**، فبعد كم ثانية تسمع صوت ارتطام الحجر بقاع البئر؟



الشكل 22–3

69. تستخدم سفينة موجات السونار بتردّد 22.5 kHz. فإذا كانت سرعة الصوت في ماء البحر 1533 m/s

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

فما مقدار التردّد الذي يصل السفينة بعد انعكاسه عن حوت يتحرك بسرعة 4.15 m/s مبتعدًا عن السفينة؟ افترض أن السفينة ساكنة.

70. يتحرك قطار نحو نفق بسرعة 37.5 m/s، ويصدر صوتًا بتردّد 327 Hz، فيرتد الصوت من فتحة النفق. ما تردّد الصوت المنعكس الذي يُسمع في القطار، علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء كانت 343 m/s؟ تلميح: حل المسألة في جزأين، افترض في الجزء الأول أن النفق مراقب ثابت، واحسب التردّد. ثم افترض في الجزء الثاني أن النفق مصدر ثابت، واحسب التردّد المقيس في القطار.

التفكير الناقد

71. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها يبين الجدول 2-3 الأطوال الموجية لموجات صوتية ناتجة عن مجموعة من الشوكات الرنانة عند تردّدات معيّنة.

a. مثّل بيانيًّا العلاقة بين الطول الموجي والتردّد (المتغير المضبوط). ما نوع العلاقة التي يبيّنها الرسم البياني؟

b. مثّل بيانيًّا العلاقة بين الطول الموجي ومقلوب التردّد ($1/f$). ما نوع العلاقة التي يبيّنها الرسم البياني؟ حدّد سرعة الصوت من الرسم البياني.

الجدول 2-3

الشوكات الرنانة

الطول الموجي (m)	التردد (Hz)
2.62	131
2.33	147
2.08	165
1.75	196
1.56	220
1.39	247

72. إعداد الرسوم البيانية افترض أن تردّد بوق سيارة يساوي 300 Hz عندما كانت السيارة ثابتة، فكيف يكون الرسم البياني للعلاقة بين التردّد والزمن عندما تقترب السيارة منك ثم تتحرك مبتعدة عنك؟ صمّم مخطّطًا تقريبيًّا للمسألة.

73. حلّل واستنتج صف كيف تستخدم ساعة إيقاف لتقدر سرعة الصوت إذا كنت على بعد 200 m من حفرة ملعب جولف، وكان مجموعة من اللاعبين يضربون كراتهم. هل يكون تقديرك لسرعة الصوت كبيرًا جدًّا أم صغيرًا جدًّا؟

74. تطبيق المفاهيم وجد أن تردّد موجة ضوء قادمة من نقطة على الحافة اليسرى للشمس أكبر قليلاً من تردّد الضوء القادم من الجهة اليمنى. علام يدل هذا بالنسبة لحركة الشمس اعتمادًا على هذا القياس؟

الكتابة في الفيزياء

75. ابحث في استخدام تأثير دوبلر في دراسة الفلك. كيف يستخدم في الكشف عن الكواكب حول النجوم، ودراسة حركة المجرّات؟

مراجعة تراكمية

76. ما سرعة الموجات المتولّدة في وتر طوله 60.0 cm، إذا نُقر في منطقة الوسط فأنتج نغمة ترددها 440 Hz؟ (الفصل 2)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. ينتقل الصوت من مصدره إلى الأذن بسبب:

A تغير ضغط الهواء.
B الاهتزاز في الأسلاك أو الأوتار.
C الموجات الكهرومغناطيسية.
D الموجات تحت الحمراء.

2. سمع خالد أثناء سباحته نغمة وصلت إلى أذنه بتردّد 327 Hz عندما كان تحت الماء. فما الطول الموجي للصوت الذي يسمعه؟ (افترض سرعة الصوت في الماء 1493 m /s)

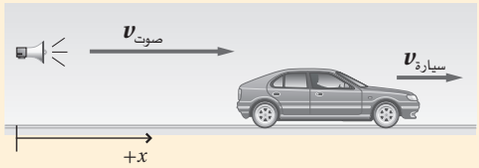
A $2.19\ \text{nm}$
C $2.19 \times 10^{-1}\ \text{m}$
B $4.88 \times 10^{-5}\ \text{m}$
D $4.57\ \text{m}$

3. يجذب صوت بوق سيارة انتباه مراقب ثابت. فإذا كانت السيارة تقترب من المشاهد بسرعة 60.0 km /h، وتردّد صوت البوق 512 Hz، فما تردّد الصوت الذي يسمعه المراقب؟ (افترض سرعة الصوت في الهواء 343 m /s)

A 488 Hz
C 538 Hz
B 512 Hz
D 600 Hz

4. تبتعد سيارة بسرعة 72 km /h عن صافرة ثابتة، كما هو موضح في الشكل أدناه. فإذا انطلقت الصافرة بتردّد 657 Hz فما تردّد الصوت الذي يسمعه السائق؟ (افترض سرعة الصوت في الهواء 343 m /s)

A 543 Hz
C 647 Hz
B 620 Hz
D 698 Hz

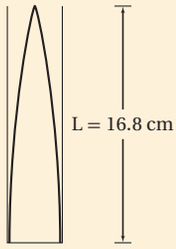


5. ينتقل صوت بوق سيارة في الهواء بسرعة 351 m / s. فإذا كان تردّد الصوت 298 Hz فما طوله الموجي؟

A $9.93 \times 10{-}4\ \text{m}$
C $1.18\ \text{m}$
B $0.849\ \text{m}$
D $1.05 \times 10^{5}\ \text{m}$

الأسئلة الممتدة

6. يبين الشكل أدناه طول عمود الهواء في حالة الرنين الأول لعمود هواء مغلق، فإذا كان تردد الصوت 488 Hz فما سرعة الصوت؟



إرشاد

سجِّل حساباتك

يطلب إليك في أغلب الاختبارات الإجابة عن عدد كبير من الأسئلة في زمن قليل. سجّل حساباتك وملاحظاتك حيثما كان ذلك ممكنًا. وأجر الحسابات كتابيًّا لا ذهنيًّا، ثم ضع خطًّا تحت الحقائق المهمة في العبارات والأشكال، وأعد قراءتها، ولا تحاول حفظها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 4

أساسيات الضوء

Fundamentals of Light

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تَعرُّف مصادر الضوء، وكيف ينير الضوء العالم من حولنا.
- وصف الطبيعة الموجية للضوء، وبعض الظواهر التي تتعلق به.

الأهمية

يُعدّ الضوء أساس حياتنا، وإنارة لكوكبنا، والمصدر الرئيس الذي يزوّدنا بالمعلومات المتعلقة بسلوك الكون. وتُستخدم مجموعة من المعلومات كاللون، والحيود، والظل باستمرار في تفسير الأحداث التي تحصل من حولنا.

سباق المناطيد يمكن التمييز بين المناطيد المشاركة في السباق نهارًا من خلال ألوانها، كما يمكن تمييز المناطيد من خلال الخلفيات التي تظهر في أثناء حركتها؛ بسبب الفروق بين لون الأعشاب والسماء.

فكّر ◄

إلامَ تعود هذه الفروق في اللون؟ وكيف ترتبط هذه الألوان بعضها ببعض؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

كيف يمكنك تحديد مسار الضوء في الهواء؟

سؤال التجربة ما المسار الذي يسلكه الضوء خلال انتقاله في الهواء؟

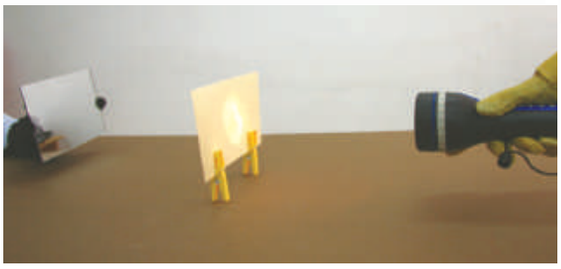
الخطوات

1. اثقب بطاقة فهرسة بالمثقب عند مركزها.
2. استخدم مشبكين في تثبيت البطاقة رأسيًّا، بحيث تكون حافتها الطويلة على سطح الطاولة.
3. أشعل المصباح ودع زميلك يحمله، مراعيًا مرور أشعة المصباح الضوئي من خلال الثقب الموجود في البطاقة.
4. احمل مرآة في الجانب المقابل للبطاقة، بحيث يصطدم الضوء المار من خلال الثقب بالمرآة، ثم عتّم الغرفة.
5. حرّك المرآة وأمِلْها بحيث تعكس الشعاع الضوئي وتسقطه على البطاقة. **تحذير:** احذر من عكس الشعاع الضوئي في اتجاه عيون زملائك في المختبر.
6. سجّل ملاحظاتك

التحليل

صِف صورة الشعاع الضوئي المنعكس التي تشاهدها على بطاقة الفهرسة، والمسار الذي سلكه الشعاع الضوئي.

التفكير الناقد هل يمكنك رؤية الشعاع الضوئي في الهواء؟ لماذا؟



4–1 الاستضاءة Illumination

الأهداف

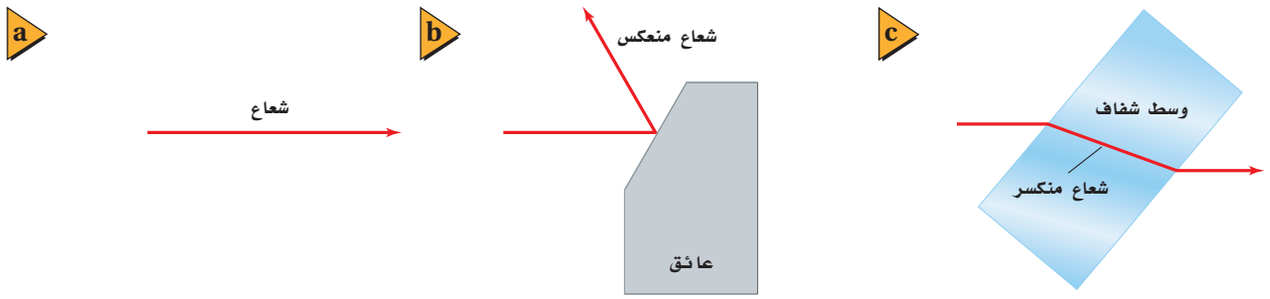
- **تطوّر** نموذج الشعاع الضوئي.
- **تتوقع** تأثير البعد في الاستضاءة.
- **تحل** مسائل تتضمن سرعة الضوء.

المفردات

نموذج الشعاع الضوئي
المصدر المضيء
المصدر المستضيء (المُضَاء)
الوسط غير الشفّاف (المعتم)
الوسط الشفّاف
الوسط شبه الشفّاف
التدفق الضوئي
الاستضاءة

الضوء والصوت وسيلتان نحصل عن طريقهما على المعلومات. والضوء وسيلة توفر أكبر مجموعة متنوعة من المعلومات، حيث تستطيع العين البشرية تحسّس التغيرات البسيطة جدًّا في حجم الجسم وموقعه وسطوعه، إضافة إلى لونه، كما تميّز أعيننا في العادة بين الظلال والأجسام الصلبة، وتستطيع أحيانًا التمييز بين انعكاسات الأجسام والأجسام نفسها. وستتعلم في هذا الفصل من أين يأتي الضوء؟ وكيف يضيء الكون من حولنا؟

يسير الضوء في خطوط مستقيمة، فكيف تثبت ذلك؟ عندما تدخل حزمة ضوئية ضيقة ـ مثل ضوء المصباح الكهربائي أو ضوء الشمس ـ عبر النافذة فإن دقائق الغبار المنتشرة في الهواء تجعل الضوءَ مرئيًّا، وترى مسار الضوء على شكل خط مستقيم. وعندما يعترض جسمك ضوء الشمس ترى هيئة جسمك في صورة ظل. وعندما تضع جسمًا أمام عينيك وتتحرك في اتجاهه فإنك تسير في مسار مستقيم. هذه الأشياء تحدث فقط لأن الضوء ينتقل في خطوط مستقيمة. وقد طوّرت نماذج تصف سلوك الضوء؛ اعتمادًا على هذه المعلومة المتعلقة بكيفية انتقال الضوء.



الشكل 1–4 الشعاع الضوئي عبارة عن خط مستقيم يمثّل المسار الخطي لحزمة ضيقة من الضوء (a). ويمكن أن يغيّر الشعاع الضوئي اتجاهه إذا انعكس (b) أو انكسر (c).

نموذج الشعاع الضوئي Ray Model of Light

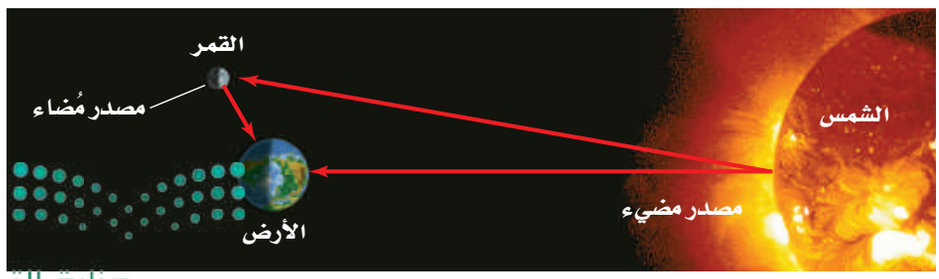
اعتقد العالم إسحق نيوتن ـ الذي درست قوانينه في الحركة سابقًا ـ أن الضوء سيل من جسيمات متناهية في الصغر لا يمكن تخيلها، تتحرك بسرعة كبيرة جدًّا، أطلق عليها اسم جسيمات. ولم يستطع نموذج نيوتن تفسير خصائص الضوء جميعها؛ إذ بيّنت التجارب أن الضوء يسلك أيضًا سلوك الموجات. وفي **نموذج الشعاع الضوئي** يُمثَّل الضوء على شكل شعاع ينتقل في خط مستقيم ويتغير اتجاهه فقط إذا اعترض مساره حاجزٌ، كما يتضح من **الشكل 1–4**. لقد قُدّم نموذج الشعاع الضوئي بوصفه طريقة لدراسة كيفية تفاعل الضوء مع المادة، بغض النظر عما إذا كان الضوء جسيمًا أو موجة. وتسمى دراسة الضوء بهذه الطريقة البصريات أو البصريات الهندسية.

مصادر الضوء تنبعث أشعة الضوء من مصادرها، وتُعد الشمس المصدر الرئيس للضوء. وهناك مصادر طبيعية أخرى للضوء، منها اللهب والشرر، وبعض أنواع الحشرات مثل اليراع. وتمكّن الإنسان خلال المئة سنة الماضية من إيجاد أنواع أخرى من مصادر الضوء، منها المصابيح المتوهّجة، والفلورسنتية، وأشعة الليزر، والصمامات الثنائية الباعثة للضوء، وجميعها ناتجة عن استخدام الإنسان للكهرباء لينتج الضوء.

دلالة الألوان

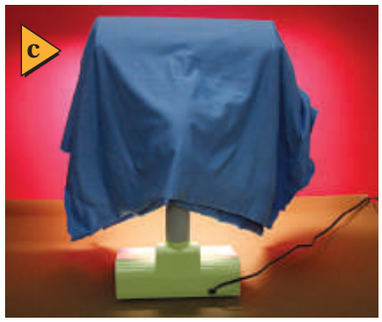
الأشعة الضوئية باللون **الأحمر**.

ما الفرق بين ضوء الشمس وضوء القمر؟ ضوء الشمس أكثر سطوعًا من الضوء الذي يصلنا من القمر، وهناك فرق آخر أساسي ومهم بينهما، وهو أن الشمس **مصدر مضيء**؛ أيْ أنها جسم يبعث ضوءًا من ذاته، أمّا القمر فيُعدّ **مصدرًا مستضيئًا (مُضاءً)**؛ أيْ أنه جسم يصبح مرئيًّا نتيجة انعكاس الضوء عنه، كما يتضح من **الشكل 2–4**. فالمصابيح المتوهجة ـ ومنها المصابيح الكهربائية الشائعة الاستخدام ـ مضيئة؛ لأن الطاقة الكهربائية تُسخِّن سلك التنجستن الرفيع الموجود في المصباح، مما يؤدي إلى توهّجه. وتبعث المصابيح المتوهجة الضوء نتيجة درجة حرارتها العالية. ويعمل العاكس المثبت على الدراجة الهوائية عمل مصدر مستضيء؛ حيث صُمّم ليصبح مرئيًّا بشدة عندما يُضاء بوساطة أضواء السيارة الأمامية.



الشكل 2–4 تعمل الشمس عمل مصدر مضيء للأرض والقمر، ويعمل القمر عمل مصدر مُضاء يضيء الأرض. (الرسم التوضيحي ليس بمقياس رسم)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

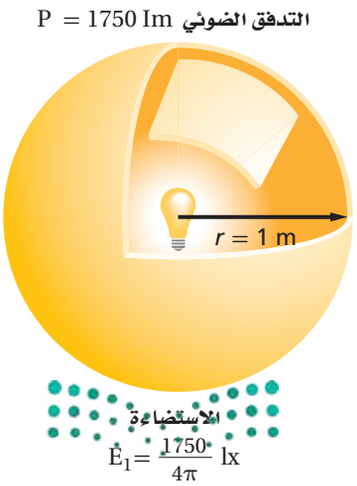


الشكل 3–4 يسمح الزجاج الشفاف للأجسام أن تُرى من خلاله **(a)**. ويسمح غطاء المصباح شبه الشفاف للضوء بالمرور من خلاله، على الرغم من أن المصباح (مصدر الضوء) نفسه غير مرئي **(b)**. والقماش البلاستيكي غير الشفاف (المعتم) الذي يغطي المصباح يَحُول دون رؤيته **(c)**.

تكون المصادر المستضيئة مرئية بالنسبة لك؛ لأن الضوء ينعكس عن الجسم أو ينفذ من خلاله ليصل إلى عينيك. ويُسمّى الوسط الذي لا يمر الضوء من خلاله ويعكس بعض الضوء **وسطًا غير شفاف** (أي معتمًا)، في حين يُسمّى الوسط الذي يمر الضوء من خلاله مثل الهواء والزجاج **وسطًا شفّافًا**. أما الوسط الذي يمر الضوء من خلاله ولا يسمح للأجسام أن تُرى بوضوح فيُسمّى **وسطًا شبه شفّاف**، فمظلة المصباح مثال على الأجسام المصنوعة من أوساط شبه شفافة. ويبين **الشكل 3–4** أنواع الأوساط الثلاثة. إن الأوساط الشفافة أو شبه الشفافة لا تمرّر الضوء فقط، بل يمكنها أن تعكس جزءًا منه أيضًا؛ فمثلاً تستطيع رؤية صورة جسمك على نافذة الزجاج أحيانًا.

كمية الضوء إن معدل انبعاث طاقة الضوء من المصدر المضيء يُسمّى **التدفق الضوئي** P، ويُقاس التدفق الضوئي بوحدة لومن (lm)، فالمصباح الكهربائي المتوهج الذي قدرته 100 W يصدر 1750 lm تقريبًا. وتستطيع أن تفكّر في التدفق الضوئي بوصفه مقياسًا لمعدل انبعاث الأشعة الضوئية من المصدر المضيء. تخيّل أنك وضعت مصباحًا كهربائيًّا في مركز كرة نصف قطرها 1 m، كما في **الشكل 4–4**، سيبعث المصباح الضوء في الاتجاهات جميعها تقريبًا؛ أي أن تدفقًا ضوئيًّا بمقدار 1750 lm يصف الضوء جميعه الذي يصطدم بالسطح الداخلي للكرة خلال وحدة الزمن. وحتى لو كان نصف قطر الكرة 2 m فإن التدفق الضوئي للمصباح الكهربائي على هذه الكرة سيساوي التدفق الضوئي نفسه على الكرة التي نصف قطرها 1 m؛ وذلك لأن العدد الكلي للأشعة الضوئية الصادرة عن المصباح لا يتغير.

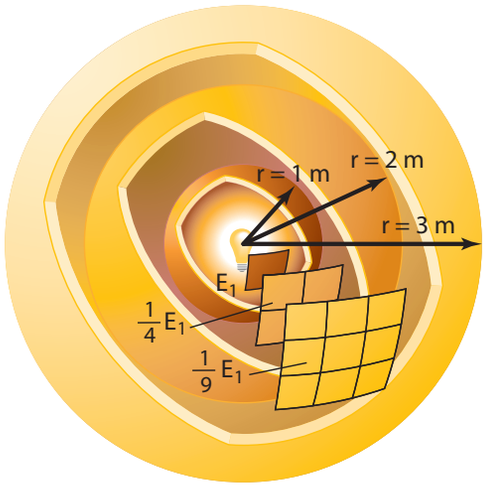
الشكل 4–4 التدفق الضوئي يساوي معدل انبعاث الضوء من المصدر المضيء. في حين تساوي الاستضاءة معدل سقوط الضوء على السطح.



وبمعرفة كمية الضوء المنبعثة من المصدر المضيء يمكنك تحديد مقدار الإضاءة التي يزودها المصدر المضيء لجسم، كالكتاب مثلًا. إن إضاءة سطح، أو بمعنى آخر معدل اصطدام الضوء بوحدة المساحات للسطح يُسمّى **الاستضاءة** E. ويمكنك أن تفكّر في هذا الأمر بوصفه مقياسًا لعدد الأشعة الضوئية التي تصطدم بسطح ما. وتُقاس الاستضاءة بوحدة اللوكس lx التي تساوي لومن لكل متر مربع، lm/m^2.

ما مقدار استضاءة السطح الداخلي للكرة، مستعينًا بالتركيب الموضح في **الشكل 4–4**؟ تُحسب المساحة السطحية للكرة من خلال المعادلة $4\pi r^2$، لذا تكون المساحة السطحية لهذه الكرة $4\pi\,(1.00\ m)^2 = 4\pi\ m^2$. والتدفق الضوئي الذي يصطدم بكل متر مربع من الكرة يساوي $1750\ lm / (4\pi\ m^2) = 139\ lx$؛ أي يسقط على بعد 1.00 m من المصباح 139 lm على كل متر مربع، لذا تكون استضاءة السطح الداخلي للكرة 139 lx.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



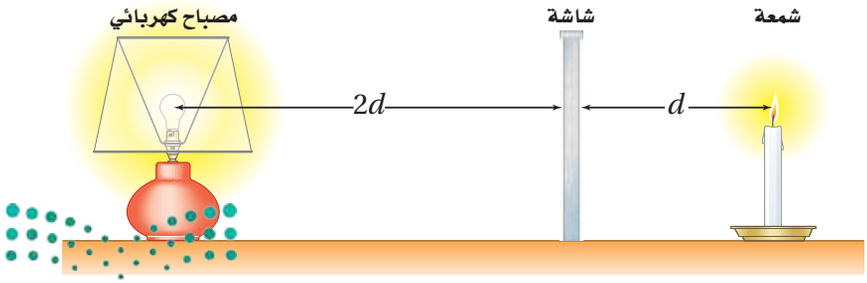
الشكل 5–4 تتغير الاستضاءة E الناتجة عن مصدر ضوء نقطي عكسيًا مع مربع البعد عنه.

علاقة التربيع العكسي ماذا يحدث إذا أصبحت الكرة المحيطة بالمصباح الكهربائي أكبر؟ إذا كان نصف قطر الكرة 2.00 m سيبقى التدفق الضوئي الكلي 1750 lm، في حين تصبح مساحة سطح الكرة $4\pi\,(2.00\ \text{m})^2 = 16.0\pi\ \text{m}^2$؛ أيْ أكبر أربع مرات من مساحة سطح كرة نصف قطرها 1.00 m، كما يتضح من **الشكل 5–4**. وتكون الاستضاءة داخل الكرة التي نصف قطرها 2.00 m مساويةً $1750\ \text{lm}/(16.0\pi\ \text{m}^2) = 34.8\ \text{lx}$، لذا يسقط 34.8 lm على كل متر مربع.

إن الاستضاءة على السطح الداخلي للكرة التي نصف قطرها 2.00 m تساوي ربع الاستضاءة على السطح الداخلي لكرة نصف قطرها 1.00 m، وبالطريقة نفسها تجد أن الاستضاءة على السطح الداخلي لكرة نصف قطرها 3.00 m تساوي $(1/3)^2$، أو 1/9، من الاستضاءة على السطح الداخلي لكرة نصف قطرها 1.00 m. ويوضح **الشكل 5–4** أن الاستضاءة الناتجة بفعل مصدر ضوء نقطي تتناسب طرديًّا مع $1/r^2$، وتُسمى علاقة التربيع العكسي؛ أي أنه عندما تنتشر أشعة الضوء من مصدر نقطي في خطوط مستقيمة وفي الاتجاهات جميعها فإن عدد أشعة الضوء المتاحة لإضاءة وحدة المساحة تتناقص مع زيادة مربع البعد عن مصدر الضوء النقطي.

شدة الإضاءة تُحدّد بعض المصادر المضيئة بوحدة الشمعة cd، والشمعة ليست مقياسًا للتدفق الضوئي؛ إنما هي مقياس لشدة الإضاءة. وشدة الإضاءة لمصدر ضوء نقطي تساوي التدفق الضوئي الذي يسقط على مساحة مقدارها $1\ \text{m}^2$ من مساحة السطح الداخلي لكرة نصف قطرها 1 m، ولذا فإن شدة الإضاءة تساوي التدفق الضوئي مقسومًا على 4π ويرمز لها بالرمز I_v. والمصباح الكهربائي الذي تدفقه الضوئي يساوي 1750 lm تكون شدة إضاءته مساوية للمقدار الآتي: $1750\ \text{lm} / 4\pi = 139\ \text{cd}$.

في **الشكل 6–4**، بُعد المصباح الكهربائي عن الشاشة يساوي ضعف بُعد الشمعة عنها. ولكي يولّد المصباح الكهربائي على الجانب المقابل له من الشاشة الاستضاءةَ نفسها التي تولّدها الشمعة على الجانب المقابل لها من الشاشة يجب أن يكون سطوع المصباح الكهربائي أكبر أربع مرات من سطوع الشمعة. لذا ينبغي أن تعادل شدة إضاءة المصباح الكهربائي أربعة أضعاف شدة إضاءة الشمعة.



الشكل 6–4 الاستضاءة متساوية على جانبي الشاشة، مع أنّ المصباح الكهربائي أكثر سطوعًا من الشمعة.

إضاءة السطوح Illumination of Surfaces

كيف تتمكن من زيادة الاستضاءة على سطح مكتبك؟ يمكن أن تستخدم مصباحًا كهربائيًّا أكثر سطوعًا يؤدي إلى زيادة التدفق الضوئي، أو أن تحرك المصدر الضوئي إلى موقع أقرب لسطح مكتبك؛ أي أنّك تقلّل المسافة بين المصدر الضوئي والسطح الذي يُضيئه. ولتبسيط المسألة يمكنك اعتبار المصدر الضوئي مصدرًا ضوئيًّا نقطيًّا، ولذا فإن كلًّا من الاستضاءة والمسافة سيتبعان علاقة التربيع العكسي. ويمكنك أيضًا تبسيط المسألة أكثر إذا اعتبرت أن الضوء المنبعث من المصدر يسقط عموديًّا على سطح المكتب. وبعد هذا التبسيط يمكنك التعبير عن الاستضاءة الناتجة عن مصدر ضوء نقطي بالمعادلة الآتية:

الاستضاءة بفعل مصدر نقطي $E = \frac{P}{4\pi r^2}$

إذا أُضيء جسم بواسطة مصدر ضوئي نقطي فإن الاستضاءة على الجسم تساوي التدفق الضوئي للمصدر الضوئي مقسومًا على المساحة السطحية لكرة نصف قطرها يساوي بُعد الجسم عن المصدر الضوئي.

ينتشر التدفق الضوئي لمصدر الضوء بصورة كروية في الاتجاهات جميعها، لذا فإن جزءًا فقط من التدفق الضوئي يكون متاحًا لإضاءة سطح المكتب. ويكون استخدام هذه المعادلة صحيحًا، فقط إذا كان الضوء المنبعث من المصدر المضيء يسقط عموديًّا على السطح الذي يضيئه. كما أن استخدام هذه المعادلة يكون صحيحًا فقط للمصادر المضيئة التي تكون صغيرة، أو بعيدة بصورة كافية حتى يمكن اعتبارها مصادر نقطية. لذا فإن المعادلة لا تعطي قيمًا دقيقة للاستضاءة الناتجة بفعل المصابيح الكهربائية الفلورسنتية الطويلة، أو المصابيح الكهربائية المتوهجة التي تكون قريبة من السطح الذي تضيئه.

الرياضيات في الفيزياء

العلاقات الطردية والعكسية تخضع الاستضاءة المتولّدة بواسطة مصدر ضوئي إلى علاقة طردية وعلاقة عكسية.

الرياضيات	الفيزياء
$y = \frac{x}{az^2}$	$E = \frac{P}{4\pi r^2}$
إذا كانت z ثابتة فإن y تتناسب طرديًّا مع x. • عندما تزداد x تزداد y. • عندما تقل x تقل y.	إذا كانت r ثابتة فإن E تتناسب طرديًّا مع P. • عندما تزداد P تزداد E. • عندما تقل P تقل E.
إذا كانت x ثابتة فإن y تتناسب عكسيًّا مع z^2. • كلما ازدادت z^2 قلّت y. • كلما قلّت z^2 ازدادت y.	إذا كانت P ثابتة فإن E تتناسب عكسيًّا مع r^2. • كلما ازدادت r^2 قلّت E. • كلما قلّت r^2 ازدادت E.

تطبيق الفيزياء

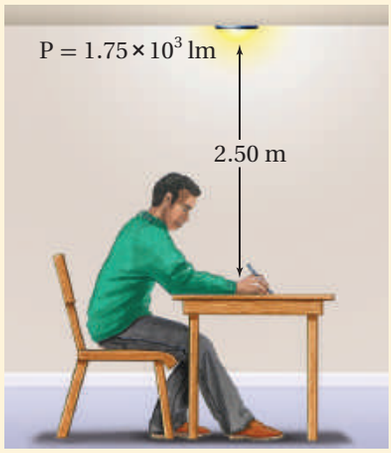
العقول المستنيرة

عند اتخاذ القرارات في كيفية تحقيق الاستضاءة الصحيحة على سطوح مقاعد الطلاب، يتعيّن على المهندسين المعماريين أن يأخذوا بعين الاعتبار التدفق الضوئي للضوء، وبُعد المصادر الضوئية عن سطوح المقاعد، كما تُعدّ كفاءة المصادر الضوئية عاملاً اقتصاديًّا مهمًّا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مثـــــال 1

استضاءة سطح ما الاستضاءة الواقعة على سطح المكتب في الصورة المجاورة إذا أُضيء بمصباح كهربائي تدفقه الضوئي 1750 lm، علمًا بأنه موضوع على بُعد 2.50 m فوق سطح المكتب؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- افترض أن المصباح الكهربائي مصدر نقطي.
- ارسم موقع المصباح والمكتب، وعيّن r ،P.

المعلوم	المجهول
$P = 1.75 \times 10^3\ lm$	$E = ?$
$r = 2.50\ m$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

بما أن السطح متعامد مع اتجاه انتقال الشعاع الضوئي، لذا يمكنك أن تطبق معادلة الاستضاءة بفعل المصدر النقطي.

عوّض مستخدمًا $P = 1.75 \times 10^3\ lm, r = 2.50\ m$

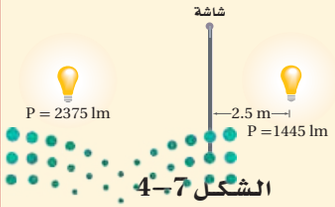
$$E = \frac{P}{4\pi r^2}$$
$$= \frac{1.75 \times 10^3\ lm}{4\pi\ (2.50\ m)^2}$$
$$= 22.3\ lm/m^2 \quad = 22.3\ lx$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** إن وحدات الاستضاءة $lx = lm/m^2$ تتفق مع الإجابة.
- **هل للإشارات معنى؟** المقادير كلها موجبة، كما يجب أن تكون.
- **هل الجواب منطقي؟** إن الاستضاءة أقل من التدفق الضوئي، والتي ينبغي أن تكون عند هذه المسافة.

مسائل تدريبية

1. تحرّك مصباح فوق صفحات كتاب من مسافة 30 cm إلى 90 cm. قارن بين استضاءة الكتاب قبل الحركة وبعدها.
2. ارسم المنحنى البياني للاستضاءة المتولّدة بواسطة مصباح ضوئي متوهج قدرته 150 W بين 0.50 m و5.0 m.
3. مصدر ضوئي نقطي شدّة إضاءته 64 cd يقع على ارتفاع 3.0 m فوق سطح مكتب. ما الاستضاءة على سطح المكتب بوحدة لوكس (lx)؟
4. يتطلب قانون المدارس الحكومية أن تكون الاستضاءة الصغرى 160 lx على سطح كل مقعد. وتقتضي المواصفات التي يوصي بها المهندسون المعماريون أن تكون المصابيح الكهربائية على بعد 2.0 m فوق المقاعد. ما مقدار أقل تدفق ضوئي تولده المصابيح الكهربائية؟
5. وضعت شاشة بين مصباحين كهربائيين يُضيئانها بالتساوي، كما في **الشكل 7–4**. فإذا كان التدفق الضوئي للمصباح الأول 1445 lm عندما كان يبعد مسافة 2.5 m عن الشاشة فما بُعد المصباح الثاني عن الشاشة إذا كان تدفقه الضوئي 2375 lm؟



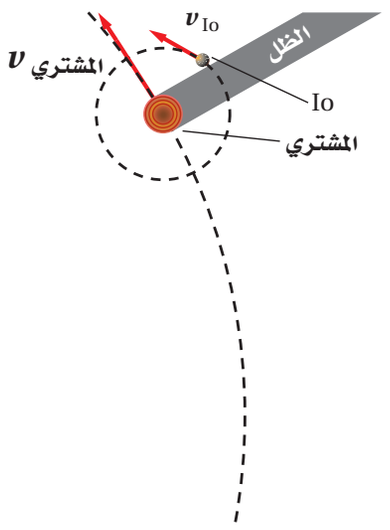
الشكل 7–4

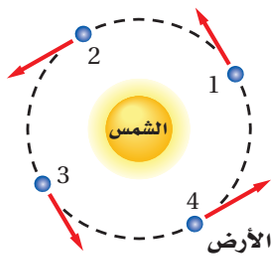
يتعين على مصمّمي أنظمة الإنارة معرفة كيف يستخدم الضوء. فإذا كان المطلوب هو الحصول على إضاءة منتظمة لتجنب المساحات المظلمة فإن التصميم المناسب هو توزيع مصادر الإضاءة على المساحة المطلوب إنارتها بحيث تكون المسافات بينها متساوية، كما هو معمول به في إنارة غرفة الصف. ولأن بعض مصادر الإضاءة لا تولّد فعليًّا ضوءًا موزعًا بالتساوي فإن المهندسين يصمّمون مصادر ضوئية خاصة؛ وذلك للتحكم في توزيع الإضاءة وانتشارها؛ فمثلاً يُنفّذون أنظمة إنارة موزعة بانتظام على مساحات كبيرة. وقد بُذلت جهود كبيرة في هذا المجال، وخصوصًا للمصابيح الأمامية في السيارات.

سرعة الضوء The Speed of Light

يتطلب انتقال الضوء من المصدر إلى الجسم المراد إضاءته أن يقطع الضوء مسافة معينة. فإذا استطعت قياس هذه المسافة والزمن الذي يستغرقه الضوء لقطعها فإنه يمكنك قياس السرعة، وذلك اعتمادًا على الميكانيكا الكلاسيكية. كان معظم الناس قبل القرن السابع عشر يعتقدون أن الضوء ينتقل لحظيًّا، وكان العالم جاليليو أول من افترض أن للضوء سرعة محدّدة، فاقترح طريقة لقياس سرعته مستخدمًا مفهومي المسافة والزمن. وعلى الرغم من أن طريقته كانت غير دقيقة بالقدر الكافي إلاّ أنه استنتج أن سرعة الضوء كبيرة جدًّا، مما يحول دون قياسها عبر مسافة عدة كيلومترات.

كان الفلكي الدنماركي أولي رومر أول من أكّد أن الضوء ينتقل بسرعة يمكن قياسها. حيث أجرى رومر 70 قياسًا بين عامي 1668 و 1674، حول الزمن الدوري للقمر Io، أحد أقمار كوكب المشتري، والذي يساوي 1.8 day. فرصد الأزمنة عندما كان القمر Io يخرج من منطقة ظل المشتري كما في **الشكل 8–4**. وقد أجرى قياساته بوصفها جزءًا من مشروع كان يهدف إلى تحسين الخرائط، وذلك بحساب خطوط الطول لبعض المواقع على سطح الأرض. وكان هذا مثالاً مبكرًا على أهمية التقنية المتطورة في دفع عجلة التقدم العلمي.





■ **الشكل 8–4** قاس رومر الفترة الزمنية بين خسوفين من اللحظة التي يبزغ فيها القمر Io من منطقة ظل المشتري. وخلال عدد من خسوفات القمر المتعاقبة وجد أن الزمن الدوري يصبح أكبر أو أصغر بصورة متزايدة اعتمادًا على حركة الأرض فيما إذا كانت مقتربة (من الموقع 3 إلى الموقع 1) أو مبتعدة (من الموقع 1 إلى الموقع 3) من المشتري. (التوضيح ليس بمقياس رسم)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

استطاع رومر بعد إجراء بعض القياسات أن يتوقع وقت حدوث خسوف القمر Io ، وقارن توقعاته بالأزمنة المقيسة فعليًّا، وتوصل إلى أن زمن دوران القمر Io يزداد بمعدل 13 s لكل دورة تقريبًا عندما تتحرك الأرض مبتعدة عن المشتري، ويقل بمعدل 13 s لكل دورة عندما تتحرك الأرض مقتربة من المشتري. واعتقد رومر أن أقمار كوكب المشتري منتظمة الحركة في مداراتها كقمر الأرض تمامًا، لذا أخذ يبحث عن السبب الذي يؤدي إلى هذا الفرق في قياسات الزمن الدوري للقمر Io.

قياسات سرعة الضوء استنتج العالم رومر أنه عندما تتحرك الأرض مبتعدة عن كوكب المشتري فإن الضوء القادم عند كل ظهور للقمر Io يستغرق وقتًا أطول حتى يصل إلى الأرض؛ وذلك لازدياد البعد بين المشتري والأرض، وبطريقة مماثلة عندما تقترب الأرض من المشتري فإن الزمن الدوري للقمر Io يبدو متناقصًا. وقد لاحظ رومر أنه خلال 182.5 يومًا، وهو الزمن الذي يتطلبه انتقال الأرض من الموقع 1 إلى الموقع3، كما في **الشكل 8–4**، حدث 103 خسوفات Io ، وذلك وفقًا للحساب الآتي:

$$(185.2 \text{ days})(\text{Io خسوف واحد للقمر} / 1.8 \text{ days}) = 103$$

وقد أجرى رومر حسابات متعلقة بانتقال الضوء مسافة تعادل قطر مدار الأرض، فوجد أنه يحتاج إلى:

$$(103 \text{ خسوفات})\ (13 \text{ s/خسوف})\ = 22 \text{ min أو } 1.3 \times 10^3 \text{ s}$$

وباستخدام القيمة المعروفة حاليًّا لقطر مدار الأرض $(2.9 \times 10^{11} \text{ m})$ فإن قيمة رومر 22 min تعطي سرعة الضوء الآتية:

$$(2.9 \times 10^{11} \text{ m}) / ((22 \text{ min})\ (60 \text{ s/min})) = 2.2 \times 10^8 \text{ m/s}$$

وعرفتْ سرعة الضوء في الوقت الحاضر بأنها تساوي $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ تقريبًا، ولذلك يحتاج الضوء إلى 16.5 min، وليس إلى 22 min، ليقطع مسافة تعادل قطر مدار الأرض. وتكمن أهمية التجربة في أنّ رومر استطاع بنجاح إثبات انتقال الضوء بسرعة محدّدة.

على الرغم من أن الكثير من القياسات أُجريت لتحديد سرعة الضوء، إلا أن أبرزها تلك التي أجراها الفيزيائي الأمريكي ألبرت ميكلسون بين عامي 1880 و 1920، فقد طوّر تقنيات حديثة لقياس سرعة الضوء. وفي عام 1926 قاس مايكلسون الزمن الذي يحتاج إليه الضوء لقطع مسافة 35 km ذهابًا وإيابًا بين جبلين في كاليفورنيا، حيث استخدم مجموعة من المرايا الدوّارة لقياس مثل هذه الفترات الزمنية الصغيرة، وكانت أفضل نتيجة حصل عليها لسرعة الضوء $(2.997996 \pm 0.00004) \times 10^8 \text{ m/s}$. وبناءً على هذا الإنجاز، كان أول عالم أمريكي يحصل على جائزة نوبل في العلوم.

King Faisal PRIZE

مُنح البروفيسور ساجيف جون جائزة الملك فيصل لعام ١٤٢١هـ/ ٢٠٠١م؛ وذلك لاقتراحه طريقة جديدة لمعالجة المعلومات ونقلها من مكان إلى آخر بوسائل ضوئية. وقد نجحت مجموعات عدّة من الفيزيائيين في مناطق مختلفة من العالم، في وضع آرائه موضوع التنفيذ. وإذا بلغت هذه المحاولات غاياتها فسيصبح من الممكن الاستغناء عن استعمال الإلكترونات في نقل الإشارات داخل أجهزة الحواسيب والاتصالات ليحل محلها الضوء، وسوف يؤدي ذلك إلى صنع أجهزة أسرع وأرخص وأكثر قدرة، فتتغيَّر بذلك صناعة الحواسيب والاتصالات تغيرًا جذريًّا.

المصدر: موقع جائزة الملك فيصل/ فرع العلوم

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

إن قيمة سرعة الضوء في الفراغ مهمة جدًّا، ويرمز إليها بالرمز c. واعتمادًا على الطبيعة الموجية للضوء، والتي ستدرسها في الجزء القادم فإن اللجنة الدولية للأوزان والمقاييس قامت بقياس سرعة الضوء في الفراغ فكانت $c = 299{,}792{,}458\ m/s$. وتستخدم في كثير من الحسابات القيمة $c = 3.00 \times 10^8\ m/s$، إذ تكون دقيقة بصورة كافية. وبهذه السرعة ينتقل الضوء مسافة $9.46 \times 10^{12}\ km$ في السنة، حيث تسمى هذه المسافة السنةَ الضوئية.

1–4 مراجعة

6. **الاستضاءة** هل يولد مصباح كهربائي واحد استضاءة أكبر من مصباحين مماثلين يقعان على ضعف بُعد مسافة المصباح الأول؟ وضّح إجابتك.
7. **المسافة التي يقطعها الضوء** يمكن إيجادُ بعد القمر باستخدام مجموعة من المرايا وضعها روّاد الفضاء على سطح القمر. فإذا تم إرسال نبضة ضوء إلى القمر وعادت إلى الأرض خلال 2.562 s، فاحسب المسافة بين الأرض وسطح القمر، مستخدمًا القيمة المقيسة لسرعة الضوء.
8. **شدة الإضاءة** يضيء مصباحان شاشة بالتساوي بحيث يقع المصباح A على بعد 5.0 m، ويقع المصباح B على بعد 3.0 m، فإذا كانت شدة إضاءة المصباح A 75 cd، فما شدة إضاءة المصباح B؟
9. **بُعد المصدر الضوئي** افترض أن مصباحًا كهربائيًّا يضيء سطح مكتبك ويولّد فقط نصف الاستضاءة المطلوبة. فإذا كان المصباح يبعد حاليًّا مسافة 1.0 m فكم ينبغي أن يكون بعده ليولّد الاستضاءة المطلوبة؟
10. **التفكير الناقد** استخدم الزمن الصحيح الذي يحتاج إليه الضوء لقطع مسافة تعادل قطر مدار الأرض والذي يساوي 16.5 min، وقطر مدار الأرض $2.98 \times 10^{11}\ m$، وذلك لحساب سرعة الضوء باستخدام طريقة رومر. هل تبدو هذه الطريقة دقيقة؟ لماذا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الأهداف

- **تصف** كيف يثبت الحيود عمليًّا أن الضوء عبارة عن موجات.
- **تتوقع** تأثير ألوان الضوء المتراكبة والأصباغ الممزوجة.
- **توضّح** ظاهرتي الاستقطاب وتأثير دوبلر.

المفردات

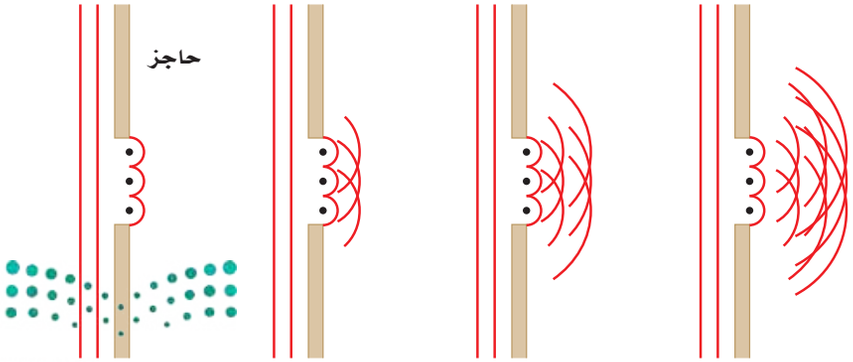
الحيود
اللون الأساسي
اللون الثانوي
اللون المتمِّم
الصبغة الأساسية
الصبغة الثانوية
الاستقطاب
قانون مالوس
إزاحة دوبلر

درست أن الضوء مكوّن من موجات، ولكن ما الأدلة على صحة ذلك؟ افترض أنك تسير في اتجاه غرفة الصف وباب الغرفة مفتوح، فستسمع بالتأكيد صوت المعلم أو الطلاب وأنت تتحرك في اتجاه باب الغرفة قبل أن تراهم من خلال الباب؛ وذلك لأن الصوت يصل إليك بانحرافه حول حافة الباب، في حين يسير الضوء الذي يجعلك ترى أيًّا منهم في خطوط مستقيمة فقط. فإذا كان الضوء مكوّنًا من موجات فلماذا لا يسلك الطريقة نفسها التي يسلكها الصوت؟ يسلك الضوء في الواقع سلوك الصوت نفسه إلا أن تأثيره يكون أقل وضوحًا مقارنة بالصوت.

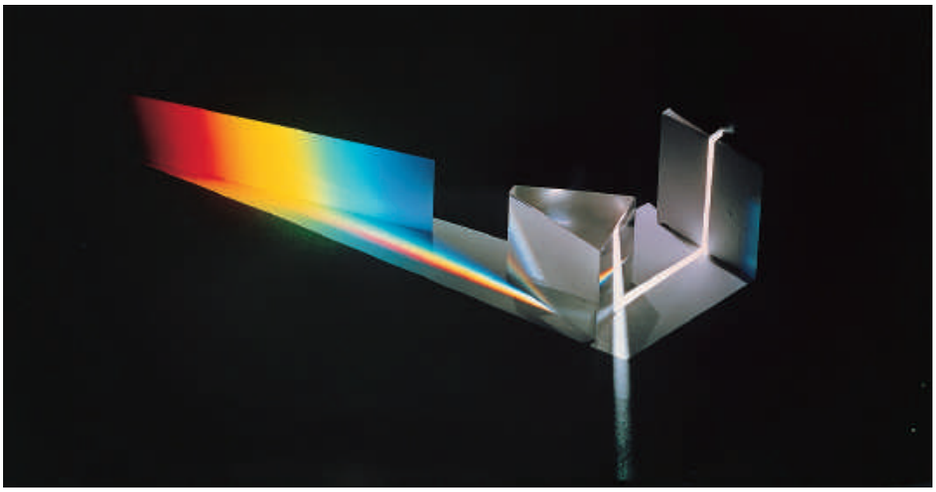
الحيود والنموذج الموجي للضوء
Diffraction and the Wave Model of Light

لاحظ العالم الإيطالي فرانسيسكو ماري جريمالدي في عام 1665 أن حواف الظلال ليست حادة تمامًا. فقد أدخل حزمة ضيّقة من الضوء إلى داخل غرفة مظلمة، وأمسك بعصا أمام الضوء حيث أسقط الظل على سطح أبيض. فكان ظل العصا المتكون على السطح الأبيض أعرض من الظل الذي ينبغي أن يكون في حالة انتقال الضوء في خط مستقيم مرورًا بحواف العصا، ولاحظ جريمالدي أيضًا أن الظل مُحاط بحزم ملونة. وعرّف جريمالدي هذه الظاهرة **بالحيود** وهي انحناء الضوء حول الحواجز.

حاول العالم الدنماركي كريستيان هيجنز في عام 1678 برهنة النموذج الموجي؛ وذلك لتفسير ظاهرة الحيود. واعتمادًا على مبدأ هيجنز يمكن اعتبار النقاط كلها على مقدمة الموجة الضوئية، وكأنها تمثل مصادر جديدة لموجات صغيرة. وتنتشر هذه الموجات الصغيرة (المويجات) في جميع الاتجاهات بعضها خلف بعض. وتتكون مقدمة الموجة المستوية من عدد غير محدود من المصادر النقطية في خط واحد، وعندما تعبر مقدمة الموجة حافة ما تقطعها الحافة، حيث تنتشر كل موجة دائرية تولدت بواسطة أي نقطة من نقاط هيجنز على شكل موجة دائرية في الحيز الذي انحنت عنده مقدمة الموجة الأصلية، كما في **الشكل 9–4** . وهذا هو الحيود.



الشكل 9–4 اعتمادًا على مبدأ هيجنز يمكن اعتبار قمة كل موجة سلسلةً من المصادر النقطية. وينشئ كل مصدر نقطي مويجة دائرية، وتتراكب المويجات لتكوين مقدمة موجة مستوية، ما عدا المناطق عند الحواف؛ حيث تتحرك المويجات الدائرية لنقاط هيجنز عندها بعيدًا عن مقدمة الموجة.



■ **الشكل 10–4 عندما يمر الضوء الأبيض خلال منشور فإنه يتحلّل إلى ألوان الطيف.**

الألوان Colors

حثّت نتائج العالم جريمالدي عام 1666 حول الحيود العالم نيوتن على إجراء تجارب على الألوان، وذلك عن طريق تمرير حزمة ضيقة من ضوء الشمس خلال منشور زجاجي، كما في **الشكل 10–4** ، فلاحظ تكوّن ترتيب منظّم للألوان أطلق عليه نيوتن اسم الطيف. كما اعتقد نيوتن أن جسيمات الضوء تتفاعل بطريقة متفاوتة في الزجاج لتولّد الطيف؛ وذلك اعتمادًا على نموذجه الجسيمي للضوء.

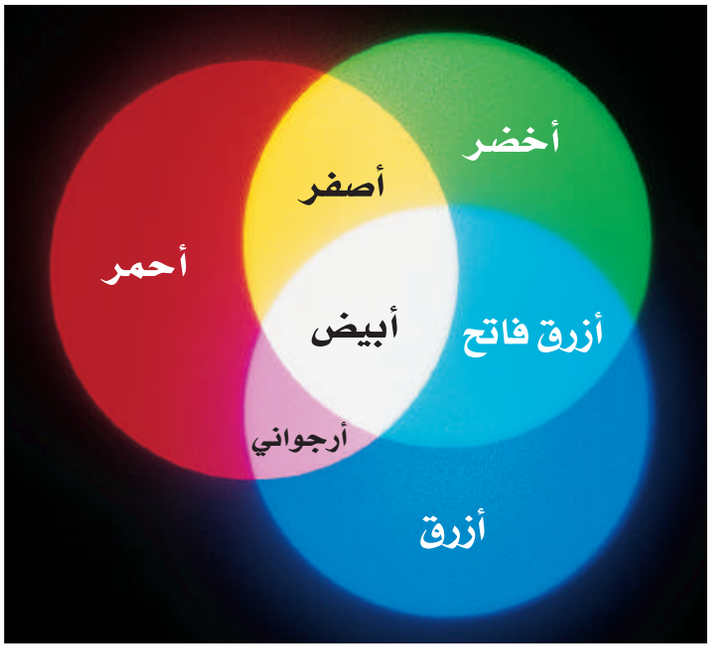
ولاختبار هذا الافتراض سمح نيوتن للطيف النافذ من المنشور الأول بالسقوط على منشور آخر، فإذا تولّد الطيف نتيجة التفاوت في تفاعل الزجاج مع جسيمات الضوء فإن المنشور الثاني سيزيد من انتشار الألوان، وبدلاً من ذلك فقد عكس المنشور الثاني تحّلل الألوان وأعاد تراكبها لتكوّن اللون الأبيض. وبعد إجراء المزيد من التجارب، استنتج نيوتن أن اللون الأبيض مركّب من ألوان عدّة، وأن هناك خاصية أخرى للزجاج غير عدم انتظامه هي التي تؤدي إلى تحلّل الضوء إلى مجموعة من الألوان.

واعتمادًا على تجارب جريمالدي وهيجنز وغيرها، فإن للضوء خصائص موجية، ولكل لون من ألوان الضوء طول موجي محدّد. وتقع منطقة الضوء المرئي ضمن نطاق من الأطوال الموجية، يتراوح بين 400 nm و700 nm تقريبًا، كما في **الشكل 11–4**. وأكبر هذه الأطوال الموجية هو طول موجة الضوء الأحمر، وكلما تناقص الطول الموجي تحوّل اللون إلى البرتقالي فالأصفر فالأخضر فالأزرق النيلي وأخيرًا البنفسجي.

البنفسجي $(4.00\times10^{-7}\,m)$ **الأحمر** $(7.00\times10^{-7}\,m)$

الشكل 11-4 يمتد الطيف الضوئي من الطول الموجي الكبير (اللون الأحمر) إلى الطول الموجي الصغير (اللون البنفسجي).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 12–4 التراكيب المختلفة للضوء الأزرق والأخضر والأحمر يمكن أن تشكّل الضوء الأصفر، أو الأزرق الفاتح، أو الأرجواني، أو الأبيض.

عندما يعبر الضوء الأبيض الحد الفاصل من الهواء إلى داخل الزجاج ويعود مرة أخرى إلى الهواء كما في **الشكل 10–4**، فإن الطبيعة الموجية تؤدي إلى انحناء كل لون من ألوان الضوء، أو انكساره، بزاوية مختلفة. وهذا الانحناء غير المتساوي للألوان المختلفة يتسبب في تحلّل الضوء الأبيض على شكل طيف. وهذا يعني أن الأطوال الموجية المختلفة للضوء تتفاعل مع المادة بطرائق مختلفة يمكن التنبؤ بها.

اللون بواسطة مزج أشعة الضوء يتشكّل الضوء الأبيض من الضوء الملوّن بطرائق مختلفة. فمثلاً عندما يُسلّط الضوء الأحمر والأخضر والأزرق بشدة مناسبة على شاشة بيضاء كما في **الشكل 12–4**، تظهر المنطقة التي تتداخل فيها هذه الألوان على الشاشة باللون الأبيض. أي أن هذه الألوان (الأحمر والأخضر والأزرق) تُشكّل الضوء الأبيض عندما تتراكب، وتسمى عملية جمع الألوان. وهي تستخدم في أنابيب الأشعة المهبطية في التلفاز، حيث تحتوي هذه الأنابيب على مصادر نقطية متناهية في الصغر لكل من الضوء الأحمر والأخضر والأزرق. وعندما يكون لكل لون من ألوان الضوء الثلاثة شدة مناسبة تظهر الشاشة باللون الأبيض. لذا فإن كلًّا من اللون الأحمر والأخضر والأزرق يُسمى **لونًا أساسيًّا** أو أوليًّا. ويمكن مزج الألوان الأساسية على شكل أزواج لتشكيل ثلاثة ألوان إضافية كما يتضح من **الشكل 12–4**. فالضوء الأحمر والأخضر يشكّلان معًا الضوء الأصفر، في حين يشكّل الضوء الأزرق والأخضر معًا الضوء الأزرق الفاتح، أما الضوء الأحمر والأزرق فيشكّلان معًا الضوء الأرجواني (الأحمر المزرق). ويُسمى كل من اللون الأصفر والأزرق الفاتح والأرجواني **لونًا ثانويًّا**؛ لأن كلًّا منها مركّب من لونين أساسيّين.

ويتضح من **الشكل 12–4**، أن الضوء الأصفر يتكون من الضوء الأحمر والضوء الأخضر، وإذا سُلِّط اللّونان الأصفر والأزرق على شاشة بيضاء بشدة مناسبة يظهر سطح الشاشة باللون الأبيض. ويُسمى اللونان الضوئيان اللذان يتراكبان معًا لإنتاج اللون الأبيض **الألوان المتتامة**. لذا فإن اللون الأصفر لون مُتمِّم للّون الأزرق، والعكس صحيح؛ لأن اللونين يتراكبان معًا لينتجا اللون الأبيض. وبالطريقة نفسها فإن الأزرق الفاتح والأحمر لونان متتامان، وكذلك الأرجواني والأخضر. لذا يمكن تبييض الملابس المصفرّة باستخدام عامل أزرق اللون يضاف إلى مسحوق الغسل.

اللون بواسطة اختزال أشعة الضوء يمكن للأجسام أن تعكس الضوء، وتمرّره، كما يمكنها امتصاصه. ولا يعتمد لون الجسم فقط على الأطوال الموجية للضوء الذي يضيء

الجســم، بل يعتمد أيضًا على الأطوال الموجية التي امتصها الجسم، وعلى الأطوال الموجية التي عكسها. إن وجود المواد الملوّنة بصورة طبيعية أو إضافتها اصطناعيًّا إلى المادة المكوّنة للجسم أو إضافة أصباغ إليه يكسبه لونًا خاصًّا.

إن المــواد الملوّنة عبارة عن جزيئات لها القدرة على امتصاص أطوال موجية معينة للضوء، وتسمح لأطوال موجية أخرى بالنفاذ من خلالها أو تعكسها. وعندما يُمتص الضوء فإن طاقته تنتقل إلى الجسم الذي سقط عليه، وتتحول إلى أشكال أخرى من الطاقة. فالقميص الأحمر لونه أحمر لأن المواد الملوّنة فيه تعكس اللون الأحمر إلى أعيننا. فعندما يسقط الضوء الأبيض على الجسم الأحمر اللون الموضح في **الشــكل 13–4** فإن جزيئات المواد الملوّنة في الجسم تمتص الضوء الأزرق والأخضر وتعكس الضوء الأحمر. أما عندما يسقط الضوء الأزرق فقط على جســم لونه أحمر فإن مقدارًا يسيرًا من الضوء ينعكس ويظهر الجسم غالبًا أسودَ.

الشكل 13–4 تمتص المواد الملوّنة في حجر النرد أطوالاً موجية مختلفة بشكل انتقائي وتعكسها. حجر النرد مُضاء بالضوء الأبيض (a)، والضوء الأحمر (b)، والضوء الأزرق (c).

تجربة

علاقة الألوان بدرجة الحرارة

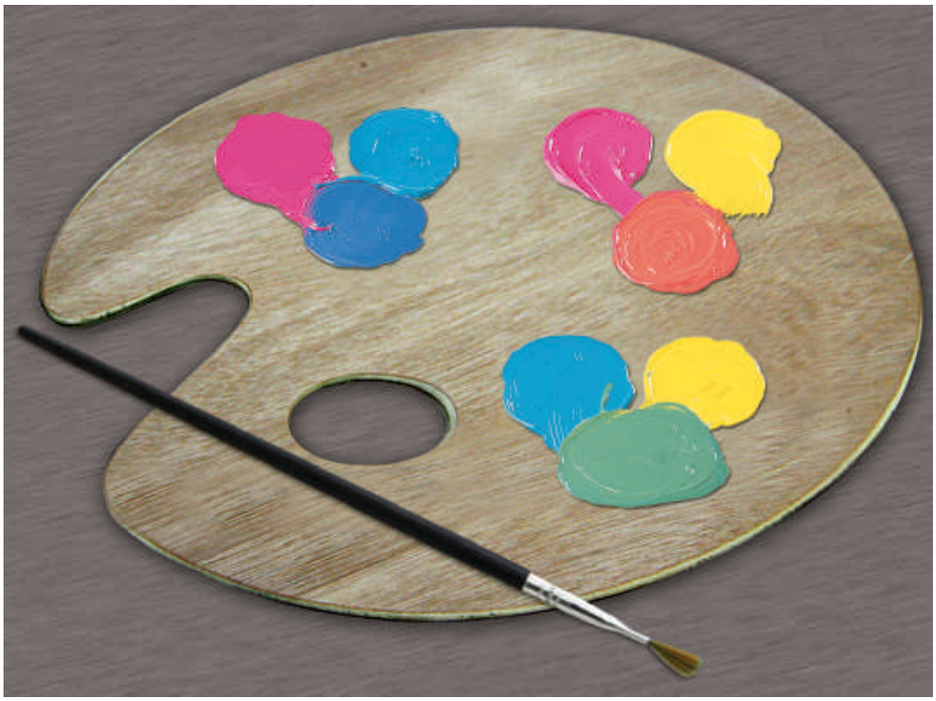
يشير بعض الرسامين إلى اللونين الأحمر والبرتقالي على أنهما ألوان حارة، وإلى اللونين الأزرق والأخضر على أنهما ألوان باردة. فهل ترتبط الألوان فعليًا بدرجة الحرارة؟

1. احصل على منشور زجاجي من معلمك .
2. أحضر مصباحًا كهربائيًّا مزوّدًا بمفتاح تحكم في الشدة الضوئية، وأشعله وعتّم الغرفة، واضبط مفتاح التحكم عند أقل سطوع للمصباح.
3. زد مقدار سطوع المصباح ببطء. **تحذير: يمكن أن يسخن المصباح ويؤدي إلى حروق في الجلد.**
4. راقب لون الضوء الناتج عن المنشور، وكيف يرتبط اللون مع سخونة المصباح الكهربائي التي تشعر بها في يدك.

التحليل والاستنتاج

5. ما الألوان التي ظهرت أولاً عندما كان الضوء خافتًا؟
6. ما الألوان التي ظهرت عند أقصى إضاءة ممكنة؟
7. كيف ترتبط هذه الألوان مع درجة حرارة فتيلة المصباح؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 14–4 الألوان الأساسية للأصباغ هي الأحمر المزرق (الأرجواني)، والأزرق الفاتح والأصفر. وينتج عند مزج لونين من هذه الأصباغ معًا الألوان الثانوية للأصباغ، وهي: الأحمر والأخضر والأزرق.

الفرق بين المواد الملوّنة والصبغة هو أن الصبغة تكون مصنوعة من المعادن المسحوقة وليست مستخلصةً من النباتات أو الحشرات، ويمكن رؤية جسيمات الصبغة بالمجهر. وتُسمى الصبغة التي لها القدرة على امتصاص لون أساسي واحد على أن تعكس اللونين الآخرين من الضوء الأبيض **الصبغة الأساسية**. فالصبغة الصفراء تمتص الضوء الأزرق وتعكس الضوء الأحمر والضوء الأخضر، وتُعد الألوان: الأصفر والأزرق الفاتح والأرجواني ألوانًا أساسية للأصباغ. وتُسمى الصبغة التي تمتص لونين أساسيين وتعكس لونًا واحدًا **الصبغة الثانوية**. والألوان الثانوية للأصباغ هي: الأحمر (الذي يمتص الضوء الأخضر والضوء الأزرق)، والأخضر (الذي يمتص الضوء الأحمر والضوء الأزرق)، والأزرق (الذي يمتص الضوء الأحمر والضوء الأخضر). لاحظ أن الألوان الأساسية للأصباغ هي الألوان الثانوية للضوء، والألوان الثانوية للأصباغ هي الألوان الأساسية للضوء.

يوضح **الشكل 14–4** الألوان الأساسية والثانوية للأصباغ، وعند مزج لوني الأصباغ الأساسية الأصفر والأزرق الفاتح فإن الأصفر يمتص الضوء الأزرق، ويمتص الأزرق الفاتح الضوء الأحمر. ويوضح **الشكل 14–4** تراكب الأصفر والأزرق الفاتح لتكوين الصبغة الخضراء. وعند مزج الصبغة الصفراء بالصبغة الثانوية الزرقاء التي تمتص الضوء الأخضر والأحمر فإن الألوان الأساسية كلها تمتص، وينتج اللون الأسود. لذا فإن الصبغة الصفراء والصبغة الزرقاء صبغتان متتامتان، وكذلك صبغة الأزرق الفاتح والصبغة الحمراء أيضًا صبغتان متتامتان، والشيء نفسه بالنسبة لصبغة الأحمر المزرق والصبغة الخضراء.

■ **الشكل 15–4** يمكن أن يظهر ضوء الشمس ضارباً إلى اللون الأصفر أو البرتقالي بسبب تشتّت الضوء البنفسجي والضوء الأزرق.

تستخدم الطابعة الملونة نقاطًا من صبغة الأصفر والأرجواني والأزرق الداكن لعمل صورة ملونة على الورقة. وتكون الأصباغ المستخدمة على الأغلب مركبات مطحونة بصورة دقيقة، مثل أكسيد التيتانيوم (IV) (أبيض)، وأكسيد الكروم (III) (أخضر)، وكبريتيد الكادميوم (أصفر). وتمزج الأصباغ لتكوّن المحاليل المعلّقة بدلاً من المحاليل الحقيقية، وتستمر هذه المركبات في امتصاص وعكس الأطوال الموجية نفسها؛ لأنها تحافظ على تركيبها الكيميائي في المزيج دون تغيير.

الربط مع الكيمياء

استخلاص النتائج من اللون تبدو النباتات خضراء بسبب صبغة الكلوروفيل فيها. حيث يمتص أحد أنواع الكلوروفيل الضوء الأحمر، ويمتص النوع الآخر اللون الأزرق، في حين يعكس كلاهما الضوء الأخضر. وتُستخدم طاقة الضوء الأحمر وطاقة الضوء الأزرق الممتصتين بواسطة النباتات في عملية البناء الضوئي؛ وهي العملية التي تصنع خلالها النباتات الخضراء غذاءها.

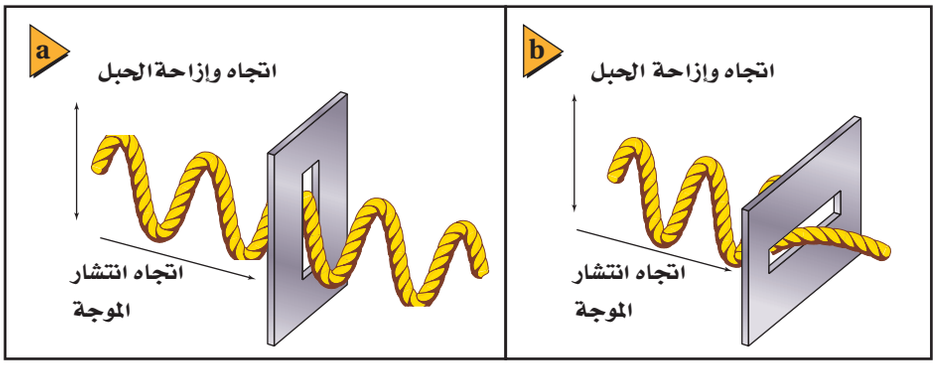
الربط مع الأحياء

وتبدو السماء مزرقّة؛ لأن جزيئات الهواء تُشتّت (انعكاسات متكرِّرة) موجات الضوء البنفسجي والضوء الأزرق بمقدار أكبر من الأطوال الموجية الأخرى للضوء. أما الضوء الأخضر والضوء الأحمر فلا يتشتّتان كثيرًا بواسطة الهواء، وهذا يفسر لماذا تبدو الشمس صفراء أو برتقالية، كما يتضح في **الشكل 15–4** . ويتشتّت الضوء البنفسجي والضوء الأزرق في الاتجاهات جميعها فيضيئان السماء بلون مائل إلى الزرقة بدرجات متفاوتة.

استقطاب الضوء Polarization of Light

هل سبق أن نظرت إلى الضوء المنعكس من خلال نظارات شمسية مستقطبة؟ ستلاحظ أنه عندما تُدير النظارات تبدو الطريق في البداية مظلمة، ثم مضيئة، ثم مظلمة مرة أخرى مع استمرار التدوير. أما عند تدوير النظارات في اتجاه ضوء منبعث من مصباح كهربائي فسيكون مقدار تغير الضوء ضئيلاً. فما سبب وجود هذا الفرق؟ إن ضوء المصباح العادي غير مستقطَب، في حين أن الضوء القادم من الطريق قد انعكس وأصبح مستقطبًا. **والاستقطاب** هو إنتاج ضوء يتذبذب في مستوى واحد.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



■ **الشكل 16–4** في الحبل المستخدم نموذجًا لموجات الضوء، يكون الضوء عبارة عن موجة واحدة تنتقل وتتذبذب في المستوى الرأسي فقط، لذا فإنها تمر من خلال المستقطِب الرأسي (a). ولا تستطيع المرور من خلال المستقطِب الأفقي (b).

الاستقطاب بالترشيح (الفلترة) يمكن فهم الاستقطاب من خلال الحبل المستخدم كنموذج لموجات الضوء الموضح في **الشكل 16–4**، حيث تمثّل الموجة الميكانيكية المستعرضة في الحبل الموجات الضوئية المستعرضة، أما الشق فيمثل ما يعرف بمحور الاستقطاب لوسط الاستقطاب. فعندما تكون موجات الحبل موازية للشق تعبر من خلاله، أما عندما تكون الموجات متعامدة مع الشق فلا تعبر من خلاله، بل تُحجب. وتحتوي أوساط الاستقطاب جزيئات طويلة تتمكن من خلالها الإلكترونات من التذبذب، أو الحركة إلى الأمام وإلى الخلف، وجميعها في الاتجاه نفسه. فعندما ينتقل الضوء عابرًا الجزيئات تمتص الإلكترونات الموجات الضوئية التي تتذبذب في اتجاه تذبذب الإلكترونات نفسه. وتسمح هذه العملية للموجات الضوئية المتذبذبة في اتجاه معيّن بالعبور من خلالها، في حين تمتص الموجات المتذبذبة في الاتجاه الآخر. ويُسمى اتجاه وسط الاستقطاب المتعامد مع الجزيئات الطويلة محور الاستقطاب. والموجات التي تتمكن من العبور هي فقط تلك الموجات المتذبذبة بصورة موازية للمحور.

يحتوي الضوء العادي على موجات تتذبذب في كل اتجاه عموديّ على اتجاه انتقالها. فإذا وضع وسط الاستقطاب في طريق حزمة من الضوء العادي فإن مركّبات الموجات التي ستنفذ من خلاله هي فقط تلك المركّبات التي تكون في اتجاه محور الاستقطاب نفسه. وينفذ في المتوسط من خلال وسط الاستقطاب نصف اتساع الضوء الكلي، لذا تنخفض شدة الضوء بمقدار النصف. وينُتج وسط الاستقطاب ضوءًا مستقطبًا، ويُسمى مثل هذا الوسط مرشِّح (فلتر) الاستقطاب.

الاستقطاب بالانعكاس عندما تنظر من خلال مرشِّح استقطاب إلى الضوء المنعكس عن لوح زجاجيّ وتُدوّر المرشّح ستلاحظ أن الضوء يسطع ثم يخفت. وهذا يعني أنه حدث استقطاب جزئيّ للضوء في اتجاه سطح الزجاج عندما انعكس؛ أي أن الأشعة الضوئية المنعكسة تحتوي على كمية كبيرة من الضوء المتذبذب بشكل موازٍ لسطح الزجاج. واستقطاب الضوء المنعكس عن الطرق هو السبب في تقليل التوهج عند استخدام النظارات الشمسية المستقطبة. ونستدل من حقيقة تغيّر شدة الضوء المنعكس عن الطرق نتيجة تدوير النظارات الشمسية المستقطبة ـ على أن الضوء المنعكس مستقطب جزئيًّا. ويثبت مصوّرو الفوتوغراف مرشِّحات الاستقطاب على عدسات الكاميرا لحجب الضوء المنعكس، كما موضّح في **الشكل 17–4**.

■ **الشكل 17–4** التقطت هذه الصورة لمتجر دون استخدام فلتر استقطاب؛ ويظهر فيها توهج الضوء على سطح النافذة (a). والتقطت الصورة للمشهد نفسه باستخدام فلتر استقطاب (b).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تحليل الاستقطاب افترض أنك حصلت على ضوء مستقطَب باستخدام مرشّح استقطاب، فماذا يحدث إذا وضعت مرشّح استقطاب آخر في مسار الضوء المُستقطَب؟ إذا كان محور الاستقطاب لمرشّح الاستقطاب الثاني موازيًا لمحور الاستقطاب لمرشّح الاستقطاب الأول فسينفذ الضوء من خلاله، كما في **الشكل 18a–4**. أما إذا كان محورا الاستقطاب لمرشّحي الاستقطاب متعامدين فلن ينفذ الضوء من خلال المرشح، كما يتضح من **الشكل 18b–4**.

■ **الشكل 18–4** عندما يتم ترتيب مرشّحي استقطاب بحيث يكون محورا استقطابهما متوازيين، تنفذ من خلالهما أكبر كمية من الضوء **(a)**. ولن ينفذ الضوء من خلال مرشّحي الاستقطاب إذا تم ترتيبهما بحيث يكون محورا استقطابهما متعامدين **(b)**.

ويُسمّى القانون الذي يوضح مدى انخفاض شدة الضوء عندما يعبر من خلال مرشّح استقطاب ثانٍ **قانون مالوس**. فإذا كانت شدة الضوء بعد مروره في مرشّح الاستقطاب الأول هي I_1 فإن مرشّح الاستقطاب الثاني، الذي يصنع محور استقطابه زاوية مقدارها θ مع محور استقطاب المرشّح الأول، سينتج ضوءًا شدته I_2، بحيث تكون أقل من I_1 أو تساويها.

قانون مالوس $I_2 = I_1 \cos^2 \theta$

إن شدة الضوء الخارج من مرشّح الاستقطاب الثاني تساوي شدة الضوء الخارج من مرشّح الاستقطاب الأول مضروبًا في مربع جيب تمام الزاوية المحصورة بين محوري استقطاب المرشّحين.

تستطيع باستخدام قانون مالوس أن تُقارن بين شدة الضوء الخارج من مرشّح الاستقطاب الثاني وشدة الضوء الخارج من مرشّح الاستقطاب الأول، ومن ثَم تستطيع تحديد الزاوية المحصورة بين محوري استقطاب المرشّحين. ويُسمى مرشّح الاستقطاب الذي يستخدم قانون مالوس لتحقيق ما تقدم «المحلِّل». وتستخدم المحلِّلات لتحديد استقطاب الضوء المنبعث من أي مصدر ضوئي.

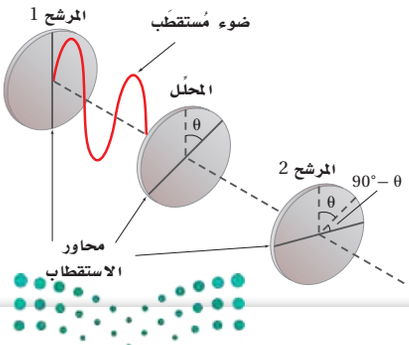
تجربة عملية

كيف يمكنك التقليل من الوهج؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

مسألة تحفيز

إذا وضعت مرشّحًا محلِّلًا بين مرشّحين متقاطعين (محورا استقطابهما متعامدان)، بحيث لا يوازي محور استقطابه أيًّا من محوري استقطاب المرشّحين المتقاطعين، كما هو موضح في الشكل المجاور.



1. فإنك تلاحظ أن قسمًا من الضوء يمر من خلال المرشح 2، على الرغم من أنه لم يكن هناك ضوء يمر من خلاله قبل إدخال المرشّح المحلِّل. فلمَ يحدث ذلك؟
2. إذا وضع المرشّح المحلّل بحيث يصنع محوره زاوية θ بالنسبة لمحور استقطاب المرشّح 1 فاشتق معادلة لحساب شدة الضوء الخارج من المرشّح 2 مقارنة بشدة الضوء الخارج من المرشّح 1.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

سرعة الموجات الضوئية The Speed of a Light Waves

تعلمت سابقًا أنّ الطول الموجي λ لموجة هو دالة رياضية في سرعة الموجة v للوسط الذي تنتقل فيه، وفي ترددها الثابت f. ويمكن وصف الضوء بواسطة النماذج الرياضية نفسها التي تستخدم في وصف الموجات عمومًا؛ لأن الضوء له خصائص موجية. ويكون الطول الموجي لضوء ذي تردد معلوم ينتقل في الفراغ عبارة عن دالة رياضية في سرعة الضوء c، حيث يمكن كتابتها على النحو الآتي: $\lambda_0 = c / f$. ولقد زوّدنا تطور الليزر في ستينيات القرن الماضي بطرائق جديدة لقياس سرعة الضوء. كما يمكن قياس تردد الضوء بدقة متناهية؛ وذلك باستخدام أجهزة الليزر والزمن المعياري الذي تزودنا به الساعات الذرية. في حين يتم قياس الأطوال الموجية للضوء بدقة أقل كثيرًا.

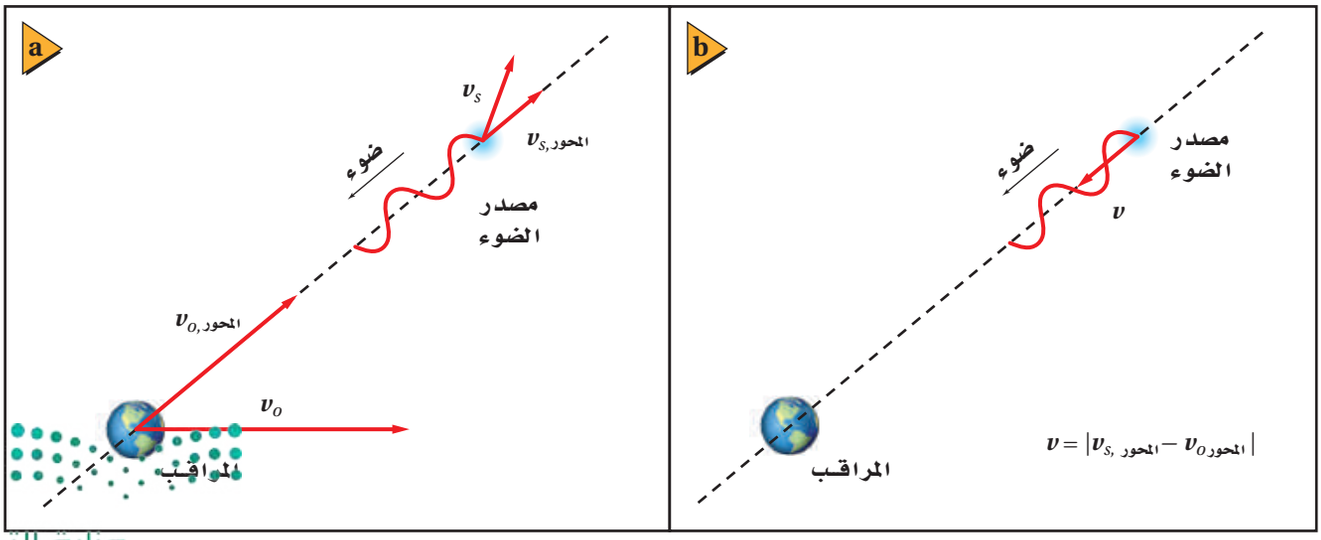
رموز الكتب

يرمز لكمية التردد Frequency في كتاب الكيمياء بالرمز ν (نيو) وبالرمز f في كتاب الفيزياء؛ وكلاهما صحيحان ويعبران عن نفس الكمية.

لألوان الضوء المختلفة ترددات وأطوال موجية مختلفة، ولكنها تنتقل جميعها في الفراغ بسرعة تساوي سرعة الضوء c. فإذا كان تردد موجة الضوء في الفراغ معروفًا أمكنك عندئذٍ حساب طولها الموجي، والعكس صحيح؛ وذلك لأن جميع الأطوال الموجية للضوء تنتقل في الفراغ بالسرعة نفسها. ويمكنك باستخدام القياسات الدقيقة لتردد الضوء وسرعته حساب قيمة دقيقة لطوله الموجي.

الحركة النسبية والضوء ماذا يحدث إذا تحرك مصدر الضوء في اتجاهك أو تحركت أنت في اتجاه مصدر الضوء؟ تعلّمت سابقًا أنه إذا كان مصدر الصوت أو المستمع متحركًا فسيتغير تردّد الصوت الذي يسمعه المستمع، وهذا صحيح أيضًا بالنسبة للضوء. فإذا أخذت بعين الاعتبار السرعة المتجهة لكلٍّ من مصدر الصوت والمراقب فإنك بذلك تكون قد راعيت السرعة المتجهة لكلٍّ منهما بالنسبة للوسط الذي ينتقل فيه الصوت.

يتضمن تأثير دوبلر في الضوء السرعة المتجهة لكلٍّ من المصدر والمراقب إحداهما بالنسبة إلى الآخر فقط؛ وذلك لأن موجات الضوء ليست اهتزازات لجسيمات الوسط الميكانيكي، كما هو الحال في الموجات الصوتية. ويُسمّى مقدار الفرق بين السرعتين المتجهتين لكلٍّ



الشكل 19–4 تختلف السرعة المتجهة للمراقب عن السرعة المتجهة لمصدر الضوء (a). مقدار الطرح المتجهي لمركّبتي السرعة المتجهة على امتداد المحور بين مصدر الضوء ومراقب الضوء يمثل السرعة النسبية على امتداد المحور بين المصدر والمراقب v (b).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

من المصدر والمراقب بالسرعة النسبية. والعوامل المؤثرة في تأثير دوبلر هي فقط مركّبتا السرعتين المتجهتين على امتداد المحور بين المصدر والمراقب، كما في **الشكل 19–4**.

تأثير دوبلر لدراسة تأثير دوبلر في الضوء يمكن تبسيط المسألة باعتبار أن السرعات النسبية المحورية أقل كثيرًا من سرعة الضوء ($v << c$). ويستخدم هذا التبسيط لتكوين معادلة حول تردد الضوء المراقَب $f_{\text{المراقب}}$؛ التي تمثل تردد الضوء كما يراه المراقِب.

تردّد الضوء المُراقَب $f_{\text{المراقب}} = f\left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$

تردّد الضوء المُراقَب من مصدر يساوي التردد الحقيقي للضوء المتولد من المصدر، مضروبًا في حاصل جمع واحد إلى (السرعة النسبية على امتداد المحور بين المصدر والمراقب مقسومةً على سرعة الضوء) إذا تحرك كل منهما في اتجاه الآخر، أو حاصل طرح (السرعة النسبية مقسومةً على سرعة الضوء) من الواحد إذا تحركا مبتعدين.

لأن معظم المشاهدات حول تأثير دوبلر في الضوء تمت في سياق علم الفلك فإن معادلة تأثير دوبلر للضوء صيغت بدلالة الطول الموجي بدلاً من التردد. ويمكن استعمال المعادلة الآتية $\lambda = c / f$ والتبسيط $v << c$ لحساب **إزاحة دوبلر** $\Delta\lambda$، التي تمثل الفرق بين الطول الموجي المراقَب للضوء والطول الموجي الحقيقي له.

ازاحة دوبلر $(\lambda_{\text{المراقب}} - \lambda) = \Delta\lambda = \pm \frac{v}{c}\lambda$

الفرق بين الطول الموجي المراقَب للضوء والطول الموجي الحقيقي للضوء الذي يولّده المصدر يساوي الطول الموجي الحقيقي للضوء الذي يولّده المصدر مضروبًا في السرعة النسبية للمصدر والمراقب مقسومًا على سرعة الضوء. وهذه الكمية تكون موجبة إذا تحرّكا مبتعدين أحدهما عن الآخر، وسالبة إذا تحرّكا مقتربين أحدهما من الآخر.

إن التغير الموجب في الطول الموجي يعني أن الضوء مُزاح نحو الأحمر، وهذا يحدث عندما تكون السرعة المتجهة النسبية للمصدر في اتجاه مبتعد عن المراقِب. والتغير السالب في الطول الموجي يعني أن الضوء مُزاح نحو الأزرق، وهذا يحدث عندما تكون السرعة المتجهة النسبية للمصدر في اتجاه مقترب من المراقب. وعندما يزاح الطول الموجي نحو الأحمر يكون التردّد المراقَب أقل؛ نتيجة للعلاقة العكسية بين هذين المتغيرين؛ لأن سرعة الضوء تبقى ثابتة. وعندما يُزاح الطول الموجي نحو الأزرق يكون التردد المراقَب أكبر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الشكل 20–4 تبدو بوضوح ثلاثة خطوط انبعاث لعنصر الهيدروجين مزاحة نحو الأحمر في طيف الكوازار 3C 273، تم تحديدها من خلال إشارات الخطوط خارج الطيفين. حيث أزيحت أطوالها الموجية 16% تقريبًا مقارنة بالظروف المختبرية.

يستطيع الباحثون تحديد كيفية تحرك الأجسام الفلكية، مثل المجرات، بالنسبة للأرض، وذلك بمراقبة انزياح دوبلر للضوء. ويتم ذلك عن طريق مراقبة طيف الضوء المنبعث من النجوم في المجرة باستخدام جهاز يُسمّى المطياف، كما هو موضح في **الشكل 20–4**. حيث تبعث العناصر الموجودة في نجوم المجرات أطوالاً موجية محدّدة يمكن قياسها في المختبر. وللمطياف القدرة على قياس انزياح دوبلر لهذه الأطوال الموجية.

الربط مع الفلك

اقترح إدوين هابل في عام 1929 أن الكون يتمدد، وتوصل هابل إلى هذه النتيجة بتحليل طيف الانبعاث القادم من عدة مجرات. ولاحظ هابل أن خطوط الطيف للعناصر المألوفة كانت ذات أطوال موجية أطول من المتوقع، حيث كانت خطوط الطيف مزاحة نحو نهاية الطيف ذي اللون الأحمر. وبغض النظر عن مساحة السماء التي راقبها، فقد كانت المجرات ترسل إلى الأرض ضوءًا مزاحًا نحو الأحمر. ترى، ما سبب انزياح خطوط الطيف نحو الأحمر؟ استنتج هابل من ذلك أن المجرات جميعها تتحرك مبتعدة عن الأرض.

مسائل تدريبية

11. ما تردّد خط طيف الأكسجين إذا كان طوله الموجي 513 nm؟

12. تتحرك ذرة هيدروجين في مجرة بسرعة 6.55×10^6 m/s مبتعدة عن الأرض، وتبعث ضوءًا بتردّد 6.16×10^{14} Hz. ما التردّد الذي سيلاحظه فلكي على الأرض للضوء المنبعث من ذرة الهيدروجين؟

13. ينظر فلكي إلى طيف مجرة، فيجد أن هناك خطًّا لِطَيْف الأكسجين بالطول الموجي 525 nm، في حين أن القيمة المقيسة في المختبر تساوي 513 nm، احسب سرعة تحرك المجرة بالنسبة للأرض، ووضح ما إذا كانت المجرة تتحرك مقتربة من الأرض أم مبتعدة عنها، وكيف تعرف ذلك؟

4–2 مراجعة

14. **مزج ألوان الضوء** ما لون الضوء الذي يجب أن يتّحد مع الضوء الأزرق للحصول على الضوء الأبيض؟

15. **تفاعل الضوء مع الصبغة** مـا اللون الذي يظهر به الموز الأصفر عندما يُضاء بواسطة كلٍّ مما يأتي؟

    a. الضوء الأبيض.

    b. الضوء الأخضر والضوء الأحمر معًا.

    c. الضوء الأزرق.

16. **الخصائص الموجية للضوء** سرعة الضوء الأحمر في الهواء والماء أقل مـن سرعته في الفراغ. فإذا علمت أن الـتردد لا يتغير عندما يدخـل الضوء الأحمر في الماء، فهل يتغير الطول الموجي؟ وإذا كان هناك تغير فكيف يكون؟

17. **مـزج الأصبـاغ** ما الألوان الأساسـية للأصباغ التي يجب أن تمـزج لإنتاج اللون الأحمـر؟ وضّح كيف ينتج اللون الأحمر باختزال لون من ألوان الصبغة؟

18. **الاسـتقطاب** صف تجربة بسـيطة يمكنك إجراؤها لتحديد ما إذا كانت النظارات الشمسية المتوافرة في المتجر مستقطبة أم لا.

19. **التفكير الناقـد** توصّـل الفلكيـون إلى أن مجـرّة الأندروميدا، وهي المجـرّة القريبة من مجرتنا (مجرة درب التبانة)، تتحـرك في اتجاه مجرتنا. وضّح كيف تمكّن العلماء من تحديد ذلك. وهل يمكنك التفكير في دليـل محتمل لاقـتراب مجـرة الأندروميدا من مجرتنا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مختبر الفيزياء

استقطاب الضوء Polarization of Light

إن مصدر الضوء الذي يولّد موجات ضوئية مستعرضة جميعها في المستوى الثابت نفسه يقال إنها مُستقطَبة في ذلك المستوى. ويمكن استخدام مرشّح الاستقطاب لإيجاد مصادر الضوء التي تنتج ضوءًا مستقطبًا. فبعض الأوساط تستطيع أن تُدوّر مستوى استقطاب الضوء في أثناء نفاذ الضوء من خلالها. ومثل هذه الأوساط يقال إنها فعّالة بصريًّا. وستستقصي في هذا النشاط هذه المفاهيم للضوء المستقطب.

سؤال التجربة

ما أنواع الإضاءة؟ وما مصادر الضوء التي تولّد ضوءًا مُستقطَبًا؟

الأهداف

- **تجرّب** مستخدمًا مصادر ضوء ومرشِّحات استقطاب مختلفة.
- **تصف** نتائج تجربتك.
- **تميّز** الاستخدامات الممكنة لمرشِّحات الاستقطاب في الحياة اليومية.

احتياطات السلامة

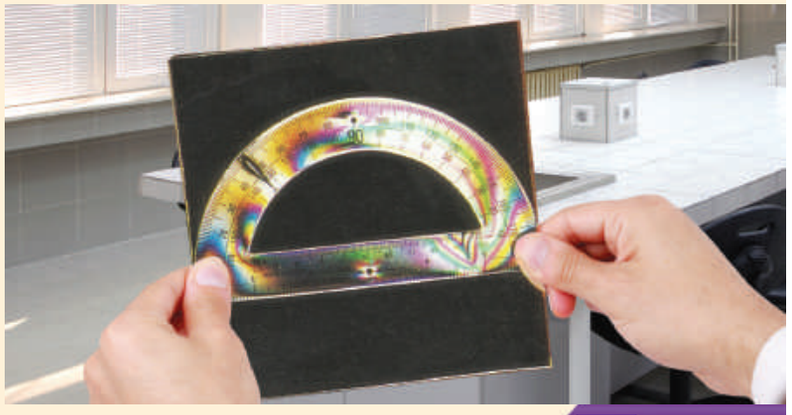
- **قلِّل فترة النظر مباشرة إلى مصادر الضوء الساطعة.**
- **لا تجرِ هذه التجربة باستخدام مصادر أشعة الليزر.**
- **لا تنظر إلى الشمس، حتى لو كنت تستخدم مرشِّحات استقطاب.**
- **تسخن مصادر الضوء وقد تؤدي إلى حرق الجلد.**

المواد والأدوات

لوحا مرشِّح استقطاب
مصدر ضوء متوهج أو ساطع
مصدر ضوء فلورسنتي
قطع من الورق الأبيض والأسود
آلة حاسبة مزودة بشاشة مصنوعة من البلورات السائلة
منقلة بلاستيكية شفافة
مرآة

الخطوات

1. انظر من خلال مرشِّح الاستقطاب إلى مصدر الضوء الساطع، ثم دوّر المرشح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
2. انظر من خلال مرشّح الاستقطاب إلى مصدر ضوء فلورسنتي، ثم دوّر المرشّح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
3. استخدم مرشّح الاستقطاب لرؤية الضوء المنعكس بزاوية 45° تقريبًا عن سطح المرآة، ثم دوّر المرشِّح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
4. استخدم مرشِّح الاستقطاب لرؤية الضوء المنعكس بزاوية 45° تقريبًا عن قطعة ورق، ثم دوّر المرشّح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
5. استخدم مرشِّح الاستقطاب لرؤية الضوء المنعكس بزاوية 45° تقريبًا عن قطعة ورق سوداء، ثم دوّر المرشِّح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.



جدول البيانات		
	مصدر الضوء	الملاحظات
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

6. استخدم مرشِّـــح الاستقطاب لرؤية الشاشة المصنوعة من البلورات السائلة، ثم دوّر المرشِّح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
7. ضع مرشِّح استقطاب فوق مرشِّح الاستقطاب الآخر، وانظر إلى المصدر الضوئي المتوهج من خلال هذين المرشِّـــحين. ثم دوّر أحد المرشِّحين بالنسبة للآخر، وأكمل دورة كاملة، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
8. ضع منقلة بلاستيكية شفافة بين مرشِّحي الاستقطاب، ثم انظر إلى المصدر الضوئي المتوهج من خلال هذه المجموعة، وأكمل دورة كاملة لأحد المرشِّحين. ثم ضع المرشِّحين بالطريقة نفسها التي اتبعتها في الخطوة 7 والتي لم ينتج عندها الضوء، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.

التحليل

1. **فسّر البيانات** هل ينتج الضوء المتوهج ضوءًا مستقطبًا؟ كيف تعرف ذلك؟
2. **فسّر البيانات** هل ينتج الضوء الفلورسنتي ضوءًا مستقطبًا؟ كيف تعرف ذلك؟
3. **فسّر البيانات** هل ينتج انعكاس الضوء عن ســطح مرآة ضوءًا مستقطبًا؟ كيف تعرف ذلك؟
4. **قارن** كيف يُقارَن الضوء المنعكس عن الورقة البيضاء بالضوء المنعكس عن الورقة السوداء بدلالة الضوء المستقطب؟ ولماذا يختلفان؟
5. **فسّر البيانات** هل الضوء المنبعث من شاشات البلورات السائلة مستقطب؟ كيف تعرف ذلك؟

الاستنتاج والتطبيق

1. **حلّل واستنتج** كيف يمكن استخدام مرشِّحي استقطاب بحيث يمنعان عبور أي ضوء خلالهما؟
2. **حلّل واستنتج** لماذا يمكن رؤية المنقلة البلاستيكية الشفافة بين مرشِّحي الاستقطاب بينما لا يمكن رؤية أي شيء آخر من خلال مرشِّحي الاستقطاب؟
3. **استخلاص النتائج** أيّ نوع من الحالات تُنتج عمومًا ضوءًا مستقطبًا؟

التوسع في البحث

1. انظر في يوم مشمس، إلى استقطاب السماء الزرقاء في المناطق القريبة من الشمس والمناطق البعيدة عنها مستخدمًا مرشِّح استقطاب. **تحذير: لا تنظر مباشرة إلى الشمس.** ما خصائص الضوء المستقطب التي تلاحظها؟
2. هل الضوء المنعكس عن الغيوم مســتقطب؟ أعط دليلاً على ذلك.

الفيزياء في الحياة

1. لماذا تُستعمل عدسات مستقطبة في صناعة النظارات ذات الجودة العالية؟
2. لماذا تعد النظارات المستقطبة أفضل من النظارات الملوّنة عند قيادة السيارة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

التقنية والمجتمع

تطورات الإضاءة Advances In Lighting

سجّل التاريخ استخدام الزيت والشموع والغاز لتوفير الإضاءة، فكان هناك دائمًا خطر كامن في استخدام اللهب المكشوف للحصول على الضوء. وجاء اختراع الإضاءة الكهربائية في القرن التاسع عشر، فزودنا بضوء أكثر سطوعًا، كما تحسنت وسائل الأمان والسلامة العامة للناس.

والمصابيح المتوهجة هي الشكل التقليدي للإضاءة الكهربائية الشائعة حتى الآن، حيث تُسخّن فتيلة التنجستن بالكهرباء حتى تتوهّج باللون الأبيض. والتنجستن لا يحترق ولكنه يتبخر، مما يؤدي إلى تلف فتيلة التنجستن، لذا فلن يكون الحصول على الضوء منه فعالًا جدًّا. وقد حدث تطوير في الإضاءة الكهربائية لإنتاج مصادر إضاءة أطول عمرًا وأقل إنتاجًا للحرارة.

تظهر الصور من أعلى اليسار وفي اتجاه حركة عقارب الساعة، الثنائيات الباعثة للضوء، ومصابيح فلورسنتية، ومصباح الهالوجين، ومصباح الغازات المخلخلة في صورة مصابيح النيون.

الصمامات الثنائية الباعثة للضوء

يمكن أن تكون الصمامات الثنائية الباعثة للضوء مصادر الضوء في المستقبل. حيث ينتج الصمام الثنائي ضوءًا أبيض، وذلك بإضاءة شاشة فوسفورية صغيرة جدًّا داخله باستخدام ضوء أزرق. وتعطي هذه الصمامات إضاءة كافية للقراءة، ولا تكاد تنتج حرارة. وتتميز بكفاءتها العالية حيث يمكن لبطارية سيارة تزويد هذه المصابيح بالطاقة الكهربائية لتعمل في المنزل أيامًا عدة دون الحاجة إلى إعادة شحنها.

المصابيح الفلورسنتية يكون التوهج الناتج عن بخار الزئبق غير مرئي؛ لأن معظم طيفه يكون في نطاق الضوء فوق البنفسجي، وهو غير مرئي. لذا يُصنع المصباح الفلورسنتي بطلاء السطح الداخلي لمصباح تخلخل الزئبق بالفوسفور، وهو عنصر كيميائي يتوهّج عندما يصطدم به الضوء فوق البنفسجي. وتصنع المصابيح الفلورسنتية بأي لون؛ وذلك بتغيير المزيج المتكوّن من الفوسفور الأحمر والأخضر والأزرق. وهي مصابيح اقتصادية، وتعمر طويلا؛ لأنها تنتج حرارة قليلة، إضافةً إلى إنتاجها كمية كبيرة من الضوء.

مصابيح الكوارتز-الهالوجين لحماية الفتيلة من التلف يُصنع المصباح صغيرًا جدًّا ومملوءًا بغاز البرومين أو اليود. حيث تتّحد أيونات التنجستن الموجودة في الفتيلة بجزيئات الغاز في الحيز البارد من المصباح لتكوين مركّب يدور خلال المصباح ويتحد ثانية بالفتيلة. ويكون الضوء الناتج ناصع البياض وساطعًا، لكنه يولد حرارة تؤدي إلى صهر المصباح الزجاجي العادي، لذا يستخدم الكوارتز الذي له درجة انصهار عالية.

مصابيح الغازات المخلخلة يصنع هذا النوع من المصابيح من أنبوب زجاجي مع أسلاك كهربائية (قطب كهربائي) مثبتة عند طرفي الأنبوب، ويستخرج الهواء جميعه من داخل الأنبوب ويوضع مكانه كمية قليلة جدًّا من غاز محدد. وعند تطبيق فرق جهد بين طرفي الأنبوب، تؤين الكهرباء ذرات الغاز. ويُعدّ الغاز المؤيّن موصلاً جيدًا للكهرباء، لذا يسري التيار الكهربائي خلاله، ويتوهّج الغاز.

يعتمد استخدام مصابيح الغازات المخلخلة على نوع الغاز؛ إذ يستخدم غاز النيون في لوحات الإعلانات، ويستخدم غاز الزنون في الكشّافات وفي وامضات آلات التصوير، كما يستخدم غاز الصوديوم في مصابيح إنارة الشوارع. ويعطي كل غاز لونًا مختلفًا إلا أن تراكيب المصابيح تكون متشابهة إلى حدٍّ كبير.

التوسع

1. **لاحظ** بمساعدة معلمك بعض الأجهزة التي تستخدم الأضواء، وافحص بعضها لترى أنواع التقنيات المستخدمة في المصابيح.
2. **ابحث** في التركيب الداخلي لبعض أنواع مصابيح تفريغ الغاز بالإضافة إلى خصائص لون الضوء لكل منها ومجالات استخدامها اليومية العادية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 4
دليل مراجعة الفصل

4–1 الاستضاءة Illumination

المفردات

- نموذج الشعاع الضوئي
- المصدر المضيء
- المصدر المستضيء (المُضَاء)
- الوسط غير الشفاف (المعتم)
- الوسط الشفاف
- الوسط شبه الشفاف
- التدفق الضوئي
- الاستضاءة

المفاهيم الرئيسة

- ينتقل الضوء في خط مستقيم خلال أي وسط منتظم.
- يمكن تصنيف المواد على أنها شفافة، أو شبه شفافة أو غير شفافة (معتمة)، اعتمادًا على كمية الضوء التي تعكسها، أو تنفذها أو تمتصها.
- التدفق الضوئي لمصدر ضوئي هو المعدل الذي ينبعث به الضوء، ويقاس بوحدة لومن lm.
- الاستضاءة هي التدفق الضوئي لكل وحدة مساحة، وتقاس بوحدة لوكس lx، أو لومن لكل متر مربع lm/m^2.
- الاستضاءة بفعل مصدر ضوء نقطي تتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة وطرديًّا مع التدفق الضوئي.

$$E = \frac{P}{4\pi r^2}$$

- سرعة الضوء في الفراغ ثابتة وتساوي $c = 3.00 \times 10^8\ m/s$.

4–2 الطبيعة الموجية للضوء The Wave Nature of Light

المفردات

- الحيود
- اللون الأساسي
- اللون الثانوي
- الصبغة الأساسية
- الصبغة الثانوية
- الألوان المتمِّمة
- الاستقطاب
- قانون مالوس
- إزاحة دوبلر

المفاهيم الرئيسة

- للضوء المرئي أطوال موجية تتراوح بين 400 nm و 700 nm.
- يتكوّن الضوء الأبيض من تراكب ألوان الطيف، ولكل لون طول موجي خاص به.
- تراكب الألوان الأساسية (الأحمر والأخضر والأزرق) يكوّن الضوء الأبيض. ويشكّل تراكب لونين أساسيين أحد الألوان الثانوية الآتية: الأصفر، الأزرق الفاتح، الأحمر المزرقّ.
- يتكوّن الضوء المستقطَب من موجات تتذبذب في المستوى نفسه.
- عند استخدام مرشِّحي استقطاب لاستقطاب الضوء فإن شدة الضوء الخارج من المرشِّح الأخير تعتمد على الزاوية بين محوري الاستقطاب لمرشِّحي الاستقطاب.

$$I_2 = I_1 \cos^2 \theta$$

- يمكن تمييز موجات الضوء المنتقلة خلال الفراغ بدلالة كل من تردّدها وطولها الموجي وسرعتها.

$$\lambda_0 = \frac{c}{f}$$

- تتعرّض موجات الضوء لإزاحة دوبلر، التي تعتمد على السرعة النسبية على امتداد المحور بين المراقِب ومصدر الضوء.

$$f_{\text{المراقَب}} = f\left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$$

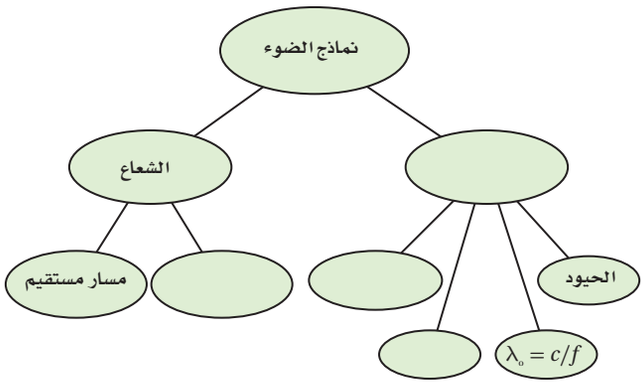
$$\Delta\lambda = (\lambda_{\text{المراقَب}} - \lambda) = \pm \frac{v}{c}\lambda$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 4
التقويم

خريطة المفاهيم

20. أكمل خريطة المفاهيم الآتية باستخدام المصطلحات الآتية: الموجة، c، تأثير دوبلر، الاستقطاب.



إتقان المفاهيم

21. لا ينتقل الصوت خلال الفراغ، فكيف تعرف أن الضوء ينتقل في الفراغ؟ (4–1)

22. فرّق بين المصدر المضيء والمصدر المستضيء. (4–1)

23. انظر بعناية إلى مصباح متوهج تقليدي. هل هو مصدر مضيء أم مصدر مستضيء؟ (4–1)

24. اقترح طريقة تمكنك من رؤية الأجسام العادية غير المضيئة في غرفة الصف. (4–1)

25. فرّق بين الأجسام الشفافة وشبه الشفافة وغير الشفافة (المعتمة). (4–1)

26. ما الذي يتناسب طرديًّا مع استضاءة سطح بمصدر ضوئي؟ وما الذي يتناسب معه عكسيًّا؟ (4–1)

27. ما افتراض جاليليو بالنسبة لسرعة الضوء؟ (4–1)

28. لماذا يعد حيود الموجات الصوتية أكثر شيوعًا في الحياة اليومية من حيود الموجات الضوئية؟ (4–2)

29. ما لون الضوء الذي لديه أقصر طول موجي؟ (4–2)

30. ما مدى الأطوال الموجية للضوء، بدءًا من الأقصر إلى الأطول؟ (4–2)

31. ما الألوان التي يتكوّن منها الضوء الأبيض؟ (4–2)

32. لماذا يظهر جسم ما باللون الأسود؟ (4–2)

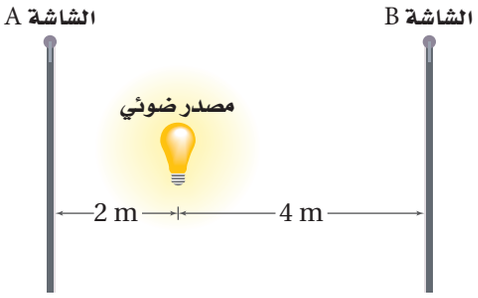
33. هل يمكن أن تكون الموجات الطولية مستقطبة؟ وضح إجابتك. (4–2)

34. تبعث مجرة بعيدة خطًّا طيفيًّا في منطقة اللون الأخضر من الطيف الضوئي، فهل ينزاح الطول الموجي المُراقَب على الأرض إلى الضوء الأحمر أو إلى الضوء الأزرق؟ وضح إجابتك. (4–2)

35. ماذا يحدث للطول الموجي للضوء عندما يزداد تردده؟ (4–2)

تطبيق المفاهيم

36. يقع مصدر ضوء نقطي على بُعد 2.0 m من الشاشة A، وعلى بُعد 4.0 m من الشاشة B، كما يتضح من **الشكل 21–4**. قارن بين الاستضاءة على الشاشة B والاستضاءة على الشاشة A؟



الشكل 21–4

37. **مصباح الدراسة** يبعد مصباح صغير مسافة 35 cm من صفحات كتاب، فإذا ضاعفت المسافة:

a. فهل تبقى الاستضاءة على الكتاب هي نفسها دون تغيير؟

b. إذا لم تكن كذلك فكم تكون أكبر أو أصغر؟

38. لماذا يُطلى السطح الداخلي للمناظير وآلات التصوير باللون الأسود؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 4

39. لون إضاءة الشوارع تحتوي بعض مصابيح الشوارع الفعّالة جدًّا على بخار الصوديوم تحت ضغط عالٍ. وتنتج هذه المصابيح ضوءًا معظمه أصفر وجزء قليل منه أحمر. هل تستخدم المجتمعات التي فيها مثل هذه المصابيح سيارات شرطة ذات لون أزرق فاتح؟ ولماذا؟

ارجع إلى **الشكل 22–4** عند حل المسألتين الآتيتين.

الشكل 22–4

40. ماذا يحدث للاستضاءة على صفحات الكتاب عند تحريك المصباح بعيدًا عن الكتاب؟

41. ماذا يحدث لشدّة إضاءة المصباح عند تحريكه بعيدًا عن الكتاب؟

42. الصور المستقطبة يضع مصورو الفوتوجراف مرشِّحات استقطاب فوق عدسات الكاميرا لكي تبدو الغيوم أكثر وضوحًا، فتبقى الغيوم بيضاء في حين تبدو السماء داكنة بصورة أكبر. وضح ذلك معتمدًا على معرفتك بالضوء المستقطَب.

43. إذا كان لديك الأصباغ الآتية: الصفراء والزرقاء الفاتحة والحمراء المزرقّة فكيف تستطيع عمل صبغة زرقاء اللون؟ وضح إجابتك.

44. إذا وضعت قطعة سلوفان حمراء على مصباح يدوي، ووضعت قطعة سلوفان خضراء على مصباح آخر، وسلّطت حزمًا ضوئية على حائط أبيض اللون فما الألوان التي ستراها عندما تتراكب الحزم الضوئية للمصباحين؟

45. تبدو التفاحة حمراء لأنها تعكس الضوء الأحمر وتمتص الضوء الأزرق والضوء الأخضر.

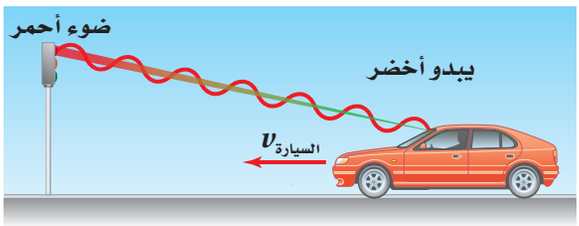
a. لماذا يظهر السلوفان الأحمرُ أحمرَ اللون عند النظر إليه من خلال الضوء المنعكس؟

b. لماذا يظهر مصباح الضوء الأبيض أحمر اللون عند النظر إليه من خلال السلوفان الأحمر؟

c. ماذا يحدث لكل من: الضوء الأزرق والضوء الأخضر؟

46. في المسألة السابقة، إذا وضعت قطعتي السلوفان الحمراء والخضراء على أحد المصباحين، وسلّطت حزمة ضوئية منه على حائط أبيض اللون، فما اللون الذي ستراه؟ وضح إجابتك.

47. مخالفة السير تخيل أنك شرطي مرور، وأوقفت سائقًا تجاوز الإشارة الحمراء، وافترض أيضًا أن السائق وضّح لك من خلال رسم **الشكل 23–4** أن الضوء كان يبدو أخضر بسبب تأثير دوبلر عندما قطع الإشارة. وضّح له مستخدمًا معادلة إزاحة دوبلر، كم يجب أن تكون سرعته حتى يبدو الضوء الأحمر ($\lambda = 645\ nm$) على شكل ضوء أخضر ($\lambda = 545\ nm$). **تلميح: افترض لحل هذه المسألة أن معادلة إزاحة دوبلر يمكن تطبيقها عند هذه السرعة.**



الشكل 23–4

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 4

إتقان حل المسائل

4–1 الاستضاءة

48. أوجد الاستضاءة على مسافة 4.0 m أسفل مصباح تدفقه الضوئي 405 lm.

49. يحتاج الضوء إلى زمن مقداره 1.28 s لينتقل من القمر إلى الأرض. فما مقدار المسافة بينهما؟

50. يستهلك مصباح كهربائي ثلاثي الضبط قدرة كهربائية 150 W، 100 W، 50 W لإنتاج تدفق ضوئي 2285 lm، 1620 lm، 665 lm في أزرار ضبطه الثلاثة. إذا وضع المصباح على بُعد 80 cm فوق ورقة وكانت أقل استضاءة لازمة لإضاءة الورقة هي 175 lx، فما أقل زر ضبط ينبغي أن يُستخدم؟

51. **سرعة الأرض** وجد العالم أولي رومر أن متوسط زيادة التأخير في اختفاء القمر Io أثناء دورانه حول المشتري من دورة إلى التي تليها يساوي 13 s، فأجب عما يأتي:

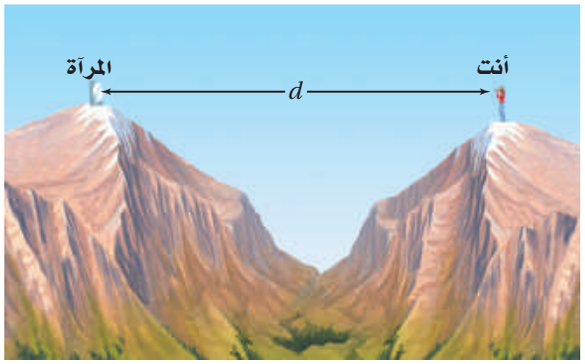
a. ما المسافة التي يقطعها الضوء خلال 13 s؟

b. تحتاج كل دورة للقمر Io إلى 42.5 h، وتتحرك الأرض المسافة المحسوبة في الفرع **a** خلال 42.5 h. أوجد سرعة الأرض بوحدة km/s.

c. تحقق أن إجابتك للفرع **b** منطقية، واحسب سرعة الأرض في المدار مستخدمًا نصف قطر المدار 1.5×10^8 km والفترة 1.0 yr.

52. يريد أحد الطلاب مقارنة التدفق الضوئي لمصباح ضوئي يدوي بمصباح آخر تدفقه الضوئي 1750 lm، وكان كل منهما يضيء ورقة بالتساوي. فإذا كان المصباح 1750 lm يقع على بُعد 1.25 m من الورقة، في حين كان المصباح الضوئي اليدوي يقع على بُعد 1.08 m، فاحسب التدفق الضوئي للمصباح اليدوي.

53. افترض أنك أردت قياس سرعة الضوء، وذلك بوضع مرآة على قمة جبل بعيد، ثم قمت بضغط زر وميض آلة تصوير وقياس الزمن الذي احتاج إليه الوميض لينعكس عن المرآة ويعود إليك، كما موضّح في **الشكل 24–4**. وتمكّن شخص من تحديد فترة زمنية مقدارها 0.10 s تقريبًا دون استخدام أجهزة. ما بعد المرآة عنك؟ قارن بين هذه المسافة وبعض المسافات المعروفة.



الشكل 24–4

4–2 الطبيعة الموجية للضوء

54. حوّل الطول الموجي للضوء الأحمر 700 nm إلى وحدة الأمتار.

55. **حركة المجرة** ما السرعة التي تتحرك بها مجرة بالنسبة للأرض، إذا كان خط طيف الهيدروجين 486 nm قد أزيح نحو الأحمر 491 nm؟

56. **النظارات الشمسية المستقطبة** في أي اتجاه يجب توجيه محور النفاذ للنظارات الشمسية المستقطبة للتخلّص من الوهج الصادر عن سطح الطريق: في الاتجاه الرأسيّ أم الأفقي؟ فسّر إجابتك.

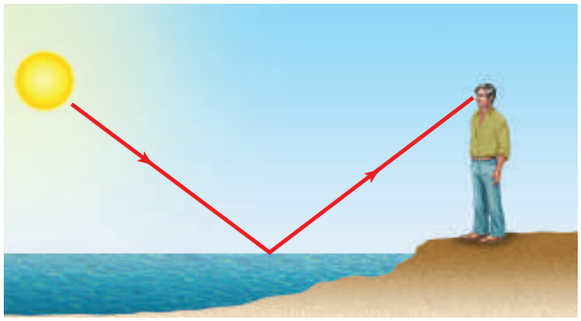
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 4

57. حركة المجرة إذا كان خط طيف عنصر الهيدروجين المعروف بطول موجي 434 nm مزاحًا نحو الأحمر بنسبة 6.50% في الضوء القادم من مجرة بعيدة، فما سرعة ابتعاد المجرة عن الأرض؟

58. لأي خط طيفي، ما القيمة غير الحقيقية للطول الموجي الظاهري لمجرة تتحرك مبتعدة عن الأرض؟ ولماذا؟

59. افترض أنك كنت تتجه إلى الشرق عند شروق الشمس. وينعكس ضوء الشمس عن سطح بحيرة، كما في **الشكل 25–4**، فهل الضوء المنعكس مستقطَب؟ إذا كان كذلك ففي أي اتجاه؟



الشكل 25–4

مراجعة عامة

60. إضاءة مصابيح الطرق عمود إنارة يحوي مصباحين متماثلين يرتفعان 3.3 m عن سطح الأرض. فإذا أراد مهندسو البلدية توفير الطاقة الكهربائية وذلك بإزالة أحد المصباحين، فكم يجب أن يكون ارتفاع المصباح المتبقي عن الأرض لإعطاء الاستضاءة نفسها على الأرض؟

61. مصدر ضوء نقطي شدة إضاءته 10.0 cd ويبعد 6.0 m عن جدار. كم يبعد مصباح آخر شدة إضاءته 60.0 cd عن الجدار إذا كانت استضاءة المصباحين متساوية عنده؟

62. الرعد والبرق وضح لماذا تحتاج إلى 5 s لسماع الرعد عندما يبعد البرق مسافة 1.6 km.

63. الدوران الشمسي لأن الشمس تدور حول محورها فإن أحد جوانبها يتحرك في اتجاه الأرض، أما الجانب المقابل فيتحرك مبتعدًا عنها. وتكمل الشمس دورة كاملة كل 25 يومًا تقريبًا، ويبلغ قطرها 1.4×10^{9} m. فإذا بعث عنصر الهيدروجين في الشمس ضوءًا بتردّد 6.16×10^{14} Hz من كلا الجانبين فما التغير في الطول الموجي المراقَب؟

التفكير الناقد

64. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها يبعد مصدر ضوئي شدة إضاءته 110 cd مسافة 1.0 m عن شاشة. حدِّد الاستضاءة على الشاشة في البداية، وأيضًا عند كل متر تزداد فيه المسافة حتى 7.0 m، ومثّل البيانات بيانيًّا.

a. ما شكل المنحنى البياني؟

b. ما العلاقة بين الاستضاءة والمسافة الموضحة بواسطة الرسم البياني؟

65. حلّل واستنتج إذا كنت تقود سيارتك عند الغروب في مدينة مزدحمة ببنايات جدرانها مغطّاة بالزجاج، حيث يؤدي ضوء الشمس المنعكس عن الجدران إلى انعدام الرؤيا لديك مؤقتًا. فهل تحلّ النظارات المستقطبة هذه المشكلة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 4

الكتابة في الفيزياء

66. **ابحث** لماذا لم يتمكن جاليليو من قياس سرعة الضوء؟

67. اكتب مقالاً تصِف فيه تاريخ المعرفة البشرية المتعلقة بسرعة الضوء، وضمّنه إنجازات العلماء المهمة في هذا المجال.

68. ابحث في معلومات النظام الدولي للوحدات SI المتعلقة بوحدة الشمعة cd، وعبّر بلغتك الخاصة عن المعيار الذي يستخدم في تحديد قيمة 1 cd.

مراجعة تراكمية

69. وضِع مرشِّحان ضوئيّان على مصباحين يدويين بحيث يُنفِّذ أحدهما ضوءًا أحمر، ويُنفِّذ الآخر ضوءًا أخضر. إذا تقاطعت الحزمتان الضوئيتان فلماذا يبدو لون الضوء في منطقة التقاطع أصفر، ثم يعود إلى لونه الأصلي بعد التقاطع؟ فسّر بدلالة الموجات. (الفصل 4).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. شوهد نجم مستعِرٌ في عام 1987 في مجرة قريبة، واعتقد العلماء أن المجرة تبعد 1.66×10^{21} m. ما عدد السنوات التي مضت على حدوث انفجار النجم فعليًّا قبل رؤيته؟

A 5.53×10^{3} yr
C 5.53×10^{12} yr
B 1.75×10^{5} yr
D 1.74×10^{20} yr

2. تتحرك مجرة مبتعدة بسرعة 5.8×10^{6} m/s، ويبدو تردد الضوء الصادر عنها 5.6×10^{14} Hz بالنسبة لمراقب. ما تردد الضوء المنبعث منها؟

A 1.1×10^{13} Hz
C 5.7×10^{14} Hz
B 5.5×10^{14} Hz
D 6.2×10^{14} Hz

3. إذا احتاج الضوء الصادر عن الشمس إلى 8.0 min للوصول إلى الأرض فكم تبعد الشمس عنها؟

A 2.4×10^{9} m
C 1.4×10^{8} km
B 1.4×10^{10} m
D 2.4×10^{9} km

4. ما مقدار تردد ضوء طوله الموجي 404 nm في الفراغ؟

A 2.48×10^{-3} Hz
C 2.48×10^{6} Hz
B 7.43×10^{5} Hz
D 7.43×10^{14} Hz

5. إذا كانت الاستضاءة الناتجة بفعل مصباح ضوئي قدرته 60.0 W على بعد 3.0 m تساوي 9.35 lx، فما التدفق الضوئي الكلي للمصباح؟

A 8.3×10^{-2} lm
C 1.2×10^{2} lm
B 7.4×10^{-1} lm
D 1.1×10^{3} lm

6. ماذا نعني بالعبارة "إنتاج اللون باختزال أشعة الضوء"؟

A مزج الضوء الأخضر والأحمر والأزرق ينتج عنه الضوء الأبيض.

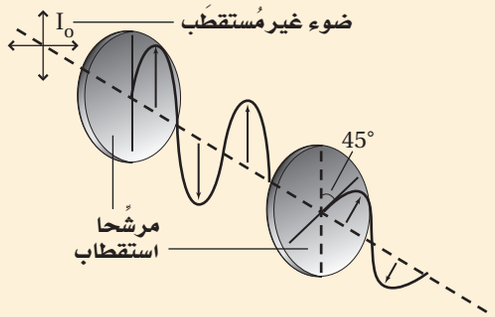
B ينتج لون عن إثارة الفوسفور بالإلكترونات في جهاز التلفاز.

C يتغير لون الطلاء باختزال ألوان معينة، ومنها إنتاج الطلاء الأزرق من الأخضر بالتخلص من اللون الأصفر.

D يتكوّن اللون الذي يظهر به الجسم نتيجة امتصاص أطوال موجية محدّدة للضوء وانعكاس بعضها الآخر.

الأسئلة الممتدة

7. يسقط ضوء غير مستقطب شدته I_o على مرشِّح استقطاب، ويصطدم الضوء النافذ بمرشِّح استقطاب ثانٍ، كما يتضح من الشكل أدناه. ما شدة الضوء النافذ من مرشح الاستقطاب الثاني؟



إرشاد

طرح الأسئلة

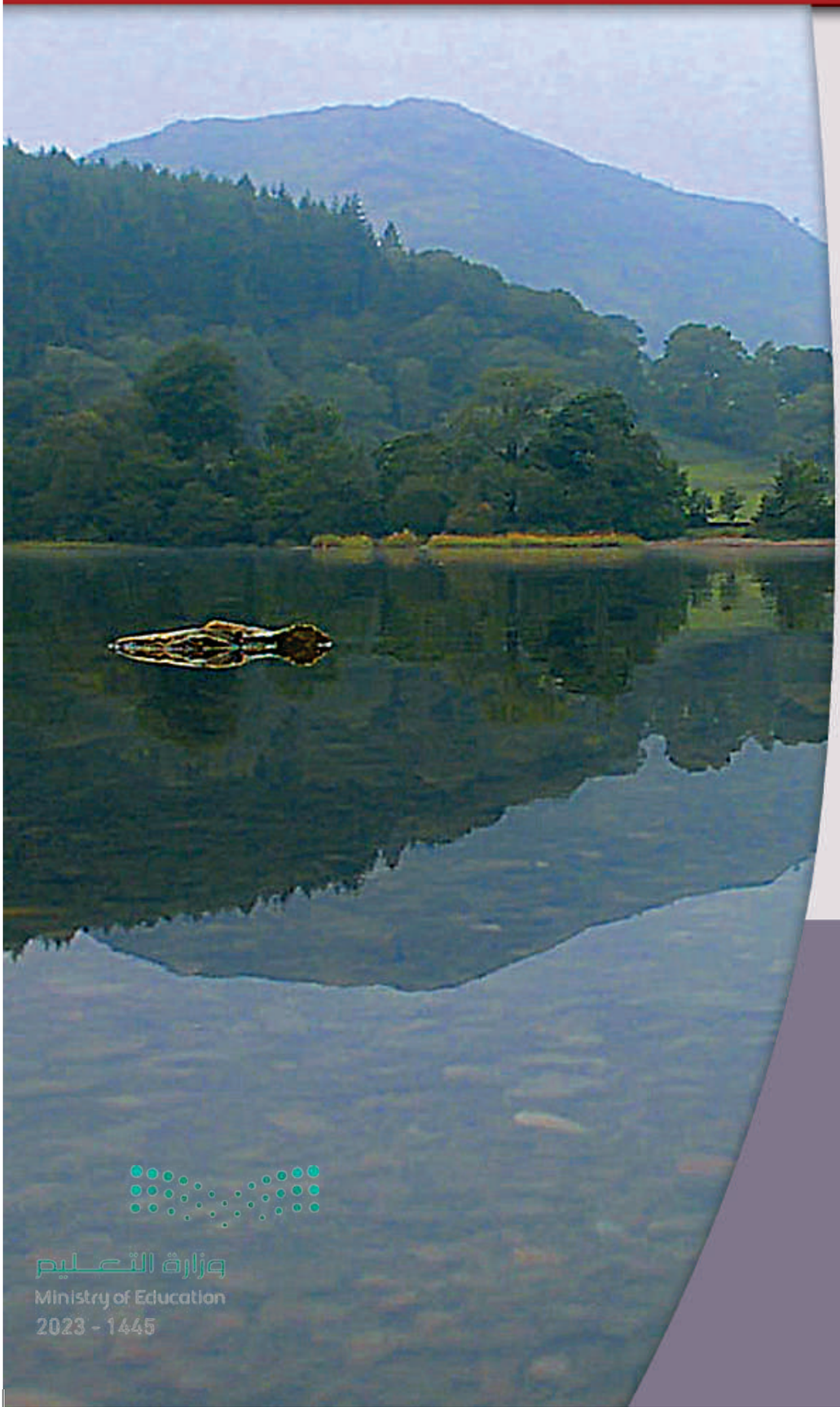
عندما يكون لديك استفسار حول الاختبار، مثل طريقة توزيع الدرجات، أو الزمن المخصص لكل جزء، أو أي شيء آخر، فاسأل المعلم أو الشخص المشرف على الاختبار حول ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 5

الانعكاس والمرايا

Reflection and Mirrors



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تَعرُّف كيفية انعكاس الضوء عن أسطح مختلفة.
- تَعرُّف أنواع المرايا المختلفة واستخداماتها.
- وصف الصور التي شكّلتها المرايا باستعمال طريقتي رسم الأشعة والنماذج الرياضية.

الأهمية

يتحدّد الانعكاس الذي تراه بمعرفة الكيفية التي ينعكس بها الضوء عن سطح ما نحو عينيك. وعندما تنظر إلى أسفل نحو سطح بحيرة تشاهد صورة لك معتدلة إلى أعلى.

منظر الجبل يمكنك عند النظر إلى سطح بحيرة مشاهدة منظر مماثل للمنظر الموضح في الصورة، حيث تبدو صور الأشجار والجبال في البحيرة مقلوبة رأسيًّا بالنسبة إليك.

فكّر ◄

لماذا تبدو صورتك في البحيرة معتدلة، في حين تبدو صورة الجبل مقلوبة رأسيًّا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

كيف تظهر الصورة على شاشة؟

سؤال التجربة ما نوع المرايا التي يمكنها عكس الصورة على شاشة؟

الخطوات

1. احصل من معلمك على بطاقة فهرسة (بطاقة كرتونية)، ومرآة مستوية، ومرآة مقعرة، ومرآة محدبة، ومصباح ضوئي يدوي.
2. أطفئ أضواء الغرفة، وقِفْ بجانب النافذة.
3. أمسك البطاقة بيد والمرآة المستوية باليد الأخرى.
4. اعكس الضوء القادم من النافذة على البطاقة. **تحذير: لا تنظر إلى الشمس مباشرة أو إلى ضوء الشمس المنعكس عن المرآة.** قرّب البطاقة نحو المرآة ببطء أو أبعدها عنها ببطء، وحاول تكوين صور واضحة للأجسام الموجودة في الخارج.
5. إذا استطعت تكوين صورة واضحة على البطاقة فإن هذه الصورة تكون حقيقية، أما إذا كان الضوء مشتتًا على البطاقة فلا تتكون صورة حقيقية. سجّل ملاحظاتك.
6. أعد الخطوات من 3 إلى 5 باستخدام مرآة مقعرة ثم مرآة محدبة.
7. كرّر الخطوة 4 لكل مرآة بحيث تستخدم المصباح الضوئي، ولاحظ الانعكاس على البطاقة.

التحليل

أيّ مرآة كوّنت صورًا حقيقية (تكونت على حاجز)؟ ما ملاحظاتك حول الصورة أو الصور التي شاهدتها؟

التفكير الناقد وضح كيف تتكون الصور الحقيقية استنادًا إلى ملاحظاتك حول الصور الناتجة باستخدام المصباح الضوئي.

5–1 الانعكاس عن المرايا المستوية Reflection from Plane Mirrors

الأهداف

- **توضّح** قانون الانعكاس.
- **تقارن** بين الانعكاس المنتظم والانعكاس غير المنتظم.
- **تحدّد** موقع الصور التي تكوّنها المرايا المستوية.

المفردات

الانعكاس المنتظم
الانعكاس غير المنتظم
المرآة المستوية
الجسم
الصورة
الصورة الخيالية

شاهد الإنسان منذ القدم انعكاسًا لصورة وجهه في البحيرات وبِرك المياه الساكنة. ولا يكون هذا الانعكاس دائمًا واضحًا؛ إذْ تحدث أحيانًا تموّجات على سطح الماء بسبب حركة الرياح أو حركة القوارب، مما يحول دون حدوث انعكاس واضح للضوء.

عرف المصريون قبل 4000 سنة تقريبًا أن الانعكاس يتطلب سطحًا أملس مصقولاً، لذا استخدموا مرايا فلزية لامعة مصقولة لرؤية صورهم. ولم يكن بالإمكان رؤية الصور الناتجة بوضوح حتى عام 1857 عندما اكتشف العالم الفرنسي جان فوكولت طريقة لطلاء الزجاج بالفضة. فالمرايا الحديثة صُنعت بدقة متناهية لكي تكون ذات مقدرة كبيرة جدًّا على عكس الضوء، وذلك من خلال عملية تبخير الألومنيوم أو الفضة على زجاج مصقول بدرجة كبيرة. وتُعد نوعية السطوح العاكسة مهمة جدًّا في بعض التطبيقات العملية والأجهزة البصرية، ومنها الليزر والمنظار الفلكي (التلسكوب).

وفي الحضارة الإسلامية، كان للحسن بن الهيثم جهود كبيرة لا يمكن إنكارها، وبرع في عدة مجالات، منها دراساته في مجال الضوء. فقد درس انعكاس الضوء وانكساره بشكل مفصل، واكتشف قوانين الانعكاس والانكسار، والعلاقة بين زاوية سقوط الضوء وانكساره، كما وصف أجزاء العين وعملية الرؤية بشكل دقيق وسليم علميًّا، وأبطل الآراء السائدة آنذاك عن كيفية حدوث الرؤية، وغير ذلك من الإنجازات الكبيرة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

قانون الانعكاس The Law of Reflection

ماذا يحدث للضوء الساقط على هذا الكتاب؟ عندما تضع الكتاب بينك وبين مصدر الضوء فلن ترى أي ضوء ينفذ من خلاله. تتذكر من الفصل السابق أن مثل هذا الجسم يُسمّى جسمًا غير شفاف أو جسمًا معتمًا؛ إذ يحدث امتصاص لجزء من الضوء الساقط على الكتاب، ويتحول هذا الجزء إلى طاقة حرارية، كما ينعكس جزء آخر من الضوء الساقط على الكتاب. ويعتمد سلوك الضوء المنعكس على طبيعة السطح العاكس، وزاوية سقوط الضوء على السطح.

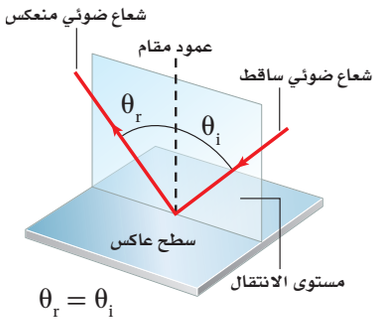
درست سابقًا أنه عندما تنتشر موجة في بعدين وتصطدم بحاجز فإن زاوية سقوطها على الحاجز تساوي زاوية انعكاسها. وينطبق هذا الانعكاس أيضًا على موجات الضوء. فكّر الآن فيما يحدث لكرة السلة عندما يدفعها اللاعب إلى الأرض لترتد إلى زميله. سيلاحظ مراقب يراقب حركة الكرة من أعلى أن الكرة ترتد في خط مستقيم في اتجاه اللاعب الآخر. وينعكس الضوء بالطريقة نفسها التي ترتد بها كرة السلة. ويبين **الشكل 1–5** سقوط شعاع ضوئي على سطح مستوٍ عاكس. وتلاحظ أن هناك خطًّا وهميًّا عموديًّا على السطح العاكس عند نقطة سقوط الشعاع الضوئي على السطح، ويُسمّى هذا الخط العمود المقام. ويقع كل من الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح العاكس من نقطة سقوط الشعاع الضوئي في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس. وعلى الرغم من أن الضوء ينتشر في ثلاثة أبعاد إلّا أن انعكاسه يكون في مستوى واحد؛ أي في بعدين. وتُعرف العلاقة بين زاويتي السقوط والانعكاس باسم قانون الانعكاس.

قانون الانعكاس $\theta_r = \theta_i$

حيث تمثل θ_i زاوية السقوط، و θ_r زاوية الانعكاس.

الزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط مع العمود المقام على السطح العاكس عند نقطة السقوط تساوي الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع العمود نفسه.

يمكن تفسير هذا القانون باستخدام النموذج الموجي للضوء؛ إذ يبين **الشكل 2a–5** مقدمة موجة الضوء تقترب من السطح العاكس، وعندما تصل كل نقطة على امتداد مقدمة الموجة إلى السطح العاكس فإنها تنعكس بالزاوية نفسها كالنقطة السابقة لها كما في **الشكل 2b–5**.

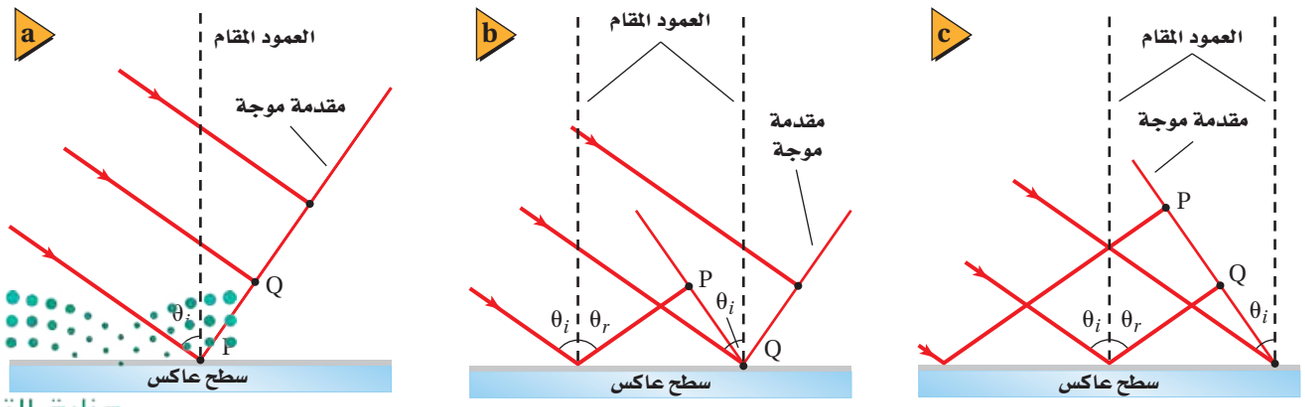


الشكل 1–5 يقع كل من الشعاع الساقط والشعاع المنعكس ضمن مستوى الانتقال نفسه.

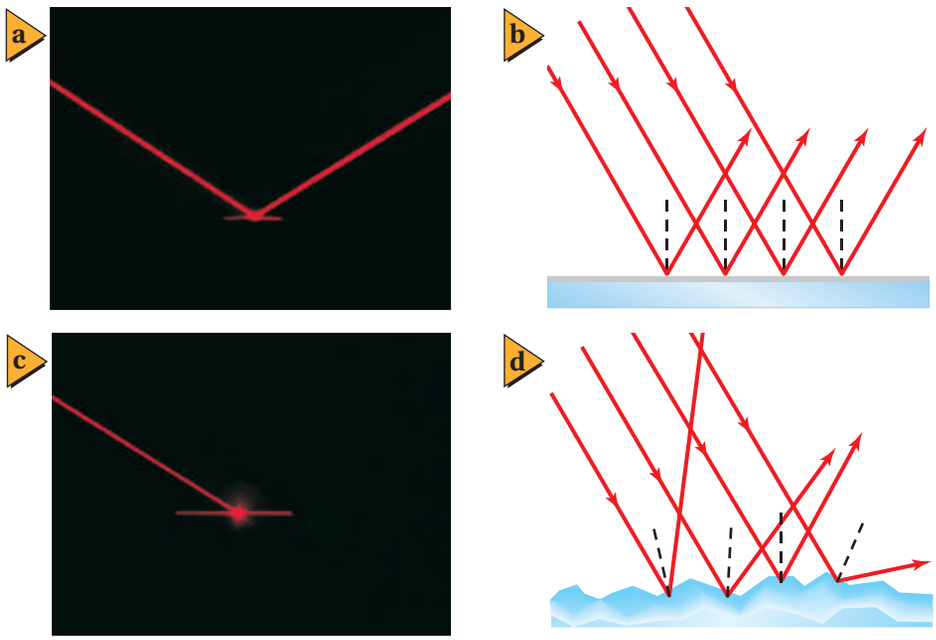
دلالة الألوان

- الأشعة الضوئية ومقدمات الموجة مرسومة وموضحة باللون **الأحمر**.
- المرايا مرسومة وموضحة باللون **الأزرق الفاتح**.

الشكل 2–5 تقترب مقدمة الموجة الضوئية من السطح العاكس. تصطدم النقطة P الموجودة على مقدمة الموجة بالسطح أولاً **(a)**. وتصل النقطة Q إلى السطح بعد أن تكون النقطة P قد انعكست بزاوية مساوية لزاوية السقوط **(b)**. وتستمر العملية وتُتابع النقاط جميعها الانعكاس بزوايا مساوية لزوايا سقوطها، مما يؤدي إلى تشكل مقدمة الموجة المنعكسة **(c)**.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 3–5 عندما تسقط حزمة ضوئية على سطح مرآة (a) تنعكس الأشعة المتوازية في الحزمة الساقطة متوازيةً ومحافظةً على شكل الحزمة (b). وعندما تسقط حزمة الضوء على سطح خشن (c) تنعكس الأشعة المتوازية في الحزمة الساقطة عن سطوح مختلفة صغيرة جدًّا، ممّا يؤدي إلى تشتيت الأشعة (d).

ولأن النقاط جميعها تنتشر بالسرعة نفسها فإنها ستقطع المسافة الكلية نفسها خلال الزمن نفسه، لذا تنعكس مقدمة الموجة كاملة عن السطح بزاوية مساوية لزاوية سقوطها. كما في **الشكل 2c–5** . لاحظ أن الطول الموجي للضوء لا يؤثر في هذه العملية؛ فألوان الضوء الأحمر والأخضر والأزرق جميعها تتبع هذا القانون.

السطوح الملساء والسطوح الخشنة تأمل حزمة الضوء الساقطة في **الشكل 3a–5** ولاحظ أن جميع الأشعة في الحزمة الضوئية قد انعكست عن السطح متوازية، كما في **الشكل 3b–5**. وهذا يحدث فقط إذا كان السطح العاكس أملس وفق مقياس الطول الموجي للضوء. فالسطح الأملس أو المصقول، مثل المرآة، يسبب **انعكاسًا منتظمًا**؛ أي أن الأشعة الضوئية التي تسقط عليه متوازية تنعكس عنه متوازية أيضًا.

ماذا يحدث عندما يسقط الضوء على سطح يبدو أملس ومصقولاً ولكنه في الواقع خشن وفق مقياس الطول الموجي للضوء، مثل صفحة هذا الكتاب أو جدار أبيض؟ فهل سينعكس الضوء؟ وكيف توضح ذلك؟ يبين **الشكل 3c–5** حزمة ضوئية تنعكس عن صفيحة ورقية خشنة السطح، حيث سقطت أشعة الحزمة الضوئية جميعها متوازية، ولكنها انعكست غير متوازية، كما في **الشكل 3d–5**. ويُسمّى تشتّت الضوء عن سطح خشن **انعكاسًا غير منتظم**.

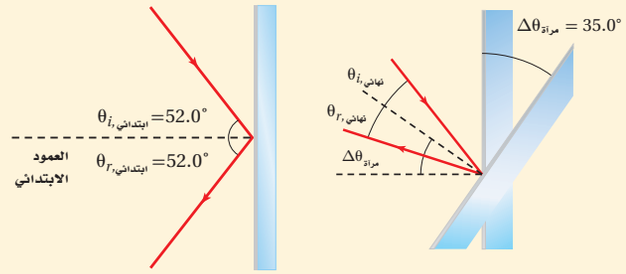
ينطبق قانون الانعكاس على كل من السطحين الأملس والخشن. ففي حالة السطح الخشن تكون زاوية سقوط كل شعاع مساوية لزاوية انعكاسه، وتكون الأعمدة المقامة على السطح عند مواقع سقوط الأشعة غير متوازية على المستوى المجهري؛ لذا لا يمكن أن تكون الأشعة المنعكسة متوازية؛ لأن السطح الخشن حال دون توازيها. وفي هذه الحالة لا يمكن رؤية حزمة الضوء المنعكسة؛ لأن الأشعة الضوئية المنعكسة تفرّقت وتشتّتت في اتجاهات مختلفة. أما في حالة الانعكاس المنتظم ـ كما في المرآة ـ فيمكنك رؤية وجهك؛ لأن الأشعة انعكست على هيئة حزمة. وبغض النظر عن كمية الضوء المنعكسة عن الورقة أو الجدار، فلا يمكن اتخاذ كلّ منهما مرآة؛ لأنهما يشتّتان الأشعة المنعكسة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مثـــــال 1

تغيير زاوية السقوط سقط شعاع ضوئي على مرآة مستوية بزاوية 52.0° بالنسبة للعمود المقام، فإذا دُوّرت المرآة بزاوية 35.0° حول نقطة سقوط الشعاع على سطحها بحيث نقصت زاوية سقوط الشعاع، وكان محور الدوران متعامدًا مع مستوى الشعاع الساقط والشعاع المنعكس، فما زاوية دوران الشعاع المنعكس؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- مثّل الحالة قبل دوران المرآة.
- ارسم شكلاً آخر بتطبيق زاوية الدوران على المرآة.

المعلوم	المجهول
$\theta_{i,\text{ابتدائي}} = 52.0^\circ$ ، $\Delta\theta_{\text{مرآة}} = 35.0^\circ$	$\Delta\theta_r = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

لتقليل زاوية السقوط دوّر المرآة في اتجاه حركة عقارب الساعة.

دليل الرياضيات
إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية

$$\theta_{i,\text{نهائي}} = \theta_{i,\text{ابتدائي}} - \Delta\theta_{\text{مرآة}}$$
عوّض مستخدمًا $\Delta\theta_{\text{مرآة}} = 35.0^\circ$ ، $\theta_{i,\text{ابتدائي}} = 52.0^\circ$
$$= 52.0^\circ - 35.0^\circ$$
$$= 17.0^\circ$$
في اتجاه حركة عقارب الساعة بالنسبة للعمود المقام الجديد

طبّق قانون الانعكاس

$$\theta_{r,\text{نهائي}} = \theta_{i,\text{نهائي}}$$
عوّض مستخدمًا $\theta_{i,\text{نهائي}} = 17.0^\circ$
$$= 17.0^\circ$$
في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة بالنسبة للعمود المقام الجديد

أوجد الزاوية التي دار بها الشعاع المنعكس باستخدام الشكلين

$$\Delta\theta_r = 52.0^\circ + 35.0^\circ - 17.0^\circ$$
$$= 70.0^\circ$$
في اتجاه حركة عقارب الساعة من الزاوية الأصلية

3 تقويم الجواب

- **هل الجواب واقعي؟** بمقارنة الرسمين النهائي والابتدائي يتبيّن أن زاوية السقوط تقل عندما تدور المرآة في اتجاه حركة عقارب الساعة في اتجاه الشعاع الضوئي. ومن المنطقي أن يدور الشعاع المنعكس في اتجاه حركة عقارب الساعة أيضًا.

مسائل تدريبية

1. عند سكب كمية ماء فوق سطح زجاج خشن يتحوّل انعكاس الضوء من انعكاس غير منتظم إلى انعكاس منتظم. وضح ذلك
2. إذا كانت زاوية سقوط شعاع ضوئي 42.0° فما مقدار كل مما يأتي:
   a. زاوية الانعكاس.
   b. الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والمرآة.
   c. الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس.
3. سـقطت حزمة ضوء ليزر على سطح مرآة مستوية بزاوية 38.0° بالنسبة للعمود المقام. فإذا حُرّك الليزر بحيث زادت زاوية السقوط بمقدار 13.0° فما مقدار زاوية الانعكاس الجديدة؟
4. وضعت مرآتان مستويتان إحداهما عمودية على الأخرى. فإذا أُسقط شعاع ضوئي على إحداهما بزاوية 30.0° بالنسبة للعمود المقام، وانعكس في اتجاه المرآة الثانية، فما مقدار زاوية انعكاس الشعاع الضوئي عن المرآة الثانية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

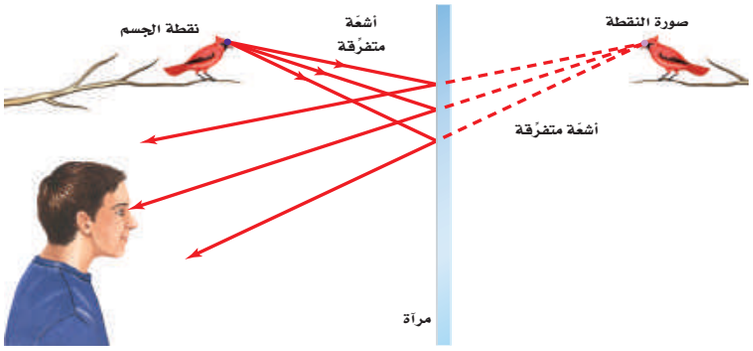
الأجسام والصور في المرايا المستوية
Objects and Plane-Mirror Images

عندما تنظر إلى نفسك بواسطة مرآة مستوية فإن ما تشاهده هو صورتك فيها. **فالمرآة المستوية** عبارة عن سطح مستوٍ أملس (مصقول) ينعكس عنه الضوء انعكاسًا منتظمًا. ولفهم انعكاس الضوء عن المرايا يجب أن نحدّد الجسم ونوع الصورة المتكوّنة. وقد استخدمت كلمة جسم في الفصل السابق لتشير إلى مصدر الضوء، أما في موضوع المرايا فتستخدم كلمة جسم بالطريقة نفسها، لكن بتطبيق أكثر تحديدًا؛ **فالجسم** هو مصدر الأشعة الضوئية التي ستُعكَس عن سطح مرآة، ويمكن أن يكون الجسم مصدرًا مضيئًا مثل المصباح، أو مصدرًا مستضيئًا مثل الشاب، كما في **الشكل 4–5**.

الشكل 4–5 المصباح الضوئي مصدر مضيء، ويشع الضوء في الاتجاهات جميعها. أما الشاب فيُعدّ مصدرًا مستضيئًا يشتّت ضوء المصباح الساقط على جسمه عن طريق الانعكاس غير المنتظم للضوء.

خذ نقطة مفردة على الطائر الموضح في **الشكل 5–5**، تلاحظ أن الضوء ينعكس بصورة مشتّتة (انعكاس غير منتظم) من منقار الطائر – نقطة الجسم – فماذا يحدث للضوء المنعكس؟ يسقط الضوء من الطائر على المرآة وينعكس. وماذا سيشاهد الصبي؟ سيصل بعض الضوء المنعكس إلى عيني الصبي. ولأن دماغه يُعالج هذه الأشعة وكأنها سلكت مسارًا مستقيمًا، لذا سيبدو له أن الضوء يتّبع الخطوط المتقطعة على الشكل؛ أيْ كأنه قادم من نقطة خلف المرآة، والتي تمثِّل صورة النقطة.

وسيرى الصبي في **الشكل 5–5** الأشعة الضوئية القادمة من نقاط متعدّدة على جسم الطائر بالطريقة نفسها، وبذلك تتشكل **صورة** الطائر من اتحاد صورة النقاط الناتجة بفعل الأشعة الضوئية المنعكسة، وتعد هذه الصورة **صورة خيالية**؛ وذلك لأنها تكوّنت من التقاء امتدادات الأشعة الضوئية المنعكسة عن المرآة. وتقع الصور الخيالية دائمًا على الجانب الآخر من المرآة (خلف المرآة)، وهذا يعني أن صور الأجسام الحقيقية المتكوّنة في المرايا المستوية دائمًا هي صور خيالية؛ لأنه لا يمكن جمعها على حاجز.

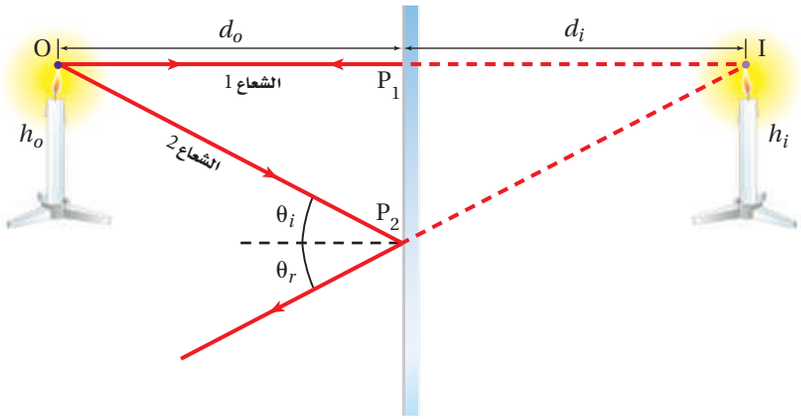


الشكل 5–5 تبدو الأشعة المنعكسة التي تصل إلى العين وكأنها قادمة من نقطة خلف المرآة.

صفات الصور في المرايا المستوية
Properties of Palne-Mirror Images

عندما تنظر إلى نفسك في مرآة مستوية ترى صورتك تظهر خلف المرآة وعلى بُعد يساوي بُعدك عن المرآة. فكيف يمكنك اختبار ذلك؟ ضع مسطرة بينك وبين المرآة. أين ستلامس المسطرة الصورة؟ ستلاحظ أيضًا أن الصورة تكون في اتجاهك نفسه؛ أي معتدلة، وأنها معكوسة جانبيًّا، وحجمها مساويًا لحجم جسمك، وهذا هو منشأ التعبير القائل: "*صورة طبق الأصل*"، وإذا تحركت في اتجاه المرآة فإن صورتك ستتحرك في اتجاه المرآة، وإذا تحركت مبتعدًا عن المرآة فستتحرك الصورة مبتعدة عن المرآة أيضًا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 6–5 تنبعث الأشعة الضوئية من نقطة على الجسم في الاتجاهات جميعها، حيث يسقط بعضها على سطح المرآة، فينعكس إلى العين. يبين الرسم شعاعين ضوئيين فقط. وتمتد خطوط الرؤية (الامتداد الخلفي) –الموضحة على هيئة خطوط متقطعة– إلى الخلف من مواقع انعكاس الأشعة على سطح المرآة إلى موقع التقائها، ويكون موقع الصورة في المكان الذي تلتقي فيه هذه الامتدادات: $d_i = -d_o$

موقع الصورة وطولها يوضح النموذج الهندسي في **الشكل 6–5** تساوي بُعد الجسم وبُعد الصورة عن المرآة، وكذلك تساوي طول الجسم وطول الصورة. ويتبيّن ذلك برسم شعاعين صادرين من النقطة O على رأس الشمعة يسقطان على المرآة في النقطتين P_1، P_2 على الترتيب. وينعكس الشعاعان وفق قانون الانعكاس، ويتقاطع امتدادا انعكاسيهما خلف المرآة على أنهما خطوط الرؤية (خط متقطع) في النقطة I التي تمثل صورة النقطة O. فالشعاع 1 يسقط على المرآة بزاوية سقوط 0°، فينعكس مرتدًّا على نفسه؛ أي عموديًّا على المرآة. أما الشعاع 2 فينعكس بالزاوية نفسها التي سقط بها، لذا يصنع خط الرؤية (الامتداد الخلفي) مع المرآة زاوية مساوية للزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط نفسه مع المرآة.

ويبين النموذج الهندسي أن القطعتين المستقيمتين $\overline{OP_1}$، $\overline{IP_1}$ تمثّلان ضلعين متقابلين في مثلثين متطابقين OP_1P_2، IP_1P_2. وتمثل d_o بُعد الجسم عن المرآة وتساوي طول القطعة $\overline{OP_1}$، كما تُسمى أيضًا موقع الجسم، أما d_i فتمثّل بُعد الصورة عن المرآة وتساوي طول القطعة $\overline{IP_1}$، كما تُسمى موقع الصورة. وباستخدام دلالة نظام الإشارات ـ حيث تشير الإشارة السالبة لموقع الصورة إلى أن الصورة خيالية ـ تكون المعادلة الآتية صحيحة:

موقع الصورة التي تُكوِّنها مرآة مستوية $d_i = -d_o$

بُعد الصورة عن المرآة المستوية يساوي سالب بُعد الجسم عنها، وإشارة السالب تدل على أن الصورة خيالية".

ولإيجاد طول الصورة يمكنك رسم شعاعين من الجسم. فمثلًا يلتقي امتداد الشعاعين الصادرين من قاعدة الشمعة، كما في **الشكل 6–5**، في نقطة خلف المرآة تكوّن قاعدة الصورة. وسيكون طول الصورة h_i المتكوّنة – باستخدام قانون الانعكاس وهندسة تطابق المثلثات – مساويًا لطول الجسم h_o.

طول الصورة التي تكوّنها المرآة المستوية $h_i = h_o$

في المرآة المستوية يكون طول الصورة مساويًا لطول الجسم.

تجربة

موقع الصورة الخياليّة

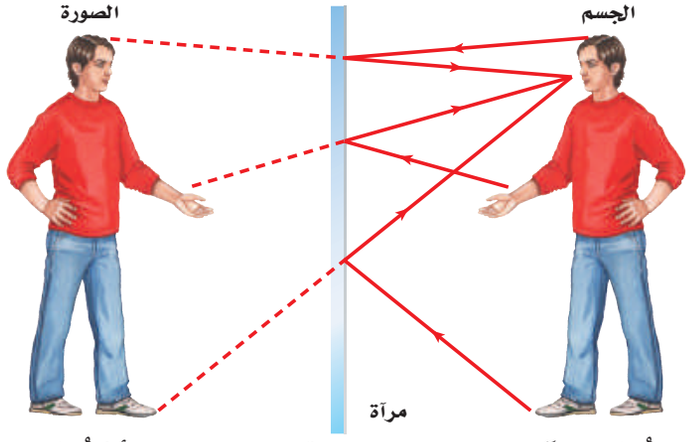
افترض أنك تنظر إلى صورتك في مرآة مستوية، هل تستطيع قياس بعد الصورة؟

1. أحضر من معلمك آلة تصوير (كاميرا) على أن يكون لها قرص تركيز كُتبت عليه المسافات.
2. قف على بُعد 1.0 m من المرآة، وركز الكاميرا على حافة المرآة، وتحقّق من قراءة قرص التركيز. يجب أن تكون 1.0 m.
3. قس بُعد صورتك من خلال تركيز الكاميرا عليها، وتحقق من قراءة قرص التركيز.

التحلّيل والاستنتاج

4. ما بُعد الصورة خلف المرآة؟
5. لماذا تكون الكاميرا قادرة على التقاط صورة للصورة الخيالية التي خلف المرآة رغم عدم وجود جسم حقيقي في ذلك الموقع؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 7–5 الصورة المتكوّنة في المرآة المستوية لها حجم الجسم نفسه، وبُعد الجسم نفسه عن المرآة، وتقع خلف المرآة، وتكون معكوسة جانبيًا؛ فإذا حرك الشخص يده اليمنى تتحرك اليد اليسرى في الصورة.

اتجاه الصورة تُكوّن المرآة المستوية صورًا في اتجاه الجسم نفسه؛ أيْ تُكوّن صورًا معتدلة. فإذا كنت تقف على قدميك فإن الصورة المتكوّنة في المرآة المستوية تظهر كذلك، وإذا كنت تقف على يديك تكون الصورة أيضًا بوضعية الوقوف على اليدين. غير أن هناك اختلافًا بينك وبين صورتك التي تكوّنها المرآة. تتبَّع خطوط الأشعة الموضحة في **الشكل 7–5**. فالأشعة المنتشرة من اليد اليمنى للشخص تبدو كأنها تتجمع في اليد اليسرى لصورته؛ أيْ تظهر اليد اليسرى واليد اليمنى معكوستين في المرآة المستوية. فلماذا لا تنعكس قمة الجسم وقاعدته؟ هذا لا يحدث لأن المرآة المستوية في الحقيقة لا تعكس الجهة اليسرى واليمنى، بل تعمل المرآة في **الشكل 7–5** على عكس صورة الشخص فقط بحيث تقابله في الاتجاه المعاكس له؛ أي أن المرآة تكوّن صورًا معكوسة جانبيًّا.

بالرجوع إلى صورة الجبل في بداية الفصل، تلاحظ أنها مقلوبة رأسيًّا، ولكن الصورة في الحقيقة معكوسة جانبيًّا مقارنة بالجبل الحقيقي؛ فلأن المرآة (سطح البحيرة) تكون أفقيّة وليست رأسيّة، فإن المنظور، أو زاوية النظر، تجعل الصورة تبدو مقلوبة رأسيًّا. ولفهم ذلك دوّر كتابك بزاوية 90° في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة، وانظر إلى **الشكل 7–5** مرة أخرى، تجد أن الشخص ينظر إلى أسفل، في حين تبدو صورته كأنها تنظر إلى أعلى، كصورة الجبل تمامًا. فالشيء الوحيد الذي تغير هو المنظور فقط.

تجربة عملية

أين تتكون صورتك في المرآة؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

5–1 مراجعة

5. **الانعكاس** سقط شعاع ضوئي على سطح مصقول عاكس بزاوية سقوط 80°. ما الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع سطح المرآة؟
6. **قانون الانعكاس** اشرح كيف يُطبّق قانون الانعكاس في حالة الانعكاس غير المنتظم.
7. **السطوح العاكسة** صنّف السطوح الآتية إلى سطوح عاكسة منتظمة (ملساء) وسطوح عاكسة غير منتظمة (خشنة): ورقة، معدن مصقول، زجاج نافذة، معدن خشن، إبريق حليب بلاستيكي، سطح ماء ساكن، زجاج خشن (مصنفر).
8. **صفات الصورة** يقف طفل طوله 50 cm على بُعد 3 m من مرآة مستوية وينظر إلى صورته. ما بُعد الصورة وطولها؟ وما نوع الصورة المتكوّنة؟
9. **مخطّط الصور** إذا كانت سيارة تتبع سيارة أخرى على طريق أفقية، وكان الزجاج الخلفي للسيارة الأمامية يميل بزاوية 45°، فارسم مخطّطًا للأشعة يبين موقع الشمس الذي يجعل أشعتها تنعكس عن الزجاج الخلفي للسيارة الأمامية، في اتجاه عيني سائق السيارة الخلفية.
10. **التفكير الناقد** وضح كيف يُمكّنك الانعكاس غير المنتظم للضوء عن جسم معين من رؤية الجسم عند النظر إليه من أية زاوية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

5–2 المرايا الكروية Curved Mirrors

الأهداف

- **توضّح** كيف تكوِّن كلٌّ من المرايا المحدبة والمرايا المقعرة الصور.
- **تصف** خصائص المرايا الكروية وتذكر استخداماتها.
- **تحدّد** مواقع وأطوال الصور التي تكوّنها المرايا الكروية.

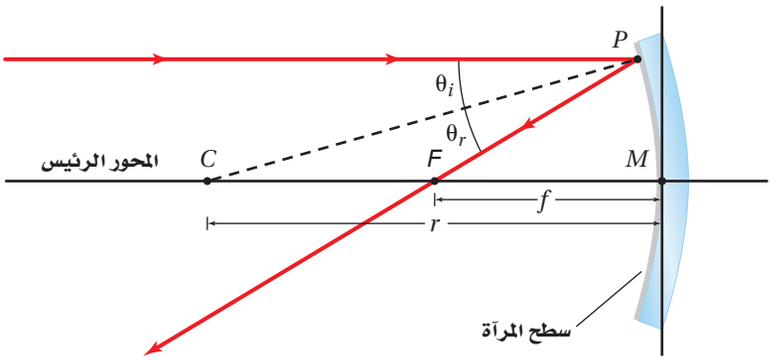
المفردات

المرآة المقعرة
المحور الرئيس
البؤرة
البعد البؤري
الصورة الحقيقية
الزوغان (التشوّه) الكروي
التكبير
المرآة المحدبة

عندما تنظر إلى سطح ملعقة لامعة تلاحظ أن انعكاس صورتك يختلف عن انعكاسها في مرآة مستوية؛ إذ تعمل الملعقة عمل مرآة كروية؛ حيث يكون أحد سطحيها منحنيًا إلى الداخل، والسطح الآخر منحنيًا إلى الخارج. وتعتمد خصائص المرايا الكروية والصور التي تكوّنها على شكل المرآة وموقع الجسم.

المرايا المقعّرة Concave Mirrors

يعمل السطح الداخلي للملعقة (السطح الذي يحمل الطعام) عمل مرآة مقعرة. **والمرآة المقعرة** سطح عاكس، حوافّه منحنية نحو المشاهد. وتعتمد خصائص المرآة المقعرة على مدى تقعرها، ويبين **الشكل 8–5** كيف تعمل المرآة الكروية المقعرة. ويبدو شكل المرآة الكروية المقعرة كأنه جزء مأخوذ من كرة جوفاء سطحها الداخلي عاكس للضوء. وللمرآة الكروية المقعرة المركز الهندسي نفسه (C) ونصف قطر التكوّر نفسه (r) الخاصّين بالكرة المأخوذة منها. ويسمّى الخط الذي يحتوي على القطعة المستقيمة CM **المحور الرئيس**؛ وهو خط مستقيم متعامد مع سطح المرآة الذي يقسمها إلى نصفين. وتمثل النقطة (M) قطب المرآة؛ وهي نقطة تقاطع المحور الرئيس مع سطح المرآة.

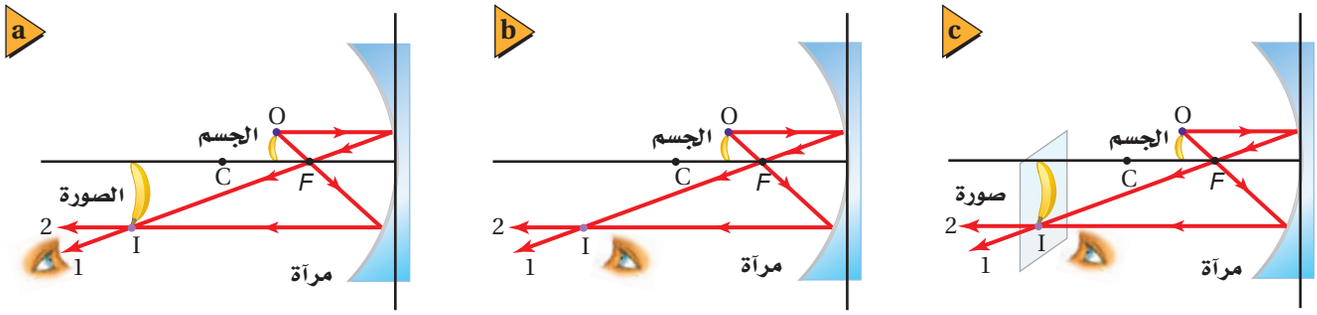


الشكل 8–5 تقع بؤرة المرآة الكروية المقعرة في منتصف المسافة بين مركز التكوّر وسطح المرآة. وتنعكس الأشعة الساقطة موازية للمحور الرئيس مارة بالبؤرة F.

عندما توجّه المحور الرئيس للمرآة المقعرة نحو الشمس تنعكس الأشعة جميعها مارّة بنقطة واحدة. ويمكنك تحديد هذه النقطة بتقريب وإبعاد قطعة ورق أمام المرآة حتى تحصل على أصغر وأوضح نقطة لأشعة الشمس المنعكسة على الورقة. وتُسمى هذه النقطة **البؤرة** الأصلية للمرآة؛ وهي النقطة التي تتجمع فيها انعكاسات الأشعة المتوازية الساقطة موازية للمحور الرئيس بعد انعكاسها عن المرآة. ونظرًا للبعد الكبير بين الشمس والأرض فإن جميع الأشعة التي تصل الأرض تُعدّ متوازية.

وعندما يسقط الشعاع على مرآة فإنه ينعكس وفق قانون الانعكاس. ويبين **الشكل 8–5** أن الأشعة الساقطة موازيةً للمحور الرئيس تنعكس عن المرآة وتقطع المحور في البؤرة F. وتقع البؤرة F في منتصف المسافة بين مركز التكور C والقطب M. أما **البعد البؤري** f، فيمثل المسافة بين قطب المرآة وبؤرتها الأصلية، ويعبر عنه على النحو الآتي: $f = \frac{r}{2}$، ويكون البعد البؤري للمرآة المقعرة موجبًا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



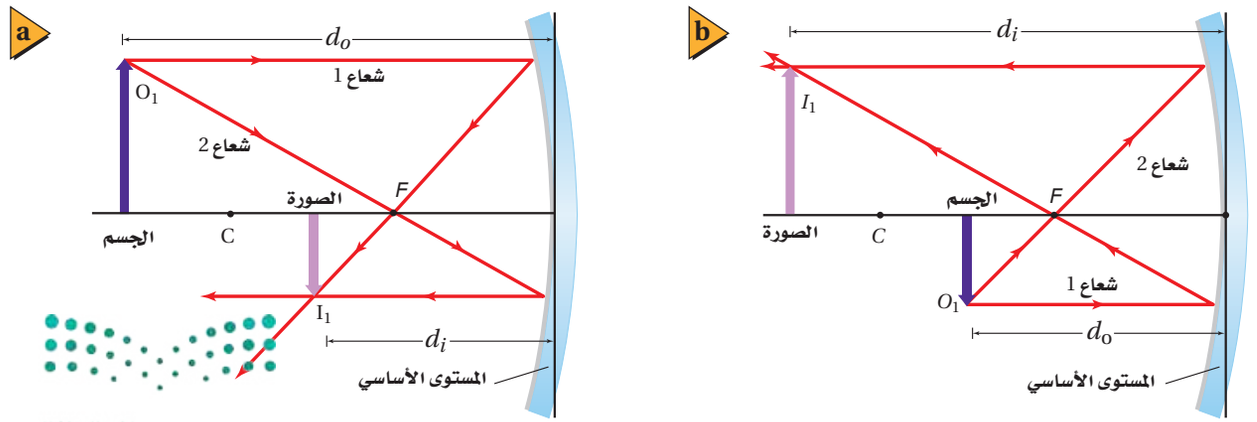
■ **الشكل 9–5** الصورة الحقيقية التي تُرى بالعين المجردة (**a**). لا ترى العين الصورة الحقيقية إذا كانت في موقع لا تسقط عليه الأشعة المنعكسة (**b**). الصورة الحقيقية كما ترى على شاشة معتمة بيضاء (**c**).

الطريقة الهندسية لتحديد موقع الصورة
Graphical Method of Finding the Image

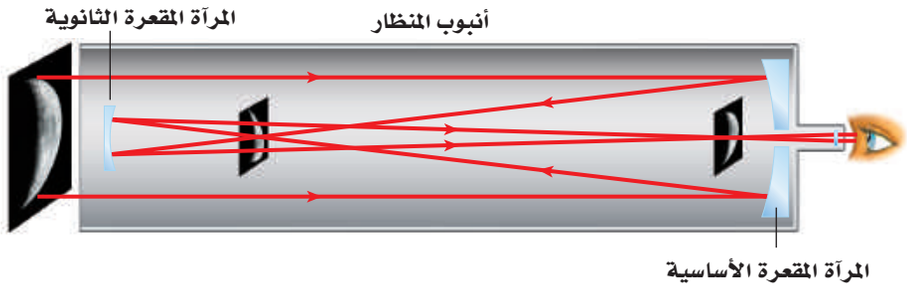
يُفيدنا رسم مسارات الأشعة المنعكسة عن المرايا المقعرة في تحديد موقع الصورة، ليس لأن موقع الصورة هو الذي يتغير فقط، بل لأن حجمها ووضعها (اتجاهها) يتغيران أيضًا. ويُمكنك استخدام مخطّط الأشعة للكشف عن خصائص الصور التي تُكوّنها المرايا المقعرة. ويبين **الشكل 9–5** عملية تكوين **صورة حقيقية**؛ وهي الصورة التي تتكون من التقاء الأشعة المنعكسة ويمكن جمعها على حاجز. وتلاحظ أن الصورة مقلوبة وأكبر حجمًا من الجسم، وأنّ الأشعة تلتقي فعليًّا في النقطة التي تتكون فيها الصورة. وتُحدِّد نقطة التقاطع (I) لشعاعين منعكسين موقع الصورة. ويمكنك رؤية الصورة في الفضاء عندما تَسقط الأشعة المنعكسة التي كوَّنت الصورة على عينك، كما في **الشكل 9a–5**. ويوضّح **الشكل 9b–5** أنه يجب أن يكون موقع عينك في الجهة التي تسقط عليها الأشعة المنعكسة المكوّنة للصورة، ولا يمكنك رؤية الصورة من الخلف. وإذا وضعت حاجزًا (شاشة) في موقع تكوّن الصورة فإن هذه الصورة ستظهر على الحاجز كما في **الشكل 9c–5**، وهذا غير ممكن في حالة الصور الخيالية التي تتكون من التقاء امتدادات الأشعة المنعكسة ولا يمكن جمعها على حاجز.

ولتسهيل فهم كيفية سلوك الأشعة عند استخدام المرايا المقعرة يمكنك استخدام أجسام أحادية البعد؛ سهم مثلاً، كما في **الشكل 10a–5**. تكوِّن المرآة الكروية المقعرة صورة حقيقية ومقلوبة ومصغرة للجسم. إذا كان بعد الجسم d_o أكبر من ضعف البعد البؤري f (خلف مركز التكور)، أما إذا كان الجسم واقعًا بين البؤرة F ومركز التكور C كما في **الشكل 10b–5** فإن الصورة ستكون حقيقية ومقلوبة ومكبرة.

■ **الشكل 10–5** إذا كان بُعد الجسم عن المرآة أكبر من بُعد مركز التكوّر فستكون الصورة حقيقية ومقلوبة ومصغرة مقارنة بالجسم (**a**). أما إذا كان الجسم واقفًا بين البؤرة ومركز التكور فستكون الصورة حقيقية ومقلوبة ومكبرة وموقعها خلف C (**b**).



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 11–5 يكوّن منظار جريجوريان Gregorian صورًا حقيقية ومعتدلة.

الربط مع الفلك

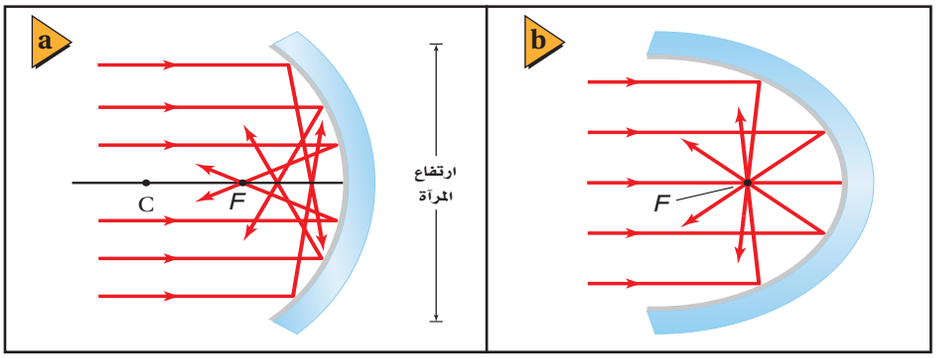
كيف يمكن تحويل الصورة الحقيقية والمقلوبة التي تكوّنها مرآة مقعرة إلى صورة معتدلة وحقيقية؟ لقد طوّر عالم الفلك الأسكتلندي جيمس جريجوري في عام 1663 المنظار المعروف باسمه، منظار جريجوريان (المنظار الفلكي)، المبين في **الشكل 11–5** لحل هذه المشكلة. ويتكوَّن منظاره من مرآتين مقعرتين إحداهما كبيرة والأخرى صغيرة. وتقع المرآة الصغيرة خلف بؤرة المرآة الكبيرة. وعندما تسقط الأشعة المتوازية القادمة من جسم بعيد على المرآة المقعرة الكبيرة فإنها تنعكس في اتجاه المرآة الصغيرة، التي تعكس بدورها هذه الأشعة مكوِّنة صورة حقيقية ومعتدلة تمامًا كالجسم.

استراتيجيات حل المسألة

استخدام طريقة رسم الأشعة لتحديد موقع الصور التي تكوّنها المرايا الكروية

استخدم الاستراتيجيات الآتية لحل مسائل المرايا الكروية. ارجع إلى **الشكل 10–5**:

1. استخدم ورقة مُسطّرة أو ورقة رسم بياني، وارسم المحور الرئيس للمرآة على شكل خط أفقي من يسار الصفحة إلى يمينها، تاركًا مسافة 6 أسطر فارغة أعلاه، و6 أسطر فارغة أسفله.
2. ضع نقاطًا أو علامات على المحور تمثّل كلًّا من الجسم، و C، و F على النحو الآتي:
   a. إذا كانت المرآة مقعرة و الجسم خلف مركز التكور C، بعيدًا عن المرآة، فضع المرآة عن يمين الصفحة، والجسم عن يسارها، وضع C و F وفق مقياس الرسم.
   b. إذا كانت المرآة مقعرة والجسم بين C و F فضع المرآة عن يمين الصفحة، وC في وسطها، وF في منتصف المسافة بين المرآة ومركز التكور C ، وضع الجسم وفق مقياس الرسم.
   c. لأي وضع آخر، ضع المرآة في وسط الصفحة، وضع الجسم أو البؤرة F [أيهما أبعد عن المرآة] عن يسار الصفحة، وضع الآخر الأقرب وفق مقياس الرسم.
3. ارسم خطًّا رأسيًّا لتمثيل المرآة، يمر بقطبها وفي الفراغ المكوّن من الاثني عشر سطرًا. يُمثّل هذا الخط المستوى الأساسي للمرآة.
4. ارسم الجسم على هيئة سهم، واكتب على رأسه O_1. للمرايا المقعرة، يجب ألا يزيد طول الأجسام الواقعة أمام C على 3 أسطر، وأمّا لسائر الأوضاع فاجعل طول الأجسام 6 أسطر. سيكون مقياس رسم طول الجسم مختلفًا عن مقياس الرسم المستخدم على المحور الرئيس.
5. ارسم الشعاع 1 بصورة موازية للمحور الرئيس، حيث ينعكس عن المستوى الأساسي مارًّا بالبؤرة.
6. ارسم الشعاع 2 مارًّا بالبؤرة. سينعكس هذا الشعاع عن المستوى الأساسي موازيًا للمحور الرئيس.
7. تتكون الصورة عند موقع التقاء الشعاعين المنعكسين 1 و 2 أو امتداديهما، وتكون الصورة ممثلة بسهم عمودي من المحور الرئيس إلى I_1 (نقطة التقاء الشعاعين المنعكسين أو امتداديهما).



الشكل 12–5 تعكس المرآة الكروية المقعرة جزءًا من الأشعة، بحيث تتجمع في نقاط غير البؤرة (**a**). تُجمّع مرآة القطع المكافئ الأشعةَ المنعكسة جميعها وتركّزها في نقطة واحدة (**b**).

عيوب الصور الحقيقية في المرايا المقعرة عند رسم الأشعة في المرايا الكروية فإنّك تعكس الأشعة عن المستوى الأساسي؛ وهو الخط الرأسي الذي يمثل المرآة، إلا أن الأشعة في حقيقة الأمر تنعكس عن المرآة نفسها، كما في **الشكل 12a–5**. لاحظ أن الأشعة المتوازية القريبة من المحور الرئيس (الأشعة المحورية) فقط هي التي تنعكس مارَّة بالبؤرة. أما الأشعة الأخرى فتلتقي في نقاط أقرب إلى المرآة. لذا فإنّ الصورة المتكوّنة نتيجة انعكاس الأشعة التي تسقط متوازية على مرآة كروية ذات قطر (ارتفاع) كبير ونصف قطر تكوّر صغير، ستكون على هيئة قرص، وليست نقطة. ويُسمى هذا العيب **الزوغان (التشوّه) الكروي**، وهو ما يجعل الصورة تبدو غير واضحة.

والمرآة المقعرة التي تكون على شكل قطع مكافئ ـ كما في **الشكل 12b–5** ـ لا تعاني من الزوغان الكروي. ونظرًا لارتفاع تكلفة تصنيع المرايا الكبيرة التي تأخذ شكل القطع المكافئ تمامًا، فإن أغلب التلسكوبات الجديدة تستعمل مرايا كروية ومرايا ثانوية صغيرة مصمّمة على هيئة خاصة، أو عدسات صغيرة، لتصحيح الزوغان الكروي. ويمكن تقليل الزوغان الكروي كذلك بتقليل نسبة ارتفاع المرآة، الموضحة في **الشكل 12a–5**، إلى مقدار نصف قطر تكوّرها. وتُستخدم المرايا ذات التكلفة الأقل في التطبيقات التي لا تحتاج إلى دقة عالية.

الطريقة الرياضية لتحديد موقع الصورة
Mathmatical Method of Locating the Image

يمكن استعمال نموذج المرآة الكروية لإيجاد معادلة بسيطة خاصة بالمرايا الكروية. ولتكوين الصورة يجب مراعاة الاعتماد على الأشعة المحورية؛ وهي الأشعة القريبة من المحور الرئيس والمتوازية معه. واستخدام هذا التقريب إلى جانب استخدام قانون الانعكاس يقود إلى معادلة المرايا الكروية عن طريق ربط الكميات الآتية معًا: البعد البؤري للمرآة الكروية f، وبعد الجسم d_o، وبعد الصورة d_i.

معادلة المرايا الكروية

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$$

مقلوب البعد البؤري للمرآة الكروية يساوي حاصل جمع مقلوب بُعد الجسم ومقلوب بُعد الصورة عن المرآة.

من المهم أن تتذكر عند استخدام هذه المعادلة في حل المسائل أنها صحيحة تقريبًا؛ حيث لا تتنبأ بالزوغان الكروي؛ لأنها تعتمد على الأشعة المحورية في تكوين الصور. وفي الحقيقة

تطبيق الفيزياء

مشكلة هابل

Hubble Trouble

أطلقت وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) في عام 1990 تلسكوب هابل الفضائي في مدار حول الأرض، وكان من المتوقع أن يُزوّد الوكالة بصور واضحة دون التشوه الحادث بسبب الغلاف الجوي، إلّا أنّه وجد بعد إطلاقه مباشرة زوغان كروي في الصور. وفي عام 1993 أُجريت تصحيحات بصرية، سميت كوستار COSTAR، على تلسكوب هابل ليتمكن من إعطاء صور واضحة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الرياضيات في الفيزياء

جمع الكسور وطرحها عند استخدام معادلة المرايا، استعمل الرياضيات أولًا لنقل الكسر الذي يتضمن الكمية التي تبحث عنها إلى الطرف الأيسر للمعادلة، وانقل الكسرين الآخرين إلى الطرف الأيمن، ثم اجمع الكسرين الموجودين عن يمين المعادلة باستخدام توحيد المقامات عن طريق ضرب المقامات بعضها في بعض.

الرياضيات	الفيزياء
$\frac{1}{x}=\frac{1}{y}+\frac{1}{z}$	$\frac{1}{f}=\frac{1}{d_i}+\frac{1}{d_o}$
$\frac{1}{y}=\frac{1}{x}-\frac{1}{z}$	$\frac{1}{d_i}=\frac{1}{f}-\frac{1}{d_o}$
$\frac{1}{y}=\frac{1}{x}\left(\frac{z}{z}\right)-\left(\frac{1}{z}\right)\left(\frac{x}{x}\right)$	$\frac{1}{d_i}=\left(\frac{1}{f}\right)\left(\frac{d_o}{d_o}\right)-\left(\frac{1}{d_o}\right)\left(\frac{f}{f}\right)$
$\frac{1}{y}=\frac{z-x}{xz}$	$\frac{1}{d_i}=\frac{d_o-f}{fd_o}$
$y=\frac{xz}{z-x}$	$d_i=\frac{fd_o}{d_o-f}$

وباستخدام هذه الطريقة يمكنك اشتقاق العلاقات الآتية لحساب بُعد الصورة، وبُعد الجسم، والبعد البؤري.

$$f=\frac{d_i d_o}{d_o+d_i} \qquad d_o=\frac{fd_i}{d_i-f} \qquad d_i=\frac{fd_o}{d_o-f}$$

تكون الأشعة الصادرة عن الجسم مشتّتة، لذا لا تكون جميع الأشعة موازية للمحور الرئيس أو قريبة منه. وتعطي هذه المعادلة صفات الصورة بدقة كبيرة، إذا كان ارتفاع المرآة صغيرًا مقارنة بنصف قطر تكوّرها، بحيث يحدّ من الزوغان الكروي.

التكبير للمرايا الكروية خاصية **التكبير** m؛ ويُقصد به كم مرّة تكون الصورة أكبر من الجسم أو أصغر منه. والتكبير عمليًّا هو النسبة بين طول الصورة وطول الجسم. ويمكن استخدام هندسة تطابق المثلثات لكتابة هذه النسبة بدلالة كلٍّ من بُعد الجسم وبُعد الصورة.

التكبير

$$m=\frac{h_i}{h_o}=\frac{-d_i}{d_o}$$

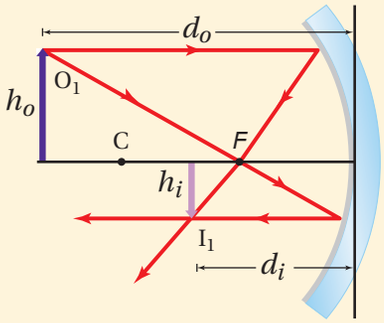
يُعرّف تكبير مرآة كروية لجسم ما على أنه: طول الصورة مقسومًا على طول الجسم. ويساوي حاصل قسمة سالب بُعد الصورة عن المرآة على بُعد الجسم عن المرآة.

عند استعمال المعادلة السابقة يكون بُعد الصورة الحقيقية موجبًا، لذا يكون التكبير سالبًا، وهذا يعني أن الصورة مقلوبة مقارنة بالجسم. وإذا كان الجسم واقعًا خلف مركز التكور C تكون القيمة المطلقة لتكبير الصورة الحقيقية أقل من 1؛ وهذا يعني أن الصورة تكون أصغر من الجسم (مصغّرة). أما إذا وضع الجسم بين البؤرة F ومركز التكور C فتكون القيمة المطلقة لتكبير الصورة الحقيقية أكبر من 1؛ أيْ أن الصورة أكبر من الجسم (مكبّرة).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مثـــــال 2

الصورة الحقيقية التي تكوّنها مرآة مقعرة وضع جسم طوله 2.0 cm أمام مرآة مقعرة نصف قطرها 20.0 cm، وعلى بُعد 30.0 cm منها. فما بُعد الصورة؟ وما طولها؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخطّطاً للجسم وللمرآة.
- ارسم شعاعين أساسيّين لتحديد موقع الصورة على المخطّط.

المعلوم	المجهول
$h_o = 2.0\ \text{cm}$	$d_i = ?$
$d_o = 30.0\ \text{cm}$	$h_i = ?$
$r = 20.0\ \text{cm}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

دليل الرياضيات

الكسور

احسب البعد البؤري

عوّض مستخدمًا $r = 20.0\ \text{cm}$

$$f = \frac{r}{2}$$
$$= \frac{20.0\ \text{cm}}{2} = 10.0\ \text{cm}$$

استخدم معادلة المرايا الكروية، وحل لإيجاد بُعد الصورة:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$$
$$d_i = \frac{fd_o}{d_o - f}$$

عوّض مستخدمًا $f = 10.0\ \text{cm}$، و $d_o = 30.0\ \text{cm}$

$$= \frac{(10.0\ \text{cm})(30.0\ \text{cm})}{30.0\ \text{cm} - 10.0\ \text{cm}}$$
$$= 15.0\ \text{cm} \quad \text{(صورة حقيقية أمام المرآة)}$$

استخدام علاقة التكبير لحساب طول الصورة:

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

عوّض مستخدمًا $d_i = 15.0\ \text{cm}$، $h_o = 2.0\ \text{cm}$، $d_o = 30.0\ \text{cm}$

$$h_i = \frac{-d_i h_o}{d_o} = \frac{-(15.0\ \text{cm})(2.0\ \text{cm})}{30.0\ \text{cm}}$$
$$= -1.0\ \text{cm} \quad \text{(صورة مقلوبة ومصغرة)}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** جميع الوحدات بالسنتمتر cm.
- **هل للإشارة معنى؟** الموقع الموجب والطول السالب متفقان مع الرسم.

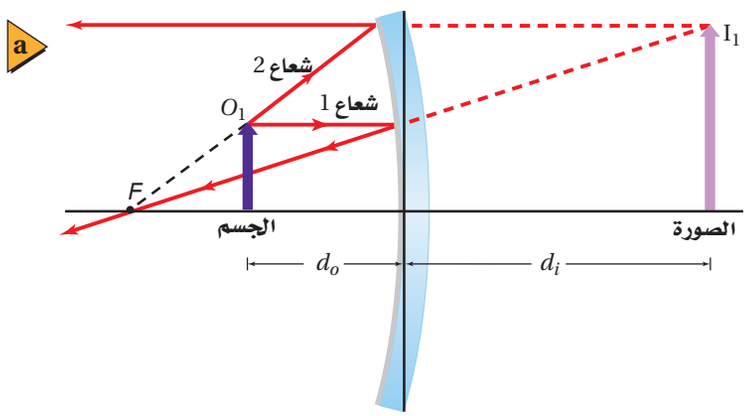
مسائل تدريبية

11. وضع جسم على بُعد 36.0 cm أمام مرآة مقعرة بُعدها البؤري 16.0 cm. أوجد بُعد الصورة.

12. وضع جسم طوله 2.4 cm على بُعد 16.0 cm من مرآة مقعرة بعدها البؤري 7.0 cm. أوجد طول الصورة.

13. وضع جســم بالقرب من مرآة مقعرة بعدهــا البؤري 10.0 cm، فتكوّن له صورة مقلوبــة طولها 3.0 cm على بُعد 16.0 cm من المرآة. أوجد طول الجسم وبُعده عن المرآة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 13–5 عند وضع جسم بين البؤرة والمرآة الكروية المقعرة تتكون له صورة مكبّرة ومعتدلة وخيالية خلف المرآة (**a**)، كما هو موضّح في الشكل (**b**). ما الصفات الأخرى التي تراها للصورة أيضًا في هذا الشكل؟

الصور الخيالية في المرايا المقعرة
Virtual Images with Concave Mirrors

لاحظت أنه كلّما اقترب الجسم من بؤرة المرآة المقعرة *F* ابتعدت الصورة عن المرآة. وإذا وضع الجسم في البؤرة تمامًا كانت الأشعة المنعكسة جميعها متوازية، ومن ثم لا تتقاطع، لذا نقول إن الصورة تكوّنت في المالانهاية، ولا تُرى صورة للجسم في هذه الحالة. ماذا يحدث إذا اقترب الجسم من المرآة أكثر؟

ماذا تلاحظ عندما تقرّب وجهك من مرآة مقعرة أكثر فأكثر؟ تكون صورة وجهك معتدلة وخلف المرآة. فالمرآة المقعرة تكوّن صورةً خيالية إذا وضع الجسم بين المرآة والبؤرة، كما في **الشكل 13a–5**. ولتحديد صورة نقطة من نقاط الجسم يُرسم مرة أخرى شعاعان، وكما ذُكر سابقًا يُرسم الشعاع 1 ساقطًا بموازاة المحور الرئيس وينعكس مارًّا بالبؤرة. أمّا الشعاع 2 فيُرسم من نقطة على الجسم ليصل إلى المرآة، بحيث يمر امتداد هذا الشعاع في البؤرة، وينعكس هذا الشعاع موازيًا المحور الرئيس. تلاحظ أن الشعاعين 1 و2 يتشتّتان عندما ينعكسان عن المرآة، لذا لا يمكن أن يُكوّنا صورة حقيقية، في حين يلتقي امتدادَا الشعاعين المنعكسين خلف المرآة مُكوّنين صورة خيالية.

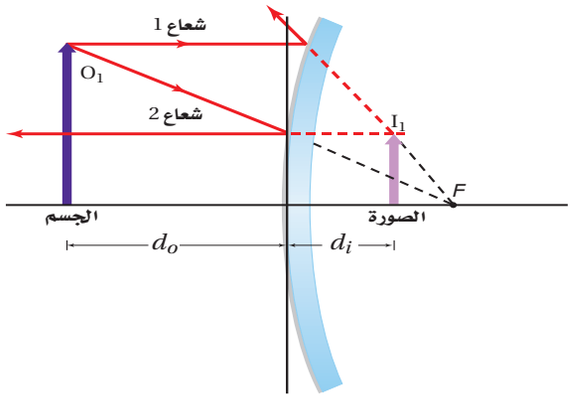
وعندما تستخدم معادلة المرآة المقعرة لتحديد بُعد صورة جسم يقع بين البؤرة والمرآة تجد أن بُعد الصورة يكون سالبًا. وستعطي معادلة التكبير تكبيرًا موجبًا أكبر من 1، وهذا يعني أن الصورة معتدلة ومكبّرة، مقارنة بالجسم، كما في الصورة الموضحة في **الشكل 13b–5**.

مسألة تحفيز

وضع جسم طوله h_o على بعد d_o من مرآة مقعرة بعدها البؤري f.

1. ارسم شكلاً لمخطّط أشعة يوضح البعد البؤري وموقع الجسم إذا كان بُعد الصورة الناتجة يساوي ضعف بُعد الجسم عن المرآة، وأثبت صحة إجابتك رياضيًّا. واحسب البعد البؤري بوصفه دالّة رياضية في بُعد الجسم في هذه الحالة.
2. ارسم شكلاً لمخطّط أشعة يوضح بُعد الجسم إذا كان بُعد الصورة عن المرآة يساوي ضعف البعد البؤري، وأثبت صحة إجابتك رياضيًّا، واحسب طول الصورة بوصفه دالّة رياضية في طول الجسم في هذه الحالة.
3. أين يجب وضع الجسم بحيث لا تتكوّن له صورة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



■ **الشكل 14–5** تُكوّن المرآة المحدبة دائمًا صورًا خيالية ومعتدلة ومصغرة مقارنة بالجسم.

المرايا المحدبة Convex Mirrors

تعلمت في بداية هذا الفصل أن السطح الداخلي لملعقة مصقولة يعمل عمل مرآة مقعرة. وإذا قلبت الملعقة فإن السطح الخارجي سيعمل عمل مرآة محدبة. **والمرآة المحدبة** سطح عاكس حوافه منحنية بعيدًا عن المشاهد. ماذا ترى عندما تنظر إلى ظهر ملعقة؟ سترى صورتك معتدلة ومصغرة.

وخصائص المرآة الكروية المحدبة موضحة في **الشكل 14–5**. فالأشعة المنعكسة عن المرآة المحدبة مشتّتة دائمًا، لذا تكوِّن المرايا المحدبة صورًا خيالية. وتكون النقطتان C وF واقعتين خلف المرآة. وعند تطبيق معادلة المرآة ستكون قيمتا f، d_i سالبتين دائمًا؛ لأنهما خلف المرآة.

ويبيّن مخطّط الأشعة في **الشكل 14–5** كيفية تكوّن الصورة بواسطة المرآة الكروية المحدبة، فعند أخذ شعاعين من العدد اللانهائي من الأشعة الصادرة عن الجسم فإن الشعاع 1 يسقط على المرآة موازيًا المحور الرئيس، وينعكس عنها، بحيث يمرّ امتداد الشعاع المنعكس في البؤرة F خلف المرآة. ويسقط الشعاع 2 على المرآة بحيث يمرّ امتداده في البؤرة F خلف المرآة، لماذا؟ سيكون كلّ من الجزء المنعكس من الشعاع 2 وامتداد الشعاع 2 المنعكس خلف المرآة موازيين للمحور الرئيس، وسيتشتّت الشعاعان المنعكسان، في حين يلتقي امتداداهما خلف المرآة ليكوّنا صورة خيالية ومعتدلة ومصغرة مقارنة بالجسم.

تكون معادلة التكبير مفيدة لتحديد الأبعاد الظاهرية للجسم كما سيرى في المرآة الكروية المحدبة. فإذا علمت قطر الجسم فاضربه في مقدار التكبير لمعرفة مدى تغير القطر عندئذٍ. وستجد أن القطر صغير، مثله مثل باقي الأبعاد، وهذا يفسّر لماذا يبدو بُعد الصور المتكونة لأجسام في مرآة محدبة أكبر من بُعدها الحقيقي.

■ **الشكل 15–5** تكوّن المرايا المحدبة صورًا أصغر من الأجسام، وهذا يزيد من مجال الرؤية للمراقب.

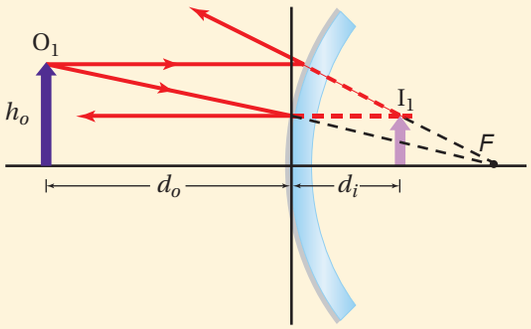
مجال الرؤية قد يبدو أن استعمالات المرايا المحدبة محدودة بسبب الصور المصغّرة التي تكوّنها للأجسام، إلا أنّ هذه الخاصية جعلت للمرايا المحدبة استخدامات عملية؛ فمن خلال تكوينها صورًا مصغّرة للأجسام تؤدي المرايا المحدبة إلى توسيع المساحة، أو مجال الرؤية، التي يراها المراقب، كما في **الشكل 15–5**. كما أن مركز مجال الرؤية مشاهد من أي زاوية للناظر بالنسبة للمحور الرئيس للمرآة، ومن ثم يكون مجال الرؤية واضحًا بمشهدٍ أوسع. لذا تُستخدم المرايا المحدبة على نحوٍ واسع على جوانب السيارات للرؤية الخلفية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مثـــــال 3

الصورة في مرآة المراقبة تُستخدم مرآة محدبة بُعدها البؤري 0.50 m− من أجل الأمن في المستودعات، فإذا كان هناك رافعة شوكية طولها 2.0 m على بُعد 5.0 m من المرآة فما بُعد الصورة المتكوّنة وما طولها؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم مخطّطًا للمرآة والجسم.
- ارسم شعاعين أساسيّين لتحديد موقع الصورة على المخطّط.

المعلوم	المجهول
$h_o = 2.0\ \text{m}$	$d_i = ?$
$d_o = 5.0\ \text{m}$	$h_i = ?$
$f = -0.50\ \text{m}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم معادلة المرايا الكروية، لحساب بُعد الصورة.

عوّض مستخدمًا $f = -0.50\ \text{m}$ ، $d_o = 5.0\ \text{m}$

$$d_i = \frac{fd_o}{d_o - f}$$

$$= \frac{(-0.50\ \text{m})(5.0\ \text{m})}{5.0\ \text{m} + 0.50\ \text{m}}$$

$$= -0.45\ \text{m}\ \text{(صورة خيالية)}$$

استخدم معادلة التكبير، وحل لإيجاد طول الصورة:

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

$$h_i = \frac{-d_i h_0}{d_o}$$

عوّض مستخدمًا $d_i = -0.45\ \text{m}$ ، $h_o = 2.0\ \text{m}$ ، $d_o = 5.0\ \text{m}$

$$= \frac{-(-0.45\ \text{m})(2.0\ \text{m})}{(5.0\ \text{m})}$$

$$= 0.18\ \text{m}\ \text{(الصورة معتدلة ومصغرة)}$$

دليل الرياضيات

فصل المتغير

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** جميع الوحدات بالمتر m.
- **هل للإشارة معنى؟** تدل الإشارة السالبة في بُعد الصورة على أنها خيالية، وتدل الإشارة الموجبة في طول الصورة على أنها معتدلة. وهذا يتفق مع المخطّط.

مسائل تدريبية

14. إذا وضع جسم على بُعد 20.0 cm أمام مرآة محدبة بُعدها البؤري 15.0 cm− فأوجد بُعد الصورة المتكوّنة عن المرآة باستخدام الرسم التخطيطي وفق مقياس رسم، وباستخدام معادلة المرايا.
15. إذا وضع مصباح ضوئي قطره 6.0 cm أمام مرآة محدبة بعدها البؤري 13.0 cm−، وعلى بُعد 60.0 cm منها، فأوجد بُعد صورة المصباح وقطرها.
16. تكوّنت صورة بواسطة مرآة محدبة، فإذا كان بُعد الصورة 24 cm خلف المرآة، وحجمها يساوي $\frac{3}{4}$ حجم الجسم، فما البعد البؤري لهذه المرآة؟
17. تقف فتاة طولها 1.8 m على بُعد 2.4 m من مرآة، فتكونت لها صورة طولها 0.36 m. ما البعد البؤري للمرآة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الجدول 1–5					
خصائص الصور في مرآة مُفردة					
نوع المرآة	f	d_o	d_i	m	الصورة
مستوية	لا يوجد	$d_o > 0$	$\lvert d_i \rvert = d_o$ (سالب)	الحجم نفسه	خيالية
مقعرة	+	$d_o > r$	$r > d_i > f$	مصغرة ومقلوبة	حقيقية
		$r > d_o > f$	$d_i > r$	مكبرة ومقلوبة	حقيقية
		$f > d_o > 0$	$\lvert d_i \rvert > d_o$ (سالب)	مكبرة ومعتدلة	خيالية
محدبة	–	$d_o > 0$	$\lvert f \rvert > \lvert d_i \rvert > 0$ (سالب)	مصغرة ومعتدلة	خيالية

مقارنة المرايا Mirror comparison

كيف تقارن بين الأنواع المختلفة من المرايا؟ يوضح **الجدول 1–5** مقارنة بين خصائص أنظمة مرآة مُفردة (أحادية) لأجسام موضوعة على المحور الرئيس للمرآة. وتلاحظ من الجدول أنّ بُعد الصورة الخيالية دائمًا سالب؛ لأنها تقع دائمًا خلف المرآة. وعندما تكون القيمة المطلقة للتكبير بين صفر و 1 تكون الصورة أصغر من الجسم. والتكبير السالب يعني أن الصورة مقلوبة بالنسبة للجسم. لاحظ أيضًا أن المرآة المستوية والمرآة المحدبة تكوّنان دائمًا صورًا خيالية، في حين تُكوّن المرآة المقعرة صورًا خيالية وصورًا حقيقية. وتعطي المرايا المستوية انعكاسًا واقعيًّا للأشياء، أمّا المرايا المحدبة فتعمل على توسيع مجال الرؤية. وتعمل المرآة المقعرة على تكبير الصورة إذا كان الجسم واقعًا بين المرآة وبعدها البؤري.

5–2 مراجعة

18. **صفات الصورة** إذا كنت تعرف البعد البؤري لمرآة مقعرة فأين يجب أن تضع جسمًا بحيث تكون صورته مكبّرة ومعتدلة بالنسبة للجسم؟ وهل تكون هذه الصورة حقيقية أم خيالية؟
19. **التكبير** وضع جسم على بُعد 20.0 cm أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري 9.0 cm. ما تكبير الصورة؟
20. **بعد الجسم** عند وضع جسم أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري 12.0 cm، تكوّنت له صورة على بُعد 22.3 cm من المرآة، فما بُعد الجسم عن المرآة؟
21. **بعد الصورة وطولها** وضع جسم طوله 3.0 cm على بُعد 22.0 cm من مرآة مقعرة بعدها البؤري 12.0 cm. ارسم مخطّطًا بمقياس رسم مناسب يبين بُعد الصورة وطولها، وتحقق من إجابتك باستخدام معادلتي المرايا والتكبير.
22. **مخطّط الأشعة** وضع جسم طوله 4.0 cm على بُعد 14.0 cm من مرآة محدبة بُعدها البؤري 12.0 cm–. ارسم مخطّطًا بمقياس رسم مناسب يبين بُعد الصورة وطولها، وتحقق من إجابتك باستخدام معادلتي المرايا والتكبير.
23. **نصف قطر التكوّر** وضع جسم طوله 6.0 cm على بُعد 16.4 cm من مرآة محدبة. فإذا كان طول الصورة المتكوّنة 2.8 cm فما نصف قطر تكور المرآة؟
24. **البعد البؤري** استخدمت مرآة محدبة لتكوين صورة حجمها يساوي $\frac{2}{3}$ حجم الجسم على بُعد 12.0 cm خلف المرآة. ما البعد البؤري للمرآة؟
25. **التفكير الناقد** هل يكون الزوغان الكروي للمرآة أقل إذا كان ارتفاعها أكبر من نصف قطر تكورها أم إذا كان ارتفاعها أقل من نصف قطر تكورها؟ وضّح ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مختبر الفيزياء

صور المرايا المقعرة Concave Mirror Images

تعكس المرآة المقعرة الأشعة المتوازية والموازية للمحور الرئيس للمرآة مارّةً ببؤرتها. وتتكوّن أنواع مختلفة من الصور في المرآة المقعرة حسب بُعد الجسم عن المرآة، وتتكوّن الصور الحقيقية على حاجز، في حين لا تتكوّن الصور الخيالية على حاجز. ستستقصي في هذه التجربة أثر تغيير موقع الجسم في موقع الصورة ونوعها.

سؤال التجربة

ما الشروط الواجب توافرها لتكوين صور حقيقية وأخرى خيالية باستخدام مرآة مقعرة؟

الأهداف

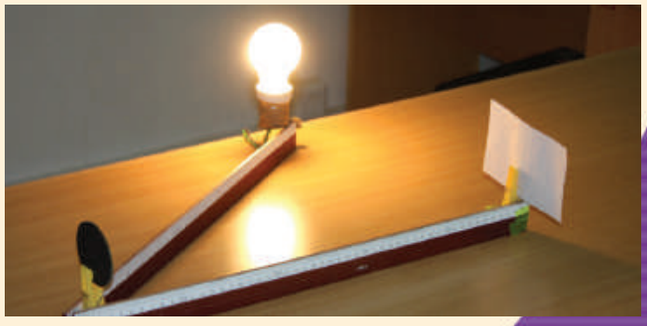
- **تجمع وتنظّم البيانات** الخاصة بموقعي الجسم والصورة.
- **تلاحظ** الصور الحقيقية والخيالية.
- **تلخص** شروط تكوّن الصور الحقيقية والخيالية في المرايا المقعرة.

احتياطات السلامة

- **لا تنظر إلى انعكاس الشمس في المرآة، ولا تستعمل مرآة مقعرة لتجميع ضوء الشمس وتركيزه.**

المواد والأدوات

مرآة مقعرة	مصباح يدوي
حامل شاشة	حامل مرآة
مسطرتان متريتان	شاشة
مصباح W 15 (أو شمعة)	4 دعامات للمساطر المترية



الخطوات

1. حدّد البعد البؤري للمرآة المقعرة المستخدمة باتباع الخطوات الآتية: **تحذير: لا تستخدم أشعة الشمس لتنفيذ هذه الخطوة.** ضع المصباح على مسافة بعيدة من المرآة ثم اعكس ضوءه على الشاشة مع تحريكها ببطء نحو المرآة أو بعيدًا عنها حتى تحصل على أصغر صورة واضحة له، ثم قس المسافة بين الشاشة والمرآة على امتداد المحور الرئيس، وسجّل هذه القيمة على أنها البعد البؤري للمرآة f.
2. ثبّت المسطرتين المتريتين على الدعائم الأربع على شكل حرف V، واجعل صفري المسطرتين عند نقطة التقائهما.
3. ضع المرآة على حاملها عند نقطة التقاء المسطرتين.
4. ضع المصباح (الجسم) على طرف إحدى المسطرتين البعيد عن نقطة التقاء المسطرتين، وضع الشاشة على دعامتها على الطرف البعيد الآخر للمسطرة الثانية.
5. أطفئ أنوار الغرفة.
6. أضئ المصباح. **تحذير: لا تلمس زجاجة المصباح الساخنة.** قس بُعد الجسم d_o، وسجّله في المحاولة 1. وقس طول الجسم h_o، وسجّله أيضًا في المحاولة 1، حيث يمثّل هذا القياس طول المصباح أو طول فتيلته إذا كان المصباح شفافًا.
7. عدّل المرآة أو المسطرتين، كلّما تطلّب الأمر ذلك، بحيث تسقط الأشعة المنعكسة على الشاشة، وحرّك الشاشة ببطء إلى الأمام أو الخلف حتى تتكوّن صورة واضحة على الشاشة، ثم قس بعد الصورة d_i وطولها h_i وسجّلهما في المحاولة 1.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

جدول البيانات				
المحاولة	d_o (cm)	d_i (cm)	h_o (cm)	h_i (cm)
1				
2				
3				
4				
5				

جدول الحسابات					
المحاولة	$\frac{1}{d_o}$ (cm^{-1})	$\frac{1}{d_i}$ (cm^{-1})	$\frac{1}{d_o}+\frac{1}{d_i}$ (cm^{-1})	$f_{\text{محسوب}}$ (cm)	النسبة المئوية للخطأ (%)
1					
2					
3					
4					
5					

8. حـرّك المصباح في اتجاه المـرآة بحيث يصبـح على بُعدٍ يساوي ضعفي البعد البؤري $d_o = 2f$، وسجّل قيمة d_o في المحاولة 2. ثم حرّك الشاشة حتى تتكوّن صورة عليها، ثم قس d_i ، h_i وسجّلهما في المحاولة 2.
9. حرّك المصباح في اتجاه المـرآة بحيث يكون بعده عن المرآة d_o أكبر عدة سنتمترات من البعد البؤري f، وسجّل ذلك في المحاولة 3، ثم حرّك الشاشة حتى تتكوّن صورة عليها، وقس d_i، h_i وسجّلهما في المحاولة 3.
10. حـرّك المصباح بحيث تصبح $d_o = f$، وسـجّل ذلك في المحاولة 4، ثم حرّك الشاشـة إلى الأمـام والخلف محاولاً الحصول على صورة. ماذا تلاحظ؟
11. حـرّك المصباح بحيث تصبح $d_o < f$، وسـجّل ذلك في المحاولة 5، ثم حرّك الشاشـة إلى الأمـام والخلف محاولاً الحصول على صورة. ماذا تلاحظ؟

التحليل

1. **استعمل الأرقام** احسـب $\frac{1}{d_o}$ و $\frac{1}{d_i}$، وسجّلهما في جدول الحسابات.
2. **استعمل الأرقام** احسب مجموع $\frac{1}{d_o}$ و $\frac{1}{d_i}$، وسجّل النتيجة في جدول الحسـابات. ثم احسب مقلوب كل نتيجة من هذه النتائج، وسجّله في جدول الحسابات في عمود $f_{\text{محسوب}}$.
3. **تحليل الخطأ** قـارن البعد البـؤري التجريبي، $f_{\text{محسوب}}$، بالبعد البؤري المقبول بإيجاد النسبة المئوية للخطأ.

$$\text{الخطأ النسبي} = \frac{\text{القيمة المقبولة} - \text{القيمة التجريبية}}{\text{القيمة المقبولة}} \times 100\%$$

$$\%\ \text{error} = \left(\frac{f - f_{\text{محسوب}}}{f}\right) \times 100\%$$

الاستنتاج والتطبيق

1. **صنّف** ما نوع الصورة التي شوهدت في كل محاولة؟
2. **حلّل** ما الشروط التي تطلّبها تكوين صور حقيقية؟
3. **حلّل** ما الشروط التي تطلبها تكوين صور خيالية؟

التوسع في البحث

1. ما الشروط اللّازم تحقيقها لتكون الصورة أكبر من الجسم؟
2. راجع طرائق جمع البيانات، وحدّد مصادر الخطأ، وما الذي يتعين عليك عمله حتى يكون القياس أكثر دقة؟

الفيزياء في الحياة

ما الميزة التي تكمن في استخدام المنظار الفلكي ذي المرآة المقعرة؟

الأنظمة البصرية المتكيفة Adaptive Optical Systems

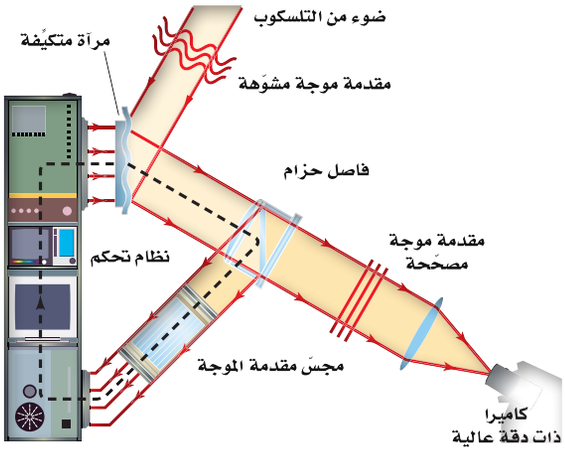
الأجسام الموجودة في الفضاء يصعب ملاحظتها من الأرض لأنها برّاقة ومتلألئة؛ حيث تؤدي حركة الغلاف الجوي والتسخين غير المتساوي له، إلى انكسار الضوء القادم من تلك الأجسام بصورة فوضوية، ويمكن تشبيه ذلك بمحاولة النظر إلى جسم صغير من خلال الجزء السفلي لبرطمان فارغ مصنوع من الزجاج الشفاف في أثناء تدويره.

المرآة المتكيّفة المرنة يعوِّض النظام البصري المتكيّف AOS باستمرار التشوهات الناجمة عن الغلاف الجوي من خلال إزالة اللمعان من صور النجوم؛ حتى يتمكن الفلكيون من مشاهدة صور ثابتة لأبعد الأجسام في الكون المرئي وتصويرها.

ينقل النظام البصري المتكيّف AOS صورة النجم المكبّرة من المقراب إلى مرآة متكيّفة مرنة مصنوعة من زجاج رقيق، وتشد هذه المرآة بواسطة 20 –30 مكبسًا متحركًا؛ إذ تؤدي تلك المكابس إلى دفع سطح المرآة أو سحبه إلى أي شكل مهما كان معقدًا أو صعبًا. ويعمل كل مكبس بواسطة محرك سريع، يتم التحكم فيه آليًّا عن طريق حاسوب. وعندما يصبح سطح المرآة مطابقًا تمامًا للنمط المحدّد في الوقت المحدّد فإنها تُعوِّض عن حركة الحمل الحراري في الغلاف الجوي بين التلسكوب والنجم، وستعكس صورة واضحة نحو المراقب أو الكاميرا.

مجس مقدمة الموجة يُوجَّه مجس مقدمة الموجة نحو نجم واحد خلال التلسكوب للكشف عن التشوه الناجم بفعل الغلاف الجوي في كل لحظة؛ إذ تحتوي هذه الأداة على مجموعة مرتبة من العدسات الرقيقة في صفوف متعدّدة، وتكوّن كل مجموعة عدسات صورة للنجم على شاشة حساسة خلفها، ويمكن أن يُقرأ موقع كل صورة بواسطة الحاسوب.

وإذا كانت الصورة لا تقع خلف مجموعة العدسات الخاصة بها تمامًا فإن برمجيّات الحاسوب تميّز أن موجات النجم الضوئية تكون مشتتّة بفعل الغلاف الجوي. لاحظ أن النجم يمثّل مصدرًا ضوئيًّا نقطيًّا بعيدًا، لذا فإنه يُنتج موجات مستوية.



يلغي النظام البصري المتكيّف التشويه في صورة تيتان – أكبر أقمار زحل

تلسكوب كيك الذي يستخدم النظام البصري المتكيّف | تلسكوب هابل الفضائي | تلسكوب تقليدي

والصورة المشوهة للنجم ناتجة عن موجات ضوء غير مستوية، وهذه الموجات غير المستوية تؤدي إلى إزاحة صور النجم خلف بعض مجموعات العدسات فتختفي الصورة.

وتعالج برمجيّة الحاسوب هذا الخطأ، وتحسب كيف يجب أن تُثنى المرآة لإعادة الصور المختفية جميعها إلى مكانها؛ إذ تنعكس صورة النجم نحو المشاهد (المراقب) ثم تُصحّح، ولذا سترى صورة جميع الأجسام (مثل المجرات والكواكب) القريبة بوضوح. ونستطيع تغيير شكل المرآة المتكيّفة 1000 مرة تقريبًا في الثانية.

التوسع

1. **ابحث** ما الإجراء المتّبع إذا لم يكن هناك نجم مناسب لتحليله أو دراسته باستخدام مجس مقدمة الموجة وذلك في منطقة من الفضاء تحت المراقبة؟
2. **طبّق** ابحث في كيفية استخدام المتكيّف البصري في المستقبل لتصحيح الرؤية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 5
دليل مراجعة الفصل

5–1 الانعكاس عن المرايا المستوية Reflection from Plane Mirrors

المفردات

- انعكاس منتظم
- انعكاس غير منتظم
- مرآة مستوية
- جسم
- صورة
- صورة خيالية

المفاهيم الرئيسة

- وفق قانون الانعكاس، فإن الزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط مع العمود المقام على السطح العاكس عند نقطة السقوط تساوي الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع العمود المقام على السطح عند النقطة نفسها.

$$\theta_r = \theta_i$$

- يُطبَّق قانون الانعكاس على السطوح الخشنة والسطوح المصقولة، حيث يكون العمود المقام على السطح الخشن في اتجاهات كثيرة مختلفة، وهذا يعني أن الأشعة الساقطة المتوازية تنعكس مشتّتة.
- يُنتج السطح المصقول انعكاسًا منتظمًا، في حين يُنتج السطح الخشن انعكاسًا غير منتظم.
- يُسبّب الانعكاس المنتظم تكوّن الصور التي تظهر كأنها خلف المرايا المستوية.
- الصورة التي تكوّنها المرآة المستوية خياليّة دائمًا، وحجمها يساوي حجم الجسم نفسه، ولها اتجاه الجسم نفسه، وبعدها عن المرآة يساوي بُعد الجسم عن المرآة.

$$|d_i| = d_o \quad h_i = h_o$$

5–2 المرايا الكروية Curved Mirrors

المفردات

- المرآة المقعّرة
- المحور الرئيس
- البؤرة
- البعد البؤري
- الصورة الحقيقية
- الزوغان (التشـــوّه) الكروي
- التكبير
- المرآة المحدّبة

المفاهيم الرئيسة

- يمكنك تحديد موقع الصورة التي تكوّنها مرآة كرويّة من خلال رسم شعاعين من نقطة على الجسم إلى المرآة، وتكون نقطة تقاطع الشعاعين المنعكسين أو امتداديهما هي صورة نقطة الجسم.
- تُعبّر معادلة المرايا عن العلاقة بين بُعد الصورة وبُعد الجسم والبعد البؤري للمرآة الكروية:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$$

- تُعبّر النسبة بين بُعد الصورة وبُعد الجسم، أو النسبة بين طول الصورة وطول الجسم عن تكبير الصورة في المرآة.

$$m = \frac{d_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

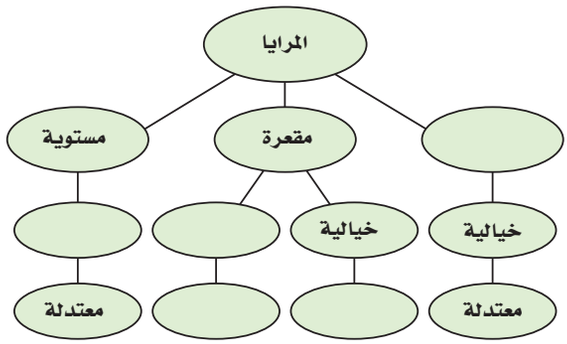
- تُكوِّن المرآة المقعرة صورة حقيقية ومقلوبة عندما يكون بُعد الجسم أكبر من البعد البؤري.
- تُكوّن المرآة المقعرة صورة خيالية ومعتدلة عندما يكون بُعد الجسم أقل من البعد البؤري.
- تُكوّن المرآة المحدبة دائمًا صورة خيالية ومعتدلة ومصغرة.
- تبدو الصور التي تكوّنها المرايا المحدبة أبعد، كما تنتج مجال رؤية واسعًا؛ لأنها تكوّن صورًا مصغرة.
- يمكن استخدام المرايا في مجموعات أو ضمن تراكيب لإنتاج صور بأحجام وأوضاع ومواقع مختلفة حسب الحاجة أو الرغبة. ويُعدّ التلسكوب الاستخدام الأكثر شيوعًا لمثل هذه التراكيب.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 5 التقويم

خريطة المفاهيم

26. أكمل خريطة المفاهيم باستخدام المصطلحات الآتية: محدبة، معتدلة، مقلوبة، حقيقية، خيالية.



إتقان المفاهيم

27. كيف يختلف الانعكاس المنتظم عن الانعكاس غير المنتظم؟(1– 5)

28. ماذا يقصد بالعبارة "العمود المقام على السطح العاكس"؟ (1– 5)

29. أين تقع الصورة التي تكوّنها المرآة المستوية؟ (1– 5)

30. صف خصائص المرآة المستوية؟ (1– 5)

31. يعتقد طالب أن فيلمًا فوتوجرافيًّا حسّاسًا جدًّا يمكنه الكشف عن الصورة الخيالية، فوضع الطالب الفيلم في موقع تكوّن الصورة الخيالية. هل ينجح هذا الإجراء؟ وضّح ذلك. (1– 5)

32. كيف تثبت لشخص أن صورة ما هي صورة حقيقية؟ (1– 5)

33. ما الخلل أو العيب الموجود في جميع المرايا الكروية المقعرة؟ وما سببه؟ (2– 5)

34. ما العلاقة بين مركز تكور المرآة المقعرة وبعدها البؤري؟ (2– 5)

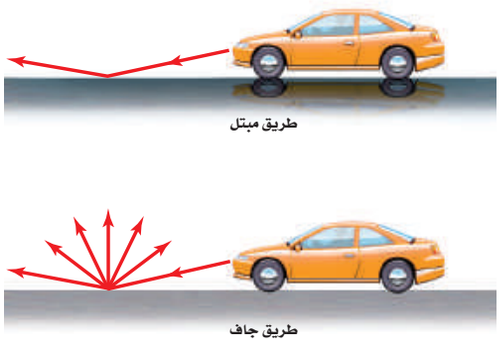
35. إذا عرفت بُعد الصورة وبُعد الجسم عن مرآة كروية، فكيف يمكنك تحديد تكبير هذه المرآة؟ (2– 5)

36. لماذا تستخدم المرايا المحدّبة على أنها مرايا مخصّصة للنظر إلى الخلف؟ (2– 5)

37. لماذا يستحيل تكوين صور حقيقية بالمرآة المحدبة؟ (2– 5)

تطبيق المفاهيم

38. **الطريق المبتلّة** تعكس الطرق الجافة الضوء بتشتّت أكبر من الطرق المبتلّة. بالاعتماد على **الشكل 16–5**، اشرح لماذا تبدو الطريق المبتلّة أكثر سوادًا من الطريق الجافة بالنسبة للسائق؟



الشكل 16–5

39. **صفحات الكتاب** لماذا يُفضل أن تكون صفحات الكتاب خشنة على أن تكون ملساء ومصقولة؟

40. اذكر الصفات الفيزيائية للصورة التي تكوّنها مرآة مقعرة إذا كان الجسم موضوعًا عند مركز تكوّرها، وحدّد موقعها.

41. إذا وضع جسم خلف مركز تكور مرآة مقعرة فحدّد موقع الصورة، واذكر صفاتها الفيزيائية.

42. **المنظار الفلكي (التلسكوب)** إذا احتجت إلى مرآة مقعرة كبيرة لصنع تلسكوب يكوّن صورًا ذات جودة عالية فهل تستخدم مرآة كروية أم مرآة قطع مكافئ؟ وضّح ذلك.

43. ما الشروط اللازم توافرها لتكوين صورة حقيقية باستخدام مرآة كروية مقعرة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 5

44. ما الشروط الـلازم توافرها لتكوين صورة مصغرة بمرآة كروية محدبة أو مقعرة؟

45. صف خصائص الصـورة التي كوّنتها المرآة المحدبة الموضّحة في **الشكل 17–5**.

الشكل 17–5

46. المرايا المستخدمة للرؤية الخلفية يُكتب على مرايا السيارة الجانبية المستخدمة في النظر إلى الخلف التحذير الآتي: "الأجسام في المرآة أقرب مما تبدو عليه". ما نوع هذه المرايا؟ وبمَ تمتاز عن غيرها؟

إتقان حل المسائل

5–1 الانعكاس عن المرايا المستوية

47. سقط شعاع ضوئي بزاوية 38° مع العمود المقام عند نقطة السقوط. ما الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع العمود المقام؟

48. إذا سقط شعاع ضوئي بزاوية 53° مع سطح المرآة؛ فأوجد مقدار:

a. زاوية الانعكاس.

b. الزاوية بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس.

49. ارسم مخطّط أشعة لمرآة مستوية تبين فيه أنه إذا أردت رؤية نفسك من قدميك حتى قمة رأسك فيجب أن يكون طول المرآة المستخدمة على الأقل يساوي نصف طولك.

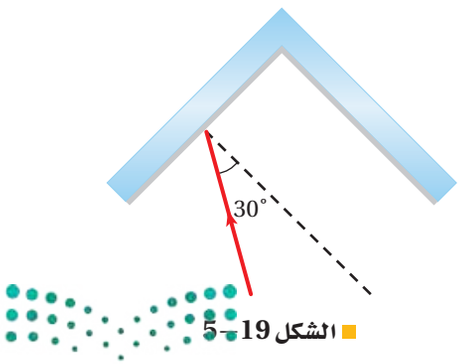
50. الصورة في المرآة أراد طالب أن يلتقط صورة لصورته في مرآة مستوية كما في **الشكل 18–5**. فإذا كانت الكاميرا على بعد 1.2 m أمام المرآة، فعلى أي بعد يجب أن يركز عدسة الكاميرا لالتقاط الصورة؟

الشكل 18–5

51. يبين **الشكل 19–5** مرآتين مستويتين متجاورتين بينهما زاوية 90°، فإذا سقط شعاع ضوئي على إحداهما بزاوية سقوط 30°، فأجب عما يأتي:

a. ما زاوية انعكاس الشعاع عن المرآة الأخرى؟

b. البريسكوب العاكس هو أداة تعكس الأشعة الضوئية في اتجاه معاكس وموازٍ لاتجاه الأشعة الضوئية الساقطة. ارسم مخطّطًا يبين زاوية السقوط على إحدى المرآتين بحيث يعمل نظام المرآتين عمل عاكس.



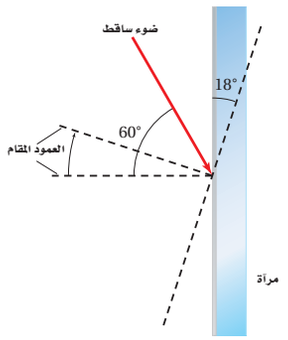
الشكل 19–5

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 5

52. وضِعت مرآتان مستويتان بحيث كانت الزاوية بينهما 45°. فإذا سقط شعاع ضوئي على إحداهما بزاوية سقوط 30° وانعكس عن المرآة الثانية، فاحسب زاوية انعكاسه عن المرآة الثانية.

53. سقط شعاع ضوئي على مرآة مستوية بزاوية سقوط 60°. فإذا أديرت المرآة بزاوية 18° في اتجاه حركة عقارب الساعة كما في **الشكل 20–5**، فما الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع المرآة؟

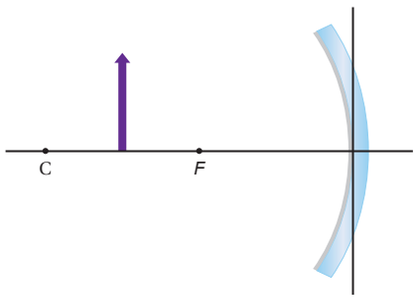


الشكل 20–5

2–5 المرايا الكروية

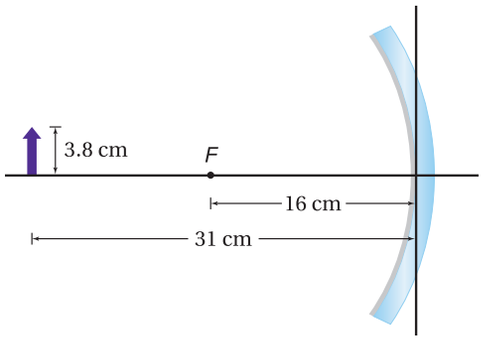
54. **بيت الألعاب** يقف طالب بالقرب من مرآة محدبة في بيت الألعاب، فلاحظ أن صورته تظهر بطول 0.60 m. فإذا كان تكبير المرآة $\frac{1}{3}$ فما طول الطالب؟

55. صف الصورة المتكوّنة للجسم في **الشكل 21–5**، مبينًا هل هي حقيقية أم خيالية، مقلوبة أم معتدلة، وهل هي أقصر من الجسم أم أطول منه؟



الشكل 21–5

56. احسب بُعد الصورة وارتفاعها للجسم الموضح في **الشكل 22–5**.



الشكل 22–5

57. **صورة نجم** جُمع الضوء القادم من نجم بواسطة مرآة مقعرة. ما بُعد صورة النجم عن المرآة إذا كان نصف قطر تكوّر المرآة 150 cm؟

58. **المرآة المستخدمة للرؤية الخلفية** على أيّ بُعد تظهر صورة سيارة خلف مرآة محدبة بعدها البؤري 6.0 m–، عندما تكون السيارة على بُعد 10.0 m من المرآة؟

59. **المرآة المستخدمة لرؤية الأسنان** يستخدم طبيب أسنان مرآة مقعرة صغيرة نصف قطرها 40 mm لتحديد نخر في إحدى أسنان مريض، فإذا كانت المرآة على بُعد 16 mm من السن، فما تكبير الصورة الناتجة؟

60. وضع جسم طوله 3 cm على بُعد 22.4 cm من مرآة مقعرة، فإذا كان نصف قطر تكوّر المرآة 34.0 cm، فما بُعد الصورة عن المرآة؟ وما طولها؟

61. **مرآة تاجر مجوهرات** يفحص تاجر مجوهرات ساعة قطرها 3.0 cm بوضعها على بُعد 8.0 cm من مرآة مقعرة بعدها البؤري 12 cm.

a. على أي بُعد ستظهر صورة الساعة؟

b. ما قطر الصورة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 5

62. تسقط أشعة الشمس على مرآة مقعرة وتكوّن صورة على بُعد 3 cm من المرآة. فإذا وضع جسم طوله 24 mm على بُعد 12 cm من المرآة:

a. فارسم مخطّط الأشعة لتحديد موضع الصورة.

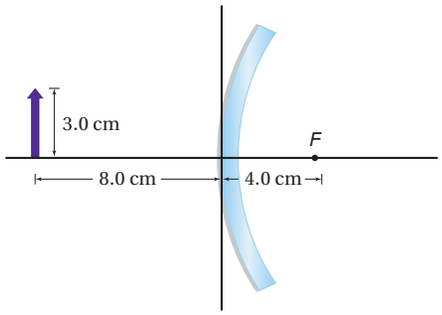
b. استخدم معادلة المرايا لحساب بُعد الصورة.

c. ما طول الصورة؟

مراجعة عامة

63. سقط شعاع ضوئي على مرآة مستوية بزاوية 28°، فإذا حُرّك مصدر الضوء بحيث زادت زاوية السقوط بمقدار 34°، فما مقدار زاوية الانعكاس الجديدة؟

64. انقل الشكل 23–5 إلى دفترك، ثم ارسم أشعة على الشكل لتحديد طول الصورة المتكوّنة وموقعها.



الشكل 23–5

65. وضع جسم على بُعد 4.4 cm أمام مرآة مقعرة، نصف قطر تكوّرها 24.0 cm. أوجد بُعد الصورة باستخدام معادلة المرايا.

66. وضع جسم طوله 2.4 cm على بُعد 30.0 cm أمام مرآة مقعرة نصف قطر تكوّرها 26.0 cm. احسب مقدار:

a. بُعد الصورة المتكوّنة.

b. طول الصورة المتكوّنة.

67. تُستخدم مرآة محدبة لتكوين صورة حجمها نصف حجم الجسم على بُعد 36 cm خلف المرآة. ما البعد البؤري للمرآة؟

68. ما نصف قطر تكوّر مرآة مقعرة تُكبِّر صورة جسم +3.2 مرة عندما يوضع على بُعد 20.0 cm منها؟

69. **مرآة المراقبة** تستخدم المحال الكبيرة مرايا المراقبة في الممرات، وكل مرآة لها نصف قطر تكوّر مقداره 3.8 m. احسب مقدار:

a. بُعد الصورة المتكوِّنة لمشتري يقف أمام المرآة على بُعد 6.5 m منها.

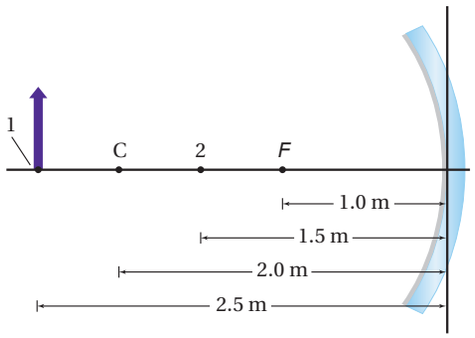
b. طول صورة المشتري طوله 1.7 m.

70. **مرآة الفحص والمعاينة** يريد مراقب خط إنتاج في مصنع تركيب مرآة تكوّن صورًا معتدلة تكبيرها 7.5 مرات عندما توضع على بُعد 14.0 mm من طرف الآلة.

a. ما نوع المرآة التي يحتاج إليها المراقب لعمله؟

b. ما نصف قطر تكوّر المرآة؟

71. تحرّك الجسم في **الشكل 24–5** من الموقع 1 إلى الموقع 2. انقل الشكل إلى دفترك، ثم ارسم أشعة تبين كيف تتغير الصورة.



الشكل 24–5

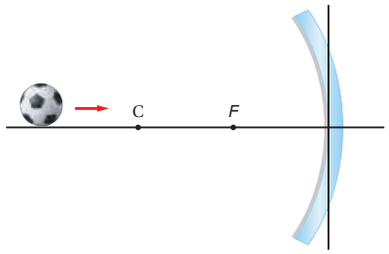
72. وضع جسم طوله 4.0 cm على بُعد 12.0 cm من مرآة محدبة. فإذا كان طول صورة الجسم 2.0 cm وبعدها 6.0 cm–، فما البعد البؤري للمرآة؟ ارسم مخطّط الأشعة للإجابة عن السؤال، واستخدم معادلتي المرايا والتكبير للتحقق من إجابتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 5

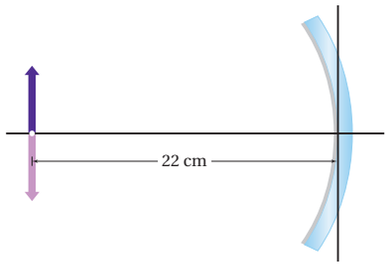
التفكير الناقد

73. تطبيق المفاهيم تتدحرج الكرة في **الشكل 25–5** ببطء إلى اليمين نحو مرآة مقعرة. صف كيف يتغيّر حجم صورة الكرة في أثناء تدحرجها نحو المرآة.



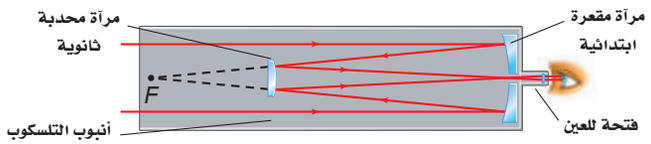
الشكل 25–5

74. التحليل والاستنتاج وضع جسم على بُعد 22 cm من مرآة مقعرة، كما في **الشكل 26–5**. ما البعد البؤري للمرآة؟



الشكل 26–5

75. التحليل والاستنتاج يستخدم ترتيب بصري في بعض التلسكوبات يُسمى (تركيز كاسيجرين) كما في **الشكل 27–5**. ويستخدم هذا التلسكوب مرآة محدبة ثانوية توضع بين المرآة الابتدائية وبؤرتها. أجب عما يأتي:



الشكل 27–5

a. تكوِّن المرآة المحدبة المفردة صورًا خيالية فقط. اشرح كيف تكوّن هذه المرآة في هذا النظام من المرايا صورًا حقيقية؟

b. هل الصور المتكوّنة في هذا النظام معتدلة أم مقلوبة؟ وما علاقة ذلك بعدد مرات تقاطع الأشعة؟

الكتابة في الفيزياء

76. تعكس المرايا الأشعة لأنها مطلية بالفلزات. ابحث في واحد مما يأتي، واكتب ملخصًا حوله:

a. الأنواع المختلفة للطلاء المستخدم، ومزايا كل نوع وسلبياته.

b. صقل الألومنيوم بدرجة دقيقة من النعومة، بحيث لا تحتاج إلى زجاج لعمل مرآة.

77. ابحث في طريقة صقل وتلميع وفحص المرايا المستخدمة في التلسكوب العاكس. ويمكنك الكتابة في الطرائق التي يستخدمها الفلكي المبتدئ الذي يصنع تلسكوبه الخاص بيده، أو الطريقة التي تُستخدم في المختبر الوطني، وأعدّ تقريرًا في ورقة واحدة تصف فيه الطريقة، ثم اعرضه على طلاب الصف.

مراجعة تراكمية

78. مرآة التجميل وضعت شمعة طولها 3.00 cm على بُعد 6.00 cm أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري 14.0 cm. أوجد موقع صورة الشمعة وطولها بواسطة ما يأتي: (الفصل 5)

a. رسم مخطّط الأشعة بمقياس رسم.

b. معادلتي المرايا والتكبير.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. أين يجب وضع جسم بحيث تكوِّن له مرآة مقعرة صورة مصغّرة؟

(A) في بؤرة المرآة
(B) بين البؤرة والمرآة
(C) بين البؤرة ومركز التكوّر
(D) خلف مركز التكوّر

2. ما البعد البؤري لمرآة مقعرة، إذا كبّرت جسمًا موضوعًا على بعد 30 cm منها بمقدار 3.2+ مرة؟

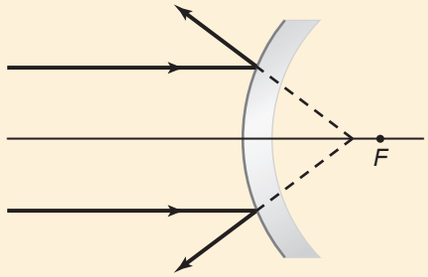
(A) 23 cm (C) 44 cm
(B) 32 cm (D) 46 cm

3. وضع جسم على بُعد 21 cm أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري 14 cm. ما بُعد الصورة؟

(A) −42 cm (C) 8.4 cm
(B) −8.4 cm (D) 42 cm

4. لا تتجمع امتدادات الأشعة الضوئية بدقة في البؤرة في الشكل أدناه. وهذه المشكلة تحدث في:

(A) المرايا الكروية جميعها
(B) مرايا القطع المكافئ جميعها
(C) المرايا الكروية المعيبة فقط
(D) مرايا القطع المكافئ المعيبة فقط



5. تكوّنت صورة مقلوبة طولها 8.5 cm أمام مرآة مقعرة على بُعد 34.5 cm منها، فإذا كان البعد البؤري للمرآة 24.0 cm، فما طول الجسم الذي مثّلته هذه الصورة؟

(A) 2.3 cm (C) 14 cm
(B) 3.5 cm (D) 19 cm

6. كوّنت مرآة مقعرة بعدها البؤري 16 cm صورة على بُعد 38.6 cm منها. ما بُعد الجسم عن المرآة؟

(A) 2.4 cm (C) 22.6 cm
(B) 11.3 cm (D) 27.3 cm

7. كوّنت مرآة محدبة صورة لجسم حجمها $\frac{3}{4}$ حجم الجسم وعلى بُعد 8.4 cm خلف المرآة. ما البعد البؤري للمرآة؟

(A) −34 cm (C) −6.3 cm
(B) −11 cm (D) −4.8 cm

8. وُضعت كأس على بُعد 17 cm من مرآة مقعرة، فتكوّنت لها صورة على بُعد 34 cm أمام المرآة. ما تكبير الصورة؟ وما اتجاهها؟

(A) 0.5، (مقلوبة) (C) 2.0، (مقلوبة)
(B) 0.5، (معتدلة) (D) 2.0، (معتدلة)

الأسئلة الممتدة

9. وضع جسم طوله 5.0 cm على بُعد 20.0 cm من مرآة محدّبة بعدها البؤري 14.0 cm−. ارسم مخطّط الأشعة بمقياس رسم مناسب لتبيّن طول الصورة.

إرشاد

إجاباتك أفضل من إجابات الاختبار

عندما تعرف طريقة حل المسألة فحلّها قبل أن تنظر إلى خيارات الإجابة، ويكون هناك على الأغلب أكثر من خيار يبدو جيدًا، لذا أجرِ الحسابات أولاً، وزوّد نفسك بالإجابة قبل النظر إلى الخيارات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 6

الانكسار والعدسات

Refraction and Lenses

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تَعرُّف كيفية تغير اتجاه الضوء وسرعته عندما ينتقل خلال مواد مختلفة.
- مقارنة خصائص العدسات بالصور التي تكوّنها.
- تَعرُّف التطبيقات المختلفة للعدسات، وكيف تمكّنك عدسات عينيك من الرؤية.

الأهمية

تقوم عملية الرؤية وتكوُّن صور للأشياء على أساس ظاهرة الانكسار؛ حيث ينتقل بعض الضوء في خط مستقيم من الجسم إلى عينيك، وينعكس جزء منه قبل أن يصل إليك، بينما يسلك جزء آخر منه مسارًا يبدو منحنيًا؛ ليكوّن صورة له على الشبكية.

الأشجار المتموجة إذا غصت تحت الماء فستلاحظ أن الأشياء هناك تبدو طبيعية، في حين تبدو الأجسام التي فوق الماء مشوّهة بفعل الموجات التي تعلو سطحه.

فكّر ◄

ما الذي يجعل صور الأشجار متموّجة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

كيف يبدو قلم رصاصٍ موضوع في سائل عند النظر إليه جانبيًّا؟

سؤال التجربة هل يبدو قلم الرصاص مختلفًا عندما يشاهد خلال الماء، أو الزيت، أو شراب الذرة؟

الخطوات

1. املأ دورقًا سعته 400 ml بالماء.
2. املأ دورقًا آخر سعته 400 ml بشراب الذرة إلى منتصفه، والنصف الآخر بالماء (اسكب ببطء لتجنب امتزاج السائلين).
3. املأ دورقًا ثالثًا سعته 400 ml بالماء إلى منتصفه، والنصف الآخر بزيت طهي (اسكب ببطء لتجنب امتزاج السائلين).
4. ضع قلم رصاصٍ في كل دورق بصورة مائلة.
5. لاحظ كل قلمٍ من جانب الدورق مع تدويره ببطء.
6. أنشئ جدول بيانات لتتمكن من تسجيل وصفٍ حول شكل قلم الرصاص في كل دورق.

التحليل

أي الدوارق يبدو فيها القلم كأنه مكسور؟ وهل مقادير الكسر متساوية في الدوارق جميعها؟ ومتى لا يظهر القلم مكسورًا؟ وضّح ذلك.

التفكير الناقد ضع فرضية حول متى تبدو الأجسام الصلبة كأنها مكسورة، ومتى لا تبدو كذلك، وتأكد من أن تتضمن تفسيرًا لمقدار الانكسار.

6–1 انكسار الضوء Refraction of Light

الأهداف

- **تحل** مسائل تتضمن مفهوم الانكسار في السطوح المستوية والعدسات.
- **توضّح** مفهوم الانعكاس الكلي الداخلي.
- **توضّح** بعض التطبيقات البصرية المبنية على انكسار الضوء.

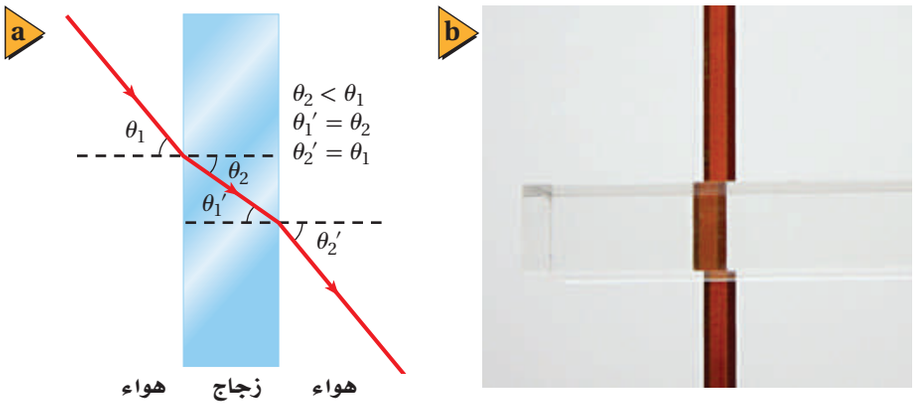
المفردات

معامل الانكسار
قانون سنل في الانكسار
الزاوية الحرجة
الانعكاس الكلي الداخلي
التفريق (التحليل)

يمكنك رؤية انعكاس ضوء الشمس عن الماء عند النظر إلى سطح الماء في بركة سباحة في يوم صيفي. كما يمكنك رؤية الأجسام الموجودة داخل البركة؛ لأن جزءًا من ضوء الشمس يمر إلى داخل الماء، وينعكس عن الأجسام. وعندما تمعن النظر في الأجسام الموجودة داخل الماء تلاحظ أنها تبدو مشوّهة. فمثلاً، تبدو الأشياء التي تحت سطح الماء أقرب من بعدها الحقيقي، كما تبدو قَدَمَا الشخص الواقف في البركة أنهما تتحركان إلى الخلف وإلى الأمام، وتبدو الخطوط التي في قاع البركة تتمايل مع حركة الماء. وتحدث هذه التأثيرات لأن الضوء يغيّر اتجاهه عند مروره من الماء إلى الهواء أو العكس.

ينحني مسار الضوء، كما تعلمت سابقًا، عند عبوره الحد الفاصل بين وسطين بسبب الانكسار. ويعتمد مقدار الانكسار على خصائص الوسطين الشفافين، وعلى الزاوية التي يسقط بها الضوء على الحد الفاصل. ويتحرك الحد الفاصل بين الهواء والماء إلى أعلى وإلى أسفل، ويميل إلى الخلف والأمام أيضًا، عند انتقال الموجات على سطح الماء. وينحرف مسار الضوء الخارج من الماء مع حركة الحد الفاصل، مما يؤدي إلى ظهور الأجسام متموجة تحت سطح الماء.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 1–6 ينحرف الضوء مقتربًا من العمود المقام على نقطة السقوط عند انتقاله من الهواء إلى الزجاج، وينحرف مبتعدًا عن العمود المقام عند انتقاله من الزجاج إلى الهواء (a). انحراف الضوء يجعل الأجسام وكأنها مزاحة عن مواقعها الحقيقية (b).

قانون سنل في الانكسار Snell's Law of Refraction

ما الذي يحدث عندما تُسقط حزمة ضوء بشكل مائل على سطح قطعة زجاج؟ سينحرف الضوء عن مساره عند مروره بالحد الفاصل بين الهواء والزجاج كما في **الشكل 1–6**. ويُسمى انحراف الضوء الانكسار، وقد درس هذه الظاهرة رينيه ديكارت وويلبرورد سنل في زمن كبلر وجاليليو.

دلالة الألوان

يكون وسط الانكسار والعدسات باللون **الأزرق الفاتح**.

ولمناقشة نتائج هذه الدراسات ينبغي عليك أن تتعرّف زاويتين هما: زاوية السقوط، θ_1، وهي الزاوية المحصورة بين العمود المقام واتجاه الشعاع الساقط. وزاوية الانكسار، θ_2، وهي الزاوية المحصورة بين العمود المقام واتجاه الشعاع المنكسر. وقد وجد سنل في عام 1621 أنه عند مرور الضوء من الهواء إلى وسط شفاف فإن جيب كل زاوية يرتبط بالمعادلة $n = \sin\theta_1 / \sin\theta_2$؛ حيث تُمثِّل n مقدارًا ثابتًا يعتمد على المادة، ولا يعتمد على الزوايا، يُسمّى **معامل الانكسار**. ويبين **الجدول 1–6** معاملات انكسار بعض المواد. ويمكن تعميم معادلة سنل عندما يمر الضوء خلال حدٍّ فاصلٍ بين أي مادتين شفافتين مختلفتين. وتُعرف هذه المعادلة العامة **بقانون سنل في الانكسار**.

الجدول 1-6

معاملات الانكسار للضوء الأصفر (في الفراغ $\lambda = 589\ nm$)

الوسط	n
الفراغ	1.00
الهواء	1.0003
الماء	1.33
الإيثانول	1.36
زجاج العدسات	1.52
الكوارتز	1.54
الزجاج الصوّاني	1.62
الألماس	2.42

قانون سنل في الانكسار $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$

حاصل ضرب معامل انكسار الوسط الأول في جيب زاوية السقوط يساوي حاصل ضرب معامل انكسار الوسط الثاني في جيب زاوية الانكسار.

يبين **الشكل 1–6** كيفية تطبيق قانون سنل عندما ينتقل الضوء خلال قطعة زجاج سطوحها متوازية، مثل زجاج النافذة، حيث ينكسر الضوء مرتين؛ مرة عند دخوله إلى الزجاج، ومرة أخرى عند خروجه منه. وعندما ينتقل الضوء من الهواء إلى الزجاج فإنه ينتقل من مادة ذات معامل انكسار قليل إلى مادة معامل انكسارها أكبر؛ أيْ أن $n_2 > n_1$. ولكي تكون المعادلة متساوية الطرفين فإنه يجب أن يكون $\sin\theta_2 > \sin\theta_1$؛ أيْ أن حزمة الضوء تنحرف مقتربة من العمود المقام على السطح.

ويحدث العكس عندما ينتقل الضوء من الزجاج إلى الهواء، حيث يمر من مادة ذات معامل انكسار كبير إلى مادة معامل انكسارها أقل؛ أيْ أن $n_1 > n_2$. وفي هذه الحالة تكون $\sin\theta_2' > \sin\theta_1'$؛ أيْ أن الضوء ينحرف مبتعدًا عن العمود المقام. لاحظ أيضًا أن اتجاه الشعاع عند خروجه من الزجاج هو نفسه كما كان قبل أن يسقط على الزجاج، ولكنه انزاح عن موضعه الأصلي.

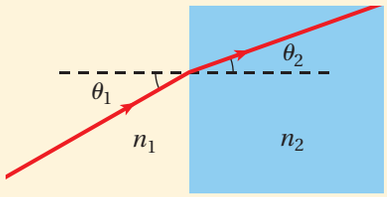
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مثـــــال 1

زاوية الانكسار تسقط حزمة ضوء من الهواء على قطعة من زجاج العدسات بزاوية 30.0°. ما مقدار زاوية الانكسار؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الحد الفاصل بين الهواء وزجاج العدسات.
- ارسم مخطّط الأشعة.



المعلوم

$\theta_1 = 30.0^\circ$ ،$n_1 = 1.00$ ،$n_2 = 1.52$

المجهول

$\theta_2 = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم قانون سنل لإيجاد زاوية الانكسار:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

$$\sin\theta_2 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)\sin\theta_1$$

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\left(\frac{n_1}{n_2}\right)\sin\theta_1\right)$$

عوّض مستخدمًا $\theta_1 = 30.0^\circ$ ،$n_2 = 1.52$ ،$n_1 = 1.00$

$$= \sin^{-1}\left(\left(\frac{1.00}{1.52}\right)\sin 30.0^\circ\right) = 19.2^\circ$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يُعبَّر عن الزوايا بالدرجات.
- **هل الجواب منطقي؟** إن معامل الانكسار n_2 أكبر من معامل الانكسار n_1، لذا، تكون زاوية الانكسار θ_2 أقل من زاوية السقوط θ_1.

مسائل تدريبية

1. أُسقطت حزمة ليزر في الهواء على إيثانول بزاوية 37.0°. ما مقدار زاوية الانكسار؟
2. ينتقل ضوء في الهواء إلى داخل الماء بزاوية 30.0° بالنسبة للعمود المقام. أوجد مقدار زاوية الانكسار.
3. غمر قالب من مادة غير معروفة في الماء. أُســقط عليه ضوء بزاوية 31°، فكانت زاوية انكســاره في القالب 27°. ما معامل الانكسار للمادة المصنوع منها القالب؟

الربــط مع الفلــك

يرجع اللون الأحمر للقمر خلال مرحلة خســوفه إلى الانكســار؛ إذ يحدث خسوف القمر عندما تحجب الأرض ضوء الشــمس عن القمر. ونتيجة لهــذا، قد تتوقع أن يصبح القمر معتمًا تمامًا، ولكن ما يحدث هو أن الضوء ينكسر خلال الغلاف الجوي للأرض، وينحرف حول الأرض في اتجاه القمر. ولأن الغلاف الجوي للأرض يشــتّت معظم الضوء الأزرق والأخضر لذا ينــير اللون الأحمر أغلب القمر. وبما أن القمــر يعكس معظم ألوان الضوء بالدرجة نفسها فإنه يعكس الضوء الأحمر إلى الأرض، فيظهر القمر باللون الأحمر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

النموذج الموجي في الانكسار Wave Model of Refraction

طُـوّر النموذج الموجي للضوء بعـد 200 عام تقريبًا من نشر سـنل لبحثه. وتم التوصل بعد 300 عام من عمل سـنل إلى فهـم أن الضوء يتفاعل مع الـذرات عند انتقاله خلال الوسـط، كأن يتحـرك بسرعـة أقل ممـا هو في الفـراغ. ويمكـن كتابة علاقـة الموجة $\lambda_o = c/f$ التي درستها سـابقًا التي تخص انتقال موجة الضوء في الفراغ على النحو الآتي: $\lambda = v/f$، حيث تمثل v سرعة الضوء في أي وسط، و تمثل λ الطول الموجي. ولا يتغير تردد الضـوء f عندما يعبر الحد الفاصل؛ أيْ أن عدد الاهتـزازات لكل ثانية التي تصل الحد الفاصل هي نفسـها التي تخرج من الحد الفاصل وتنتقل خلال وسط الانكسار. لذا يجب أن يقـلّ الطول الموجي للضوء λ عندما تقل سرعة الضوء؛ فيكون الطول الموجي للضوء في أي وسط أقصر من الطول الموجي له في الفراغ.

ما الذي يحدث عندما ينتقل الضوء من وسـط يتحرك فيه بسرعة أكبر إلى وسـط يتحرك فيه بسرعة أقل كما في **الشـكل 2a–6**؟ للإجابة عن ذلك انظر إلى **الشـكل 2b–6** الذي يبيّن حزمة ضوئية مكوّنة من سلسلة متوازية من مقدمات الموجات المستقيمة، حيث تمثّل كل مقدمة موجـة قمة الموجة وتكون متعامدة مع اتجاه الحزمة الضوئية التي تسـقط على السـطح بالزاوية θ_1. وبما أن مقدمات الموجة تعامد اتجـاه الحزمة، فإن $\angle$ PQR في المثلث PQR تكون زاوية قائمة، و $\angle$ QRP تساوي θ_1 . لذا فإن $\sin\theta_1$ تساوي المسافة بين P و Q مقسومة على المسافة بين P و R.

$$\sin\theta_1 = \frac{\overline{PQ}}{\overline{PR}}$$

وترتبط زاوية الانكسار θ_2 بالطريقة نفسها مع المثلث PSR، وفي هذه الحالة:

$$\sin\theta_2 = \frac{\overline{RS}}{\overline{PR}}$$

ومن خلال حساب نسبة الجيب للمثلثين فإن $\overline{PR}$ تُلغى وتبقى المعادلة الآتية:

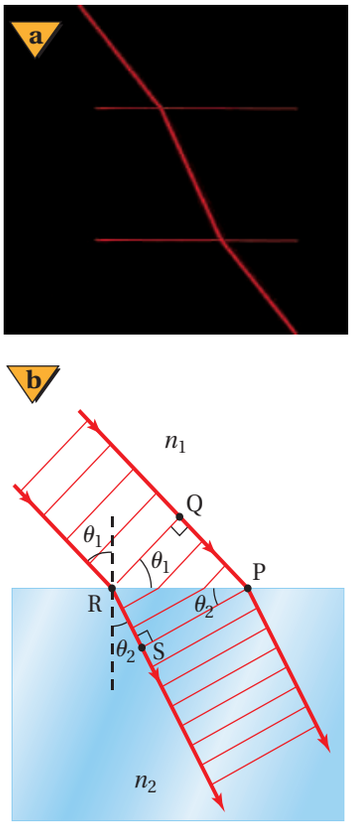
$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{\overline{RS}}{\overline{PQ}}$$

رُسم **الشكل 2b–6** بحيث كانت المسافة بين P و Q مساوية لثلاثة أطوال موجية للضوء في الوسـط 1؛ أي أن $\overline{PQ} = 3\lambda_1$. وبالطريقة نفسـها فإن $\overline{RS} = 3\lambda_2$. وبتعويض هاتين القيمتين في المعادلة السابقة واختصار العامل المشترك، الرقم 3، تنتج معادلة تربط زاويتي السقوط والانكسار بالطول الموجي للضوء في كل وسط.

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{3\lambda_2}{3\lambda_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

وبالتعويـض عن الطول الموجي بـ $\lambda = v/f$ في المعادلة أعلاه وإلغاء العامل المشـترك f، يُمكننا إعادة كتابة المعادلة على الشكل الآتي:

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1}$$



الشكل 2–6 ينتقل الضوء من الهواء إلى الزجاج ثم إلى الهواء مرة أخرى (**a**). يتباطأ الضوء وينحرف مقتربًا من العمود المقام عندما يدخل منطقة معامل انكسارها أكبر (**b**).

كما يمكن أيضًا كتابة قانون سنل في صورة نسبة لمعاملي انكسار الوسطين.

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}=\frac{n_1}{n_2}$$

معامل الانكسار باستخدام خاصية التعدي للمساواة، فإن المعادلتين السابقتين تؤديان إلى المعادلة الآتية:

$$\frac{n_1}{n_2}=\frac{v_2}{v_1}$$

وبالنسبة للفراغ فإن $n=1$ و $v=c$. فإذا كان أحد الوسطين فراغًا فإن المعادلة تبسّط إلى معادلة تربط معامل انكسار الوسط بسرعة الضوء فيه.

معامل الانكسار $n=\frac{c}{v}$

معامل انكسار الوسط يساوي سرعة الضوء في الفراغ مقسومة على سرعة الضوء في الوسط.

ويستخدم هذا التعريف لإيجاد الطول الموجي للضوء في وسط ما مقارنة بالطول الموجي للضوء في الفراغ، حيث يعبَّر عن سرعة الضوء في وسط معامل انكساره n بالعلاقة $v=c/n$، وعن الطول الموجي للضوء في الفراغ بـ $\lambda_0=c/f$. وبحل المعادلة $\lambda=v/f$ بالنسبة للتردد، وتعويض كل من المعادلتين $f=c/\lambda_0$ و $v=c/n$ فيها، تجد أن $\lambda=(c/n)/(c/\lambda_0)=\lambda_0/n$، لذا يكون الطول الموجي للضوء في الوسط أقل من الطول الموجي له في الفراغ.

الانعكاس الكلي الداخلي Total Internal Reflection

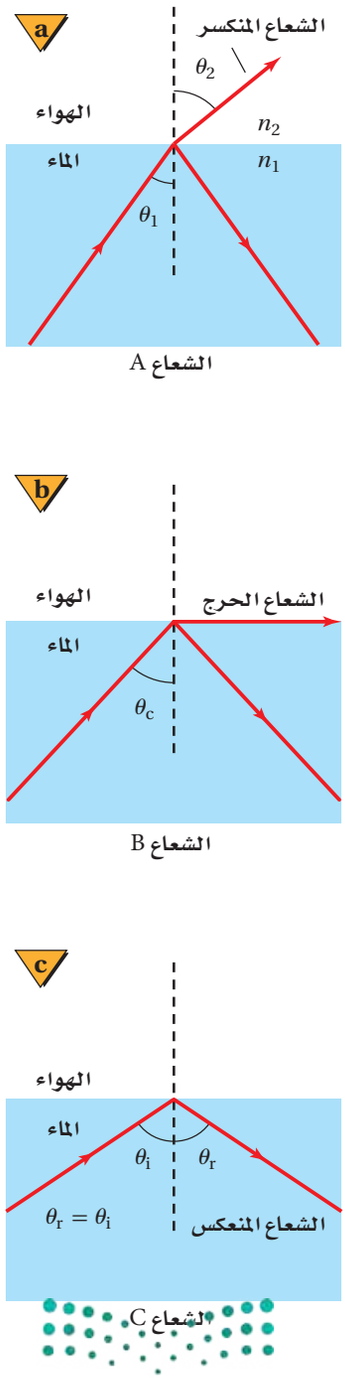
عندما ينتقل الضوء إلى وسط معامل انكساره أقل تكون زاوية الانكسار أكبر من زاوية السقوط، كما يبين **الشكل 6–3a**. وهذا يؤدي إلى ظاهرة طبيعية؛ إذ إنه مع زيادة زاوية السقوط تزداد زاوية الانكسار، إلا أنه عند زاوية سقوط معينة تُسمى **الزاوية الحرجة** θ_c، ينكسر الشعاع على امتداد الحد الفاصل بين الوسطين، وتكون زاوية الانكسار 90.0°، كما يبين **الشكل 6–3b**.

عندما يسقط ضوء على حد فاصل شفاف فإن معظم الضوء ينفذ، بينما ينعكس جزء منه، في حين يمتص الوسط جزءًا آخر منه. ويحدث **الانعكاس الكلي الداخلي** عندما ينتقل الضوء من وسط معامل انكساره كبير إلى وسط معامل انكساره أقل، ويسقط الضوء على الحد الفاصل بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، إن أهم ما يميز الانعكاس الكلي الداخلي هو أن الضوء ينعكس بصورة كاملة إلى الوسط الذي معامل انكساره أكبر، كما يبين **الشكل 6–3c**. وتستطيع استخدام قانون سنل لإيجاد معادلة للزاوية الحرجة لأي حد فاصل، وذلك بتعويض $\theta_1=\theta_c$ و $\theta_2=90.0^\circ$.

الزاوية الحرجة للانعكاس الكلي الداخلي $\sin\theta_c=\frac{n_2}{n_1}$

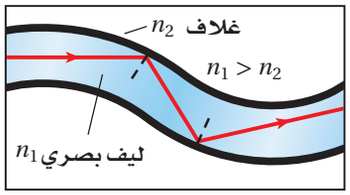
جيب الزاوية الحرجة يساوي معامل انكسار وسط الانكسار مقسومًا على معامل انكسار وسط السقوط.

الشكل 6–3 انكسر الشعاع A جزئيًا، وكذلك انعكس جزئيًا (**a**). انكسر الشعاع B على امتداد الحدّ الفاصل بين الوسطين عندما سقط بزاوية تساوي الزاوية الحرجة (**b**). زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة، مما يؤدي إلى حدوث انعكاس كلي داخلي للشعاع C، والذي يتبع قانون الانعكاس (**c**).



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

يؤدي الانعكاس الكلي الداخلي إلى بعض التأثيرات الغريبة. افترض أنك تغوص في بركة ماء ساكن، وتنظر إلى أعلى سطح الماء، فإنك قد ترى انعكاسًا مقلوبًا لجسم آخر قريب موجود أسفل الماء، أو قد ترى انعكاسًا لقاع البركة نفسها؛ إذ يعمل سطح الماء عمل المرآة. وكذلك عندما تقف بجانب بركة فإنه يمكن ألا ترى الأشياء الموجودة أسفل سطح الماء. فعندما يسبح شخص تحت الماء بالقرب من السطح وفي الجهة المقابلة لك من البركة، فإنك قد لا تراه؛ وذلك لأن الضوء القادم من جسمه ينعكس إلى الأسفل ليرتد إلى داخل البركة.

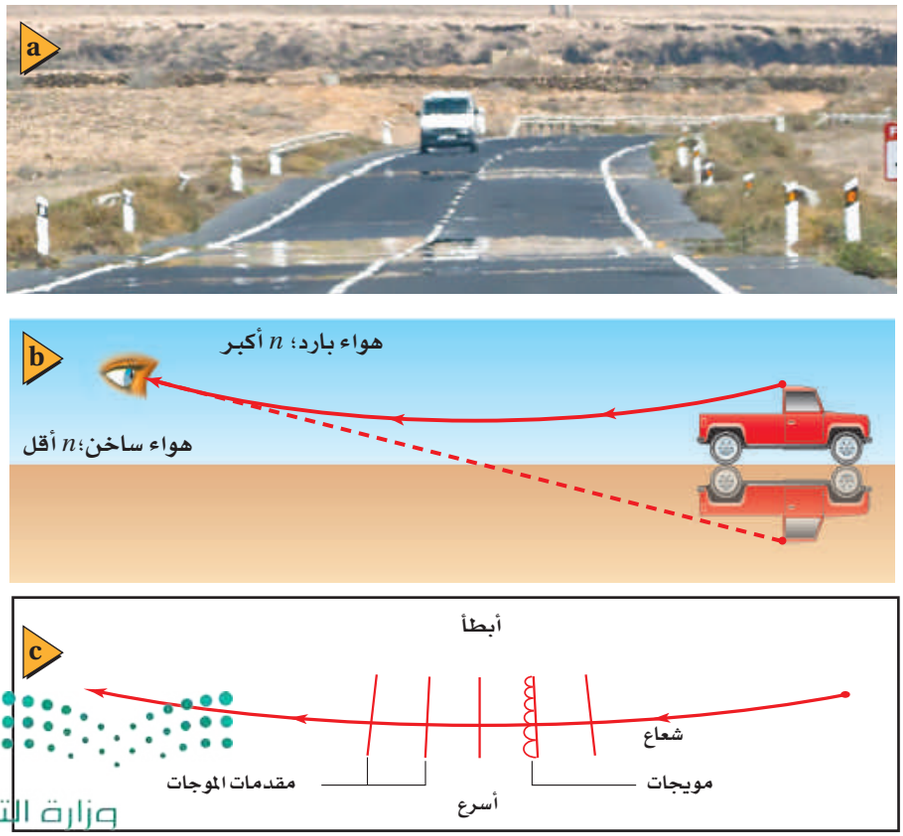


الشكل 4–6 تدخل نبضات ضوء من مصدر الضوء إلى أحد طرفي الليف البصري. وفي كل مرة يصطدم فيها الضوء بالسطح، تكون زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة، ولذا يبقى الضوء داخل الليف البصري.

تعد الألياف البصرية تطبيقًا تقنيًّا مهمًّا للانعكاس الكلي الداخلي. فكما يبين **الشكل 4–6**، يصطدم الضوء الذي ينتقل خلال الليف الشفاف بالسطح الداخلي لليف البصري دائمًا بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، لذا ينعكس الضوء انعكاسًا كليًّا داخليًّا فلا ينفذ أي جزء منه خلال الحد الفاصل. ولذلك يحافظ الضوء على شدته على طول المسافة التي يمتدّها الليف البصري مهما بلغت، وبهذا يمكن نقل الضوء من منطقة إلى أخرى.

السراب Mirages

تــرى أحيانًا في يــوم صيفي حار تأثير الــسراب المبين في **الشــكل 5a–6**. فعندما تقود ســيارتك على طريق ترى ما يبدو كأنه انعكاس للســيارة القادمــة في بركة ماء، وتختفي البركة عندما تصل إليها، لماذا؟ يتكون السراب نتيجة تسخين الشمس للطريق؛ إذ تُسخِّن الطريق الحارة الهواء فوقها وتنتج طبقة حرارية من الهواء تؤدي إلى انحراف الضوء المنتقل في اتجــاه الطريق تدريجيًّا إلى أعلى؛ مما يجعل الضوء يبدو قادمًا من انعكاس في بركة، كما في **الشكل 5b–6**.



الشكل 5–6 سراب يُرى على سطح الطريق (a). ينحرف الضوء القادم من السيارة إلى أعلى في اتجاه عين المشاهد (b). يتحرك قاع مقدمة الموجة أسرع من قمتها (c).

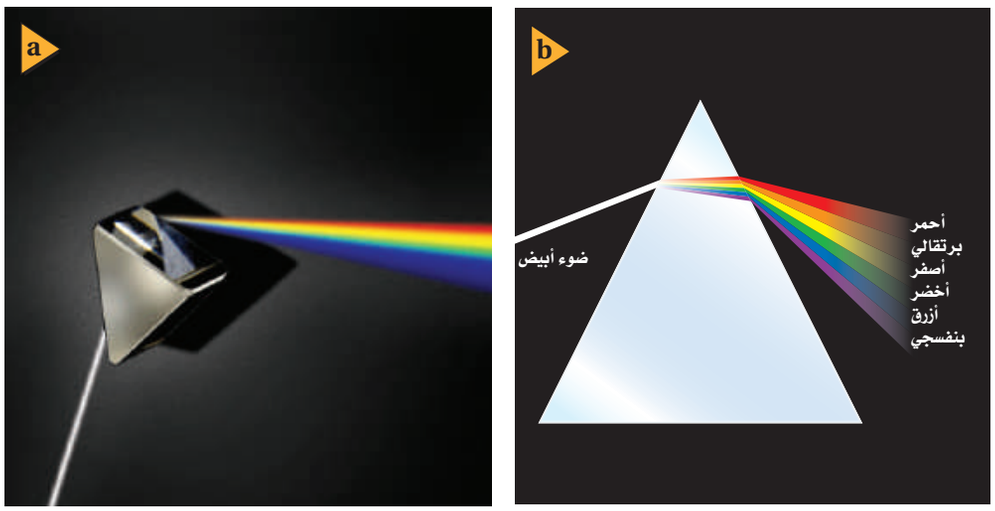
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

ويبين **الشكل 6–5c** كيف يحدث هذا؛ فعندما ينتقل الضوء من جسم بعيد إلى أسفل نحو الطريق، فإن معامل انكسار الهواء يقل بسبب سخونة الهواء، ويكون تغير درجة الحرارة تدريجيًّا. تذكر من الفصول السابقة أن مقدمات موجات الضوء التي درستها تتألّف من مويجات هيجنز. وفي السراب تنتقل مويجات هيجنز القريبة من سطح الأرض أسرع من تلك المويجات التي في الأعلى، مما يؤدي إلى انحراف مقدمات الموجات تدريجيًّا إلى أعلى. وتحدث ظاهرة مشابهة تُسمّى السراب القطبي؛ عندما يبدو انعكاس قارب بعيد فوق القارب نفسه، حيث يُبقي الماء الهواء القريب من سطحه باردًا.

تفريق (تحليل) الضوء Dispersion of Light

تتحدّد سرعة الضوء في وسط ما من خلال التفاعلات بين الضوء وذرات الوسط. وتعرف من دراستك السابقة أن درجة الحرارة والضغط يرتبطان بطاقة الجسيمات على المستوى الذري، لذا تتغير سرعة الضوء، ويتغير تبعًا لذلك معامل الانكسار للوسط الغازي قليلاً مع تغيّر درجة الحرارة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن سرعة الضوء ومعامل الانكسار يختلفان للأطوال الموجية المختلفة في الوسط نفسه.

يتحلل الضوء الأبيض إلى طيف من الألوان عند مروره خلال منشور زجاجي، كما يبين **الشكل 6a–6**، حيث تُسمى هذه الظاهرة **بالتفريق**. وإذا نظرت بدقة إلى الضوء الذي يمر خلال المنشور فستلاحظ أن اللون البنفسجي ينكسر أكثر من اللون الأحمر، كما يبين **الشكل 6b–6**؛ وهذا يحدث لأن سرعة الضوء البنفسجي خلال الزجاج أقل من سرعة الضوء الأحمر؛ حيث إن تردّد الضوء البنفسجي أكبر من تردد الضوء الأحمر، مما يجعله يتفاعل بصورة مختلفة مع ذرات الزجاج، وهذا يؤدي إلى جعل معامل انكسار الزجاج للضوء البنفسجي أكبر منه للضوء الأحمر.



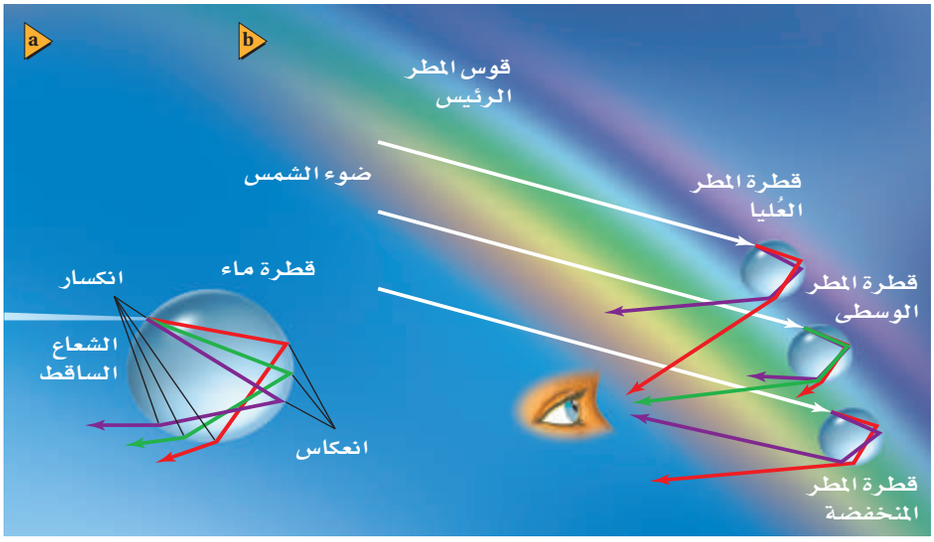
الشكل 6–6 يسقط ضوء أبيض على منشور فيتفرق (يتحلل) إلى حزم من ألوان مختلفة (a). وتنحرف الألوان المختلفة من الضوء بدرجات مختلفة عند عبورها وسط ما (b).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

قوس المطر المنشـــور ليس الوســـيلة الوحيدة لتفريق الضوء الأبيض ثم تحليله إلى ألوانه؛ فقوس المطر طيف يتشـــكّل عندما يتفرق ضوء الشـــمس بفعل قطـــرات الماء في الغلاف الجوي. وينكسر ضوء الشـــمس الســـاقط على قطرات الماء، حيث ينكسر كل لون بزاوية انكسار مختلفة قليلاً؛ بســـبب التفريق كما هو موضّح في **الشكل 7a–6**. ويحدث انعكاس داخلي لبعض الضوء على الســـطح الخلفي للقطرة. وعند خروج الضوء من القطرة يحدث له انكسار مرة أخرى ويزداد التفريق.

وعلى الرغم من أن كل قطرة تنتج طيفًا كاملاً إلا أن المراقب الموجود بين الشـــمس والمطر ســـيرى من كل قطرة طولاً موجيًّـــا معينًا للضوء فقط؛ حيث يعتمـــد الطول الموجي على المواقع النسبية للشـــمس، والقطرة، والمراقب، كما يبين **الشـــكل 7b–6**. وسيظهر طيف كامل؛ لأنه يوجد الكثير من القطرات في الســـماء. وستصنع القطرات التي تعكس الضوء الأحمر زاوية 42° بالنســـبة لأشعة الشـــمس؛ في حين تصنع القطرات التي تعكس الضوء الأزرق زاوية 40°.

قد ترى أحيانًا قوس مطر ثانٍ باهتٍ، كما في **الشـــكل 8–6**. ويقع قوس المطر الثاني خارج الأول، كما يكون باهتًـــا، وله ترتيب ألوان معكوس. وينتج هذا التأثير بســـبب انعكاس أشعة الضوء مرتين في داخل قطرة الماء. وقد يظهر قوس مطر ثالث خارج الإثنين، ولكن



الشـكل 7–6 يتشكّل قوس المطر بسبب تفرّق (تحلّل) الضوء الأبيض عند دخوله الحد الفاصل وانعكاسه عن الحد الفاصل الداخلي، وخروجه من قطرات المطر (a). يصل لون واحد فقط إلى المراقب من كل قطرة مطر بسبب التفريق (b).

الشكل 8–6 يسمح وجود الضباب خلال رؤيتك للضوء المشتمل على الطيف الكامل للألوان بأن يصل إلى عينيك على صورة قوس مطر. وقد يمكّنك الانعكاس عن قطرات المطر أحيانًا من رؤية قوس مطر آخر بألوان معكوسة الترتيب.

بصورة نادرة جدًّا. مـا توقعك حول عدد مرات انعكاس الضـوء في قطرة الماء وترتيب ظهور الألوان لقوس المطر الثالث؟

1–6 مراجعة

4. **معامل الانكسار** عند نفاذ الضوء من الماء إلى سـائل معين فإنه ينحرف مقتربًـا من العمود المقام، ولكن عند نفاذ الضوء من زجاج العدسـات إلى السـائل نفسه فإنه ينحرف مبتعدًا عن العمود المقام. ما الذي تستنتجه عن معامل انكسار السائل؟
5. **معامل الانكسار** سقط شعاع ضوئي في الهواء بزاوية $30.0°$ على قالب من مادة غير معروفة، فانكسر فيها بزاوية $20.0°$. ما معامل انكسار المادة؟
6. **سرعة الضوء** هل يمكن أن يكون معامل الانكسار أقـل من 1؟ وما الـذي يعنيه هذا بالنسـبة لسرعة الضوء في ذلك الوسط؟
7. **سرعة الضوء** ما سرعة الضـوء في الكلوروفورم $(n=1.51)$؟
8. **الانعكاس الكلي الداخلي** إذا توافر لديك الكوارتز وزجاج العدسات لتصنع ليفًا بصريًّا، فأيّهما تستخدم لطبقة الغلاف؟ ولماذا؟
9. **زاوية الانكسار** تعبر حزمة ضوئيـة الماء إلى داخل البـولي إيثيلين (معامل انكسـاره $n=1.50$). فإذا كانـت $\theta_i=57.5°$ فـما زاوية الانكسـار في البولي إيثيلين؟
10. **الزاوية الحرجة** هل هناك زاويـة حرجة للضوء المنتقل من الزجاج إلى الماء، وللضوء المنتقل من الماء إلى الزجاج؟
11. **التفريق** لماذا تستطيع رؤية صورة الشمس فوق الأفق تمامًا عندما تكون الشـمس نفسها قد غابت فعلاً؟
12. **التفكير الناقد** في أي اتجاه تستطيع رؤية قوس المطر في مساء يوم ماطر؟ وضّح إجابتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

6–2 العدسات المحدّبة والمقعّرة Convex and Concave Lenses

يكون انكسار الضوء في الطبيعة جميلاً؛ إذ ينتج عنه قوس المطر والخسوف الأحمر للقمر. وهناك فوائد كثيرة للانكسار في حياتنا؛ فقد كتب الفيزيائي الفرنسي برنارد أوف جوردون عام 1303 حول استخدام العدسات لتصحيح النظر. واستخدم جاليليو عام 1610 عدستين لصنع التلسكوب الذي اكتشف بواسطته أقمار المشتري. واستخدمت العدسات منذ زمن جاليليو في أجهزة عديدة، منها الميكروسكوبات وآلات التصوير. وقد تكون العدسات أكثر الأدوات البصرية فائدة.

الأهداف

- **تصف** كيف تتكون الصور الحقيقية والخيالية بواسطة عدسات محدبة ومقعرة مفردة على الترتيب.
- **تعيّن** موقع الصور المتكوّنة بواسطة العدسات بالطريقتين الهندسية والرياضية.
- **توضّح** كيف يمكن تقليل الزوغان اللّوني.

المفردات

العدسة

العدسة المحدّبة

العدسة المقعّرة

معادلة العدسة الرقيقة

الزوغان اللّوني

العدسة اللّالونية

أنواع العدسات Types of Lenses

العدسة قطعة من مادة شفافة، مثل الزجاج أو البلاستيك، تُستخدم في تجميع الضوء أو تفريقه وتكوين الصور. ويمكن أن يكون أي سطح من سطحي العدسة منحنيًا أو مستويًا. وتُسمّى العدسة في **الشكل 6–9a** **عدسة محدبة**؛ لأنها أكثر سمكًا عند الوسط مما عند الأطراف. وتُسمّى العدسة المحدبة العدسة المجمِّعة؛ وذلك لأنها عندما تُحاط بمادةٍ معامل انكسارها أقل من معامل انكسار مادة العدسة فإنها تعمل على كسر الأشعة الضوئية المتوازية والموازية للمحور الرئيس بحيث تتجمّع الأشعة المنكسرة في نقطة واحدة. وتُسمّى العدسة التي في **الشكل 6–9b** **عدسة مقعرة**؛ لأنها أدقّ وأرقّ عند الوسط مما عند الطرفين. وتُسمّى العدسة المقعرة العدسة المفرِّقة؛ وذلك لأنها عندما تُحاط بمادة معامل انكسارها أقل من معامل انكسار مادة العدسة فإنها تعمل على كسر أشعة الضوء المتوازية بحيث تتفرّق.

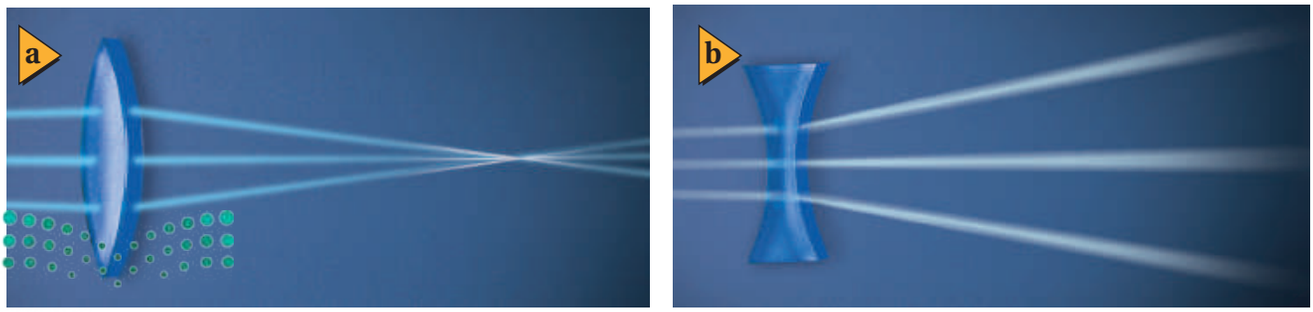
عندما يمر الضوء خلال عدسة يحدث الانكسار عند سطحيها. ويمكنك التنبؤ بمسار الأشعة المارة خلال العدسات باستخدام قانون سنل والهندسة. ولتسهيل مثل هذه المسائل افترض أن الانكسار يحدث كاملاً في مستوى يُسمّى المستوى الأساسي، يمر في مركز العدسة وطرفيها. ويُسمّى هذا التقريب نموذج العدسة الرقيقة، والذي سيطبق على العدسات جميعها التي تدرسها في هذا القسم.

معادلتا العدسة تتضمن المسائل التي تحلها عدسات كروية رقيقة، أيْ عدسات لها وجوه مقوّسة بتقوّس الكرة نفسه. واعتمادًا على نموذج العدسة الرقيقة، والتبسيطات المستخدمة

تجربة عملية

العدسات المحدبة والعدسات المقعرة

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية



الشكل 6–9 تعمل العدسة المحدبة على تجميع أشعة الضوء (a). أمّا العدسة المقعرة فتفرّق أشعة الضوء (b).

في حل مسائل المرايا الكروية، طوّرت معادلتان للعدسات؛ إذ تربط **معادلة العدسة الرقيقة** بين البعد البؤري للعدسة الكروية الرقيقة وبُعد الجسم وبُعد الصورة.

معادلة العدسة الرقيقة

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$$

مقلوب البعد البؤري للعدسة الكروية يساوي حاصل جمع مقلوب بُعد الصورة ومقلوب بُعد الجسم عن العدسة.

وتستخدم معادلة التكبير في العدسات الكروية الرقيقة كالتي استخدمت في المرايا الكروية.

التكبير

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

يعرف تكبير عدسة كروية لجسم ما بأنه نسبة طول الصورة إلى طول الجسم، ويساوي سالب بُعد الصورة عن العدسة مقسومًا على بُعد الجسم عن العدسة.

استخدام معادلتي العدسات من المهم استخدام نظام إشارات مناسب عند استخدام هاتين المعادلتين. ويبين **الجدول 2–6** مقارنة بين بُعد الصورة، والتكبير، ونوع الصورة المتكوّنة بواسطة عدسات محدبة ومقعرة مفردة عند وضع الجسم في مواقع متعددة d_o بالنسبة للعدسة. ولاحظ التشابه بين هذا الجدول **والجدول 1–5** الخاص بالمرايا. وكما في المرايا، فإن المسافة بين المستوى الأساسي للعدسة والبؤرة هي البعد البوري f. ويعتمد البعد البؤري على شكل العدسة ومعامل انكسار مادتها. ويمكن أن تكون الأبعاد البؤرية وأبعاد الصورة سالبة.

تكون الصورة الخيالية للعدسات دائمًا في الجانب نفسه الموجود فيه الجسم، مما يعني أن بُعد الصورة سالب. وتكون الصورة أصغر من الجسم عندما تكون القيمة المطلقة للتكبير بين صفر وواحد. في حين تمثّل القيمة المطلقة للتكبير التي تكون أكبر من واحد، الصور الأكبر من الأجسام. أما التكبير السالب فيعني أن الصورة مقلوبة بالنسبة للجسم. لاحظ أيضًا أن العدسة المقعرة تنتج صورًا خيالية فقط، في حين تنتج العدسة المحدبة صورًا حقيقية أو خيالية.

الجدول 2–6

خصائص العدسات الكروية

نوع العدسة	f	d_o	d_i	m	الصورة
محدبة	+	$d_o > 2f$	$2f > d_i > f$	مصغرة مقلوبة	حقيقية
		$2f > d_o > f$	$d_i > 2f$	مكبرة مقلوبة	حقيقية
		$f > d_o > 0$	$\lvert d_i \rvert > d_o$ سالب	مكبرة	خيالية
مقعرة	−	$d_o > 0$	$\lvert f \rvert > \lvert d_i \rvert > 0$ سالب	مصغرة	خيالية

تجربة عملية

كيف ينحرف الضوء؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تجربة

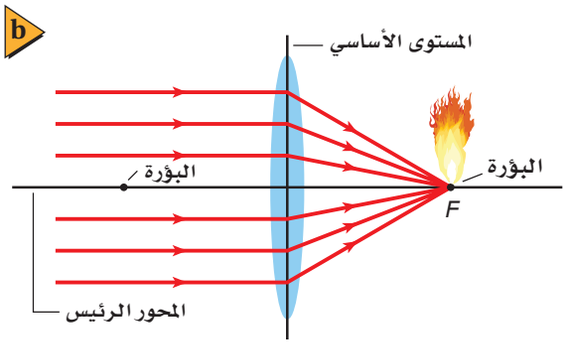
تأثيرات تغطية العدسات

ما الذي يحدث عندما تغطي جزءًا من العدسة؟ هل يؤدي ذلك إلى تكون جزء من الصورة الحقيقية فقط بواسطة العدسة؟

1. ألصق طرف العدسة المحدبة بكرة من الصلصال، وضع العدسة فوق الطاولة. تحذير: للعدسات أطراف حادة، لذا تعامل معها بحذر.
2. ضع مصباحًا صغيرًا عند أحد طرفي الطاولة، وشاشة عند الطرف الآخر للحصول على صورة واضحة للمصباح الضوئي. تحذير: قد يسخن المصباح فيحرق يدك.
3. توقع ماذا يحدث للصورة إذا وضعت يدك على النصف العلوي للعدسة؟ هذا ما يُسمّى التغطية.
4. لاحظ تأثيرات التغطية لأكبر وأقل مساحة من العدسة.

التحليل والاستنتاج

5. ما الحجم الكافي من العدسة الذي يتطلبه الحصول على صورة كاملة؟
6. ما تأثير تغطية العدسة؟



الشكل 10–6 يمكن استخدام عدسة مجمّعة لحرق ورقة (a). يتجمّع الضوء الداخل بصورة موازية للمحور الرئيس عند بؤرة العدسة، ولذا تتركز الطاقة الشمسية (b).

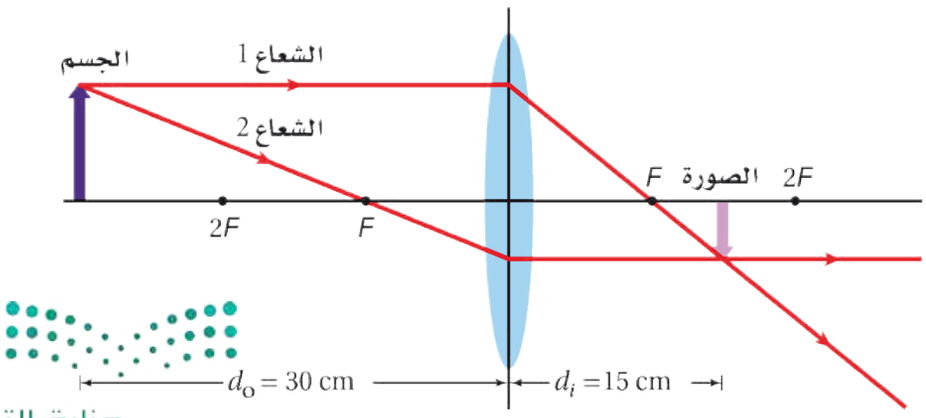
العدسات المحدّبة والصور الحقيقية

Convex Lenses and Real Images

يمكن إشعال ورقة أو ألياف خشبية ـ كما في **الشكل 10a–6** ـ بتكوين صورة للشمس عليها. تذكر من خلال دراستك السابقة أن أشعة الشمس تصل إلى الأرض بصورة متوازية تقريبًا. وتتجمّع الأشعة بعد انكسارها بواسطة العدسة عند البؤرة *F* للعدسة. و**الشكل 10b–6** يبين نقطتين بؤريتين، واحدة في كل جانب من جوانب العدسة، وإذا دوّرت العدسة حول نفسها، فإنها ستعمل بالطريقة نفسها.

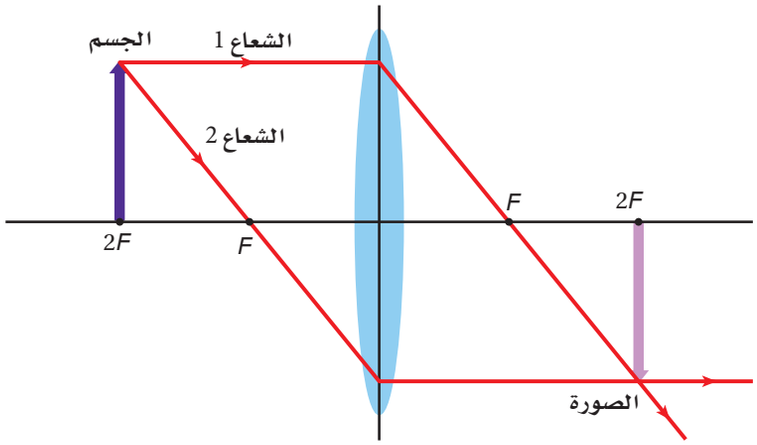
مخطّط الأشعة وفقًا لمخطّط الأشعة، الموضح في **الشكل 11–6**، ستحتاج إلى استخدام شعاعين فقط لتحديد موقع صورة نقطة على جسم؛ إذ يكون الشعاع 1 موازيًا للمحور الرئيس، وينكسر مارًّا بالنقطة *F* في الجانب الآخر للعدسة. ويمر الشعاع 2 بالنقطة *F* في طريقه إلى العدسة، ويكون مساره بعد الانكسار موازيًا للمحور الرئيس، حيث يتقاطع الشعاعان عند نقطةٍ ما بعد *F* ، فيحدّدان موقع الصورة. وتتقاطع الأشعة المختارة من نقاط أخرى على الجسم عند نقاط مماثلة لتكوين الصورة على نحوٍ كامل. لاحظ أن الصورة حقيقية ومقلوبة ومصغرة بالنسبة للجسم.

تستطيع استخدام **الشكل 11–6** لتعيين موقع الصورة لجسم يكون قريبًا من العدسة أكثر



الشكل 11–6 إذا وضع جسم على بُعد أكبر من ضعف البعد البؤري للعدسة تتكون صورة حقيقية مقلوبة ومصغرة بالنسبة للجسم. وإذا وضع الجسم في مكان الصورة أمكنك تعيين موقع الصورة الجديدة من خلال رسم الأشعة نفسها في الاتجاه المعاكس.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 12–6 عندما يوضع جسم على بعد مساوٍ لضعف البعد البؤري عن العدسة فإن أبعاد الصورة تكون مساوية لأبعاد الجسم.

من الجسم الذي في الشكل. فإذا عُكِس اتجاه الشعاع المنكسر فإنه سيتبع مساره الأصلي في الاتجاه المعاكس، وهذا يعني أنه يمكن تبادل المواقع بين الجسم والصورة بتغيير اتجاه الأشعة.

أما إذا وضع الجسم على بعد يساوي ضعف البعد البؤري من العدسة عند نقطة $2F$، كما في **الشكل 12–6**، فإن الصورة تتكون عند $2F$، ويكون للصورة والجسم البعدين نفسيهما بسبب التماثل. لذا تستطيع استنتاج أنه إذا كان بُعد الجسم عن العدسة أكبر من ضعف البعد البؤري للعدسة ستكون الصورة مصغرة. وإذا كان الجسم بين F و $2F$، ستكون الصورة مكبّرة.

مثـــال 2

الصورة المتكونة بواسطة عدسة محدبة وضع جسم على بعد 32.0 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 8.0 cm.

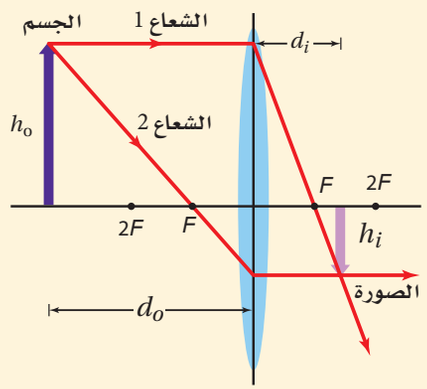
a. أين تتكوّن الصورة؟

b. إذا كان طول الجسم 3.0 cm فما طول الصورة؟

c. ما اتجاه الصورة؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الحالة، وعيّن موقع كلٍّ من الجسم والعدسة.
- ارسم الشعاعين الأساسيّين.



المعلوم

$d_o = 32.0\ \text{cm}$ ، $h_o = 3.0\ \text{cm}$ ، $f = 8.0\ \text{cm}$

المجهول

$d_i = ?$ $h_i = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم معادلة العدسة الرقيقة لتحديد d_i

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$$

عوّض مستخدمًا $f = 8.0\ \text{cm}$ ، $d_o = 32.0\ \text{cm}$.

$$d_i = \frac{fd_o}{d_o - f} = \frac{(8.0\ \text{cm})\ (32.0\ \text{cm})}{32.0\ \text{cm} - 8.0\ \text{cm}}$$

$= 11\ \text{cm}$ (11 cm بعيدًا عن العدسة في الجانب المعاكس للجسم)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

b. استخدم معادلة التكبير وحل لإيجاد طول الصورة.

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية

عوّض مستخدمًا $d_o = 32.0\ \text{cm}$، $h_o = 3.0\ \text{cm}$، $di = 11\ \text{cm}$

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

$$h_i = \frac{-d_i h_o}{d_o}$$

$$= \frac{-(11\ \text{cm})(3.0\ \text{cm})}{32.0\ \text{cm}}$$

$$= -1.0\ \text{cm}\ (1.0\ \text{cm}\ \text{طول الصورة})$$

c. إن الإشارة السالبة في الفرع **b** تعني أن الصورة مقلوبة.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الأبعاد كلها بالسنتمتر cm.
- **هل تعني الوحدات أي شيء؟** بُعد الصورة موجب (صورة حقيقية)، أمّا طولها فسالب؛ أيْ مقلوبة بالنسبة للجسم، مما يدل على أن العدسة محدبة.

مسائل تدريبية

13. تكوَّن لجسم موجود بالقرب من عدسة محدبة صورة حقيقية مقلوبة طولها 1.8 cm على بُعد 10.4 cm منها. فإذا كان البعد البؤري للعدسة 6.8 cm فما بُعد الجسم؟ وما طوله؟

14. وضع جسم عن يسار عدسة محدبة بعدها البؤري 25 mm، فتكوّنت له صورة حجمها يساوي حجم الجسم. ما بُعد كل من الجسم والصورة؟

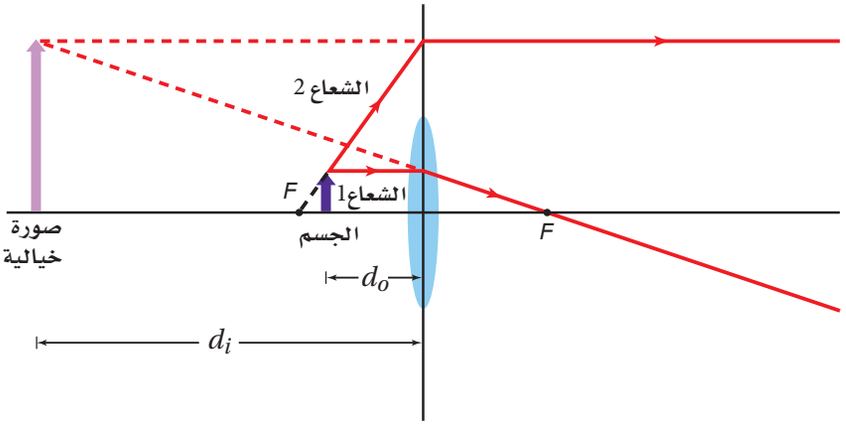
العدسات المحدّبة والصور الخيالية

Convex Lenses and Virtual Images

عندما يوضع جسم في بؤرة عدسة محدبة فإن الأشعة ستنكسر في حزمة متوازية ولا تتكوّن صورة له. وعندما يقترب الجسم من المستوى الأساسي للعدسة تنحرف الأشعة وتتشتّت في اتجاه الجانب المعاكس للعدسة، وتظهر هذه الأشعة للمشاهد كأنها قادمة من بقعة في جانب العدسة نفسه الذي فيه الجسم، وتكون الصورة خيالية، ومعتدلة ومكبّرة.

يبين **الشكل 13–6** كيف تكوِّن العدسة المحدّبة صورة خيالية. فعندما يكون الجسم بين F والعدسة يصل الشعاع 1 إلى العدسة موازيًا المحور الرئيس، وينكسر مارًّا بالبؤرة F. أمّا الشعاع 2 فينتقل من قمة الجسم، وفي اتجاه مماثل إلى الاتجاه الذي يسلكه إذا بدأ من F في جانب العدسة الذي يوجد فيه الجسم. ويبيّن الخط المتقطع من F إلى الجسم كيف ترسم الشعاع 2، حيث يخرج الشعاع 2 من العدسة موازيًا للمحور الرئيس. ويتباعد

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 13–6 يبيّن مخطط الأشعة، أن العدسة المحدّبة تكوّن صورة خيالية معتدلة ومكبّرة مقارنة بالجسم عندما يكون الجسم بين العدسة والبؤرة. ولأن الأشعة الرئيسة جزء من نموذج يساعد على تعيين موقع الصورة فإنهما يجب ألا يمرّا خلال صورة العدسة في مخطط الأشعة. وتتكون الصورة في الواقع فقط بواسطة الضوء الذي يمرّ خلال العدسة.

الشعاعان 1 و 2 عندما يخرجان من العدسة. لذا لا يمكن تكوين صورة حقيقية. إن رسم الامتداد الخلفي للشعاعين المنكسرين لتعيين مكان تقاطعهما الظاهري يحدّد موضع الصورة الخيالية، ويكون موضعها في جانب العدسة نفسه الذي يوجد فيه الجسم، وتكون الصورة معتدلة ومكبّرة. لاحظ أن الصورة الحقيقية تتكوّن بفعل الضوء الذي يمرّ خلال العدسة، ولكن بإمكانك تحديد الصورة الخيالية بواسطة رسم امتدادات الأشعة التي لا تمرّ فعلًا من خلال العدسة.

مسائل تدريبية

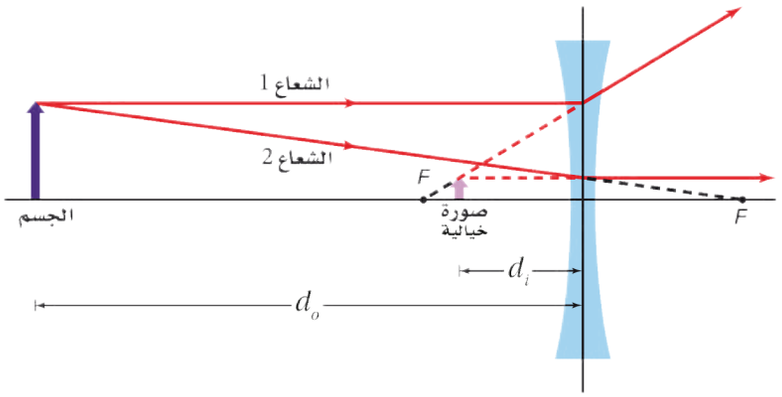
15. إذا وضعت صحيفة على بُعد 6.0 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 20.0 cm فأوجد بُعد الصورة المتكوِّنة لها.

16. إذا وضعت عملة معدنية قطرها 2.0 cm على بُعد 3.4 cm من عدسة مُكبرِّة بعدها البؤري 12.0 cm فحدّد موقع صورة العملة المعدنية، وقطر الصورة.

17. يريد أحد هواة جمع الطوابع تكبير طابع بمقدار 4.0 مرات عندما يكون الطابع على بُعد 3.5 cm من العدسة. ما البعد البؤري للعدسة اللّازمة؟

العدسات المقعرة Concave Lenses

تفرّق العدسة المقعرة الأشعة كلّها. والشكل **14–6** يبيّن كيف تكوّن مثل هذه العدسة صورة خيالية، حيث يصل الشعاع 1 إلى العدسة موازيًا المحور الرئيس. ويخرج من العدسة على



الشكل 14–6 تكوّن العدسات المقعرة صورًا خيالية ومعتدلة ومصغرة فقط مقارنة بالأجسام.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

شكل شعاع يمرّ امتداده في البؤرة. أما الشعاع 2 فَيصِل إلى العدسة كما لو كان سيمر خلال البؤرة في الجانب المعاكس، ويبتعد عن العدسة موازيًا المحور الرئيس. وتتقاطع الامتدادات الخلفية للشعاعين 1 و 2 في الجانب نفسه من العدسة الذي يوجد فيه الجسم. ولأن الأشعة تخرج من العدسة متباعدة، فإنها تكوّن صورة خيالية. ويكون موضع الصورة عند النقطة التي يظهر عندها أن الأشعة تخرج من العدسة متباعدة منها. وتكون الصورة أيضًا معتدلة وأصغر من الجسم (مصغّرة). وهذا صحيح بغض النظر عن بُعد الجسم عن العدسة، كما يكون البعد البؤري للعدسة المقعرة سالبًا.

يجب أن تتذكّر عند استخدام معادلة العدسة الرقيقة لحل مسائل على العدسات المقعرة أن نظام الإشارات للبعد البؤري مختلف عنه للعدسة المحدّبة. فإذا كان البعد البؤري للعدسة المقعرة 24 cm فإن عليك أن تستخدم القيمة $f = -24\ \text{cm}$ في معادلة العدسة الرقيقة. وتكون الصور المتكوّنة بالعدسة المقعرة جميعها خيالية، لذا فإذا كان بُعد الصورة 20 cm عن العدسة فإن عليك أن تستخدم القيمة $d_i = -20\ \text{cm}$. أما بُعد الجسم فيكون موجبًا دائمًا.

عيوب العدسات الكروية Defects of Spherical Lenses

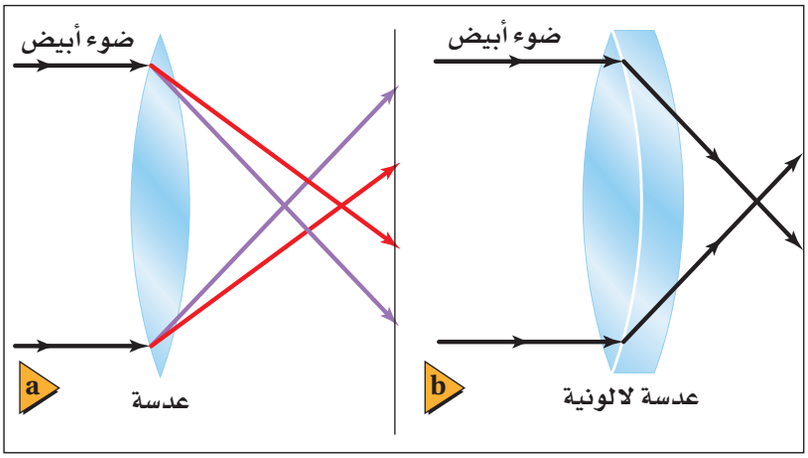
درست خلال هذا الفصل العدسات التي تكوِّن صورة كاملة عند مواضع محدّدة. وفي الواقع، فإن للعدسات الكروية عيوبًا جوهرية ـ مثل المرايا الكروية ـ ينجم عنها مشكلات في وضوح الصورة وألوانها. حيث تواجه العدسات الكروية تشتّتًا (زوغانًا) متعلقًا بتصميمها الكروي، مثل المرايا تمامًا. وإضافة إلى ذلك، فإن تشتّت الضوء خلال العدسة الكروية يسبّب زوغانًا لا تسبّبه المرايا.

الزوغان الكروي يقترح النموذج الذي استخدمته لرسم الأشعة خلال العدسات الكروية أن الأشعة التي تسقط متوازية تتجمّع في الموضع نفسه، وهذا مجرد تقريب. وفي الحقيقة، تتجمّع الأشعة المتوازية التي تمر خلال أطراف العدسة الكروية في مواضع مختلفة عن المواضع التي تتجمّع فيها الأشعة المتوازية والقريبة من المحور الرئيس. ويُسمى عدم قدرة العدسة الكروية على تجميع الأشعة المتوازية جميعها في نقطة واحدة الزوغان الكروي، وسببه اتساع سطح العدسة. ويعالج الزوغان الكروي بمراعاة أن تكون الأشعة الضوئية التي تسقط على العدسة قريبة من المحور الرئيس، وتستخدم العديد من العدسات في الأدوات العالية الدقة، حيث تستخدم غالبًا خمس عدسات أو أكثر لتكوين صور واضحة ودقيقة.

الزوغان اللّوني هناك عيب آخر في العدسات لا يوجد في المرايا. فالعدسة مثل المنشور، تنكسر فيها الأطوال الموجية المختلفة للضوء بزوايا مختلفة، كما يبين **الشكل 15a–6**. ولذلك يتجمّع الضوء أو يتفرق عند مروره خلال العدسة المحدبة أو المقعرة على الترتيب، وخصوصًا بالقرب من الأطراف، ويظهر الجسم عند النظر إليه من خلال العدسة محاطًا

بالألوان. ويُسمّى هذا التأثير **الزوغان اللّوني**.

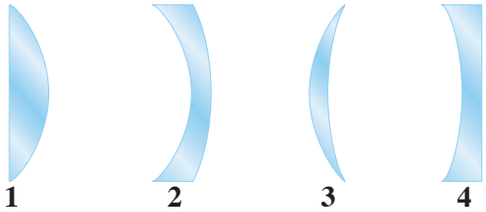
ويحدث الزوغان اللوني دائمًا عندما تستخدم عدسة مفردة. ويمكن تخفيض أثر هذا العيب كثيرًا باستخدام **العدسات اللّالونية**؛ وهي نظام مكون من عدستين أو أكثر، كعدسة محدبة مع عدسة مقعرة، لهما معاملا انكسار مختلفين. ويبيّن **الشكل 6–15b** مثل هذا التركيب للعدسات. فكلتا العدستين في الشكل تشتّت الضوء، ولكن التشتّت الذي تُسبِّبه العدسة المحدبة يلغيه تقريبًا التشتّت الذي تُسبِّبه العدسة المقعرة. ويُختار معامل انكسار العدسة المحدبة على أن يؤدي النظام المكوّن من العدسات إلى تجميع الضوء.



■ **الشكل 6–15** للعدسات البسيطة جميعها زوغان لوني، حيث يتركز الضوء ذو الأطوال الموجية المختلفة في نقاط مختلفة (**a**). العدسة اللّالونية نظام من العدسات يؤدي إلى تقليل العيب اللوني (**b**).

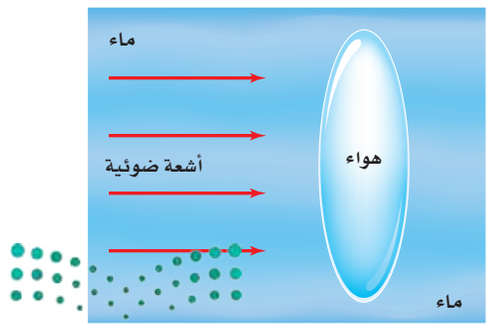
6–2 مراجعة

18. **التكبير** تُستخدم العدسات المكبّرة عادة لتكوين صور أكبر من الأجسام، ولكنها أيضًا يمكن أن تكوّن صورًا أصغر من الأجسام. وضّح ذلك.
19. **بُعد الصورة وطولها** وضع جسم طوله 3.0 cm على بُعد 2.0 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 6.0 cm. ارسم مخطّط الأشعة لتحديد موقع الصورة وطولها، واستخدم معادلة العدسة الرقيقة ومعادلة التكبير للتحقق من إجابتك.
20. **أنواع العدسات** يبيّن **الشكل 6–16** المقطع العرضي لأربع عدسات رقيقة. أيّ هذه العدسات:
    a . محدبة؟
    b . مقعرة؟



■ **الشكل 6–16**

21. **الزوغان اللوني** للعدسات البسيطة كلها زوغان لوني. فسر ذلك. لماذا لا ترى هذا الأثر عندما تنظر خلال الميكروسكوب (المجهر)؟
22. **الزوغان اللوني** إذا سمحت لضوء أبيض بالمرور من خلال عدسة محدبة إلى شاشة، وضبطت المسافة بين الشاشة والعدسة لتجمّع اللون الأحمر، ففي أي اتجاه يجب أن تحرّك الشاشة لتُجمِّع الضوء الأزرق؟
23. **التفكير الناقد** تتكون عدسة هوائية من زجاجتي ساعتين، موضوعة في خزان ماء. انقل **الشكل 6–17** إلى دفترك، وارسم تأثير هذه العدسة في أشعة الضوء المتوازية الساقطة عليها.



■ **الشكل 6–17**

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

6–3 تطبيقات العدسات Applications of Lenses

الأهداف

- **تصف** كيف تُجمِّع العين الضوء لتكوّن الصور.
- **توضّح** المقصود بكل من: قصر النظر وطول النظر، وكيف تُصحِّح عدسات النظارات هذه العيوب.
- **تصف** الأنظمة البصرية في بعض الأدوات البصرية الشائعة.

المفردات

قصر النظر

طول النظر

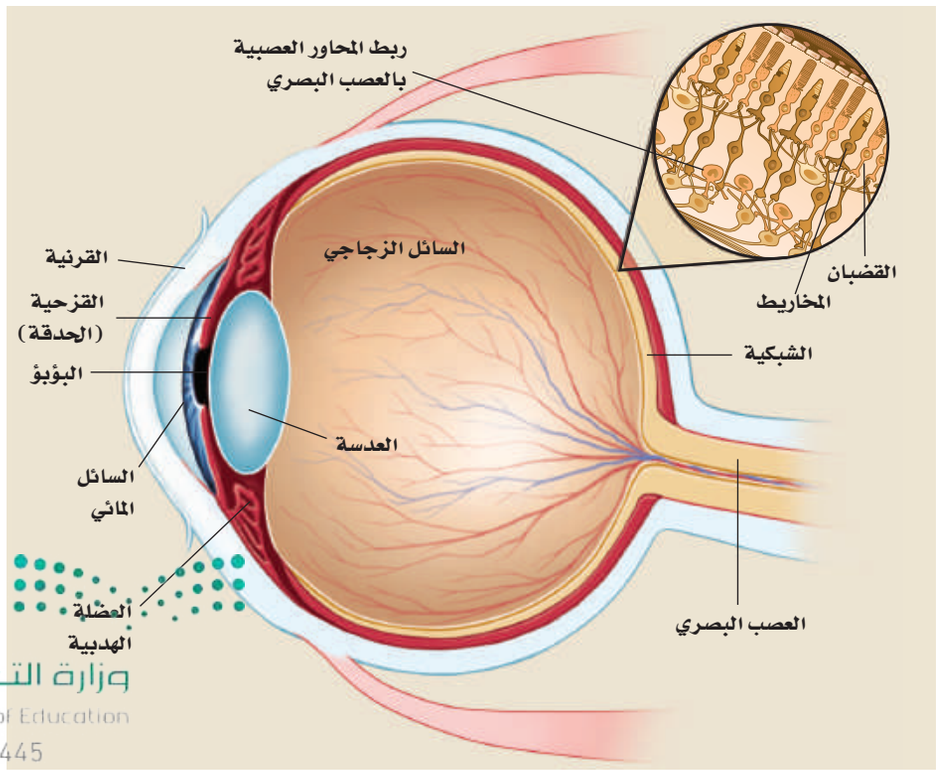
إن الخصائص التي تعلّمتها حول انكسار الضوء خلال العدسات تستخدم في أغلب الآلات البصرية. وتستخدم في حالات عديدة مجموعة من العدسات والمرايا لتكوين صورة واضحة لأجسام صغيرة أو بعيدة. إذ يحتوي كل من المنظار الفلكي (التلسكوب)، والمنظار، وآلة التصوير، والمجهر (الميكروسكوب)، وحتى العين ـ على عدسات.

العدسات في العينين Lenses in Eyes

من بديع صنع الخالق –عز وجل– خلق العين البشرية وهي أداة بصرية، مملوءة بسائل. وهي على هيئة وعاء كروي تقريبًا كما يبين **الشكل 18–6**. وينتقل الضوء المنبعث أو المنعكس عن الجسم إلى داخل العين خلال القرنية، ثم يمر الضوء بعدها خلال العدسة ويتجمّع على الشبكية الموجودة في مؤخرة العين. وتمتص خلايا متخصّصة في الشبكية الضوء وترسل المعلومات المتعلّقة بالصورة بواسطة العصب البصري إلى الدماغ.

تكوُّن الصور قد تعتقد ـ بسبب التسمية ـ أن عدسة العين هي المسؤولة عن تجميع الضوء على الشبكية. ولكن في الحقيقة، يتجمّع الضوء الداخل إلى العين أساسًا بواسطة القرنية؛ لأن الفرق بين معاملي انكسار الهواء ومادة القرنية كبير نسبيًّا. أما العدسة فهي المسؤولة عن التجميع الدقيق الذي يسمح لك برؤية الأجسام البعيدة والقريبة بوضوح تام. وتستطيع العضلات المحيطة بالعين من خلال عملية تسمى التكيّف أن تجعل العدسة تنقبض أو تنبسط، مما يغيّر من شكلها، فيؤدي بدوره إلى تغيير البعد البؤري لعدسة العين. فعندما ترتخي العضلات تتركز صورة الجسم البعيد على الشبكية. وعندما تنقبض العضلات يقل البعد البؤري للعدسة، مما يسمح لصور الأجسام القريبة بالتجمع على الشبكية.

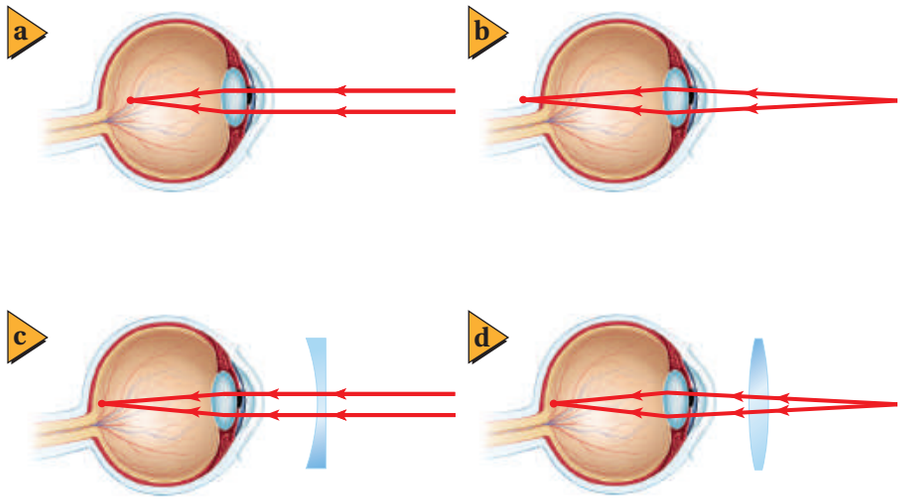
الربط مع الأحياء



الشكل 18–6 العين البشرية معقدة، وتتركّب من أجزاء متعدّدة تعمل جميعها بدقة متناهية.

صمم انفوجرافيك موظفًا فيه ما شاهدته عن اضرار تعاطي المؤثرات العقلية على العين وشاركها عبر وسائل التواصل الاجتماعي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 19–6 لا يستطيع شخص مصاب بقصر النظر رؤية الأجسام البعيدة بوضوح؛ لأن الصور تتركز أمام الشبكية (a). وتُصحَّح العدسة المقعرة هذا العيب (c). ولا يستطيع شخص مصاب بطول النظر رؤية الأجسام القريبة بوضوح؛ لأن الصور تتركز خلف الشبكية (b). وتصحَّح العدسة المحدبة هذا العيب (d).

قصر النظر وطول النظر لا تُكوِّن عيون بعض الناس صورًا واضحة على الشبكية؛ إذ تتكوّن الصور إما أمام الشبكية وإما خلفها. فتصبح هناك حاجة إلى العدسات الخارجية على هيئة نظارات أو عدسات لاصقة؛ لضبط الصور لتقع على الشبكية. ويبين **الشكل 19a–6** حالة **قصر النظر**؛ حيث يكون البعد البؤري للعين أقل من البعد البؤري للعين السليمة، مما لا يمكِّنها من تجميع الضوء على الشبكية، فتتكون الصور أمام الشبكية. وتُستخدم عدسات مقعرة لتصحيح ذلك بتفريق الضوء كما يبين **الشكل 19c–6**، لذا يؤدي ذلك إلى زيادة بعد الصور عن العدسة، وتكوين الصور على الشبكية.

ويبين **الشكل 19b–6** حالة **طول النظر**، حيث يكون البعد البؤري للعين أكبر من البعد البؤري للعين السليمة، فتتشكّل الصور خلف الشبكية، وتحدث حالة مماثلة أيضًا للأشخاص فوق عمر 45 عامًا، حيث تزداد صلابة عدسات العينين، ولا تستطيع العضلات تقصير البعد البؤري إلى الحدّ الذي يكفي لتكوين صور الأجسام القريبة على الشبكية. وتُستخدم عدسات محدبة لتصحيح هذا العيب؛ إذ تكوِّن صورًا خيالية أبعد عن العين من أجسامها، كما يبين **الشكل 19d–6**، فتصبح الصور عندئذ هي الأجسام بالنسبة لعدسة العين، ومن ثَم تتكوّن على الشبكية.

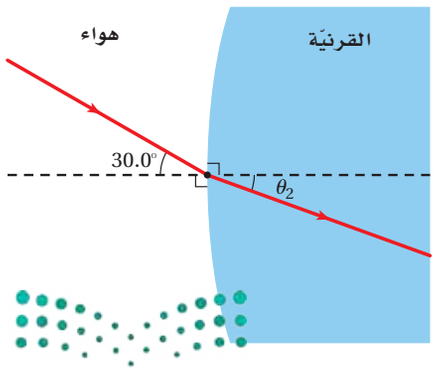
تطبيق الفيزياء

العدسات اللاصقة تعمل العدسات اللاصقة عمل النظارات الزجاجية؛ حيث توضع هذه العدسات الصغيرة الرقيقة مباشرة على القرنية. وتعمل طبقة رقيقة من الدمع بين القرنية والعدسة على ثبات العدسة في مكانها، ويحدث أغلب الانكسار عند سطح الهواء والعدسة، حيث يكون الفرق بين معاملي الانكسار كبيرًا.

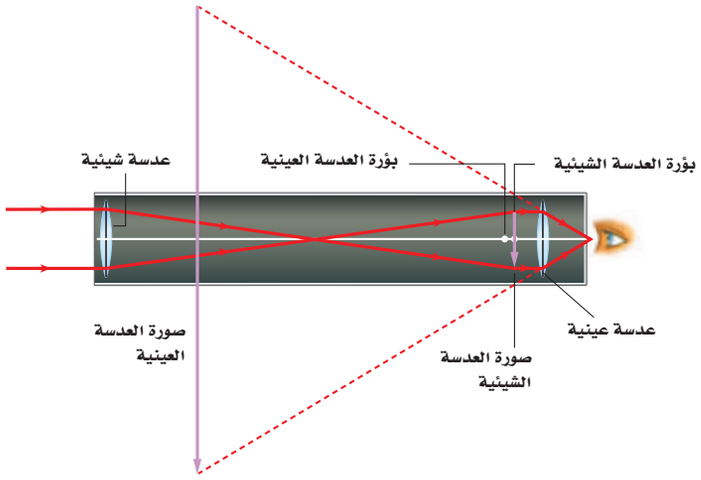
مسألة تحفيز

عندما يدخل الضوء إلى العين فإنه يواجه الحد الفاصل بين الهواء والقرنية. فإذا دخل شعاع ضوء الحد الفاصل بين الهواء والقرنية لعين شخص بزاوية 30° بالنسبة للعمود المقام، وكان معامل انكسار القرنية 1.4 تقريبًا، أجب عن الأسئلة الآتية:

1. استخدم قانون سنل لحساب زاوية الانكسار.
2. ما مقدار زاوية الانكسار إذا كان الشخص يسبح أسفل الماء؟
3. أيهما أكبر: الانكسار في الهواء أم في الماء؟ وهل يعني هذا أن الأجسام التي تحت الماء تبدو أقرب أم أبعد مما لو كانت في الهواء؟
4. لو أردت أن تكون زاوية الانكسار لشعاع الضوء في الماء مساوية لها كما في الهواء فكم يجب أن تكون زاوية السقوط الجديدة؟



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



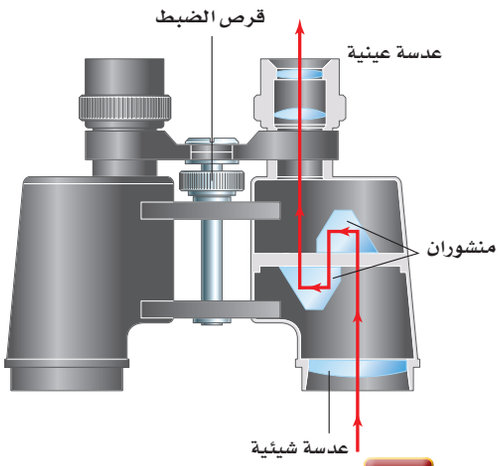
■ **الشكل 20–6** يُكوّن المنظار الفلكي الكاسر صورة خيالية ومقلوبة مقارنة بالجسم.

المنظار الفلكي (التلسكوب) الكاسر
Refracting Telescopes

يستخدم المنظار الفلكي الكاسر العدسات لتقريب الأجسام البعيدة وتكبير صورها. ويبين **الشكل 20–6** النظام البصري للمنظار الكبلري؛ حيث يكون الضوء القادم من النجوم والأجسام الفلكية الأخرى عادة بعيدًا جدًّا؛ لذا يمكن اعتبار الأشعة متوازية. وتدخل أشعة الضوء المتوازية العدسة الشيئية المحدبة، وتتجمّع بوصفها صورة حقيقية عند بؤرة العدسة الشيئية، وتكون الصورة مقلوبة بالنسبة للجسم. ثم تصبح هذه الصورة بمنزلة الجسم بالنسبة للعدسة العينية المحدبة. لاحظ أن العدسة العينية موضوعة بحيث تقع بؤرة العدسة الشيئية بين العدسة العينية وبؤرتها. وذلك يعني أنه تتكوّن صورة خيالية معتدلة وأكبر من الصورة الأولى عن طريق العدسة العينية. ولأن الصورة الأولى كانت مقلوبة فإن الصورة النهائية تبقى مقلوبة. ويعد انعكاس الصورة مقبولاً لمشاهدة الأجسام الفلكية.

وتستخدم عدسات عينية محدبة لالونية في المنظار دائمًا. وتعمل مجموعة العدسات هذه على إزالة الألوان المحيطة، أو التخلّص من الزوغان اللّوني المتشكّل مع الصورة.

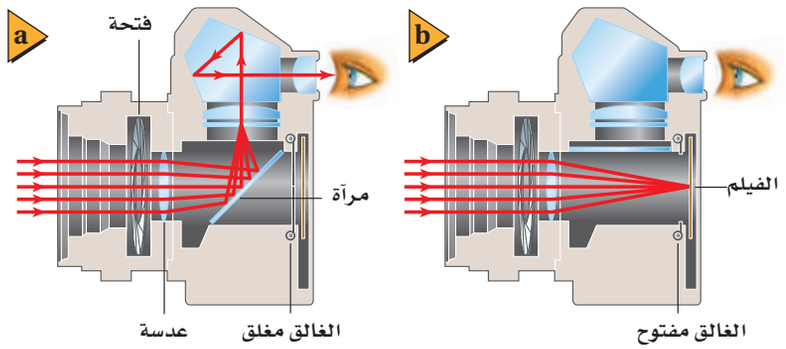
■ **الشكل 21–6** المنظار عبارة عن تلسكوبين كاسرين متجاورين.



المنظار Binoculars

يكوِّن المنظار ـ مثل المنظار الفلكي الكاسر ـ صورًا مكبّرة للأجسام البعيدة. ويبين **الشكل 21–6** تصميمًا لمنظار نموذجي. ويشبه كل جانب من المنظار تلسكوبًا صغيرًا؛ حيث يدخل الضوء العدسة الشيئية المحدّبة فتكون صورة مقلوبة، ثم ينتقل الضوء خلال منشورين يَستخدمان ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي ليقلبا الصورة مرة أخرى، حيث يرى المشاهد صورة معتدلة للجسم. ويؤدي المنشوران كذلك إلى إطالة مسار انتقال الضوء وتوجيهه إلى العدسة العينية للمنظار. وكما تزوِّدك المسافة الفاصلة بين عينيك بإحساس الأبعاد الثلاثية والعمق، فإن المنشورين يؤديان إلى زيادة المسافة الفاصلة بين العدستين الشيئيتين، ممّا يحسّن من الرؤية الثلاثية الأبعاد للجسم البعيد عن المنظار.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

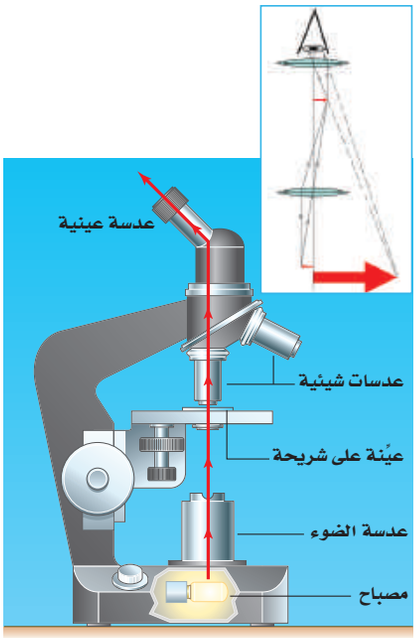


الشكل 22–6 يبين الشكل آلة التصوير العاكسة ذات العدسة المفردة، التي تعكس الصورة المتكوّنة بواسطة العدسة من خلال المنشور لمشاهدتها (a)، أو توجيهها في اتجاه الفيلم (b).

آلات التصوير Cameras

يبين **الشكل 22a–6** النظام البصري المستخدم في آلة التصوير العاكسة ذات العدسة المفردة. فعندما يدخل الضوء إلى آلة التصوير، فإنه يمر خلال عدسة لالونية. ويعمل نظام العدسة هذا على كسر الضوء، بطريقة تُشبه إلى حد كبير عمل عدسة محدبة مفردة، ويكوّن صورة مقلوبة على المرآة العاكسة. وتنعكس هذه الصورة إلى أعلى في اتجاه المنشور، والذي يؤدي بدوره إلى عكس الضوء وتوجيهه إلى عين المشاهد. وعندما يحمل الشخص آلة التصوير لالتقاط صورة فإنه يضغط زر الغالق، الذي يرفع المرآة لفترة وجيزة، كما في **الشكل 22b–6**. وبدل أن يتجه الضوء إلى المنشور فإنه ينتقل في خط مستقيم ليكوّن صورة على الفيلم.

الشكل 23–6 تُكوِّن العدسة الشيئية والعدسة العينية في هذا المجهر صورة مقلوبة ومكبرة مقارنة بالجسم.



المجهر (الميكروسكوب) Microscopes

للمجهر عدستان محدبتان مثل المنظار الفلكي، إحداهما شيئية والأخرى عينية. ويستخدم المجهر في مشاهدة الأجسام الصغيرة. ويبين **الشكل 23–6** النظام البصري المستخدم في المجهر المركّب، حيث يوضع الجسم في المنطقة ما بين بؤرة العدسة الشيئية ومركز تكوّرها، فتتكوّن صورة حقيقية مقلوبة ومكبّرة. ثم تصبح هذه الصورة بمثابة جسم للعدسة العينية؛ إذ يكون هذا الجسم بين العدسة العينية وبؤرتها، فتتكوّن له صورة خيالية معتدلة ومكبّرة مقارنة بالصورة التي كوّنتها العدسة الشيئية. لذا يرى المشاهد صورة مقلوبة مكبَّرة جدًّا.

6–3 مراجعة

24. **الانكسار** فسّر لماذا تعدّ القرنية عنصر التجميع الرئيس للأشعة في العين؟
25. **أنواع العدسات** أيّ العدسات المحدبة أم المقعرة ينبغي أن يستخدمها الشخص المصاب بقصر النظر؟ وأيها ينبغي أن يستخدمها الشخص المصاب بطول النظر؟
26. **الصورة** لماذا تكون الصورة المُشاهَدةُ في التلسكوب مقلوبة؟
27. **المنشور** ما المزايا الثلاث لاستخدام المنشورين في المنظار؟
28. **البعد البؤري** افترض أنك ركزت آلة التصوير التي لديك على شخص يبعد 2 m، ثم أردت أن تُركِّزها على شجرة أبعد من ذلك، فهل يتعين عليك أن تحرك العدسة قريبًا من الفيلم أم بعيدًا عنه؟
29. **التفكير الناقد** عندما تستخدم التكبير الأقصى في المجهر فإن الصورة تكون معتمة أكثر منها في حالة التكبير الأقل. ما الأسباب المحتملة لتكوّن الصورة المعتمة؟ وما الذي يمكن أن تفعله للحصول على صورة أوضح؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مختبر الفيزياء

العدسات المحدّبة والبعد البؤري Convex Lenses and Focal Length

تنصّ معادلة العدسة الرقيقة على أن مقلوب البعد البؤري يساوي مجموع مقلوب بُعد الصورة عن العدسة ومقلوب بعد الجسم عن العدسة.

سؤال التجربة

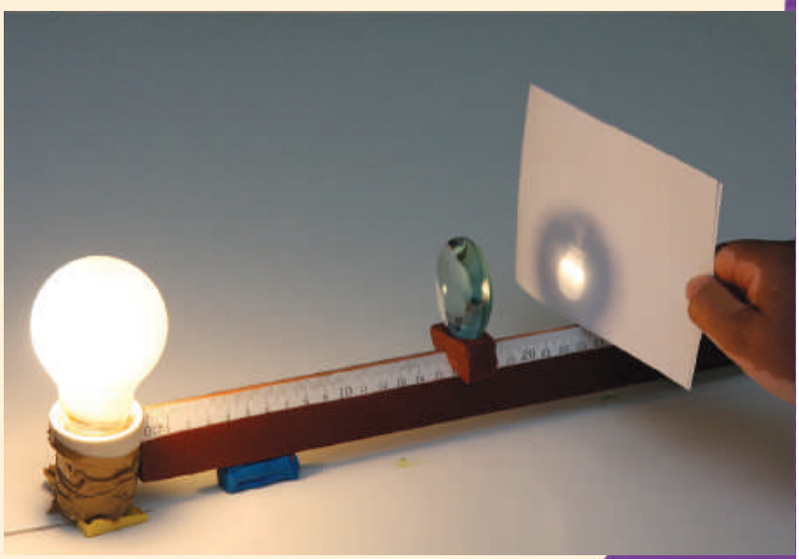
كيف يرتبط بُعد الصورة عن العدسة الرقيقة المحدّبة مع كلٍّ من بُعد الجسم والبعد البؤري؟

الأهداف

- **تنشىء الرسوم البيانية وتستخدمها** لوصف العلاقة بين بُعد الصورة عن العدسة الرقيقة المحدبة وبُعد الجسم.
- **تستخدم النماذج** لتبيّن عدم أهمية بُعد الصورة عندما يكون البعد البؤري ثابتًا.

احتياطات السلامة

- **تأكد من أن المصباح مطفأ قبل وصله بالكهرباء وبعد فصله.**
- **كن حذرًا عند التعامل مع المصابيح؛ فهي ساخنة وقد تحرق الجلد.**
- **للعدسات أطراف حادة، لذا تعامل معها بحذر.**



المواد والأدوات

مصباح كهربائي 25 W (أو شمعة)

قاعدة مصباح (أو قاعدة شمعة)

عدسة محدبة رقيقة

مسطرة مترية

حامل عدسات

بطاقة فهرسة (لوح كرتون)

الخطوات

1. ضع مسطرة مترية على طاولة المختبر حتى تتزن على حافتها، وتظهر الأرقام معتدلة على أحد جانبيها.
2. ضع عدسة محدبة على حامل العدسة، وثبتها على المسطرة المترية بين التدريجين 10 cm و 40 cm. (ستتفاوت المسافات اعتمادًا على البعد البؤري للعدسة المستخدمة).
3. أضئ المصباح، وضعه بجانب طرف المسطرة المترية، على أن يكون مركزه عند التدريج 0 cm للمسطرة المترية.
4. احمل بطاقة الفهرسة، بحيث تكون العدسة بين المصباح والبطاقة.
5. حرّك بطاقة الفهرسة إلى الأمام وإلى الخلف حتى تظهر صورة مقلوبة واضحة للمصباح بأطراف حادة قدر الإمكان.
6. سجّل بُعد المصباح عن العدسة d_o، وبُعد الصورة عن العدسة d_i.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

جدول البيانات		
المحاولة	$d_o\,(cm)$	$d_i\,(cm)$
1		
2		
3		
4		
5		

جدول الحسابات				
المحاولة	$\frac{1}{d_o}(cm^{-1})$	$\frac{1}{d_i}(cm^{-1})$	$\frac{1}{d_o}+\frac{1}{d_i}(cm^{-1})$	$f(cm)$
1				
2				
3				
4				
5				

7. حرّك العدسة إلى موقع آخر بين 10 cm و 40 cm، وكرّر الخطوتين 5 و 6. (ستتفاوت المسافات اعتمادًا على البعد البؤري للعدسة المستخدمة).
8. كرّر الخطوة 7 ثلاث مرات أخرى.

التحليل

9. **إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها** مثّل العلاقة بيانيًّا بين بُعد الصورة (على المحور الرأسي) وبُعد الجسم (على المحور الأفقي). استخدم الحاسوب أو الآلة الحاسبة لإنشاء رسم بياني إذا أمكن ذلك.
10. **استخدام الأرقام** احسب $\frac{1}{d_o}$ و $\frac{1}{d_i}$ وسجّل القيم في جدول الحسابات.
11. **استخدام الأرقام** احسب مجموع $\frac{1}{d_o}$ و $\frac{1}{d_i}$، وسجّل القيم في جدول الحسابات. واحسب مقلوب هذا الرقم، وسجّله في جدول الحسابات على أنه القيمة f.

الاستنتاج والتطبيق

1. **تفسير البيانات** انظر إلى الرسم البياني، وصف العلاقة بين d_i و d_o.
2. **تفسير البيانات** احصل على مقدار البعد البؤري الفعلي للعدسة من معلمك. ما مدى دقة حساباتك لِـ f؟
3. **تفسير البيانات** قارن بين نتائج حسابات البعد البؤري للمحاولات الخمس. هل نتائجك متماثلة؟
4. **تقنيات المختبر** لماذا تعتقد أنه كان عليك ألا تضع العدسة عند نقطة أقرب من 10 cm أو أكثر من 40 cm؟

التوسع في البحث

1. أيّ القياسات أكثر دقة: d_i أم d_o؟ ولماذا تعتقد ذلك؟
2. ما الذي يمكنك أن تفعله لجعل أحد الحسابين أو كليهما أدق؟

الفيزياء في الحياة

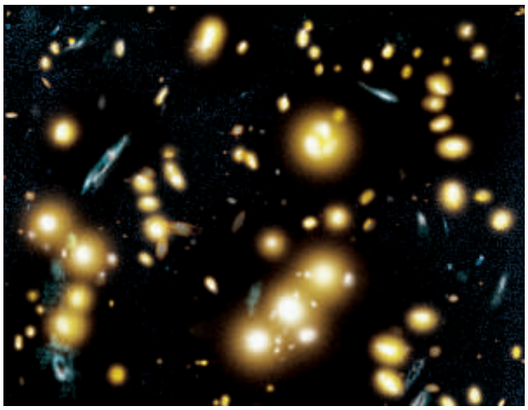
1. إذا أردت التقاط صورة بآلة التصوير لجسم بعيد، ثم لجسم آخر يبعد أقل من متر، فكيف يجب تغيير المسافة بين العدسة والفيلم؟
2. هناك فرقان بين الصورة التي تتكوّن على شبكية عينك والجسم الذي تنظر إليه، ما هما؟ (تذكر أن العدسة في عينك محدبة).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

عدسات الجاذبية Gravitational Lenses

اكتشف الفلكيون عام 1979 في مرصد جودرل Jodrell Bank في بريطانيا نجمين من النجوم البعيدة (quasars) تفصل بينهما مسافة 7 ثوانٍ قوسية.

وبيّنت القياسات أنّ النجمين يبعد أحدهما عن الآخر 500 , 000 سنة ضوئية. وبدا أن النجمين يتذبذبان في السطوع وفي الإيقاع معًا، ولكنّ المدهش أنّه كان للنجمين أطياف متماثلة. فقد ظهرا وكأنهما جسمان مختلفان، ولكن في الحقيقة كان الجسمان عبارة عن جسم واحد.



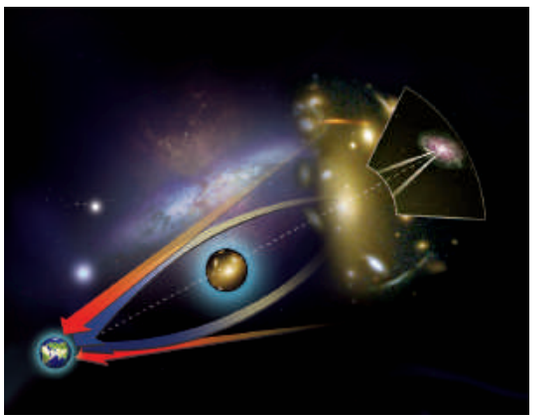
الأشكال الزرقاء صور متعدّدة للمجرة نفسها ناتجة عن عدسة الجاذبية القادمة من مجرة عنقودية 1654 + 0024 في مركز الصورة.

وأكّدت دراسات أخرى لفلكيّين من مختلف أنحاء العالم أنّه لا يوجد إلاّ نجم واحد فقط، انحنى ضوؤه بفعل تجمّع من المجرّات تسيطر عليها مجرة إهليلجية ضخمة تقع على الخط البصري بين النجم والأرض. فأدرك الفلكيون أنّهم شاهدوا صورتين لنجم واحد. وأثّرت المجرة كأنها عدسة محدبة ناقصة، تركّز الضوء المنحرف بطريقة ما، بحيث تتكوّن صورتان لجسم واحد. ولكن ما الذي دفعهم إلى الاعتقاد بأنّ الضوء قد انحنى؟

الجاذبية والضوء تذكّر الفلكيون أبحاث ألبرت أينشتاين ونظريته النسبية. فقد اقترح أينشتاين أن الضوء ينحني بفعل مجال الجاذبية للأجسام الضخمة. ففي نظرية الفضاء الكلاسيكية المعروفة بالفضاء الإقليدي، ينتقل الضوء في خطوط مستقيمة. واستنادًا إلى أينشتاين فإنّ الضوء ينحني عندما يمر بجانب الأجسام الضخمة.

وفي عام 1919 أثبتت مقارنة لضوء نجم قبل كسوف الشمس وفي أثنائه صحة نظرية أينشتاين. فاقترح أينشتاين في عام 1936 ظاهرة عدسة الجاذبية. ولأنّ الضوء يمكنه أن ينحني بفعل مجالات الجاذبية للأجسام الضخمة، لذا على المراقبين أن يروا صور حلقات خيالية عندما يكون هناك جسم ضخم بين الأرض والجسم المراقَب. ولم يشاهد أينشتاين أبدًا مثل هذه الظاهرة، ولكن نظريته في النسبية دعمت إمكانية وجود عدسات الجاذبية هذه.

يبين الرسم أدناه كيف أنّ الضوء القادم من مجرة بعيدة ينحني حول تجمع مجرات قبل أن يصل إلى الأرض.



الدليل عندما يكتشف شخصٌ شيئًا ما للمرة الأولى فإنّ العديد من الاكتشافات الداعمة تعقُب ذلك. فمنذ قدّم أينشتاين اقتراحاته إلى أن اكتشفت الصورة المزدوجة للنجم البعيد (الكوازار) عام 1979، اكتشفت العديد من عدسات الجاذبية، كما شوهدت كل من حلقات أينشتاين والصور المتعدّدة. ونتجت حلقات أينشتاين عندما أصبحت عدسة الجاذبية والضوء القادم من الجسم على استقامة واحدة تقريبًا. وتتشكّل الصور المتعدّدة عندما لا تكون عدسة الجاذبية والضوء على استقامة واحدة. وحتى الآن اكتُشف أكثر من 50 عدسة جاذبية.

التوسع

1. **استنتج** لماذا كان اكتشاف عدسات الجاذبية مهمًّا؟
2. **قارن وميّز** فيمَ تتشابه عدسات الجاذبية والعدسات المحدبة؟ وفيمَ تختلفان؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 6
دليل مراجعة الفصل

6–1 انكسار الضوء Refraction of Light

المفردات

- معامل الانكسار
- قانون سنل في الانكسار
- الزاوية الحرجة
- الانعكاس الكلي الداخلي
- التفريق (التحليل)

المفاهيم الرئيسة

- ينحرف مسار الضوء عندما ينتقل من وسط ذي معامل انكسار n_1 إلى وسط آخر معامل انكساره مختلف n_2.

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

- النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ c إلى سرعته في أيّ وسط آخر تساوي معامل انكسار الوسط n.

$$n = \frac{c}{v}$$

- عندما ينتقل الضوء من وسط لوسط آخر معامل انكساره أقل وبزاوية سقوط أكبر من الزاوية الحرجة θ_c فإن الضوء ينعكس انعكاسًا كليًّا داخليًّا في الوسط نفسه الذي هو فيه، ولا ينفذ إلى الوسط الآخر.

$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

6–2 العدسات المحدبة والمقعرة Convex and Concave Lenses

المفردات

- العدسة
- العدسة المحدبة
- العدسة المقعرة
- معادلة العدسة الرقيقة
- الزوغان اللونيّ
- العدسة اللالونيّة

المفاهيم الرئيسة

- يرتبط كلٌّ من البعد البؤري f، وبُعد الجسم d_o، وبُعد الصورة d_i للعدسة الرقيقة بالمعادلة الآتية:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$$

- يُعرَّف التكبير m للصورة الناتجة عن عدسة بالطريقة نفسها التي عُرّف بها التكبير للصورة الناتجة عن مرآة.

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

- تُكوِّن العدسة المحدبة المفردة صورة حقيقية مقلوبة عندما يكون بُعد الجسم أكبر من البعد البؤري، وتكون الصورة مصغّرة أو مكبّرة وفقًا لبعد الجسم.
- تُكوِّن العدسة المحدبة المفردة صورة خيالية معتدلة ومكبّرة عندما يوضع الجسم بين العدسة والبؤرة.
- تُكوِّن العدسة المقعرة صورًا خيالية دائمًا، وتكون معتدلة ومصغّرة.
- جميع العدسات لها زوغان لونيّ، وجميع العدسات التي لها سطوح كروية لها زوغان كروي.

6–3 تطبيقات العدسات Applications of Lenses

المفردات

- قصر النظر
- طول النظر

المفاهيم الرئيسة

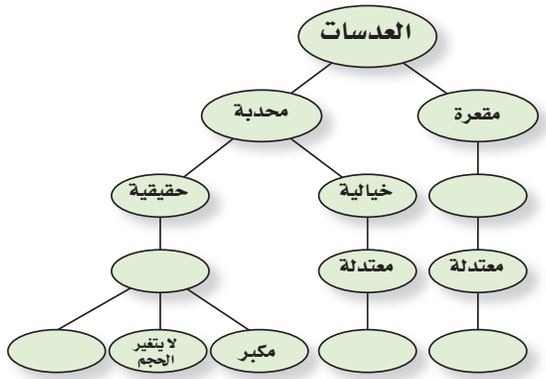
- يُعدّ الفرق بين معاملي انكسار الهواء والقرنية المسؤول الرئيس عن تجميع الضوء في العين.
- تستخدم الآلات البصرية مجموعة من العدسات للحصول على صور واضحة للأجسام الصغيرة أو البعيدة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 6 التقويم

خريطة المفاهيم

30. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: مقلوبة، مكبرة، مصغّرة، خيالية.



إتقان المفاهيم

31. قارن زاوية السقوط بزاوية الانكسار عندما ينتقل شعاع الضوء من الزجاج إلى الهواء بزاوية لا تساوي صفرًا؟ (1–6)

32. على الرغم من أنّ الضوء القادم من الشمس ينكسر في أثناء مروره في الغلاف الجويّ للأرض، إلّا أنّ الضوء لا يتحلّل إلى طيفه. فإلامَ يشير هذا بالنسبة لسرعات الألوان المختلفة للضوء المنتقلة في الهواء؟ (1–6)

33. فسّر لماذا يبدو القمر أحمر اللون في أثناء الخسوف؟ (1–6)

34. ما العامل الذي يحدّد موقع البؤرة للعدسة، غير تقوّس سطح العدسة؟ (2–6)

35. عند عرض صورة بواسطة آلة عرض الأفلام على شاشة فإنَّ الفيلم يوضع بين F و $2F$ لعدسة مجمِّعة. ويُنتج هذا الترتيب صورة مقلوبة، فلماذا يظهر مشهد الفيلم معتدلاً عندما يعرض الفيلم؟ (2–6)

36. وضّح لماذا تستخدم الآلات البصرية الدقيقة العدسات اللّالونية؟ (2–6)

37. ما الحالة التي يكون عندها البعد البؤري للعين قصيرًا جدًّا بحيث لا يمكنه تجميع الضوء على الشبكية؟ (3–6)

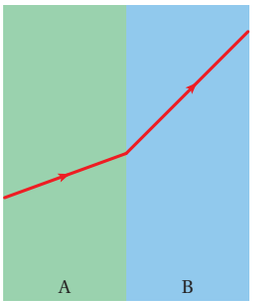
38. ما طبيعة الصورة المتكوّنة بالعدسة الشيئية في المنظار الفلكي الكاسر؟ (3–6)

39. لماذا تعد زيادة المسافة بين العدستين الشيئيتين في المنظار أمرًا نافعًا؟ (3–6)

40. ما الغرض من المرآة العاكسة في آلة التصوير؟ (3–6)

تطبيق المفاهيم

41. أي المادتين، A، أم B، في **الشكل 24–6** لها معامل انكسار أكبر؟ وضّح ذلك.



الشكل 24–6

42. كيف يتغير مقدار الزاوية الحرجة مع زيادة معامل الانكسار؟

43. **الزجاج الأمامي المتشقّق** إذا نظرت خلال زجاج سيارة متشقّق فإنك ترى خطًّا فضيًّا على امتداد الشق، حيث يكون الزجاج منفصلاً عنده، وهناك هواء في الشق. ويشير هذا الخط الفضي إلى أن الضوء ينعكس عن الشق. ارسم مخطّط أشعة لتفسير سبب حدوث هذا. وما الظاهرة التي يمثّلها؟

44. **قوس المطر** لماذا لا تستطيع رؤية قوس المطر في السماء جنوبًا إذا كنت في نصف الكرة الأرضية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 6

الشمالي؟ وإذا كنت في نصف الكرة الأرضية الجنوبي فإلى أي اتجاه يجب أن تنظر لترى قوس المطر؟

45. يستخدم سبّاح عدسة مكبِّرة لمشاهدة جسم صغير في قاع بركة سباحة، واكتشف أنها لا تُكبِّر الجسم بشكل جيد، فسّر لماذا لا تعمل العدسة المكبّرة في الماء كما كانت تعمل في الهواء.

46. لماذا يكون هنالك زوغان لوني للضوء المار خلال عدسة، في حين لا يكون للضوء الذي ينعكس عن مرآة زوغان لوني؟

47. يكون بؤبؤ العينين صغيرًا عندما تتعرض لضوء الشمس الساطع مقارنة بالتعرض لضوء أخفت، وضّح لماذا تستطيع عيناك تجميع الضوء بشكل أفضل في الضوء الساطع؟

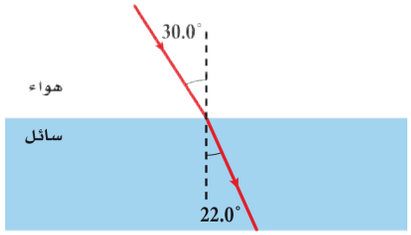
إتقان حل المسائل

6–1 انكسار الضوء

48. ينتقل شعاع ضوء من الهواء إلى سائل ما، كما في **الشكل 25–6**، حيث يسقط الشعاع على السائل بزاوية 30.0°، وينكسر بزاوية 22.0°.

a. احسب معامل انكسار السائل باستخدام قانون سنل.

b. قارن معامل الانكسار الذي حسبته بالقيم الموجودة في الجدول 1–6، وماذا يمكن أن يكون هذا السائل؟



الشكل 25–6

49. يسقط شعاع ضوئي على زجاج مسطح لأحد جوانب حوض سمك، بزاوية مقدارها 40.0° بالنسبة للعمود المقام. فإذا علمت أن معامل انكسار الزجاج $n = 1.50$، فاحسب مقدار:

a. زاوية انكسار الضوء في الزجاج.

b. زاوية انكسار الضوء في الماء.

50. ارجع إلى الجدول 1–6، واستخدم معامل انكسار الألماس لحساب سرعة الضوء فيه.

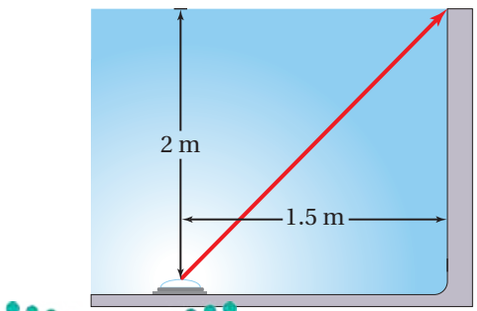
51. ارجع إلى الجدول 1–6، وأوجد الزاوية الحرجة للألماس في الهواء.

52. **حوض سمك** استخدمت صفيحة سميكة من البلاستيك $n = 1.500$، في صنع حوض سمك، فإذا انعكس ضوء عن سمكة موجودة في الماء وسقط على صفيحة البلاستيك بزاوية 35.0°، فما مقدار الزاوية التي سيخرج فيها الضوء إلى الهواء؟

53. **أضواء حوض السباحة** وضع مصدر ضوء في قاع حوض سباحة على عمق 2.0 m من سطح الماء ويبعد عن طرف الحوض 1.5 m كما في **الشكل 26–6**. وكان الحوض مملوءًا بالماء إلى قمته.

a. ما مقدار الزاوية التي يصل فيها الضوء طرف المسبح خارجًا من الماء؟

b. هل تؤدي رؤية الضوء بهذه الزاوية إلى ظهوره بشكل أعمق أم أقل عمقًا مما هو عليه في الواقع؟



الشكل 26–6

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

54. إذا كانت سرعة الضوء في بلاستيك شفاف $1.90\times10^{8}\,m/s$. وسقط شعاع ضوء على البلاستيك بزاوية 22.0°، فما مقدار الزاوية التي ينكسر بها الشعاع؟

6–2 العدسات المحدبة والمقعرة

55. إذا وضع جسم على بُعد 10.0 cm من عدسة مجمّعة بعدها البؤري 5.00 cm، فعلى أيّ بُعد من العدسة تتكوَّن الصورة؟

56. إذا أردنا استخدام عدسة محدبة لتكوِّن صورة حجمها يساوي 0.750 من حجم الجسم، وأن تكون الصورة على بُعد 24 cm من الجانب الآخر للعدسة، فما البعد البؤري للعدسة الذي يحقق ذلك؟

57. وضع جسم طوله 3.0 cm على بُعد 15 cm أمام عدسة مجمّعة، فتكوّنت له صورة حقيقية على بُعد 10 cm من العدسة.

a. ما البعد البؤري للعدسة؟

b. إذا استُبدِلت العدسة الأصلية، ووُضِع مكانها عدسة أخرى لها ضعفا البعد البؤري، فحدّد موقع الصورة وطولها واتجاهها.

58. وضع جسم بالقرب من عدسة مفرّقة بعدها البؤري 15 cm، فتكوّنت له صورة طولها 2.0 cm على بُعد 5.0 cm من العدسة.

a. ما بُعد الجسم عن العدسة؟ وما طوله؟

b. إذا استُبدِلت العدسة المفرِّقة، ووُضِع مكانها عدسة مجمّعة لها البعد البؤري نفسه فما موقع الصورة وطولها واتجاهها؟ وهل هي خيالية أم حقيقية؟

6–3 تطبيقات العدسات

59. **النظارات** يجب أن يكون الكتاب على بُعد 25 cm من العين لقراءته بوضوح. فإذا كان هناك فتاة تعاني من طول النظر، وتحتاج أن يكون الكتاب على بُعد 45 cm من عينيها لقراءته بوضوح، فما البعد البؤري اللازم لعدستي نظارتها؟

60. **آلة نسخ** البعد البؤري للعدسة المحدبة الخاصة بآلة نسخ يساوي 25.0 cm. فإذا وضعت رسالة على بُعد 40.0 cm من العدسة لنسخها

a. فعلى أي بُعد من العدسة يجب أن تكون ورقة النسخ؟

b. ما تكبير ورقة النسخ؟

61. **الميكروسكوب (المجهر)** وضعت شريحة من خلايا البصل على بُعد 12 mm من عدسة المجهر الشيئية، فإذا كان البعد البؤري لهذه العدسة 10.0 mm:

a. فما بُعد الصورة المتكوّنة عن العدسة؟

b. ما تكبير هذه الصورة؟

c. تتكوّن الصورة الحقيقية على بُعد 10.0 mm تحت العدسة العينية. فإذا كان بعدها البؤري 20.0 mm فما موقع الصورة النهائية؟

d. ما التكبير النهائي لهذا النظام المركّب؟

مراجعة عامة

62. **العمق الظاهري** ينعكس ضوء الشمس من قاع حوض سمك وينتشر في جميع الاتجاهات. ويوضّح **الشكل 27–6** شعاعين من هذه الأشعة المنعكسة من نقطة في قاع الحوض ينتقلان إلى السطح، فتنكسر الأشعة في الهواء كما هو مبين. إنّ امتداد الخط الأحمر المتقطع إلى الخلف، من شعاع الضوء المنكسر هو

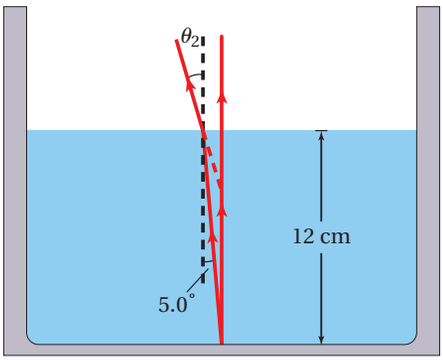
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 6

خط النظـر الذي يتقاطع مع الشـعاع الرأسي عند الموقع الذي سيرى فيه المشاهد صورة قاع الحوض.

a. أوجد زاوية انكسار الشعاع في الهواء.

b. على أيّ عمق سـيبدو قاع الحوض عندما تنظر إلى الماء؟ اقسـم العمق الظاهـري على العمق الحقيقي وقارن هذه النسبة بمعامل الانكسار.



6–27 ■

63. إذا كانت الزاوية الحرجة لقالب زجاجي 45.0° فما معامل انكساره؟

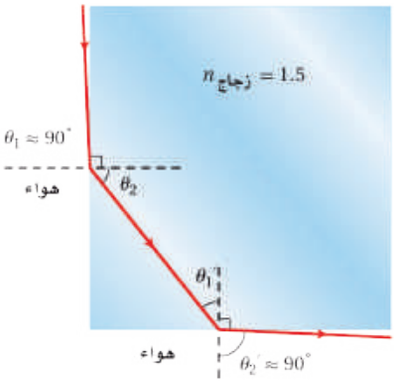
64. أوجـد سرعة الضـوء في حجـر ثالث أوكسـيد الأنتيموني (antimony trioxide)، إذا كان معامل انكساره 2.35.

65. وضع جسـم طولـه 3 cm على بُعـد 20 cm أمام عدسـة مجمّعة. فتكوّنت له صورة حقيقية على بُعد 10 cm من العدسة. ما البعد البؤري للعدسة؟

66. اشتق العلاقة $n=sin\ \theta_1/sin\ \theta_2$ من الصيغة العامة لقانون سنل في الانكسار $n_1\ sin\ \theta_1=n_2\ sin\ \theta_2$. واذكر الافتراضات والمحدّدات.

67. **الفلك** كم دقيقة إضافية يستغرق وصول الضوء من الشـمس إلى الأرض إذا امتلأ الفضـاء بينهما بالماء بدلاً من الفراغ؟ علمًا بأن بُعد الشمس عن الأرض 1.5×10^8 km.

68. من غير الممكن الرؤية من خلال الجوانب المتجاورة لقوالب مربعة الشـكل من زجاج معامل انكساره 1.5. حيث يؤثّر الجانب المجاور للجانب الذي يَنظر من خلاله مراقبٌ كأنّه مرآة. ويمثل **الشكل 28–6** الحالـة المحدّدة لجانـب مجاور لا يؤثـر كأنه مرآة. اسـتخدم معلوماتك في الهندسة، والزوايا الحرجة، لتثبت أنّ هيئة هذا الشـعاع لا يمكن تحقيقها عندما تكون $n_{\text{الزجاج}} = 1.5$.



الشكل 28–6 ■

التفكير الناقد

69. **إدراك العلاقـة المكانيـة** ينتقل ضوء أبيض في هواء معامل انكسـاره 1.0003، ويدخل شريحة زجاجية بزاوية سقوط 45°. فإذا كان معامل انكسار الزجاج الصواني الكثيف يساوي 1.7708 للضوء الأزرق، ويسـاوي 1.7273 للضوء الأحمر، فما مقدار زاوية الانكسار (التشتت) التي ينحصر فيها الطيف المرئي؟ علمًا بأن الطول الموجي للضوء الأزرق 435.8 nm، والطول الموجي للضوء الأحمر 643.8 nm.

70. **قـارن** أوجد الزاوية الحرجـة للجليد الذي معامل انكسـاره 1.31. في المناطق الباردة جدًّا، هل تكون أسلاك الألياف الضوئية المصنوعة من الجليد أفضل من تلك المصنوعة من الزجاج لحفظ الضوء داخل السلك؟ وضح ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 6

71. التفكير الناقد تستخدم عدسة لعرض صورة جسم على شاشة. افترض أنك غطيت النصف الأيمن من العدسة، فما الذي يحدث للصورة؟

الكتابة في الفيزياء

72. إنّ عملية تكيّف العين ـ وهي عملية انقباض العضلات المحيطة بعدسة العين أو انبساطها لرؤية الأجسام القريبة أو البعيدة ـ تختلف من كائن لآخر. ابحث هذه الظاهرة في حيوانات مختلفة، وأعدّ تقريرًا للصف تبين من خلاله كيفية التكيّف في عيونها لرؤية الأشياء.

73. ابحث في نظام العدسات المستخدم في الآلات البصرية، ومنها جهاز عرض الشفافيات أو آلات التصوير الخاصة أو التلسكوب، وحضر عرضًا تصويريًّا للصف تبين من خلاله كيف تكوّن هذه الآلات الصور.

مراجعة تراكمية

74. وضع جسم طوله 2.0 cm أمام مرآة مقعرة نصف قطرها 48.0 cm، وعلى بُعد 12.0 cm منها. احسب بُعد الصورة وطولها. (الفصل 5).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. وُجِّه شعاع من مصباح يدوي على بركة سباحة في الظلام بزاوية 46° بالنسبة للعمود المقام على سطح الماء. ما مقدار زاوية انكسار الشعاع في الماء؟ (معامل انكسار الماء 1.33)

A) 18° C) 33°
B) 30° D) 44°

2. إذا كانت سرعة الضوء في الألماس 1.24×10^8 m/s فما معامل انكسار الألماس؟

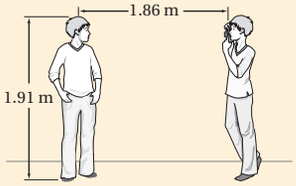
A) 0.0422 C) 1.24
B) 0.413 D) 2.42

3. أيّ مما يأتي لا يؤثر في تشكيل قوس المطر؟

A) الحيود C) الانعكاس
B) التشتّت D) الانكسار

4. التقط أحمد صورة لأخيه أسامة كما في الشكل مستخدمًا كاميرا بعدسة محدبة بعدها البؤري 0.0470 m حدّد موضع صورة أسامة.

A) 1.86 cm C) 4.82 cm
B) 4.70 cm D) 20.7 cm

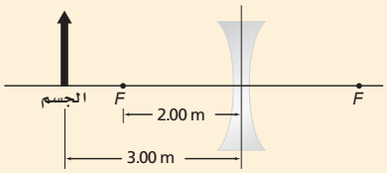


5. أيّ مما يأتي لا يؤثر في تشكيل السراب؟

A) تسخين الهواء القريب من الأرض
B) موجات هيجنز
C) الانعكاس
D) الانكسار

6. ما بُعد الصورة للحالة الموضحة في الشكل؟

A) −6.00 m C) 0.167 m
B) −1.20 m D) 0.833 m



7. ما الزاوية الحرجة للانعكاس الكلي الداخلي، عندما ينتقل الضوء من زجاج معامل انكساره 1.52 إلى الماء الذي معامل انكساره 1.33؟

A) 29.0° C) 48.8°
B) 41.2° D) 61.0°

8. ماذا يحدث للصورة المتكوّنة من عدسة محدبة عندما يُغطَّى نصفها؟

A) تختفي نصف الصورة C) تصبح الصورة ضبابية
B) تعتم الصورة D) تنعكس الصورة

الأسئلة الممتدة

9. إذا كانت الزاوية الحرجة للانعكاس الكلي الداخلي عند الحدّ الفاصل بين الألماس والهواء 24.4°، فما زاوية الانكسار في الهواء إذا كانت زاوية سقوط الشعاع على الحد الفاصل 20°؟

10. يتكوّن لجسم يبعد 6.98 cm عن عدسةٍ صورةٌ تبعد 2.95 cm عن العدسة في الجانب نفسه. حدّد نوع العدسة، ووضّح كيف عرفت ذلك؟

إرشاد

أعط نفسك الوقت الكافي

لن تحصل على نقاط إضافية إذا أنهيت الاختبار مبكرًا. لذا اعمل ببطء وبحذر؛ تجنّبًا للوقوع في أخطاء عدم الانتباه الذي يمكن أن يحدث عندما تريد إنهاء الاختبار بسرعة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مصادر تعليمية للطالب

- دليل الرياضيات
- الجداول
- المصطلحات

دليل الرياضيات

يمكنك الإطلاع على الدليل من خلال
زيارة الرابط التالي:

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الجداول

الوحدات الأساسية SI		
الكمية	الاسم	الرمز
الطول	meter	m
الكتلة	kilogram	kg
الزمن	second	s
درجة الحرارة	kelvin	K
مقدار المادة	mole	mol
التيار الكهربائي	ampere	A
شدة الإضاءة	candela	cd

وحدات SI المشتقة				
القياس	الوحدة	الرمز	معبرة بالوحدات الأساسية	معبرة بوحدات SI أخرى
التسارع		m/s^2	m/s^2	
المساحة		m^2	m^2	
الكثافة		kg/m^3	kg/m^3	
الشغل، الطاقة	joul	J	$kg.m^2/s^2$	N.m
القوة	newton	N	$kg.m/s^2$	
القدرة	watt	W	$kg.m^2/s^3$	J/s
الضغط	pascal	Pa	$kg/m.s^2$	N/m^2
السرعة		m/s	m/s	
الحجم		m^3	m^3	

تحويلات مفيدة		
1 in = 2.54 cm	$1kg = 6.02 \times 10^{26}$ u	1 atm = 101 kPa
1 mi = 1.61 km	1 oz ↔ 28.4 g	1 cal = 4.184 J
	1 kg ↔ 2.21 lb	$1ev = 1.60 \times 10^{-19}$ J
1 gal = 3.79 L	1 lb = 4.45 N	1kwh = 3.60 MJ
$1\ m^3 = 264$ gal	1 atm = 14.7 lb/in^2	1 hp = 746 W
	$1atm = 1.01 \times 10^5\ N/m^2$	$1\ mol = 6.022 \times 10^{23}$

الجداول

ثوابت فيزيائية			
الكمية	الرمز	المقدار	القيمة التقريبية
وحدة كتلة الذرة	u	$1.66053886\times 10^{-27}$ kg	1.66×10^{-27} kg
عدد أفوجادرو	N_A	6.0221415×10^{23} mol^{-1}	6.022×10^{23} mol^{-1}
ثابت بولتزمان	k	1.3806505×10^{-23} $Pa.m^3/K$	1.38×10^{-23} $Pa.m^3/K$
ثابت الغاز	R	8.314472 $Pa.m^3/mol.K$	8.31 $Pa.m^3/mol.K$
ثابت الجاذبية	G	6.6742×10^{-11} $N.m^2/kg^2$	6.67×10^{-11} $N.m^2/kg^2$

البادئات		
البادئة	الرمز	الدلالة العلمية
femto	f	10^{-15}
pico	p	10^{-12}
nano	n	10^{-9}
micro	μ	10^{-6}
milli	m	10^{-3}
centi	c	10^{-2}
deci	d	10^{-1}
deka	da	10^{1}
hecto	h	10^{2}
kilo	k	10^{3}
mega	M	10^{6}
giga	G	10^{9}
terra	T	10^{12}
peta	P	10^{15}

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الجداول

كثافة بعض المواد الشائعة	
المادة	الكثافة (g/cm^3)
ألومنيوم	2.702
كادميوم	8.642
نحاس	8.92
جرمانيوم	5.35
ذهب	19.31
هيدروجين	8.99×10^{-5}
إنديوم	7.30
حديد	7.86
رصاص	11.34
زئبق	13.546
أكسجين	1.429×10^{-3}
سليكون	2.33
فضة	10.5
ماء (4 C°)	1.000
خارصين	7.14

درجات الانصهار والغليان لبعض المواد		
المادة	درجة الذوبان (C°)	درجة الغليان (C°)
ألومنيوم	660.37	2467
نحاس	1083	2567
جرمانيوم	937.4	2830
ذهب	1064.43	2808
إنديوم	156.61	2080
حديد	1535	2750
رصاص	327.5	1740
سيليكون	1410	2355
فضة	961.93	2212
ماء	0.000	100.000
خارصين	419.58	907

الحرارة النوعية لبعض المواد الشائعة			
	الحرارة النوعية (J/kg.K)	المادة	الحرارة النوعية (J/kg.K)
ألومنيوم	897	رصاص	130
نحاس أصفر	376	ميثانول	2450
كربون	710	فضة	235
نحاس	385	بخار	2020
زجاج	840	ماء	4180
جليد	2060	خارصين	388
حديد	450		

الحرارة الكامنة للانصهار والحرارة الكامنة للتبخر لبعض المواد الشائعة		
المادة	الحرارة الكامنة للانصهار (J/kg)	الحرارة الكامنة للتبخر (J/kg)
نحاس	2.05×10^5	5.07×10^6
ذهب	6.30×10^4	1.64×10^6
حديد	2.66×10^5	6.29×10^6
رصاص	2.04×10^4	8.64×10^5
زئبق	1.15×10^4	2.72×10^5
ميثانول	1.09×10^5	8.78×10^5
فضة	1.04×10^5	2.36×10^6
ماء (جليد)	3.34×10^5	2.26×10^6

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الجداول

الأطوال الموجية للضوء المرئي	
الطول الموجي (nm) بالنانومتر	اللون
430–380	الضوء البنفسجي
450–430	الضوء النيلي
500–450	الضوء الأزرق
520–500	الضوء الأزرق الداكن
565–520	الضوء الأخضر
590–565	الضوء الأصفر
625–590	الضوء البرتقالي
740–625	الضوء الأحمر

سرعة الصوت في أوساط مختلفة	
الوسط	m/s
هواء (0°)	331
هواء (20°)	343
هيليوم (0°)	972
هيدروجين (0°)	1286
ماء (25°)	1493
ماء البحر (0°)	1533
مطاط	1600
نحاس (25°)	3560
حديد (25°)	5130
زجاج التنور	5640
ألماس	12000

المصطلحات

أ

أنبوب الرنين المغلق Closed–pipe resonator
أنبوب مفتوح من طرف واحد -بالنسبة للهواء- يكون في حالة رنين مع مصدر الصوت عندما تنعكس موجات المصدر من طرف مغلق بحيث يكون طول العمود مساويا مضاعفات أعداد فردية من ربع الطول الموجي.

أنبوب الرنين المفتوح Open–pipe resonator
أنبوب مفتوح الطرفين، ويكون في حالة رنين مع مصدر صوت عندما تنعكس موجات المصدر من طرف مفتوح، بحيث يكون طول العمود مساويا مضاعفات أعداد صحيحة من نصف الطول الموجي.

إزاحة دوبلر Doppler shift
الفرق بين الطول الموجي الملاحظ للضوء والطول الموجي الأصلي للضوء، والذي يعتمد على السرعة النسبية للملاحظ، أو المراقب، وسرعة مصدر الضوء.

الإيقاع Harmonic
ترددات مرتفعة وهي مضاعفات فردية من التردد الأساسي، وإضافة الإيقاعات معا يعطي الصوت طابعا مميزا.

الاستضاءة illuminance
معدل اصطدام الضوء بسطح أو معدل الضوء الساقط على وحدة المساحة، وتُقاس بوحدة اللومن لكل متر مربع، lm/m^2 أو لوكس lx.

الاستقطاب polarization
الضوء الذي تتذبذب موجاته في مستوى واحد فقط.

الانعكاس غير المنتظم Diffuse reflection
انعكاس مضطرب متشتّت ناتج عن سطح خشن.

الانعكاس المنتظم specular reflection
انعكاس ناتج عن سطح أملس، بحيث تنعكس الأشعة متوازية عندما تسقط متوازية.

الانعكاس الكلي الداخلي total internal reflection
يحدث عندما يسقط الشعاع الضوئي في وسطٍ معاملُ انكساره كبيرٌ إلى وسطٍ معاملُ انكساره أقلّ، على أن يصطدم بالحد الفاصل (الحاجز) بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، مما يؤدي إلى انعكاس الضوء جميعه وارتداده إلى الوسط الذي معامل انكساره أكبر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المصطلحات

الانكسار
refraction
التغير في اتجاه الموجة عند الحد الفاصل بين وسطين مختلفين.

ب

الباسكال
pascal
وحدة قياس الضغط في النظام الدولي للوحدات SI.

البعد البؤري
focal length
بعد البؤرة عن سطح المرآة على امتداد المحور الرئيس.

بطن الموجة
antinode
النقطة ذات الإزاحة الكبرى عندما التقاء نبضتي موجة.

البندول البسيط
Simple pendulums
أداة توضح الحركة التوافقية البسيطة، ويتكوّن من جسم ثقيل يُسمَّى ثقل البندول، يُعلّق بوساطة خيط أو قضيب خفيف، ثم يسحب ثقل البندول إلى أحد الجانبين ويترك ليتأرجح جيئةً وذهابًا.

البؤرة
focal point
النقطة التي تتجمع فيها الأشعة الضوئية الساقطة بصورة موازية للمحور الرئيس بعد أن تنعكس عن المرآة.

البلازما
plasma
حالة من حالات الموائع، يكون فيها المائع شبه غاز، ويتكون من إلكترونات سالبة الشحنة وأيونات موجبة الشحنة بحيث توصل الكهرباء، ومعظم الموادّ في الكون مثل النجوم في حالة البلازما.

ت

تأثير دوبلر
Doppler effect
التغير في تردد الصوت الناتج عن تحرك مصدر الصوت أو الكاشف أو كليهما.

التداخل
interference
نتيجة تراكب موجتين أو أكثر، ويمكن أن يكون التداخل بنّاءً (إزاحات الموجة في الاتجاه نفسه)، ويمكن أن يكون التداخل هدّامًا (اتساعات الموجات متساوية ولكن متعاكسة).

التدفق الضوئي
Luminous flux
معدل انبعاث طاقة الضوء من المصدر المضيء.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المصطلحات

التردّد frequency
عدد الذبذبات الكاملة التي تحدثها الموجة في الثانية الواحدة، وتُقاس بوحدة الهرتز Hz

التردّد الأساسي (الأساس) Fundamental frequency
أقل تردّد للصوت الذي يحدث الرنين في الآلات الموسيقية

التفريق (التحليل) dispersion
فصل الضوء الأبيض وتحليله إلى ألوان الطيف باستخدام منشور زجاجي أو قطرات الماء في الغلاف الجوي.

التكبير magnification
مقدار الزيادة أو النقصان في حجم الصورة بالنسبة إلى حجم الجسم.

التمدد الحراري thermal expansion
خاصية للموادّ في جميع حالاتها، تسبب تمدد المادة فتصبح أقل كثافة عند التسخين.

ج

الجسم object
مصدر أشعة ضوئية مضيء ذاتيًّا أو مُضاء.

ح

حدّة الصوت pitch
خاصية للصوت تعتمد على تردد الاهتزاز فقط، ونميّز بوساطتها الأصوات الرفيعة (الحادّة) من الأصوات الغليظة.

الحركة التوافقية البسيطة simple harmonic motion
الحركة التي تحدث عندما تتناسب القوة المُعيدة (المُرجعة) المؤثرة في جسم طرديًّا مع إزاحة الجسم عن وضع الاتزان.

الحركة الدورية periodic motion
أي حركة تتكرر في دورة منتظمة.

الحيود diffraction
انحناء الضوء حول حاجز.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المصطلحات

خ

خطوط الانسياب streamlines
الخطوط التي تمثل تدفق الموائع حول الأجسام.

د

الديسبل decible
وحدة قياس مستوى الصوت، يمكن بوساطتها وصف قدرة الموجات الصوتية وشدتها

ر

الرنين resonance
حالة خاصة في الحركة التوافقية البسيطة تحدث عندما تُطبّق قوى صغيرة في فترات منتظمة على متذبذب أو جسم مهتز، مما يؤدي إلى زيادة اتساع الاهتزاز

ز

الزاوية الحرجة critical angle
هي زاوية السقوط التي ينكسر عندها الشعاع على امتداد الحد الفاصل بين الوسطين.

الزمن الدوري periode
مقدار الزمن الذي يحتاج إليه الجسم حتى يكمل دورة واحدة من الحركة.

الزوغان الكروي spherical aberration
عيب في المرآة الكروية، بحيث لا يسمح للأشعة الضوئية المتوازية البعيدة عن المحور الرئيس بالتجمع في البؤرة، فتكوّن المرآة نتيجة لذلك صورة مشوشة غير تامة.

الزوغان اللّوني chromatic aberration
عيب في العدسات الكروية يؤدي إلى تركيز الضوء المار خلال العدسات في نقاط مختلفة، مما يؤدي إلى ظهور الجسم المرئي خلال العدسة محاطًا بحزم ملونة.

س

سعة الاهتزازة Vibration amplitude
أقصى مسافة يتحركها الجسم مبتعدا عن موضع الاتزان.

سعة الموجة wave amplitude
هي الإزاحة القصوى للموجة عن موضع سكونها أو اتزانها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

ش

الشبكة البلورية
crystal lattice
نمط ثابت ومنتظم يتشكل عندما تنخفض درجة حرارة السائل، بحيث يقل متوسط الطاقة الحركية لجزيئاته، وبالنسبة لكثير من الموادّ الصلبة لا يعني التجمد التوقف عن الحركة، وإنما تبقى الجزيئات تتذبذب حول موضع اتزانها.

الشعاع
ray
الخط الذي يبين اتجاه الموجة المنتقلة، ويُرسم عموديًّا على قمة الموجة.

ص

الصبغة الأساسية
primary pigment
تمتص كل من صبغة اللّون الأزرق الداكن وصبغة اللّون الأحمر المزرقّ وصبغة اللّون الأصفر لونًا أساسيًّا واحدًا فقط من الضوء الأبيض، وتعكس اللّونين الأساسيّن الآخرين. كما تُنتج الصبغات الثانوية؛ وهي الحمراء والخضراء والزرقاء، عند مزج هذه الصبغات الأساسية في أزواج.

الصبغة الثانوية
secondary pigment
تمتص كلّ من صبغة اللّون الأحمر واللّون الأخضر واللّون الأزرق لونين أساسيين من الضوء الأبيض وتعكس لونًا أساسيًّا واحدًا، كما تنتج عن مزج صبغتين من الأصباغ التالية: الأزرق الداكن، والأحمر المزرقّ، والأصفر.

الصورة
image
اتحاد صورة النقاط الناتجة بفعل الأشعة الضوئية المنعكسة عن المرآة.

الصورة الحقيقية
real image
صورة مقلوبة مصغرة أو مكبرة، وتتكوّن نتيجة تجمّع الأشعة الضوئية.

الصورة الخيالية
virtual image
الصورة المتكوّنة من تباعد الأشعة الضوئية، وتتكوّن عادة في الجهة المعاكسة للمرآة من الجسم.

ض

الضغط
Pressure
القوة المؤثرة في سطح ما مقسومة على مساحة ذلك السطح.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المصطلحات

ط

طول النظر
farsightendness
عيب في الرؤية، حيث لا يستطيع الشخص المصاب به رؤية الجسم القريب بوضوح؛ بسبب تكوّن الصورة خلف الشبكيّة، ويمكن تصحيحه بعدسة محدبة.

الطول الموجي
wavelength
أقصر مسافة بين النقاط التي يعيد نمط الموجة نفسه فيها، كالمسافة بين قمة وقمة، أو المسافة بين قاع وقاع.

ع

علوّ الصوت
loudness
شدة الصوت كما تحسّه الأذن ويدركه الدماغ، ويعتمد بشكل رئيس على اتساع موجة الضغط.

العدسة
lens
قطعة من مادة شفافة، مثل الزجاج أو البلاستيك، تستخدم في تركيز الضوء وتكوين الصور.

العدسة اللالونية
achromatic lens
تراكب يتكوّن من عدستين أو أكثر مختلفتين في معاملي الانكسار (عدسة مقعرة مع عدسة محدبة مثلاً) والتي تستخدم لتقليل الزوغان اللّوني.

العدسة المحدّبة
convex lens
عدسة مجمّعة، سميكة في وسطها وأقل سمكًا عند أطرافها، تجعل الأشعة المتوازية الساقطة عليها تتجمّع في نقطة عندما تكون محاطة بمادة معامل انكسارها أقل من معامل انكسار العدسة، وتكوّن صورًا مصغّرة ومقلوبة وحقيقية أو مكبرة ومعتدلة ووهمية.

العدسة المقعّرة
concave lens
عدسة مفرّقة، وسطها أقل سمكًا من أطرافها، تشتّت الضوء الساقط عليها والمار بها عندما يكون معامل انكسار الوسط المحيط بها أقل من معامل انكسارها، وتكوّن صورًا مصغّرة وهميّة ومعتدلة.

العقدة
node
النقطة الثابتة التي تلتقي فيها نبضتان موجيتان في الموقع نفسه، حيث تصبح الإزاحة الناتجة صفرًا.

العمود المقام
normal
الخط الذي يبين اتجاه الحاجز في مخطّط الأشعة، ويُرسم عموديًّا على الحاجز.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المصطلحات

ق

قانون سنل في الانكسار
Snell's law of refraction
ينص على أن حاصل ضرب معامل انكسار وسط السقوط في جيب زاوية السقوط يساوي حاصل ضرب معامل انكسار وسط الانكسار في جيب زاوية الانكسار.

قانون الانعكاس
law of reflection
ينصّ على أن زاوية انعكاس الشعاع المحصورة بين العمود المقام والشعاع المنعكس تساوي زاوية السقوط المحصورة بين العمود المقام والشعاع الساقط.

قانون الغاز المثالي
ideal gas law
في الغاز المثالي، حاصل ضرب الضغط في الحجم يساوي عدد المولات مضروبة في الثابت R ودرجة الحرارة بالكلفن. وبوساطته يتم توقع سلوك الغازات بشكل جيد إلا في حالات الضغط العالي ودرجة الحرارة المنخفضة.

قانون مالوس
Malus's law
ينصّ على أن شدة الضوء الخارج من مرشّح الاستقطاب الثاني تساوي شدة الضوء المستقطَب الخارج من مرشّح الاستقطاب الأول مضروبًا في مربع جيب تمام الزاوية المحصورة بين محوري الاستقطاب للمرشِّحين.

قانون هوك
Hooke's law
ينصّ على أن القوة المؤثرة في نابض تتناسب طرديًّا مع مقدار الاستطالة الحادثة فيه.

قصر النظر
nearsightedness
عيب في الرؤية؛ حيث لا يستطيع الشخص المصاب به رؤية الجسم البعيد بوضوح؛ لأن الصورة تتكوّن أمام الشبكية، ويُصحّح باستخدام عدسة مقعرة.

القاع
trough
أدنى نقطة في الموجة.

القانون العام للغازات
combined gas law
لكمية ثابتة من غاز مثالي يكون حاصل ضرب الضغط في الحجم مقسومًا على درجة الحرارة بالكلفن يساوي مقدارًا ثابتًا، ويمكن اشتقاق قانون بويل من هذا القانون إذا تم تثبيت درجة الحرارة، كما يمكن اشتقاق قانون شارل منه إذا تم تثبيت الضغط.

القمة
crest
أعلى نقطة في الموجة.

قوى التماسك
cohesive forces
قوى تجاذب كهرومغناطيسية تؤثر بها الدقائق المتماثلة بعضها في بعض وهي المسببة للتوتر السطحي واللزوجة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المصطلحات

قوى التلاصق
adhesive forces
قوى التجاذب الكهرومغناطيسية، بوساطتها تلتصق مادة بمادة أخرى، وهي المسؤولة عن عمل الأنابيب الشعرية.

قوة الطفو
buoyant force
القوة الرأسية المؤثرة في الجسم المغمور في مائع إلى أعلى.

ل

اللّون الأساسي (الأساس)
primary color
الألوان الأحمر والأخضر والأزرق، التي تكوّن اللون الأبيض عندما تتحد معًا، كما تُنتج الألوان الثانوية، وهي الأصفر، والأزرق الداكن، والأحمر المزرقّ، عند مزجها في أزواج.

اللّون الثانوي
secondary color
ينتج كلّ من اللّون الأصفر واللّون الأزرق الداكن واللّون الأحمر المزرقّ عن اتحاد لونين أساسيّين.

اللون المتمّم
complementary color
لون الضوء الذي يعطي ضوءًا أبيض عند تراكبه مع ضوء آخر.

م

مبدأ التراكب
principle of superposition
ينصّ على أن إزاحة الوسط الناتجة عن موجتين أو أكثر هي المجموع الجبري لإزاحات الموجات، وهي منفردة.

مبدأ أرخميدس
Archimedes principle
الجسم المغمور في مائع تؤثر فيه قوة رأسية إلى أعلى تساوي وزن المائع المزاح عن طريق الجسم.

مبدأ باسكال
Pascal's principle
ينصّ على أن أي تغير في الضغط المؤثر عند أي نقطة في المائع المحصور ينتقل في جميع الاتجاهات داخل المائع بالتساوي.

مبدأ برنولي
Bernoulli's principle
ينصّ على أن تزايد سرعة المائع يؤدي إلى نقصان ضغطه.

المادة الصلبة غير البلورية
amorphous solid
مادة لها شكل وحجم محددان، ولكن ليس لها تركيب بلوري منتظم.

مستوى الصوت
sound level
المقياس اللوغارتمي الذي يقيس الاتساع، ويعتمد على نسبة تغير الضغط لموجة صوتية معينة إلى تغير الضغط في أضعف الأصوات المسموعة، ويُقاس بوحدة الديسبل dB.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المصطلحات

معامل الانكسار index of refraction	بالنسبة لوسط ما هو النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعة الضوء في ذلك الوسط.
معادلة العدسة الرقيقة thin lens equation	تنصّ على أن مقلوب البعد البؤري لعدسة كروية يساوي مجموع مقلوب كلٍّ من بعد الصورة وبعد الجسم.
معامل التمدّد الحجمي coefficient of volume expansion	حاصل قسمة التغير في الحجم على الحجم الأصلي والتغير في درجة الحرارة. ويعادل ثلاثة أضعاف معامل التمدّد الطولي تقريبًا لأن الجسم يتمدّد في الأبعاد الثلاثة.
معامل التمدّد الطولي coefficient of linear expansion	حاصل قسمة التغير في الطول على الطول الأصلي والتغير في درجة الحرارة.
مقدمة الموجة wave front	الخط الذي يمثّل قمة الموجة في بعدين، والذي يبيّن طولها الموجي ولا يبيّن اتساعها عند رسمها ضمن مقياس رسم.
المحور الرئيس principle axis	خط مستقيم عمودي على سطح المرآة حيث يقسمها إلى نصفين.
المرآة المحدّبة convex mirror	مرآة تعكس الضوء عن سطحها المقوّس (المنحني) إلى الخارج، وتكوّن صورًا معتدلة ومصغّرة ووهمية.
المرآة المستوية plane mirror	سطح أملس ناعم يعكس الضوء انعكاسًا منتظمًا، ويكوّن صورة وهمية ومعتدلة لها حجم الجسم نفسه وهيئته، ولها أيضًا البعد نفسه الذي يبعده الجسم عن المرآة.
المرآة المقعّرة concave mirror	مرآة تعكس الضوء عن سطحها المقوّس (المنحني) إلى الداخل، وتكوّن صورًا معتدلة وهميّة أو مقلوبة وحقيقية.
المصدر المستضيء (المُضاء) illuminated source	جسم، مثل القمر، يظهر مضيئًا نتيجة انعكاس الضوء عنه.
المصدر المضيء luminous source	جسم يبعث الضوء، كالشمس أو المصباح.
الموجة wave	اضطراب ينقل الطاقة خلال وسط ناقل أو في الفراغ، كما أنه ينقل الطاقة ولا ينقل جزيئات الوسط الناقل.
الموجة الدورية periodic wave	موجة ميكانيكية تتحرك إلى أعلى وإلى أسفل بالمعدل نفسه.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المصطلحات

الموجة الساقطة
incident wave
الموجة التي تصطدم بالحد الفاصل بين وسطين.

الموجة المستعرضة
transverse wave
موجة ميكانيكية تتذبذب عموديًّا على اتجاه حركة الموجة.

الموجة السطحية
surface wave
موجة ميكانيكية ناتجة عن تحرك دقائق الوسط في كلا الاتجاهين: في اتجاه حركة الموجة نفسه، وفي الاتجاه المتعامد مع اتجاه حركتها.

الموجة الصوتية
sound wave
انتقال تغيرات الضغط خلال مادةٍ على شكل موجة طولية، ويحدث لها انعكاس وتداخل، كما أن لها ترددًا، وطول موجة، وسرعة، واتساعًا.

الموجة الطولية
longitudinal wave
موجة ميكانيكية ينتقل الاضطراب فيها في اتجاه حركة الموجة نفسه؛ أي موازيًا لها.

الموجة المنعكسة
reflected wave
الموجة المرتدة الناتجة عن انعكاس بعض طاقة نبضة الموجة الساقطة إلى الخلف.

الموجة الموقوفة (المستقرة)
standing wave
الموجة التي تظهر واقفة وساكنة، وتتولّد نتيجة تداخل موجتين تتحركان في اتجاهين متعاكسين

الموائع
fluids
مادة سائلة أو غازية تنساب (تتدفق) وليس لها شكل محدد.

ن

نبضة موجية
Wave puls
اضطراب ينتقل في الوسط.

نموذج الشعاع الضوئي
ray model of light
النموذج الذي يمثّل الضوء بوصفه شعاعًا ينتقل في خط مستقيم، ويتغير اتجاهه فقط عند وضع حاجز في مساره.

و

وسط غير شفاف (معتم)
opaque
الوسط الذي لايمر الضوء من خلاله ويعكس بعضه.

الوسط الشفاف
transparent
الوسط الذي يمر الضوء من خلاله.

الوسط شبه الشفاف
translucent
الوسط الذي يمر الضوء من خلاله ولا يسمح للأجسام أن ترى بوضوح.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

وزارة التعليم

Ministry of Education

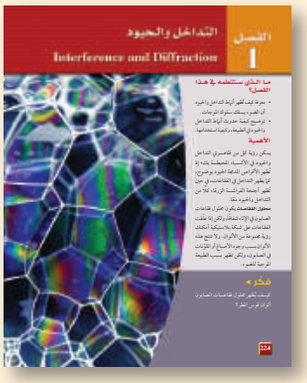
2023 - 1445

القسم الثاني (2-3)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

قائمة المحتويات

الفصل 1

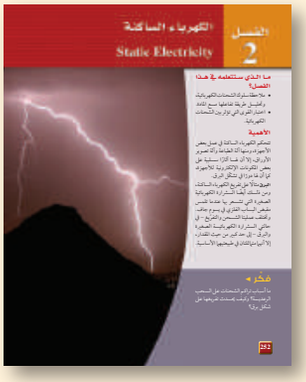


التداخل والحيود 224

1-1 التداخل 225

1-2 الحيود 235

الفصل 2

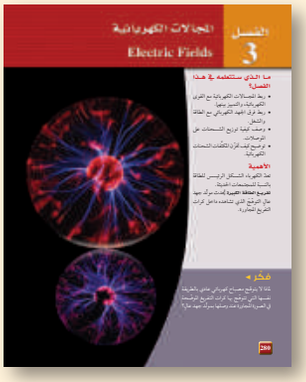


الكهرباء الساكنة 252

2-1 الشحنة الكهربائية 253

2-2 القوة الكهربائية 259

الفصل 3



المجالات الكهربائية 280

3-1 توليد المجالات الكهربائية وقياسها 281

3-2 تطبيقات المجالات الكهربائية 289

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

قائمة المحتويات

الفصل 4

الكهرباء التيارية 316

4-1 التيار الكهربائي والدوائر الكهربائية 317

4-2 استخدام الطاقة الكهربائية 329

الفصل 5

دوائر التوالي والتوازي الكهربائية 346

5-1 الدوائر الكهربائية البسيطة 347

5-2 تطبيقات الدوائر الكهربائية 358

الفصل 6

المجالات المغناطيسية 376

6-1 المغانط: الدائمة والمؤقتة 377

6-2 القوى الناتجة عن المجالات المغناطيسية 387

دليل الرياضيات 411

الجداول 412

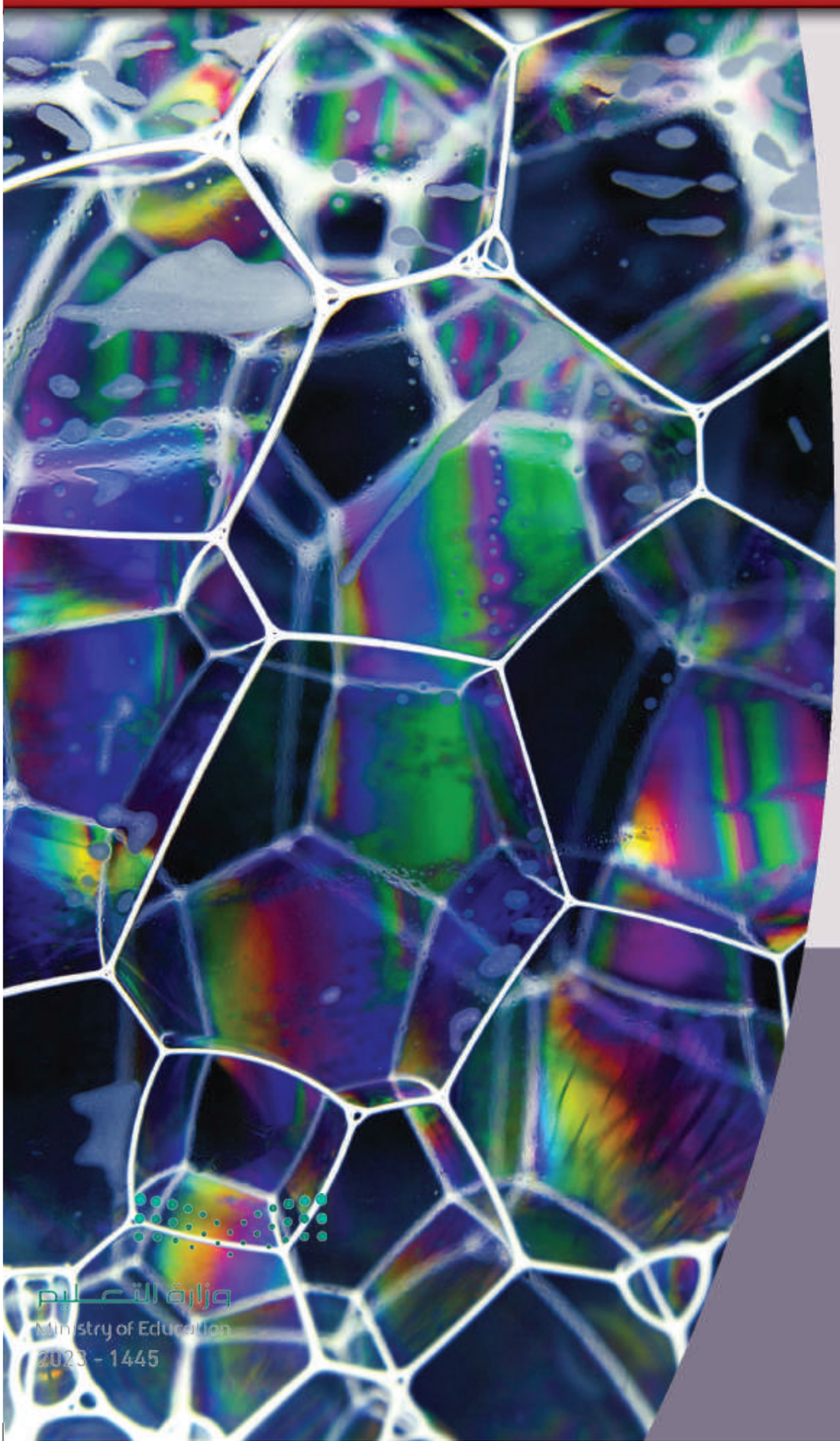
المصطلحات 416

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 1

التداخل والحيود

Interference and Diffraction



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- معرفة كيف تُظهر أنماط التداخل والحيود أن الضوء يسلك سلوك الموجات.
- توضيح كيفية حدوث أنماط التداخل والحيود في الطبيعة، وكيفية استخدامها.

الأهمية

يمكن رؤية كل من ظاهرتي التداخل والحيود في الأشياء المحيطة بك؛ إذ تُظهر الأقراص المدمجة الحيود بوضوح، كما يظهر التداخل في الفقاعات، في حين تُظهر أجنحة الفراشة الزرقاء كلًّا من التداخل والحيود معًا.

محلول الفقاعات يكون محلول فقاعات الصابون في الإناء شفافًا، ولكن إذا علّقت الفقاعات على شبكة بلاستيكية أمكنك رؤية مجموعة من الألوان. ولا تنتج هذه الألوان بسبب وجود الأصباغ أو الملوّنات في الصابون، ولكن تظهر بسبب الطبيعة الموجية للضوء.

فكّر ◄

كيف يُظهر محلول فقاعات الصابون ألوان قوس المطر؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

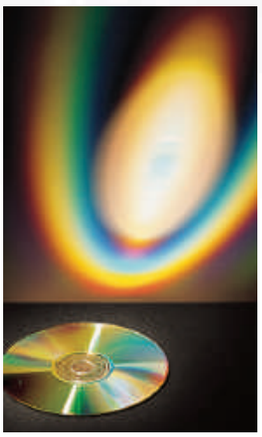
تجربة استهلالية

لماذا يعكس القرص المدمج الضوء بألوان قوس المطر؟

سؤال التجربة كيف يتأثر الضوء عندما ينعكس عن قرص مدمج؟

الخطوات

1. احصل على قرص مدمج (CD أو DVD) وجهاز عرض الضوء، ومرشِّحات ضوئية – من معلمك.
2. ضع القرص المدمج على سطح الطاولة، بحيث يكون سطحه العاكس إلى أعلى.
3. ضع مرشِّح لون على جهاز عرض الضوء.
4. شغّل جهاز عرض الضوء، وأسقِط الضوء الصادر على سطح القرص المدمج، بحيث يسقط الضوء المنعكس عن القرص على شاشة بيضاء. **تحذير: لا تنظر مباشرة إلى الضوء الصادر عن جهاز عرض الضوء.**
5. سجّل ملاحظاتك حول الضوء الذي تشاهده على الشاشة.
6. أطفئ جهاز عرض الضوء، وغيّر مرشّح اللون مستخدمًا مرشّح لون آخر.
7. كرّر الخطوات من 4 إلى 5 باستخدام مرشّح لون جديد.
8. كرّر الخطوات من 4 إلى 5 باستخدام ضوء أبيض.



التحليل

هل يؤثر لون الضوء في النمط المتكوّن؟ كيف يختلف انعكاس الضوء الأبيض عن انعكاس الضوء الأحادي اللون؟

التفكير الناقد تأمّل ملاحظاتك حول الضوء الأبيض المنعكس عن القرص، واقترح مصادر أخرى مُمكنة تُظهر حزمًا من الألوان.

1–1 التداخل Interference

تعلّمت أن الضوء يسلك سلوك الموجات أحيانًا؛ إذ يمكن أن يحيد عندما يمرّ بحافة، كما تفعل موجات الماء والموجات الصوتية تمامًا. وتعلمت أيضًا أنه يمكن تفسير كل من ظاهرتي الانعكاس والانكسار بناءً على النموذج الموجي للضوء، واللتين يفسرهما أيضًا نموذج الشعاع الضوئي. فما الذي دفع العلماء للاعتقاد بأن للضوء خصائص موجية؟ لقد اكتشف العلماء أن سلوك الضوء يرتبط بالطبيعة الموجية نفسها؛ حيث يحيد ويتداخل.

فعندما تنظر إلى الأجسام التي أُضيئت بمصدر ضوء أبيض ـ مثل مصباح ضوئي قريب ـ ترى **ضوءًا غير مترابط**؛ وهو ضوء ذو مقدمات موجية غير متزامنة. ويمكن مشاهدة تأثير عدم الترابط في الموجات عند سقوط مطر بغزارة على بركة سباحة؛ حيث يكون سطح الماء مضطرباً، ولا يظهر فيه أي نمط منتظم لمقدمات موجة أو موجات مستقرة. ولأن تردّد موجات الضوء كبير جدًّا فإن الضوء غير المترابط لا يظهر لك متقطّعًا أو غير مترابط. فعندما يُضاء جسم من مصدر ضوئي أبيض غير مترابط فإنك ترى تراكب موجات الضوء غير المترابط كأنها ضوء أبيض منتظم.

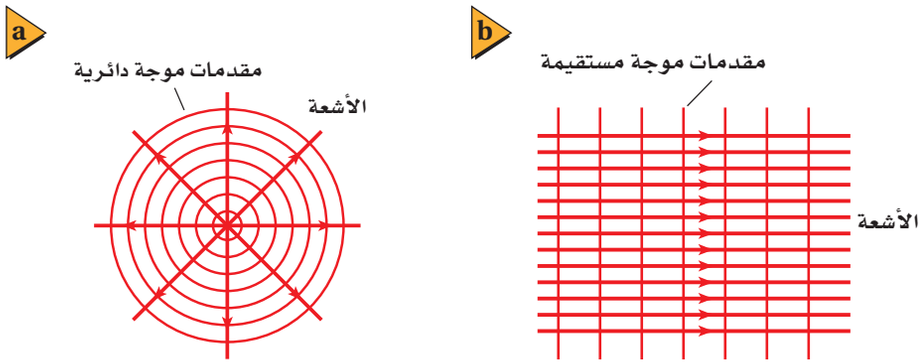
الأهداف

- **تفسر** تكون نمط تداخل بإسقاط الضوء على شقّين.
- **تحسب** الأطوال الموجية للضوء من أنماط التداخل.
- **تطبق** النمذجة على التداخل في الأغشية الرقيقة.

المفردات

الضوء غير المترابط
الضوء المترابط
أهداب التداخل
الضوء الأحادي اللون
التداخل في الأغشية الرقيقة

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 1–1 تتولد مقدمات موجات الضوء المنتظمة من المصادر النقطية (**a**)، وأشعة الليزر (**b**).

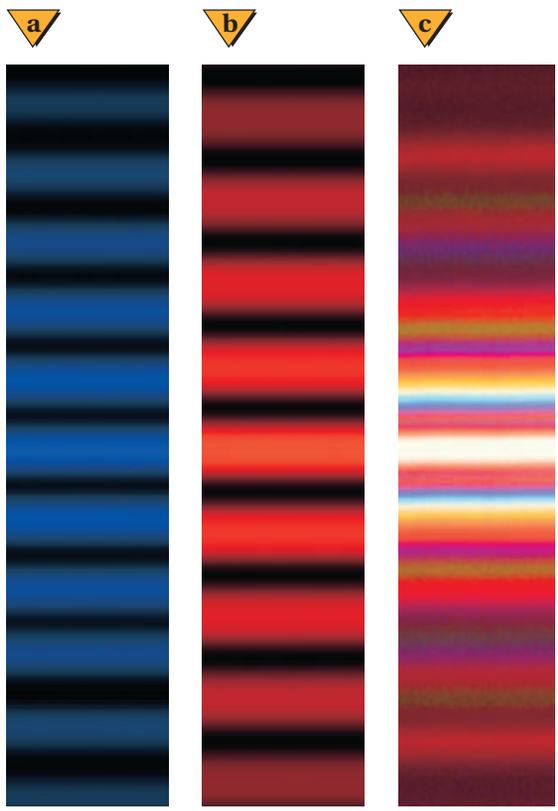
تداخل الضوء المترابط (المتزامن)

Interference of Coherent Light

إن نقيض الضوء غير المترابط هو **الضوء المترابط**؛ وهو الضوء الناتج عن تراكب ضوء صادر من مصدرين أو أكثر، مُشكّلًا مقدمات موجات منتظمة. ويمكن توليد مقدمة موجة منتظمة من مصدر نقطي، كما يتضح من **الشكل 1a–1**، كما يمكن توليدها أيضًا من مصادر نقطية عدّة عندما تتزامن هذه المصادر النقطية جميعها، كما في أشعة الليزر، وكما هو موضح في **الشكل 1b–1**. وتحدث ظاهرة التداخل نتيجة تراكب موجات ضوئية صادرة عن مصادر ضوئية مترابطة فقط، كما ستلاحظ في هذا الفصل.

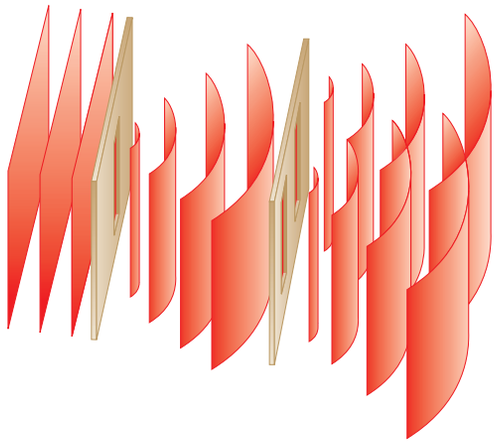
الشكل 2–1 أنماط تداخل الشقّ المزدوج للضوء الأزرق (**a**)، وللضوء الأحمر (**b**)، وللضوء الأبيض (**c**).

أثبت الفيزيائي الإنجليزي توماس يونج أن للضوء خصائص موجية، وذلك عندما أنتج نمط تداخل من إسقاط ضوء من مصدر نقطي مترابط أحادي خلال شقّين. فقد وجّه يونج ضوءًا مترابطًا على شقّين ضيّقين وقريبين في حاجز. وعند تداخل الضوء الخارج من الشقّين وسقوطه على الشاشة لوحظ أن الضوء المتداخل لم يُنتج إضاءة منتظمة، وبدلاً من ذلك ولّد نمطًا مكوّنًا من حزم مضيئة وأخرى معتمة، سمّاها يونج **أهداب التداخل**. وقد فسّر يونج تكوّن هذه الحزم نتيجة التداخل البنّاء والتداخل الهدّام للموجات الضوئية الصادرة من الشقّين في الحاجز.



في تجربة تداخل الشقّ المزدوج (تجربة يونج) حيث استخدم **ضوء أحادي اللون**؛ وهو ضوء له طول موجي واحد فقط، يُنتج التداخل البنّاء حزمة ضوئية مركزية مضيئة (هدبًا مضيئًا) بلون معين على الشاشة، كما يُنتج على كل جانب حزمًا مضيئة أخرى تفصلها فراغات متساوية تقريبًا، وعرضها متساوٍ تقريبًا، كما يتضح من **الشكلين 1–2a** و **1–2b**. وتتناقص شدة إضاءة الأهداب المضيئة كلما ابتعدنا عن الهدب المركزي. ويمكنك ملاحظتها بسهولة في **الشكل 1–2a**. وتوجد بين الأهداب المضيئة مساحات معتمة (أهداب معتمة)؛ بسبب حدوث تداخل هدّام. وتعتمد مواقع حزم التداخل البناء والهدّام على

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

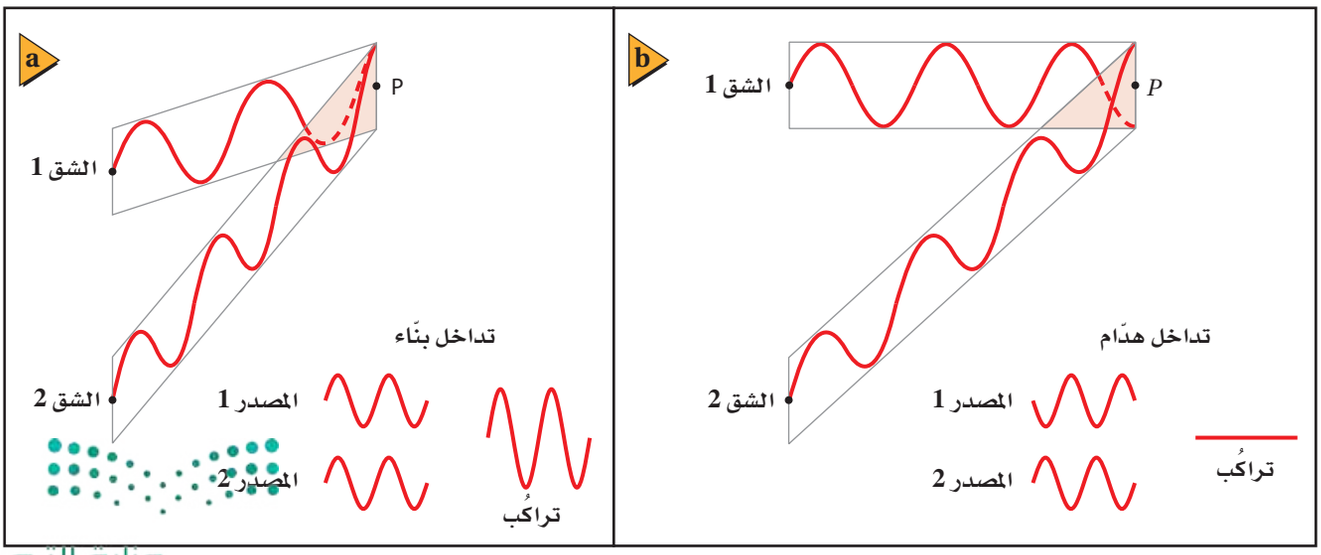


الشكل 3–1 مصدر الضوء المتوافق الذي يتكوّن بواسطة الشقّ الأحادي الضيّق يُنتج موجات متوافقة أسطوانية الشكل تقريبًا، تنتقل إلى شقّين في الحاجز الثاني. وتغادر موجتان متوافقتان أسطوانيتا الشكل تقريبًا الشقّ المزدوج.

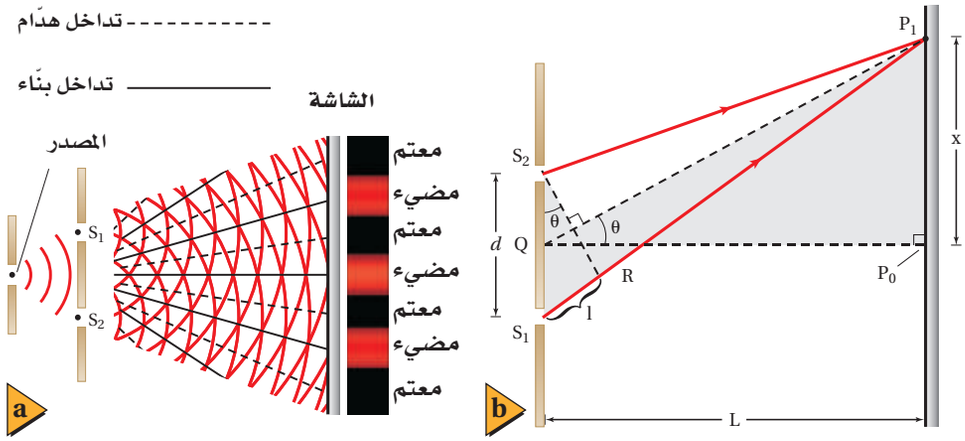
الطول الموجي للضوء الساقط. وعندما يُستخدم ضوء أبيض في تجربة شقّي يونج فإن التداخل يسبّب ظهور أطياف ملوّنة بدلاً من الأهداب المضيئة والمعتمة، كما يتضح من **الشكل 2c–1**. وتتداخل الأطوال الموجية جميعها تداخلًا بنّاءً في الهدب المركزي المضيء؛ لذا يكون هذا الهدب أبيض دائمًا. وتنتج مواقع الأهداب الأخرى الملوّنة عن تراكب أهداب التداخل التي تحدث، حيث تتداخل الأطوال الموجية لكل لون منفصل تداخلًا بنّاءً.

تداخل الشق المزدوج لتوليد ضوء مترابط من ضوء غير مترابط، وضع يونج حاجزًا ضوئيًّا ذا شقّ ضيّق أمام مصدر ضوئي أحادي اللون. ولأن عرض هذا الشقّ كان صغيرًا جدًّا، فقد نفذ الجزء المترابط من الضوء فقط، ثم حاد هذا الجزء بواسطة الشقّ، فتولّدت مقدمات موجات أسطوانية تقريبًا بسبب حيودها، كما في **الشكل 3–1**. وبسبب تماثل مقدمات الموجة الأسطوانية فإن جزأيْ مقدمة الموجة يصلان إلى الحاجز الثاني ذي الشقّين متفقين في الطور. ثم ينتج عن الشقّين في الحاجز الثاني مقدمات موجات مترابطة وأسطوانية الشكل تقريبًا تتداخل بعد ذلك، كما في **الشكل 3–1**، تداخلًا بنّاءً أو هدّامًا؛ اعتمادًا على العلاقة بين طوريهما، كما موضّح في **الشكل 4–1**.

الشكل 4–1 تولّد عند الشقّين زوج من الموجات المتفقة في الطور. ويمكن أن يحدث للموجات عند بعض المواقع تداخل بنّاء لتشكيل أهداب مضيئة (a)، أو تداخل هدّام لتشكيل أهداب معتمة (b).



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 5–1 يولّد تداخل الضوء الأحادي اللون الذي يمر خلال الشقّ المزدوج أهدابًا مضيئة وأخرى معتمة على الشاشة (**a**). يمثّل هذا الشكل (**b**) تحليلاً للهدبة المضيئة الأولى؛ حيث تكون المسافة الفاصلة بين الشقّين والشاشة L أكبر بـ 105 مرة تقريبًا من المسافة الفاصلة بين الشقّين d. (التوضيح ليس بمقياس رسم).

قياس الطول الموجي للضوء يوضّح **الشكل 5a–1** منظرًا علويًّا لمقدمات موجات أسطوانية الشكل تقريبًا وتجربة شقّي يونج، حيث تتداخل مقدمات الموجات تداخلات بنّاءة وهدّامة لتشكيل أنماط الأهداب المضيئة والمعتمة. ويوضّح **الشكل 5b–1** الرسم التخطيطي النموذجي الذي يستخدم لتحليل تجربة يونج. وتلاحظ من الشكل أن الموجتين تتداخلان تداخلاً بنّاءً على الشاشة لتكوين الهدب المركزي المضيء عند النقطة P_o؛ وذلك لأن للموجتين الطور نفسه، وتقطعان المسافة نفسها من كل شقّ إلى النقطة. كما يوجد أيضًا تداخل بنّاء عند الهدب المضيء P_1 على جانبي الحزمة المركزية؛ لأن القطعة المستقيمة P_1S_1 أطول من القطعة المستقيمة P_1S_2 بمقدار طول موجي واحد λ، لذا تصل الموجات عند النقطة P_1 بالطور نفسه. ويمكن إيجاد الطول الموجي باستخدام المعادلة الآتية:

تجربة عملية

ما الطول الموجي؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

الطول الموجي من تجربة شقي يونج

$$\lambda = \frac{xd}{L}$$

الطول الموجي للضوء المقيس بتجربة شقّي يونج يساوي المسافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء الأول على الشاشة، مضروبة في المسافة بين الشقّين، ومقسومة على المسافة بين الشقّين والشاشة.

يحدث تداخل بنّاء للضوء النافذ من شقّين عند مواقع، x_m، على جانبي الهدب المركزي المضيء، ويتم تحديد هذه المواقع باستخدام المعادلة $m\lambda = \frac{x_m d}{L}$؛ حيث $m = 0, 1, 2\ldots$، والمحدّدة باستخدام التبسيطات الناجمة عن كون الزاوية صغيرة. ويتولّد الهدب المركزي المضيء عند $m=0$، في حين يسمّى الهدب الناتج عند $m=1$ هدب الرتبة الأولى، وهكذا لسائر المواقع.

وقد نشر العالم يونج نتائج أبحاثه عام 1803، إلا أنه قوبل بالسخرية من المجتمع العلمي، ولم تُقبل نتائجه حتى عام 1820، حينما اقترح العالم جين فريسنل حلاًّ رياضيًّا للطبيعة الموجية للضوء من خلال مسابقة. وبيّن أحد حكّام المسابقة سيمون دينس بويسون أنه إذا كان اقتراح فريسنل صحيحًا فسوف تتكون بقعة مضيئة عند مركز ظل جسم دائري مُضاء بضوء مترابط. وأثبت حكَمٌ آخر ـ اسمه جين آرجو ـ وجودَ تلك البقعة تجريبيًّا؛ حيث كان كل من بويسون وآرجو متشكّكين حول الطبيعة الموجية للضوء قبل هذا الإثبات.

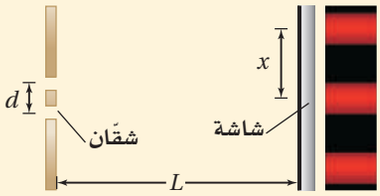
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مثـــال 1

الطـول الموجي للضوء طُبّقت تجربــة يونج لقياس الطول الموجي للضوء الأحمر، فتكوّن الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى على بُعد 21.1 mm من الهدب المركزي المضيء. فإذا كان البعد بين الشقّين 0.0190 mm، ووضعت الشاشة على بُعد 0.600 m منهما، فما الطول الموجي للضوء الأحمر؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الشقّين والشاشة برسم تخطيطي.
- ارسم نمط التداخل موضّحًا فيه الأهداب في مواقعها المناسبة على الشاشة.



المعلوم	المجهول
$d = 1.90\times10^{-5}$ m	$\lambda = ?$
$x = 2.11\times10^{-2}$ m	
L = 0.600 m	

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الرياضية بتعبيراتها العلمية

2 إيجاد الكمية المجهولة

عوّض مستخدمًا $L = 0.600$ m، $d = 1.90\times10^{-5}$ m، $x = 2.11\times10^{-2}$ m

$$\lambda = xd/L$$

$$= \frac{(2.11\times10^{-2}\ \text{m})(1.90\times10^{-5}\ \text{m})}{(0.600\ \text{m})}$$

$$= 6.68\times10^{-7}\ \text{m}$$

$$= 668\ \text{nm}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الإجابة بوحدة الطول، وهي صحيحة بالنسبة للطول الموجي.
- **هل الجواب منطقي؟** الطول الموجي للضوء الأحمر 700 nm تقريبًا، وللضوء الأزرق 400 nm تقريبًا، لذا فإن الإجابة منطقية.

مسائل تدريبية

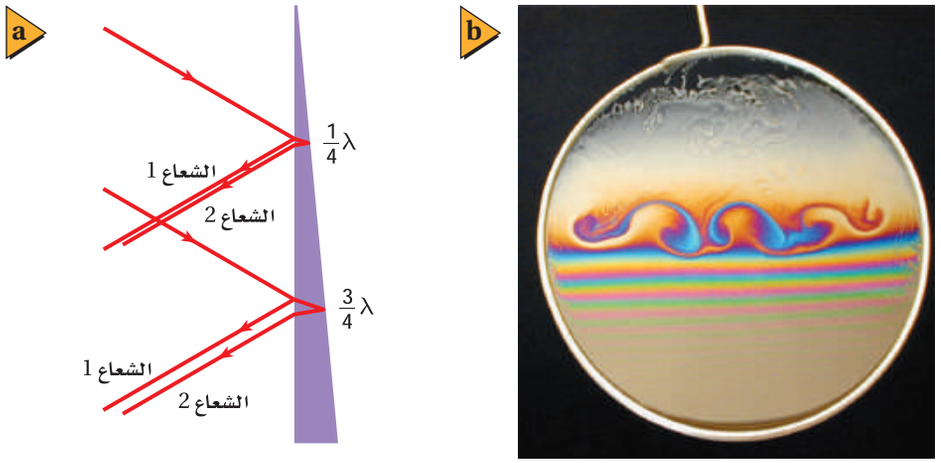
1. ينبعث ضوء برتقالي مُصفر من مصباح غاز الصوديوم بطول موجي 596 nm، ويسقط على شــقّين البعد بينهما 1.90×10^{-5} m. ما المسافة بين الهدب المركزي المــضيء والهدب الأصفــر ذي الرتبة الأولى إذا كانت الشاشــة تبعد مســافة 0.600 m من الشقّين؟
2. في تجربة يونج، اســتخدم الطلاب أشــعة ليزر طولها الموجي 632.8 nm. فإذا وضع الطلاب الشاشــة على بُعد 1.00 m من الشــقّين، ووجــدوا أن الهدب الضوئي ذا الرتبة الأولى يبعد 65.5 mm من الخط المركزي، فما المسافة الفاصلة بين الشقّين؟

تجربة عملية

ما الهولوجرام؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 6–1 يحدث تقوية لكل طول موجي عندما يكون سُمك غشاء الصابون $\lambda/4$، $3\lambda/4$، $5\lambda/4$ (**a**). ولأن كل لون له طول موجي خاص به فإن سلسلة الأهداب التي تنعكس عن غشاء الصابون تكون ملوّنة (**b**).

التداخل في الأغشية الرقيقة Thin-film Interference

هل سبق أن شاهدت ألوان الطيف التي كوَّنتها فقاعة صابون أو غشاء زيتي عائم على سطح تجمع مائي صغير في ساحة مواقف سيارات؟ هذه الألوان لم تنتج عن تحليل الضوء الأبيض بواسطة منشور، أو عن امتصاص الألوان بواسطة الأصباغ، بل كان طيف الألوان هذا نتيجة للتداخل البنّاء والهدّام للموجات الضوئية؛ بسبب انعكاسها عن الغشاء الرقيق، وتسمى هذه الظاهرة **التداخل في الأغشية الرقيقة**.

إذا حُمِلَ غشاء الصابون رأسيًّا ـ كما في **الشكل 6–1** ـ فإن وزنه يجعله أكبر سمكًا عند القاع منه عند القمة، ويتغير السمك تدريجيًّا من أعلى إلى القاع. وعندما تسقط موجة ضوء على الغشاء ينعكس جزء منها، كما يوضح الشعاع 1، بينما ينفذ جزء آخر منها أيضًا، ويكون للموجتين المنعكسة والنافذة تردّد الموجة الضوئية الأصلية نفسه. وتنتقل الموجة النافذة خلال الغشاء إلى السطح الخلفي، حيث ينعكس جزء منها مرة أخرى، كما يوضح الشعاع 2. إن عملية تجزئة كل موجة ضوئية من المصدر غير المترابط إلى زوج متماثل من الموجات تعني أن الضوء المنعكس عن الغشاء الرقيق ضوء مترابط.

تحسين (تعزيز) اللون كيف نجعل الانعكاس لضوء أحادي اللون معزَّزًا (شدة إضاءته أكبر)؟ يحدث هذا عندما يكون للموجتين المنعكستين الطّور نفسه بالنسبة لطول موجي محدّد. فإذا كان سمك غشاء الصابون في **الشكل 6–1** يساوي ربع الطول الموجي $\lambda/4$ للموجة في الغشاء، فإن طول المسار ذهابًا وإيابًا داخل الغشاء يساوي $\lambda/2$. وسيبدو في هذه الحالة أن الشعاع 2 يعود إلى السطح الأمامي مختلفًا في الطّور مع الشعاع 1 بنصف طول موجي، وأن كلًّا من الموجتين ستُلغي أثر الأخرى اعتمادًا على مبدأ التراكُب. ولكن عندما تنعكس موجة مستعرضة عن وسط ما سرعتها فيه أقل فإنها تنقلب. ويحدث هذا للضوء عند الوسط الذي يكون معامل انكساره أكبر. ونتيجة لما سبق، ينعكس الشعاع 1 وينقلب، في حين ينعكس الشعاع 2 عن وسط معامل انكساره صغير (الهواء) ولا ينقلب. لذا يتفق الشعاعان 1 و 2 في الطّور.

إذا كان سمك الغشاء d، يحقّق الشرط $d = \lambda/4$، فسينعكس لون الضوء الذي له ذلك الطول الموجي بشدّة كبيرة، ويحدث تعزيز لهذا اللون نتيجة ذلك. ولأن الطول الموجي للضوء في الغشاء أقصر من الطول الموجي له في الهواء فإن $d = \lambda_{\text{الغشاء}}/4$، أو بدلالة الطول

تطبيق الفيزياء

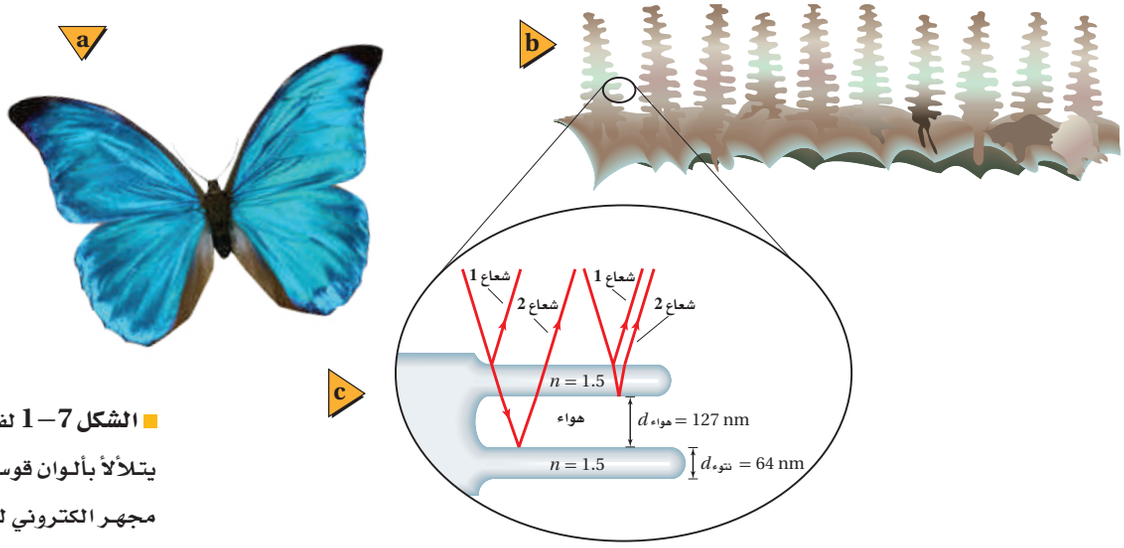
النظارات غير العاكسة يمكن وضع غشاء رقيق على عدسات النظارات ليمنع عكس الأطوال الموجية للضوء التي تكون حساسية العين البشرية لها عالية جدًّا؛ ممّا يمنع وهج الضوء المنعكس.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الموجي في الهـواء $d = \lambda_{\text{الفراغ}} / 4n_{\text{الغشاء}}$. لاحظ أن كلتا الموجتين تعـزّز إحداهما الأخرى عندما تغادران الغشـاء. بينما يحدث تداخل هدّام للضوء عند الأطوال الموجية الأخرى.

وكما تعلم فإن ألوان الضوء المختلفة لها أطوال موجية مختلفة. أما الغشـاء المتغيّر السمك –ومنه الغشاء الموضح في **الشكل 6–1** – فإن شرط الطول الموجي سيتحقق عند درجات سُمْك مختلفة للألوان المختلفة. والنتيجة هي تكوّن ألوان قوس المطر. وعندما يكون الغشاء رقيقًـا جدًّا بحيث لا يُنتج تداخلًا بنّاءً لأيّ طول موجي من ألوان الضوء، يبدو الغشـاء معتمًا. لاحظ تكرار الطيف في **الشـكل 6b–1**؛ فعندما يكون سمك الغشاء $3\lambda / 4$ تكون مسافة الذهاب والإياب $3\lambda / 2$، ويحدث التداخل البنّاء مرة أخرى. وسيحقّق أي سمك للغشاء مساويًا لـ $\lambda / 4$، $3\lambda / 4$، $5\lambda / 4$، ... إلخ شروطَ التداخل البنّاء لطول موجيّ محدّد.

تطبيقـات التداخل في الأغشـية الرقيقة إن مثال غشـاء المـاء المحتوي على الصابون في الهواء يتضمن تداخلًا بنّاء مع انقـلاب إحدى الموجتين عند الانعكاس. ففي المثال الذي اسـتُهِلَّ به الفصل حول فقاعات الصابون، كلما تغير سُـمك غشاء محلول الفقاعات فإن الطول الموجـي الذي يحدث له تداخل بنّاء يتغير. وهذا يؤدي إلى تكوّن طيف مُزاح للّون على سطح الغشـاء الصابوني عندما يضاء بضوء أبيض. وفي أمثلة أخرى على التداخل في الأغشـية الرقيقة يمكن أن تنقلب كلتا الموجتـين أو لا ينقلب أيّ منهما. ويمكنك أن تحل أي مسـألة تتضمن تداخل الغشاء الرقيق، وذلك باستخدام اسـتراتيجيات حل المسألة أدناه. ويمكنك أن تضع حلًّا لأي مسألة تتضمن التداخل في الأغشية الرقيقة، باستخدام استراتيجيات حل المسألة أدناه.



الشكل 7–1 لفراشة المورفو لون أزرق يتلألأ بألوان قوس المطر (**a**). استُخدم مجهر الكتروني لعرض المقطع العرضي لجزء من نتوءات جناحها الشبيه بالنتوءات البارزة (**b**)، وللنتوءات البارزة تركيب مشابه للدرج. ويمكن أن تتداخل الأزواج المتماثلة من الأشعة الضوئية المنعكسة عن نتوء مفرد، ولأشعة المنعكسة عن نتوءات متعددة (**c**).

ويحدث تداخل الغشـاء الرقيق طبيعيًّا في جناحي فراشـة المورفو، كما في **الشكل 7a–1**. فاللون الأزرق المتلألئ للفراشة هو نتيجة للنتوءات التي تبرز خارجة من القشور الداخلية لجناح الفراشة، كما في **الشـكل 7b–1**؛ حيث ينعكس الضوء وينكسر خلال سلسلة من التراكيب التي تشبه الدرج، كما في **الشكل 7c–1**، مما يؤدي إلى تكوين نمط تداخل أزرق اللون؛ يؤدي بدوره إلى ظهور الفراشة كأنها تصدر وميضًا يمكن ملاحظته عند النظر إليها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

التداخل في الأغشية الرقيقة

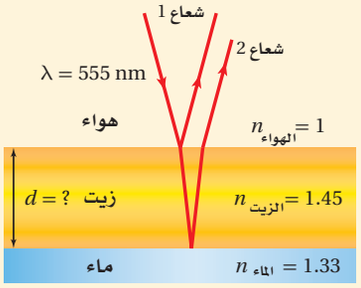
عند حل المسائل المتعلقة بالتداخل في الأغشية الرقيقة كوّن المعادلة الخاصة بالمسألة، وذلك باستخدام الاستراتيجيات الآتية:

1. ارسم رسمًا توضيحيًّا للغشاء الرقيق وللموجتين المترابطتين. وللتسهيل ارسم الموجات على شكل أشعة.
2. اقرأ المسألة، وحدّد هل حدث تقوية أم إضعاف للضوء المنعكس؟ فإذا حدثت تقوية له تكون الموجات المنعكسة قد تداخلت تداخلًا بنّاء، أما إذا ضعف فتكون الموجات المنعكسة قد تداخلت تداخلًا هدّامًا.
3. هل تنقلب إحدى الموجتين أو كلتاهما عند الانعكاس؟ إذا تغيّر معامل الانكسار من قيمة أقل إلى قيمة أكبر تكون الموجة المنعكسة منقلبة، أما إذا تغير معامل الانكسار من قيمة أكبر إلى قيمة أقل فلن تنقلب الموجة المنعكسة.
4. أوجد المسافة الإضافية التي يجب أن تقطعها الموجة الثانية في الغشاء الرقيق لتوليد التداخل المطلوب.
   - **a.** إذا أردت تداخلاً بنّاءً وكانت إحدى الموجتين مقلوبة، أو أردت تداخلاً هدّامًا وكانت كلتاهما مقلوبة أو غير مقلوبة فإن الفرق في المسافة يكون عددًا فرديًّا من أنصاف الطول الموجي: $\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda_{\text{الغشاء}}$ حيث $m = 1, 2, 3\ldots$.
   - **b.** إذا أردت تداخلاً بنّاءً وكانت كلتا الموجتين مقلوبة أو غير مقلوبة، أو أردت تداخلاً هدّامًا وكانت إحدى الموجتين مقلوبة فإن الفرق في المسافة يكون عددًا صحيحًا من الأطوال الموجية: $m\lambda_{\text{الغشاء}}$، حيث $m = 1, 2, 3,\ldots$.
5. حدّد المسافة الإضافية التي يقطعها الشعاع الثاني بحيث تساوي ضعف سمك الغشاء، $2d$.
6. تذكّر مما درسته سابقًا أن $n_{\text{الغشاء}}$ / $\lambda_{\text{الفراغ}} = \lambda_{\text{الغشاء}}$.

مثـــــال 2

الزيت والماء لاحظت حلقات ملوّنة في بركة ماء صغيرة، واستنتجت أنه لا بدّ من وجود طبقة رقيقة من الزيت على سطح الماء. فنظرت مباشرة إلى أسفل نحو البركة، فشاهدت منطقة صفراء مخضرة (λ=555 nm). فإذا كان معامل الانكسار للزيت 1.45، وللماء 1.33، فما أقل سمك لطبقة الزيت تسبّب ظهور هذا اللون؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- مثّل الغشاء الرقيق والطبقتين؛ الطبقة التي فوقه والطبقة التي تحته.
- ارسم الأشعة مبيّنًا الانعكاس عن سطح الغشاء العلوي وعن سطحه السفلي.

المعلوم	المجهول
$n_{\text{الماء}} = 1.33$	$d = ?$
$n_{\text{الزيت}} = 1.45$	
$\lambda = 555\ \text{nm}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

لأن $n_{\text{الهواء}} < n_{\text{الزيت}}$ فسيؤدي ذلك إلى اختلاف في الطور بمقدار 180° (انقلاب في الطور) في الانعكاس الأول، ولأن $n_{\text{الزيت}} > n_{\text{الماء}}$ فلن يحدث انقلاب في الطور في الانعكاس الثاني. لذا يحدث انقلاب موجي واحد فقط، ويكون الطول الموجي للضوء في الزيت أقل منه في الهواء.

طبّق استراتيجية حل المسائل لتكوين المعادلة:

$$2d = [m+\tfrac{1}{2}]\frac{\lambda}{n_{\text{الزيت}}}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

ولأنك تريد أقل سمك، فإن m=0.

عوّض مستخدمًا $m = 0$

عوّض مستخدمًا $n_{\text{الزيت}} = 1.45$، $\lambda = 555\ \text{nm}$

$$d = \frac{\lambda}{4n_{\text{الزيت}}}$$
$$= \frac{555\ \text{nm}}{4\,(1.45)}$$
$$= 95.7\ \text{nm}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** إن الإجابة بوحدة nm، وهي صحيحة بالنسبة للسُّمْك.
- **هل الجواب منطقي؟** إن أقل سمك يكون أقل من طول موجي واحد، والذي يمثل ما يجب أن يكون.

مسائل تدريبية

3. ارجع إلى المثال 2، ثم أوجد أقل سُمْك ممكن للغشاء لتكوين حزمة ضوء منعكسة لونها أحمر ($\lambda = 635\ \text{nm}$).
4. وضع غشاء من فلوريد الماغنسيوم معامل انكساره 1.38 على عدسة زجاجية مطلية بطبقة غير عاكسة معامل انكسارها 1.52. كم يجب أن يكون سمك الغشاء بحيث يمنع انعكاس الضوء الأصفر المخضر؟
5. ما أقل سُمْك لغشاء صابون معامل انكساره 1.33 ليتداخل عنده ضوء طوله الموجي 521 nm تداخلاً بنّاءً مع نفسه؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

6. سمك الغشاء يمسك خالد بلعبة الفقاعات، وينفخ في غشاء الصابون المعلّق رأسيًّا في الهواء مكوّنًا فقاعات. ما العرض الثاني الأقل سمكًا لغشاء الصابون الذي يتوقع عنده رؤية شريط مضيء إذا كان الطول الموجي للضوء الذي يضيء الغشاء 575 nm؟ افترض أن معامل انكسار محلول الصابون 1.33.

7. الأنماط المضيئة والمعتمة تم تكوين شقّين متقاربين جدًّا في قطعة كبيرة من الكرتون، وأضيء الشقّان بضوء أحمر أحادي اللون. وعند وضع ورقة بيضاء بعيدًا عن الشقّين شوهد نمط من الأهداب المضيئة والمعتمة على الورقة. صف كيف تسلك الموجة عندما تقابل شقًّا. وفسّر لماذا تظهر أهداب مضيئة وأخرى معتمة.

8. أنماط التداخل وضّح بالرسم النمط الذي وصِف في المسألة السابقة.

9. أنماط التداخل مثّل ما يحدث لنمط التداخل في المسألة 7 عند استخدام ضوء أزرق بدلًا من الضوء الأحمر.

10. سمك الغشاء غشاء بلاستيكي عاكس معامل انكساره 1.83، ثبّت على نافذة زجاجية، فإذا علمت أن معامل انكسار الزجاج 1.52:

a. فما أقل سُمك ينعكس عنده الضوء الأصفر المخضر؟

b. إذا علمت أن هذا الغشاء لا يمكن صناعته بهذا السُّمك، فما السُّمك الآتي الذي يحدث التأثير نفسه؟

11. التفكير الناقد تستخدم معادلة الطول الموجي المشتقة من تجربة يونج عندما تكون الزاوية θ صغيرة جدًّا، وعندها يكون $\sin\theta \approx \tan\theta$. إلى أيّ زاوية يبقى هذا التقريب جيدًا؟ وهل تزداد الزاوية العظمى للتقريب الجيد والصحيح أم تتناقص عندما تزيد دقة قياسك لها؟

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

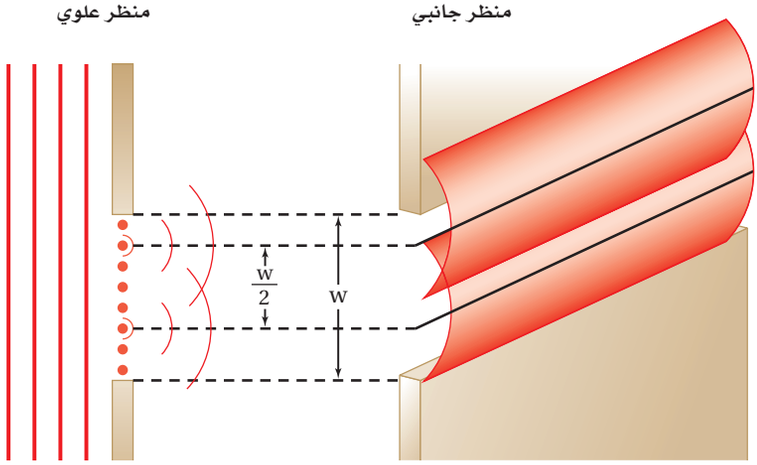
درست سابقًا أن مقدمات الموجات الضوئية المنتظمة تنحني حول حواف فتحة في حاجز في أثناء نفاذها خلال هذه الفتحة؛ أي يحدث لها حيود. وقد أمكن تفسير ذلك وفقًا لمبدأ هيجنز، الذي يبين أن النقاط جميعها على مقدمات الموجات تُمثِّل مصادر ضوئية نقطية، فإذا عبر الضوء المترابط حافتين متقاربتين يتكوّن **نمط حيود**؛ وهو نمط يتكوّن على شاشة نتيجة التداخل البنّاء والهدّام لمويجات هيجنز.

حيود الشق الأحادي Single-Slit Diffraction

عندما يمر الضوء الأزرق المترابط خلال شقّ صغير عرضه أكبر من الطول الموجي للضوء فإن الضوء يحيد عن كلتا الحافتين، وتتكوّن سلسلة من الأهداب المضيئة والمعتمة على شاشة بعيدة، كما في **الشكل 8–1**. وتلاحظ أنه بدلاً من تكوّن أنماط تفصلها مسافات متساوية كتلك التي تكوّنت من مصدرين ضوئيين مترابطين في تجربة يونج يتكوّن في هذه الحالة نمط عبارة عن هدب مركزي عريض ومضيء مع أهداب أقل سمكًا وأقل إضاءة على كلا الجانبين. ويزداد عرض الحزمة المركزية المضيئة عندما نستخدم الضوء الأحمر بدلاً من الضوء الأزرق، وعند استخدام الضوء الأبيض يكون النمط مزيجًا من أنماط ألوان الطيف جميعها.

ولملاحظة كيف تُنتج مويجات هيجنز نمط الحيود، تخيّل شقًّا عرضه w مُجزّأ إلى عدد زوجي من نقاط هيجنز، كما في **الشكل 9–1**، حيث تعمل كل نقطة من هذه النقاط بوصفها مصدرًا نقطيًّا لمويجات هيجنز. جزّئ الشقّ ذهنيا إلى جزأين متساويين، واختر مصدرًا واحدًا من كل جزء، على أن يفصل كل زوج مسافة w /2 عن الآخر. سيُنتج هذا الزوج من المصادر الموجات الأسطوانية المترابطة التي ستتداخل.

ويقابل كل مويجة هيجنز تتكوّن في النصف العلوي من الشقّ مويجة هيجنز أخرى تتكوّن في النصف السفلي منه، وتفصلهما مسافة w /2 ممّا يؤدي إلى تداخلهما تداخلاً هدّامًا وتكوين هدب معتم على الشاشة، وتتداخل كل الأزواج المماثلة من مويجات هيجنز تداخلاً هدّامًا



الشكل 9–1 شقّ عرضه w جُزّئ إلى أزواج من الخطوط التي تشكّل مويجات هيجنز، ويفصل بين كل زوج مسافة مقدارها w/2.

الأهداف

- **توضّح** كيف تتشكّل أنماط الحيود بواسطة محزوزات الحيود.
- **تصف** كيفية استخدام محزوزات الحيود في المطياف.
- **تناقش** كيف يحد الحيود من المقدرة على التمييز بين جسمين متقاربين جدًّا بواسطة عدسة.

المفردات

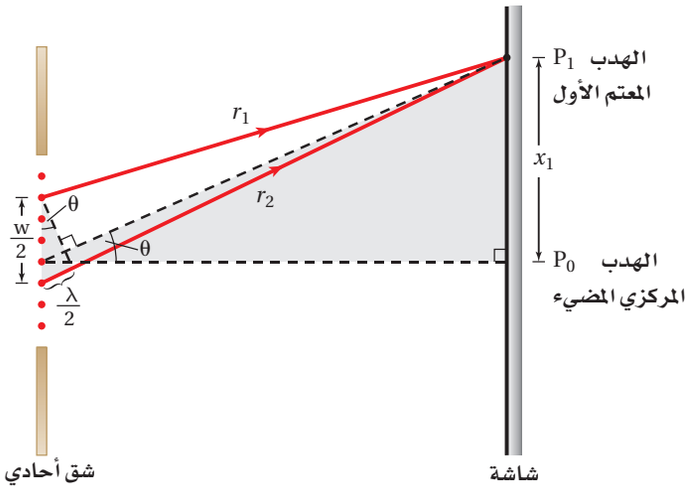
نمط الحيود
محزوز الحيود
معيار ريليه

الشكل 8–1 لاحظ الهدب المركزي العريض والأهداب الضيّقة على كلا الجانبين. إن نمط حيود الشقّ المفرد للضوء الأحمر له هدب مركزي أكثر عرضًا من الضوء الأزرق، وذلك عندما يُستخدم شقّ له الحجم نفسه لكلا اللونين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

عند الأهداب المعتمة. أما الأهداب المضيئة على الشاشة فهي نتيجة تداخل أزواج من موجات هيجنز تداخلاً بنّاءً، في حين يحدث تداخل هدّام جزئيًّا في المنطقة ذات الإضاءة الخافتة التي تقع بين الأهداب المضيئة والمعتمة.

نمط الحيود عندما يُضاء الشقّ المفرد يظهر هدب مركزي مضيء عند الموقع P_o على الشاشة، كما في **الشكل 10–1**. ويظهر الهدب المعتم الأول عند الموقع P_1، لأن طولي المسارين r_1 و r_2 لموجتي هيجنز يختلف أحدهما عن الآخر بمقدار نصف طول موجي عند هذا الموقع، لذا ينتج هدب معتم نتيجة للتداخل الهدّام، وهذا النموذج مشابه رياضيًّا لتداخل الشق المزدوج. إن مقارنة نمط حيود الشقّ الأحادي بنمط تداخل الشقّ المزدوج باستخدام شقوق لها العرض نفسه، تُظهر أن جميع أهداب التداخل المضيئة لنمط تداخل الشقّ المزدوج متطابقة مع عرض الحزمة المركزية المضيئة لنمط حيود الشقّ الأحادي؛ وذلك لأن تداخل الشقّ المزدوج ينتج عن تداخل أنماط حيود الشقّ الأحادي للموجات الناتجة عن الشقّين.



الشكل 10–1 يمثل هذا الرسم تحليلًا للهدب المعتم الأول. ويكون بعد الشقّ عن الشاشة L أكبر كثيرًا من عرضه w.

ويمكننا الآن تطوير معادلة لنمط الحيود الذي ينتج بواسطة شقّ أحادي باستخدام التبسيطين نفسيهما اللذين استخدمتهما في تداخل الشقّ المزدوج، بافتراض أن البعد عن الشاشة أكبر كثيرًا من w، والمسافة الفاصلة بين مصدري الموجتين المتداخلتين تساوي $w/2$. ولإيجاد المسافة المقيسة على الشاشة للحزمة المعتمة الأولى x_1 تلاحظ أن فرق المسار يساوي $\lambda/2$ بسبب حدوث تداخل هدّام عند الحزمة المعتمة، لذا فإن $x_1/L = \lambda/w$.

تلاحظ من **الشكل 10–1** أنه يصعب قياس المسافة من مركز الحزمة المركزية المضيئة إلى الحزمة المعتمة الأولى. والطريقة المثلى لحساب x_1 هي أن تقيس عرض الحزمة المركزية المضيئة $2x_1$. وتُعطي المعادلة الآتية عرض الحزمة المركزية المضيئة في حيود الشقّ الأحادي:

عرض الحزمة المضيئة في حيود الشق المفرد $2x_1 = \frac{2\lambda L}{w}$

عرض الحزمة المركزية المضيئة يساوي حاصل ضرب ضعف الطول الموجي في البعد عن الشاشة مقسومًا على عرض الشقّ.

وباختصار العدد 2 من طرفي المعادلة أعلاه تحصل على المسافة بين مركز الهدب المركزي المضيء والهدب المعتم الأول. ويمكن إيجاد موقع الأهداب المعتمة الأخرى عندما يكون الفرق في أطوال المسارات مساويًا لـ $3\lambda/2$، $5\lambda/2$ وهكذا، ويُعبَّر عنها بالمعادلة $x_m = m\lambda L/w$، حيث $m = 1, 2, 3 \ldots$، مع مراعاة أن تكون الزوايا صغيرة وفقًا للتبسيط الذي تم تناوله. وبتعويض قيمة $m=1$ في هذه المعادلة نُحدّد موقع الهدب المعتم ذي الرتبة الأولى، أمّا الهدب المعتم ذو الرتبة الثانية فيحدث عند $m=2$، وهكذا لسائر الأهداب.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسائل تدريبية

12. يسقط ضوء أخضر أحادي اللون طوله الموجي 546 nm على شقّ مفرد عرضه 0.095 mm. إذا كان بُعد الشقّ عن الشاشة يساوي 75 cm، فما عرض الهدب المركزي المضيء؟

13. سقط ضوء أصفر على شقّ مفرد عرضه 0.0295 mm، فظهر نمط على شاشة تبعد عنه مسافة 60.0 cm. فإذا كان عرض الهدب المركزي المضيء 24.0 mm، فما الطول الموجي للضوء؟

14. سقط ضوء أبيض على شقّ مفرد عرضه 0.050 mm، فإذا وضعت شاشة على بُعد 1.00 m منه، ووضع طالب مرشّحًا أزرق- بنفسجيًّا ($\lambda = 441\ nm$) على الشقّ، ثم أزاله ووضع مرشّحًا أحمر ($\lambda = 622\ nm$)، ثم قاس الطالب عرض الهدب المركزي المضيء:

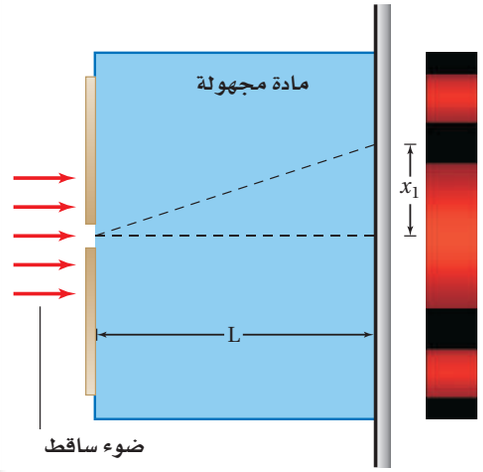
a. فأيّ المرشّحين ينتج هدبًا ضوئيًّا أكثر عرضًا؟

b. احسب عرض الهدب المركزي المضيء لكل من المرشّحين.

يُقدِّم حيود الشقّ الأحادي تصورًا واضحًا للطبيعة الموجية للضوء عندما يتراوح عرض الشقّ بين 10و 100 ضعف الطول الموجي للضوء. أما إذا كانت الفُتحات أكبر من ذلك فإنها تكوّن ظلالاً حادّة، وكان العالم إسحق نيوتن أول من لاحظ ذلك. وفي حين يعتمد نمط الشقّ الأحادي على الطول الموجي للضوء، فإن الحيود يزوّدنا بأداة فعّالة لقياس الطول الموجي للضوء فقط عند استخدام عدد كبير من الشقوق بعضها بجانب بعض.

مسألة تحفيز

لديك مجموعة من المواد غير المعروفة، وأردّت أن تتعرف أنواعها باستخدام أدوات حيود الشقّ المفرد، فقرّرت وضع عينة من المادة المجهولة في المنطقة بين الشقّ والشاشة، واستخدمت البيانات التي حصلت عليها لتحديد نوع كل مادة، وذلك بحساب معامل الانكسار. اعتمادًا على ذلك، أجب عما يأتي:



1. اكتب صيغة عامة لمعامل الانكسار لمادة مجهولة بدلالة الطول الموجي للضوء في الفراغ $\lambda_{\text{الفراغ}}$، وعرض الشق w، والمسافة بين الشقّ والشاشة L، والمسافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المعتم الأول x_1.

2. إذا كان الطول الموجي لضوء المصدر الذي تستخدمه 634 nm، وعرض الشقّ 0.10 mm، والبعد بين الشقّ والشاشة 1.15 m، وغمرت الأدوات في الماء ($n_{\text{المادة}} = 1.33$) فكم تتوقع أن يكون عرض الهدب المركزي؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

محزوزات الحيود Diffraction Gratings

الشكل 11–1 تستخدم محزوزات الحيود لتكوين أنماط الحيود من أجل تحليل مصادر الضوء.

درست أن تداخل الشقّ المزدوج وحيود الشقّ المفرد يعتمدان على الطول الموجي للضوء المستخدم، لذا فإنّنا بحاجة إلى قياسات دقيقة للطول للموجي. ومن أجل ذلك تُستخدم محزوزات الحيود الموضّحة في **الشكل 11–1**. **ومحزوز الحيود** أداة مكوّنة من شقوق عدة مفردة تسبّب حيود الضوء، وتكوّن نمط حيود ناتجًا عن تراكُب أنماط ناتجة عن حيود شقّ مفرد. ويمكن أن يتكوّن محزوز الحيود من 10,000 شقّ لكل سنتمتر. لذا فإن المسافة بين الشقوق تكون صغيرة جدًّا تصل إلى 10^{-6} m أو 1000 nm.

من أنواع محزوزات الحيود ما يُسمّى محزوز النفاذ. ويصنع هذا المحزوز بعمل خدوش على زجاج منفذ للضوء في صورة خطوط رفيعة جدًّا بواسطة رأس من الألماس؛ حيث تعمل الفراغات بين خطوط الخدوش كالشقوق. والنوع الأقل تكلفة من محزوزات الحيود هو المحزوز طبق الأصل أو المحزوز الغشائي. ويُصنع هذا المحزوز بضغط صفيحة رقيقة من البلاستيك على محزوز زجاجي، وعندما تسحب صفيحة البلاستيك الرقيقة خارج المحزوز يتكوّن أثر على سطحها مماثل للمحزوز الزجاجي. وتُصنع المجوهرات أحيانًا على صورة محزوزات نفاذ تنتج أطيافًا ضوئية، كما هو موضح في **الشكل 12a–1**.

الشكل 12–1 جوهرة مصنوعة في صورة محزوز نفاذ تُنتج أطيافًا ضوئية (a). تُعدّ الأقراص المدمجة محزوزات انعكاس؛ إذ تكوّن نمط طيف الحيود عندما يسقط عليها ضوء أبيض (b).

وهناك نوع آخر من محزوزات الحيود تُسمّى محزوزات الانعكاس. ويُصنع هذا النوع بواسطة حفر خطوط رفيعة جدًّا على سطوح طبقة معدنية أو زجاج عاكس. وطيف الألوان الناتج عندما ينعكس الضوء الأبيض عن سطح قرص مدمج CD أو DVD هو نتيجة لعمل هذا القرص عمل محزوز انعكاس، كما هو موضح في **الشكل 12b–1**. فإذا وجّهت ضوءًا أحاديَّ اللون إلى DVD فسيُكوّن الضوء المنعكس نمط حيود على شاشة. وتُنتج محزوزات النفاذ ومحزوزات الانعكاس أنماطَ حيود متشابهة يُمكن تحليلها بالطريقة نفسها. يبين **الشكل 13–1** إسهامات بعض العلماء في تطور علم البصريات.

الشكل 13–1 خط زمني يبين إسهامات بعض العلماء في تطور علم البصريات.

القرن التاسع الميلادي

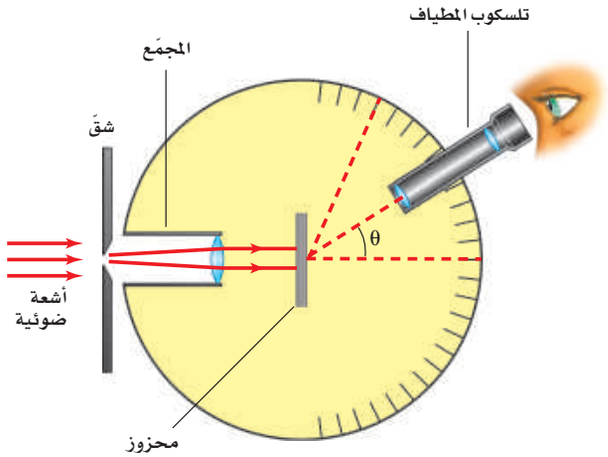
القرن التاسع (م) يعقوب بن إسحاق الكندي أحد العلماء المسلمين، فسّر اختلاف أطوال الظلال للأجسام، والانعكاس في المرايا، وبيّن أن الضوء يسير في خطوط مستقيمة.

القرن العاشر

القرن العاشر (م) ابن سهل أحد العلماء المسلمين، وضَع أول قانون للانكسار واستخدمه لاستخلاص أشكال العدسات التي تعمل على تركيز الضوء. وهو أول من وصف قانون الانكسار وصفًا صحيحًا.

القرن الحادي عشر

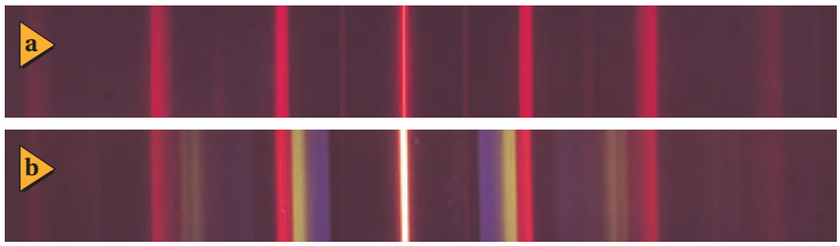
القرن الحادي عشر (م) ابن الهيثم أحد العلماء المسلمين، أوجد علم البصريات معتمدًا على التجربة والبرهان، كما ولدت على يديه نظرية الورود (الانعكاس)، وفسّر كيفية رؤية العين للأجسام، ودرس العين البشرية وعرّف أجزاءها، وأعطى كل جزء الاسم الخاص به.



■ **الشكل 14–1** يستخدم المطياف لقياس الأطوال الموجية للضوء المنبعث من مصدر ضوئي.

قياس الطول الموجي الجهاز الذي تُقاس به الأطوال الموجية للضوء باستخدام محزوز الحيود يُسمّى المطيافَ، كما هو موضح في **الشكل 14–1**. حيث يبعث المصدر المراد تحليله ضوءًا يوجّه نحو شقّ، وينفذ الضوء عبر الشقّ ليسقط على محزوز الحيود، فيُنتج المحزوز نمط حيود يمكن مشاهدته بتلسكوب المطياف.

ويكون نمط الحيود المتكوّن بوساطة محزوز حيود عبارة عن أهداب مضيئة ضيّقة تفصلها مسافات متساوية، كما في **الشكل 15–1**. وكلّما زاد عدد الشقوق لكل وحدة طول من المحزوز تكوّنت أهداب أكثر ضِيقًا في نمط الحيود. لذا يمكن قياس المسافة بين الأهداب المضيئة باستخدام المطياف بدقة أكبر، مقارنة باستخدام الشقّ المزدوج.



■ **الشكل 15–1** استُخدم محزوز لإنتاج أنماط الحيود للضوء الأحمر (a) وللضوء الأبيض (b).

القرن السابع عشر (م) رينيه ديكارت وضَع بعض النظريات البصرية التي فسّرت مجموعة من الظواهر البصرية مثل الانعكاس والانكسار.

القرن السابع عشر (م) كريستيان هيجنز وضع أساسًا لبناء النظرية الموجية للضوء، وطوّر نظرية تقول إن الضوء ينتقل على شكل موجات، وفسّر ظواهر الحيود والتداخل وغيرها. وبيّن أن كل نقطة على صدر (مقدمة) الموجة تصبح مصدرًا لموجة أخرى.

القرن الثامن عشر (م) سنل وضع قانون الانكسار.

القرن الثامن عشر (م) إسحاق نيوتن وصَفَ الضوء بأنه انبعاث جسيمات، واكتشف أنه مكون من سبعة ألوان سمّاها الطيف المرئي. وأن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.

القرن التاسع عشر (م) توماس يونج بداية توصّل إلى دليل مقنع للطبيعة الموجية للضوء، واستطاع قياس الأطوال الموجية للضوء المرئي. وهو صاحب التجربة الشهيرة لتداخل الشقّ المزدوج.

القرن التاسع عشر (م) ماكسويل استنتج أن الضوء موجات كهرومغناطيسية.

القرن العشرين

القرن العشرون (م) بور أعطى أول تفسير منطقي صحيح لآلية (ميكانيكية) انبعاث الضوء من الذرات، وفسّر الظاهرة الكهروضوئية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

درســت سابقًا في هذا الفصل أنه يمكن اســتخدام نمط التداخل الناتج بواسطة شــقّ مزدوج لحساب الطول الموجي للضوء المســتخدم. ويمكن الحصول على معادلة محزوز الحيود بالطريقة نفسها التي اتبعت للحصول على معادلة الشقّ المزدوج. ولكن الزاويــة θ في محزوز الحيود تكون كبيرة؛ لذا لا يُطبّق التبســيط الخاص بالزاوية الصغــيرة. ويمكن إيجاد الطول الموجي بقياس الزاوية θ بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء ذي الرتبة الأولى.

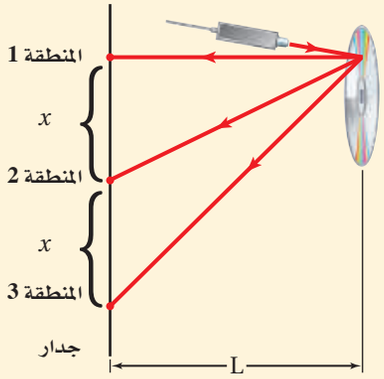
الطول الموجي من محزوز الحيود $\lambda = d \sin\theta$

الطول الموجي للضوء يساوي المسافة الفاصلة بين الشقوق مضروبة في جيب الزاوية التي يتكوّن عندها الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى.

ويحــدث التداخل البنّاء بوســاطة محزوز الحيود عند زوايا عــلى جانبي الهدب المركزي المضيء، ويعبَّر عنــه من خلال المعادلة $m\lambda = d \sin\theta$، حيث $m = 0,1,2\ldots$، ويحدث الهدب المضيء المركزي عند $m=0$.

مثـــــال 3

استخدام قرص DVD بوصفه محزوز حيود أسقط طالب شعاعًا ضوئيًّا من مصدر ضوئي أخضر اللون على قرص DVD، ولاحظ انعكاس ثلاث مناطق مضيئة على جدار يبعد عن القرص 1.25 m. فإذا كان الطول الموجي لضوء المصدر 532 nm، ووجد الطالب أن الفراغات بين هذه المناطق 1.29 m، فما مقدار التباعد بين الفراغات على قرص الـ DVD؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل التجربة، مبيّنًا المناطق المضيئة على الجدار، وقرص الـ DVD بوصفه محزوزًا.

المعلوم	المجهول
$x = 1.29\ \text{m}$، $L = 1.25\ \text{m}$، $\lambda = 532\ \text{nm}$	$d = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد الزاوية المحصورة بين المنطقة المركزية المضيئة ومنطقة أخرى تليها مستخدمًا $\tan\theta = x/L$

عوّض مستخدمًا $x = 1.29\ \text{m}$، $L = 1.25\ \text{m}$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{x}{L}\right)$$
$$= \tan^{-1}\left(\frac{1.29\ \text{m}}{1.25\ \text{m}}\right) = 45.9^\circ$$

استخدم الطول الموجي للضوء الساقط على محزوز الحيود، وحلّ المسألة بالنسبة للمتغير d.

$$\lambda = d \sin\theta$$

عوّض مستخدمًا $\lambda = 532 \times 10^{-9}\ \text{m}$، $\theta = 45.9^\circ$

$$d = \frac{\lambda}{\sin\theta} = \frac{532 \times 10^{-9}\ \text{m}}{\sin 45.9^\circ}$$
$$= 7.41 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

3 تقويم الجواب

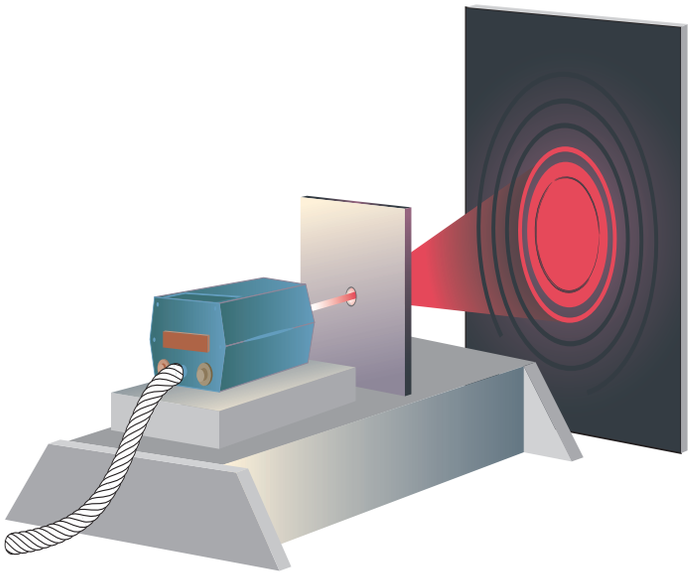
- **هل الوحدات صحيحة؟** الإجابة بوحدة m، وهي وحدة صحيحة للمسافة الفاصلة.
- **هل الجواب منطقي؟** عندما يكون لـ x وL المقدار نفسه تكون قيمة d قريبة من قيمة λ.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسائل تدريبية

15. يسقط ضوء أبيض من خلال محزوز على شاشة. صف النمط المتكوّن.
16. يسقط ضوء أزرق طوله الموجي 434 nm على محزوز حيود، فتكوّنت أهداب على شاشة على بعد 1.05 m. إذا كانت الفراغات بين هذه الأهداب 0.55 m، فما المسافة الفاصلة بين الشقوق في محزوز الحيود؟
17. يُضاء محزوز حيود تفصل بين شـقوقه مسافة 8.60×10^{-7} m بضوء بنفسجي طوله الموجي 421 nm. فإذا كان البعد بين الشاشة والمحزوز 80.0 cm، فما مقدار المسافات الفاصلة بين الأهداب في نمط الحيود؟
18. يسـقط ضوء أزرق على قرص DVD في المثال 3، فإذا كانت المسـافات الفاصلة بين النقاط المتكوّنة على جدار يبعد 0.65 m تساوي 58.0 cm، فما مقدار الطول الموجي للضوء؟
19. يمر ضوء طوله الموجي 632 nm خلال محزوز حيود، ويكوّن نمطًا على شاشـة تبعد عن المحزوز مسـافة 0.55 m. فإذا كان الهدب المضيء الأول يبعد 5.6 cm عن الهدب المركزي المضيء، فما عدد الشقوق لكل سنتمتر في المحزوز؟

يمكن رؤية نمط التداخل في الأغشية الرقيقة ضمن زاوية نظر صغيرة، عند النظر رأسـيًّا من فوق الغشاء. وكذلك الحال بالنسبة لفراشة المورفو الزرقاء، ذات نمط التداخل المتلألئ، فلو لم تكن طبقة القشور الداخلية التي تشبه طبقة الزجاج موجودة لما حدث هـذا التداخل، ولما بدت هذه الفراشة بهذا اللون؛ إذ تعمل طبقة القشور الداخلية عمل محزوز الحيود، وتسبِّب انتشار نمط تداخل الضوء الأزرق المتلألئ لينتج نمط حيود بزاوية نظر أوسع. ويعتقد العلماء أن ذلك يجعل فراشة المورفو أكثر وضوحًا لجذب شريك التزاوج.



الشكل 16–1 نمط الحيود لثقب دائري ينتج حلقات مضيئة ومعتمة متعاقبة. (التوضيح ليس بمقياس رسم).

قوة التمييز للعدسات Resolving Power of lenses

تعمل العدسـة المسـتديرة في المنظار الفلكي والمجهر – وحتى في عينك – عمل ثقب أو فتحة تسمح للضوء بالمرور من خلالها. وتسبب الفتحة حيود الضوء تمامًا كما يفعل الشقّ الأحادي، وتنتج حلقات مضيئة ومعتمة متعاقبة بواسطتها، كما في **الشكل 16–1**. وتكون معادلة الفتحة مماثلة لمعادلة الشقّ المفرد، إلا أن للفتحة حافة دائرية بدلًا من حافتي الشقّ. لذا يُعوَّض قطر الفتحة D بدلًا من عرض الشـقّ w، بالإضافة إلى معامل هندسي إضافي مقداره 1.22 يتم إدخاله ضمن المعادلة لتصبح على الشكل الآتي: $x_1 = 1.22\ \lambda L / D$.

عندما يُرى الضوء المنبعث من نجم بعيد بواسـطة فتحة المنظار الفلكي فإن الصورة تنتشر بسبب الحيود. وإذا كان هناك نجمان قريبان جدًّا أحدهما إلى الآخر فإن صورتيهما تتداخلان

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

معًا، كما في **الشكل 17–1**. وفي عام 1879 وضع الفيزيائي والرياضي البريطاني لورد ريليه، الحائز على جائزة نوبل، معيارًا لتحديد ما إذا كان هناك نجم أو نجمان في مثل هذه الصورة. وينص **معيار ريليه** على أنه إذا سقط مركز البقعة المضيئة لصورة أحد النجمين على الحلقة المعتمة الأولى للنجم الثاني فإن الصورتين تكونان عند حدّ الفصل أو التمييز؛ أي يكون المُشاهد قادرًا على تحديد وجود نجمين بدلاً من نجم واحد فقط.

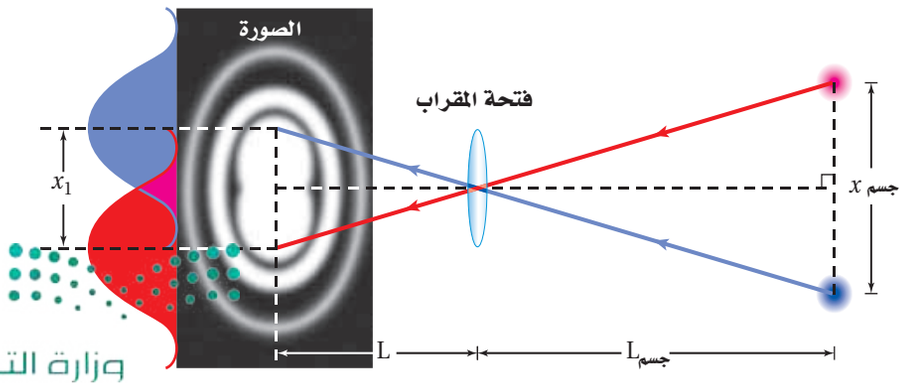
إذا كانت الصورتان عند حدّ التمييز فكم يبعد الجسمان أحدهما عن الآخر؟ يبعد مركزا البقعتين المضيئتين للصورتين أحدهما عن الآخر مسافة x_1، وذلك باستخدام معيار ريليه. ويوضح **الشكل 17–1** أنه يمكن استخدام تشابه المثلثات لإيجاد أن $x_1 / L = x_{\text{الجسم}} / L_{\text{الجسم}}$. وبتعويض قيمة x_1 من المعادلة $x_1 = 1.22\lambda L / D$ في المعادلة السابقة لحذف المقدار x_1 / L، ثم إعادة ترتيب حدود المعادلة للحصول على المسافة التي تفصل بين الجسمين $x_{\text{الجسم}}$، يمكن التوصل إلى المعادلة الآتية:

معيار ريليه

$$x_{\text{الجسم}} = \frac{1.22\lambda L_{\text{الجسم}}}{D}$$

المسافة الفاصلة بين جسمين عندما يكونان عند حد التمييز تساوي 1.22 مضروبًا في الطول الموجي للضوء والمسافة من الفتحة المستديرة إلى الجسمين مقسومًا على قطر الفتحة المستديرة.

الحيود في العين البشرية عندما يكون الضوء ساطعًا يكون قطر بؤبؤ العين 3 mm تقريبًا. وحساسيّة العين البشرية كبيرة للون الأصفر– المخضر؛ حيث الطول الموجي يساوي 550 nm. وبتطبيق معيار ريليه على العين يُعطي $x_{\text{الجسم}} = 2 \times 10^{-4} L_{\text{الجسم}}$. وحيث إن المسافة بين البؤبؤ والشبكية 2 cm تقريبًا، فإنه من الصعب التمييز بين مصدرين نقطيين عندما تفصل بينهما مسافة مقدارها 4 µm على شبكية العين. والمسافة الفاصلة بين كاشفين ضوئيين داخل العين – وهي المخاريط التي تقع في أكثر أجزاء العين حساسية للضوء – تساوي 2 µm تقريبًا. لذا تُسجّل المخاريط الثلاثة المتجاورة في الحالة المثالية ضوءًا، وعتمة، وضوءًا، وعندئذٍ تبدو العين مثالية التركيب. وإذا كانت المخاريط متقاربة جدًّا فإنها سترى تفاصيل نمط الحيود لا المصادر. أما إذا كانت المخاريط متباعدة فلن يكون باستطاعتها تمييز التفاصيل الممكنة كلها.



الشكل 17–1 تسمح لك هندسة المثلثات المتماثلة بحساب المسافة الفعلية التي تفصل بين جسمين. تم استخدام اللونين الأزرق والأحمر فقط بغرض التوضيح. (التوضيح ليس بمقياس رسم).

الربط مع الفلك

تجربة

شاشات عرض الشبكة

هل تعلم أنك تستطيع اتخاذ شبكية عينك شاشة؟ **تحذير: لا تنفذ الخطوات الآتية مستخدمًا أشعة الليزر أو ضوء الشمس.**

1. صل مصباحًا متوهجًا له فتيل مستقيم بمصدر طاقة، ثم أشعله، وقف على بُعد 2 m من المصباح.
2. أمسك بمحزوز حيود، وضعه أمام عينك على أن يكون طيف الألوان المتكوّن أفقيًا.
3. **لاحظ** أنماط ألوان الأطياف المتكوّنة، وسجّل ملاحظاتك مستخدمًا أقلامًا ملوّنة.

التحليل والاستنتاج

4. ما اللون الأقرب إلى الهدب المركزي المضيء (ضوء الفتيل)؟ وما اللون الأبعد؟
5. ما عدد الأطياف التي يمكنك رؤيتها على كل جانب للضوء؟
6. **فسّر البيانات** هل بياناتك متطابقة مع معادلة الطول الموجي من محزوز الحيود؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

إن تطبيق معيار ريليه لإيجاد قدرة العين على التمييز بين مصدرين متباعدين يدل على أن العين لديها القدرة على التمييز بين الضوئين الأماميين لمركبة (المسافة بينهما 1.5 m) من بُعد 7 km. وعمليًّا، لا يحدّ الحيود من عمل العين؛ إذ يؤدي السائل الذي يملأ العين والعيوب في العدسة إلى التقليل من قدرة التمييز للعين بمقدار خمس مرات، وفق معيار ريليه. ويستخدم معظم الناس أعينهم لأغراض غير التمييز بين المصادر النقطية، فمثلاً يبدو أن للعين قدرة ذاتية للكشف عن الحواف المستقيمة.

ويعلن بعض صانعي أجهزة المنظار الفلكي أن أجهزتهم محدودة الحيود؛ أي يدّعون أن لأجهزتهم القدرة على التمييز بين مصدرين نقطيين عند حدّ معيار ريليه. وللوصول إلى هذا الحدّ يتعين عليهم صقل المرايا والعدسات بدقة تصل إلى عُشر (1/10) الطول الموجي أو 55 nm تقريبًا. وكلما كبر قطر المرآة زادت قدرة التمييز للمنظار الفلكي. إلّا أن الضوء المنبعث من الكواكب أو النجوم يجب أن يمر خلال الغلاف الجوي للأرض، حيث تؤدي التغيرات نفسها التي تحدث في الغلاف الجوي والتي تجعل النجوم تتلألأ إلى عدم وصول المنظار الفلكي إلى حد الحيود. وتعد قدرة تمييز ودقة صور تلسكوب هابل الفضائي أفضل كثيرًا من التلسكوبات الكبرى الموجودة على سطح الأرض؛ وذلك بسبب وجوده فوق الغلاف الجوي للأرض.

2–1 مراجعة

20. المسافة بين الأهداب المعتمة ذات الرتبة الأولى يسقط ضوء أخضر أحادي اللون طول موجته 546 nm على شقّ مفرد عرضه 0.080 mm. ويقع الشقّ على بُعد 68.0 cm من شاشة. ما المسافة الفاصلة بين الهدب المعتم الأول على أحد جانبي الهدب المركزي المضيء والهدب المعتم الأول على الجانب الآخر؟

21. معيار ريليه نجم الشِّعرى اليمانية (سيريوس) أكثر النجوم سطوعًا في السماء في فصل الشتاء في نصف الكرة الأرضية الشمالي. ونجم الشعِّرى–في الحقيقة– نظام مكوّن من نجمين يدور كل منهما حول الآخر فإذا وجّه تلسكوب هابل الفضائي (قطر فتحته 2.4 m) نحو هذا النظام الذي يبعد 8.44 سنوات ضوئية عن الأرض، فما أقل مسافة فاصلة بين النجمين تلزمنا للتمييز بينهما باستخدام التلسكوب؟ (افترض أن متوسط الطول الموجي للضوء القادم من النجمين يساوي 550 nm)

22. التفكير الناقد شاهدت جهاز مطياف، إلا أنك لا تعلم ما إذا كان الطيف الناتج عنه باستخدام منشور أو محزوز. كيف تعرف ذلك من خلال النظر إلى طيف الضوء الأبيض؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مختبر الفيزياء

تداخل الضوء بواسطة الشق المزدوج Double-Slit Interference of Light

يسلك الضوء أحيانًا سلوك الموجة؛ فعندما يسقط ضوء مترابط على شقّين قريبين جدًّا أحدهما إلى الآخر يكوّن الضوء النافذ خلال الشقّين نمطًا من التداخل البنّاء والتداخل الهدّام على شاشة. وفي هذا الاستقصاء ستطوّر إجراءات وخطوات قياس الطول الموجي لمصدر ضوء أحادي اللون باستخدام شقّين.

سؤال التجربة

كيف يمكن استخدام نمط تداخل الشقّ المزدوج في قياس الطول الموجي للضوء الأحادي؟

الأهداف

- **تلاحظ** نمط التداخل للشق المزدوج لضوء أحادي اللون.
- **تحسب** الطول الموجي للضوء مستخدمًا نمط التداخل للشق المزدوج.

احتياطات السلامة

- **استخدم واقي العين من أشعة الليزر.**
- **لا تنظر مباشرة إلى ضوء الليزر.**

المواد والأدوات

مؤشر ليزر أو مصدر لأشعة الليزر لاختباره

شقّ مزدوج

مؤشر ليزر أو مصدر لأشعة الليزر معلوم الطول الموجي

مشبك غسيل لحمل مؤشر الليزر

كرة صلصال لتثبيت لوحة الشقّ المزدوج

مسطرة مترية

الخطوات

1. حدّد المعادلة التي تطبّق على تداخل الشقّ المزدوج.
2. استخدم شقًّا مزدوجًا على أن تكون المسافة الفاصلة بين الشقّين معلومة d، أو طوِّر طريقة لتحديد d.
3. وضّح بالرسم التخطيطي كيف ينفذ الضوء خلال شقّ مزدوج؛ لكي يساعدك ذلك على تحديد كيفية قياس كل من x و L.
4. استخدم الرسم من الخطوة 3 وقائمة المواد والأدوات المذكورة في هذه التجربة، ثم صمّم التجربة، وسجّل خطوات تنفيذها.
5. حدّد قيم m غير الصحيحة بالنسبة للمعادلة.
6. **تحذير: النظر مباشرة إلى أشعة الليزر يلحق الأذى بعينيك.**
7. تأكد من أن معلمك قد تفحّص تجربتك، كما يتعين عليك الحصول على موافقته قبل بدء تنفيذ التصميم.
8. نفّذ تجربتك، وسجّل بياناتك في جدول بيانات مماثل للجدول الموجود في الصفحة الآتية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

جدول البيانات						
المصدر	اللون	λ المقبولة (m)	d (m)	m	x (m)	L (m)
				1		
				2		
				3		
				4		
				5		

التحليل

1. اضبط المسافة بين الشقّين والشاشة. هل توجد مسافة معينة تسمح لك بجمع معظم البيانات بدقة كبيرة؟
2. احسب الطول الموجي λ لمصدر الضوء مستخدمًا m وقياسات كل من x وd وL.
3. **تحليل الخطأ** قارن بين الطول الموجي الذي حسبته والقيمة المقبولة، وذلك بحساب النسبة المئوية للخطأ.

الاستنتاج والتطبيق

1. **استخلص** هل مكّنتك الخطوات التي نفّذتها من استخدام نمط التداخل للشقّ المزدوج لحساب الطول الموجي للضوء؟ وضّح إجابتك.
2. **قدّر** ما النتائج التي ستحصل عليها إذا استخدمت لوحة تكون فيها المسافة الفاصلة d بين الشقّين أقل، مقارنة بالحالة الأولى، وأجريت التجربة مرة أخرى وبالطريقة نفسها تمامًا؟
3. **استنتج** ما التغيرات التي تطرأ على ملاحظاتك إذا استخدمت ضوءًا أخضر، وكانت لوحة الشقّ المزدوج هي نفسها التي استخدمتها سابقًا، والمسافة بين الشقّين والشاشة هي نفسها كذلك؟

التوسع في البحث

1. **استخدام التفسير العلمي** صف لماذا يخفت نمط التداخل للشقّ المزدوج، ثم يسطع، ثم يخفت، كلما ازداد البعد عن مركز النمط؟
2. **تحليل الخطأ** صف بعض الأمور التي يمكنك تنفيذها في المستقبل لتقليل الخطأ المنهجي في تجربتك.
3. **قوّم** افحص أداة القياس التي استخدمتها، وحدّد أيّ الأدوات قلّلت من دقة حساباتك؟ وأيّها حقّقت لك دقة أكبر؟
4. **تقنيات المختبر** كيف يمكنك أن تعدّل في إعدادات التجربة لكي تستخدم ضوءًا أبيض من مصباح كهربائي عادي لتوليد نمط تداخل الشقّ المزدوج؟

الفيزياء في الحياة

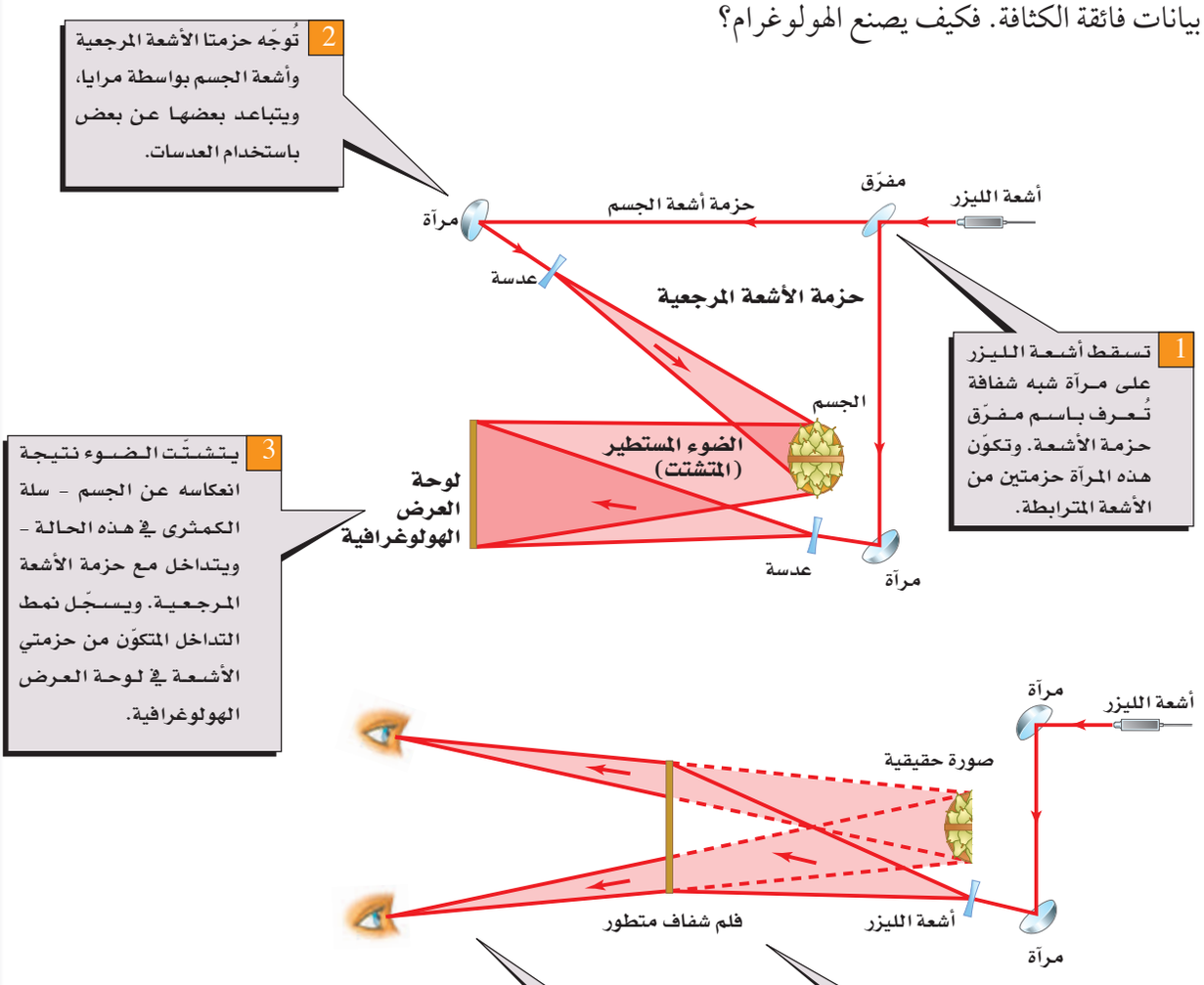
1. إذا سقط ضوء أبيض على شقوق باب شبكي يمنع دخول الحشرات فلماذا لا يُرى نمط تداخل في ظل الباب على الجدار؟
2. إذا كان جميع الضوء الذي ينير العالم مترابطًا، فهل ستبدو الأشياء مختلفة؟ وضح ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

كيف يعمل

الهولوغرافي؟
How it works Holography

يُعدّ الهولوغرافي أحد أشـكال التصوير الفوتوغرافي الذي يعطي صورة ثلاثية الأبعاد. لقد صنع دينس جابور أول جهاز هولوغرام عام 1947، وبقي التصوير الهولوغرافي غير عملي إلى أن اختُرع ليزر الغاز عام 1960. ويستخدم الهولوغرام في بطاقات الاعتماد البنكية للمساعدة على منع عمليات التزييف، ويمكن أن يستخدم مستقبلاً في تخزين بيانات فائقة الكثافة. فكيف يصنع الهولوغرام؟



التفكير الناقد

1. **استنتج** يُسجّل الهولوغرام نمطًا معقّدًا لأهداب التداخل البنّاء والتداخل الهدّام. فلماذا تفترض أن الحصول على نتائج جيدة يتطلب سطح اهتزاز معزولًا؟
2. **استخدام التوضيح العلمي** حدّد أين تحدث الخصائص الموجية الآتية في الرسوم البيانيّة ووضّحها: الانعكاس، والانكسار، والتداخل.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 1
دليل مراجعة الفصل

1-1 التداخل Interference

المفردات

- الضوء غير المترابط
- الضوء المترابط
- أهداب التداخل
- الضوء الأحادي اللون
- التداخل في الأغشية الرقيقة

المفاهيم الرئيسة

- يضيء الضوء غير المترابط الجسم بالتساوي، كما يضيء المصباح الكهربائي سطح مكتبك.
- ينتج نمط التداخل من تراكُب موجات ضوئية ناتجة عن مصادر ضوئية مترابطة فقط.
- يبرهن التداخل أن للضوء خصائص موجيّة.
- يُنتج الضوء المار خلال شقّين ضيقين متقاربين نمطًا من أهداب معتمة ومضيئة على شاشة تُسمّى أهداب التداخل.
- يمكن استخدام أنماط التداخل لقياس الطول الموجي للضوء.

$$\lambda = \frac{xd}{L}$$

- يمكن أن تنتج أنماط التداخل عندما ينتج ضوء مترابط عند حدّ الانكسار لغشاء رقيق.

1-2 الحيود Diffraction

المفردات

- نمط الحيود
- محزوز الحيود
- معيار ريليه

المفاهيم الرئيسة

- يحيد الضوء المار خلال شقّ ضيّق، أو ينتشر بعيدًا عن مسار الخط المستقيم، ويُنتج نمط حيود على شاشة.
- يكوّن نمط الحيود من شقّ مفرد حزمة مركزية مضيئة عرضها يساوي المسافة بين الحزمة المعتمة الأولى على كلا جانبي الحزمة المركزية المضيئة.

$$2x_1 = \frac{2\lambda L}{w}$$

- تتكوّن محزوزات الحيود من عدد كبير من الشقوق المتقاربة جدًّا، وتنتج خطوطًا ضيقة ناتجة عن تراكُب أنماط التداخل للشقّ المفرد لجميع الشقوق في المحزوز.
- تُستخدم محزوزات الحيود لقياس الطول الموجي للضوء بدقة كبيرة، أو تُستخدم لتحليل الضوء المتكوّن من أطوال موجية مختلفة.

$$\lambda = d \sin\theta$$

- يحدّ الحيود من قدرتنا على التمييز بين جسمين متقاربين جدًّا عند النظر إليهما من خلال فتحة أو ثقب.

$$x_{\text{الجسم}} = \frac{1.22\lambda L_{\text{الجسم}}}{D}$$

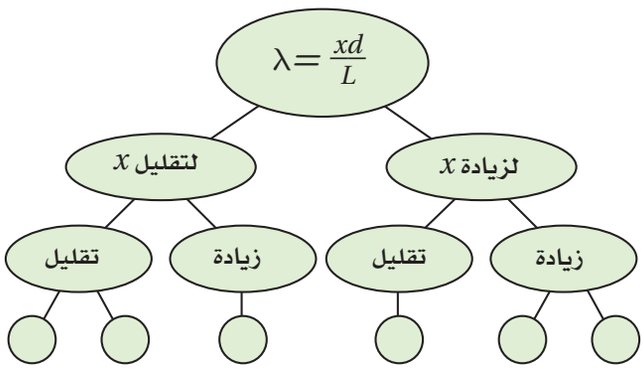
- إذا سقطت البقعة المركزية المضيئة لإحدى الصور على الحلقة المعتمة الأولى للصورة الثانية فإن الصورتين تكونان عند حد التمييز.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 1 التقويم

خريطة المفاهيم

23. يضيء ضوء أحادي اللون طوله الموجي λ شقّين في تجربة يونج. فإذا كانت المسافة الفاصلة بين الشقّين d، وتكوّن نمط على شاشة تبعد مسافة L عن الشقّين، فأكمل خريطة المفاهيم الآتية مستخدمًا λ وL وd لتبيّن كيف يمكنك تغييرها لتحصل على التغير المشار إليه في الفراغ بين الأهداب المضيئة المتجاورة x.



إتقان المفاهيم

24. لماذا يُعدّ استخدام ضوء أحادي اللون مهمًّا في تكوين نمط التداخل في تجربة التداخل ليونج؟ (1-1)

25. وضّح لماذا لا يمكن استخدام موقع الهدب المركزي المضيء لنمط تداخل الشقّ المزدوج لحساب الطول الموجي لموجات الضوء؟ (1-1)

26. اقترح طريقة تمكنك من استخدام ضوء معلوم الطول الموجي لإيجاد المسافة بين شقّين. (1-1)

27. يشع ضوء أبيض خلال محزوز حيود. هل تكون الفراغات بين الخطوط الحمراء الناتجة متقاربة أم متباعدة أكثر مقارنة بالخطوط البنفسجية الناتجة؟ ولماذا؟ (2-1)

28. ما لون الضوء المرئي الذي ينتج خطًّا ساطعًا قريبًا جدًّا من الهدب المركزي المضيء بالنسبة لمحزوز حيود معين؟(2-1)

29. لماذا يكون التلسكوب ذو القطر الصغير غير قادر على التمييز بين صورتين لنجمين متقاربين جدًّا؟ (2-1)

تطبيق المفاهيم

30. حدّد في كل من الأمثلة الآتية ما إذا كان اللون ناتجًا عن التداخل في الأغشية الرقيقة، أم عن الانكسار، أم نتيجة وجود الأصباغ.

a. فقاعات الصابون **c.** غشاء زيتي

b. بتلات الوردة **d.** قوس المطر

31. صف التغيرات في نمط حيود الشقّ المفرد عندما يتناقص عرض الشقّ.

32. **معرض العلوم** إحدى المعروضات في معرض العلوم عبارة عن غشاء كبير جدًّا من الصابون ذي عرض ثابت تقريبًا، ويُضاء بواسطة ضوء طوله الموجي 432 nm، فيظهر السطح كاملاً تقريبًا على شكل ظل أرجواني اللون. فماذا ستشاهد في الحالات الآتية؟

a. عندما يتضاعف سمك الغشاء.

b. عندما يزداد سمك الغشاء بمقدار نصف الطول الموجي للضوء الساقط.

c. عندما يتناقص سمك الغشاء بمقدار ربع الطول الموجي للضوء الساقط.

33. **تحدّي مؤشر الليزر** إذا كان لديك مؤشرا ليزر؛ أحدهما ضوءه أحمر والآخر ضوءه أخضر، واختلف زميلاك أحمد وفيصل في تحديد أيهما له طول موجي أكبر، وأصرّ أحمد على أن اللون الأحمر طوله الموجي أكبر، بينما فيصل متأكد أن الضوء الأخضر له طول موجي أكبر. فإذا كان لديك محزوز حيود فَصِف

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

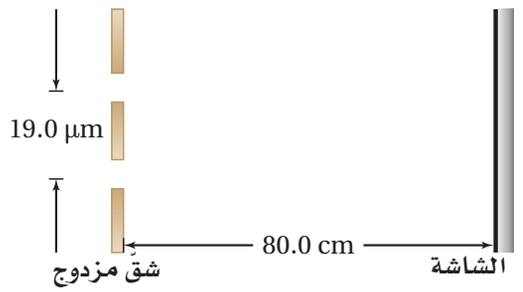
تقويم الفصل 1

العرض الذي ستنفّذه بواسطة هذه الأداة، وكيف يمكنك توضيح النتائج التي توصّلت إليها لكل من أحمد وفيصل لحل الخلاف بينهما؟

إتقان حل المسائل

1–1 التداخل

34. يسقط ضوء على شقّين متباعدين بمقدار 19.0 μm، ويبعدان عن شاشة 80.0 cm، كما في **الشكل 18–1**. فإذا كان الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى يبعد 1.90 cm عن الهدب المركزي المضيء فما مقدار الطول الموجي للضوء؟



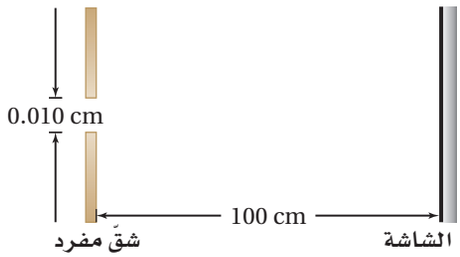
الشكل 18–1

35. البقع النفطية خرج أسامة وعمر في نزهة قصيرة بعد المطر، ولاحظَا طبقة نفطية رقيقة معامل انكسار مادتها 1.45 على سطح بركة صغيرة تُنتج ألوانًا مختلفة. ما أقل سمك لطبقة النفط، عندما تُكوّن تداخلاً بنّاءً لضوء طوله الموجي 545 nm؟

36. يوجّه علي مؤشر ليزر أحمر نحو ثلاث مجموعات من الشقّوق المزدوجة المختلفة. فإذا كانت المسافة الفاصلة بين الشقّين في المجموعة A 0.150 mm، وبُعد الشاشة عن الشقّين 0.60 m، أما في المجموعة B فكانت المسافة الفاصلة بين الشقّين 0.175 mm، وبُعد الشاشة عنهما 0.80 m، وفي المجموعة C كانت المسافة الفاصلة بين الشقّين 0.150 mm وبُعد الشاشة عنهما 0.80 m، فرتّب المجموعات الثلاث اعتمادًا على المسافة الفاصلة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء ذي الرتبة الأولى، وذلك من المسافة الفاصلة الأصغر إلى الأكبر.

1–2 الحيود

37. يعبر ضوء أحادي اللون خلال شقّ مفرد عرضه 0.010 cm، ثم يسقط على شاشة تبعد عنه مسافة 100 cm، كما في **الشكل 19–1**. فإذا كان عرض الهدب المركزي المضيء 1.20 cm، فما مقدار الطول الموجي للضوء؟



الشكل 19–1

38. يمرّ ضوء طوله الموجي 4.5×10^{-5} cm خلال شق مفرد ويسقط على شاشة تبعد 100 cm. فإذا كان عرض الشق 0.015 cm، فما مقدار المسافة بين مركز النمط والهدب المعتم الأول؟

39. يمر ضوء أحادي اللون طوله الموجي 425 nm خلال شقّ مفرد، ويسقط على شاشة تبعد 75. cm. فإذا كان عرض الحزمة المركزية المضيئة 0.60 cm، فما عرض الشقّ؟

40. المطياف يستخدم في جهاز المطياف محزوز حيود يحوي 12000/ cm خط. أوجد الزاويتين اللتين توجد عندهما الأهداب المضيئة ذات الرتبة الأولى لكل من الضوء الأحمر الذي طوله الموجي 632 nm، والضوء الأزرق الذي طوله الموجي 421 nm.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 1

مراجعة عامة

41. يوضع طـلاء مانـع للانعكاس معامل انكسـاره 1.2 على عدسة، فإذا كان سـمك الطلاء 125 nm، فما لون/ ألوان الضـوء التي يحدث عندهـا تداخل هدّام بصورة كاملة؟ **تلميح: افترض أن العدسة مصنوعة من الزجاج.**

التفكير الناقد

42. **تطبيق المفاهيم** سقط ضوء أصفر على محزوز حيود، فتكوّنـت ثلاث بقع على الشاشـة خلف المحزوز؛ إحداها عند الدرجة صفـر حيث لا يحدث حيود، والثانيـة عنـد $+30°$، والثالثـة عنـد $-30°$. فإذا أسـقطتَ ضوءًا أزرق متماثل الشدة في اتجاه الضوء الأصفر نفسـه، فما نمـط البقع التي سـتراها على الشاشة الآن؟

43. **تطبيـق المفاهيـم** يمر ضـوء أزرق طوله الموجي λ عبر شـقّ مفرد عرضه w، حيـث يظهر نمط حيود على شاشة. فإذا استخدمت الآن ضوءًا أخضر طوله الموجي 1.5λ بـدلًا من الضوء الأزرق، فكم يجب أن يكون عرض الشقّ للحصول على النمط السابق نفسه؟

الكتابة في الفيزياء

44. ابحث، ثم صِفْ مسـاهمات العالم توماس يونج في الفيزياء. وقـوّم تأثير أبحاثه في الفكّر العلمي حول طبيعة الضوء.

45. ابحث ثم فسر دور الحيـود في كل من الطب وعلم الفلك. وصِفْ على الأقل تطبيقين لكل منهما.

مراجعة تراكمية

46. وضعت شمعة طولها 2.00 cm على بعد 7.50 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 21.0 cm. استخدم معادلة العدسة الرقيقة لحساب بُعد الصورة وطولها. (فيزياء 1–3).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. تبدو ألوان الغشاء الرقيق مثل فقاعات الصابون أو الزيت على الماء كأنها تتغير وتتحرك عندما تنظر إليها؛ لأن:

(A) تيارات الحمل الحراري في طبقة الهواء التي تلي الغشاء الرقيق تشوّه الضوء.

(B) سمك الغشاء عند أي موقع محدّد يتغير مع الزمن.

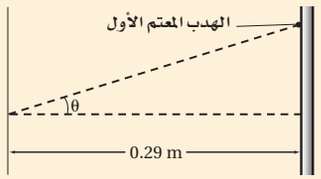
(C) الأطوال الموجية في ضوء الشمس تتغير مع الزمن.

(D) رؤيتك تتغير على نحو قليل مع الزمن.

2. يشع ضوء طوله الموجي 410 nm خلال شقّ، ويسقط على شاشة مسطحة ومستوية، كما في الشكل أدناه. فإذا كان عرض الشقّ 3.8×10^{-6} m، فما عرض الهدب المركزي المضيء؟

(A) 0.024 m (C) 0.048 m

(B) 0.031 m (D) 0.063 m



3. في المسألة السابقة، ما مقدار الزاوية θ للهدب المعتم الأول؟

(A) 3.1° (C) 12.4°

(B) 6.2° (D) 17°

4. نجمان على بعد 6.2×10^{4} سنة ضوئية عن الأرض، والمسافة بينهما تساوي 3.1 سنة ضوئية. ما أقل قطر لفتحة تلسكوب تلزمنا للتمييز بينهما باستخدام ضوء طوله الموجي 610 nm؟

(A) 5.0×10^{-5} m (C) 1.5×10^{-2} m

(B) 6.1×10^{-5} m (D) 1.5×10^{7} m

5. محزوز حيود، المسافة الفاصلة بين شقوقه 0.055 mm. ما مقدار زاوية الهدب المضيء ذي الرتبة الأولى لضوء طوله الموجي 650 nm؟

(A) 0.012° (C) 1.0°

(B) 0.68° (D) 11°

6. يضيء شعاع ليزر طوله الموجي 638 nm شقّين ضيقين. فإذا كان بُعد الهدب ذي الرتبة الثالثة من النمط الناتج عن الهدب المركزي المضيء يساوي 7.5 cm، وبُعد الشاشة عن الشقّين 2.475 m، فما المسافة بين الشقّين؟

(A) 5.8×10^{-8} m (C) 2.1×10^{-5} m

(B) 6.3×10^{-7} m (D) 6.3×10^{-5} m

7. وضعت شاشة مسطّحة على بعد 4.200 m من زوج من الشقوق، وأُضيء الشقّان بحزمة ضوء أحادي اللون. فإذا كانت المسافة الفاصلة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء ذي الرتبة الثانية 0.082 m، والمسافة الفاصلة بين الشقّين 5.3×10^{-5} m، فحدّد الطول الموجي للضوء.

(A) 2.6×10^{-7} m (C) 6.2×10^{-7} m

(B) 5.2×10^{-7} m (D) 1.0×10^{-6} m

الأسئلة الممتدة

8. ينتج محزوز حيود له 6000 شقّ في كل cm نمط حيود له خط مضيء ذو رتبة أولى عند زاوية مقدارها 20° من الخط المركزي المضيء. ما مقدار الطول الموجي للضوء؟

إرشاد

اطلب المساعدة دون خجل أو تردد

إذا كنت تتدرب على إجابة اختبار، وكانت لديك صعوبة في فهم السؤال أو الوصول إلى الإجابة، فاسأل أحد المشرفين على الاختبار ليساعدك. وعليك أن تطلب المساعدة قبل بدء الاختبار لا في أثنائه.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 2

الكهرباء الساكنة
Static Electricity

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- ملاحظة سلوك الشحنات الكهربائية، وتحليل طريقة تفاعلها مع المادة.
- اختبار القوى التي تؤثر بين الشحنات الكهربائية.

الأهمية

تتحكم الكهرباء الساكنة في عمل بعض الأجهزة، ومنها آلة الطباعة وآلة تصوير الأوراق، إلا أن لها آثارًا سلبية على بعض المكونات الإلكترونية للأجهزة، كما أن لها دورًا في تشكّل البرق.

البرق مثالًا على تفريغ الكهرباء الساكنة، ومن ذلك أيضًا الشرارة الكهربائية الصغيرة التي تشعر بها عندما تلمس مقبض الباب الفلزي في يوم جاف. وتختلف عمليتا الشحن والتفريغ – في حالتي الشرارة الكهربائية الصغيرة والبرق – إلى حد كبير من حيث المقدار، إلا أنهما متماثلتان في طبيعتيهما الأساسية.

فكِّر ◄

ما أسباب تراكم الشحنات على السحب الرعدية؟ وكيف يحدث تفريغها على شكل برق؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

أيّ القوى تؤثر عن بُعد؟

سؤال التجربة ماذا يحدث عند دلك مسطرة بلاستيكية بقطعة صوف ثم تقريبها إلى قصاصات ورقية؟

الخطوات

1. ضع 100– 150 قصاصة ورق (مما ينتج عن استعمال الخرامة) على الطاولة.
2. خذ مسطرة بلاستيكية، وادلكها بقطعة صوف.
3. قرّب المسطرة إلى القصاصات، ولاحظ تأثيرها فيها.

التحليل

ماذا حدث لقصاصات الورق عندما قرّبت المسطرة البلاستيكية إليها؟ وماذا حدث للقصاصات التي التصقت بالمسطرة؟ هل لاحظت نتائج غير متوقعة عندما قربت المسطرة إلى قصاصات الورق؟ إذا كان هناك نتائج غير متوقعة فصِفها.

التفكير الناقد ما القوى المؤثرة في قصاصات الورق قبل تقريب المسطرة إليها؟ وماذا يمكنك أن تستنتج عن القوى المؤثرة في هذه القصاصات بعد تقريب المسطرة البلاستيكية إليها؟

ضع فرضيات توضّح التأثير الذي أحدثته المسطرة في القصاصات الورقية، مستعينًا بإجاباتك عن السؤالين السابقين.

1–2 الشحنة الكهربائية Electric Charge

لعلك مشيت يومًا على سجادة، وقد احتكّ حذاؤك بنسيجها، مما ولّد شرارة كهربائية ظهرت عندما لمست شخصًا آخر. هل هناك تشابه بين هذه الشرارة والبرق؟ لاختبار ذلك، أجرى بنيامين فرانكلين عام 1752م تجربة على طائرة ورقية؛ حيث طيّر الطائرة، وربط مفتاحًا في نهاية الخيط المتصل بها، وعندما اقتربت عاصفة رعدية من الطائرة لاحظ أن ألياف الخيط الرخوة قد انتصبت وتنافر بعضها عن بعض. وعندما قرّب فرانكلين إصبعه من المفتاح لاحظ حدوث شرارة كهربائية. وكانت هذه تجربة رائعة ولكنها مجازفة خطيرة، ومن حسن حظّه أنه نجا، فقد حاول أحد العلماء إعادة التجربة نفسها إلا أنه مات مصعوقًا. وقد انطلقت بعد ذلك سلسلة من البحوث في مجال الكهرباء، بعدما أظهرت تجربة فرانكلين أن البرق يشبه الشرر الناجم عن الاحتكاك. وتسمى التأثيرات الكهربائية التي تتولّد بهذه الطريقة الكهرباء الساكنة.

وفي هذا الفصل ستستقصي **الكهرباء الساكنة (الكهروسكونية)**؛ وهي دراسة الشحنات الكهربائية التي تتجمع وتُحتجز في مكان ما. ويمكن ملاحظة آثار الكهرباء الساكنة على نطاق واسع؛ بدءًا بالبرق، ووصولاً إلى المستوى المجهري للذرات والجزيئات. أما الكهرباء التيارية (المتحركة) المتولدة عن البطاريات والمولّدات فستدرسها في الفصول اللاحقة.

الأهداف

- **توضح** أن الأجسام المشحونة تؤثر بقوى تجاذب وتنافر.
- **تثبت** أن عملية الشحن هي فصل للشحنات الكهربائية، وليس إنتاجها.
- **تصف** الاختلافات بين الموصلات والعوازل.

المفردات

الكهرباء الساكنة (الكهروسكونية)
الذرة المتعادلة
مادة عازلة
مادة موصلة

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الأجسام المشحونة Charged Objects

هل لاحظت انجذاب شعرك نحو المشط عند تمشيطه في يوم جاف؟ لعلك لاحظت أيضًا التصاق الجوارب أحيانًا بعضها ببعض عند إخراجها من مجفّفة الملابس. ولعلك لاحظت كذلك انجذاب قصاصات الورق إلى المسطرة البلاستيكية الموضحة في التجربة الاستهلالية وفي **الشكل 1–2**. من المؤكد وجود قوة ناتجة كبيرة نسبيًّا سبّبت تسارع القصاصات إلى أعلى بمقدار أكبر من تسارعها إلى أسفل الناتج عن قوة الجاذبية الأرضية.

وهناك اختلافات أخرى بين القوة الناتجة وقوة الجاذبية الأرضية؛ فقصاصات الورق لا تنجذب إلى المسطرة إلا بعد دلك المسطرة، كما أن المسطرة تفقد خاصية الجذب هذه بعد فترة قصيرة. أما قوة الجاذبية الأرضية فلا تحتاج إلى دلك حتى تتولّد، كما أنها لا تفقد خاصية الجذب. لقد لاحظ قدماء الإغريق آثارًا مماثلة للمسطرة المدلوكة عندما دلكوا العنبر (الكهرمان). (**وترجمة كلمة عنبر إلى اللغة اليونانية هي "إلكترون"**)، وتُسمّى خاصية الجذب هذه الآن الكهرباء. وتسمّى الأجسام التي تبدي تفاعلاً كهربائيًّا بعد الدلك الأجسامَ المشحونة.

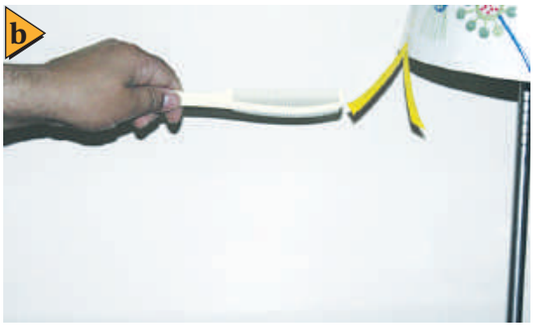
تجربة عملية

كيف تشحن الأجسام؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

الشحنات المتماثلة يمكنك استكشاف التفاعلات الكهربائية باستخدام أجسام بسيطة، مثل شريط لاصق. اطوِ 5 cm تقريبًا من الشريط حتى يُتَّخذ ذلك الجزء مقبضًا، ثم ثبّت الجزء المتبقي من الشريط 8–12 cm على سطح جاف وأملس كسطح الطاولة. بالطريقة نفسها، ثبّت شريطًا آخر مماثلًا للشريط الأول بالقرب منه، ثم اسحب الشريطين بسرعة عن سطح الطاولة، وقرّب أحدهما إلى الآخر. ستلاحظ أن هناك خاصية جديدة تجعلهما يتنافران؛ فلقد أصبحا مشحونين كهربائيًّا. ولأنهما أُعِدّا بالطريقة نفسها، فيجب أن يكون لهما النوع نفسه من الشحنات. وهكذا تتوصل إلى أن الجسمين اللذين لهما النوع نفسه من الشحنة يتنافران .

الشكل 1–2 يولّد دلك مسطرة بلاستيكية بقطعة صوف قوة تجاذب بين المسطرة وقصاصات الورق. وعند تقريب المسطرة أكثر إلى قصاصات الورق تعمل قوة الجذب الكهربائية على تسارع هذه القصاصات رأسيًّا إلى أعلى في اتجاه معاكس لتسارع قوة الجاذبية الأرضية.



■ **الشكل 2–2** يمكن شحن الأشرطة بشحنات مختلفة (**a**). ويمكن استعمالها بعد ذلك لتوضيح التفاعلات بين الشحنات المتماثلة والمختلفة (**b**).

يمكنك معرفة المزيد عن هذه الشحنة بإجراء تجارب بسيطة. فلعلك لاحظت أن الشريط ينجذب إلى يدك، هل ينجذب كلا الجانبين أم أحدهما فقط؟ وإذا انتظرت فترة من الزمن، وخصوصًا في الطقس الرطب، فستلاحظ اختفاء الشحنة الكهربائية. ويمكنك إعادة شحن الشريط مرة أخرى بإلصاقه بسطح الطاولة وسحبه عنها. كما يمكنك إزالة الشحنة عن الشريط بدلك جانبيه بأصابعك بلطف.

الشحنات المختلفة ألصق الآن شريطًا على سطح الطاولة، ثم ضع الشريط الثاني فوق الأول. وكما هو موضح في **الشكل 2a–2**، استخدم مقبض الطرف السفلي لكلا الشريطين لسحبهما معًا عن سطح الطاولة، ثم ادلكهما بأصابعك حتى تختفي قوة التجاذب بينهما وبين يدك. لقد أزلت كل الشحنات الكهربائية عنهما. أمسك مقبض كل شريط بيد، وبسرعة اسحب الشريطين أحدهما بعيدًا عن الآخر، ستجد أنهما قد شُحِنا، وانجذبا ثانية إلى يديك، فهل سيتنافران؟ لا، سيتجاذبان الآن؛ لأن لهما شحنتين مختلفتين، إلا أنهما لن يبقيا مشحونين فترة طويلة؛ لأنهما سيلتصقان معًا.

هل الشريط هو الجسم الوحيد الذي يمكنك شحنه؟ للإجابة عن هذا السؤال ألصق مرة أخرى شريطًا لاصقًا على سطح الطاولة، وضع شريطًا آخر فوقه. علّم الشريط السفلي بالرمز B، والشريط العلوي بالرمز T، ثم اسحب الشريطين معًا. فرّغهما من الشحنات، ثم اسحب أحدهما بعيدًا عن الآخر، وألصق طرف مقبض كل منهما في طرف طاولة أو أسفل غطاء مصباح أو أي جسم مماثل. ينبغي أن يعلّقا بحيث يتدليان إلى أسفل، على أن تكون بينهما مسافة قصيرة. أخيرًا ادلك مشطًا بلاستيكيًّا أو قلم حبر بقطعة صوف، وقرّبه إلى أحد الشريطين، ثم قرّبه إلى الشريط الآخر. ستلاحظ أن أحد الشريطين ينجذب إلى المشط، بينما يتنافر الآخر معه، كما هو موضح في **الشكل 2b–2**. يمكنك الآن استكشاف تفاعلات الأجسام المشحونة مع الأشرطة اللاصقة.

حاول شحن أجسام أخرى، مثل كؤوس زجاجية، وأكياس بلاستيكية. ادلكها بمواد مختلفة مثل الحرير والصوف. وإذا كان الجو جافًّا فحكّ حذاءَك بالسجاد وأنت تمشي، وقرّب إصبعك إلى قطعتي الشريط اللاصق. ولاختبار الحرير أو الصوف ضع يدك في كيس بلاستيكي، وادلك الكيس بقطعة الصوف أو الحرير، ثم أخرج يدك من الكيس، وقرّبه هو والقطعة التي دلكتها إلى الشريطين اللاصقين.

ستجذب معظم الأجسام المشحونة أحد الشريطين، وتتنافر مع الآخر، ولن تجد أبدًا جسمًا يتنافر مع كلا الشريطين، إلا أنه يمكن أن تجد بعض الأجسام تجذب الشريطين؛ فمثلاً ستجد أن إصبعك يجذب كلا الشريطين، وستكتشف هذا التأثير لاحقًا في هذا الفصل.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

أنواع الشحنات يمكنك من خلال تجاربك إعداد قائمة بالأجسام المعلّمة بـ B، التي لها نفس شحنة الشريط الملصق على سطح الطاولة. كما يمكنك إعداد قائمة أخرى للأجسام المعلّمة بـ T التي لها شحنة مماثلة لشحنة الشريط العلوي. ستلاحظ أن هناك قائمتين فقط؛ لأنه لا يوجد إلا نوعان من الشحنات، أطلق عليهما بنيامين فرانكلين الشحنة الموجبة والشحنة السالبة. ووفق تسمية فرانكلين فإن المطاط والبلاستيك يشحنان عادة بشحنات سالبة عند دلكهما، أما الزجاج والصوف فيشحنان عادة بشحنات موجبة.

وكما لاحظت أن الشريطين غير المشحونين أصبحا مشحونين بشحنتين مختلفتين بعد سحب أحدهما بعيدًا عن الآخر، لذا يمكنك توضيح أنه عند دلك البلاستيك بالصوف يصبح البلاستيك سالب الشحنة والصوف موجب الشحنة. ولا يتكوّن نوعَا الشحنات بشكل منفصل، وإنما يتكوّنان على شكل أزواج. وتشير كل هذه التجارب إلى أن المادة بطبيعتها تحتوي على نوعين من الشحنة: موجبة وسالبة. وبطريقة معينة يمكن فصل نوعي الشحنة. ولاستكشاف ذلك أكثر يتعين عليك تعرُّف الصورة المجهرية للمادة.

الشكل 3–2 ترتب سلسلة الدلك الكهربائي قائمة المواد من حيث الأكثر فقدًا للإلكترونات عند أعلى السهم إلى الأكثر اكتسابا للإلكترونات في ذيل السهم.

النظرة المجهرية للشحنة A Microscopic View of Charge

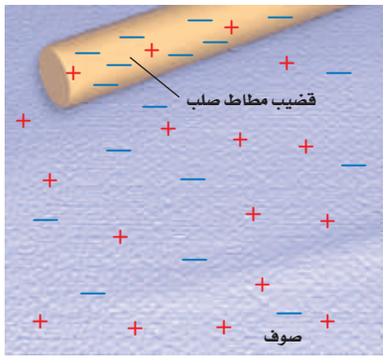
توجد الشحنات الكهربائية في الذرات. وقد اكتشف ج.ج. طومسون عام 1897م أن المواد جميعها تحتوي على جسيمات صغيرة جدًّا سالبة الشحنة تسمى الإلكترونات. وبين عامي 1909 و 1911م اكتشف أرنست راذرفورد – تلميذ طومسون من نيوزلندا– أن هناك جسمًا مركزيًّا ذا شحنة موجبة تتركز فيه كتلة الذرة تسمى النواة. وتكون الذرة **متعادلة** عندما تكون الشحنة الموجبة في النواة مساويةً للشحنة السالبة للإلكترونات التي تدور حول النواة.

يمكن إزالة إلكترونات المدارات الخارجية للذرات المتعادلة بإضافة طاقة إليها، وعندها تصبح هذه الذرات التي تفقد إلكترونات موجبة الشحنة. وأي مادة تتكوّن من هذه الذرات الفاقدة للإلكترونات تكون موجبة الشحنة. ويمكن أن تبقى الإلكترونات المفقودة حرة غير مرتبطة، أو ترتبط مع ذرات أخرى فتصبح جسيمات سالبة الشحنة. واكتساب الشحنة – من وجهة النظر المجهرية – ما هي إلا عملية انتقال للإلكترونات.

فصل الشحنة إذا دُلك جسمان متعادلان معًا فقد يصبح كل منهما مشحونًا حسب ترتيب المواد في سلسلة الدلك الكهربائي. كما هو موضح في **الشكل 3–2**. ففي حالة دلك المطاط بالصوف – كما هو موضح في **الشكل 4–2** – تنتقل الإلكترونات من ذرات الصوف إلى ذرات المطاط. وتعمل الإلكترونات الإضافية التي اكتسبها المطاط على جعل شحنته

دلالة الألوان

- وضِّحت الشحنات الموجبة باللون **الأحمر**.
- وضِّحت الشحنات السالبة باللون **الأزرق**.



الشكل 4–2 عند استعمال قطعة صوف لشحن قضيب مطاط تنتقل الإلكترونات من ذرات الصوف إلى ذرات المطاط. وبهذه الطريقة يُشحن الجسمان.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الكلية ســالبة، في حين تجعل الإلكترونات التي فقدها الصوف شحنته الكلية موجبة. أما المجموع الكلي للشحنة على الجسمين فيبقى هو نفسه؛ أي أن الشحنة محفوظة؛ وهذا يعني أن الشــحنات المفردة لا يمكن أن تفنى أو تســتحدث، وكل ما يحدث هو أن الشحنات الموجبة والشحنات السالبة تنفصلان من خلال عملية انتقال الإلكترونات.

العمليات المعقدة التي تؤثر في إطارات سيارة أو شاحنة متحركة يمكن أن تؤدي إلى أن تصبح الإطارات مشحونة. كما أن العمليات التي تحدث داخل السحب الرعدية تجعل أسفل السحابة سالب الشحنة، وأعلاها موجب الشحنة. وفي كلتا الحالتين السابقتين لا تُستحدث الشحنة، بل تنفصل.

الموصلات والعوازل Conductors and Insulators

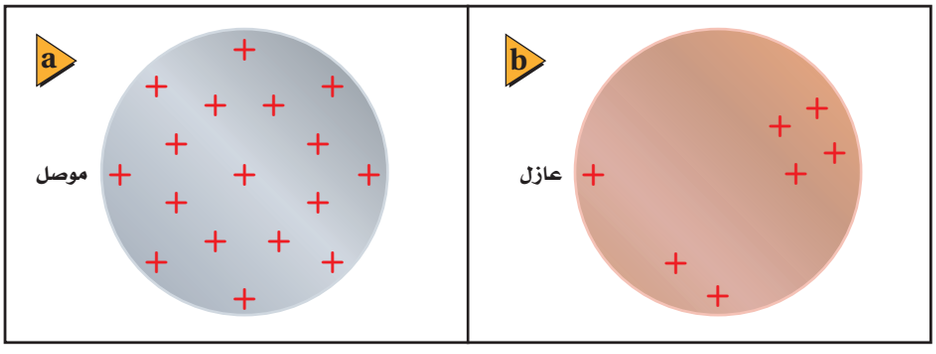
أمســك قضيبًا بلاســتيكيًّا أو مشــطًا من منتصفه وادلك أحد طرفيه، ستجد أن الطرف المدلوك فقط أصبح مشــحونًا؛ أي أن الشــحنات التي انتقلت إلى البلاســتيك بقيت في المكان الذي وضِعت فيه ولم تتحرك. وتســمّى المادة التي لا تنتقل خلالها الشحنة بسهولة **مادة عازلة**. فالزجاج والخشــب الجاف ومعظم المواد البلاستيكية والملابس والجو الجاف جميعها عوازل جيدة.

افترض أنك وضعت قضيبًا فلزيًّا فوق قضيب بلاستيكي معزول. فإذا لمست بعد ذلك أحد طرفي القضيب الفلزي بمشــط مشحون فستجد أن الشحنة تنتشر بسرعة داخل القضيب الفلزي. وتسمى المادة التي تسمح بانتقال الشحنات خلالها بسهولة **مادة موصلة**. وتعمل الإلكترونــات على نقل الشــحنة الكهربائية أو توصيلها خلال الفلز. لــذا تعد الفلزات موصــلات جيدة؛ لأنه يوجد في كل ذرة إلكترون واحد على الأقل يمكن أن ينفصل عنها بســهولة. وتؤثر هذه الإلكترونات وكأنها تابعة لذرات الفلــز جميعها وليس لذرة معينة؛ أي تتحرك هذه الإلكترونات بحرية خلال قطعة الفلز. و**الشــكل 5–2** يقارن بين سلوك الشــحنات عندما توضع على موصل، وســلوكها عندما توضع على عــازل. فالنحاس والألومنيوم موصلان ممتازان؛ لذا فهما يســتخدمان لنقل الكهرباء. وتعد البلازما– وهي غاز متأين بدرجة كبيرة– والجرافيت موصلين جيدين للشحنة الكهربائية.

تطبيق الفيزياء

موصل أم عازل؟

من المفيد تصنيف عنصر على أنه موصل فقط أو عازل فقط، إلا أن التصنيف قد يختلف اعتمادًا على الشكل الذي يتخذه العنصر. فالكربون مثلاً يكون عازلاً في حالة الألماس، أما في الجرافيت فيوصّل الشحنة؛ لأن ذرات الكربون في الألماس ترتبط بقوة مع أربع ذرات كربون أخرى، أما في حالة الجرافيت فتكوّن ذرات الكربون ثلاث روابط قوية، ورابطة رابعة ضعيفة تسمح للإلكترونات بحركة محدودة. لذا يكون الجرافيت أكثر موصلية من الألماس، رغم أن كليهما يتركّب من ذرات الكربون.



الشكل 5–2 تتوزع الشحنات التي توضع على موصل على كامل سطحه الخارجي (a). بينما تبقى الشحنات على العازل في المكان الذي توضع فيه (b).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الشكل 6–2 تتفرغ الشحنات الكهربائية من جسمك عند اقتراب يدك من مقبض الباب.

عندما يصبح الهواء موصلاً يعدّ الهواء عازلًا، إلا أنه تحت ظروف معيّنة تتحرك الشحنات خلاله كما لو كان موصلًا. فالشرارة الكهربائية التي تحدث بين إصبعك ومقبض الباب الفلزي بعد دلك قدميك بالسجاد تُفرّغ الشحنات من جسمك كما هو موضح في **الشكل 6–2**؛ فيصبح متعادلًا؛ لأن الشحنات الزائدة الموجودة عليه قد انفصلت عنه. وبالمثل يفرّغ البرق شحنات السحب الرعدية. وفي كلتا الحالتين يصبح الهواء موصلًا للحظات فقط. ولكنك تعرف أنه يجب أن يحتوي الموصل على شحنات حرة الحركة، فمن أين تأتي هذه الشحنات في حالة الهواء العازل؟ لكي تحدث الشرارة أو البرق يجب أن تتكوّن جسيمات مشحونة حرة الحركة في الهواء المتعادل، وفي حالة البرق تكون الشحنات الزائدة في الغيمة وعلى الأرض كبيرة بشكلٍ كافٍ لفصل الإلكترونات من جزيئات الهواء. وتتكوّن نتيجة ذلك البلازما؛ التي تتكوّن من الإلكترونات والذرات الموجبة الشحنة والذرات السالبة الشحنة، والتي تعدّ موصلًا. ويولّد تفريغ الشحنات الذي يحدث بين الأرض والسحب الرعدية – من خلال هذه الموصلات– شررًا لامعًا يسمى البرق. أما في حالة إصبعك ومقبض الباب الفلزي فيسمى تفريغ الشحنات شرارةً كهربائية.

2–1 مراجعة

1. **الأجسام المشحونة** بعد دلك مشط بسترة مصنوعة من الصوف يمكنه جذب قصاصات ورق صغيرة. لماذا يفقد المشط هذه القدرة بعد عدة دقائق؟
2. **أنواع الشحنات** من خلال التجارب التي مرت في هذا الجزء، كيف يمكنك أن تعرف أيّ الشريطين B أو T موجب الشحنة؟
3. **أنواع الشحنات** كرة البيلسان كرة صغيرة مصنوعة من مادة خفيفة، مثل البوليسترين، وتكون عادة مطلية بطبقة من الجرافيت أو الألومنيوم. كيف يمكنك أن تحدّد ما إذا كانت كرة البيلسان المعلقة بخيط عازل متعادلة كهربائيًّا، أو ذات شحنة موجبة، أو ذات شحنة سالبة؟
4. **فصل الشحنات** يُشحن قضيب مطاط بشحنة سالبة عند دلكه بالصوف. ماذا يحدث لشحنة الصوف؟ ولماذا؟
5. **شحن الموصلات** افترض أنك علّقت قضيبًا فلزيًّا طويلًا بخيوط حرير بحيث أصبح القضيب معزولاً، ثم لامست أحد طرفي القضيب الفلزي بقضيب زجاجي مشحون. صِفْ كيف يُشحن القضيب الفلزي، وحدد نوع الشحنات عليه.
6. **الشحن بالدلك** يمكنك شحن قضيب مطاط بشحنة سالبة بدلكه بالصوف. ماذا يحدث عند دلك قضيب نحاس بالصوف؟
7. **التفكير الناقد** يمكن أن يفترض أحدهم أن الشحنة الكهربائية تشبه الموائع تتدفق من أجسام لديها فائض في المائع إلى أجسام لديها نقص فيه. لماذا يكون نموذج التيار الثنائي الشحنة أفضل من نموذج المائع الأحادي؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

2–2 القوة الكهربائية Electric Force

القوى الكهربائية قوى كبيرة؛ لأنها يمكن أن تنتج بسهولة تسارعًا أكبر من التسارع الذي ينتج بفعل قوة الجاذبيـــة الأرضية. وتعلم أن القوة الكهربائية قد تكون قوة تجاذب أو قوة تنافر. أما قوة الجاذبية الأرضية فهي قوة تجاذب فقط. وعلى مر الســـنوات الماضية أجرى الكثير من العلماء محاولات عديدة لقياس القوة الكهربائية. فأجرى دانيال برنولي المعروف بأعماله المتعلّقة بالموائع عدة قياسات بسيطة عام 1760م. وبيّن هنري كافندش في سبعينيات القـــرن الثامن عشر أن القوى الكهربائية يجب أن تخضع لقانون الـــتربيع العكسي. إلا أن خجله الشديد دفعه إلى عدم نشر عمله. ولقد اكتُشِفت مخطوطاته لاحقًا بعد أكثر من قرن، بعد أن كرّر عمله علماء آخرون.

القوى المؤثرة في الأجسام المشحونة
Forces on Charged Bodies

يمكن توضيح القوى التي سبق أن لاحظتها على الأشرطة اللاصقة من خلال تعليق قضيب مطاطي صلب ذي شحنة سالبة، بحيث يدور بسهولة، كما هو موضح في **الشكل 7–2**. إذا قرّبت قضيبًا آخر ذا شحنة سالبة من القضيب المعلّق فسوف يدور القضيب المعلّق مبتعدًا؛ حيث تتنافر الشحنات السالبة على القضيبين. وليس من الضروري أن يحدث تلامس بين القضيبين حتى يظهر هذا التأثير؛ فالقوة التي تســـمى القوة الكهربائية تؤثر عن بُعد. وإذا علّقت قضيبًا زجاجيًّا مشحونًا بشحنة موجبة، ثم قربّت إليه قضيبًا زجاجيًّا آخر مشحونًا بشـــحنة موجبة أيضًا فســـيتنافر القضيبان. أما إذا قرّبت قضيبًا مشحونًا بشحنة سالبة إلى قضيب آخر مشحون بشحنة موجبة فسيجذب كل منهما الآخر، وسيدور القضيب المعلّق مقتربًا من القضيب الآخر.

يمكن تلخيص ما توصلت إليه من تجارب الأشرطة اللاصقة وسلوك القضبان المشحونة كما يأتي:

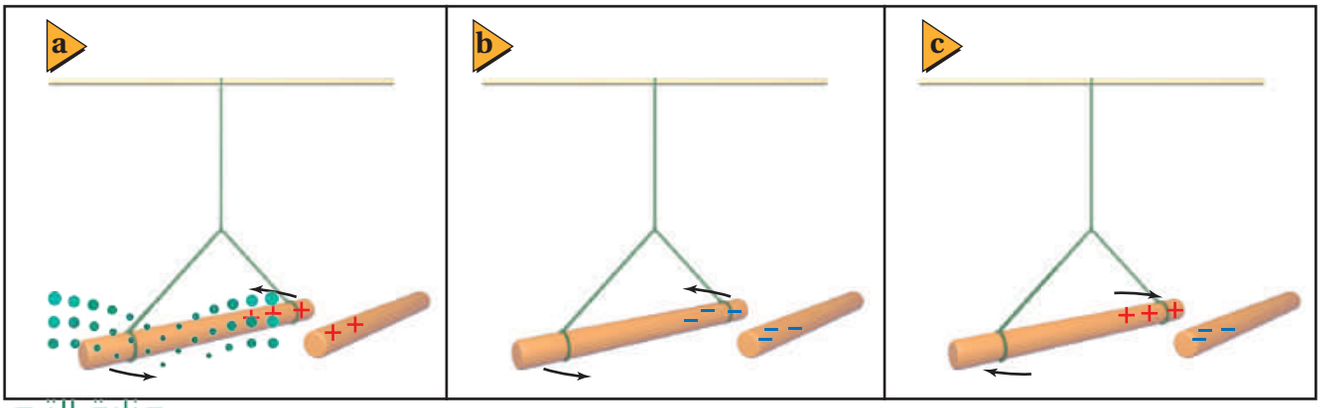
- هناك نوعان من الشحنات الكهربائية: موجبة وسالبة.
- تؤثر الشحنات بعضها في بعض بقوى عن بُعد.
- تكون القوة أكبر عندما تكون الشحنات متقاربة.
- الشحنات المتشابهة تتنافر، والشحنات المختلفة تتجاذب.

الأهداف

- **تلخّص** العلاقات بين القوى الكهربائيـــة والشـــحنات الكهربائية والبعد بينها.
- **توضّح** كيفية شحن الأجسام بطريقتي التوصيل والحث.
- **تطوّر** نموذجًا يوضّح كيف يمكن للأجسام المشحونة أن تجذب أجسامًا متعادلة.
- **تُطبق** قانـــون كولوم في حل مســـائل في بُعـــد واحد وفي بُعدين.

المفردات

الكشّاف الكهربائي
الشحن بالتوصيل
الشحن بالحث
التأريض
قانون كولوم
الكولوم
الشحنة الأساسيّة



الشكل 7–2 عند تقريب قضيب مشحون إلى آخر معلّق ومشحون فإنهما يتجاذبان أو يتنافران.

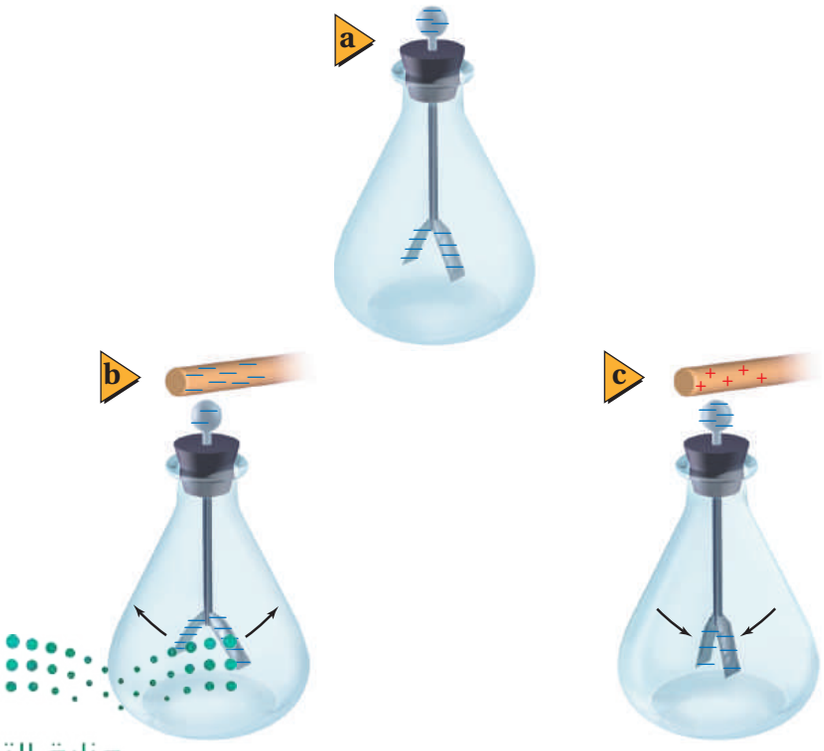
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

لا يعد الشريط اللاصق ولا القضيب المعلّق في الهواء طريقة دقيقة أو ملائمة لتحديد الشحنة. وعوضًا عن ذلك يستخدم جهاز يسمّى **الكشّاف الكهربائي**، يتركّب من كرة فلزية مُثبّت على ساق فلزية متصلة بقطعتين فلزيتين خفيفتين رقيقتين، تسمّيان الورقتين. ويبين **الشكل 8–2** كشّافًا كهربائيًّا متعادلًا. لاحظ أن الورقتين معلّقتان بصورة حرة داخل إناء زجاجي شفاف مغلق؛ وذلك للحد من تأثير تيارات الهواء.

الشكل 8–2 الكشاف الكهربائي؛ جهاز يستخدم للكشف عن الشحنات الكهربائية. في الكشاف الكهربائي المتعادل تكون الورقتان معلقتين رأسيًا بحرية، وتلامس إحداهما الأخرى.

الشحن بالتوصيل عندما يلمس قضيب مشحون بشحنة سالبة كرة كشاف كهربائي تنتقل الإلكترونات منه إلى الكرة، وتتوزع هذه الشحنات على جميع سطوح الفلز. وكما هو موضح في **الشكل 9a–2**، تشحن الورقتان بشحنات سالبة وتتنافران، لذا تنفرجان، ويصبح الكشاف الكهربائي مشحونًا. ويُسمّى شحن الجسم المتعادل بملامسته جسمًا آخر مشحونًا **الشحنَ بالتوصيل**. كما تنفرج الورقتان أيضًا عند شحن الكشاف بشحنات موجبة، فكيف يمكنك إذًا معرفة ما إذا كان الكشّاف الكهربائي مشحونًا بشحنة موجبة أم سالبة؟ يمكن تحديد نوع الشحنة بملاحظة ورقتي الكشاف الكهربائي المشحون عند تقريب قضيب مشحون بشحنة معلومة من كرته؛ إذ يزداد انفراج الورقتين أكثر عند تقريب جسم شحنته مشابهة لشحنة الكشّاف، كما في **الشكل 9b–2**، وسيقل انفراج الورقتين إذا كانت شحنة الكشاف مخالفة لشحنة الجسم المُقرّب، كما في **الشكل 9c–2**.

فصل الشحنات على الأجسام المتعادلة عرفت أن الشريط اللاصق المشحون انجذب نحو إصبعك عندما قرّبْته إليه. وبالطبع كان إصبعك متعادلًا كهربائيًّا؛ أي فيه عدد متساوٍ من الشحنات الموجبة والسالبة. وتعلم أيضًا أن الشحنات تتحرك بسهولة في الموصلات، كما أن القوى الكهربائية في حالة الشرارة الكهربائية حوّلت المادة العازلة إلى مادة موصلة. من كل هذه المعلومات يمكنك تطوير نموذج مناسب للقوة التي أثر بها إصبعك في الشريط.



الشكل 9–2 تكون ورقتا الكشاف الكهربائي المشحون بشحنة سالبة منفرجتين (a). يدفع القضيب ذو الشحنة السالبة الإلكترونات من الكرة إلى الورقتين فيزداد انفراجهما (b). يجذب القضيب ذو الشحنة الموجبة بعض الإلكترونات من الورقتين إلى الكرة فيقل انفراجهما (c).

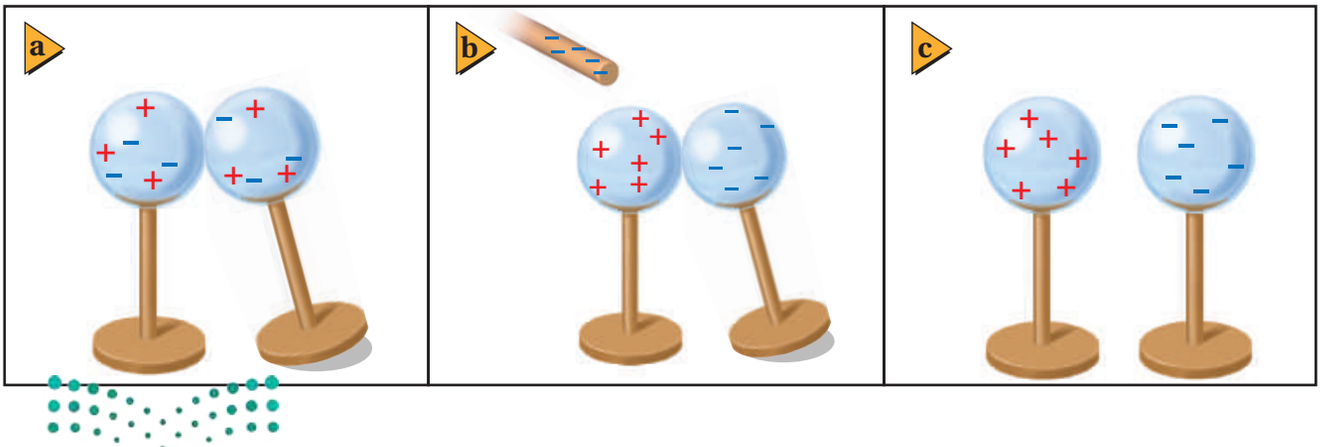
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

افترض أنك قرّبت إصبعك أو أي جسم غير مشحون إلى جسم شحنته موجبة. ستنجذب الشحنات السالبة في إصبعك نحو الجسم ذي الشحنة الموجبة، وتتنافر الشحنات الموجبة في إصبعك منه. ويبقى إصبعك متعادلاً كهربائيًّا، إلا أن الشحنات الموجبة فيه تُفصل عن الشحنات السالبة. وتكون القوة الكهربائية كبيرة بين الشحنات المتقاربة، لذا فإن فصل الشحنات ناتج عن قوة التجاذب بين إصبعك والجسم المشحون. كما أن القوة التي أثرت بها المسطرة البلاستيكية المشحونة في قصاصات الورق المتعادلة هي نتيجة لعملية فصل الشحنات بعضها عن بعض على الجسم نفسه.

ويمكن للشحنات السالبة في أسفل الغيوم الرعدية أن تؤدي أيضًا إلى فصل الشحنات على سطح الأرض؛ حيث تجذب الشحنات الموجبة على الأرض نحو سطح الأرض أسفل الغيمة. وتكون القوى الكهربائية المتبادلة بين الشحنات الموجودة على الغيوم والشحنات الموجودة على سطح الأرض قادرة على فصل الجزيئات إلى جسيمات موجبة وأخرى سالبة الشحنة. وتكون هذه الجسيمات المشحونة حرة الحركة، وتنشئ مسارًا موصلًا من الأرض إلى الغيوم. ويحدث البرق الذي تلاحظه عندما تنتقل صاعقة بسرعة 500,000 km /h تقريبًا على امتداد المسار الموصل بين الأرض والغيمة، فتؤدي إلى تفريغ شحنات الغيمة.

الشحن بالحث افترض أن كرتين فلزيتين متماثلتين متعادلتين ومعزولتين قد تلامستا، كما في **الشكل 2–10a**. عند تقريب قضيب مشحون إلى إحداهما، كما في **الشكل 2–10b**، تنتقل الإلكترونات من الكرة الأولى إلى الكرة الثانية البعيدة عن القضيب؛ بسبب قوة التنافر مع الشحنات السالبة التي على القضيب، وتصبح سالبة الشحنة، في حين تصبح الكرة الأولى (القريبة من القضيب) موجبة الشحنة. وإذا فُصلت الكرتان إحداهما عن الأخرى والقضيب قريب فإنهما ستُشحنان بشحنتين متساويتين مقدارًا ومختلفتين نوعًا، كما هو موضح في **الشكل 2–10c**. وتسمى عملية شحن الجسم دون ملامسته **الشحن بالحث**.

تستطيع شحن جسم واحد بالحث عن طريق **التأريض**؛ وهو عملية توصيل جسم بالأرض للتخلص من الشحنات الفائضة، حيث تعدّ الأرض كرة كبيرة، ولها قدرة على استيعاب كمية كبيرة من الشحنة دون أن تظهر عليها آثار هذه الشحنة. فإذا لامس جسم مشحون الأرض فإن كل شحناته تنتقل غالبًا إلى الأرض.



الشكل 2–10 من طرائق شحن الأجسام الشحنُ بالحث، حيث يبدأ بتلامس كرتين متعادلتين (a)، ثم يقرّب قضيب مشحون إليهما (b). ثم تفصل الكرتان إحداهما عن الأخرى أولاً، ثم يُبعد القضيب المشحون(c). تتساوى الشحنات على الكرتين في المقدار، ولكنها تختلف في النوع.

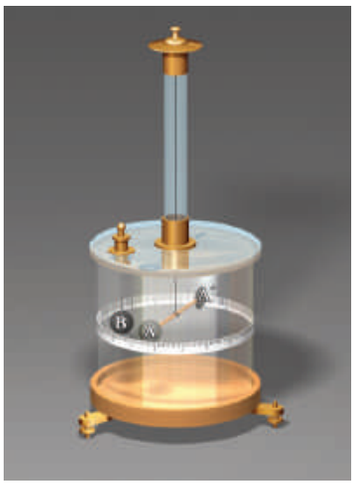
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الشكل 11–2 يحث قضيب سالب الشحنة على فصل الشحنات على الكشّاف الكهربائي (**a**). يتم تأريض الكشّاف الكهربائي عن طريق لمسه، فتنتقل الإلكترونات السالبة من الكشّاف الكهربائي إلى الأرض (**b**). يُفصل تأريض الكشاف قبل إبعاد القضيب، فيصبح الكشّاف الكهربائي موجب الشحنة (**c**).

فإذا قُرّب قضيب مشحون بشحنة سالبة إلى كرة كشّاف كهربائي متعادل، كما في **الشكل 11a–2**، فإن الشحنات السالبة (الإلكترونات) تتنافر مع شحنات القضيب، وتتحرك مبتعدة نحو الورقتين، مع بقاء الشحنات الموجبة على الكرة. وإذا أرَّضنا (لامسنا) الطرف الآخر للكرة البعيد عن القضيب المشحون فإن الإلكترونات تنتقل من الكشاف إلى الأرض إلى أن تتعادل الورقتان؛ أي تنطبقا، كما في **الشكل 11b–2**. وبفصل التأريض ثم إبعاد القضيب المشحون تصبح شحنة الكشاف موجبة، كما في **الشكل 11c–2**. ويمكن استخدام التأريض أيضًا مصدرًا للإلكترونات؛ فعند تقريب قضيب موجب الشحنة إلى كرة كشّاف كهربائي مع توصيل الطرف المقابل للكرة بالأرض فإن الإلكترونات تنجذب من الأرض نحو الكشّاف الكهربائي، ويصبح سالب الشحنة. وفي هذه الخطوة تكون الشحنات المستحثة على الكشّاف الكهربائي مخالفة لشحنة الجسم المؤثر. ولأن القضيب المشحون لم يلمس كرة الكشّاف الكهربائي فإن شحنة القضيب لم تنتقل، ولذلك يمكن استخدامه أكثر من مرة لشحن الأجسام بالحث.

قانون كولوم Coulomb's Law

عرفت أن القوة الكهربائية تؤثر بين جسمين مشحونين أو أكثر. ففي تجاربك التي أجريتها على الشريط اللاصق وجدت أن القوة تعتمد على البعد بين الجسمين المشحونين؛ فكلما قرّبت المشط المشحون أكثر إلى الشريط ازدادت القوة الكهربائية. ووجدت أيضًا أنه كلما زادت شحنة المشط زادت القوة الكهربائية. فكيف يمكنك تغيير كمية الشحنة بطريقة محكمة أو بطريقة مسيطر عليها؟ حلّ الفيزيائي الفرنسي شارل كولوم هذه المشكلة عام 1785م؛ حيث استخدم الأدوات الموضحة في **الشكل 12–2**، وهي قضيب عازل في طرفيه كرتان صغيرتان موصلتان A و A`، ومعلّق من منتصفه بسلك رفيع. ووضعت كرة مماثلة B ملامسة للكرة A، وعند ملامسة جسم مشحون لهاتين الكرتين تنتقل الشحنات من الجسم المشحون إلى الكرتين وتتوزع عليهما بالتساوي، حيث تكتسبان الكمية نفسها من الشحنة؛ لأن لهما مساحة السطح الخارجي نفسها. ولأن رمز الشحنة هو q لذا يمكن تمييز مقادير الشحنات على الكرتين بالرمزين: q_A و q_B.



الشكل 12–2 استعمل كولوم جهازًا مماثلًا لقياس القوة بين كرتين، A و B. ولاحظ انحراف الكرة A مع تغيّر المسافة بين A وB.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تعتمد القوة الكهربائية على المسافة درس كولوم كيفية اعتماد القوة الكهربائية بين كرتين مشحونتين على المسافة بينهما. ففي البداية قاس كولوم بدقة مقدار القوة اللازمة لِلَيّ (فَتْل) سلك التعليق بزاوية معينة، ثم وضع شحنتين متساويتين على الكرتين A و B، وبدأ يغيّر المسافة r بينهما. عندها حرّكت القوة الكهربائية الكرة A، مما أدى إلى ليّ سلك التعليق، وبقياس انحراف الكرة A تمكن كولوم من حساب قوة التنافر بينهما، وأثبت كولوم أن القوة الكهربائية بين الكرتين تتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة بين مركزيهما.

$$F \alpha \frac{1}{r^2}$$

تعتمد القوة الكهربائية على مقدار الشحنة لاستقصاء كيفية اعتماد القوة الكهربائية على مقدار الشحنة، تعيَّن على كولوم تغيير الشحنات على الكرات بطريقة مدروسة. فشحن أولاً الكرتين A و B بالتساوي، كما فعل ذلك سابقًا، ثم اختار كرة غير مشحونة C، مساحة سطحها الخارجي مماثلة للكرة B. عند ملامسة الكرة C للكرة B تتقاسم الكرتان الشحنة الموجودة على الكرة B فقط. لذا تكون شحنة الكرة B مساوية لنصف شحنة الكرة A. وبعد أن ضبط كولوم موضع الكرة B بحيث أصبحت المسافة r بين الكرتين A و B كما كانت في السابق تمامًا لاحظ أن القوة بين الكرتين A و B أصبحت تساوي نصف قيمتها السابقة؛ أي أن القوة الكهربائية تتناسب طرديًّا مع مقدار شحنتي الجسمين.

$$F \alpha q_A q_B$$

وبعد قياسات كثيرة مماثلة لخّص كولوم النتائج في قانون عُرف **بقانون كولوم**؛ ينص على أن مقدار القوة الكهربائية المتبادلة بين الشحنتين q_A و q_B اللتين تفصلهما مسافة مقدارها r يتناسب طرديًّا مع مقدار كل من الشحنتين، وعكسيًّا مع مربع المسافة بينهما.

$$F \alpha \frac{q_A q_B}{r^2}$$

وحدة الشحنة الكهربائية: الكولوم يصعب قياس كمية الشحنة على جسم مباشرة. وقد بيّنت تجارب كولوم أنه يمكن ربط كمية الشحنة بالقوة الكهربائية، لذا تمكّن كولوم من تعريف كمية معيارية أو قياسية للشحنة بدلالة مقدار القوة التي تولّدها. وسمّيت هذه الوحدة المعيارية للشحنة الكهربائية في النظام العالمي للوحدات SI **الكولوم** C. والكولوم الواحد يساوي مقدار شحنة 6.24×10^{18} إلكترون أو بروتون، ومقدار شحنة الإلكترون المفرد تساوي 1.6×10^{-19} C، ويسمّى مقدار شحنة الإلكترون **الشحنة الأساسية**. ويمكن للصاعقة أن تحمل شحنة مقدارها 5 C إلى 25 C. وحتى المواد الصغيرة –ومنها قطعة العملة المعدنية– تحتوي شحنة سالبة قد تصل إلى 10^6 C، وهذه المقدار الهائل من كمية الشحنة السالبة لا ينتج غالبًا أي تأثيرات خارجية؛ لأن العملة متعادلة ومتزنة بكمية شحنة موجبة مساوية لكمية الشحنة السالبة. أما إذا كانت الشحنات غير متعادلة فستتولد قوى كهربائية، وحتى لو كانت الشحنة صغيرة، 10^{-9} C مثلًا، فإنها يمكن أن تولّد قوى كهربائية كبيرة.

تجربة

الحث والتوصيل

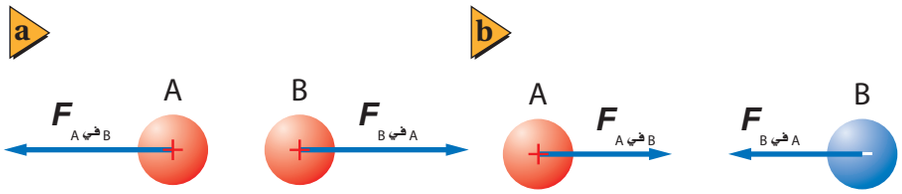
استعمل بالونًا وكشّافًا كهربائيًّا لاستقصاء الشحن بالحث وبالتوصيل.

1. **توقع** ماذا يحدث إذا شحنت بالونًا بدلكه بالصوف، ثم قرّبته إلى قرص كشّاف كهربائي متعادل؟
2. **توقع** ماذا يحدث إذا لامس البالون قرص الكشّاف الكهربائي؟
3. **اختبر** توقعاتك.

التحليل والاستنتاج

4. **صف** نتائجك.
5. **وضح** حركة الورقتين في كل خطوة من خطوات التجربة، على أن تضمّن الشرح رسومًا توضيحية.
6. **صف** النتائج إذا استعملت الصوف لشحن الكشّاف الكهربائي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 13–2 قاعدة تحديد اتجاه القوة هي: الشحنات المتشابهة تتنافر؛ والشحنات المختلفة تتجاذب.

ووفق قانون كولوم يمكن كتابة مقدار القوة الكهربائية المؤثرة في الشحنة q_A والناتجة بفعل تأثير الشحنة q_B التي تقع على بعد r منها على الشكل الآتي:

قانون كولوم

$$F = K\frac{q_A q_B}{r^2}$$

القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين كهربائيتين تساوي ثابت كولوم مضروبًا في حاصل ضرب مقداري الشحنتين مقسومًا على مربع المسافة بينهما.

إذا قيست الشحنات بوحدة الكولوم، والمسافة بالأمتار، والقوة بالنيوتن، فإن ثابت كولوم K يساوي $9.0\times10^9\ \text{N.m}^2/\text{C}^2$.

يُمكِّننا قانون كولوم من حساب مقدار القوة التي تؤثر بها الشحنة q_A في الشحنة q_B، كما يُمكِّننا أيضًا من حساب مقدار القوة التي تؤثر بها الشحنة q_B في الشحنة q_A. وهاتان القوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه. ويمكنك ملاحظة هذا التطبيق على القانون الثالث لنيوتن في الحركة عمليًّا عندما تقرّب شريطين لاصقين مشحونين بشحنتين متماثلتين أحدهما إلى الآخر؛ حيث يؤثر كل منهما بقوة في الآخر.

القوة الكهربائية كمية متجهة، مثلها في ذلك مثل جميع القوى الأخرى في الطبيعة، لذا تحتاج متجهات القوة إلى تحديد المقدار والاتجاه. ولأن معادلة قانون كولوم تزوِّدنا بمقدار القوة فقط، فإننا بحاجة إلى تحديد اتجاهها، ويتم ذلك برسم مخطّط للشحنات وتفسير العلاقات بينها بدقة. فإذا قرِّب جسمان A و B مشحونان بشحنتين موجبتين أحدهما إلى الآخر فإن كلًّا منهما سيؤثر في الآخر بقوة تنافر، كما في **الشكل 13a–2**. أما إذا كانت شحنة الجسم B مثلًا سالبة فستكون القوة التي يؤثر بها كل منهما في الآخر قوة تجاذب، كما موضح في **الشكل 13b–2**.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

استراتيجيات حل المسألة

مسائل القوة الكهربائية

استخدم هذه الخطوات لإيجاد مقدار القوة المتبادلة بين الشحنات، واتجاهها.

1. ارسم مخطّطًا للنظام مبيّنًا فيه المسافات والزوايا جميعها بمقياس رسم مناسب.
2. ارسم متجهات القوى في النظام.
3. استخدم قانون كولوم لإيجاد مقدار القوة.
4. استعمل مخطّطك والعلاقات المثلثية لإيجاد اتجاه القوة.
5. نفّذ العمليات الجبرية على كل من الأرقام والوحدات. وتحقّق من أن الوحدات متوافقة مع المتغيرات في السؤال.
6. تأمل إجابتك جيدًا. هل هي منطقية؟

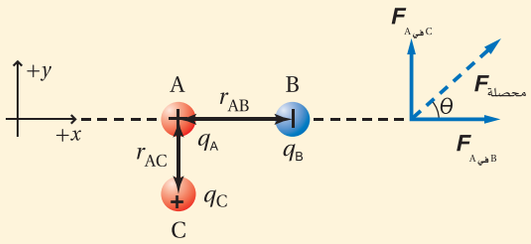
مثـــــال 1

قانون كولوم في بعدين إذا كانت الكرة A مشحونة بشحنة مقدارها $+6.0\ \mu C$، وموضوعة على بُعد $4.0\ cm$ عن يسار كرة أخرى B مشحونة بشحنة سالبة مقدارها $3.0\ \mu C$ فأجب عما يأتي:

a. احسب مقدار واتجاه القوة التي تؤثر بها الكرة B في الكرة A.

b. إذا وضعت كرة ثالثة C مشحونة بشحنة مقدارها $+1.5\ \mu C$ مباشرة أسفل الكرة A، وعلى بُعد $3.0\ cm$ منها، فما مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الكرة A؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- أنشئ المحاور الإحداثية، وارسم الكرات عليها.
- بيّن المسافات الفاصلة بين الكرات، وسمِّها، ودوّنها على الرسم.
- ارسم متجهات القوة، وسمِّها، ودوّنها على الرسم.

المعلوم		المجهول
$r_{AB}= 4.0\ cm$	$q_A=+6.0\ \mu C$	$F_{A\text{ في }B}=?$
$r_{AC}= 3.0\ cm$	$q_B=-3.0\ \mu C$	$F_{A\text{ في }C}=?$
	$q_C=+1.5\ \mu C$	$F_{\text{محصلة}}=?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. احسب مقدار القوة التي تؤثر بها الكرة B في الكرة A.

$$F_{A\text{ في }B} = K\frac{q_A q_B}{r_{AB}^2}$$

بالتعويض عن
$q_A=6.0\ \mu C$، $q_B=3.0\ \mu C$
$r_{AB}= 4.0\ cm$

$$=\left(9.0\times10^{9}\,N.\frac{m^2}{C^2}\right)\frac{(6.0\times10^{-6}\,C)\,(3.0\times10^{-6}\,C)}{(4.0\times10^{-2}\,m)^2}$$

$$= 1.0\times10^{2}\,N$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

لأن الكرتين A و B مختلفتان في نوع الشحنة فسيكون اتجاه القوة التي تؤثر بها الكرة B في الكرة A إلى اليمين.

b. احسب مقدار القوة التي تؤثر بها الكرة C في الكرة A.

$$F_{\text{A في C}} = K\frac{q_A q_C}{r^2_{AC}}$$

$$= (9.0 \times 10^9\,\text{N.}\frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(6.0 \times 10^{-6}\,\text{C})\,(1.5 \times 10^{-6}\,\text{C})}{(3.0 \times 10^{-2}\,\text{m})^2}$$

بالتعويض عن
$q_A = 6.0\ \mu\text{C}$ ، $q_c = 1.5\ \mu\text{C}$
$r_{AC} = 3.0\ \text{cm}$

$$= 9.0 \times 10^1\,\text{N}$$

للكرتين A و C شحنتان متماثلتان، لذلك ستتنافران. وسيكون اتجاه القوة التي تؤثر بها الكرة C في الكرة A إلى أعلى.

أوجد ناتج الجمع الاتجاهي لـ $F_{\text{A في B}}$ و $F_{\text{A في C}}$ لإيجاد $F_{\text{المحصلة}}$ المؤثرة في الكرة A.

$$F_{\text{المحصلة}} = \sqrt{F^2_{A\text{ في }B} + F^2_{A\text{ في }C}}$$

$$= \sqrt{(1.0 \times 10^2\,\text{N})^2 + (9.0 \times 10^1\,\text{N})^2}$$

بالتعويض عن $F_{A\text{ في }B} = 1.0 \times 10^2\ \text{N}$
$F_{A\text{ في }C} = 9.0 \times 10^1\ \text{N}$

$$= 130\ \text{N}$$

دليل الرياضيات

معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل

$$\tan\theta = \frac{F_{A\text{ في }C}}{F_{A\text{ في }B}}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_{A\text{ في }C}}{F_{A\text{ في }B}}\right)$$

بالتعويض عن $F_{A\text{ في }B} = 1.0 \times 10^2\ \text{N}$
$F_{A\text{ في }C} = 9.0 \times 10^1\ \text{N}$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{9.0 \times 10^1\,\text{N}}{1.0 \times 10^2\,\text{N}}\right)$$

$$= 42^\circ$$

$F_{\text{محصلة}} = 130\ \text{N}, 42^\circ$ فوق المحور x بزاوية مقدارها

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** $(\text{N.m}^2/\text{C}^2)(\text{C})(\text{C})/\text{m}^2 = \text{N})$، تُبسّط الوحدات فتصبح نيوتن.
- **هل للاتجاه معنى؟** الشحنات المتشابهة تتنافر، والشحنات المختلفة تتجاذب.
- **هل الجواب منطقي؟** يتفق مقدار القوة المحصلة مع مقداري القوتين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسائل تدريبية

8. تفصل مسافة مقدارها 0.30 m بين شحنتين؛ الأولى سالبة مقدارها 2×10^{-4} C، والثانية موجبة مقدارها 8.0×10^{-4} C. ما القوة المتبادلة بين الشحنتين؟
9. إذا أثرت الشحنة السالبة 6.0×10^{-6} C بقوة جذب مقدارها 65 N في شحنة ثانية تبعد عنها مسافة 0.050 m فما مقدار الشحنة الثانية؟
10. في المثال 1، إذا أصبحت شحنة الكرة B تساوي 3.0 μC+ فارسم الحالة الجديدة للمثال، وأوجد القوة المحصلة المؤثرة في الكرة A.
11. وضعت كرة A شحنتها 2.0×10^{-6} C + عند نقطة الأصل، في حين وضعت كرة B مشحونة بشحنة سالبة مقدارها 3.6×10^{-6} C عند الموقع 0.60 m+ على المحور x. أما الكرة C المشحونة بشحنة مقدارها 4.0×10^{-6} C + فقد وضعت عند الموقع 0.80 m+ على المحور x. احسب القوة المحصلة المؤثرة في الكرة A.
12. في المسألة السابقة، أوجد القوة المحصلة المؤثرة في الكرة B.

تذكّر دائمًا عند استخدام قانون كولوم أن هذا القانون يُطبّق فقط على الشحنات النقطية أو التوزيعات الكروية المنتظمة للشحنة. وهذا يعني أنه يمكن التعامل مع كرة مشحونة وكأن كل شحنتها مجمّعة في مركزها، فقط إذا كانت الشحنة موزعة بالتساوي على سطحها أو على حجمها. فإذا كانت الكرة موصلة وقُرِّبت إليها شحنة أخرى فإن الشحنات على الكرة ستتجاذب أو تتنافر مع هذه الشحنة؛ فلا تؤثر شحنة الكرة كما لو كانت مجتمعة في مركزها. لذا يجب أخذ أبعاد الكرتين المشحونتين والبعد بين مركزيهما بعين الاعتبار قبل تطبيق قانون كولوم. والمسائل المطروحة في هذا الكتاب تفترض أن أبعاد الكرات المشحونة صغيرة، ويبعد بعضها عن بعض مسافات كافية، بحيث يمكن اعتبارها شحنات نقطية، ما لم يذكر خلاف ذلك. أما إذا كانت الأجسام المشحونة أسلاكًا طويلة أو ألواحًا مستوية فيجب تعديل قانون كولوم ليناسب توزيعات غير نقطية من الشحنات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الشكل 14–2 الرماد المتصاعد من المداخن نتيجة ثانوية لاحتراق الفحم. ويمكن استعمال مرشّحات الترسيب الكهروسكوني لتقليل هذا الرماد.

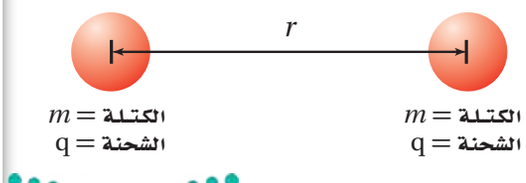
تطبيقات القوى الكهروسكونية
Applications of Electrostatic Forces

هناك العديد من تطبيقات القوى الكهربائية على الجسيمات. وتستطيع هذه القوى مثلاً تجميع السناج (السواد الناتج عن الدخان) من المداخن، ومن ثم تحدّ من تلوث الهواء، كما هو موضح في **الشكل 14–2**، كما يمكن شحن قطرات الطلاء الصغيرة جدًّا بالحث، واستعمالها لطلاء السيارات وأجسام أخرى بصورة منظمة وموحدة جدًّا. وتستخدم آلات التصوير الفوتوجرافي الكهرباء الساكنة لوضع الحبر الأسود على الورق، بحيث يتم نسخ صورة طبق الأصل للوثيقة الأصلية. ويُعدّ تجمع الشحنات الساكنة سببًا لحدوث التلف. فمثلاً تجمع الشحنات الساكنة على فيلم قد يكون سببًا في جذب الغبار عليه مما يسبب تلفه، كما يمكن أن تتعطل معدات إلكترونية عند تفريغ الشحنة الساكنة. لذا تصمّم التطبيقات في هذه الحالات لتجنّب تراكم الشحنة الساكنة، وإزالة أي شحنة قد تتراكم بطريقة آمنة.

مسألة تحفيز

يبين الشكل المجاور كرتين لهما الكتلة نفسها m، وشحنة كل منهما $+q$، والبعد بين مركزيهما r.

1. اشتق تعبيرًا للشحنة q التي يجب أن تكون على كلتا الكرتين لتكونا في حالة اتزان. هذا يعني أن هناك اتزانًا بين قوتي التجاذب والتنافر.
2. إذا تضاعفت المسافة بين الكرتين فكيف يؤثر هذا في قيمة الشحنة q التي حدّدتها في المسألة السابقة؟ وضّح ذلك.
3. إذا كانت كتلة كل من الكرتين 1.50 kg فحدّد قيمة الشحنة التي ينبغي أن تكون موجودة على كل منهما للحفاظ على حالة الاتزان.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

2–2 مراجعة

13. **القوة والشحنة** ما نوع العلاقة بين القوة الكهربائية والشحنة؟ صِف القوة عندما تكون الشحنات متشابهة، وعندما تكون مختلفة.

14. **القوة والمسافة** ما نوع العلاقة بين القوة الكهربائية والمسافة؟ وكيف تتغير القوة إذا زادت المسافة بين شحنتين إلى ثلاثة أمثالها؟

15. **الكشّاف الكهربائي** عند شحن كشّاف كهربائي ترتفع ورقتاه الفلزيتان لتشكّلا زاوية معينة، وتبقى الورقتان محافظتين على تلك الزاوية. لماذا لا ترتفع الورقتان أكثر من ذلك؟

16. **شحن كشّاف كهربائي** اشرح كيف يمكن شحن كشّاف كهربائي بشحنة موجبة باستخدام:

a. قضيب موجب.

b. قضيب سالب.

17. **جذب الأجسام المتعادلة** ما الخاصيتان اللتان تفسّران انجذاب جسم متعادل إلى كل من الأجسام المشحونة بشحنة موجبة والأجسام المشحونة بشحنة سالبة؟

18. **الشحن بالحث** ماذا يحدث عند شحن كشّاف كهربائي بالحث، وإبعاد قضيب الشحن قبل فصل تأريض الكرة؟

19. **القوى الكهربائية** كرتان A وB مشحونتان، المسافة بين مركزيهما r. إذا كانت شحنة الكرة A تساوي $+3\ \mu C$ وشحنة الكرة B تساوي $+9\ \mu C$ فقارن بين القوة التي تؤثر بها الكرة A في الكرة B والقوة التي تؤثر بها الكرة B في الكرة A.

20. **التفكير الناقد** افترض أنك تختبر صحة قانون كولوم باستخدام كرة بلاستيكية صغيرة موجبة الشحنة وكرة فلزية كبيرة موجبة الشحنة. فوفق قانون كولوم، تتناسب القوة مع $\frac{1}{r^2}$؛ حيث تمثل r المسافة بين مركزي الكرتين. وعند تقريب الكرتين إحداهما إلى الأخرى وُجد أن القوة بينهما أصغر مما هو متوقع من قانون كولوم. وضح ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مختبر الفيزياء

الأجسام المشحونة

لاحظت في هذا الفصل ودرست ظواهر تنتج عن فصل الشحنات الكهربائية. وتعلّمت أن كلًّا من المطاط الصلب والبلاستيك يميل إلى أن تصبح شحنته سالبة بعد الدلك، في حين يميل كل من الصوف والزجاج إلى يصبح موجب الشحنة. ولكن ماذا يحدث إذا دلكت جسمين معًا يميل كل منهما إلى أن يصبح سالب الشحنة؟ هل تنتقل الإلكترونات؟ وإذا كان الأمر كذلك فأي المادتين ستكتسب إلكترونات، وأيهما ستفقدها؟ ستصمّم في هذه التجربة إجراءات وخطوات لمزيد من الاستقصاءات حول الشحنات الموجبة والسالبة.

سؤال التجربة

كيف يمكنك اختبار قدرة المواد على اكتساب أو فقد الشحنات السالبة؟

الأهداف

- **تلاحظ** أن المواد المختلفة تميل إلى أن تُشحن بشحنة موجبة أو تُشحن بشحنة سالبة.
- **تقارن** بين قدرة المواد على اكتساب الشحنات السالبة والشحنات الموجبة والاحتفاظ بها.
- **تفسّر البيانات** لترتّب قائمة بالمواد من الأكثر ميلاً لتصبح سالبة الشحنة إلى الأكثر ميلاً لتصبح موجبة الشحنة.

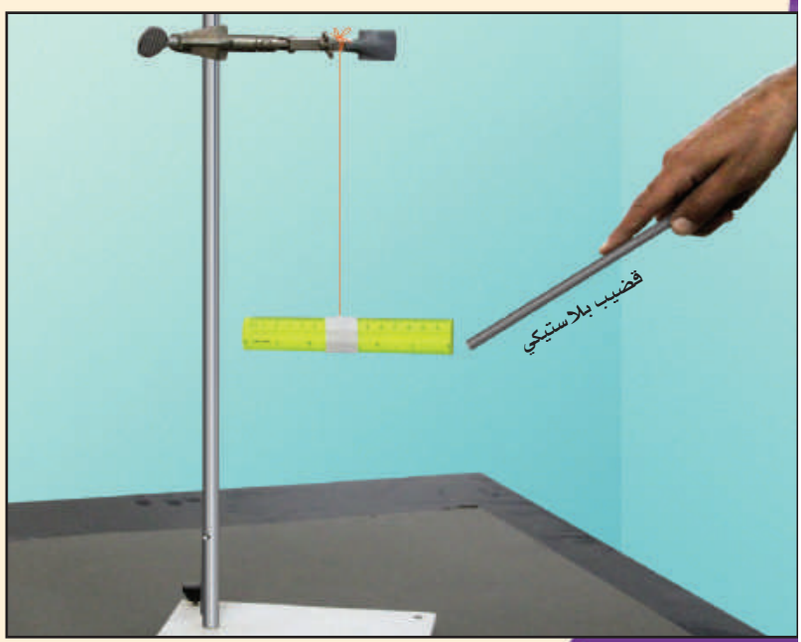
احتياطات السلامة

المواد والأدوات

مسطرة بلاستيكية طولها 15 cm
خيط
حامل
شريط لاصق
مواد قابلة للشحن، مثل: قضيب مطاطي، وقضيب بلاستيكي، وقضيب زجاجي، وأنبوب البولي فينيل كلورايد PVC، وأنبوب نحاسي، وأنبوب فولاذي، وأقلام رصاص، وأقلام حبر، وقطعة صوف، وقطعة حرير، وغلاف طعام بلاستيكي، وأكياس بلاستيكية، وورق زبد، وورق ألومنيوم.

الخطوات

1. انظر إلى الصورة المجاورة لتستفيد منها في تعليق المسطرة البلاستيكية. يُفضّل غسل المسطرة بالماء والصابون، وتجفيفها تمامًا قبل كل استعمال، وخصوصًا إذا كان الجو رطبًا. اربط الخيط بمنتصف المسطرة، على أن يفصل بينه وبين المسطرة لفة إلى ثلاث لفات من الشريط اللاصق.
2. استخدم الحالتين الآتيتين مرجعًا لأنواع الشحنات التي يمكن أن تكون للمواد: (1) عند دلك مسطرة بلاستيكية بقطعة صوف تشحن المسطرة البلاستيكية بشحنة سالبة، أما قطعة الصوف فتشحن بشحنة موجبة. (2) عند دلك مسطرة بلاستيكية بغلاف طعام بلاستيكي تشحن المسطرة البلاستيكية بشحنة موجبة، أما غلاف الطعام البلاستيكي فيشحن بشحنة سالبة.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

جدول البيانات					
المادة1	المادة2	الشحنة على المسطرة (+، −، 0)	ملاحظات على حركة المسطرة	الشحنة على المادة1 (+، −، 0)	الشحنة على المادة 2 (+، −، 0)

3. صمّم خطوات وإجراءات لمعرفة أي الأجسام تميل إلى أن تُشحن بشحنة سالبة، وأيها تميل إلى أن تُشحن بشحنة موجبة. جرّب مجموعات مختلفة من المواد، ودوّن ملاحظاتك في جدول البيانات.
4. طوّر اختبارًا لتكشف ما إذا كان جسم ما متعادلًا أم لا. وتذكّر أن المسطرة المشحونة قد تنجذب إلى جسم متعادل إذا عملت على فصل شحنات هذا الجسم بالحث.
5. تأكد من أن معلمك قد تفحّص تجربتك، وعليك الحصول على موافقته قبل متابعة تنفيذ النشاط.

التحليل

1. **لاحظ واستنتج** عندما قرّبت مواد مشحونة بعضها إلى بعض، هل لاحظت وجود قوة بين هذه المواد المشحونة؟ صِف هذه القوة.
2. **صياغة النماذج** أنشئ رسمًا لتوزيع الشحنة على المادتين في إحدى المحاولات. واستخدم الرسم لتوضيح لماذا أثرت المادتان إحداهما في الأخرى بتلك الطريقة خلال تجربتك؟
3. **استخلص النتائج** أي المواد احتفظت بشحنة فائضة، وأيها لم تحتفظ بالشحنة جيدًا؟
4. **استخلص النتائج** أي المواد لها ميل لتشحن بشحنة سالبة، وأيها لها ميل لتشحن بشحنة موجبة؟
5. **فسّر البيانات** استخدم جدول بياناتك لتعدّ قائمة بالميول النسبية للمواد لتصبح موجبة الشحنة أو سالبتها.

الاستنتاج والتطبيق

1. وضّح المقصود بتعبير الشحنة الفائضة، وعدم التوازن في الشحنة عند الإشارة إلى الكهرباء الساكنة.
2. هل تبقى الشحنة الفائضة في المادة أم تنتقل مع مرور الوقت؟
3. هل يمكنك إكمال هذا النشاط باستخدام قضيب فلزي بدلاً من المسطرة البلاستيكية المعلّقة؟ وضّح إجابتك.
4. تستعمل الأغلفة البلاستيكية الشفافة لتغطية أوعية الطعام، فلماذا يلتصق الغلاف البلاستيكي الشفاف بعضه ببعض بعد سحبه عن أوعية الطعام التي كان يغطيها؟

التوسع في البحث

راجع المعلومات في كتابك حول الكشّاف الكهربائي. وأعِد تصميم النشاط على أن تستعمل الكشّاف الكهربائي بدلًا من المسطرة البلاستيكية المعلّقة؛ لتفحص نوع الشحنة التي على الجسم.

الفيزياء في الحياة

للشاحنات غالبًا حزام مطاطي أو سلسلة متدلية منها تتصل بسطح الطريق. لماذا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المركبة الفضائية والكهرباء الساكنة Spacecraft and Static Electricity

معظم الأجسام على الأرض لا تتراكم عليها شحنات كهربائية ساكنة كبيرة؛ وذلك بسبب ملامسة سطوح هذه الأجسام لطبقة رطبة تعمل على نقل الشحنات من الأرض أو إليها؛ حيث يمكن للأرض استيعاب أي كمية من الشحنات، كما تعلّمت في هذا الفصل. أما في الفضاء فلا توجد رطوبة، كما أن الأرض بعيدة، لذا تصطدم الجسيمات المشحونة التي تنطلق خارجة من الشمس أو تلك الموجودة في طبقة الأيونوسفير بالمركبة الفضائية وتلتصق بها، فتشحن سطح المركبة الفضائية بآلاف الفولتات.

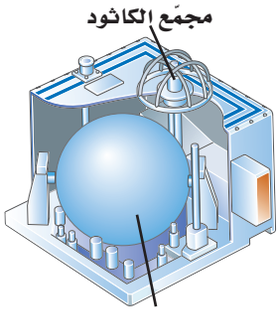
البلازما والشحن البلازما إحدى حالات المادة، وتتكون من إلكترونات حرة وأيونات موجبة. تكون المركبة الفضائية في مدارها محاطة بسحابة رقيقة من هذه البلازما. وتتحرك الإلكترونات في البلازما بسهولة أكثر من الأيونات الموجبة الضخمة، لذا يميل سطح المركبة الفضائية إلى جذب الإلكترونات، فيحدث تراكم للشحنة السالبة. وتجذب هذه الشحنة السالبة بعض الأيونات الموجبة الثقيلة، التي تصطدم بالمركبة الفضائية فتلحق الضرر بسطحها.

هناك صعوبة إضافية على متن *محطة الفضاء الدولية*؛ ناجمة عن صفِّ الألواح الشمسية التي تحوّل الطاقة الشمسية إلى كهرباء. فعندما تزوّد هذه الألواح محطة الفضاء بالطاقة يصبح جهد سطح المركبة قريبًا من جهد الألواح الشمسية. ونتيجة لذلك قد يحدث قوس كهربائي (تفريغ كهربائي مستمر في صورة شرر متكرر الحدوث) بين محطة الفضاء والبلازما المحيطة بها.

عواقب تكوُّن القوس درجة حرارة الأقواس الكهربائية المتكوّنة كبيرة جدًّا، كما أنها تحمل تيارًا كهربائيًّا كبيرًا، لذا يمكنها أن تُشعل الصواريخ الرجعية قبل أوان تشغيلها، ويمكنها تفجير براغي التثبيت، وتتداخل مع المعدات الإلكترونية الخاصة بتشغيل المركبة الفضائية. كما أن الألواح الشمسية معرّضة بصورة خاصة لضرر القوس الكهربائي. وإضافة إلى الأضرار التي قد تلحق بمكوِّنات المركبة الفضائية فإن تراكم الشحنة قد يعرّض طاقم المركبة إلى الخطر في أثناء سيرهم في الفضاء.

لتفريغ فرق الجهد وحماية المركبة والطاقم يجب أن يوصل السطح الخارجي لمحطة الفضاء بسحابة البلازما المحيطة به؛ وذلك بموصل كهربائي، يسمى قواطع البلازما. يبدأ التوصيل على متن المحطة في مكان تأين غاز الزينون –المتدفق من مستودع في وحدة قواطع البلازما PCU– بواسطة تيار كهربائي. ويحدث هذا التأين عند مجمّع الكاثود (القطب السالب). ويكون الزينون المتأين في حالة البلازما، ويخرج من المركبة عن طريق مجمّع الكاثود. ويعمل تيار البلازما الموصل على وصل المركبة بسحابة البلازما المحيطة بها، مما يؤدي إلى خفض فرق الجهد إلى مستويات آمنة.

وحدة قواطع البلازما



نموذج PCU

تطبيقات مستقبلية قد تصمّم المركبة الفضائية المستقبلية بدمج قواطع البلازما في نظام الدفع. ففي صاروخ البلازما المغناطيسية ذي الدفع النوعي المتغير مثلًا قد يستخدم عادم البلازما الناتج لتوفير الربط الكهربائي بين المركبة الفضائية والبلازما المحيطة بها. ويعتقد العلماء أن هذا النوع من الصواريخ سيستخدم في المستقبل للسفر بين الكواكب.

التوسع

1. **طبّق** ما الغرض من استخدام قواطع البلازما؟ وإلى أي مدى تشبه استخدام إصبعك في تأريض الكشّاف الكهربائي؟
2. **ابحث** كيف يمكن للعلماء معرفة مقدار الشحنة على سطح *محطة الفضاء الدولية*؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 2
دليل مراجعة الفصل

2–1 الشحنة الكهربائية Electric Charge

المفردات

- الكهرباء الساكنة (الكهروسكونية)
- الذرة المتعادلة
- مادة عازلة
- مادة موصلة

المفاهيم الرئيسة

- هناك نوعان من الشحنات الكهربائية: الشحنات الموجبة والشحنات السالبة، وتفاعلات هذه الشحنات معًا توضح التجاذب والتنافر الذي لوحظ في الأشرطة اللاصقة.
- الشحنة الكهربائية لا تفنى ولا تستحدث؛ أي أنها محفوظة. والشحن ما هو إلا عملية فصل للشحنات، وليس إنتاج شحنات كهربائية جديدة.
- يمكن شحن الأجسام عن طريق نقل الإلكترونات؛ فالمناطق التي فيها فائض في الإلكترونات يكون صافي شحنتها سالبًا، أما المناطق التي فيها نقص في الإلكترونات فيكون صافي شحنتها موجبًا.
- الشحنات التي تضاف إلى جزء أو موقع ما من مادة عازلة تبقى على ذلك الموقع أو الجزء. ومن المواد العازلة الزجاج، والخشب الجاف، والمواد البلاستيكية، والهواء الجاف.
- الشحنات التي تضاف إلى مادة موصلة تتوزع بسرعة على سطح الجسم كاملاً. ومن المواد الموصلة الجرافيت، والفلزات، والمادة عندما تكون في حالة البلازما.
- تحت ظروف معيَّنة، يمكن أن تنتقل شحنات خلال مادة معروفة على أنها مادة عازلة. ويعدّ البرق الذي يتحرك خلال الهواء أحد الأمثلة على ذلك.

2–2 القوة الكهربائية Electric Force

المفردات

- الكشّاف الكهربائي
- الشحن بالتوصيل
- الشحن بالحث
- التأريض
- قانون كولوم
- الكولوم
- الشحنة الأساسية

المفاهيم الرئيسة

- عند شحن كشّاف كهربائي تؤدي القوة الكهربائية إلى انفراج ورقتيه.
- يمكن شحن جسم ما بالتوصيل بملامسته جسمًا آخر مشحونًا.
- يحث جسم مشحون شحناتِ موصلٍ متعادلٍ على الانفصال عند تقريبه إليه، وتحدث هذه العملية نتيجة قوة التجاذب بين الجسم المشحون والموصل المتعادل.
- لشحن جسم موصل بالحث يقرّب إليه جسم مشحون، فيؤدي ذلك إلى انفصال شحنات الجسم الموصل المراد شحنه؛ أي تتجمّع الشحنات الموجبة عند أحد الطرفين، والشحنات السالبة عند الطرف الآخر.
- التأريض عملية التخلص من الشحنات الفائضة عن طريق ملامسة الجسم للأرض. ويستخدم التأريض في عمليات شحن كشّاف كهربائي بالحث.
- ينص قانون كولوم على أن القوة بين جسيمين مشحونين تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب مقداري شحنتيهما وعكسيًّا مع مربع المسافة بينهما. $F = K\frac{q_A q_B}{r^2}$

لتحديد اتجاه القوة تذكر القاعدة الآتية: الشحنات المتشابهة تتنافر، والشحنات المختلفة تتجاذب.

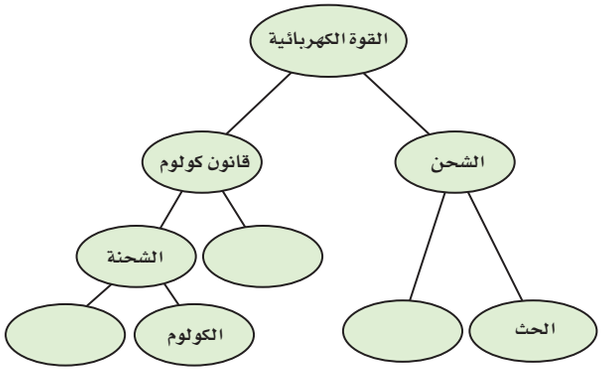
- وحدة الشحنة في النظام الدولي للوحدات SI هي الكولوم. والكولوم الواحد C هو مقدار شحنة 6.24×10^{18} إلكترون أو بروتون. والشحنة الأساسية هي شحنة البروتون أو الإلكترون، وتساوي 1.6×10^{-19} C.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 2 التقويم

خريطة المفاهيم

21. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: التوصيل، المسافة، الشحنة الأساسية.



إتقان المفاهيم

22. إذا مشّطت شعرك في يوم جاف فسوف يُشحن المشط بشحنة موجبة. هل يمكن أن يبقى شعرك متعادلاً؟ وضّح إجابتك. (1– 2)

23. أعدّ قائمة ببعض المواد العازلة والمواد الموصلة. (1– 2)

24. ما الخاصية التي تجعل الفلز موصلًا جيدًا، والمطاط عازلًا جيدًا؟ (1– 2)

25. **غسّالة الملابس** عندما نخرج الجوارب من مجفّفة الملابس تكون أحيانًا ملتصقة بملابس أخرى. لماذا؟ (2– 2)

26. **الأقراص المدمجة** لماذا يجذب قرص مدمج الغبار إذا مسحته بقطعة قماش نظيفة؟ (2– 2)

27. **عملات معدنية** مجموع شحنة جميع إلكترونات عملة مصنوعة من النيكل تصل إلى 10^6C. هل يخبرنا هذا بشيء عن صافي الشحنة على هذه العملة؟ وضح إجابتك. (2– 2)

28. كيف تؤثر المسافة بين شحنتين في القوة المتبادلة بينهما؟ وإذا قلّت المسافة وبقي مقدار الشحنتين كما هو فماذا يحدث للقوة؟ (2– 2)

29. اشرح كيف يمكنك شحن موصل بشحنة سالبة إذا كان لديك قضيب موجب الشحنة فقط. (2– 2)

تطبيق المفاهيم

30. فيم تختلف شحنة الإلكترون عن شحنة البروتون؟ وفيم تتشابهان؟

31. كيف يمكنك أن تحدّد ما إذا كان جسم ما موصلاً أم لا، باستخدام قضيب مشحون وكشّاف كهربائي؟

32. قُرّب قضيب مشحون إلى مجموعة كرات بلاستيكية صغيرة جدًّا، فانجذبت بعض الكرات إلى القضيب، إلا أنها لحظة ملامستها للقضيب اندفعت مبتعدة عنه في اتجاهات مختلفة. فسّر ذلك.

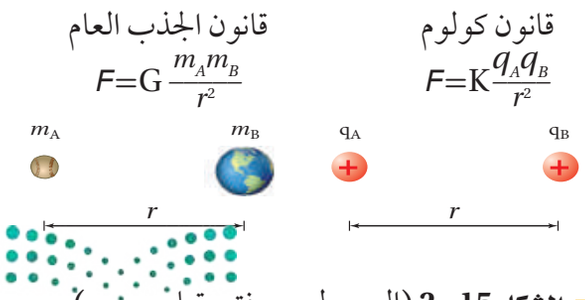
33. **البرق** يحدث البرق عادة عندما تنتقل الشحنات السالبة في الغيوم إلى الأرض. فإذا كان سطح الأرض متعادلاً فما الذي يوفر قوة الجذب المسؤولة عن سحب الإلكترونات نحو الأرض؟

34. وضّح ما يحدث لورقتي كشّاف كهربائي مشحون بشحنة موجبة عند تقريب قضيب مشحون بالشحنات الآتية إليه، مع مراعاة عدم لمس القضيب للكشّاف الكهربائي:

a. شحنة موجبة.

b. شحنة سالبة.

35. يبدو أن قانون كولوم وقانون نيوتن في الجذب العام متشابهان، كما هو موضح في **الشكل 15–2**. فيم تتشابه القوة الكهربائية وقوة الجاذبية؟ وفيم تختلفان؟



الشكل 15–2 (الرسم ليس وفق مقياس رسم)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 2

36. قيمة الثابت K في قانون كولوم أكبر كثيرًا من قيمة الثابت G في قانون الجذب العام. علامَ يدل ذلك؟

37. وَصَف هذا الفصل طريقة كولوم لشحن كرتين A و B، بحيث تكون الشحنة على الكرة B نصف الشحنة على الكرة A تمامًا. اقترح طريقة تطبقها لتصبح شحنة الكرة B مساوية ثلث شحنة الكرة A.

38. قاس كولوم انحراف الكرة A عندما كان للكرتين A وB الشحنة نفسها، وتبعد إحداهما عن الأخرى مسافة مقدارها r. ثم جعل شحنة الكرة B تساوي ثلث شحنة الكرة A. كم يجب أن تكون المسافة الجديدة بين الكرتين بحيث تنحرف الكرة A بمقدار مساوٍ لانحرافها السابق؟

39. يؤثر جسمان مشحونان أحدهما في الآخر بقوة مقدارها 0.145 N عندما كانا على بُعد معيّن أحدهما من الآخر. فإذا قُرِّب أحدهما إلى الآخر بحيث أصبحت المسافة بينهما رُبع المسافة السابقة فما مقدار القوة المؤثرة في كل منهما؟

40. القوى الكهربائية بين الشحنات كبيرة جدًّا عند مقارنتها بقوى الجاذبية بينها، ومع ذلك لا نشعر عادة بالقوى الكهربائية بيننا وبين المحيط من حولنا، إلا أننا نشعر بتأثيرات قوى الجاذبية مع الأرض. فسّر ذلك.

إتقان حل المسائل

2–2 القوة الكهربائية

41. شحنتان كهربائيتان، q_A و q_B، تفصل بينهما مسافة r، ويؤثر كل منهما في الآخر بقوة مقدارها F. حلّل قانون كولوم، وحدّد القوة الجديدة التي تنتج تحت الظروف الآتية:

a. مضاعفة الشحنة q_A مرتين.

b. تقليل الشحنتين q_A و q_B إلى النصف.

c. مضاعفة r ثلاث أمثالها.

d. تقليل r إلى النصف.

e. مضاعفة q_A ثلاث أمثالها وr إلى المثلين.

42. **البرق** إذا نقلت صاعقة برق قوية شحنة مقدارها 25 C إلى الأرض فما عدد الإلكترونات المنقولة؟

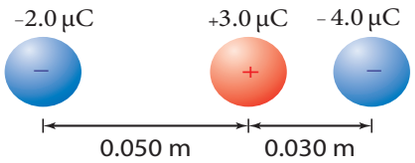
43. **الذرات** إذا كانت المسافة بين إلكترونين في ذرة 1.5×10^{-10} m فما مقدار القوة الكهربائية بينهما؟

44. شحنتان كهربائيتان مقدار كل منهما 2.5×10^{-5} C، والمسافة بينهما 15 cm. أوجد القوة التي تؤثر في كل منهما؟

45. إذا كانت القوة التي تؤثر في كل من الشحنتين 8.0×10^{-5} C و3.0×10^{-5} C تساوي 2.4×10^{2} N فاحسب مقدار المسافة بينهما.

46. إذا أثّرت شحنتان موجبتان متماثلتان كل منهما في الأخرى بقوة تنافر مقدارها 6.4×10^{-9} N، عندما كانت إحداهما تبعد عن الأخرى مسافة 3.8×10^{-10} m، فاحسب مقدار شحنة كل منهما.

47. تُسحب شحنة موجبة مقدارها 3.0 μC بشحنتين سالبتين، كما هو موضح في **الشكل 16–2**. فإذا كانت إحدى الشحنتين 2.0 μC – تبعد مسافة 0.050 m إلى الغرب، وتبعد الشحنة الأخرى 4.0 μC – مسافة 0.030 m إلى الشرق فما مقدار واتجاه القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة الموجبة؟



الشكل 16–2

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 2

48. يوضح **الشكل 17–2** كرتين مشحونتين بشحنتين موجبتين، شحنة إحداهما تساوي ثلاثة أمثال شحنة الأخرى، والمسافة بين مركزيهما 16 cm. إذا كانت القوة المتبادلة بينهما 0.28 N فما مقدار الشحنة على كل منهما؟

الشكل 17–2

49. **الشحنة على عملة نقدية** ما مقدار الشحنة المقيسة بالكولوم للإلكترونات الموجودة في قطعة نقدية مصنوعة من النيكل؟ استخدم الطريقة الآتية لتجد الإجابة:

a. أوجد عدد الذرات في قطعة النقد إذا كانت كتلة القطعة 5g، منها 75% نحاس، أما الـ 25% المتبقية فمن النيكل، لذا تكون كتلة كل مول من ذرات القطعة 62 g.

b. أوجد عدد الإلكترونات في قطعة النقد، علمًا أن متوسط عدد الإلكترونات لكل ذرة يساوي 28.75.

c. أوجد شحنة الإلكترونات بالكولوم.

مراجعة عامة

50. إذا لامَسَت كرة فلزية صغيرة شحنتها 1.2×10^{-5} C كرة مماثلة متعادلة، ثم وُضعت على بُعد 0.15 m منها فما القوة الكهربائية بين الكرتين؟

51. **الذرات** ما القوة الكهربائية بين إلكترون وبروتون يبعد أحدهما عن الآخر 5.3×10^{-11} m؟ (هذه المسافة تساوي نصف القطر التقريبي لذرة الهيدروجين).

52. تؤثر قوة مقدارها 0.36 N في كرة صغيرة شحنتها 2.4 μC، وذلك عند وضعها على بُعد 5.5 cm من مركز كرة ثانية مشحونة بشحنة غير معروفة. ما مقدار شحنة الكرة الثانية؟

53. كرتان متماثلتان مشحونتان، المسافة بين مركزيهما 12 cm. إذا كانت القوة الكهربائية بينهما 0.28 N فما شحنة كل كرة؟

54. في التجربة المستخدم فيها جهاز كولوم، يبعد مركز كرة شحنتها 3.6×10^{-8} C مسافة 1.4 cm عن مركز كرة ثانية غير معلومة الشحنة. إذا كانت القوة بين الكرتين 2.7×10^{-2} N فما شحنة الكرة الثانية؟

55. إذا كانت القوة بين بروتون وإلكترون 3.5×10^{-10} N فما المسافة بين الجسيمين؟

التفكير الناقد

56. **تطبيق المفاهيم** احسب نسبة القوة الكهربائية إلى قوة الجاذبية بين الإلكترون والبروتون في ذرة الهيدروجين.

57. **حلّل واستنتج** وضعت الكرة A التي تحمل شحنة مقدارها +64 μC عند نقطة الأصل، ووضعت كرة ثانية B تحمل شحنة سالبة مقدارها 16 μC عند النقطة +1.00 m على محور x. أجب عن الأسئلة الآتية:

a. أين يجب وضع كرة ثالثة C شحنتها +12 μC بحيث تكون القوة المحصلة المؤثرة فيها صفرًا؟

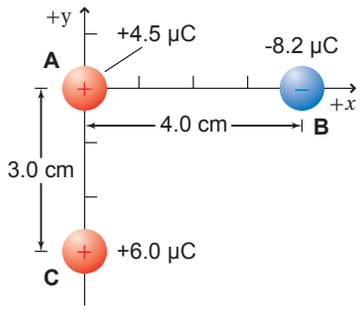
b. إذا كانت شحنة الكرة الثالثة C تساوي +6 μC فأين يجب وضعها على أن تبقى محصلة القوى المؤثرة فيها صفرًا؟

c. إذا كانت شحنة الكرة الثالثة سالبة ومقدارها 12 μC، فأين يجب وضعها على أن تبقى محصلة القوى المؤثرة فيها صفرًا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 2

58. وضعت ثلاث كرات مشحونة، كما هو موضح في **الشكل 18–2**. أوجد القوة المحصلة المؤثرة في الكرة B.



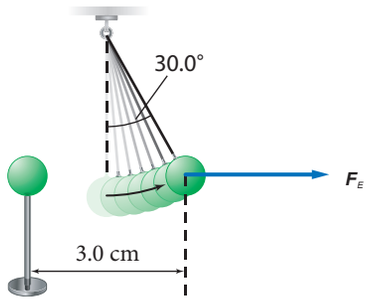
الشكل 18–2

59. يوضح **الشكل 19–2** كرتي بيلسان، كتلة كل منهما 1.0 g، وشحنتاهما متساويتان؛ إحداهما معلّقة بخيط عازل، والأخرى قريبة منها ومثبتة على حامل عازل، والبعد بين مركزيهما 3.0 cm. إذا اتزنت الكرة المعلّقة عندما شكّل الخيط العازل الذي يحملها زاوية مقدارها 30.0° مع الرأسي فاحسب كلًّا مما يأتي:

a. F_g المؤثرة في الكرة المعلّقة.

b. F_E المؤثرة في الكرة المعلّقة.

c. الشحنة على كل من الكرتين.



الشكل 19–2

60. وضعت شحنتان نقطيتان ساكنتان q_A و q_B بالقرب من شحنة اختبار موجبة، q_T، مقدارها $+7.2\ \mu C$.

إذا كانت الشحنة الأولى q_A موجبة وتساوي $3.6\ \mu C$ وتقع على بُعد $2.5\ cm$ من شحنة الاختبار q_T عند زاوية $35°$، والشحنة الثانية q_B سالبة ومقدارها $-6.6\ \mu C$ وتقع على بُعد $6.8\ cm$ من شحنة الاختبار عند زاوية $125°$:

a. فحدّد مقدار كل قوة من القوتين اللتين تؤثران في شحنة الاختبار q_T.

b. ارسم مخطّط القوة.

c. حدّد بالرسم القوة المحصلة المؤثرة في شحنة الاختبار q_T.

الكتابة في الفيزياء

61. **تاريخ العلم** ابحث في الأجهزة المختلفة التي كانت تستخدم في القرنين السابع عشر والثامن عشر في دراسة الكهرباء الساكنة. قد تتطرق مثلاً إلى قارورة ليدن وآلة ويمشورست. ناقش كيف تم بناؤهما، ومبدأ عمل كل منهما.

62. هناك قوى بين جزيئات الماء تؤدي إلى أن يكون الماء أكبر كثافة عندما يكون سائلًا بين 0 °C و4 °C مقارنة بحالته عندما يكون صلبًا عند 0 °C. هذه القوى في طبيعتها ما هي إلا قوى كهروسكونية. ابحث في القوى الكهروسكونية بين الجزيئات، ومنها قوى فان درفال وقوى الاستقطاب، وصِف أثرها في المادة.

مراجعة تراكمية

63. إذا أثّرت شحنتان $2.0\times10^{-5}\ C$ و $8.0\times10^{-6}\ C$ إحداهما في الأخرى بقوة مقدارها $9.0\ N$ فاحسب مقدار البعد بينهما. (الفصل 2)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. ما عدد الإلكترونات المنتقلة من كشّاف كهربائي مشحون بشحنة موجبة إذا كان صافي شحنته 7.5×10^{-11} C؟

(A) 7.5×10^{-11} إلكترون

(B) 2.1×10^{-9} إلكترون

(C) 1.2×10^{8} إلكترون

(D) 4.7×10^{8} إلكترون

2. إذا كانت القوة المؤثرة في جسيم شحنته 5.0×10^{-9} C نتيجة تأثير جسيم آخر يبعد عنه 4 cm تساوي 8.4×10^{-5} N فما شحنة الجسيم الثاني؟

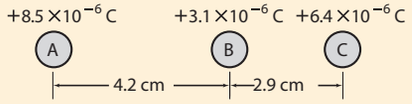
(A) 4.2×10^{-13} C

(B) 2.0×10^{-9} C

(C) 3.0×10^{-9} C

(D) 6.0×10^{-5} C

3. إذا وُضِعت ثلاث شحنات A وB وC، على خط واحد، كما هو موضح أدناه، فما القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة B؟



(A) 78 N في اتجاه A

(B) 78 N في اتجاه C

(C) 130 N في اتجاه A

(D) 210 N في اتجاه C

4. ما شحنة كشّاف كهربائي إذا كان عدد الإلكترونات الفائضة عليه 4.8×10^{10} إلكترون؟

(A) 3.3×10^{-30} C

(B) 4.8×10^{-10} C

(C) 7.7×10^{-9} C

(D) 4.8×10^{10} C

5. القوة الكهربائية المتبادلة بين جسمين مشحونين تساوي 86 N. إذا حُرّك الجسمان بحيث أصبحا على بُعد يساوي ستة أمثال البعد الذي كانا عليه سابقًا فما القوة الجديدة التي يؤثر بها كل منهما في الآخر؟

(A) 2.4 N

(B) 14 N

(C) 86 N

(D) 5.2×10^{2} N

6. جسمان مشحونان بالمقدار نفسه من الشحنة، ويؤثر كل منهما في الآخر بقوة مقدارها 90 N، فإذا استبدلنا بأحدهما جسمًا آخر له الحجم نفسه إلا أن شحنته أكبر من الجسم السابق ثلاث مرات فما القوة الجديدة التي يؤثر بها كل منهما في الآخر؟

(A) 10 N

(B) 30 N

(C) 2.7×10^{2} N

(D) 8.1×10^{2} N

7. إذا كانت كتلة جسيم ألفا 6.68×10^{-27} kg وشحنته 3.2×10^{-19} C فما النسبة بين القوة الكهروسكونية وقوة الجاذبية بين جسيمين من جسيمات ألفا؟

(A) 1

(B) 4.8×10^{7}

(C) 2.3×10^{15}

(D) 3.1×10^{35}

8. تسمى عملية شحن جسم متعادل عن طريق ملامسته بجسم مشحون ..... .

(A) التوصيل

(B) الحث

(C) التأريض

(D) التفريغ

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

9. دلك أحمد بالونًا بقطعة صوف، فشُحِن البالون بشحنة سالبة ومقدارها 8.9×10^{-14} C. ما القوة المتبادلة بين البالون وكرة فلزية مشحونة بـ 25 C وتبعد 2 km عنه؟

A 8.9×10^{-15} N

B 5.0×10^{-9} N

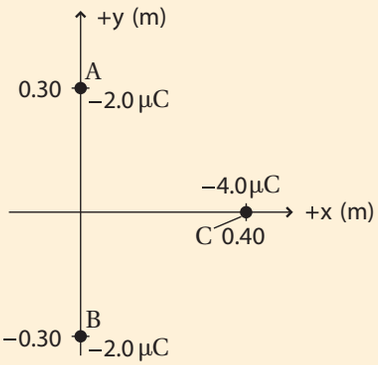
C 2.2×10^{-12} N

D 5.6×10^{4} N

الأسئلة الممتدة

10. بالرجوع إلى الرسم أدناه، ما القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة C من قبل الشحنتين A وB؟ ضمّن إجابتك رسمًا بيانيًّا يوضّح متجهات القوى.

$F_{A\text{ في }C}$ و $F_{B\text{ في }C}$ و $F_{\text{المحصلة}}$



إرشاد

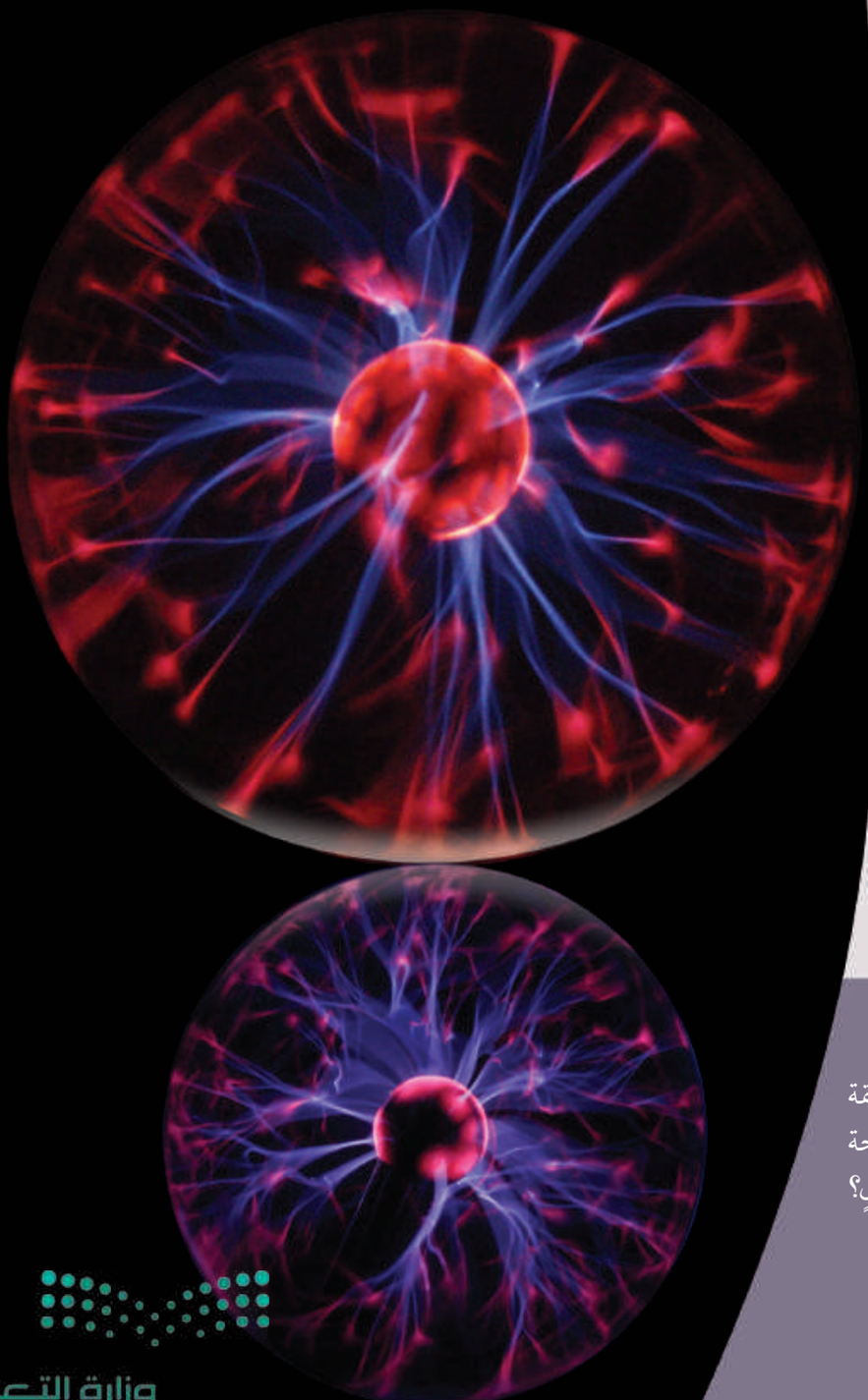
أجب بتأنٍ

تأكد من أنك أجبت عن السؤال الذي تطرحه المسألة. اقرأ الأسئلة والخيارات برويّة وتأنٍّ. وتذكّر أن حل معظم المسائل بصورة صحيحة أفضل من أن تحلها جميعها ويكون معظمها غير صحيح.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 3

المجالات الكهربائية
Electric Fields



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- ربط المجالات الكهربائية مع القوى الكهربائية، والتمييز بينهما.
- ربط فرق الجهد الكهربائي مع الطاقة والشغل.
- وصف كيفية توزيع الشحنات على الموصلات.
- توضيح كيف تخزّن المكثِّفات الشحنات الكهربائية.

الأهمية

تعدّ الكهرباء الشكل الرئيس للطاقة بالنسبة للمجتمعات الحديثة.

تفريغ الطاقة الكبيرة يُحدث مولّد جهد عالٍ التوهّجَ الذي تشاهده داخل كرات التفريغ المجاورة.

فكِّر

لماذا لا يتوهّج مصباح كهربائي عادي بالطريقة نفسها التي تتوهّج بها كرات التفريغ الموضّحة في الصورة المجاورة عند وصلها بمولّد جهد عالٍ؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

كيف تتفاعل الأجسام المشحونة عن بُعد؟

سؤال التجربة كيف يتأثر جسم مشحون بتفاعله عن بُعد مع أجسام أخرى مشحونة؟

الخطوات

1. انفخ بالونين، ثم اربط كلًّا منهما بخيط طوله $\frac{1}{2}$ m.
2. ادلك أحد البالونين بثوبك 5–8 مرات حتى تشحنه، ثم علّقه في خزانة أو طاولة أو غيرهما من وسائل التعليق، مستعملًا شريطًا لاصقًا لتثبيت طرف الخيط.
3. ادلك البالون الثاني بالطريقة نفسها، ثم علّقه.
4. **لاحظ** قرّب البالون الثاني إلى البالون الأول ببطء، وصِفْ سلوك البالونين. ألصق طرف خيط البالون الثاني بحيث يصبح معلّقًا بجانب البالون الأول.
5. **لاحظ** قرّب يدك من البالونين المشحونين. ماذا يحدث؟

التحليل

ماذا تلاحظ عندما تقرّب أحد البالونين إلى الآخر؟ وماذا يحدث عندما تقرّب يدك إلى البالونين؟

التفكير الناقد اذكر جسمين آخرين (غير البالونين) أثّر أحدهما في الآخر عن بُعد بالطريقة نفسها التي أثر بها كل من البالونين على الآخر.

3–1 توليد المجالات الكهربائية وقياسها Creating and Measuring Electric Fields

الأهداف

- **تُعرّف** المجال الكهربائي.
- **تحل** مسائل متعلقة بالشحنة والمجالات والقوى الكهربائية.
- **ترسم** خطوط المجال الكهربائي.

المفردات

المجال الكهربائي

شحنة الاختبار

خط المجال الكهربائي

تشبه القوة الكهربائية قوة التجاذب الكتلي التي درستها سابقًا؛ حيث تتناسب القوة الكهربائية عكسيًّا مع مربع المسافة بين جسمين نقطيين مشحونين، كما تؤثر القوتان عن بُعد من مسافات كبيرة نسبيًّا، فكيف يمكن لقوةٍ ما التأثيرُ خلال ما يبدو أنه حيز فارغ؟ لاحظ مايكل فاراداي أنّ الجسم المشحون كهربائيا وليكن A يؤثر بقوة في جسم آخر مشحون كهربائيا وليكن B عندما يكون موضوعًا في أي مكان في الفراغ أو الوسط، واقترح تفسيرًا لذلك أن الجسم A يجب أن يغيّر بطريقةٍ ما من خصائص ذلك الوسط. وسيشعر الجسم B بذلك التغير في الفراغ أو الوسط، وسيتأثر بقوة ناجمة عن التغير في خصائص الوسط في موقعه. وأطلق على تغير خاصية الوسط اسم **المجال الكهربائي**. والمجال الكهربائي لا يعني التفاعل بين جسمين عن بُعد، بل يعني التفاعل بين الجسم الموضوع في المجال والمجال الكهربائي عند ذلك الموضع فيه.

ويمكن للقوى التي تؤثر بها المجالات الكهربائية أن تبذل شغلًا، فتنتقل الطاقة من المجال إلى جسم آخر مشحون. وأنت تستخدم هذه الطاقة يوميًّا؛ سواء وصلت جهازًا كهربائيًّا بمقبس، أو استعملت جهازًا كهربائيًّا متنقلًا يعمل ببطارية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المجال الكهربائي The Electric Field

دلالة الألوان

- خطوط المجال الكهربائي باللون النيلي.
- الشحنة الموجبة باللون الأحمر.
- الشحنة السالبة باللون الأزرق.

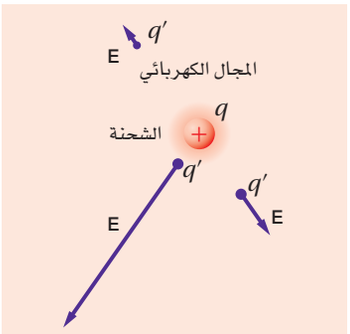
كيف يمكن قياس شدة المجال الكهربائي؟ ضع جسيمًا صغيرًا مشحونًا في موقع معين. إذا كان هناك أي قوة كهربائية تؤثر فيه فسوف يكون هناك مجال كهربائي في ذلك الموقع. (هذه الشحنة الموجودة على الجسيم الصغير والتي استعملت لاختبار المجال تسمى **شحنة الاختبار**). ويجب أن تكون هذه الشحنة موجبة وصغيرة بحيث لا تؤثر في الشحنات الأخرى.

لاحظ **الشكل 1–3** الذي يوضّح جسمًا مشحونًا بشحنة مقدارها q. وافترض أنك وضعت شحنة الاختبار الموجبة في نقطة معينة، ولتكن النقطة A مثلًا، ثم حسبت القوة $\boldsymbol{F}$. ستتناسب هذه القوة طرديًّا مع مقدار شحنة الاختبار q'، وذلك وفق قانون كولوم؛ أي أنه إذا تضاعفت الشحنة ستتضاعف القوة كذلك، لذا تبقى النسبة بين القوة والشحنة ثابتة. وإذا قسمت القوة $\boldsymbol{F}$ على شحنة الاختبار q' فستحصل على كمية متجهة $\boldsymbol{F}/q'$. وهذه الكمية لا تعتمد على شحنة الاختبار، وإنما تعتمد فقط على كل من القوة $\boldsymbol{F}$ والمسافة بين الشحنة وشحنة الاختبار A. ويعبّر عن شدة المجال الكهربائي عند النقطة A؛ أي النقطة التي تمثل موقع شحنة الاختبار بالمعادلة الآتية:

شدة المجال الكهربائي

$$\boldsymbol{E} = \frac{\boldsymbol{F}_{q'}}{q'}$$

شدة المجال الكهربائي تساوي مقدار القوة المؤثرة في شحنة اختبار موجبة مقسومًا على مقدار تلك الشحنة.



الشكل 1–3 تُستخدم الأسهم لتمثيل مقدار المجال الكهربائي المتولّد حول شحنة كهربائية عند مواقع مختلفة، واتجاهه.

ويكون اتجاه شدة المجال الكهربائي في نفس اتجاه القوة المؤثرة في شحنة اختبار موجبة. وتقاس شدة المجال الكهربائي بوحدة نيوتن/ كولوم (N /C).

يمكن تكوين صورة لشدة المجال الكهربائي باستعمال الأسهم لتمثيل متجهات المجال عند مواقع مختلفة، كما هو موضح في **الشكل 1–3**؛ حيث يستخدم طول السهم لبيان شدة المجال، أما اتجاه السهم فيمثل اتجاه المجال. ولإيجاد شدة المجال الكهربائي الناشئ عن شحنتين عند نقطةٍ يتم إيجاد شدة المجال الكهربائي الناشئ عن كل شحنة على انفراد عند تلك النقطة، ثم يُجمع هذان المجالان جمعًا اتجاهيا. وتستخدم شحنة اختبار لرسم المجال الناشئ عن أي تجمّع للشحنات. ويوضح **الجدول 1–3** قيم شدة المجالات الكهربائية المثالية الناتجة عن تجمعات معينة للشحنات.

يجب قياس شدة المجال الكهربائي باستخدام شحنة اختبار صغيرة جدًّا فقط؛ وذلك لأن شحنة الاختبار تؤثر أيضًا بقوة في الشحنة q. ومن المهم ألّا تؤدي القوة التي تؤثر بها شحنة الاختبار إلى إعادة توزيع شحنات الموصل، مما يسبّب تحرك الشحنة q إلى موقع آخر عليه، فيؤدي ذلك إلى تغيّر القوة المؤثرة في q'، ومن ثَم تغيّر شدة المجال الكهربائي الذي يتم قياسه. لذا يجب أن تكون شحنة الاختبار صغيرة جدًّا، بحيث يمكن إهمال تأثيرها في الشحنة q.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

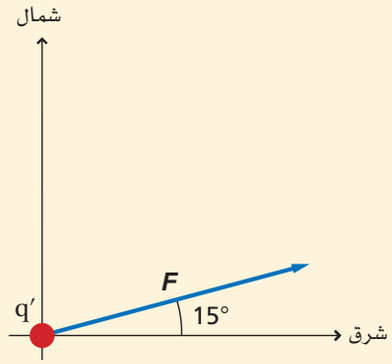
الجدول 1-3	
القيم التقريبية لمجالات كهربائية مثالية	
المجال	المقدار (N/C)
بالقرب من قضيب مطاط صلب ومشحون	1×10^{3}
في أنبوب الأشعة المهبطية في التلفاز	1×10^{5}
الضروري لإحداث شرارة كهربائية في الهواء	3×10^{6}
عند مدار إلكترون ذرة الهيدروجين	3×10^{11}

مثـــال 1

شدة المجال الكهربائي قِيس مجال كهربائي في الهواء باستخدام شحنة اختبار موجبة مقدارها $3.0\times10^{-6}\ C$، فتأثرت هذه الشحنة بقوة مقدارها $0.12\ N$ في اتجاه يميل بزاوية $15°$ شمال الشرق. ما مقدار واتجاه شدة المجال الكهربائي عند موقع شحنة الاختبار؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم شحنة الاختبار q'.
- حدّد نظام إحداثيات على أن يكون مركزه شحنة الاختبار.
- ارسم متجه القوة بزاوية $15°$ شمال الشرق.



المعلوم	المجهول
$q' = +3.0\times10^{-6}\ C$	$E = ?$
بزاوية $15°$ شمال الشرق، $F = 0.12\ N$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

دليل الرياضيات
إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

بالتعويض عن $F = 0.12\ N$، $q' = 3.0\times10^{-6}\ C$

$$E = \frac{F}{q'}$$
$$= \frac{0.12\ N}{3.0\times10^{-6}\ C}$$
$$= 4.0\times10^{4}\ N/C$$

إن كلًّا من القوة المؤثرة في شحنة الاختبار والمجال الكهربائي في الاتجاه نفسه.

ويميل بزاوية $15°$ شمال الشرق، $E = 4.0\times10^{4}\ N/C$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة قياس شدة المجال الكهربائي N/C.
- **هل للاتجاه معنى؟** اتجاه المجال في اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة نفسه؛ لأن شحنة الاختبار موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** شدة المجال تتفق مع القيم الموجودة في **الجدول 1-3**.

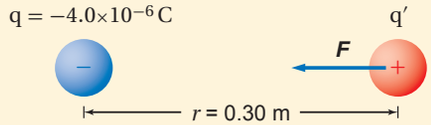
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مثـــــال 2

شدة المجال الكهربائي ما شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد 0.30 m تقع عن يمين كرة صغيرة مشحونة بشحنة مقدارها $-4.0\times10^{-6}\ C$؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الكرة، وبيّن شحنتها q وشحنة الاختبار q' على الرسم.
- حدّد المسافة بين الشحنتين، وسمِّها.
- ارسم متجه القوة المؤثرة في شحنة الاختبار q'، وسمِّه.



المعلوم	المجهول
$q=-4.0\times10^{-6}\ C$	$E=?$
$r=0.30\ m$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

إن مقدار كلٍّ من القوة وشحنة الاختبار مجهول، لذا استخدم قانون المجال الكهربائي وقانون كولوم معًا.

$$E=\frac{F}{q'}$$

بالتعويض عن $F=K\frac{qq'}{r^2}$

$$=K\frac{qq'}{r^2q'}$$

$$=K\frac{q}{r^2}$$

بالتعويض عن

$q=-4.0\times10^{-6}\ C$ ، $d=0.30\ m$

$K=9.0\times10^{9}\ N.m^2/C^2$

$$=(9.0\times10^{9}\ N.m^2/C^2)\frac{(-4.0\times10^{-6}\ C)}{(0.30\ m)^2}$$

$$=-4.0\times10^{5}\ N/C$$

$E=4.0\times10^{5}\ N/C$ في اتجاه الكرة أو في اتجاه اليسار

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** $(N.m^2/C^2)(C)/m^2=N/C$. تكون الوحدات الناتجة N/C وهي صحيحة لشدة المجال الكهربائي.
- **هل للاتجاهات معنى؟** تشير الإشارة السالبة إلى أن شحنة الاختبار الموجبة تنجذب إلى الشحنة النقطية السالبة.
- **هل الجواب منطقي؟** شدة المجال متفقة مع القيم الموجودة في **الجدول 1-3**.

مسائل تدريبية

1. يؤثر مجال كهربائي بقوة مقدارها $2.0\times10^{-4}\ N$ في شحنة اختبار موجبة مقدارها $5.0\times10^{-6}\ C$. ما شدة المجال الكهربائي عند موقع شحنة الاختبار؟
2. وُضِعت شحنة سالبة مقدارها $2.0\times10^{-8}\ C$ في مجال كهربائي، فتأثرت بقوة مقدارها 0.060 N في اتجاه اليمين. ما مقدار واتجاه شدة المجال الكهربائي عند موقع الشحنة؟
3. وُضِعت شحنة موجبة مقدارها $3.0\times10^{-7}\ C$ في مجال كهربائي شدته 27 N/C يتجه إلى الجنوب. ما مقدار القوة المؤثرة في الشحنة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

4. وُضِعت كرة بيلسان وزنها 2.1×10^{-3} N في مجال كهربائي شدته 6.5×10^{4} N /C، يتجه رأسيًّا إلى أسفل. ما مقدار الشحنة التي يجب أن توضع على الكرة ونوعها، بحيث توازِن القوة الكهربائية المؤثرة فيها قوة الجاذبية الأرضية، وتبقى الكرة معلّقة في المجال؟

5. يفحص زيد المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة مجهولة المقدار والنوع. فيرسم أولاً المجال بشحنة اختبار مقدارها 1.0×10^{-6} C، ثم يكرّر عمله بشحنة اختبار أخرى مقدارها 2.0×10^{-6} C.

   a. هل يحصل زيد على القوى نفسها في الموقع نفسه عند استخدام شحنتي الاختبار؟ وضّح إجابتك.

   b. هل يجد زيد أن شدة المجال هي نفسها عند استخدام شحنتي الاختبار؟ وضّح إجابتك.

6. ما مقدار المجال الكهربائي عند نقطة تبعد 1.2 m عن شحنة نقطية مقدارها $+4.2\times10^{-6}$ C؟

7. ما شدة المجال الكهربائي عند نقطة تقع على بُعد يساوي ضعف البعد عن الشحنة النقطية الواردة في المسألة السابقة؟

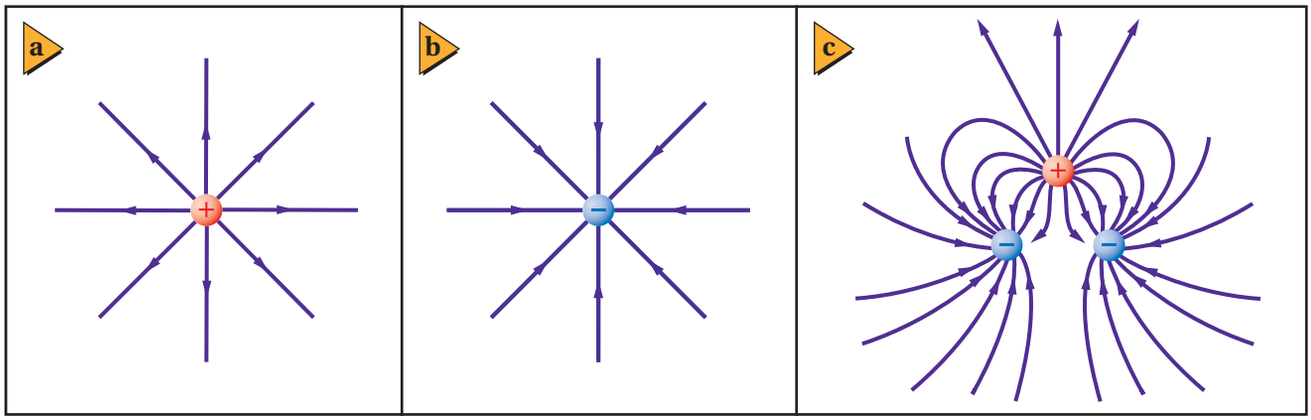
8. ما شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد 1.6 m إلى الشرق من شحنة نقطية مقدارها $+7.2\times10^{-6}$ C ؟

9. إذا كانت شدة المجال الكهربائي الناشئ على بُعد 0.25 m من كرة صغيرة مشحونة يساوي 450 N /C ويتجه نحو الكرة فما مقدار ونوع شحنة الكرة؟

10. على أي بُعد من شحنة نقطية مقدارها $+4.2\times10^{-6}$ C يجب وضع شحنة اختبار للحصول على مجال كهربائي شدته 360 N /C؟

حسبت حتى الآن المجال الكهربائي عند نقطة مفردة. تخيّل أنك حرّكت شحنة الاختبار إلى موقع آخر. احسب مرة أخرى القوة المؤثرة فيها، ثم احسب المجال الكهربائي. كرّر هذه العملية عدة مرات إلى أن تقيس الكمية المتجهة لشدة المجال الكهربائي وتعيّنه في كل موقع من الوسط أو الفراغ المحيط بالشحنة. سيكون المجال الكهربائي موجودًا عند أي نقطة حتى لو لم يكن عندها شحنة اختبار. وستتأثر أي شحنة توضع في مجال كهربائي بقوة ناتجة عن المجال الكهربائي في ذلك الموقع، حيث يعتمد مقدار هذه القوة على مقدار كلٍّ من المجال الكهربائي $\boldsymbol{E}$ والشحنة q الموضوعة في تلك النقطة؛ أي أن $\boldsymbol{F} = \boldsymbol{E}q$. ويعتمد اتجاه هذه القوة على اتجاه المجال وعلى نوع الشحنة المتأثِّرة q.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 2–3 رُسمت خطوط القوى بصورة متعامدة خارجة من جسم شحنته موجبة (a)، ورُسمت بصورة متعامدة داخلة إلى جسم شحنته سالبة (b). ورُسمت خطوط المجال الكهربائي بين جسمين سالبي الشحنة وآخر شحنته موجبة (c).

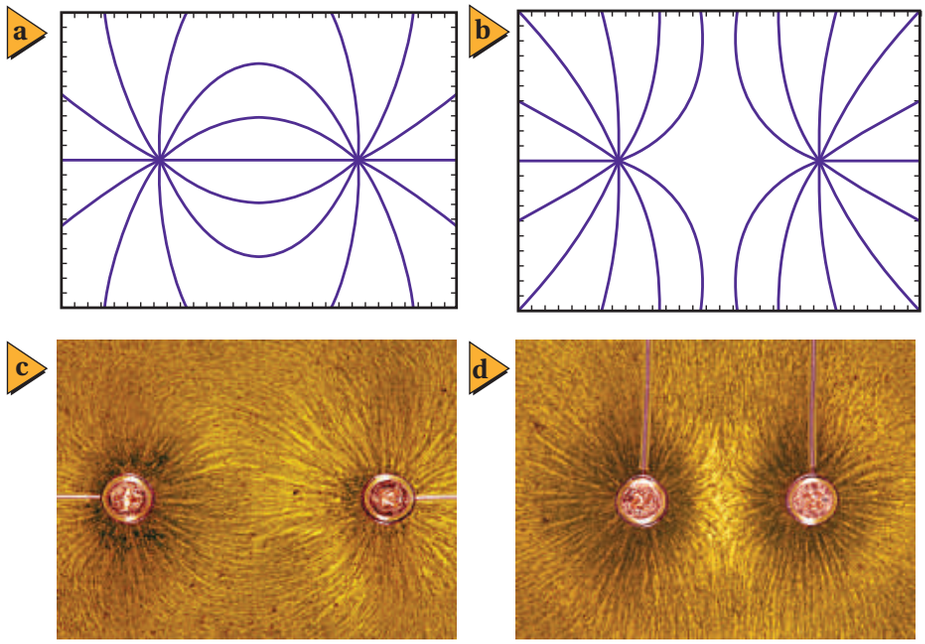
تمثيل المجال الكهربائي Picturing the Electric Field

يُظهر الرسم في **الشكل 2–3** شكل خطوط المجال الكهربائي. وكل خط من هذه الخطوط المستخدمة لتمثيل المجال الكهربائي الفعلي في الفراغ أو الوسط المحيط بالشحنة يسمى **خط المجال الكهربائي**. ويكون اتجاه المجال الكهربائي عند أي نقطة هو اتجاه المماس المرسوم على خط المجال عند تلك النقطة. وتشير المسافات الفاصلة بين خطوط المجال الكهربائي إلى شدة المجال الكهربائي؛ فكلما كانت هذه الخطوط متقاربة كان المجال الكهربائي أقوى، وكلما كانت الخطوط متباعدة كان المجال الكهربائي أضعف. وقد مُثّلت خطوط المجال هنا في بُعدين، إلا أنها – في الحقيقة – تنتشر في ثلاثة أبعاد.

يكون اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة اختبار موجبة موضوعة بالقرب من شحنة موجبة في اتجاه الخط المبتعد عن الشحنة الموجبة؛ أي في اتجاه الخط الخارج منها. لذا تنتشر خطوط المجال شعاعيًّا إلى الخارج كما هو موضّح في **الشكل 2a–3** مثل أسلاك عجلات الدراجة الهوائية. أما اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة اختبار موجبة موضوعة بالقرب من شحنة سالبة فهو في اتجاه الخط المقترب من الشحنة السالبة؛ أي في اتجاه الخط الداخل إليها، كما هو موضح في **الشكل 2b–3**. وفي حالة وجود شحنتين أو أكثر يكون المجال الناتج عبارة عن الجمع الاتجاهي للمجالات الناتجة عن هذه الشحنات، وعندها تصبح خطوط المجال منحنية وأنماطها أكثر تعقيدًا، كما هو موضح في **الشكل 2c–3**. لاحظ أن خطوط المجال الكهربائي تخرج دائمًا من الشحنة الموجبة وتدخل إلى الشحنة السالبة، ولا يمكن أن تتقاطع مطلقًا.

هناك طريقة أخرى لتمثيل خطوط المجال الكهربائي تتلخص في استخدام بذور أعشاب في سائل عازل، مثل الزيت المعدني. حيث تؤدي القوى الكهربائية إلى فصل الشحنة التي على كل بذرة أعشاب طويلة ورفيعة، مما يسبب دوران البذور بحيث تصطف في اتجاه المجال الكهربائي، ومن ثم تشكل نمطًا لخطوط المجال الكهربائي، كما هو موضح في **الشكل 3–3**. وخطوط المجال الكهربائي خطوط وهميّة لا وجود لها في الواقع، وهي وسيلة لتقديم نموذج للمجال الكهربائي. أما المجالات الكهربائية فهي موجودة،

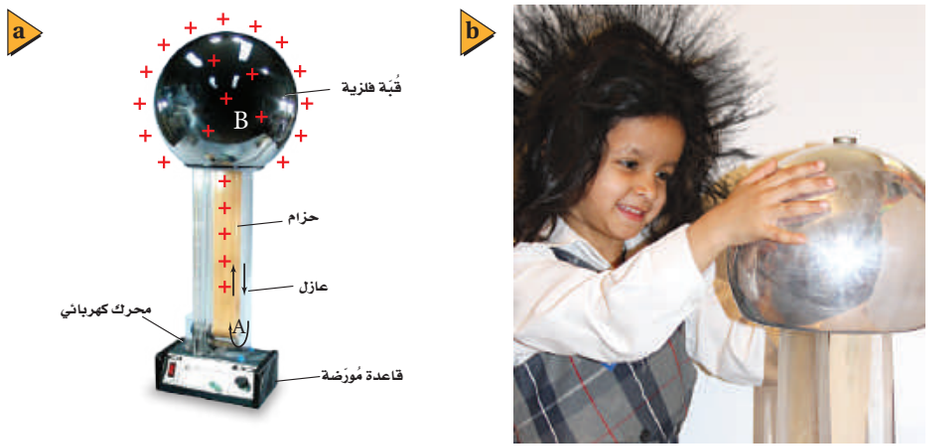
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 3–3 تصف خطوط القوة بين الشحنات المختلفة (a وc)، وبين الشحنات المتشابهة (b وd) سلوك جسم مشحون بشحنة موجبة في مجال كهربائي. والصورتان في الأعلى (b و a) رسم تصويري لخطوط المجال الكهربائي للصورتين السفليين تم تنفيذه بالحاسوب.

وعلى الرغم من أنها توفّر طريقة لحساب القوة المؤثرة في جسم مشحون إلا أنها لا توضح لماذا تؤثر الأجسام المشحونة بعضها في بعض بقوًى.

ابتكر روبرت فان دي جراف في ثلاثينيات القرن العشرين مولّد الكهرباء الساكنة ذا الفولتية الكبيرة الموضح في **الشكل 3–4a**. وهو جهاز يعمل على نقل كميات كبيرة من الشحنة الكهربائية من جزء محدّد من الآلة إلى طرفها العلوي الفلزي. ويتم ذلك بنقل الشحنة إلى حزام متحرك عند قاعدة الجهاز عند الموضع A، ثم تنتقل هذه الشحنات من الحزام إلى القبة الفلزية في الأعلى عند الموضع B. ويبذل المحرك الكهربائي الشغل اللازم لزيادة فرق الجهد الكهربائي. ويُشحن الشخص كهربائيًّا عندما يلمس قُبّة مولّد فان دي جراف الفلزية؛ حيث تؤدي هذه الشحنات إلى تنافر شعر الشخص بعضه عن بعض، مسببًا تغيّر اتجاهه، فيصبح اتجاه الشعر في اتجاه خطوط المجال الكهربائي، كما هو موضح في **الشكل 3–4b**.



الشكل 3–4 في مولّد فان دي جراف (a)، تنتقل الشحنات إلى الحزام المتحرك عند النقطة A، ثم تنتقل من الحزام المتحرك إلى القبّة الفلزية عند B. ويبذل المحرك الكهربائي الشغل اللازم لزيادة فرق الجهد الكهربائي. وعندما يلمس شخص قبّة مولّد فان دي جراف تكون النتائج مثيرة (b).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

11. **قياس المجالات الكهربائية** افترض أنه طلب إليك قياس المجال الكهربائي في مكان أو فضاء معين، فكيف تستكشف وجود المجال عند نقطة معينة في ذلك الفضاء؟ وكيف تحدّد مقدار المجال؟ وكيف تختار مقدار شحنة الاختبار؟ وكيف تحدِّد اتجاه المجال؟

12. **شدة المجال واتجاهه** تؤثر قوة كهربائية مقدارها $1.50\times10^{-3}\ N$ في اتجاه الشرق في شحنة اختبار موجبة مقدارها $2.40\times10^{-8}\ C$، أوجد المجال الكهربائي في موقع شحنة الاختبار.

13. **خطوط المجال الكهربائي** في **الشكل 3–3**، هل يمكنك تحديد أيّ الشحنتين موجبة، وأيّهما سالبة؟ ماذا تضيف لإكمال خطوط المجال؟

14. **المجال مقابل القوة** كيف يختلف تأثير المجال الكهربائي E في شحنة اختبار عن تأثير القوة F في شحنة الاختبار نفسها؟

15. **التفكير الناقد** افترض أن الشحنة العلوية في **الشكل 3–2c** هي شحنة اختبار موضوعة في ذلك المكان؛ لقياس محصلة المجال الناشئ عن الشحنتين السالبتين. هل الشحنة صغيرة بدرجة كافية للقيام بعملية القياس بدقة؟ وضّح إجابتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

3–2 تطبيقات المجالات الكهربائية Applications of Electric Fields

إن مفهوم الطاقة مفيد جدًّا في الميكانيكا، كما تعلمت من قبل. ويُمكِّننا قانون حفظ الطاقة من حل مسائل الحركة بغير حاجة إلى معرفة تفاصيل القوى المؤثرة. وينطبق الشيء نفسه على دراسة التفاعلات الكهربائية؛ فقد يؤدي الشغل المبذول في تحريك جسيم مشحون في مجال كهربائي إلى اكتساب هذا الجسيم طاقة وضع كهربائية أو طاقة حركية أو كليهما. ولأن موضوعات هذا الفصل تستقصي الشحنات الساكنة لذا سيتم مناقشة التغير في طاقة الوضع فقط.

الأهداف

- **تُعرّف** فرق الجهد الكهربائي.
- **تحسب** فرق الجهد من خلال الشغل اللازم لتحريك شحنة.
- **تصف** كيفية توزيع الشحنات على الموصلات المصمتة والجوفاء.
- **تحل** بعض المسائل على السعة الكهربائية.

المفردات

فرق الجهد الكهربائي
الفولت
سطح تساوي الجهد
المكثف الكهربائي
السعة الكهربائية

الطاقة والجهد الكهربائيان Energy and Electric Potential

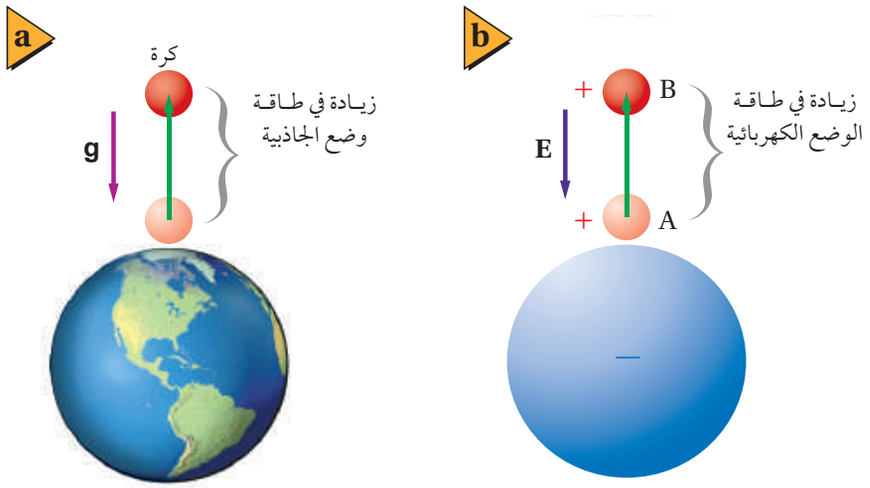
تذكّر التغير في طاقة وضع الجاذبية لكرة عند رفعها، كما هو موضّح في **الشكل 5–3**. إن كلًّا من قوة الجاذبية F ومجال الجاذبية $g = \frac{F}{m}$ يتجه نحو الأرض. فإذا رفعت كرة في اتجاه معاكس لاتجاه قوة الجاذبية فإنك تبذل شغلًا عليها، مما يؤدي إلى زيادة طاقة وضعها.

وهذه الحالة مماثلة لحالة شحنتين مختلفتين في النوع؛ حيث تجذب كل منهما الأخرى، لذا يجب أن تبذل شغلًا لسحب إحدى الشحنتين وإبعادها عن الأخرى. وعندما تبذل ذلك الشغل تكون قد نقلت طاقة إلى الشحنة، حيث تختزن هذه الطاقة فيها على شكل طاقة وضع كهربائية، وكلما زاد مقدار الشحنة كانت الزيادة في طاقة وضعها الكهربائية ΔPE أكبر.

على الرغم من اعتماد القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة الاختبار q' على مقدارها ، إلا أن المجال الكهربائي في موقعها لا يعتمد عليه؛ حيث إن المجال الكهربائي $E = \frac{F}{q'}$ هو القوة لكل وحدة شحنة. وبطريقة مشابهة يُعرّف **فرق الجهد الكهربائي** ΔV بين نقطتين بأنه الشغل المبذول لتحريك شحنة اختبار موجبة بين نقطتين داخل مجال كهربائي مقسومًا على مقدار تلك الشحنة. أي الشغل المبذول لكل وحدة شحنة.

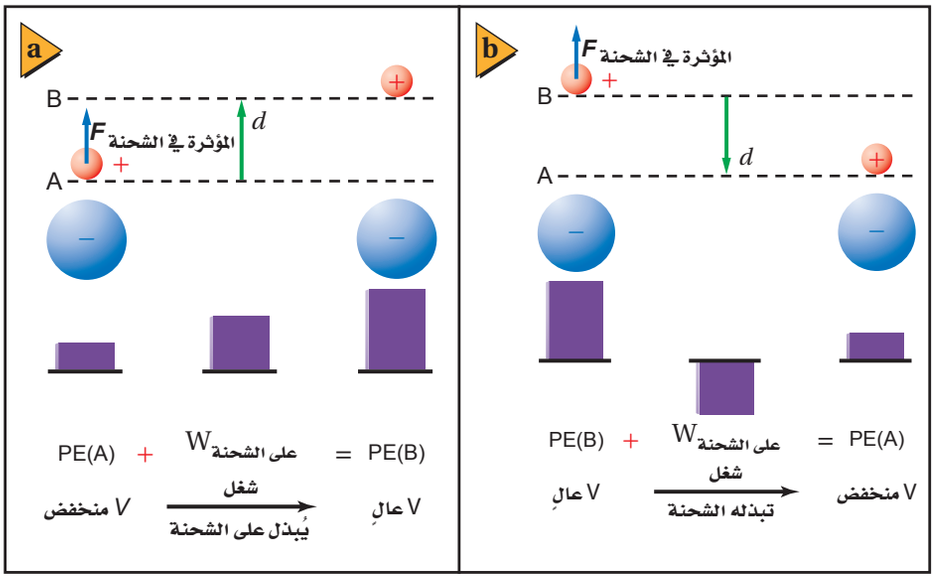
فرق الجهد الكهربائي $\Delta V = \frac{W_{q'}}{q'}$

الفرق في الجهد الكهربائي هو النسبة بين الشغل اللازم لتحريك شحنة ومقدار تلك الشحنة.



الشكل 5–3 هناك حاجة إلى بذل شغل لتحريك جسم في اتجاه معاكس لاتجاه قوة الجاذبية الأرضية (a)، وفي اتجاه معاكس لاتجاه القوة الكهربائية (b). وفي كلتا الحالتين ستزداد طاقة وضع الجسم.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 6–3 يُحسب فرق الجهد الكهربائي من خلال قياس الشغل المبذول لكل وحدة شحنة. يزداد فرق الجهد الكهربائي عند إبعاد الشحنات المختلفة بعضها عن بعض (**a**). ويقل فرق الجهد الكهربائي عند تقريب الشحنات المختلفة بعضها إلى بعض (**b**).

ويقاس فرق الجهد الكهربائي بوحدة جول لكل كولوم، ويسمّى الجول الواحد لكل كولوم **الفولت**، ويعبَّر عنه بالرموز $V = J/C$.

ادرس الحالة الموضّحة في **الشكل 6-3**، حيث تُولّد الشحنة السالبة مجالًا كهربائيًّا متجهًا نحوها. افترض أنك وضعت شحنة اختبار صغيرة موجبة عند النقطة A، ستتأثر عندها الشحنة بقوة في اتجاه المجال. وإذا حرّكت الآن شحنة الاختبار الموجبة بعيدًا عن الشحنة السالبة إلى النقطة B، كما هو موضّح في **الشكل 6a–3**، فعليك التأثير فيها بقوة ***F***. ولأن اتجاه القوة التي أثرت بها في شحنة الاختبار في اتجاه الإزاحة نفسه لذا يكون الشغل الذي بذلته على هذه الشحنة موجبًا. وسيكون التغير في فرق الجهد الكهربائي موجبًا أيضًا؛ فالتغير في فرق الجهد الكهربائي لا يعتمد على مقدار شحنة الاختبار، بل على المجال الكهربائي والإزاحة فقط.

افترض أنك حرّكت شحنة الاختبار مرة أخرى من النقطة B إلى النقطة A كما هو موضّح في **الشكل 6b–3**، فسيكون اتجاه القوة التي تؤثر بها في عكس اتجاه الإزاحة، لذا يكون الشغل الذي تبذله سالبًا. وسيكون فرق الجهد الكهربائي سالبًا أيضًا ومساويًا ومعاكسًا لفرق الجهد الكهربائي عند نقل الشحنة من النقطة A إلى النقطة B. ولا يعتمد فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين على المسار الذي يُسلك للحركة من نقطة إلى أخرى، بل يعتمد على موقع النقطتين.

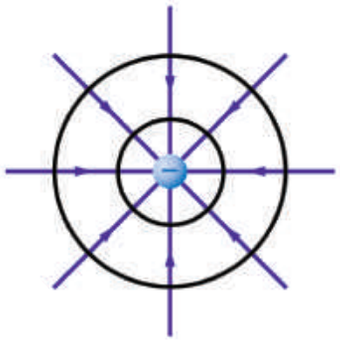
هل هناك دائمًا فرق جهد كهربائي بين نقطتين؟ افترض أنك حرّكت شحنة الاختبار في مسار دائري حول الشحنة السالبة. ويُحدث المجال الكهربائي قوة يؤثر بها في شحنة الاختبار ويكون المجال دائمًا عموديًّا على اتجاه حركة القوة، ولذلك لا تبذل شغلاً في تحريك الشحنة، لذا فإن فرق الجهد الكهربائي بين أي نقطتين على المسار الدائري يساوي

تطبيق الفيزياء

الكهرباء الساكنة تحتوي الأجهزة الإلكترونية الحديثة - ومنها الحواسيب الشخصية - على أجزاء يمكن أن تتلف بسهولة نتيجة تفريغ الكهرباء الساكنة. ولحماية هذه الأجزاء الحساسة من الأضرار التي قد تنتج خلال الصيانة، على الفني ارتداء سوار فلزي حول معصمه، على أن يكون السوار متصلًا بسلك، وأن يتصل الطرف الآخر للسلك بقطعة فلزية مؤرَّضة؛ حيث يعمل السوار الفلزي على تفريغ الشحنات الزائدة على الفني في الأرض، ويزيل أي فرق جهد كهربائي قد يتكون مع المعدات المؤرَّضة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

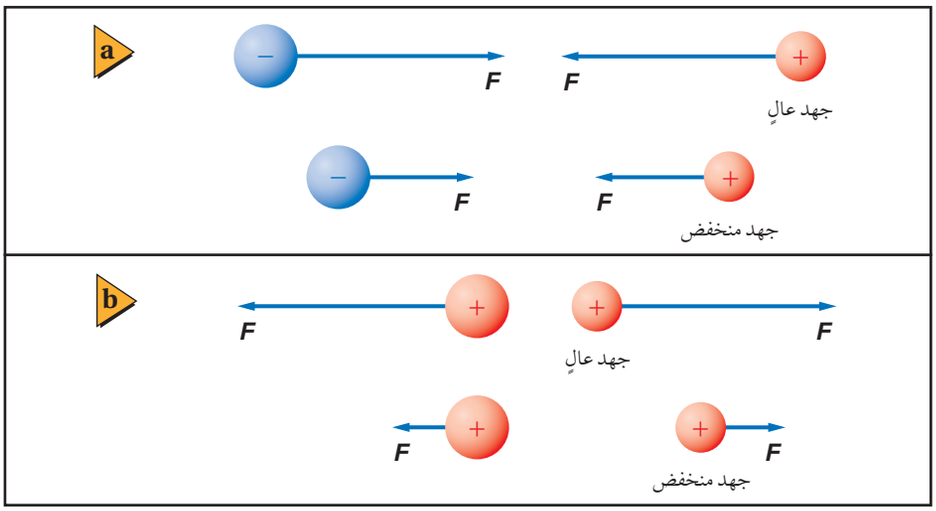
صفرًا. وعندما يكون فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين أو أكثر يساوي صفرًا نسمي هذه النقاط **سطح تساوي الجهد**، كما هو موضح في **الشكل 7-3**.



الشكل 7-3 فرق الجهد الكهربائي بين أي نقطتين على أي مسار دائري حول شحنة يساوي صفر.

يمكن قياس التغيرات في طاقة الوضع الكهربائية فقط. وينطبق الشيء نفسه على الجهد الكهربائي، لذا تكون التغيرات في الجهد الكهربائي هي المهمة فقط. ويعرّف فرق الجهد الكهربائي عند الحركة من النقطة A إلى النقطة B على أنه $\Delta V = V_B - V_A$، ويقاس بجهاز الفولتمتر. ويُسمّى فرق الجهد الكهربائي أحيانًا الجهد الكهربائي أو الفولتية؛ وذلك على سبيل التبسيط. ويجب التفريق بين فرق الجهد الكهربائي ΔV ووحدة قياسه فولت V.

عرفت أن فرق الجهد الكهربائي يزداد عند إبعاد شحنة اختبار موجبة عن شحنة سالبة، والآن ماذا يحدث عند إبعاد شحنة اختبار موجبة عن شحنة موجبة؟ هناك قوة تنافر بين هاتين الشحنتين، وعند إبعاد شحنة الاختبار الموجبة عن الشحنة الموجبة تقل طاقة وضعها الكهربائية. لذا يكون الجهد الكهربائي أقل عند النقاط البعيدة عن الشحنة الموجبة، كما هو موضح في **الشكل 8-3**.



الشكل 8-3 في أثناء تقريب شحنة اختبار إلى شحنة مخالفة لها في النوع يقل الجهد عند مواقع شحنة الاختبار (**a**)، في حين يزداد الجهد عند مواقع شحنة الاختبار في أثناء تقريبها إلى شحنة مماثلة لها في النوع (**b**).

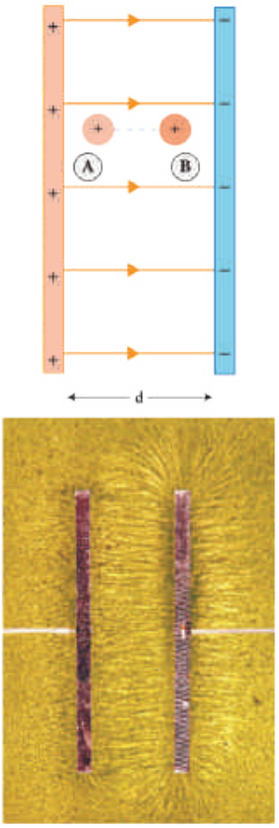
تعلمت سابقًا أنه يمكن تعريف مقدار طاقة الوضع لنظام ما بأنها تساوي صفرًا عند أي نقطة إسناد. وبالطريقة نفسها يمكن تعريف مقدار الجهد الكهربائي لأي نقطة بأنه يساوي صفرًا. وسيكون مقدار فرق الجهد الكهربائي بين النقطة A والنقطة B هو نفسه دائمًا، بغض النظر عن نقطة الإسناد المختارة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الجهد الكهربائي في مجال كهربائي منتظم
The Electric Potential in a Uniform Field

يمكننا الحصول على قوةٍ كهربائية ثابتة ومجالٍ كهربائي منتظم بوضع لوحين موصلين مستويين أحدهما موازٍ للآخر، على أن يُشحن أحدهما بشحنة موجبة، ويُشحن الآخر بشحنة سالبة. يكون المجال الكهربائي بين اللوحين ثابتًا مقدارًا واتجاهًا عند النقاط جميعها ما عدا النقاط التي تكون عند حواف اللوحين، ويكون اتجاه المجال الكهربائي من اللوح الموجب إلى اللوح السالب. ويُمثّل النمط المُتشكّل من بذور الأعشاب الموضّح في **الشكل 9–3** المجال الكهربائي بين لوحين متوازيين.

إذا حُرّكت شحنة اختبار موجبة q' مسافة d في عكس اتجاه المجال الكهربائي من النقطة B إلى النقطة A كما هو موضح في **الشكل 9–3** فإنه يمكننا حساب الشغل المبذول عليها بالعلاقة الآتية: $W_{\text{على } q'} = Fd$. لذا يكون فرق الجهد الكهربائي؛ أي الشغل المبذول لكل وحدة شحنة، مساويًا d $\frac{F}{q'}$ $= \frac{Fd}{q'}$ $\Delta V =$. ولكن شدة المجال الكهربائي هي القوة لكل وحدة شحنة $E = \frac{F}{q'}$، لذا يُعبّر عن فرق الجهد الكهربائي (ΔV) بين نقطتين المسافة بينهما d في مجال كهربائي منتظم E بالمعادلة الآتية:



الشكل 9–3 تمثيل لمجال كهربائي بين لوحين متوازيين.

فرق الجهد الكهربائي في مجال كهربائي منتظم $\Delta V = Ed$

فرق الجهد الكهربائي في مجال كهربائي منتظم يساوي حاصل ضرب شدة المجال الكهربائي في المسافة التي تحركتها الشحنة.

يزداد الجهد الكهربائي كلما تحركنا في اتجاه معاكس لاتجاه المجال الكهربائي؛ أي أن الجهد الكهربائي لشحنة اختبار موجبة يكون أكبر بالقرب من اللوح الموجب. وباستخدام تحليل الوحدات يكون حاصل ضرب وحدة E في وحدة d هو (N /C) (m)، وهذا يكافئ 1 J /C، الذي يُعدّ تعريفًا لـ 1 V.

مثـــال 3

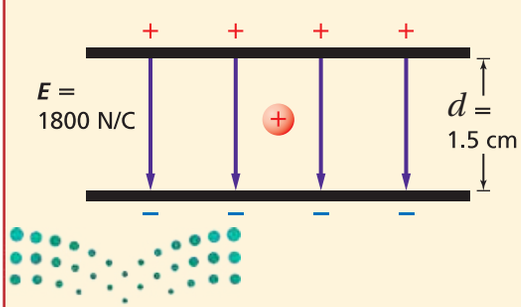
الشغل المبذول لنقل بروتون بين لوحين متوازيين مشحونين لوحان متوازيان مشحونان المسافة بينهما 1.5 cm، ومقدار المجال الكهربائي بينهما 1800 N /C. احسب مقدار:

a. فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين.

b. الشغل المبذول لنقل بروتون من اللوح السالب الشحنة إلى اللوح الموجب الشحنة.

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم اللوحين على أن يكون البعد بينهما 1.5 cm
- ميّز اللوحين بوضع شحنات موجبة على أحدهما، وشحنات سالبة على الآخر.
- ارسم خطوط المجال الكهربائي، على أن تكون المسافات بين هذه الخطوط متساوية، وأن تتجه الخطوط من اللوح الموجب إلى اللوح السالب.
- بيّن شدة المجال الكهربائي بين اللوحين على الرسم.
- ضع بروتونًا في المجال الكهربائي.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المعلوم	المجهول
$E = 1800\ \text{N/C}$	$\Delta V = ?$
$d = 1.5\ \text{cm}$	$W = ?$
$q = 1.60\times10^{-19}\ \text{C}$	

دليل الرياضيات
إجراء العمليات الرياضية بتعبيراتها العلمية

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. أوجد فرق الجهد بين اللوحين.

بالتعويض عن $E = 1800\ \text{N/C}$، $d = 0.015\ \text{m}$

$$\Delta V = Ed$$
$$= (1800\ \text{N/C})(0.015\ \text{m})$$
$$= 27\ \text{V}$$

b. استخدم معادلة فرق الجهد لحساب الشغل.

بالتعويض عن $q = 1.60\times10^{-19}\ \text{C}$، $\Delta V = 27\ \text{V}$

$$\Delta V = \frac{W}{q}$$
$$W = q\Delta V$$
$$= (1.60\times10^{-19}\ \text{C})(27\ \text{V})$$
$$= 4.3\times10^{-18}\ \text{J}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** $(\text{N/C})(\text{m}) = \text{N.m/C} = \text{J/C} = \text{V}$، ستكون الوحدة الناتجة هي الفولت، ووحدة الشغل هي $\text{C.V} = \text{C(J/C)} = \text{J}$.
- **هل للإشارات معنى؟** يجب أن يبذل شغل موجب لنقل شحنة موجبة إلى اللوح الموجب.
- **هل الجواب منطقي؟** سيكون الشغل المبذول قليلًا لنقل مثل هذه الشحنة الصغيرة ضمن فرق جهد قليل.

مسائل تدريبية

16. شدة المجال الكهربائي بين لوحين فلزيين واسعين متوازيين ومشحونين $6000\ \text{N/C}$، والمسافة بينهما $0.05\ \text{m}$. احسب فرق الجهد الكهربائي بينهما.

17. إذا كانت قراءة فولتمتر متصل بلوحين متوازيين مشحونين $400\ \text{V}$ عندما كانت المسافة بينهما $0.020\ \text{m}$، فاحسب شدة المجال الكهربائي بينهما.

18. عندما طُبّق فرق جهد كهربائي مقداره $125\ \text{V}$ على لوحين متوازيين تولّد بينهما مجال كهربائي شدته $4.25\times10^{3}\ \text{N/C}$. ما البعد بين اللوحين؟

19. ما الشغل المبذول لتحريك شحنة $3.0\ \text{C}$ خلال فرق جهد كهربائي مقداره $1.5\ \text{V}$؟

20. يمكن لبطارية سيارة جهدها $12\ \text{V}$ ومشحونة بصورة كاملة أن تختزن شحنة مقدارها $1.44\times10^{6}\ \text{C}$. ما مقدار الشغل الذي يمكن أن تبذله البطارية قبل أن تحتاج إلى إعادة شحنها؟

21. يتحرك إلكترون خلال أنبوب الأشعة المهبطية لتلفاز، فتعرّض لفرق جهد مقداره $18000\ \text{V}$. ما مقدار الشغل المبذول على الإلكترون عند عبوره فرق الجهد هذا؟

22. إذا كانت شدة المجال الكهربائي في مُسارع جسيمات يساوي $4.5\times10^{5}\ \text{N/C}$، فما مقدار الشغل المبذول لتحريك بروتون مسافة $25\ \text{cm}$ خلال هذا المجال؟

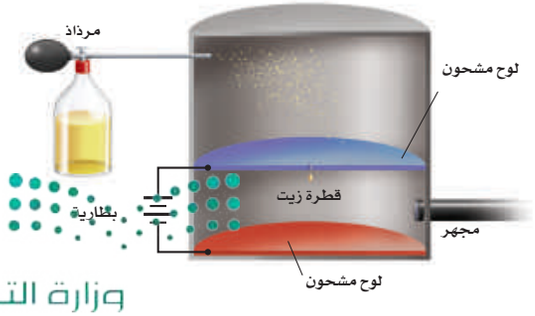
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تجربة قطرة الزيت لملّيكان
Millikan's Oil–Drop Experiment

يُعدّ قياس شحنة الإلكترون من أهم التطبيقات على المجال الكهربائي المنتظم بين لوحين متوازيين. وأول من قاس شحنة الإلكترون بهذه الطريقة الفيزيائي الأمريكي روبرت ملّيكان عام 1909م. ويبين **الشكل 10–3** الطريقة التي استخدمها ملّيكان لقياس الشحنة التي يحملها إلكترون مفرد. في البداية يُرش في الهواء قطرات زيت دقيقة بمرذاذ، فتُشحن هذه القطرات بسبب احتكاكها بالمرذاذ عند رشّها، وتؤثر الجاذبية الأرضية في هذه القطرات مسبّبة سقوطها إلى أسفل، فيدخل بعض هذه القطرات في الفتحة الموجودة في اللوح العلوي داخل الجهاز. ومن ثم يُطبّق فرق جهد كهربائي بين اللوحين، ليؤثر المجال الكهربائي الناشئ بين اللوحين بقوة في القطرات المشحونة. وعندما يُصبح اللوح العلوي موجبًا بدرجة كافية تُسبّب القوة الكهربائية ارتفاع القطرات المشحونة بشحنة سالبة إلى أعلى. ويتم ضبط فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين؛ لتعليق قطرة زيت مشحونة في الهواء بين اللوحين. وعند هذه اللحظة تكون قوة مجال الجاذبية الأرضية المؤثرة في هذه القطرة إلى أسفل مساوية في المقدار للقوة الناتجة عن المجال الكهربائي، المؤثرة في القطرة إلى أعلى.

لقد تم تحديد مقدار المجال الكهربائي E من خلال فرق الجهد بين اللوحين. ويتعين إجراء قياس آخر لإيجاد وزن القطرة باستخدام العلاقة mg، والذي يكون صغيرًا جدًّا بحيث لا يمكن قياسه بالطرائق العادية. ولإجراء هذا القياس تم تعليق القطرة أولاً، ثم إيقاف المجال الكهربائي بين اللوحين، وقِيس معدل سقوط القطرة؛ حيث تصل القطرة إلى السرعة الحدية خلال زمن قصير بسبب الاحتكاك مع جزيئات الهواء. وتعتمد هذه السرعة على كتلة القطرة من خلال معادلة معقدة. ويمكن حساب مقدار الشحنة q باستخدام السرعة الحدية المقيسة لحساب المقدار mg، وبمعرفة مقدار المجال الكهربائي E.

شحنة الإلكترون وجد ملّيكان قدرًا كبيرًا من الاختلاف في شحنات القطرات، فعندما استخدم الأشعة السينية (X rays) من أجل تأيين الهواء وإضافة إلكترونات إلى القطرات أو إزالتها عنها، لاحظ أن التغير في مقدار الشحنة على القطرات يكون دائمًا مضروبًا في المقدار $1.60\times10^{-19}\,C$. وكان سبب التغيرات إضافة إلكترون واحد أو أكثر إلى القطرات، أو إزالته منها. ومن هنا استنتج أن أقل تغيّر حدث في مقدار الشحنة كان يساوي مقدار شحنة إلكترون واحد، لذا افترض أن كل إلكترون له دائمًا الشحنة نفسها وهي $1.60\times10^{-19}\,C$. وقد بيّنت تجربة مليكان أن الشحنة مكمّاة؛ وهذا يعني أن شحنة أيّ جسم هي فقط مضاعفات صحيحة لشحنة الإلكترون.



الشكل 10–3 يوضّح هذا الشكل مقطعًا عرضيًّا للجهاز الذي استخدمه ملّيكان في حساب شحنة الإلكترون.

تجربة

المجالات الكهربائية

اربط كرة بيلسان بخيط نايلون طوله 20 cm، واربط الطرف الآخر في منتصف ماصة عصير بلاستيكية. أمسك الماصة أفقيًّا، وتحقق من أن الكرة معلقة ومتدلية رأسيًّا إلى أسفل. ثم استخدم قطعة صوف لشحن كل من الكرة ولوح بلاستيكي مربع الشكل أبعاده $30\ cm \times 30\ cm$ بالدلك، وثبّت اللوح البلاستيكي رأسيًّا، ثم أمسك الماصة ولامس الكرة لقطعة الصوف.

1. **توقع** ماذا يحدث عند تقريب الكرة من اللوح البلاستيكي؟
2. **اختبر** توقعك بتقريب الكرة ببطء إلى اللوح البلاستيكي.
3. **توقع** سلوك الكرة في مواقع مختلفة حول اللوح، واختبر توقعاتك.
4. **لاحظ** زاوية ميلان الخيط عند تحريك الكرة إلى مناطق مختلفة حول اللوح.

التحليل والاستنتاج

5. **وضّح** بدلالة المجال الكهربائي، لماذا تتأرجح الكرة في اتجاه اللوح البلاستيكي المشحون؟
6. **قارن** بين زوايا ميلان الخيط في نقاط متعددة حول اللوح، ولماذا تتغير زوايا الميلان؟
7. **استنتج** ما الذي تشير إليه زاوية ميلان الخيط فيما يتعلق بشدة المجال الكهربائي واتجاهه؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

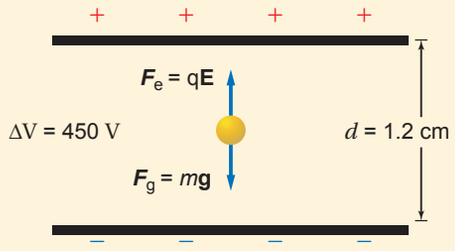
مثـــــال 4

إيجاد شحنة قطرة زيت في تجربة قطرة الزيت لملّيكان، وُجِد أن وزن قطرة زيت $2.4\times10^{-14}\ \text{N}$، والمسافة بين اللوحين $1.2\ \text{cm}$، وعندما أصبح فرق الجهد بين اللوحين $450\ \text{V}$ تعلّقت قطرة الزيت في الهواء بلا حركة.

a. ما مقدار شحنة قطرة الزيت؟

b. إذا كانت شحنة اللوح العلوي موجبة فما عدد فائض الإلكترونات على قطرة الزيت؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم اللوحين وقطرة الزيت معلّقة بينهما.
- ارسم المتجهات التي تمثّل القوى، وسمِّها.
- بيّن فرق الجهد والمسافة بين اللوحين.

المعلوم	المجهول
$\Delta V = 450\ \text{V}$	شحنة قطرة الزيت ؟ $= q$
$F_g = 2.4\times10^{-14}\ \text{N}$	عدد الإلكترونات ؟ $= n$
$d = 1.2\ \text{cm}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. لتعليق قطرة الزيت في الهواء يجب أن تُوازِن القوةُ الكهربائية قوةَ الجاذبية الأرضية.

دليل الرياضيات
فصل المتغير

$$F_e = F_g$$

بالتعويض عن $F_e = qE$

$$qE = F_g$$

بالتعويض عن $E = \frac{\Delta V}{d}$

$$\frac{q\Delta V}{d} = F_g$$

حل لإيجاد q:

$$q = \frac{F_g d}{\Delta V}$$

بالتعويض عن $\Delta V = 450\ \text{V}$ ، $d = 0.012\ \text{m}$ ، $F_g = 2.4\times10^{-14}\ \text{N}$

$$= \frac{(2.4\times10^{-14}\ \text{N})(0.012\ \text{m})}{450\ \text{V}}$$

$$= 6.4\times10^{-19}\ \text{C}$$

b. لإيجاد عدد الإلكترونات على القطرة:

$$n = \frac{q}{e}$$

بالتعويض عن $q = 6.4\times10^{-19}\ \text{C}$ ، $e = 1.6\times10^{-19}\ \text{C}$

$$= \frac{(6.4\times10^{-19}\ \text{C})}{(1.6\times10^{-19}\ \text{C})}$$

$$= 4$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة الشحنة $\text{C} = (\text{J}/\text{C})/\text{J} = \text{N.m}/\text{V}$.
- **هل الجواب منطقي؟** النتيجة عدد صحيح وصغير من مضاعفات الشحنة الأساسية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسائل تدريبية

23. تسقط قطرة زيت في جهاز ملّيكان مع عدم وجود مجال كهربائي. ما القوى المؤثرة فيها؟ وإذا سقطت القطرة بسرعة متجهة ثابتة فصِف القوى المؤثرة فيها.

24. إذا عُلّقت قطرة زيت وزنها $1.9\times10^{-15}\ N$ في مجال كهربائي شدته $6.0\times10^{3}\ N/C$ فما مقدار شحنة القطرة؟ وما عدد فائض الإلكترونات التي تحملها القطرة؟

25. قطرة زيت وزنها $6.4\times10^{-15}\ N$ تحمل إلكترونًا فائضًا واحدًا. ما شدة المجال الكهربائي اللازم لتعليق القطرة ومنعها من الحركة؟

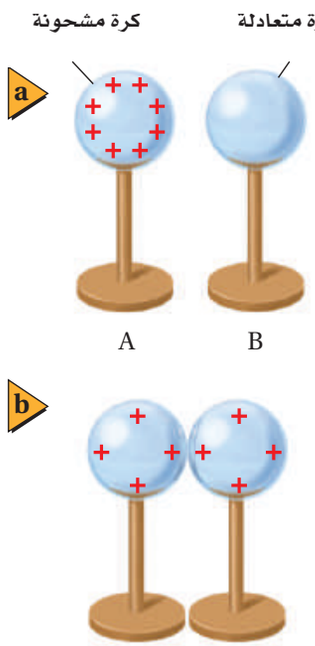
26. عُلّقت قطرة زيت مشحونة بشحنة موجبة وزنها $1.2\times10^{-14}\ N$ بين لوحين متوازيين البعد بينهما $0.64\ cm$. إذا كان فرق الجهد بين اللوحين $240\ V$ فما مقدار شحنة القطرة؟ وما عدد الإلكترونات التي فقدتها لتكتسب هذه الشحنة؟

توزيع الشحنات Sharing of Charges

يؤول أيّ نظام إلى الاتزان عندما تصبح طاقته أقل ما يمكن. فإذا وضعت كرة على قمة تل مثلًا فإنها تصل في النهاية إلى قاع الوادي وتستقر هناك؛ حيث تكون طاقة وضع الجاذبية لها عندئذٍ أقل ما يمكن. ويفسر المبدأ نفسه ما يحدث عند تلامس كرة فلزية معزولة ومشحونة بشحنة موجبة مع كرة فلزية أخرى غير مشحونة، كما هو موضّح في **الشكل 11–3**.

إن الشحنات الفائضة على الكرة A يتنافر بعضها مع بعض، لذا فعندما تلامس الكرة المتعادلة B سطح الكرة A يكون هناك قوة كهربائية محصلة تؤثر في الشحنات الموجودة على الكرة A في اتجاه الكرة B. افترض أنك حرّكت الشحنات ونقلتها منفردة من A إلى B. عندما تنقل الشحنة الأولى ستدفعها الشحنات المتبقية على A في اتجاه B، وللتحكم في سرعتها يجب أن تؤثر فيها بقوة في الاتجاه المعاكس. فتكون بذلك قد بذلت شغلًا سالبًا عليها، ويكون فرق الجهد الكهربائي من A إلى B سالبًا. وعند نقل الشحنات الأخرى ستواجه قوة تنافر من الشحنات التي أصبحت الآن على B، إلا أنه ما زال هناك قوة محصلة موجبة في ذلك الاتجاه. وعند مرحلة معينة تكون القوة التي تدفع الشحنة من A إلى B مساوية لقوة التنافر الناتجة عن الشحنات الموجودة على B، عندها يصبح فرق الجهد الكهربائي بين A و B صفرًا. وبعد حالة الاتزان هذه يجب بذل شغل على الشحنة الآتية لنقلها من A إلى B، وهذا لا يحدث تلقائيًّا، بل يتطلب زيادة في طاقة النظام. وإذا استمر نقل الشحنات سيصبح فرق الجهد الكهربائي من A إلى B موجبًا. لذا يمكنك مشاهدة أن الشحنات تتحرك من A إلى B دون التأثير فيها بقوى خارجية إلى أن يصبح فرق الجهد الكهربائي بين الكرتين صفرًا.

الشكل 11–3 عندما تلمس كرة فلزية مشحونة كرة فلزية أخرى متعادلة مساوية لها في الحجم تتوزع الشحنات على الكرتين بالتساوي.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

كـرات بأحجام مختلفة افترض أن الكرتين الموصلتين مختلفتان في الحجم، كما هو موضّح في **الشـكل 12–3**. فعلى الرغم من أن عدد الشحنات على الكرتين هو نفسه إلا أن للكرة الكبيرة مسـاحة سـطحية أكبر، لذا تتباعد الشـحنات الموجودة عليها بعضها عن بعض مسـافات أكبر، ومن ثم تقل قوة التنافر بينها. وإذا لامسـنا الكرتين معًا فسـتكون هناك قوة محصلة تنقل الشـحنات من الكرة الصغيرة إلى الكرة الكبيرة، وستنتقل الشحنات إلى الكرة ذات الجهد الكهربائي الأقل، وسيستمر ذلك إلى أن ينعدم فرق الجهد الكهربائي بين الكرتين. وفي هذه الحالة سيكون للكرة الكبرى شحنة أكبر عند الوصول إلى حالة الاتزان.

يوضّح المبدأ نفسـه كيف تتحرك الشحنات على الكرات المنفردة أو على أي موصل آخر؛ حيث تتوزع الشحنات بحيث تكون القوة المحصلة المؤثرة في كل منها صفرًا. وبما أن القوة المحصلة المؤثرة في كل شحنة على سطح الموصل تساوي صفرًا فإنه لا يوجد مجال كهربائي أو مركِّبة له موازية لسـطح هذا الموصل، لذا لا يوجد فـرق في الجهد الكهربائي بين أي نقطتين على سطحه، ولذلك يكون سطح الموصل المشحون متساوي الجهد ويسمى سطح تساوي جهد.

إذا تم تأريض جسـم مشحون بوصله بالأرض فسـتنتقل غالبًا أي كمية شحنة عليه إلى الأرض إلى أن يصبـح فرق الجهد الكهربائي بين الجسـم والأرض صفـرًا. فيمكن مثلًا أن تُشـحن صهاريج نقل البنزين عن طريق الاحتكاك، وإذا انتقلت الشـحنات الزائدة الموجـودة على صهريج بنزيـن إلى الأرض من خلال بخار البنزين فسـتُحدث انفجارًا. ولتفادي حدوث ذلك يوصل سلك فلزي بالصهريج حتى يوصل الشحنات ويُفرّغها في الأرض بطريقة آمنة، كما يوضح **الشـكل 13–3**. وبالمثل إذا لم يتم تأريض جهاز حاسوب بوصله بالأرض فسـيتولد فرق جهد كهربائي بين جهاز الحاسوب والأرض، وإذا لامس شخص جهاز الحاسوب فستتدفق الشحنات من الحاسوب إلى الشخص، مما قد يؤدي إلى تلف الجهاز، أو إيذاء الشخص.

■ **الشـكل 12–3** تنتقل الشحنات من الكرة ذات الجهد الأعلى إلى الكرة ذات الجهد الأخفض عند تلامسهما، ويستمر انتقال الشحنات إلى أن ينعدم فرق الجهد بينهما.

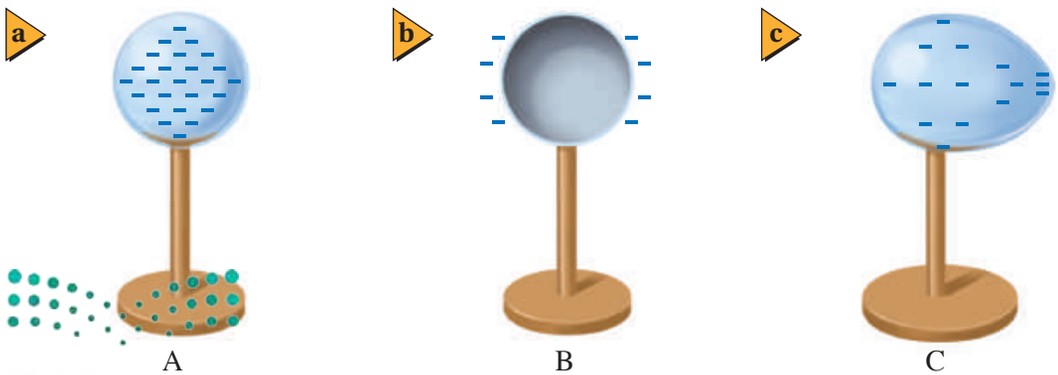
■ **الشـكل 13–3** سلك التأريض المتصل بصهريج نفط يمنع اشتعال بخار البنزين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المجالات الكهربائية بالقرب من الموصلات
Electric Fields Near Conductors

تتوزّع الشحنات الكهربائية على موصل مشحون مبتعدًا بعضها عن بعض أقصى ما يمكن، بحيث تكون طاقة النظام أقل ما يمكن، مما يؤدي إلى توزع الشحنات الفائضة على سطح الموصل المُصمت، وكذا الحال مع الموصل الأجوف. إذا شُحن وعاء فلزي أجوف فستتوزع الشحنات على سطحه الخارجي، ولن يكون هناك أي شحنات على سطحه الداخلي، وبهذه الطريقة يعمل الوعاء الفلزي المغلق عمل درع واقية تحمي ما بداخلها من المجالات الكهربائية. فمثلًا يكون الناس داخل السيارة محميين من المجالات الكهربائية الناتجة عن البرق، وبالمثل بالنسبة لعلبة مشروبات غازية مفتوحة سيكون عدد الشحنات داخل العلبة صغيرًا جدًّا، ولا توجد شحنات بالقرب من قاعدة العلبة، حتى وإن كان السطح الداخلي لجسم ما مُنقّرًا أو خشنًا، مما يجعل مساحة سطحه الداخلي أكبر من مساحة سطحه الخارجي، إلا أن الشحنات ستتوزع كلّها على سطحه الخارجي.

لا يكون المجال الكهربائي خارج موصل مشحون صفرًا غالبًا. وعلى الرغم من أن سطح الموصل يعدّ سطح تساوي جهد إلا أن المجال الكهربائي خارجه يعتمد على شكل الموصل، كما يعتمد على فرق الجهد الكهربائي بين الموصل والأرض. وتكون الشحنات أكثر تقاربًا عند الرؤوس المدبَّبة من سطح الموصل، وتكون كثافتها كبيرة، كما هو موضح في **الشكل 14–3**؛ لذا تكون خطوط المجال الكهربائي عند هذه الرؤوس أكثر تقاربًا، ويكون المجال الكهربائي أكبر. وإذا أصبحت شدة هذا المجال كبيرة بدرجة كافية فإنه يكون قادرًا على مسارعة الإلكترونات والأيونات الناتجة عن مرور الأشعة الكونية خلال الذرات، فتصطدم هذه الإلكترونات والأيونات بذرات أخرى، مما يؤدي إلى تأين المزيد من الذرات. وتظهر هذه السلسلة من التفاعلات في صورة وهج وردي اللون، كالذي يُشاهد داخل كرة التفريغ الكهربائي التي تحوي غازات. وإذا كان المجال الكهربائي كبيرًا بصورة كافية فستنتج حزمة أو تيار من الأيونات والإلكترونات التي تشكل البلازما– وهي مادة موصلة– عندما تصطدم الجسيمات بجزيئات أخرى، وتصدر شرارة كهربائية، أما في الحالات الشديدة فينتج البرق. وللتقليل من عمليات التفريغ الكهربائي وحدوث الشرارة الكهربائية تُجعل الموصلات ذات الشحنة الكبيرة أو التي تعمل تحت فروق جهد كبيرة ملساء وانسيابية الشكل لتقليل المجالات الكهربائية.



الشكل 14–3 تتوزع الشحنات على سطح الكرة الموصلة بانتظام (a). أما الكرة الجوفاء (b) فتستقر الشحنات دائمًا على سطحها الخارجي. وأما في الأشكال غير المنتظمة (c) فتقترب الشحنات بعضها من بعض عند الأطراف المدببة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

أما في مانعة الصواعق فيُثبّت قضيب بطريقة تجعل المجال الكهربائي كبيرًا بالقرب من طرفه، ومع استمرار تسريع المجال الكهربائي للإلكترونات والأيونات، يبدأ تشكّل مسار موصل من طرف القضيب إلى الغيوم أو العكس. ونتيجة لشكل القضيب المدبب جدًّا تُفرّغ شحنات الغيمة في صورة شرارة في قضيب مانعة الصواعق بدلاً من تفريغها في أي نقطة مرتفعة من المنزل أو البناية. ثم تنتقل الشحنات من قضيب مانعة الصواعق عبر موصل لتتفرّغ بصورة آمنة في الأرض.

يتطلب حدوث البرق عادة فرق جهد كبيرًا بين غيمتين أو بين الأرض والغيوم في حالة الصاعقة يصل إلى ملايين الفولتات. وعلى الرغم من أن تشغيل أنبوب التفريغ الكهربائي الصغير الذي يحتوي على الغاز يتطلب آلاف الفولتات، إلا أن أسلاك التمديدات الكهربائية في المنازل لا تحمل عادة فرق جهد كافيًا لإحداث مثل هذا التفريغ الكهربائي.

تخزين الشحنات: المُكثّف
Storing Charges: The Capacitor

عند رفع كتاب عن سطح الأرض تزداد طاقة وضع جاذبية الكتاب. ويمكن تفسير ذلك على أنه تخزين للطاقة في مجال الجاذبية الأرضي. وبطريقة مماثلة يمكن تخزين الطاقة في المجال الكهربائي؛ ففي عام 1746م اخترع الفيزيائي الهولندي بيترفان مسجنبروك جهازًا صغيرًا يمكنه تخزين كمية كبيرة من الشحنات الكهربائية. وتكريمًا لمدينة ليدن التي عمل بها هذا العالم سُمي هذا الجهاز زجاجة (قارورة) ليدن. واستخدم العالم بنيامين فرانكلين زجاجة ليدن لتخزين الشحنات الكهربائية الناتجة عن البرق، كما استخدمها في عدة تجارب أخرى. وأصبح لهذا الجهاز الذي يعمل على تخزين الشحنات شكل جديد، بحيث أصبح أصغر حجمًا، ويسمّى **المكثف الكهربائي**.

تجربة عملية
هل يمكن تخزين كميات كبيرة من الشحنات؟
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

عند إضافة شحنات كهربائية إلى جسم يزداد فرق الجهد الكهربائي بين ذلك الجسم والأرض. وإذا كان شكل الجسم وحجمه ثابتين تبقى النسبة بين الشحنة المخزنة على الجسم وفرق الجهد الكهربائي $q/\Delta V$ ثابتة، وتسمى تلك النسبة **السعة الكهربائية** C. وعند إضافة كمية من الشحنة ولو كانت قليلة إلى كرة صغيرة بعيدة عن الأرض يزداد فرق الجهد الكهربائي بينها وبين الأرض؛ لكون C صغيرة. أما الكرة الكبيرة فيمكنها أن تخزن كمية شحنات أكبر عند فرق الجهد نفسه، وبذلك تكون سعتها الكهربائية أكبر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

■ **الشكل 15–3** تبيّن الصورة المجاورة أنواعًا مختلفة من المكثفات.

صُمّمت المكثفات ليكون لها سعات كهربائية محدّدة. وتتكون المكثفات جميعها من موصلين يفصل بينهما مادة عازلة. وللموصلين شحنتان متساويتان في المقدار لكنهما مختلفتان في النوع. وتستخدم المكثفات في أيامنا هذه في الدوائر الكهربائية لتخزين الشحنات. ويوضّح **الشكل 15–3** مجموعة من المكثفات التجارية التي تحوي عادة شرائط من الألومنيوم مفصولة بطبقة رقيقة من البلاستيك، ثم تلف بصورة أسطوانية حتى يقل حجمها ولا تشغل حيّزًا كبيرًا.

كيف يمكن قياس السعة الكهربائية لمكثف؟ بما أن السعة الكهربائية للمكثف لا تعتمد على شحنته فيمكن قياسها بوضع شحنة $q+$ على أحد اللوحين وشحنة أخرى $q-$ على اللوح الآخر، ثم قياس فرق الجهد الكهربائي الناتج بين اللوحين ΔV، ثم نحسب السعة الكهربائية من خلال العلاقة أدناه، وتكون وحدة قياس السعة الكهربائية هي الفاراد F.

السعة الكهربائية $C = \frac{q}{\Delta V}$

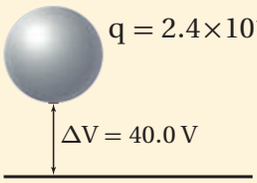
السعة الكهربائية هي النسبة بين الشحنة على أحد اللوحين وفرق الجهد بينهما.

وحدة قياس السعة الكهربائية: (الفاراد) تُقاس السعة الكهربائية بوحدة الفاراد، وقد سميت بهذا الاسم نسبة إلى العالم مايكل فارادي. والفاراد الواحد عبارة عن واحد كولوم لكل فولت (C/V). وكما أسلفنا أن 1 C وحدة كبيرة جدًّا لقياس الشحنة، فإن 1 F وحدة كبيرة جدًّا أيضًا لقياس السعة الكهربائية؛ فأغلب المكثّفات المستخدمة في الإلكترونيات الحديثة لها سعات كهربائية تتراوح بين 10 بيكوفاراد (10×10^{-12} F) و 500 ميكروفاراد (500×10^{-6} F). أما المكثفات التي تستخدم في ذاكرة الحاسوب لمنع الفقد في الذاكرة فلها سعات كهربائية كبيرة تتراوح بين 0.5 F و 1.0 F. لاحظ أنه إذا زادت الشحنة زاد فرق الجهد الكهربائي أيضًا؛ لأن سعة المكثف لا تعتمد على الشحنة q، وإنما تعتمد على الأبعاد الهندسية للمكثف فقط.

مثـــــال 5

إيجاد السعة الكهربائية إذا كان فرق الجهد الكهربائي بين كرة موصلة والأرض يساوي 40.0 V عند شحنها بشحنة مقدارها $2.4\times10^{-6}\ C$ فما مقدار سعتها الكهربائية؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم كرة فوق الأرض، وعيّن عليها الشحنة وفرق الجهد.

المعلوم	المجهول
$\Delta V = 40.0\ V$	$C = ?$
$q = 2.4\times10^{-6}\ C$	

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

2 إيجاد الكمية المجهولة

$C = q/\Delta V$

بالتعويض عن $q = 2.4\times10^{-6}\ C$، $\Delta V = 40.0\ V$

$$C = \frac{2.4\times10^{-6}\ C}{40.0\ V}$$
$$= 6.0\times10^{-8}\ F$$
$$= 0.060\ \mu F$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** $F = \frac{C}{V}$ الوحدة هي الفاراد.
- **هل الجواب منطقي؟** السعة الكهربائية القليلة تخزّن شحنة كهربائية قليلة عند فرق جهد قليل.

مسائل تدريبية

27. مكثف كهربائي سعته 27 μF وفرق الجهد الكهربائي بين لوحيه 45 V. ما مقدار شحنة المكثف؟

28. مكثفان؛ سعة الأول 3.3 μF، وسعة الآخر 6.8 μF. إذا وصل كل منهما بفرق جهد 24 V فأي المكثفين له شحنة أكبر؟ وما مقدارها؟

29. إذا شحن كل من المكثفين في المسألة السابقة بشحنة مقدارها $3.5\times10^{-4}\ C$ فأيهما له فرق جهد كهربائي أكبر بين طرفيه؟ وما مقداره؟

30. شحن مكثف كهربائي سعته 2.2 μF حتى أصبح فرق الجهد الكهربائي بين لوحيه 6.0 V. ما مقدار الشحنة الإضافية التي يتطلبها رفع فرق الجهد بين طرفيه إلى 15.0 V؟

31. عند إضافة شحنة مقدارها $2.5\times10^{-5}\ C$ إلى مكثف يزداد فرق الجهد بين لوحيه من 12.0 V إلى 14.5 V. احسب مقدار سعة المكثف.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسألة تحفيز

يجذب لوحا مكثّف كهربائي أحدهما الآخر لأنهما يحملان شحنتين مختلفتين، فإذا كانت المسافة بين لوحي مكثف متوازيين d، وسعته الكهربائية C فأجب عما يأتي:

1. اشتق علاقة للقوة الكهربائية بين اللوحين عندما يكون للمكثف شحنة مقدارها q.
2. ما مقدار الشحنة التي يجب أن تخزّن في مكثف سعته 22 μF، والمسافة بين لوحيه 1.5 mm لتكون القوة بين لوحيه 2.0 N؟

أنواع المكثفات المختلفة تصنع المكثفات بأشكال وأحجام مختلفة، كما يوضّح **الشكل 15-3**؛ فبعض المكثفات كبيرة وضخمة جدًّا حتى إنها تملأ غرفة كاملة، ويمكنها تخزين شحنات تكفي لإحداث برق اصطناعي، أو تشغيل ليزرات عملاقة قادرة على إطلاق آلاف الجولات من الطاقة خلال بضعة أجزاء من المليون من الثانية. أما المكثفات الموجودة في التلفاز فيمكنها تخزين كمية كافية من الشحنات عند فروق جهد مساوية لعدة مئات من الفولتات، لذا تكون خطيرة جدًّا إذا لُمست. وتبقى هذه المكثفات مشحونة عدة ساعات بعد إغلاق التلفاز. وهذا هو سبب التحذير من نزع غطاء جهاز التلفاز القديم أو غطاء شاشة جهاز الحاسوب القديم حتى لو لم تكن متصلة بمصدر جهد كهربائي.

يمكن التحكم في السعة الكهربائية لمكثف بتغيير المساحة السطحية للموصلين، أو اللوحين الفلزيين داخل المكثف، أو تغيير المسافة بين اللوحين، أو تغيير طبيعة المادة العازلة بينهما. وتسمّى المكثفات بحسب نوع العازل الذي يفصل بين اللوحين، مثل السيراميك والمايكا والبوليستر والورق والهواء. ويمكن الحصول على سعة كهربائية كبيرة لمكثف بزيادة المساحة السطحية للوحين الفلزيين وتقليل المسافة بينهما. ولبعض المواد العازلة القدرة على عزل الشحنات الموجودة على لوحي المكثف بفاعلية وكفاءة، بحيث تسمح بتخزين كمية أكبر من الشحنة.

3–2 مراجعة

32. **فرق الجهد الكهربائي** ما الفرق بين طاقة الوضع الكهربائية وفرق الجهد الكهربائي؟

33. **المجال الكهربائي وفرق الجهد** بيّن أن الفولت لكل متر هو نفسه نيوتن لكل كولوم.

34. **تجربة مليكان** عندما تتغير شحنة قطرة الزيت المعلّقة داخل جهاز مليكان تبدأ القطرة في السقوط. كيف يجب تغيير فرق الجهد بين اللوحين لجعل القطرة تعود إلى الاتزان من جديد؟

35. **الشحنة وفرق الجهد** إذا كان التغير في فرق الجهد الكهربائي في المسألة السابقة لا يؤثر في القطرة الساقطة فعلامَ يدل ذلك بشأن الشحنة الجديدة على القطرة؟

36. **السعة الكهربائية** ما مقدار الشحنة المختزنة في مكثف سعته $0.47\ \mu F$ عندما يُطبّق عليه فرق جهد مقداره $12\ V$؟

37. **توزيع الشحنات** عند ملامسة كرة موصلة صغيرة مشحونة بشحنة سالبة لكرة موصلة كبيرة مشحونة بشحنة موجبة، ماذا يمكن القول عن:

a. جهد كل من الكرتين.

b. شحنة كل من الكرتين.

38. **التفكير الناقد** بالرجوع إلى **الشكل 3–4a**، وضح كيف تستمر الشحنات في التراكم على القُبّة الفلزية لمولّد فان دي جراف، ولماذا لا تتنافر الشحنات لتعود إلى الحزام عند النقطة B؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مختبر الفيزياء

شحن المكثّفات

المكثّف الكهربائي جهاز مكوّن من موصلين، أو لوحين فلزيين يفصل بينهما مادة عازلة، ويُصمّم ليكون له سعة كهربائية محدّدة. وتعتمد السعة الكهربائية للمكثف على خصائصه الفيزيائية (نفاذية الوسط الكهربائية)، والأبعاد الهندسية للموصلين والعازل. وفي الرسم التخطيطي للدائرة الكهربائية يبدو المكثف أنه ينشئ دائرة مفتوحة، حتى عندما يكون المفتاح الكهربائي مغلقًا. إلا أنه عند إغلاق المفتاح الكهربائي تنتقل الشحنات الكهربائية من البطارية (مصدر جهد مستمر) إلى المكثف؛ فيُشحن لوحا المكثف بشحنتين متساويتين في المقدار ومختلفتين في النوع، ويتولّد فرق جهد كهربائي بينهما. وكلما زادت كمية الشحنة المتراكمة على المكثف ازداد فرق الجهد الكهربائي بين لوحيه. وفي هذه التجربة ستختبر شحن عدة مكثفات مختلفة.

سؤال التجربة

ما الزمن اللازم لشحن مكثفات مختلفة السعة الكهربائية؟

الأهداف

- **تجمع البيانات وتنظّمها** حول المعدل الزمني اللازم لشحن مكثفات مختلفة.
- **تقارن** بين المعدلات الزمنية اللازمة لشحن مكثفات مختلفة.
- **تنشئ رسومًا بيانية وتستخدمها** لفرق الجهد مقابل زمن شحن عدة مكثفات.

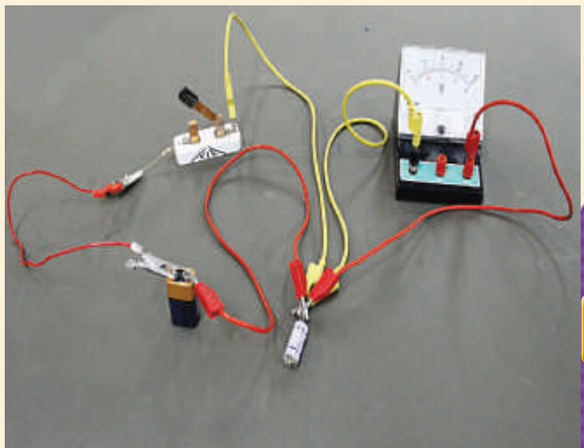
احتياطات السلامة

المواد والأدوات

بطارية 9 V، وفولتمتر، ومشابك أو مرابط خاصة ببطارية 9 V، ومقاومة كهربائية 47 kΩ، وأسلاك توصيل، وساعة إيقاف، ومفتاح كهربائي، ومكثفات 1000 µF و500 µF و240 µF

الخطوات

1. قبل بدء تنفيذ التجربة دع المفتاح الكهربائي مفتوحًا، ولا تصل البطارية. **تحذير: كن حذرًا وتجنّب تكوّن دائرة قصر كهربائية، وخصوصًا عند تلامس السلكين الموصولين بقطبي البطارية معًا.** ركّب الدائرة كما هو موضّح في الصورة، وذلك بتوصيل أحد طرفي المقاومة بطرف المفتاح الكهربائي، حيث تستخدم المقاومة لتقليل شحن المكثف إلى معدل يكون فيه قابلًا للقياس، ثم صِل الطرف الآخر للمقاومة مع القطب السالب للبطارية 9 V. ثم تفحّص المكثف 1000 µF؛ لتحدّد أيّ طرفيه قد عُلّم بإشارة سالبة، أو سَهْم مع إشارة سالبة عليه، حيث يُشير ذلك إلى الطرف الذي سيوصل مع القطب السالب للبطارية، ثم صِل هذا القطب بالطرف الآخر للمفتاح الكهربائي. وصِل الطرف الموجب للمكثف مع الطرف الموجب للبطارية.
2. صِل الطرف الموجب للفولتمتر مع الطرف الموجب للمكثف، والطرف السالب للفولتمتر مع الطرف السالب للمكثف، ثم قارن بين الدائرة التي ركّبتها والدائرة الموضحة في الصورة لتتأكد من صحة توصيلاتك. ولا تصل البطارية إلا بعد أن يتحقق المعلم من صحة التوصيلات.
3. جهّز جدول بيانات على أن تخصّص أعمدة للزمن وأخرى لفرق الجهد لكل من المكثّفات الثلاثة المختلفة.
4. يراقب أحد الطلاب الزمن الذي تقيسه ساعة الإيقاف، بينما يُسجّل طالب آخر فرق الجهد عند الوقت المناسب. أغلق المفتاح الكهربائي، ثم قس فرق الجهد خلال فترات زمنية مقدارها 5 s. افتح المفتاح الكهربائي بعد جمع البيانات.
5. عند الانتهاء من المحاولة، خذ سلكًا معزولًا وصله بطرفي المكثف. سيعمل هذا على تفريغ المكثف.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

جدول البيانات							
الزمن (s)	فرق الجهد (V) عبر 1000 µF	فرق الجهد (V) عبر 500 µF	فرق الجهد (V) عبر 240 µF	الزمن (s)	فرق الجهد (V) عبر 1000 µF	فرق الجهد (V) عبر 500 µF	فرق الجهد (V) عبر 240 µF
0				55			
5				60			
10				65			
15				70			
20				75			
25				80			
30				85			
35				90			
40				95			
45				100			
50				105			

6. ضع المكثف 500 µF بدلًا من المكثف 1000 µF، وكرّر الخطوتين 4 و5، ودوّن البيانات في الجدول في العمود الخاص بالمكثف 500 µF
7. ضع المكثف 240 µF بدلًا من المكثف 500 µF، وكرّر الخطوات 4 و5، ودوّن البيانات في الجدول في العمود الخاص بالمكثف 240 µF

التحليل

1. **لاحظ واستنتج** هل شحن كل مكثف بحيث أصبح فرق الجهد بين طرفيه 9 V؟ اقترح تفسيرًا للسلوك الملاحظ.
2. **أنشئ الرسوم البيانية واستخدمها** أعدّ رسمًا بيانيًّا على أن يكون الزمن على المحور الأفقي(x)، وفرق الجهد على المحور الرأسي(y). ارسم خطًّا بيانيًّا منفصلًا خاصًّا بكل مكثف.

الاستنتاج والتطبيق

1. **فسّر البيانات** هل يصل جهد المكثف لحظيًّا إلى جهد مساوٍ لفرق الجهد بين طرفي البطارية (9 V)؟ وضّح سبب السلوك الملاحظ.
2. **استنتج** هل يحتاج المكثف الأكبر سعة إلى زمن أكبر حتى يُشحَن تمامًا؟ ولماذا؟

التوسع في البحث

1. يعتمد الزمن اللازم لشحن مكثف – أي حتى يصل فرق الجهد بين طرفيه إلى فرق الجهد بين طرفي البطارية – على سعته ومقاومته لتدفق الشحنات خلال الدائرة. في هذه التجربة ضُبِطت مقاومة تدفق الشحنات عن طريق توصيل مقاومة مقدارها 47 kΩ في الدائرة. في الدوائر الكهربائية التي تتضمن مكثفًا ومقاومة مثل الدائرة الواردة في هذه التجربة فإن الزمن –مقيسًا بالثانية– اللازم لشحن المكثف بنسبة 63.3 % من الجهد المطبّق يساوي حاصل ضرب السعة في المقاومة، و يسمّى هذا ثابت الزمن. لذا فإن $T = RC$؛ حيث T مقيسة بالثواني، وR مقيسة بالأوم، وC مقيسة بالفاراد. احسب ثابت الزمن لكل مكثف عند توصيله بالمقاومة 47 kΩ.
2. قارن بين ثابت الزمن الذي حصلت عليه والقيم التي حصلت عليها من الرسم البياني.

الفيزياء في الحياة

وضّح آلات التصوير (الكاميرات) الصغيرة المُزوّدة بوامض (فلاش) مخصَّص للاستعمال مرة واحدة فقط، ووحدات الفلاش الإلكترونية العادية تحتاج إلى مرور زمن معين حتى يصبح الفلاش جاهزًا للاستعمال، حيث يعمل المكثف فيها على تخزين الطاقة لعمل الفلاش. وضّح ما يحدث خلال الزمن الذي يجب أن تنتظره لأخذ الصور الثانية بهذا النوع من الكاميرات.

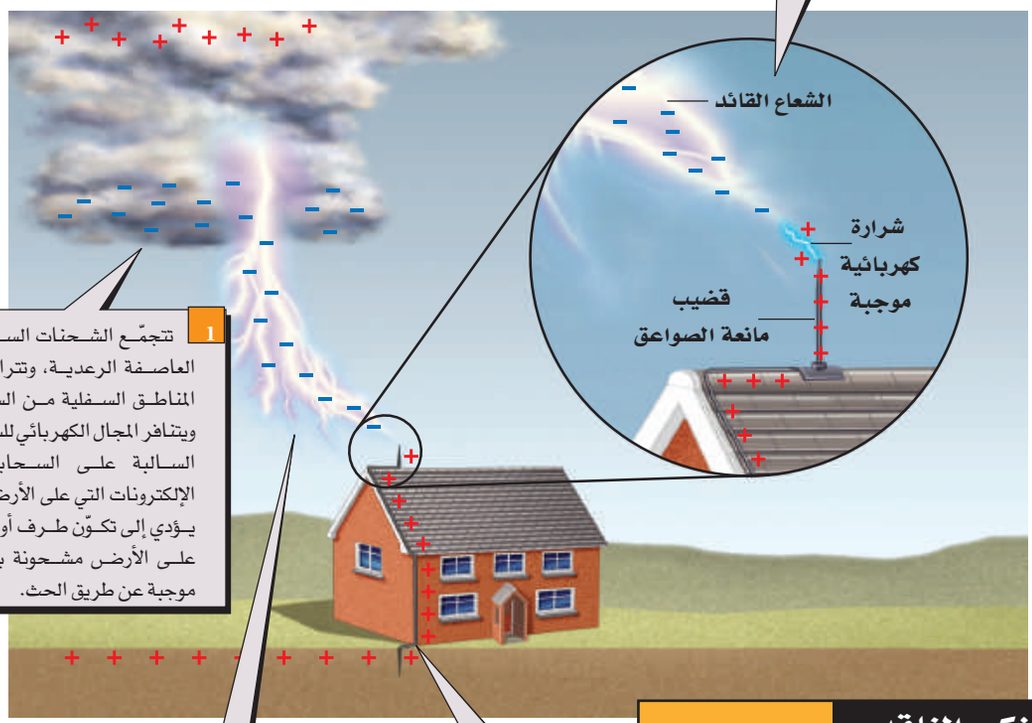
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

كيف تعمل

How it Works

مانعة الصواعق؟ lightning Rods?

قد يكون البرق مدمّـرًا بصورة كبيرة؛ إذ ينتج عنه تيارات كهربائية كبـيرة جدًّا في مـواد رديئة التوصيـل؛ مما يـؤدي إلى توليد كمية كبيرة من الحرارة. لذا تسـتخدم مانعة الصواعق لحماية الأبنية عن طريق تبديد بعض الشـحنات قبل حدوث ضربة الصاعقة؛ حيث توفّر قضبان مانعة الصواعق مسـارًا آمنًا للتيار الكهربائي؛ وذلك لأنها موصلات جيدة. وقد اخترع مانعـةَ الصواعق العالم بنيامين فرانكلين في خمسينات القرن الثامن عشر.



3 تنطلق الشحنات الموجبة في صورة شرارة خارجة من قضيب مانعة الصواعق لتقابل الشعاع القائد، فيكتمل المسار الموصل، ويعمل التيار على معادلة الشحنات المنفصلة. وحتى إذا لم تضرب الشرارة قضيب مانعة الصواعق مباشرة فسيبقى التيار الهائل قادرًا على الوصول إلى قضيب مانعة الصواعق، وهو المسار الأقل ممانعة (مقاومة) إلى الأرض.

1 تتجمّع الشحنات السالبة في العاصفة الرعدية، وتتراكم في المناطق السفلية من السحب، ويتنافر المجال الكهربائي للشحنات السالبة على السحابة مع الإلكترونات التي على الأرض، مما يؤدي إلى تكوّن طرف أو منطقة على الأرض مشحونة بشحنة موجبة عن طريق الحث.

2 يُسرّع المجال الكهربائي الكبير الإلكترونات والأيونات، مما يسبب سلسلة من التفاعلات في الهواء مكوِّنًا البلازما. ويعدّ الهواء المتأين مادة موصلة، حيث يتفرع خارجًا من الغيوم مكونًا ما يسمى عتبات قيادة التفريـغ (الشعـاع القائد step leaders).

4 ينتقل التيار الكهربائي بأمان خلال الموصل إلى سطح الأرض.

التفكير الناقد

1. **كوِّن فرضية** ما المسار الذي يسلكه التيار الكهربائي ليصل إلى الأرض إذا لم يكن المنزل مزودًا بمانعة صواعق في أثناء ضربة الصاعقة؟
2. **قوّم** هل يجب أن تكون المقاومة بين نهاية سلك مانعة الصواعق المتصل بالأرض والأرض كبيرة أم صغيرة؟
3. **استنتج** ما المخاطر الناتجة عن التركيب غير الصحيح لنظام مانعة الصواعق؟

الفصل 3
دليل مراجعة الفصل

3–1 توليد المجالات الكهربائية وقياسها Creating and Measuring Electric Fields

المفردات
- المجال الكهربائي
- شحنة الاختبار
- خط المجال الكهربائي

المفاهيم الرئيسة
- يوجد مجال كهربائي حول أي جسم مشحون، ويؤثر هذا المجال بقوى في الأجسام المشحونة الأخرى.
- المجال الكهربائي يساوي القوة الكهربائية المؤثرة على وحدة الشحنات.

$$E = \frac{F}{q'}$$

- اتجاه المجال الكهربائي هو اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة اختبار موجبة صغيرة.
- توفّر خطوط المجال الكهربائي صورة للمجال الكهربائي؛ حيث تكون دائمًا خارجة من الشحنة الموجبة وداخلة إلى الشحنة السالبة، ولا تتقاطع مطلقًا، وترتبط كثافتها بشدة المجال.

3–2 تطبيقات المجالات الكهربائية Applications of Electric Fields

المفردات
- فرق الجهد الكهربائي
- الفولت
- سطح تساوي الجهد
- المكثف الكهربائي
- السعة الكهربائية

المفاهيم الرئيسة
- فرق الجهد الكهربائي يساوي التغير في طاقة الوضع الكهربائية لوحدة الشحنات الكهربائية في المجال الكهربائي.

$$\Delta V = \frac{W}{q'}$$

- يُقاس فرق الجهد الكهربائي بوحدة الفولت.
- يكون المجال الكهربائي بين لوحين مشحونين متوازيين منتظمًا ما عدا النقاط التي تكون عند أطراف اللوحين؛ فيكون المجال عندها غير منتظم. ويرتبط فرق الجهد مع شدة المجال الكهربائي من خلال العلاقة الآتية:

$$\Delta V = Ed$$

- بيّنت تجربة ملّيكان أن الشحنة الكهربائية مكمّاة.
- بيّن مليكان أيضًا أن مقدار الشحنة السالبة التي يحملها الإلكترون تساوي $1.6\times10^{-19}\,C$.
- تتحرك الشحنات على سطح موصل حتى يصبح الجهد الكهربائي متساويًا في جميع النقاط على سطحه.
- يعمل التأريض على جعل فرق الجهد بين الجسم والأرض صفرًا.
- يمنع التأريض حدوث الشرارة الكهربائية الناتجة عن ملامسة الجسم المتعادل لأجسام أخرى تراكم عليها كمية كبيرة من الشحنات.
- يكون المجال الكهربائي أكبر ما يمكن عند المناطق المدبّبة أو الحادة من سطح الموصل.
- السعة الكهربائية هي النسبة بين شحنة جسم وفرق الجهد الكهربائي عليه.

$$C = \frac{q}{\Delta V}$$

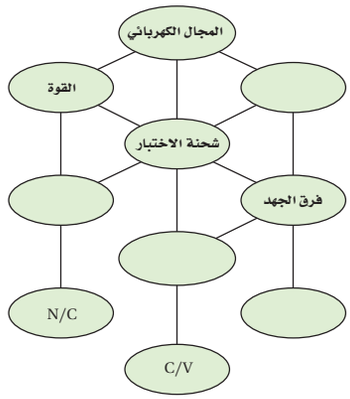
- لا تعتمد السعة الكهربائية على شحنة الجسم ولا على فرق الجهد عليه.
- يستخدم المكثّف الكهربائي في تخزين الشحنات الكهربائية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 3

خريطة المفاهيم

39. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: السعة، شدة المجال، J /C ، الشغل.



إتقان المفاهيم

40. ما الخاصيتان اللتان يجب أن تكونا لشحنة الاختبار؟ (3 –1)

41. كيف يحدّد اتجاه المجال الكهربائي؟ (3 –1)

42. ما المقصود بخطوط المجال الكهربائي؟ (3 –1)

43. ارسم بعض خطوط المجال الكهربائي لكل من الحالات الآتية: (3 –1)

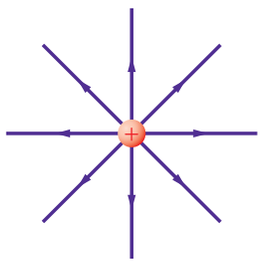
a. شحنتين متساويتين في المقدار ومتماثلتين في النوع.

b. شحنتين مختلفتين في النوع ولهما المقدار نفسه.

c. شحنة موجبة وأخرى سالبة مقدارها يساوي ضعف مقدار الشحنة الموجبة.

d. لوحين متوازيين مختلفين في الشحنة.

44. في **الشكل 16–3**، أين تنتهي خطوط المجال الكهربائي الخارجة من الشحنة الموجبة؟ (3 –1)



الشكل 16–3

45. كيف يتم الإشارة لشدة المجال الكهربائي من خلال خطوط المجال الكهربائي؟ (3 –1)

46. ما وحدة قياس طاقة الوضع الكهربائية؟ وما وحدة قياس فرق الجهد الكهربائي، وفْق النظام الدولي للوحدات SI؟ (3 –2)

47. عرّف الفولت بدلالة التغير في طاقة الوضع الكهربائية لشحنة تتحرك في مجال كهربائي. (3 –2)

48. لماذا يفقد الجسم المشحون شحنته عند وصله بالأرض؟ (3 –2)

49. وضع قضيب مطاطي مشحون على طاولة فحافظ على شحنته بعض الوقت. لماذا لا تُفرّغ شحنة القضيب المشحون مباشرة؟ (3 –2)

50. شُحن صندوق فلزي. قارن بين تركيز الشحنة على زوايا الصندوق وتركيزها على جوانب الصندوق. (3 –2)

51. **أجهزة الحاسوب** لماذا توضع الأجزاء الدقيقة في الأجهزة الإلكترونية – كتلك الموضحة في **الشكل 17–3**– داخل صندوق فلزي موضوع داخل صندوق آخر بلاستيكي؟ (3 –2)

الشكل 17–3

تطبيق المفاهيم

52. ماذا يحدث لشدة المجال الكهربائي عندما تنقص شحنة الاختبار إلى نصف قيمتها؟

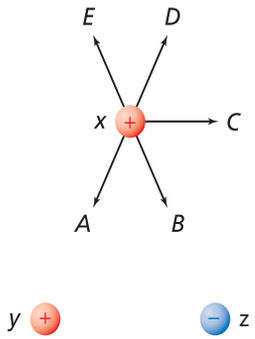
53. هل يلزم طاقة أكبر أم طاقة أقل لتحريك شحنة موجبة ثابتة خلال مجال كهربائي متزايد؟

54. ماذا يحدث لطاقة الوضع الكهربائية لجسيم مشحون موجود داخل مجال كهربائي عندما يُطلق الجسيم ليصبح حر الحركة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 3

55. يبيّن **الشكل 18–3** ثلاث كرات مشحونة بالمقدار نفسه. بالشحنات الموضّحة في الشكل. الكرتان y وz ثابتتان في مكانيهما، والكرة x حرة الحركة. والمسافة بين الكرة x وكل من الكرتين y وz في البداية متساوية. حدّد المسار الذي ستبدأ الكرة x في سلوكه، مفترضًا أنه لا يوجد أي قوى أخرى تؤثر في الكرات.



الشكل 18–3

56. ما وحدة قياس فرق الجهد الكهربائي بدلالة m، kg، s، C؟

57. كيف تبدو خطوط المجال الكهربائي عندما يكون للمجال الكهربائي الشدة نفسها عند النقاط جميعها في منطقة ما؟

58. **تجربة قطرة الزيت لمِلّيكان** يفضل عند إجراء هذه التجربة استخدام قطرات زيت لها شحنات صغيرة. هل يتعين عليك البحث عن القطرات التي تتحرك سريعًا أو تلك التي تتحرك ببطء عندما يتم تشغيل المجال الكهربائي؟ وضّح إجابتك.

59. في تجربة ملّيكان تم تثبيت قطرتي زيت في المجال الكهربائي.

a. هل يمكنك استنتاج أن شحنتيهما متماثلتان؟

b. أيّ خصائص قطرتي الزيت نِسبُها متساوية؟

60. يقف زيد وأخيه يوسف على سطح مستوٍ معزول متلامسين بالأيدي عندما تم إكسابهما شحنة، كما هو موضّح في **الشكل 19–3**. إذا كانت المساحة السطحية لجسم زيد أكبر من أخيه فمن منهما يكون له كمية أكبر من الشحنات، أم سيكون لهما المقدار نفسه منها؟

الشكل 19–3

61. إذا كان قطرا كرتي ألومنيوم 1 cm و10 cm فأيّ الكرتين لها سعة أكبر؟

62. كيف يمكنك تخزين كميات مختلفة من الشحنة في مكثف؟

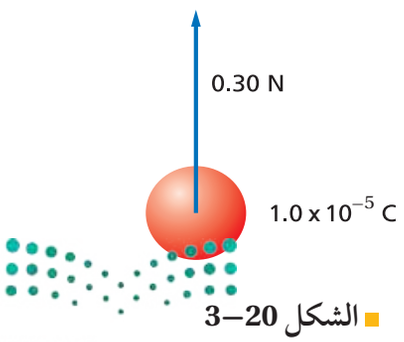
إتقان حل المسائل

3–1 توليد المجالات الكهربائية وقياسها

شحنة الإلكترون تساوي -1.60×10^{-19} C، استخدم هذه القيمة حيث يلزم.

63. ما مقدار شحنة اختبار إذا تعرضت لقوة مقدارها 1.4×10^{-8} N عند نقطة شدة المجال الكهربائي فيها 5.0×10^{-4} N/C ؟

64. يوضّح **الشكل 20–3** شحنة موجبة مقدارها 1.0×10^{-5} C، تتعرض لقوة 0.30 N، عند وضعها عند نقطة معينة. ما شدة المجال الكهربائي عند تلك النقطة؟



الشكل 20–3

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 3

65. إذا كان المجال الكهربائي في الغلاف الجوي يساوي 150 N /C تقريبًا، ويتجه إلى أسفل، فأجب عما يأتي:

a. ما اتجاه القوة المؤثرة في جسيم مشحون بشحنة سالبة؟

b. أوجد القوة الكهربائية التي يؤثر بها هذا المجال في إلكترون.

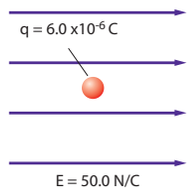
c. قارن بين القوة في الفرع **b** وقوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في الإلكترون نفسه. (كتلة الإلكترون تساوي 9.1×10^{-31} kg)

66. ارسم بدقة الحالات الآتية:

a. المجال الكهربائي الناتج عن شحنة مقدارها $+1.0\ \mu C$.

b. المجال الكهربائي الناتج عن شحنة $+2.0\ \mu C$ (اجعل عدد خطوط المجال متناسبًا مع التغير في مقدار الشحنة).

67. وضعت شحنة اختبار موجبة مقدارها 6.0×10^{-6} C في مجال كهربائي شدته 50.0 N /C، كما هو موضّح في **الشكل 3–21**. ما مقدار القوة المؤثرة في شحنة الاختبار؟



الشكل 3–21

68. ثلاث شحنات: X و Y و Z يبعد بعضها عن بعض مسافات متساوية. إذا كان مقدار الشحنة X يساوي $+1.0\ \mu C$، ومقدار الشحنة Y يساوي $+2.0\ \mu C$، والشحنة Z صغيرة وسالبة:

a. فارسم سهمًا يُمثّل القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة Z.

b. إذا كانت الشحنة Z موجبة وصغيرة فارسم سهمًا يمثّل القوة المحصلة المؤثرة فيها.

69. تتسارع الإلكترونات في أنبوب الأشعة المهبطية في تلفاز نتيجة مجال كهربائي مقداره 1.00×10^{5} N /C. احسب ما يأتي:

a. القوة المؤثرة في الإلكترون.

b. تسارع الإلكترون إذا كان المجال منتظمًا. افترض أن كتلة الإلكترون 9.11×10^{-31} kg

70. أوجد شدة المجال الكهربائي على بُعد 20.0 cm من شحنة نقطية مقدارها $+8\times10^{-7}$ C.

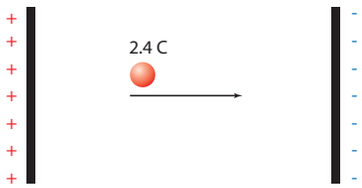
71. شحنة نواة ذرة رصاص تساوي شحنة 82 بروتونًا.

a. أوجد مقدار واتجاه المجال الكهربائي على بُعد 1.0×10^{-10} m من النواة.

b. أوجد مقدار واتجاه القوة المؤثرة في إلكترون موضوع على البعد السابق من النواة.

3–2 تطبيقات المجالات الكهربائية

72. إذا بُذل شغل مقداره 120 J لتحريك شحنة مقدارها 2.4 C من اللوح الموجب إلى اللوح السالب، كما هو موضّح في **الشكل 3–22**، فما فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين؟



الشكل 3–22

73. ما مقدار الشغل اللازم لنقل شحنة مقدارها 0.15 C خلال فرق جهد كهربائي مقداره 9.0 V ؟

74. بذلت بطارية شغلاً مقداره 1200 J لنقل شحنة كهربائية. ما مقدار الشحنة المنقولة إذا كان فرق الجهد بين طرفي البطارية 12 V؟

75. إذا كانت شدة المجال الكهربائي بين لوحين متوازيين مشحونين 1.5×10^{3} N /C، والبعد بينهما 0.060 m، فما فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين بوحدة الفولت؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 3

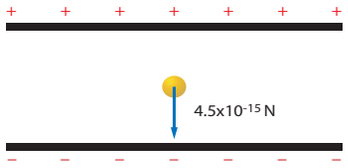
76. تبيّن قراءة فولتمتر أن فرق الجهد الكهربائي بين لوحين متوازيين مشحونين 70.0 V. إذا كان البعد بين اللوحين 0.020 m فما شدة المجال الكهربائي بينهما؟

77. يختزن مكثف موصول بمصدر جهد 45.0 V شحنة مقدارها 90.0 μC. ما مقدار سعة المكثف؟

78. تم تثبيت قطرة الزيت الموضحة في **الشكل 3–23** والمشحونة بشحنة سالبة في مجال كهربائي شدته 5.6×10^{3} N/C. إذا كان وزن القطرة 4.5×10^{-15} N:

a. فما مقدار الشحنة التي تحملها القطرة؟

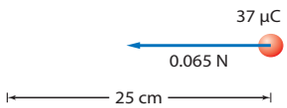
b. وما عدد الإلكترونات الفائضة التي تحملها القطرة؟



الشكل 3–23

79. ما شحنة مكثف سعته 15.0 pF عند توصيله بمصدر جهد 45.0 V؟

80. إذا لزم قوة مقدارها 0.065 N لتحريك شحنة مقدارها 37 μC مسافة 25 cm في مجال كهربائي منتظم، كما يوضّح **الشكل 3–24**، فما مقدار فرق الجهد الكهربائي بين النقطتين؟



الشكل 3–24

81. **آلة التصوير** يعبر عن الطاقة المختزنة في مكثف سعته C، وفرق الجهد الكهربائي بين طرفيه ΔV كما يأتي: $W=\frac{1}{2}C\Delta V^2$. ومن التطبيقات على ذلك آلة التصوير الإلكترونية ذات الفلاش الضوئي، كالتي تظهر في **الشكل 3–25**. إذا شُحن مكثف في آلة تصوير مماثلة سعته 10.0 μF، إلى أن أصبح فرق الجهد عليه 3.0×10^{2} V، فما مقدار الطاقة المختزنة في المكثف؟

الشكل 3–25

82. افترض أن شحن المكثف في المسألة السابقة استغرق 25 s، وأجب عما يأتي:

a. أوجد متوسط القدرة اللازمة لشحن المكثف خلال هذا الزمن.

b. عند تفريغ شحنة هذا المكثف خلال مصباح الفلاش يفقد طاقته كاملة خلال زمن مقداره 1.0×10^{-4} s. أوجد القدرة التي تصل إلى مصباح الفلاش.

c. ما أكبر قيمة ممكنة للقدرة؟

83. **الليزر** تستخدم أجهزة الليزر لمحاولة إنتاج تفاعلات اندماج نووي مسيطر عليها. ويتطلب تشغيل هذه الليزرات نبضات صغيرة من الطاقة تُخزّن في غرف كبيرة مملوءة بالمكثفات. وتقدّر السعة الكهربائية لغرفة واحدة بـ 61×10^{-3} F تشحن حتى يبلغ فرق الجهد عليها 10.0 kV.

a. إذا علمت أن $W=\frac{1}{2}C\Delta V^2$ فأوجد الطاقة المختزنة في المكثفات.

b. إذا تم تفريغ المكثفات خلال 10 ns (أي 1.0×10^{-8} s) فما مقدار الطاقة الناتجة؟

c. إذا تم شحن المكثفات بمولّد قدرته 1.0 kW، فما الزمن بالثواني اللازم لشحن المكثفات؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

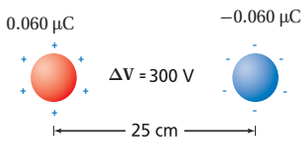
تقويم الفصل 3

مراجعة عامة

84. ما مقدار الشغل المبذول لتحريك شحنة مقدارها 0.25 μC بين لوحين متوازيين، البعد بينهما 0.40 cm، إذا كان المجال بين اللوحين 6400 N /C؟

85. ما مقدار الشحنات المختزنة في مكثف ذي لوحين متوازيين سعته 0.22 μF، إذا كان البعد بين لوحيه 1.2 cm، والمجال الكهربائي بينهما 2400 N /C؟

86. يبين **الشكل 3–26** كرتين فلزيتين صغيرتين متماثلتين، البعد بينهما 25 cm، وتحملان شحنتين مختلفتين في النوع، مقدار كل منهما 0.060 μC. إذا كان فرق الجهد بينهما 300 V فما مقدار السعة الكهربائية للنظام؟



الشكل 3–26

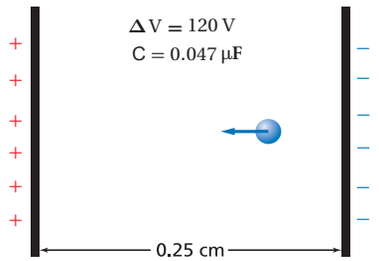
*ارجع إلى المكثف الموضح في **الشكل 3–27** عند حل المسائل **87–90**.*

87. إذا شُحن هذا المكثف حتى أصبح فرق الجهد بين لوحيه 120 V فما مقدار الشحنة المختزنة فيه؟

88. ما مقدار شدة المجال الكهربائي بين لوحي المكثف؟

89. إذا وضع إلكترون بين لوحي المكثف فما مقدار القوة المؤثرة فيه؟

90. ما مقدار الشغل اللازم لتحريك شحنة إضافية مقدارها 0.010 μC بين لوحي المكثف عندما يكون فرق الجهد بينهما 120 V؟



الشكل 3–27

*ارجع إلى الرسم البياني الموضح في **الشكل 3–28**، الذي يمثل الشحنة المختزنة في مكثف في أثناء زيادة فرق الجهد عليه، عند حل المسائل **91–95**.*

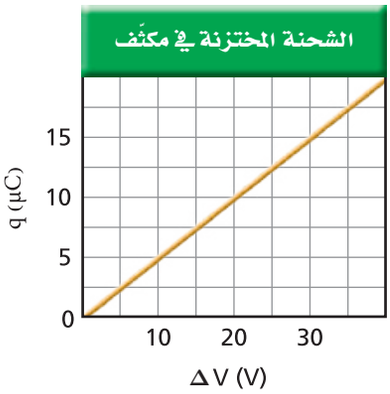
91. ماذا يمثّل ميل الخط الموضّح على الرسم البياني؟

92. ما سعة المكثف الممثّل في هذا الشكل؟

93. ماذا تمثّل المساحة تحت الخط البياني؟

94. ما مقدار الشغل اللازم لشحن هذا المكثف ليصبح فرق الجهد بين لوحيه 25 V؟

95. لماذا لا يساوي الشغل الناتج في المسألة السابقة المقدار $q\Delta V$؟



الشكل 3–28

96. مثّل بيانيًّا شدة المجال الكهربائي الناشئ بالقرب من شحنة نقطية موجبة، على شكل دالة رياضية في البعد عنها.

97. أين يكون المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة نقطية صفرًا؟

98. ما شدة المجال الكهربائي على بُعد 0 m من شحنة نقطية؟ هل هناك شيء يشبه الشحنة النقطية تمامًا؟

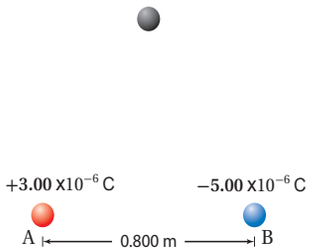
التفكير الناقد

99. **تطبيق المفاهيم** على الرغم من تصميم قضيب مانعة الصواعق ليوصل الشحنات بأمان إلى الأرض، إلا أن هدفه الرئيس هو منع ضربة الصاعقة في المقام الأول، فكيف تؤدي مانعة الصواعق هذا الهدف؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 3

100. حلّل واستنتج وُضِعت الكرتان الصغيرتان A وB على محور x، كما هو موضح في **الشكل 29–3**. فإذا كانت شحنة الكرة A تساوي 3.00×10^{-6} C، والكرة B تبعد مسافة مقدارها 0.800 m عن يمين الكرة A، وتحمل شحنة مقدارها -5.00×10^{-6} C فما شدة المجال الكهربائي واتجاهه عند نقطة فوق المحور x، بحيث تشكل هذه النقطة رأس مثلث متساوي الأضلاع مع الكرتين A و B؟



الشكل 29–3

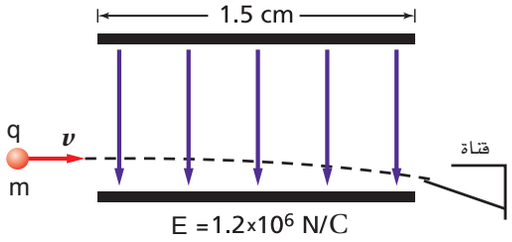
101. حلّل واستنتج في طابعة نفث الحبر، تُعطى قطرات الحبر كمية معيّنة من الشحنة قبل أن تتحرك بين لوحين كبيرين متوازيين، الهدف منهما توجيه الشحنات بحيث يتم إيقافها لتتحرك في قناة؛ لكي لا تصل إلى الورقة، كما هو موضّح في **الشكل 30–3**. ويبلغ طول كل لوح 1.5 cm، ويتولّد بينهما مجال كهربائي مقداره 1.2×10^{6} N /C. فإذا تحركت قطرات حبر، كتلة كلٍّ منها 0.10 ng، وشحنتها 1.0×10^{-16} C، أفقيًّا بسرعة 15 m /s في اتجاه موازٍ للوحين، كما في الشكل، فما مقدار الإزاحة الرأسية للقطرات لحظة مغادرتها اللوحين؟ لمساعدتك على إجابة السؤال أجب عن الأسئلة الآتية:

a. ما القوة الرأسية المؤثرة في القطرات؟

b. ما مقدار التسارع الرأسي للقطرات؟

c. ما الزمن الذي بقيت فيه القطرات بين اللوحين؟

d. ما إزاحة القطرات؟



الشكل 30–3

102. تطبيق المفاهيم افترض أن القمر يحمل شحنة فائضة تساوي $-q$، وأن الأرض تحمل شحنة فائضة تساوي $+10\,q$، ما مقدار الشحنة q التي تنتج مقدار القوة نفسه الناتج عن قوة الجاذبية بين كتلتيهما؟

الكتابة في الفيزياء

103. اختر اسمًا لوحدة كهربائية، مثل: الكولوم، أو الفولت، أو الفاراد، وابحث عن حياة وعمل العالم الذي سُمِّيت باسمه. واكتب مقالة موجزة عن هذا العالم على أن تتضمن مناقشة العمل الذي برّر إطلاق اسمه على تلك الوحدة.

مراجعة تراكمية

104. إذا كانت القوة بين شحنتين Q و q تساوي F عندما كانت المسافة بينهما r، فأوجد مقدار القوة الجديدة التي تنتج في كل حالة من الحالات الآتية: (الفصل 2)

a. مضاعفة r ثلاث مرات.

b. مضاعفة Q ثلاث مرات.

c. مضاعفة كل من r، وQ ثلاث مرات.

d. مضاعفة كل من r، وQ مرتين.

e. مضاعفة كل من r، وQ، وq ثلاث مرات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. لماذا يقاس المجال الكهربائي بشحنة اختبار صغيرة فقط؟

(A) حتى لا تُشتّت الشحنة المجال.

(B) لأن الشحنات الصغيرة لها زخم قليل.

(C) حتى لا يؤدي مقدارها إلى دفع الشحنة المراد قياسها جانبًا.

(D) لأن الإلكترون يستخدم دائمًا بوصفه شحنة اختبار، وشحنة الإلكترونات صغيرة.

2. إذا تأثرت شحنة مقدارها 2.1×10^{-9} C بقوة مقدارها 14 N، فما مقدار المجال الكهربائي المؤثر؟

(A) 0.15×10^{-9} N /C

(B) 6.7×10^{-9} N /C

(C) 29×10^{-9} N /C

(D) 6.7×10^{9} N /C

3. تتأثّر شحنة اختبار موجبة مقدارها 8.7 μC بقوة 8.1×10^{-6} N في اتجاه يصنع زاوية 24° شمال الشرق. ما مقدار شدة المجال الكهربائي واتجاهه في موقع شحنة الاختبار؟

(A) 7.0×10^{-8} N /C، 24° شمال الشرق.

(B) 1.7×10^{-6} N /C، 24° جنوب الغرب.

(C) 1.1×10^{-3} N /C، 24° غرب الجنوب.

(D) 9.3×10^{-1} N /C، 24° شمال الشرق.

4. ما مقدار فرق الجهد الكهربائي بين لوحين يبعد أحدهما عن الآخر 18 cm، والمجال الكهربائي بينهما 4.8×10^{3} N /C؟

(A) 27 V

(B) 86 V

(C) 0.86 kV

(D) 27 kV

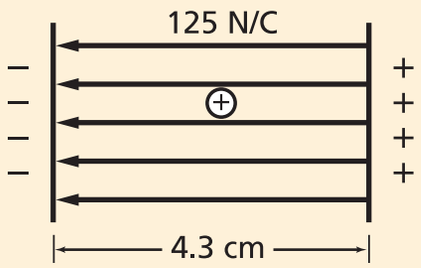
5. ما مقدار الشغل المبذول على بروتون عند نقله من لوح سالب الشحنة إلى لوح موجب الشحنة، إذا كانت المسافة بين اللوحين 4.3 cm، والمجال الكهربائي بينهما 125 N /C؟

(A) 5.5×10^{-23} J

(B) 8.6×10^{-19} J

(C) 1.1×10^{-16} J

(D) 5.4 J



6. كيف تم تحديد قيمة المجال الكهربائي في تجربة قطرة الزيت لملّيكان؟

(A) باستخدام مغناطيس كهربائي قابل للقياس.

(B) من خلال فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين.

(C) من خلال مقدار الشحنة.

(D) بمقياس كهربائي.

7. في تجربة قطرة الزيت، تم تثبيت قطرة زيت وزنها 1.9×10^{-14} N عندما كان فرق الجهد بين اللوحين 0.78 kV، والبعد بينهما 63 mm، كما هو موضح في الشكل في الصفحة الآتية. ما مقدار الشحنة على القطرة؟

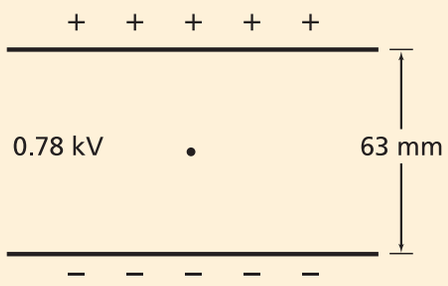
(A) -1.5×10^{-18} C

(B) -3.9×10^{-16} C

(C) -1.2×10^{-15} C

(D) -9.3×10^{-13} C

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



8. مكثف سعته 0.093 μF. إذا كانت شحنته 58 μC فما مقدار فرق الجهد الكهربائي عليه؟

(A) 5.4×10^{-12} V

(B) 1.6×10^{-6} V

(C) 6.2×10^{2} V

(D) 5.4×10^{3} V

الأسئلة الممتدة

9. افترض أن قطرة زيت تحمل 18 إلكترونًا إضافيًّا. احسب شحنة قطرة الزيت، واحسب فرق الجهد الكهربائي اللازم لتثبيتها بين لوحين فلزيين متوازيين ومشحونين البعد بينهما 14.1 mm، إذا كان وزنها 6.12×10^{-14} N.

إرشاد

استعمل نظام الأصدقاء

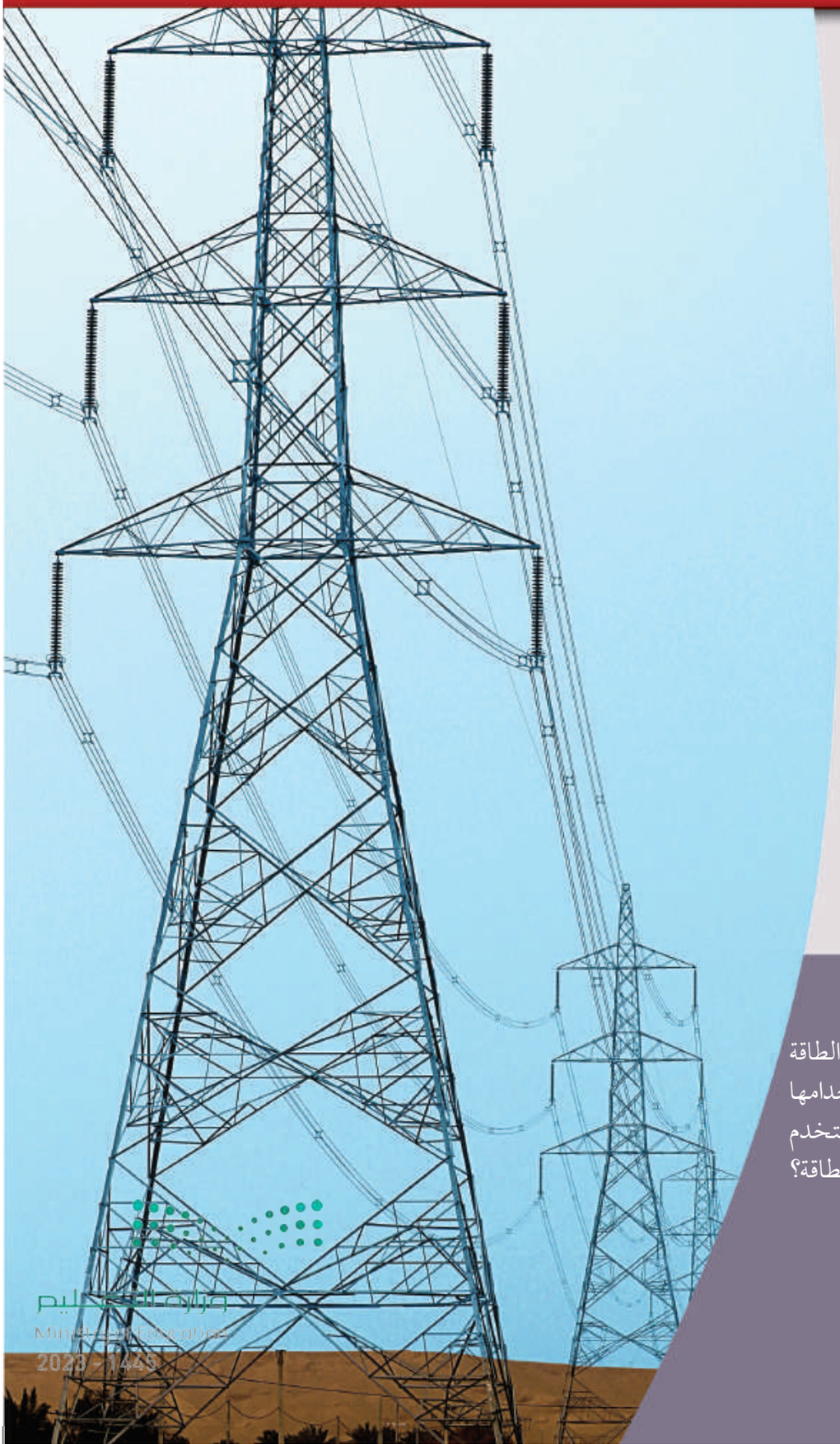
ادرس ضمن مجموعة؛ لأن الدراسة في مجموعة صغيرة تتيح لك الاستفادة من المهارات والمعارف من مَعين أوسع. واحرص على أن تكون مجموعتك صغيرة ما أمكنك، وتبادلوا طرح الأسئلة فيما بينكم، وركِّزوا في نقاشكم وتجنّبوا الخوض في موضوعات جانبية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 4

الكهرباء التيارية

Current Electricity



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- توضيح تحوّلات الطاقة في الدوائر الكهربائية.
- حل مسائل تتضمن التيار الكهربائي وفرق الجهد والمقاومة.
- رسم دوائر كهربائية بسيطة.

الأهمية

يعتمد مبدأ عمل الأدوات والأجهزة الكهربائية التي تستعملها على مقدرة الدوائر الكهربائية فيها على نقل الطاقة الناتجة عن فرق الجهد، ومن ثم إنجاز شغل.

أسلاك نقل القدرة تنتشر شبكة أسلاك نقل الطاقة الكهربائية في طول البلاد وعرضها لنقل الطاقة إلى الأماكن التي تحتاج إليها. وتتم عملية النقل هذه عند فروق جهد كبيرة، تصل غالبًا إلى 500,000 V.

فكِّر

تكون فروق الجهد (الفولتيات) في أسلاك نقل الطاقة الكهربائية كبيرة جدًّا، بحيث لا يمكن استخدامها بصورة آمنة في المنازل والشركات. فلماذا تستخدم مثل هذه الفولتيات الكبيرة في أسلاك نقل الطاقة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

هل يمكنك إنارة مصباح كهربائي؟

سؤال التجربة إذا أُعطيت سلكًا وبطارية ومصباحًا، فهل يمكنك إنارة المصباح؟

الخطوات

1. احصل من معلمك على مصباح كهربائي وسلك وبطارية، ثم حاول إيجاد الطرائق الممكنة لإنارة المصباح. ***تحذير: السلك حاد، وقد يجرح الجلد، كما أنه يسخن إذا وُصلت نهايتاه بقطبي بطارية.***
2. أنشئ رسمًا تخطيطيًّا لطريقتين يُمكنك بهما إنارة المصباح. تأكد من كتابة أسماء الأجزاء؛ البطارية والسلك والمصباح على الرسم.
3. أنشئ رسمًا تخطيطيًّا لثلاث طرائق على الأقل لا يُمكنك استعمالها في إنارة المصباح.

التحليل

كيف يمكنك معرفة ما إذا كان التيار الكهربائي يسري في الدائرة أم لا؟ وما العلاقة المشتركة بين رسومك الخاصة والمصباح المضيء؟ وما العلاقة المشتركة بين رسومك الخاصة والمصباح غير المضيء؟ وفقًا لملاحظاتك، ما الشروط التي يجب توافرها لكي يضيء المصباح؟

التفكير الناقد ما الذي يؤدي إلى سريان الكهرباء في المصباح؟

1–4 التيار الكهربائي والدوائر الكهربائية Current and Circuits

لا يمكن الاستغناء عن الطاقة الكهربائية في حياتنا اليومية؛ وهي لا تفنى بل تتحول إلى أشكال أخرى بسهولة. فهناك أمثلة كثيرة على ذلك؛ ففي منزلك تساعدك الأنوار على القراءة، كما يعتمد عمل الحواسيب على الكهرباء. أما خارج المنزل فمصابيح إنارة الشوارع والإشارات الضوئية تستخدم تدفق الشحنات الكهربائية. وستتعلم في هذا الفصل كيف يرتبط فرق الجهد، والمقاومة، والتيار معًا، وستتعرّف أيضًا القدرة الكهربائية وتحولات الطاقة.

تعلم أن للماء المتدفق من أعلى شلال طاقة وضع وطاقة حركية. ورغم توافر كمية كبيرة من طاقتي الوضع والحركة الطبيعيتين في بعض المصادر الطبيعية كما في الشلالات وموجات البحر مثلًا، وبسبب بُعد هذه المصادر عن مناطق السكن والمصانع فنضطر إلى نقلها بكفاءة. وتعدّ الطاقة الكهربائية الوسيلة الأمثل لنقل كميات كبيرة من الطاقة مسافات كبيرة دون فقد جزء كبير منها. وتتم عملية النقل هذه عادة عند فروق جهد كبيرة عبر أسلاك نقل القدرة، كتلك الموضحة في الصفحة السابقة. وعندما تصل هذه الطاقة إلى المستهلك يُمكن تحويلها بسهولة إلى شكل آخر، أو مجموعة أشكال أخرى، منها: الطاقة الصوتية، والطاقة الضوئية، والطاقة الحرارية، والطاقة الحركية.

الأهداف

- **تصف** الشروط اللازمة لسريان تيار كهربائي في دائرة كهربائية.
- **توضح** قانون أوم.
- **تُصمّم** دوائر كهربائية مغلقة.
- **تُفرّق** بين القدرة والطاقة في دائرة كهربائية.

المفردات

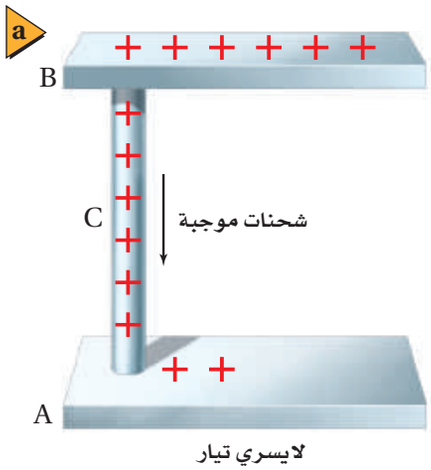
التيار الكهربائي	التيار الاصطلاحي
البطارية	الدائرة الكهربائية
حفظ الشحنة	الأمبير
المقاومة الكهربائية	التوصيل على التوازي
التوصيل على التوالي	

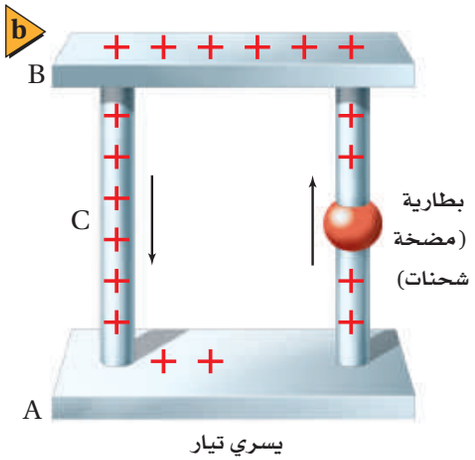
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

توليد التيار الكهربائي Producing Electric Current

تعلمت سابقًا أنه عند تلامس كرتين موصلتين تتدفق الشحنات من الكرة ذات الجهد الأعلى إلى الكرة ذات الجهد المنخفض، ويستمر التدفق حتى يتلاشى فرق الجهد بينهما.

ويسمّى المعدل الزمني لتدفق الشحنة الكهربائية **التيار الكهربائي**. ويوضح **الشكل 4–1a** لوحين موصلين A و B، تم توصيلهما بسلك موصل C. ولأن جهد B أكبر من جهد A فإن الشحنات تتدفق من B إلى A عبر السلك C. ويسمّى تدفق الشحنات الموجبة **التيار الاصطلاحي**. ويتوقف التدفق عندما يصبح فرق الجهد بين A و B و C صفرًا. ويمكنك المحافظة أو الإبقاء على وجود فرق جهد كهربائي بين A وB عن طريق ضخ جسيمات مشحونة من اللوح A لتعود إلى اللوح B، كما هو موضّح في **الشكل 4–1b**. ولأن المضخة (مصدر الجهد) تعمل على زيادة طاقة الوضع الكهربائية للشحنات فإنها تحتاج إلى مصدر طاقة خارجي حتى تعمل. ولهذه الطاقة مصادر متنوعة؛ فمثلًا تعد الخلية الفولتية، أو الخلية الجلفانية (البطارية الجافة الشائعة)، أحد هذه المصادر المألوفة؛ إذ تقوم بتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية. وعند وصل عدة خلايا جلفانية معًا يتشكل ما يسمى **البطارية**. وهناك مصدر آخر للطاقة الكهربائية، وهو خلية الفولتية الضوئية أو الخلية الشمسية، حيث تعمل هذه الخلية على تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية.





الشكل 4–1 يُعرّف التيار الاصطلاحي بأنه تدفق الشحنات الموجبة من اللوح الموجب إلى اللوح السالب (a). ويضخ المولّد الشحنات الموجبة لتعود إلى اللوح الموجب، مما يؤدي إلى استمرار سريان التيار (b). وفي أغلب الفلزات تتدفق الإلكترونات ذات الشحنة السالبة من اللوح السالب إلى اللوح الموجب، مما يجعل الشحنات الموجبة تبدو وكأنها تتحرك في الاتجاه المعاكس.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الدوائر الكهربائية Electric Circuits

تتحرك الشحنات الموضحة في **الشكل 4–1b** في مسار مغلق، بحيث تتحرك في دورة تبدأ من البطارية (المضخة)، ثم تصل إلى اللوح B من خلال الموصل C، وتصل بعد ذلك إلى اللوح A لتعود إلى المضخة مرة أخرى. وتسمى أي حلقة مغلقة أو مسار موصل يسمح بتدفق الشحنات الكهربائية **الدائرة الكهربائية**. وتحتوي الدائرة على بطارية (مضخة للشحنات)، تعمل على زيادة طاقة الوضع الكهربائية للشحنات المتدفقة من A إلى B، كما تحتوي أيضًا على أداة تقلل من طاقة الوضع الكهربائية للشحنات المتدفقة من B إلى A. وتتحول عادة طاقة الوضع التي تفقدها الشحنات المتحركة (qV) بهذه الأداة إلى أشكال أخرى للطاقة. فمثلاً يعمل المحرك على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية، ويحوّل المصباح الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية، وتحوّل المدفأة الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية.

فدور البطارية هو تزويد الشحنات الكهربائية بطاقة تمكنها من التدفق في الدائرة مشكلة تيارا كهربائيًّا.

حفظ الشحنة الشحنات لا تفنى ولا تستحدث، ولكن يمكن فصلها؛ لذا فإن الكمية الكلية للشحنة – عدد الإلكترونات السالبة والأيونات الموجبة – في الدائرة لا تتغير. فإذا تدفق كولوم واحد من الشحنات الكهربائية خلال ثانية واحدة في جزء من الدائرة الكهربائية المغلقة فسيتدفق المقدار نفسه من الشحنات في جميع أجزاء الدائرة نفسها، لذا تكون كمية الشحنة محفوظة. كما تكون الطاقة محفوظة أيضًا؛ حيث إن التغير في الطاقة الكهربائية ΔE يساوي qV. ولأن q محفوظة فإن التغير الكلي في طاقة الوضع للشحنات التي تحركت دورة كاملة في الدائرة الكهربائية يساوي صفرًا. وتكون الزيادة في فرق الجهد في جزء من دائرة كهربائية مساوية للنقصان في فرق الجهد خلال الأجزاء الأخرى منها.

معدل تدفق الشحنة ومعدل تحول الطاقة
Rates of Charge Flow and Energy Transfers

تمثّل القدرة المعدل الزمني لتحوّل الطاقة، وتُقاس بوحدة الواط W. فإذا حوّل مولّد كهربائي 1 J من الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية في كل ثانية فعندئذ يمكننا القول إن المولد يحول الطاقة بمعدل 1 J /s أو 1 W. وتعتمد الطاقة التي يحملها التيار الكهربائي على كمية الشحنات المنقولة q، كما تعتمد أيضًا على فرق الجهد V بين طرفي المسار الذي يتحرك فيه التيار؛ أي أن $E = qV$. ويسمّى معدل تدفق الشحنة الكهربائية q/t شدة التيار الكهربائي، ويقاس بوحدة كولوم لكل ثانية؛ حيث وحدة قياس كمية الشحنة الكهربائية هي الكولوم، كما درست سابقًا. ويُرمز إلى التيار الكهربائي بالرمز I، لذا فإن $I = q/t$. ويسمّى تدفق 1 C /s **الأمبير**، ويرمز له بالرمز A. وهي الوحدة المعيارية لشدة التيار الكهربائي في النظام الدولي للوحدات SI.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

ترتبط الطاقة التي يحملها التيار الكهربائي مع الجهد الكهربائي من خلال العلاقة $E = qV$. وحيث إن التيار $I = q/t$ يمثّل المعدل الزمني لتدفق الشحنة فإنه يمكن تحديد القدرة، $P = E/t$، لجهاز كهربائي بضرب الجهد في التيار. ولاشتقاق هذه الصورة المألوفة لمعادلة القدرة الكهربائية الواصلة إلى جهاز كهربائي يمكنك استخدام العلاقة $P = E/t$، ثم تعوّض فيها العلاقتين الآتيتين $E = qV$ و $q = It$.

القدرة $P = IV$

القدرة تساوي شدة التيار مضروبًا في فرق الجهد.

إذا كان التيار المار في محرّك كهربائي يساوي 3.0 A، وفرق الجهد 120 V فإن قدرة المحرك تحسب كما يأتي: $P = (3.0\ C/s)(120\ J/C) = 360\ J/s$ والتي تساوي 360 W.

مثـــال 1

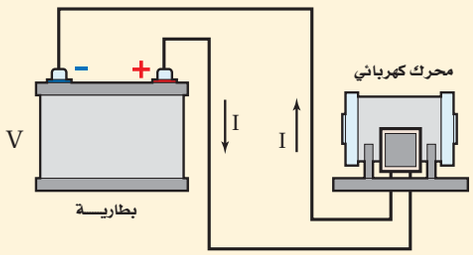
القدرة الكهربائية والطاقة ولّدت بطارية جهدها 6.0 V تيارًا مقداره 0.50 A في محرك كهربائي عند وصله بطرفيها. احسب مقدار:

a. القدرة الواصلة إلى المحرك.

b. الطاقة الكهربائية الواصلة إلى المحرك، إذا تم تشغيله مدة 5.0 min.

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم دائرة تبين فيها الطرف الموجب لبطارية موصول بمحرك، والسلك الراجع من المحرك موصول بالطرف السالب للبطارية.
- وضّح اتجاه التيار الاصطلاحي.



المعلوم	المجهول
$V = 6.0\ V$	$P = ?$
$I = 0.50\ A$	$E = ?$
$t = 5.0\ min$	

دليل الرياضيات

الأرقام المعنوية

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم المعادلة $P = IV$ لإيجاد القدرة.

بالتعويض عن $I = 0.50\ A$، $V = 6.0\ V$

$$P = IV$$
$$= (0.50\ A)(6.0\ V)$$
$$= 3.0\ W$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

b. تعلمت سابقًا أن $P = E/t$. حل هذه المعادلة بالنسبة لـ E لإيجاد الطاقة الكهربائية الواصلة إلى المحرك.

$$E = Pt$$

بالتعويض عن $P = 3.0\ W$، $t = 5.0\ min$

$$= (3.0\ J/s)(5.0\ min)\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)$$

$$= 9.0\times10^{2}\ J$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تم قياس القدرة بالواط، والطاقة بالجول.
- **هل الجواب منطقي؟** مقدار التيار والجهد قليلان نسبيًّا، لذا يكون المقدار القليل للقدرة منطقيًّا.

مسائل تدريبية

1. إذا مرّ تيار كهربائي مقداره 0.50 A في مصباح كهربائي فرق الجهد بين طرفيه 125 V، فما المعدل الزمني لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية؟ افترض أن كفاءة المصباح 100%.
2. تَوَلّد تيار مقداره 2.0 A في مصباح متصل ببطارية سيارة. ما مقدار القدرة المستهلكة في المصباح إذا كان فرق الجهد عليه 12 V؟
3. ما مقدار التيار الكهربائي المار في مصباح قدرته 75 W متصل بمصدر جهد مقداره 125 V؟
4. يمرّ تيار كهربائي مقداره 210 A في جهاز بدء التشغيل في محرك سيارة. فإذا كان فرق الجهد بين قطبي البطارية 12 V فما مقدار الطاقة الكهربائية التي تصل إلى جهاز بدء التشغيل خلال 10.0 s؟
5. مصباح كهربائي كُتب عليه 0.90 W. إذا كان فرق الجهد بين طرفيه 3.0 V فما مقدار شدة التيار المار فيه؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المقاومة الكهربائية وقانون أوم Resistance and Ohm's Law

درس العـــالم أوم(1854–1787) العلاقة بين التيار وفرق الجهـــد، وتوصل إلى أن التيار الكهربائي يتناسب طرديًّا مع فرق الجهد، وعُرفت هذه النتيجة باسم قانون أوم. افترض أن هناك فرق جهد كهربائي بين موصلين، فإذا وصلا بقضيب نحاسي، فسينتج عن ذلك تيار كهربائي كبير. أما عند وضع قضيب زجاجي بينهما فغالبًا لن يسري تيار كهربائي. وتسمّى الخاصية التي تحدد مقدار التيار الذي سيمر **المقاومة الكهربائية**. يحتوي **الجدول 1–4** على قائمة لبعض العوامل التي تؤثر في المقاومة، حيث يتم قياس المقاومة بتطبيق فرق جهد على طرفي الموصل، ثم قسمة الجهد على التيار المتولّد. وتعرّف المقاومة R بأنها نسبة فرق الجهد الكهربائي V إلى التيار الكهربائي I.

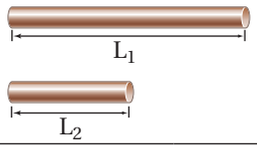
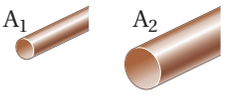
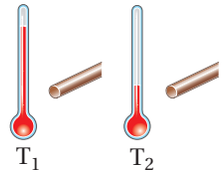
المقاومة $R = \frac{V}{I}$

المقاومة تساوي فرق الجهد الكهربائي مقسومًا على شدة التيار.

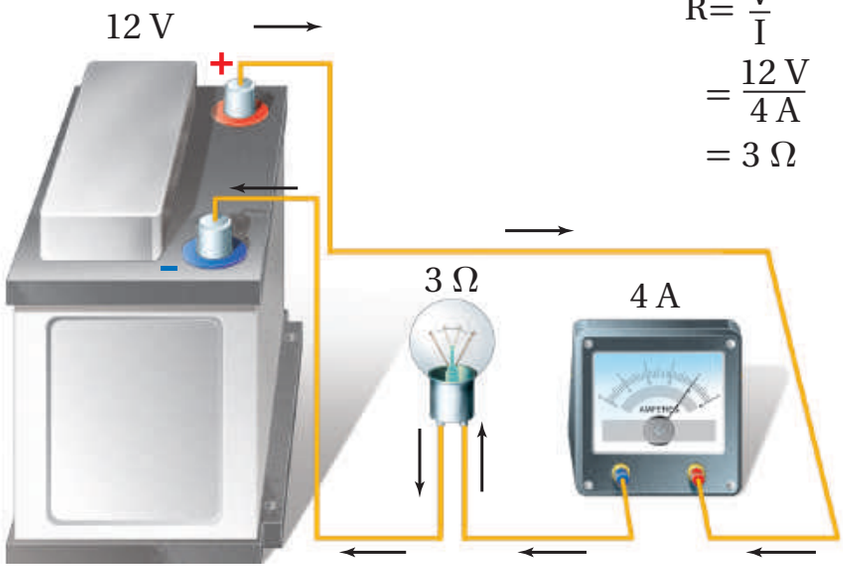
تُقاس مقاومـــة موصل R بوحدة الأوم، ويعرّف الأوم الواحد (1 Ω) بأنه مقاومة موصل

الجدول 1-4

تغير المقاومة

العامل	كيفية تغيُّر المقاومة	مثال
الطول	تزداد المقاومة الكهربائية بزيادة الطول.	$R_{L1} > R_{L2}$ 
مساحة المقطع العرضي	تزداد المقاومة الكهربائية بنقصان مساحة المقطع العرضي.	$R_{A1} > R_{A2}$ 
درجة الحرارة	تزداد المقاومة بزيادة درجة الحرارة.	$R_{T1} > R_{T2}$ 
نوع المادة	عند تثبيت كلٍّ من الطول ومساحة المقطع العرضي ودرجة الحرارة، تتغير المقاومة الكهربائية وفق نوع المادة المستخدمة.	تزداد R البلاتين الحديد الألومنيوم الذهب النحاس الفضة

$$R = \frac{V}{I} = \frac{12\ V}{4\ A} = 3\ \Omega$$



الشكل 2–4 يُعَرَّف الأوم الواحد (1 Ω) بأنه 1 V/A. يمر تيار كهربائي مقداره 4 A في دائرة كهربائية تحوي مقاومة كهربائية مقدارها 3 Ω عند وصلها ببطارية فرق الجهد بين قطبيها 12 V.

يمر فيه تيار شدته 1 A عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه 1 V. ويوضّح **الشكل 2–4** دائرة كهربائية بسيطة تربط بين المقاومة والتيار والجهد. وقد أكملت الدائرة الكهربائية بتوصيل أميتر بها؛ وهو جهاز يقيس شدة التيار الكهربائي.

وقد سُمّيت وحدة المقاومة الأوم نسبة إلى العالم الألماني جورج سيمون أوم، الذي وجد أن النسبة بين فرق الجهد بين طرفي موصل وشدة التيار المار فيه ثابتة للموصل الواحد. ولا تتغير مقاومة معظم الموصلات بتغير مقدار أو اتجاه الجهد المُطبّق عليها. ويُقال عن الموصل إنه يُحقّق قانون أوم إذا كانت مقاومته ثابتة لا تعتمد على فرق الجهد بين طرفيه.

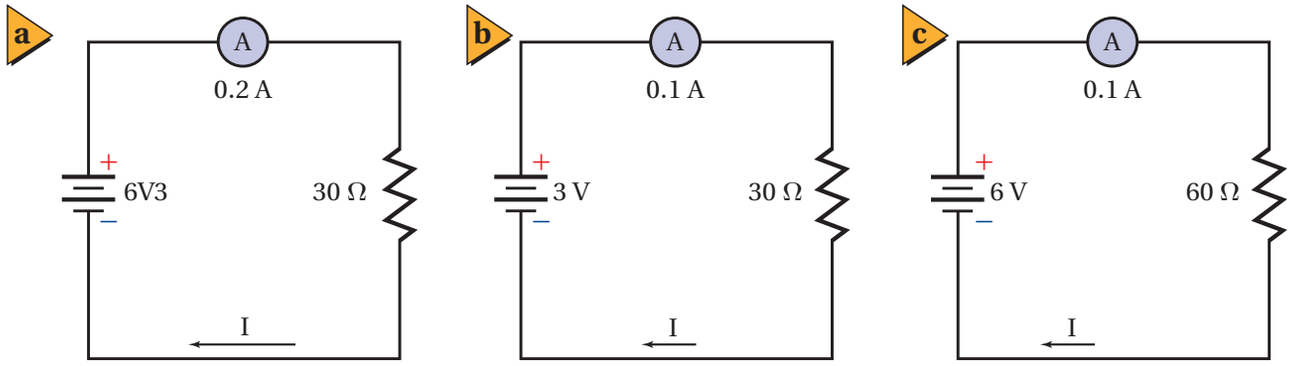
وتُحقّق معظم الموصلات الفلزية قانون أوم ضمن حدود معينة لفروق الجهد، وتعتمد مقاومة تلك الموصلات على طول الموصل ومساحة مقطعه العرضي ونوع مادته إضافة إلى درجة حرارته. إلا أن هناك العديد من الأجهزة المهمة لا تُحقّق قانون أوم. فالمذياع والآلة الحاسبة يحتويان عددًا من الترانزستورات والصمامات الثنائية (الدايودات)، وحتى المصباح الكهربائي له أيضًا مقاومة تعتمد على درجة حرارته، كما أنه لا يُحقّق قانون أوم.

إن مقاومة الأسلاك المستخدمة في توصيل الأجهزة الكهربائية قليلة. فمقاومة سلك مثالي طوله 1 m من النوع المستخدم في مختبرات الفيزياء تساوي 0.03 Ω، أما الأسلاك المستخدمة في التمديدات المنزلية فتكون مقاومتها صغيرة وتساوي 0.004 Ω تقريبًا لكل متر من طولها. ولأن مقاومة هذه الأسلاك قليلة جدًّا فإنه لا يحدث – غالبًا – نقصان أو هبوط للجهد خلالها. ولإنتاج هبوط أكبر في الجهد يلزم وجود مقاومة كبيرة مُتركِّزة في حجم صغير. ويمكن صنع المقاومات من الجرافيت أو أشباه الموصلات أو باستعمال أسلاك طويلة ورفيعة.

تطبيق الفيزياء

المقاومة الكهربائية تبلغ مقاومة مصباح كهربائي مُضاء قدرته الكهربائية 100 W حوالي 140 Ω. أما عند إطفائه وتركه حتى تصبح درجة حرارته مساويةً درجة حرارة الغرفة فتنخفض مقاومته إلى 10 Ω فقط. ويرجع سبب هذا الاختلاف في المقاومة إلى الاختلاف الكبير بين درجة حرارة الغرفة ودرجة حرارة المصباح المُضاء.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

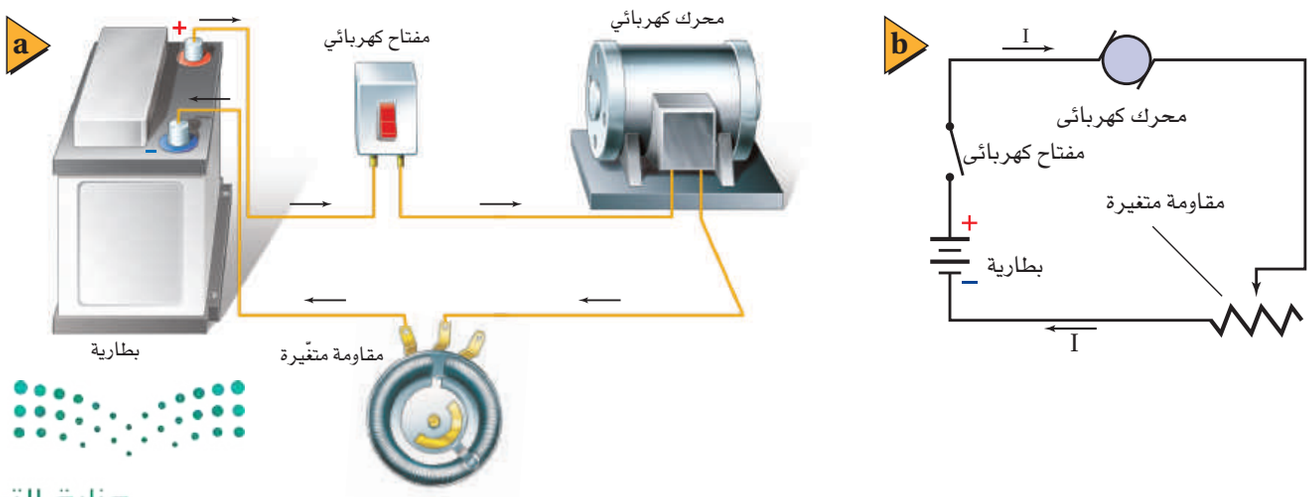


الشكل 3–4 يمكن التحكم في التيار المار في الدائرة البسيطة الموضّحة في الشكل (**a**) عن طريق إزالة بعض الخلايا الجافة (**b**) أو بزيادة مقاومة الدائرة (**c**).

وهناك طريقتان للتحكم في شدة التيار المار في دائرة كهربائية؛ حيث يمكن التحكم في شدة التيار الكهربائي I عن طريق تغيير V أو R أو كليهما؛ وذلك لأن $I = V/R$. ويوضّح **الشكل 3a–4** دائرة بسيطة؛ فعندما تكون V تساوي 6 V، و R تساوي 30 Ω يكون مقدار التيار 0.2 A. فكيف يمكن تقليل مقدار التيار ليصبح 0.1 A؟ بالرجوع إلى قانون أوم تلاحظ أنه كلما زاد فرق الجهد المُطبّق على مقاومة زادت شدة التيار الكهربائي المار فيه، أما إذا قلّ فرق الجهد المُطبّق على المقاومة إلى النصف فسوف تقل شدة التيار المار فيه إلى النصف أيضًا. ويوضح **الشكل 3b–4** أن الجهد المُطبّق على طرفي المقاومة قلّ من 6 V إلى 3 V؛ وذلك لتقليل التيار ليصبح 0.1 A. وهناك طريقة أخرى لتقليل التيار حتى يصبح 0.1 A، وذلك بوضع مقاومة 60 Ω بدلاً من المقاومة 30 Ω، كما هو موضّح في **الشكل 3c–4**.

وتُستخدم المقاومات عادة للتحكم في التيار المار في الدائرة الكهربائية، أو في أجزاء منها. ونحتاج أحيانًا في بعض التطبيقات إلى تغيير سلس ومستمر للتيار. فمثلاً تسمح أدوات التحكم في السرعة في بعض المحركات الكهربائية بتغيير دوران المحرك على مدى واسع ومستمر بدلاً من تلك التغييرات التي تكون محدّدة في صورة خطوة–خطوة. ولتحقيق هذا النوع من التحكم تُستخدم مقاومة متغيرة. ويوضح **الشكل 4–4** دائرة كهربائية تحتوي على مقاومة متغيرة. وتتكون بعض المقاومات المتغيرة من ملف مصنوع من سلك

الشكل 4–4 يمكن استعمال مقاومة متغيرة للتحكم في التيار المار في دائرة كهربائية.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

فلزي ونقطــة اتصال منزلقة (متحركة). وبتحريك نقطــة الاتصال إلى مواقع مختلفة على الملف يتغير طول الســلك الذي يصبح ضمن الدائرة الكهربائية؛ فبزيادة طول الســلك في الدائــرة تزداد مقاومة الدائرة، لذا يتغير التيار وفــق المعادلة $I = V/R$. وبهذه الطريقة يمكن تعديل سرعة محرك من دوران سريع عندما يكون طول الســلك في الدائرة قصيرًا، ليصبح دورانه بطيئًا عند زيادة طول السلك في الدائرة. وهناك أمثلة أخرى على استخدام المقاومات المتغيرة للتحكم في مســتويات الطاقــة الكهربائية في التلفــاز وضبطها، مثل التحكم في الصوت ودرجة سطوع الصورة وتباينها والألوان، وتعدّ جميع أدوات الضبط هذه مقاومات متغيرة.

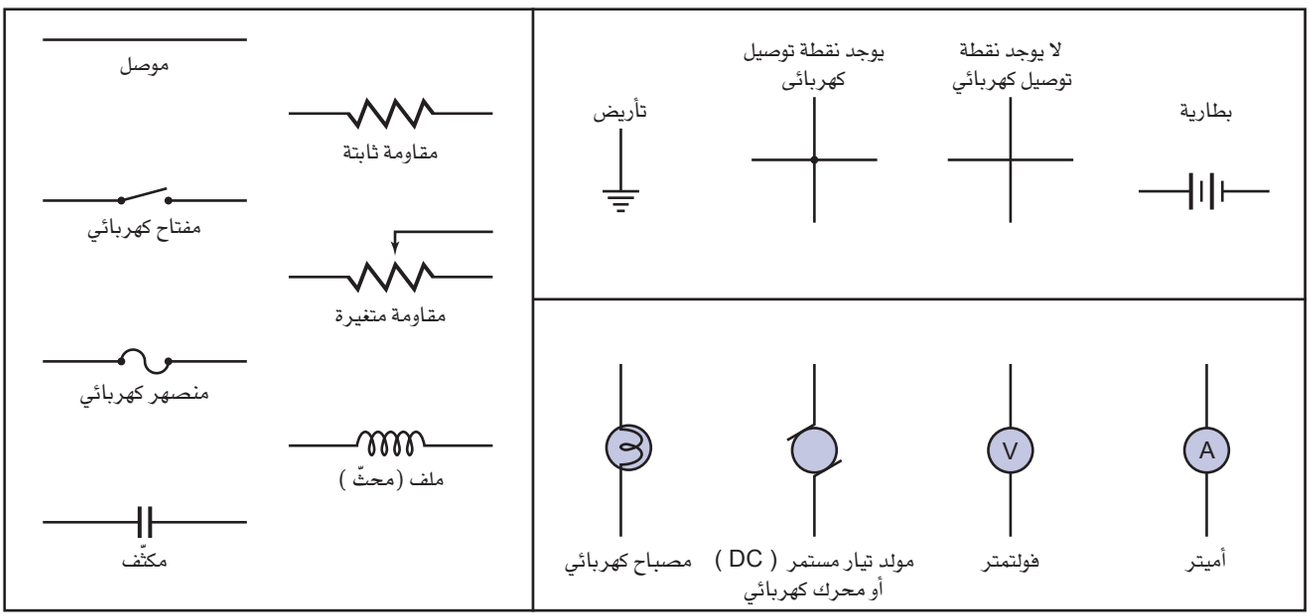
الربط مع الأحيـاء

جسـم الإنسان يؤثر جســم الإنســان بوصفه مقاومة متغيرة؛ حيث تكون مقاومة الجلد الجاف كبيرة بقدر كافٍ لجعل التيارات الناتجة عن الجهود الصغيرة والمعتدلة قليلة. أما إذا أصبح الجلد رطبًا فستكون مقاومته أقل. وقد يرتفع التيار الكهربائي الناتج عن هذه الجهود إلى مستويات خطرة. ويمكن الشعور بتيار كهربائي صغير يصل مقداره إلى قيمة قريبة من 1 mA في صورة صدمة كهربائية خفيفة. أما التيارات التي مقاديرها قريبة من 15 mA فقد تؤدي إلى فقدان الســيطرة على العضلات. في حين أن التيــارات التي مقاديرها قريبة من 100 mA قد تؤدي إلى الموت.

تمثيل الدوائر الكهربائية Diagramming Circuits

يمكن وصف دائرة كهربائية بســيطة بالكلمات، كما يمكن أيضًا تصويرها فوتوجرافيًّا أو بالرسم الفني لأجزائها. وترســم الدوائر الكهربائية غالبًا باستخدام رموز معينة لأجزاء الدائرة، ومثل هذا الرســم يسمّى الرسم التخطيطي للدائرة. ويوضح **الشكل 5–4** بعض الرموز المستخدمة في الرسوم التخطيطيّة للدوائر الكهربائية.

الشـكل 5–4 تستخدم هذه الرموز عادةً للرسم التخطيطي للدوائر الكهربائية.



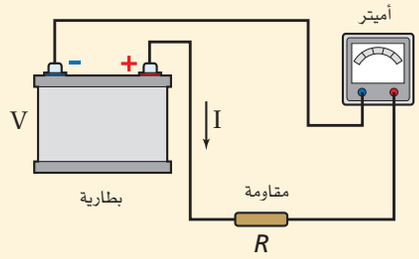
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مثـــــال 2

التيار المار في مقاومة وصلت بطارية فرق الجهد بين قطبيها 30.0 V بمقاومة مقدارها 10.0 Ω. ما مقدار التيار المار في الدائرة؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم دائرة تحتوي على بطارية وأميتر ومقاوم.
- وضّح اتجاه التيار الاصطلاحي.



المعلوم	المجهول
$V = 30.0\ V$ $R = 10.0\ \Omega$	$I = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم المعادلة $I = V/R$، لإيجاد التيار:

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

بالتعويض عن $V = 30.0\ V$، $R = 10.0\ \Omega$

$$I = \frac{V}{R}$$
$$= \frac{30.0\ V}{10.0\ \Omega} = 3.00\ A$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يُقاس التيار بوحدة الأمبير A.
- **هل الجواب منطقي؟** الجهد كبير والمقاومة قليلة، لذا يكون مقدار التيار 3.00 A منطقيًّا.

مسائل تدريبية

افترض في هذه المسائل جميعها أن جهد البطارية ومقاومات المصابيح ثابتة، بغض النظر عن مقدار التيار.

6. إذا وُصل محرك بمصدر جهد، وكانت مقاومة المحرك في أثناء تشغيله 33 Ω، ومقدار التيار المار في تلك الدائرة 3.8 A، فما مقدار جهد المصدر؟

7. يمر تيار مقداره $2.0\times10^{-4}\ A$ في مجسّ عند تشغيله ببطارية جهدها 3.0 V. ما مقدار مقاومة دائرة جهاز المجسّ؟

8. يسحب مصباح تيارًا مقداره 0.50 A عند توصيله بمصدر جهد مقداره 120 V. احسب مقدار:

a. مقاومة المصباح. **b.** القدرة الكهربائية المستهلكة في المصباح.

9. وصِل مصباح كُتب عليه 75 W بمصدر جهد 125 V، احسب مقدار:

a. التيار المار في المصباح. **b.** مقاومة المصباح.

10. في المسألة السابقة، إذا أُضيفت مقاومة للمصباح لتقليل التيار المار فيه إلى نصف قيمته الأصلية، فما مقدار:

a. فرق الجهد بين طرفي المصباح؟

b. المقاومة التي أُضيفت إلى الدائرة؟

c. القدرة الكهربائية التي يستهلكها المصباح الآن؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

■ **الشكل 6–4** تمثيل تصويري لدائرة بسيطة (a)، وتمثيل آخر تخطيطي (b).

يوضح **الشكلان 6a–4** و **6b–4** الدائرة نفسها بالرسم التصويري والرسم التخطيطي. ولعلك تلاحظ أن الشحنة الكهربائية في كلا الشكلين تتدفق خارجةً من القطب الموجب للبطارية. ولإنشاء الرسوم التخطيطية للدوائر الكهربائية استخدم استراتيجية حل المسألة أدناه، وحدّد دائمًا اتجاه التيار الاصطلاحي.

تعلمت أن الأميتر يقيس التيار، والفولتمتر يقيس فرق الجهد. ولكل جهاز طرفان يميَّزان عادة بـ + و – لأجهزة قياس التيار المستمر. يقيس الفولتمتر فرق الجهد على أيٍّ من أجزاء الدائرة أو عناصرها. ولقياس فرق الجهد الكهربائي على أيّ عنصر في الدائرة، يوصل دائمًا طرف الفولتمتر الموجب + بطرف العنصر الأقرب إلى القطب الموجب للبطارية، ويوصل الطرف الآخر للفولتمتر بالطرف الآخر للعنصر.

استراتيجيات حل المسألة

إنشاء الرسوم التخطيطية

اتبع هذه الخطوات عند إعداد الرسوم التخطيطية:

1. ارسم رمز البطارية أو رمز أي مصدر آخر للطاقة الكهربائية، مثل البطارية الموضّحة في الجانب الأيسر من أعلى الصفحة، واجعل الطرف الموجب، وهو الخط الأكبر، في الأعلى.
2. ارسم سلكًا خارجًا من الطرف الموجب للبطارية، وعند الوصول إلى مقاومة أو أيّ مكون (عنصر) آخر، ارسم الرمز الخاص به.
3. عند الوصول إلى نقطة يكون عندها مساران للتيار الكهربائي، كتلك النقطة الموصول عندها الفولتمتر، نرسم الرمز ⊥ في الرسم التخطيطي. اتبع أحد المسارين إلى أن يتجمع مسارا التيار مرة أخرى، ثم ارسم بعد ذلك المسار الثاني.
4. اتبع مسار التيار حتى تصل إلى الطرف السالب للبطارية، والذي يرسم على شكل خط موازٍ للطرف الموجب، ولكنه أقصر.
5. تحقّق من صحة عملك، وأنه تضمن كل الأجزاء، وأن المسارات مكتملة ليمر التيار.

تجربة

تأثيرات التيار الكهربائي

هل تعتقد أن التيار يقل عند مروره خلال عناصر مختلفة في الدائرة؟ اعمل كالعلماء لكي تتمكّن من اختبار هذا السؤال عمليًا.

1. **ارسم دائرة كهربائية تتضمن مصدر قدرة ومصباحين كهربائيين صغيرين.**
2. **ارسم الدائرة مرة أخرى، وضمّن رسمك أميترًا؛ حتى تتمكن من قياس التيار بين مصدر القدرة والمصباحين.**
3. **ارسم رسمًا تخطيطيًا ثالثًا للدائرة الكهربائية، على أن توضح فيه الأميتر في موقع يُمكّنك من قياس التيار الكهربائي المار بين المصباحين.**

التحليل والاستنتاج

4. **توقع هل يكون التيار بين المصباحين أكبر من التيار الذي يكون قبلهما، أو أقل منه، أو يبقى ثابتًا؟ وضّح إجابتك.**
5. **اختبر توقعك عن طريق تركيب الدوائر الكهربائية. تحذير: السلك حاد، وقد يجرح الجلد.**

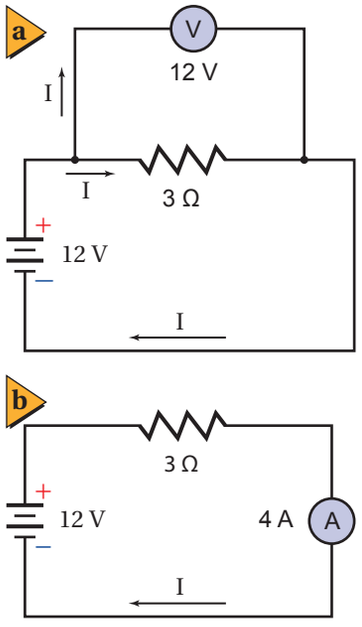
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسائل تدريبية

11. ارسم رسـمًا تخطيطيًّا لدائرة توالٍ تحتوي على بطارية فـرق الجهد بين طرفيها 60.0 V، وأميتر، ومقاومة مقدارها 12.5 Ω، وأوجد قراءة الأميتر، وحدّد اتجاه التيار.

12. أضف فولتمتر إلى الرسـم التخطيطي للدائرة الكهربائية في المسـألة السـابقة لقياس فرق الجهد بين طرفي المقاومتين، ثم أعد حلّها.

13. ارسم دائرة على أن تستخدم بطارية ومصباحًا ومفتاحًا كهربائيًّا ومقاومة متغيرة لتعديل سطوع المصباح.



الشكل 7–4 يبين هذان الرسمان التخطيطيان دائرة توازٍ (a) ودائرة توالٍ (b) كهربائيتين.

عنـد توصيل فولتمتر بـين طرفي عنـصر في دائرة كهربائيـة فإن هذا التوصيل يسـمّى **التوصيل على التوازي**، كما هو موضّح في **الشـكل 4–7a**. ويُسـمّى أيّ توصيل كهربائي يتفرّع فيه التيار إلى مسـارين أو أكثر التوصيلَ *على التوازي*. ويكون فرق الجهد بين طرفي الفولتمتر مسـاويًا لفرق الجهد بين طرفي العنصر في الدائرة، لذا يرافق حالة التوصيل على التوازي دائمًا العبارة الآتية: "*الجهد متساوٍ*".

يقيـس الأميتر التيار المار في عنصر في الدائرة. والتيار نفسـه الذي يمر في العنصر يجب أن يمر في الأميتر، لذا يكون هناك مسـار واحد فقط للتيار. ويسمّى التوصيل في حالة وجود مسار واحد فقط للتيار في الدائرة **التوصيلَ على التوالي**، كما هو موضّح في **الشكل 4–7b**. ولإضافة أميتر إلى دائرة كهربائية يجب فصل أحد السلكين الموصولين بعنصر الدائرة، ومن ثم يوصل ذلك السلك بالأميتر، ثم يتم توصيل سلك آخر من الطرف الثاني للأميتر بعنصر الدائرة. ويكون هناك مسار واحد فقط للتيار في دائرة التوالي، لذا يرافق حالة التوصيل على التوالي دائمًا العبارة الآتية: "*التيار متساوٍ*".

4–1 مراجعة

14. رسـم تخطيطي ارسم رسمًا تخطيطيًّا لدائرة كهربائية تحتوي على بطارية ومصباح كهربائي، وتأكد من أن المصباح الكهربائي سيضيء في هذه الدائرة .

15. المقاومة الكهربائية يدَّعي طارق أن المقاومة ستزداد بزيادة فرق الجهد؛ وذلـك لأن $R = V/I$. فهل ما يدعيه طارق صحيح؟ فسر ذلك.

16. المقاومـة الكهربائيـة إذا أردت قيـاس مقاومة سـلك طويل فبيّن كيف تركّب دائرة كهربائية باستخدام بطارية وفولتمتر وأميتر والسـلك الذي تريد قياس مقاومته. حدّد ما الذي ستقيسه؟ وبيّن كيف تحسب المقاومة؟

17. القـدرة تتصـل دائـرة كهربائيـة مقاومتها 12 Ω ببطاريـة جهدها 12 V. حدّد التغـير في القدرة إذا قلّت المقاومة إلى 9.0 Ω؟

18. الطاقـة تحـوِّل دائـرة كهربائيـة طاقـة مقدارهـا 2.2×10^3 J عندما تُشغّل ثلاث دقائق. حدّد مقدار الطاقة التي ستحوّلها عندما تشغل مدة ساعة واحدة.

19. التفكير الناقد نقول إن القدرة تستهلك وتُستنفد في مقاومة. والاسـتنفاد يعني الاسـتخدام، أو الضياع فما (الاسـتخدام) عند مرور شـحنات في مقاومة كهربائية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4–2 استخدام الطاقة الكهربائية Using Electric Energy

تعمل العديد من الأجهزة الكهربائية المنزلية المألوفة على تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى للطاقة؛ مثل الضوء أو الطاقة الحركية أو الصوت أو الطاقة الحرارية. فعند تشغيل أحد هذه الأجهزة تُغلق الدائرة الكهربائية ويبدأ تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى. ستتعلّم في هذا البند كيفية تحديد معدل تحويل الطاقة وكمية الطاقة المُحوّلة.

الأهداف

- **توضّح** كيف تُحوَّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية.
- **تستكشف** طرائق نقل الطاقة الكهربائية.
- **تُعرّف** الكيلوواط.ساعة.

المفردات

الموصل الفائق التوصيل

الكيلوواط.ساعة

تحولات الطاقة في الدوائر الكهربائية
Energy Transfers in Electric Circuits

يمكن استخدام الطاقة التي تدخل دائرة كهربائية بطرائق مختلفة؛ فالمحرك الكهربائي يحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية (حركية ووضع)، ويحوّل المصباح الطاقة الكهربائية إلى ضوء. ولا تتحوّل جميع الطاقة الكهربائية الواصلة إلى المحرك أو المصباح إلى شكل مفيد للطاقة؛ فالمصابيح الكهربائية – وبخاصة المتوهّجة منها – تسخن، كما ترتفع غالبًا درجة حرارة المحركات إلى درجة يتعذَّر معها لمسها، وفي كلتا الحالتين يتحول جزء من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية. وستتفحّص الآن بعض الأدوات التي صُمِّمت لتحول أكبر كمية ممكنة من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية.

تسخين مقاومة عند مرور تيار كهربائي في مقاومة فإنه يسخن؛ وذلك بسبب تصادم الإلكترونات مع ذرات المقاومة؛ حيث تعمل هذه التصادمات على زيادة الطاقة الحركية للذرات، ونتيجة لذلك ترتفع درجة حرارة المقاومة. لقد صُمّمت كل من المدفأة الحرارية وصفيحة التسخين وعنصر التسخين في مجفّف الشعر لتحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية. هذه التطبيقات وغيرها من التطبيقات المنزلية – كتلك الموضّحة في **الشكل 8–4** – تعمل عمل مقاومات عند وصلها بدائرة كهربائية. فعندما تتحرك شحنة q خلال مقاومة يقل فرق جهدها بمقدار V. وكما تعلمت سابقًا، فإن التغير في الطاقة يعبَّر عنه بالعلاقة qV. كما تعبّر القدرة ($P = E/t$) عن المعدل الزمني لتحوّل الطاقة، وهي ذات أهمية كبيرة في التطبيقات العملية. وتعلمت أيضًا أن التيار الكهربائي هو المعدل الزمني لتدفق الشحنات ($I = q/t$)، وأن القدرة المستنفدة في مقاومة تمثَّل بالعلاقة $P = IV$، وأن فرق جهد المقاومة يُعبَّر عنه بالعلاقة $V = IR$. لذا، إذا علمت مقدار كلٍّ من I و R

الشكل 8–4 صُمّمت هذه الأجهزة لتحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية.

الربط مع رؤية 2030

رؤية VISION 2030 المملكة العربية السعودية KINGDOM OF SAUDI ARABIA

اقتصاد مزدهر

من أهداف الرؤية:

3.2.4 زيادة مساهمة مصادر الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة.

تجربة عملية

هل الطاقة محفوظة في عملية تسخين الماء؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

كفاءة
المركز السعودي لكفاءة الطاقة
Saudi Energy Efficiency Center
من أبرز مهام المركز السعودي لكفاءة الطاقة إعداد برنامج وطني لترشيد ورفع كفاءة استهلاك الطاقة
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

أمكنك تعويض $V = IR$ في معادلة القدرة الكهربائية للحصول على المعادلة الآتية:

القدرة $P = I^2R$

القدرة تساوي مربع التيار مضروبًا في المقاومة.

لذا تتناسب القدرة المستهلكة في مقاومة مع كل من مربع التيار المار فيه ومقدار مقاومته. فإذا علمت مقداري كل من V و R، ولم تعلم مقدار I أمكنك عندئذ تعويض المعادلة $I = V/R$ في المعادلة $P = IV$ للحصول على المعادلة الآتية:

القدرة $P = \frac{V^2}{R}$

القدرة تساوي مربع الجهد مقسومًا على المقاومة.

القدرة الكهربائية عبارة عن المعدل الزمني لتحول الطاقة من شكل إلى آخر، حيث تتحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية، ومن ثم ترتفع درجة حرارة المقاومة. فإذا كانت المقاومة مُسخِّنًا مغمورًا أو صفيحة تسخين في قمّة موقد كهربائي مثلًا فسوف تتدفق الحرارة إلى الماء البارد بسرعة تكون كافية لإيصاله إلى درجة الغليان في دقائق قليلة.

وإذا استمر استهلاك القدرة بمعدل منتظم فإن الطاقة المتحولة إلى طاقة حرارية بعد فترة زمنية t ستساوي $E = Pt$. ولأن $P = I^2R$ و $P = V^2/R$ فإن الطاقة الكلية التي سيتم تحويلها إلى طاقة حرارية يمكن التعبير عنها، كما في المعادلات الآتية:

الطاقة الحرارية

$$E = Pt$$
$$E = I^2Rt$$
$$E = \left(\frac{V^2}{R}\right)t$$

الطاقة الحرارية تساوي القدرة المستهلكة مضروبة في الزمن، كما أنها تساوي مربع التيار مضروبًا في المقاومة والزمن، وتساوي مربع الجهد مقسومًا على المقاومة، ومضروبًا في الزمن.

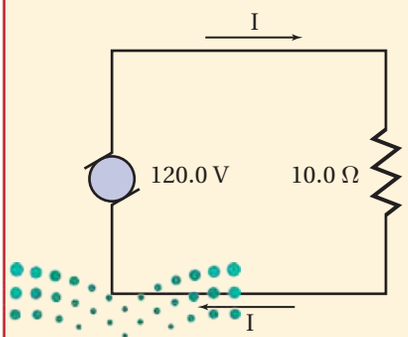
مثـــال 3

التسخين الكهربائي يعمل سخّان كهربائي مقاومته 10.0 Ω على فرق جهد مقداره 120.0 V. احسب مقدار:

a. القدرة التي يستهلكها السخان الكهربائي. **b.** الطاقة الحرارية التي ينتجها السخان خلال 10.0 s.

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الحالة.
- عيّن عناصر الدائرة المعلومة، وهي مصدر فرق جهد مقداره 120.0 V، ومقاومة 10.0 Ω



المعلوم	المجهول
$R = 10.0\ \Omega$	$P = ?$
$V = 120.0\ V$	$E = ?$
$t = 10.0\ s$	

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. لأن مقداري R و V معلومان فإننا نستخدم المعادلة $P = V^2/R$.

بالتعويض عن $R=10.0\ \Omega$، $V=120.0\ V$

$$P = \frac{(120.0\ V)^2}{10.0\ \Omega}$$
$$= 1.44\ kW$$

دليل الرياضيات
الأسس

b. حل لإيجاد الطاقة:

بالتعويض عن $P=1.44\ kW$، $t=10.0\ s$

$$E = Pt$$
$$= (1.44\ kW)\ (10.0\ s)$$
$$= 14.4\ kJ$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس القدرة بوحدة الواط، والطاقة بوحدة الجول.
- **هل الجواب منطقي؟** للقدرة: $10^3 = 10^2 \times 10^2 \times 10^{-1}$ ، لذلك فإن مقدار القدرة منطقي. أما للطاقة: $10^4 = 10^3 \times 10^1$، لذا فإن المقدار 10000 جول منطقي.

مسائل تدريبية

20. يعمل سخّان كهربائي مقاومته $15\ \Omega$ على فرق جهد مقداره $120\ V$. احسب مقدار:
- **a.** التيار المار في مقاومة السخان.
- **b.** الطاقة المستهلكة في مقاومة السخان خلال $30.0\ s$.
- **c.** الطاقة الحرارية الناتجة في هذه المدة.

21. إذا وُصِلت مقاومة مقدارها $39\ \Omega$ ببطارية جهدها $45\ V$ فاحسب مقدار:
- **a.** التيار المار في الدائرة.
- **b.** الطاقة المستهلكة في المقاومة خلال $5.0\ min$.

22. مصباح كهربائي قدرته $100.0\ W$، وكفاءته 22%؛ أي أن 22% فقط من الطاقة الكهربائية تتحول إلى طاقة ضوئية.
- **a.** ما مقدار الطاقة الحرارية التي ينتجها المصباح الكهربائي كل دقيقة؟
- **b.** ما مقدار الطاقة التي يحوّلها المصباح إلى ضوء كل دقيقة في أثناء إضاءته؟

23. تبلغ مقاومة عنصر التسخين في طبّاخ كهربائي عند درجة حرارة تشغيله $11\ \Omega$.
- **a.** إذا تم توصيل الطبّاخ بمصدر جهد مقداره $220\ V$ فما مقدار التيار الكهربائي المار في عنصر التسخين؟
- **b.** ما مقدار الطاقة التي يحوّلها هذا العنصر إلى طاقة حرارية خلال $30.0\ s$؟
- **c.** استخدم العنصر في تسخين غلاية تحتوي على $1.20\ kg$ من الماء. افترض أن الماء امتص 65% من الحرارة الناتجة، فما مقدار الارتفاع في درجة حرارته خلال $30.0\ s$؟

24. استغرق سخان ماء كهربائي جهده $127\ V$ زمنًا مقداره $2.2\ h$ لتسخين حجم معيّن من الماء إلى درجة الحرارة المطلوبة. احسب المدة اللازمة لإنجاز المهمة نفسها، وذلك باستخدام سخّان آخر جهده $220\ V$ مع بقاء التيار نفسه.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الموصلات الفائقة التوصيل **الموصل الفائق التوصيل** مادة مقاومتها صفر، حيث لا يوجد تقييد للتيار في تلك المواد، لذا ليس هناك فرق في الجهد V خلالها. ولأن القدرة المستنفدة في موصل تعطى من ناتج I V فإنه يمكن للموصل الفائق التوصيلِ توصيلُ الكهرباء دون حدوث ضياع في الطاقة. ولكن لكي تصبح هذه الموصلات فائقةَ التوصيل يجب تبريدها إلى درجات حرارة منخفضة أقل من 100 K؛ أي أن الاستفادة من هذه الظاهرة تتطلب حتى الآن وجوب بقاء درجة حرارة جميع هذه المواد أقل من 100 K. ومن الاستعمالات العملية للموصلات الفائقة التوصيل صناعة المغانط المستخدمة في أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي MRI، وفي السنكروترون (مسرّع الجسيمات)؛ حيث تستخدم تيارات كهربائية ضخمة، كما يمكن المحافظة عليها عند درجات حرارة قريبة من 0 K.

نقل الطاقة الكهربائية Transmission of Electric Energy

إن المنشآت الكهرومائية– كالسد العالي في مصر الموضح في **الشكل 9–4**، ومحطات التوليد الكهربائية في كافة الدول– قادرة على إنتاج كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية. حيث تُنقل هذه الطاقة غالبًا إلى مسافات كبيرة حتى تصل إلى المنازل والمصانع. فكيف يمكن أن تحدث عملية النقل هذه بأقل خسارة ممكنة للطاقة على شكل طاقة حرارية؟

الشكل 9–4 يُزوِّد السد العالي مصر بجزء من احتياجاتها من الطاقة الكهربائية.

تعلم أن الطاقة الحرارية تنتج في الأسلاك بمعدل يمكن تمثيله بالمعادلة $P = I^2R$. ويسمّي المهندسون الكهربائيون هذه الطاقة الحرارية المتولّدة غير المرغوب فيها القدرة الضائعة "I^2R". ولتقليل مقدار هذه القدرة الضائعة يتم تقليل التيار I أو المقاومة R.

كيف تصل الكهرباء إلى منازلنا؟

لجميع أسلاك التوصيل مقاومة، إلا أن مقاومتها صغيرة؛ فمقاومة السلك المستعمل لنقل التيار الكهربائي إلى بيت تساوي $0.20\ \Omega$ لكل $1\ km$ من طوله. افترض أنه تم ربط بيت ريفي مباشرة بمحطة كهرباء تبعد عنه مسافة $3.5\ km$. إن مقاومة الأسلاك المستخدمة لنقل التيار في دائرة كهربائية إلى البيت ثم عودته إلى المحطة تُمثّل بالمعادلة التالية:

$$R = 2(3.5\ km)(0.20\ \Omega/km) = 1.4\ \Omega$$

وإذا استعملت هذه الأسلاك في طبّاخ كهربائي فإنه سيمر فيه تيار مقداره $41\ A$، ويُعبَّر عن القدرة الضائعة في الأسلاك بالعلاقة التالية: $P = I^2R = (41\ A)^2\ (1.4\ \Omega) = 2400\ W$.

ويتم تحويل كل هذه القدرة إلى طاقة حرارية، لذا فإنها تُفقد. ويمكن تقليل هذا الفَقْد إلى أقل كمية ممكنة بتقليل المقاومة. ويتم ذلك باستعمال أسلاك ذات موصلية كبيرة وقطر كبير، فتكون مقاومتها قليلة. إلا أن مثل هذه الأسلاك تكون باهظة الثمن وثقيلة. كما يمكن أيضًا تقليل القدرة الضائعة في أسلاك نقل الكهرباء من خلال جعل مقدار التيار المار فيها قليلًا؛ لأن فَقْد الطاقة يتناسب أيضًا مع مربع التيار المار في الموصلات.

كيف يمكن تقليل قيمة التيار المار في أسلاك نقل الكهرباء؟ يمكن تحديد الطاقة الكهربائية المنقولة في الثانية الواحدة (القدرة) في سلك (خط) نقل الكهرباء لمسافة طويلة باستخدام العلاقة $P = IV$. وتلاحظ من هذه العلاقة أنه يمكن تقليل التيار دون تقليل القدرة من خلال رفع الجهد. ولنقل القدرة الكهربائية مسافات طويلة تستخدم الشركة السعودية للكهرباء خطوط نقل القدرة الكهربائية جهودا تصل إلى $132\ KV$ ؛ حيث يُقلّل التيار المنخفض المار في الأسلاك من ضياع I^2R فيها، وذلك بالإبقاء على قيمة المعامل I^2 قليلة. تكون الجهود المُطبّقة على النقل في الأسلاك الطويلة دائمًا أكبر كثيرًا من الجهود المُطبّقة على أسلاك التمديدات المنزلية؛ وذلك لتقليل ضياع I^2R. ويتم تقليل الجهد الخارج من محطة التوليد عند وصوله إلى المحطات الكهربائية الفرعية؛ ليصبح مقداره $13.8\ KV$، ثم يقلل الجهد مرة أخرى إلى $220\ V$ أو إلى $127\ V$ وفق النظام المعتمد في المملكة العربية السعودية قبل أن يستخدم في المنازل. وقد صدر قرار مجلس الوزراء الموقر رقم (324) وتاريخ 20/ 9/ 1431 هـ القاضي بموافقة على خطة متدرجة لتغيير جهد توزيع الكهرباء في المناطق السكنية والتجارية في المملكة العربية السعودية من الجهد الحالي (127/ 220) فولت إلى الجهد الدولي (230/ 400) فولت، وأن يتم التغيير على مراحل بحيث يبدأ في المناطق الجديدة والمشتركين الجدد في المناطق القائمة اعتباراً من تاريخ نفاذ القرار، ويكون التغير إلى الجهد الجديد في المناطق القائمة خلال المدة (25) سنة من تاريخ نفاذ القرار، وتقسم المدة على مرحلتين تمهيدية مدتها (10) سنوات، والثانية تنفيذية مدتها (15) سنة.

الكيلو واط.ساعة The Kilowatt–Hour

تسمّى شركات الكهرباء غالبًا شركات القدرة، إلا أنها في الواقع تُزوّدنا بالطاقة بدلًا من القدرة. فالقدرة هي المعدل الزمني لتوصيل الطاقة. فعندما يُسدّد المستهلكون فواتير منازلهم الكهربائية – ومنها الفاتورة الموضّحة في **الشكل 10–4** – فهم يُسدّدون ثمن الطاقة الكهربائية المستهلكة، وليس القدرة.

إن كمية الطاقة الكهربائية المُستهلكة في جهاز تساوي معدل استهلاكه للطاقة، بوحدة جول لكل ثانية (W) مضروبًا في زمن تشغيل الجهاز بوحدة ثانية. إن الجول لكل ثانية مضروبًا في ثانية (J/s) s يساوي الكمية الكلية للطاقة المستهلكة بوحدة الجول. إن الجول – الذي يُعرف أيضًا على أنه واط.ثانية (Watt.second)– يُعبّر عن كمية

الشكل 10–4 يستخدم مقياس الواط.ساعة في قياس مقدار الطاقة الكهربائية التي يستهلكها المستخدم. وتستعمل قراءة المقياس لحساب تكلفة الطاقة المستهلكة.

قليلة نسبيًّا من الطاقة، وهو وحدة قياس صغيرة جدًّا للطاقة المُستهلكة في الاستخدامات العملية. لهذا السبب تقيس شركات الكهرباء استهلاك الطاقة بوحدة تساوي عددًا كبيرًا من الجولات، وتسمّى هذه الوحدة كيلوواط.ساعة (kWh). **والكيلوواط.ساعة** يساوي قدرة مقدارها 1000 Watt تصل بشكل مستمر لمدة (1 h) 3600 s؛ أو يساوي 3.6×10^{6} J. ولا يوجد الكثير من الأجهزة الكهربائية المنزلية التي تلزمها قدرة أكبر من 1000 W ما عدا سخانات المياه والمكيّفات الكهربائية والطبّاخات ومجفّفات الملابس وأفران الميكروويف والمدافئ ومجففات الشعر. فتشغيل عشرة مصابيح ضوئية قدرة كل منها 100 W في الوقت نفسه يستهلك فقط 1 kWh من الطاقة إذا تركت مضاءة مدة ساعة كاملة. يوضح **الجدول 2—4** كمية وقيمة استهلاك الطاقة الكهربائية في المسكن على مستوى المناطق الإدارية في المملكة العربية السعودية.

تعلمت طرائق متعددة تستخدمها شركات الكهرباء لحل المشكلات التي يواجهها نقل التيار الكهربائي مسافات طويلة، وتعلمت أيضًا كيف تحسب هذه الشركات فواتير الكهرباء، وكيف تتوقع تكلفة تشغيل أجهزة مختلفة في المنزل. إن عملية توزيع الطاقة الكهربائية إلى جميع المناطق على الأرض يُعد من أعظم الإنجازات الهندسية في القرن العشرين.

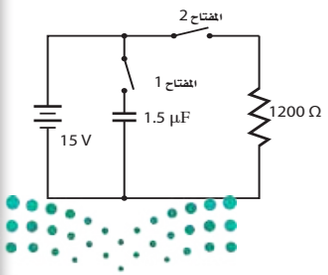
كمية وقيمة استهلاك الطاقة الكهربائية في المسكن على مستوى المناطق الإدارية

	المنطقة الإدارية	خلال فصل الشتاء		خلال باقي السنة	
		الكمية (ك . و . س)	القيمة (بالريال)	الكمية (ك . و . س)	القيمة (بالريال)
1	الرياض	9,656,113,095	646,321,545	19,437,069,620	5,000,680,818
2	مكة المكرمة	10,225,556,784	673,039,064	18,317,035,855	5,151,689,961
3	المدينة المنورة	2,458,903,536	161,679,183	4,311,665,079	1,155,048,654
4	القصيم	1,682,430,848	115,254,648	2,900,687,425	714,747,363
5	المنطقة الشرقية	5,262,775,052	359,183,065	10,242,576,697	3,165,695,573
6	عسير	4,146,428,089	275,512,195	6,821,368,789	1,969,645,445
7	تبوك	1,111,825,199	73,810,717	1,528,415,281	360,078,967
8	حائل	1,056,543,109	73,455,021	1,308,623,766	321,251,274
9	الحدود الشمالية	461,492,447	28,935,954	560,224,252	124,393,718
10	جازان	2,324,786,701	149,979,131	4,110,099,155	1,136,274,519
11	نجران	767,280,666	54,296,995	1,341,351,903	451,502,210
12	الباحة	633,322,853	42,419,719	814,935,380	202,643,572
13	الجوف	1,047,155,811	53,629,863	1,513,843,770	243,302,753
	إجمالي المملكة	40,834,614,211	2,707,517,100	73,207,896,971	19,996,954,930

* **المصدر: مسح الطاقة المنزلي الهيئة العامة للإحصاء جدول 2—4**

مسألة تحفيز

استخدم الشكل المجاور للإجابة عن الأسئلة التالية:



1. في البداية، المكثف غير مشحون، والمفتاح 1 مغلق، والمفتاح 2 بقي مفتوحًا. احسب فرق الجهد بين طرفي المكثف.
2. إذا فُتِح المفتاح 1 الآن، وبقي المفتاح 2 مفتوحًا فما فرق الجهد بين طرفي المكثف؟ لماذا؟
3. بعد ذلك، أُغلق المفتاح 2، وبقي المفتاح 1 مفتوحًا. ما فرق الجهد بين طرفي المكثف؟ وما مقدار التيار المار في المقاومة بعد إغلاق المفتاح 2 مباشرة؟
4. مع مرور الوقت، ماذا يحدث لجهد المكثف والتيار المار في المقاومة؟

مسائل تدريبية

25. يمر تيار كهربائي مقـداره 15.0 A في مدفأة كهربائية عند وصلها بمصدر فرق جهد 120 V. فإذا تم تشغيل المدفأة بمتوسّط 5.0 h يوميًّا فاحسب:

a. مقدار القدرة التي تستهلكها المدفأة.

b. مقدار الطاقة المستهلكة في 30 يومًا بوحدة kWh.

c. تكلفة تشغيلها مدة 30 يومًا، إذا كان ثمن الكيلوواط.ساعة 0.18 ريال.

26. تبلغ مقاومة ساعة رقمية 12,000 Ω، وهي موصولة بمصدر فرق جهد مقداره 115 V. احسب:

a. مقدار التيار الذي يمر فيها.

b. مقدار القدرة الكهربائية التي تستهلكها الساعة.

c. تكلفة تشغيل الساعة 30 يومًا، إذا كان ثمن الكيلوواط.ساعة 0.18 ريال.

27. تنتج بطارية سيارة تيارًا مقداره 55 A لمدة 1.0 h، وذلك عندما يكون فرق جهدها 12 V. ويتطلب إعادة شحنها طاقة أكبر 1.3 مرّة من الطاقة التي تزوّدنا بها؛ لأن كفاءتها أقل من الكفاءة المثالية. ما الزمن اللازم لشحن البطارية باستخدام تيار مقداره 7.5 A؟ افترض أن فرق جهد الشحن هو نفسه فرق جهد التفريغ.

4–2 مراجعة

28. **الطاقة** يُشغّل محركُ السيارة المولدَ الكهربائي، الذي يولّد بدوره التيار الكهربائي اللازم لعمل السيارة، ويُخزّن شحنات كهربائية في بطارية السيارة. وتَستخدم المصابيح الرئيسة في السيارة الشحنةَ الكهربائية المختزنة في بطارية السيارة. جهّز قائمة بأشكال الطاقة في العمليات السابقة.

29. **المقاومة الكهربائية** يتم تشغيل مجفّف الشعر بوصله بمصدر جهد 120 V، ويكون فيه خياران: حار ودافئ. في أيّ الخيارين تكون المقاومة أصغر؟ ولماذا؟

30. **القدرة** حدّد مقدار التغير في القدرة في دائرة كهربائية إذا قل الجهد المُطبّق إلى النصف.

31. **الكفاءة** قوِّم أثر البحث لتحسين خطوط نقل القدرة الكهربائية في المجتمع والبيئة.

32. **الجهد** لماذا يتم توصيل الطبّاخ الكهربائي وسخّان الماء الكهربائي بدائرة جهدها 220 V بدلاً من دائرة جهدها 127 V؟

33. **التفكير الناقد** عندما يرتفع معدل استهلاك القدرة الكهربائية تقوم شركات الكهرباء أحيانًا بتقليل الجهد، مما يؤدي إلى خفوت الأضواء. ما الذي يبقى محفوظًا ولا يتغير؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مختبر الفيزياء

الجهد والتيار والمقاومة

درســت في هذا الفصل العلاقات بين الجهد والتيار والمقاومة في دوائر كهربائية بســيطة. فالجهد هو فرق الجهد الــذي يدفع التيار خلال الدائرة، في حــين تحدّد المقاومة التيار الذي يمــر عند تطبيق فرق جهد. وستجمع في هذه التجربة البيانات، وتعد رسومًا بيانيّة لاستقصاء العلاقات الرياضية بين الجهد والتيار، وكذلك بين المقاومة والتيار.

سؤال التجربة

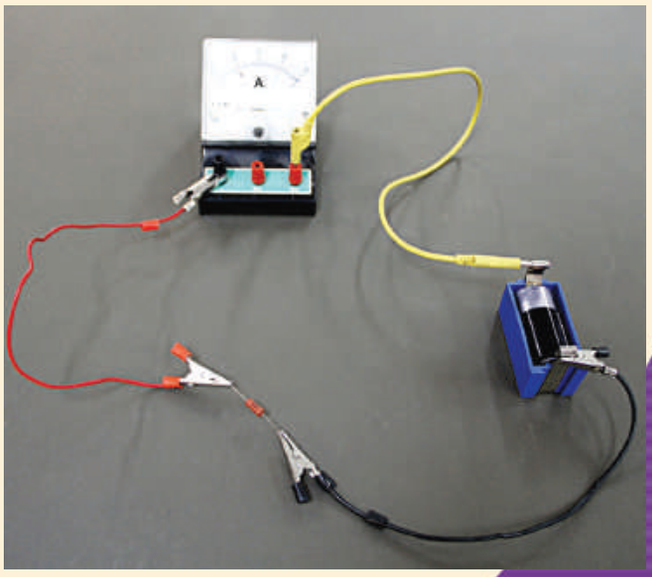
ما العلاقة بين الجهد والتيار؟ وما العلاقة بين المقاومة والتيار؟

الأهــداف

- **تقيس** التيار وفقًا للنظام الدولي SI.
- **تصف** العلاقة بين مقاومة دائرة كهربائية والتيار الكهربائي الكلي المار فيها.
- **تصف** العلاقــة بين الجهــد والتيار الكلي المــار في الدائرة الكهربائية.
- **تنشئ رسومًا بيانية وتستخدمها** لتبين العلاقة بين التيار والمقاومة، وبين التيار والجهد.

احتياطات السلامة

- ***تحذير: قد تسخن الدوائر الكهربائية والمقاومات.***
- ***تحذير: الأسلاك حادة، وقد تجرح الجلد.***



المواد والأدوات

أربع بطاريات من نوع D جهد كل منها 1.5 V، وأربع حوامل للبطاريات، وأميــتر 500 μA، ومقاومــة 10 kΩ، ومقاومة 20 kΩ، ومقاومة 30 kΩ، ومقاومة40 kΩ، وخمســة أسلاك مزوّدة بمشابك فم التمساح.

الخطوات

الجزء A

1. ضع البطارية في حاملها.
2. ركّب دائرة تحتوي عــلى بطارية، ومقاومة 10 kΩ، وأميتر 500 μA.
3. دوّن مقداري المقاومة والتيار في جدول البيانات1، على أن تدوّن مقدار المقاومة في عمــود المقاومة، أما لعمود التيار فاستخدم قراءة الأميتر.
4. ضع المقاومة 20 kΩ بدلًا من المقاومة 10 kΩ.
5. دوّن مقداري المقاومة والتيار في جدول البيانات 1.
6. كرّر الخطوتين 4 و5، على أن تضع المقاومة 30 kΩ بدلًا من المقاومة 20 kΩ.
7. كرّر الخطوتين 4 و5، على أن تضع المقاومة 40 kΩ بدلًا من المقاومة 30 kΩ.

الجزء B

8. أعد تركيب الدائرة التي ركّبتها في الخطوة 2، ثم تحقق من مــرور التيار في الدائرة، ودوّن مقــداري الجهد والتيار في جدول البيانات 2.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

جدول البيانات 1		
الجهد (V)	المقاومة (kΩ)	التيار (μA)
1.5		
1.5		
1.5		
1.5		

جدول البيانات 2		
الجهد (V)	المقاومة (kΩ)	التيار (μA)
	10	
	10	
	10	
	10	

9. أضف بطارية ثانية جهدها 1.5 V إلى الدائرة، ودوّن مقداري الجهد والتيار في جدول البيانات 2. عندما تستعمل أكثر من بطارية واحدة دوّن مجموع جهود البطاريات بوصفها قيمة للجهد في جدول البيانات 2.

10. كرّر الخطوة 9 مع ثلاث بطاريات جهد كلّ منها 1.5 V.

11. كرّر الخطوة 9 مع أربع بطاريات جهد كلّ منها 1.5 V.

التحليل

1. **أنشئ رسومًا بيانيّة واستخدمها** ارسم التيار بوصفه متغيرًا مقابل المقاومة، على أن تضع المقاومة على المحور x، والتيار على المحور y.

2. **أنشئ رسومًا بيانيّة واستخدمها** ارسم التيار بوصفه متغيرًا مقابل الجهد، على أن تضع الجهد على المحور x، والتيار على المحور y.

3. **حلّل الخطأ** ما العوامل التي تؤثر في التيار في الجزء A إضافة إلى قيم المقاومات؟ وكيف يمكن التقليل من تأثير هذه العوامل؟

4. **حلّل الخطأ** ما العوامل التي تؤثر في التيار في الجزء B إضافة إلى البطاريات المضافة؟ وكيف يمكن التقليل من تأثير هذه العوامل؟

الاستنتاج والتطبيق

1. صِف العلاقة بين المقاومة والتيار بالنظر إلى الرسم البياني الأول الذي أنشأته؟

2. لماذا افترضت وجود هذه العلاقة بين المقاومة والتيار؟

3. كيف يمكنك وصف العلاقة بين الجهد والتيار بالنظر إلى الرسم البياني الثاني الذي أنشأته؟

4. لماذا افترضت وجود هذه العلاقة بين الجهد والتيار؟

التوسع في البحث

1. ما مقدار التيار الكهربائي الذي يمر في دائرة كهربائية إذا كان الجهد 3.0 V والمقاومة 20 kΩ؟ كيف حدّدت هذا التيار؟

2. بالاستعانة ببياناتك التي حصلت عليها في التجربة، هل يمكنك اشتقاق علاقة بين الجهد والتيار والمقاومة؟ *مساعدة: انظر إلى العلاقة البيانية بين التيار وفرق الجهد، وافترض أنها خط مستقيم تمر في نقطة الأصل.*

3. كيف تتفق بياناتك مع هذه العلاقة؟ وضح إجابتك.

الفيزياء في الحياة

1. اذكر بعض التطبيقات الشائعة التي تستخدم فرق جهد 220 V، بدلاً من 127 V.

2. لماذا تحتاج التطبيقات التي ذكرتها إلى 220 V؟ وما العواقب التي تترتب على تشغيل مثل هذه التطبيقات على جهد 127 V؟

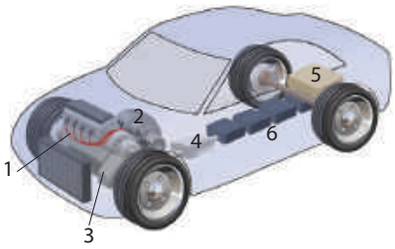
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

السيارات المهجّنة Hybrid Cars

السيارات المهجّنة ذات كفاءة عالية في استهلاك الوقود ومريحة وآمنة وهادئة وغير ملوّثة للبيئة، وتتسارع بصورة جيدة. لذا فإن مبيعات السيارات المهجّنة آخذة في الازدياد.

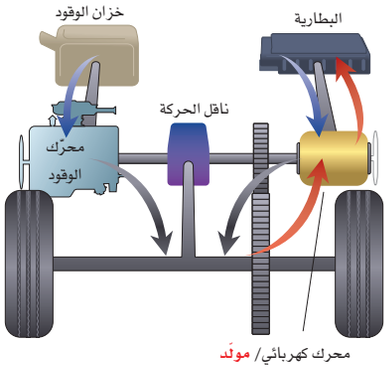
لماذا تسمّى المهجّنة؟ يطلق على السيارة اسم مهجّنة إذا كانت تستخدم مصدرين أو أكثر من مصادر الطاقة. فمثلًا يُطلق على قاطرات الديزل الكهربائية اسم العربات المهجّنة. ولكن مصطلح السيارة المهجّنة يُطلق عادة على السيارة التي تستخدم الوقود والكهرباء.

للسيارات التقليدية محركات كبيرة تمكّنها من التسارع جيدًا وصعود التلال الحادة، إلا أن حجم محركها يجعلها تستهلك في الغالب كميات كبيرة من الوقود، إضافة إلى تدني كفاءة استفادتها من الوقود مقارنة بالسيارات المهجّنة التي يكون وزن محرك البنزين فيها قليلاً وأكثر فاعلية، مما يجعله يلبي معظم احتياجات القيادة وضروراتها. وعند الحاجة إلى مزيد من الطاقة يمكن الحصول عليها من الكهرباء المخزنة في البطاريات القابلة لإعادة الشحن.



كيف تعمل السيارات المهجّنة؟ يبين الرسم التوضيحي أعلاه أحد أنواع السيارات المهجنة، الذي يسمّى التهجين المتوازي. حيث يُشغّل محرك الاحتراق الداخلي الصغير (1) السيارة خلال معظم أوضاع القيادة. ويتصل محرك الوقود والمحرك الكهربائي (2) مع العجلات (3) على جهاز ناقل الحركة نفسه. وتعمل الأدوات الإلكترونية المبرمجة (4) على تحديد وقت استعمال محرك الكهرباء، ووقت استعمال محرك الوقود، ووقت استعمالهما معًا.

ولا يحتاج هذا النوع من التهجين إلى مصدر قدرة خارجي إلى جانب الوقود في خزان الوقود (5)؛ فأنت لا تحتاج إلى توصيل السيارة المهجنة بمصدر كهربائي لإعادة شحن البطاريات (6)، بخلاف السيارة الكهربائية. وبدلًا من ذلك يتم إعادة شحن



تعمل الطاقة الحركية للسيارة في عملية الكبح المتجدّد على إعادة شحن البطاريات.

طاقة وضع من الوقود والبطارية

يدوِّر محرك الوقود والمحرك الكهربائي العجلات

تعمل الطاقة الحركية على إعادة شحن البطاريات

البطاريات بعملية تسمّى الكبح المتجدّد، كما هو موضّح في الرسم التخطيطي. حيث يعمل المحرك الكهربائي فيها مولّدًا. فعندما يعمل المحرك الكهربائي على إبطاء حركة السيارة يتم تحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية، تعمل بدورها على إعادة شحن البطاريات.

هل تفيد السيارات المهجّنة المجتمع؟ زادت السيارات المهجّنة من المسافات التي تقطعها السيارات بكمية معيّنة من الوقود، لذا قللت من تكلفة تشغيل السيارة ومن الغازات المنبعثة من العوادم، ومنها غازا ثاني أكسيد الكربون وأول أكسيد الكربون، إضافة إلى مختلف الهيدروكربونات وأكاسيد النيتروجين. حيث تُسهم هذه الانبعاثات في حدوث بعض المشكلات البيئية كالضبخن (الضباب الدخاني). ولأن السيارات المهجّنة تزيد المسافات المقطوعة وتقلل الغازات المنبعثة من العوادم، فإن الكثير من الناس يشعرون أن استخدام هذه السيارات من الطرائق الفعّالة للمساعدة على حماية الهواء من التلوث، بالإضافة إلى المحافظة على مصادر الوقود.

التوسع

1. **حلّل واستنتج** ما الكبح المتجدد؟
2. **توقع** هل يفيد زيادة مبيعات السيارات المهجّنة المجتمع؟ ادعم إجابتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 4
دليل مراجعة الفصل

4–1 التيار الكهربائي والدوائر الكهربائية Current and Circuits

المفردات

- التيار الكهربائي
- التيار الاصطلاحي
- البطارية
- الدائرة الكهربائية
- الأمبير
- حفظ الشحنة
- المقاومة الكهربائية
- التوصيل على التوازي
- التوصيل على التوالي

المفاهيم الرئيسة

- يعرّف التيار الاصطلاحي بأنه التيار الذي يكون في اتجاه حركة الشحنات الموجبة.
- تحوّل المولدات الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية.
- تحوّل الدائرة الكهربائية الطاقة الكهربائية إلى حرارة أو ضوء أو إلى أشكال أخرى مفيدة للطاقة.
- عندما تتحرك شحنة في دائرة كهربائية تُسبّب المقاومات نقصًا في طاقة وضعها الكهربائية.
- الأمبير يساوي واحد كولوم لكل ثانية 1 C /s.
- يمكن حساب القدرة بضرب الجهد في التيار. $P = IV$
- تُعطى مقاومة جهاز ما من خلال النسبة بين جهد الجهاز والتيار المار فيه. $R = \frac{V}{I}$
- ينص قانون أوم على أن النسبة بين فرق الجهد بين طرفي موصل وشدة التيار المار فيه ثابتة لهذا الموصل. وأيّ مقاومة لا تتغير بتغيّر درجة حرارتها أو الجهد المُطبّق عليها أو اتجاه حركة الشحنة فيها؛ تحقّق قانون أوم.
- يمكن التحكم في تيار دائرة كهربائية بتغيير الجهد أو المقاومة أو كليهما.

4–2 استخدام الطاقة الكهربائية Using Electric Energy

المفردات

- الموصل الفائق التوصيل
- الكيلوواط.ساعة

المفاهيم الرئيسة

- القدرة في دائرة كهربائية تساوي مربع التيار مضروبًا في المقاومة، أو تساوي مربع الجهد مقسومًا على المقاومة. $P = I^2R$ أو $P = \frac{V^2}{R}$
- إذا استُنفِدت القدرة بمعدل منتظم فإن الطاقة الحرارية الناتجة تساوي القدرة مضروبة في الزمن، كما يمكن أيضًا التعبير عن القدرة بـ I^2R و V^2/R كما يأتي:

$$E = Pt$$
$$= I^2Rt$$
$$= \frac{V^2}{R}t$$

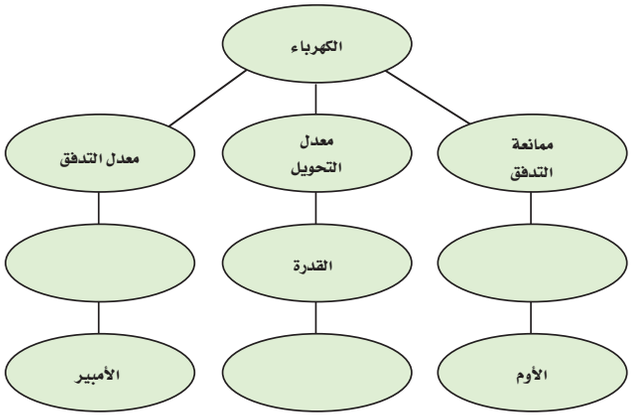
- الموصلات الفائقة التوصيل مواد مقاومتها صفر، ولا زالت استخداماتها العملية حتى وقتنا الحاضر محدودة.
- الطاقة الحرارية غير المرغوب فيها الناتجة عن نقل الطاقة الكهربائية تسمّى القدرة الضائعة I^2R. وأفضل طريقة لتقليل ضياع أو فَقْد I^2R إلى أقل حدّ هي تقليل قيمة التيار المار في أسلاك التوصيل. ويمكن تقليل قيمة التيار المار في أسلاك التوصيل دون تقليل القدرة من خلال نقل الكهرباء عند جهود عالية.
- الكيلوواط.ساعة (kWh) وحدة طاقة تساوي 3.6×10^6 J .

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 4
التقويم

خريطة المفاهيم

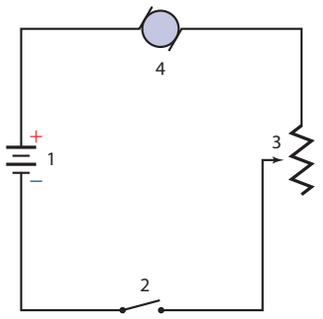
34. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: الواط، التيار، المقاومة.



إتقان المفاهيم

35. عرّف وحدة قياس التيار الكهربائي بدلالة النظام الدولي للوحدات SI. (4–1)

ارجع إلى **الشكل 11–4** للإجابة عن الأسئلة **36–39**. (4–1)



الشكل 11–4

36. كيف يجب وصل فولتمتر في الشكل لقياس جهد المحرك؟

37. كيف يجب وصل أميتر في الشكل لقياس تيار المحرك؟

38. ما اتجاه التيار الاصطلاحي في المحرك؟

39. ما رقم الأداة التي:

a. تحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية؟

b. تحوّل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية؟

c. تعمل على فتح الدائرة وإغلاقها؟

d. تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية؟

40. صف تحوّلات الطاقة التي تحدث في الأدوات الآتية: (4–1)

a. مصباح كهربائي متوهّج.

b. مجفّفة ملابس.

c. مذياع رقمي مزوّد بساعة.

41. أي السلكين يوصل الكهرباء بمقاومة أقل: سلك مساحة مقطعه العرضي كبيرة، أم سلك مساحة مقطعه العرضي صغيرة؟ (4–1)

42. لماذا يكون عدد المصابيح التي تحترق لحظة إضاءتها أكبر كثيرًا من عدد المصابيح التي تحترق وهي مُضاءة؟ (4–2)

43. عند عمل دائرة قصر لبطارية بوصل طرفي سلك نحاسي بقطبي البطارية ترتفع درجة حرارة السلك. فسّر لماذا يحدث ذلك؟ (4–2)

44. ما الكميَّات الكهربائية التي يجب المحافظة على مقاديرها قليلة عند نقل الطاقة الكهربائية مسافات طويلة بصورة اقتصادية؟ (4–2)

45. عرف وحدة القدرة الكهربائية بدلالة النظام الدولي للوحدات SI. (4–2)

تطبيق المفاهيم

46. **خطوط القدرة** لماذا تستطيع الطيور الوقوف على خطوط الجهد المرتفع دون أن تتعرض لصدمة كهربائية؟

47. صِف طريقتين لزيادة التيار في دائرة كهربائية.

48. **المصابيح الكهربائية** يعمل مصباحان كهربائيان في دائرة كهربائية جهدها 120 V. إذا كانت قدرة أحدهما 50 W والآخر 100 W، فأيّ المصباحين مقاومته أكبر؟ وضّح إجابتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 4

49. إذا ثُبّت فرق الجهد في دائرة كهربائية، وتم مضاعفة مقدار المقاومة، فما تأثير ذلك في تيار الدائرة؟

50. ما تأثير مضاعفة كل من الجهد والمقاومة في تيار دائرة كهربائية؟ وضّح إجابتك.

51. **قانون أوم** وجدت سارة أداة تُشبه مقاومة. عندما وصلت هذه الأداة ببطارية جهدها 1.5 V مرَّ فيها تيار مقداره 45×10^{-6} A فقط، ولكن عندما استخدمت بطارية جهدها 3.0 V مر فيها تيار مقداره 25×10^{-3} A ، فهل تحقّق هذه الأداة قانون أوم؟

52. إذا غُيّر موقع الأميتر المبين في **الشكل 4–3a** ليُصبح أسفل الشكل، فهل تبقى قراءة الأميتر هي نفسها؟ وضّح ذلك.

53. سلكان أحدهما مقاومته كبيرة والآخر مقاومته صغيرة. إذا وصِل كل منهما بقطبي بطارية جهدها 6.0 V، فأي السلكين ينتج طاقة بمعدل أكبر؟ ولماذا؟

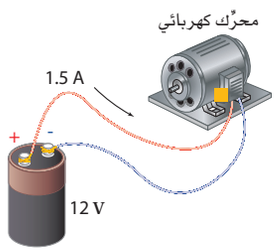
إتقان حل المسائل

4–1 التيار الكهربائي والدوائر الكهربائية

54. وصل محرك ببطارية جهدها 12 V كما هو موضّح في **الشكل 12–4**. احسب مقدار:

a. القدرة التي تصل إلى المحرك.

b. الطاقة المُحوَّلة إذا تم تشغيل المحرك 15 min.



الشكل 12–4

55. يمر تيار كهربائي مقداره 0.50 A في مصباح متصل بمصدر جهده 120 V، احسب مقدار:

a. القدرة الواصلة.

b. الطاقة التي يتم تحويلها خلال 5.0 min.

56. **مجفّفات الملابس** وُصِلت مجفّفة ملابس قدرتها 4200 W بدائرة كهربائية جهدها 220 V، احسب مقدار التيار المار فيها.

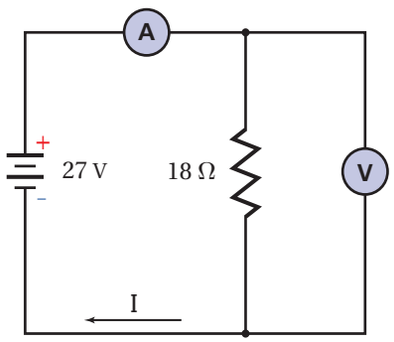
57. ارجع إلى **الشكل 13–4** للإجابة عن الأسئلة الآتية:

a. ما قراءة الأميتر؟

b. ما قراءة الفولتمتر؟

c. ما مقدار القدرة الواصلة إلى المقاومة؟

d. ما مقدار الطاقة التي تصل إلى المقاومة كل ساعة؟



الشكل 13–4

58. **المصابيح اليدوية** إذا وصِل مصباح يدوي بفرق جهد 3.0 V، فمرّ فيه تيار مقداره 1.5 A:

a. فما معدل الطاقة الكهربائية المستهلكة في المصباح؟

b. ما مقدار الطاقة الكهربائية التي يحولها المصباح خلال 11 min؟

59. ارسم رسمًا تخطيطيًّا لدائرة توالٍ كهربائية تحوي مقاومة مقدارها 16 Ω، وبطارية، مع أميتر قراءته 1.75 A، حدّد كلًّا من الطرف الموجب للبطارية وجهدها، والطرف الموجب للأميتر، واتجاه التيار الاصطلاحي.

60. يمر تيار كهربائي مقداره 66 mA في مصباح عند توصيله ببطارية جهدها 6.0 V، ويمر فيه تيار مقداره 75 mA عند استخدم بطارية جهدها 9.0 V، أجب عن الأسئلة الآتية:

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

a. هل يحقّق المصباح قانون أوم؟

b. ما مقدار القدرة المستنفدة في المصباح عند توصيله ببطارية 6.0 V؟

c. ما مقدار القدرة المستنفدة في المصباح عند توصيله ببطارية 9.0 V؟

61. يمر تيار مقداره 0.40 A في مصباح موصول بمصدر جهد 120 V، أجب عما يأتي:

a. ما مقدار مقاومة المصباح في أثناء إضاءته؟

b. تُصبح مقاومة المصباح عندما يبرد $\frac{1}{5}$ مقاومته عندما يكون ساخنًا. ما مقدار مقاومة المصباح وهو بارد؟

c. ما مقدار التيار المار في المصباح لحظة إضاءته من خلال وصله بفرق جهد مقداره 120 V؟

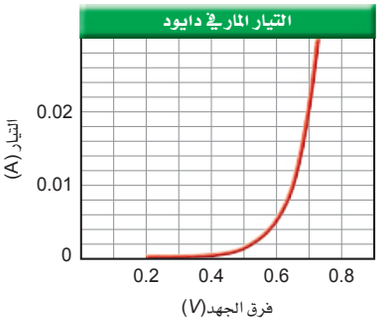
62. **المصابيح الكهربائية** ما مقدار الطاقة المستنفدة في مصباح قدرته 60.0 W خلال نصف ساعة؟ وإذا حوّل المصباح 12% من الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية فما مقدار الطاقة الحرارية التي يولّدها خلال نصف ساعة؟

63. يمثل الرسم البياني في **الشكل 14–4** العلاقة بين فرق الجهد والتيار المار في جهاز يسمى الصمام الثنائي (الدايود) وهو مصنوع من السليكون. أجب عن الأسئلة الآتية:

a. إذا وصِل الدايود بفرق جهد مقداره 0.70 V فما مقدار مقاومته؟

b. ما مقدار مقاومة الدايود عند استخدام فرق جهد مقداره 0.60 V؟

c. هل يُحقّق الدايود قانون أوم؟



الشكل 14–4

4–2 استخدام الطاقة الكهربائية

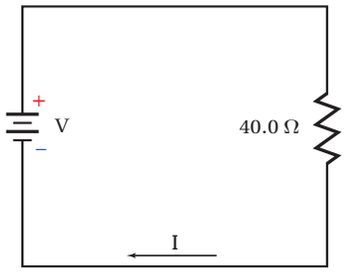
64. **البطاريات** يبلغ ثمن بطارية جهدها 9.0 V تقريبًا 10.00 ريالات، وتولّد هذه البطارية تيارًا مقداره 0.0250 A مدة 26.0 h قبل أن يتم تغييرها. احسب تكلفة كل kWh تُزوِّدنا به هذه البطارية.

65. ما مقدار أكبر تيار ينتج عن قدرة كهربائية مقدارها 5.0 W في مقاومة مقدارها 220 Ω ؟

66. يمر تيار مقداره 3.0 A في مكواة كهربائية جهدها 110 V. ما مقدار الطاقة الحرارية الناتجة عن المكواة خلال ساعة؟

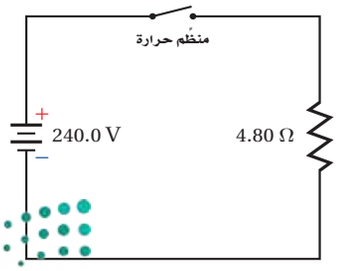
67. في الدائرة الموضّحة في **الشكل 15–4** تبلغ أكبر قدرة كهربائية آمنة 50.0 W. استخدم الشكل لإيجاد كل مما يأتي:

a. أكبر تيار آمن. **b.** أكبر جهد آمن.



الشكل 15–4

68. يمثل **الشكل 16–4** دائرة فرن كهربائي. احسب قيمة الفاتورة الشهرية (30 يومًا) إذا كان ثمن الكيلوواط.ساعة 0.18 ريال، وتم ضبط منظّم الحرارة ليشتغل الفرن 6 ساعات يوميًّا.



الشكل 16–4

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 4

69. التطبيقات يُكلّف تشغيل مُكيّف هواء 50 ريالًا خلال 30 يومًا، وذلك على اعتبار أن المُكيّف يعمل 12 ساعة يوميًّا، وثمن كل kWh هو 0.18 ريال. احسب التيار الذي يمر في المكيّف عند تشغيله على فرق جهد مقداره 120 V؟

70. المذياع يتم تشغيل مذياع ببطارية جهدها 9.0 V، بحيث تزوِّده بتيار مقداره 50.0 mA.

a. إذا كان ثمن البطارية 10.00 ريالات، وتعمل لمدة 300.0 h فاحسب تكلفة كل kWh تُزوِّدنا به هذه البطارية عند تشغيل المذياع هذه الفترة.

b. إذا تم تشغيل المذياع نفسه بمحوِّل موصول بدائرة المنزل، وكان ثمن الكيلوواط.ساعة 0.18 ريال، فاحسب تكلفة تشغيل المذياع مدة 300.0 h.

مراجعة عامة

71. يمر تيار مقداره 1.2 A في مقاومة مقدارها 50.0 Ω مدة 5.0 min، احسب مقدار الحرارة المتولدة في المقاومة خلال هذه الفترة.

72. وصِلت مقاومة مقدارها 6.0 Ω ببطارية جهدها 15 V

a. ما مقدار التيار المار في الدائرة؟

b. ما مقدار الطاقة الحرارية الناتجة خلال 10.0 min؟

73. المصابيح الكهربائية تبلغ مقاومة مصباح كهربائي متوهّج 10.0 Ω قبل إنارته، وتُصبح 40.0 Ω عند إنارته بتوصيله بمصدر جهد 120 V. أجب عن الأسئلة الآتية:

a. ما مقدار التيار الذي يمر في المصباح عند إنارته؟

b. ما مقدار التيار الذي يمر في المصباح لحظة إنارته (التيار اللحظي)؟

c. متى يَستهلِك المصباح أكبر قدرة كهربائية؟

74. تستخدم مقاومة مُتغيّرة للتحكم في سرعة محرك كهربائي جهده 12 V. عند ضَبط المقاومة ليتحرك المحرك بأقل سرعة يمر فيه تيار مقداره 0.02 A، وعندما تضبط المقاومة ليتحرك المحرك بأكبر سرعة يمر فيه تيار مقداره 1.2 A، ما مدى المقاومة المتغيرة؟

75. يُشغّل محرك كهربائي مضخّة توزيع الماء في مزرعة بحيث تضخ 1.0×10^4 L من الماء رأسيًّا إلى أعلى مسافة 8.0 m في كل ساعة. فإذا وصِل المحرك بمصدر جهد 110 V، وكانت مقاومته في أثناء تشغيله 22.0 Ω فما مقدار:

a. التيار المار في المحرك؟

b. كفاءة المحرك؟

76. ملف تسخين مقاومته 4.0 Ω ، ويعمل على جهد مقداره 120 V، أجب عما يأتي:

a. ما مقدار التيار الكهربائي المار في الملف عند تشغيله؟

b. ما مقدار الطاقة الواصلة إلى الملف خلال 5.0 min؟

c. إذا غُمر الملف في وعاء عازل يحتوي على 20.0 kg من الماء فما مقدار الزيادة في درجة حرارة الماء؟ افترض أن الماء امتص الحرارة الناتجة بنسبة 100 %.

d. إذا كان ثمن الكيلوواط.ساعة 0.18 ريال فما تكلفة تشغيل الملف 30 min في اليوم مدة 30 يومًا؟

77. التطبيقات مدفأة كهربائية تصل قدرتها إلى 500 W. أجب عما يأتي:

a. ما مقدار الطاقة الواصلة إلى المدفأة في نصف ساعة؟

b. تستخدم المدفأة لتدفئة غرفة تحتوي على 50 kg من الهواء، فإذا كانت الحرارة النوعية للهواء 1.10 kJ /kg.°C، و50% من الطاقة الحرارية الناتجة تعمل على تسخين الهواء في الغرفة، فما مقدار التغير في درجة هواء الغرفة خلال نصف ساعة؟

c. إذا كان ثمن الكيلوواط.ساعة 0.18 ريال، فما تكلفة تشغيل المدفأة 6.0 h في اليوم مدة 30 يومًا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 4

التفكير الناقد

78. **تصميم النماذج** ما مقدار الطاقة المختزنة في مكثف؟ يُعبَّر عن الطاقة اللازمة لزيادة فرق الجهد للشحنة q بالعلاقة: $E = qV$، ويحسب فرق الجهد في مكثف بالعلاقة: $V = q/C$. لذا كلما زادت الشحنة على المكثف ازداد فرق الجهد، ومن ثم فإن الطاقة اللازمة لإضافة شحنة عليه تزداد. إذا استخدم مكثف سعته الكهربائية 1.0 F بوصفه جهازًا لتخزين الطاقة في حاسوب شخصي فمثِّل بيانيًّا فرق الجهد V عند شحن المكثف بإضافة شحنة مقدارها 5.0 C إليه. وما مقدار فرق الجهد بين طرفي المكثف؟ وإذا كانت المساحة تحت المنحنى تمثّل الطاقة المختزنة في المكثف فأوجد هذه الطاقة بوحدة الجول، وتحقق مما إذا كانت تساوي الشحنة الكلية مضروبة في فرق الجهد النهائي أم لا. وضّح إجابتك.

79. **تطبيق المفاهيم** يعمل فرن ميكروويف على فرق جهد 120 V، ويمر فيه تيار مقداره 12 A. إذا كانت كفاءته الكهربائية (تحويل تيار AC إلى أشعة ميكروويف) 75%، وكفاءة تحويله أشعة الميكروويف إلى حرارة تستخدم في تسخين الماء أيضًا 75% فأجب عما يأتي:

a. ارسم نموذجًا تخطيطيًّا للقدرة الكهربائية. ميّز وظيفة كلّ جزء منه وفقًا للجولات الكلية لكل ثانية.

b. اشتق معادلة لمعدل الزيادة في درجة الحرارة $(\Delta T/s)$ لمادة موضوعة في الميكروويف مستعينًا بالمعادلة $\Delta Q = m\,C\,\Delta T$، حيث ΔQ التغير في الطاقة الحرارية للمادة، و m كتلتها، و C حرارتها النوعية، و ΔT التغير في درجة حرارتها.

c. استخدم المعادلة التي توصلت إليها لإيجاد معدل الارتفاع في درجة الحرارة بوحدة سلسيوس لكل ثانية، وذلك عند استخدام هذا الفرن لتسخين 250 g من الماء إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الغرفة.

d. راجع حساباتك جيدًا وانتبه إلى الوحدات المستخدمة، وبين ما إذا كانت إجابتك صحيحة.

e. ناقش بصورة عامة الطرائق المختلفة التي يمكنك بها زيادة كفاءة تسخين الميكروويف.

f. ناقش لماذا يجب عدم تشغيل أفران الميكروويف وهي فارغة؟

80. **تطبيق المفاهيم** تتراوح أحجام مقاومة مقدارها 10 Ω بين رأس دبوس إلى وعاء حساء. وضح ذلك.

81. **إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها** الرسم البياني للصمام الثنائي (الدايود) الموضّح في **الشكل 14–4** أكثر فائدة من رسم بياني مشابه للمقاومة يحقّق قانون أوم. وضح ذلك.

الكتابة في الفيزياء

82. هناك ثلاثة أنواع من المعادلات التي تواجهها في العلوم: (1) التعريفات، (2) القوانين، (3)الاشتقاقات. ومن الأمثلة عليها: (1) الأمبير الواحد يساوي كولوم واحد لكل ثانية. (2) القوة تساوي الكتلة مضروبة في التسارع. (3) القدرة الكهربائية تساوي مربع الجهد مقسومًا على المقاومة. اكتب صفحة واحدة توضح فيها متى تكون العلاقة "المقاومة تساوي الجهد مقسومًا على التيار" صحيحة. قبل أن تبدأ ابحث في التصنيفات الثلاثة للمعادلات المعطاة أعلاه.

83. تتمدد المادة عند تسخينها. ابحث في العلاقة بين التمدد الحراري وأسلاك التوصيل المستخدمة لنقل الجهد العالي.

مراجعة تراكمية

84. تبعد شحنة مقدارها $+3.0\times10^{-6}$ C مسافة 2.0 m عن شحنة أخرى مقدارها $+6.0\times10^{-5}$ C. احسب مقدار القوة المتبادلة بينهما. (الفصل 2)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. إذا وصل مصباح كهربائي قدرته 100 W بسلك كهربائي فرق الجهد بين طرفيه 120 V فما مقدار التيار المار في المصباح؟

(A) 0.8 A (C) 1.2 A

(B) 1 A (D) 2 A

2. إذا وصلت مقاومة مقدارها 5.0 Ω ببطارية جهدها 9.0 V فما مقدار الطاقة الحرارية الناتجة خلال 7.5 min؟

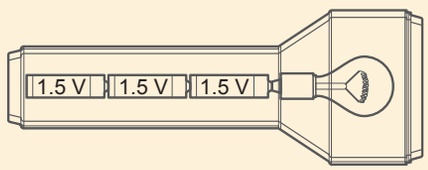
(A) 1.2×10^{2} J (C) 3.0×10^{3} J

(B) 1.3×10^{3} J (D) 7.3×10^{3} J

3. يمر تيار كهربائي مقداره 0.50 A في المصباح اليدوي الموضح أدناه. فإذا كان الجهد عبارة عن مجموع جهود البطاريات المتصلة فما مقدار القدرة الواصلة إلى المصباح؟

(A) 0.11 W (C) 2.3 W

(B) 1.1 W (D) 4.5 W



4. إذا أُضيء المصباح اليدوي الموضّح أعلاه مدة 3.0 min فما مقدار الطاقة الكهربائية التي تصل إليه؟

(A) 6.9 J (C) 2.0×10^{2} J

(B) 14 J (D) 4.1×10^{2} J

5. يمرّ تيار مقداره 2.0 A في دائرة تحتوي على محرك مقاومته 12 Ω، ما مقدار الطاقة المُحوّلة إذا تم تشغيل المحرك دقيقة واحدة؟

(A) 4.8×10^{1} J (C) 2.9×10^{3} J

(B) 2.0×10^{1} J (D) 1.7×10^{5} J

6. إذا مرّ تيار مقداره 5.00 mA في مقاومة مقدارها 50.0 Ω في دائرة كهربائية موصولة مع بطارية فما مقدار القدرة الكهربائية المستنفدة في الدائرة؟

(A) 1.00×10^{-2} W (C) 1.25×10^{-3} W

(B) 1.00×10^{-3} W (D) 2.50×10^{-3} W

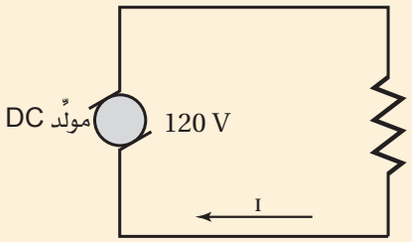
7. ما مقدار الطاقة الكهربائية الواصلة إلى مصباح قدرته 60.0 W، إذا تم تشغيله مدة 2.5 h؟

(A) 4.2×10^{-2} J (C) 1.5×10^{2} J

(B) 2.4×10^{1} J (D) 5.4×10^{5} J

الأسئلة الممتدة

8. يبين الرسم أدناه دائرة كهربائية بسيطة تحتوي على مولّد DC، ومقاومةً. فإذا كانت المقاومة في الرسم تمثل مُجفّف شعر مقاومته 8.5 Ω فما مقدار التيار المار في الدائرة؟ وما مقدار الطاقة التي يستهلكها مجفف الشعر إذا تم تشغيله 2.5 min؟



✓ إرشاد

أكثر من رسم بياني

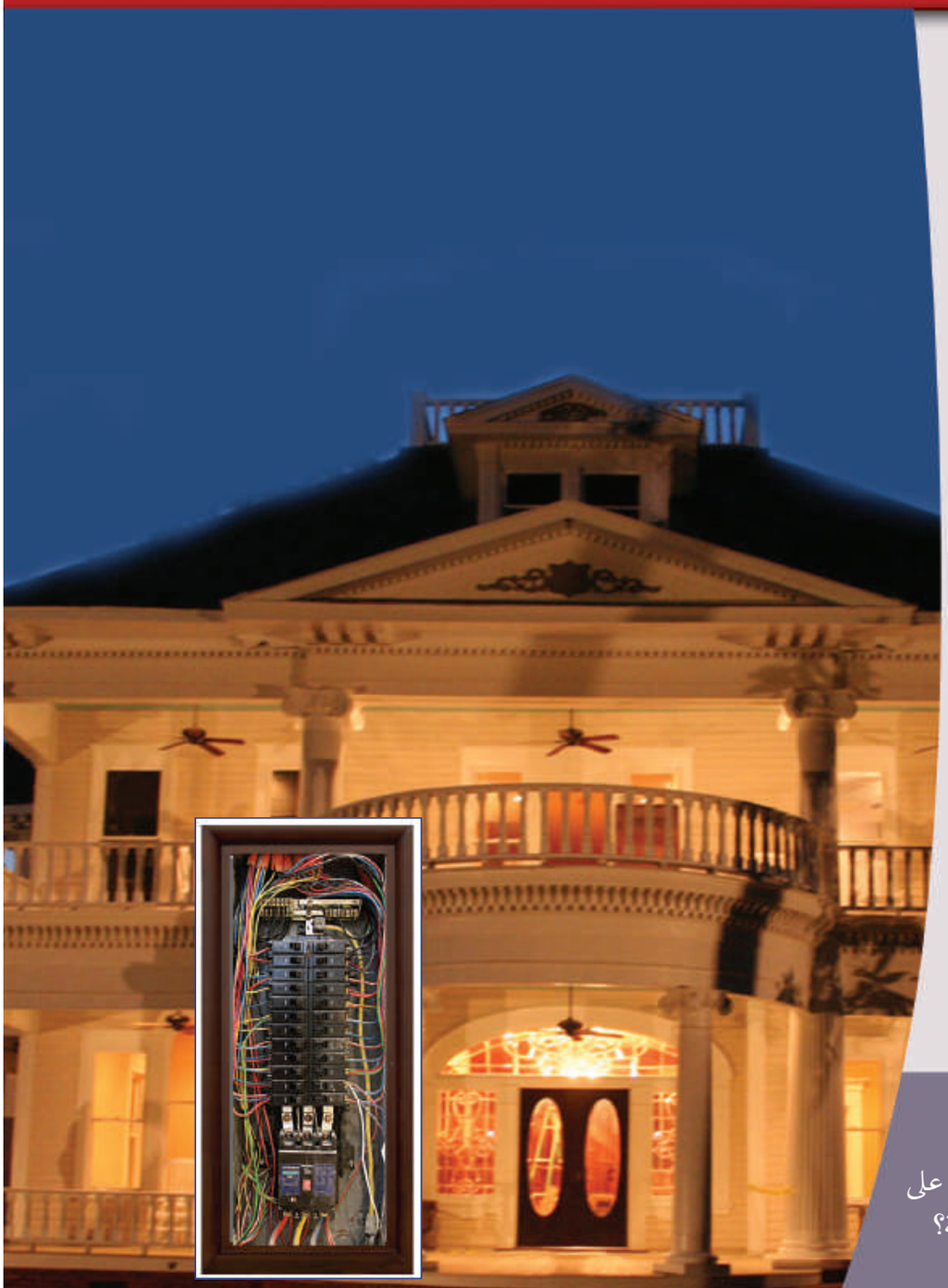
إذا تضمّن سؤال اختبار أكثر من جدول، أو أكثر من رسم بياني أو تخطيطي أو مرفق فعليك استخدامها جميعًا. وإذا اعتمدت في إجابتك على رسم واحد فقط فمن المحتمل أن تفقد جزءًا مهمًّا من المعلومات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 5

دوائر التوالي والتوازي الكهربائية

Series and Parallel Circuits



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- التمييز بين دوائر التوالي ودوائر التوازي والدوائر المُركّبة، وتحل مسائل عليها.
- توضيح وظيفة كل من المنصهر الكهربائي، والقواطع الكهربائية، وقواطع التفريغ الأرضي الخاطئ، وتصف كيفية استعمال الأميتر والفولتمتر في الدوائر الكهربائية.

الأهمية

تعدّ الدوائر الكهربائية أساس عمل الأجهزة الكهربائية جميعها. وستساعدك معرفة كيفية عمل الدوائر الكهربائية على فهم وظيفة العدد الذي لا يحصى من الأجهزة الكهربائية.

مراكز الحمل الكهربائي تُشكّل مراكز الحمل الكهربائي نقاط الوصل بين الأسلاك الرئيسة الواصلة من شركة الكهرباء والدوائر الكهربائية في المبنى. ويحتوي مركز الحِمل الكهربائي على مجموعة من القواطع الكهربائية يحمي كلّ منها دائرة مفردة خاصة به تحتوي على أحمالٍ مختلفة موصولة على التوازي.

فكِّر

لماذا توصل الأحمال الكهربائية في المباني على التوازي؟ وكيف توصل القواطع الكهربائية؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

كيف تحمي المُنصهِراتُ الكهربائية الدوائرَ الكهربائية؟

سؤال التجربة كيف يحمي منصهرٌ كهربائي دائرةً كهربائية عند مرور تيار كهربائي كبير فيها؟

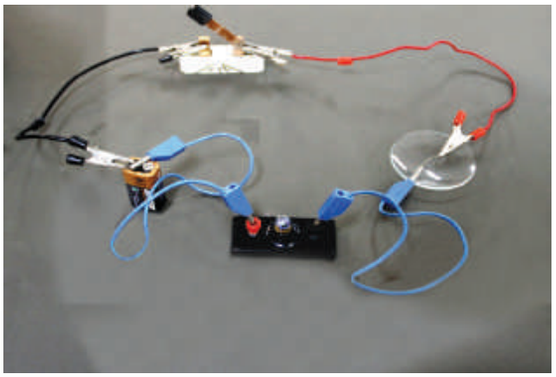
الخطوات

1. صِل القطب السالب لبطارية جهدها 9 V بأحد طرفي قاعدة مصباح باستخدام سلك توصيل. ***تحذير: قد تكون نهايتا السلك النحاسي حادتين، وقد يجرح الجلد.***
2. صِل الطرف الآخر لقاعدة المصباح بسلك مواعين باستعمال سلك توصيل، وتأكد من تعليق سلك المواعين فوق وعاء زجاجي صغير.
3. صِل الطرف الثاني لسلك المواعين بمفتاح كهربائي باستعمال سلك توصيل آخر، وتأكد من أن المفتاح الكهربائي مفتوح.
4. صِل الطرف الثاني للمفتاح الكهربائي بالقطب الموجب للبطارية.
5. **كوِّن فرضية** توقع ما يحدث عند إغلاق المفتاح الكهربائي.
6. **لاحظ** أغلق المفتاح الكهربائي، ولاحظ ما يحدث لسلك المواعين. ***تحذير: لا تلمس سلك المواعين بعد إغلاق المفتاح.***
7. كرّر الخطوات **6–1** باستعمال سلك مواعين أكثر سمكًا أو لفّ عدة أسلاك من سلك المواعين معًا لتصبح سلكًا واحدًا سميكًا، ولاحظ ما يحدث.

التحليل

وضّح العلاقة بين سُمك سلك المواعين وسرعة تسخينه وانقطاعه. لماذا تُستخدم القواطع الكهربائية بدل المنصهرات الكهربائية في صناديق الدوائر الكهربائية في المنازل الحديثة؟

التفكير الناقد ما أهمية أن يحل منصهر جديد محل المنصهر الكهربائي التالف في دوائر المنازل والسيارات، بحيث يكون له مقدار التيار نفسه؟



5–1 الدوائر الكهربائية البسيطة Simple Circuits

يمكن اعتبار النهر الجبلي نموذجًا لتوضيح التوصيلات الكهربائية لدائرة كهربائية، حيث ينحدر ماء النهر من أعلى الجبل إلى سفحه، ويكون التغير في الارتفاع عند جريان الماء من قمة الجبل حتى وصوله إلى السفح هو نفسه بغض النظر عن المسار الذي يسلكه ماء النهر. وتنحدر المياه في بعض الأنهار الجبلية في صورة جدول مفرد، وفي أنهار أخرى تتفرع المياه إلى فرعين أو أكثر عند تدفّقها من فوق شلّال أو من فوق سلسلة من المنحدرات المتتالية، حيث يتدفق جزء من ماء النهر في مسار، في حين تتدفق أجزاء أخرى في مسارات مختلفة. وبغض النظر عن عدد المسارات التي يسلكها ماء النهر فإن الكمية الكلية للماء المتدفق إلى أسفل الجبل تبقى ثابتة؛ أي أن كمية الماء المتدفق لا تتأثر بالمسار الذي تسلكه.

الأهداف

- **تصف** دوائر التوالي ودوائر التوازي الكهربائية.
- **تحسب** كلًّا من التيارات، والهبوط في الجهد، والمقاومة المكافئة في دوائر التوالي ودوائر التوازي الكهربائية.

المفردات

دائرة التوالي	المقاومة المكافئة
مجزّئ الجهد	دائرة التوازي

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

كيف يشـكل مسار ماء النهر في **الشكل 1–5** نموذجًا لدائرة كهربائية؟ إن الارتفاع الذي ينحدر منه النهر مشـابهة لفرق الجهد في دائرة كهربائية، وكمية الماء المتدفق مشابهة للتيار الكهربائي المار في الدائرة، والمنحدرات الضيقة التي تعوق حركة الماء مشابهة للمقاومات الكهربائية. أيّ أجزاء النهر تشبه بطارية أو مولّدًا كهربائيًّا في دائرة كهربائية؟ تعدّ الشمس مصـدر الطاقة اللازمة لرفع الماء إلى قمة الجبل؛ إذ يتبخر الماء من البحيرات والبحار بفعل الطاقة الشمسـية، وعند تشـكّل الغيوم يهطل منها مطر أو ثلج عـلى قمم الجبال. واصل التفكير في نموذج النهر الجبلي في أثناء دراستك التيار الكهربائي في الدوائر الكهربائية.

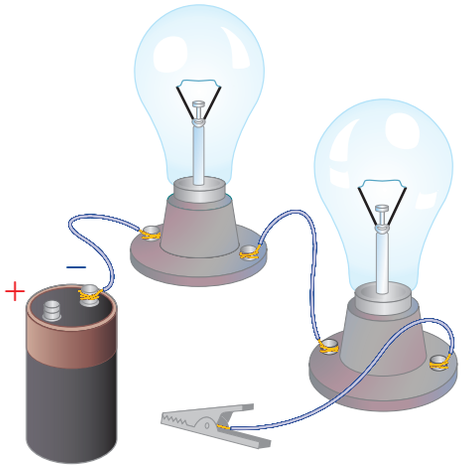
الشكل 1–5 تبقى كمية الماء ومقدار الانحدار في الارتفاع هي نفسها، بغض النظر عن المسار الذي يسلكه النهر عند انحداره من قمة الجبل.

دوائر التوالي الكهربائية Series Circuits

وَصَل ثلاثـة طلاب مصباحين متماثلين بطرفي بطارية، كما هو موضّح في **الشـكل 2–5**. وقبل إغلاقهم الدائرة الكهربائية طلب إليهم المعلم توقع سطوع المصباحين.

يعلم كل طالب منهم أن سطوع مصباح ما يعتمد على مقدار التيار المار فيه، فتوقع الطالب الأول أن المصبـاح الأقرب إلى القطـب الموجب (+) للبطارية هو فقط الذي سـيضيء؛ وذلك لأن التيار سيُستهلك جميعه على شكل طاقة حرارية وضوئية. وتوقع الطالب الثاني أن المصباح الأول سيستهلك جزءًا من التيار، وأن المصباح الثاني سيتوهج، ولكن بسطوع أقل من المصباح الأول. أما الطالب الثالث فتوقع أن يكون سطوعَا المصباحين متساويين؛ لأن التيار عبارة عن تدفق للشحنات، والشحنات التي تخرج من المصباح الأول لا تجد لها أي منفذ آخر للحركة في الدائرة الكهربائية إلا من خلال المصباح الثاني. وأضاف الطالب الثالث: لأن التيار نفسـه سيمر في كلٍّ من المصباحين فإن سطوعيهما سيكونان متساويين. كيف تتوقع أنت أن يكون سطوع المصباحين؟

إذا فكّرت في نموذج النهر الجبلي وقارنته بهذه الدائرة الكهربائية فستدرك أن توقع الطالب الثالث هو التوقع الصحيح. تذكّر ممّا تعلمته سابقًا أن الشحنة لا تفنى ولا تستحدث. ولأن للشـحنة مسارًا واحدًا فقط تسلكه في هذه الدائرة الكهربائية، وهي لا تفنى، فإنه يجب أن تكون كمية الشـحنة التي تدخل الدائرة الكهربائية مساوية للكمية التي تخرج منها؛ وهذا يعني أن التيار يكون هو نفسه في أيّ جزء من أجزاء الدائرة. فإذا وُصِلت ثلاثة أجهزة أميتر

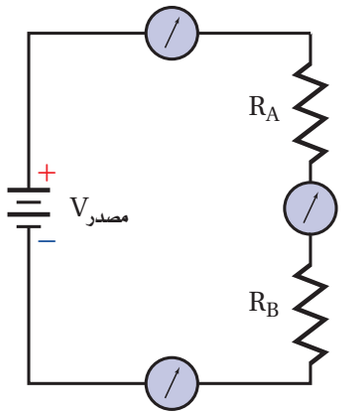


الشكل 2–5 ما توقعك بشأن سطوع المصباحين بعد إغلاق الدائرة الكهربائية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

في الدائرة، كما هو موضّح في **الشكل 3–5**، فإن قراءات الأجهزة جميعها ستكون متساوية. وتسمّى مثل هذه الدائرة التي يمر التيار نفسه في كلِّ جزء من أجزائها **دائرة التوالي**.

إذا كان التيار متساويًا في أجزاء الدائرة جميعها فما الذي يستهلكه المصباح لإنتاج الطاقة الحرارية والضوئية؟ تذكّر أن القدرة الكهربائية هي المعدل الزمني لتحوُّل الطاقة الكهربائية، وتُمثّل بالعلاقة $P = IV$. لذا إذا كان هناك فرق في الجهد أو هبوط في الجهد عبر المصباح فإن الطاقة الكهربائية ستتحوّل من شكل إلى آخر من أشكال الطاقة. ولأن مقاومة المصباح تعرّف بالعلاقة $R = V/I$، لذا يكون هناك فرق في الجهد على هذه المقاومة، ويسمّى أيضًا الهبوط في الجهد $V = IR$.



■ **الشكل 3–5** تبين قراءة أجهزة الأميتر أن التيار يكون متساويًا في جميع أجزاء دائرة التوالي.

التيار والمقاومة في دائرة التوالي تعلمت من نموذج النهر الجبلي أن مجموع الانحدارات في الارتفاع يساوي الانحدار الكلي من قمة الجبل حتى الوصول إلى سفحِه. وكذلك الأمر في الدائرة الكهربائية؛ حيث تكون الزيادة في الجهد الذي يوفّره المولد أو أيّ مصدر طاقة $V_{مصدر}$، مساويةً مجموع الهبوط (النقصان) في فرق الجهد في كلا المصباحين A و B، ويمكن تمثيلها بالمعادلة: $V_{مصدر} = V_A + V_B$

ولإيجاد الهبوط في الجهد عبر مقاومة، اضرب مقدار التيار المار في الدائرة الكهربائية في مقدار تلك المقاومة. ولأن التيار المار في كلا المصباحين هو نفسه فإن $V_A = IR_A$ و$V_B = IR_B$، لذا يكون $V_{مصدر} = IR_A + IR_B$ أو $V_{مصدر} = I(R_A + R_B)$. ويمكن إيجاد التيار من خلال المعادلة: $I = \frac{V_{مصدر}}{R_A + R_B}$

يمكن استخدام الفكرة نفسها لتشمل أي عدد من المقاومات المتصلة على التوالي، وليس مقاومتين فقط. وسيمر التيار نفسه في هذه الدائرة الكهربائية إذا وضعنا فيها مقاومة واحدة R تساوي مجموع مقاومتي المصباحين، وتسمى مثل هذه المقاومة **المقاومة المكافئة** للدائرة الكهربائية. إذًا المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات موصولة على التوالي هي مجموع المقاومات المفردة، ويُعبّر عنها بالمعادلة الآتية:

المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات موصولة على التوالي $R = R_A + R_B + \ldots$

المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات متصلة على التوالي تساوي مجموع المقاومات المفردة.

لاحظ أن المقاومة المكافئة في حالة التوصيل على التوالي تكون أكبر من أي مقاومة مفردة، لذا إذا لم يتغير جهد البطارية فإن إضافة أجهزة جديدة على التوالي ستقلل التيار المار في الدائرة. ولحساب التيار في دائرة توالٍ نحسب المقاومة المكافئة أولاً، ثم نستخدم المعادلة الآتية:

التيار الكهربائي $I = \frac{V_{مصدر}}{R}$

التيار الكهربائي في دائرة التوالي يساوي فرق جهد المصدر مقسومًا على المقاومة المكافئة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسائل تدريبية

1. وصِلت المقاومات 5 Ω و15 Ω و10 Ω في دائرة توالٍ كهربائية ببطارية جهدها 90 V. ما مقدار المقاومة المكافئة للدائرة؟ وما مقدار التيار المار فيها؟
2. وصِلت بطارية جهدها 9 V بثلاث مقاومات موصولة على التوالي في دائرة كهربائية. إذا زاد مقدار إحدى المقاومات فأجب عما يأتي:
   a. كيف تتغير المقاومة المكافئة؟
   b. ماذا يحدث للتيار؟
   c. هل يكون هناك أي تغير في جهد البطارية؟
3. وصِل طرفا سلك زينة فيه عشرة مصابيح ذات مقاومات متساوية ومتصلة على التوالي بمصدر جهد 120 V، فإذا كان التيار المار في المصابيح 0.06 A فاحسب مقدار:
   a. المقاومة المكافئة للدائرة.
   b. مقاومة كل مصباح.
4. احسب الهبوط في الجهد خلال المقاومات الثلاث الواردة في المسألة **1**، ثم تحقق من أن مجموع الهبوط في الجهد عبر المصابيح الثلاثة يساوي جهد البطارية.

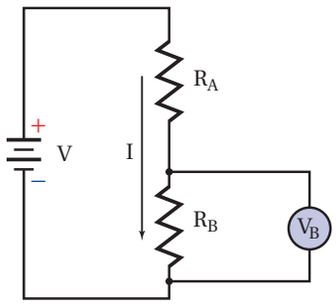
الهبوط (النقصان) في فرق الجهد في دائرة التوالي عند مرور تيار كهربائي في أيّ دائرة كهربائية يجب أن يكون مجموع التغيرات في الجهد عبر كل عناصر الدائرة صفرًا؛ وذلك لأن مصدر الطاقة الكهربائية للدائرة؛ أي البطارية أو المولّد الكهربائي، يعمل على رفع الجهد بمقدار يساوي مجموع الهبوط في الجهد الناتج عن مرور التيار في جميع مقاومات الدائرة الكهربائية، لذا يكون المجموع الكلي للتغيرات في الجهد صفرًا.

ومن التطبيقات المهمة على دوائر التوالي دائرة تسمّى **مجزئ الجهد**، وهو دائرة توالٍ تُستخدم لإنتاج مصدر جهد بالقيمة المطلوبة من بطارية ذات جهد كبير. افترض مثلًا أن لديك بطارية جهدها 9 V، إلا أنك تحتاج إلى مصدر فرق جهد 5 V. انظر الدائرة الموضّحة في **الشكل 4–5** ولاحظ أن المقاومتين R_A وR_B متصلتان على التوالي ببطارية جهدها V، لذا تكون المقاومة المكافئة للدائرة $R = R_A + R_B$. أما التيار فيحسب بالمعادلة الآتية:

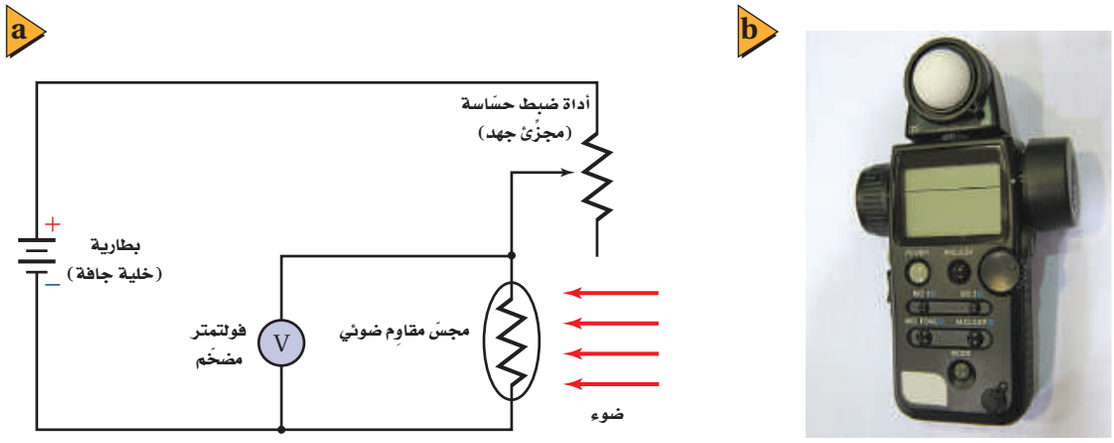
$$I = \frac{V}{R} = \frac{V}{R_A + R_B}$$

القيمة المطلوبة للجهد 5 V، وهي هنا تساوي الهبوط في الجهد V_B عبر المقاومة R_B: $V_B = IR_B$، وباستخدام هذه المعادلة، وقيمة التيار (المعادلة السابقة) نحصل على:

$$V_B = I R_B$$
$$= \left(\frac{V}{R_A + R_B}\right) R_B$$
$$= \left(\frac{V R_B}{R_A + R_B}\right)$$



الشكل 4–5 في دائرة مجزئ الجهد هذه اختيرت قيمتا المقاومتين R_A وR_B بحيث يكون الهبوط في الجهد خلال المقاومة R_B مساويًا الجهد المطلوب.



تُستخدم عادة مجزِّئات الجهد مع المجسّات؛ مثل المقاومات الضوئية؛ حيث تعتمد المقاومة الضوئية على كمية الضوء التي تسقط عليه، وهو يُصنع عادة من مواد شبه موصلة؛ مثل السليكون أو السيلينيوم أو كبريتيد الكادميوم. وتتغير مقاومة ضوئية مثالية من 400 Ω عند سقوط ضوء عليه إلى 400,000 Ω عندما تكون المقاومة في مكان معتم. ويعتمد الجهد الناتج عن مجزئ الجهد المستخدم في المقاومة الضوئية على كمية الضوء التي تسقط على مجسّ المقاومة، ويمكن استعمال هذه الدائرة مقياسًا لكمية الضوء، كما هو موضّح في **الشكل 5–5**؛ حيث تكشف دائرة إلكترونية في هذا الجهاز فرق الجهد وتحوّله إلى قياس للاستضاءة يمكن قراءته على شاشة رقمية. وستقل قراءة الفولتمتر المضخّم عند زيادة الاستضاءة.

■ **الشكل 5–5** الجهد الناتج عن مجزئ الجهد يعتمد على كمية الضوء التي تسقط على مجسّ المقاومة الضوئية (a). تستفيد أجهزة قياس كمية الضوء المستخدمة في التصوير الفوتوجرافي من مجزئ الجهد (b).

مثـــال 1

الهبوط في الجهد في دائرة التوالي وصِلت مقاومتان كلٌّ منهما 47.0 Ω و82.0 Ω على التوالي بقطبي بطارية جهدها 45.0 V، أجب عما يأتي:

a. ما مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة؟

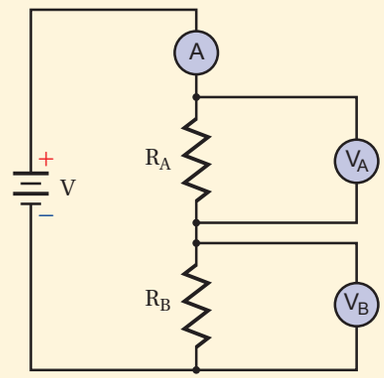
b. ما مقدار الهبوط في الجهد في كل مقاومة؟

c. إذا وضِعت مقاومة مقدارها 39.0 Ω بدلًا من المقاومة 47.0 Ω فهل تزداد شدة التيار أم تقل أم تبقى ثابتة؟

d. ما مقدار الهبوط الجديد في الجهد في المقاومة 82.0 Ω؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم رسمًا تخطيطيًّا للدائرة الكهربائية.



المعلوم	المجهول
$V_{مصدر} = 45.0\ V$	$I = ?$
$R_A = 47.0\ \Omega$	$V_A = ?$
$R_B = 82.0\ \Omega$	$V_B = ?$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. لحساب التيار نجد أولًا المقاومة المكافئة.

دليل الرياضيات
إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

بالتعويض عن $R = R_A + R_B$

$$I = \frac{V_{مصدر}}{R}، R = R_A + R_B$$

$$= \frac{V_{مصدر}}{R_A + R_B}$$

بالتعويض عن $R_A = 47.0\ \Omega$، $R_B = 82.0\ \Omega$، $V_{مصدر} = 45.0\ V$

$$= \frac{45.0\ V}{47.0\ \Omega + 82.0\ \Omega} = 0.349\ A$$

b. استخدم المعادلة $V = IR$ لكل مقاومة.

بالتعويض عن $I = 0.349\ A$، $R_A = 47.0\ \Omega$

$$V_A = IR_A = (0.349\ A)(47.0\ \Omega) = 16.4\ V$$

بالتعويض عن $I = 0.349\ A$، $R_B = 82.0\ \Omega$

$$V_B = IR_B = (0.349\ A)(82.0\ \Omega) = 28.6\ V$$

c. احسب التيار المار في الدائرة باستخدام المقاومة $39.0\ \Omega$ بوصفها قيمة جديدة لـ R_A

$$I = \frac{V_{مصدر}}{R_A + R_B}$$

بالتعويض عن $V_{مصدر} = 45.0\ V$، $R_B = 82.0\ \Omega$، $R_A = 39.0\ \Omega$

$$= \frac{45.0\ V}{39.0\ \Omega + 82.0\ \Omega} = 0.372\ A$$ يزداد التيار

d. أوجد الهبوط الجديد في الجهد في R_B

بالتعويض عن $I = 0.372\ A$، $R_B = 82.0\ \Omega$

$$V_B = IR_B = (0.372\ A)(82.0\ \Omega) = 30.5\ V$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة التيار الكهربائي عبارة عن $A = V/\Omega$، ووحدة الجهد $V = A.\Omega$
- **هل الجواب منطقي؟** بالنسبة للتيار إذا كان $R > V$ فإن $I < 1$. كذلك فإن الهبوط في الجهد عبر أي مقاومة يجب أن يكون أقل من جهد الدائرة (المصدر)، ومقدارا V_B في الحالتين أقل من $V_{مصدر}$ التي تساوي $45.0\ V$

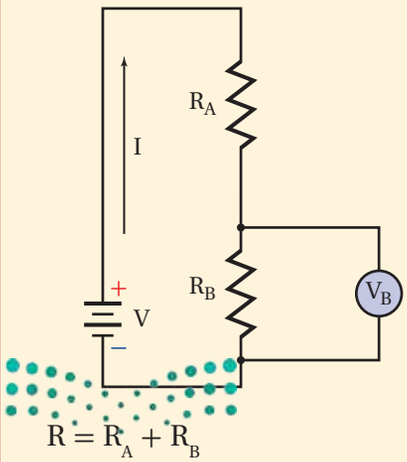
مثـــــال 2

مجزئ الجهد وصِلت بطارية جهدها $9.0\ V$ بمقاومتين: $390\ \Omega$ و $470\ \Omega$، على شكل مجزئ جهد. ما مقدار جهد المقاومة $470\ \Omega$؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم البطارية والمقاومتين في دائرة توالٍ كهربائية.

المعلوم	المجهول
$V_{مصدر} = 9.0\ V$	$V_B = ?$
$R_A = 390\ \Omega$	
$R_B = 470\ \Omega$	



2 إيجاد الكمية المجهولة

لحساب التيار نجد أولاً المقاومة المكافئة للدائرة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

$$I = \frac{V_{مصدر}}{R}$$

$$I = \frac{V_{مصدر}}{R_A + R_B}$$

$$V_B = IR_B$$

$$= \frac{V_{مصدر}\, R_B}{R_A + R_B}$$

$$= \frac{(9.0\ V)(470\ \Omega)}{390\ \Omega + 470\ \Omega}$$

$$= 4.9\ V$$

دليل الرياضيات

ترتيب العمليات

بالتعويض عن $R = R_A + R_B$

احسب جهد المقاومة R_B

بالتعويض عن

$R_A = 390\ \Omega$، $V_{مصدر} = 9.0\ V$، $R_B = 470\ \Omega$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة الجهد $V = V\Omega / \Omega$، ونختصر Ω فيبقى V.
- **هل الجواب منطقي؟** الهبوط في الجهد أقل من جهد البطارية. ولأن $470\ \Omega$ أكبر من نصف المقاومة المكافئة، لذلك يكون الهبوط في الجهد أكبر من نصف جهد البطارية.

مسائل تدريبية

5. إذا أظهرت الدائرة الموضّحة في المثال 1 النتائج الآتية: قراءة الأميتر 0 A، وقراءة V_A تساوي 0 V، وقراءة V_B تساوي 45 V، فما الذي حدث؟

6. افترض أن قيم عناصر الدائرة الكهربائية الموضّحة في المثال 1 هي: $R_A = 255\ \Omega$ و $R_B = 292\ \Omega$ و $V_A = 17.0\ V$، وليس هناك أيّ معلومات أخرى، فأجب عما يأتي:

a. ما مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة؟

b. ما مقدار جهد البطارية؟

c. ما مقدار القدرة الكهربائية الكلية المستنفدة؟ وما مقدار القدرة المستنفدة في كل مقاومة؟

d. هل مجموع القدرة المستنفدة في كل مقاومة يساوي القدرة الكلية المستنفدة في الدائرة؟ وضّح ذلك.

7. توصل مصابيح أسلاك الزينة غالبًا على التوالي، وضح لماذا تستخدم مصابيح خاصة تشكّل دائرة قصر عندما يحترق فتيلها إذا ازداد جهد المصباح ليصل إلى جهد الخط؟ ولماذا تحترق المنصهرات الكهربائية الخاصة بمجموعات المصابيح تلك بعد احتراق عدد من هذه المصابيح؟

8. تتكوّن دائرة توالٍ كهربائية من بطارية جهدها 12.0 V وثلاث مقاومات. فإذا كان جهد إحدى المقاومات 1.21 V، وجهد مقاومة ثانية 3.33 V، فما مقدار جهد المقاومة الثالثة؟

9. وصِلت المقاومتان $22\ \Omega$ و $33\ \Omega$ في دائرة توالٍ كهربائية بفرق جهد مقداره 120 V. احسب مقدار:

a. المقاومة المكافئة للدائرة.

b. التيار المار في الدائرة.

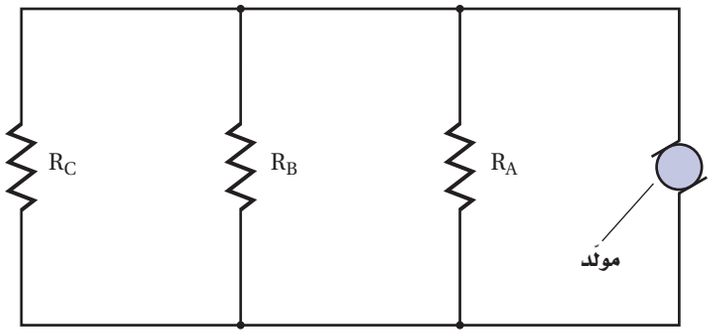
c. الهبوط في الجهد عبر كل مقاومة.

d. الهبوط في الجهد عبر المقاومتين معًا.

10. قام طالب بعمل مجزئ جهد يتكوّن من بطارية جهدها 45 V ومقاومتين قيمتاهما: $475\ k\Omega$ و $235\ k\Omega$. إذا قيس الجهد الناتج عبر المقاومة الصغرى فما مقدار هذا الجهد؟

11. ما مقدار المقاومة التي يمكن استخدامها عنصرًا في دائرة مجزئ جهد مع مقاومة أخرى مقدارها $1.2\ k\Omega$؛ بحيث يكون الهبوط في الجهد عبر المقاومة $1.2\ k\Omega$ مساويًا 2.2 V عندما يكون جهد المصدر 12 V؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 6–5 تكون المسارات المتوازية للتيار الكهربائي في هذا المخطط مماثلة للمسارات المتعددة التي يمكن أن يسلكها الماء في أثناء انحداره من قمة جبل.

دوائر التوازي الكهربائية Parallel Circuits

انظر إلى الدائرة الكهربائية الموضّحة في **الشكل 6–5**. ما عدد مسارات التيار فيها؟ يمكن أن يمر التيار الخارج من المولّد في أي من المقاومات الثلاث. وتسمّى مثل هذه الدائرة التي تحتوي على مسارات متعددة للتيار الكهربائي **دائرة التوازي**. فالمقاومات الثلاثة في الشكل موصولة على التوازي؛ حيث يتصل طرفا كل مسار بطرفي المسار الآخر. بالرجوع إلى نموذج النهر الجبلي، تلاحظ أن مثل هذه الدائرة الكهربائية موضحة بعِدّة مسارات مختلفة لتدفق الماء في صورة جداول، بَعد تدفقه من أعلى الجبل أو سلسلة منحدرات متتالية، حيث يمكن أن يكون تدفق الماء في بعض المسارات كبيرًا، وفي بعضها الآخر أقل، ولكن يظل التدفق الكلي مساويًا مجموع التدفُّقات في كل المسارات. إضافة إلى ذلك يكون مقدار الانحدار في الارتفاع هو نفسه بغض النظر عن المسار الذي يتدفق فيه الماء. وبالمثل يكون التيار الكلي في دائرة التوازي الكهربائية مساويًا مجموعَ التيارات التي تمر في كل المسارات. أما فرق الجهد فيكون هو نفسه في كل مسار؛ أي أن الجهد متساوٍ في كل المسارات.

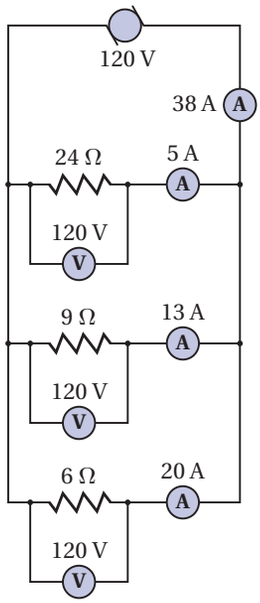
تجربة عملية

كيف تعمل المقاومات الموصولة معًا على التوازي؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

ما مقدار التيار المار في كل مقاومة في دائرة توازٍ كهربائية؟ يعتمد مقدار التيار المارّ في كل مقاومة على مقدار مقاومتها. ففي **الشكل 7–5** مثلًا يكون فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة 120 V، ويعطى التيار المار في كل مقاومة بالعلاقة $I = V/R$، لذا يمكنك حساب التيار المار في المقاومة 24 Ω كما يأتي: $I = (120\ V)/(24\ \Omega) = 5.0\ A$، ثم تحسب التيار المار في كل من المقاومتين الأخريين. ويكون التيار الكلي المار في المولّد مساويًا مجموع التيارات في المسارات الثلاثة، ويساوي في هذه الحالة 38 A.

الشكل 7–5 التيار الكلي في دائرة توازٍ كهربائية يساوي مجموع التيارات في المسارات المفردة.



ماذا يحدث عند فصل المقاومة 6 Ω من الدائرة؟ وهل تتغير قيمة التيار المار في المقاومة 24 Ω؟ تعتمد قيمة هذا التيار فقط على فرق الجهد بين طرفي المقاومة وعلى مقدارها. ولأن أيًّا منهما لم يتغير فإن التيار يبقى ثابتًا ولا يتغير. وينطبق الشيء نفسه أيضًا على التيار الذي يمر في المقاومة 9 Ω؛ أي أن فروع دائرة التوازي الكهربائية لا يعتمد بعضها على بعض. أما التيار الكلي المار في المولّد فيتغير عند فصل أي من المقاومات الثلاث، فعند فصل المقاومة 6 Ω يصبح مجموع التيارين في المسارين 18 A.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المقاومة في دائرة التوازي كيف يمكن إيجاد المقاومة المكافئة لدائرة توازٍ كهربائية؟ مقدار التيار الكلي المار في المولّد الموضّح في **الشكل 7–5** يساوي 38 A، لذا فإن قيمة المقاومة المُفردة التي يمر فيها تيار مقداره 38 A عند توصيلها بفرق جهد مقداره 120 V هي:

$$R = \frac{V}{I}$$

$$= \frac{120\ V}{38\ A}$$

$$= 3.2\ \Omega$$

لاحظ أن هذه المقاومة تكون أقل من أي مقاومة من المقاومات الثلاث الموصولة على التوازي. فتوصيل مقاومتين أو أكثر على التوازي يقلّل دائمًا من المقاومة المكافئة للدائرة؛ وذلك لأن كل مقاومة جديدة توصل على التوازي تُضيف مسارًا جديدًا للتيار، وهذا يزيد من قيمة التيار الكلي مع بقاء فرق الجهد ثابتًا.

لحساب المقاومة المكافئة لدائرة توازٍ، لاحظ أولًا أن التيار الكلي في الدائرة هو مجموع التيارات في كل الفروع، فإذا كانت التيارات I_A و I_B و I_C هي التيارات المارة في الفروع و I هو التيار الكلي فإن $I = I_A + I_B + I_C$. أما فرق الجهد بين طرفي أيّ مقاومة فسيكون هو نفسه في كل المقاومات، لذا يمكن إيجاد التيار المار في المقاومة R_A بالعلاقة $I_A = V/R_A$. وبناءً على ذلك يمكن إعادة كتابة معادلة مجموع التيارات في الدائرة كما يأتي:

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_A} + \frac{V}{R_B} + \frac{V}{R_C}$$

وبقسمة طرفي المعادلة على V، نوجد المقاومة المكافئة للمقاومات الثلاث المتصلة على التوازي.

المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات موصولة معًا على التوازي

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C} + \cdots\cdots$$

مقلوب المقاومة المكافئة يساوي مجموع مقلوب المقاومات المفردة.

ويمكن استخدام هذه المعادلة لإيجاد المقاومة المكافئة لأيّ عدد من المقاومات الموصولة على التوازي.

تطبيق الفيزياء

اختبار قياس المقاومة

تعمل الأوميترات المستخدمة في قياس مقدار المقاومة عن طريق تمرير جهد معلوم عبر المقاومة فتقيس التيار، ثم يُظهر الجهاز مقدار المقاومة. وتَستخدم بعض الأوميترات جهودًا أقل من 1V لتجنب إتلاف المكونات الإلكترونية الحساسة، في حين قد يستخدم بعضها الآخر مئات الفولتات للتحقق من سلامة المواد العازلة.

تجربة

مقاومة التوازي

ركّب دائرة كهربائية تتكوّن من مصدر قدرة، ومقاومة، وأميتر.

1. **توقع** ماذا يحدث للتيار في الدائرة الكهربائية عند توصيل مقاومة أخرى مماثلة للمقاومة الأولى على التوازي معه؟
2. **اختبر** توقعك.
3. **توقع** مقداري التيارين إذا تضمنت الدائرة ثلاث أو أربع مقاومات متماثلة موصولة على التوازي.
4. **اختبر** توقعك.

التحليل والاستنتاج

5. **أنشئ** جدول بيانات لتوضيح النتائج.
6. **فسّر** نتائجك بتضمينها كيفية تغير المقاومة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

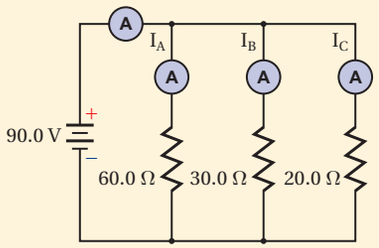
مثـــــال 3

المقاومة المكافئة والتيار في دائرة توازٍ كهربائية وصِلت المقاومات الثلاث الآتية: 60.0 Ω و30.0 Ω و20.0 Ω على التوازي ببطارية جهدها 90.0 V ، احسب مقدار:

a. التيار المار في كل فرع في الدائرة الكهربائية.

b. المقاومة المكافئة للدائرة الكهربائية.

c. التيار المار في البطارية.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم رسمًا تخطيطيًّا للدائرة الكهربائية.
- ضمِّن رسمك مجموعة من الأميترات لتبين أين توصلها لتقيس التيارات جميعها.

المعلوم		المجهول	
$R_A = 60.0\ \Omega$	$R_C = 20.0\ \Omega$	$I_A = ?$	$I = ?$
$R_B = 30.0\ \Omega$	$V = 90.0\ V$	$I_B = ?$	$R = ?$
		$I_C = ?$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. لأن الجهد على كلّ مقاومة يكون هو نفسه لجميع المقاومات، لذا نستخدم العلاقة $I = \frac{V}{R}$ في كل فرع.

بالتعويض عن $V = 90.0\ V$ ، $R_A = 60.0\ \Omega$

$$I_A = \frac{V}{R_A} = \frac{90.0\ V}{60.0\ \Omega} = 1.50\ A$$

بالتعويض عن $V = 90.0\ V$ ، $R_B = 30.0\ \Omega$

$$I_B = \frac{V}{R_B} = \frac{90.0\ V}{30.0\ \Omega} = 3.00\ A$$

بالتعويض عن $V = 90.0\ V$ ، $R_C = 20.0\ \Omega$

$$I_C = \frac{V}{R_C} = \frac{90.0\ V}{20.0\ \Omega} = 4.50\ A$$

b. استخدم معادلة المقاومة المكافئة لدوائر التوازي.

دليل الرياضيات
الكسور

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}$$

بالتعويض عن
$R_A = 60.0\ \Omega$ ، $R_B = 30.0\ \Omega$ ، $R_C = 20.0\ \Omega$

$$= \frac{1}{60.0\ \Omega} + \frac{1}{30.0\ \Omega} + \frac{1}{20.0\ \Omega} = \frac{1}{10.0\ \Omega}$$

$$R = 10.0\ \Omega$$

c. استخدم $I = \frac{V}{R}$ لإيجاد التيار الكلي.

بالتعويض عن $V = 90.0\ V$ ، $R = 10.0\ \Omega$

$$I = \frac{V}{R}$$

$$= \frac{90.0\ V}{10.0\ \Omega} = 9.00\ A$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تم قياس التيار بوحدة الأمبير، والمقاومة بوحدة الأوم.
- **هل الجواب منطقي؟** المقاومة المكافئة أقل من أي مقاومة مفردة، والتيار في الدائرة I يساوي مجموع التيارات المارة في كل المقاومات $I = I_A + I_B + I_C$.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسائل تدريبية

12. وصِلت ثلاث مقاومات مقاديرها 120.0 Ω و 60.0 Ω و 40.0 Ω على التوازي مع بطارية جهدها 12.0 V، احسب مقدار كل من:

a. المقاومة المكافئة لدائرة التوازي.

b. التيار الكهربائي الكلي المار في الدائرة.

c. التيار المار في كل مقاومة.

13. إذا أردنا تغيير مقاومة فرع في دائرة كهربائية من 150 Ω إلى 93 Ω فيجب إضافة مقاومة إلى هذا الفرع. ما مقدار المقاومة التي يجب إضافتها؟ وكيف يتم توصيلها؟

14. وُصلت مقاومة مقدارها 12 Ω وقدرتها 2 W على التوازي بمقاومة أخرى مقدارها 6.0 Ω وقدرتها 4 W. أيهما يسخّن أكثر إذا زاد فرق الجهد بين طرفيهما باستمرار؟

تختلف توصيلات التوالي والتوازي في كيفية تأثيرها في دوائر الإضاءة. تخيّل مصباحين كهربائيين قدرة الأول 60 W، وقدرة الثاني 100 W استخدما في دائرة إضاءة. تذكر أن سطوع إضاءة المصباح يتناسب طرديًّا مع القدرة المستنفدة، وأن $P=I^2R$. عند وصل المصباحين على التوازي بجهد 120 V يكون سطوع المصباح الذي قدرته 100 W أكبر. وعند وصلهما على التوالي يكون التيار المار في كل منهما متساويًا. ولأن مقاومة المصباح الذي قدرته 60 W أكبر من مقاومة المصباح الذي قدرته 100 W لذا تكون القدرة المستنفدة فيه أكبر؛ أي أن سطوع المصباح الذي قدرته 60 W سيكون أكبر.

5–1 مراجعة

15. **أنواع الدوائر الكهربائية** قارن بين الجهود والتيارات في دوائر التوالي ودوائر التوازي الكهربائية.

16. **التيار الكلي** دائرة توازٍ فيها أربعة أفرع للتيار، قيم التيارات فيها: 120 mA و 250 mA و 380 mA و 2.1 A، ما مقدار التيار الذي يُولِّده المصدر؟

17. **التيار الكلي** تحتوي دائرة توالٍ على أربع مقاومات. إذا كان التيار المار في إحدى المقاومات يساوي 810 mA فاحسب مقدار التيار الذي يُولِّده المصدر.

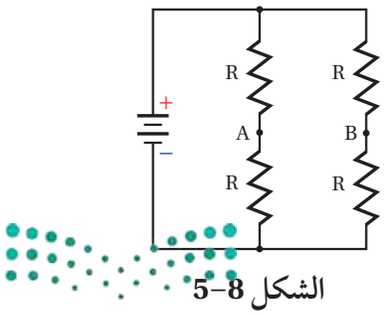
18. **التفكير الناقد** تحتوي الدائرة الكهربائية الموضحة في **الشكل 8–5** على أربع مقاومات متماثلة. افترض أن سلكًا استُخدم لوصل النقطتين A وB، وأجب عن الأسئلة الآتية مع توضيح السبب:

a. ما مقدار التيار المار في السلك؟

b. ماذا يحدث للتيار المار في كل مقاومة؟

c. ماذا يحدث للتيار الخارج من البطارية؟

d. ماذا يحدث لفرق الجهد بين طرفي كل مقاومة؟



الشكل 8–5

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

5–2 تطبيقات الدوائر الكهربائية Applications of Circuits

الأهداف

- توضّح كيف تعمل المنصهرات، وقواطع الدوائر الكهربائية، وقواطع التفريغ الأرضي الخاطئ على حماية أسلاك التوصيلات الكهربائية في المنازل.
- تُحلّل وتحلّ مسائل تتضمّن دوائر كهربائية مُركبّة.
- توضّح كيفية توصيل كلٍّ من الفولتمتر والأميتر في الدوائر الكهربائية.

المفردات

دائرة القصر
المنصهر الكهربائي
قاطع الدائرة الكهربائية
قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ
دائرة كهربائية مُركّبة
الأميتر
الفولتمتر

تعلمت سابقًا عن بعض العناصر المستخدمة في الدوائر الكهربائية، ومن المهم تعرّف وفهم متطلبات هذه الأنظمة وحدودها. وقبل كل شيء يجب أن تكون مدركًا تدابير السلامة التي يجب اتباعها؛ لتجنب وقوع الحوادث والإصابات.

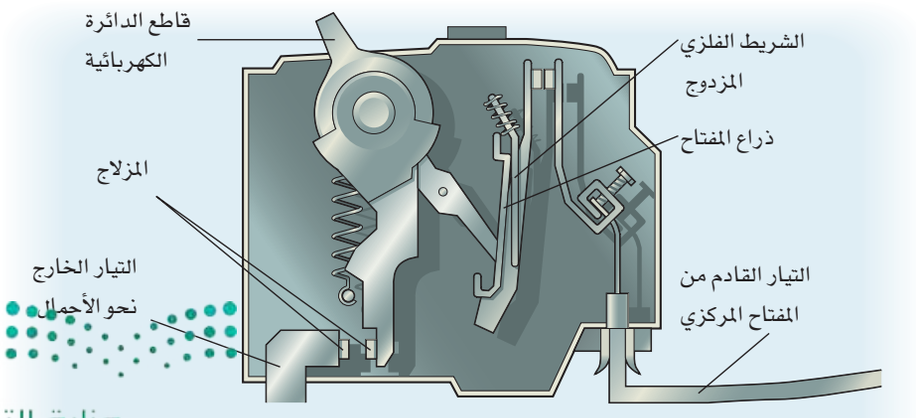
أدوات السلامة Safety Devices

تعمل المنصهرات وقواطع الدوائر الكهربائية أدوات حماية وسلامة، تمنع حدوث حمل زائد في الدائرة قد ينتج عن تشغيل عدة أجهزة كهربائية في الوقت نفسه، أو عند حدوث دائرة قصر في أحد الأجهزة الكهربائية. تحدث **دائرة القصر** عند تكوّن دائرة كهربائية مقاومتها صغيرة جدًّا؛ ممّا يجعل التيار المار فيها كبيرًا جدًّا. فعند توصيل مجموعة من الأجهزة الكهربائية على التوازي تقل المقاومة المكافئة للدائرة الكهربائية أكثر كلما شغّلنا جهازًا منها، مما يؤدي إلى زيادة التيار المار في الأسلاك. وقد يُنتج هذا التيار الإضافي طاقة حرارية كافية لصهر المادة العازلة للأسلاك، فيؤدي ذلك إلى تلامس الأسلاك وحدوث دائرة قصر قد تُحدث حريقًا.

أما **المنصهر الكهربائي** فهو قطعة قصيرة من فلز تنصهر عندما يمرّ فيها تيار كبير. ويحدد سمك هذه القطعة مقدار التيار اللازم لعمل الدائرة الكهربائية، بحيث يمر فيها التيار الكهربائي بأمان دون أن يؤدي إلى تلفها. وإذا مر تيار أكبر من التيار الذي تتحمله الدائرة تنصهر هذه القطعة وتقطع التيار الكهربائي عن الدائرة، وهذا يؤدي إلى حماية الدائرة من التلف. يوضّح **الشكل 9–5** **قاطع الدائرة الكهربائية**، وهو مفتاح كهربائي آلي يعمل على فتح الدائرة الكهربائية عندما يتجاوز مقدار التيار المار فيها القيمة المسموح بها؛ لأن مرور مثل هذا التيار يُحدث حملاً زائدًا في الدائرة، لذا يعمل القاطع على فتح الدائرة الكهربائية وإيقاف التيار.

يسلك التيار مسارًا مفردًا عند خروجه من مصدر الطاقة، ومروره بجهاز كهربائي ليعود إلى المصدر مرة أخرى. ويؤدي وجود عيب أو خلل في الجهاز أو سقوطه في الماء إلى تكوّن مسار آخر للتيار. وإذا كان الشخص المستخدم للجهاز جزءًا من هذا المسار فإن مرور التيار فيه يُسبّب إصابة خطيرة له؛ فقد يؤدي مرور تيار صغير مقداره 5 mA خلال شخص إلى موته بالصدمة أو بالصعقة الكهربائية. ووجود **قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ** في مقبس

قاطع الدائرة الكهربائية



الشكل 9–5 عند مرور تيار كبير خلال الشريط الفلزي المزدوج يسخن الشريط ويتقوس؛ لأنه مصنوع من فلزين مختلفين، فيتحرر المزلاج، ويتحرك ذراع المفتاح إلى وضع فتح الدائرة الكهربائية، فتنفتح.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

يمنع حدوث مثل هذه الإصابات؛ لأنه يحتوي على دائرة إلكترونية تكشف الفروق البسيطة في التيار الكهربائي الناجمة عن مسار إضافي للتيار، فتعمل تلك القواطع على فتح الدائرة الكهربائية. ومن الاشتراطات الكهربائية المتعلقة بالبناء والتشييد لضمان السلامة والصحة العامة في المملكة العربية السعودية، ألزم كود البناء السعودي بتزويد المقابس المركبة في الأماكن الرطبة بجهاز حماية يعمل بالتيار المتبقي Device Circuit Residual (RCD).

التطبيقات المنزلية يوضح **الشكل 10–5** دائرة توازٍ كهربائية تستخدم في التمديدات المنزلية، ويوضح الشكل أيضًا بعض الأجهزة التي توصل على التوازي؛ حيث لا يعتمد التيار المار في أيٍّ منها على التيارات المارة في الجهاز الآخر عند وصلها معًا. افترض مثلًا أنه تم وصل تلفاز قدرته 240 W بمصدر جهد 120 V. فبحسب العلاقة $I = P/V$ يكون التيار المار في التلفاز $I=\frac{240\ W}{120\ V} = 2.0\ A$. وعند وصل مكواة كهربائية قدرتها 720 W بمصدر الجهد نفسه يكون التيار المار فيها $I=\frac{720\ W}{120\ V}=6.0\ A$. وأخيرًا، إذا وصِل مجفّف شعر قدرته 1440 W بمصدر الجهد نفسه أيضًا فسوف يمر فيه تيار مقداره $I=\frac{1440\ W}{120\ V}=12\ A$. ويمكن حساب مقاومة كل جهاز بالعلاقة $R = V/I$. وتحسب المقاومة المكافئة للأجهزة الثلاثة كما يأتي:

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{60\ \Omega}+\frac{1}{20\ \Omega}+\frac{1}{10\ \Omega}=\frac{1}{6\ \Omega}$$

$$R=6\ \Omega$$

لحماية الأجهزة الكهربائية يوصل منصهر كهربائي على التوالي بمصدر الجهد، بحيث يمر التيار الكهربائي الكلي فيه. ويحسب التيار الكلي المار في المنصهر باستخدام المقاومة المكافئة.

$$I=\frac{V}{R}$$

$$=\frac{120\ V}{6\ \Omega}$$

$$=20\ A$$

فإذا كان أكبر تيار يتحمله المنصهر هو 15 A فإن التيار 20 A يكون أكبر من قدرة تحمل المنصهر الكهربائي، مما يؤدي إلى صهره أو احتراقه، فتفتح الدائرة الكهربائية.

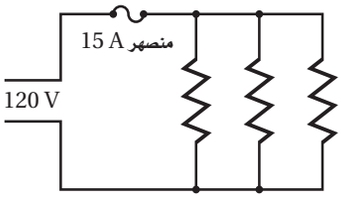
توفّر المنصهرات والقواطع الكهربائية الحماية من التيارات الكهربائية الكبيرة، وبخاصة تلك التيارات الناتجة عن حدوث دوائر القصر. وفي حال عدم استعمال منصهر أو قاطع فإنه يمكن للتيار الناتج عن حدوث دائرة قصر أن يحدث حريقًا. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تحدث دائرة قصر إذا أصبحت الطبقة العازلة للسلكين الموصولين بمصباح كهربائي هشة وتالفة؛ لأنه قد يتلامس السلكان، فينتج عن ذلك مقاومة مقدارها 0.010 Ω تقريبًا، مما يؤدي إلى مرور تيار كهربائي كبير جدًّا.

$$I=V/R$$

$$=\frac{120\ V}{0.010\ \Omega}$$

$$=12000\ A$$

سيؤدي مرور مثل هذا التيار إلى صهر المنصهر الكهربائي أو فتح القاطع الكهربائي، ومن ثم فتح الدائرة الكهربائية، ممّا يمنع ارتفاع درجة حرارة الأسلاك إلى حد إشعال الحريق.

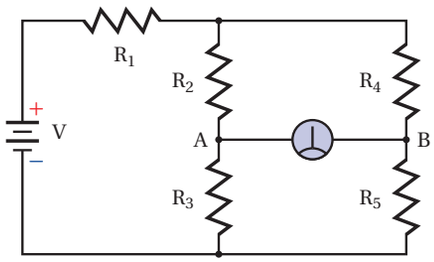


الشكل 10–5 يسمح توصيل التوازي في المنزل بتزامن توصيل أكثر من جهاز؛ أي استعمال أكثر من جهاز في الوقت نفسه. وإذا استعمل عدد كبير من الأجهزة في الوقت نفسه فقد يؤدي ذلك إلى انصهار المنصهر الكهربائي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسألة تحفيز

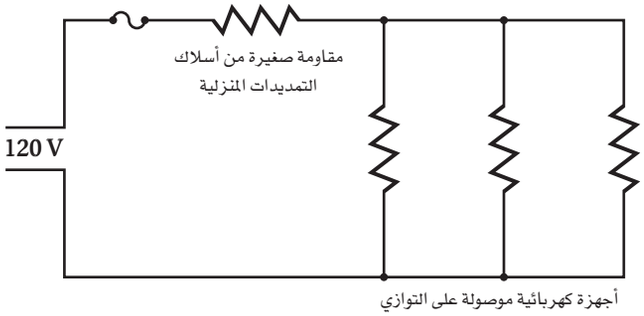
الجلفانومتر جهاز يستخدم لقياس التيارات الكهربائية وفروق الجهد الصغيرة جدًّا. وعندما تكون قراءة الجلفانومتر الموضح في الدائرة المجاورة صفرًا نقول إن الدائرة مُتزنة.



1. يقول زميلك في المختبر إن الطريقة الوحيدة لجعل الدائرة مُتزنة هي جعل جميع المقاومات متساوية. فهل هذا يجعل الدائرة مُتزنة؟ وهل هناك أكثر من طريقة لجعل الدائرة مُتزنة؟ وضّح إجابتك.
2. اشتق معادلة عامة لدائرة مُتزنة مستخدمًا التسميات المعطاة.
تنبيه: تعامل مع الدائرة على أنها مجزئ جهد.
3. أيّ المقاومات يمكن أن نضع مكانها مقاومةً متغيرةً لكي تستخدم أداة في ضبط الدائرة وموازنتها؟
4. أيّ المقاومات يمكن أن نضع مكانها مقاومةً متغيرةً لكي تستخدم أداة تحكّم وضبط حسّاسة؟ ولماذا يكون ذلك ضروريًّا؟ وكيف يمكن استخدامه عمليًّا؟

الدوائر الكهربائية المُركّبة
Combined Series–Parallel Circuits

هل لاحظت حدوث ضعف في إضاءة مصباح الحمام أو غرفة النوم عند تشغيل مجفّف الشعر؟ يوصل كل من المصباح ومجفف الشعر على التوازي عبر مصدر جهد مقداره 120 V. ولا يجب أن يتغير التيار المار في المصباح عند تشغيل مجفف الشعر؛ بسبب توصيلهما على التوازي، لكن ضعف إضاءة المصباح يعني أن التيار قد تغير. ويحدث مثل هذا الضعف في الإضاءة لأن أسلاك التمديدات المنزلية لها مقاومة صغيرة. وكما هو موضّح في **الشكل 11–5** فإن هذه المقاومة موصولة على التوالي مع دائرة التوازي. وتسمى الدائرة التي تحتوي على نوعي التوصيل التوالي والتوازي معًا **دائرةً كهربائية مُركّبة**. وتستخدم الاستراتيجية الآتية لتحليل مثل هذه الدوائر.



الشكل 11–5 تتصل المقاومة الصغيرة لأسلاك التمديدات الكهربائية على التوالي بالأجهزة الكهربائية الموصولة على التوازي في التوصيلات المنزلية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

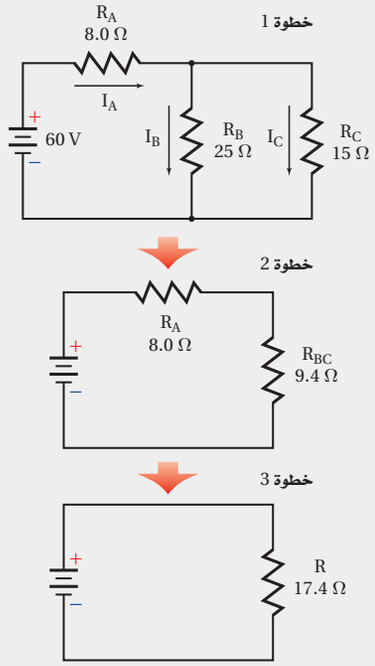
استراتيجيات حل المسألة

الدوائر الكهربائية المُركّبة

عند تحليل دائرة كهربائية مُركّبة نستخدم الخطوات الآتية لتبسيط المسألة:

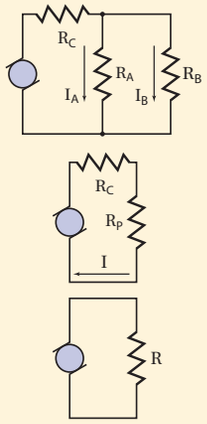
1. ارسم رسمًا تخطيطيًّا للدائرة الكهربائية.
2. حدّد المقاومات الموصولة معًا على التوازي. تعمل مقاومات التوازي على تجزئة التيار، ويكون لها فرق الجهد نفسه. احسب المقاومة المكافئة لهذه المقاومات. ثم ارسم رسمًا تخطيطيًّا جديدًا يحتوي على المقاومة المكافئة لمقاومات التوازي.
3. هل المقاومات الآن –ومنها المقاومة المكافئة لمقاومات التوازي– موصولة على التوالي؟ في مقاومات التوالي يكون هناك مسار واحد فقط للتيار. أوجد المقاومة المكافئة الجديدة التي يمكن أن تحل محل هذه المقاومات. ثم ارسم رسمًا تخطيطيًّا جديدًا يحتوي على هذه المقاومة.
4. كرّر الخطوتين 2 و3 حتى تختصر مقاومات الدائرة كُلّها في مقاومة واحدة. أوجد تيار الدائرة الكلي، ثم ارجع في المسألة عكسيًّا لحساب التيار وفرق الجهد لكل مقاومة.

مخطّطات اختزال دائرة كهربائية



مثـــال 4

الدوائر الكهربائية المُركّبة وُصِل مُجفّف شعر مقاومته 12.0 Ω، ومصباح كهربائي مقاومته 125 Ω معًا على التوازي بمصدر جهد 125 V موصول معه مقاومة 1.5 Ω على التوالي، كما هو موضح في الشكل. أوجد التيار المار في المصباح عند تشغيل مجفّف الشعر.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الدائرة متضمنة مُجفّف الشعر والمصباح.
- ضع المقاومة المكافئة R_P بدلاً من المقاومتين R_B و R_A.

المعلوم		المجهول	
$R_A = 125\ \Omega$	$R_C = 1.50\ \Omega$	$I_A = ?$	$I = ?$
$R_B = 12.0\ \Omega$	$V_{مصدر} = 125\ V$	$R_P = ?$	$R = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب المقاومة المكافئة لدائرة التوازي، ثم أوجد المقاومة المكافئة للدائرة كاملة، ثم احسب التيار.

بالتعويض عن $R_A = 125\ \Omega$، $R_B = 12.0\ \Omega$

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} = \frac{1}{125\ \Omega} + \frac{1}{12.0\ \Omega}$$

$$R_P = 10.9\ \Omega$$

بالتعويض $R_P = 10.9\ \Omega$، $R_C = 1.50\ \Omega$

$$R = R_C + R_P = 1.50\ \Omega + 10.9\ \Omega = 12.4\ \Omega$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

بالتعويض $R = 12.4\ \Omega$ ، $V_{مصدر} = 125\ V$

$$I = \frac{V_{مصدر}}{R}$$
$$= \frac{125\ V}{12.4\ \Omega}$$
$$= 10.1\ A$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

بالتعويض $R_C = 1.50\ \Omega$ ، $I = 10.1\ A$

$$V_C = IR_C$$
$$= (10.1\ A)(1.50\ \Omega)$$
$$= 15.2\ V$$

بالتعويض $V_C = 15.2\ V$ ، $V_{مصدر} = 125\ V$

$$V_A = V_{مصدر} - V_C$$
$$= 125\ V - 15.2\ V$$
$$= 1.10 \times 10^2\ V$$

بالتعويض $R_A = 125\ \Omega$ ، $V_A = 1.10 \times 10^2\ V$

$$I_A = \frac{V_A}{R_A}$$
$$= \frac{1.10 \times 10^2\ V}{125\ \Omega}$$
$$= 0.880\ A$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يقاس التيار بوحدة الأمبير، ويقاس الهبوط في الجهد بوحدة الفولت.
- **هل الجواب منطقي؟** المقاومة أكبر من الجهد، لذا يكون التيار أقل من 1 A.

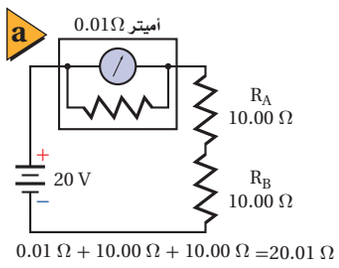
مسائل تدريبية

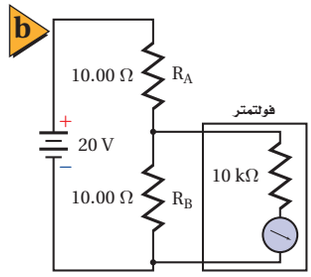
19. تحتوي دائرة كهربائية مُركّبة على ثلاثة مقاومات. تستنفد المقاومة الأولى قدرة مقدارها 2.0 W، وتستنفد الثانية قدرة مقدارها 3.0 W، وتستنفد الثالثة قدرة مقدارها 1.5 W. ما مقدار التيار الذي تسحبه الدائرة من بطارية جهدها 12.0 V؟

20. يتصل 11 مصباحًا كهربائيًّا معًا على التوالي، وتتصل المجموعة على التوالي بمصباحين كهربائيين يتصلان على التوازي. فإذا كانت المصابيح جميعها متماثلة، فأيها يكون سطوعه أكبر؟

21. ماذا يحدث للدائرة الموصوفة في المسألة السابقة، إذا احترق أحد المصباحين المتصلين على التوازي؟

22. ماذا يحدث للدائرة الموصوفة في المسألة 20 إذا حدث دائرة قصر لأحد المصباحين المتصلين على التوازي؟





■ **الشكل 12–5** يتصل أميتر على التوالي بمقاومتين (a). غَيرت المقاومة الصغيرة للأميتر التيار بمقدار صغير جدًّا. ويتصل الفولتمتر بمقاومة على التوازي (b). سيكون التغير في تيار الدائرة وجهدها مهملاً بسبب المقاومة الكبيرة للفولتمتر.

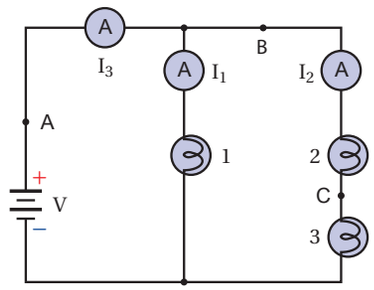
الأميترات والفولتمترات Ammeters and Voltmeters

الأميتر جهاز يستخدم لقياس التيار الكهربائي في أي فرع أو جزء من دائرة كهربائية. فإذا أردت قياس التيار الكهربائي المار في مقاومة فعليك أن تصل جهاز الأميتر على التوالي بهذه المقاومة، وهذا يتطلب قطع مسار التيار وإدخال الأميتر. وفي الحالات المثالية يجب ألا يؤثر استخدام الأميتر في قيمة التيار المار في المقاومة. لذا يُصمّم الأميتر بحيث تكون مقاومته أقل ما يمكن؛ وذلك لأن التيار سيقل إذا عمل الأميتر على زيادة مقاومة الدائرة الكهربائية. لذا يوصل مع ملفه مقاومة صغيرة على التوازي، ويوصل الأميتر على التوالي في الدوائر الكهربائية، لاحظ **الشكل 12a–5**.

وهناك جهاز آخر يسمى **الفولتمتر** يُستخدم لقياس الهبوط في الجهد عبر جزء من دائرة كهربائية. ولقياس الهبوط في الجهد عبر مقاومة يتم وصل الفولتمتر مع هذه المقاومة على التوازي. ويُصمّم الفولتمتر بحيث تكون مقاومته كبيرة جدًّا؛ وذلك حتى يكون التغير في التيارات وفروق الجهد في الدائرة الكهربائية أقل ما يمكن. لذا يوصل مع ملفه مقاومة كبيرة على التوالي، ويوصل الفولتمتر على التوازي في الدوائر الكهربائية، لاحظ **الشكل 12b–5** .

2–5 مراجعة

ارجع إلى ***الشكل 13–5*** *للإجابة عن الأسئلة* ***28 – 23****، افترض أن جميع المصابيح في الدائرة الكهربائية متماثلة للأسئلة* ***25 – 23****.*



الشكل 13–5

23. السطوع قارن بين سطوع المصابيح.

24. التيار إذا كان I_1=1.1 A و I_3=1.7 A فما مقدار التيار المار في المصباح 2؟

25. دوائر التوالي الكهربائية إذا فُصِل السلك عند النقطة C، ووُصِلت مقاومة صغيرة على التوالي بالمصباحين 2 و3 فماذا يحدث لسطوع كل منهما؟

26. جهد البطارية عند وصل فولتمتر بين طرفي المصباح 2 كانت قراءته 3.8 V، وعند وصل فولتمتر آخر بين طرفي المصباح 3 كانت قراءته 4.2 V. ما مقدار جهد البطارية؟

27. الدوائر الكهربائية بالرجوع إلى المعلومات الواردة في السؤال السابق، هل المصباحان 2 و3 متماثلان؟

28. التفكير الناقد هل هناك طريقة لجعل المصابيح الثلاثة في الشكل تُضيء بالشدة نفسها دون استخدام أيّ مقاومات إضافية؟ وضّح إجابتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مختبر الفيزياء

دوائر التوالي والتوازي الكهربائية

يوجد في كل دائرة كهربائية علاقة بين التيار وفرق الجهد والمقاومة. سوف تستقصي في هذه التجربة العلاقة بين التيار وفرق الجهد والمقاومة في دوائر التوالي الكهربائية، وتقارنها بالعلاقة الخاصة بها في دوائر التوازي الكهربائية.

سؤال التجربة

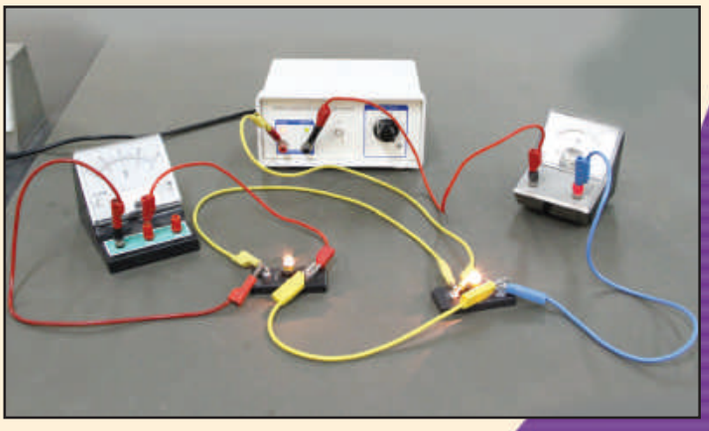
ما العلاقة بين التيار وفرق الجهد والمقاومة في دوائر التوالي مقارنة بالعلاقة بينها في دوائر التوازي؟

الأهداف

- **تصف** العلاقة بين التيار وفرق الجهد والمقاومة في دائرة التوالي الكهربائية.
- **تلخّص** العلاقة بين التيار وفرق الجهد والمقاومة في دائرة التوازي الكهربائية.
- **تجمع بيانات** حول التيار وفرق الجهد باستعمال أجهزة القياس الكهربائية.
- **تحسب** مقاومة مصباح كهربائي من خلال بيانات فرق الجهد والتيار.

احتياطات السلامة

- **الخطورة الناجمة عن الصدمة الكهربائية قليلة؛ لأن التيارات الكهربائية المستخدمة في هذه التجربة صغيرة. يجب ألا تنفذ هذه التجربة باستخدام تيار مُتناوب؛ لأن هذا التيار قاتل.**
- **أمسك أطراف الأسلاك بحذر؛ لأنها قد تكون حادة، فتجرح جلدك.**



المواد والأدوات

مصدر قدرة قليل الجهد
قاعدتا مصباح
مصباحان كهربائيان صغيران
أميتر ذو مدى تدريج 0–500 mA
فولتمتر ذو مدى تدريج 0–30 V
عشرة أسلاك نحاسية مزوّدة بمشابك فم التمساح

الخطوات

1. صِل قاعدتي المصباح على التوالي بالأميتر ومصدر القدرة. راعِ التوصيل الصحيح للأقطاب عند وصل الأميتر.
2. ركّب المصباحين في القاعدتين، وشغِّل مصدر القدرة. ثم اضبط مصدر القدرة حتى تصبح إضاءة المصباحين خافتة.
3. افصل أحد المصباحين، ودوّن ملاحظاتك في جدول البيانات.
4. ركّب المصباح مرة ثانية، وأوجد فرق الجهد بين طرفي النظام المكوّن من المصباحين، وذلك بتوصيل الطرف الموجب للفولتمتر بالطرف الموجب للدائرة، والطرف السالب له بالطرف السالب للدائرة، ثم دوّن قياساتك في جدول البيانات.
5. أوجد فرق الجهد بين طرفي كل مصباح بتوصيل الطرف الموجب للفولتمتر بالطرف الموجب للمصباح، والطرف السالب للفولتمتر بالطرف السالب للمصباح، ثم دوّن قياساتك في جدول البيانات. وكرّر تجربتك لمصابيح أخرى على التوالي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

جدول البيانات			
الخطوة	التيار الكهربائي (mA)	فرق الجهد (V)	الملاحظات
3			
4			
5			
6			
8			
9			
10			
11			

6. صِل الأميتر بمواقع مختلفة في دائرة التوالي، ودوّن قيم هذه التيارات في جدول البيانات.
7. صِل قاعدتي المصباحين على أن تكونا متصلتين على التوازي مع مصدر الجهد نفسه، وأن تكونا متصلتين على التوالي مع الأميتر.
8. ركّب المصباحين في القاعدتين، وشغِّل مصدر القدرة. ثم اضبط مصدر القدرة حتى تصبح إضاءة المصباحين خافتة. ودوّن قراءة التيار من الأميتر في جدول البيانات.
9. أوجد فرق الجهد عبر الدائرة كلها، ثم عبْر كل مصباح، ودوّن القيم في جدول البيانات.
10. صِل طرفي الفولتمتر بطرفي أحد المصباحين، ثم افصل أحد المصباحين، ودوّن ملاحظاتك حول المصباحين، ودوّن قراءتي الأميتر والفولتمتر في جدول البيانات.
11. أعد تركيب المصباح الذي فصلته في قاعدته، وافصل المصباح الآخر، ودوّن ملاحظاتك حول المصباحين، ودوّن قراءتي الأميتر والفولتمتر في جدول البيانات.

التحليل

1. احسب المقاومة المكافئة للمصباحين في دائرة التوالي.
2. احسب مقاومة كل مصباح في دائرة التوالي.
3. ما العلاقة بين المقاومة المكافئة للمصباحين ومقدار مقاومة كل منهما؟
4. ما العلاقة بين فرق الجهد على طرفي كل مصباح وفرق الجهد على طرفي النظام المكوّن منهما عندما يكونان موصولين على التوالي؟
5. احسب مقاومة كل مصباح في دائرة التوازي، وقارن هذه القيمة مع المقاومة التي حصلت عليها للمصابيح في دائرة التوالي.

الاستنتاج والتطبيق

1. لخص العلاقة بين التيار وفرق الجهد والمقاومة في دائرة التوالي.
2. لخص العلاقة بين التيار وفرق الجهد في دائرة التوازي.

التوسع في البحث

كرّر التجربة باستخدام مصابيح ذات جهود مختلفة، 1.5 V و3.0 V و6.0 V مثلاً.

الفيزياء في الحياة

1. تعمل المصابيح في معظم المنازل على جهد 120V بغض النظر عن عددها. كيف تتأثر مقدرتنا على استعمال أي عدد من المصابيح المتماثلة الجهد بطريقة التوصيل (توازٍ، أو توالٍ)؟
2. لماذا يخفت الضوء في المنزل عند تشغيل جهاز كهربائي يحتاج إلى تيار كبير، كالمكيّف مثلاً؟

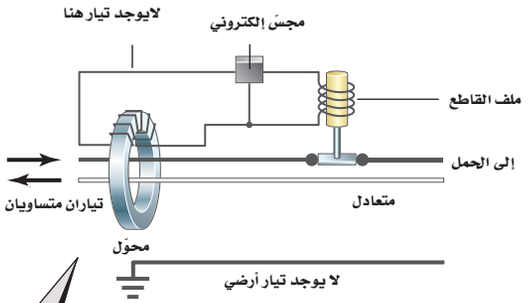
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

كيف تعمل

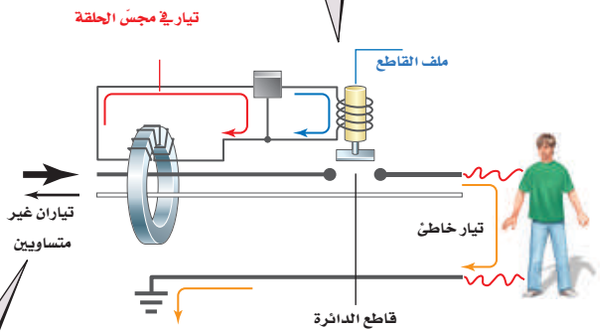
How it Works Ground Fault Circuit Interrupter (GFCI)?

دائرة قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ؟

يحدث التفريغ الأرضي الخاطئ عندما يسلك التيار مسارًا خاطئًا نحو الأرض، كأن يمر التيار الكهربائي من خلال جسم شخص. كان شارل دالزيل أستاذ الهندسة في جامعة كاليفورنيا خبيرًا في تأثيرات الصدمات الكهربائية. وعندما أدرك أن التفريغ الأرضي الخاطئ كان سببًا لحدوث العديد من الصعقات الكهربائية اخترع جهازًا يمنع وقوع مثل هذه الحوادث. فما مبدأ عمل دائرة قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ (GFCI)؟



3 سيولّد التيار المحصّل المار مجالًا مغناطيسيًّا مُتغيّرًا في قلب المحوّل، مما يولد تيارًا في حلقة المجسّ الإلكتروني. سيكشف المجسّ بدوره التيار، ويُنشّط مغناطيسًا كهربائيًّا يُسمّى الملف القاطع. وبذلك تنفتح الدائرة الكهربائية. وتستغرق هذه العملية 0.025 s.



1 في الوضع الطبيعي يمر تياران متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه خلال السلكين؛ لذا يكون التيار المحصل المار من خلال المحوّل صفرًا.

2 في حالة التفريغ الخاطئ يمر تيار من السلك الحي (hot conductor) نحو الأرض عن طريق جسم الشخص. ويكون التياران في السلكين غير متساويين، لذا يكون هناك قيمة لمحصلة التيار المار من خلال المحوّل.

4 يُوصل زر الفحص في دائرة قاطع التَفريغ الأرضي الخاطئ مقاومة صغيرة بالدائرة الكهربائية، فينشئ مرة أخرى تيارات غير متساوية في المحوّل، ويفتح الدائرة الكهربائية.

التفكير الناقد

1. **كوّن فرضية** يَحدث التفريغ الخاطئ عندما يقف شخص على سطح مبلل بالماء ويلمس جهازًا موصولاً بالكهرباء. كيف يكون الماء عاملًا في تكوّن التفريغ الأرضي الخاطئ؟
2. **حلل واستنتج** هل تعمل دائرة قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ على حماية شخص عندما يُمسك أحد السلكين بيد ويُمسك السلك الآخر باليد الأخرى؟ وضّح إجابتك.
3. **احسب** في دائرة قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ، كان مقدار مقاومة الفحص 14.75 kΩ، احسب التيار المار في هذه المقاومة إذا كان فرق الجهد 115V، هل يُعدّ هذا التيار كبيرًا؟

الفصل 5
دليل مراجعة الفصل

5–1 الدوائر الكهربائية البسيطة Simple Circuits

المفردات

- دائرة التوالي
- المقاومة المكافئة
- مجزئ الجهد
- دائرة التوازي

المفاهيم الرئيسة

- التيار متساوٍ في جميع أجزاء دائرة التوالي الكهربائية البسيطة.
- المقاومة المكافئة لدائرة التوالي هي مجموع مقاومات أجزائها.

$$R = R_A + R_B + R_c + \dots$$

- التيار الكهربائي المار في دائرة التوالي يساوي حاصل قسمة فرق الجهد على المقاومة المكافئة.

$$I = V_{\text{مصدر}} / R$$

- مجموع الهبوط في الجهد خلال مقاومات دائرة التوالي يساوي فرق الجهد المُطبّق على طرفي مجموعة المقاومات.
- مجزئ الجهد يمثل دائرة توالٍ كهربائية تستخدم في عمل مصدر جهد بقيمة معينة من بطارية ذات جهد كبير.
- الهبوط في الجهد خلال جميع أفرع دائرة التوازي الكهربائية متساوٍ.
- التيار الكلي في دائرة التوازي الكهربائية مساوٍ لمجموع تيارات أفرع الدائرة.
- مقلوب المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات موصولة على التوازي مساوٍ لمجموع مقلوب كل مقاومة.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C} + \dots$$

- إذا فُتح أي فرع من أفرع دائرة التوازي الكهربائية فلن يمر تيار في هذا الفرع، ولن تتغيّر قيمة التيارات المارة في الأفرع الأخرى.

5–2 تطبيقات الدوائر الكهربائية Applications of Circuits

المفردات

- دائرة القصر
- المنصهر الكهربائي
- قاطع الدائرة الكهربائية
- قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ
- دائرة كهربائية مُركّبة
- الأميتر
- الفولتمتر

المفاهيم الرئيسة

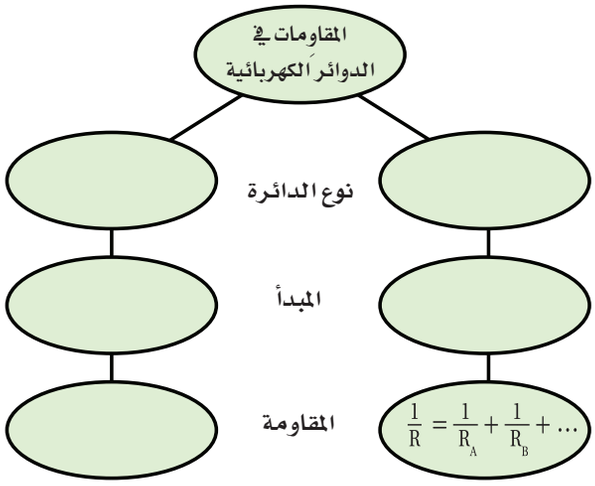
- يعمل المنصهر الكهربائي أو قاطع الدائرة الكهربائية الموصول بالجهاز على التوالي على فتح الدائرة عند مرور تيارات كهربائية كبيرة فيها خطر على الجهاز.
- تتكون الدائرة المركّبة من توصيلات التوالي والتوازي معًا. في البداية تُختزل أي تفرع توازٍ إلى مقاومة مكافئة واحدة ثم تُختزل أيّ مقاومات أخرى موصولة على التوالي في مقاومة مكافئة واحدة.
- يستخدم الأميتر في قياس التيار المار في الدائرة أو في أيّ فرع فيها. وتكون مقاومة الأميتر دائمًا صغيرة جدًّا، كما أنه يوصَل دائمًا على التوالي في الدائرة الكهربائية.
- يقيس الفولتمتر فرق الجهد بين طرفي أي جزء أو مجموعة أجزاء في الدائرة. وتكون مقاومته دائمًا كبيرة جدًّا، كما أنه يوصل دائمًا على التوازي بين طرفي الجزء المراد قياس جهده في الدائرة الكهربائية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 5
التقويم

خريطة المفاهيم

29. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: دائرة التوالي، $R = R_1 + R_2 + R_3$، تيار ثابت، دائرة التوازي، جهد ثابت.



إتقان المفاهيم

30. لماذا تنطفئ جميع المصابيح الموصولة على التوالي إذا احترق أحدها؟ (1– 5)

31. لماذا تقل المقاومة المكافئة في دائرة التوازي كلما أضيف المزيد من المقاومات؟ (1– 5)

32. إذا وصِلت مجموعة مقاومات مختلفة في قيمها على التوازي، فكيف تُقَارن قيمة كل منها بالمقاومة المكافئة للمجموعة؟ (1– 5)

33. لماذا تكون تمديدات أسلاك الكهرباء في المنازل على التوازي، وليس على التوالي؟ (1– 5)

34. قارن بين مقدار التيار الداخل إلى نقطة تفرّع في دائرة توازٍ ومقدار التيار الخارج منها (نقطة التفرع نقطة تتصل بها ثلاثة موصلات أو أكثر). (1– 5)

35. وضّح كيف يعمل منصهر كهربائي على حماية دائرة كهربائية ما؟ (2– 5)

36. ما المقصود بدائرة القصر؟ ولماذا تكون خطيرة؟ (2– 5)

37. لماذا يُصمّم الأميتر بحيث تكون مقاومته صغيرة جدًّا؟ (2– 5)

38. لماذا يُصمّم الفولتمتر بحيث تكون مقاومته كبيرة جدًّا؟ (2– 5)

39. كيف تختلف طريقة توصيل الأميتر في دائرة كهربائية عن طريقة توصيل الفولتمتر في الدائرة نفسها؟ (2–5)

تطبيق المفاهيم

40. تحتوي دائرة كهربائية على ثلاثة مصابيح كهربائية موصولة على التوالي. ماذا يحدث للتيار المار في مصباحين من هذه المصابيح إذا احترق فتيل المصباح الثالث؟

41. افترض أن المقاومة R_A في مجزئ الجهد الموضّح في **الشكل 4–5** صُمّمت لتكون مقاومة متغيّرة، فماذا يحدث للجهد الناتج V_B في مجزئ الجهد إذا زاد مقدار المقاومة المتغيرة؟

42. تحتوي الدائرة A على ثلاث مقاومات مقدار كل منها 60 Ω موصولة على التوالي، أما الدائرة B فتحتوي على ثلاث مقاومات مقدار كل منها 60 Ω موصولة على التوازي. كيف يتغير التيار المار في المقاومة الثانية في كل دائرة منهما إذا قطع مفتاح كهربائي التيار عن المقاومة الأولى؟

43. تحتوي دائرة كهربائية على ثلاثة مصابيح كهربائية موصولة على التوازي. ماذا يحدث للتيار المار في مصباحين من هذه المصابيح إذا احترق فتيل المصباح الثالث؟

44. إذا كان لديك بطارية جهدها 6 V وعدد من المصابيح جهد كلٍّ منها 1.5 V، فكيف تصل المصابيح بحيث تضيء، على ألا يزيد فرق الجهد بين طرفي كلٍّ منها على 1.5 V؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 5

45. مصباحان كهربائيّان مقاومة أحدهما أكبر من مقاومة الآخر. أجب عمّا يأتي:

a. إذا وصل المصباحان على التوازي فأيُّهما يكون سطوعه أكبر (أيْ أيُّهما يستنفد قدرة أكبر)؟

b. إذا وصِل المصباحان على التوالي فأيهما يكون سطوعه أكبر؟

46. اكتب نوع الدائرة المستخدمة (توالٍ أم توازٍ) فيما يأتي:

a. التيار متساوٍ في جميع أجزاء الدائرة الكهربائية.

b. المقاومة المكافئة تساوي مجموع المقاومات المُفردة.

c. الهبوط في الجهد عبر كل مقاومة في الدائرة الكهربائية متساوٍ.

d. الهبوط في الجهد في الدائرة الكهربائية يتناسب طرديًّا مع المقاومة.

e. إضافة مقاومة إلى الدائرة يُقلّل المقاومة المكافئة.

f. إضافة مقاومة إلى الدائرة يزيد المقاومة المكافئة.

g. إذا أصبح مقدار التيار المار في أحد مقاومات دائرة كهربائية صفرًا، ولم يمر تيار في جميع المقاومات الأخرى الموجودة في الدائرة.

h. إذا أصبح مقدار التيار المار في أحد مقاومات دائرة كهربائية صفرًا، ولم تتغيّر مقادير التيارات الكهربائية المارة في جميع المقاومات الأخرى الموجودة في الدائرة.

i. هذا النوع من التوصيل مناسب لتمديدات الأسلاك في المنزل.

47. **منصهرات المنزل** لماذا يكون خطيرًا استعمال منصهر 30 A بدلًا من المنصهر 15 A المستخدم في حماية دائرة المنزل؟

إتقان حل المسائل

5–1 الدوائر الكهربائية البسيطة

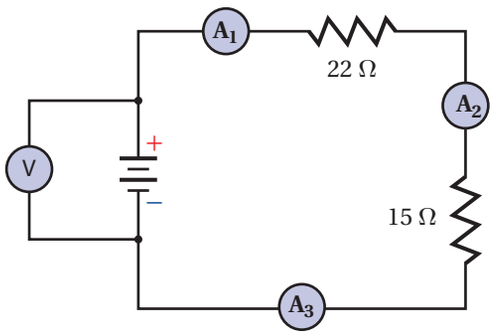
48. احسب المقاومة المكافئة للمقاومات الآتية: 680 Ω و 1.1 kΩ و 10 kΩ إذا وصلت على التوالي.

49. احسب المقاومة المكافئة للمقاومات الآتية: 680 Ω و 1.1 kΩ و 10.0 kΩ إذا وصلت على التوازي.

50. إذا كانت قراءة الأميتر 1 الموضح في **الشكل 14–5** تساوي 0.20 A، فما مقدار:

a. قراءة الأميتر 2؟

b. قراءة الأميتر 3؟



الشكل 14–5

51. إذا احتوت دائرة توالٍ على هبوطين في الجهد 6.90 V و 5.50 V فما مقدار جهد المصدر؟

52. يمر تياران في دائرة توازٍ، فإذا كان تيار الفرع الأول 3.45 A وتيار الفرع الثاني 1.00 A فما مقدار التيار المار في مصدر الجهد؟

53. إذا كانت قراءة الأميتر 1 في **الشكل 14–5** تساوي 0.20 A فما مقدار:

a. المقاومة المكافئة للدائرة؟

b. جهد البطارية؟

c. القدرة المستنفدة في المقاومة 22 Ω ؟

d. القدرة الناتجة عن البطارية؟

54. إذا كانت قراءة الأميتر 2 الموضّح في **الشكل 14–5** تساوي 0.50 A فاحسب مقدار:

a. فرق الجهد بين طرفي المقاومة 22 Ω.

b. فرق الجهد بين طرفي المقاومة 15 Ω.

c. جهد البطارية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

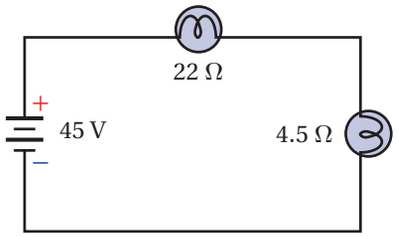
55. وصِل مصباحان مقاومــة الأول 22 Ω ومقاومة الثاني 4.5 Ω على التوالي بمصدر فرق جهد مقداره 45 V، كما هو موضّح في **الشكل 15–5**. احسب مقدار:

a. المقاومة المكافئة للدائرة.

b. التيار المار في الدائرة.

c. الهبوط في الجهد في كل مصباح.

d. القدرة المستهلكة في كل مصباح.



الشكل 15–5

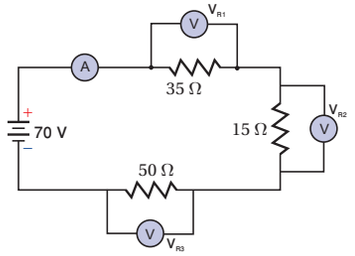
56. إذا كانت قراءة الفولتمتر الموضّح في **الشكل 16–5** تساوي 70.0 V فأجب عن الأسئلة الآتية:

a. ما مقدار قراءة الأميتر؟

b. أي المقاومات أسخن؟

c. أي المقاومات أبرد؟

d. ما مقدار القدرة المزوّدة بواسطة البطارية؟



الشكل 16–5

57. إذا كان جهد البطارية الموضحة في **الشــكل 17–5** يساوي 110 V، فأجب عن الأسئلة الآتية:

a. ما مقدار قراءة الأميتر 1؟

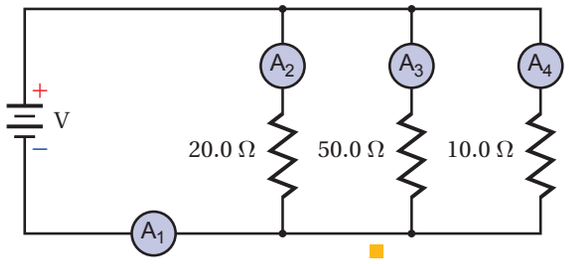
b. ما مقدار قراءة الأميتر 2؟

c. ما مقدار قراءة الأميتر 3؟

d. ما مقدار قراءة الأميتر 4؟

e. أي المقاومات أسخن؟

f. أي المقاومات أبرد؟



الشكل 17–5

58. إذا كانت قراءة الأميتر 3 الموضح في **الشكل 17–5** تساوي 0.40 A فما مقدار:

a. جهد البطارية؟

b. قراءة الأميتر 1؟

c. قراءة الأميتر 2؟

d. قراءة الأميتر 4؟

59. ما اتجاه التيار الاصطلاحي المار في المقاومة 50.0 Ω الموضّح في **الشكل 17–5**؟

60. إذا كان الحمل الموصول بطــرفي بطارية يتكون من مقاومتــين 15 Ω و47 Ω موصولتين على التوالي فما مقدار:

a. المقاومة الكلية للحمل؟

b. جهــد البطاريــة إذا كان مقدار التيــار المار في الدائرة 97 mA؟

61. **أنـوار الاحتفـالات** يتكون أحد أســلاك الزينة من 18 مصباحًــا صغيرًا متماثــلًا، موصولة على التوالي بمصــدر جهد مقــداره 120 V. فإذا كان الســلك يستنفد قدرة مقدارها 64 W، فما مقدار:

a. المقاومة المكافئة لسلك المصابيح؟

b. مقاومة كل مصباح؟

c. القدرة المستنفدة في كل مصباح؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 5

62. إذا احترق فتيل أحد المصابيح في المسألة السابقة، وحدث فيه دائرة قصر، بحيث أصبحت مقاومته صفرًا فأجب عما يأتي:

a. ما مقدار مقاومة السلك في هذه الحالة؟

b. احسب القدرة المستنفدة في السلك.

c. هل زادت القدرة المستنفدة أم نقصت بعد احتراق المصباح؟

63. وصِلت مقاومتان 16.0 Ω و20.0 Ω، على التوازي بمصدر جهد مقداره 40.0 V، احسب مقدار:

a. المقاومة المكافئة لدائرة التوازي.

b. التيار الكلي المار في الدائرة.

c. التيار المار في المقاومة 16.0 Ω.

64. صمّم فيصل مجزئ جهد باستخدام بطارية جهدها 12 V ومقاومتين. فإذا كان مقدار المقاومة R_B يساوي 82 Ω، فكم يجب أن يكون مقدار المقاومة R_A حتى يكون الجهد الناتج عبر المقاومة R_B يساوي 4.0 V؟

65. **التلفاز** يستهلك تلفاز قدرة تساوي 275 W عند وصله بمقبس 120 V.

a. احسب مقاومة التلفاز.

b. إذا شكّل التلفاز وأسلاك توصيل مقاومتها 2.5 Ω ومنصهر كهربائي دائرةَ توالٍ تعمل بوصفها مجزّئ جهد، فاحسب الهبوط في الجهد عبر التلفاز.

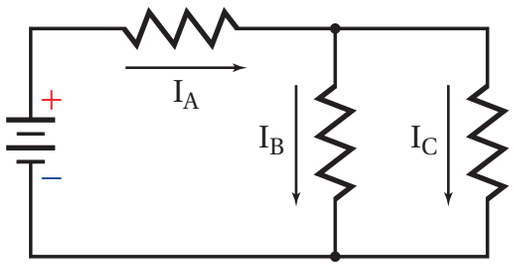
c. إذا وصِل مخفّف شعر مقاومته 12 Ω بالمقبس نفسه الذي يتصل به التلفاز، فاحسب المقاومة المكافئة للجهازين.

d. احسب الهبوط في الجهد عبر كل من التلفاز، ومخفّف الشعر.

5–2 تطبيقات الدوائر الكهربائية

ارجع إلى ***الشكل 5–18*** *للإجابة عن الأسئلة* ***66–69.***

66. إذا كان مقدار كل مقاومة من المقاومات الموضّحة في الشكل يساوي 30.0 Ω فاحسب المقاومة المكافئة.



الشكل 5–18

67. إذا استنفدت كل مقاومة 120 mW فاحسب القدرة الكلية المستنفدة.

68. إذا كان $I_A = 13\ mA$ و$I_B = 1.7\ mA$ فما مقدار I_C؟

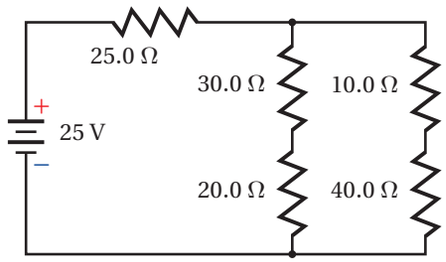
69. بافتراض أن $I_C = 1.7\ mA$ و$I_B = 13\ mA$، فما مقدار I_A؟

70. بالرجوع إلى **الشكل 5–19** أجب عما يأتي:

a. ما مقدار المقاومة المكافئة؟

b. احسب مقدار التيار المار في المقاومة 25 Ω.

c. أي المقاومات يكون أسخن، وأيها يكون أبرد؟



الشكل 5–19

71. تتكوّن دائرة كهربائية من ستة مصابيح ومدفأة كهربائية موصولة جميعها على التوازي. فإذا كانت قدرة كلّ مصباح 60 W ومقاومته 240 Ω، ومقاومة المدفأة 10.0 Ω، وفرق الجهد في الدائرة 120 V فاحسب مقدار التيار المار في الدائرة في الحالات الآتية:

a. أربعة مصابيح فقط مضاءة.

b. جميع المصابيح مضاءة.

c. المصابيح الستة والمدفأة جميعها تعمل.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 5

72. إذا احتوت الدائرة الكهربائية في المسألة السابقة على منصهر كهربائي كُتِبَ عليه 12 A فهل ينصهر هذا المنصهر إذا شُغّلت المصابيح الستة والمدفأة؟

73. إذا زُوِّدْت خلال اختبار عملي بالأدوات الآتية: بطارية جهدها V، وعنصري تسخين مقاومتهما صغيرة يُمكن وضعهما داخل ماء، وأميتر ذي مقاومة صغيرة جدًّا، وفولتمتر مقاومته كبيرة جدًّا، وأسلاك توصيل مقاومتها مهملة، ودورق معزول جيّدًا سعته الحرارية مهملة، و0.10 kg ماء درجة حرارته 25 °C، فوضّح بالرسم والرموز كيفية وصل هذه الأدوات معًا لتسخين الماء في أسرع وقت ممكن.

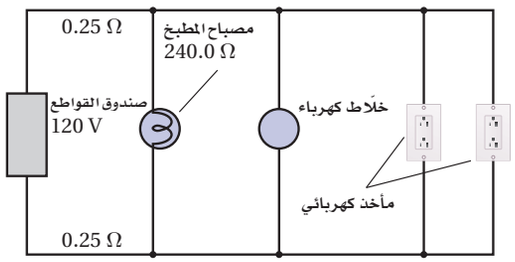
74. إذا ثُبّتت قراءة الفولتمتر المستعمل في المسألة السابقة عند 45 V، وقراءة الأميتر عند 5.0 A فاحسب الزمن (بالثواني) اللازم لتبخير الماء الموجود في الدورق. (استخدم الحرارة النوعية للماء 4.2 kJ /kg. °C، والحرارة الكامنة لتبخره 2.3×10^6 J /kg)

75. **دائرة كهربائية منزلية** يوضّح **الشكل 5–20** دائرة كهربائية منزلية، مقاومة كلّ سلك من السلكين الواصلين إلى مصباح المطبخ 0.25 Ω، ومقاومة المصباح 0.24 kΩ. على الرغم من أن الدائرة هي دائرة توازٍ إلا أن مقاومة الأسلاك تتصل على التوالي بجميع عناصر الدائرة. أجب عما يأتي:

a. احسب المقاومة المكافئة للدائرة المتكونة من المصباح وخطَّي التوصيل من المصباح وإليه.

b. أوجد التيار المار في المصباح.

c. أوجد القدرة المستنفدة في المصباح.



الشكل 5–20

مراجعة عامة

76. إذا وُجِد هبوطان في الجهد في دائرة توالٍ كهربائية مقدارهما: 3.50 V و4.90 V فما مقدار جهد المصدر؟

77. تحتوي دائرة كهربائية مُركّبة على ثلاث مقاومات. فإذا كانت القدرة المستنفدة في المقاومات: 5.50 W و6.90 W و1.05 W على الترتيب فما مقدار قدرة المصدر الذي يُغذِّي الدائرة؟

78. وصِلت ثلاث مقاومات مقدار كل منها 150 Ω، على التوالي. فإذا كانت قدرة كل مقاومة 5 W، فاحسب القيمة العظمى للقدرة الآمنة التي يمكن الحصول عليها.

79. وصِلت ثلاث مقاومات مقدار كل منها 92 Ω على التوازي. فإذا كانت قدرة كل منها 5 W، فاحسب القيمة العظمى للقدرة الآمنة التي يمكن الحصول عليها.

80. احسب القيمة العظمى للجهد الآمن الذي يمكن تطبيقه على المقاومات الثلاث الموصولة على التوالي، والموضّحة في **الشكل 21–5**، إذا كانت قدرة كلٍّ منها 5.0 W

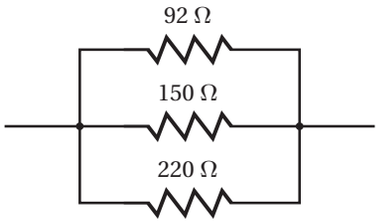
الشكل 21–5

81. احسب القيمة العظمى للقدرة الآمنة في الدائرة الموضّحة في المسألة السابقة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 5

82. احسب القيمة العظمى للجهد الآمن الذي يمكن تطبيقه على المقاومات الثلاث الموصولة على التوازي، والموضحة في **الشكل 22–5** إذا كانت قدرة كلٍّ منها 5.0 W



الشكل 22–5

التفكير الناقد

83. **تطبيق الرياضيات** اشتق علاقة لحساب المقاومة المكافئة في كل من الحالات الآتية:

a. مقاومتان متساويتان موصولتان معًا على التوازي.

b. ثلاث مقاومات متساوية موصولة معًا على التوازي.

c. عدد N من مقاومات متساوية موصولة معًا على التوازي.

84. **تطبيق المفاهيم** إذا كان لديك ثلاثة مصابيح كتلك الموضّحة في **الشكل 23–5**، وكانت قدرتها كما يأتي: 50 W و100 W و150 W، فارسم أربعة رسوم تخطيطيّة جزئية تبين من خلالها فتائل المصابيح، وأوضاع المفاتيح الكهربائية لكل مستوى سطوع، بالإضافة إلى بيان وضع الإطفاء. عنون كل رسم تخطيطيّ. (ليس هناك حاجة إلى رسم مصدر طاقة).

الشكل 23–5

85. **تطبيق المفاهيم** صمّم دائرة كهربائية يمكنها إضاءة 12 مصباحًا متماثلًا، بكامل شدتها الضوئية الصحيحة بواسطة بطارية جهدها 48 V، لكل حالة مما يأتي:

a. يقتضي التصميم A أنه إذا احترقت فتيلة أحد المصابيح تبقى المصابيح الأخرى مضيئة.

b. يقتضي التصميم B أنه إذا احترقت فتيلة أحد المصابيح تضيء المصابيح الأخرى التي بقيت تعمل بكامل شدتها الضوئية الصحيحة.

c. يقتضي التصميم C أنه إذا احترقت فتيلة أحد المصابيح ينطفئ مصباح آخر.

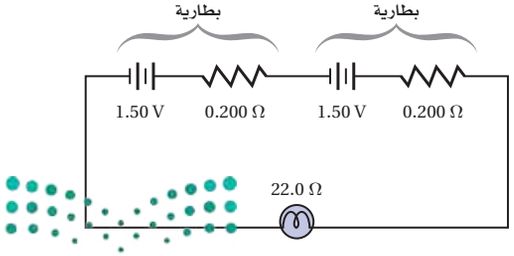
d. يقتضي التصميم D أنه إذا احترقت فتيلة أحد المصابيح فإما أن ينطفئ مصباحان أو لا ينطفئ أي مصباح في الدائرة.

86. **تطبيق المفاهيم** تتكوّن بطارية من مصدر فرق جهد مثالي يتصل بمقاومة صغيرة على التوالي. تنتج الطاقة الكهربائية للبطارية عن التفاعلات الكيميائية التي تحدث فيها، وينتج أيضًا عن هذه التفاعلات مقاومة صغيرة لا يمكن إلغاؤها بالكامل أو تجاهلها. فإذا علمت أن مصباحًا كهربائيًّا يدويًّا يحتوي على بطاريتين موصولتين على التوالي كما هو موضّح في **الشكل 24–5**، وفرق جهد كلٍّ منهما يساوي 1.50 V، ومقاومتها الداخلية 0.200 Ω، ومقاومة المصباح 22.0 Ω، فأجب عمّا يأتي:

a. ما مقدار التيار المار في المصباح؟

b. ما مقدار القدرة المستنفدة في المصباح؟

c. إذا أُهملت المقاومة الداخلية للبطاريتين فما مقدار الزيادة في القدرة المستنفدة؟



الشكل 24–5

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 5

87. تطبيق المفاهيم صُنع أميتر بتوصيل بطارية جهدها 6.0 V على التوالي بمقاومة متغيرة وأميتر مثالي، كما هو موضّح في **الشكل 25–5**، بحيث ينحرف مؤشر الأميتر إلى أقصى تدريج عندما يمر فيه تيار مقداره 1.0 mA. فإذا وصِل المِشبكان الموضّحان في الشكل معًا، وضُبطت المقاومة المتغيرة بحيث يمر تيار مقداره 1.0 mA، فأجب عمّا يأتي:

a. ما مقدار المقاومة المتغيرة؟

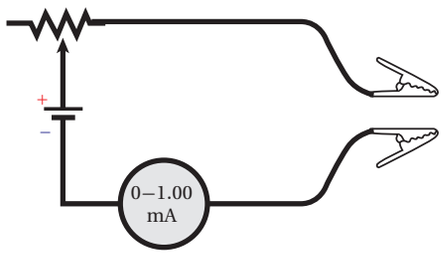
b. إذا وصِل المشبكان الموضحان في الشكل بمقاومة مجهولة فما مقدار المقاومة التي تجعل قراءة الأميتر تساوي:

1. 0.50 mA؟

2. 0.25 mA؟

3. 0.75 mA؟

c. هل تدريج الأميتر خطي؟ وضّح إجابتك.



الشكل 25–5

الكتابة في الفيزياء

88. ابحث في قوانين جوستاف كيرتشوف، واكتب ملخصًا من صفحة واحدة حول كيفية تطبيقها على الأنواع الثلاثة للدوائر الكهربائية الواردة في الفصل.

مراجعة تراكمية

89. إذا كانت شدة المجال الكهربائي على بُعد d من شحنة نقطية Q يساوي **E**، فماذا يحدث لمقدار المجال الكهربائي في الحالات الآتية: (الفصل 3)

a. مضاعفة d ثلاث مرات.

b. مضاعفة Q ثلاث مرات.

c. مضاعفة كلٍّ من d و Q ثلاث مرات.

d. مضاعفة شحنة الاختبار q' ثلاث مرات

e. مضاعفة كلٍّ من q' و d و Q ثلاث مرات.

90. إذا نقص التيار المار في دائرة كهربائية فرق الجهد فيها 12 V من 0.55 A إلى 0.44 A، فاحسب مقدار التغير في المقاومة.

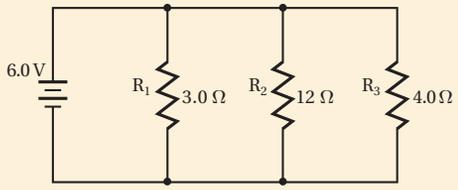
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

استخدم الرسم التخطيطي أدناه الذي يمثّل دائرة كهربائية للإجابة عن الأسئلة 4–1.



1. ما مقدار المقاومة المكافئة للدائرة؟

(A) $\frac{1}{19}\ \Omega$ (C) 1.5 Ω

(B) 1.0 Ω (D) 19 Ω

2. ما مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة؟

(A) 0.32 A (C) 1.2 A

(B) 0.80 A (D) 4.0 A

3. ما مقدار التيار الكهربائي المار في المقاومة R_3؟

(A) 0.32 A (C) 2.0 A

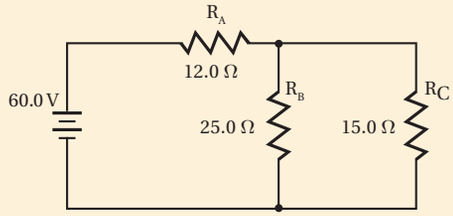
(B) 1.5 A (D) 4.0 A

4. ما مقدار قراءة فولتمتر يوصل بين طرفي المقاومة R_2؟

(A) 0.32 V (C) 3.8 V

(B) 1.5 V (D) 6.0 V

استخدم الرسم التخطيطي أدناه الذي يمثل دائرة كهربائية للإجابة عن السؤالين 5 و6.



5. ما مقدار المقاومة المكافئة للدائرة؟

(A) 8.42 Ω (C) 21.4 Ω

(B) 10.7 Ω (D) 52.0 Ω

6. ما مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة؟

(A) 1.15 A (C) 2.80 A

(B) 2.35 A (D) 5.61 A

7. إذا وصل محمود ثمانية مصابيح مقاومة كل منها 12 Ω على التوالي فما مقدار المقاومة الكلية للدائرة؟

(A) 0.67 Ω (C) 12 Ω

(B) 1.5 Ω (D) 96 Ω

8. أيّ العبارات الآتية صحيحة؟

(A) مقاومة الأميتر المثالي كبيرة جدًّا.

(B) مقاومة الفولتمتر المثالي صغيرة جدًّا.

(C) مقاومة الأميترات تساوي صفرًا.

(D) تُسبّب الفولتمترات تغيرات صغيرة في التيار.

الأسئلة الممتدة

9. يقيم حامد حفلاً ليليًّا، ولإضاءة الحفل وصل 15 مصباحًا كهربائيًّا كبيرًا ببطارية سيارة جهدها 12.0 V، وعند وصل هذه المصابيح بالبطارية لم تُضئ، وأظهرت قراءة الأميتر أن التيار المار في المصابيح 0.350 A، فإذا احتاجت المصابيح إلى تيار مقداره 0.500 A، لكي تُضيء، فكم مصباحًا عليه أن يفصل من الدائرة؟

10. تحتوي دائرة توالٍ كهربائية على بطارية جهدها 8.0V وأربع مقاومات: $R_1 = 4.0\ \Omega$ و$R_2 = 8.0\ \Omega$ و$R_3 = 13.0\ \Omega$ و$R_4 = 15.0\ \Omega$. احسب مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة، والقدرة المستنفدة في المقاومات؟

✓ إرشاد

خذ قسطًا من الراحة

إذا كان لديك فرصة لأخذ قسط من الراحة في أثناء الاختبار أو كان يمكنك الوقوف فلا تتحرج من ذلك، وانهض من مقعدك وتحرك؛ فإن ذلك يعطيك طاقة إضافية، ويساعدك على تجلية تفكيرك. وخلال فترة الاستراحة فكر في شيء آخر غير الاختبار، وبذلك تكون قادرًا على أن تبدأ من جديد.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 6

المجالات المغناطيسية

Magnetic Fields

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تحديد قوى التنافر والتجاذب بين الأقطاب المغناطيسية.
- الربط بين المغناطيسية وكل من الشحنة الكهربائية والتيار الكهربائي.
- وصف كيفية توظيف الكهرومغناطيسية في التطبيقات العملية.

الأهمية

تعدّ المغناطيسية أساسًا للعديد من التطبيقات التقنية. فالمعلومات على قرص الحاسوب الصلب تخزن بنمط مغناطيسي.

مُحطّم الذرّة أنبوب المسارع النووي كالموضّح في الصورة محاط بمغانط فائقة التوصيل، والجسيمات ذات الطاقة الكبيرة تنتقل في مركز الأنبوب حيث لا يوجد مجال مغناطيسي. وإذا ابتعدت هذه الجسيمات عن مركز الأنبوب فإنها تتلقى دفعًا مغناطيسيًّا لإبقائها في المركز.

فكِّر ◄

كيف تسبب القوى التي تبذلها المغانط تسارعًا للجسيمات؟ وهل يمكن لأي جسيم أن يتسارع؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

في أي اتجاه تؤثر المجالات المغناطيسية؟

سؤال التجربة ما اتجاه القوة التي تؤثر في جسم ممغنط موضوع في مجال مغناطيسي؟

الخطوات

1. ضع أمامك قضيبًا مغناطيسيًّا أفقيًّا على أن يكون قطبه الشمالي نحو اليسار.
2. ضع قضيبًا مغناطيسيًّا آخر أفقيًّا أيضًا عن يسار القضيب الأول وعلى بُعد 5.0 cm منه بحيث يكون متاحًا وضع بوصلة بين القضيبين المغناطيسيين- على أن يكون قطبه الشمالي نحو اليسار أيضًا.
3. ارسم شكلاً توضيحيًّا لما قمت به على ورقة، وتحقق من تحديد الأقطاب عليه.
4. ضع البوصلة بالقرب من أحد القطبين وارسم الاتجاه الذي يشير إليه سهمها.
5. استمر في تغيير موضع البوصلة نحو القطب الآخر عدة مرات، وفي كل مرة ارسم الاتجاه الذي يشير إليه السهم حتى تحصل على 15-20 سهمًا.
6. كرّر الخطوات 5-3 على أن يكون القطبان الشماليان متقابلين في هذه المرة.

التحليل

ما الاتجاه الذي يشير إليه الطرف الأحمر لإبرة البوصلة عادة؟ وما الاتجاه الذي يبتعد عنه؟ ولماذا قد لا تشير بعض الأسهم إلى أي الموقعين في السؤالين؟

التفكير الناقد يسمى المخطط الذي حصلت عليه بعد رسمك للأسهم، المجال المغناطيسي. تذكر المقصود بكل من مجال الجاذبية الأرضية، والمجال الكهربائي، وعرّف المجال المغناطيسي.

6-1 المغانط: الدائمة والمؤقتة Magnets: Permanent and Temporary

عُرفت المغانط والمجالات المغناطيسية منذ أكثر من 2000 سنة مضت. واستخدم البحارة الصينيون المغانط في صورة بوصلات ملاحية قبل 900 سنة تقريبًا. ودرس العلماء منذ القدم وفي أنحاء العالم كافة الصخور المغناطيسية التي تسمى مغانط طبيعية. وللمغانط اليوم أهمية متنامية في حياتنا اليومية؛ فالمولدات الكهربائية، والمحركات الكهربائية البسيطة، وأجهزة التلفاز، وأجهزة العرض التي تعمل بالأشعة المهبطية، وأشرطة التسجيل، ومشغلات الأقراص الصلبة الموجودة داخل أجهزة الحاسوب، جميعها تعتمد على الآثار المغناطيسية للتيارات الكهربائية.

وإذا كنت قد استخدمت البوصلة يومًا ما، أو التقطت الدبابيس أو مشابك الورق بالمغناطيس فقد لاحظت بعض الآثار المغناطيسية. ولربما صنعت مغناطيسًا كهربائيًّا أيضًا، وذلك بلف سلك معزول حول مسمار، ثم وصلت طرفي السلك ببطارية. وستكون خصائص المغانط أكثر وضوحًا إذا استخدمت في تجربتك مغناطيسين. ولدراسة المغناطيسية بصورة أفضل يمكنك التجريب بالمغانط، كتلك الموضحة في **الشكل 1-6**.

الأهداف

- **تصف** خصائص المغانط ومنشأ المغناطيسية في المواد.
- **تقارن** بين المجالات المغناطيسية المختلفة.

المفردات

المستقطب
التدفق المغناطيسي
الملف اللولبي
القاعدة الثانية لليد اليمنى
المجالات المغناطيسية
القاعدة الأولى لليد اليمنى
المغناطيس الكهربائي
المنطقة المغناطيسية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الخصائص العامة للمغانط
General Properties of Magnets

الشكل 1–6 المغانط الشائعة التي تباع في معظم محال الأدوات المنزلية والمكتبات.

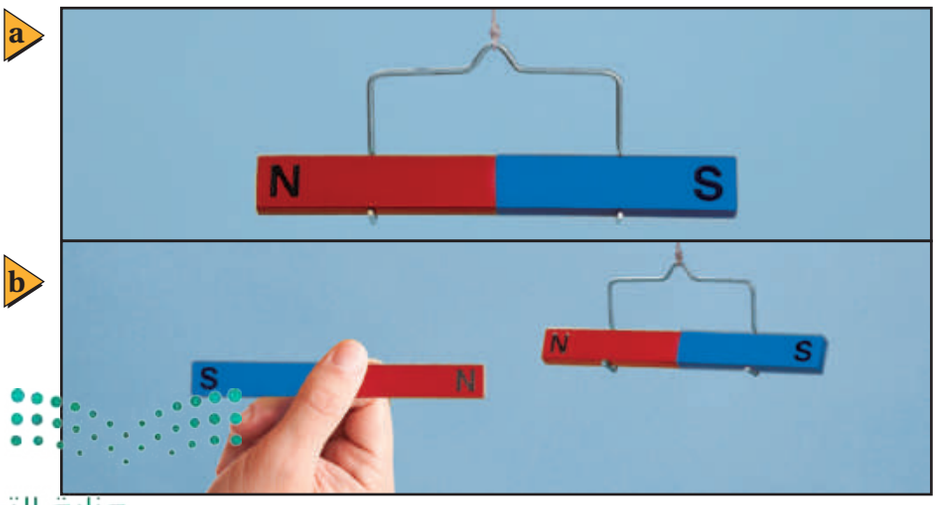
علّق مغناطيسًا بخيط، كما هو موضّح في **الشكل 2a–6**. إذا استخدمت قضيبًا مغناطيسيًّا فعليك تعليقه بسلك ينتهي بخطافين لتجعله أفقيًّا. عندما يستقر المغناطيس يتخذ اتجاهًا معينًا. حرّك المغناطيس بحيث يشير إلى اتجاه مختلف ثم اتركه. هل استقر القضيب المغناطيسي عند الاتجاه الأول نفسه؟ إذا حدث ذلك فإلى أي اتجاه يشير؟

ستجد أن القضيب المغناطيسي قد استقر في اتجاه شمال – جنوب. اكتب الحرف N عند الطرف الذي يشير إلى اتجاه الشمال بوصفه مرجعًا. يمكنك أن تستنتج من خلال هذه التجربة البسيطة أن المغناطيس **مستقطب**، أي له قطبان متميزان متعاكسان،أحدهما القطب الباحث عن الشمال الجغرافي للأرض، ويسمى القطب الشمالي. والآخر القطب الباحث عن الجنوب الجغرافي للأرض، ويسمى القطب الجنوبي. والبوصلة ليست أكثر من مغناطيس صغير حر الدوران.

علّق مغناطيسًا آخر بالطريقة نفسها، وحدد القطب الشمالي له كما فعلت مع المغناطيس الأول. ولاحظ تفاعل المغناطيسين؛ وذلك بتقريب أحدهما إلى الآخر، كما هو موضح في **الشكل 2b–6**. ماذا يحدث عند تقريب القطبين الشماليين أحدهما إلى الآخر؟ حاول ذلك مع الأقطاب الجنوبية. وأخيرًا ماذا يحدث عند تقريب القطبين المختلفين أحدهما إلى الآخر؟

لعلك لاحظت أن القطبين الشماليين يتنافران وكذلك الجنوبيان. ولعلك لاحظت كذلك أن القطب الجنوبي لأحدهما انجذب نحو القطب الشمالي للآخر. أي أن الأقطاب المتشابهة تتنافر والأقطاب المختلفة تتجاذب. ولجميع المغانط قطبان مختلفان. وإذا قسمت المغناطيس نصفين فسينتج مغناطيسان جديدان، كل منهما له قطبان. وقد حاول العلماء كسر المغناطيس ليفصلوا القطبين أحدهما عن الآخر للحصول على قطب مغناطيسي منفرد، إلا أن أحدًا لم ينجح في ذلك حتى على المستوى المجهري.

وإذا علمنا أن المغانط تنتظم دائمًا في اتجاه شمال – جنوب فسوف يظهر لنا أن الأرض نفسها مغناطيس عملاق. ولأن الأقطاب المغناطيسية المختلفة تتجاذب، والقطب المغناطيسي الشمالي لإبرة البوصلة يشير نحو الشمال، لذا يجب أن يكون القطب المغناطيسي الجنوبي للأرض بالقرب من القطب الشمالي الجغرافي لها.



الشكل 2–6 إذا علّقت مغناطيسًا بخيط فإن المغناطيس سيتخذ اتجاهًا يتناسب مع الخصائص المغناطيسية للأرض (a). سيشير القطب الشمالي للمغناطيس نحو الشمال. وإذا قرّبت القطب الشمالي للمغناطيس الآخر نحو القطب الشمالي للمغناطيس المعلق فسوف يبتعد المغناطيس المعلق (b).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

■ **الشكل 3–6** ينجذب المسمار نحو المغناطيس. وفي هذه العملية يصبح المسمار نفسه ممغنطًا، ويمكنك أن ترى أنه عندما يحدث تلامس بين المغناطيس والمسمار فإن المسمار يصبح قادرًا على جذب أجسام فلزية أخرى. وعند فصل المسمار عن المغناطيس تسقط بعض الأجسام الفلزية؛ وذلك لأن المسمار يفقد جزءًا من مغناطيسيته.

كيف تؤثر المغانط في المواد الأخرى عرفت منذ طفولتك أن المغانط تجذب مغانط أخرى وبعض الأجسام القريبة، ومنها المسامير والدبابيس ومشابك الورق، والعديد من الأجسام الفلزية الأخرى. وخلافًا للتفاعل بين مغناطيسين فإن أي طرف للمغناطيس يجذب أي طرف لقطعة حديد. فكيف تفسر هذا السلوك؟ أولاً، إذا لامس المغناطيس مسمارًا، ثم لامس المسمار قطع حديد صغيرة فسيصبح المسمار نفسه مغناطيسًا، كما هو موضّح في **الشكل 3–6**. فالمغناطيس يحفز المسمار ليصبح مستقطبًا. ويعتمد اتجاه قطبية المسمار على قطبية المغناطيس. وإذا أبعدت المغناطيس فسيفقد المسمار بعضًا من مغناطيسيته، ولن يطول جذبه للأجسام الفلزية الأخرى.

وإذا كرّرت التجربة الموضّحة في **الشكل 3–6**، ووضعت قطعة من الحديد المطاوع (حديد يحتوي على القليل من الكربون) بدلاً من المسمار فستلاحظ أن الحديد المطاوع يفقد كل جاذبيته للأجسام الفلزية الأخرى مباشرة عند إبعاد المغناطيس؛ وذلك لأن الحديد المطاوع مغناطيس مؤقت. أما المسمار فيحتوي على معادن أخرى تتيح له الاحتفاظ ببعض مغناطيسيته عند إبعاد المغناطيس الدائم.

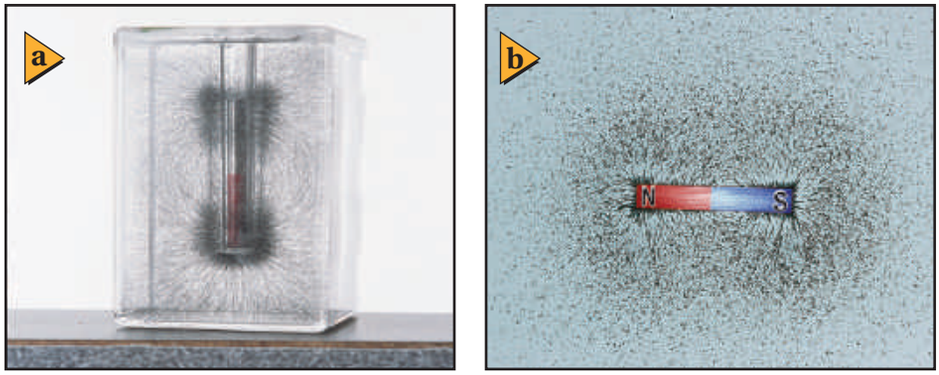
المغناطيس الدائم تتولد مغناطيسية المغناطيس الدائم بطريقة مشابهة للتي تولدت بها مغناطيسية المسمار. وبسبب التركيب المجهري للمادة التي يتكون منها المغناطيس فإن المغناطيسية المستحثة تصبح دائمة. يُصنع العديد من المغانط الدائمة من سبيكة حديد تحتوي على خليط من الألومنيوم والنيكل والكوبالت. و هناك مجموعة متنوعة من العناصر الترابية النادرة –ومنها النيوديميوم والجادولينيوم– تنتج مغانط دائمة قوية جدًّا مقارنة بأحجامها.

المجالات المغناطيسية حول المغانط الدائمة
Magnetic Fields Around Permanent Magnets

عندما تجري تجربة باستخدام مغناطيسين تلاحظ أن القوى بينهما –سواء أكانت قوة تجاذب أو تنافر– تحدث حتى قبل تلامسهما.

وبالطريقة نفسها التي وصفت بها قوة الجاذبية والقوة الكهربائية من خلال مجال الجاذبية الأرضية والمجال الكهربائي، يمكن وصف القوى المغناطيسية من خلال المجالات

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 4–6 يظهر المجال المغناطيسي لقضيب مغناطيسي بوضوح في الأبعاد الثلاثة، وذلك عند تعليق المغناطيس في الجليسرول مع برادة الحديد (a)، إلا أنه من الأسهل وضع المغناطيس أسفل ورقة، ثم رش برادة الحديد فوقها لمشاهدة نمط المجال المغناطيسي في بعدين (b).

المغناطيسية المتولدة حول المغناطيس. وهذه **المجالات المغناطيسية** كميات متجهة توجد في المنطقة التي تؤثر فيها القوة المغناطيسية.

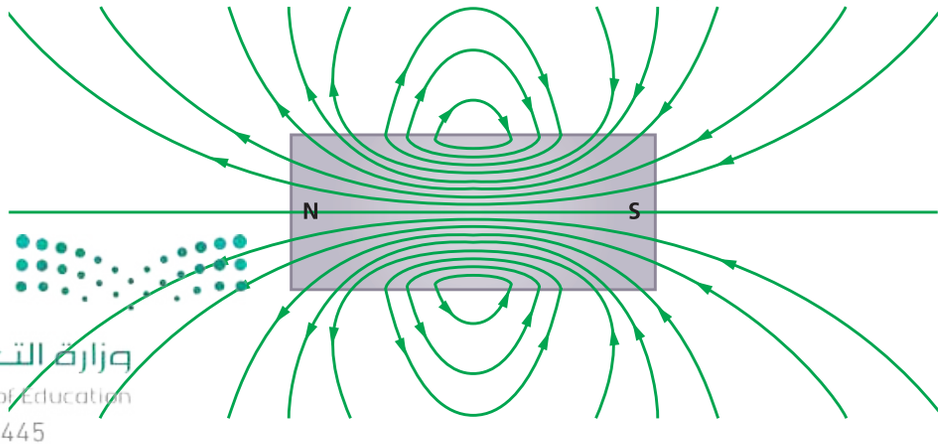
يمكن تمثيل المجال المغناطيسي الموجود حول المغناطيس باستخدام برادة الحديد؛ فكل قطعة صغيرة من برادة الحديد تصبح مغناطيسًا بالحث. وتدور برادة الحديد حتى تصبح موازية للمجال المغناطيسي، مثل إبرة البوصلة تمامًا. ويوضّح **الشكل 4a–6** برادة الحديد في محلول الجليسرول، وهي تحيط بالقضيب المغناطيسي. ويمكن ملاحظة صورة ثلاثية الأبعاد للمجال. وفي **الشكل 4b–6** ترتبت برادة الحديد، وأعطت رسمًا ثنائي الأبعاد للمجال المغناطيسي، ويساعدك ذلك على تصور خطوط المجال المغناطيسي. ويمكن لبرادة الحديد كذلك أن تظهر كيف يتشوّه المجال المغناطيسي بواسطة جسم ما.

خطوط المجال المغناطيسي لاحظ أن خطوط المجال المغناطيسي تشبه خطوط المجال الكهربائي في أنها وهمية، وهي تستخدم لتساعدنا على تصور المجال، وتزوِّدنا بمقياس لشدة المجال المغناطيسي. ويسمّى عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تخترق السطح **التدفق المغناطيسي**. والتدفق عبر وحدة المساحة يتناسب طرديًّا مع شدة المجال المغناطيسي. وكما تلاحظ من **الشكل 4–6** فإن معظم التدفق المغناطيسي مركّز عند القطبين؛ حيث يكون المجال المغناطيسي عندهما أكبر ما يمكن.

دلالة الألوان

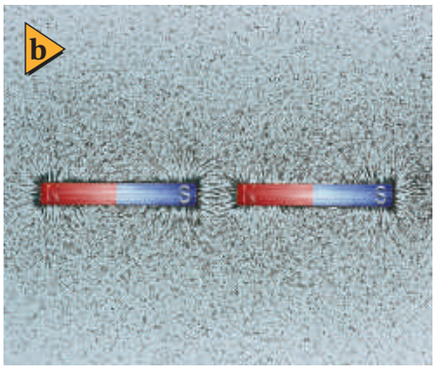
- رُسمت الشحنات الموجبة باللون الأحمر.
- رُسمت الشحنات السالبة باللون الأزرق.
- رُسمت خطوط المجال الكهربائي باللون النيلي (الأزرق الداكن).
- رُسمت خطوط المجال المغناطيسي باللون الأخضر.

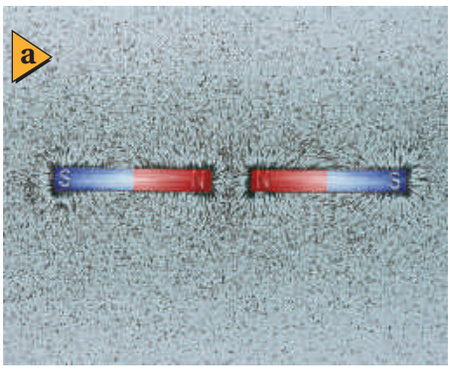
يُعرّف اتجاه خط المجال المغناطيسي بأنه الاتجاه الذي يشير إليه القطب الشمالي لإبرة البوصلة عند وضعها في المجال المغناطيسي. ويحدد اتجاه خطوط المجال المغناطيسي بحيث تكون خارجة من القطب الشمالي للمغناطيس وداخلة إلى القطب الجنوبي له، كما هو موضّح في **الشكل 5–6**. ماذا يحدث داخل المغناطيس؟ لا توجد أقطاب مفردة تنتهي فيها أو تبدأ منها خطوط المجال المغناطيسي، لذا فهي تكمل دورتها داخل المغناطيس دائمًا من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي لتشكّل حلقات مقفلة.



الشكل 5–6 يمكن تصوّر خطوط المجال المغناطيسي على شكل حلقات مغلقة تخرج من القطب الشمالي وتدخل إلى القطب الجنوبي للمغناطيس نفسه لتكمل دورتها إلى القطب الشمالي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445





■ **الشكل 6–6** تبين خطوط المجال المغناطيسي الممثلة ببرادة الحديد أن الأقطاب المتشابهة تتنافر (a)، والأقطاب المختلفة تتجاذب (b). ولا تشكل برادة الحديد خطوطًا متصلة بين الأقطاب المتشابهة. لكنها تبين أن خطوط المجال المغناطيسي تنقل مباشرة بين القطبين الشمالي والجنوبي لمغناطيسين.

ما نوع المجالات المغناطيسية المتكونة بواسطة أزواج من القضبان المغناطيسية؟ يمكن مشاهدة هذه المجالات بوضع مغناطيسين أسفل ورقة، ورشّ برادة حديد عليها. يبين **الشكل 6a–6** خطوط المجال بين قطبين متشابهين. وفي المقابل إذا وضع قطبان مختلفان متقاربان فإنهما يكوّنان مجالًا، كما هو موضح في **الشكل 6b–6**. وتبين برادة الحديد أن خطوط المجال بين قطبين مختلفين تتجه مباشرة من أحد المغناطيسين لتصل إلى الآخر.

القوى المؤثرة في الأجسام الموضوعة في مجالات مغناطيسية تؤثر المجالات المغناطيسية بقوى في مغانط أخرى؛ فالمجال المغناطيسي الناتج عن القطب الشمالي لمغناطيس يدفع القطب الشمالي لمغناطيس آخر بعيدًا في اتجاه خط المجال، والقوى الناتجة عن المجال نفسه والمؤثرة في قطب جنوبي لمغناطيس آخر تجذبه في عكس اتجاه خطوط المجال. وفي الوقت نفسه فإن المغناطيس الثاني يحاول أن يصطف أو يترتب مع المجال، كما في إبرة البوصلة.

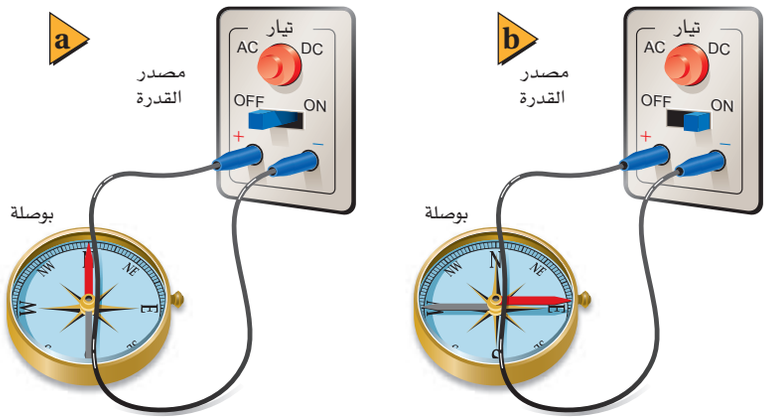
عندما توضع عينة مصنوعة من الحديد أو الكوبالت أو النيكل في المجال المغناطيسي لمغناطيس دائم تصبح خطوط المجال مركزة أكثر خلال هذه العينة، وتتمغنط بالحث، وتبدو خطوط المجال كأنها تخرج من القطب الشمالي للمغناطيس وتدخل أحد طرفي العينة، وتمر خلالها، ثم تخرج من الطرف الآخر للعينة، ولذلك يكون طرف العينة القريب من القطب الشمالي للمغناطيس قطبًا جنوبيًّا، فتنجذب العينة نحو المغناطيس.

مسائل تدريبية

1. إذا حملت قضيبين مغناطيسيين على راحتي يديك، ثم قربت يديك إحداهما إلى الأخرى فهل ستكون القوة تنافرًا أم تجاذبًا في كل من الحالتين الآتيتين؟
   - **a.** تقريب القطبين الشماليين أحدهما إلى الآخر.
   - **b.** تقريب القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي.
2. يبين **الشكل 7–6** خمسة مغانط في صورة أقراص مثقوبة بعضها فوق بعض. فإذا كان القطب الشمالي للقرص العلوي متجهًا إلى أعلى فما نوع القطب الذي يكون نحو الأعلى لكلٍّ من المغانط الأخرى؟
3. يجذب مغناطيس مسمارًا، ويجذب المسمار بدوره قطعًا صغيرة، كما هو موضّح في **الشكل 3–6**. فإذا كان القطب الشمالي للمغناطيس الدائم عن اليسار كما هو موضّح فأي طرفي المسمار يمثل قطبًا جنوبيًّا؟
4. لماذا تكون قراءة البوصلة المغناطيسية غير صحيحة أحيانًا؟

■ **الشكل 7–6**

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 8–6 باستخدام أدوات مماثلة لتلك الموضّحة في الشكل (a) تمكن أورستد من توضيح العلاقة بين الكهرباء والمغناطيسية، وذلك بتمرير تيار كهربائي في السلك (b).

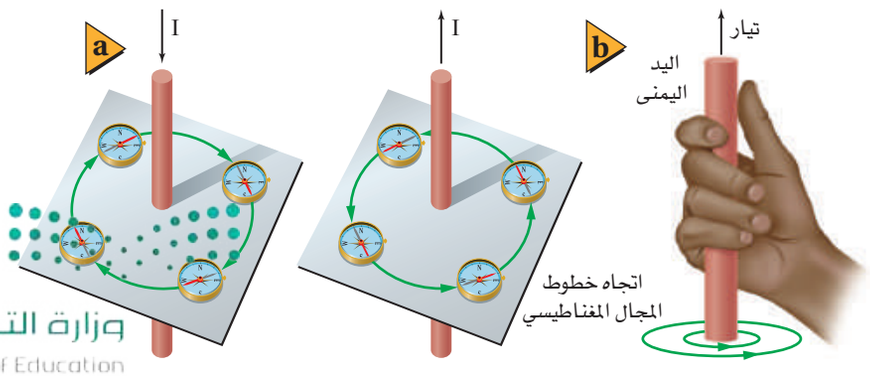
المجالات المغناطيسية حول التيارات الكهربائية
Magnetic Fields Around Electric Currents

أجرى الفيزيائي الدنماركي هانز كريستيان أورستد عام 1820م تجارب على التيارات الكهربائية المارة في الأسلاك، فوضع سلكًا فوق محور بوصلة صغيرة، وأوصل نهايتي السلك بدائرة كهربائية مغلقة، كما هو موضّح في **الشكل 8a–6**. وكان يتوقع أن تشير البوصلة إلى اتجاه السلك أو اتجاه سريان التيار، لكن بدلاً من ذلك تعجب لرؤية إبرة البوصلة تدور لتصبح في اتجاه عمودي على السلك، كما هو موضّح في **الشكل 8b–6**. أي أن القوى المؤثرة في قطبي مغناطيس البوصلة كانت متعامدة مع اتجاه التيار داخل السلك. ووجد أورستد أيضًا أنه لو لم يكن هناك تيار في السلك لما كان هناك قوى مغناطيسية.

الشكل 9–6 يظهر المجال المغناطيسي حول سلك يمر فيه تيار كهربائي ويخترق قرصًا كرتونيًا في صورة دوائر متحدة المركز من برادة الحديد حول السلك.

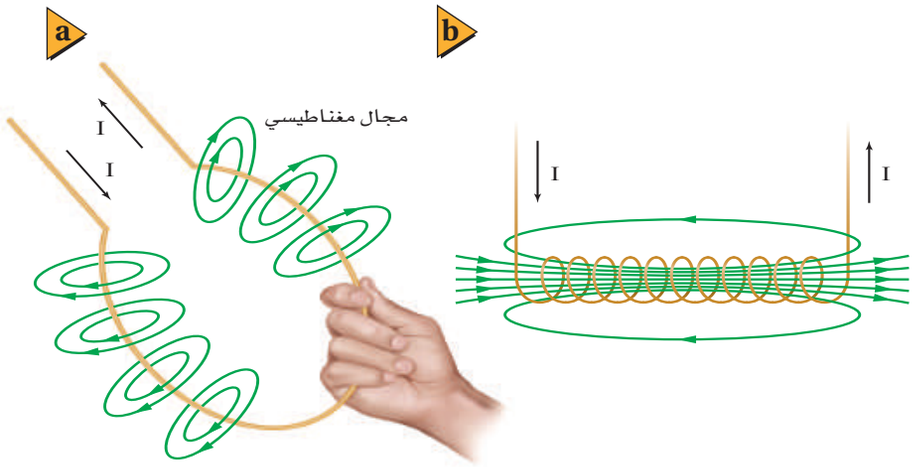
المجال المغناطيسي لسلك مستقيم: إذا انحرفت إبرة البوصلة عند وضعها بالقرب من سلك يحمل تيارًا وجب أن يكون ذلك ناتجًا عن مجال مغناطيسي ولَّده التيار الكهربائي. ويمكنك بسهولة ملاحظة المجال المغناطيسي حول سلك يحمل تيارًا عن طريق إنفاذ سلك رأسيًّا خلال قطعة كرتون أفقية، ورشّ برادة حديد عليها. فعند مرور التيار في السلك ستلاحظ أن برادة الحديد تترتب وتشكل نمطًا في صورة دوائر متحدة المركز حول السلك، كما هو موضّح في **الشكل 9–6**.

تشير الخطوط الدائرية إلى أن خطوط المجال المغناطيسي حول السلك الطويل (لانهائي) الذي يسري فيه تيار كهربائي تشكل حلقات مغلقة بالطريقة نفسها التي تشكل بها خطوطُ المجال المغناطيسي حلقات مغلقة حول المغانط الدائمة. وتتناسب شدة المجال المغناطيسي المتولد حول سلك مستقيم وطويل طرديًّا مع مقدار التيار المار في السلك، وعكسيًّا مع البعد عنه. وتبين البوصلة اتجاه خطوط المجال. وإذا عكس اتجاه التيار فستعكس إبرة البوصلة اتجاهها أيضًا، كما هو موضّح في **الشكل 10a–6**.



الشكل 10–6 ينعكس اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عن مرور تيار في سلك موصل مستقيم عندما ينعكس اتجاه التيار المار فيه (a). ويُحدّد اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عن سلك مستقيم يحمل تيارًا باستخدام القاعدة الأولى لليد اليمنى (b).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



■ **الشكل 11–6** يمكن تمثيل المجال المغناطيسي حول حلقة سلكية تحمل تيارًا باستخدام القاعدة الأولى لليد اليمنى (**a**). يولد التيار المار في الملف اللولبي مجالاً مغناطيسيًّا، بحيث يضاف مجال كل لفة إلى مجالات اللفات الأخرى (**b**).

تُستخدم **القاعدة الأولى لليد اليمنى** في تحديد اتجاه المجال المغناطيسي بالنسبة إلى اتجاه التيار الاصطلاحي. تخيل أنك تمسك بيدك اليمنى قطعة من سلك معزول. اجعل إبهامك في اتجاه التيار الاصطلاحي. ستشير أصابعك التي تدور حول السلك إلى اتجاه المجال المغناطيسي، كما هو موضّح في **الشكل 10b–6**.

المجال المغناطيسي لملف دائري: يولّد التيار الكهربائي المار في حلقة سلكية مجالا مغناطيسيًّا حول جميع أجزاء الحلقة. وعند تطبيق القاعدة الأولى لليد اليمنى على أي جزء من أجزاء الحلقة السلكية ستجد أن اتجاه المجال المغناطيسي داخل الحلقة يكون دائمًا في الاتجاه نفسه. ففي **الشكل 11a–6** يكون اتجاه المجال المغناطيسي داخل الحلقة خارجًا من الصفحة، أما اتجاه المجال المغناطيسي خارج الحلقة فيكون دائمًا داخلاً إلى الصفحة.

المجال المغناطيسي لملف لولبي: وعند لف السلك عدة لفات لتكوين ملف لولبي، ثم تمرير تيار في الملف، يكون اتجاه المجال حول جميع اللفات في الاتجاه نفسه، كما هو موضّح في **الشكل 11b–6**. ويسمى الملف الطويل المكوّن من عدة لفات **الملف اللولبي** (**المحث**)، ويكون المجال المغناطيسي داخل الملف اللولبي مساويًا لمجموع المجالات الناتجة عن لفاته. وعندما يسري تيار في ملف سلكي يصبح لهذا الملف مجال مغناطيسي يشبه المجال الناتج عن مغناطيس دائم. وعند تقريب الملف الذي يسري فيه تيار من مغناطيس معلّق فإن أحد طرفي الملف سيتنافر مع القطب المماثل له من المغناطيس، وهذا يعني أن الملف الذي يسري فيه تيار يمثّل مغناطيسًا له قطبان، شمالي وجنوبي. ويسمى المغناطيس الذي ينشأ عن سريان تيار كهربائي في ملفٍّ **المغناطيس الكهربائي**. وتتناسب شدة المجال المغناطيسي الناتج في ملف طرديًّا مع مقدار التيار المار فيه ومع عدد لفاته؛ ذلك لأن المجالات المغناطيسية للّفات متساوية، وتكون هذه المجالات في الاتجاه نفسه.

يُمكن زيادة قوة المغناطيس الكهربائي أيضًا عن طريق وضع قضيب حديدي (قلب) داخل الملف؛ حيث يدعم هذا القلب المجال المغناطيسي ويقويه. فيعمل القلب على زيادة المجال المغناطيسي؛ لأن مجال الملف اللولبي يولّد مجالاً مغناطيسيًّا مؤقتًا في القلب، تمامًا كما يعمل المغناطيس الدائم عند تقريبه إلى قطعة حديد.

تطبيق الفيزياء

الكهرومغناطيسية تستخدم الكهرومغناطيسية غالبًا في رافع نقل الحديد والفولاذ في مواقع الصناعات. والمغناطيس الذي يعمل بفرق جهد 230 V وتيار 156 A يمكن أن يرفع كتلة مقدارها 11300 kg.

تجربة عملية

كيف يولّد التيار الكهربائي مجالاً مغناطيسيًّا قويًّا؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

وتستخدم **القاعدة الثانية لليد اليمنى** في تحديد اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عن مغناطيس كهربائي بالنسبة إلى اتجاه سريان التيار الاصطلاحي. تخيل أنك تمسك بيدك اليمنى ملفًا معزولًا، فإذا دوّرت أصابعك حول الحلقات في اتجاه سريان التيار الاصطلاحي، كما هو موضّح في **الشكل 12–6**، فسيشير إبهامك نحو القطب الشمالي للمغناطيس الكهربائي.

■ **الشكل 12–6** تستخدم القاعدة الثانية لليد اليمنى في تحديد قطبية المغناطيس الكهربائي.

مسائل تدريبية

5. يسري تيار كهربائي في سلك مستقيم طويل من الشمال إلى الجنوب. أجب عما يأتي:

a. عند وضع بوصلة فوق السلك لوحظ أن قطبها الشمالي اتجه شرقًا. ما اتجاه التيار في السلك؟

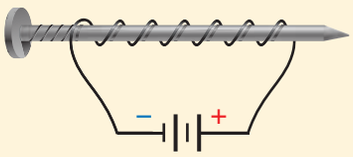
b. إلى أي اتجاه تشير إبرة البوصلة إذا وضعت أسفل السلك؟

6. ما شدة المجال المغناطيسي على بعد 1 cm من سلك يسرى فيه تيار، مقارنة بما يأتي:

a. شدة المجال المغناطيسي على بعد 2 cm من السلك.

b. شدة المجال المغناطيسي على بعد 3 cm من السلك.

7. صنع طالب مغناطيسًا بلف سلك حول مسمار، ثم وصل طرفي السلك ببطارية، كما هو موضّح في **الشكل 13–6**. أيّ طرفي المسمار (المدبب أم المسطح) سيكون قطبًا شماليًّا؟



■ **الشكل 13–6**

8. إذا كان لديك بكرة سلك وقضيب زجاجي وقضيب حديدي وآخر من الألومنيوم، فأي قضيب تستخدم لعمل مغناطيس كهربائي يجذب قطعًا فولاذية؟ وضّح إجابتك.

9. يعمل المغناطيس الكهربائي الوارد في المسألة السابقة جيدًا، فإذا أردت أن تجعل قوته قابلة للتعديل والضبط باستخدام مقاومة متغيرة فهل ذلك ممكن؟ وضّح إجابتك.

تجربة

المجالات المغناطيسية الثلاثية الأبعاد

اربط مسمارًا من منتصفه بخيط بحيث يصبح معلقًا بصورة أفقية. ضع قطعة صغيرة من الشريط اللاصق حول الخيط في موضع التفافه حول المسمار حتى لا يفلت الخيط.

أدخل المسمار داخل الملف وشغل مصدر الجهد الموصول بالملف، ثم افصل مصدر الجهد، وأخرج المسمار من داخل الملف، ثم أمسك الخيط لتعليق المسمار.

1. توقع ما سلوك المسمار مع وجود مغناطيس دائم؟

2. اختبر توقعك.

التحليل والاستنتاج

3. وضّح ما دليلك على أن المسمار أصبح ممغنطًا؟

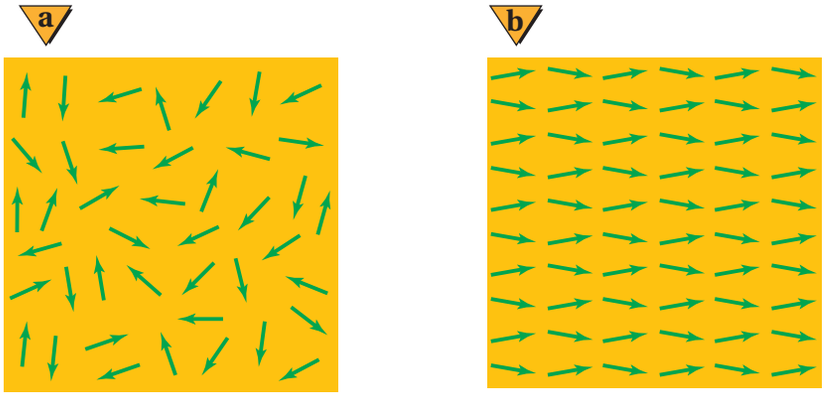
4. ارسم شكلاً ثلاثي الأبعاد يوضّح المجال المغناطيسي حول المسمار.

الصورة المجهرية للمواد المغناطيسية

A Microscopic Picture of Magnetic Materials

تعلمت أنه عند وضع قطعة حديد أو كوبالت أو نيكل بالقرب من مغناطيس فإن العنصر يصبح مغناطيسًا أيضًا، وسيكون له قطبان، شمالي وجنوبي، إلا أن هذه المغنطة تكون مؤقتة. ويعتمد توليد هذه القطبية المؤقتة على اتجاه المجال الخارجي. ويفقد العنصر مغناطيسيته عند إبعاد المجال الخارجي. وتسلك العناصر الثلاثة (الحديد والنيكل والكوبالت) سلوك مغانط كهربائية بطرائق عديدة؛ إذ لها خاصية تسمى الفرومغناطيسية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 14–6 قطعة الحديد (**a**) تصبح مغناطيسًا فقط عندما تترتب مناطقها المغناطيسية في اتجاه واحد (**b**).

المناطق المغناطيسية على الرغم من أن التفصيلات التي اقترحها أمبير حول منشأ مغناطيسية المغناطيس كانت غير صحيحة إلا أن فكرته الأساسية كانت صائبة؛ فكل إلكترون في الذرة يشبه مغناطيسًا كهربائيًّا صغيرًا. وعندما تترتب مجموعة المجالات المغناطيسية الخاصة بإلكترونات الذرات المتجاورة في الاتجاه نفسه تسمى هذه المجموعة **المنطقة المغناطيسية**. وعلى الرغم من أن هذه المجموعة قد تحوي 10^{20} ذرة مفردة، إلا أن المناطق المغناطيسية تبقى صغيرة جدًّا ومحدودة (غالبًا من 10 إلى 1000 ميكرون)، لذا فإن عينة صغيرة من الحديد تحتوي على عدد هائل من المناطق المغناطيسية.

عندما لا تكون قطعة الحديد داخل مجال مغناطيسي فإن المناطق المغناطيسية تكون في اتجاهات عشوائية، وتلغي مجالاتها المغناطيسية بعضها بعضًا، كما في **الشكل 14a–6**. أما عندما توضع قطعة الحديد داخل مجال مغناطيسي فإن هذه المناطق المغناطيسية تترتب بفعل المجال الخارجي لتصبح متفقة معه في الاتجاه، كما هو موضّح في **الشكل 14b–6**. وفي حالة المغناطيس المؤقت تعود المناطق إلى عشوائيتها بعد إزالة المجال المغناطيسي الخارجي. وللحصول على مغناطيس دائم يتم خلط الحديد مع مواد أخرى لإنتاج سبائك تحافظ على المناطق المغناطيسية مرتبة بعد إزالة تأثير المجال المغناطيسي الخارجي.

التسجيل في الوسائط تولد المسجلات الصوتية وأجهزة الفيديو نبضات وإشارات كهربائية في رأس التسجيل الذي يتكون من مغانط كهربائية، فيعمل على توليد مجالات مغناطيسية تمثل الصوت والصورة المراد تسجيلهما. وعندما يمر شريط التسجيل المغناطيسي الذي يحتوي على قطع صغيرة جدًّا من مواد مغناطيسية فوق رأس التسجيل، تترتب المناطق المغناطيسية لهذه القطع بواسطة المجالات المغناطيسية لرأس التسجيل، وتعتمد اتجاهات ترتيب واصطفاف المناطق المغناطيسية على اتجاه التيار المار برأس التسجيل، وبذلك تصبح تلك المناطق المغناطيسية تسجيلاً مغناطيسيًّا للصوت والصورة المسجلين. وتسمح المادة المغناطيسية الموجودة على الشريط البلاستيكي للمناطق المغناطيسية بالمحافظة على ترتيبها، إلى أن يتم تطبيق مجال مغناطيسي قوي يكفي لتغييرها مرة أخرى. وعند تشغيل الشريط وإعادة قراءته تنتج إشارة بواسطة التيارات المتولّدة عند مرور رأس التسجيل فوق الجسيمات المغناطيسية على الشريط، وترسل هذه الإشارة إلى مضخم وإلى زوج من

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مكبرات الصوت أو سماعات الأذن. وعند استعمال شريط مسجّل عليه سابقًا لتسجيل أصوات جديدة ينتج رأس المسح مجالاً مغناطيسياً متناوبًا بصورة سريعة يعمل على بعثرة اتجاهات المناطق المغناطيسية على الشريط.

التاريخ المغناطيسي للأرض تسجل الصخور التي تحتوي على الحديد تاريخ اختلاف اتجاهات المجال المغناطيسي الأرضي؛ فصخور قاع البحر نتجت عن اندفاع صخور منصهرة من شقوق في قاع المحيط، وعندما بردت تمغنطت في اتجاه المجال المغناطيسي الأرضي في ذلك الزمن. ونتيجة للتوسع في قاع البحر فإن الصخور الأبعد عن الشقوق تعدّ أقدم من الصخور القريبة من الشقوق. وقد تفاجأ العلماء الأوائل الذين فحصوا صخور قاع البحر عندما وجدوا أن اتجاه المغنطة في الصخور المختلفة متغير ومتنوع، وخلصوا من خلال بياناتهم إلى أن القطبين المغناطيسيين للأرض قد تبادلا موقعيهما عدة مرات على مر العصور في تاريخ الأرض. وأصل المجال المغناطيسي للأرض ومنشؤه غير مفهوم بصورة جيدة حتى الآن، كما تعدّ كيفية انعكاس اتجاه هذا المجال لغزًا حتى يومنا هذا.

6–1 مراجعة

10. **المجالات المغناطيسية** هل المجال المغناطيسي حقيقي أم مجرد وسيلة من النمذجة العلمية؟
11. **القوى المغناطيسية** اذكر بعض القوى المغناطيسية الموجودة حولك. كيف يمكنك عرض تأثيرات هذه القوى؟
12. **اتجاه المجال المغناطيسي** صف قاعدة اليد اليمنى المستخدمة لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي حول سلك مستقيم يمر فيه تيار كهربائي.
13. **المغانط الكهربائية** وضعت قطعة زجاج رقيقة وشفافة فوق مغناطيس كهربائي نشط، ورش فوقها برادة الحديد فترتبت بنمط معين. إذا أعيدت التجربة بعد عكس قطبية مصدر الجهد فما الاختلافات التي ستلاحظها؟ وضّح إجابتك.
14. **التفكير الناقد** تخيل لعبة داخلها قضيبان فلزيان متوازيان وضعا بصورة أفقية أحدهما فوق الآخر، وكان القضيب العلوي حر الحركة إلى أعلى وإلى أسفل.
    a. إذا كان القضيب العلوي يطفو فوق السفلي، وعكس اتجاهه فإنه يسقط نحو القضيب السفلي. وضّح لماذا قد يسلك القضيبان هذا السلوك؟
    b. افترض أن القضيب العلوي قد فُقد وحل محله قضيب آخر. في هذه الحالة يسقط القضيب العلوي نحو القضيب السفلي مهما كان اتجاهه. فما نوع القضيب الذي استعمل؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

6–2 القوى الناتجة عن المجالات المغناطيسية
Forces Caused by Magnetic Fields

الأهداف

- **تربط** بين اتجاه القوى المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار كهربائي والمجال المغناطيسي الموضوع فيه.
- **تحلّ** مسائل على القوة التي يؤثر بها مجال مغناطيسي في أسلاك يسري فيها تيارات كهربائية أو في جسيمات مشحونة متحركة في مجال مغناطيسي.
- **تصف** تصميم المحرك الكهربائي ومبدأ عمله.

المفردات

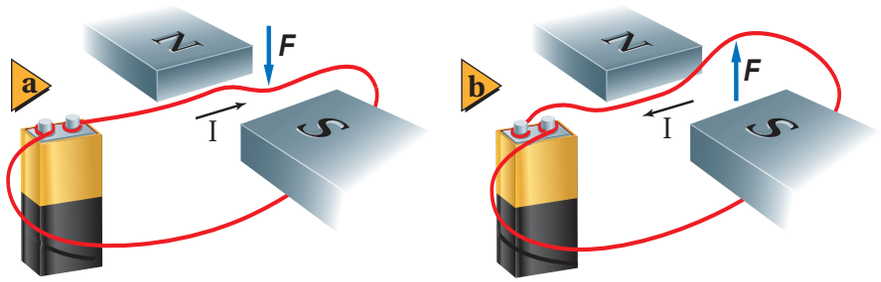
القاعدة الثالثة لليد اليمنى
الجلفانومتر
المحرك الكهربائي
الملف ذو القلب الحديدي

بينما كان أمبير يدرس سلوك المغانط لاحظ أن التيار الكهربائي يولد مجالاً مغناطيسيًّا مشابهًا للمجال المغناطيسي الناتج عن مغناطيس دائم. ولأن المجال المغناطيسي يؤثر بقوة في المغانط الدائمة فقد افترض أمبير أنه توجد قوة تؤثر في السلك الذي يسري فيه تيار عند وضعه في المجال المغناطيسي.

القوى المؤثرة في التيارات الكهربائية المارة في مجالات مغناطيسية
Forces on Currents in Magnetic Fields

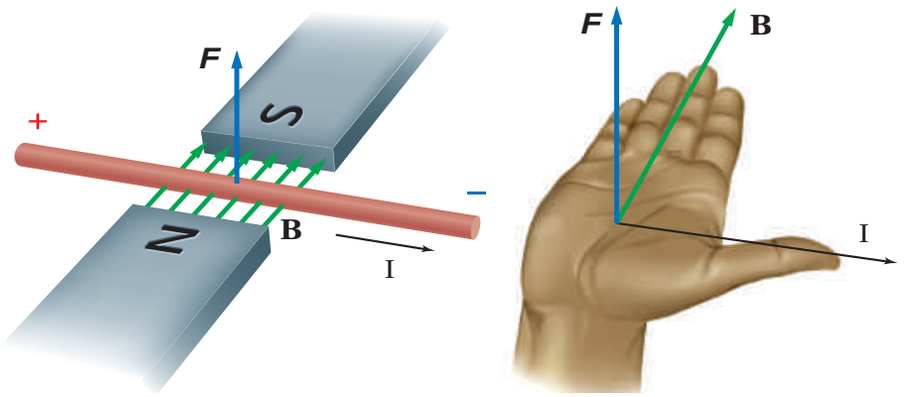
يمكن توضيح القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار وضع في مجال مغناطيسي باستعمال الأدوات الموضّحة في **الشكل 15–6**. فالبطارية تولّد تيارًا كهربائيًّا يسري في السلك الموضوع بين قضيبين مغناطيسيين. تذكر أن اتجاه المجال المغناطيسي بين المغناطيسين يكون من القطب الشمالي لأحدهما إلى القطب الجنوبي للآخر. وعندما يسري تيار كهربائي في السلك تتولد قوة مغناطيسية تؤثر فيه، ويكون اتجاه تلك القوة نحو الأسفل، كما هو موضّح في **الشكل 15a–6**، أو نحو الأعلى، كما في **الشكل 15b–6**، وذلك يعتمد على اتجاه التيار المار في السلك. اكتشف مايكل فاراداي أن القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك تكون عمودية على اتجاه كل من التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي.

تحديد اتجاه القوة لم يكن وصف فاراداي لاتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك الذي يسري فيه تيار وصفا كافيًا؛ لأن القوة قد تكون إلى أعلى أو إلى أسفل. ويمكن تحديد اتجاه



الشكل 15–6 تتأثر الأسلاك التي يسري فيها تيارات كهربائية بقوى عند وضعها في مجالات مغناطيسية. وفي هذه الحالة يمكن أن تكون القوة إلى أسفل (**a**) أو إلى أعلى (**b**)، وهذا يعتمد على اتجاه التيار الكهربائي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

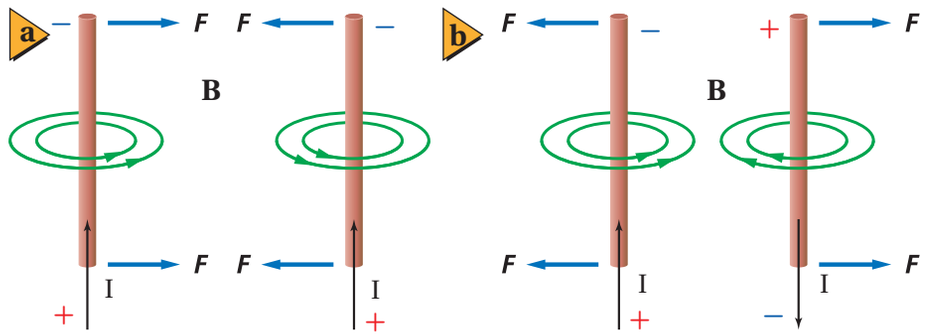


الشكل 16–6 يمكن استعمال القاعدة الثالثة لليد اليمنى لتحديد اتجاه القوة عند معرفة اتجاه كل من التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي.

القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار وموضوع في مجال مغناطيسي باستخدام **القاعدة الثالثة لليد اليمنى**، الموضّحة في **الشكل 16–6**؛ حيث يمثِّل الرمز **B** المجال المغناطيسي، ويحدّد اتجاهه بواسطة مجموعة أسهم. ولاستخدام القاعدة الثالثة لليد اليمنى اجعل أصابع يدك اليمنى في اتجاه المجال المغناطيسي، واجعل إبهامك يشير إلى اتجاه التيار الاصطلاحي في السلك، فيكون اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك في اتجاه العمودي على باطن الكف نحو الخارج. ولرسم الأسهم المتجهة إلى داخل الورقة أو خارجها يستخدم الرمز (×) للإشارة إلى أن السهم داخل في الورقة، والرمز (●) للإشارة إلى أنه خارج من الورقة.

بعد فترة وجيزة من إعلان أورستد عن اكتشافه الذي ينص على أن اتجاه المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور التيار في سلك يكون متعامدًا مع اتجاه سريان التيار فيه، استطاع أمبير أن يبين أن الأسلاك التي يسري فيها تيارات كهربائية يؤثر بعضها في بعض بقوى. يوضّح **الشكل 6–17a** اتجاه المجال المغناطيسي حول كلٍّ من السلكين، حيث يحدّد هذا الاتجاه بالقاعدة الأولى لليد اليمنى. وبتطبيق القاعدة الثالثة لليد اليمنى على كلٍّ من السلكين يمكن أن تتبين لماذا يجذب السلكان كل منهما الآخر. ويبين **الشكل 6–17b** الحالة المعاكسة؛ فعندما يكون التياران في اتجاهين متعاكسين تنشأ قوة تنافر بينهما.

القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي في سلك يمكن تحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار عند وضعه عموديًّا على مجال مغناطيسي؛ حيث دلت التجارب على



الشكل 6–17 يتجاذب الموصلان عندما يسري التياران فيهما في الاتجاه نفسه (a)، ويتنافران عندما يسري التياران فيهما في اتجاهين متعاكسين (b).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

أن مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك F تتناسب طرديا مع كل من مقدار المجال المغناطيسي B، ومقدار التيار I، وطول السلك L الموضوع داخل المجال المغناطيسي. وتكون العلاقة بين هذه المتغيرات الأربعة على النحو الآتي:

القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار كهربائي موضوع في مجال مغناطيسي

$$F = ILB (\sin \theta)$$

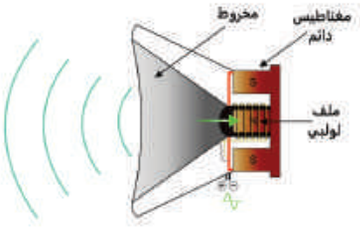
تساوي حاصل ضرب شدة المجال المغناطيسي في مقدار التيار وطول السلك.

يُقاس مقدار المجال المغناطيسي B بوحدة تسلا T؛ وهي تساوي 1 N /A.m.

لاحظ أنه إذا كان المجال المغناطيسي غير متعامد مع السلك فستظهر المركبة العمودية للمجال المغناطيسي في المعادلة السابقة لتصبح كما يأتي: $F=ILB \sin \theta$. فإذا أصبح السلك موازيًا للمجال المغناطيسي تصبح $\theta = 0^\circ$، وستؤول القوة إلى الصفر. أما عندما تكون الزاوية $\theta=90^\circ$ فستصبح المعادلة مرة أخرى على الصورة الآتية: $F=ILB$.

مُكبِّرات الصوت Loudspeakers

تعد مكبرات الصوت إحدى التطبيقات العملية على القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار كهربائي موضوع في مجال مغناطيسي. تعمل السماعة على تحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة صوتية باستخدام ملف من سلك رفيع مثبت على مخروط ورقي، وهذا المخروط موضوع في مجال مغناطيسي. يرسل المضخم الذي يشغل السماعة تيارًا كهربائيًا خلال الملف كما هو موضح في **الشكل 18–6**، ويتغير اتجاه هذا التيار بين 20 و 20000 مرة في الثانية، وذلك وفقًا لحدة الصوت التي يمثلها. وعندها يتأثر الملف الخفيف بقوة تدفعه نحو الداخل أو الخارج؛ لأنه موجود في مجال مغناطيسي، وذلك اعتمادًا على اتجاه التيار المرسل من المضخم. وحركة الملف هذه تجعل المخروط الورقي يهتز محدثًا موجات صوتية في الهواء.



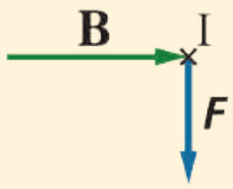
الشكل 18–6 تعمل السماعة على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة صوتية.

مثـــال 1

حساب شدة المجال المغناطيسي يسري تيار كهربائي مقداره 5.0 A في سلك مستقيم موضوع عموديًّا على مجال مغناطيسي منتظم، فإذا كانت القوة المغناطيسية المؤثرة في جزء طوله 0.10 m من السلك تساوي 0.20 N فاحسب شدة المجال المغناطيسي B.

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم رسمًا تخطيطيًّا للسلك، مبينًا اتجاه التيار الكهربائي بواسطة سهم، وارسم خطوط المجال المغناطيسي B والقوة المؤثرة في السلك F.
- حدّد اتجاه القوة المؤثرة في السلك باستخدام القاعدة الثالثة لليد اليمنى. واعلم أن السلك والمجال والقوة جميعها متعامدة بعضها على بعض.



المعلوم		المجهول
$L = 0.10$ m	$I = 5.0$ A	B=?
	$F = 0.20$ N	

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

2 إيجاد الكمية المجهولة

دليل الرياضيات
إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

إن المجال المغناطيسي B منتظم، ولأن I وB متعامدان

$$F = ILB$$

$$B = \frac{F}{IL}$$

بالتعويض $F = 0.20\ N$ ، $I = 5.0\ A$ ، $L = 0.10\ m$

$$B = \frac{0.20\ N}{(5.0\ A)(0.10\ m)}$$

$$= 0.40\ N/A.m$$

$$= 0.40\ T$$

B تساوي 0.40 T من اليسار إلى اليمين عموديًا على كل من F وI

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** نعم، المجال مقيس بوحدة تسلا T، وهي الوحدة الصحيحة للمجال المغناطيسي.
- **هل الجواب منطقي؟** نعم، مقدار التيار والطول يجعلان مقدار المجال المغناطيسي كبيرًا، وهذا منطقي.

مسائل تدريبية

15. ما اسم القاعدة المستخدمة لتحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار كهربائي متعامد مع المجال المغناطيسي؟ حدّد ما يجب معرفته لاستخدام هذه القاعدة.

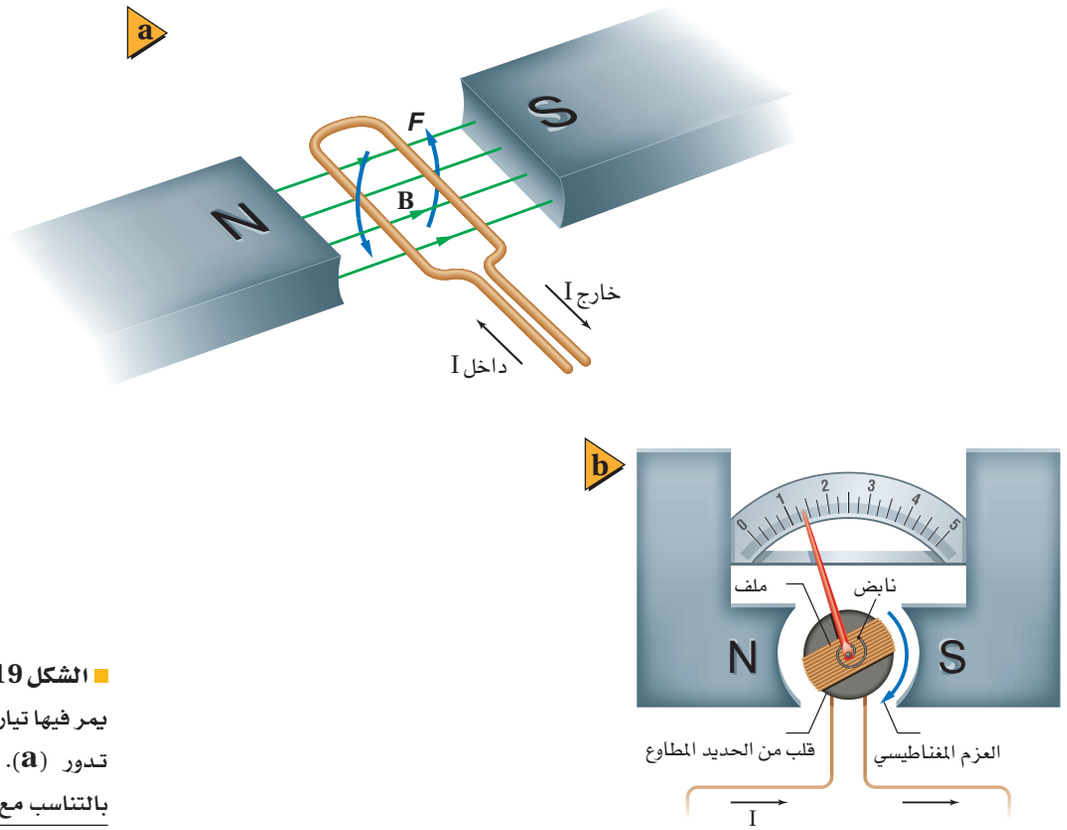
16. يسري تيار مقداره 8.0 A في سلك طوله 0.50 m، موضوع عموديًّا في مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.40 T. ما مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك؟

17. سلك طوله 75 cm يسري فيه تيار مقداره 6.0 A موضوع عموديًّا في مجال مغناطيسي منتظم، فتأثر بقوة مغناطيسية مقدارها 0.60 N. ما مقدار المجال المغناطيسي المؤثر؟

18. سلك نحاسي طوله 40.0 cm، ووزنه 0.35 N. فإذا كان السلك يمر فيه تيار مقداره 6.0 A فما مقدار المجال المغناطيسي الذي يجب أن يؤثر فيه رأسيًّا بحيث يكون كافيًا لموازنة قوة الجاذبية المؤثرة في السلك (وزن السلك)؟

19. ما مقدار التيار الذي يجب أن يسري في سلك طوله 10.0 cm وموضوع عموديًّا في مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.49 T ليتأثر بقوة مغناطيسية مقدارها 0.38 N؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



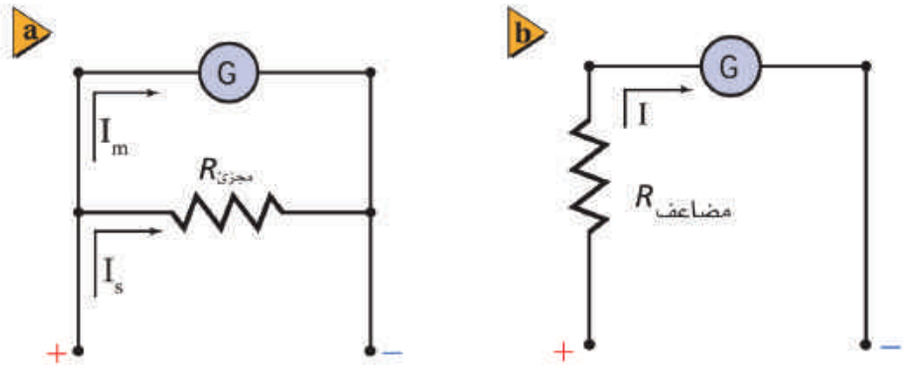
الشكل 19–6 إذا وضعت حلقة سلكية يمر فيها تيار في مجال مغناطيسي فسوف تدور (**a**). يدور ملف الجلفانومتر بالتناسب مع مقدار التيار (**b**).

الجلفانومترات Galvanometers

يمكن استخدام القوة المؤثرة في حلقة سلكية موضوعة في مجال مغناطيسي لقياس شدة التيار. فإذا وضعت حلقة سلكية صغيرة يسري فيها تيار كهربائي في مجال مغناطيسي قوي لمغناطيس دائم، كما في **الشكل 19a–6** فإنه يمكن استخدام دورانها لقياس تيارات كهربائية صغيرة جدًّا، حيث يدخل التيار المار خلال الحلقة من أحد طرفيها، ويخرج من طرفها الآخر. وبتطبيق القاعدة الثالثة لليد اليمنى على جانبي الحلقة ستلاحظ أن أحد جانبيها يتأثر بقوة إلى أعلى، بينما يتأثر الجانب الآخر بقوة إلى أسفل. لذا ستعمل محصلة العزم على تدوير الحلقة؛ حيث يتناسب العزم المؤثر في الحلقة طرديًّا مع مقدار التيار. وهذا هو المبدأ المستخدم في الجلفانومتر. و**الجلفانومتر** جهاز يستخدم لقياس التيارات الكهربائية الصغيرة جدًّا، ويمكن تحويله إلى أميتر أو فولتمتر.

يؤثر النابض الصغير في الجلفانومتر بعزم في اتجاه معاكس لاتجاه العزم الناتج عن سريان التيار في الحلقة السلكية، لذا فإن مقدار دورانها يتناسب طرديًّا مع التيار. يُدرّج الجلفانومتر ويعاير بمعرفة مقدار الدوران عند مرور تيار معلوم فيه، كما هو موضّح في **الشكل 19b–6**. ويمكن بعد ذلك استخدام الجلفانومتر لقياس تيارات صغيرة غير معلومة.

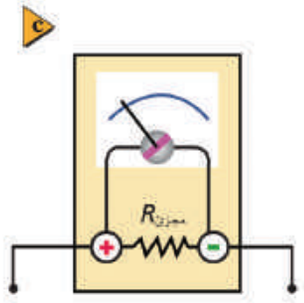
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



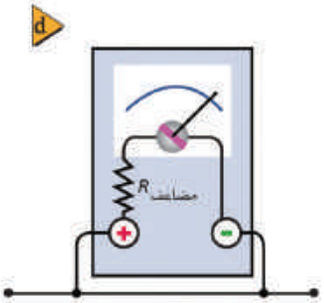
الشكل 20–6 تم توصيل الجلفانومتر بهذه الطريقة لاستخدامه كأميتر (**a**)، وتم توصيل الجلفانومتر بهذه الطريقة لاستخدامه كفولتمتر (**b**)، يوصل الأميتر في الدائرة على التوالي (**c**)، يوصل الفولتميتر في الدائره على التوازي(**d**).

تنحرف مؤشرات العديد من الجلفانومترات إلى أقصى تدريج عند مرور تيارات صغيرة مثل $50\ \mu A (50 \times 10^{-6}\ A)$. ومقاومة ملف الجلفانومتر الحساس تساوي $1000\ \Omega$ تقريبًا.

الأميتر ولقياس تيارات أكبر يمكن تحويل الجلفانومتر إلى أميتر بتوصيل مقاومة صغيرة جدا على التوازي مع الجلفانومتر كما في **الشكل 20a–6**. لتصبح المقاومة الكلية للأميتر صغيرة جدا ولا تؤثر على مرور التيار عند توصيل الأميتر في الدائرة على التوالي كما في **الشكل 20c–6**. وبهذا يمر معظم التيار I_s خلال المقاومة التي تسمّى مجزئ التيار؛ لأن مرور التيار يتناسب عكسيًّا مع المقاومة، في حين يمر تيار I_m صغير (بضعة ميكروأمبيرات) في الجلفانومتر. ويمكن اختيار مقاومة مجزئ التيار وفق تدريج الانحراف المطلوب.

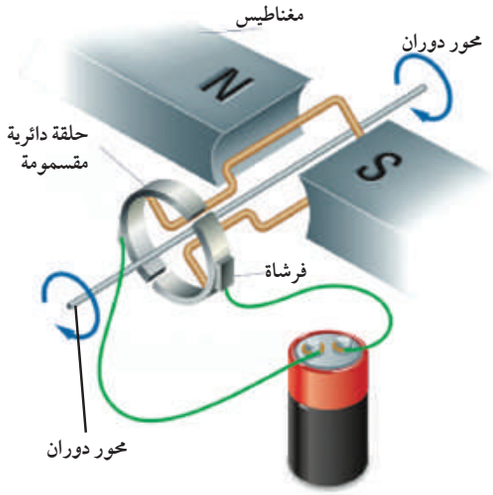


الفولتميتر ويمكن تحويل الجلفانومتر إلى فولتمتر بتوصيله بمقاومة كبيرة على التوالي يسمى مجزئ الجهد (المضاعف)، كما في **الشكل 20b–6**. حيث يقيس الجلفانومتر التيار المار في المقاومة الكبيرة الذي تمت إضافته. لتصبح المقاومة الكلية للفولتميتر كبيرة جدا ولا تؤثر على مرور التيار عند توصيل الفولتميتر في الدائرة على التوازي كما في **الشكل 20d–6**. ويحسب التيار بالعلاقة $I=V/R$؛ حيث V فرق الجهد الكهربائي خلال الفولتمتر، بينما R المقاومة الكلية للجلفانومتر وللمقاومة التي أضيفت. افترض الآن أنك تريد جعل مؤشر الفولتمتر ينحرف إلى أقصى تدريج عند تطبيق فرق جهد مقداره 10 V بين طرفيه، فعليك أن تختار مقاومة مناسبة؛ بحيث يتحقق ذلك الانحراف عندما يمر تيار في الجلفانومتر والمقاومة.



المحركات الكهربائية تَبيّن لك أن الحلقة السلكية البسيطة المستخدمة في الجلفانومتر لا يمكن أن تدور أكثر من 180°؛ حيث تدفع القوى الجانب الأيمن من الحلقة إلى أعلى، بينما تدفع جانبها الأيسر إلى أسفل، حتى تصبح الحلقة في وضع رأسي. ولن تتمكن الحلقة من الاستمرار في الدوران؛ لأن القوى تبقى إلى أعلى وإلى أسفل، أي موازية لمستوى الحلقة، فلا تعود قادرة على إحداث أي دوران فيها.

كيف يمكنك السماح للحلقة بمواصلة دورانها؟ يجب أن ينعكس اتجاه التيار المار في الحلقة عندما تصبح في وضع رأسي. وهذا الانعكاس يسمح للحلقة بمواصلة دورانها، كما هو موضّح في **الشكل 21–6**. ولعكس اتجاه التيار يجب المحافظة على استمرار التوصيلات الكهربائية بين نقطتي تلامس تُسمّيان الفرشاتين، وحلقة مقسومة إلى نصفين تسمى عاكس التيار. وتصنع الفرشاتان في العادة من الجرافيت، وتثبتان بطريقة ما بحيث يلامسان عاكس التيار



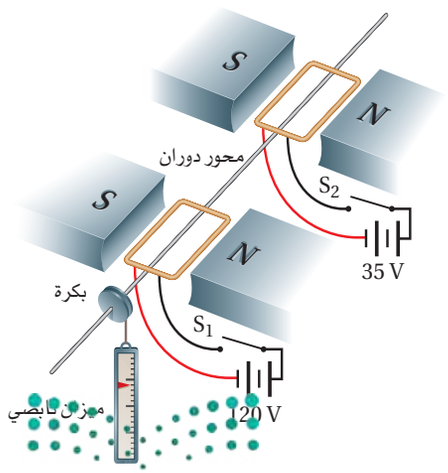
■ **الشكل 21–6** يسمح عاكس التيار (حلقة فلزية مشقوقة) في المحرك الكهربائي بتغيير اتجاه التيار المار في الحلقات السلكية، وبذلك تتمكن الحلقات في المحرك من الدوران °360.

لتسمحا للتيار بالمرور خلال الحلقة السلكية. عند دوران الحلقة السلكية يدور عاكس التيار أيضًا، ويترتب نصفا عاكس التيار بحيث تتغير الفرشاة الملامسة لكل نصف منهما عندما تصل الحلقة السلكية إلى وضعها الرأسي. ويؤدي تغير تلامس الفرشاتين إلى عكس اتجاه التيار المار في الحلقة السلكية، مما يؤدي إلى عكس اتجاه القوة المؤثر في جانبي الحلقة السلكية، فتُواصل دورانها. ويتكرر ذلك كل نصف دورة، مما يجعل الحلقة تستمر في دورانها في المجال المغناطيسي. والناتج هو **المحرك الكهربائي**، وهو جهاز يستخدم لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية دورانية.

على الرغم من أن **الشكل 21–6** محدد بحلقة سلكية واحدة إلا أن المحرك الكهربائي يتكون من لفات عديدة تثبت على محور دوران وتسمى **الملف ذا القلب الحديدي**. والقوة الكلية المؤثرة فيه تتناسب طرديًّا مع nILB؛ حيث تمثل n عدد لفات الملف، وB المجال المغناطيسي، وI التيار الكهربائي، بينما تمثل L طول السلك في كل لفة تتحرك في المجال المغناطيسي. ويتم إنتاج المجال المغناطيسي إما بمغناطيس دائم، أو بمغناطيس كهربائي. ويتم التحكم في العزم المؤثر في الملف، ومن ثم التحكم في سرعة المحرك، بتغيير التيار المار في المحرك.

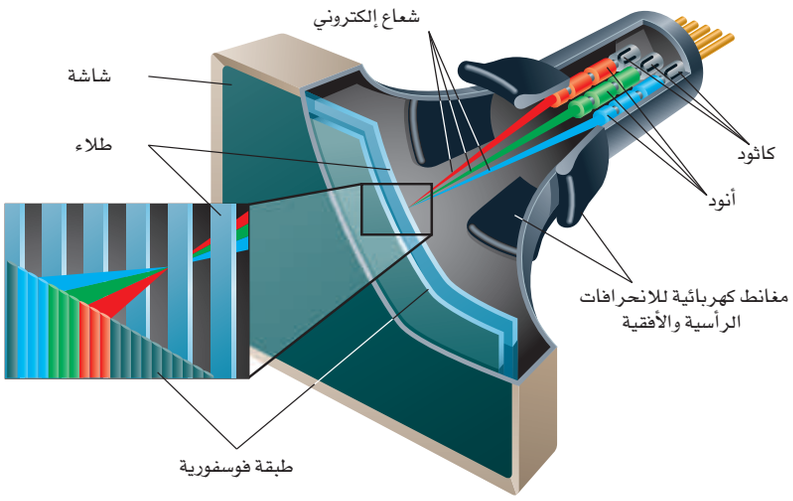
مسألة تحفيز

يبين الشكل المجاور محركين كهربائيين متماثلين مستطيلي الشكل طول كل منهما 35 cm وعرضه 17 cm، ومقاومته 12 Ω، وعدد لفاته 48 لفة، على محور دوران واحد في مجال مغناطيسي شدته 0.21 T. (لتبسيط الرسم لم يرسم عاكسَا التيار). وُصل السلك الأحمر بأقصى يسار الضلع الذي يمثل عرض الملف، ثم عاد إلى مؤخرة المحرك على الضلع الذي يمثل طول الملف. ولتعمل جاذبية الأرض على منع محور المحرك من الدوران تم تثبيت بكرة قطرها 7.2 cm على المحور، ومُرِّر عليها حبل كما في الشكل.



1. اشتق علاقة للعزم المؤثر في الملف وفق الوضع المبين باستخدام $F=ILB$.
2. أوجد مقدار العزم المؤثر في المحور عند إغلاق المفتاح S_1 وفتح المفتاح S_2، وأوجد مقدار القوة المؤثرة في الميزان النابضي.
3. أوجد مقدار العزم المؤثر في المحور عند إغلاق المفتاحين، ومقدار القوة المؤثرة في الميزان النابضي.
4. ماذا يحدث للعزم عند دوران الملف؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 22–6 تعمل أزواج من المغانط على انحراف حزمة الإلكترونات رأسيًا وأفقيًا لتشكيل صور للعرض.

القوة المؤثرة في جسيم مشحون
The Force on a Single Charged Particle

لا يقتصر وجود الجسيمات المشحونة في الأسلاك فقط، لكنها قد تتحرك في الفراغ أيضًا؛ حيث يتم إزالة جزيئات الهواء لمنع حدوث التصادمات. ففي أنبوب الأشعة المهبطية المستخدم في شاشات الحاسوب القديمة، وشاشات التلفاز القديمة يستخدم انحراف الإلكترونات بواسطة المجالات المغناطيسية لتشكيل صورة على الشاشة، كما في **الشكل 22–6**.

تعمل المجالات الكهربائية على انتزاع الإلكترونات من الذرات في القطب السالب (الكاثود)، وتعمل مجالات كهربائية أخرى على تجميع هذه الإلكترونات وتسريعها وتركيزها في حزمة ضيقة. ثم تعمل مجالات مغناطيسية على التحكم في حركة هذه الحزمة إلى الأمام وإلى الخلف، وأفقيًّا ورأسيًّا على الشاشة. وتُطلى الشاشة بطبقة فوسفورية تشع عندما تصطدم الإلكترونات بها، فتنتج الصورة.

تعتمد القوة المغناطيسية الناتجة عن المجال المغناطيسي المؤثرة في الالكترون على كل من سرعة الإلكترون، وشدة المجال المغناطيسي، والزاوية المحصورة بين متجه السرعة واتجاه المجال المغناطيسي. افترض أن إلكترونًا مفردًا يتحرك داخل سلك طوله L، وأن حركة هذا الإلكترون عمودية على اتجاه مجال مغناطيسي؛ لأن التيار I يساوي الشحنة المارة في السلك لكل وحدة زمن، فإن $I=q/t$، حيث q شحنة الإلكترون، وt الزمن الذي يحتاج إليه الإلكترون لقطع المسافة L. وحيث إن الزمن الذي يستغرقه جسيم ما لقطع مسافة مقدارها L بسرعة تساوي v يحسب من معادلة الحركة $d=vt$ أو $t=L/v$؛ حيث تعد d هي نفسها L، وبتعويض قيمة $t=L/v$ في معادلة التيار $I=q/t$، نجد أن $I=qv/L$، لذا يمكن حساب القوة المغناطيسية المؤثرة في الإلكترون المتحرك عموديا على المجال المغناطيسي B عن طريق المعادلة الآتية:

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي في جسيم مشحون متحرك $F=qvB\ (\sin\theta)$

القوة المؤثرة في جسيم مشحون متحرك عموديًّا على مجال مغناطيسي تساوي حاصل ضرب شدة المجال المغناطيسي في كل من سرعة الجسيم وشحنته.

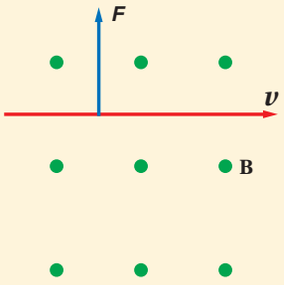
حيث شحنة الجسيم مقيسة بوحدة الكولوم C، والسرعة مقيسة بوحدة m /s، وشدة المغناطيس مقيسة بوحدة التسلا T.

ويكون اتجاه القوة دائمًا عموديًّا على كل من اتجاه سرعة الجسيم واتجاه المجال المغناطيسي. والاتجاه الذي يحدد باستخدام القاعدة الثالثة لليد اليمنى يكون خاصًّا بالجسيمات ذات الشحنة الموجبة. أما اتجاه القوة المؤثرة في الإلكترونات فيكون معاكسًا للاتجاه الناتج.

مثال 2

القوة المؤثرة في جسيم مشحون متحرك في مجال مغناطيسي تتحرك حزمة إلكترونات بسرعة 3.0×10^{6} m /s عموديًّا على مجال مغناطيسي منتظم مقداره 4.0×10^{-2} T. ما مقدار القوة المؤثرة في كل إلكترون؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم حزمة الإلكترونات واتجاه حركتها، وخطوط المجال المغناطيسي B والقوة المؤثرة في حزمة الإلكترونات F. تذكر أن اتجاه القوة سيكون معاكسًا للاتجاه الناتج بواسطة القاعدة الثالثة لليد اليمنى؛ لأن شحنة الإلكترون سالبة.

المعلوم	المجهول
$v=3.0\times10^{6}$ m/s	$F=?$
$B=4.0\times10^{-2}$ T	
$q=-1.60\times10^{-19}$ C	

2 إيجاد الكمية المجهولة

$F = qvB$

بالتعويض

$v=3.0\times10^{6}$ m/s ،$B=4.0\times10^{-2}$ T ،$q=-1.60\times10^{-19}$ C

$=(-1.60\times10^{-19}\ \text{C})(3.0\times10^{6}\ \text{m/s})(4.0\times10^{-2}\ \text{T})$

$=-1.9\times10^{-14}$ N

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** $T = N.s/(C.m)$ و $A = C/s$ و $T = N/(A.m)$
لذا فإن $T.C.m/s = N$ وهي وحدة القوة.
- **هل الاتجاه صحيح؟** استخدم القاعدة الثالثة لليد اليمنى للتأكد من أن اتجاهات القوى صحيحة. وتذكر أن القوة المؤثرة في الإلكترون تكون معاكسة للقوة الناتجة بواسطة القاعدة الثالثة لليد اليمنى.
- **هل الجواب منطقي؟** القوى المؤثرة في البروتونات والإلكترونات دائمًا تشكل جزءًا صغيرًا من النيوتن.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسائل تدريبية

20. إلى أي اتجاه يشير الإبهام عند استخدام القاعدة الثالثة لليد اليمنى لإلكترون يتحرك عموديًّا على مجال مغناطيسي؟

21. يتحرك إلكترون عموديًّا على مجال مغناطيسي شدته 0.50 T بسرعة 4.0×10^{6} m/s، ما مقدار القوة المؤثرة في الإلكترون؟

22. تتحرك حزمة من الجسيمات الثنائية التأين (فقد كل جسيم إلكترونين، لذا أصبح كل جسيم يحمل شحنتين أساسيتين) بسرعة 3.0×10^{4} m/s عموديًّا على مجال مغناطيسي شدته 9.0×10^{-2} T، ما مقدار القوة المؤثرة في كل أيون؟

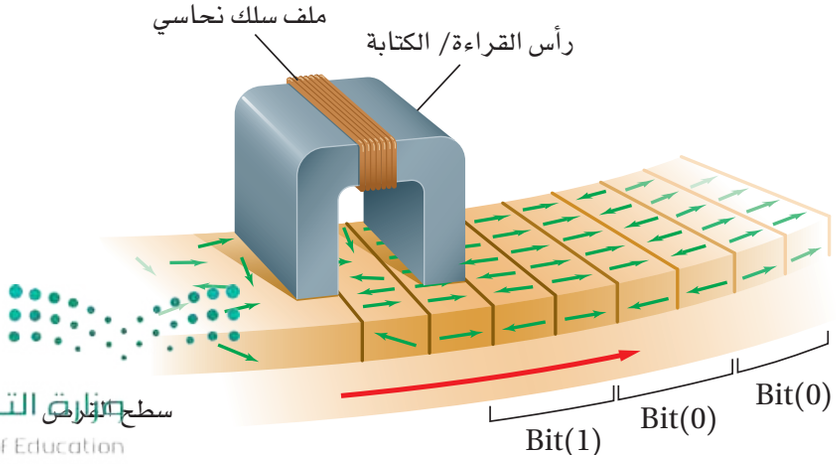
23. دخلت حزمة من الجسيمات الثلاثية التأين (يحمل كل منها ثلاث شحنات أساسية موجبة) عموديًّا على مجال مغناطيسي شدته 4.0×10^{-2} T بسرعة 9.0×10^{6} m/s. احسب مقدار القوة المؤثرة في كل أيون.

24. تتحرك ذرات هيليوم ثنائية التأين (جسيمات ألفا) بسرعة 4.0×10^{4} m/s عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 5.0×10^{-2} T، ما مقدار القوة المؤثرة في كل جسيم؟

تخزين المعلومات عن طريق الوسائط المغناطيسية
Storing Information with Magnetic Media

يتم تخزين البيانات وأوامر برمجيات أجهزة الحاسوب رقميًّا في صورة وحدات صغيرة (bits)، وكل وحدة (bit) حددت إما بـ 0 أو بـ 1. فكيف تُخزّن هذه الوحدات؟ يكون سطح قرص التخزين في الحاسوب مغطًّى بجسيمات مغناطيسية موزّعة بصورة متساوية على شريحة. ويتغير اتجاه المناطق المغناطيسية للجسيمات تبعًا للتغير في المجال المغناطيسي. وفي أثناء التسجيل على القرص يُرسل تيار كهربائي إلى رأس القراءة/ الكتابة والذي يعدّ مغناطيسًا كهربائيًّا مكونًا من سلك ملفوف على قلب حديدي، حيث يولّد التيار المار في السلك مجالاً مغناطيسيًّا في القلب الحديدي.

عندما يمر رأس القراءة/ الكتابة فوق قرص التخزين الدوّار، كما هو موضّح في **الشكل 23–6**، تترتب ذرات المناطق المغناطيسية الموجودة على الشريحة المغناطيسية في صورة حزم. وتعتمد اتجاهات المناطق المغناطيسية على اتجاه التيار.



الشكل 23–6 تكتب المعلومات على قرص الحاسوب بواسطة تغيير المجال المغناطيسي في رأس القراءة/الكتابة في أثناء مرور الوسيطة تحته. وهذا يجعل الجسيمات المغناطيسية في الوسيطة تترتب بنمط يمثل المعلومات المخزّنة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

وتمثل شـفرة كل حزمتين وحدة صغـيرة (bit) واحدة من المعلومـات. وتمثل الحزمتان المغنطتان اللتان تشـير أقطابهما إلى الاتجاه نفسـه الرمز 0. أما الحزمتان المغنطتان اللتان تشير أقطابهما إلى اتجاهين متعاكسين فتمثلان الرمز 1. وينعكس تيار التسجيل دائمًا عندما يبدأ رأس القراءة/ الكتابة بتسجيل وحدة المعلومة اللاحقة.

لاسـترجاع المعلومات لا يتم إرسـال أي تيار إلى رأس القراءة/ الكتابة، وبدلاً من ذلك تعمل الحزم المغنطة الموجودة عـلى القرص على توليد تيار في الملف بطريقة الحث عندما يـدور القرص تحت الـرأس. وتغيرات اتجاه التيار المتولد بالحث تُستشـعر بالحاسـوب باستعمال النظام الثنائي في العد (صفر، واحد).

6–2 مراجعة

25. **القـوى المغناطيسـية** تخيل أن سـلكًا يمتد شرق – غـرب متعامدًا مـع المجـال المغناطيسي الأرضي، ويسري فيه تيار إلى الشرق، فما اتجاه القوة المؤثرة في السلك؟

26. **الانحـراف** تقترب حزمـة إلكترونـات في أنبوب الأشـعة المهبطية من المغانط التي تحرفها. فإذا كان القطب الشـمالي في أعلى الأنبوب والقطب الجنوبي في أسفله، وكنت تنظر إلى الأنبوب من جهة الشاشة الفوسفورية، ففي أي اتجاه تنحرف الإلكترونات؟

27. **الجلفانومـتر** قارن بين مخطـط الجلفانومتر الموضّح في الشـكل **19-6** ومخطـط المحـرك الموضّـح في الشكل **21-6**. ما أوجه التشابه والاختلاف بينهما؟

28. **المحـركات الكهربائية** عندما يتعامد مسـتوى ملف المحرك مع المجـال المغناطيسي لا تنتج القوى عزمًا على الملف، فهل هذا يعني أن الملف لا يدور؟ وضّح إجابتك.

29. **المقاومة الكهربائية** يحتاج جلفانومتر إلى $180\ \mu A$ لكـي ينحرف مؤشره إلى أقصى تدريـج. ما مقدار المقاومـة الكلية (مقاومـة الجلفانومـتر ومقاومة المجزئ) اللازمـة للحصول عـلى فولتمتر أقصى تدريج يقيسه $5.0\ V$؟

30. **التفكـير الناقـد** كيف يمكنك معرفة أن القوتين بين سلكين متوازيين يمر فيهما تياران ناتجتان عن الجذب المغناطيـسي بينهما وليسـتا ناتجتين عـن الكهرباء السكونية؟ *تنبيه: فكر في نوع الشحنات عندما تكون القوة تجاذبًا، ثم فكر في القـوى عندما يكون هناك ثلاثة أسلاك متوازية تحمل تيارات في الاتجاه نفسه.*

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مختبر الفيزياء

صنع مغناطيس كهربائي

يستخدم المغناطيس الكهربائي المجال المغناطيسي الناتج عن التيار الكهربائي لمغنطة قطعة فلزية. ستقوم في هذه التجربة بصنع مغناطيس كهربائي، وتختبر أحد المتغيرات التي تعتقد أنها قد تؤثر في قوة المغناطيس.

سؤال التجربة

ما العوامل التي تحدّد قوة مغناطيس كهربائي؟

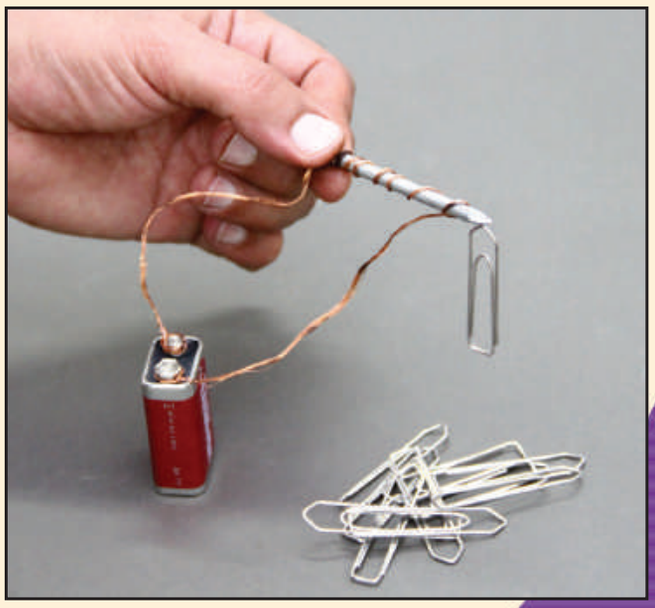
الأهداف

- **تكوِّن فرضية** لتحديد المتغيرات التي قد تؤثر في قوة المغناطيس الكهربائي.
- **تلاحظ** التأثيرات في قوة المغناطيس الكهربائي.
- **تجمع وتنظم البيانات** المتعلقة بمقارنة المتغير الذي اخترته مع قوة المغناطيس.
- **تنشئ رسومًا بيانية وتستخدمها** للمساعدة على تحديد العلاقة بين المتغير المستقل والمتغير التابع.
- **تحلل وتستنتج** تأثير المتغير الذي اخترته في قوة المغناطيس.

احتياطات السلامة

المواد والأدوات

مشابك ورق كبيرة	مشابك ورق صغيرة
قطع فولاذية صغيرة	مسمار فولاذي
سلك معزول	بطارية 6 V
بطارية 9 V	مصدر قدرة مستمر DC



الخطوات

1. أعدّ قائمة بالمواد التي ستستخدمها في صنع المغناطيس الكهربائي.
2. أعدّ قائمة بجميع المتغيرات المحتملة التي تعتقد أنها يمكن أن تؤثر في قوة المغناطيس الكهربائي.
3. اختر أحد المتغيرات، واعمل على تغييره لتحديد تأثيره في قوة المغناطيس الكهربائي.
4. حدّد الطريقة التي تختبر بها شدة المجال المغناطيسي الناتج عن المغناطيس الكهربائي.
5. أطلع المعلم على القوائم التي أعددتها، واحصل على موافقته قبل متابعة العمل.
6. اكتب ملخصًا يوضح خطوات تجربتك. وتأكد من تضمين جميع القيم للمتغيرات التي ستجعلها ثابتة.
7. أنشئ جدول بيانات مماثلًا للجدول في الصفحة التالية، والذي يبين الكميتين اللتين ستقيسهما.
8. ركّب المغناطيس الكهربائي باستخدام المسمار وجزء من السلك، بلف السلك حول المسمار. وتأكد من ترك بضعة سنتمترات من السلك خارجة من الملف لتصله بالبطارية (مصدر القدرة). ***تحذير: قد يكون طرف المسمار أو السلك حادًّا. لذا كن حذرًا عند استعمال هذه المواد لتجنب حدوث جروح.***
9. اطلب إلى معلمك أن يتفحص مغناطيسك قبل المتابعة.
10. نفذ تجربتك ودوّن بياناتك. ***تحذير: إذا استعملت قطع الفولاذ الصغيرة فتجنب الإصابة بالجروح عند التقاط القطع في أثناء سقوطها على الأرض.***

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

جدول البيانات	
عدد.....	عدد.....

التحليل

1. **أنشئ الرسوم البيانية واستخدمها** ارسم رسمًا بيانيًّا يوضّح العلاقة بين متغيرين في تجربتك.
2. ما المتغيرات التي تحاول التحكم فيها في هذه التجربة؟ وهل هناك متغيرات لا تستطيع التحكم فيها؟
3. إذا قدّرت قوة المغناطيس الكهربائي بكمية المادة التي يستطيع التقاطها فكيف تحاول السيطرة على أي خطأ ناتج عن جذب المغناطيس لعدد صحيح من القطع؟

الاستنتاج والتطبيق

1. ما العلاقة بين المتغير الذي اخترته وقوة المغناطيس؟
2. ما المتغيرات الأخرى التي وجدها طلاب آخرون في الصف وتؤثر أيضًا في قوة المغناطيس الكهربائي؟
3. هل وجدت أي متغيرات، في أي مجموعة، لا تؤثر في قوة المغناطيس الكهربائي؟

التوسع في البحث

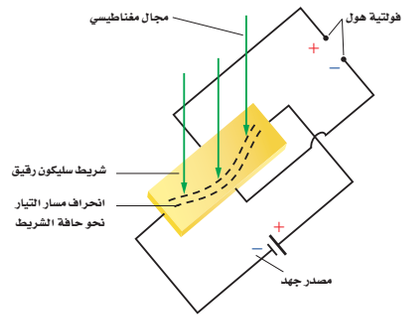
1. قارن بين المتغيرات المختلفة التي وجد الطلاب أنها تؤثر في قوة المغناطيس، وهل تُظهر أي من المتغيرات أنها تُحدث زيادة كبيرة في القوة المغناطيسية دون إحداث تغيير كبير في المتغير المستقل؟ وإذا كان كذلك فما هذه المتغيرات؟
2. إذا أردت زيادة قوة المغناطيس فأي الطرائق تبدو أكثر فاعلية مقارنة بالتكلفة؟ وضّح إجابتك.
3. إذا أردت تغيير قوة المغناطيس الكهربائي بسهولة فما اقتراحك لذلك؟

الفيزياء في الحياة

1. إذا أردت الحصول على مغناطيس كهربائي قوي لاستخدامه في حيز صغير، داخل حاسوب شخصي مثلاً، فما الطريقة التي يمكن من خلالها زيادة قوة المغناطيس الكهربائي خلال هذا الحيز الصغير؟
2. تحوي بعض البنايات مغانط كهربائية معلقة على الجدران تعمل على جعل أبواب الطوارئ مفتوحة عندما تكون البناية مأهولة بالسكان، وهي تشبه الأدوات التي توضع خلف الأبواب للتحكم في فتحها أو إغلاقها.
بالتفكير في نظام إنذار الحريق والإجراءات التي يحتاج إليها للسيطرة على الحريق، ما الفائدة من استخدام مثل هذا النظام في جعل الأبواب مفتوحة؟ وكيف يمكن لهذا النظام أن يكون ميزة جيدة أو سيئة في حالة حدوث كارثة طبيعية؟
3. تعمل بعض الأجراس الكهربائية عن طريق ضرب جانب جرس فلزي على شكل قبة بذراع فلزي. كيف يعمل المغناطيس الكهربائي في هذا الجرس؟ وكيف يمكن توصيل الجرس بطريقة تسمح للذراع بضرب الجرس باستمرار إلى أن ينقطع التيار الكهربائي؟

تأثير هول The Hall Effect

بعض الأشياء البسيطة ومنها انحراف الجسيمات المشحونة بواسطة المجالات المغناطيسية قادت إلى ثورة في كيفية قياس حركة الأشياء، ومنها دواليب الدراجة الهوائية، وحركة عمود الكرنك في السيارة؛ فجميعها تبدأ عند مرور تيار كهربائي خلال موصل عريض ومسطح في وجود مجال مغناطيسي.



يؤدي المجال المغناطيسي إلى مزيد من انحراف الإلكترونات نحو حافة الشريط الرقيق. وهذا يولد ما يسمى فولتية هول.

تكون خطوط القوى للمجال المغناطيسي متعامدة مع سطح الشريط العريض، وهذا يجعل الإلكترونات المتدفقة تتركّز عند جانب واحد من الشريط. وهذا يؤدي إلى أن تنتج فولتية بين طرفي عرض الشريط تسمى فولتية هول، يعتمد مقدارها على شدة المجال المغناطيسي.

اكتشف العالم إدوين هول هذا التأثير عام 1879م. وفي الآونة الأخيرة فقط اكتشفت الأهمية العلمية والصناعية لهذه الظاهرة؛ لأن فولتية هول في الأشرطة الفلزية التقليدية كانت صغيرة. أما الآن فالطبقات الرقيقة جدًّا من السليكون شبه الموصل تنتج فولتية هول كبيرة ولا يستهان بها.

يمكن استخدام تأثير هول للكشف عن موصلية أنواع مختلفة من المواد؛ حيث تزوِّدنا إشارة فولتية تأثير هول بمعلومات عن إشارة الشحنة المتحركة، ويزوِّدنا مقدار الفولتية بمعلومات عن مقدار كثافة الشحنة وسرعتها.

مجس مفيد طوّر المهندسون مجسًّا يعمل وفق تأثير هول. وتحتوي هذه الأجهزة الصغيرة البلاستيكية والسوداء على طبقة رقيقة من السليكون مع أسلاك موصولة بها، كما في الرسم التخطيطي. وترتبط أسلاك فولتية هول بمضخم صغير بحيث يمكن لأجهزة أخرى أن تكتشفها وتستشعرها.

إذا تحرك مغناطيس دائم بالقرب من المجس الذي يعمل وفق تأثير هول فسوف تزداد الفولتية الخارجة من المضخم، لذا يمكن استخدام هذا المجس للكشف عن مدى قرب المغناطيس.

يستخدم المجس الذي يعمل وفق تأثير هول في مقياس سرعة الدراجة الهوائية لقياس سرعتها.

تطبيقات يومية يستخدم مقياس السرعة في الدراجة الهوائية مغناطيسًا دائمًا يُربط مع الدولاب الأمامي. وفي كل دورة للدولاب يقترب المغناطيس من المجس. وتحصى النبضات الناتجة، كما يتم حساب زمنها. وتُستخدم هذه المجسات أيضًا في توقيت إنتاج الشرارة في محركات السيارات؛ فعندما يتحرك المغناطيس المثبت على عمود الكرنك بالقرب من المجس تنتج نبضة جهد، فيطلق نظام الإشعال فورًا شرارة الاشتعال.

التوسع

1. **حلل** لماذا يوضع قطبا فولتية هول بحيث يكونان متقابلين؟ وماذا يحدث إذا لم يوضعا كذلك؟
2. **التفكير الناقد** هل يمكن لمجال مغناطيسي قوي يؤثر في شريط فلزي موصل أن يغير من مقاومة ذلك الشريط بسبب تأثير هول؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 6
دليل مراجعة الفصل

6–1 المغانط: الدائمة والمؤقتة Magnets: Permanent and Temporary

المفردات
- المستقطب
- المجال المغناطيسي
- التدفق المغناطيسي
- القاعدة الأولى لليد اليمنى
- الملف اللولبي
- المغناطيس الكهربائي
- القاعدة الثانية لليد اليمنى
- المنطقة المغناطيسية

المفاهيم الرئيسة
- الأقطاب المغناطيسية المتشابهة تتنافر، والأقطاب المغناطيسية المختلفة تتجاذب.
- تخرج المجالات المغناطيسية من القطب الشمالي للمغناطيس وتدخل في قطبه الجنوبي.
- تشكل خطوط المجال المغناطيسي دائمًا حلقات مقفلة.
- يوجد مجال مغناطيسي حول أي سلك يسري فيه تيار كهربائي.
- للملف اللولبي الذي يسري فيه تيار كهربائي مجال مغناطيسي، وهذا المجال يشبه المجال المغناطيسي للمغناطيس الدائم.

6–2 القوى الناتجة عن المجالات المغناطيسية Forces Caused by Magnetic Fields

المفردات
- القاعدة الثالثة لليد اليمنى
- الجلفانومتر
- المحرك الكهربائي
- ملف ذو قلب حديدي

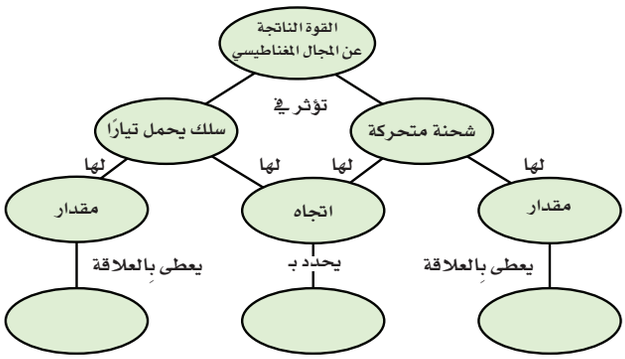
المفاهيم الرئيسة
- تقاس شدة المجال المغناطيسي بوحدة التسلا.
- عند وضع سلك يسري فيه تيار في مجال مغناطيسي فإنه يتأثر بقوة عمودية على اتجاه كل من المجال والسلك.
- القوة المؤثرة في سلك يسري فيه تيار موضوع في مجال مغناطيسي تتناسب طرديًّا مع كل من مقدار التيار المار في السلك وطوله وشدة المجال المغناطيسي. $F = ILB$
- يستخدم الجلفانومتر في قياس التيارات الصغيرة، ويحتوي على ملف موضوع في مجال مغناطيسي، وعند مرور تيار كهربائي في الملف يتأثر الملف بقوة تعمل على انحرافه.
- يمكن تحويل الجلفانومتر إلى أميتر بتوصيل ملفه مع مقاومة تسمى مجزئ التيار على التوازي.
- يمكن تحويل الجلفانومتر إلى فولتمتر بتوصيل ملفه مع مقاومة تسمى المضاعف على التوالي.
- يعمل مكبر الصوت أو السماعة عن طريق تغيير التيار المار في ملف موضوع في مجال مغناطيسي. ويتصل الملف بمخروط ورقي يتحرك عندما يتحرك الملف. وعندما يتغير التيار يهتز المخروط محدثًا صوتًا.
- يحتوي المحرك الكهربائي على ملف سلكي موضوع في مجال مغناطيسي، وعندما يمر تيار كهربائي في هذا الملف يدور بتأثير القوة المغناطيسية المؤثرة فيه. ولإكمال دورة كاملة $360°$ يستخدم عاكس يغيّر اتجاه التيار في الملف كل نصف دورة في أثناء دورانه.
- تعتمد القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي في جسيم مشحون على ثلاثة عوامل: سرعة الجسيم وشحنته ومقدار المجال المغناطيسي. ويكون اتجاه القوة متعامدًا مع كل من اتجاه المجال وسرعة الجسيم. $F = qvB$
- في شاشات الحاسوب والتلفاز تستخدم المغانط في توجيه وتركيز الجسيمات المشحونة على شاشات مفسفرة؛ حيث ينبعث ضوء عند اصطدام تلك الجسيمات بالشاشة، فتتكون الصورة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 6
التقويم

خريطة المفاهيم

31. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التالية: قاعدة اليد اليمنى، $F=qvB$، $F=ILB$.



إتقان المفاهيم

32. اكتب قاعدة التنافر والتجاذب المغناطيسي. (1 – 6)

33. صف كيف يختلف المغناطيس الدائم عن المغناطيس المؤقت. (1 – 6)

34. سمِّ العناصر المغناطيسية الثلاثة الأكثر شيوعًا. (1 – 6)

35. ارسم قضيبًا مغناطيسيًّا صغيرًا، وبيّن خطوط المجال المغناطيسي التي تظهر حوله، واستخدم الأسهم لتحديد اتجاه خطوط المجال. (1 – 6)

36. ارسم المجال المغناطيسي بين قطبين مغناطيسيين متشابهين وبين قطبين مغناطيسيين مختلفين مبينًا اتجاهات المجال. (1 – 6)

37. إذا كسرت مغناطيسًا جزأين فهل تحصل على قطبين منفصلين شمالي وجنوبي؟ وضّح إجابتك. (1 – 6)

38. صف كيفية استخدام القاعدة الأولى لليد اليمنى لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي حول سلك مستقيم يسري فيه تيار كهربائي. (1 – 6)

39. إذا مرّ تيار كهربائي في سلك على شكل حلقة يسري فيه تيار كهربائي فلماذا يكون المجال المغناطيسي داخل الحلقة أكبر من خارجها؟ (1 – 6)

40. صف كيفية استخدام القاعدة الثانية لليد اليمنى لتحديد قطبي مغناطيس كهربائي. (1 – 6)

41. كل إلكترون في قطعة حديد يشبه مغناطيسًا صغيرًا جدًّا، إلا أن قطعة الحديد قد لا تكون مغناطيسًا. لماذا؟ وضّح إجابتك. (1 – 6)

42. لماذا يضعف المغناطيس عند طرقه أو تسخينه؟ (1 – 6)

43. صف كيفية استخدام القاعدة الثالثة لليد اليمنى لتحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يسري فيه تيار موضوع في مجال مغناطيسي. (2 – 6)

44. مر تيار كهربائي كبير في سلك فجأة، ومع ذلك لم يتأثر بأي قوة، فهل تستنتج أنه لا يوجد مجال مغناطيسي في موقع السلك؟ وضّح إجابتك. (2 – 6)

45. ما جهاز القياس الكهربائي الناتج عن توصيل مجزئ تيار مع الجلفانومتر؟ (2 – 6)

تطبيق المفاهيم

46. أُخفِي مغناطيس صغير في موقع محدّد داخل كرة تنس. صف تجربة يمكنك من خلالها تحديد موقع كل من القطب الشمالي والقطب الجنوبي للمغناطيس.

47. انجذبت قطعة فلزية إلى أحد قطبي مغناطيس كبير. صف كيف يمكنك معرفة ما إذا كانت القطعة الفلزية مغناطيسًا مؤقتًا أم مغناطيسًا دائمًا؟

48. هل القوة المغناطيسية التي تؤثر بها الأرض في الإبرة المغناطيسية للبوصلة أقل أو تساوي أو أكبر من القوة التي تؤثر بها إبرة البوصلة في الأرض؟ وضّح إجابتك.

49. **البوصلة** افترض أنك تهت في غابة ولكنك تحمل بوصلة ولسوء الحظ كان اللون الأحمر المحدد للقطب الشمالي غير واضح، وكان معك مصباح يدوي وبطارية وسلك كيف يمكنك تحديد القطب الشمالي للبوصلة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 6 التقويم

50. يمكن للمغناطيس جذب قطعة حديد ليست مغناطيسًا دائمًا، كما يمكن لقضيب مطاط مشحون جذب عازل متعادل. صف العمليات المجهرية المختلفة التي تُنتج هذه الظواهر المتشابهة.

51. سلك موضوع على طول طاولة المختبر، يسري فيه تيار. صف طريقتين على الأقل يمكنك بهما تحديد اتجاه التيار المار فيه.

52. في أي اتجاه بالنسبة للمجال المغناطيسي يمكنك إمرار تيار كهربائي في سلك بحيث تكون القوة المؤثرة فيه صغيرة جدًّا أو صفرًا؟

53. سلكان متوازيان يسري فيهما تياران متساويان.

a. إذا كان التياران متعاكسين فأين يكون المجال المغناطيسي الناتج عن السلكين أكبر من المجال الناتج عن أي منهما منفردًا؟

b. أين يكون المجال المغناطيسي الناتج عن السلكين مساويًا ضعف المجال الناتج عن سلك منفرد؟

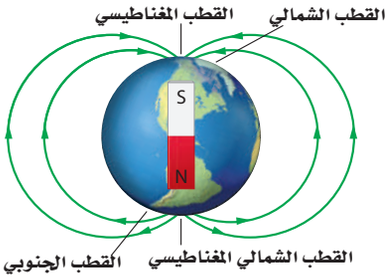
c. إذا كان التياران في الاتجاه نفسه فأين يكون المجال الكلي صفرًا؟

54. كيف يتغير أقصى تدريج للفولتمتر إذا زادت قيمة المقاومة؟

55. يمكن للمجال المغناطيسي أن يؤثر بقوة في جسيم مشحون، فهل يمكن للمجال أن يغير الطاقة الحركية للجسيم؟ وضّح إجابتك.

56. تتحرك حزمة بروتونات من الخلف إلى الأمام في غرفة، فانحرفت إلى أعلى عندما أثر فيها مجال مغناطيسي. ما اتجاه المجال المغناطيسي المسبب لانحرافها؟

57. انظر خطوط المجال المغناطيسي الأرضي الموضحة في **الشكل 24–6**. أين يكون المجال المغناطيسي أكبر: عند القطبين أم عند خط الاستواء؟ وضّح إجابتك.

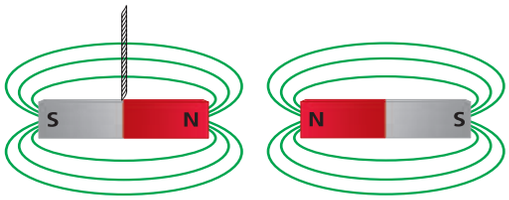


الشكل 24–6

إتقان حل المسائل

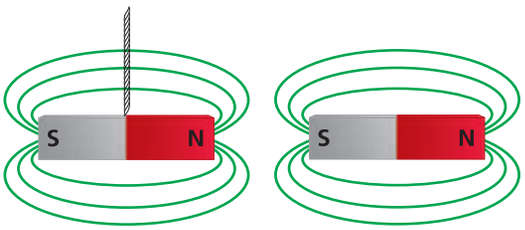
6–1 المغانط: الدائمة والمؤقتة

58. ماذا يحدث للمغناطيس المعلق بالخيط عند تقريب المغناطيس الموضّح في **الشكل 25–6** منه؟



الشكل 25–6

59. ماذا يحدث للمغناطيس المعلق بالخيط عند تقريب المغناطيس الموضّح في **الشكل 26–6** منه؟



الشكل 26–6

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

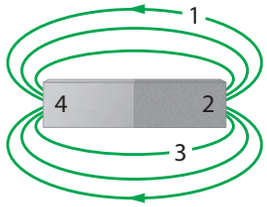
تقويم الفصل 6

60. ارجع إلى **الشكل 6–27** للإجابة عن الأسئلة الآتية:

a. أين يقع القطبان؟

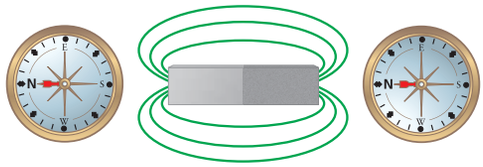
b. أين يقع القطب الشمالي؟

c. أين يقع القطب الجنوبي؟



الشكل 6–27

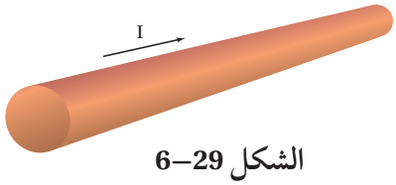
61. يمثل **الشكل 6–28** استجابة البوصلة في موقعين مختلفين بالقرب من مغناطيس. أين يقع القطب الجنوبي للمغناطيس؟



الشكل 6–28

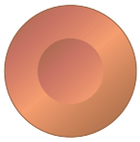
62. سلك طوله 1.50 m يسري فيه تيار مقداره 10.0 A، وضع عموديًّا في مجال مغناطيسي منتظم، فكانت القوة المؤثرة فيه 0.60 N. ما مقدار المجال المغناطيسي المؤثر؟

63. يسري تيار اصطلاحي في سلك، كما هو موضّح في **الشكل 6–29**. ارسم قطعة السلك في دفترك، ثم ارسم خطوط المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور التيار في السلك.



الشكل 6–29

64. إذا كان التيار الاصطلاحي في **الشكل 6–30** خارجًا من مستوى الورقة فارسم الشكل في دفترك، ثم ارسم المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور التيار في السلك.

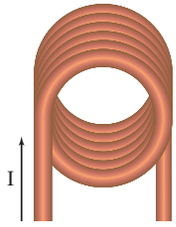


الشكل 6–30

65. يبين **الشكل 6–31** طرف مغناطيس كهربائي يسري خلاله تيار كهربائي.

a. ما اتجاه المجال المغناطيسي داخل الحلقات؟

b. ما اتجاه المجال المغناطيسي خارج الحلقات؟



الشكل 6–31

66. **المغانط الخزفية** قيست قوى التنافر بين مغناطيسين خزفيين، ووجد أنها تعتمد على المسافة، كما هو موضّح في **الجدول 1–6**.

a. مثّل بيانيًّا القوة كدالة مع المسافة.

b. هل تخضع هذه القوة لقانون التربيع العكسي؟

الجدول 1–6

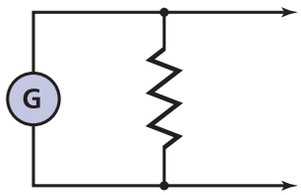
المسافة d (cm)	القوة F (N)
1.0	3.93
1.2	0.40
1.4	0.13
1.6	0.057
1.8	0.030
2.0	0.018
2.2	0.011
2.4	0.0076
2.6	0.0053
2.8	0.0038
3.0	0.0028

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 6

6–2 القوى الناتجة عن المجالات المغناطيسية

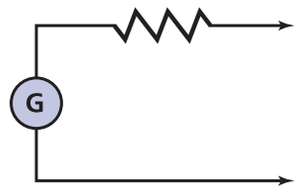
67. يستخدم المخطط الموضّح في **الشكل 6–32** لتحويل الجلفانومتر إلى نوع من الأجهزة. ما نوع هذا الجهاز؟



الشكل 6–32

68. ماذا تسمّى المقاومة في **الشكل 6–32**؟

69. يستخدم المخطط الموضّح في **الشكل 6–33** لتحويل الجلفانومتر إلى نوع من الأجهزة. ما نوع هذا الجهاز؟



الشكل 6–33

70. ماذا تسمّى المقاومة في **الشكل 6–33**؟

71. سلك طوله 0.50 m، يسري فيه تيار مقداره 8.0 A، وضع عموديًّا على مجال مغناطيسي منتظم، فكانت القوة المؤثرة فيه 0.40 N. ما مقدار المجال المغناطيسي المؤثر؟

72. يسري تيار مقداره 5.0 A في سلك طوله 0.80 m، وضع عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 0.60 T. ما مقدار القوة المؤثرة فيه؟

73. يسري تيار مقداره 6.0 A في سلك طوله 25 cm، فإذا كان السلك موضوعًا في مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.30 T عموديًّا عليه فما مقدار القوة المؤثرة فيه؟

74. يسري تيار مقداره 4.5 A في سلك طوله 35 cm، فإذا كان السلك موضوعًا في مجال مغناطيسي مقداره 0.53 T وموازيًا له فما مقدار القوة المؤثرة فيه؟

75. سلك طوله 625 m متعامد مع مجال مغناطيسي مقداره 0.40 T، تأثر بقوة مقدارها 1.8 N، ما مقدار التيار المار فيه؟

76. يؤثر المجال المغناطيسي الأرضي بقوة مقدارها 0.12 N في سلك عمودي عليه طوله 0.80 m. ما مقدار التيار المار في السلك؟ استعمل المقدار 5.0×10^{-5} T للمجال المغناطيسي للأرض.

77. إذا كانت القوة التي يؤثر بها مجال مغناطيسي مقداره 0.80 T في سلك يسري فيه تيار 7.5A متعامد معه تساوي 3.6N فما طول السلك؟

78. سلك لنقل القدرة الكهربائية يسري فيه تيار مقداره 225 A من الشرق إلى الغرب، وهو موازٍ لسطح الأرض.

a. ما القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي الأرضي في كل متر منه؟ استعمل:

$$B_{\text{أرض}} = 5.0 \times 10^{-5}\ T$$

b. ما اتجاه هذه القوة؟

c. تُرى، هل تعدّ هذه القوة مهمة في تصميم البرج الحامل للسلك؟ وضّح إجابتك.

79. **الجلفانومتر** ينحرف مؤشر الجلفانومتر إلى أقصى تدريج عندما يمر فيه تيار مقداره $50.0\ \mu A$

a. ما مقدار المقاومة الكلية للجلفانومتر ليصبح أقصى تدريج له 10.0 V عند انحرافه بالكامل؟

b. إذا كانت مقاومة الجلفانومتر 1.0 kΩ فما مقدار المقاومة الموصولة على التوالي (المضاعف)؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 6

80. استُخدم الجلفانومتر في المسألة السابقة لصنع أميتر أقصى تدريج له 10 mA، فما مقدار:

a. فرق الجهد خلال الجلفانومتر إذا مر فيه تيار 50 μA، علمًا بأن مقاومة الجلفانومتر تساوي 1.0 kΩ؟

b. المقاومة المكافئة للأميتر الناتج إذا كان التيار الذي يقيسه 10 mA؟

c. المقاومة الموصولة بالجلفانومتر على التوازي للحصول على المقاومة المكافئة الناتجة في الفرع b؟

81. تتحرك حزمة إلكترونات عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 6.0×10^{-2} T، وبسرعة 2.5×10^{6} m/s. ما مقدار القوة المؤثرة في كل إلكترون؟

82. **الجسيم الأولي** تحرك ميون (جسيم له شحنة مماثلة لشحنة الإلكترون) بسرعة 4.21×10^{7} m/s عموديًّا على مجال مغناطيسي، فتأثر بقوة 5.00×10^{-12} N، ما مقدار:

a. المجال المغناطيسي؟

b. التسارع الذي يكتسبه الجسيم إذا كانت كتلته 1.88×10^{-28} kg؟

83. إذا كانت القوة المؤثرة في جسيم أحادي التأين 4.1×10^{-13} N عندما تحرك عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 0.61 T، فما مقدار سرعة هذا الجسيم؟

84. يسري تيار كهربائي في حلقة سلكية موضوعة في مجال مغناطيسي منتظم قوي داخل غرفة. افترض أنك أدرت الحلقة بحيث لم يعد هناك أي ميل لها للدوران نتيجة للمجال المغناطيسي، فما اتجاه المجال المغناطيسي بالنسبة إلى مستوى الحلقة؟

85. أثرت قوة 5.78×10^{-16} N في جسيم مجهول الشحنة، ومتحرك بسرعة 5.65×10^{4} m/s عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 3.20×10^{-2} T، ما عدد الشحنات الأساسية التي يحملها الجسيم؟

مراجعة عامة

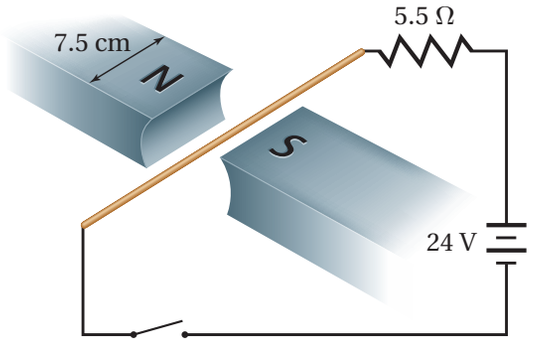
86. وضع سلك نحاسي مهمل المقاومة في الحيز بين مغناطيسين، كما في **الشكل 34–6**. فإذا كان وجود المجال المغناطيسي مقتصرًا على هذا الحيز، وكان مقداره 1.9 T فأوجد مقدار القوة المؤثرة في السلك، واتجاهها في كل من الحالات التالية:

a. عندما يكون المفتاح مفتوحًا.

b. عند إغلاق المفتاح.

c. عند إغلاق المفتاح وعكس البطارية.

d. عند إغلاق المفتاح وتبديل السلك بقطعة مختلفة مقاومتها 5.5 Ω



الشكل 34–6

87. لديك جلفانومتران، أقصى تدريج لأحدهما 50.0 μA، وللآخر 500.0 μA، ولملفيهما المقاومة نفسها 855 Ω، والمطلوب تحويلهما إلى أميترين، على أن يكون أقصى تدريج لكل منهما 100.0 mA.

a. ما مقدار مقاومة مجزئ التيار للجلفانومتر الأول؟

b. ما مقدار مقاومة مجزئ التيار للجلفانومتر الثاني؟

c. حدّد أيهما يعطي قراءات أدق؟ وضّح إجابتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 6

88. الجسيم الأولي يتحرك جسيم بيتا (إلكترون له سرعة كبيرة) عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 0.60 T بسرعة $2.5\times10^{7}\ m/s$. ما مقدار القوة المؤثرة في الجسيم؟

89. إذا كانت كتلة الإلكترون $9.11\times10^{-31}\ kg$ فما مقدار التسارع الذي يكتسبه جسيم بيتا الوارد في المسألة السابقة؟

90. يتحرك إلكترون بسرعة $8.1\times10^{5}\ m/s$ نحو الجنوب في مجال مغناطيسي مقداره 16 T نحو الغرب. ما مقدار القوة المؤثرة في الإلكترون، واتجاهها؟

91. مكبر الصوت إذا كان المجال المغناطيسي في سماعة عدد لفات ملفها 250 لفة يساوي 0.15 T، وقطر الملف 2.5 cm فما مقدار القوة المؤثرة في الملف إذا كانت مقاومته 8.0 Ω، وفرق الجهد بين طرفيه 15 V؟

92. يسري تيار مقداره 15 A في سلك طوله 25 cm موضوع في مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.85 T. فإذا كانت القوة المؤثرة في السلك تعطى بالعلاقة $F=ILB\sin\theta$ فاحسب القوة المؤثرة في السلك عندما يصنع مع المجال المغناطيسي الزوايا التالية:

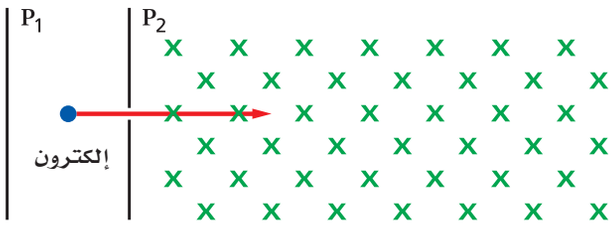
a. 90° **b.** 45° **c.** 0°

93. مسرّع نووي سُرّع إلكترون من السكون خلال فرق جهد مقداره 20000 V بين اللوحين P_1 و P_2، كما هو موضح في **الشكل 35–6**. ثم خرج من فتحة صغيرة، ودخل مجالاً مغناطيسيًّا منتظمًا مقداره B إلى داخل الصفحة.

a. حدّد اتجاه المجال الكهربائي بين اللوحين (من P_1 إلى P_2 أو العكس).

b. احسب سرعة الإلكترون عند P_2 بالاستعانة بالمعلومات المعطاة.

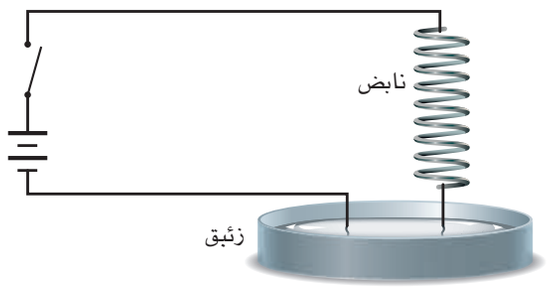
c. صف حركة الإلكترون داخل المجال المغناطيسي.



الشكل 35–6

التفكير الناقد

94. تطبيق المفاهيم ماذا يحدث إذا مر تيار خلال نابض رأسي، كما هو موضّح في **الشكل 36–6** وكانت نهاية النابض موضوعة داخل كأس مملوءة بالزئبق؟ ولماذا؟



الشكل 36–6

95. تطبيق المفاهيم يُعطى المجال المغناطيسي الناتج عن مرور تيار في سلك طويل بالعلاقة $B=(2\times10^{-7}\ T\cdot m/A)(I/d)$؛ حيث تمثل B مقدار المجال بوحدة T (تسلا)، و I التيار بوحدة A(أمبير)، و d البعد عن السلك بوحدة m. استخدم هذه العلاقة لحساب المجالات المغناطيسية التي تتعرض لها في الحياة اليومية:

a. نادرًا ما يمر في أسلاك التمديدات المنزلية تيار أكبر من 10 A. ما مقدار المجال المغناطيسي على بُعد 0.5 m من سلك مماثل لهذه الأسلاك مقارنة بالمجال المغناطيسي الأرضي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

b. يسري في أسلاك نقل القدرة الكهربائية الكبيرة غالبًا تيار 200 A بجهد أكبر من 765 kV. ما مقدار المجال المغناطيسي الناتج عن سلك من هذه الأسلاك على سطح الأرض على افتراض أنه يرتفع عن سطحها 20 m؟ وما مقدار المجال مقارنة بالمجال في المنزل؟

c. تنصح بعض المجموعات الاستهلاكية المرأة الحامل بعدم استخدام البطانية الكهربائية؛ لأن المجال المغناطيسي يسبب مشاكل صحية. قدِّر المسافة التي يمكن أن يكون فيها الجنين بعيدًا عن السلك، موضحًا فرضيتك. إذا كانت البطانية تعمل على تيار 1 A فأوجد المجال المغناطيسي عند موقع الجنين. وقارن بين هذا المجال والمجال المغناطيسي الأرضي.

96. **جمع المتجهات** في جميع الحالات الموصوفة في المسألة السابقة هناك سلك آخر يحمل التيار نفسه في الاتجاه المعاكس. أوجد المجال المغناطيسي المحصل على بُعد 0.10 m من السلك الذي يسري فيه تيار 10 A. إذا كانت المسافة بين السلكين 0.01 m فارسم شكلاً يوضّح هذا الوضع. احسب مقدار المجال المغناطيسي الناتج عن كل سلك، واستخدم القاعدة الأولى لليد اليمنى لرسم متجهات توضّح المجالات. واحسب أيضًا حاصل الجمع الاتجاهي للمجالين مقدارًا واتجاهًا.

الكتابة في الفيزياء

97. ابحث في المغانط الفائقة التوصيل، واكتب ملخصًا من صفحة واحدة للاستخدامات المحتملة لهذه المغانط. وتأكد من وصف أي عقبات تقف في طريق التطبيقات العملية لهذه المغانط.

مراجعة تراكمية

98. احسب الشغل الذي يتطلبه نقل شحنة مقدارها 6.40×10^{-3} C خلال فرق جهد مقداره 2500 V. (الفصل 3)

99. إذا تغير التيار المار في دائرة جهدها 120 V من 1.3 A إلى 2.3 A فاحسب التغير في القدرة. (الفصل 4)

100. وصلت ثلاث مقاومات مقدار كل منها 55 Ω على التوازي، ثم وصلت المقاومات السابقة على التوالي بمقاومتين تتصلان على التوالي، مقدار كل منهما 55 Ω، ما مقدار المقاومة المكافئة للمجموعة؟ (الفصل 5)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. يسري تيار مقداره 7.2 A في سلك مستقيم موضوع في مجال مغناطيسي منتظم 8.9×10^{-3} T وعمودي عليه. ما طول جزء السلك الموجود في المجال الذي يتأثر بقوة مقدارها 2.1 N؟

Ⓐ 2.6×10^{-3} m Ⓒ 1.3×10^{-1} m

Ⓑ 3.1×10^{-2} m Ⓓ 3.3×10^{1} m

2. افترض أن جزءًا طوله 19 cm من سلك يسري فيه تيار متعامد مع مجال مغناطيسي مقداره 4.1 T، ويتأثر بقوة مقدارها 7.6 mN، ما مقدار التيار المار في السلك؟

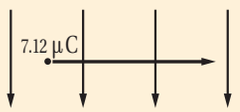
Ⓐ 3.4×10^{-7} A Ⓒ 1.0×10^{-2} A

Ⓑ 9.8×10^{-3} A Ⓓ 9.8 A

3. تتحرك شحنة مقدارها $7.12\,\mu$C بسرعة الضوء في مجال مغناطيس مقداره 4.02 mT. ما مقدار القوة المؤثرة فيها؟

Ⓐ 8.59 N Ⓒ 8.59×10^{12} N

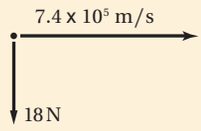
Ⓑ 2.90×10^{1} N Ⓓ 1.00×10^{16} N



4. إذا تحرك إلكترون بسرعة 7.4×10^{5} m/s عموديًّا على مجال مغناطيسي، وتأثر بقوة مقدارها 18 N فما شدة المجال المغناطيسي المؤثر؟

Ⓐ 6.5×10^{-15} T Ⓒ 1.3×10^{7} T

Ⓑ 2.4×10^{-5} T Ⓓ 1.5×10^{14} T



5. أي العوامل التالية لا يؤثر في مقدار المجال المغناطيسي لملف لولبي؟

Ⓐ عدد اللفات Ⓒ مساحة مقطع السلك

Ⓑ مقدار التيار Ⓓ نوع قلب الملف

6. أي العبارات التالية المتعلقة بالأقطاب المغناطيسية المفردة غير صحيحة؟

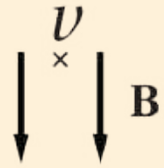
Ⓐ القطب المغناطيسي المفرد قطب افتراضي شمالي مفرد.

Ⓑ استخدمها علماء البحث في تطبيقات التشخيص الطبي الداخلي.

Ⓒ القطب المغناطيسي المفرد قطب افتراضي جنوبي مفرد.

Ⓓ غير موجودة.

7. مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.25 T يتجه رأسيًّا إلى أسفل، دخل فيه بروتون بسرعة أفقية مقدارها 4.0×10^{6} m/s. ما مقدار القوة المؤثرة في البروتون واتجاهها لحظة دخوله المجال؟



Ⓐ 1.6×10^{-13} N إلى اليسار

Ⓑ 1.6×10^{-13} N إلى أسفل

Ⓒ 1.0×10^{6} N إلى أعلى

Ⓓ 1.0×10^{6} N إلى اليمين

الأسئلة الممتدة

8. وصل سلك ببطارية جهدها 5.8 V في دائرة تحتوي على مقاومة مقدارها 18 Ω. فإذا كان 14 cm من السلك داخل مجال مغناطيسي مقداره 0.85 T، وكان مقدار القوة المؤثرة في السلك تساوي 22 mN فما مقدار الزاوية بين السلك والمجال المغناطيسي المؤثر، إذا علمت أن العلاقة الخاصة بالقوة المؤثرة في السلك هي $F=ILB\sin\theta$؟

✓ إرشاد

قراءة التوجيهات

لا يهم كم مرة أدّيت اختبارًا خاصًّا أو امتحانًا. أما الأهم فهو أن تقرأ التوجيهات أو التعليمات التي تزود بها في بداية كل جزء؛ فهي لا تستغرق سوى لحظات، إلا أنها تحُول دون ارتكاب أخطاء بسيطة قد تجعلك تؤدي الاختبار بصورة سيئة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مصادر تعليمية للطالب

- دليل الرياضيات
- الجداول
- المصطلحات

دليل الرياضيات

يمكنك الإطلاع على الدليل من خلال
زيارة الرابط التالي:

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الجداول

الوحدات الأساسية SI		
الكمية	الاسم	الرمز
الطول	meter	m
الكتلة	kilogram	kg
الزمن	second	s
درجة الحرارة	kelvin	K
مقدار المادة	mole	mol
التيار الكهربائي	ampere	A
شدة الإضاءة	candela	cd

وحدات SI المشتقة				
القياس	الوحدة	الرمز	معبرة بالوحدات الأساسية	معبرة بوحدات SI أخرى
التسارع		m/s^2	m/s^2	
المساحة		m^2	m^2	
الكثافة		kg/m^3	kg/m^3	
الشغل، الطاقة	joul	J	$kg.m^2/s^2$	N.m
القوة	newton	N	$kg.m/s^2$	
القدرة	watt	W	$kg.m^2/s^3$	J/s
الضغط	pascal	Pa	$kg/m.s^2$	N/m^2
السرعة		m/s	m/s	
الحجم		m^3	m^3	

تحويلات مفيدة		
1 in = 2.54 cm	$1kg = 6.02 \times 10^{26}$ u	1 atm = 101 kPa
1 mi = 1.61 km	1 oz ↔ 28.4 g	1 cal = 4.184 J
	1 kg ↔ 2.21 lb	$1ev = 1.60 \times 10^{-19}$ J
1 gal = 3.79 L	1 lb = 4.45 N	1kwh = 3.60 MJ
$1 m^3 = 264$ gal	1 atm = 14.7 lb/in^2	1 hp = 746 W
	$1atm = 1.01 \times 10^5 N/m^2$	$1 mol= 6.022 \times 10^{23}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الجداول

ثوابت فيزيائية			
الكمية	الرمز	المقدار	القيمة التقريبية
وحدة كتلة الذرة	u	$1.66053886\times 10^{-27}$ kg	1.66×10^{-27} kg
عدد أفوجادرو	N_A	6.0221415×10^{23} mol^{-1}	6.022×10^{23} mol^{-1}
ثابت بولتزمان	k	1.3806505×10^{-23} $Pa.m^3/K$	1.38×10^{-23} $Pa.m^3/K$
ثابت الغاز	R	8.314472 $Pa.m^3/mol.K$	8.31 $Pa.m^3/mol.K$
ثابت الجاذبية	G	6.6742×10^{-11} $N.m^2/kg^2$	6.67×10^{-11} $N.m^2/kg^2$

البادئات		
الدلالة العلمية	الرمز	البادئة
10^{-15}	f	femto
10^{-12}	p	pico
10^{-9}	n	nano
10^{-6}	μ	micro
10^{-3}	m	milli
10^{-2}	c	centi
10^{-1}	d	deci
10^{1}	da	deka
10^{2}	h	hecto
10^{3}	k	kilo
10^{6}	M	mega
10^{9}	G	giga
10^{12}	T	terra
10^{15}	P	peta

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الجداول

كثافة بعض المواد الشائعة	
المادة	الكثافة (g/cm^3)
ألومنيوم	2.702
كادميوم	8.642
نحاس	8.92
جرمانيوم	5.35
ذهب	19.31
هيدروجين	8.99×10^{-5}
إنديوم	7.30
حديد	7.86
رصاص	11.34
زئبق	13.546
أكسجين	1.429×10^{-3}
سليكون	2.33
فضة	10.5
ماء (4 C°)	1.000
خارصين	7.14

درجات الانصهار والغليان لبعض المواد		
المادة	درجة الذوبان (C°)	درجة الغليان (C°)
ألومنيوم	660.37	2467
نحاس	1083	2567
جرمانيوم	937.4	2830
ذهب	1064.43	2808
إنديوم	156.61	2080
حديد	1535	2750
رصاص	327.5	1740
سيليكون	1410	2355
فضة	961.93	2212
ماء	0.000	100.000
خارصين	419.58	907

الحرارة النوعية لبعض المواد الشائعة			
	الحرارة النوعية (J/kg.K)	المادة	الحرارة النوعية (J/kg.K)
ألومنيوم	897	رصاص	130
نحاس أصفر	376	ميثانول	2450
كربون	710	فضة	235
نحاس	385	بخار	2020
زجاج	840	ماء	4180
جليد	2060	خارصين	388
حديد	450		

الحرارة الكامنة للانصهار والحرارة الكامنة للتبخر لبعض المواد الشائعة		
المادة	الحرارة الكامنة للانصهار (J/kg)	الحرارة الكامنة للتبخر (J/kg)
نحاس	2.05×10^5	5.07×10^6
ذهب	6.30×10^4	1.64×10^6
حديد	2.66×10^5	6.29×10^6
رصاص	2.04×10^4	8.64×10^5
زئبق	1.15×10^4	2.72×10^5
ميثانول	1.09×10^5	8.78×10^5
فضة	1.04×10^5	2.36×10^6
ماء (جليد)	3.34×10^5	2.26×10^6

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الجداول

الأطوال الموجية للضوء المرئي	
الطول الموجي (nm) بالنانومتر	اللون
430–380	الضوء البنفسجي
450–430	الضوء النيلي
500–450	الضوء الأزرق
520–500	الضوء الأزرق الداكن
565–520	الضوء الأخضر
590–565	الضوء الأصفر
625–590	الضوء البرتقالي
740–625	الضوء الأحمر

سرعة الصوت في أوساط مختلفة	
الوسط	m/s
هواء (0°)	331
هواء (20°)	343
هيليوم (0°)	972
هيدروجين (0°)	1286
ماء (25°)	1493
ماء البحر (0°)	1533
مطاط	1600
نحاس (25°)	3560
حديد (25°)	5130
زجاج التنور	5640
ألماس	12000

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المصطلحات

أ

الأمبير Ampere تدفق الشحنة الكهربائية أو التيار الكهربائي، وهو يساوي واحد كولوم لكل ثانية (1C/s).

الأميتر Ammeter جهاز مقاومته قليلة جدًّا، يوصل على التوالي، ويستخدم لقياس التيار الكهربائي المار في أيّ جزء من من أجزاء الدائرة.

أهداب التداخل fringes interference نمط من حزم مضيئة ومعتمة يتكوّن على شاشة، نتيجة التداخل الهدّام والتداخل البنّاء لموجات الضوء المارة خلال شقين – في حاجز – متقاربين.

ب

البطارية Battery جهاز مصنوع من عدة خلايا جلفانية متصل بعضها ببعض، تعمل على تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية.

ت

التأريض Grounding عملية التخلص من الشحنة الكهربائية الفائضة على الجسم بتوصيله بالأرض.

التداخل في الأغشية الرقيقة thin-film interference: الظاهرة التي ينتج عنها طيف الألوان بسبب التداخل البنّاء والتداخل الهدّام.

التدفق المغناطيسي Magnetic flux عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تمر خلال السطح.

التوصيل على التوازي Parallel connection نوع من التوصيل يكون فيه عنصر الدائرة والفولتمتر مُصطفّين متوازيين في الدائرة، ويكون فرق الجهد عبر الفولتمتر مساويًا لفرق الجهد عبر عنصر الدائرة، كما يكون هناك أكثر من مسار للتيار في الدائرة الكهربائية.

التوصيل على التوالي Series connection نوع من التوصيل يكون فيه مسار واحد للتيار فقط في الدائرة الكهربائية.

التيار الاصطلاحي Conventional current مرور للشحنات الموجبة من منطقة الجهد المرتفع إلى منطقة الجهد المنخفض.

التيار الكهربائي Electric current تدفق جسيمات مشحونة.

المصطلحات

ج

الجلفانومتر Galvanometer جهاز يستخدم لقياس التيارات الكهربائية الصغيرة جدًّا، ويمكن تحويله إلى أميتر أو فولتمتر.

ح

حفظ الشحنة Save charge: الشحنات لا تفنى ولا تستحدث، ولكن يمكن فصلها؛ لذا فإن الكمية الكلية للشحنة– عدد الألكترونات السالبة والأيونات الموجبة– في الدائرة لا تتغير.

خ

خط المجال الكهربائي Electric field lines الخطوط التي تكوِّن صورة لمجال كهربائي، وتشير إلى شدة المجال الكهربائي من خلال المسافات بينها، وهي لا تتقاطع، كما أنها تخرج دائمًا من الشحنات الموجبة وتدخل إلى الشحنات السالبة.

د

دائرة التوازي Parallel circuit أحد أنواع الدوائر الكهربائية، تحتوي على مسارات متعددة للتيار الكهربائي، بحيث يكون مجموع التيارات في هذه المسارات مساويًا للتيار الرئيس، وإذا فُتحت دائرة أيّ مسار للتيار لا تتأثر تيارات المسارات الأخرى.

دائرة التوالي Series circuit أحد أنواع الدوائر الكهربائية، يمر في كل جهاز فيها التيار نفسه، ويكون للتيار القيمة نفسها عند كلِّ جزء من أجزائها، وهو يساوي فرق الجهد مقسومًا على المقاومة المكافئة للدائرة.

دائرة القصر Short circuit تحدث عند تشكّل دائرة كهربائية ذات مقاومة صغيرة جدًّا، ممّا يؤدي إلى تدفق تيار كهربائي كبير جدًّا، قد يسبب حدوث حريق بسهولة؛ نتيجة ارتفاع درجة حرارة الأسلاك.

الدائرة الكهربائية Electric circuit حلقة مغلقة أو مسار موصل يسمح بتدفق الشحنات الكهربائية.

الدائرة الكهربائية المركبة Combination series - parallel circuit دائرة كهربائية معقدة تتضمن توصيلات على التوالي وعلى التوازي معًا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المصطلحات

ذ

الذرة المتعادلة Neutral الذرة التي تساوي الشحنة الموجبة لنواتها الشحنة السالبة للإلكترونات التي تدور حول هذه النواة.

س

سطح تساوي الجهد Equipotential موضعان أو أكثر داخل المجال الكهربائي يكون فرق الجهد الكهربائي بينها صفرًا.

السعة الكهربائية Capacitance النسبة بين الشحنة المُخزّنة على جسم وفرق جهده الكهربائي.

ش

الشحن بالتوصيل Charging by conduction عملية شحن جسم متعادل بملامسته لجسم آخر مشحون.

الشحن بالحث Charging by induction عملية شحن جسم متعادل دون ملامسته، وتتم هذه العملية بتقريب جسم مشحون إليه، فيؤدي ذلك إلى فصل شحنات الجسم المتعادل، ليصبح الجسم نفسه مشحونًا بشحنتين مختلفتين ومتساويتين.

الشحنة الأساسية (الأولية) Elementary charge مقدار الشحنة الكهربائية لإلكترون واحد.

شحنة الاختبار Test charge: شحنة موجبة موجودة على جسيم صغير وتستعمل لاختبار المجال؛ بحيث لا تؤثر في الشحنات الأخرى.

ض

الضوء الأحادي اللون monochromatic light: الضوء الذي له طول موجي واحد فقط.

الضوء غير المترابط incoherent light: ضوء بمقدمات موجية غير متزامنة تضيء الأجسام بضوء أبيض منتظم، أو هو ضوء يتكون من موجات مختلفة في الطور؛ قِممُها وقيعانها غير متوافقة.

الضوء المترابط coherent light: ضوء من مصدرين أو أكثر، يولّد تراكبه موجة ذات مقدمات منتظمة، أو هو موجات ضوء تكون في درجات متطابقة في القمم والقيعان.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المصطلحات

ف

فرق الجهد الكهربائي Electric potential difference التغير في طاقة الوضع الكهربائية لكل وحدة شحنة داخل مجال كهربائي.

الفولت Volt وحدة تساوي واحد جول لكل كولوم 1 J/C.

الفولتمتر Voltmeter جهاز ذو مقاومة كبيرة، يستخدم في قياس الهبوط في الجهد خلال أيّ جزء من أجزاء الدائرة الكهربائية، ويوصل على التوازي مع الجزء المراد قياس فرق الجهد بين طرفيه.

ق

القاعدة الأولى لليد اليمنى First right – hand rule طريقة مستخدمة لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي نسبة إلى اتجاه التيار الاصطلاحي.

القاعدة الثانية لليد اليمنى second right– hand rule طريقة مستخدمة في تحديد اتجاه المجال المتولد بواسطة مغناطيس كهربائي بالنسبة إلى اتجاه تدفق التيار الاصطلاحي.

القاعدة الثالثة لليد اليمنى Third right– hand rule طريقة يمكن استخدامها لتحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في سلك يحمل تيارًا والسلك موجود داخل مجال مغناطيسي.

قاطع التفريغ الأرضي الخاطئ Ground – fault interrupter جهاز يحتوي دائرة إلكترونية تستشعر الفروقات البسيطة في التيار الكهربائي الناجمة عن مسار إضافي للتيار، فيعمل القاطع على فتح الدائرة الكهربائية، فيمنع حدوث الصعقات الكهربائية، ويستخدم عادة في تأمين الحماية في الحمام والمطبخ والمنافذ الكهربائية الخارجية.

قانون كولوم Coulomb's law ينص على أن القوة الكهربائية بين شحنتين تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب مقدار الشحنتين وعكسيًّا مع مربع المسافة بينهما.

قاطع الدائرة الكهربائية Circuit breaker مفتاح آلي يعمل كجهاز حماية في الدائرة الكهربائية؛ حيث يفتح الدائرة ويوقف مرور التيار فيها عندما تصبح قيمته أكبر من القيمة المسموح بها.

ك

الكشّاف الكهربائي Electroscope جهاز يستعمل للكشف عن الشحنات الكهربائية، ويتركب من قرص فلزي مثبت على ساق فلزية متصلة بقطعتين فلزيتين خفيفتين رقيقتين، تسميان الورقتين.

الكهرباء الساكنة (الكهرسكونية) Electrostatics شحنات كهربائية تتجمع وتُحتجز في مكان ما.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المصطلحات

الكولوم Coulomb وحدة قياس الشحنة الكهربائية حسب النظام الدولي للوحدات SI، وهو يساوي مقدار شحنة إلكترون أو بروتون.

الكيلوواط.ساعة Kilowatt–hour وحدة طاقة تستخدمها شركات الكهرباء لقياس الطاقة المُستهلكة؛ 1 kWh يساوي 1000 W تصل بشكل مستمر لمدة 3600 s (1 h).

م

المادة العازلة Insulator مادة، مثل الزجاج، لا تنتقل خلالها الشحنات بسهولة.

المادة الموصلة Conductor مادة، مثل النحاس، تسمح بانتقال الشحنات خلالها بسهولة.

المجال الكهربائي Electric field المجال الموجود حول أي جسم مشحون؛ حيث يولّد قوة كهربائية يمكنها أن تنجز شغلاً، مما يؤدي إلى نقل طاقة من المجال إلى أي جسم آخر مشحون.

المجالات المغناطيسية Magnetic field منطقة محيطة بالمغناطيس أو حول سلك أو ملف سلكي يتدفق فيه تيار؛ حيث توجد قوة مغناطيسية.

المكثف الكهربائي the capacitor: جهاز يعمل على تخزين الشحنات الكهربائية.

مجزّئ الجهد Voltage divider دائرة توالٍ، تستخدم لإنتاج مصدر جهد بالمقدار المطلوب من بطارية ذات جهد كبير، ويستخدم عادة بوصفه مجسًّا حساسًا كما في المقاومات الضوئية.

محزوز الحيود diffraction grating أداة تتكوّن من عدد كبير من الشقوق المفردة المتقاربة جدًّا. ويؤدي المحزوز إلى حيود الضوء، وتكوين نمط الحيود الذي يتكوّن نتيجة تراكب أنماط حيود الشق المفرد، ويستخدم الحيود في قياس الطول الموجي للضوء بدقة أو لفصل الضوء وفق الأطوال الموجبة المختلفة.

المحرك الكهربائي Electric motor جهاز يحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية دورانية.

معيار ريليه Rayleigh criterion ينصّ على أنه إذا سقطت البقعة المركزية المضيئة للصورة على الحلقة المعتمة الأولى للصورة الثانية تكون الصور في حدود التحليل (التمييز).

المستقطب Polarization تصف خاصية امتلاك جسم ما منطقتين مختلفتين عند نهايتيه، إحداهما تُسمّى الباحثة عن القطب الشمالي، وتسمى الأخرى الباحثة عن القطب الجنوبي.

المغناطيس الكهربائي Electromagnet مغناطيس ناتج عن مرور التيار الكهربائي بملف سلكي.

المقاوم الكهربائي resistor جهاز ذو مقاومة محددة، قد يكون مصنوعًا من أسلاك رفيعة وطويلة أو من الجرافيت أو من مادة شبه موصلة، ويستخدم عادة للتحكم في التيار المار في الدوائر الكهربائية أو في أجزاء منها.

المقاومة الكهربائية resistance خاصية تحدد مقدار التيار المتدفق، وتساوي فرق الجهد مقسومًا على التيار.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المصطلحات

المقاومة المكافئة Equivalent resistance مقاومة مفردة تحل محل مجموعة مقاومات (موصولة على التوالي أو التوازي أو كليهما معًا)، بحيث يكون لهذه المقاومة نفس التيار والجهد الذي لمجموعة المقاومات؛ أي يمر فيها نفس التيار المار في مجموعة المقاومات، ويكون لها نفس هبوط الجهد على طرفي مجموعة المقاومات.

الملف اللولبي Solenoid ملف سلكي طويل يتكون من عدة لفات، ويضاف المجال الناتج عن كل لفة إلى مجال اللفة الأخرى بحيث يولّد مجالًا مغناطيسيًّا كليًّا قويًّا.

الملف ذو القلب الحديدي Armature ملف سلكي لمحرك كهربائي، مصنوع من عدة لفات حول محور أو أسطوانة حديدية؛ العزم على المتحرض ومحصلة سرعة المحرك تضبط بواسطة تغيّر التيار في المحرك.

المنصهر الكهربائي Fuse قطعة صغيرة من فلز تعمل بوصفها جهاز حماية في الدائرة الكهربائية؛ حيث تنصهر، فيتوقف مرور التيار إذا مرّ في الدائرة تيار كهربائي كبير قد يُشكّل خطرًا عليها.

المنطقة المغناطيسية Domain مجموعة صغيرة جدًّا في حدود 10μ–1000μ تتشكل عندما تترتب خطوط المجال المغناطيسي للإلكترونات في مجموعة الذرات المتجاورة في الاتجاه نفسه.

الموصل الفائق التوصيل Superconductor مادة مقاومتها صفر، وتوصل الكهرباء دون فقدان أو ضياع في الطاقة.

ن

نمط الحيود diffraction pattern: نمط يتكوّن على الشاشة، ينتج عن التداخل البنّاء والتداخل الهدّام لموجات هويجنز.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

وزارة التعليم

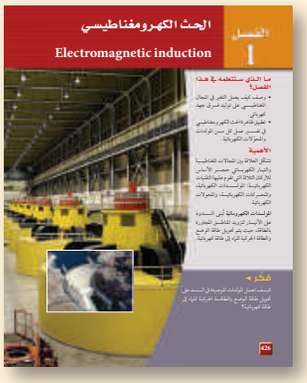
Ministry of Education

2023 - 1445

القسم الثالث (3-3)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

قائمة المحتويات



الفصل 1

الحث الكهرومغناطيسي 426

1-1 التيار الكهربائي الناتج عن تغير المجالات المغناطيسية.. 427

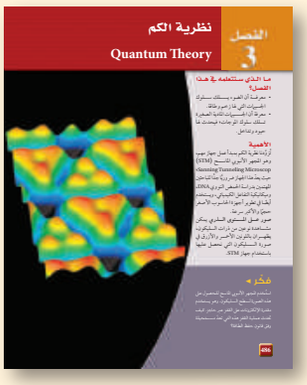
1-2 تغير المجالات المغناطيسية يولد قوة دافعة كهربائية حثية 437

الفصل 2

الكهرومغناطيسية 458

2-1 تفاعلات المجالات الكهربائية والمغناطيسية والمادة.. 459

2-2 المجالات الكهربائية والمغناطيسية في الفضاء 467



الفصل 3

نظرية الكم 486

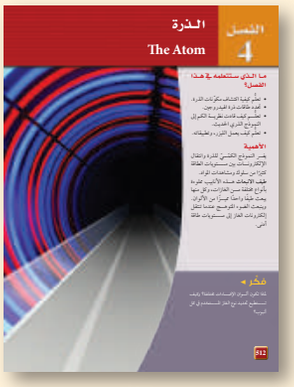
3-1 النموذج الجسيمي للموجات 487

3-2 موجات المادة 499

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

قائمة المحتويات

الفصل 4



الذرة.....512

4-1 نموذج بور الـذري **513**

4-2 النمـوذج الكمي للـذرة **527**

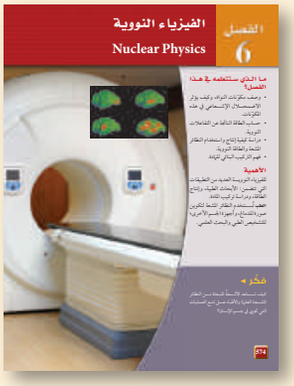
الفصل 5

إلكترونيات الحالة الصلبة.....544

5-1 التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة..... **545**

5-2 الأدوات الإلكترونية **557**

الفصل 6



الفيزياء النووية 574

6-1 النواة **575**

6-2 الاضمحلال النووي والتفاعلات النووية **582**

6-3 وحدات بناء المادة **591**

دليل الرياضيات.....611

الجداول.....612

المصطلحات.....616

الجدول الدوري للعناصر.....622

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 1

الحث الكهرومغناطيسي

Electromagnetic induction

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف كيف يعمل التغير في المجال المغناطيسي على توليد فرق جهد كهربائي.
- تطبيق ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي في تفسير عمل كل من المولدات والمحوّلات الكهربائية.

الأهمية

تشكّل العلاقة بين المجالات المغناطيسية والتيار الكهربائي حجر الأساس للأركان الثلاثة التي تقوم عليها التقنيات الكهربائية: المولدات الكهربائية، والمحركات الكهربائية، والمحولات الكهربائية.

المولدات الكهرومائية تُبنى السدود على الأنهار لتزويد المناطق المجاورة بالطاقة، حيث يتم تحويل طاقة الوضع والطاقة الحركية للماء إلى طاقة كهربائية.

فكِّر

كيف تعمل المولدات الموجودة في السد على تحويل طاقة الوضع والطاقة الحركية للماء إلى طاقة كهربائية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

ماذا يحدث في المجال المغناطيسي المتغير؟

سؤال التجربة كيف يؤثر المجال المغناطيسي المتغير في ملف سلكي موضوع فيه؟

الخطوات

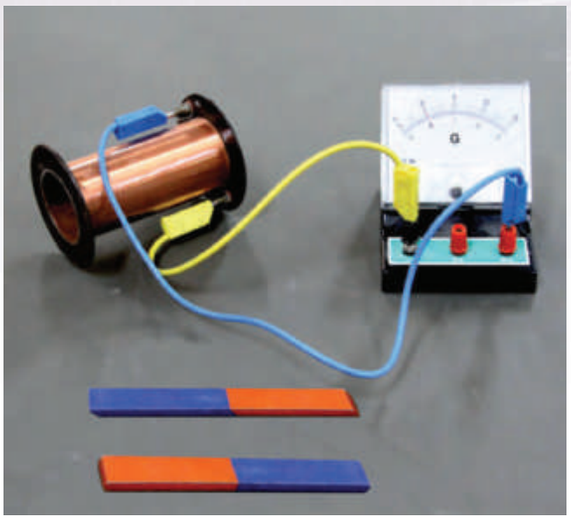
1. ضع قضيبين مغناطيسيين بحيث يبعد أحدهما عن الآخر 8cm. على أنّ تكون أقطابها المتجاورة مختلفة.
2. صل جلفانومترًا حساسًا بطرفي السلك النحاسي لملف.
3. حرك الملف ببطء بين المغناطيسين، ولاحظ قراءة الجلفانومتر.
4. غيّر زاوية حركة الملف، وسرعة حركته. ماذا تلاحظ؟ دوِّن ملاحظتك.

التحليل

ما الذي يسبب انحراف مؤشر الجلفانومتر؟

ما الحالة التي تجعل قراءة الجلفانومتر أكبر ما يمكن؟

التفكير الناقد ما الذي يحدث في السلك عندما يتحرك الملف السلكي بين المغناطيسين؟



1–1 التيار الكهربائي الناتج عن تغير المجالات المغناطيسية

Electric Current from Changing Magnetic Fields

درست كيف اكتشف أورستد أن التيار الكهربائي يولّد مجالاً مغناطيسيًّا. ووجد العالم مايكل فاراداي أن العكس يجب أن يكون صحيحًا أيضًا؛ فالمجال المغناطيسي يولد تيارًا كهربائيًّا. وفي عام 1822م سجَّل فاراداي هدفًا في دفتر ملاحظاته، وهو تحويل المغناطيسية إلى كهرباء.

جرّب فاراداي عدة تركيبات للمجال المغناطيسي مع الأسلاك فلم ينجح. وبعد عشر سنوات تقريبًا من التجارب غير الناجحة وجد فاراداي أنه يمكن توليد تيار كهربائي عن طريق تحريك سلك داخل مجال مغناطيسي. وفي السنة نفسها وجد جوزيف هنري المدرس الأمريكي في المدارس الثانوية أن تغيُّر المجال المغناطيسي يمكن أن يولد تيارًا كهربائيًّا. أخذ هنري فكرة طوَّرها عالم آخر، ووسع هذا التطبيق على أدوات تعليمية، لجعلها أكثر حساسية أو أكثر فاعلية. ولم تكن رؤية هنري لهذه الأدوات اكتشافًا جديدًا، إلا أنه جعل هذه الأدوات أكثر فاعلية، كأدوات تعليمية مساعدة. ولم يقرر هنري نشر اكتشافاته.

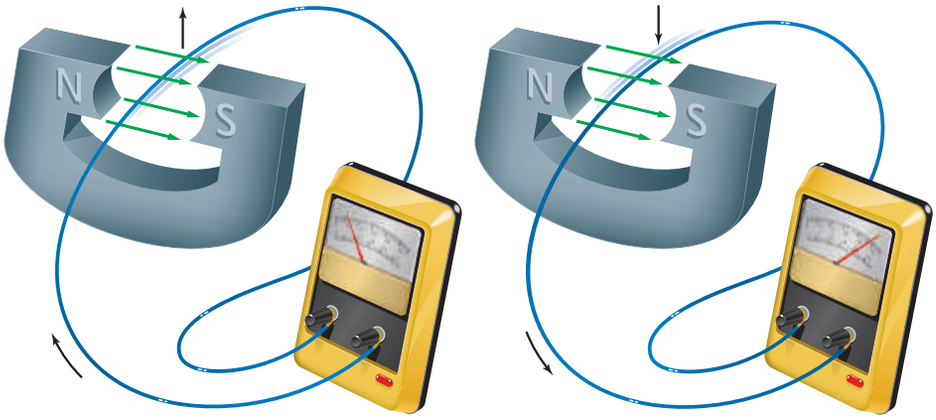
الأهداف

- توضح كيف يعمل التغير في المجال المغناطيسي على توليد تيار كهربائي حثي.
- **تعرّف** القوة الدافعة الكهربائية.
- **تحل** مسائل تتضمن حركة أسلاك في مجالات مغناطيسية.

المفردات

التيار الكهربائي الحثي
الحث الكهرومغناطيسي
القاعدة الرابعة لليد اليمنى
القوة الدافعة الكهربائية الحثية
المولد الكهربائي
متوسط القدرة

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



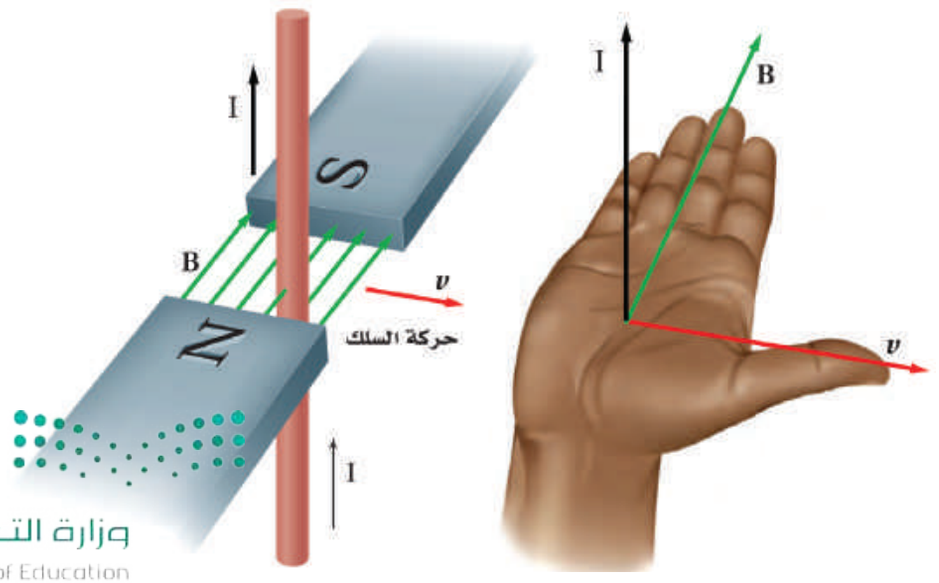
الشكل 1–1 عند تحريك سلك في مجال مغناطيسي يتولد فيه تيار كهربائي في أثناء حركته فقط. ويعتمد اتجاه هذا التيار على اتجاه حركة السلك داخل المجال. وتشير الأسهم إلى اتجاه التيار الاصطلاحي المتولد.

الحث الكهرومغناطيسي Electromagnetic Induction

يوضّح **الشكل 1–1** إحدى تجارب فاراداي التي وضع فيها جزءًا من سلك حلقة لدائرة كهربائية مغلقة داخل مجال مغناطيسي؛ حيث لاحظ عدم تولد تيار كهربائي في السلك عندما كان السلك ساكنًا، أو متحركًا بموازاة المجال المغناطيسي، بينما تولد التيار الكهربائي في اتجاه معين عندما تحرك السلك إلى أعلى داخل المجال المغناطيسي، وكذلك عند تحريك السلك إلى أسفل تولد فيه تيار كهربائي، لكن في الاتجاه المعاكس. إنّ تولد هذا التيار الكهربائي الحثي يحدث فقط عندما يقطع السلك خطوط المجال المغناطيسي في أثناء حركته.

وجد فاراداي أنه لتوليد **التيار الكهربائي الحثي** فإما أن يتحرك السلك في المجال المغناطيسي، أو يتحرك مصدر المجال المغناطيسي في منطقة السلك، أي أن الحركة النسبية بين السلك والمجال المغناطيسي هي التي تولد تيارا كهربائيا حثيّا. وتسمى عملية توليد التيار الكهربائي الحثي في دائرة كهربائية مغلقة بهذه الطريقة **الحث الكهرومغناطيسي**.

كيف يمكنك تحديد اتجاه التيار الكهربائي الحثي المتولد؟ لتحديد اتجاه القوة المؤثرة في الشحنات والتي تحدد اتجاه التيار نستخدم **القاعدة الرابعة لليد اليمنى**. ابسط يدك اليمنى بحيث تشير الإبهام إلى اتجاه حركة السلك، وتشير الأصابع إلى اتجاه المجال المغناطيسي، وعندئذ سيشير العمودي على باطن الكف نحو الخارج إلى اتجاه التيار الاصطلاحي، كما هو موضّح في **الشكل 2–1**.

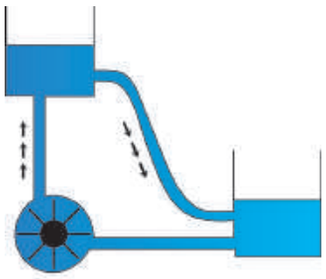


الشكل 2–1 يمكن استخدام القاعدة الرابعة لليد اليمنى لتحديد اتجاه التيار الحثي في سلك موضوع داخل مجال مغناطيسي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

القوة الدافعة الكهربائية الحثية Electromotive Force

تعلمت من خلال دراستك للدوائر الكهربائية أن مصادر الطاقة الكهربائية كالبطارية مثلًا تستخدم في توليد تيار مستمر. وفرق الجهد المبذول في البطارية يسمى القوة الدافعة الكهربائية، أو **EMF**، إلا أن القوة الدافعة الكهربائية في الواقع ليست قوة، وإنما هي فرق جهد، وتقاس بوحدة الفولت. لذلك قد يكون مصطلح القوة الدافعة الكهربائية مضللاً، مثل العديد من المصطلحات القديمة الأخرى التي لا تزال تستخدم حتى وقتنا الحاضر. ولقد ظهر هذا المصطلح قبل تبلور المبادئ العامة المتعلقة بالكهرباء وفهمها. وتعمل EMF على سريان التيار من الجهد الأقل إلى الجهد الأعلى، تماما كما في مضخة الماء التي تعمل على رفع الماء من المستوى المنخفض إلى المستوى المرتفع، كما هو موضح في **الشكل 3–1**.



الشكل 3–1 تعمل مضخة الماء على رفع الماء من المستوى المنخفض إلى المستوى المرتفع، وبالمثل تعمل القوة الدافعة الكهربائية الحثية على سريان التيار من الجهد الأقل إلى الجهد الأعلى.

ما الذي يولّد فرق الجهد الذي يسبب التيار الكهربائي الحثي في تجربة فاراداي؟ عندما تُحرك سلكًا داخل مجال مغناطيسي يؤثر المجال المغناطيسي بقوة في الشحنات داخل السلك فيحركها في اتجاه القوة، أي أنه قد بُذل شغل على تلك الشحنات، فزاد مقدار طاقة وضعها الكهربائية أو جهدها. ويسمى الفرق في جهدها **القوةَ الدافعة الكهربائية الحثية** EMF، والتي تعتمد على كل من المجال المغناطيسي B، وطول السلك في المجال المغناطيسي L، والمركّبة العمودية لسرعة السلك على المجال v (sin θ).

القوة الدافعة الكهربائية الحثية $EMF = BLv\ (\sin\theta)$

القوة الدافعة الكهربائية الحثية تساوي حاصل ضرب مقدار المجال المغناطيسي، في كل من طول السلك المتأثر بالمجال، ومُركّبة سرعة السلك العمودية على المجال المغناطيسي.

تجربة عملية

ما الذي يسبب التأرجح؟

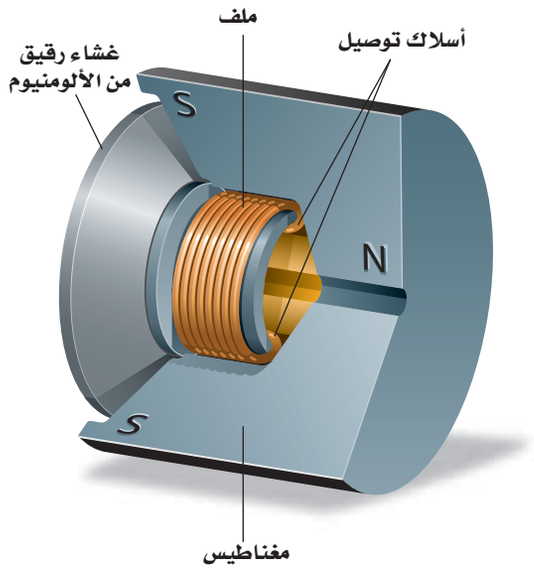
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

إذا تحرك سلك داخل مجال مغناطيسي بحيث يصنع زاوية معه فإن مركّبة السرعة العمودية على المجال المغناطيسي هي فقط التي تولد EMF. أما إذا تحرك السلك بسرعة عمودية على المجال المغناطيسي فإن المعادلة السابقة تصبح كما يأتي: $EMF = BLv$؛ لأن $\sin 90^\circ = 1$. ويساعدك التحقق من الوحدات المستخدمة في معادلة EMF على الحصول على الحسابات الجبرية الدقيقة في المسائل المتعلقة بها. إن وحدة قياس EMF هي الفولت V. وقد عرّفت الكمية B في الفصل السابق على أنها $B = F/IL$، لذلك تكون وحدات B هي N/A.m. ووحدة قياس السرعة هي m/s. باستخدام تحليل الوحدات نستنتج أن وحدة القوة الدافعة الكهربائية الحثية هي:

تذكر مما تعلمته سابقًا أن $J = N.m$، و$A = C/s$، و$V = J/C$.

$$(N/A.m)(m)(m/s) = N.m/A.s$$
$$= J/C$$
$$= V$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 4–1 يبين الرسم حركة ملف الميكروفون؛ حيث يتصل غشاء رقيق من الألومنيوم بملف موضوع داخل مجال مغناطيسي. وعندما يهتز الغشاء بفعل موجات الصوت يتحرك الملف في المجال المغناطيسي مولّدًا تيارًا كهربائيًّا يتناسب مع موجات الصوت.

تطبيق على القوة الدافعة الكهربائية الحثية يعدّ الميكروفون تطبيقًا بسيطًا على القوة الدافعة الكهربائية الحثية EMF. فالميكروفون يشبه السماعة من حيث التركيب؛ حيث يحتوي الميكروفون الموضّح في **الشكل 4–1** على غشاء رقيق يتصل بملف حر الحركة موضوع داخل مجال مغناطيسي. تعمل الموجات الصوتية على اهتزاز الغشاء الرقيق الذي يحرك بدوره الملف داخل المجال المغناطيسي، مما يؤدي إلى توليد EMF بين طرفي الملف. وتتغير EMF الحثية وفق تغير ترددات الصوت؛ إذ تتحول موجات الصوت في هذه العملية إلى نبضات كهربائية، ويكون فرق الجهد المتولد صغيرًا، من رتبة 10^{-3} V، إلا أنه يمكن زيادة فرق الجهد هذا أو تضخيمه باستخدام أدوات إلكترونية.

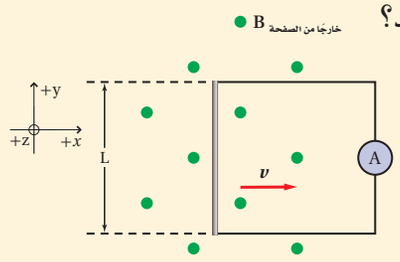
مثال 1

القوة الدافعة الكهربائية الحثية يتحرك سلك مستقيم طوله 0.20 m بسرعة ثابتة مقدارها 7.0 m/s عموديًّا على مجال مغناطيسي شدته 8.0×10^{-2} T.

a. ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في السلك؟

b. إذا كان السلك جزءًا من دائرة مقاومتها 0.50 Ω فما مقدار التيار المار في السلك؟

c. إذا استخدم سلك مصنوع من فلز آخر مقاومته 0.78 Ω فما مقدار التيار الجديد المتولد؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- أنشئ نظام محاور.
- ارسم خطًّا مستقيمًا يمثل سلكًا طوله L، وصل معه أميتر لقياس التيار.
- اختر اتجاهًا للمجال المغناطيسي بحيث يكون عموديًّا على طول السلك.
- اختر اتجاهًا للسرعة بحيث يكون عموديًّا على كل من طول السلك والمجال المغناطيسي.

المعلوم		المجهول
$v = 7.0$ m/s	L = 0.20 m	EMF = ?
B = 8.0×10^{-2} T	$R_1 = 0.50\ \Omega$	I = ?
	$R_2 = 0.78\ \Omega$	

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. بالتعويض

$B=8.0\times10^{-2}\ T$ ،$L=0.20\ m$ ،$v=7.0\ m/s$

$$EMF= BLv$$
$$=(8.0\times 10^{-2}\ T)\,(0.20\ m)\,(7.0\ m/s)$$
$$=0.11\ T.m^2/s$$
$$=0.11\ V$$

b. بالتعويض

$$I=\frac{V}{R}$$
$$=\frac{EMF}{R_1}$$

$V = EMF$

بالتعويض $EMF=0.11\ V$ ،$R_1=0.50\ \Omega$

$$=\frac{0.11\ V}{0.50\ \Omega}$$
$$=0.22\ A$$

باستخدام القاعدة الرابعة لليد اليمنى يكون التيار في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة.

c. بالتعويض

$$I=\frac{EMF}{R_2}$$

$R_2=0.78\ \Omega$ ،$EMF=0.11\ V$

$$=\frac{0.11\ V}{0.78\ \Omega}$$
$$=0.14\ A$$

اتجاه التيار في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة.

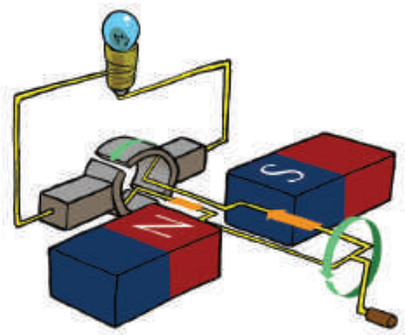
3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يعدّ الفولت الوحدة الصحيحة للمقدار EMF. ويقاس التيار بوحدة الأمبير.
- **هل الاتجاه صحيح؟** يحدد الاتجاه وفق القاعدة الرابعة لليد اليمنى؛ حيث تكون v في اتجاه الإبهام، وB في اتجاه الأصابع وF في اتجاه العمودي على باطن الكف نحو الخارج، واتجاه التيار هو اتجاه القوة نفسه.
- **هل الجواب منطقي؟** الإجابات قريبة من 10^{-1}، وهذا يتفق مع القيم المعطاة والعمليات الحسابية.

مسائل تدريبية

1. يتحرك سلك مستقيم طوله 0.5 m إلى أعلى بسرعة 20 cm /s عموديًّا على مجال مغناطيسي أفقي مقداره 0.4 T.
   a. ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في السلك؟
   b. إذا كان السلك جزءًا من دائرة مقاومتها 6.0 Ω فما مقدار التيار المار في الدائرة؟
2. سلك مستقيم طوله 25 m مثبت على طائرة تتحرك بسرعة 125 m /s عموديًّا على المجال المغناطيسي الأرضي $B=5.0\times10^{-5}\ T$.
   ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في السلك؟
3. يتحرك سلك طوله 30.0 m بسرعة 2.0 m /s عموديًّا على مجال مغناطيسي شدته 1.0 T.
   a. ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية EMF المتولدة فيه؟
   b. إذا كانت مقاومة الدائرة تساوي 15.0 Ω فما مقدار التيار المار فيها؟
4. وضع مغناطيس دائم على شـكل حذوة فرس بحيث تكون خطوط مجاله المغناطيسي رأسية. مرّر طالب سلكًا مستقيمًا بين قطبيه ثم سحبه نحوه خلال المجال المغناطيسي، فتولد فيه تيار من اليمين إلى اليسار. حدّد القطب الشمالي للمغناطيس.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 5–1 يتولد تيار كهربائي في حلقة سلكية في أثناء دورانها في مجال مغناطيسي.

المولدات الكهربائية Electric Generators

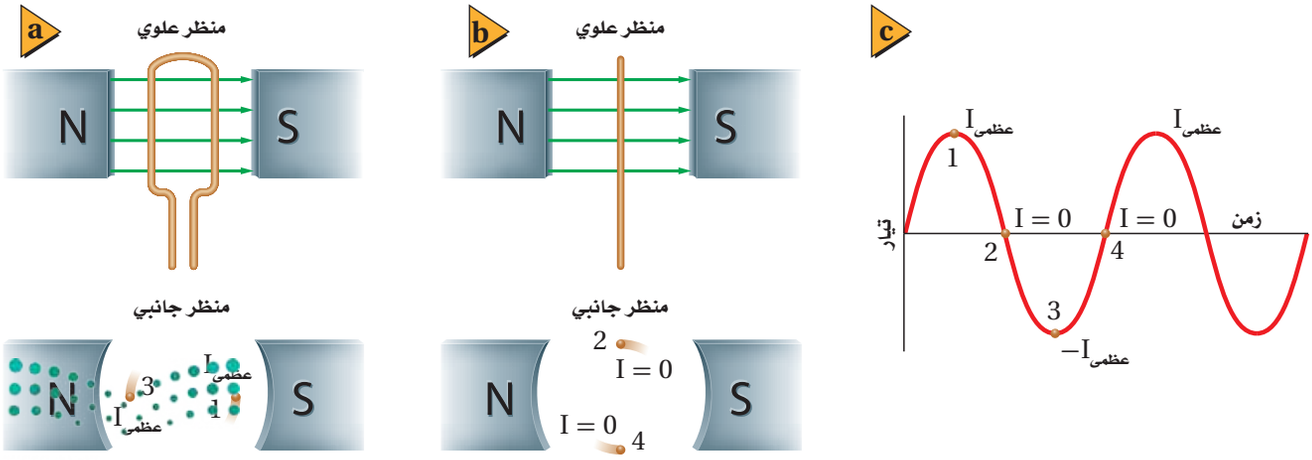
يحوّل **المولد الكهربائي (الدينامو)** – الذي اخترعه مايكل فاراداي – الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية. ويتركب المولد الكهربائي من عدد من الحلقات السلكية التي توضع داخل مجال مغناطيسي قوي. والسلك ملفوف حول قلب من الحديد؛ لزيادة شدة المجال المغناطيسي، وهو مماثل للملف المستخدم في المحرك الكهربائي.

يثبت الملف ذو القلب الحديدي الخاص بالمولد بحيث يكون حر الحركة داخل المجال المغناطيسي، وخلال دورانه تقطع حلقاته خطوط المجال المغناطيسي، فتتولد فيه قوة دافعة كهربائية حثية، تعتمد على طول السلك الذي يدور في المجال. وبزيادة عدد لفات الملف يزداد طول السلك، فتزداد EMF الحثية المتولدة.

لاحظ أنه قد يكون جزء فقط من طول السلك موجودًا داخل المجال المغناطيسي. لذا فإن حركة ذلك الجزء فقط هي التي تولد القوة الدافعة الكهربائية الحثية EMF.

التيار الناتج عن مولد كهربائي عند وصل المولد الكهربائي بدائرة مغلقة تُنتج القوة الدافعة الكهربائية الحثية تيارًا كهربائيًّا. ويوضح **الشكل 5–1** مولدًا كهربائيًّا يتكون من حلقة سلكية مفردة من دون قلب حديد. حيث يمكن تحديد اتجاه التيار الحثي باستخدام القاعدة الرابعة لليد اليمنى. ومع دوران الحلقة يتغير مقدار التيار الكهربائي واتجاهه.

نحصل على أكبر قيمة للتيار عندما تكون حركة الحلقة عمودية على اتجاه المجال المغناطيسي؛ أي عندما تكون الحلقة في وضع أفقي، كما هو موضّح في **الشكل 6a–1**. وفي هذا الوضع

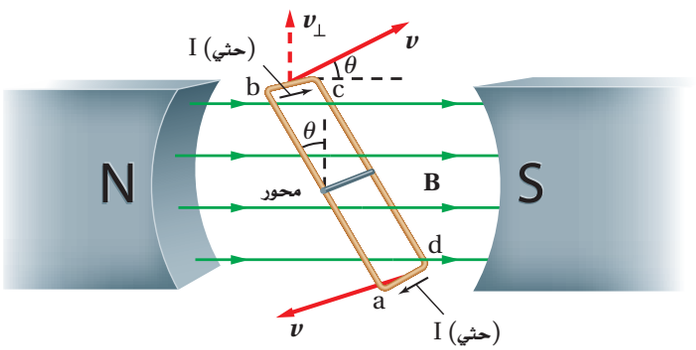


الشكل 6–1 صورة للمقطع العرضي لحلقة سلكية دوّارة تبين موقع الحلقة عندما يتولد أقصى تيار (a). عندما تكون الحلقة في وضع رأسي يكون التيار صفرًا (b). يتغير التيار مع الزمن عند دوران الحلقة (c). ويمكن توضيح تغير EMF مع الزمن برسم بياني مماثل.

تكون مركّبة سرعة الحلقة العمودية على المجال المغناطيسي أكبر ما يمكن. ومع استمرار دوران الحلقة من الوضع الأفقي إلى الوضع الرأسي، كما هو موضّح في **الشكل 6b–1**، تزداد الزاوية التي تصنعها مع خطوط المجال المغناطيسي، فتقطع عددًا أقل من خطوط المجال المغناطيسي لكل وحدة زمن، لذا يقل التيار الكهربائي المتولد. وعندما تصبح الحلقة في وضع رأسي تتحرك قطع السلك بصورة موازية لخطوط المجال، مما يؤدي إلى تناقص التيار الكهربائي المتولد حتى يصبح صفرًا. ومع استمرار دوران الحلقة فإن الجزء الذي كان يتحرك إلى أعلى سيتحرك إلى أسفل، فينعكس اتجاه التيار المتولد في الحلقة، وهذا التغير في الاتجاه يحدث كلما دارت الحلقة بزاوية مقدارها 180°، أي كلما أكملت نصف دورة. ويتغير التيار باستمرار على نحو سلس من صفر إلى قيمة عظمى كل نصف دورة، ثم ينعكس اتجاهه. ويوضّح **الشكل 6c–1** منحنى العلاقة بين التيار والزمن.

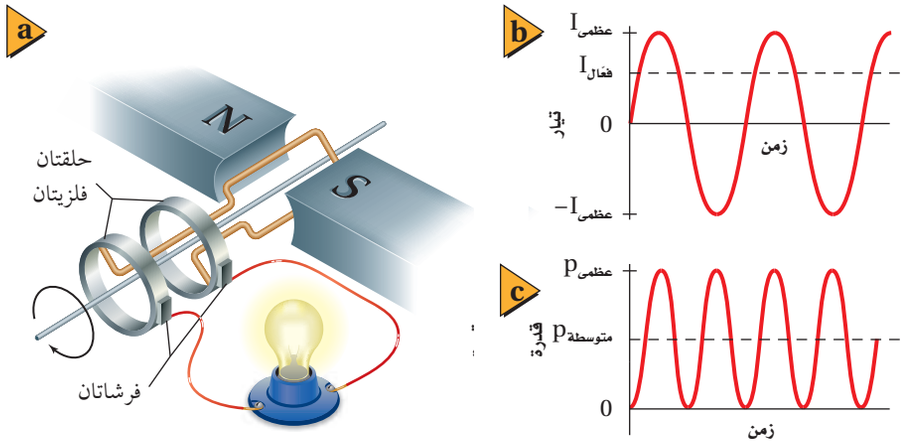
هل تسهم الحلقة كاملة في توليد قوة دافعة كهربائية حثية؟ انظر **الشكل 7–1**، حيث الجوانب الأربعة للحلقة موجودة داخل المجال المغناطيسي. يتولد تيار حثي في الضلعين ad وbc، في حين لا يتولد تيار في الضلعين ab و cd. ويمكن تفسير ذلك بتطبيق القاعدة الرابعة لليد اليمنى على الأضلاع الأربعة كما يلي: يكون اتجاه التيار الحثي في الضلعين ab وcd في اتجاه نصف قطر كل منهما، أي عموديًّا على طوليهما، لذا لا يكون هناك تيار في اتجاه طوليهما، لكن يتولد تيار حثي في كل من ad وbc في اتجاه طوليهما، أي من b إلى c، ومن d إلى a، وهذا يجعل التيار الحثي يسري في الدائرة.

ولأن الحلقة تتحرك حركة دائرية فسوف يتغير مقدار الزاوية النسبية بين أي نقطة على الحلقة والمجال المغناطيسي باستمرار. لذلك تستخدم العلاقة $EMF=BLv(\sin\theta)$ لحساب القوة الدافعة الكهربائية؛ حيث تمثل L طول الضلع(bc)، فيكون أقصى جهد (EMF العظمى) عندما يتحرك الموصل عموديًّا على المجال المغناطيسي، أي تكون $\theta = 90°$.



الشكل 7–1 القطعتان ad وbc هما فقط القطعتان اللتان يتولد فيهما تيار حثي يسري خلالهما. ويمكن ملاحظة ذلك باستخدام القاعدة الرابعة لليد اليمنى.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 8–1 ينقل مولد التيار المتناوب التيار إلى دائرة خارجية عن طريق فرشاتين تلامسان الحلقتين (**a**). التيار المتناوب الناتج يتغير مع الزمن (**b**)، تكون القدرة الناتجة دائمًا موجبة، كما تكون أيضًا دالة جيبية (**c**).

تعمل المولدات الكهربائية بطريقة مشابهة؛ حيث تُحوَّل طاقة وضع الماء المحجوز خلف السد إلى طاقة حركية تعمل على إدارة التوربينات، التي تعمل بدورها على تدوير الملفات السلكية داخل مجال مغناطيسي، فتتولد قوة دافعة كهربائية حثية.

مولدات التيار المتناوب Alternating–Current Generators

يعمل مصدر الطاقة على تدوير ملف المولد داخل المجال المغناطيسي بعدد ثابت من الدورات في الثانية. ومعظم الأدوات والأجهزة الكهربائية في الدول العربية تعمل بتيار تردده 60 Hz، حيث ينعكس اتجاه التيار 60 مرة في الثانية الواحدة. ويبين **الشكل 1–8a** كيف ينتقل التيار المتناوب AC في الملف إلى بقية أجزاء الدائرة. ويسمح ترتيب مجموعة الفرشاتين والحلقتين الفلزيتين الزلقتين للملف بالدوران بحرية، مع الاستمرار في السماح بمرور التيار الكهربائي إلى الدائرة الخارجية. ويتغير هذا التيار المتناوب بين صفر وقيمة عظمى في أثناء دوران ملف المولد، كما هو موضّح في **الشكل 1–8b**.

متوسط القدرة القدرة الناتجة عن مولد كهربائي تساوي حاصل ضرب التيار الكهربائي في الجهد. ولأن كلًّا من التيار والجهد متغير فستكون القدرة المرافقة للتيار المتناوب

الشكل 9–1 الاكتشافات التي أسهمت في تطور الكهرومغناطيسية.

في سنة **1784** وضع كولوم –والذي سميت باسمه وحدة كمية الكهرباء– قانون كولوم من خلال تجربته الشهيرة.

1800 — 1780 — 1760 — 1740

عمل وليام واتسون تجربته باستخدام قارورة ليدن سنة **1747** اكتشف أن تفريغ الكهرباء الساكنة يعادل التيار الكهربائي. واستخدمها فرانكلين لتخزين الشحنة.

في القرن السادس قبل الميلاد، لاحظ الإغريق القدماء آثار جذب للمسطرة المدلوكة (الكهرمان).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

متغيرة أيضًا. يوضّح **الشكل 8c–1** التمثيل البياني للقدرة الناتجة عن مولد تيار متناوب AC. لاحظ أن القدرة تكون دائمًا موجبة؛ لأن I و V يكونان إما موجبين أو سالبين معًا. و**متوسط القدرة** P_{AC} يمثل نصف القدرة العظمى، لذا فإن:

$$P_{AC}=\frac{1}{2}P_{AC\ \text{عظمى}}$$

التيار الفعّال والجهد الفعّال يوصف التيار المتناوب والجهد المتناوب غالبًا بدلالة التيار الفعّال والجهد الفعّال، بدلاً من الإشارة إلى القيم العظمى لهما. ولعلك تذكر ممّا تعلمته سابقًا أن $P=I^2R$. لذلك يمكنك التعبير عن التيار الفعّال $I_{\text{فعال}}$ بدلالة متوسط القدرة P_{AC} كما يأتي: $P_{AC}=I^2_{\text{فعال}}R$. ولإيجاد التيار الفعّال $I_{\text{فعال}}$ بدلالة القيمة العظمى للتيار $I_{\text{عظمى}}$، ابدأ بعلاقة القدرة $P_{AC}=\frac{1}{2}P_{AC\ \text{عظمى}}$، ثمّ عوّض في I^2R، وحل المعادلة لإيجاد $I_{\text{عظمى}}$.

التيار الفعّال $I_{\text{فعّال}}=\frac{\sqrt{2}}{2}I_{\text{عظمى}}$

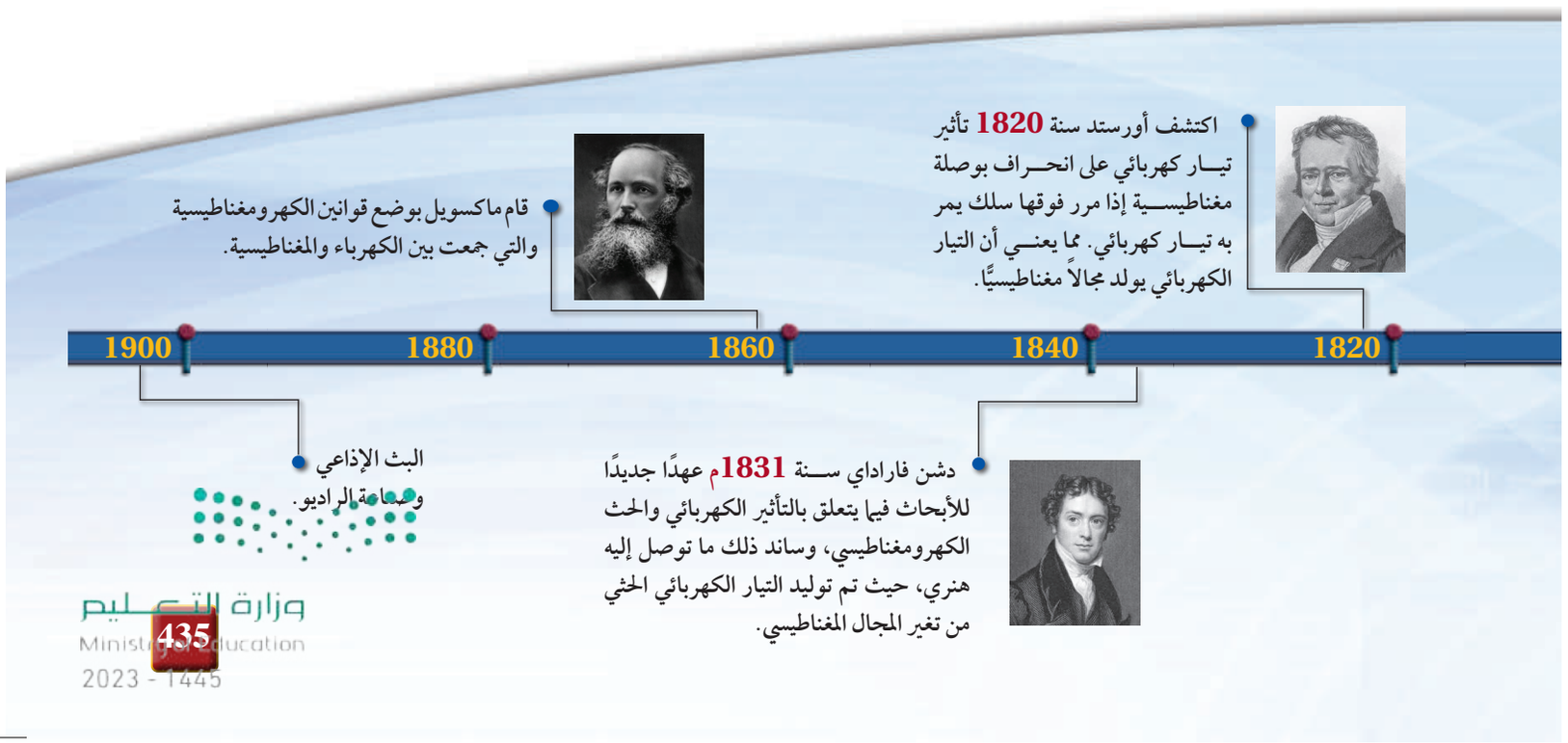
التيار الفعّال يساوي $\frac{\sqrt{2}}{2}$ مضروبًا في القيمة العظمى للتيار.

وبالطريقة نفسها يمكن استعمال المعادلة الآتية للتعبير عن الجهد الفعّال:

الجهد الفعّال $V_{\text{فعّال}}=(\frac{\sqrt{2}}{2})V_{\text{عظمى}}=0.707\,V_{\text{عظمى}}$

الجهد الفعّال يساوي $\frac{\sqrt{2}}{2}$ مضروبًا في القيمة العظمى للجهد.

ويشار أيضًا إلى الجهد الفعّال بمتوسط الجذر التربيعي للجهد RMS. والجهد الذي يتم تزويد المنازل به قد يكون جهدًا مزدوجًا؛ إذ تزود بعض المقابس بجهد مقداره 120 V، وتزود مقابس أخرى بجهد مقداره 220 V. وتمثل هذه المقادير الجهد الفعّال، وليس القيمة العظمى للجهد. وقد يختلف كل من التردد والجهد الفعّال المستخدم من بلد إلى آخر.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسائل تدريبية

5. مولد تيار متناوب يولّد جهدًا ذا قيمة عظمى مقدارها 170 V، أجب عما يلي:
   a. ما مقدار الجهد الفعّال؟
   b. إذا وصل مصباح قدرته 60 W بمولد، وكانت القيمة العظمى للتيار 0.70 A فما مقدار التيار الفعّال في المصباح؟
6. إذا كانت القيمة الفعّالة للجهد المتناوب في مقبس منزلي 117 V فما مقدار القيمة العظمى للجهد خلال مصباح موصول مع هذا المقبس؟ وإذا كانت قيمة التيار الفعّال المار في المصباح 5.5 A فما مقدار القيمة العظمى للتيار المار في المصباح؟
7. مولد تيار متناوب يولد جهدًا قيمته العظمى 425 V.
   a. ما مقدار الجهد الفعال في دائرة كهربائية موصولة مع المولد؟
   b. إذا كانت مقاومة الدائرة الكهربائية $5.0\times10^{2}\ \Omega$ فما مقدار التيار الفعال؟
8. إذا كان متوسط القدرة المستنفدة في مصباح كهربائي 75 W فما مقدار القيمة العظمى للقدرة؟

عرفت في هذا البند كيف يمكن لأسلاك متحركة داخل مجالات مغناطيسية أن تحث وتولد تيارًا كهربائيًّا خلال الأسلاك. ولكن كما اكتشف فاراداي، فإنه يمكن توليد تيار حثي يسري في موصل بواسطة تغير المجال المغناطيسي حول الموصل. في البند التالي تستكشف تغير المجالات المغناطيسية، وتطبيقات على الحث بواسطة تغيير المجالات المغناطيسية. يبين **الشكل 9–1** في الصفحتين السابقتين خطًّا زمنيًّا يظهر بعض الاكتشافات العلمية التي سبقت فاراداي والتي بنى عليها علمه.

1–1 مراجعة

9. **المولد الكهربائي** هل يمكنك عمل مولد كهربائي بوضع مغناطيس دائم على محور قابل للدوران مع الإبقاء على الملف ساكنًا؟ وضّح إجابتك.
10. **مولد الدراجة الهوائية** يعمل مولد الكهرباء في الدراجة الهوائية على إضاءة المصباح. ما مصدر طاقة المصباح عندما يقود راكب دراجته على طريق أفقية مستوية؟
11. **الميكروفون** ارجع إلى الميكروفون الموضّح في **الشكل 4–1**. ما اتجاه التيار في الملف عندما يُدفع الغشاء الرقيق إلى الداخل؟
12. **التردد** ما التغيرات اللازم إجراؤها على مولد كهربائي لزيادة التردد؟
13. **الجهد الناتج** وضّح لماذا يزداد الجهد الناتج عن مولّد عند زيادة المجال المغناطيسي؟ وما الذي يتأثر أيضًا بزيادة مقدار المجال المغناطيسي؟
14. **المولد الكهربائي** وضّح مبدأ العمل الأساسي للمولد الكهربائي.
15. **التفكير الناقد** تساءل طالب: لماذا يستهلك التيار المتناوب قدرة، ما دامت الطاقة التي تُحوّل في المصباح عندما يكون التيار موجبًا تلغى عندما يكون التيار سالبًا، ويكون الناتج صفرًا؟ وضح لماذا يكون هذا الاستدلال غير صحيح؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–1 تغيّر المجالات المغناطيسية يولد قوة دافعة كهربائية حثية

Changing Magnetic Fields Induce *EMF*

يتولد تيار في مولد عندما يدور الملف داخل مجال مغناطيسي. ونتيجة لتوليد التيار في الملف تؤثر قوة في أسلاكه. فما اتجاه القوة المؤثرة في الأسلاك المكونة للملف؟

الأهداف

- **تطبق** قانون لنز.
- **توضح** القوة الدافعة الكهربائية العكسية، وكيف تؤثر في عمل المولدات والمحركات.
- **توضح** الحث الذاتي وتأثيره في الدوائر الكهربائية.
- **تحل** مسائل متعلقة بالمحولات، تتضمن الجهد والتيار ونسب عدد اللفات.

المفردات

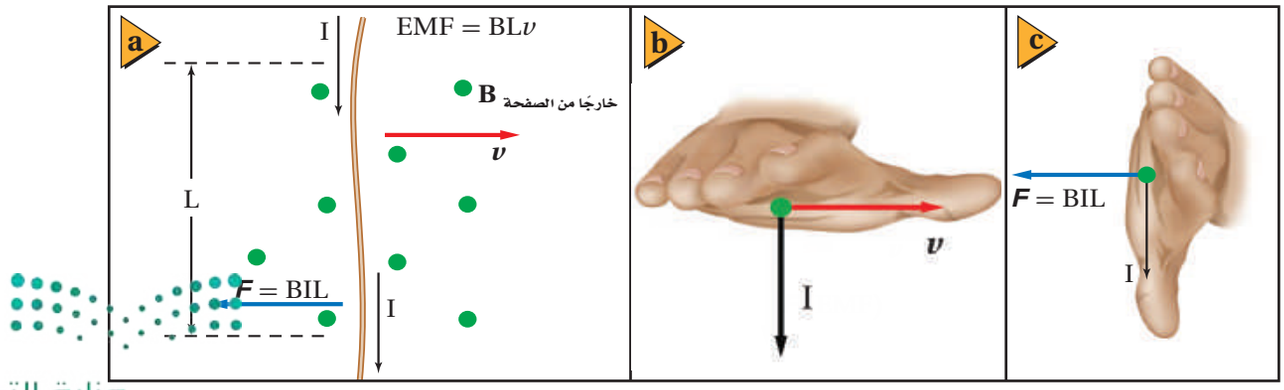
قانون لنز
التيار الدوامي
الحث الذاتي
المحول الكهربائي
الملف الابتدائي
الملف الثانوي
الحث المتبادل
المحول الرافع
المحول الخافض

قانون لنز Lenz's Law

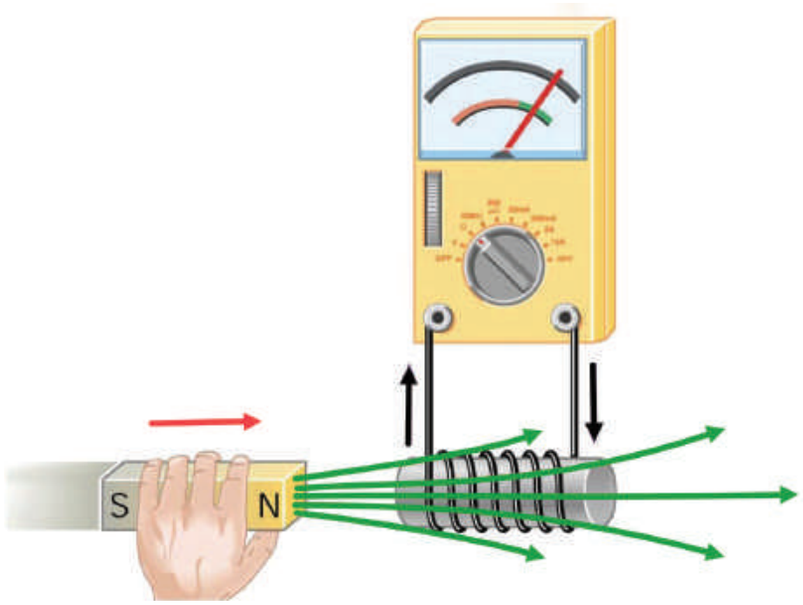
تخيل جزءًا من سلك أحد الحلقات يتحرك عموديًّا على مجال مغناطيسي، كما هو موضح في **الشكل 1–10a**. سيتولد في السلك تيار كهربائي حثي. وإذا كان المجال المغناطيسي خارجًا من الصفحة واتجاه السرعة نحو اليمين فسيكون اتجاه التيار الكهربائي الحثي المتولد إلى أسفل؛ وذلك وفقًا للقاعدة الرابعة لليد اليمنى، كما هو موّضح في **الشكل 1–10b**. تعلمت أن السلك الذي يسري فيه تيار والموضوع داخل مجال مغناطيسي سيتأثر بقوة، وهذه القوة تكون ناتجة عن التفاعل بين المجال المغناطيسي الموجود والمجال المغناطيسي المتولد حول التيارات الكهربائية جميعها. ولتحديد اتجاه هذه القوة نستخدم القاعدة الثالثة لليد اليمنى. فإذا كان التيار I متجهًا إلى أسفل، والمجال المغناطيسي B متجهًا إلى الخارج فعندئذ تكون القوة الناتجة في اتجاه اليسار، كما هو موضّح في **الشكل 1–10c**، وهذا يعني أن اتجاه القوة المؤثرة في السلك سيكون معاكسًا لاتجاه حركة السلك الأصلية v، ولذلك تعمل هذه القوة على إبطاء دوران ملف المولد. ولقد ظهرت أول طريقة لتحديد اتجاه هذه القوة في عام 1834م عن طريق العالم لنز، ولذا سميت قانون لنز.

ينص **قانون لنز** على أن المجال المغناطيسي الناشئ عن التيار الحثي يعاكس التغيّر في المجال المغناطيسي الذي سببه. لاحظ أن التأثيرات المغناطيسية الحثية تُعاكس التغيرات في المجال، وليس المجال نفسه.

الشكل 1–10 عند تحريك سلك طوله L في مجال مغناطيسي B تتولد فيه قوة دافعة كهربائية حثية، وإذا كان السلك جزءًا من دائرة فسيتولد فيه تيار حثي مقداره I. وهذا التيار يتفاعل مع المجال المغناطيسي وينتج قوة مقدارها F. لاحظ أن القوة الناتجة تمانع حركة السلك v.



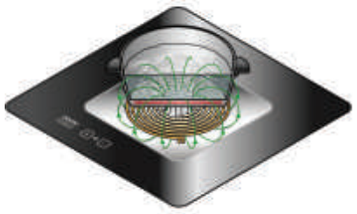
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



■ **الشكل 11–1** يؤدي اقتراب القطب الشمالي للمغناطيس من الملف إلى مرور تيار حثي في الملف. ويمكن توقع اتجاه هذا التيار المتولد بواسطة قانون لنز.

تطبيق الفيزياء

الطباخ الحثي:
عندما يمر تيار كهربائي متردد AC في ملف لولبي أسفل موقد فلزي، فإن المجال المغناطيسي في الملف اللولبي يتغيّر فينشأ تيار كهربائي حثي يُستخدم في تسخين قدور الطبخ ومحتوياتها.

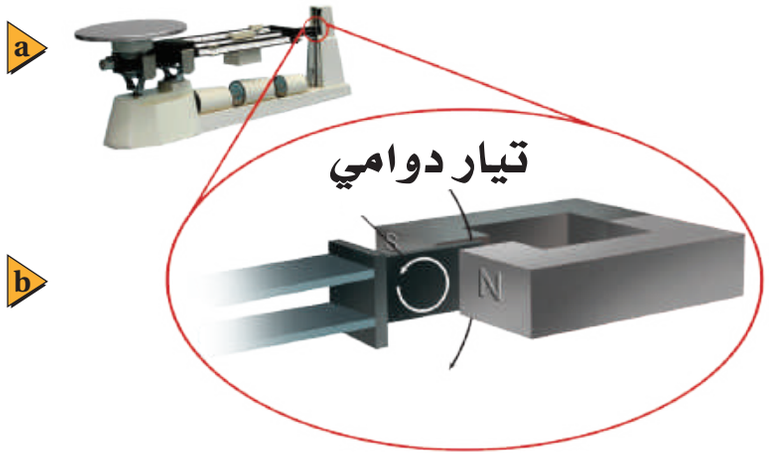


ممانعة التغير يبين **الشكل 11–1** مثالًا على كيفية تطبيق قانون لنز. حيث قُرّب القطب الشمالي لمغناطيس من الطرف الأيسر لملف. لكي تتولد قوة تُمانع اقتراب القطب الشمالي للمغناطيس يجب أن يصبح الطرف الأيسر للملف قطبًا شماليًّا أيضًا؛ أي أن تخرج خطوط المجال المغناطيسي من الطرف الأيسر للملف. باستخدام القاعدة الثانية لليد اليمنى ستجد أنه إذا كان قانون لنز صحيحًا فإن اتجاه التيار الحثي يجب أن يكون في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة عند النظر إلى الملف من جهة الطرف الذي قُرِّب إليه المغناطيس. وقد دلت التجارب على صحة ذلك. وإذا عُكس المغناطيس بحيث يقترب القطب الجنوبي له إلى الملف فسيمر التيار الحثي في اتجاه حركة عقارب الساعة.

إذا كان التيار الناتج عن المولد الكهربائي صغيرًا فستكون القوة المعاكسة المؤثرة في ملف المولد صغيرة، لذا يدور الملف بسهولة. أما إذا كان التيار الناتج عن المولد كبيرًا فستكون القوة المؤثرة في التيار كبيرة، لذا يكون تدوير الملف أصعب. والمولد الذي يولّد تيارًا كبيرًا ينتج مقدارًا كبيرًا من الطاقة الكهربائية، وللتغلب على قوة الممانعة المؤثرة في الملف يجب تزويده بطاقة ميكانيكية لإنتاج طاقة كهربائية، وهذا يتفق مع قانون حفظ الطاقة.

المحركات وقانون لنز ينطبق قانون لنز أيضًا على المحركات؛ فعندما يتحرك سلك يسري فيه تيار كهربائي داخل مجال مغناطيسي تتولد فيه قوة دافعة كهربائية، تسمى القوةَ الدافعة الكهربائية الحثية العكسية، ويكون اتجاهها معاكسًا لاتجاه التيار. وعند لحظة تشغيل المحرك يسري فيه تيار كبير بسبب صغر مقاومته. ومع دوران المحرك، تعمل حركة أسلاك الملف خلال المجال المغناطيسي على توليد قوة دافعة كهربائية حثية عكسية تعاكس التيار، لذا يقل التيار الكلي في المحرك. وإذا أثر في المحرك حمل ميكانيكي -كأن يبذل شغلاً لرفع ثقل- فإن سرعة دوران المحرك تقل. مما يؤدي إلى تقليل القوة الدافعة الكهربائية العكسية، فيسمح ذلك بمرور تيار أكبر خلال ملف المحرك. لاحظ أن هذا يتفق مع قانون حفظ الطاقة؛ فإذا ازداد التيار ازدادت القدرة الواصلة للمحرك، وهذه القدرة يُزوّد بها الحمل على شكل قدرة ميكانيكية. إذا أُوقف الحمل الميكانيكي المحرك فقد يصبح التيار كبيرًا إلى درجة تسخن معها أسلاك المحرك كثيرًا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



■ **الشكل 12–1** تستخدم الموازين الحساسة التيارات الدوامية المخامدة للتحكم في تذبذب مؤشر الميزان (**a**). فعندما تتحرك قطعة الفلز المثبتة في نهاية المؤشر داخل المجال المغناطيسي يتولد فيها تيار كهربائي، يولد بدوره مجالاً مغناطيسيًّا يعاكس الحركة المسببة له، لذا تصبح حركة المؤشر متخامدة (**b**).

ونتيجة لتغير التيار المسحوب بتغير سرعة المحرك الكهربائي فإن الهبوط في الجهد في مقاومة أسلاك المحرك يتغير أيضًا. وهذا هو سبب ملاحظتك ضعف إضاءة مصابيح المنزل الموصولة على التوازي مع جهاز كهربائي له محرك كبير– مثل أجهزة التكييف والمنشار الكهربائي – لحظة تشغيلها.

عند قطع التيار الكهربائي عن المحرك بمفتاح الدائرة الكهربائية، أو بنزع قابس المحرك من المقبس في الحائط، يعمل التغير المفاجئ في المجال المغناطيسي على توليد قوة دافعة كهربائية عكسية، وهذه الفولتية العكسية قد تكون كبيرة بدرجة كافية لإحداث شرارة خلال المفتاح الكهربائي أو بين القابس والمقبس.

تطبيق على قانون لنز يستخدم الميزان الحساس – كالمستخدم في المختبر – قانون لنز لإيقاف تذبذبه عند وضع جسم في كفته. وكما هو موضح في **الشكل 12–1** توجد قطعة فلزية متصلة بذراع الميزان موضوعة بين قطبي مغناطيس على شكل حذاء فرس. فعندما يتأرجح ذراع الميزان تتحرك قطعة الفلز داخل المجال المغناطيسي، فتتولد تيارات تسمى **تيارات دوامية** خلال الفلز، فتنتج تلك التيارات مجالاً مغناطيسيًّا يؤثر في عكس الحركة المسببة لها، مما يسبب تباطؤ حركة القطعة الفلزية. وعلى الرغم من أن القوة تعاكس حركة قطعة الفلز في الاتجاهين إلا أنها لا تؤثر إذا كانت القطعة ساكنة، لذلك فإنها لا تعمل على تغيير قراءة الميزان، ويسمى هذا التأثير "التيار الدوامي المخامد". وعادة يتركب قلب المحرك أو المحوّل من صفائح حديدية رقيقة معزول بعضها عن بعض للتقليل من دوران التيارات الدوامية.

■ **الشكل 13–1** يتولد تيار دوامي في الحلقة الفلزية الكاملة بينما لا يتولد في الحلقة المقطوعة.

تتولد التيارات الدوامية عندما تتحرك قطعة فلزية داخل مجال مغناطيسي، والعكس صحيح أيضا، حيث تتولد تيارات دوامية إذا وضعت حلقة فلزية داخل مجال مغناطيسي متغير. ووفقًا لقانون لنز فإن التيار المتولد يعاكس التغير في المجال المغناطيسي. فمثلًا، في **الشكل 13–1**، يتولد تيار في حلقة الألومنيوم غير المقطوعة يولد بدوره مجالًا مغناطيسيًّا معاكسًا يجعل الحلقة ترتفع، حيث يمر تيار متناوب في الملف، فيتولد مجال مغناطيسي متغير باستمرار يؤدي بدوره إلى توليد قوة دافعة كهربائية حثية في الحلقتين. فإذا كانت هاتان الحلقتان مكونتين من مواد غير موصلة مثل النايلون فلن تتولد قوة دافعة كهربائية

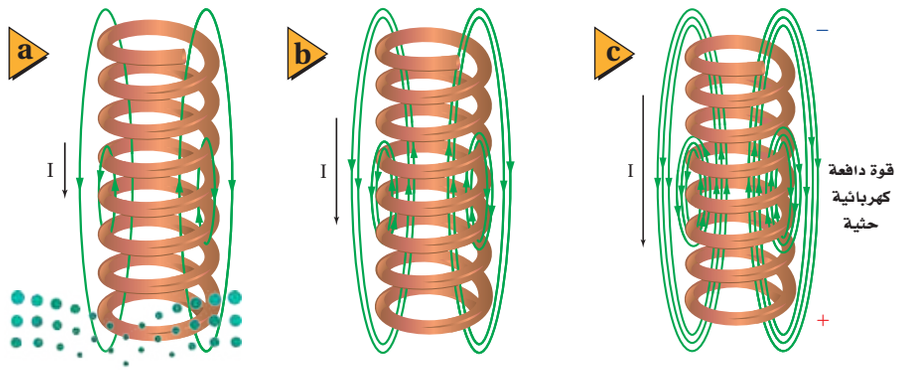
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

حثية فيهـــما. أما في الحلقة غير المقطوعة فإن القوة الدافعة الكهربائية الحثية تولد تيارًا ينتج مجالاً مغناطيسيًّا معاكسًا للتغير في المجال المغناطيسي الذي ولّده. وهذا التفاعل بين هذين المجالين يؤدي إلى دفع الحلقة بعيدًا عن الملف؛ تمامًا كما يبتعد القطبان الشماليان لمغناطيسين أحدهما عن الآخر. وأما الحلقة السفلى التي قطعت خطوط المجال المغناطيسي فيتولد فيها قوة دافعة كهربائية، لكن دون أن يتولد تيار؛ لأن مسار التيار غير مكتمل، ولذلك لا تولد هذه الحلقة مجالًا مغناطيسيًّا معاكسًا.

الحث الذاتي Self–Inductance

يمكن توضيح القوة الدافعة الكهربائية العكســية بطريقة أخرى. فقد بيّن فاراداي أن قوة دافعة كهربائية تتولد عندما يقطع سلك خطوط مجال مغناطيسي. يوضح **الشكل 14–1** أن التيار المار في الســلك يتزايد ابتداءً من **الشكل 14a–1** حتى **الشكل 14c–1**. حيث يولد التيار مجالاً مغناطيســيًّا تُظهره خطوط المجال المغناطيــسي. وبزيادة كل من التيار والمجال المغناطيسي تنشــأ خطوط مجال جديدة. وبزيادة عدد الخطوط تقطع أسلاك الملف خطوطًا أكثر، وتولد قــوة دافعــة كهربائية عكسية مولدة تيارًا حثيًّا ينشأ عنه مجال مغناطيسي يقاوم تغيرات التيار. وتسمى هذه القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في سلك يسري فيه تيار متغير **الحث الذاتي**.

يتناســب مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية مع المعــدل الزمني للتغير في عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تقطعها الأســلاك. وكلما كان التغــير في التيار أسرع كانت القوة الدافعة الكهربائية العكسية أكبر. وعندما يكون التيار ثابتًا يصبح المجال المغناطيسي ثابتًا، ويكون مقدار القوة الدافعة الكهربائية العكســية صفرًا. وإذا قل التيار تتولد قوة دافعــة كهربائيــة تعمل على منع ومقاومة النقصان في المجال المغناطيسي والتيار. لذا فإنه بســبب الحث الذاتي يجب أن يبذل شغل لزيادة مقدار التيار المار في الملف، فتختزن طاقة في المجال المغناطيــسي. وهذا يشــبه عملية تخزين الطاقــة في المجال الكهربائي بــين لوحي مكثف كهربائي مشحون.



الشكل 14–1 بزيادة التيار في الملف من (a) إلى (c) يزداد المجال المغناطيسي المتولد بواسطة التيار أيضًا. هذه الزيادة في المجال المغناطيسي تولد قوة دافعة كهربائية حثية تعاكس اتجاه التيار.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المحوِّلات الكهربائية Electric Transformers

تستخدم **المحوّلات** لرفع أو خفض الجهد الكهربائي المتناوب AC. واستخدام المحولات شـائع جدًّا؛ لأنها تغير الجهد مع فقد قليل من الطاقة. وتحتوي معظم الأجهزة الكهربائية في المنـزل – ومنها أنظمة الألعاب والطابعات والمسـجلات – على محولات تكون داخل صندوق الجهاز أو خارجه.

كيف تعمل المحولات؟ يولّد الحث الذاتي للملف قوة دافعة كهربائية حثية عندما يتغير التيار المار في ملف. وللمحـول الكهربائي ملفان معزولان كهربائيًّا أحدهما عن الآخر، وملفوفان حول القلب الحديدي نفسـه. ويسـمى أحد الملفين **الملف الابتدائي**، والآخر **الملف الثانوي**. وعند وَصْل الملف الابتدائي بمصدر جهد متناوب، يولّد تغيّر التيار مجالاً مغناطيسيًّا متغيرًا، ويُنقـل هذا التغير عبر القلب الحديدي إلى الملف الثانوي، حيث تتولّد فيه قوة دافعة كهربائية حثية متغيرة بسبب هذا التغير في المجال. ويسمى هذا التأثير **الحث المتبادل**.

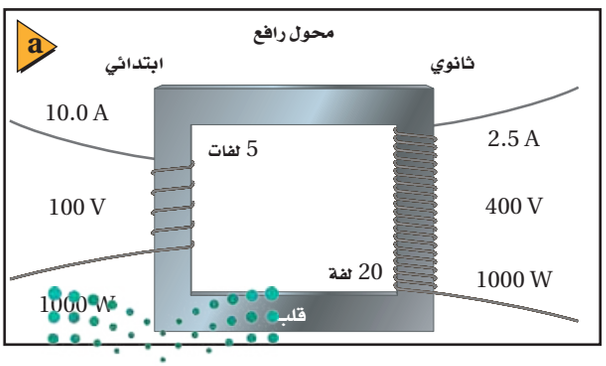
تتناسب القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في الملف الثانوي – وتسمى الجهدَ الثانوي – مع الجهد الابتدائي. ويعتمد الجهد الثانوي أيضًا على النسبة بين عدد لفات الملف الثانوي وعدد لفات الملف الابتدائي، كما هو موضّح في العلاقة الآتية:

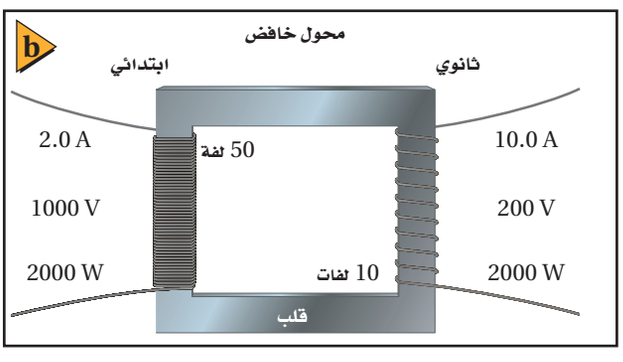
$$\frac{\text{الجهد الثانوي}}{\text{الجهد الابتدائي}} = \frac{\text{عدد لفات الملف الثانوي}}{\text{عدد لفات الملف الابتدائي}}$$

$$\frac{N_s}{N_p} = \frac{V_s}{V_p}$$

إذا كان الجهد الثانوي أكبر من الجهد الابتدائي فإن المحول يسـمّى عندئذ **محولًا رافعًا**، كما هو موضّح في **الشكل 15–1a**. أما إذا كان الجهد الناتج عن المحول أقل من الجهد الداخل إليه سمّي **محولًا خافضًا**، كما هو موضّح في **الشكل 15–1b**.

الشكل 15–1 في المحول، تعتمد النسبة بين الجهد الداخل والجهد الناتج على النسبة بين عدد لفات الملف الابتدائي وعدد لفات الملف الثانوي. ويمكن أن يكون الجهد الناتج أكبر من الجهد الداخل (a)، أو أقل من الجهد الداخل (b).





تجـــربة

المحرك والمولد

تختلف المحركات والمولدات بصورة رئيسة في طريقة تحويل الطاقة الكهربائية إلى ميكانيكية مقارنة بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى كهربائية.

1. ركّب دائرة توالٍ تحتوي على محرك DC ومصباح كهربائي صغير وأميتر.
2. دوّر المقبض اليدوي للمحرك أو عمود دورانه؛ لإضاءة المصباح الكهربائي.

التحليل والاستنتاج

3. ماذا يحدث عندما تغير سرعة دوران المقبض اليدوي للمحرك؟
4. توقع ماذا يحدث إذا وصلت المحرك بمحرك آخر؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

في المحـــول المثالي تكون القدرة الواصلة إلى الملف الابتدائي مســـاوية للقدرة الخارجة من الملف الثانوي. فالمحول المثالي لا يضيِّع أو يبدد أي جزء من القدرة، ويمكن تمثيله بالمعادلة:

$$P_p = P_s$$

$$V_p I_p = V_s I_s$$

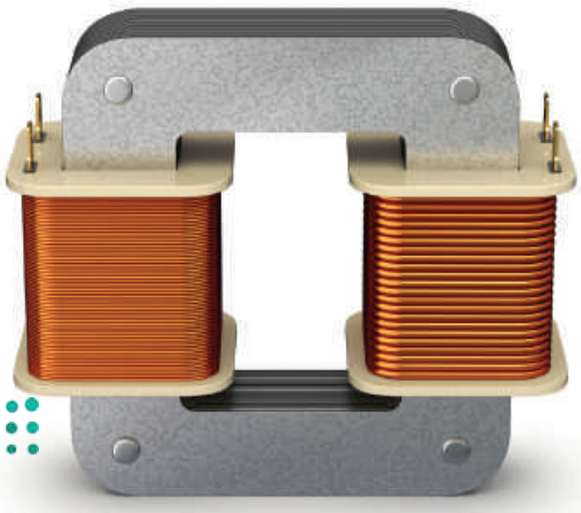
وبترتيب المعادلة للحصول على النسبة V_p / V_s، ستجد أن التيار في الدائرة الابتدائية يعتمد على مقدار التيار المطلوب في الدائرة الثانوية. وعند ربط هذه العلاقة بالمعادلة السابقة التي تربط الجهد بعدد اللفات نحصل على:

معادلة المحول $\frac{I_s}{I_p} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$

النســـبة بين تيار الملف الثانوي وتيار الملف الابتدائي تســـاوي النسبة بين جهد الملف الابتدائي وجهد الملف الثانوي، وتساوي أيضًا النسبة بين عدد لفات الملف الابتدائي وعدد لفات الملف الثانوي.

تعرفت من قبل أن المحول الرافع يزيد الجهد. ولأن المحول لا يمكنه زيادة القدرة الناتجة، لـــذا يجب أن يكون هناك نقص في التيار المار خلال الملف الثانوي. ويحدث الشيء نفســـه في المحـــول الخافض؛ إذ يكـــون التيار المار في الملف الثانوي أكبر مـــن التيار المار في الملف الابتدائـــي؛ فانخفاض الجهد يقابله زيادة التيار، كما هـــو موضّح في الصفحة المجاورة في الرياضيات في الفيزياء.

يمكن فهم ذلك بطريقة أخرى، وذلك بأن نعتبر أن كفاءة المحول 100%، كما يتم افتراضه عادةً في الصناعة. وبذلك يمكن – في معظم الحالات – افتراض أن القدرة الناتجة تساوي القدرة الداخلة. ويوضّح **الشكل 15–1** مبدأ عمل كلٍّ من المحولات الرافعة والمحولات الخافضة. ويمكن للمحول نفســـه أن يكـــون رافعًا أو خافضًا، وهـــذا يعتمد على طريقة توصيله، كما هو موضّح في **الشكل 16–1**.



الشكل 16–1 إذا وصل الجهد الداخل إلى الملف الذي عن اليسار حيث عدد اللفات أكبر، عَمِلَ المحول بوصفه محولًا خافضًا للجهد، وإذا وصل الجهد الداخل إلى الملف الذي عن اليمين فسيعمل المحول بوصفه محولًا رافعًا للجهد.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الرياضيات في الفيزياء

عدم المساواة ادرس التعابير الآتية لتساعدك على فهم العلاقات بين الجهد والتيار وعدد اللفات في المحول الرافع والمحول الخافض.

المحول الرافع	المحول الخافض
$V_s > V_p$	$V_s < V_p$
$I_s < I_p$	$I_s > I_p$
$N_s > N_p$	$N_s < N_p$

تطبيق الفيزياء

الوحدات الشائعة تقدّر قيم المحولات المثالية عادةً بوحدات (فولت. أمبير) (VA, kilo VA, Mega VA)
وتقنيًا، يمكن التعبير عن الأحمال ذات المقاومة النقية فقط أو قياسها بوحدة الواط، والأحمال التفاعلية بوحدة فولت. أمبير.

مثـــال 2

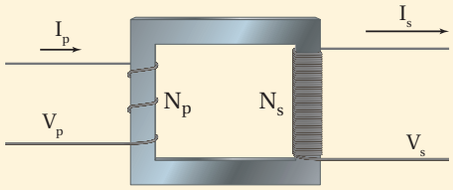
المحولات الرافعة محول رافع عدد لفات ملفه الابتدائي 200 لفة، وعدد لفات ملفه الثانوي 3000 لفة. إذا وصل ملفه الابتدائي بجهد متناوب فعّال مقداره 90.0 V فأجب عما يلي:

a. ما مقدار الجهد في دائرة الملف الثانوي؟

b. إذا كان التيار في دائرة الملف الثانوي 2.0 A فما مقدار التيار في دائرة الملف الابتدائي؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم قلبًا حديديًّا مع لفات من السلك.
- حدّد المتغيرات N و V و I.



المعلوم	المجهول
$V_p = 90.0\ V$	$V_s = ?$
$I_s = 2.0\ A$	$I_p = ?$
$N_p = 200$	
$N_s = 3000$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. حل بالنسبة لـ V_s.

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

$$V_s = \frac{N_s V_p}{N_p}$$

بالتعويض $V_p = 90.0\ V$، $N_S = 3000$، $N_p = 200$

$$= \frac{3000 \times 90.0\ V}{200}$$

$$= 1350\ V$$

b. تكون القدرة الداخلة إلى الملف الابتدائي مساوية للقدرة الخارجة من الملف الثانوي على افتراض أن كفاءة المحول 100 %.

بالتعويض $P_s = V_s I_s$، $P_P = V_P I_P$

$$P_P = P_s$$

$$V_P I_P = V_s I_s$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

$$I_P = \frac{V_s I_s}{V_P}$$

$$= \frac{(1350\ V)(2.0\ A)}{(90.0\ V)}$$

$$= 3.0 \times 10^1\ A$$

بالتعويض $V_s = 1350\ V$، $I_s = 2.0\ A$، $V_P = 90.0\ V$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يجب أن يكون الجهد مقيسًا بوحدة الفولت والتيار بوحدة الأمبير.
- **هل الجواب منطقي؟** النسبة الكبيرة لعدد اللفات في المحول الرافع ينتج عنه جهد ثانوي كبير؛ ولذلك سيكون التيار في الملف الثانوي قليلاً. وتتفق الإجابات مع هذا.

مسائل تدريبية

في المسائل الآتية التيارات والجهود المشار إليها هي التيارات والجهود الفعّالة.

16. محول مثالي خافض عدد لفات ملفه الابتدائي 7500 لفة، وعدد لفات ملفه الثانوي 125 لفة، فإذا كان الجهد في دائرة الملف الابتدائي 7.2 kV فما مقدار الجهد في دائرة الملف الثانوي؟ وإذا كان التيار في دائرة الملف الثانوي 36 A فما مقدار التيار في دائرة الملف الابتدائي؟

17. يتكون الملف الابتدائي في محول مثالي رافع من 300 لفة، ويتكون الملف الثانوي من 90000 لفة، فإذا كانت القوة الدافعة الكهربائية للمولد المتصل بالملف الابتدائي 60.0 V فما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية الناتجة عن الملف الثانوي؟ وإذا كان التيار في دائرة الملف الثانوي 0.50 A فما مقدار التيار في دائرة الملف الابتدائي؟

مسألة تحفيز

يتصل الملف الابتدائي لمحوّل توزيع T_1 بمصدر جهد متناوب مقداره 3.0 kV، ويتصل الملف الثانوي له بالملف الابتدائي لمحول آخر T_2 باستخدام وصلات نحاسية، ويتصل الملف الثانوي للمحول T_2 بدائرة حمل (مقاومة) تستخدم قدرة مقدارها 10.0 kW. فإذا كانت نسبة عدد لفات المحول T_1 هي 1 :5، وكان فرق جهد الحمل للمحول T_2 يساوي 120 V، وكفاءة المحوّلين 100% و97.0% على الترتيب، فأجب عما يلي:

1. احسب تيار الحمل.
2. ما مقدار القدرة المستهلكة في المحوّل T_2؟
3. ما مقدار تيار الملف الثانوي للمحول T_1؟
4. ما مقدار التيار الذي يزوده المصدر المتناوب AC للمحول T_1؟

الاستعمالات اليومية للمحوّلات تكون عملية نقل الطاقة الكهربائية لمسافات طويلة اقتصاديةً إذا استخدمت تيارات صغيرة وفروق جهد كبيرة جدًّا. ولذلك تُستخدم المحولات الرافعة عند مصادر القدرة للحصول على جهود كهربائية تصل إلى 480000 V، وتقلل هذه الجهود الكبيرة التيارات المستخدمة في نقل الطاقة عبر الأسلاك، مما يقلل من الطاقة الضائعة في مقاوماتها الكهربائية. وعندما تصل الطاقة إلى المستهلك تُستخدم محولات خافضة، كتلك الموضّحة في **الشكل 17–1**؛ لتزوِّده بجهود منخفضة تناسب الأجهزة الكهربائية المنزلية.

تضبط المحولات الموجودة في الأجهزة المنزلية الجهود الكهربائية إلى مستويات قابلة للاستعمال، فإذا أردت شحن لعبة أو تشغيل أداة كهربائية فعليك توصيلها في مخرج الكهرباء المثبت بالجدار، حيث يعمل المحوّل الموجود داخل هذه الأداة على تحويل التيار الكهربائي من تيار متردد إلى تيار مستمر ويقلل الجهد من 220 V إلى جهد يتراوح بين 3.0 V و 26.0 V.

ولا تستخدم المحولات لخفض الجهد ورفعه فقط؛ إذ يمكن استخدام المحولات لعزل دائرة عن أخرى، وهذا ممكن لأن سلك الملف الابتدائي لا يتصل بسلك الملف الثانوي. ويوجد هذا النوع من المحولات غالبًا في الأجهزة الإلكترونية الصغيرة.

الشكل 17–1 تستخدم المحولات الخافضة للتقليل من الجهود الكهربائية الكبيرة في خطوط نقل القدرة إلى مستويات تناسب المستهلكين في أماكن الاستخدام.

2–1 مراجعة

18. **السلك الملفوف والمغانط** ملف سلكي معلق من نهايتيه بحيث يتأرجح بسهولة. إذا قرّبت مغناطيسًا إلى الملف فجأة فسيتأرجح الملف. بأي طريقة يتأرجح الملف بالنسبة إلى المغناطيس؟ ولماذا؟

19. **المحركات** إذا نزعت قابس مكنسة كهربائية في أثناء تشغيلها من المقبس فستلاحظ حدوث شرارة كهربائية، في حين لا تشاهدها عند نزع قابس مصباح كهربائي. لماذا؟

20. **المحوّلات والتيار** وضح لماذا يعمل المحوّل الكهربائي على تيار متناوب فقط؟

21. **المحوّلات** كثيرًا ما يكون السلك المستخدم في ملفات المحوّل المكون من عدد قليل من اللفات سميكًا (مقاومته قليلة)، بينما يكون سلك الملف المكون من عدد كبير من اللفات رفيعًا. لماذا؟

22. **المحولات الرافعة** بالرجوع إلى المحوّل الرافع الموضّح في **الشكل 15a–1**، وضّح ما يحدث لتيار الملف الابتدائي إذا أصبحت دائرة الملف الثانوي دائرة قصر.

23. **التفكير الناقد** هل تصلح المغانط الدائمة لصنع قلب محوّل جيد؟ وضّح إجابتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مختبر الفيزياء

الحث والمحوِّلات

المحــوِّل جهاز ليس فيــه أجزاء متحركة، حيث يتركب مــن دائرتين كهربائيتين ترتبطان بواســطة مجال مغناطيسي. ويســتخدم المحوّل لرفع أو خفــض فرق الجهد المتناوب AC، والذي يســمى عادة فولتية. وتوجــد المحوّلات في كل مكان؛ فجميع الأجهزة الإلكترونية في المنزل تحتوي على محوّلات، تعمل غالبًا على خفض الفولتية التي تدخل إليها. إلا أن لأجهزة التلفاز التي تحتوي على أنبوب أشعة مهبطية لتكوين الصور محوّلاتٍ تنتــج فولتية كبيرة؛ إذ تعمل هذه المحوّلات على رفــع الفولتية إلى عشرات الآلاف من الفولتات، مما يؤدي إلى مســارعة الإلكترونات من مؤخرة الأنبوب في اتجاه الشاشــة. ستستخدم في هذه التجربة ملفين مع قلب حديدي قابل للحركة. يسمّى أحد الملفين الملف الابتدائي، والآخر الملف الثانوي. وعند تطبيق جهد متناوب AC على الملف الابتدائي يعمل المجال المغناطيسي المتغير على توليد تيار وجهد كهربائيين حثيين في الملــف الثانوي. ويُعبّر عن هذه الفولتية الحثيــة بالعلاقة: $V_s / V_p = N_s / N_p$؛ حيث ترمز N إلى عدد اللفات في الملف.

سؤال التجربة

ما العلاقة بين جهدي ملفي المحوّل؟

الأهــداف

- **تصف** كيف يعمل المحوّل الكهربائي.
- **تلاحظ** أثر الفولتية المستمرة DC في المحوّل.
- **تلاحظ** أثر الفولتية المتناوبة AC في المحوّل.

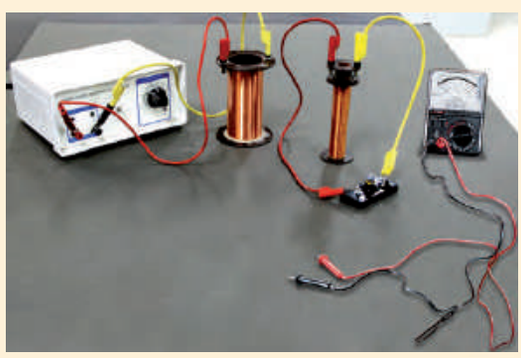
احتياطات السلامة

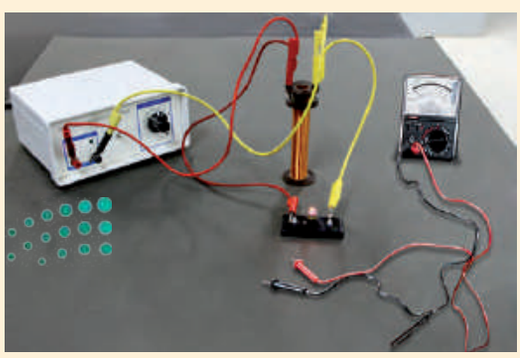
المواد والأدوات

ملف ثانوي، وملف ابتدائي بأعداد لفات مختلفة
مصدر جهد متناوب AC صغير
فولتمتر خاص بالتيار المتناوب AC
مصدر جهد مستمر DC (0–6 V, 0–5 A)
أسلاك توصيل مزودة بمشابك
مصباح كهربائي صغير متصل بأسلاك

الخطوات

1. قدّر عدد لفات كل من الملفين الابتدائي والثانوي، وذلك عــن طريق عدّ اللفــات في كل 1 cm، ثم ضرب ذلك في طول الملف بالســنتمترات. يتكون الملــف الابتدائي من طبقــة واحدة، أما الملف الثانــوي فيتكون من طبقتين من الأسلاك، لذا عليك مضاعفة عدد لفاته. دوّن نتائجك في جدول البيانات1.
2. صل طرفي التوصيل للمصباح الكهربائي بالملف الثانوي، ثم ضع الملف الثانوي داخل الملــف الابتدائي بعناية، ثم أدخل قلب الحديد داخل الملف الثانوي بعناية.
3. صل ســلكين بمخرج مصدر قدرة DC. وصل الســلك الموجــب لمصدر الجهد بأحــد طرفي التوصيــل في الملف الابتدائــي. والآن شــغل مصدر الجهــد بقيمته العظمى





وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

جدول البيانات 1			
عدد لفات الملف الابتدائي N_p	عدد لفات الملف الثانوي N_s	جهد الملف الابتدائي V_p	جهد الملف الثانوي V_s

جدول البيانات 2	
ملاحظة الخطوة 3	
ملاحظة الخطوة 4	
ملاحظة الخطوة 5	
ملاحظة الخطوة 6	
ملاحظة الخطوة 8	
ملاحظة الخطوة 9	

تقريبًا، ثم أمسك الطرف الحرّ للسلك الموصول بالطرف السالب للمصدر واجعله يلامس الطرف الثاني لسلك الملف الابتدائي. لاحظ المنطقة التي لامست بها السلك بالتوصيلة. دوّن ملاحظاتك في جدول البيانات 2.

4. راقب المصباح الكهربائي في أثناء ملامسة التوصيلة بلطف. ماذا يحدث عند ملامسة السلك للتوصيلة وعند فصله عنها؟ دوّن ملاحظاتك في جدول البيانات 2.
5. لامس السلك السالب بتوصيلة الملف الابتدائي مدة 5 ثوانٍ وراقب المصباح، ودوّن ملاحظاتك في جدول البيانات 2.
6. افصل مصدر القدرة DC، وضعه جانبًا مع الإبقاء على المصباح موصولاً بالملف الثانوي، ثم صل مصدر القدرة AC بطرفي التوصيل في الملف الابتدائي، ثم شغّل مصدر القدرة AC وراقب المصباح. ودوّن ملاحظاتك في جدول البيانات 2.
7. اختر تدريج AC للفولتمتر الذي تستخدمه، وأدخل مجسَّيه في نقطتي الفولتمتر، ثم لامس طرفي المجسّين الحرين لطرفي الملف الابتدائي برفق، وقس الجهد المطبق. ثم أبعد المجسين عن الملف الابتدائي، ولامسهما لطرفي الملف الثانوي، وقس الجهد. دوّن قراءتي الفولتمتر في جدول البيانات 1.
8. أعد الخطوة 7 لكن مع سحب القلب الحديدي تدريجيًّا من الملف الثانوي. ماذا يحدث لإضاءة المصباح؟ قس الجهد في الملفين الابتدائي والثانوي عند سحب القلب. دوّن قياساتك في جدول البيانات 2.
9. تحسّس القلب الحديدي بلطف، ماذا تلاحظ؟ دوّن ملاحظاتك في جدول البيانات 2.

التحليل

1. احسب النسبة N_s/N_p من بياناتك المدوّنة في الجدول 1.
2. احسب النسبة V_s/V_p من بياناتك المدوّنة في الجدول 1.
3. **تفسير البيانات** كيف تقارن بين N_s/N_p و V_s/V_p؟
4. **تعرّف السبب والنتيجة** استنادًا إلى البيانات الخاصة بالخطوة 7 هل هذا المحول رافع أم خافض؟ ما دليلك على ذلك؟

الاستنتاج والتطبيق

1. **استنتج** كيف تفسر ملاحظاتك على المصباح في الخطوة 4؟
2. **استنتج** كيف تفسر الظاهرة التي لاحظتها على التوصيل السالب للملف الابتدائي في الخطوة 3؟
3. **استنتج** كيف تفسر ملاحظاتك حول جهدي الملفين الابتدائي والثانوي عند سحب القلب الحديدي في الخطوة 8؟
4. **فسر** درجة حرارة القلب الحديدي التي لاحظتها في الخطوة 9.

التوسع في البحث

لماذا يعمل المحوّل بتيار متناوب فقط، ولا يعمل بتيار مستمر؟

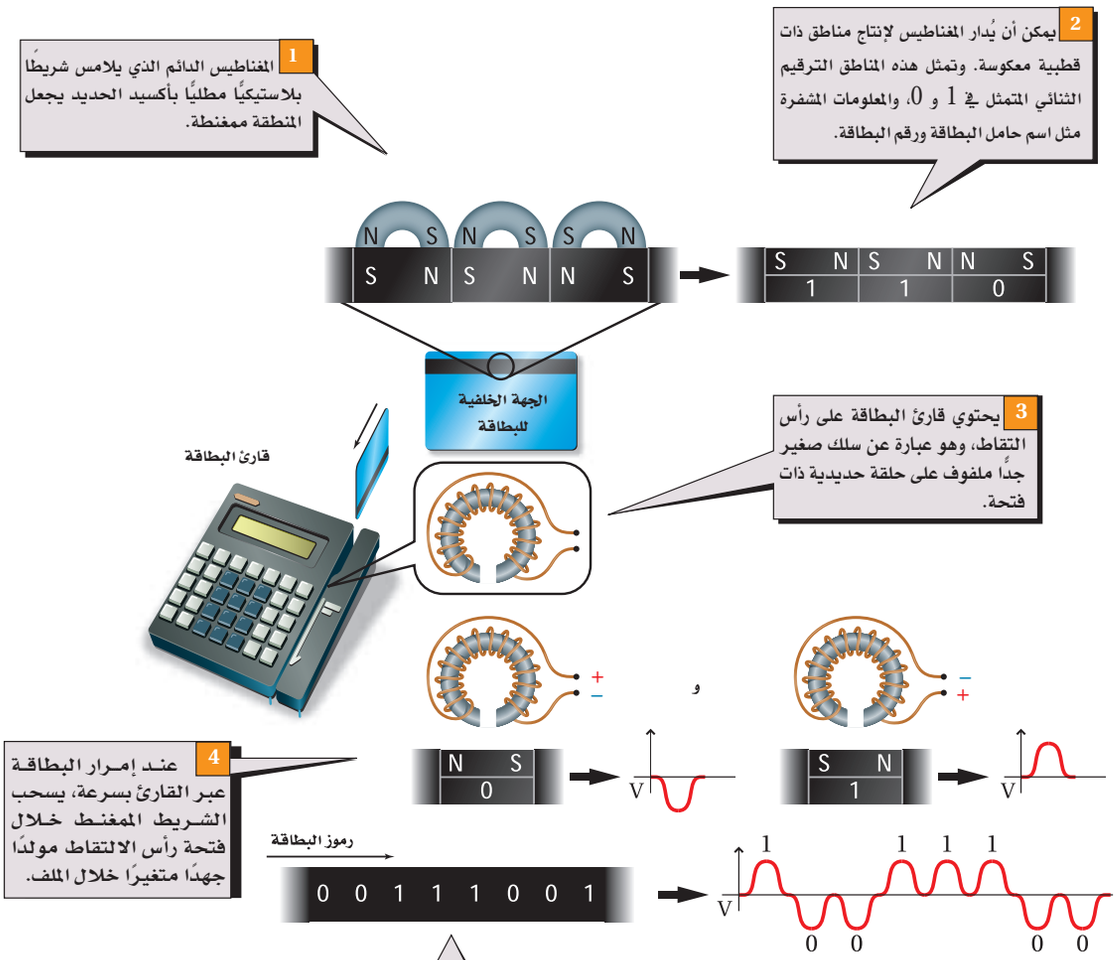
الفيزياء في الحياة

ناقش استخدام المحوّلات في المساعدة على نقل الكهرباء من محطات توليد الكهرباء إلى منزلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

قارئ بطاقات الائتمان؟
How a Credit - Card Reader Works?

أحدثت بطاقات الائتمان ثورة اقتصادية في العالم عن طريق جعل عملية تحويل النقود سريعة وسهلة. يعدّ قارئ بطاقات الائتمان – الذي يأخذ البيانات من شريط مغناطيسي موجود على ظهر البطاقة – من أهم الروابط في العملية الإلكترونية لتحويل النقود.



التفكير الناقد

1. لاحظ لماذا تتحول الأرقام الثنائية في الخطوة 5 من الشريط المغناطيسي إلى جهد في صورة موجة؟
2. حلّل ماذا يحدث إذا لم يكن لحلقة الحديد الصغيرة فتحة؟

الفصل 1
دليل مراجعة الفصل

1–1 التيار الكهربائي الناتج عن تغير المجالات المغناطيسية
Electric Current from Changing Magnetic Fields

المفردات

- التيار الكهربائي الحثي
- الحث الكهرومغناطيسي
- القاعدة الرابعة لليد اليمنى
- القوة الدافعة الكهربائية الحثية
- المولد الكهربائي
- متوسط القدرة

المفاهيم الرئيسة

- اكتشف مايكل فاراداي أنه إذا تحرك سلك داخل مجال مغناطيسي فسوف يسري فيه تيار كهربائي.
- يعتمد التيار المتولد على الزاوية المحصورة بين متجه سرعة السلك واتجاه المجال المغناطيسي، وتكون أكبر قيمة للتيار عندما يتحرك السلك عموديًّا على المجال.
- القوة الدافعة الكهربائية EMF هي فرق الجهد الناتج بين طرفي السلك المتحرك، وتقاس بوحدة الفولت.
- القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في سلك مستقيم يتحرك داخل مجال مغناطيسي منتظم تساوي حاصل ضرب مقدار المجال المغناطيسي B، في كل من طول السلك L والمركبة العمودية لسرعة السلك على المجال، $v\ (\sin\theta)$.

$$EMF = BLv \sin\theta$$

- يمكن استعمال التيار والجهد الفعّالين لوصف التيار المتناوب والجهد المتناوب.

$$V_{\text{فعّال}} = 0.707\ V_{\text{عظمى}}$$

$$I_{\text{فعّال}} = 0.707\ I_{\text{عظمى}}$$

- المولد الكهربائي والمحرك الكهربائي جهازان متشابهان؛ إذ يحول المولد الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية، في حين يحول المحرك الكهربائي الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية.

1–2 تغيُّر المجالات المغناطيسية يولد قوة دافعة كهربائية حثية
Changing Magnetic Fields Induce *EMF*

المفردات

- قانون لنز
- التيار الدوامي
- الحث الذاتي
- المحوّل الكهربائي
- الملف الابتدائي
- الملف الثانوي
- الحث المتبادل
- المحول الرافع
- المحول الخافض

المفاهيم الرئيسة

- ينص قانون لنز على أن اتجاه التيار الحثي يكون بحيث إن المجال المغناطيسي الناشئ عنه يعاكس التغير في المجال المغناطيسي الذي سبّبه.
- تتولد قوة دافعة كهربائية عكسية بتحريك سلك يسري فيه تيار داخل مجال مغناطيسي، وتكون معاكسة للتيار.
- الحث الذاتي خاصية للسلك الذي يسري فيه تيار متغير، وكلما كان تغير التيار في السلك أسرع زادت القوة الدافعة الكهربائية الحثية العكسية التي تقاوم هذا التغير.
- يحتوي المحول على ملفين ملفوفين على القلب نفسه. يولد مرور التيار المتناوب AC في الملف الابتدائي قوة دافعة كهربائية متناوبة EMF في الملف الثانوي. والجهود الناتجة عن دوائر التيار المتناوب قد تزداد أو تقل بواسطة المحوّلات.

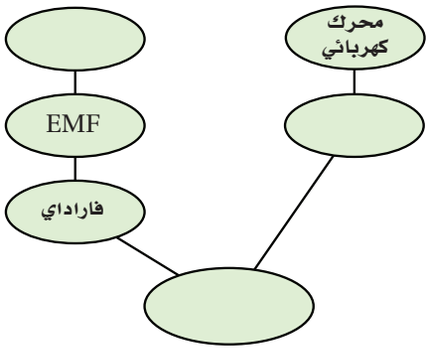
$$\frac{I_s}{I_P} = \frac{V_P}{V_s} = \frac{N_P}{N_s}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 1
التقويم

خريطة المفاهيم

24. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التالية: المولد الكهربائي، القوة الدافعة الكهربائية العكسية، قانون لنز.



إتقان المفاهيم

25. ما الجزء المتحرك في المولد الكهربائي؟ (1–1)

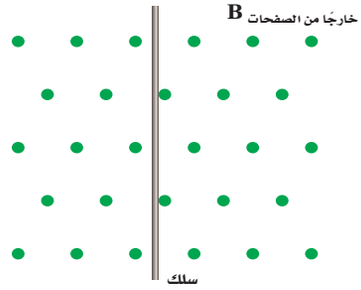
26. لماذا يستخدم الحديد قلبًا للملف؟ (1–1)

*للإجابة عن الأسئلة **29–27** ارجع إلى **الشكل 18–1**.*

27. يتحرك موصل داخل مجال مغناطيسي ويتولد جهد كهربائي بين طرفيه. في أي اتجاه يجب أن يتحرك الموصل بالنسبة إلى المجال المغناطيسي دون أن يتولد جهد؟ (1–1)

28. ما قطبية الجهد الحثي المتولد في ملف لولبي عند تقريب القطب الجنوبي لمغناطيس؟ (1–1)

29. ما أثر زيادة الطول الكلي للموصل داخل مولد كهربائي؟ (1–1)



الشكل 18–1

30. فيم تتشابه نتائج كل من أورستد وفاراداي؟ وفيم تختلف؟ (1–1)

31. لديك ملف سلكي وقضيب مغناطيسي. صف كيف يمكنك استخدامهما في توليد تيار كهربائي؟ (1–1)

32. ما الذي ترمز إليه *EMF*؟ وما سبب عدم دقة الاسم؟ (1–1)

33. ما الفرق بين المولد الكهربائي والمحرك الكهربائي؟ (1–1)

34. اكتب الأجزاء الرئيسة لمولد التيار المتناوب AC. (1–1)

35. لماذا تكون القيمة الفعالة للتيار المتناوب أقل من القيمة العظمى له؟ (1–1)

36. **الكهرومائية** يدير الماء الذي كان محجوزًا خلف السد التوربينات التي تدوّر المولدات. أعدّ قائمة بجميع أشكال الطاقة وتحولاتها منذ كان الماء محجوزا إلى أن تولدت الكهرباء. (1–1)

37. اكتب نص قانون لنز. (2–1)

38. ما الذي يسبب تولد القوة الدافعة الكهربائية العكسية في المحرك الكهربائي؟ (2–1)

39. لماذا لا تحدث شرارة كهربائية عندما تغلق مفتاحًا كهربائيًّا لتمرير تيار إلى محث، في حين تحدث الشرارة عند فتح ذلك المفتاح؟ (2–1)

40. لماذا يكون الحث الذاتي في ملف عاملاً رئيسًا عندما يمر فيه تيار متناوب AC في حين يكون عاملاً ثانويًّا عندما يمر فيه تيار مستمر DC؟ (2–1)

41. وضح لماذا تظهر كلمة "تغير" في هذا الفصل بكثرة؟ (2–1)

42. علام تعتمد النسبة بين القوة الدافعة الكهربائية في كل من دائرتي الملفين الابتدائي والثانوي للمحول نفسه ؟ (2–1)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 1

تطبيق المفاهيم

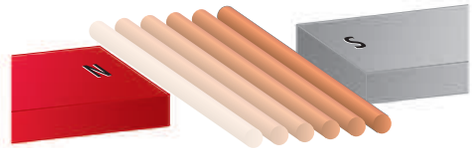
43. استخدم الوحدات لإثبات أن الفولت هو وحدة قياس للمقدار BLv.

44. عندما يتحرك سلك داخل مجال مغناطيسي فهل تؤثر مقاومة الدائرة المغلقة في التيار فقط، أم في القوة الدافعة الكهربائية فقط، أم في كليهما، أم لا يتأثر أي منهما؟

45. **الدراجة الهوائية** عندما يُبطئ أحمد من سرعة دراجته الهوائية ماذا يحدث للقوة الدافعة الكهربائية الناتجة عن مولد دراجته؟ استخدم مصطلح *(الملف ذو القلب الحديدي)* خلال التوضيح.

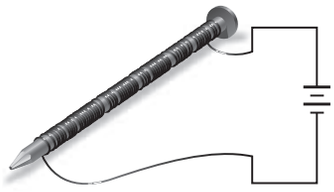
46. يتغير اتجاه الجهد المتناوب (AC) 120 مرة في كل ثانية، فهل يعني ذلك أن الجهاز الموصول بجهد متناوب AC يفقد الطاقة ويكتسبها بالتناوب؟

47. يتحرك سلك بصورة أفقية بين قطبي مغناطيس، كما هو موضح في **الشكل 19–1**. ما اتجاه التيار الحثي فيه؟



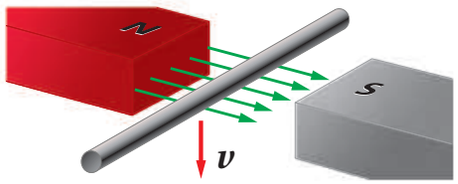
الشكل 19–1

48. عملت مغناطيسًا كهربائيًّا بلف سلك حول مسمار طويل، كما هو موضح في **الشكل 20–1**، ثم وصلته مع بطارية، فهل يكون التيار أكبر بعد التوصيل مباشرة، أم بعد التوصيل بعدة أعشار من الثانية، أم يبقى التيار نفسه دائمًا؟ وضح إجابتك.



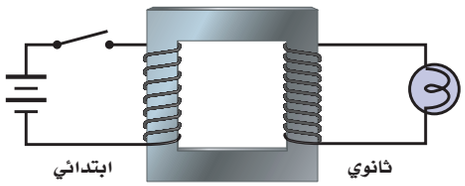
الشكل 20–1

49. تتحرك قطعة من حلقة سلكية إلى أسفل بين قطبي مغناطيس، كما هو موضح في **الشكل 21–1**. ما اتجاه التيار الحثي المتولد؟



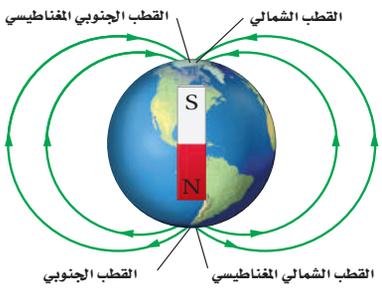
الشكل 21–1

50. وصل محول مع بطارية بواسطة مفتاح كهربائي، ووصلت دائرة الملف الثانوي مع مصباح كهربائي، كما في **الشكل 22–1**. هل يضيء المصباح ما دام المفتاح مغلقًا، أم عند لحظة الإغلاق فقط، أم عند لحظة فتح المفتاح فقط؟ وضح إجابتك.



الشكل 22–1

51. **المجال المغناطيسي الأرضي** اتجاه المجال المغناطيس الأرضي في النصف الشمالي في اتجاه الأسفل ونحو الشمال، كما هو موضح في **الشكل 23–1**. إذا تحرك سلك أفقي (يمتد من الشرق إلى الغرب) من الشمال إلى الجنوب فما اتجاه التيار المتولد؟



الشكل 23–1

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

52. إذا حركت سلكًا نحاسيًّا إلى أسفل خلال مجال مغناطيسي B كما في **الشكل 21–1** فأجب عما يلي:

a. هل يسري التيار الحثي المتولد في قطعة السلك إلى اليسار أم إلى اليمين؟

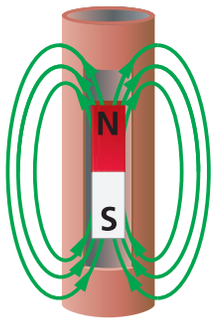
b. عندما يتحرك السلك داخل المجال المغناطيسي سيسري فيه تيار، وعندها تكون القطعة عبارة عن سلك يسري فيه تيار كهربائي وموضوع داخل مجال مغناطيسي، ويجب أن تؤثر فيه قوة مغناطيسية. ما اتجاه القوة التي ستؤثر في السلك نتيجة سريان التيار الحثي؟

53. أسقط مدرس الفيزياء مغناطيسا قويا في أنبوب نحاسي، كما في **الشكل 24–1**، فتحرك المغناطيس ببطء شديد، فاعتقد الطلبة في الصف أنه يجب أن تكون هناك قوة معاكسة لقوة الجاذبية.

a. ما اتجاه التيار الحثي المتولد في الأنبوب بسبب سقوط المغناطيس إذا كان القطب الجنوبي للمغناطيس هو القطب المتجه إلى أسفل؟

b. يُنتج التيار الحثي مجالاً مغناطيسيًّا. ما اتجاه هذا المجال؟

c. كيف يعمل المجال المغناطيسي على تقليل تسارع المغناطيس الساقط؟



الشكل 24–1

54. **المولدات** لماذا يكون دوران المولد أكثر صعوبة عندما يكون متصلًا بدائرة كهربائية يُزوِّدها بالتيار، مقارنة بدورانه عندما لا يكون متصلاً بدائرة ما؟

55. وضح لماذا يكون التيار الابتدائي عند تشغيل المحرك كبيرًا. وضح أيضًا كيف يمكن تطبيق قانون لنز عند اللحظة $t > 0$؟

56. بالرجوع إلى **الشكل 12–1** وبالربط مع قانون لنز، وضح لماذا يتكون قلب المحول الكهربائي من شرائح معزولة؟

57. يصنع محول كهربائي عملي بحيث يحتوي قلبه على شرائح ليست فائقة التوصيل. ولأنه لا يمكن التخلص من التيارات الدوامية نهائيًّا فإنه يكون هناك فقد قليل للقدرة في قلب المحول. وهذا يعني وجود فقد مستمر للقدرة في قلب المحول. ما القانون الأساسي الذي يكون من المستحيل معه جعل الطاقة المفقودة صفرًا؟

58. اشرح كيفية حدوث الحث المتبادل في المحول؟

59. أسقط طالب قضيبًا مغناطيسيًّا بحيث كان قطبه الشمالي إلى أسفل في أنبوب نحاسي رأسي.

a. ما اتجاه التيار الحثي المتولد في الأنبوب النحاسي في أثناء مرور قطبه الجنوبي؟

b. ينتج التيار الحثي المتولد مجالاً مغناطيسيًّا. ما اتجاه هذا المجال؟

إتقان حل المسائل

1–1 التيار الكهربائي الناتج عن تغير المجالات المغناطيسية

60. يتحرك سلك طوله 20.0 m بسرعة 4.0 m /s عموديًّا على مجال مغناطيسي. فإذا تولدت قوة دافعة كهربائية حثية خلاله مقدارها 40 V فما مقدار المجال المغناطيسي؟

61. **الطائرات** تطير طائرة بسرعة 9.50×10^{2} km/h وتمر فوق منطقة مقدار المجال المغناطيسي الأرضي فيها 4.5×10^{-5} T، والمجال المغناطيسي في تلك

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

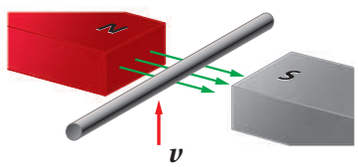
تقويم الفصل 1

المنطقة رأسي تقريبًا. احسب مقدار فرق الجهد بين طرفي جناحيها إذا كانت المسافة بينهما 75 m.

62. يتحرك سلك مستقيم طوله 0.75 m إلى أعلى بسرعة 16 m/s في مجال مغناطيسي أفقي مقداره 0.30 T، كما هو موضّح في **الشكل 25–1**.

a. ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في السلك؟

b. إذا كان السلك جزءًا من دائرة كهربائية مقاومتها 11 Ω فما مقدار التيار المار فيها؟



الشكل 25–1

63. ما السرعة التي يجب أن يتحرك بها سلك طوله 0.20 m داخل مجال مغناطيسي مقداره 2.5 T؛ لكي تتولد فيه قوة دافعة كهربائية *EMF* مقدارها 10 V؟

64. مولد كهربائي AC يولد قوة دافعة كهربائية عظمى مقدارها 565 V. ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الفعالة التي يزود بها المولد دائرة خارجية؟

65. مولد كهربائي AC يولد فولتية عظمى مقدارها 150 V، ويزود دائرة خارجية بتيار قيمته العظمى 30.0 A، احسب:

a. الجهد الفعّال للمولد.

b. التيار الفعّال الذي يزود به المولد الدائرة الخارجية.

c. القدرة الفعّالة المستهلكة في الدائرة.

66. **الفرن الكهربائي** يتصل فرن كهربائي بمصدر تيار متناوب AC جهده الفعّال 240 V.

a. احسب القيمة العظمى للجهد خلال أحد أجزاء الفرن عند تشغيله.

b. إذا كانت مقاومة عنصر التشغيل 11 Ω فما مقدار التيار الفعّال؟

67. إذا أردت توليد قوة دافعة كهربائية مقدارها 4.5 V عن طريق تحريك سلك بسرعة 4.0 m/s خلال مجال مغناطيسي مقداره 0.050 T فما طول السلك اللازم؟ وما مقدار الزاوية بين المجال واتجاه الحركة لكي نستخدم أقصر سلك؟

68. يتحرك سلك طوله 40.0 cm عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 0.32 T بسرعة 1.3 m/s، فإذا اتصل السلك بدائرة مقاومتها 10.0 Ω فما مقدار التيار المار فيها؟

69. إذا وصلت طرفي سلك نحاسي مقاومته 0.10 Ω بطرفي جلفانومتر مقاومته 875 Ω، ثم حركت 10.0 cm من السلك إلى أعلى بسرعة 1.0 m/s عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 2.0×10^{-2} T، فما مقدار التيار الذي سيقيسه الجلفانومتر؟

70. تحرك سلك طوله 2.5 m أفقيًّا بسرعة 2.4 m/s داخل مجال مغناطيسي مقداره 0.045 T في اتجاه يصنع زاوية مقدارها 60° فوق الأفقي. احسب:

a. المركبة الرأسية للمجال المغناطيسي.

b. القوة الدافعة الكهربائية الحثية *EMF* المتولدة في السلك.

71. **السدود** يُنتج مولد كهربائي على سدٍّ قدرةً كهربائية مقدارها 375 MW، إذا كانت كفاءة المولّد والتوربين 85% فأجب عما يلي:

a. احسب معدل الطاقة التي يجب أن يزود بها التوربين من المياه الساقطة.

b. طاقة الماء الساقط تكون نتيجة للتغير في طاقة الوضع $P.E = mgh$. ما مقدار التغير في طاقة الوضع اللازمة في كل ثانية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

c. إذا كان الماء يسقط من ارتفاع 22 m فما مقدار كتلة الماء التي يجب أن تمر خلال التوربين في كل ثانية لتعطي هذه القدرة؟

72. يتحرك موصل طوله 20 cm عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 4.0 T بسرعة 1 m /s. احسب فرق الجهد المتولد.

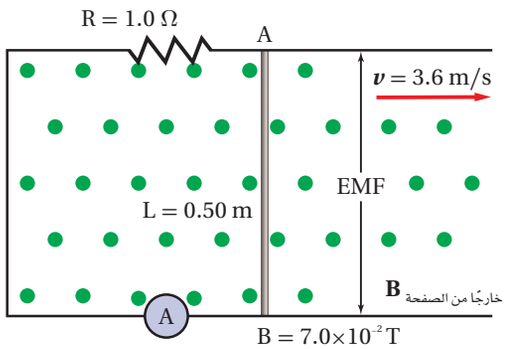
73. ارجع إلى المثال 1 و**الشكل 26–1** لإيجاد ما يلي:

a. الجهد الحثي المتولد في الموصل.

b. مقدار التيار I.

c. اتجاه دوران المجال المغناطيسي المتولد حول الموصل.

d. قطبية النقطة A بالنسبة إلى النقطة B.



الشكل 26–1

2–1 تغيّر المجالات المغناطيسية يولد قوة دافعة كهربائية حثية

74. يتكون الملف الابتدائي في محول مثالي من 150 لفة، ويتصل بمصدر جهد مقداره 120 V، احسب عدد لفات الملف الثانوي الضرورية للتزويد بالجهود التالية:

a. 625 V

b. 35 V

c. 6.0 V

75. محول مثالي رافع يتكون ملفه الابتدائي من 80 لفة، ويتكون ملفه الثانوي من 1200 لفة، إذا زوّدت دائرة الملف الابتدائي بفرق جهد متناوب مقداره 120 V، فأجب عما يلي:

a. ما مقدار فرق الجهد في الملف الثانوي؟

b. إذا كان تيار الملف الثانوي 2.0 A فما مقدار تيار الملف الابتدائي؟

c. ما مقدار القدرة الداخلة والقدرة الناتجة عن المحول؟

76. **الحواسيب الشخصية** محول مثالي في حاسوب شخصي يحتاج إلى جهد فعّال مقداره 9.0 V من مصدر جهد مقداره 120 V

a. ما عدد لفات الملف الثانوي إذا كان عدد لفات الملف الابتدائي 475 لفة؟

b. إذا كان التيار المار في الحاسوب يساوي 125 mA فما مقدار التيار المار في دائرة الملف الابتدائي للمحول؟

77. **مجففات الشعر** صنع مجفف شعر ليعمل على تيار مقداره 10 A وفرق جهد 120 V في بلد ما. إذا أريد استخدام هذا الجهاز في بلد آخر مصدر الجهد فيه 240 V فاحسب:

a. النسبة التي يجب أن تكون بين عدد لفات ملفه الابتدائي وعدد لفات ملفه الثانوي.

b. مقدار التيار الذي يعمل عليه في البلد الجديد.

78. محول مثالي قدرته 150 W يعمل على جهد 9.0 V لينتج تيارًا 5.0 A.

a. هل المحول رافع أم خافض للجهد؟

b. ما النسبة بين جهد الملف الثانوي وجهد الملف الابتدائي؟

79. وصل أحمد محولًا مثاليًّا بمصدر جهد مقداره 24 V وقاس 8.0 V في الملف الثانوي، إذا عُكست دائرتا الملف الابتدائي والثانوي فما مقدار الجهد الناتج في هذه الحالة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 1

مراجعة عامة

80. عــدد لفــات الملف الابتدائــي في محول مثــالي رافع 500 لفة وعــدد لفات الملف الثانــوي 15000 لفة. إذا وصلت دائرة الملف الابتدائي بمولد تيار متناوب قوته الدافعة الكهربائية 120 V، فأجب عما يلي:

a. احســب القوة الدافعة الكهربائيــة في دائرة الملف الثانوي.

b. إذا كان تيــار دائــرة الملف الثانوي يســاوي 3.0 A، فاحسب تيار دائرة الملف الابتدائي.

c. ما مقدار القدرة المسحوبة بواسطة دائرة الملف الابتدائــي؟ وما مقدار القــدرة التي تُزوِّدها دائرة الملف الثانوي؟

81. مــا مقدار السرعة التي يجب أن يقطع فيها موصل طولــه 0.20 m مجالًا مغناطيســيًّا مقداره 2.5 T عموديًّا عليه لتكــون القوة الدافعــة الكهربائية الحثية المتولدة فيه 10 V؟

82. ما مقدار السرعة التي يجب أن يتحرك بها موصل طوله 50 cm عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 0.20 T لكي تتولد فيه قــوة دافعة كهربائية حثية مقدارها 1.0 V؟

83. دائــرة إنارة منزلية تعمل عــلى جهد فعّال مقداره 120 V، ما أكبر قيمة متوقعة للجهد في هذه الدائرة؟

84. **محمصــة الخبز** تعمل محمصــة خبز بتيار متناوب مقداره 2.5 A، ما أكبر قيمة للتيار في هذا الجهاز؟

85. يحدث تلف للعــزل في مكثف إذا تجــاوز الجهد اللحظــي المقــدار 575 V، ما مقــدار أكبر جهد متناوب فعّال يمكن استخدامه في المكثف؟

86. **المنصهر الكهربائي** يعمل قاطع الدائرة المغناطيسي على فتح دائرته إذا بلغ التيار اللحظي فيها 21.25 A، ما مقدار أكبر تيار فعّال يمكن أن يمر بالدائرة؟

87. إذا كان فرق الجهد الكهربائــي الداخل إلى محطة كهربائية فرعية يساوي 240000 V فما النسبة بين عدد لفات المحول المستخدم إذا كان الجهد الخارج من المحطة يساوي 440 V؟

88. يزود مولــد تيار متناوب ســخانًا كهربائيًّا بقدرة مقدارها 45 kW، فإذا كان جهد النظام يســاوي $660\ V_{\text{فعال}}$ فما القيمة العظمى للتيار المزوّد للنظام؟

89. يتكون الملف الابتدائي في محول مثالي خافض من 100 لفة، ويتكون الملــف الثانوي من 10 لفات. فإذا وصل بالمحــول مقاومة حمل قدرتها 2.0 kW فما مقدار التيــار الفعّال الابتدائــي؟ افترض أن مقدار الجهد في الملف الثانوي يساوي 60.0 V.

90. قدرة محول 100 kVA، وكفاءته 98%.

a. إذا اســتهلك الحمل الموصول به 98 kW فما مقدار القدرة الداخلة إلى المحول؟

b. ما مقــدار أكــبر تيــار في الملــف الابتدائي الضروري لجعــل المحول يســتهلك قدرته الفعالة؟ افترض أن $V_p = 600\ V$.

91. يقطع ســلك طوله 0.40 m عموديًّا خطوط مجال مغناطيسي شدته 2.0 T، بسرعة 8.0 m/s

a. ما مقــدار القــوة الدافعــة الكهربائية الحثية المتولدة في السلك؟

b. إذا كان الســلك جــزءًا من دائــرة مقاومتها 6.4 Ω فما مقدار التيار المار فيه؟

92. يتحرك ملف ســلكي طوله 7.50 m عموديًّا على المجال المغناطيسي الأرضي بسرعة 5.50 m/s، إذا كانت المقاومة الكلية للســلك $5.0\times10^{-2}\ \Omega$، فما مقدار التيار المار فيه؟ افترض أن المجال المغناطيسي للأرض يساوي $5\times10^{-5}\ T$.

93. القيمة العظمى للجهد المتناوب، الذي يطبق على مقاومة مقدارها 144 Ω هي $1.00\times10^{2}\ V$، ما مقدار القدرة التي يمكن أن تعطيها المقاومة الكهربائية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 1

94. التلفاز يستخدم محول رافع في أنبوب الأشعة المهبطية CRT في التلفاز لتحويل الجهد من 120 V إلى 48000 V، إذا كان عدد لفات الملف الثانوي للمحول 20000 لفة، وكان الملف يعطي تيارًا مقداره 1.0 mA، فأجب عما يلي:

a. ما عدد لفات الملف الابتدائي؟

b. ما مقدار التيار الداخل إلى الملف الابتدائي؟

التفكير الناقد

95. تطبيق المفاهيم افترض أن هناك معارضًا لقانون لنز يقول إن القوة تعمل على زيادة التغير في المجال المغناطيسي. لذلك عندما تحتاج إلى طاقة أكبر فإنه تلزمنا قوة أقل لتدوير المولد. فما قانون الحفظ الذي ينتهكه هذا القانون الجديد؟ وضّح إجابتك.

96. حلّل لا تصل كفاءة المحولات العملية إلى 100%. اكتب تعبيرًا يمثل كفاءة المحول بدلالة القدرة. إذا استخدم محول خافض كفاءته 92.5%، وعمل على خفض الجهد في المنزل من 125 V إلى 28.0 V، وكان التيار المار في دائرة الملف الثانوي يساوي 25.0A فما مقدار التيار المار في دائرة الملف الابتدائي؟

97. حلّل واستنتج محول كهربائي كفاءته 95 % يزود ثمانية منازل. وكل منزل يشغل فرنًا كهربائيًّا يسحب تيارًا مقداره 35 A بفرق جهد مقداره 240 V، ما مقدار القدرة التي تزود بها الأفران الثمانية؟ وما مقدار القدرة المستنفدة في المحول في صورة حرارة؟

الكتابة في الفيزياء

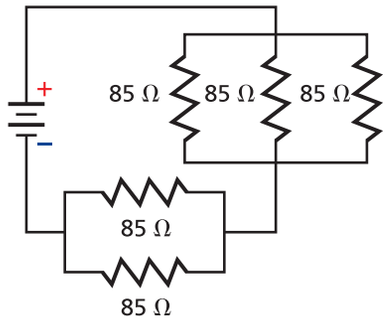
98. صمّمت الأجهزة الشائعة مثل المثقب الكهربائي بصورة مثالية بحيث يحتوي على محرك توالٍ. ارجع إلى مكتبتك وبعض المصادر الأخرى لتوضح كيف يمكن لهذا النوع من المحركات استخدام تيار متناوب أو تيار مستمر.

مراجعة تراكمية

99. ما مقدار الشحنة على مكثف سعته 22 μF عندما يكون فرق الجهد بين لوحيه 48 V؟ (فيزياء 2–3)

100. ما مقدار فرق الجهد بين طرفي مقاومة كتب عليها 22 Ω و 5.0 W عندما تصبح القدرة نصف قيمتها العظمى؟ (فيزياء 2–3)

101. احسب المقاومة المكافئة للمقاومات الموضحة في **الشكل 27–1**. (فيزياء 2–3)



الشكل 27–1

102. يتحرك إلكترون بسرعة $2.1\times10^{6}\ m/s$ عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 0.81 T، ما مقدار القوة المؤثرة في الإلكترون؟ وما مقدار تسارعه؟ علمًا بأن كتلته $9.11\times10^{-31}\ kg$.(الفصل 1)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. أي تحليل للوحدات يعدّ صحيحًا لحساب القوة الدافعة الكهربائية *EMF* ؟

Ⓐ (N.A.m)(J)

Ⓑ J.C

Ⓒ (N/A.m)(m)(m/s)

Ⓓ (N.m.A/s)(1/m)(m/s)

2. تولدت قوة دافعة كهربائية حثية مقدارها 4.20×10^{-2} V في سلك طوله 427 mm، يتحرك بسرعة 18.6 cm /s عموديًّا على مجال مغناطيسي. ما مقدار هذا المجال؟

Ⓐ 5.29 T

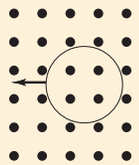
Ⓑ 1.89 T

Ⓒ 3.34×10^{-3} T

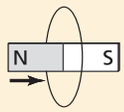
Ⓓ 5.29×10^{-1} T

3. في أي الأشكال التالية لا يتولد تيار حثي في السلك؟

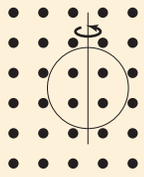
Ⓐ



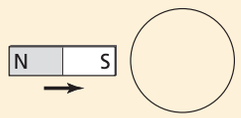
Ⓑ



Ⓒ



Ⓓ



4. يتحرك سلك طوله 15 cm بسرعة 0.12 m /s عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 1.4 T، ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية *EMF* المتولدة فيه؟

Ⓐ 0 V

Ⓑ 0.018 V

Ⓒ 0.025 V

Ⓓ 2.5 V

5. يستخدم محول مثالي مصدرًا للجهد مقداره 91 V لتشغيل جهاز يعمل بجهد مقداره 13 V. فإذا كان عدد لفات ملفه الابتدائي 130 لفة، والجهاز يعمل على تيار مقداره 1.9 A فما مقدار التيار المعطى للملف الابتدائي؟

Ⓐ 0.27 A

Ⓑ 0.70 A

Ⓒ 4.8 A

Ⓓ 13.3 A

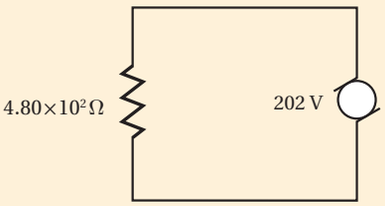
6. مولد تيار متناوب يعطى جهدًا مقداره 202 V بوصفه قيمة عظمى لسخان كهربائي مقاومته 480 Ω. ما مقدار التيار الفعّال في السخان؟

Ⓐ 0.298 A

Ⓑ 1.68 A

Ⓒ 2.38 A

Ⓓ 3.37 A



الأسئلة الممتدة

7. قارن بين القدرة الضائعة في المحول عند نقل قدرة مقدارها 800 W بفرق جهد مقداره 160 V في سلك والقدرة الضائعة عند نقل القدرة نفسها بفرق جهد مقداره 960 V، افترض أن مقاومة السلك 2 Ω، ما الاستنتاج الذي يمكن التوصل إليه؟

✓ إرشاد

استقص

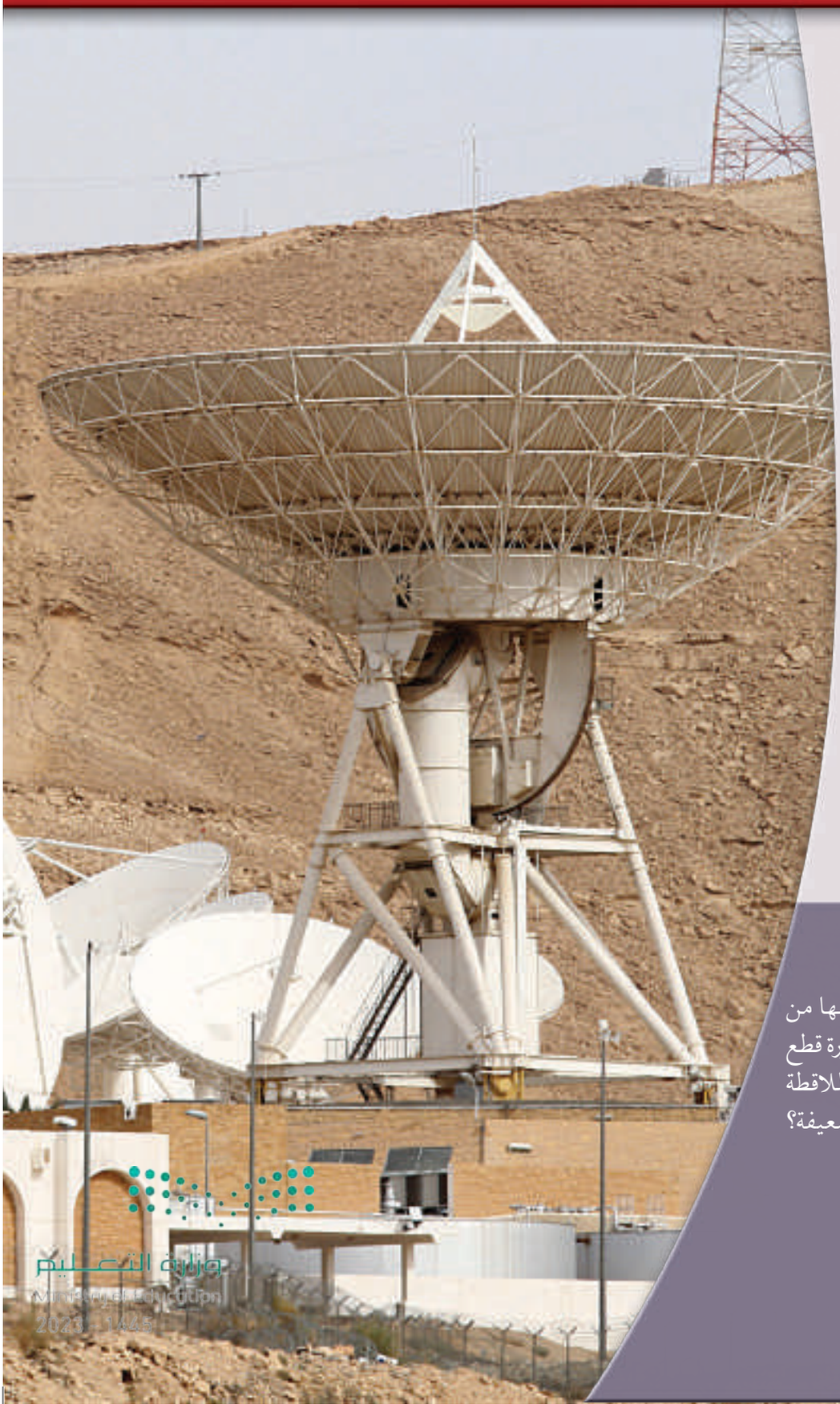
استفسر من معلمك عن نوع الأسئلة المتوقعة في الاختبار، واطلب إليه أيضًا تزويدك باختبارات تدريبية حتى تصبح مواد الاختبار مألوفة لك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 2

الكهرومغناطيسية

Electromagnetism



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- معرفة كيفية استخدام المجالات الكهربائية والمجالات المغناطيسية المتفاعلة معًا لتحديد كتل كل من الإلكترونات والذرات والجزيئات.
- توضيح كيفية توليد الموجات الكهرومغناطيسية وانتشارها في الفراغ واستقبالها.

الأهمية

تؤدي العديد من الموجات الكهرومغناطيسية – بدءًا من موجات الراديو والتلفاز وحتى موجات الميكروويف والضوء المرئي والأشعة السينية – دورًا حيويًّا في حياتنا.

مستقبلات القطع المكافئ تصمّم أطباق القطع المكافئ اللاقطة لاستقبال موجات الراديو من الأقمار الاصطناعية التي تدور على بعد مئات الكيلومترات فوق سطح الأرض، ومن الأجسام الموجودة خارج النظام الشمسي.

فكِّر ◄

حصلت أطباق القطع المكافئ على اسمها من شكل السطح العاكس الذي يكون في صورة قطع مكافئ. لماذا تكون أطباق القطع المكافئ اللاقطة مناسبة جدًّا لاستقبال إشارات التلفاز الضعيفة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

من أين تبث محطات الإذاعة؟

سؤال التجربة إشارات الراديو موجات كهرومغناطيسية. كم تبعد أجهزة الإرسال التي تبث إشارات محطة الإذاعة على حزمة موجات AM والتي يمكنك الاستماع إليها؟

الخطوات

1. مدى تردد موجات الراديو في حزمة AMيكون بين 540 kHz و1690 kHz. اعمل جدولاً للبيانات يتضمن أعمدة لكل من التردد (kHz)، واسم محطة الإذاعة، وقوة الإشارة، والموقع، والبعد (km).
2. شغّل المذياع، واضبطه على التردد 540 kHz، واضبط ارتفاع الصوت عند مستوى معتدل.
3. **جمع البيانات ونظمها** عدّل التردد ببطء إلى أن تسمع محطة إذاعة تبث بوضوح. أصغ إلى البث فترة قصيرة لتسمع ما إذا ذكرت المحطة إشارتها واسمها. ودوّن في جدول البيانات كلًّا من: تردد المحطة، وقوة الإشارة من خلال جودة الصوت(قوية، متوسطة، ضعيفة) واسم المحطة.
4. كرّر الخطوة 3 حتى تصل إلى أعلى تردد في حزمة الـ AM لموجات الراديو، 1690 kHz.
5. حدّد المكان الذي تبث منه كل محطة إشاراتها، ودوّن اسم المدينة التي تبث منها كل محطة في جدول البيانات.
6. **قس باستعمال الوحدات الدولية SI** باستخدام الخرائط، حدّد مواقع المدن التي تبث منها محطات الإذاعة، وقدّر بُعد هذه المدن عنك، ودوّن ذلك في جدول البيانات.

التحليل

ما بُعد أبعد محطة راديو عنك يمكنك التقاط موجاتها؟ وهل يؤثر بُعد محطة الإرسال في قوة إشارتها؟

التفكير الناقد يؤثر تغيير موقع الهوائي غالبًا في قوة إشارة المحطة. ما دلالة ذلك على طبيعة موجات الراديو؟

2–1 تفاعلات المجالات الكهربائية والمغناطيسية والمادة
Interactions of Electric and Magnetic Fields and Matter

لعلك استخدمت أو سمعت ببعض الرموز والمصطلحات، مثل موجات الراديو القصيرة، وموجات الميكروويف، وإشارات التلفاز UHF و VHF، رغم أنك قد لا تعرف المعنى الدقيق لها؛ فكل منها يستخدم لوصف أحد أنواع الموجات الكهرومغناطيسية التي تبث عبر الهواء لتزوّدك بأشكال مختلفة من الاتصالات منها المذياع والتلفاز. وجميع هذه الموجات تتكون من مجالات كهربائية ومغناطيسية تنتشر في الفضاء.

ومفتاح فهم سلوك هذه الموجات هو فهم طبيعة الإلكترون. لماذا؟ لأن الموجات الكهرومغناطيسية تنتج عن مسارعة الإلكترونات؛ فشحنة الإلكترون تنتج مجالات كهربائية، وتُنتج حركته مجالات مغناطيسية. تبث هذه الموجات وتلتقط بالهوائيات؛ وهي أدوات مصنوعة من مواد تحتوي على إلكترونات أيضًا. لذا يعدّ تعرف خصائص الإلكترون الخطوة المنطقية الأولى لفهم كيفية توليد الموجات الكهرومغناطيسية وانتشارها واستقبالها واستخدامها في العديد من الأجهزة.

الأهداف

- **تصف** عمل أنبوب الأشعة المهبطية.
- **تحل** مسائل تتضمن التفاعل بين الجسيمات المشحونة والمجالات الكهربائية والمغناطيسية في أنبوب الأشعة المهبطية ومطياف الكتلة.
- **توضح** كيف يعمل مطياف الكتلة على فصل الأيونات ذات الكتل المختلفة.

المفردات

النظير

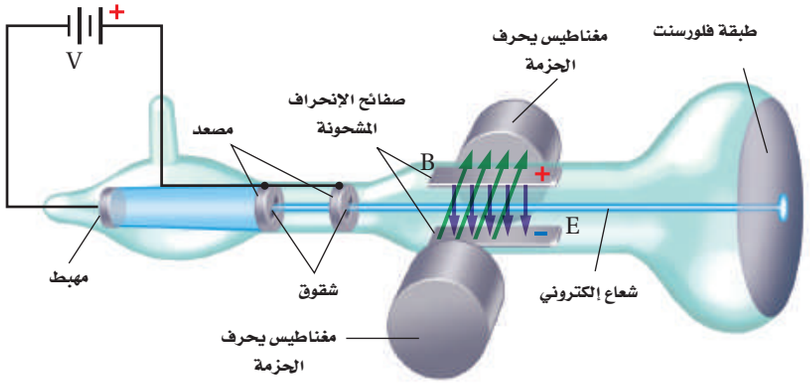
مطياف الكتلة

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

كتلة الإلكترون Mass of an Electron

كيف يمكن قياس كتلة جسم صغير جدًّا لا يمكن رؤيته بالعين المجردة، ولا يمكن قياسها بأكثر الموازين حساسية؟ كان هذا هو التحدي (تحديد كتلة الإلكترون)؛ فقد واجه الفيزيائيون هذا التحدي في أواخر القرن التاسع عشر، وتطلَّب الحل سلسلة من الاكتشافات، فكشف العالم روبرت مليكان أول قطعة من الأحجية حيث تمكّن مليكان من تعليق قطرة زيت مشحونة داخل مجال كهربائي، وموازنتها فيه ليتمكن بعدها من تحديد شحنة الإلكترون q، وهي تساوي $(1.602\times10^{-19}\ C)$. ثم تمكن العالم البريطاني تومسون من تحديد نسبة شحنة الإلكترون إلى كتلته q/m. وبمعرفة كل من شحنة الإلكترون q، ونسبة شحنته إلى كتلته تمكن تومسون من حساب كتلة الإلكترون.

تجارب تومسون مع الإلكترونات في عام 1897 م أجرى تومسون أول قياس تجريبي لنسبة شحنة الإلكترون إلى كتلته باستخدام أنبوب أشعة المهبط، وهو جهاز يولد حزمة إلكترونات. يبين **الشكل 1–2** الإعدادات المستخدمة في التجربة. ولتقليل التصادمات بين الإلكترونات وجزيئات الهواء؛ فرّغ تومسون الأنبوب من الهواء بدرجة كبيرة.



الشكل 1–2 قيست نسبة شحنة الإلكترون إلى كتلته أولاً باستخدام تعديلات تومسون على أنبوب الأشعة المهبطية. وقد استخدم كلًّا من المغانط الكهربائية وصفائح الانحراف المشحونة للتحكم في مسار حزمة الإلكترونات.

باستخدام فرق جهد كبير بين المهبط (الكاثود) والمصعد (الأنود) داخل أنبوب أشعة المهبط يتولد مجال كهربائي، فتنبعث الإلكترونات من المهبط، وتتسارع نحو المصعد بالمجال الكهربائي، فتمر بعض هذه الإلكترونات من خلال شقوق موجودة في المصعد لتشكل حزمة ضيقة، وعندما تصل هذه الإلكترونات إلى نهاية الأنبوب تصطدم بطلاء فلورسنت فتسبب توهجها.

تجربة عملية

ما مقدار كتلة الإلكترون؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

استخدم تومسون مجالات كهربائية وأخرى مغناطيسية لتوليد قوة تؤثر في حزمة الإلكترونات المارة في الأنبوب وتحرفها. ويكون المجال الكهربائي E – الذي تم توليده عن طريق صفيحتين مشحونتين ومتوازيتين – متعامدًا مع اتجاه حزمة الإلكترونات، وينتج قوة مقدارها qE تؤثر في الإلكترونات وتحرفها إلى أعلى نحو الصفيحة الموجبة. أما المجال المغناطيسي الناتج عن مغناطيسين كهربائيين فهو متعامد مع كل من اتجاه الحزمة واتجاه المجال الكهربائي. ولعلك تتذكر ممّا درسته سابقًا أن القوة الناتجة عن المجال المغناطيسي تتعامد مع كل من المجال المغناطيسي واتجاه حركة الإلكترونات، لذلك ينتج المجال المغناطيسي B قوة تساوي Bqv (حيث تمثل v سرعة الإلكترون) تؤثر في الإلكترونات، وتحرفها إلى أسفل.

ويمكن تعديل المجالين الكهربائي والمغناطيسي بحيث تسلك حزمة الإلكترونات مسارًا مستقيمًا دون انحراف. وعند ها تكون القوة المغناطيسية مساوية للقوة الكهربائية ومعاكسة لها في الاتجاه. ورياضيًّا يمكن تمثيل ذلك بما يأتي: $Bqv = qE$

بحل المعادلة لحساب v نحصل على ما يأتي: $v = \frac{Eq}{Bq} = \frac{E}{B}$

تبين هذه المعادلة أن القــوى تكون متزنة فقط للإلكترونات ذات السرعة المحددة v. وإذا أزيل المجال الكهربائي فســتبقى القوة الناتجة عن المجال المغناطيسي فقط. وهي عمودية على اتجاه حركة الإلكترونات، مما يؤدي إلى خضوع الإلكترونات لتسارع مركزي، فتسلك الإلكترونات مســارًا دائريًّا نصف قطره يســاوي r. ويمكن كتابة المعادلة الآتية لوصف مسار الإلكترون؛ وذلك باستخدام القانون الثاني لنيوتن في الحركة. $Bqv = \frac{mv^2}{r}$

وبحل المعادلة لإيجاد q/m نحصل على المعادلة الآتية:

نسبة الشحنة إلى الكتلة في أنبوب تومسون $\frac{q}{m} = \frac{v}{Br}$

نسبة شحنة الإلكترون إلى كتلته في أنبوب تومسون تساوي سرعة الإلكترون مقسومة على حاصل ضرب مقدار المجال المغناطيسي في نصف قطر المسار الدائري للإلكترون.

حســب تومســون سرعة الإلكترونات في المسار المســتقيم v باســتخدام القيم المقيسة في المجالــين E و B، ثم قاس المســافة بين البقعة المتكونة بواســطة الحزمــة غير المنحرفة للإلكترونات والبقعة المتكونة عندما أثر المجال المغناطيسي في تلك الحزمة. وبالاســتعانة بهذه المســافة أوجد نصف قطر المسار الدائري الذي يسلكه الإلكترون r. وبمعرفة قيمة r تمكن تومسون من إيجاد النسبة q/m. وبعد إيجاد المتوسط الحسابي لعدة محاولات تجريبية وجد أن $q/m = 1.759 \times 10^{11}\ C/kg$، وباستخدام القيمة للنسبة q/m وتعويض مقدار q المعروف يمكن حساب كتلة الإلكترون.

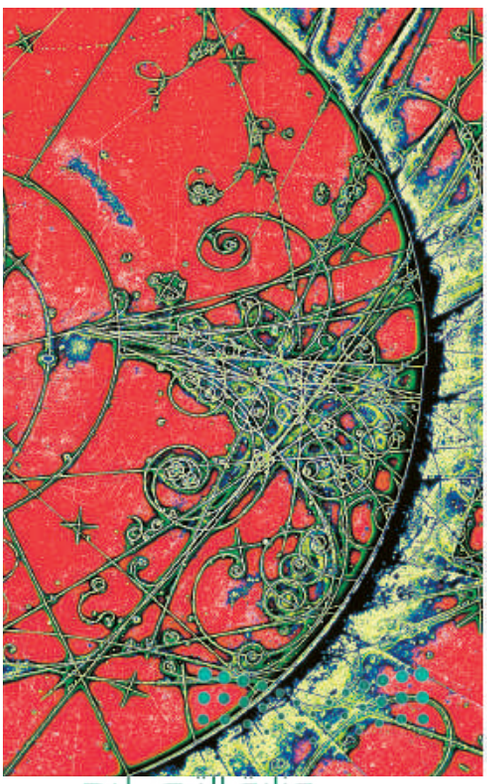
$$m = \frac{q}{q/m} = \frac{1.602 \times 10^{-19}\ C}{1.759 \times 10^{11}\ C/kg} = 9.107 \times 10^{-31}\ kg$$

$$m \cong 9.11 \times 10^{-31}\ kg$$

تجارب تومسون مع البروتونات اســتخدم تومســون أنبوب أشــعة المهبط أيضًا لتحديد نسبة شحنة الأيونات الموجبة إلى كتلتها. واســتغل حقيقة أن الجسيمات المشحونة بشحنة موجبة تخضع لانحرافات معاكســة للانحرافــات التي تحــدث للإلكترونات المتحركة داخــل المجالات الكهربائية أو المغناطيســية. ويمكن ملاحظــة الاختلاف بين انحراف الإلكترونات والأيونات الموجبة من خلال **الشكل 2–2**.

لمسارعة الجســيمات ذات الشــحنة الموجبة في منطقة الانحراف، عكَسَ تومسون المجال الكهربائي بين المهبط والمصعد، كــما أضاف كمية قليلة من غاز الهيدروجين إلى الأنبوب، فعمــل المجال الكهربائي على انتــزاع الإلكترونات مــن ذرات الهيدروجين، فحوَّلها إلى أيونات موجبة، ثم ســارعها أيونات الهيدروجين أو البروتونات من خلال شق ضيق في المصعد، فمرت الحزمة الناتجة خلال المجالين الكهربائي والمغناطيسي في طريقها نحو نهاية الأنبوب.

الشكل 2–2 تبين الصورة المسارات الدائرية للإلكترونات e^- والبوزترونات e^+ المتحركة داخل مجال مغناطيسي في غرفة فقاعية؛ وهي نوع من أجهزة الفحص والكشف المستخدمة سابقًا في فيزياء الطاقة العالية. تنحرف الإلكترونات والبوزترونات في اتجاهين متعاكسين.

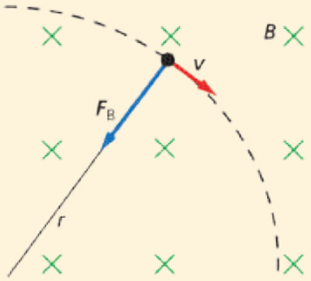


وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

باستخدام هذه التقنية أمكن حساب كتلة البروتون؛ أي بالطريقة نفسها التي حسب بها كتلة الإلكترون، ووجد أن كتلة البروتون $1.67\times10^{-27}\ \text{kg}$. واستمر تومسون في استعمال هذه التقنية لتحديد كتل الأيونات الثقيلة المُنتَجة بعد انتزاع الإلكترونات من غازات منها: الهيليوم والنيون والأرجون.

مثال 1

نصف قطر المسار يتحرك إلكترون كتلته $9.11\times10^{-31}\ \text{kg}$ بسرعة $2.0\times10^{5}\ \text{m/s}$ داخل أنبوب أشعة المهبط عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره $3.5\times10^{-2}\ \text{T}$. فإذا فصل المجال الكهربائي، فما مقدار نصف قطر المسار الدائري الذي سلكه الإلكترون؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مسار الإلكترون، وثبت عليه السرعة v.
- ارسم المجال المغناطيسي متعامدًا مع السرعة.
- حدّد اتجاه القوة المؤثرة في الإلكترون، وأضف نصف قطر المسار الذي يسلكه الإلكترون إلى رسمك.

المعلوم	المجهول
$v= 2.0\times10^{5}\ \text{m/s}$ $B= 3.5\times10^{-2}\ \text{T}$ $m= 9.11\times10^{-31}\ \text{kg}$ $q= 1.602\times10^{-19}\ \text{C}$	$r=?$

دليل الرياضيات

الأرقام الصغيرة واستخدام الأسس السالبة.

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم القانون الثاني لنيوتن في الحركة لوصف حركة الإلكترون في أنبوب أشعة المهبط والمعرض لمجال مغناطيسي.

$$Bqv=\frac{mv^2}{r}$$

$$r=\frac{mv}{Bq}$$

بالتعويض عن $m= 9.11\times10^{-31}\ \text{kg}$، $v= 2.0\times10^{5}\ \text{m/s}$، $B= 3.5\times10^{-2}\ \text{T}$، $q= 1.602\times10^{-19}\ \text{C}$

$$r=\frac{(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(2.0\times10^{5}\ \text{m/s})}{(3.5\times10^{-2}\ \text{T})(1.602\times10^{-19}\ \text{C})}$$

$$r=3.3\times10^{-5}\ \text{m}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة نصف قطر المسار الدائري هي وحدة قياس الطول، ويقاس الطول بالأمتار.

مسائل تدريبية

افترض أن الجسيمات المشحونة جميعها تتحرك عموديًّا على المجال المغناطيسي المنتظم.

1. يتحرك بروتون بسرعة $7.5\times10^{3}\ \text{m/s}$ عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره $0.60\ \text{T}$. احسب نصف قطر مساره الدائري. لاحظ أن الشحنة التي يحملها البروتون مساوية للشحنة التي يحملها الإلكترون، إلا أنها موجبة.
2. تتحرك إلكترونات خلال مجال مغناطيسي مقداره $6.0\times10^{-2}\ \text{T}$، قد اتزنت بفعل مجال كهربائي مقداره $3.0\times10^{3}\ \text{N/C}$. ما مقدار سرعة الإلكترونات عندئذ؟
3. احسب نصف قطر المسار الدائري الذي تسلكه الإلكترونات في المسألة السابقة في غياب المجال الكهربائي.
4. عبرت بروتونات مجال مغناطيسي مقداره $0.60\ \text{T}$ فلم تنحرف بسبب اتزانها مع مجال كهربائي مقداره $4.5\times10^{3}\ \text{N/C}$. ما مقدار سرعة هذه البروتونات؟

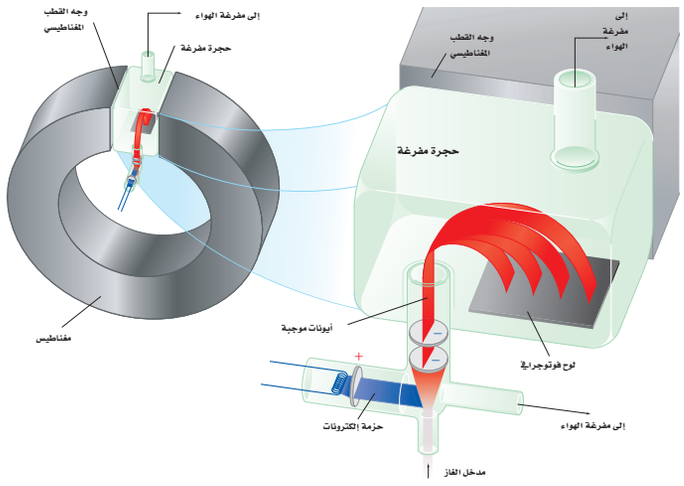
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مطياف الكتلة The Mass Spectrometer

حدث شيء مثير للاهتمام عندما وضع تومسون غاز النيون في أنبوب الأشعة المهبطية، فقد لاحظ توهج نقطتين مضيئتين على الشاشة بدلاً من نقطة واحدة. وكل نقطة تتوافق مع نسبة من نسب الشحنة إلى الكتلة؛ لذلك تمكّن من حساب قيمتين مختلفتين للمقدار q/m. وخلص تومسون إلى أن الذرات المختلفة من العنصر نفسه لها خصائص كيميائية متماثلة؛ لكن لها كتلًا مختلفة. ويطلق على الأشكال المختلفة للذرة والتي لها الخصائص الكيميائية نفسها ولكنها مختلفة الكتل **النظائر**.

ويسمّى الجهاز المماثل لأنبوب أشعة المهبط لتومسون والذي يستخدم لدراسة النظائر وقياس النسبة بين الأيون الموجب وكتلته **مطياف الكتلة**. وتسمى المادة التي قيد الفحص والاستقصاء مصدرَ الأيون، وتستخدم لإنتاج الأيونات الموجبة. ويجب أن يكون مصدر الأيون هذا غازًا أو مادة يمكن تسخينها لتشكّل بخارًا. وتتشكل الأيونات الموجبة عند اصطدام الإلكترونات المسرّعة بالغاز أو بذرات البخار؛ حيث تؤدي تلك التصادمات إلى تحرير إلكترونات من الذرات لتتشكّل الأيونات الموجبة. يولِّد فرق الجهد V بين الأقطاب مجالاً كهربائيًّا يستخدم لمسارعة الأيونات. ويوضّح **الشكل 3a–2** مخطط توضيحي لمطياف الكتلة، وفي **الشكل 3b–2** أحد أجهزة مطياف الكتلة بمدينة الملك عبدالعزيز للعلوم التقنية.

a



b

الشكل 3–2 يستخدم مطياف الكتلة لتحليل نظائر العنصر؛ حيث يعمل المغناطيس داخل المطياف على انحراف الأيونات الموجبة في الحجرة المفرغة وفق كتلها. وتسجّل العملية في الحجرة المفرغة على لوح فوتوجرافي أو على كاشف مصنّع من مادة في حالتها الصلبة. (a) باحث سعودي يجري تجربة باستخدام جهاز مطياف الكتلة في مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية (b).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

لاختيار أيونات بسرعة محددة تمرر الأيونات داخل مجالات كهربائية ومغناطيسية والأيونات التي تعبر المجالين دون حدوث انحراف لمسارها تدخل منطقة تتعرض فيها لمجال مغناطيسي منتظم فقط، حيث تتحرك الأيونات في مسارات دائرية. وتستخدم أنصاف أقطار تلك المسارات لتحديد نسبة شحنة الأيونات إلى كتلتها. ويمكن حساب نصف القطر r لمسار الأيون بالقانون الثاني لنيوتن في الحركة.

$$Bqv = \frac{mv^2}{r}$$

وبحل المعادلة السابقة بالنسبة إلى r نجد أن:

$$r = \frac{mv}{Bq}$$

يمكن حساب سرعة الأيون غير المنحرف من علاقة الطاقة الحركية للأيونات المتسارعة من السكون خلال فرق جهد معلوم V.

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = qV$$

$$v = \sqrt{\frac{2qV}{m}}$$

و يعطي تعويض قيمة v في المعادلة $r = mv/qB$ نصف قطر المسار الدائري .

$$r = \frac{mv}{Bq}$$

$$= \frac{m}{qB}\sqrt{\frac{2qV}{m}}$$

$$= \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2Vm}{q}}$$

بتبسيط المعادلة عن طريق ضرب كلا طرفيها في المقدار B نحصل على:

$$Br = \sqrt{\frac{2mV}{q}}$$

ويمكن استخدام هذه المعادلة لحساب نسبة شحنة الأيون إلى كتلته.

نسبة شحنة الأيون إلى كتلته في مطياف الكتلة

$$\frac{q}{m} = \frac{2V}{B^2r^2}$$

نسبة شحنة أيون إلى كتلته في مطياف الكتلة تساوي مثلي فرق الجهد مقسومًا على حاصل ضرب مربع مقدار المجال المغناطيسي في مربع نصف قطر المسار الدائري للأيون.

كما يوضح **الشكل 3–2** أن الأيونات تصطدم بصفائح أفلام فوتوجرافية تاركة نقطة (علامة). ويمكن قياس قطر مسار المنحنى الذي يسلكه الأيون في الحجرة المفرّغة بسهولة؛ لأنه يمثل المسافة بين تلك النقطة على الفيلم والشق الموجود في القطب. ولذلك يكون نصف قطر المسار r هو نصف هذه المسافة المقيسة.

تجربة

عمل نموذج لمطياف الكتلة

هيئ مستوى مائلًا بوضع كرة من الصلصال تحت أحد طرفي مسطرة فيها أخدود. ثم ضع كرة فلزية قطرها 6 mm في منتصف المنحدر واتركها.

1. **لاحظ** الكرة في أثناء تدحرجها إلى أسفل المنحدر وعلى طول سطح الطاولة.
2. **جرّب** ضع مغناطيسًا قويًا بالقرب من المسار الذي تسلكه الكرة على سطح الطاولة. اجعل المغناطيس قريبًا من المسار بحيث تنحرف الكرة في مسار منحنٍ على ألا تصطدم بالمغناطيس. كرر الخطوة 1 وفق الحاجة.
3. **توقع** ماذا يحدث لمسار الكرة إذا تركت لتتدحرج من مكان أعلى أو من مكان أقل ارتفاعًا من السابق على المنحدر؟
4. اختبر توقعك.

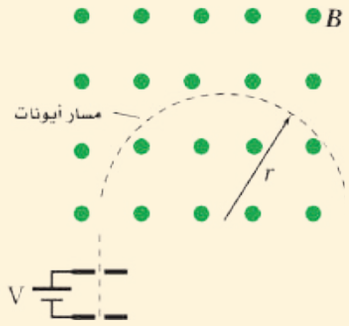
التحليل والاستنتاج

5. **وضّح** ما إذا كانت النتائج الملاحظة تتفق مع الملاحظات الخاصة بالجسيمات المشحونة عند حركتها داخل المجال المغناطيسي.

طرق حل بديلة

مثـــال 2

كتلة ذرة النيون ينتج مشغل مطياف الكتلة حزمة ذرات نيون ثنائية التأين (+2). حيث تُسرّع هذه الحزمة أولاً بواسطة فرق جهد مقداره 34 V، ثم يتم إدخالها في مجال مغناطيسي مقداره 0.050 T، فتنحرف في مسار دائري نصف قطره 53 mm. أوجد كتلة ذرة النيون إلى أقرب عدد صحيح من كتلة البروتون.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مسارًا دائريًّا للأيونات، وحدّد عليه نصف القطر.
- ارسم فرق الجهد بين القطبين وحدّده.

المعلوم

$m_{\text{بروتون}} = 1.67 \times 10^{-27}\ \text{kg}$

$q = 2(1.60 \times 10^{-19}\ \text{C}) = 3.20 \times 10^{-19}\ \text{C}$

$V = 34\ \text{V}$

$B = 0.050\ \text{T}$

$r = 0.053\ \text{m}$

المجهول

$m_{\text{نيون}} = ?$

$N_{\text{بروتون}} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم معادلة نسبة شحنة الأيون إلى كتلته في مطياف الكتلة.

$$\frac{q}{m_{\text{نيون}}} = \frac{2V}{B^2 r^2}$$

بالتعويض عن

$q = 3.20 \times 10^{-19}\ \text{C}$، $V = 34\ \text{V}$، $r = 0.053\ \text{m}$، $B = 0.050\ \text{T}$

$$m_{\text{نيون}} = \frac{qB^2r^2}{2V}$$

$$m_{\text{نيون}} = \frac{(3.2 \times 10^{-19}\ \text{C})(0.050T)^2\,(0.053\text{m})^2}{2(34\ \text{V})}$$

$$m_{\text{نيون}} = 3.3 \times 10^{-26}\ \text{kg}$$

بقسمة كتلة النيون على كتلة البروتون نجد عدد البروتونات.

$$N_{\text{بروتون}} = \frac{m_{\text{نيون}}}{m_{\text{بروتون}}} = \frac{3.3 \times 10^{-26}\ \text{kg}}{1.67 \times 10^{-27}\ \text{kg/بروتون}} \cong 20\ \text{بروتون}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس الكتلة إما بالجرام أو بالكيلوجرام، وعدد البروتونات ليس له وحدة.
- **هل الجواب منطقي؟** النيون له نظيران بكتل تساوي تقريبًا 20 و 22 ضعف كتلة البروتون.

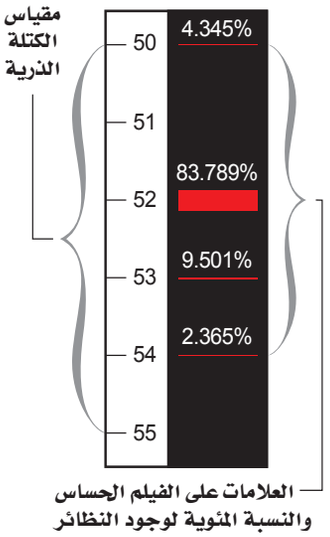
مسائل تدريبية

5. تمـر حزمة من ذرات الأكسـجين الأحاديـة التأين (+1) خلال مطيـاف الكتلة. فإذا كانـت: $B = 7.2 \times 10^{-2}\ \text{T}$، $q = 1.60 \times 10^{-19}\ \text{C}$، و $r = 0.085\ \text{m}$، و $V = 110\ \text{V}$ فأوجد كتلة ذرة الأكسجين.
6. يحلل مطياف كتلة ويزود ببيانات عن حزمة من ذرات أرجون ثنائية التأين (+2). إذا كانت قيم كل من v, r, q, B كما يأتي: $q = 2(1.60 \times 10^{-19}\text{C})$، و$r = 0.106\ \text{m}$، و$B = 5.0 \times 10^{-2}\ \text{T}$ و $V = 66.0\ \text{V}$ فأوجد كتلة ذرة الأرجون.
7. تمر حزمة من ذرات ليثيوم أحادية التأين (+1) خلال مجال مغناطيسي مقداره $1.5 \times 10^{-3}\ \text{T}$ متعامد مع مجال كهربائي مقداره $6.0 \times 10^{2}\ \text{N/C}$ ولا تنحرف. أوجد سرعة ذرات الليثيوم التي تمر خلال المجالين؟
8. تم تحديد كتلة نظير النيون في المثال 2. فإذا وجد أن هناك نظيرًا آخر للنيون كتلته تعادل كتلة 22 بروتونًا فما المسافة بين نقطتي سقوط النظيرين على الفيلم الفوتوجرافي الحساس؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الربط مع الكيمياء

تحليل النظائر يوضّح **الشكل 4–2** المسافات التقريبية بين العلامات التي تتركها عينة كروم متأينة (Cr^{+}) على الفيلم. وعلى الرغم من أن جميع أيونات الكروم التي اصطدمت بالفيلم لها الشحنة نفسها؛ حيث تعتمد شحنتها على عدد الإلكترونات التي فقدت من الذرات المتعادلة التي استخدمت مصدرًا للأيونات، إلا أن العلامات الأربع الحمراء تشير إلى أن عينة الكروم تحتوي على أربعة نظائر. ويدل عرض العلامة على توافر وجود النظير. لاحظ أن النظير 52 هو النظير الأكثر وجودًا، وأن مجموع نسب النظائر يساوي 100%. وكما تتذكر من الكيمياء فإن كتلة كل عنصر من العناصر المدرجة في الجدول الدوري تمثل في الحقيقة متوسط كتل جميع النظائر المستقرة لذلك العنصر.



الشكل 4–2 يستخدم مطياف الكتلة على نطاق واسع لتحديد نسب نظائر العنصر. ويبين التمثيل أعلاه نتائج تحليل العلامات الظاهرة على الفيلم بنظائر الكروم.

وتذكر أن الأيونات تتكون عند استخدام إلكترونات متسارعة في تحرير إلكترونات الذرات المتعادلة. وعند تحرير أول إلكترون نحصل على ذرة أحادية التأين (+1). وهناك حاجة إلى طاقة أكبر لتحرير الإلكترون الثاني من الذرة للحصول على ذرة ثنائية التأين (+2). ويمكن توفير هذه الطاقة الإضافية عن طريق مسارعة الإلكترونات إلى درجة كبيرة بتعريضها لمجال كهربائي كبير، أي أن الإلكترونات المتسارعة ذات الطاقة العالية يمكنها إنتاج أيونات أحادية وأيونات ثنائية. بهذه الطريقة يعمل مشغل مطياف الكتلة على اختيار شحنة الأيون لدراستها.

تطبيقات أخرى لمطياف الكتلة استخدامات متعددة. فمثلاً يمكن استخدام مطياف الكتلة لفصل عينة من اليورانيوم إلى النظائر المكونة لها. ويستخدم أحيانًا مطياف الكتلة لالتقاط وتحديد أثر كميات الجزيئات في عينة ما، وهذا التطبيق يستخدم على نطاق واسع في علوم البيئة والعلوم الجنائية. ويكون الجهاز حساسًا جدًّا، بحيث يستطيع الباحثون فصل أيونات ذات كتل تختلف في جزء من عشرة آلاف جزء من واحد في المائة، ويتمكنون أيضًا من تحديد وجود جزيء واحد في عينة تحتوي على عشرة مليارات جزيء.

2–1 مراجعة

9. **أنبوب الأشعة المهبطية** صف كيف يعمل أنبوب أشعة المهبط على تكوين حزمة إلكترونات؟
10. **المجال المغناطيسي** يحسب نصف قطر المسار الدائري لأيون في مطياف الكتلة بالعلاقة: $r=(1/B)\sqrt{2mV/q}$. استخدم هذه العلاقة لبيان كيف يعمل مطياف الكتلة على فصل الأيونات ذات الكتل المختلفة بعضها عن بعض.
11. **المجال المغناطيسي** باستعمال مطياف الكتلة الحديث يمكن تحليل الجزيئات التي تعادل كتلتها كتلة مائة بروتون. إذا تم إنتاج أيونات أحادية التأين من هذه الجزيئات باستخدام الجهد المسارع نفسه فكيف يجب أن يكون التغير في المجال المغناطيسي للمطياف بحيث تصطدم الأيونات بالفيلم؟
12. **نصف قطر المسار** يتحرك بروتون بسرعة $4.2\times10^{4}\ m/s$ لحظة مروره داخل مجال مغناطيسي مقداره $1.20\ T$. احسب نصف قطر مساره الدائري.
13. **الكتلة** تم تسريع حزمة ذرات أكسجين ثنائية التأين (+2) بتطبيق فرق جهد مقداره $232\ V$، وعندما عبرت مجالاً مغناطيسيًّا مقداره $75\ mT$ ، سلكت مسارًا منحنيًا نصف قطره $8.3\ cm$. أوجد مقدار كتلة ذرة الأكسجين.
14. **التفكير الناقد** بغض النظر عن طاقة الإلكترونات المستخدمة لإنتاج الأيونات لم يتمكّن تومسون مطلقًا من تحرير أكثر من إلكترون واحد من ذرة الهيدروجين. ما الذي استنتجه تومسون عن الشحنة الموجبة لذرة الهيدروجين؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–2 المجالات الكهربائية والمغناطيسية في الفضاء
Electric and Magnetic Fields in Space

على الرغم من أنك قد لا تدرك الموجات الكهرومغناطيسية إلا أنك تعتمد عليها يوميًّا. فبث الإشـارات من محطات الإذاعة والتلفزة، والأقمار الاصطناعية التي تدور حول الأرض، وحتى تلك الموجات الصادرة عن المجرات البعيدة، تعدّ جميعها موجات كهرومغناطيسية. وتستخدم الموجات الكهرومغناطيسـية أيضًا في منتجات اسـتهلاكية شائعة مثل أفران الميكروويف، وأجهزة التحكم عن بُعد، والهواتف الخلوية وغيرها. وستتعلم في هذا الجزء عن المجالات التي تعمل بالموجات الكهرومغناطيسية، وكيفية إنتاج هذه الموجات واستقبالها.

الأهداف

- **تصف** كيـف تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية في الفضاء.
- **تحل** مسائل تتضمن خصائص الموجات الكهرومغناطيسية.
- **تصف** العوامل المؤثرة في قدرة الهوائي على التقـاط موجة كهرومغناطيسـية لها طول موجي محدّد.
- **تحل** مسـائل تتضمن انتشار الموجات الكهرومغناطيسية في المواد العازلة للكهرباء.

المفردات

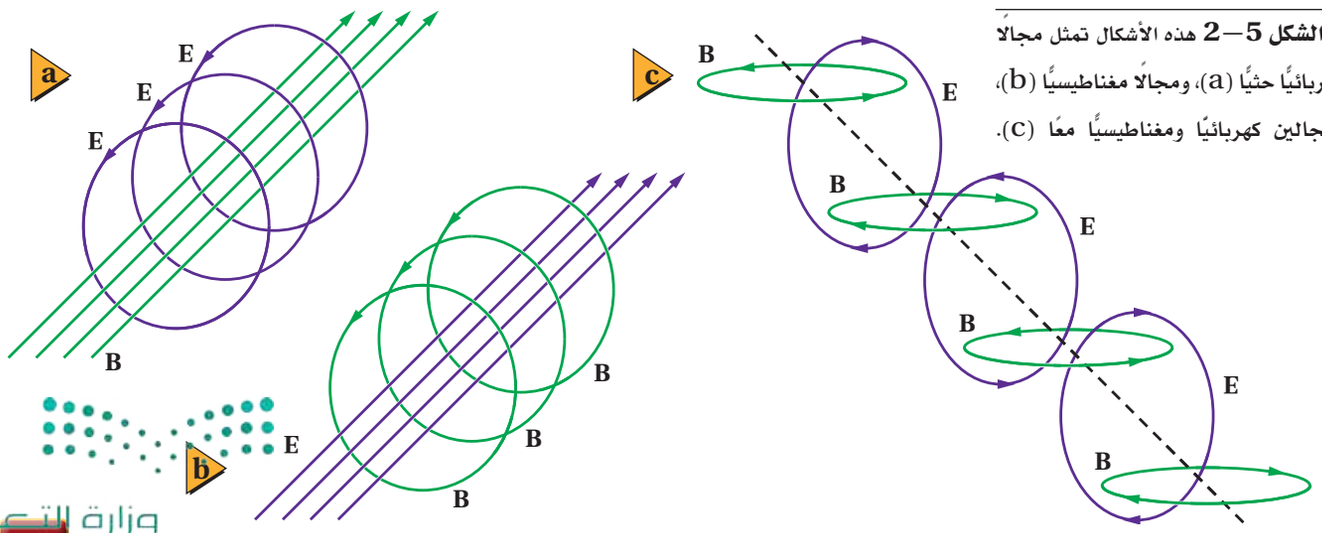
الموجات الكهرومغناطيسية
العوازل الكهربائية
الهوائي
الطيف الكهرومغناطيسي
الإشعاع الكهرومغناطيسي
الكهرباء الإجهادية
المستقبِل

الموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic Waves

حدث تقدم كبير في فهم الموجات الكهرومغناطيسـية خلال القرن التاسـع عشر، وأدّت هذه التطورات إلى تطوير أجهزة وتقنيات جديدة كان لها أثر كبير في المجتمع الحديث.

سلسلة من الإنجازات في عام 1821م بينما كان العالم الدنماركي أورستيد يقدم عرضًا لطلابه لاحظ انحراف إبرة البوصلة عند اقترابها من سـلك يـسري فيه تيار كهربائي، وأدرك أن ملاحظته تعرض ربطًا أساسـيًّا بين الكهرباء والمغناطيسية. وتوصل أورستيد إلى أن التيار المار في موصل يولد مجالاً مغناطيسيًّا، وأن التيار المتغير يولد مجالاً مغناطيسيًّا متغيرًا. ولقد أحدثت هذه الاكتشافات ثورة في الأوساط العلمية، وقاد إلى سيل من البحوث الجديدة.

وبعد مرور إحدى عشرة سـنة على هذه التجارب، اكتشف كل من العالمين مايكل فارادي وجوزيف هنري – كل على حدة – الحـث الكهرومغناطيسي. والحث الكهرومغناطيسي هو إنتاج مجال كهربائي بسـبب مجال مغناطيسي متغير. ومـن المثير للاهتمام أن المجالات الكهربائية الحثية تتولد حتى لو لم يكن هناك أسلاك. كما هو موضّح في **الشكل 5a–2**. لذا فإن المجال المغناطيسي المتغير يولد مجـالاً كهربائيًّا متغيرًا مماثلاً. لاحظ أن خطوط المجال الكهربائي الحثي تشـكل حلقات مغلقة، كما هو موضّح في **الشكل 5a–2**؛ وذلك لأنه لا توجد شـحنات عند النقاط التي تبدأ منها خطوط المجال، أو عند النقاط التي تنتهي فيها، خلافًا للمجال الكهروسكوني.



الشكل 5–2 هذه الأشكال تمثل مجالاً كهربائيًّا حثيًّا (a)، ومجالاً مغناطيسيًّا (b)، ومجالين كهربائيًّا ومغناطيسيًّا معًا (c).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

افــترض الفيزيائي الإســكتلندي جيمس ماكســويل في عــام 1860م أن عكس الحث صحيح أيضًا؛ فالتغير في المجال الكهربائي يولد مجالاً مغناطيسيًّا متغيّرًا. وهذا موضّح في **الشكل 5b–2**. واقترح ماكسويل أيضًا أن الشحنات الكهربائية ليست ضرورية؛ فالمجال الكهربائي المتغير وحده يمكن أن يولد مجالاً مغناطيســيًّا. ثم توقع ماكســويل أن كلًّا من الشحنات المتسارعة والمجالات المغناطيســية المتغيرة تولد مجالات كهربائية ومغناطيسية تتحرك معًا في الفضاء.

ويسمَّى المجالان المغناطيسي والكهربائي المنتشران معًا في الفضاء **الموجات الكهرومغناطيسية**، أو موجة EM. ويوضح **الشكل 5c–2** اتجاهات المجالات التي تكوّن موجة كهرومغناطيسية. وفي عام 1887م أثبت الفيزيائي الألماني هنريش هرتز عمليًّا صحة نظرية ماكسويل. كما أدت نظرية ماكسويل إلى وضع تصور كامل للكهرباء والمغناطيسية.

خصائص الموجات الكهرومغناطيسية وجد مؤخرًا أن سرعة الموجة الكهرومغناطيســية تساوي تقريبًا $3.00\times10^{8}\ m/s$، ويرمز لها بالرمز c، وهي سرعة الضوء. وتنتقل الموجات الكهرومغناطيســية– ومنها الضوء– في الفضاء بسرعة c. ويرتبــط كل من طول الموجة الكهرومغناطيسية وترددها وسرعتها بالعلاقة الآتية:

العلاقة بين الطول الموجي والتردد لموجة $\lambda = \frac{v}{f}$

الطول الموجي للموجة يساوي مقدار سرعتها مقسومًا على ترددها.

في هذه المعادلة يقاس الطول الموجي λ بوحدة m، وتقاس السرعة v بوحدة m/s، ويقاس الــتردد f بوحدة Hz. ولاحظ أن السرعة v لأي موجة كهرومغناطيســية تنتقل في الفراغ تساوي سرعة الضوء c، ولذلك فإن العلاقة الخاصة بالموجة الكهرومغناطيسية تصبح:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

حيث $c = 3.00\times 10^{8}\ m/s$

لاحظ أن حاصل ضرب الطول الموجي في التردد لأي موجة كهرومغناطيســية هو مقدار ثابت ويســاوي c. ولذلك عندما يزداد الطول الموجي يقل الــتردد، والعكس صحيح. أي أن الموجة الكهرومغناطيســية ذات الطول الموجي الكبــير لها تردد صغير، بينما الموجة الكهرومغناطيسية ذات الطول الموجي الصغير لها تردد كبير.

مسائل تدريبية

15. ما مقدار سرعة موجة كهرومغناطيسية في الهواء إذا كان ترددها $3.2\times10^{19}\ Hz$؟

16. ما طول موجة الضوء الأخضر إذا كان تردده $5.70\times10^{14}\ Hz$؟

17. ما طول موجة كهرومغناطيسية ترددها $8.2\times 10^{14}\ Hz$؟

18. ما تردد موجة كهرومغناطيسية طولها الموجي $2.2\times 10^{-2}\ m$؟

انتشار الموجات الكهرومغناطيسية خلال مادة يمكن أن تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية خلال المادة أيضًا؛ فسقوط أشعة الشمس على كأس زجاجية بها ماء مثال على انتقال موجات الضوء خلال ثلاث مواد مختلفة؛ الهواء والزجاج والماء، وهي مواد غير موصلة للكهرباء، وتسمى **العوازل الكهربائية**. وتكون سرعة الموجة الكهرومغناطيسية خلال العازل دائمًا أقل من سرعتها في الفراغ، ويمكن حسابها بالعلاقة:

$$v = \frac{c}{\sqrt{K}}$$

في هذه المعادلة تقاس سرعة الموجة v بوحدة m /s، وتقاس سرعة الضوء c بوحدة m /s، وقيمتها تساوي 3.00×10^8 m /s. أما ثابت العزل الكهربائي النسبي K فليس له وحدات. وفي الفراغ K=1.00000 وسرعة الموجة في الفراغ تساوي c. وفي الهواء K=1.00054، ولذلك تنتقل الموجة الكهرومغناطيسية في الهواء أبطأ قليلًا من c.

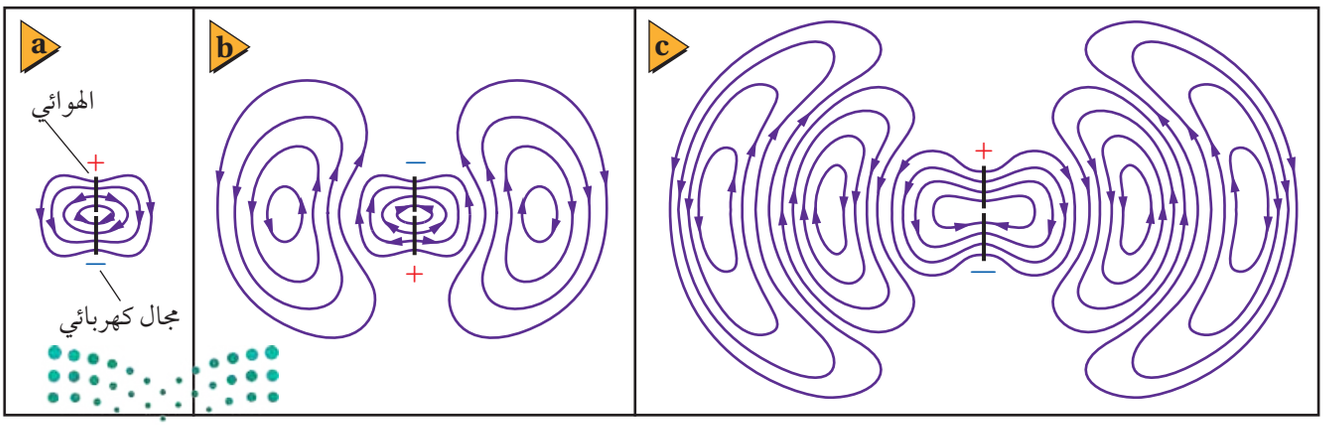
مسائل تدريبية

19. ما مقدار سرعة الموجة الكهرومغناطيسية المنتقلة في الهواء؟ استخدم c = 299792458 m /s في حساباتك.

20. إذا كان ثابت العزل الكهربائي للماء 1.77 فما مقدار سرعة انتقال الضوء في الماء؟

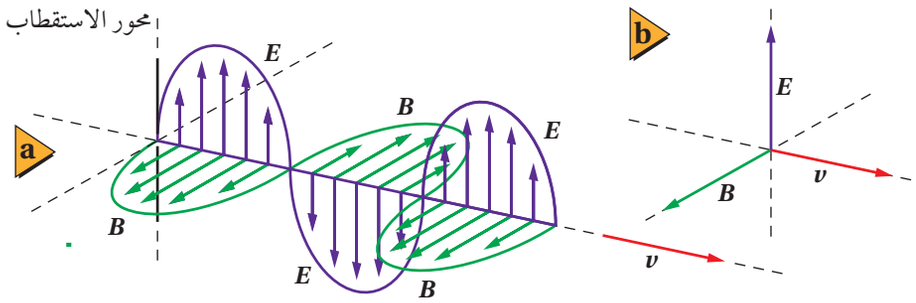
21. إذا كانت سرعة الضوء خلال مادة 2.43×10^8 m /s، فما مقدار ثابت العزل الكهربائي للمادة؟

انتشار الموجات الكهرومغناطيسية في الفضاء تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية كما في **الشكل 6–2**. و**الهوائي** هو سلك يتصل بمصدر تيار متناوب مصمّم لبث واستقبال الموجات الكهرومغناطيسية. ويولد المصدر المتناوب فرق جهد متغيرًا في الهوائي الذي يهتز بتردد مساوٍ لتردد مصدر التيار المتناوب، ويولّد فرق الجهد المتناوب هذا مجالاً كهربائيًّا متغيرًا مماثلاً؛ منتشرًا ومبتعدًا عن الهوائي. والمجال الكهربائي المتغير يولد أيضًا مجالاً مغناطيسيًّا متغيرًا متعامدًا مع الصفحة. وعلى الرغم من أن المجال المغناطيسي غير ظاهر في **الشكل 6–2** إلا أنه ينتشر مبتعدًا عن الهوائي. وينشأ عن ترابط المجالات الكهربائية والمجالات المغناطيسية معًا موجات كهرومغناطيسية تنتشر في الفضاء بسرعة الضوء.



■ **الشكل 6–2** يولّد مصدر التيار المتناوب الموصول بالهوائي فرق جهد متغيرًا في الهوائي، وهذا التغير في فرق الجهد يولد مجالًا كهربائيًّا متغيرًا (**a**). يولد المجال الكهربائي المتغير مجالاً مغناطيسيًّا متغيرًا. والمجال المغناطيسي المتولد بدوره يولد مجالاً كهربائيًّا. وتستمر هذه العملية فتنتشر الموجة الكهرومغناطيسية مبتعدة عن الهوائي. (**b**) و (**c**).

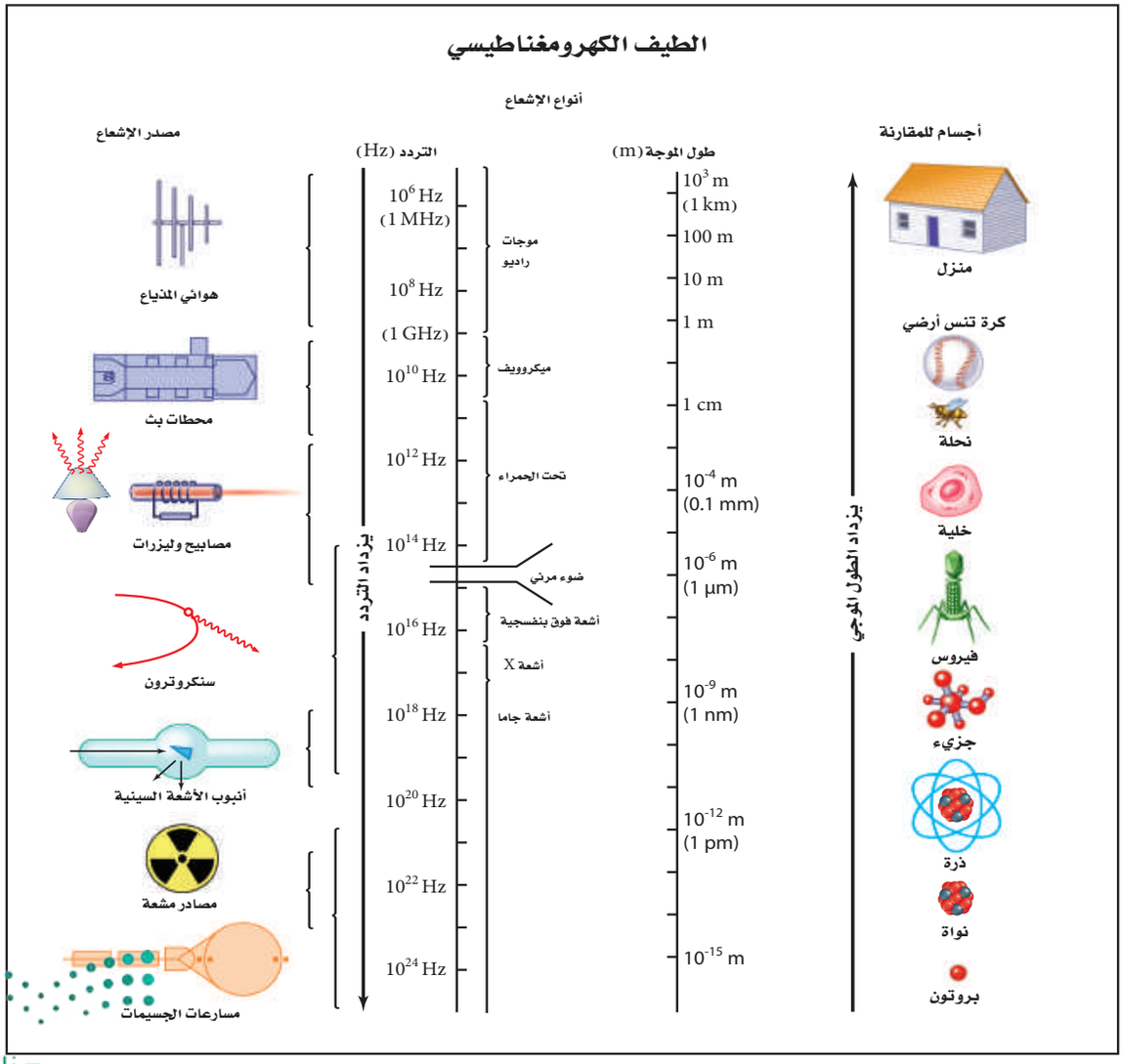
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 7–2 أجزاء من المجالين الكهربائي والمغناطيسي المتولدين بواسطة الهوائي قد تبدو في لحظة ما، كما هو موضّح (a). لاحظ أن المجالين الكهربائي والمغناطيسي متعامدان، وعموديان على اتجاه سرعة الموجة v (b).

لو أمكن رؤية الموجات الكهرومغناطيسية القادمة فستظهر المجالات المتغيرة، كما في **الشكل 7–2**. حيث يتذبذب المجال الكهربائي إلى أعلى وإلى أسفل، بينما يتذبذب المجال المغناطيسي بزوايا قائمة مع المجال الكهربائي. وكلا المجالين متعامدان على اتجاه انتشار الموجة. لاحظ أن الموجة الكهرومغناطيسية الناتجة بواسطة الهوائي مستقطبة؛ وذلك لأن المجال الكهربائي موازٍ لموصل الهوائي.

الشكل 8–2 المخطط يبين أنواعًا من الإشعاعات الكهرومغناطيسية وأطوالها الموجية.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسألة تحفيز

يشكّل الضوء المرئي جزءًا بسيطًا فقط من الطيف الكهرومغناطيسي. وأطوال الموجات لبعض ألوان الضوء المرئي موضحة في **الجدول 1–2**.

1. أي ألوان الضوء له أكبر طول موجي؟
2. أي الألوان ينتقل أسرع في الفراغ؟
3. تحيد الموجات ذات الطول الموجي الأكبر حول الأجسام التي تعترض مساراتها أكثر من الموجات ذات الطول الموجي الأقصر. أي الألوان سيحيد بدرجة أكبر، وأيها سيحيد بدرجة أقل؟
4. احسب مدى التردد لكل لون من ألوان الضوء المعطاة في **الجدول 1–2**.

الجدول 1–2

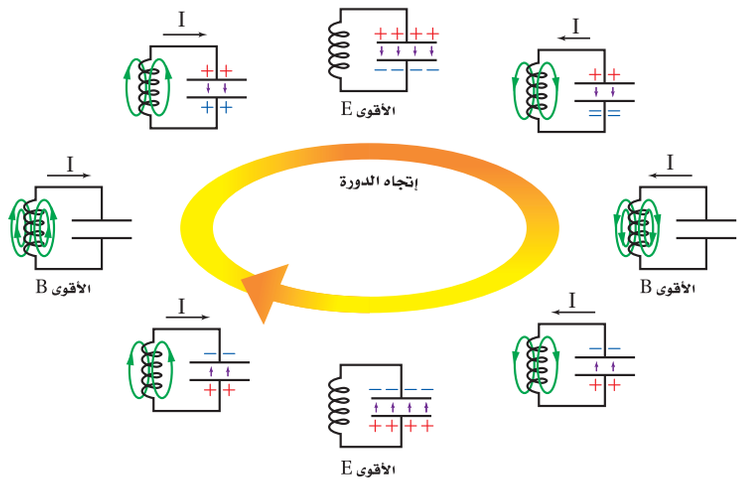
أطوال موجات الضوء المرئي

اللون	الطول الموجي (nm)
نيلي–بنفسجي	390 حتى 455
أزرق	455 حتى 492
أخضر	492 حتى 577
أصفر	577 حتى 597
برتقالي	597 حتى 622
أحمر	622 حتى 700

توليد الموجات الكهرومغناطيسية
Producing Electromagnetic Waves

الموجات من مصدر متناوب تعلمت أنه يمكن لمصدر متناوب متصل بهوائي أن يرسل موجات كهرومغناطيسية، ويكون تردد الموجة مساويا لتردد دوران مولد التيار المتناوب AC، ويُحدد بـ 1 kHz تقريبًا. ويوضح **الشكل 8–2** مدى الترددات والأطوال الموجية التي تشكل جميع أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي، وتسمى **الطيف الكهرومغناطيسي**.

الموجات الناتجة عن ملف ومكثف كهربائي (دائرة RC) الطريقة الشائعة لتوليد موجات كهرومغناطيسية ذات ترددات كبيرة هي استخدام ملف (محث) ومكثف كهربائي يتصلان معًا على التوالي. فإذا شحن المكثف ببطارية فسوف يخزن فيه شحنات كهربائية وبذلك يُنتج فرق الجهد الكهربائي بين لوحيه مجالاً كهربائيًا. وعند فصل البطارية يفقد المكثف شحنة عن طريق تدفق الإلكترونات المختزنة فيه خلال الملف، مولدة مجالاً مغناطيسيًّا. وعندما يفقد المكثف شحنته ينهار المجال المغناطيسي للملف، فتتولد قوة دافعة كهربائية حثية عكسية، ويعاد شحن المكثف في اتجاه معاكس، وتتكرر العملية. وعند توصيل هوائي بالمكثف تُبث مجالات المكثف في الفضاء. ويوضّح **الشكل 9–2** دورة اهتزازية كاملة.



الشكل 9–2 يوضح الشكل دورة اهتزازية كاملة لدائرة مكثف كهربائي وملف. ويحدد حجم كل من المكثف والملف عدد الاهتزازات كل ثانية للدائرة، والتي تساوي تردد الموجة الناتجة.

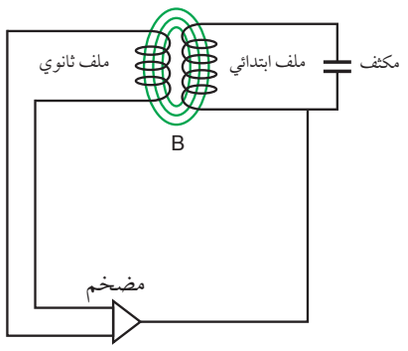
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تطبيق الفيزياء

الترددات

تحدّد الوزارة المعنية في كل دولة موجة حاملة بترددات محددة لكل محطة من محطات الإذاعة أو التلفاز التي تبث من أراضيها. تبث المحطة عن طريق تغيير موجاتها الحاملة. وعند التقاط الموجة بالمذياع أو التلفاز تنفصل الموجة الحاملة بعيدًا، وتعالج المعلومات التي تحملها الموجة، بحيث يمكنك السماع أو المشاهدة.

الطاقة في دائرة المكثف والملف في دائرة الملف والمكثف، يحتوي كل من المجال المغناطيسي المتولد في الملف والمجال الكهربائي المتولد في المكثف على طاقة. عندما يكون للتيار قيمة عظمى يكون للطاقة المختزنة في المجال المغناطيسي قيمة عظمى، وعندما يصبح التيار صفرًا يكون للمجال الكهربائي في المكثف قيمة عظمى، وتصبح الطاقة جميعها ممثلة في المجال الكهربائي. وتكون الطاقة الكلية للدائرة (مجموع طاقتي المجالين الكهربائي والمغناطيسي والطاقة الحرارية الضائعة في الأسلاك، والطاقة المحمولة بعيدًا بواسطة الموجات الكهرومغناطيسية المتولدة) مقدارًا ثابتًا. وتسمى الطاقة التي تحمل أو تشع على شكل موجات كهرومغناطيسية **الإشعاع الكهرومغناطيسي**.



الشكل 10–2 في المحول تكون الذبذبة المكبرة الناتجة عن الملف الثانوي في حالة رنين مع دائرة الملف والمكثف، وتحافظ على استمرار حدوث الاهتزازات.

وإذا زودت دائرة الملف والمكثف بنبضات جهد بترددات مناسبة فإنها تحافظ على استمرار حدوث الاهتزازات في الدائرة. وهناك طريقة لعمل ذلك تتمثل في إضافة ملف آخر إلى الدائرة لتشكيل محول كهربائي. ففي المحول الموضّح في **الشكل 10–2** يزداد التيار المتناوب الحثي الناتج في الملف الثانوي بواسطة مضخم، ويعاد إلى الملف والمكثف. في هذا النوع من الدوائر يمكن توليد ترددات تصل إلى 400 MHz تقريبًا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

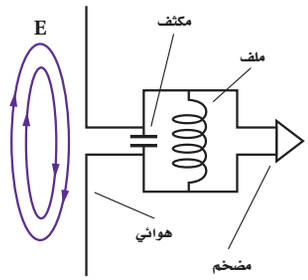
الموجات الناتجة يمكن زيادة تردد الاهتزاز الناتج بواسطة دائرة الملف والمكثف عن طريق تقليل حجم كل من الملف والمكثف المستخدمين. ومع ذلك لا تستخدم الملفات أو المكثفات المنفردة للترددات التي تزيد على 1 GHz؛ حيث يستخدم التجويف الرنان لتوليد الموجات الميكروية ذات الترددات الكبيرة التي تتراوح بين 1 GHz و 100 GHz. والتجويف الرنان صندوق على شكل متوازي مستطيلات يعتمد في عمله على الملف والمكثف معًا. ويحدد حجمُ الصندوق ترددَ الاهتزاز. فأفران الميكروويف مثلاً لها تجاويف رنانة تولد موجات ميكروويف تستخدم في طهي الطعام.

ولتوليد أعلى تردد للموجات تحت الحمراء يجب تصغير حجم التجويف الرنان ليصبح بحجم الجزيء. فالإلكترونات المهتزة التي تولد موجات تحت حمراء هي في الحقيقة ضمن أبعاد الجزيئات. أما موجات الضوء المرئي والموجات فوق البنفسجية فتتولد بواسطة الإلكترونات الموجودة داخل الذرات. وأما الأشعة السينية X–ray وأشعة جاما فتنشآن عن مسارعة الشحنات في نوى الذرات. وجميع الموجات الكهرومغناطيسية تنشأ عن مسارعة الشحنات، وتنتشر بسرعة الضوء.

الموجات الناتجة بالكهرباء الإجهادية لا تعدّ الملفات والمكثفات الطريقة الوحيدة لتوليد الجهود المتذبذبة. فبلورات الكوارتز تتشوّه عند تطبيق جهد كهربائي عبرها، وتعرف هذه الخاصية باسم **الكهرباء الإجهادية**. فعند تطبيق جهد متناوب على مقطع عرضي من بلورة كوارتز تنتج اهتزازات مستمرة. وتكون العلاقة بين سمك البلورة وتردد الاهتزازة خطية عكسية، تمامًا كما في اهتزاز قطعة فلزية عند ثنيها وتركها تهتز؛ حيث يمكن قطع بلورة الكوارتز وتطبيق جهد معين عليها، فتتشوه وتبدأ في الاهتزاز بترددات محدّدة. وتولد خاصية الكهرباء الإجهادية أيضًا قوة دافعة كهربائية عندما تتشوه البلورة. ولأن هذه القوة الدافعة الكهربائية تنتج بتردد مساوٍ لتردد البلورة نفسه، فإنه يمكن تضخيمها وإعادتها إلى البلورة؛ للمحافظة على استمرار الاهتزاز. وتستخدم بلورات الكوارتز عادة في الساعات؛ لأن ترددات اهتزازاتها ثابتة تقريبًا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

استقبال الموجات الكهرومغناطيسية
Reception of Electromagnetic Waves



الشكل 11–2 المجالات الكهربائية المتغيرة لإشارة محطة البث الإذاعية تعمل على مسارعة الإلكترونات الموجودة في الهوائي. ثم تحلل المعلومات المحمولة على الموجة الإذاعية وتضخمها ثم تستخدم لتشغيلها في سماعة أو مكبر صوت.

الآن وبعد أن عرفت كيفية توليد الموجات الكهرومغناطيسية وبثها، كيف تتوقع طريقة استقبالها؟ إن التقاط هذه الموجات يتطلب هوائيًا. كما هو موضح في **الشكل 11–2**، حيث تعمل المجالات الكهربائية للموجات على تسارع إلكترونات المادة المكونة للهوائي، ويكون التسارع أكبر ما يمكن عندما يوجه الهوائي في اتجاه استقطاب الموجة نفسه. وهذا يحدث عندما يكون الهوائي موازيًا لاتجاه المجالات الكهربائية للموجة؛ حيث يتذبذب فرق الجهد بين طرفي الهوائي بتردد الموجة الكهرومغناطيسية نفسه. ويصبح للجهد قيمة عظمى عندما يكون طول الهوائي مساوٍ لنصف الطول الموجي للموجة التي نريد التقاطها. لذلك يصمم طول الهوائي بحيث يساوي نصف الطول الموجي للموجة التي يفترض التقاطها. فالهوائي المصمم لالتقاط موجات الراديو وموجات التلفاز أطول كثيرًا من الهوائي المصمم لالتقاط موجات الميكروويف.

إن استخدام هوائي مكون من سلك واحد يمكننا من الكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية إلا أن استخدام عدة أسلاك أكثر فاعلية؛ حيث يتكون هوائي التلفاز غالبًا من سلكين أو أكثر تفصل بينهما مسافة تعادل ربع الطول الموجي للموجة. وتكوِّن المجالات الكهربائية الناتجة عن الأسلاك منفردة أنماط تداخل بنّاء تعمل على زيادة قوة الإشارة.

من المهم أن تعرف أن جميع الموجات الكهرومغناطيسية لها خصائص الانعكاس والانكسار والحيود. ولذلك لا نستغرب أن الأطباق اللاقطة تعكس الموجات الكهرومغناطيسية القصيرة جدًّا، تمامًا كما تعكس مرايا القطع المكافئ موجات الضوء المرئي. وتكون مساحة سطح الطبق اللاقط كبيرة؛ وذلك لجمع الموجات وتركيزها، وهذه المساحة تجعله قادرًا على التقاط موجات الراديو الضعيفة. ويعمل الطبق اللاقط على عكس الموجات التي يستقبلها، وتركيزها على قطعة أو جهاز يسمى اللاقط. ويثبت اللاقط بثلاثة قوائم فوق الطبق. ويحتوي اللاقط على هوائي قصير ثنائي القطب، يرسل إشارات إلى المستقبل وهو جهاز يتكون من جهاز هوائي ودائرة ملف ومكثف وكاشف لفك شفرة الإشارة وتحليلها بالإضافة إلى مضخم.

اختيار الموجات هناك العديد من محطات الإذاعة والتلفاز التي تبث الموجات الكهرومغناطيسية المختلفة في الوقت نفسه. فإذا أردنا أن نستقبل المعلومات التي تبث من محطة ما فإنه يجب اختيار الموجات الخاصة بهذه المحطة، ولاختيار موجات ذات تردد معين (ورفض باقي الموجات) يستخدم الموالف؛ وهو دائرة مكثف وملف متصل بهوائي. وتعدل السعة الكهربائية للمكثف حتى يصبح تردد اهتزازات الدائرة مساويًا لتردد الموجة المطلوبة. وعندما يحدث ذلك تعمل الموجات ذات التردد المطلوب اهتزازات محددة للإلكترونات في الدائرة.

الطاقة من الموجات تحمل الموجات الطاقة والمعلومات؛ فالموجات التي ترددتها ضمن منطقة الأشعة تحت الحمراء وأشعة الميكروويف تعمل على مسارعة الإلكترونات في الجزيئات؛ حيث تتحول طاقة الموجات إلى طاقة حرارية في الجزيئات. وهذه هي طريقة عمل فرن الميكروويف في تسخين الطعام.

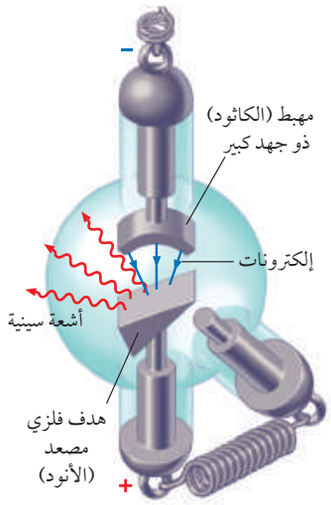
ويمكن لموجات الضوء أيضًا نقل الطاقة إلى الإلكترونات؛ فمثلًا يستفاد من هذه الحقيقة في الأفلام الفوتوجرافية؛ حيث تعمل الطاقة في موجات الضوء على إحداث تفاعلات كيميائية داخل الفيلم، فتكون النتيجة تسجيلًا دائمًا للضوء القادم من الجسم، والساقط على الفيلم. وفي الترددات الكبيرة – ومنها الأشعة فوق البنفسجية UV – تسبب الإشعاعات حدوث العديد من التفاعلات الكيميائية، ومنها تلك التي تحدث في الخلايا الحية وتسبب حروق الشمس وسمرة الجلد، والأمراض الخطيرة أحيانًا.

الربط مع الأحياء

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الأشعة السينية X Rays

أسقط الفيزيائي الألماني وليام رونتجن عام 1895م إلكترونات خلال أنبوب مفرّغ مماثل للأنبوب الموضّح في **الشكل 12–2**. واستخدم فرق جهد كبيرًا جدًّا خلال الأنبوب لإكساب الإلكترونات طاقات حركية كبيرة. وعند اصطدام الإلكترونات بهدف فلزي (الأنود) داخل الأنبوب لاحظ رونتجن توهج شاشة فوسفورية قريبة. واستمر التوهج حتى عند وضع قطعة خشب بين الأنبوب والشاشة، فاستنتج رونتجن أن هناك نوعًا من الأشعة ذات نفاذية كبيرة خرجت من الأنبوب.



الشكل 12–2 تنبعث الأشعة السينية عند اصطدام إلكترونات ذات طاقة كبيرة بهدف فلزي داخل أنبوب الأشعة السينية. ويمكن تغيير الهدف لإنتاج أشعة سينية بأطوال موجية مختلفة.

ولأن رونتجن لم يعرف هذه الإشعاعات الغريبة فقد سماها الأشعة السينية. وبعد أسابيع قليلة لاحظ رونتجن أن الشاشة الفسفورية أصبحت معتمة بسبب الأشعة السينية، كما اكتشف أيضًا أن أنسجة الجسم اللينة كانت شفافة بالنسبة للأشعة السينية، في حين لا تنفذ الأشعة السينية من العظام. ولقد عمل صورة بالأشعة السينية لكف زوجته. وفي غضون أشهر استفاد الأطباء من الاستعمالات الطبية القيمة لهذه الظاهرة.

ومن المعلوم الآن أن الأشعة السينية هي موجات كهرومغناطيسية ذات تردد كبير. وفي أنبوب الأشعة السينية تُسرّع الإلكترونات أولاً بواسطة فرق جهد كبير يصل إلى 20000 V، أو أكثر لإكسابها سرعات كبيرة جدًّا. وعندما تصطدم الإلكترونات بالمادة تتحول طاقاتها الحركية الكبيرة إلى موجات كهرومغناطيسية ذات تردد كبير تسمى الأشعة السينية.

وتسارع الإلكترونات في أنابيب الأشعة السينية يشبه تسارعها في أنبوب الأشعة المهبطية كأنبوب تكوّن الصور في التلفاز القديم CRT. فعندما تصطدم الإلكترونات بالسطح الداخلي لشاشة التلفاز تتوقف فجأة مسببة توهج الفوسفور الملوّن. ويمكن لهذا التوقف المفاجئ للإلكترونات أيضًا توليد أشعة سينية ضارة، ولذلك يحتوي السطح الداخلي لشاشة التلفاز على مادة الرصاص لإيقاف الأشعة السينية وحماية المشاهدين.

2–2 مراجعة

22. **انتشار الموجات** وضح كيف يمكن للموجات الكهرومغناطيسية أن تنتشر في الفضاء؟
23. **التردد** ما تردد موجة كهرومغناطيسية طولها الموجي $1.5\times10^{-5}\ m$؟
24. **إشارات التلفاز** تحتوي هوائيات التلفاز عادة على قضبان فلزية أفقية. استنادًا إلى هذه المعلومات ما استنتاجك حول اتجاهات المجالات الكهربائية في إشارات التلفاز؟
25. **تصميم الهوائي** لبعض قنوات التلفاز ترددات أقل من ترددات حزمة FM في المذياع، في حين أن قنوات أخرى لها ترددات أكبر كثيرًا. ما الإشارة التي تحتاج إلى هوائي أطول: القنوات ذات الترددات الأقل، أم القنوات ذات الترددات الأكبر؟ علل إجابتك.
26. **ثابت العزل الكهربائي** إذا كانت سرعة الضوء في مادة مجهولة هي $1.98\times10^{8}\ m/s$ فما مقدار ثابت العزل الكهربائي للمادة المجهولة، علما بأن سرعة الضوء في الفراغ تساوي $3.00\times10^{8}\ m/s$ ؟
27. **التفكير الناقد** تُحجب معظم الأشعة فوق البنفسجية *UV* الناتجة عن الشمس بطبقة الأوزون في الغلاف الجوي للأرض. وقد اكتشف العلماء في السنوات الأخيرة أن طبقة الأوزون فوق القطب الجنوبي وفوق المحيط المتجمد الشمالي أصبحت رقيقة. استخدم ما تعلمته عن الموجات الكهرومغناطيسية والطاقة لتوضح لماذا يشعر بعض العلماء بقلق بالغ من استنزاف طبقة الأوزون؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مختبر الفيزياء

حجب الموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic Wave Shielding

يتكون الطيف الكهرومغناطيسي من عدة أنواع من الإشعاعات الكهرومغناطيسية. ويمكن تصنيف هذه الإشعاعات وفق تردداتها أو أطوالها الموجية؛ فأشعة جاما الأكبر ترددًا والأكبر طاقةً، طولها الموجي يشكل جزءًا من النانومتر. والإشعاعات التي تلي أشعة جاما يزداد طولها الموجي (يقل كل من ترددها وطاقتها)، وهي على الترتيب: الأشعة السينية، الأشعة فوق البنفسجية، الضوء المرئي، الأشعة تحت الحمراء، موجات الميكروويف، وموجات الراديو. والعين البشرية يمكنها فقط رؤية الأطوال الموجية الواقعة ضمن مدى الضوء المرئي فقط ، بينما جميع الأشكال الأخرى للإشعاعات غير مرئية. مستقبلات الموجات الكهرومغناطيسية – كتلك الموجودة في المذياع والتلفاز – تكشف الموجات باستخدام الهوائي. ولأن كل جهاز كهربائي يغيّر مقدار التيار أو يعمل على تيار متناوب، يُصدر موجات كهرومغناطيسية؛ فالموجات المنبعثة من هذه المصادر يمكن أن تتداخل مع الإشارات المستقبلة المطلوبة. ولبعض المواد فاعلية في إيقاف أو حجب موجات الراديو. وسوف تستقصي في هذه التجربة قدرة المواد المختلفة على حجب موجات الراديو.

سؤال التجربة

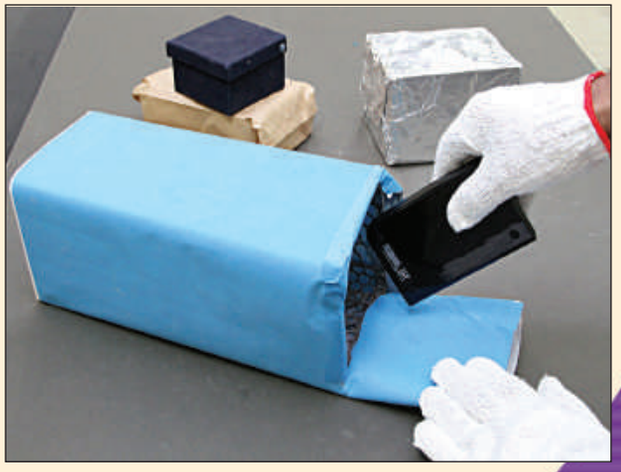
ما المواد التي تحجب الموجات الكهرومغناطيسية (موجات الراديو)؟

الأهداف

- **تجرب** مواد مختلفة لمعرفة فاعليتها في حجب الموجات الكهرومغناطيسية.
- **تلاحظ وتستنتج** أنواع المواد التي تحجب موجات الراديو.
- **تجمع وتحلل** بيانات عن أنواع الحجب.

احتياطات السلامة

- **استخدم دائمًا نظارة واقية ومعطفًا.**
- **البس القفازين عند ثني سلك الشاشة أو حمله.**
- **كن حذرًا عند استعمال الدبابيس لتجنب خدش الجلد.**



المواد والأدوات

مذياع AM–FM صغير يعمل بالبطارية، صندوقان صغيران من الكرتون، صندوق فلزي أو علبة بغطاء، ورق ألومنيوم، أكياس تحمي من التفريغ الكهربائي (كالمستخدمة في حماية قطع الحاسوب)، أسلاك مشبكة، شريط لاصق، قفازات جلدية، مكبس.

الخطوات

1. غلف السطح الخارجي لأحد الصندوقين بورق الألومنيوم وغلف الغطاء وحده بحيث يمكن إزالته ودفعه بسهولة.
2. حضر صندوقًا مصنوعًا من أسلاك مشبكة. وذلك بطيّ قطعة منها، بحيث تصبح على هيئة صندوق له أربعة أوجه ومفتوح الطرفين. استخدم المكبس لتثبيت نهايات قطعة الأسلاك المشبكة بعضها ببعض، وتأكد أن الصندوق واسع وكبير بحيث يمكن إدخال المذياع فيه. ثم اقطع جزءًا من الأسلاك المشبكة بحيث تغلق بها أحد طرفي الصندوق المفتوح بإحكام، ثم استخدم قطعة أخرى من الأسلاك المشبكة لتغلق الطرف الآخر للصندوق بحيث يصبح كالباب يمكن فتحه أو إغلاقه.
3. شغّل المذياع ووالفه مع أقوى إشارة من محطة AM. دوّن تردد المحطة؛ حيث يمكنك معرفة التردد من خلال مؤشر المذياع أو من خلال الاستماع إلى بث المحطة؛ فقد يذكر المذيع

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

جدول البيانات							
الحزمة	التردد (Hz)	الحاجب	الملاحظات	الحزمة	التردد (Hz)	الحاجب	الملاحظات
AM		ذراع شخص		FM		ذراع شخص	
AM		صندوق كرتون		FM		صندوق كرتون	
AM		صندوق كرتون مغطى بألومنيوم		FM		صندوق كرتون مغطى بألومنيوم	
AM		صندوق الأسلاك المشبكة		FM		صندوق الأسلاك المشبكة	
AM		صندوق فلزي		FM		صندوق فلزي	
AM		أكياس تحمي من التفريغ الكهربائي		FM		أكياس تحمي من التفريغ الكهربائي	

4. ضُمَّ المذياع إلى صدرك وأحطه بذراعيك، وأهمل انخفاض الصوت؛ لأنك تغطي السماعة. كيف تأثر استقبال المذياع للإشارة بذلك؟ دوّن ملاحظاتك.
5. ضع المذياع داخل صندوق الكرتون، وضع غطاء الصندوق، وأصغ إلى المذياع هل تأثر استقباله للإشارة؟ ودوّن ملاحظاتك.
6. كرر الخطوة 5 أربع مرات أخرى باستخدام الصندوق المغطى بالألومنيوم، والصندوق المصنوع من الأسلاك المشبكة (المغلق الباب)، والصندوق الفلزي (المغلق الغطاء) والكيس الذي يحمي من التفريغ الكهربائي على الترتيب.
7. غيّر مؤشر المذياع إلى حزمة FM، ووالفه مع أقوى محطة. ودوّن تردد المحطة. ثم كرر الخطوات 6–4.

التحليل

1. **التلخيص** أي المواد أكثر فاعلية لحجب موجات الراديو؟
2. **استخدام الأرقام** احسب الطول الموجي لكل تردد استخدمته في المذياع. وتذكر أن $c = f\lambda$، حيث c سرعة الموجات الكهرومغناطيسية وتساوي $3.00\times10^{8}\ m/s$
3. **قارن** ما العلاقة بين الطول الموجي للموجة المستخدمة في المذياع واتساع الفتحة أو الفتحات في المواد المستخدمة لحجب موجات الراديو؟
4. **تفسير البيانات** ما الصفات المشتركة بين المواد التي تعمل على حجب موجات الراديو؟

الاستنتاج والتطبيق

1. **اشرح** قدم شرحًا حول ما قد يحدث للمجالات الكهربائية والمغناطيسية لموجات الراديو التي منعت من الوصول إلى المذياع باستخدام المواد الحاجبة.
2. **استنتج** لماذا لم تكن تغطية المذياع بذراعيك فعّالة في إيقاف موجات الراديو؟
3. **استخدم التفسير العلمي** تمتص مياه المحيط موجات الراديو وتحدّ من اختراقها بحيث تصل إلى عمق يساوي طول الموجة تقريبًا تحت السطح. وبسبب ذلك تستخدم موجات لها ترددات صغيرة جدًّا Hz (80–40) للتواصل مع الغواصات تحت الماء. لماذا قد يكون موقع محطة إرسال الموجات الراديوية ذات القدرة العالية والمستخدمة للاتصال بغواصة ما موجودًا في منطقة نائية بعيدة عن المحيط *(مساعدة: قدر طول الهوائي المستخدم إذا كان طوله يساوي نصف الطول الموجي)*.

التوسع في البحث

كيف يكون حجم الثقوب في الأسلاك الفلزية المشبكة الموضوعة على باب فرن الميكروويف مقارنة بطول موجة الميكروويف التي ترددها 2.4 GHz؟

الفيزياء في الحياة

افترض أنك تريد إرسال بعض الصور أو المعلومات المخزّنة على القرص المغناطيسي لحاسوبك إلى صديقك، فما الذي يتعين عليك عمله لحماية القرص من الموجات الكهرومغناطيسية خلال الإرسال؟

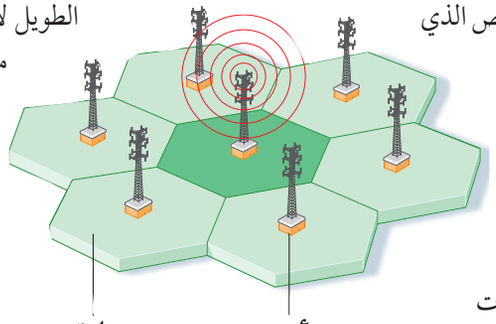
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

التقنية والمجتمع

الهواتف الخلوية Cellular Phones

هل لديك هاتف خلوي؟ كان الهاتف الخلوي (الجوال) في الماضي القريب نادر الاستعمال وباهظ الثمن. أما الآن فقد أصبح شائعًا ومتوافرًا، ويستخدمه معظم الناس.

شبكات الجوال الخلوي أخذ الهاتف الخلوي هذا الاسم من طريقة تقسيم الشركات للمدن إلى مناطق صغيرة تسمى الخلايا، ولكل خلية شكل سداسي خلال شبكة سداسية كبيرة. وتكون مساحة الخلايا عادة 26 كيلومترًا مربعًا، وتتغير وفق طبيعة المنطقة، وعدد مالكي الأجهزة الخلوية في المنطقة. ويوجد في كل خلية محطة أساسية تتكون من برج وصناديق أو غرف تحتوي على معدات وأجهزة راديوية. عندما تجري مكالمة فإنك تُرسل الإشارة من هاتفك إلى المحطة الأساسية الواقعة في خليتك، ثم ترسل هذه الإشارة من المحطة الأساسية المحلية إلى المحطة الأساسية الواقعة في المنطقة التي يكون فيها الشخص الذي اتصلت به. كيف تتواصل الهواتف الخلوية مع المحطات الأساسية؟



تستخدم الهواتف الخلوية موجات راديوية لإرسال المعلومات واستقبالها من المحطات الأساسية وإليها. ويعمل الهاتف الخلوي مرسلًا ومستقبلًا للموجات الراديوية في آن واحد، فيعمل جهاز الإرسال في الهاتف على تحويل الصوت إلى موجة مشفرة في صورة موجة ترددية راديوية، ثم يرسل الموجة الراديوية إلى أقرب محطة أساسية. تستقبل المحطة الأساسية الموجة المشفرة من هاتفك، وتحللها وترسلها إلى المحطة الأساسية المطلوبة في صورة موجات راديوية. وعند استقبال الموجة يعمل الهاتف على التقاط الموجة الراديوية وتحويلها إلى موجة صوتية مسموعة يمكنك فهمها. وباستخدام ترددين مختلفين (ترددٍ للتحدث وترددٍ للسمع) يمكن لشخصين أن يتحدث أحدهما إلى الآخر في اللحظة نفسها.

ويمكن لأنظمة شركات الهواتف الخلوية من خلال محطاتها الأساسية أن تبث مكالمتك في جميع أنحاء البلاد، حتى إذا كنت أنت والشخص الذي تتحدث معه متحركين. فعندما تتحرك تنتقل من خلية إلى أخرى. وتعمل المحطات الأساسية آليًّا على إرسال الإشارة إلى المحطة الأساسية الصحيحة في النظام.

مخاطر استعمال الهواتف الخلوية لا يخلو استخدام الهاتف الخلوي من بعض المخاطر، فالتحدث بالهاتف في أثناء قيادة السيارة مثلاً خطر، ويسبب حوادث مرورية؛ وقد بينت الدراسات أن عدد الحوادث المرورية التي تحدث مع الأشخاص الذين يستخدمون الهاتف أثناء القيادة. تزيد أربع مرات على الحوادث التي تحدث مع الأشخاص الذين لا يستخدمون الهاتف أثناء القيادة. وحسب نظام المرور السعودي فإن استخدام الجوال أثناء القيادة مخالفة مرورية، لضمان مستوى السلامة المرورية على الطرق في المملكة العربية السعودية. وتضع بعض محطات الوقود ملصقات تحذر من استعمال الهاتف الخلوي؛ وذلك لأن الكهرباء الساكنة الناتجة عن الهاتف الخلوي قد تعمل على إشعال بخار الديزل المتصاعد.

وهناك خطر آخر محتمل، وهو أن الهاتف يبث موجات راديوية أثناء تشغيله، لذا تنبعث منه طاقة كهرومغناطيسية تعرف بالتردد الراديوي RF. وهناك بعض الأدلة على أن الهواتف الخلوية تبعث من الإشعاع قد يسبب مشاكل صحية خطيرة. وحتى الآن لم يُعرف يقينًا الآثار الصحية على المدى الطويل لاستعمال الهواتف الخلوية، إن وجدت. وتعمل منظمة الصحة العالمية على إجراء تقييم مستمر لهذه المخاطر، كما توصي المنظمة بالاستخدام الرشيد للهواتف الخلوية، وإجراء المكالمات الطويلة عبر الهواتف الثابت، وإبعاد الهاتف الخلوي عن الرأس قدر الامكان حين استخدامه (استخدام مكبر الصوت، أو السماعات السلكية أو سماعة البلوتوث) ، وتجنب النوم بالقرب منها.

الربط مع رؤية 2030

رؤية VISION 2030
المملكة العربية السعودية
KINGDOM OF SAUDI ARABIA

مجتمع حيوي

من أهداف الرؤية:

2.3.4 تعزيز السلامة المرورية.

التفكير الناقد

1. **استخدم التفسير العلمي** من أين اكتسبت الهواتف الخلوية هذا الاسم؟
2. **قارن** فيم تتشابه أجهزة المذياع AM/FM والهواتف الخلوية؟ وفيم تختلف؟
3. **التفكير الناقد** فسّر لماذا تعدّ المرسلات القليلة القدرة المستخدمة في الهواتف الخلوية، مهمة في المحافظة على إبقاء وزن الهواتف الخلوية خفيفة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 2
دليل مراجعة الفصل

2-1 تفاعلات المجالات الكهربائية والمغناطيسية والمادة
Interactions of Electric and Magnetic Fields and Matter

المفردات

- النظير
- مطياف الكتلة

المفاهيم الرئيسة

- قيست النسبة بين شحنة الإلكترون وكتلته من قبل تومسون باستخدام الاتزان بين مجالين كهربائي ومغناطيسي في أنبوب أشعة المهبط. $\frac{q}{m}=\frac{v}{Br}$
- يمكن إيجاد كتلة الإلكترون بربط نتائج تومسون بقياسات ملّيكان لشحنة الإلكترون .
- يمكن أن يكون لذرات العنصر الواحد كتل مختلفة.
- يستخدم مطياف الكتلة المجالين الكهربائي والمغناطيسي لقياس كتل الذرات المتأينة والجزيئات.
- يمكن استخدام مطياف الكتلة أيضًا لتحديد نسبة شحنة أي أيون إلى كتلته. $\frac{q}{m}=\frac{2V}{B^2r^2}$

2-2 المجالات الكهربائية والمغناطيسية في الفضاء Electric and Magnetic Fields in Space

المفردات

- الموجات الكهرومغناطيسية
- العوازل الكهربائية
- الهوائي
- الطيف الكهرومغناطيسي
- الإشعاع الكهرومغناطيسي
- الكهرباء الإجهادية
- المستقبِل

المفاهيم الرئيسة

- تقترن الموجات الكهرومغناطيسية بمجالين كهربائي ومغناطيسي متغيرين، ومتحركين معًا في الفضاء.
- الطول الموجي للموجة يساوي سرعتها مقسومة على ترددها. $\lambda=\frac{v}{f}$

أما الموجة الكهرومغناطيسية التي تنتشر في الفراغ فإن السرعة في المعادلة السابقة v تساوي سرعة الضوء c.

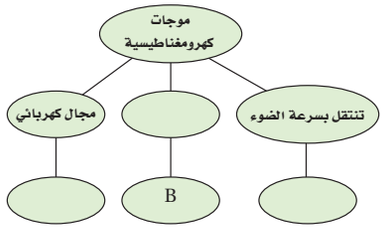
- سرعة الموجات الكهرومغناطيسية ومنها الضوء في العوازل الكهربائية أقل من سرعتها في الفراغ.
- يستعمل التيار الكهربائي المتغير في هوائي الإرسال لتوليد موجات كهرومغناطيسية.
- ينقل الإشعاع الكهرومغناطيسي الطاقة أو المعلومات في الأوساط المادية أو الفراغ.
- الكهرباء الإجهادية خاصية للبلورات تسبب لها انحناء أو تشوهًا، وتولد اهتزازات كهربائية عند تطبيق فولتية خلالها.
- تحوّل الهوائيات المستقبلة الموجات الكهرومغناطيسية إلى مجالات كهربائية متغيرة في الموصلات.
- يمكن الكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية من خلال القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الهوائي. ويمكن اختيار الترددات المحددة للموجات باستخدام دائرة رنين ملف ومكثف تعرف باسم الموالف.
- يحصل المستقبل على المعلومات من الموجات الكهرومغناطيسية.
- طول معظم الهوائيات الفعالة يعادل نصف الطول الموجي للموجة المراد التقاطها.
- يمكن لموجات الميكروويف، والأشعة تحت الحمراء، مسارعة الإلكترونات خلال الجزيئات، ولذلك يمكنها توليد طاقة حرارية.
- الأشعة السينية موجات كهرومغناطيسية ذات تردد كبير تنبعث باستخدام إلكترونات متسارعة وسريعة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 2 التقويم

خريطة المفاهيم

28. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات والرموز الآتية: E، c، مجال مغناطيسي .



إتقان المفاهيم

29. ما مقدار كل من كتلة الإلكترون وشحنته؟ (2–1)

30. ما النظائر؟ (2–1)

31. ما الزاوية بين اتجاه المجال المغناطيسي الحثي واتجاه المجال الكهربائي المتغير دائما؟ (2–2)

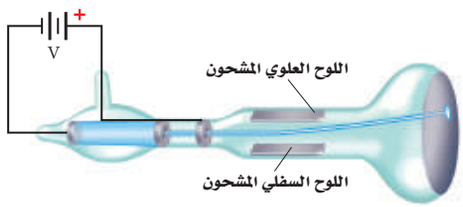
32. لماذا يجب استخدام مولد تيار متناوب لتوليد الموجات الكهرومغناطيسية؟ وإذا استخدم مولد مستمر فمتى يمكنه توليد موجات كهرومغناطيسية؟ (2–2)

33. يبث سلك هوائي رأسي موجات راديو. ارسم الهوائي وكلاً من المجالين الكهربائي والمغناطيسي المتولدين؟ (2–2)

34. ماذا يحدث لبلورة الكوارتز عند تطبيق فولتية خلالها؟ (2–2)

35. كيف تعمل دائرة استقبال الهوائي على التقاط موجة كهرومغناطيسية بتردد محدّد ورفض سائر الموجات الأخرى؟ (2–2)

36. تنطلق الإلكترونات في أنبوب تومسون من اليسار إلى اليمين، كما هو موضّح في **الشكل 13–2**. أي اللوحين سيشحن بشحنة موجبة لجعل حزمة الإلكترونات تنحرف إلى أعلى؟ (2–1)



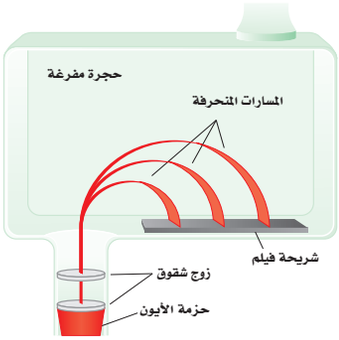
الشكل 13–2

تطبيق المفاهيم

37. يستخدم أنبوب تومسون الموضح في المسألة السابقة المجال المغناطيسي لحرف حزمة الإلكترونات. ما اتجاه المجال المغناطيسي اللازم لحرف الحزمة إلى أسفل؟

38. بين أن وحدات **E /B** هي وحدات السرعة نفسها.

39. **الشكل 14–2** يبيّن الحجرة المفرغة في مطياف كتلة. إذا اختبرت عينة من غاز النيون المتأين في هذا المطياف فما اتجاه المجال المغناطيسي اللازم لجعل الأيونات تنحرف بشكل نصف دائري في اتجاه عقارب الساعة؟



الشكل 14–2

40. إذا تغيرت إشارة شحنة الجسيم في المسألة السابقة من الموجبة إلى السالبة فهل يتغير اتجاه أحد المجالين أو كليهما للحفاظ على الجسيمات دون انحراف؟ وضّح إجابتك.

41. أي من موجات الراديو، وموجات الضوء، والأشعة السينية له قيمة عظمى من:

a. الطول الموجي

b. التردد

c. السرعة

42. **موجات التلفاز** إذا كان تردد الموجات التي تبث على إحدى القنوات في التلفاز 58 MHz، بينما تردد الموجات على قناة أخرى 180 MHz فأي القناتين تحتاج إلى هوائي أطول؟

43. افترض أن عين شخص ما أصبحت حساسة لموجات الميكروويف، فهل تتوقع أن تكون عينه أكبر أم أصغر من عينك؟ ولماذا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

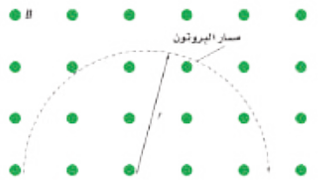
تقويم الفصل 2

إتقان حل المسائل

2–1 تفاعلات المجالات الكهربائية والمغناطيسية والمادة

44. تتحرك إلكترونات بسرعة $3.6\times10^{4}\ m/s$ خلال مجال كهربائي مقداره $5.8\times10^{3}\ N/C$. ما مقدار المجال المغناطيسي الذي يجب أن يتعرض له مسار الإلكترونات حتى لا تنحرف؟

45. يتحرك بروتون في مسار دائري نصف قطره 0.20m في مجال مغناطيسي مقداره 0.36T ، كما موضّح في **الشكل 15–2**. احسب مقدار سرعته؟



الشكل 15–2

46. دخل بروتون مجالاً مغناطيسيًّا مقداره $6.0\times10^{-2}\ T$ بسرعة $5.4\times10^{4}\ m/s$. ما مقدار نصف قطر المسار الدائري الذي يسلكه؟

47. تسارع إلكترون خلال فرق جهد مقداره 4.5kV. ما مقدار المجال المغناطيسي الذي يجب أن يتحرك فيه الإلكترون لينحرف في مسار دائري نصف قطره 5.0 cm؟

48. حصلنا على المعلومات الآتية من مطياف الكتلة حول ذرات صوديوم ثنائية التأين (2+):

$B = 8.0\times10^{-2}\ T$، $q = 2(1.60\times10^{-19}\ C)$،

$r = 0.077\ m$ ، و $V = 156\ V$

احسب كتلة ذرة الصوديوم.

49. تحرك جسيم ألفا كتلته $6.6\times10^{-27}\ kg$ وشحنته +2 في مجال مغناطيسي مقداره 2.0 T فسلك مسارًا دائريًّا نصف قطره 0.15 m. ما مقدار كل مما يأتي؟

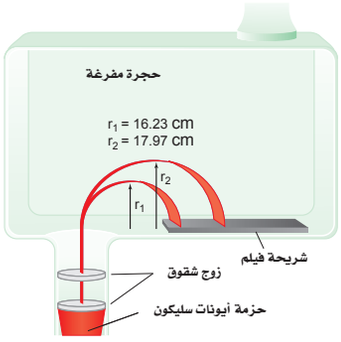
a. سرعة الجسيم.

b. طاقته الحركية.

c. فرق الجهد اللازم لإنتاج هذه الطاقة الحركية.

50. استخدم مطياف كتلة لتحليل كربون 12 يحتوي على جزيئات كتلتها تعادل 175×10^{3} من كتلة البروتون. ما النسبة اللازمة للحصول على عينة من الجزيئات تحتوي على الكربون 12 ولا تظهر فيها أي جزيئات من الكربون 13؟

51. **نظائر السليكون** سلكت ذرات السليكون المتأينة المسارات الموضّحة في **الشكل 16–2** في مطياف الكتلة. فإذا كان نصف القطر الأصغر يتوافق مع كتلة البروتون 28، فما كتلة النظير الآخر للسليكون؟



الشكل 16–2

2–2 المجالات الكهربائية والمغناطيسية في الفضاء

52. **موجات الراديو** انعكست موجات راديو طولها الموجي 2.0 cm عن طبق قطع مكافئ. ما طول الهوائي اللازم للكشف عنها؟

53. **التلفاز** نقلت إشارة تلفاز على موجات حاملة ترددها 66 MHz. فإذا كانت أسلاك الالتقاط في الهوائي تتباعد $\frac{1}{4}\lambda$ فأوجد البعد بين أسلاك الالتقاط في الهوائي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 2

54. **الماسح الضوئي لشريط الشيفرة** يستخدم الماسح الضوئي لشريط الشفرة مصدر ضوء ليزر طوله الموجي 650 nm. أوجد تردد مصدر شعاع الليزر.

55. ما طول الهوائي اللازم لاستقبال إشارة راديو ترددها 101.3MHz؟

56. موجة كهرومغناطيسية EM ترددها 100MHz تبث خلال كابل محوري ثابت العزل الكهربائي له 2.30. ما مقدار سرعة انتشار الموجات؟

57. **الهاتف الخلوي** يعمل جهاز إرسال هاتف خلوي على موجات حاملة ترددها 8.00×10^{8} Hz. ما طول هوائي الهاتف الأمثل لالتقاط الإشارة؟ لاحظ أن الهوائيات ذات الطرف الواحد تولد قوة دافعة كهربائية عظمى عندما يكون طول الهوائي فيه مساويًا ربع الطول الموجي للموجة.

مراجعة عامة

58. **المذياع** محطة إذاعية FM تبث موجاتها بتردد 94.5 MHz. ما مقدار طول الهوائي اللازم للحصول على أفضل استقبال لهذه المحطة؟

59. إذا كان طول هوائي هاتف خلوي 8.3cm فما مقدار التردد الذي يرسل ويستقبل عليه هذا الهاتف؟ لعلك تذكر من المسألة 57 أن الهوائيات ذات الطرف الواحد – ومنها المستخدم في الهاتف الخلوي – تولد قوة دافعة كهربائية عظمى عندما يكون طولها مساويًا ربع الطول الموجي للموجة التي ترسلها وتستقبلها.

60. سُرّع جسيم مجهول بتطبيق فرق جهد مقداره 1.50×10^{2} V. إذا دخل هذا الجسيم مجالاً مغناطيسيًّا مقداره 50.0 mT وسلك مسارًا منحنيًا نصف قطر 9.80 cm فما مقدار النسبة q/m؟

التفكير الناقد

61. **تطبيق المفاهيم** تستخدم العديد من محطات الشرطة الرادار لضبط السائقين الذين يتجاوزون السرعة المسموح بها. والرادار جهاز يستعمل إشارة كهرومغناطيسية ذات تردد كبير لقياس سرعة جسم متحرك، وتردد إشارة الرادار المرسلة معلوم، وعندما تنعكس هذه الإشارة المرسلة عن الجسم المتحرك تلتقط من قبل الرادار. ولأن الجسم متحرك بالنسبة إلى الرادار لذا يكون تردد الإشارة المستقبلة مختلفًا عن تردد الإشارة المرسلة. وتسمى هذه الظاهرة إزاحة دوبلر. فإذا كان الجسم متحركًا نحو الرادار كان تردد الموجة المستقبلة أكبر من تردد الموجة المرسلة. ما مقدار سرعة الجسم المتحرك إذا كان تردد الموجة المرسلة 10.525 GHz وكان للموجة المستقبلة إزاحة دوبلر مقدارها 1850 Hz؟

$$v_{\text{هدف}} = c\frac{f_{\text{دوبلر}}}{2f_{\text{بث}}}$$

حيث $v_{\text{هدف}}$: سرعة الهدف (m /s)

c سرعة الضوء (m /s)

$f_{\text{دوبلر}}$: إزاحة تردد دوبلر (Hz)

$f_{\text{بث}}$: تردد الموجة المرسلة (Hz)

62. **تطبيق المفاهيم** كتب طارق قصة خيال علمي تسمى (الرجل الخفي)، وفيها يشرب الرجل جرعة دواء فيصبح غير مرئي. ثم يستعيد طبيعته مرة أخرى. وضح لماذا لا يستطيع الرجل غير المرئي الرؤية؟

63. **تصميم تجربة** إذا طلب إليك أن تصمم مطياف كتلة باستخدام المبادئ التي نوقشت في هذا الفصل، لكن باستخدام أداة إلكترونية بدل الفيلم الفوتوجرافي. وتريد فصل الجزيئات الأحادية التأين (+1) ذات الكتل الذرية 175 بروتونًا عن الجزيئات ذات الكتل الذرية 176 بروتونًا، وكانت المسافة الفاصلة بين الخلايا المتجاورة في الكاشف الذي تستخدمه 0.10mm، ويجب أن تُسرّع الجزيئات بتطبيق فرق جهد 5000 V على الأقل؛ حتى يتم الكشف عنها، فما قيم كل من B، V، r التي يجب أن تكون لجهازك؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 2

الكتابة في الفيزياء

64. اكتب تقريرًا في صفحة أو صفحتين تَبيّن فيه عمل جهاز التحكم عن بعد لكل من التلفاز والفيديو وجهاز DVD. والذي يعمل بالأشعة تحت الحمراء. اشرح لماذا لا يحدث تداخل بين الأجهزة عند استخدام جهاز التحكم عن بعد المتعدد الأغراض. يجب أن يحوي تقريرك مخططات وأشكالًا.

مراجعة تراكمية

65. سلك طوله 440 cm يحمل تيارًا مقداره 7.7A عموديًّا على مجال مغناطيسي. فإذا كانت القوة المؤثرة في السلك 0.55N، فما مقدار المجال المغناطيسي؟ (فيزياء 2–3)

66. إذا حُرّك سلك يمتد من الشمال إلى الجنوب نحو الشرق داخل مجال مغناطيسي يتجه إلى أسفل نحو الأرض، فما اتجاه التيار الحثي المتولد في السلك؟ (الفصل 1)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. عندما يتحرك جسيم مشحون في مسار دائري فإن:

(A) القوة المغناطيسية تكون موازية للسرعة المتجهة، وموجهة نحو مركز المسار الدائري .

(B) القوة المغناطيسية قد تكون متعامدة مع السرعة المتجهة وموجهة بعيدًا عن مركز المسار الدائري.

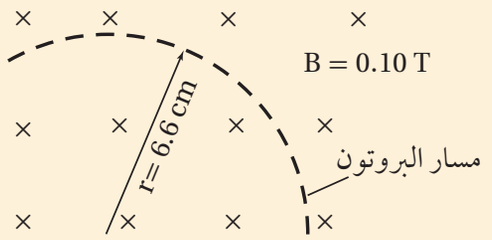
(C) القوة المغناطيسية تكون دائمًا موازية للسرعة المتجهة وموجهة بعيدًا عن مركز المسار الدائري.

(D) القوة المغناطيسية تكون دائمًا عمودية على السرعة المتجهة وموجهة نحو مركز المسار الدائري.

2. إذا كان نصف قطر مسار حركة بروتون يتحرك داخل مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.10T يساوي 6.6 cm فما مقدار السرعة المتجهة للبروتون؟

(A) $6.3\times10^{5}\text{m/s}$ (C) $6.3\times10^{7}\text{m/s}$

(B) $2.0\times10^{6}\text{ m/s}$ (D) $2.0\times10^{12}\text{ m/s}$



3. إذا كان ثابت العزل الكهربائي للميكا 5.4، فما مقدار سرعة الضوء في الميكا؟

(A) $3.2\times10^{3}\text{ m/s}$ (C) $5.6\times10^{7}\text{ m/s}$

(B) $9.4\times10^{4}\text{ m/s}$ (D) $1.3\times10^{8}\text{ m/s}$

4. تبث محطة راديوية موجاتها بطول موجي 2.87m ما مقدار تردد هذه الموجات؟

(A) $9.57\times10^{-9}\text{ Hz}$ (C) $1.04\times10^{8}\text{ Hz}$

(B) $3.48\times10^{-1}\text{ Hz}$ (D) $3.00\times10^{8}\text{ Hz}$

5. في أي الحالات الآتية لا تتولد موجة كهرومغناطيسية؟

(A) فولتية تيار مستمر DC يطبق على بلورة كوارتز لها خاصية الكهرباء الإجهادية.

(B) تيار يمر في سلك داخل أنبوب بلاستيكي.

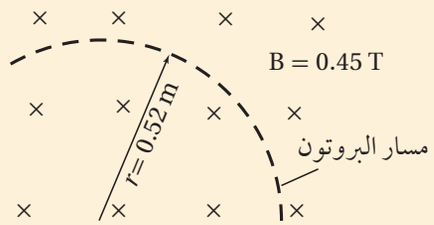
(C) تيار يمر في دائرة ملف ومكثف يعد تجويفًا رنانًا في حجم الجزيء.

(D) إلكترونات ذات طاقة كبيرة تصطدم بالهدف الفلزي في أنبوب أشعة سينية.

6. تتحرك حزمة بروتونات عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 0.45 T في مسار دائري نصف قطره 0.52m، فإذا كانت كتلة كل بروتون تساوي $1.67\times10^{-27}\text{kg}$ فما مقدار سرعة البروتونات المكونة للحزمة؟

(A) 1.2 m /s (C) 2.2×10^{7} m /s

(B) 4.7×10^{3} m /s (D) 5.8×10^{8} m /s



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الأسئلة الممتدة

7. يتحرك ديوترون (نواة الديتيريوم) كتلته 3.34×10^{-27} kg وشحنته $+e$. في مسار دائري نصف قطره 0.0400m داخل مجال مغناطيسي مقداره 1.50T ، ما مقدار سرعته؟

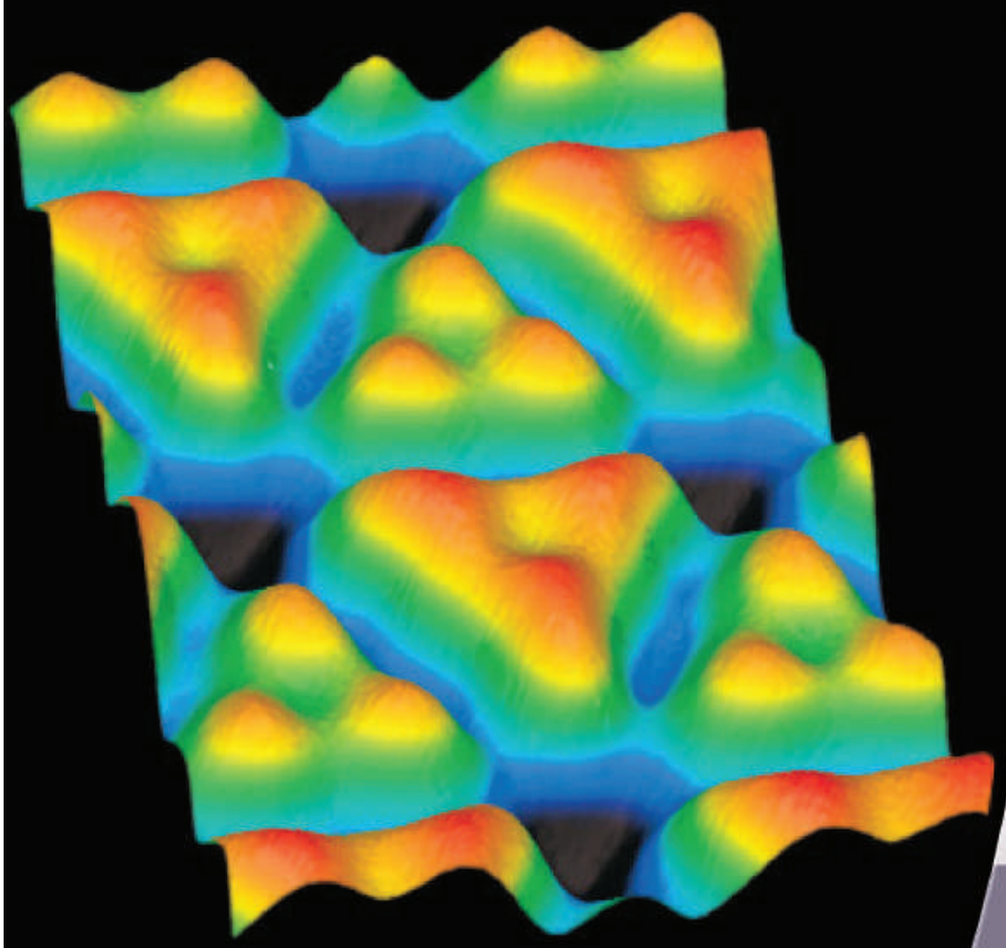
✓ إرشـاد

راقب الكلمات البسيطة والصغيرة

ضع خطًّا تحت كلمات مثل: مطلقًا، دائمًا، على الأقل، لا، ما عدا – عندما تجدها في الأسـئلة؛ إذ تؤثر هذه الكلمات الصغيرة في معنى السؤال كثيرًا.

الفصل 3

نظرية الكم
Quantum Theory



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- معرفة أن الضوء يسلك سلوك الجسيمات التي لها زخم وطاقة.
- معرفة أن الجسيمات المادية الصغيرة تسلك سلوك الموجات؛ فيحدث لها حيود وتداخل.

الأهمية

تُزوِّدنا نظرية الكم بمبدأ عمل جهاز مهم، وهو المجهر الأنبوبي الماسح (STM) Sanning Tunneling Microscop؛ حيث يعدّ هذا الجهاز ضروريًّا جدًّا للباحثين المهتمين بدراسة الحمض النووي DNA، وميكانيكية التفاعل الكيميائي، ويستخدم أيضًا في تطوير أجهزة الحاسوب الأصغر حجمًا والأكبر سرعة.

صور على المستوى الذري يمكن مشاهدة نوعين من ذرات السليكون، يظهران باللونين الأحمر والأزرق في صورة السليكون التي نحصل عليها باستخدام جهاز STM.

فكِّر ◄

استُخدم المجهر الأنبوبي الماسح للحصول على هذه الصورة لسطح السليكون. وهو يستخدم مقدرة الإلكترونات على القفز عبر حاجز. كيف تحدث عملية القفز هذه التي تعدّ مستحيلة وفق قانون حفظ الطاقة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

ماذا يشبه طيف المصباح الكهربائي المتوهّج؟

سؤال التجربة ما ألوان الضوء المرئي المنبعثة من مصباح كهربائي متوهج وساطع؟

الخطوات

1. ثبت المصباح الكهربائي المتوهج في قاعدته.
2. صل المصباح مع مصدر جهد كهربائي يمكن التحكم فيه بمفتاح تحكم، وأضئ المصباح بحيث يصدر ضوءًا خافتاً. **تحذير: تجنب لمس المصباح المتوهج؛ لأنه يؤدي إلى إحداث حروق عندما يكون ساخنًا.**
3. أطفئ المصابيح الأخرى في الغرفة أو اجعل إضاءتها خافتة.
4. قف على بُعد 1–2 m من المصباح الكهربائي، وأمسك بمحزوز حيود هولوجرافي؛ بحيث يكون قريبًا من عينك، وشاهد المصباح من خلاله. **تحذير: لا تنظر مباشرة إلى المصباح الكهربائي الساطع دون استخدام محزوز الحيود؛ لأن ذلك يؤدي إلى إلحاق الأذى بقدرتك على الرؤية.**
5. **أنشئ رسومًا توضيحية علمية واستخدمها** استعمل أقلام رصاص ملونة لعمل رسم توضيحي لما تشاهده.
6. أدِرْ مفتاح التحكم لزيادة سطوع المصباح الكهربائي إلى حدّه الأقصى.
7. **أنشئ رسومًا توضيحية علمية واستخدمها** استعمل أقلام رصاص ملونة لعمل رسم توضيحي لما تشاهده.

التحليل

صف الطيف المنبعث من المصباح الكهربائي. هل هو متصل أم سلسلة من الخطوط الملونة والمميّزة؟ صف كيف يتغير الطيف المشاهد عندما يزداد سطوع المصباح؟ **التفكير الناقد** ما مصدر الضوء المنبعث من المصباح؟ ماذا يحدث لدرجة حرارة فتيلة المصباح عندما يزداد سطوع المصباح الكهربائي؟

3–1 النموذج الجسيمي للموجات A Particle Model of Waves

أثبت هينرش هرتز صحة نظرية الموجات الكهرومغناطيسية للعالم ماكسويل، والتي درستها من قبل، من خلال تجاربه التي أجراها عام 1889م. واعتُبر الضوء بعد ذلك موجات كهرومغناطيسية. وبدا أن جميع الظواهر البصرية – ومنها التداخل والحيود والاستقطاب – قابلة للتفسير باستخدام نظرية الموجات الكهرومغناطيسية.

ورغم ذلك بقيت بعض المشكلات لدى الفيزيائيين بحاجة إلى حل؛ لأن ما أشارت إليه نظرية ماكسويل – أن الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية محضة – لم يستطع تفسير بعض الظواهر المهمة الأخرى. وتتعلق هذه المشكلات عمومًا بعملية امتصاص أو انبعاث الإشعاع الكهرومغناطيسي. ومن هذه المشكلات: الطيف المنبعث من جسم ساخن، وتحرير الجسيمات المشحونة كهربائيا من سطح فلزي عند سقوط أشعة فوق بنفسجية عليه. وسوف تتعلم في هذا الفصل أن هاتين الظاهرتين يمكن تفسيرهما عندما تدرك أن الموجات الكهرومغناطيسية لها خصائص جسيمية إضافة إلى خصائصها الموجية.

الأهداف

- **تصف** الطيف المنبعث من جسم ساخن.
- **تفسر** التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون.
- **تحل** مسائل تتضمن التأثير الكهروضوئي.

المفردات

طيف انبعاث
مكمّاة
التأثير الكهروضوئي (الانبعاث الكهروضوئي)
تردد العتبة
الفوتون
دالة (اقتران) الشغل
تأثير كومبتون

الإشعاع من الأجسام المتوهجة
Radiation from Incandescent Bodies

لماذا حيّر الإشـعاع المنبعث من الجسم السـاخن الفيزيائيين؟ لاحظ أنه يجب التعامل مع المشـكلة من حيث شدة الإشعاع المنبعث – كمية الطاقة الإشـعاعية التي تسقط عموديًا على وحدة المسـاحات خلال ثانية، وتقاس بوحدة W/m^2– وتردده عند درجات حرارة مختلفة. لم تستطع نظرية الموجات الكهرومغناطيسية لماكسويل تفسير الإشعاعات المشاهدة المنبعثة من الأجسام الساخنة. إذن فما طبيعة الإشعاع المُنبعث من الأجسام الساخنة؟

عندما يسـتخدم مفتاح التحكم لزيادة الجهد المطبّق على المصباح فإن درجة حرارة الفتيلة المتوهجـة تزداد. ونتيجة لذلك فـإن اللون يتغير من الأحمر الداكـن إلى البرتقالي، ثم إلى الأصفر وأخيرًا إلى الأبيض. ويحدث تغير اللون هذا لأن الفتيلة ذات درجة الحرارة الأعلى تبعث إشـعاعًا بتردد أعلى. إن الإشـعاع ذا التردد الأعلى يَنتج عن التردد الأعلى للطيف المرئي (اللون البنفسجي)، وهذا يؤدي إلى أن تظهر الفتيلة بيضاء.

ويسمى الرسم البياني لشدة الضوء المنبعث من جسم ساخن على مدى من الترددات **طيف الانبعاث**. ويوضح **الشـكل 1–3** أطياف الانبعاث لجسـم متوهج عند درجات الحرارة 4000 k و 5800 k و8000 K. لاحـظ أنه عند كل درجة حـرارة هناك تردد تنبعث عنده كمية عظمى مـن الطاقة. وإذا قارنت موقع قمة كل منحنى فسـتلاحظ أنه كلما ازدادت درجة الحرارة فإن التردد الذي تنبعث عنده الكمية العظمى من الطاقة يزداد أيضًا.

إن القدرة الكلية المنبعثة من جسـم سـاخن تزداد أيضًا بازدياد درجة حرارته. تتناسـب القدرة (الطاقة المنبعثة في كل ثانية) للموجات الكهرومغناطيسـية طرديًّا مع درجة حرارة الجسـم السـاخن بوحدة كلفن مرفوعة للقوة الرابعة؛ أي $P \propto T^4$، لذا تشـع الأجسام الأسخن قدرة أكبر مقارنة بالأجسـام الأبرد. وتعد الشمس من أكثر الأمثلة شيوعًا على الأجسام السـاخنة التي تشع كمية كبيرة من الطاقة. وهي كرة كثيفة من الغازات سخنت حتى توهّجت؛ وذلك بسبب الطاقة الناتجة عن التفاعلات النووية فيها.

تجـربة

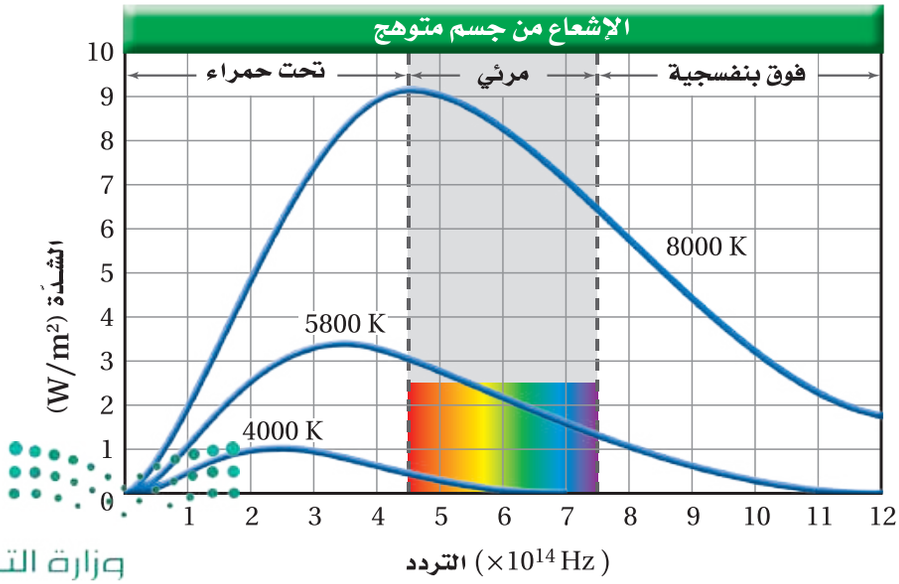
السطوع في الظلام

أَسدِل السـتائر، وأطفئ المصابيح في الغرفة، ثم سلِّط ضوء مصباح يدوي على إناء مختبري يحتوي على مادة الفلوريسين. ضع الآن مرشّح ضوء أحمر على المصباح اليدوي لكي يسقط ضوء أحمر فقط على الإناء.

1. **صف** النتائج.
2. **توقع** كيف تتأثر النتائج عند استعمال مرشّح ضوء أخضر بدلاً من المرشّح الأحمر؟
3. **اختبر** توقعاتك.
4. **فسّر** النتائج.
5. **توقع** ما إذا كان الفلوريسين سيتوهج عند استعمال مرشح ضوء أزرق مع ذكر تفسير لتوقعك.
6. **اختبر** توقعاتك.

التحليل والاستنتاج

7. **اكتب** تفسيرًا مختصرًا، تلخّص وتوضح فيه مشاهداتك.



الشكل 1–3 يوضح الرسم البياني أطياف الانبعاث لجسم متوهج عند ثلاث درجات حرارة مختلفة.

تجربة عملية

ما العلاقة بين لون الضوء المنبعث من دايود مشع للضوء والهبوط في الجهد خلاله؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تكمن مشكلة النظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل في أنها غير قادرة على تفسير شكل الطيف الموضّح في **الشكل 1–3**. وقد حاول كثير من الفيزيائيين خلال الفترة بين 1887 و 1900م تفسير شكل هذا الطيف باستخدام النظريات الفيزيائية الكلاسيكية التي كانت موجودة آنذاك، ولكنها فشلت جميعًا. وفي عام 1900م وجد الفيزيائي الألماني ماكس بلانك أن باستطاعته حساب الطيف اعتمادًا على فرضية ثورية قدّمها تنص على أن الذرات غير قادرة على تغيير طاقتها بشكل مستمر. وافترض بلانك أن طاقة اهتزاز الذرات في الجسم الصلب لها ترددات محددة فقط، كما هو موضح في المعادلة التالية:

طاقة الاهتزاز $E = nhf$

طاقة الذرة المهتزة تساوي حاصل ضرب عدد صحيح في ثابت بلانك وفي تردد الاهتزاز.

في المعادلة أعلاه، يمثل f تردد اهتزاز الذرة، و h ثابت بلانك ومقداره $6.626\times10^{-34}\ \text{J/Hz}$، و n عدد صحيح مثل ... 0,1,2,3.

$$n = 0:\ E = (0)\ hf = 0$$
$$n = 1:\ E = (1)\ hf = hf$$
$$n = 2:\ E = (2)\ hf = 2\ hf$$
$$n = 3:\ E = (3)\ hf = 3\ hf \quad \text{وهكذا}$$

لذا فإن الطاقة E يمكن أن يكون لها المقادير hf و $2\ hf$ و $3hf$... وهكذا، ولكن لن يكون لها المقدار $\frac{2}{3}hf$ أو $\frac{3}{4}hf$. أي أن الطاقة **مكمّاة**، أي أنها توجد فقط على شكل حزم أو كميات معينة. ويُقرّب الثابت h عادة إلى $6.63\times10^{-34}\ \text{J/Hz}$ لتبسيط إجراء الحسابات.

واقترح بلانك أيضًا أن الذرات لا تشع دائمًا موجات كهرومغناطيسية عندما تكون في حالة اهتزاز، كما توقع ماكسويل، وبدلاً من ذلك اقترح بلانك أن الذرات تبعث إشعاعًا فقط عندما تتغير طاقة اهتزازها. فإذا تغيرت طاقة اهتزاز ذرة مثلاً من $3\ hf$ إلى $2\ hf$ فإن الذرة تبعث إشعاعًا. والطاقة المنبعثة تساوي التغير في طاقة اهتزاز الذرة، وهي تساوي hf في هذه الحالة.

وجد بلانك أن الثابت h له قيمة صغيرة جدًّا، وهذا يعني أن مراحل تغير الطاقة صغيرة جدًّا بحيث لا يمكن ملاحظتها في الأجسام العادية. وبقي تقديم مفهوم تكمية الطاقة يمثل مشكلة كبيرة للفيزيائيين، وخصوصًا لبلانك نفسه. وكانت هذه أول إشارة إلى أن الفيزياء الكلاسيكية لنيوتن وماكسويل قد تكون صحيحة تحت ظروف خاصة فقط.

تطبيق الفيزياء

درجة حرارة الكون

الكون مليء بالإشعاع الذي بعثه عندما كان جسمًا ساخنًا جدًّا. وفي الوقت الحالي، طيف الانبعاث للكون مماثل لطيف الانبعاث لجسم درجة حرارته 2.7 K، وهو بهذا يعدّ باردًا جدًّا. وكما تعلم فإن 0 K تمثل أقل درجة حرارة ممكنة في مقياس كلفن وتسمى الصفر المطلق.

رموز الكتب

يرمز لكمية التردد Frequency في كتاب الكيمياء بالرمز υ (نيو) وبالرمز f في كتاب الفيزياء؛ وكلاهما صحيحان ويعبران عن نفس الكمية.

فاز ماكس بلانك بجائزة نوبل في الفيزياء لعام 1918م، لنظريته الكمية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

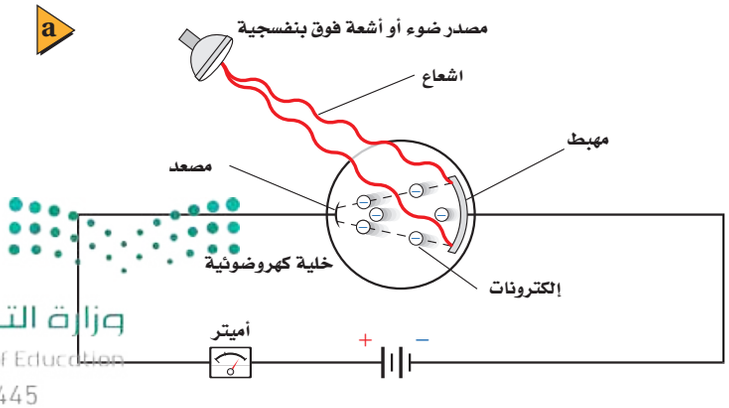
التأثير الكهروضوئي The Photoelectric Effect

واجه الفيزيائيون في بداية القرن العشرين أيضًا بعض التحديات المتعلقة ببعض النتائج العملية التي لا يمكن تفسيرها من خلال النظرية الموجية لماكسويل؛ حيث لوحظ أنه عند سقوط أشعة فوق بنفسجية على لوح زنك مشحون بشحنة سالبة فإنه يفقد شحنته. أما عند سقوط ضوء مرئي عادي على اللوح المشحون نفسه فإنه لا يفقد شحنته. وهذه النتيجة مناقضة للنظرية الكهرومغناطيسية؛ حيث إن كلًّا من الأشعة فوق البنفسجية والضوء المرئي يتكونان من إشعاع كهرومغناطيسي، فلماذا إذن يفقد لوح الزنك شحنته بأحدهما ولا يفقدها بالآخر؟ ولماذا لا يفقد لوح الزنك الموجب الشحنة شحنته بطريقة مماثلة؟ وقد بيّنت دراسات إضافية أن لوح الزنك السالب الشحنة يفقد شحنته نتيجة انبعاث أو فقد إلكترونات. ويسمى انبعاث إلكترونات عند سقوط إشعاع كهرومغناطيسي على جسم **التأثير الكهروضوئي**.

يمكن دراسة التأثير الكهروضوئي باستخدام خلية ضوئية، كتلك الموضحة في **الشكل 2–3**؛ حيث تحتوي الخلية على قطبين كهربائيين فلزيين في أنبوب مفرغ من الهواء ومحكم الإغلاق. والهدف من الأنبوب المفرغ هو منع تأكسد سطوح الفلزين، ومنع الإلكترونات من التباطؤ أو التوقف نتيجة تفاعلها مع الجسيمات الموجودة في الهواء. وعادة يطلى القطب الأكبر (المهبط) بمادة السيزيوم، أو أي فلز قلوي آخر، في حين يصنع القطب الأصغر (المصعد) من سلك رفيع؛ لكي يحجب كمية قليلة فقط من الإشعاع. ويصنع الأنبوب عادة من الكوارتز؛ لكي يسمح للأطوال الموجية للأشعة فوق البنفسجية بالنفاذ من خلاله. ويؤدي تطبيق فرق جهد على القطبين إلى جذب الإلكترونات في اتجاه المصعد.

لا يسري تيار في الدائرة الكهربائية إذا لم يسقط إشعاع مناسب على المهبط، لكن عندما يسقط الإشعاع عليه ينتج تيار كهربائيّ يتم قياسه بجهاز الأميتر، كما هو موضح في **الشكل 2–3**. وينتج هذا التيار لأن التأثير الكهروضوئي أدّى إلى تحرير إلكترونات – تسمى الإلكترونات الضوئية – من المهبط، وتدفق الإلكترونات هذا عبارة عن تيار كهربائي في الدائرة؛ حيث تتدفق الإلكترونات في اتجاه المصعد (القطب الموجب).

تردد العتبة ليس كل إشعاع يسقط على المهبط يولد تيارًا كهربائيًا؛ فالإلكترونات تنبعث من المهبط فقط عندما يكون تردد الإشعاع الساقط أكبر من قيمة صغرى معينة، تسمى **تردد العتبة** f_0. ويتغير تردد العتبة بتغير نوع الفلز. فمثلاً تُحرر كل الأطوال الموجية للضوء المرئي – ما عدا الضوء الأحمر – إلكترونات من السيزيوم، بينما لا يُحرر أي طول موجي للضوء المرئي إلكترونات من الزنك؛ حيث إننا نحتاج إلى الأشعة فوق البنفسجية ذات التردد العالي لحدوث التأثير الكهروضوئي في الزنك.



الشكل 2–3 في الخلية الضوئية الموضحة، تتدفق الإلكترونات المحررة من المهبط إلى المصعد، ومن ثم تكتمل الدائرة الكهربائية، ويتولد تيار كهربائيّ (a). يعمل مقياس الضوء اليدوي بسبب التأثير الكهروضوئي، ويستخدمه مصورو الفوتوجرافيا لقياس مستويات الضوء (b).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

يكون الإشعاع الساقط على فلز غير قادر على تحرير إلكترونات منه مهما كانت شدة هذا الإشعاع إذا كان تردده أقل من f_0. في حين يؤدي سقوط إشعاع شدته قليلة جدًّا وتردده مساوٍ أو أكبر من تردد العتبة إلى تحرير إلكترونات من الفلز مباشرة. عندما يكون تردد الإشعاع الساقط مساويًا أو أكبر من تردد العتبة فإن زيادة شدة هذا الإشعاع تؤدي إلى زيادة تدفق الإلكترونات الضوئية.

كيف تفسّر نظرية الموجات الكهرومغناطيسية التأثير الكهروضوئي؟ إنها غير قادرة على ذلك؛ فبناءً على نظرية الموجات الكهرومغناطيسية فإن المجال الكهربائي يحرر الإلكترونات من الفلز ويسرّعها، وترتبط شدة المجال الكهربائي مع شدة الإشعاع (لا مع تردده). ولذلك فإن الإلكترونات في الفلز يمكن أن تمتص طاقة من مصدر ضوء خافت فترة زمنية طويلة جدًّا لتكتسب طاقة كافية لتحررها. لكن كما درست قبل قليل فإن ما يحدث غير ذلك؛ حيث تبين المشاهدات أن الإلكترونات تنطلق مباشرة حتى عندما يسقط على الفلز إشعاع ذو شدة منخفضة وتردده مساوٍ أو أكبر من تردد العتبة.

الفوتونات وتكمية الطاقة نشر العالم أينشتاين في عام 1905م نظرية جريئة تفسر التأثير الكهروضوئي. وبناءً على نظرية أينشتاين، يتكون الضوء والأشكال الأخرى من الإشعاع الكهرومغناطيسي من حزم مكمّاة ومنفصلة من الطاقة، سُمّي كل منها فيما بعد **فوتون**. وتعتمد طاقة الفوتون على تردده.

طاقة الفوتون $E = hf$

طاقة الفوتون تساوي حاصل ضرب ثابت بلانك في تردد الفوتون.

في المعادلة أعلاه تمثل f التردد بوحدة Hz، و h ثابت بلانك. ولأن $\text{Hz} = 1/\text{s}$ فإن وحدة J/Hz لثابت بلانك مكافئة أيضًا للكمية J.s. ولأن وحدة الجول وحدة طاقة كبيرة جدًّا لاستخدامها في الأنظمة ذات الحجم الذري، لذا فالوحدة الأكثر شيوعًا للطاقة هي وحدة الإلكترون فولت (eV). وكل إلكترون فولت يساوي طاقة إلكترون يتسارع عبر فرق جهد مقداره فولت واحد.

$$1\,\text{eV} = (1.60\times10^{-19}\,\text{C})(1\,\text{V})$$
$$= 1.60\times10^{-19}\,\text{C.V}$$
$$= 1.60\times10^{-19}\,\text{J}$$

يسمح استخدام تعريف الإلكترون فولت بإعادة كتابة معادلة طاقة الفوتون في شكل مبسّط، كما هو موضح أدناه.

طاقة الفوتون $E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(1240\ \text{eV.nm})}{\lambda}$

تساوي طاقة الفوتون حاصل قسمة 1240 eV.nm على الطول الموجي للفوتون.

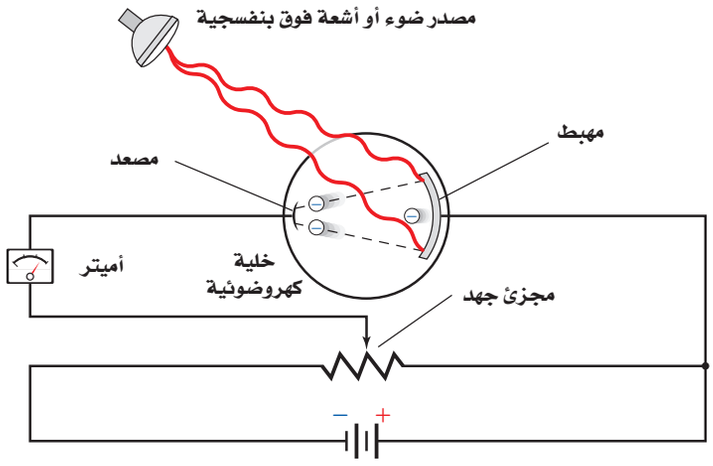
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

من المهم ملاحظة أن نظرية أينشـتاين للفوتون أشـمل وأعم من نظرية بلانك للإشعاع المنبعث من الأجسـام السـاخنة. فبينما توقع بلانـك أن الذرات المهتزة تبعث إشـعاعًا كهرومغناطيسيًّا بطاقة تساوي nhf، فإنه لم يتوقع أن الضوء والأشكال الأخرى للإشعاع الكهرومغناطيسي تسلك سـلوك الجسيمات. أما نظرية أينشـتاين للفوتون فتعيد تفسير نظرية بلانك للإشعاع المنبعث من الأجسام الساخنة وتوسعها.

تستطيع نظرية أينشتاين للتأثير الكهروضوئي تفسير وجود تردد العتبة كما يلي: يلزم فوتون له أقل تردد f_0، وأقل طاقة hf_0، ليحرر إلكترونًا من فلز. أما إذا كان تردد الفوتون الساقط أقل من f_0 فلن يكون له الطاقة الكافية لتحرير الإلكترون. ولأن فوتونًا واحدًا فقط يتفاعل مع إلكترون واحد فإن الإلكترون لا يسـتطيع تجميع طاقة فوتونات ترددتها أقل من تردد العتبـة حتى يكون له الطاقة الكافية اللازمة لتحريره. أما الإشـعاع الذي تردده أكبر من f_0 فإن له طاقـة أكبر من الطاقة اللازمة لتحرير الإلكـترون؛ فتتحول هذه الطاقة الزائدة $hf - hf_0$ إلى طاقة حركية للإلكترونات المتحررة.

الطاقة الحركية لإلكترون كهروضوئي $KE = hf - hf_0$

الطاقة الحركيـة للإلكترون المتحرر تسـاوي الفرق بين طاقة الفوتون السـاقط hf والطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون من الفلز hf_0.



الشـكل 3–3 يمكن قياس الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة من المهبط باستخدام هذا الجهاز؛ حيث يقيس الأميتر التيار المار في الدائرة. وبتعديل مجزئ الجهد يمكن للشخص الذي يجري التجربة تحديد فرق الجهد الذي يصبح عنده التيار المار في الدائرة صفرًا. عندها يمكن قياس الطاقة الحركية العظمى الممكنة للإلكترونات المتحررة.

اختبار النظرية الكهروضوئية كيف يمكن اختبار نظرية أينشـتاين؟ يمكن قياس الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة بطريقة غير مباشرة بواسطة جهاز خاص بذلك، كالموضح في **الشـكل 3–3**. يسـتخدم فرق جهد كهربائـي متغير لتعديل فـرق الجهد المطبق عبر الأنبـوب. عندما يعدل فرق الجهد لجعل المصعد سـالبًا فإن الإلكترونات المتحررة تخسر طاقـة للوصول إلى المصعد. وسـيصل إليه فقط الإلكترونات المتحـررة من المهبط ذات الطاقة الحركية الكافية.

وكما هو موضح في **الشكل 3–3**، يتم اختيار ضوء بتردد معين لإضاءة المهبط. يقوم الشخص الذي يجري التجربة بزيادة فرق الجهد المعاكس تدريجيًّا، بحيث يجعل المصعد أكثر سالبية. وكلما ازداد فرق الجهد المعاكس، لزمت طاقة حركية أكبر للإلكترونات للوصول إلى المصعد، لذا يصل إليه عدد أقل من الإلكترونات لتكمل الدائرة. وعند فرق جهد معين يسمى جهد الإيقاف أو القطع، لن تكون هنالك إلكترونات لها طاقة حركية كافية للوصول إلى المصعد، وعندها يتوقف سريان التيار.

عند جهد الإيقاف تكون الطاقة الحركية للإلكترونات عند المهبط مساوية للشغل المبذول من المجال الكهربائي لإيقافها. ويعبر عن هذا بالمعادلة: $KE = -qV_0$، حيث تمثل V_0 مقدار جهد الإيقاف بوحدة الفولت J/c، و q شحنة الإلكترون، وهي -1.60×10^{-19} C. لاحظ أن الإشارة السالبة في المعادلة والمقدار السالب للشحنة q ينتجان مقدارًا موجبًا للطاقة الحركية KE.

تطبيقات يستخدم التأثير الكهروضوئي في التطبيقات اليومية المختلفة. فالألواح الشمسية الموضحة في **الشكل 3–4** تَستخدم التأثير الكهروضوئي لتحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية. كما تحتوي فاتحات أبواب مواقف السيارات على حزم من الأشعة تحت الحمراء تنشئ تيارًا في المستقبِل من خلال التأثير الكهروضوئي. فإذا قُطعت حزمة الضوء هذه بجسم في أثناء إغلاق باب الموقف فإن التيار يتوقف في المستقبِل، مما يؤدي إلى فتح الباب. ويستخدم التأثير الكهروضوئي أيضًا في التحكم في إضاءة مصابيح الشوارع وإطفائها آليًّا؛ اعتمادًا على ما إذا كان الوقت نهارًا أو ليلاً.

الربط مع رؤية 2030

رؤية VISION 2030 المملكة العربية السعودية KINGDOM OF SAUDI ARABIA

اقتصاد مزدهر

من أهداف الرؤية

3.2.4 زيادة مساهمة مصادر الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة

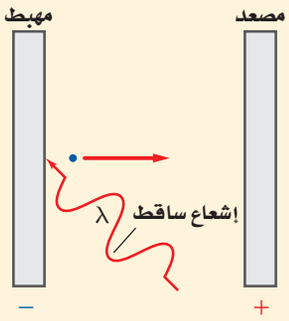
الشكل 3–4 من مشاريع الشركة السعودية للكهرباء ومدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية تركيب خلايا كهروضوئية تعتمد على الطاقة الشمسية في توليد الطاقة لمدرستين بالرياض بهدف إنتاج الطاقة النظيفة ضمن البرامج الهادفة إلى التوسع في مشاريع "الطاقة البديلة" لتوفير الوقود والمحافظة على البيئة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مثـــال 1

الطاقة الحركية لإلكترون ضوئي إذا كان جهد الإيقاف لخلية ضوئية معينة 4.0 V فما مقدار الطاقة الحركية التي يُكسبها الضوء الساقط للإلكترونات المتحررة؟ عبّر عن إجابتك بوحدتي الجول والإلكترون فولت.

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارســم المهبط والمصعد والإشعاع الساقط واتجاه حركة الإلكترون المتحرر.

لاحظ أن جهد الإيقاف يحول دون تدفق الإلكترونات عبر الخلية الضوئية.

المعلوم	المجهول
$V_0 = 4.0\ V$	KE (بوحدة J و eV) =?
$q = -1.60\times10^{-19}\ C$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

يبذل المجال الكهربائي شغلاً على الإلكترونات. عندما يكون الشغل المبذول W يساوي سالب الطاقة الحركية الابتدائية KE فإن الإلكترونات لا تتدفق عبر الخلية الضوئية.

$KE + W = 0\ J$

حل المعادلة لحساب الطاقة الحركية KE.

$KE = -W$

بالتعويض عن $W = qV_0$

$= -qV_0$

بالتعويض عن $V_0 = 4.0\ V$، $q = -1.60\times10^{-19}\ C$

$= -(-1.60\times10^{-19}\ C)(4.0\ V)$

$= +6.4\times10^{-19}\ J$

دليل الرياضيات

الأرقام الصغيرة واستخدام الأسس السالبة.

حوّل وحدة قياس الطاقة الحركية من جول إلى إلكترون فولت

$KE = (+6.4\times10^{-19}\text{J})\left(\frac{1\ eV}{1.60\times10^{-19}\ J}\right)$

$= 4.0\ eV$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الجول والإلكترون فولت كلاهما وحدات قياس للطاقة.
- **هل للإشارات معنى؟** الطاقة الحركية دائمًا موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** الطاقة بوحدة الإلكترون فولت تساوي في المقدار فرق جهد الإيقاف بوحدة فولت.

مسائل تدريبية

1. ما طاقة إلكترون بوحدة الجول إذا كانت طاقته 2.3 eV؟
2. إذا كانت سرعة إلكترون $6.2\times10^{6}\ m/s$ فما طاقته بوحدة eV؟
3. ما سرعة الإلكترون في المسألة 1؟
4. إذا كان جهد الإيقاف لخلية كهروضوئية 5.7 V فاحسب الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة بوحدة eV.
5. يلزم جهد إيقاف مقداره 3.2 V لمنع سريــان التيار الكهربائي في خلية ضوئية. احسب الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية المتحررة بوحدة الجول.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسألة تحفيز

افــترض أن قطعة نقدية كتلتها 5.0 g معلقة بنابض تهتز إلى أعلى وإلى أســفل، وكانت السرعــة القصوى لهذه القطعة في أثنــاء اهتزازها 1.0 cm /s. اعتبر أن قطعة النقد المهتزة تمثِّل الاهتزازات الكمية للإلكترونات في الذرة، حيث تعطى طاقة الاهتزازات بالمعادلة $E = nhf$.

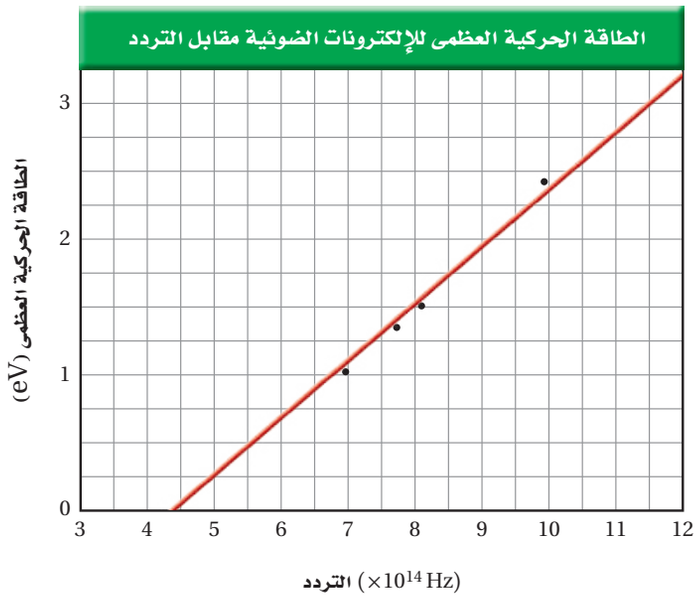
1. احسب الطاقة الحركية العظمى للجسم المهتز.
2. يبعث الجســم المهتز طاقة على شــكل ضوء بتردد 5.0×10^{14} Hz إذا كانت هذه الطاقة تُبعث في مرحلة واحدة فاحسب الطاقة التي يفقدها الجسم.
3. حدد عدد المراحل التي ستقل فيها طاقة الجســم بمقادير متساوية حتى يفقد طاقته كلها.

تختلف الرسوم البيانية للفلزات المختلفة فقط في تردد العتبة اللازم لتحرير الإلكترونات. في **الشكل 5–3** تردد العتبة f_0 هو النقطة التي تكون عندها $KE = 0$. وفي هذه الحالة تقع f_0 على نقطة تقاطع الخط المستقيم مع المحور x، ويساوي هنا 4.4×10^{14} Hz تقريبًا. ويرتبط تردد العتبة مع دالة الشــغل (اقتران الشغل) للفلز. **دالة الشغل (اقتران الشغل) للفلز** هي الطاقة اللازمة لتحريــر الإلكترون الأضعف ارتباطًا في الفلز، ومقدارها يســاوي hf_0. وعندما يســقط فوتون تردده f_0 على فلز تكون طاقته كافية لتحرير الإلكترون فقط، دون تزويده بأي طاقة حركية.

أجرى العــالم الأمريكي روبرت ملّيكان بين عامي 1905 و 1916م مجموعة من التجارب الجيدة، حاول مــن خلالها أن يدحض النظرية الكهروضوئية لأينشــتاين. ومع أن نتائج تجاربه أكدت صحة معادلة أينشتاين إلا أنه لم يقبل فكرة أينشتاين عن الفوتون.

فــاز ألــبرت أينشــتاين بجائــزة نوبــل في الفيزياء لعــام 1921م، لنظريتــه التــي فســرت التأثير الكهروضوئي.

فاز روبرت مليكان بجائزة نوبل في الفيزياء لعام 1923م، لحسابه شحنة الإلكترون وأبحاثه في التأثير الكهروضوئي.



الشكل 5–3 يوضح الرسم البياني أنه كلما زاد تردد الإشعاع الساقط ازدادت الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة بشكل متناسب.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

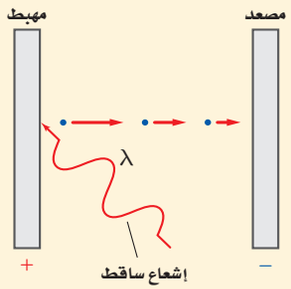
مثـــــال 2

دالة الشغل والطاقة تستخدم خلية ضوئية مهبطًا من الصوديوم. فإذا كان طول موجة العتبة λ_0 لمهبط الصوديوم 536 nm:

a. فاحسب دالة الشغل للصوديوم بوحدة eV.

b. إذا سقط إشعاع فوق بنفسجي طوله الموجي 348 nm على الصوديوم فما طاقة الإلكترونات المتحررة بوحدة eV؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم المصعد والمهبط، والإشعاع الساقط، واتجاه الإلكترون المتحرر.

المعلوم	المجهول
$\lambda_0 = 536$ nm	W = ?
$hc = 1240$ eV.nm	KE = ?
λ = 348 nm	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم ثابت بلانك وطول موجة العتبة لإيجاد دالة الشغل.

$$W = hf_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$$

بالتعويض $\lambda_0 = 536$ nm, $hc = 1240$ eV.nm

$$= \frac{1240 \text{ eV.nm}}{536 \text{ nm}} = 2.31 \text{ eV}$$

b. استخدم معادلة التأثير الكهروضوئي لأينشتاين لحساب طاقة الإشعاع الساقط.

$$E = \frac{1240 \text{ eV.nm}}{\lambda}$$

بالتعويض λ= 348 nm

$$= \frac{1240 \text{ eV.nm}}{348 \text{ nm}} = 3.56 \text{ eV}$$

لحساب طاقة الإلكترون المتحرر اطرح دالة الشغل من طاقة الإشعاع الساقط.

$$KE = hf - hf_0 = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_0}$$

بالتعويض $W = \frac{hc}{\lambda_0}$ ، $E = \frac{hc}{\lambda}$

بالتعويض $E = 3.56$ eV ، $W = 2.31$ eV

$$= E - W$$

$$= 3.56 \text{ eV} - 2.31 \text{ eV}$$

$$= 1.25 \text{ eV}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** إجراء التحليل البعدي على الوحدات يؤكد أن وحدة eV هي الوحدة المناسبة للطاقة الحركية KE.
- **هل للإشارة معنى؟** الطاقة الحركية موجبة دائمًا.
- **هل الجواب منطقي؟** ينبغي أن تكون الطاقات مقادير قليلة من الإلكترون فولت.

مسائل تدريبية

6. احسب تردد العتبة للزنك بوحدة Hz ودالة الشغل بوحدة eV إذا كان طول موجة العتبة للزنك 310 nm.

7. ما مقدار الطاقة الحركية بوحدة eV للإلكترونات المتحررة من السيزيوم عندما يسقط عليه ضوء بنفسجي طوله الموجي 425 nm إذا كانت دالة الشغل له 1.96 eV؟

8. تتحرر من فلز إلكترونات بطاقات 3.5 eV عندما يضاء بإشعاع فوق بنفسجي طوله الموجي 193 nm. ما مقدار دالة الشغل لهذا الفلز؟

9. إذا كانت دالة الشغل لفلز 4.50 eV فما مقدار أكبر طول موجي للإشعاع الساقط عليه، بحيث يكون قادرًا على تحرير إلكترونات منه؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تأثير كومبتون The Compton Effect

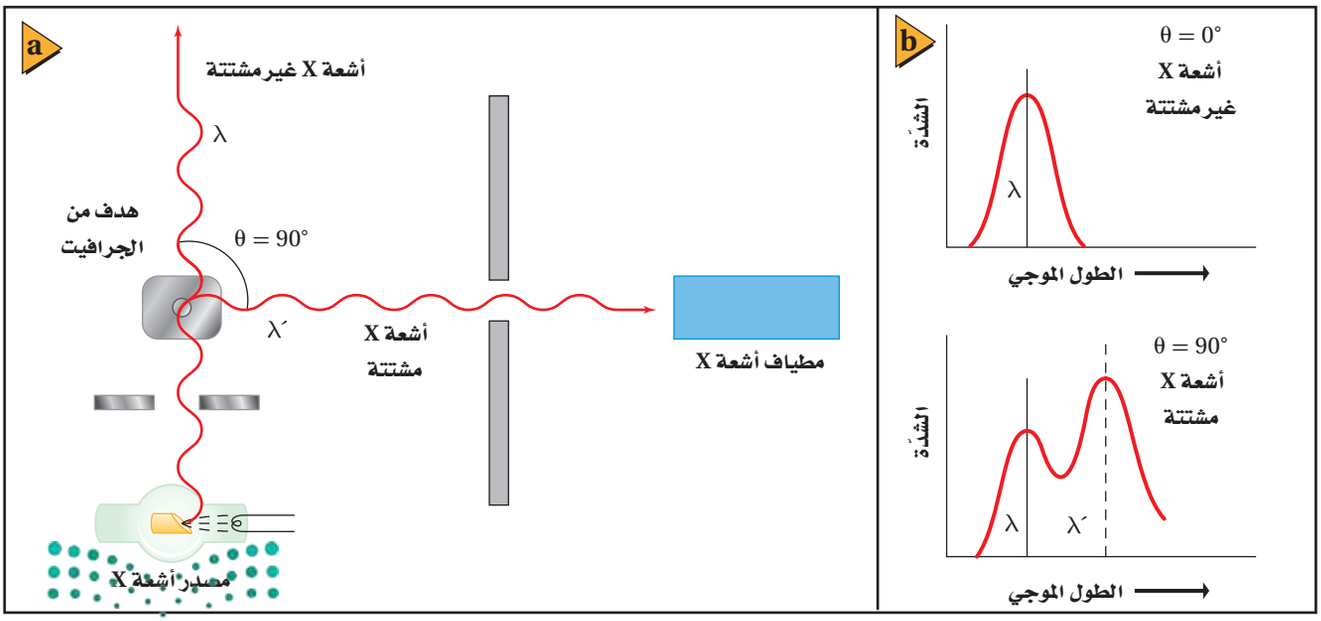
يُظهر التأثير الكهروضوئي أن للفوتون – رغم أنه ليس له كتلة – طاقة حركية، تمامًا كما للجسيمات. وفي عام 1916م اقترح أينشتاين أن الفوتون يجب أن يكون له خاصية جسيمية أخرى، هي الزخم. وبيّن أن زخم الفوتون يجب أن يساوي E /c. ولأن $E = hf$ و $f /c = 1 /\lambda$، فإن زخم الفوتون يعطى بالمعادلة:

زخم الفوتون $$p = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

زخم الفوتون يساوي حاصل قسمة ثابت بلانك على الطول الموجي للفوتون.

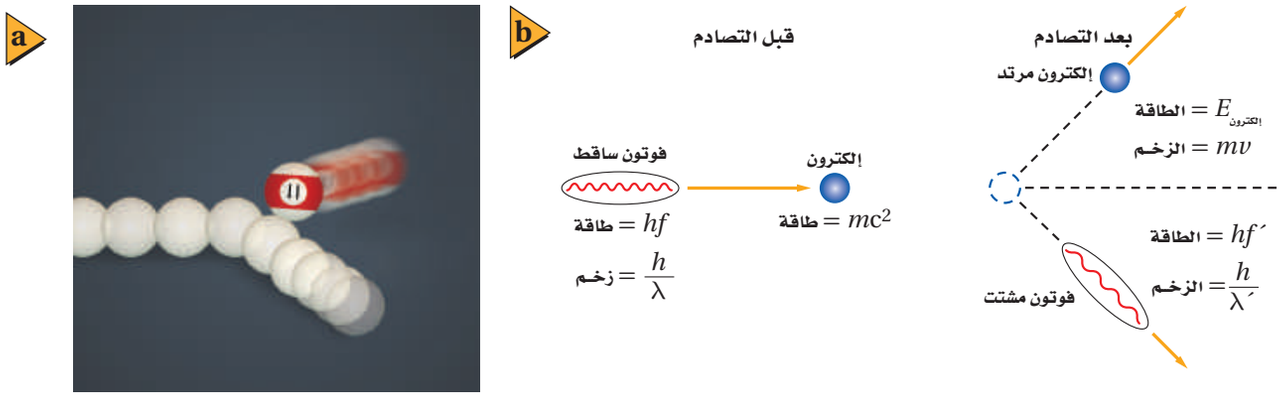
اختبرت تجارب أجراها الفيزيائي الأمريكي أرثر هولي كومبتون عام 1922م نظرية أينشتاين. وقد دعمت نتائج تجارب كومبتون النموذج الجسيمي للضوء. سلّط كومبتون أشعة X ذات طول موجي معلوم على هدف من الجرافيت، كما هو موضح في **الشكل 6a–3**، وقاس الأطوال الموجية لأشعة X التي شتتها الهدف. لاحظ كومبتون أن بعض أشعة X المُشَتَّتة لم يتغير طولها الموجي، في حين أصبح لبعضها الآخر طول موجي أكبر مما للإشعاع الساقط. وُضّحت هذه النتائج في **الشكل 6b–3**. لاحظ أن الطول الموجي المقابل لأكبر شدة لأشعة X غير المشتتة يتطابق مع مثيله لأشعة X الساقطة، بينما الطول الموجي المقابل لأكبر شدة لأشعة X المشتتة أكبر من مثيله لأشعة X الساقطة.

تذكر أن معادلة طاقة الفوتون $E = hf$ يمكن كتابتها أيضًا على شكل $E = hc/\lambda$. تظهر المعادلة الثانية أن طاقة الفوتون تتناسب عكسيًّا مع طوله الموجي. إذن الزيادة في الطول الموجي الذي لاحظه كومبتون تعني أن فوتونات أشعة X قد فقدت طاقة وزخمًا. تسمى الإزاحة في طاقة الفوتونات المشتتة **تأثير كومبتون**. وهذه الإزاحة في الطاقة صغيرة جدًّا، 10^{-3} nm تقريبًا، ولها تأثير قابل للقياس فقط عند استخدام أشعة X بأطوال موجية في حدود 10^{-2} nm أو أقل.



الشكل 6–3 استخدم كومبتون أدوات مشابهة لهذه الأدوات في دراسة طبيعة الفوتونات (**a**). زيادة الطول الموجي للفوتونات المشتتة دليل على أن فوتونات أشعة X قد فقدت طاقة (**b**).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 7–3 تصادم كرتي بلياردو (a) يشبه تمامًا ما يحدث عند اصطدام فوتون بإلكترون؛ حيث إن الطاقة والزخم اللذين يكتسبهما الإلكترون يساويان الطاقة والزخم اللذين يفقدهما الفوتون (b).

في التجارب الأخيرة، لاحظ كومبتون تحرر إلكترونات من حاجز الجرافيت خلال إجراء التجربة، فاقترح أن فوتونات أشعة X اصطدمت بالإلكترونات الموجودة في هدف الجرافيت، ونقلت الطاقة والزخم إليها. اعتقد كومبتون أن تصادمات الفوتون– إلكترون هذه مشابهة تمامًا للتصادمات المرنة في كرات البلياردو، كما هو موضح في **الشكل 7–3**. واختبر هذه الفكرة من خلال قياس طاقة الإلكترونات المتحررة، ووجد كومبتون أن الطاقة والزخم اللذين تكتسبها الإلكترونات يساويان الطاقة والزخم اللذين تفقدهما الفوتونات، لذا فإن الفوتونات تحقق قانوني حفظ الزخم والطاقة عندما تصطدم بجسيمات أخرى.

3–1 مراجعة

10. **التأثير الكهروضوئي** لماذا يكون الضوء ذو الشدة العالية والتردد المنخفض غير قادر على تحرير إلكترونات من فلز، في حين يكون الضوء ذو الشدة المنخفضة والتردد العالي قادرًا على ذلك؟ فسّر إجابتك.
11. **تردد إشعاع الجسم الساخن وطاقته** كيف يتغير تردد الإشعاع المقابل لأعلى شدة عندما ترتفع درجة حرارة الجسم؟ وكيف تتغير الكمية الكلية للطاقة المنبعثة؟
12. **التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون** سلّط عالمٌ أشعةَ X على هدف، فانطلق إلكترون من الهدف دون أن ينبعث أي إشعاع آخر. وضّح إذا كان هذا الحدث ناتجًا عن التأثير الكهروضوئي أم عن تأثير كومبتون.
13. **التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون** ميّز بين التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون.
14. **التأثير الكهروضوئي** اصطدم ضوء أخضر λ=532 nm بفلز ما، فحرر إلكترونات منه. إذا تم إيقاف هذه الإلكترونات باستخدام فرق جهد 1.44 V، فما مقدار دالة الشغل للفلز بوحدة eV؟
15. **طاقة فوتون** تنبعث فوتونات طولها الموجي 650 nm من مؤشر ليزر. ما مقدار طاقة هذه الفوتونات بوحدة eV؟
16. **التأثير الكهروضوئي** امتُصّت أشعة X في عظم، وحررت إلكترونًا. إذا كان الطول الموجي لأشعة X 0.02 nm تقريبًا، فقدّر طاقة الإلكترون بوحدة eV.
17. **تأثير كومبتون** أُسقطت أشعة X على عظم، فاصطدمت بإلكترون فيه وتشتت. كيف تقارن بين الطول الموجي لأشعة X المشتتة والطول الموجي لأشعة X الساقطة؟
18. **التفكير الناقد** تخيل أن تصادم كرتَيْ بلياردو يمثل التفاعل الذي يحدث بين فوتون وإلكترون خلال تأثير كومبتون. افترض أن بروتونًا– كتلته أكبر كثيرًا من كتلة الإلكترون– وُضع بدلاً من الإلكترون، فهل تكون الطاقة التي يكتسبها البروتون نتيجة التصادم مساوية لتلك التي يكتسبها الإلكترون؟ وهل تكون الطاقة التي يفقدها الفوتون مساوية لتلك التي يفقدها عندما يتصادم بالإلكترون؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

3–2 موجات المادة Matter Waves

أظهر كل من التأثير الكهروضوئي وتشتت كومبتون أن للموجات الكهرومغناطيسية العديمة الكتلة زخم وطاقة كالجسيمات. إذا كان للموجات الكهرومغناطيسية خصائص جسيمية، فهل يمكن للجسيمات أن تسلك سلوك الموجات، وذلك بأن تظهر التداخل والحيود؟ أيْ: هل للجسيمات خصائص موجية؟ توقع العالم دي برولي عام 1923م أن للجسيمات المادية خصائص موجية. وكان هذا التوقع غير عادي، وقد قوبل بالرفض من علماء آخرين حينها، حتى قرأ أينشتاين أبحاث دي برولي العلمية وأيده في ذلك.

الأهداف

- **تصف** دليلًا على الطبيعة الموجية للمادة.
- **تطبق** معادلة دي برولي في حل مسائل عددية.
- **تصف** الطبيعة المزدوجة للموجات والجسيمات، وأهمية مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج.

المفردات

طول موجة دي برولي

مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج

موجات دي برولي De Broglie Waves

تذكر أن زخم الجسم يساوي كتلته مضروبة في سرعته $p = mv$. وقياسًا على زخم الفوتون $p = h/\lambda$، توقع دي برولي أن زخم الجسيم يعبر عنه بالمعادلة التالية:

$$p = mv = \frac{h}{\lambda}$$

يمثل الطول الموجي في العلاقة أعلاه الطول الموجي المصاحب للجسيم المتحرك، ويسمى **طول موجة دي برولي**. وتعطي المعادلة التالية طول موجة دي برولي مباشرة.

طول موجة دي برولي

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

طول موجة دي برولي المصاحبة لجسيم متحرك تساوي حاصل قسمة ثابت بلانك على زخم الجسيم.

اعتمادًا على نظرية دي برولي، ينبغي أن تُظهر جسيمات مثل الإلكترونات والفوتونات خصائص موجية. إلا أنه لم يسبق أن لوحظت تأثيرات مثل التداخل والحيود للجسيمات. لذا كان إنجاز دي برولي عظيمًا، رغم وجود شك كبير في نظريته. وفي عام 1927م أجريت تجربتان مستقلتان أثبتت نتائجهما أن الإلكترونات تحيد تمامًا كالضوء. ففي إحدى التجربتين سلّط العالم الإنجليزي جورج تومسون حزمة من الإلكترونات على بلورة رقيقة جدًّا؛ وذلك لأن ذرات البلورات مرتبة بنمط منتظم يجعلها تعمل عمل محزوز حيود. وكوّنت الإلكترونات التي حدث لها حيود الأنماط نفسها التي تكوّنها أشعة X التي لها الطول الموجي نفسه. ويوضح **الشكل 8–3** النمط الذي يكوِّنه حيود الإلكترونات. وفي الولايات المتحدة الأمريكية أجرى كلينتون دافيسون ولاستر جيرمر تجربة مشابهة مستخدمين إلكترونات منعكسة ومحادة عن بلورات سميكة. وأثبتت التجربتان أن للجسيمات المادية خصائص موجية.

الشكل 8–3 تُظهر أنماط حيود الإلكترونات – كهذا النمط الخاص ببلورة زركونيوم مكعبة – الخصائص الموجية للجسيمات.

إن الطبيعة الموجية للأجسام التي تراها وتتعامل معها يوميًّا لا يمكن ملاحظتها لأن أطوالها الموجية قصيرة جدًّا. فمثلاً، لكي ندرس طول موجة دي برولي المصاحبة لكرة مضرب كتلتها 0.145 kg وسرعتها لحظة مغادرة المضرب 38 m /s.

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}\ \text{J.s}}{(0.145\ \text{kg})(38\ \text{m/s})} = 1.2 \times 10^{-34}\ \text{m}$$

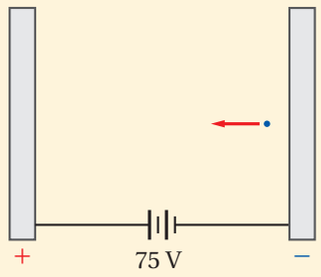
فإن هذا الطول الموجي أصغر كثيرًا من أن يكون له تأثيرات ملاحظة. لكن كما سترى في المثال التالي، فللجسيمات الصغيرة جدًّا – كالإلكترون مثلاً – طول موجي يمكن ملاحظته وقياسه.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مثـــــال 3

طول موجة دي برولي إذا تسارع إلكترون خلال فرق جهد 75 V، فما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة له؟

1 تحليل المسألة ورسمها



• ضمّن رسمك اللوحين الموجب والسالب.

المعلوم	المجهول
$V = 75\ V \quad m = 9.11\times10^{-31}\ kg$	$\lambda = ?$
$h = 6.63\times10^{-34}\ J.s$	
$q = -1.6\times10^{-19}\ C$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

اكتب علاقتين لطاقة حركة الإلكترون؛ الأولى بدلالة فرق الجهد، والأخرى بدلالة الحركة، واستخدمهما لحساب سرعة الإلكترون

$KE = -qV$ ، $KE = \frac{1}{2}mv^2$

$\frac{1}{2}mv^2 = -qV$

ساوِ بين علاقتي الطاقة الحركية KE.

$v = \sqrt{\frac{-2qV}{m}}$

حل بالنسبة إلى المتغير v

$= \sqrt{\frac{-2(-1.60\times10^{-19}\ C)(75\ V)}{(9.11\times10^{-31}\ kg)}}$

بالتعويض $m = 9.11\times10^{-31}\ kg$

$q = -1.60\times10^{-19}\ C$ ، $V = 75\ V$

$= 5.1\times10^{6}\ m/s$

$p = mv$

حل بالنسبة إلى الزخم

$= (9.11\times10^{-31}\ kg)(5.1\times10^{6}\ m/s)$

بالتعويض $m = 9.11\times10^{-31}\ kg$

$v = 5.1\times106\ m/s$

$= 4.6\times10^{-24}\ kg.m/s$

$\lambda = \frac{h}{p}$

حل بالنسبة إلى طول موجة دي برولي

دليل الرياضيات

فصل المتغير.

$= \frac{6.63\times10^{-34}\ J.S}{4.6\times10^{-24}\ kg.m/s}$

بالتعويض $h = 6.63\times10^{-34}\ J.s$

$p = 4.6\times10^{-24}\ kg.\ m/s$

$= 1.4\times10^{-10}\ m = 0.14\ nm$

3 تقويم الجواب

• **هل الوحدات صحيحة؟** التحليل البعدي للوحدات يثبت أن وحدة m/s للسرعة v، ووحدة nm للطول الموجي λ.

• **هل للإشارات معنى؟** القيم الموجبة متوقعة لكل من v و λ.

• **هل الجواب منطقي؟** الطول الموجي قريب من 0.1 nm، والذي يقع في منطقة الطول الموجي لأشعة X في الطيف الكهرومغناطيسي.

مسائل تدريبية

19. تتدحرج كرة بولنج كتلتها 7.0 kg بسرعة 8.5 m/s، أجب عما يلي:

a. ما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للكرة؟ **b.** لماذا لا تُظهر كرة البولنج سلوكًا موجيًّا ملاحظًا؟

20. إذا تسارع إلكترون خلال فرق جهد 250 V، فاحسب مقدار سرعته وطول موجة دي برولي المصاحبة له.

21. ما مقدار فرق الجهد اللازم لمسارعة إلكترون بحيث يكون طول موجة دي برولي المصاحبة له 0.125 nm؟

22. طول موجة دي برولي للإلكترون في المثال 3 يساوي 0.14 nm. ما مقدار الطاقة الحركية بوحدة eV لبروتون ($m = 1.67\times10^{-27}\ kg$) إذا كان له الطول الموجي نفسه؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

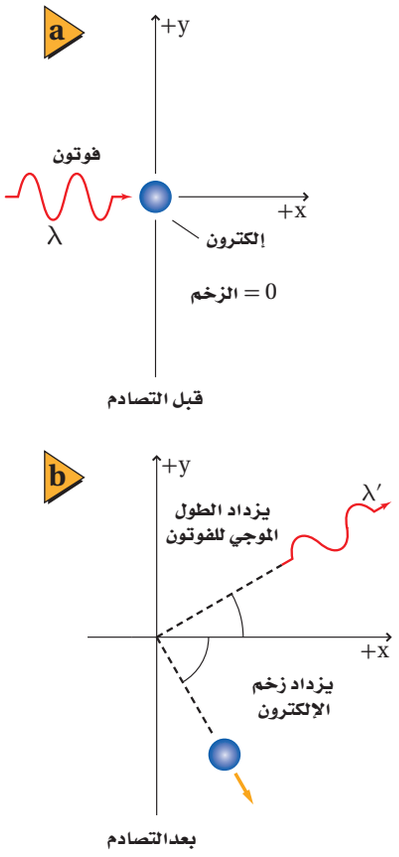
الجسيمات والموجات Particles and Waves

هل الضوء جسيم أم موجة؟ تشير الدلائل إلى أن كلًّا من النموذج الجسيمي والنموذج الموجي يلزمان لتفسير سلوك الضوء. وقد قادت نظرية الكم والطبيعة المزدوجة للإشعاع الكهرومغناطيسي إلى مبادئ علمية وتطبيقات رائعة، كما ستكتشف لاحقًا. والمجهر الأنبوبي الماسح (STM) من هذه التطبيقات، وسوف يتم مناقشته في جزء "كيف تعمل".

تحديد الموقع والزخم من المنطقي أن تفكر أنه حتى تحدد خصائص جسيم ما بدقة فسوف تكون بحاجة إلى أن تبتكر تجربة تقيس مباشرة الخصائص المطلوبة. فمثلاً لا تستطيع أن تقرر ببساطة أن جسيمًا في موقع ما يتحرك بسرعة محددة. وبدلاً من ذلك، يجب أن تجري تجربة لتحدد موقع الجسيم وتقيس سرعته.

كيف يمكنك تحديد موقع جسيم؟ لتصنع ذلك عليك أن تلمسه، أو أن تعكس ضوءًا عنه. إذا استُخدم ضوء فإنه يجب تجميع الضوء المنعكس عن الجسيم بجهاز أو بالعين المجردة. إلا أنه بسبب تأثيرات الحيود فإن الضوء المستخدم لتحديد موقع الجسيم ينتشر، مما يجعل من المستحيل تحديد موقعه بدقة. غير أن استخدام ضوء أو إشعاع ذي طول موجي أقصر يقلل من الحيود، مما يسمح بتحديد موقع الجسيم بدقة أكبر.

مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج نتيجة تأثير كومبتون فإنه عندما يصطدم إشعاع طوله الموجي قصير وطاقته عالية بجسيم فإن زخم الجسيم يتغير، كما في **الشكل 9–3**. وبناء على ذلك، يؤثر تحديد موقع الجسيم بدقة في تغير زخمه. وكلما زادت الدقة في تحديد موقع جسيم ازداد عدم التحديد في قياس زخمه. وبالطريقة نفسها إذا تم قياس زخم الجسيم بدقة فإن موقعه يتغير ويصبح أقل تحديدًا. لُخّصت هذه الحالة في **مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج**، والذي ينص على أنه من غير الممكن قياس زخم جسيم وتحديد موقعه بدقة في الوقت نفسه. إن هذا المبدأ – والذي سمّي باسم الفيزيائي الألماني فيرنر هيزنبرج – هو نتيجة للطبيعة المزدوجة للضوء والمادة. ويخبرنا مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج أن هناك حدًّا للدقة في قياس الموقع والزخم.



الشكل 9-3 يمكن أن يرى الجسيم فقط عندما يتشتت الضوء عنه. لذا فإن الإلكترون يبقى غير محدد (a). حتى يصطدم به فوتون (b). يُشتت التصادم كلًّا من الفوتون والإلكترون ويغير من زخميهما.

3–2 مراجعة

23. **الخصائص الموجية** صف التجربة التي أثبتت أن للجسيمات خصائص موجية.
24. **الطبيعة الموجية** فسّر لماذا لا تظهر الطبيعة الموجية للمادة؟
25. **طول موجة دي برولي** ما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون يتسارع خلال فرق جهد 125 V؟
26. **الأطوال الموجية للمادة والإشعاع** عندما يصطدم إلكترون بجسيم ثقيل فإن سرعة الإلكترون وطول موجته يتناقصان. بناء على ذلك، كيف يمكن زيادة الطول الموجي لفوتون؟
27. **مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج** عندما يمر ضوء أو حزمة ذرات خلال شق مزدوج فإنه يتكون نمط تداخل. وتحدث كلتا النتيجتين حتى عندما تمر الذرات أو الفوتونات خلال الشقين في الوقت نفسه. كيف يفسر مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج ذلك؟
28. **التفكير الناقد** ابتكر الفيزيائيون مؤخرًا محزوز حيود للموجات الضوئية الموقوفة (المستقرة). وتكوّن الذرات التي تمر خلال المحزوز نمط تداخل. إذا كانت المسافة الفاصلة بين الشقوق $\frac{1}{2}\lambda$ (250 nm تقريبًا) فما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للذرات تقريبًا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مختبر الفيزياء

نمذجة التأثير الكهروضوئي

تعــرف عملية انبعاث الإلكترونات من جســم عندما يســقط إشــعاع كهرومغناطيسي عليــه بالتأثير الكهروضوئي. وتتحرر الإلكترونات من الجســم فقط عندما يكون تردد الإشعاع أكبر من قيمة صغرى محددة، تســمى تردد العتبة. ســوف تنمذج في هذا الاســتقصاء التأثير الكهروضوئي باســتعمال كرات فولاذية. وسوف تختبر لماذا تحرر أنواعٌ محددة فقط من الإشعاع الكهرومغناطيسي إلكتروناتٍ ضوئيةً.

سؤال التجربة

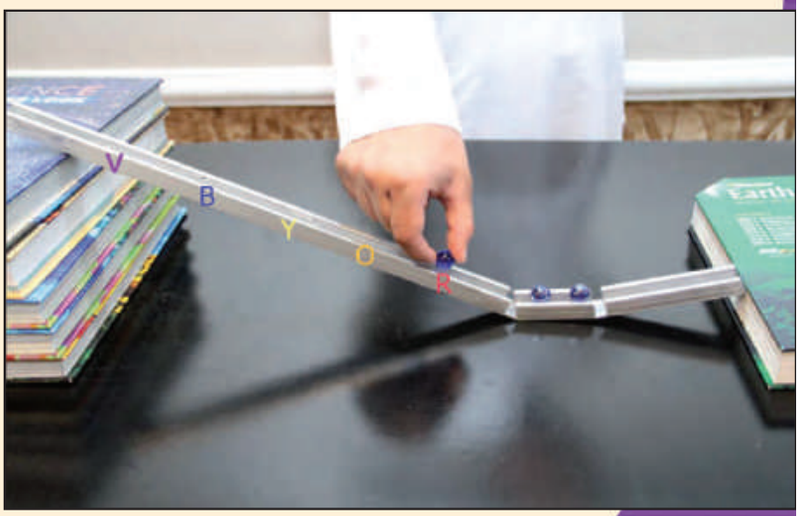
كيف يمكن استعمال كرات فولاذية لنمذجة التأثير الكهروضوئي؟

الأهــداف

- **تصمم نموذجًا** لاستقصاء التأثير الكهروضوئي.
- **تصف** كيف ترتبط طاقة الفوتون مع تردده.
- **تستخدم التفسيرات العلمية** لتفسير لماذا لا تستطيع الظواهر الجاهرية (الماكروسكوبية) تفســير السلوك الكمي للذرة.

احتياطات السلامة

- **احفظ الكحول الأيزوبروبيلي بعيدًا عن اللهب المشتعل.**
- **لا تبتلع الكحول الأيزوبروبيلي.**
- **يسبب الكحول الأيزوبروبيلي جفاف الجلد.**



المواد والأدوات

ثلاث كــرات فولاذيــة، مجرى أو مســار فيه أخــدود (قناة على شــكل حــرف U، أو داعم رف)، كتــب، أقلام تخطيط حمــراء، وبرتقالية، وصفراء، وخضراء، وزرقاء، وبنفســجية (أو لاصقات ملّونة)، مسطرة مترية، كحول أيزوبروبيلي.

الخطوات

1. شــكِّل المجــرى أو القناة كما هــو موضــح في الصورة، واســتعمل عدة كتب لدعمها، كما هــو موضح. تأكد أن الكتب لا تغلق نهايتي المجرى.
2. اكتب الحرف R باستعمال قلم التخطيط الأحمر على القناة على ارتفاع 4 cm فوق الطاولة كما هو موضح. تمثل R الأحمر.
3. اكتب الحرف V باســتعمال قلم التخطيط البنفســجي على القنــاة على ارتفاع 14 cm فــوق الطاولة كما هو موضح. الرمز V يمثل اللون البنفســجي. استعمل أقلام التخطيط الملوّنــة الأخرى لوضع علامات لــلأزرق B، وللأخضر G، وللأصفر Y، وللبرتقالي O على مســافات متساوية بين العلامتين R و V، كما هو موضح في الصورة
4. ضع كرتين فولاذيتين عند أخفــض نقطة على القناة. تمثل هاتان الكرتان إلكتروني التكافؤ للذرة.
5. أمسك كرة فولاذية، وضعها عند الموقع R على القناة. تمثل هذه الكرة الفوتون الساقط للضوء الأحمر. لاحظ أن طاقة فوتون الضــوء الأحمر أقل من طاقة ألوان الضوء الأخرى التي تم نمذجتها.
6. أفلت الكرة الفولاذيــة (الفوتون)؛ ولاحظ ما إذا كان لها طاقة كافية لتحرير إلكترون تكافؤ من الذرة؛ أي راقب ما إذا أفلتت أيًّا من الكرتين من القناة. سجّل مشاهداتك في جدول البيانات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

جدول البيانات	
لون أو طاقة الفوتون	الملاحظات
أحمر	
برتقالي	
أصفر	
أخضر	
أزرق	
بنفسجي	
أقل من الأحمر	
أكبر من البنفسجي	

7. أزل الكرة الفولاذية التي تمثل الفوتون الساقط من الجزء السفلي من القناة. وأعد الكرتين الفولاذيتين اللتين استعملتهما لتمثيل إلكترونات التكافؤ إلى مكانيهما (أخفض نقطة على القناة).
8. كرّر الخطوات 7–5 لكل لون من الألوان التي حددتها على القناة. تأكد دائمًا عندما تكرر الخطوات أن تكون الكرتان الفولاذيتان عند أخفض نقطة على القناة. لاحظ أن طاقة فوتون الضوء البنفسجي أكبر من طاقة ألوان الضوء الأخرى التي تم نمذجتها. سجّل مشاهداتك في جدول البيانات.
9. كرّر الخطوات 7–5، ولكن أفلت الكرة الفولاذية التي تمثل الفوتون الساقط من نقطة أخفض قليلاً من الموقع R. سجّل مشاهداتك في جدول البيانات.
10. كرّر الخطوات 7–5، ولكن أفلت الكرة الفولاذية التي تمثل الفوتون الساقط من نقطة أعلى قليلاً من الموقع V. سجّل مشاهداتك في جدول البيانات.
11. أجب عن السؤال 1 في بند الاستنتاج والتطبيق، ثم اختبر توقعك.
12. عندما تنتهي من تنفيذ التجربة أعد جميع المواد إلى الأماكن التي حددها لك معلمك. أزل الحروف التي كتبتها على القناة باستعمال الكحول الأيزوبروبيلي (أو أزل اللاصقات الملونة التي وضعتها على القناة).

التحليل

1. **فسّر البيانات** أي ألوان فوتونات الضوء حرّرت إلكترونًا واحدًا على الأقل في نموذجك؟
2. **فسّر البيانات** هل لأيّ من الفوتونات طاقة كافية لتحرير أكثر من إلكترون واحد؟
إذا كان كذلك فحدّد لون الفوتون.
3. **استخدم النماذج** في الخطوة 9، ما نوع الفوتون الذي تمثله الكرة الفولاذية؟
4. **استخدم النماذج** في الخطوة 10، ما نوع الفوتون الذي تمثله الكرة الفولاذية؟
5. **فسّر** هل فوتونات الضوء المرئي فقط هي التي تؤخذ بعين الاعتبار عند دراسة التأثير الكهروضوئي؟ لماذا؟
6. **لخّص** نص مشاهداتك بدلالة طاقة الفوتونات.

الاستنتاج والتطبيق

1. **استنتج** ماذا يحدث إذا اصطدم فوتونًا ضوء أحمر بإلكترونَيْ تكافؤ في اللحظة نفسها؟ اختبر توقعك.
2. **التفكير الناقد** تكون قوة ارتباط إلكترونات التكافؤ في ذرات بعض المواد أكبر من قوة ارتباطها في ذرات مواد أخرى. كيف يمكنك أن تُعدّل النموذج لبيان ذلك؟
3. **استخلص النتائج** في هذا النموذج، ماذا يحدث لطاقة الفوتون عندما يصطدم بإلكترون ولا يستطيع تحريره من الذرة؟

التوسع في البحث

استخدم الصيغة $E = hf$، حيث تمثل h ثابت بلانك، و f تردد الإشعاع الكهرومغناطيسي، لحساب طاقة فوتون الضوء الأحمر، وقارنها بطاقة فوتون الضوء الأزرق.

الفيزياء في الحياة

يستخدم مصورو الفوتوجرافيا عادةً إضاءة حمراء في غرفهم المظلمة، فلماذا لا يستخدمون الضوء الأزرق؟

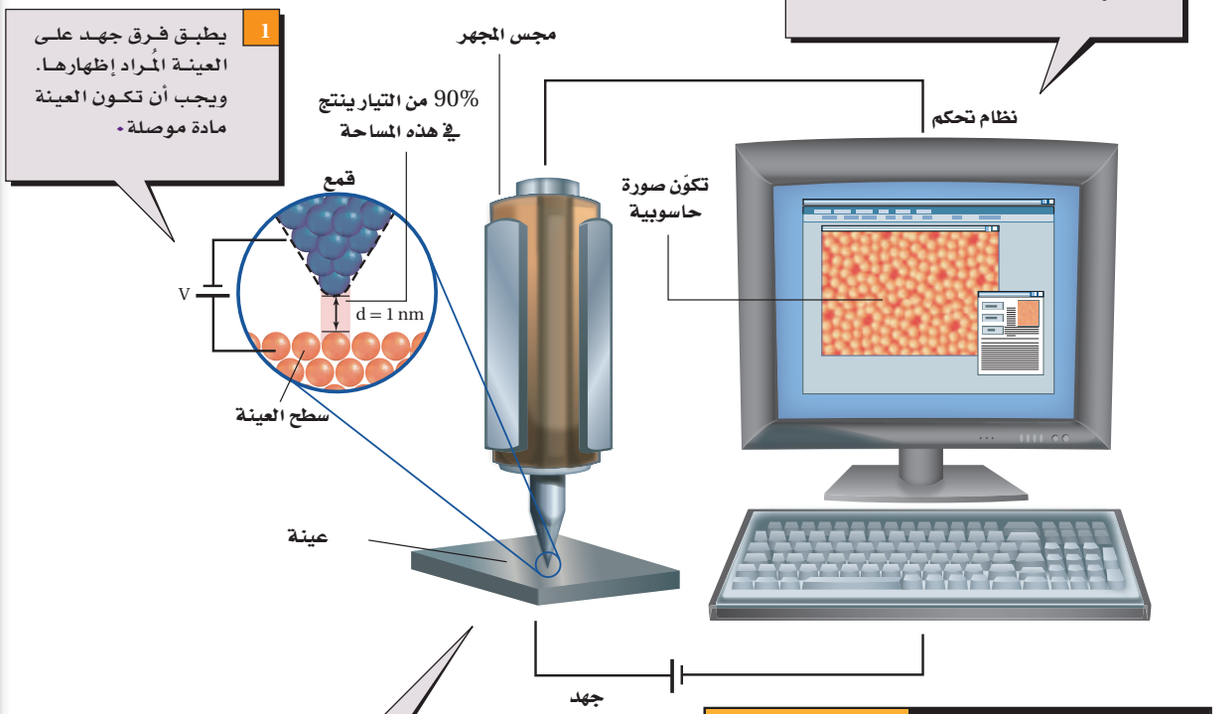
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

كيف يعمل

المجهر الأنبوبي الماسح؟

Scanning Tunneling Microscope?

اخـترع العالمان جيرد بينج وهنرش روهريـر عام 1981م المجهر الأنبوبي الماسـح (STM)، وحصلا بعد خمس سنوات على جائزة نوبل في الفيزياء. والمجهر الأنبوبي الماسح قادر على تصوير سطوح المواد بقوة تمييز تصل إلى المسـتوى الذري. وقد مكّن هذا العلماء من تكوين صور للذرات، كصورة ذرات السليكون الظاهرة على الشاشة أدناه. كيف يعمل STM؟



التفكير الناقد

1. **كوّن فرضية** ما المسار الذي يسلكه التيار الكهربائي ليصل إلى الأرض إذا لم يكن المنزل مزودًا بمانعة صواعق في أثناء ضربة الصاعقة؟
2. **قوّم** هل يجب أن تكون المقاومة بين الأرض ونهاية سلك مانعة الصواعق المتصل بها كبيرة، أم صغيرة؟
3. **استنتج** ما المخاطر الناتجة عن التركيب غير الصحيح لنظام مانعة الصواعق؟

الفصل 3
دليل مراجعة الفصل

3–1 النموذج الجسيمي للموجات A Particle Model of Waves

المفردات

- طيف انبعاث
- مكمّاة
- التأثير الكهروضوئي (الانبعاث الكهروضوئي)
- تردد العتبة
- الفوتون
- دالة (اقتران) الشغل
- تأثير كومبتون

المفاهيم الرئيسة

- تبعث الأجسام التي تسخن لدرجة التوهج ضوءًا بسبب اهتزازات الجسيمات المشحونة الموجودة في ذراتها.
- يُغطي طيف الأجسام المتوهجة مدًى واسعًا من الأطوال الموجية. ويعتمد الطيف على درجة حرارة الأجسام المتوهجة.
- فسّر العالم بلانك طيف الجسم المتوهج مفترضًا أن للجسيمات مقادير محددة من الطاقة فقط، وهي تساوي مضاعفات ثابت بلانك.

$$E = nhf$$

- فسّر أينشتاين التأثير الكهروضوئي مفترضًا أن الضوء موجود على شكل حزم من الطاقة تسمى الفوتونات.

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(1240\ \text{eV.nm})}{\lambda}$$

- التأثير الكهروضوئي هو انبعاث إلكترونات من فلزات معينة عندما تتعرض لإشعاع كهرومغناطيسي.

$$KE = hf - hf_0$$

- تمكن العلماء من حساب قيمة ثابت بلانك h اعتمادًا على التأثير الكهروضوئي.
- تقاس دالة الشغل – والتي يكافئ طاقة ربط الإلكترون – باستخدام تردد العتبة في التأثير الكهروضوئي.
- يبيّن تأثير كومبتون أن للفوتون زخمًا كما توقع أينشتاين.

$$p = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

- تسير الفوتونات بسرعة الضوء. ورغم أنه ليس لها كتلة إلا أن لها طاقة وزخمًا.

3–2 موجات المادة Matter Waves

المفردات

- طول موجة دي برولي
- مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج

المفاهيم الرئيسة

- اقترح العالم دي برولي الطبيعة الموجية للجسيمات المادية، وتم التحقق منها عمليًّا عن طريق حيود الإلكترونات خلال البلورات. ولكل الجسيمات المتحركة طول موجي، يعرف بطول موجة دي برولي.

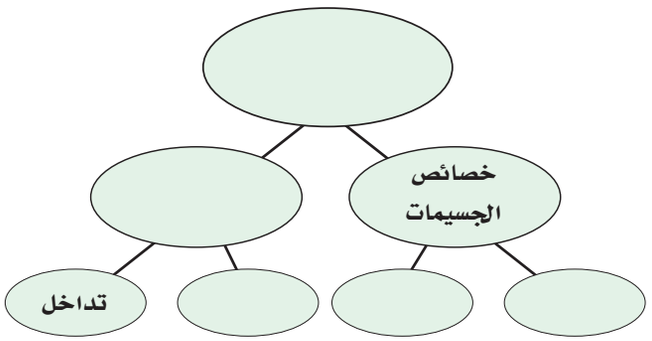
$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

- تتكامل الطبيعتان الجسيمية والموجية معًا لوصف الطبيعة الكاملة لكل من المادة والطاقة.
- ينص مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج على أنه من غير الممكن تحديد موقع وزخم أي جسيم ضوئي أو مادي بدقة في آن واحد.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

خريطة المفاهيم

29. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التاليــة: *الطبيعــة المزدوجة، الكتلــة، الخصائص الموجية، الزخم، الحيود.*



إتقان المفاهيم

30. **الضــوء المتوهــج** يضبــط مصبــاح كهربائي متوهج باســتخدام مفتاح تحكم. ماذا يحــدث للون الضوء الصادر عن المصباح عنــد إدارة مفتاح التحكم إلى أقل قراءة؟ (3–1)

31. وضّح مفهوم تكمية الطاقة. (3–1)

32. ما الذي تم تكميته في تفسير ماكس بلانك لإشعاع الأجسام المتوهجة؟ (3–1)

33. ماذا تسمى كمّات الضوء؟ (3–1)

34. سُــلِّط ضوء على مهبط خلية ضوئيــة، وكان تردد الضوء أكبر من تردد العتبة لفلز المهبط. كيف تفسر نظرية أينشــتاين للتأثير الكهروضوئي حقيقة زيادة تيار الإلكترونات الضوئية كلما زادت شدة الضوء؟ (3–1)

35. وضح كيف فسّرت نظرية أينشتاين حقيقة أن الضوء الذي تردده أقل من تردد العتبة لفلز لا يحرر إلكترونات ضوئية منه، بغض النظر عن شــدة الضوء؟ (3–1)

36. **الفيلــم الفوتوجرافي** لأن أنواعًــا معينة من أفلام الأبيض والأسود ليست حساســة للضوء الأحمر، فإنه يمكــن تحميضها في غرفة مظلمة مضاءة بضوء أحمر. فــسّر ذلك بناءً على نظريــة الفوتون للضوء. (3–1)

37. كيف أظهر تأثــير كومبتون أن للفوتونات زخمًا، كما أن لها طاقة؟ (3–2)

38. الزخم p لجســيم مادي يعطــى بالمعادلة $p = mv$. هل تستطيع حساب زخم فوتون مستخدمًا المعادلة نفسها؟ وضح إجابتك. (3–2)

39. وضــح كيف يمكــن قيــاس الخصائــص التالية للإلكترون؟ (3–2)

a. الشحنة

b. الكتلة

c. الطول الموجي

40. وضــح كيف يمكــن قيــاس الخصائــص التالية للفوتون؟ (3–2)

a. الطاقة

b. الزخم

c. الطول الموجي.

تطبيق المفاهيم

41. اســتخدم طيف الانبعاث لجسم متوهج عند ثلاث درجات حرارة مختلفة، كما في **الشكل 1–3** للإجابة عن الأسئلة الآتية:

a. عند أي تردد تكون شدة الانبعاث أكبر ما يكون لكل من درجات الحرارة الثلاث؟

b. ماذا تستنتج عن العلاقة بين التردد الذي تكون عنده شدة الإشعاع المنبعث أكبر ما يمكن وبين درجة حرارة الجسم المتوهج؟

c. بأي مُعامل تتغير شدة الضوء الأحمر المنبعث عندما تزداد درجة الحرارة من 4000 k إلى 8000 k؟

42. وضع قضيبان مــن الحديد في النار، فتوهج أحدهما باللون الأحمــر الداكن، بينما توهــج الآخر باللون البرتقالي الساطع. أي القضيبين:

a. أكثر سخونة؟

b. يشع طاقة أكبر؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 3

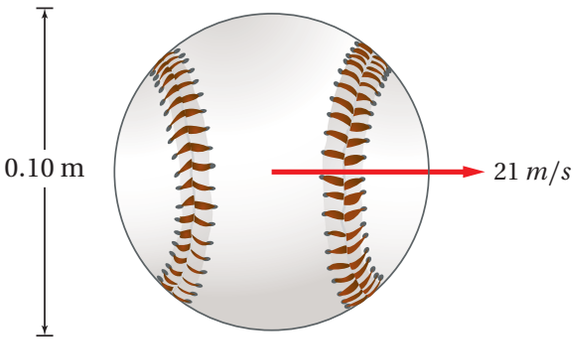
43. هل يحرر ضوء تردده كبير عددًا أكبر من الإلكترونات من سطح حساس للضوء مقارنة بضوء تردده أقل، إذا افترضنا أن كلا الترددين أكبر من تردد العتبة؟

44. تنبعث إلكترونات ضوئية من البوتاسيوم عندما يسقط عليه ضوء أزرق، في حين تنبعث إلكترونات ضوئية من التنجستن عندما يسقط عليه أشعة فوق بنفسجية. أي الفلزين:

a. له تردد عتبة أكبر؟

b. له دالة شغل أكبر؟

45. قارن طول موجة دي برولي المصاحبة لكرة البيسبول الموضحة في **الشكل 10–3** بقطر الكرة.



الشكل 10–3

إتقان حل المسائل

3–1 النموذج الجسيمي للموجات

46. اعتمادًا على نظرية بلانك، كيف يتغير تردد اهتزاز ذرة إذا بعثت طاقة مقدارها 5.44×10^{-19} J عندما تغيّرت طاقة مستوى الذرة بمقدار n=1 ؟

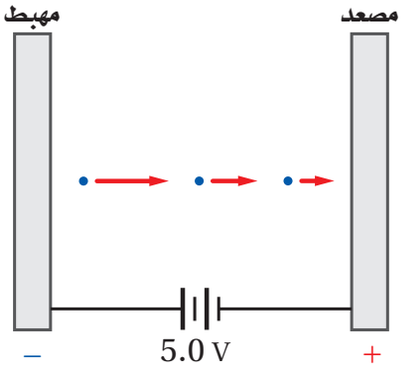
47. ما مقدار فرق الجهد اللازم لإيقاف إلكترونات طاقتها الحركية العظمى 4.8×10^{-19} J؟

48. ما زخم فوتون الضوء البنفسجي الذي طوله الموجي 4.0×10^{2} nm؟

49. جهد الإيقاف لإلكترونات فلز معين موضح في **الشكل 11–3**. ما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية بدلالة الوحدات التالية؟

a. الإلكترون فولت

b. الجول



الشكل 11–3

50. تردد العتبة لفلز معين 3.00×10^{14} Hz. ما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة إذا أضيء الفلز بضوء طوله الموجي 6.50×10^{2} nm؟

51. ما مقدار الشغل اللازم لتحرير إلكترون من سطح الصوديوم إذا كان تردد العتبة له 4.4×10^{14} Hz؟

52. إذا سقط ضوء تردده 1.00×10^{15} Hz على الصوديوم في المسألة السابقة، فما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية؟

53. **مقياس الضوء** يستعمل مقياس الضوء الفوتوجرافي خلية ضوئية لقياس الضوء الساقط على الجسم المراد تصويره. كم يجب أن تكون دالة الشغل لمادة المهبط حتى تكون الخلية الضوئية حساسة للضوء الأحمر (λ=680 nm)، كحساسيتها للألوان الأخرى للضوء؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 3

54. الطاقة الشمسية يُستهلك $4\times10^{11}\ J$ من الطاقة كل عام في الاستخدامات المنزلية في دولة ما. إذا كانت أشعة الشمس تسقط على بعض أجزاء هذه الدولة لمدة 3000 h كل عام، فأجب عما يلي:

a. ما مقدار الطاقة الشمسية التي تسقط على المتر المربع الواحد كل عام؟

b. إذا كان من الممكن تحويل هذه الطاقة الشمسية إلى طاقة مفيدة بكفاءة 20%، فما مقدار المساحة التي يجب استخدامها لإنتاج طاقة مساوية لتلك التي تستهلك في المنازل؟

3–2 موجات المادة

55. ما مقدار طول موجة بروليي المصاحبة لإلكترون يتحرك بسرعة $3.0\times10^{6}\ m/s$؟

56. ما مقدار السرعة التي يجب أن يتحرك بها إلكترون لتكون طول موجة دي بروليي المصاحبة له $3.0\times10^{-10}\ m$؟

57. يتسارع إلكترون في أنبوب أشعة مهبطية من السكون خلال فرق جهد $5.0\times10^{3}\ V$. ما مقدار:

a. سرعة الإلكترون؟

b. الطول الموجي المصاحب للإلكترون؟

58. احتُجز نيوترون طاقته الحركية 0.02 eV فقط.

a. ما سرعة النيوترون؟

b. أوجد طول موجة دي بروليي المصاحبة للنيوترون.

59. إذا كانت الطاقة الحركية لإلكترون ذرة الهيدروجين 13.65 eV فاحسب:

a. مقدار سرعة الإلكترون.

b. مقدار طول موجة دي بروليي المصاحبة للإلكترون.

c. محيط ذرة الهيدروجين ثم قارنه بطول موجة دي بروليي المصاحبة لإلكترون الذرة. علمًا بأن نصف قطر ذرة الهيدروجين 0.519 nm.

60. إذا كان طول موجة دي بروليي المصاحبة لإلكترون 0.18 nm:

a. فما مقدار فرق الجهد الذي تحرك خلاله إذا بدأ الحركة من السكون؟

b. إذا كان طول موجة دي بروليي المصاحبة لبروتون 0.18 nm فما مقدار فرق الجهد الذي تحرك خلاله إذا بدأ الحركة من السكون؟

مراجعة عامة

61. ما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة من فلز إذا كان جهد إيقافها 3.8 V؟

62. إذا كان تردد العتبة لفلز ما $8.0\times10^{14}\ Hz$، فما دالة الشغل له؟

63. إذا سقط ضوء تردده $1.6\times10^{15}\ Hz$ على الفلز في المسألة السابقة، فما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية؟

64. احسب طول موجة دي بروليي المصاحبة لديوترون (نواة نظير الهيدروجين ^{2}H) كتلته $3.3\times10^{-27}\ kg$ ويتحرك بسرعة $2.5\times10^{4}\ m/s$.

65. إذا كانت دالة الشغل للحديد 4.7 eV:

a. فما مقدار طول موجة العتبة له؟

b. وإذا أُسقط إشعاع طوله الموجي 150 nm على الحديد، فما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة بوحدة eV؟

66. إذا كانت دالة الشغل للباريوم 2.48 eV، فما أكبر طول موجي للضوء يستطيع تحرير إلكترونات منه؟

67. طول موجة دي بروليي المصاحبة لإلكترون 400.0 nm، وهي تساوي أقصر طول موجي للضوء المرئي. احسب مقدار:

a. سرعة الإلكترون.

b. طاقة الإلكترون بوحدة eV.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 3

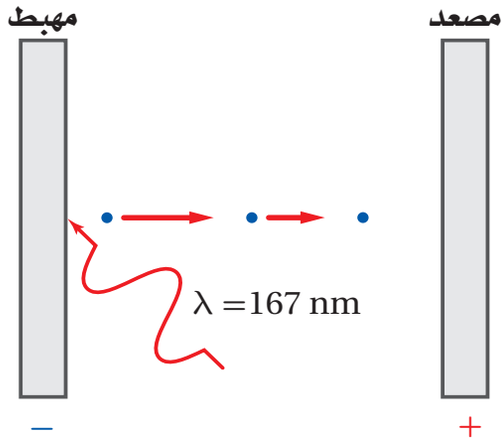
68. المجهر الإلكتروني يعدّ المجهر الإلكتروني مفيدًا لأنه يمكن جعل الأطوال الموجية لموجات دي برولي المصاحبة للإلكترونات أقصر من الطول الموجي للضوء المرئي. ما مقدار الطاقة (بوحدة eV) اللازم تزويدها لإلكترون حتى يكون طول موجة دي برولي المصاحبة له 20.0 nm؟

69. سقط إشعاع على قصدير، كما في **الشكل 12–3**. إذا كان تردد العتبة للقصدير 1.2×10^{15} Hz فما مقدار:

a. طول موجة العتبة للقصدير؟

b. دالة الشغل للقصدير؟

c. الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة بوحدة eV، إذا كان الطول الموجي للإشعاع الكهرومغناطيسي الساقط 167 nm؟



الشكل 12–3

التفكير الناقد

70. تطبيق المفاهيم يبعث مصدر ليزر هيليوم– نيون فوتونات طولها الموجي 632.8 nm.

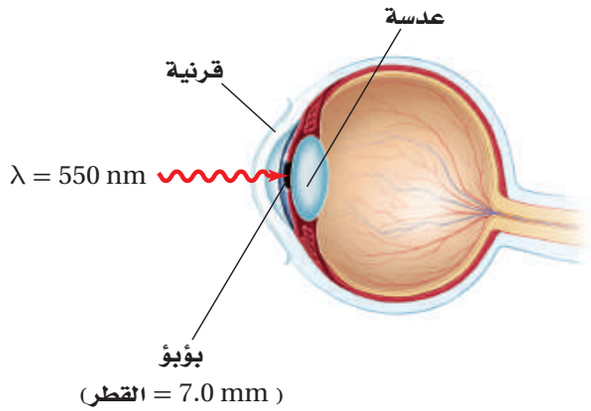
a. احسب مقدار الطاقة بوحدة الجول لكل فوتون يُبعث من الليزر.

b. إذا كانت قدرة مصدر ليزر صغير تقليدي 0.5 mW (تكافئ 5×10^{-4} J /s)، فما عدد الفوتونات المنبعثة من مصدر الليزر في كل ثانية؟

71. تطبيق المفاهيم يدخل الضوء المرئي الذي شدته 1.5×10^{-11} W /m^2 بصعوبة إلى عين إنسان، كما في **الشكل 13–3**.

a. إذا سلط هذا الضوء على عين الإنسان ومر خلال بؤبؤ عينه، فما مقدار القدرة التي تدخل عينه بوحدة الواط؟

b. استخدم الطول الموجي المُعطى للضوء المرئي والمعلومات المُعطاة في **الشكل 13–3** لكي تحسب عدد الفوتونات التي تدخل العين في كل ثانية.



الشكل 13–3

72. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها أكمل طالب تجربة التأثير الكهروضوئي، وسجّل جهد الإيقاف كدالة رياضية في الطول الموجي، كما في **الجدول 1–3**. وكان مهبط الخلية الضوئية مصنوعًا من الصوديوم. عيّن البيانات (جهد الإيقاف مقابل التردد) واستعمل الآلة الحاسبة لرسم أفضل خط مستقيم. استخدم الميل والمقطع وأوجد دالة الشغل، وطول موجة العتبة، ومقدار $\frac{h}{q}$ في هذه التجربة. قارن قيمة $\frac{h}{q}$ مع القيمة المقبولة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الجدول 1–3	
جهد الإيقاف مقابل الطول الموجي	
λ (nm)	V_0 (eV)
200	4.20
300	2.06
400	1.05
500	0.41
600	0.03

الكتابة في الفيزياء

73. في ضوء ما درسته عن مبدأ عدم التحديد.أبحث عن الحتمية وعدم التحديد في الفيزياء لهيزنبرج وأكتب بحثًا عن ذلك.

مراجعة تراكمية

74. يتحرك شعاع من الإلكترونات بسرعة $2.8\times10^{8}\ m/s$ في مجال كهربائي مقداره $1.4\times10^{4}\ N/C$ ما مقدار المجال المغناطيسي الذي يجب أن تتحرك خلاله الإلكترونات حتى تحافظ على حركتها فيه دون انحراف؟ (فيزياء 2–3)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. يتغير مستوى الطاقة لذرة عندما تمتص وتبعث طاقة. أي الخيارات الآتية لا يمكن أن يمثل مستوى طاقة لذرة؟

(A) $\frac{3}{4}hf$ (C) $3\,hf$

(B) hf (D) $4\,hf$

2. كيف يرتبط تردد العتبة مع التأثير الكهروضوئي؟

(A) أنه أقل تردد للإشعاع الساقط اللازم لتحرير الذرات من مصعد الخلية الضوئية.

(B) أنه أكبر تردد للإشعاع الساقط اللازم لتحرير الذرات من مصعد الخلية الضوئية.

(C) أنه تردد الإشعاع الساقط، والذي يحرر إلكترونات من الذرة عند ترددات أقل منه.

(D) أنه أقل تردد للإشعاع الساقط اللازم لتحرير إلكترونات من الذرة.

3. ما طاقة فوتون تردده $1.14\times10^{15}\ \text{Hz}$؟

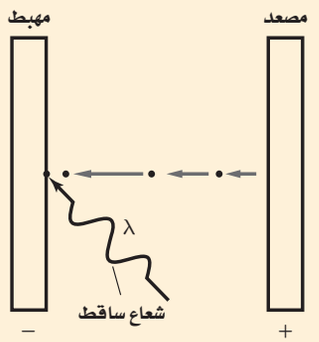
(A) $5.82\times10^{-49}\ \text{J}$ (C) $8.77\times10^{-16}\ \text{J}$

(B) $7.55\times10^{-19}\ \text{J}$ (D) $1.09\times10^{-12}\ \text{J}$

4. يسقط إشعاع طاقته 5.17 eV على خلية ضوئية، كما هو موضح في الشكل أدناه. إذا كانت دالة الشغل لمادة المهبط 2.31 eV فما مقدار طاقة الإلكترون المتحرر؟

(A) 0.00 eV (C) 2.86 eV

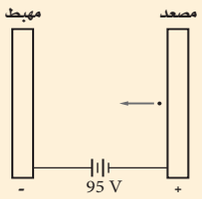
(B) 2.23 eV (D) 7.48 eV



5. يتسارع إلكترون خلال فرق جهد 95.0 V، كما هو موضح في الشكل أدناه. ما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للإلكترون؟

(A) $5.02\times10^{-22}\ \text{m}$ (C) $2.52\times10^{-10}\ \text{m}$

(B) $1.26\times10^{-10}\ \text{m}$ (D) $5.10\times10^{6}\ \text{m}$



6. ما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون يتحرك بسرعة 391 km /s (كتلة الإلكترون $9.11\times10^{-31}\text{kg}$)؟

(A) $3.5\times10^{-25}\ \text{m}$ (C) $4.8\times10^{-15}\ \text{m}$

(B) $4.79\times10^{-15}\ \text{m}$ (D) $1.86\times10^{-9}\ \text{m}$

7. دالة (اقتران) الشغل لفلز هي:

(A) هو مقياس مقدار الشغل الذي يستطيع أن يبذله إلكترون متحرر من الفلز.

(B) يساوي تردد العتبة.

(C) مقدار الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون الداخلي لذرة الفلز.

(D) مقدار الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون الأضعف ارتباطًا في الذرة.

الأسئلة الممتدة

8. تحرك جسم بسرعة 45 m /s، فكان طول موجة دي برولي المصاحبة له $2.3\times10^{-34}\ \text{m}$، ما كتلة الجسم بوحدة kg؟

إرشاد

ارتد ساعة

إذا كنت تخضع لاختبار ذي وقت محدد فنظّم وقتك. لا تقض وقتًا كبيرًا جدًّا في مسألة واحدة. اترك المسائل الصعبة، ثم عد إليها بعد أن تجيب عن المسائل السهلة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 4

الذرة
The Atom

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تعلُّم كيفية اكتشاف مكوّنات الذرة.
- تحدد طاقات ذرة الهيدروجين.
- تعلُّم كيف قادت نظرية الكم إلى النموذج الذري الحديث.
- تعلُّم كيف يعمل الليزر، وتطبيقاته.

الأهمية

يفسر النموذج الكمّيّ للذرة وانتقال الإلكترونات بين مستويات الطاقة كثيرًا من سلوك ومشاهدات المواد.

طيف الانبعاث هذه الأنابيب مملوءة بأنواع مختلفة من الغازات، وكل منها يبعث طيفًا واحدًا مميزًا من الألوان. وينبعث الضوء المتوهج عندما تنتقل إلكترونات الغاز إلى مستويات طاقة أدنى.

فكِّر ◄

لماذا تكون ألوان الإضاءات مختلفة؟ وكيف تستطيع تحديد نوع الغاز المستخدم في كل أنبوب؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

تحديد نوع قطعة نقدية فلزية تدور كنموذج لتعرّف نوع الذرات.

سؤال التجربة عندما تدور أي من القطع النقدية من فئات 5، أو10، أو25، أو50، أو100 هللة، على سطح الطاولة، فما الخصائص التي تمكنك من تعرّف نوع القطعة النقدية التي تدور؟

الخطوات

1. ضع قطعة نقدية فلزية من فئة ريال واحد رأسيًّا على سطح طاولة. ولتثبيتها المسها بطرف إصبعك ثم حرّك طرفها بسبابتك لتجعلها تدور بسرعة. ولاحظ مظهر القطعة الدوّارة وصوتها إلى أن تقترب من التوقف عن الدوران على سطح الطاولة.
2. كرر الخطوة 1 ثلاث مرات مستخدمًا قطعًا من فئات (25، 50) هللة على التوالي.
3. اطلب إلى زميلك تدوير القطع النقدية، قطعة واحدة في كل مرة بترتيب عشوائي. شاهد كل قطعة في أثناء دورانها فقط، ثم حاول تحديد نوع تلك القطعة.
4. كرر الخطوة 3، وحاول تحديد نوع كل من القطع النقدية الدوّارة على أن تكون عيناك مغمضتين.

التحليل

ما مدى نجاحك في تحديد نوع القطع النقدية من خلال الاستماع إلى الأصوات التي تصدرها هذه القطع؟ ما خصائص القطعة الدوّارة التي يمكن أن تستخدم لتحديد نوعها؟ ما الأدوات التي يمكن أن تجعل عملية تحديد نوع القطعة النقدية أكثر سهولة؟

التفكير الناقد تبعث الذرات المثارة لعنصر ما في أنبوب غاز التفريغ طاقة عن طريق انبعاث الضوء. كيف يمكن للضوء المنبعث أن يساعدك على تحديد نوع الذرة في أنبوب التفريغ؟ وما الأدوات التي يمكن أن تساعدك على ذلك؟

4–1 نموذج بور الذري The Bohr Model of the Atom

في نهاية القرن التاسع عشر اتفق معظم العلماء على وجود الذرات. وقد أعطى اكتشاف تومسون للإلكترون دليلا مقنعًا على أن الذرة تتكون من جسيمات دون ذرية. وقد وجد أن كل ذرة اختبرها تومسون تحتوي على إلكترونات سالبة الشحنة، وأن لهذه الإلكترونات كتلة صغيرة جدًّا. ولأن الذرات التي كانت معلومة لها كتلة أكبر من الكتلة التي تم حسابها بواسطة الإلكترونات التي تحويها، فقد بدأ العلماء بالبحث عن الكتلة المفقودة التي يجب أن تكون جزءًا من كتلة الذرة الكلية. ما طبيعة الكتلة التي سيتم اكتشافها لاحقًا بوصفها جزءًا من الذرة؟ وكيف تتوزع هذه الكتلة داخل الذرة؟

إضافة إلى ذلك، فمعلوم أن الذرة متعادلة كهربائيًّا، وحتى تلك الفترة تم تحديد إلكترونات سالبة الشحنة داخل الذرة، فكيف تتوزع الإلكترونات السالبة الشحنة في الذرة؟ وما مصدر تعادل الذرة؟ وهل هناك جسيمات موجبة الشحنة أيضًا في الذرة؟ كان فهم العلماء الكامل عن الذرة لا يزال بعيدًا قبل الإجابة عن تلك التساؤلات. من هنا بدأ العلماء في البحث عن إجابة على العديد من الأسئلة التي وضعتهم في تحدٍّ.

الأهداف

- **تصف** تركيب نواة الذرة.
- **تقارن** بين طيف الانبعاث المستمر وطيف الانبعاث الخطي.
- **تحل** مسائل باستخدام نصف قطر المستوى ومعادلات مستويات الطاقة.

المفردات

جسيمات ألفا	النواة
طيف الامتصاص	مستوى الطاقة
حالة الاستقرار	حالة الإثارة
عدد الكم الرئيس	

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

النموذج النووي The Nuclear Model

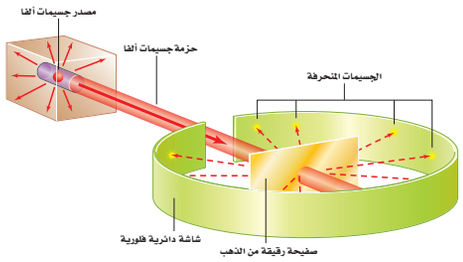
كثير من التساؤلات واجهت الباحثين حول طبيعة الذرة. ما الذي يسبب انبعاث ضوء من الذرات؟ كيف تتوزع الإلكترونات في الذرة؟ بحث فيزيائيون وكيميائيون من دول مختلفة عن حلول لهذه الألغاز (الأسئلة). لم تزودنا النتائج التي توصلوا إليها بالمعرفة عند تركيب الذرة فقط، ولكنها زودتنا بنهج جديد لفهم كل من الفيزياء والكيمياء. وأصبح تاريخ البحث في طبيعة الذرة من أكثر القصص إثارة في القرن العشرين.

اعتقد تومسون أن المادة الثقيلة الموجبة الشحنة تملأ الذرة. وقد صوّر الإلكترونات السالبة الشحنة على أنها تتوزع خلال هذه المادة الموجبة الشحنة، تمامًا مثل حبات الزبيب في الفطيرة المسطحة. وقد شارك العالم إرنست راذرفورد كلًّا من هانز جايجر وإرنست ماردسن في إجراء سلسلة من التجارب أظهرت نتائجها أن للذرة تركيبًا مختلفًا تمامًا.

أجريت تجربة راذرفورد باستخدام مركبات مشعة تصدر أشعة نافذة. وقد وجد أن بعض هذه الانبعاثات جسيمات موجبة الشحنة وثقيلة، وتتحرك بسرعات عالية. وسميت هذه الجسيمات فيما بعد **جسيمات ألفا**، ورُمز لها بالرمز α. ويمكن الكشف عن هذه الجسيمات في تجربة راذرفورد بواسطة ومضات ضوئية تنبعث عندما تصطدم الجسيمات مع شاشة مطلية بطبقة من كبريتات الزنك. كما يتضح من **الشكل 1–4**؛ فقد قذف راذرفورد حزمة من جسيمات ألفا على صفيحة رقيقة جدًّا من الذهب، وكان مهتما بنموذج تومسون للذرة، وتوقع حدوث انحرافات بسيطة جدًّا فقط لجسيمات ألفا عندما تعبر خلال صفيحة الذهب الرقيقة، واعتقد أن مسار جسيمات ألفا الثقيلة ذات السرعة العالية سوف يتغير بمقدار ضئيل عندما يعبر خلال الشحنة الموجبة الموزعة بانتظام والتي تكوّن كل ذرة الذهب.

وكانت نتائج التجربة مدهشة؛ فقد عبَر معظم جسيمات α خلال صفيحة الذهب دون انحراف أو مع انحراف قليل عن مسارها، إلا أن بعضها ارتدّ بزوايا كبيرة جدًّا (تزيد على 90°). والرسم التوضيحي لهذه النتائج موضح في **الشكل 2–4**. شبّه راذرفورد نتائج هذه التجربة المذهلة بإطلاق قذيفة ضخمة من مدفع 15 بوصة على منديل ورقي فارتدت القذيفة إلى الخلف واصطدمت به.

■ **الشكل 1–4** بعد قذف رقيقة الفلز بجسيمات ألفا، استنتج فريق راذرفورد أن معظم كتلة الذرة كانت متمركزة في النواة.



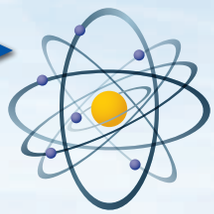
الشكل 3–4 تطور النظرية الذرية الحديثة.
إن فهمنا الحالي لخواص الذرات والجسيمات المكونة لها وسلوك هذه الذرات والجسيمات يقوم على عمل العلماء من مختلف أنحاء العالم خلال القرنين الماضيين.

1911م من خلال تجربة صفيحة الذهب تمكن رذرفورد من تحديد خواص النواة، وتشمل الشحنة، والحجم، والكثافة.

1918 تسلم العالم بلانك جائزة نوبل على نظريته في تكمية الطاقة التي شكلت أساسًا علميًّا لدراسة الذرة.

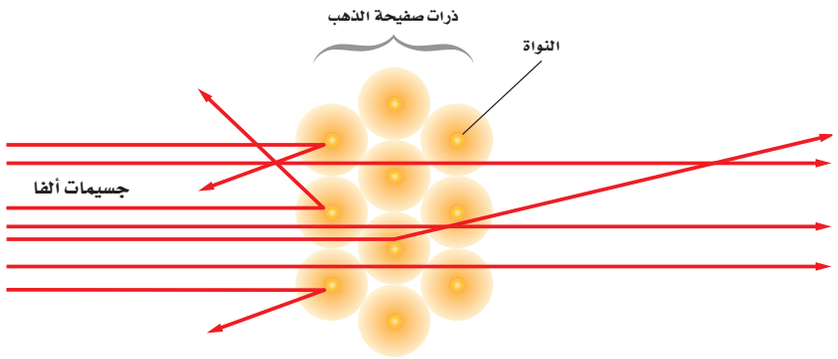
1860 — 1885 — 1910

1897م باستعمال أنبوب أشعة المهبط اكتشف تومسون نسبة الإلكترونات، وحدد نسبة كتلة الإلكترون إلى شحنته الكهربائية.



1913م نشر نيلزبوهر نظرية عن تركيب الذرة تربط التوزيع الإلكتروني للذرات بخواصها الكيميائية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

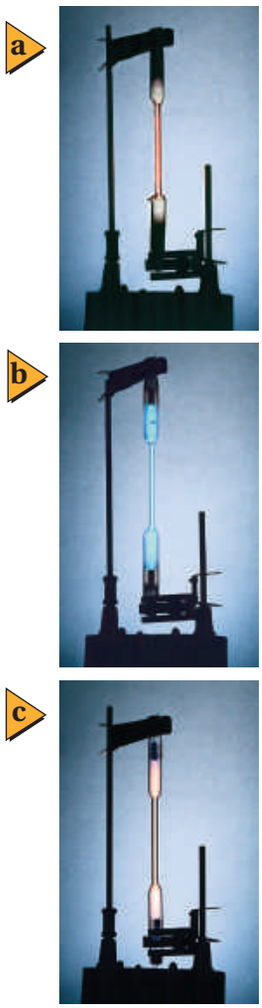


الشكل 2–4 معظم جسيمات ألفا الموجهة إلى صفيحة رقيقة من الذهب عبرت خلالها دون انحراف. وجسيم واحد من كل 1000 يرتد بزاوية كبيرة.

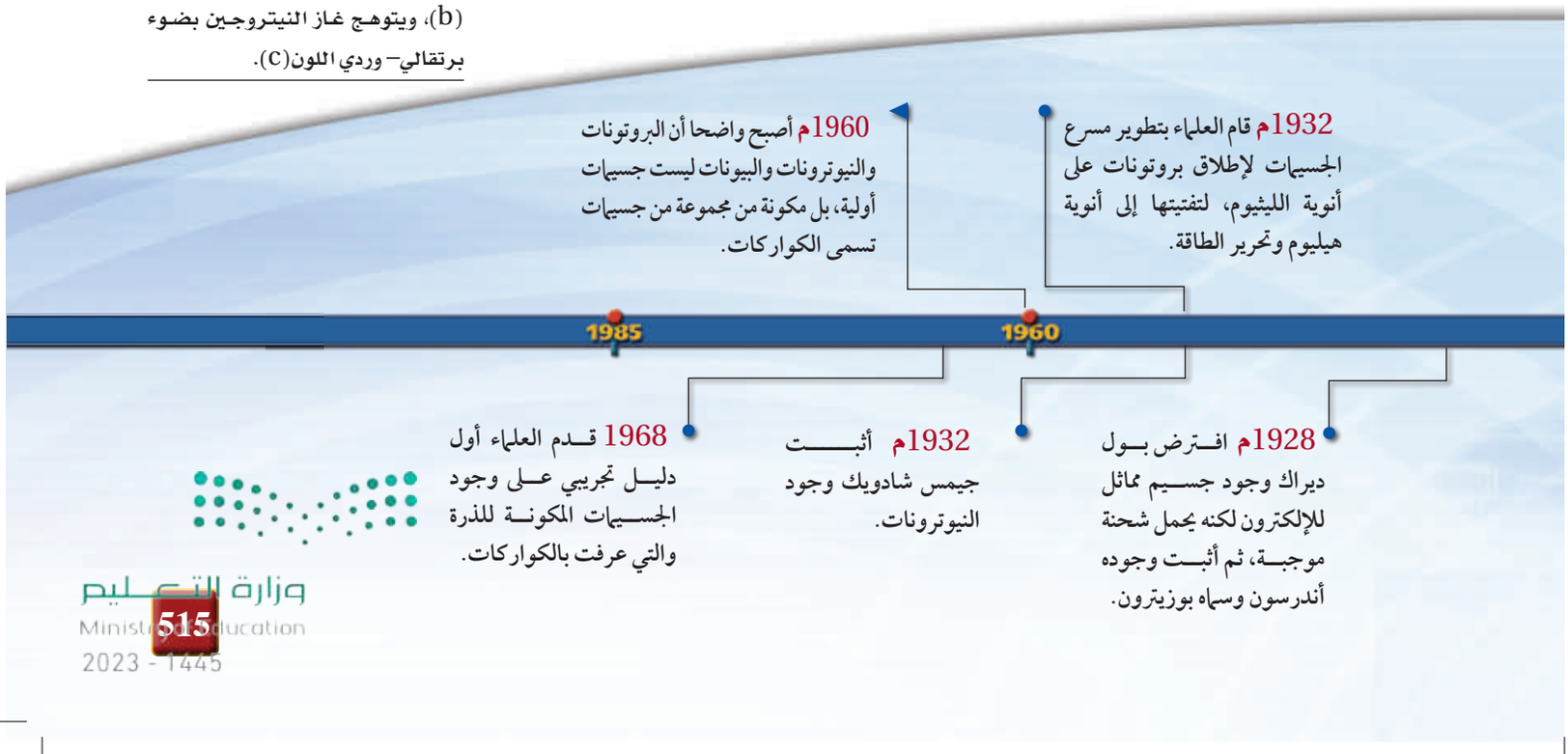
استنتج راذرفورد – مستخدمًا قانون القوة لكولوم وقوانين نيوتن في الحركة – أن النتائج يمكن تفسيرها فقط إذا كانت جميع شحنة الذرة متركزة في حيز صغير وثقيل، يسمى **النواة**. لذلك سمي نموذجه النموذجَ النووي. وقد حدّد مجموعة من العلماء أن الشحنة الموجبة للذرة وأكثر من 99.9% من كتلة الذرة موجودة في النواة. أما الإلكترونات التي لا تساهم بكمية كبيرة من كتلة الذرة فتكون موزعة خارجًا وبعيدًا عن النواة. لذلك فإن الفراغ الذي تشغله الإلكترونات يحدد الحجم الكلي أو قطر الذرة. ولأن قطر الذرة أكبر 10000 مرة تقريبًا من قطر النواة فإن معظم حجم الذرة يكون فراغًا. وتتابع بعد ذلك تطور النظرية الذرية الحديثة على يد العديد من العلماء، لاحظ **الشكل 3–4**.

طيف الانبعاث كيف تتوزع الإلكترونات حول نواة الذرة؟ تم التوصل إلى أحد مفاتيح الإجابة عن هذا السؤال من خلال دراسة الضوء المنبعث من الذرات. تذكَّر – من الفصل السابق – أن مجموعة الأطوال الموجية الكهرومغناطيسية التي تنبعث من الذرة تسمى طيف الانبعاث الذري.

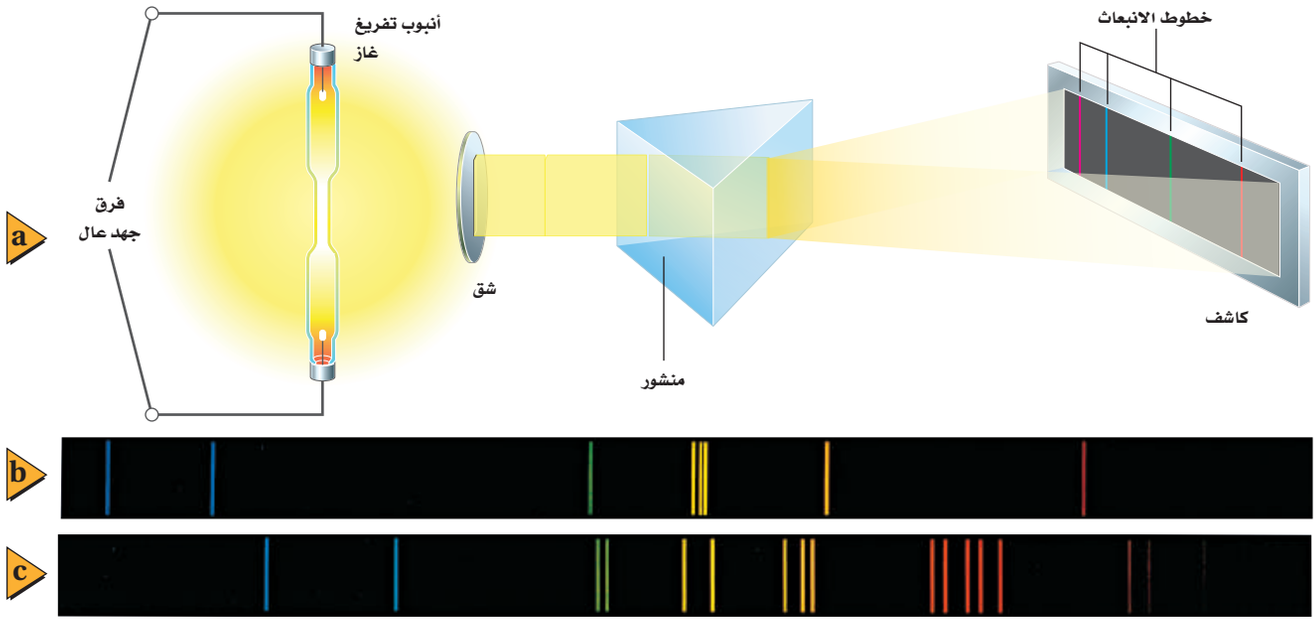
كما هو موضح في **الشكل 4–4**، يمكن استخدام ذرات عينة غاز لتبعث ضوءًا في أنبوب تفريغ الغاز. وأنت غالبًا معتاد على رؤية إشارات النيون الملوّنة التي تستخدم في بعض الأعمال؛ فهذه الإشارات تعمل على المبادئ نفسها التي تعمل عليها أنابيب تفريغ الغاز.



الشكل 4–4 عند تطبيق فرق جهد عال على عينة غاز يبعث الغاز ضوءًا ذا توهج خاص به؛ فيتوهج غاز الهيدروجين بضوء أحمر مزرق (a)، ويتوهج غاز الزئبق بضوء أزرق (b)، ويتوهج غاز النيتروجين بضوء برتقالي– وردي اللون(c).



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 5–4 يمكن استخدام منشور المطياف لمشاهدة طيف الانبعاث (a). طيفا الانبعاث: للزئبق (b)، وللباريوم (c) يظهران بخطوط مميزة.

حيث يحتــوي أنبوب تفريغ الغاز على غاز ذي ضغط منخفض محصور في أنبوب زجاجي له قطبان فلزيان مثبتان عند طرفيه. ويتوهج الغاز عند تطبيق فرق جهد عالٍ عبر الأنبوب. أمــا الأمر الذي أثار اهتمام العلماء كثيرًا فتلــك الحقيقة التي تبين أن كل غاز يتوهج بضوء مختلف خاص به. ويوضح **الشكل 4–4** التوهج المميِّز المنبعث عن بعض الغازات.

نحصل على طيف الانبعاث للذرة عندما يمر الضوء المنبعث من الغاز خلال منشور أو محزوز حيود. ويمكن دراسة طيف الانبعاث بتفصيل أكبر باستخدام جهاز يسمى المطياف. وكما هو موضح في **الشكل 5a–4**، فإن الضوء في منشور المطياف يعبر خلال الشق، ثم يتشتت عندما يعبر خلال المنشور، ثم تعمل عدسة النظام – غير الموضحة في الرسم – على تجميع الضوء المتشتت لكي نتمكن من مشاهدته أو تسجيله على شاشة فوتوجرافية، أو على كاشف إلكتروني، فيكوّن المطياف صورة الشق عند مواقع مختلفة لكل طول موجي.

إن الطيف المنبعث عن جســم ســاخن، أو عن مادة صلبة متوهجة، مثــل فتيلة المصباح الكهربائي؛ هو حزمة متصلة من ألوان الطيف من الأحمر إلى البنفسجي. لكن طيف الغاز يكون سلســلة من الخطوط المنفصلة ذات ألوان مختلفة. وخطوط طيفي الانبعاث لغازي الزئبق والباريوم موضحان في **الشــكل 5b–4** و**الشــكل 5c–4** على التوالي. وكل خط ملوّن يرتبط مع الطول الموجي المحدد للضوء المنبعث من ذرات ذلك الغاز.

تجربة عملية

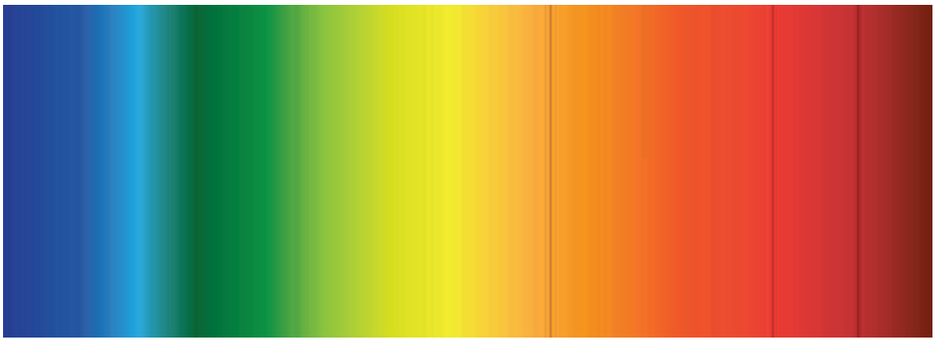
مـاذا يمكن أن تتعلـم من طيف الانبعاث؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصه عين الاثرائية

يعدّ طيف الانبعاث أيضًا وســيلة تحليلية مفيدة، فيمكن استخدامه لتحديد نوع عينة غاز مجهولة؛ حيث يوضع الغاز المجهول في أنبوب تفريغ الغاز ليبعث ضوءًا. والضوء المنبعث يحتوي على أطوال موجية مميّزة لذرات ذلك الغاز. لذا يمكن تحديد الغاز المجهول بمقارنة أطواله الموجية بالأطوال الموجية الموجودة في أطياف العينات المعلومة.

ويمكن كذلك اســتخدام طيف الانبعاث لتحليل خليط من الغازات. فعندما يتم تصوير طيف الانبعاث لخليط من العناصر فإن تحليل الخطوط في الصورة يمكن أن يشــير إلى نوع العناصر الموجودة والتراكيز النسبية لها. وإذا كانت العينة قيد الاختبار تحتوي على كمية أكبر من عنصر معين فإن خطوط ذلك العنصر تكون أكثر كثافة في الصورة من العناصر الأخرى. ومن خــلال إجراء المقارنة بين كثافــات الخطوط يمكن تحديد التركيب النسبي للمادة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



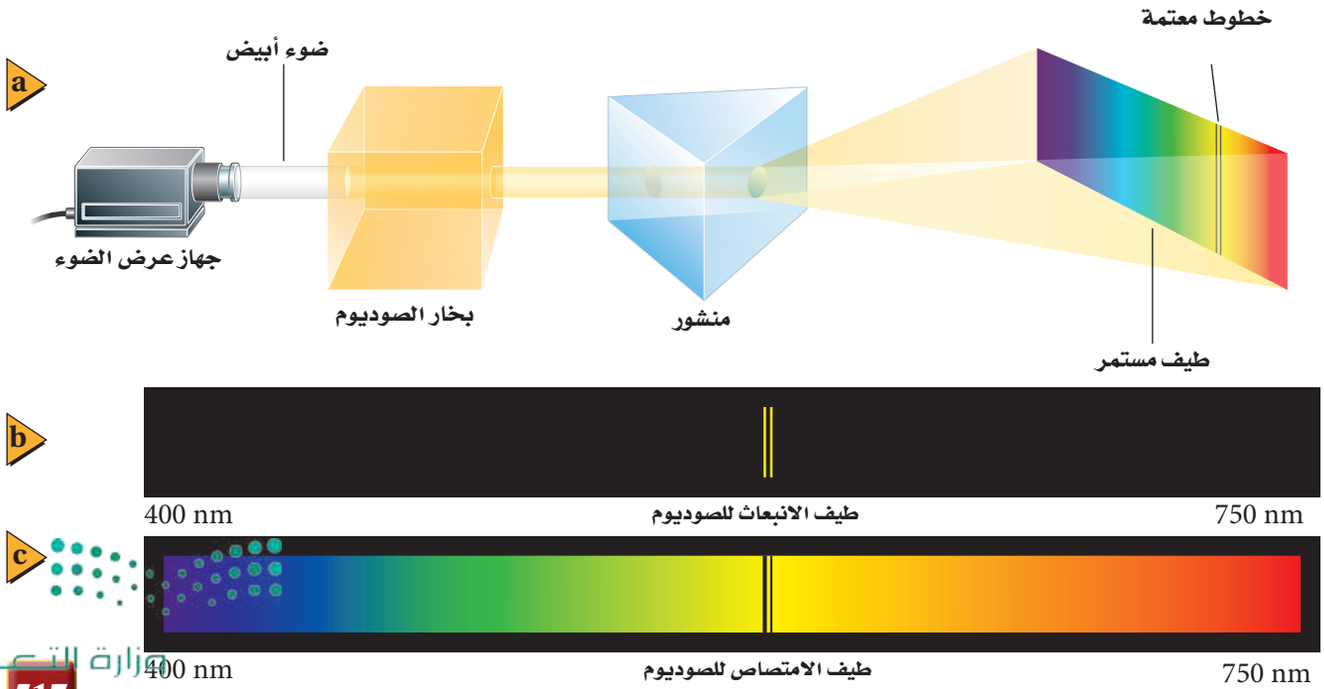
الشكل 6–4 تظهر خطوط فرنهوفر في طيف الامتصاص للشمس. توجد خطوط كثيرة، إلا أن بعض هذه الخطوط خافت وبعضها قاتم جدًّا؛ اعتمادًا على تراكيز العناصر في الشمس.

طيف الامتصاص في عام 1814م لاحظ جوزيف فون فرنهوفر وجود بعض الخطوط المعتمة تتخلل طيف ضوء الشمس. تُعرَف هذه الخطوط المعتمة الآن بخطوط فرنهوفر، وهي موضحة في **الشكل 6–4**. وقد علل ذلك بأن ضوء الشمس يعبر خلال الغلاف الغازي المحيط بالشمس، وتمتص هذه الغازات أطوالاً موجية مميِّزة محددة، وامتصاص هذه الأطوال الموجية يُنتج هذه الخطوط المعتمة في الطيف المرئي. ومجموعة الأطوال الموجية الممتصة بواسطة الغاز تسمى **طيف الامتصاص** للغاز. وقد أمكن تحديد مكونات الغلاف الشمسي بمقارنة الخطوط المفقودة في الطيف المرئي مع طيف الانبعاث المعلوم للعناصر المختلفة، وتم كذلك تحديد مكونات العديد من النجوم باستخدام هذه التقنية.

الربط مع الفلك

تستطيع مشاهدة طيف الامتصاص بتمرير ضوء أبيض خلال عينة غاز ومطياف، كما هو موضح في **الشكل 7a–4**. ولأن الغاز يمتص أطوالاً موجية محددة فإن الطيف المستمر المرئي للضوء الأبيض سيحتوي على خطوط معتمة محددة بعد مروره في غاز ما. وتحدث الخطوط المضيئة لطيف الانبعاث والخطوط المعتمة لطيف الامتصاص لأي غاز غالبًا عند الأطوال الموجية نفسها، كما هو موضح في **الشكل 7b–4** و**الشكل 7c–4**، على التوالي، لذلك فإن العناصر الغازية الباردة تمتص الأطوال الموجية نفسها التي تبعثها عندما تثار. وكما يمكن أن تتوقع، فإنه يمكن تحديد مكونات غاز ما من الأطوال الموجية للخطوط المعتمة في طيف الامتصاص لهذا الغاز.

الشكل 7–4 يستخدم هذا الجهاز لإنتاج طيف الامتصاص لغاز الصوديوم (a). يتكون طيف الانبعاث للصوديوم من العديد من الخطوط المميزة (b)، بينما يكون طيف الامتصاص للصوديوم مستمرًا تقريبًا (c).



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

التحليل الطيفي يعدّ كل من طيفي الانبعاث والامتصاص وسيلة علمية مفيدة؛ فنتيجة للأطياف المميِّزة للعنصر استطاع العلماء تحليل وتحديد وحساب كمية المواد المجهولة عن طريق ملاحظة الأطياف التي تبعثها أو تمتصها. ولأطياف الانبعاث والامتصاص أهمية بالغة في الصناعة كما في البحوث العلمية. تقوم مصانع الحديد مثلًا بإعادة معالجة كميات كبيرة من حديد الخردة الذي يحتوي على تراكيب مختلفة، فيتم التحديد الدقيق لهذه التراكيب في دقائق بالتحليل الطيفي. كما يمكن تعديل تركيب الحديد ليتناسب مع المواصفات التجارية؛ وتقوم محطات معالجة الفلزات – ومنها الألومنيوم والزنك ومعادن أخرى – بتطبيق الطريقة نفسها.

إن دراسة الأطياف تعدّ فرعًا من العلم المعروف باسم التحليل الطيفي. ويعمل الباحثون في هذا العلم في مؤسسات الأبحاث والمؤسسات الصناعية. وقد تم إثبات أن علم التحليل الطيفي أداة فعّالة لتحليل الفلزات الموجودة على الأرض، وهو الأداة المتوافرة الوحيدة حاليًّا لدراسة مكونات النجوم على مدى الفضاء المتسع.

نموذج بور للذرة The Bohr Model of the Atom

في القرن التاسع عشر، حاول بعض العلماء استخدام الأطياف الذرية لتحديد مكونات الذرة. وتمت دراسة الهيدروجين بدقة؛ لأنه العنصر الأخف، وله أبسط طيف؛ حيث يتكون الطيف المرئي للهيدروجين من أربعة خطوط: الأحمر، والأخضر، والأزرق، والبنفسجي، كما هو موضح في **الشكل 8–4**. وأي نظرية علمية تفسر مكونات الذرة يجب أن تأخذ في الحسبان هذه الأطوال الموجية وتدعم النموذج النووي. ومع ذلك فإن النموذج النووي الذي اقترحه راذرفورد لم يخل من السلبيات؛ حيث افترض أن الإلكترونات تدور حول النواة تمامًا، كما تدور الكواكب حول الشمس. فكانت هناك ثغرة خطيرة في النموذج النووي (نموذج الكواكب).

سلبيات النموذج النووي (نموذج الكواكب) يتسارع الإلكترون في مستواه مع استمرار دورانه حول النواة. وكما درست سابقًا فإن الإلكترونات المتسارعة تشع طاقة عن طريق انبعاث موجات كهرومغناطيسية. وسرعة معدل فَقْد الإلكترون الدائر حول النواة لطاقته يجعل مساره لولبيًّا حتى يسقط في النواة خلال 10^{-9} s. لذلك فإن نموذج الكواكب لا يتفق مع قوانين الكهرومغناطيسية. إضافة إلى ذلك يتوقع نموذج الكواكب أن الإلكترونات المتسارعة سوف تشع طاقتها عند كل الأطوال الموجية، لكن كما درست، فإن الضوء المنبعث من الذرات يُشَع عند أطوال موجية محددة فقط.

انتقل الفيزيائي الدنماركي نيلز بور إلى بريطانيا عام 1911م، وانضم إلى مجموعة راذرفورد ليعمل في تحديد تركيب الذرة. وحاول توحيد النموذج النووي مع مستويات الطاقة المكماة لبلانك ونظرية أينشتاين في الضوء. فكانت هذه فكرة جريئة؛ لأنه منذ عام 1911م لم تكن أي من هذه الأفكار الجريئة مفهومة على نطاق واسع، أو مقبولة.

الشكل 8–4 هناك أربعة خطوط في طيف الانبعاث لذرة الهيدروجين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

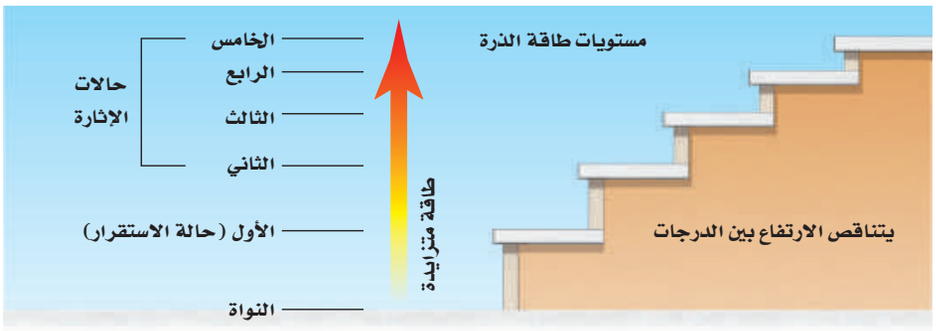
تكمية الطاقة Quantized Energy

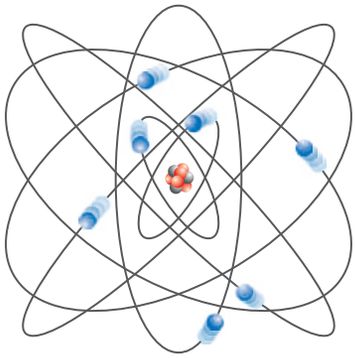
بــدأ بور بالترتيب الكواكبــي للإلكترونات، كما هو موضح في **الشــكل 9–4**. لكنه قدّم نظرية جريئة تنص على أن قوانين الكهرومغناطيســية لا تطبق على داخل الذرة. فافترض أن الإلكترونات في المدار المســتقر لا تشع طاقة رغم أنها تتسارع، واعتبر أن هذا هو شرط اســتقرار الذرة. وذهب إلى افتراض أن حالة الاستقرار للذرات تكون فقط عندما تكون كميات الطاقة فيها محددة؛ أي أنه اعتبر أن مستويات الطاقة في الذرة مكماة.

وكما هو موضح في **الشكل 10–4** فإن تكمية الطاقة في الذرات يمكن تشبيهها بدرجات سلّم؛ بحيث يتناقص البعد بين كل درجتين كلما صعدنــا إلى أعلى. وحتى تصعد إلى درجات أعلى للسلم يجب أن تنتقل من الدرجة الأدنى إلى الدرجة الأعلى، ومن المستحيل الوقوف عند نقطة تقع بين درجتين. والذرات لها كميات مكماة من الطاقة كل منها يسمى **مستوى طاقة**، فكما أنــه لا يمكنك أن تشــغل مكانًا بين درجتي ســلم فإن طاقة الذرة لا يمكن أن يكون لها قيمة بين طاقتي مستويين من مستويات الطاقة المسموح بها. وعندما تكون طاقة الذرة عند أقل مقدار مســموح به يقال إنها في **حالة استقرار**. وعندما تمتص الذرة كمية محددة من الطاقة فإنها تنتقل إلى مســتوى طاقة أعلى، أي مســتوى طاقة أعلى من مستوى الاستقرار. وهذه الحالة تسمى **حالة الإثارة**.

طاقة الذرة ما الذي يحدد طاقة الذرة؟ طاقة الذرة تساوي مجموع طاقة حركة الإلكترونات وطاقــة الوضع الناتجة عن قوة التجاذب بين الإلكترونــات والنواة. وطاقة الإلكترون في المستويات القريبة من النواة أقل من طاقة الإلكترون في المستويات البعيدة عنها؛ لأنه يجب أن يبذل شــغل لنقل الإلكترونات بعيدًا عن النواة. وهكــذا تكون الذرات في حالة إثارة عندما تكون إلكتروناتها عند مستويات طاقة أعلى؛ أي في مستويات أبعد عن النواة. ولأن الطاقة مكماة وترتبط برقم المســتوى فإن طاقة المســتوى مكماة أيضًا. يعرف نموذج الذرة الذي تم وصفه آنفًا، والذي يبين وجود نواة مركزية وإلكترونات لها مستويات طاقة مكماة تدور حولها بنموذج بور للذرة.

إذا كان بور مصيبًا في افتراضه أن الذرات المســتقرة لا تبعث طاقة، فمن المسؤول إذن عن طيف الانبعاث المميِّز للذرة؟ للإجابة عن هذا السؤال، اقترح بور أن طاقة كهرومغناطيسية تنبعث عندما تتغير حالة الذرة من حالة اســتقرار إلى حالة اســتقرار أخرى. ومن نظرية التأثير الكهروضوئي لأينشتاين أدرك بور أن طاقة كل فوتون تعطى بالمعادلة $E_{\text{فوتون}} = hf$، ثم افتَرَض أنه عندما تمتص الذرة فوتونًا فإنها تصبح مثارة، وتزداد طاقتها بمقدار يساوي طاقة ذلك الفوتون، ثم تنتقل هذه الذرة المثارة إلى مستوى طاقة أقل عندما تشع فوتونًا.





الشكل 9–4 نموذج الكواكب لبور في الذرة اعتمد على فرضية أن الإلكترونات تدور في مدارات ثابتة حول النواة.

King Faisal PRIZE

مُنح البروفيسور بول كوركم جائزة الملك فيصل/ فرع العلوم لعام 1434هـ /2013 م وذلك لامتياز بحوثة المستقلة والرائدة، والتي جعلت من الممكن الحصول على تصوير حركة الإلكترونات في داخل الذَّرات والجزُيئات في فترت زمنية متناهية في الصغر في حدود الأتوثانية.

المصدر: موقع جائزة الملك فيصل/ فرع العلوم

الشكل 10–4 هذه الدرجات التي يتناقص البعد بينها تماثل مستويات الطاقة المتاحة في الذرة. لاحظ كيف أن فرق الطاقة بين مستويات الطاقة المتجاورة يتناقص كلما زاد بعد مستوى الطاقة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

عندما يحدث انتقال في الذرة من مستوى طاقة ابتدائي E_i، إلى مستوى طاقة نهائي E_f فإن التغير في طاقة الذرة ΔE يعطى بالمعادلة:

$$\Delta E_{\text{ذرة}} = E_f - E_i$$

وكما هو موضح في **الشكل 11–4**، فالتغير في طاقة الذرة يساوي طاقة الفوتون المنبعث.

$$E_{\text{فوتون}} = \Delta E_{\text{ذرة}}$$

أو

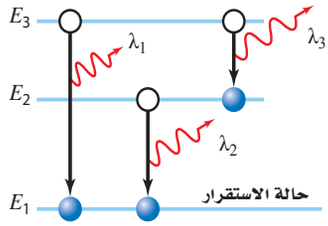
$$E_{\text{فوتون}} = E_f - E_i$$

تلخّص المعادلة أدناه العلاقة بين التغير في حالات الطاقة للذرة وطاقة الفوتون المنبعث.

طاقة الفوتون المنبعث $E_{\text{فوتون}} = \Delta E_{\text{ذرة}}$ أو $E_{\text{فوتون}} = hf$

طاقة الفوتون المنبعث تساوي حاصل ضرب ثابت بلانك في تردد الفوتون المنبعث.
طاقة الفوتون المنبعث تساوي النقص في طاقة الذرة.

$E_{\text{فوتون}} = E_3 - E_1$
$E^1_{\text{فوتون}} = E_2 - E_1$
$E^2_{\text{فوتون}} = E_3 - E_2$
$E^1_{\text{فوتون}} > E^2_{\text{فوتون}} > E^3_{\text{فوتون}}$
$\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$



الشكل 11–4 طاقة الفوتون المنبعث تساوي الفرق في الطاقة بين مستويات الطاقة الابتدائية والنهائية للذرة.

تنبؤات نموذج بور Predictions of the Bohr Model

يجب أن تقدم النظرية العلمية أكثر من المسلمات الموجودة سابقًا، وأن تسمح بإجراء توقعات قابلة للاختبار، ومقارنتها مع النتائج التجريبية. والنظرية الجيدة كذلك يمكن تطبيقها على عدة مشكلات مختلفة، وفي النهاية يمكنها تقديم تفسير موحّد لجزءٍ من العالم المادي.

استخدم بور نظريته لحساب الأطوال الموجية للضوء المنبعث من ذرة الهيدروجين، فكانت الحسابات متوافقة جدًّا مع قيم مقيسة حددها علماء آخرون. ونتيجة ذلك تم قبول نموذج بور على نطاقٍ واسع. لكن — لسوء الحظ – فقد طُبّق هذا النموذج على ذرة الهيدروجين فقط، ولم يكن باستطاعته توقع طيف الهيليوم الذي يمثل العنصر البسيط التالي بعد الهيدروجين. إضافة إلى ذلك لم يقدم النموذج تفسيرًا جيدًا لبعض المسائل، مثل لماذا يمكن تطبيق قوانين الكهرومغناطيسية في كل مكان إلا داخل الذرة. لذلك لم يكن بور نفسه يعتقد أن نموذجه يمثل نظرية متكاملة عن تركيب الذرة. وعلى الرغم من عيوب نموذج بور فإنه يصف مستويات الطاقة والأطوال الموجية للضوء المنبعث والممتص من ذرات الهيدروجين بصورة جيدة.

تطوّر نموذج بور طوّر بور نموذجه بتطبيق قانون نيوتن الثاني في الحركة $F_{\text{محصلة}} = ma$ على الإلكترون، والقوة المحصلة المحسوبة بواسطة قانون كولوم للتفاعل بين الإلكترون ذي الشحنة $-q$ والبروتون ذي الشحنة $+q$ أحدهما على بعد r من الآخر؛ حيث تحسب القوة بالمعادلة: $F = -kq^2/r^2$. إن تسارع الإلكترون في مدار دائري حول البروتون الذي كتلته أكبر كثيرًا من كتلة الإلكترون يعطى بالمعادلة: $a = -v^2/r$؛ حيث تشير الإشارة السالبة إلى أن الاتجاه نحو الداخل. وهكذا حصل بور على العلاقة:

$$\frac{kq^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

في المعادلة أعلاه، k تمثل ثابت كولوم، وقيمته $9.0 \times 10^9\ \text{N.m}^2/\text{C}^2$.

أخذ بور بعد ذلك في الحسبان الزخم الزاوي للإلكترون الذي يدور حول النواة، والذي يساوي حاصل ضرب زخم الإلكترون في نصف قطر مساره الدائري، فتوصل إلى أن الزخم الزاوي للإلكترون يعطى بالعلاقة: mvr. ثم افترض أن الزخم الزاوي للإلكترون له قيم محددة، وأن تلك القيم المسموح بها تكون مضروبة في المقدار $h/2\pi$؛ حيث h ثابت بلانك. وباستخدام n لتمثل عددًا صحيحًا، اقترح بور أن $mvr = nh/2\pi$. وباستخدام العلاقة $\frac{kq^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$ وبإعادة ترتيب معادلة الزخم الزاوي وجد بور أن أنصاف أقطار مستويات الإلكترونات في ذرة الهيدروجين تعطى بالمعادلة التالية:

نصف قطر مستوى إلكترون ذرة الهيدروجين $r_n = \frac{h^2 n^2}{4\pi^2 k m q^2}$

إن نصف قطر مستوى n للإلكترون يساوي حاصل ضرب مربع ثابت بلانك في مربع العدد الصحيح n مقسومًا على الكمية المتكوّنة من حاصل ضرب 4 في مربع π، مضروبة في الثابت k، مضروبة في كتلة الإلكترون ومربع شحنته.

تستطيع حساب نصف قطر المستوى الأقرب إلى النواة في ذرة الهيدروجين – الذي يعرف أيضًا بنصف قطر بور – وذلك بتعويض القيم المعلومة، وقيمة $n = 1$ في المعادلة أعلاه.

$$r_1 = \frac{(6.626\times10^{-34}\ \text{J.s})^2(1)^2}{4\pi^2(9.0\times10^{9}\ \text{N.m}^2/\text{C}^2)(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(1.60\times10^{-19}\text{C})^2}$$

$$= 5.3\times10^{-11}\ \text{J}^2.\ \text{s}^2/\text{N}.\ \text{m}^2.\ \text{kg}$$

$$= 5.3\times10^{-11}\ \text{m} \quad = 0.053\ \text{nm}$$

$$r_n = n^2 0.053\text{nm}$$

بتطبيق قوانين الجبر البسيطة تستطيع التوصل إلى أن الطاقة الكلية للذرة يعبر عنها بحاصل جمع طاقة حركة الإلكترون وطاقة وضعه، وإذا عوضنا $r_n = \frac{h^2 n^2}{4\pi^2 k m q^2}$ في المعادلة $E_n = -\frac{kq^2}{2r}$ ينتج أن:

$$E_n = \frac{-2\pi^2 k^2 m q^4}{h^2} \times \frac{1}{n^2}$$

وبتعويض القيم العددية للثوابت تستطيع حساب مقدار الطاقة الكلية للذرة بوحدة الجول، فتنتج المعادلة:

$$E_n = -2.17\times10^{-18}\ \text{J}\times\frac{1}{n^2}$$

وبتحويل العلاقة لوحدات الإلكترون فولت تنتج المعادلة:

طاقة ذرة الهيدروجين $E_n = -13.6\ \text{eV}\times\frac{1}{n^2}$

الطاقة الكلية لذرة عدد الكم الرئيس لها n، تساوي حاصل ضرب 13.6 eV– في مقلوب n^2.

إن كلًّا من نصف قطر المستوى للإلكترون وطاقة الذرة مكماة. ويسمى العدد الصحيح n الذي يظهر في المعادلات **عدد الكم الرئيس**، ويمكن من خلاله حساب القيم المكماة لكل من r و E. وبصورة مختصرة، فإن نصف القطر r يزداد بزيادة مربع n، بينما تعتمد الطاقة E على $1/n^2$.

تجربة

طيف الضوء اللامع (الساطع)

شغل مصدر القدرة المتصل مع أنبوب تفريغ الغاز بحيث يضيء الأنبوب.

تحذير: احمل أنبوب الغاز بحذر شديد لتتجنب تحطمه، ولا تلمس أي فلز معرض للإضاءة في أثناء تشغيل مصدر القدرة؛ لأن فرق الجهد المستخدم خطر. وقم دائمًا بفصل مصدر القدرة قبل تغيير أنابيب الغاز.

أطفئ أنوار الغرفة

1. **صف** اللون الذي تلاحظه.
2. **لاحظ** أنبوب غاز التفريغ من خلال محزوز الحيود.
3. **اختبر** نتائج مشاهدة أنبوب غاز التفريغ من خلال محزوز الحيود.
4. **توقع** ما إذا كان الطيف الملاحظ سيتغير عندما تتم مشاهدة أنبوب غاز التفريغ من خلال محزوز الحيود.
5. **اختبر** توقعاتك.

التحليل والاستنتاج

6. **اختبر** نتائج مشاهدة أنبوب غاز التفريغ من خلال محزوز الحيود.
7. **فسر** سبب وجود اختلاف بين الطيفين.

الطاقة وانتقال الإلكترون ربما تتساءل لماذا تكون طاقة الذرة في نموذج بور ذات قيمة سالبة. تذكر مما درست أن فروق الطاقة فقط ذات معنى. وطاقة مستوى اللانهاية يمكن اعتبارها صفرًا، وتسمى الطاقة الصفرية، وتعرّف بأنها طاقة الذرة عندما يكون الإلكترون بعيدًا جدًّا عن الذرة وليس له طاقة حركة. وتحدث هذه الحالة عندما تصبح الذرة متأينة، أي عندما يُنزع إلكترون من الذرة. ولأنه يجب بذل شغل لتأيين الذرة فإن طاقة الذرة مع الإلكترون الدائر فيها يجب أن يكون أقل من صفر، لذلك فإن طاقة الذرة ذات قيمة سالبة. وعندما يحدث انتقال في الذرة من مستوى طاقة أقل إلى مستوى طاقة أعلى فإن الطاقة الكلية تصبح أقل سالبية، ولكن مجموع التغير الكلي في الطاقة يبقى موجبًا.

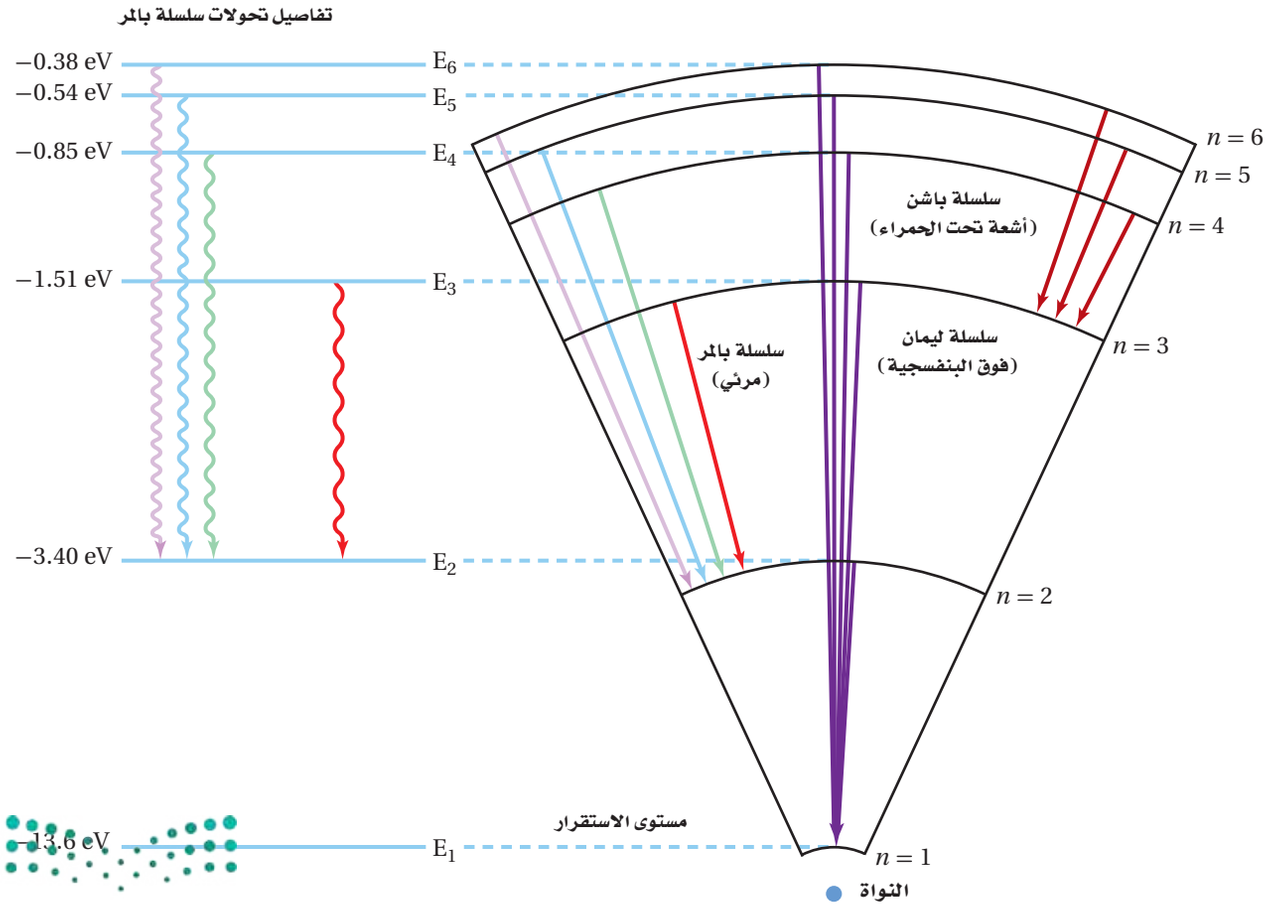
تجربة عملية

كيف يمكنك قياس عدد تنقلات الإلكترون بين مستويات الطاقة؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

بعض مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين ومستويات الطاقة التي قد يتم الانتقال إليها موضّحة في **الشكل 12–4**. لاحظ أن ذرة الهيدروجين المثارة يمكنها أن تبعث مدى واسعًا من الطاقة الكهرومغناطيسية كالأشعة تحت الحمراء، والضوء المرئي، أو الأشعة فوق البنفسجية بحسب حالات الانتقال التي تحدث؛ حيث تنبعث الأشعة فوق البنفسجية عندما ينتقل إلكترون من مستوى حالة الإثارة إلى مستوى الطاقة الأول. وتنتج الخطوط الأربعة المرئية في طيف الهيدروجين عندما يحدث الانتقال في الذرة من مستوى الطاقة $n = 3$ أو مستوى أعلى إلى مستوى الطاقة $n = 2$.

الشكل 12–4 تعرف مجموعة الخطوط الملونة التي تكوّن طيف ذرة الهيدروجين المرئي بسلسلة بالمر. إن هذا الضوء المرئي ناتج عن الفوتونات المنبعثة عندما تعود الإلكترونات إلى مستوى الطاقة الثاني $n = 2$. ونتيجة لانتقال إلكترونات أخرى لذرة الهيدروجين تنبعث كل من الأشعة فوق البنفسجية (سلسلة ليمان) والأشعة تحت الحمراء (سلسلة باشن)؛ وهي أشعة كهرومغناطيسية.

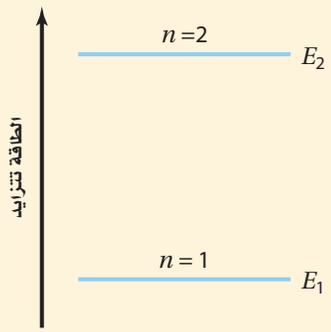


وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مثـــال 1

مستويات الطاقة تمتص ذرة الهيدروجين طاقة تسبب انتقال إلكترونها من مستوى الطاقة الأدنى $n = 1$ إلى مستوى الطاقة الثاني $n=2$. احسب طاقة كل من مستوى الطاقة الأول ومستوى الطاقة الثاني، ثم احسب الطاقة الممتصة بواسطة الذرة.

1 تحليل المسألة ورسمها



- مثّل بالرسم مستويات الطاقة E_1 و E_2.
- وضح اتجاه تزايد الطاقة في الرسم التوضيحي.

المعلوم	المجهول
عدد الكم لمستوى الطاقة الأول، $n = 1$	طاقة المستوى $E_1 =$ ؟
عدد الكم لمستوى الطاقة الثاني، $n = 2$	طاقة المستوى $E_2 =$ ؟
	فرق الطاقة $\Delta E =$ ؟

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم معادلة طاقة الإلكترون في مستواه، لحساب طاقة كل مستوى.

$$E_n = -13.6\ \text{eV} \times \frac{1}{n^2}$$

بالتعويض $n = 1$

$$E_1 = -13.6\ \text{eV} \times \frac{1}{(1)^2}$$
$$E_1 = -13.6\ \text{eV}$$

دليل الرياضيات
الأرقام الصغيرة واستخدام الأسس السالبة.

بالتعويض $n = 2$

$$E_n = -13.6\ \text{eV} \times \frac{1}{(2)^2}$$
$$E_2 = -3.40\ \text{eV}$$

إن الطاقة الممتصة بواسطة الذرة ΔE تساوي فرق الطاقة بين مستوى الطاقة النهائي للذرة E_f ومستوى الطاقة الأوليّ للذرة E_i.

بالتعويض $E_f = E_2$ ، $E_i = E_1$

بالتعويض $E_2 = -3.40\ \text{eV}$ ، $E_1 = -13.6\ \text{eV}$

$$\Delta E = E_f - E_i$$
$$= E_2 - E_1$$
$$= -3.40\ \text{eV} - (-13.6\ \text{eV})$$
$$= 10.2\ \text{eV}$$ طاقة الفوتون المنبعثة

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** إن قيم طاقة المستويات يجب أن تقاس بوحدة الإلكترون فولت.
- **هل الإشارة صحيحة؟** إن فرق الطاقة موجب عندما تتحرك الإلكترونات من مستويات طاقة منخفضة إلى مستويات طاقة أعلى.
- **هل الجواب منطقي؟** إن الطاقة اللازمة لتحريك إلكترون من مستوى الطاقة الأول إلى مستوى الطاقة الثاني يجب أن يساوي 10 eV تقريبًا، وهذا يساوي الطاقة المطلوبة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسائل تدريبية

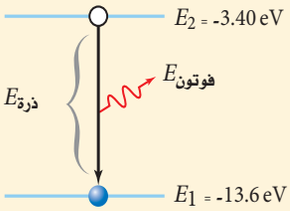
1. احسب طاقة المستويات: الثاني والثالث والرابع، لذرة الهيدروجين.
2. احسب فرق الطاقة بين مستوى الطاقة E_3 ومستوى الطاقة E_2 في ذرة الهيدروجين.
3. احسب فرق الطاقة بين مستوى الطاقة E_4 ومستوى الطاقة E_2 في ذرة الهيدروجين.
4. النص الآتي يمثل حل المعادلة $r_n = \frac{h^2 n^2}{4\pi^2 k m q^2}$ عندما $n = 1$، فإن نصف القطر يكون هو الأصغر لمستويات ذرة الهيدروجين. لاحظ أنه – ماعدا n^2 – فإن كل المعطيات الأخرى في المعادلة ثابتة. وقيمة r_1 تساوي $5.3 \times 10^{-11}\ \text{m}$، أو $0.053\ \text{nm}$. استخدم هذه المعلومات في حساب أنصاف أقطار مستويات الطاقة الثاني والثالث والرابع في ذرة الهيدروجين.
5. قطر نواة ذرة الهيدروجين $2.5 \times 10^{-15}\ \text{m}$، والمسافة بين النواة والإلكترون الأول $5 \times 10^{-11}\ \text{m}$ تقريبًا. إذا استخدمت كرة قطرها $7.5\ \text{cm}$ لتمثل النواة، فكم يكون بُعد الإلكترون؟

مثـــال 2

تردد وطول موجة الفوتونات المنبعثة ينتقل إلكترون ذرة هيدروجين مثارة من مستوى الطاقة الثاني $n = 2$ إلى مستوى الطاقة الأول $n = 1$. احسب الطاقة والطول الموجي للفوتون المنبعث. استخدم قيم E_1 و E_2 من المسألة 1.

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم رسمًا توضيحيًّا لمستويات الطاقة E_1 و E_2.
- وضّح اتجاه تزايد الطاقة، ووضح انبعاث الفوتون في الرسم.



دليل الرياضيات

فصل المتغير.

المعلوم	المجهول
مستوى الطاقة $E_1 = -13.6\ \text{eV}$	التردد، $f = ?$
مستوى الطاقة $E_2 = -3.40\ \text{eV}$	الطول الموجي، $\lambda = ?$
	فرق الطاقة $\Delta E = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

طاقة الفوتون المنبعث تساوي ΔE، فرق الطاقة بين مستوى الطاقة الثاني للذرة E_f ومستوى الطاقة الأول لها E_i.

$$\Delta E = E_f - E_i$$
$$= E_1 - E_2$$
$$= -13.6\ \text{eV} - (-3.40\ \text{eV})$$
$$= -10.2\ \text{eV}$$

بالتعويض $E_i = E_2$ ، $E_f = E_1$

بالتعويض $E_2 = -3.40\ \text{eV}$ ، $E_1 = -13.6\ \text{eV}$

لحساب الطول الموجي للفوتون، استخدم المعادلات الآتية:

– حل معادلة الفوتون بالنسبة إلى التردد

– حل معادلة الطول الموجي التردد بالنسبة إلى الطول الموجي

$$\Delta E = hf \text{ لذا فإن } f = \frac{\Delta E}{h}$$
$$c = \lambda f \text{ لذا فإن } \lambda = \frac{c}{f}$$
$$\lambda = \frac{c}{(\Delta E / h)} = \frac{hc}{\Delta E}$$
$$= \frac{1240\ \text{eV.nm}}{10.2\ \text{eV}} = 122\ \text{nm}$$

بالتعويض $f = \frac{\Delta E}{h}$

بالتعويض $\Delta E = 10.2\ \text{eV}$ ، $hc = 1240\ \text{eV.nm}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس الطاقة بوحدة الإلكترون فولت. البادئة نانو تعدّل إلى وحدة متر، وهي وحدة القياس الأساسية في النظام SI. والتي تمثل الوحدة الصحيحة للطول الموجي.
- **هل الإشارة صحيحة؟** تنتج الطاقة عندما تبعث الذرة فوتونًا خلال عملية الانتقال من مستوى الطاقة الثاني إلى مستوى الطاقة الأول، ولذلك فإن فرق الطاقة سالب.
- **هل الجواب منطقي؟** الطاقة الناتجة عن عملية الانتقال تنتج ضوءًا في مدى الأشعة فوق البنفسجية، وهو أقل من 400 nm.

مسائل تدريبية

6. أوجد الطول الموجي للضوء المنبعث في المسائل 2 و 3. أي الخطوط في الشكل 8–4 ترتبط مع كل عملية انتقال؟

7. في عملية انتقال محدد، تسقط طاقة ذرة الزئبق من مستوى طاقة 8.82 eV إلى مستوى طاقة 6.67 eV.

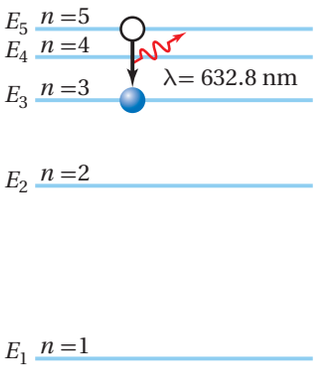
a. ما مقدار طاقة الفوتون المنبعث من ذرة الزئبق؟

b. ما مقدار الطول الموجي للفوتون المنبعث من ذرة الزئبق؟

8. انبعث فوتون طوله الموجي 304 nm من أيون الهيليوم، فإذا كانت طاقة أيون الهيليوم في حالة الاستقرار 54.4 eV–، فما مقدار طاقة الإثارة؟

مسألة تحفيز

على الرغم من أن نموذج بور للذرة يفسر بدقة سلوك ذرة الهيدروجين، إلا أنه لم يكن قادرًا على تفسير سلوك أي ذرة أخرى. تحقق من جوانب القصور في نموذج بور؛ وذلك بتحليل انتقال إلكترون في ذرة النيون. فخلافًا لذرة الهيدروجين فإن لذرة النيون عشرة إلكترونات، وأحد هذه الإلكترونات ينتقل بين مستوى الطاقة $n = 5$ ومستوى الطاقة $n = 3$، باعثًا فوتونًا في هذه العملية.



1. اعتبر أنه يمكن معاملة إلكترون ذرة النيون كإلكترون في ذرة الهيدروجين، فما طاقة الفوتون التي يتوقعها نموذج بور؟

2. اعتبر أنه يمكن معاملة إلكترون ذرة النيون كإلكترون في ذرة الهيدروجين، فما الطول الموجي الذي يتنبأ به نموذج بور؟

3. الطول الموجي الحقيقي للفوتون المنبعث خلال عملية الانتقال 632.8 nm، ما نسبة الخطأ المئوي لتنبؤ نموذج بور للطول الموجي للفوتون؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

فاز نيلز بور بجائزة نوبل في الفيزياء لعام 1921م، لمساهمته في صياغة تركيب الذرة.

يعدّ نموذج بور الأساس الذي مكّن العلماء من فهم تركيب الذرة. بالإضافة إلى حساب طيف الانبعاث، كان بور وطلبته قادرين على حساب طاقة التأين لذرة الهيدروجين. وطاقة تأين الذرة هي الطاقة اللازمة لتحرير إلكترون بصورة كاملة من الذرة تتفق مع قيمة التأين التي تم حسابها بصورة كبيرة مع النتائج العملية. وقدم نموذج بور أيضًا توضيحًا لبعض الخصائص الكيميائية للعناصر. إن الفكرة التي تبيّن أن للذرات ترتيبات إلكترونية خاصة بكل عنصر تعدّ الأساس لمعظم معرفتنا بالتفاعلات والروابط الكيميائية. وقد تم تخليد إنجازات العالم نيلز بور في إصدار بعض الطوابع البريدية.

1–4 مراجعة

9. **نموذج راذرفورد النووي:** لخص تركيب الذرة بناء على نموذج راذرفورد النووي.
10. **الأطياف:** فيم تختلف أطياف الانبعاث الذرية للمواد الصلبة المتوهجة والغازات، وفيم تتشابه؟
11. **نموذج بور:** فسّر كيف تحفظ الطاقة عندما تمتص ذرة فوتون الضوء؟
12. **نصف قطر المستوى:** يسلك أيون الهيليوم سلوك ذرة الهيدروجين، ونصف قطر مستوى طاقة الأيون الأدنى يساوى 0.0265 nm. اعتمادًا على نموذج بور، ما مقدار نصف قطر مستوى الطاقة الثاني؟
13. **طيف الامتصاص:** وضح كيفية حساب طيف الامتصاص لغاز ما. وضح أسباب ظهور الطيف.
14. **نموذج بور:** تم الكشف عن تحوّل ذرة الهيدروجين من مستوى الطاقة 101 إلى مستوى الطاقة 100. ما مقدار الطول الموجي للإشعاع؟ أين يقع هذا الانبعاث في الطيف الكهرومغناطيسي؟
15. **التفكير الناقد** نصف قطر نواة ذرة الهيدروجين 1.5×10^{-15} m تقريبًا. إذا كنت راغبًا في بناء نموذج لذرة الهيدروجين باستخدام كرة بلاستيك $r = 5$ cm لتمثل النواة فأين تضع إلكترونًا في مستوى $n = 1$؟ هل يكون موقعه في غرفة صفك؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4–2 النموذج الكمي للذرة The Quantum Model of the Atom

لا يمكن تفسير الفرضيات التي قدمها بور على أساس المبادئ الفيزيائية المقبولة في تلك الفترة. فالنظرية الكهرومغناطيسية مثلاً تتطلب أن تبعث الجسيمات المتسارعة طاقة، مما يؤدي إلى إنهيار سريع للذرة. بالإضافة إلى ذلك فإن الفكرة التي تقول إن الإلكترون الدائر له مستوى محدد بنصف قطر معين تتعارض مع مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج. فكيف يمكن وضع نموذج بور على أساس متين؟

الأهداف

- **تصف** أوجه القصور في نموذج بور الذري.
- **تصف** النموذج الكمي للذرة.
- **توضح** كيف يعمل الليزر.
- **تصف** خصائص ضوء الليزر.

المفردات

النموذج الكمي
سحابة إلكترونية
ميكانيكا الكم
الضوء المترابط
الضوء غير المترابط
الانبعاث المحفز
الليزر

من مستويات الطاقة إلى السحابة الإلكترونية

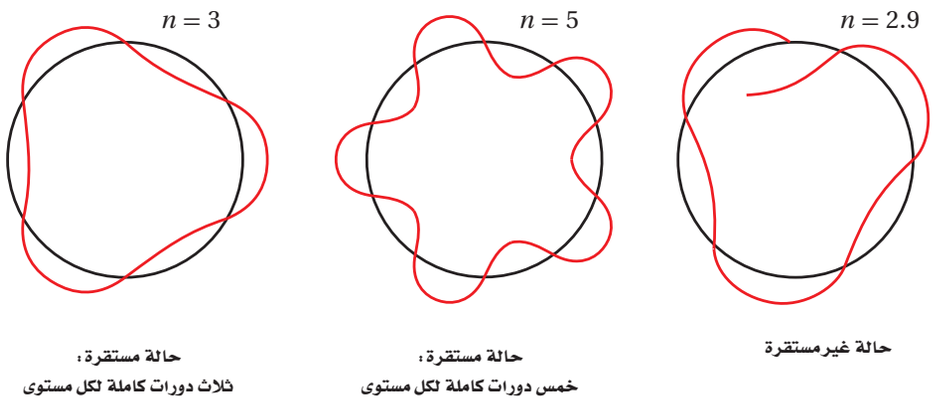
From Orbits to an Electron Cloud

إن التلميح الأول لحل هذه المسائل قدّمه لويس دي برولي. تذكّر من الفصل السابق أن دي برولي اقترح أن للجسيمات خصائص موجية، تمامًا كما للضوء خصائص جسيمية.

تم حساب طول موجة دي برولي لجسيم زخمه mv بالمعادلة: $\lambda = h/mv$. وبترتيب المعادلة وضرب الطرفين في r نحصل على: $mvr = hr/\lambda$ وهكذا فإن نموذج بور يشترط أن يكون الزخم الزاوي مكمًّى. $mvr = nh/2\pi$ ويمكن كتابتها بالصيغة التالية:

$$n\lambda = 2\pi r \quad \text{أو} \quad \frac{hr}{\lambda} = \frac{nh}{2\pi}$$

لذلك فإن محيط مستوى بور $2\pi r$ يساوي العدد الصحيح n مضروبًا في طول موجة دي برولي λ. والشكل **13–4** يوضح هذه العلاقة. استخدم العالم النمساوي إيرن شرودنجر عام 1926م نموذج موجة دي برولي للوصول إلى نظرية الكم للذرة اعتمادًا على الموجات. هذه النظرية لم تقترح النموذج النووي (الكواكبي) البسيط للذرة، كما في نموذج بور، وخاصة أن نصف قطر مسار الإلكترون لم يكن يشبه نصف قطر مدار الكوكب حول الشمس. وينص مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج على أنه من المستحيل معرفة كل من موقع وزخم إلكترون في اللحظة نفسها، لذا فإن **النموذج الكمي** يتوقع احتمالية وجود الإلكترون في منطقة محددة فقط. ومن المثير للاهتمام أن النموذج الكمي للذرة تنبأ بأن المسافة الأكثر احتمالية بين الإلكترون والنواة لذرة الهيدروجين هي نصف القطر نفسه الذي تم توقعه من خلال نموذج بور.



الشكل 13–4 الإلكترون الذي له مستوى مستقر حول النواة يجب أن يساوي محيط المستوى له حاصل ضرب العدد الصحيح n في طول موجة دي برولي. لاحظ أن العدد الصحيح $n = 3$ و $n = 5$ مستقران، بينما $n = 2.9$ غير مستقر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

إن احتمالية وجود الإلكترون عند نصف قطر محدد يمكن حسابه، وكذلك يمكن تكوين تمثيل ثلاثي الأبعاد لتوضيح مناطق الاحتمالات المتساوية.

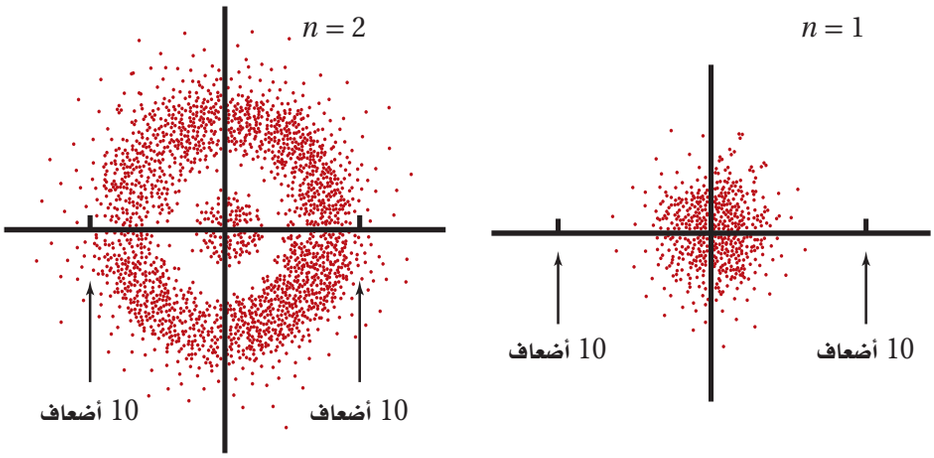
والمنطقة ذات الاحتمالية العالية لوجود الإلكترون فيها تسمى **سحابة إلكترونية**. والشكل **14–4** يوضح مقطعًا لسحابة إلكترونية تمثل حالتي الطاقة الأقل في ذرة الهيدروجين.

وعلى الرغم من صعوبة تصور النموذج الكمي للذرة فإن **ميكانيكا الكم** – وهي دراسة خصائص المادة باستخدام خصائصها الموجية– قد حققت نجاحًا هائلاً في توقع الكثير من المعلومات التفصيلية لتركيب الذرة. فقد كان من الصعب جدًّا حساب تلك التفاصيل بدقة إلا للذرات البسيطة؛ وكانت الحسابات التقريبية العالية الدقة للذرات الثقيلة تتم من خلال الحواسيب المتطورة فقط. لكن ميكانيكا الكم تمكنت من جعل تراكيب بعض الجزيئات قابلة للحساب، مما أتاح للكيميائيين القدرة على تحديد ترتيب الذرات في الجزيئات.

الربط مع الكيمياء

واسترشادًا بميكانيكا الكم استطاع الكيميائيون تحضير جزيئات جديدة ومفيدة لم تكن موجودة أصلاً في الطبيعة. وتستخدم ميكانيكا الكم أيضًا لتحليل تفاصيل امتصاص وانبعاث الضوء من الذرات. ونتيجة لنظرية ميكانيكا الكم تم تطوير مصدر جديد للضوء.

الشكل 14-4 هذه الرسومات تظهر احتمالية وجود الإلكترون في ذرة الهيدروجين عند مسافة تساوي عشرة أضعاف نصف قطر بور من النواة لكل من مستويي الطاقة الأول والثاني. وترتبط كثافة توزيع النقاط مع احتمالية وجود الإلكترون. لاحظ أن نصف قطر بور= 0.053 nm .



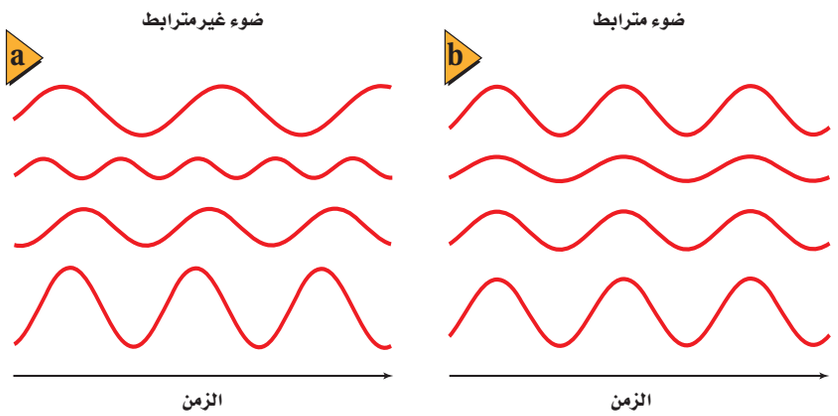
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الليزر LASER

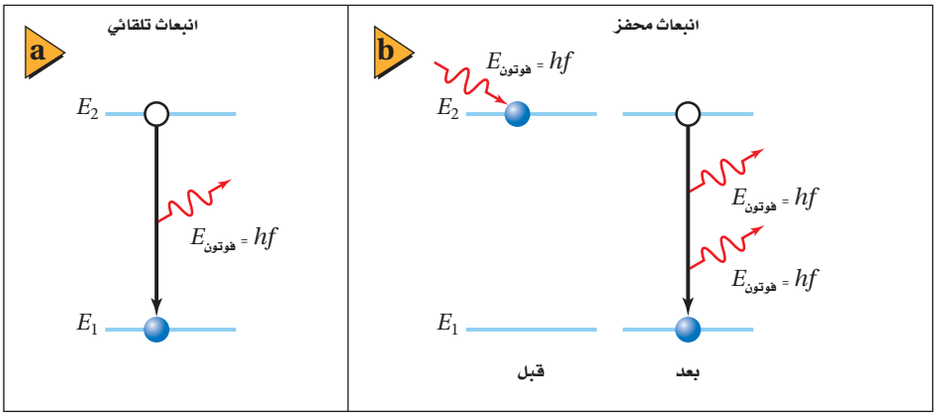
كما تعلم فـإن الضوء المنبعث عن مصدر متوهج يتكون من سلسـلة متتالية من الأطوال الموجيـة، في حين أن الضـوء الناتج عن الغاز الذري يتكون مـن بعض الأطوال الموجية المميـزة للغاز. إن الضوء المنبعث من كلا المصدرين ينتقل في جميع الاتجاهات. وبالإضافة إلى ذلـك ليس من الضرورة أن تنتقل الموجات الضوئيـة المنبعثة من الذرات عند إحدى نهايتي أنبوب غاز التفريغ بالطور نفسه أو أن تتزامن الموجات مع موجات الطرف الآخر للأنبوب. لذلك فليس من الضرورة وجود جميع الموجات عند النقطة نفسـها في اللحظة نفسها خلال دورتها. وتذكر مما درسته سابقًا أن الموجات التي تنتقل بالطور نفسه وتتوافق عند الحدود الدنيا والحدود القصوى تكون مترابطة. ويشار إلى أن موجات الضوء المترابطة تكـون **ضوءًا مترابطًا**، بينـما تنتج موجات الضوء المختلفة في الطـور **ضوءًا غير مترابط**. ويوضح **الشكل 15–4** نوعي هذه الموجات.

ينبعث الضوء من الذرات المثارة. وقد درسـت حتى الآن طريقتين يمكن أن تثار الذرات بهـما، وهما: الإثارة الحرارية، وتصادم الإلكترون. لكن يمكن للذرات أن تثار أيضًا نتيجة تصادمها مع فوتونات ذات طاقة محددة.

الشكل 15–4 يوضح موجات الضوء غير المترابطة (a) وموجات الضوء المترابطة (b).



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



■ **الشكل 16–4** خلال الانبعاث التلقائي، ينتقل إلكترون من حالة الإثارة E_2 إلى حالة الاستقرار E_1. فينبعث تلقائيًا فوتون طاقته hf (a). وخلال الانبعاث المحفز تصطدم ذرة بفوتون ساقط طاقته $E_2 - E_1$، فتنتقل الذرة إلى حالة الاستقرار وتبعث فوتونًا. وكل من الفوتون الساقط والفوتون المنبعث لهما الطاقة نفسها $E_{\text{الفوتون}} = E_2 - E_1$ (b).

الانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز ماذا يحدث بعد أن تصبح الذرة في حالة إثارة؟ تعود الذرة بعد وقت قصير عادة إلى حالتها المستقرة باعثة فوتونًا له الطاقة نفسها التي كان قد امتصها، كما هو موضح في **الشكل 16a–4**، وهذه العملية تسمى الانبعاث التلقائي.

فكّر أينشتاين عام 1917م فيما يحدث لذرة مثارة أصلاً، اصطدمت بفوتون طاقته تساوي فرق الطاقة بين حالة الإثارة وحالة مستقرة، فبيّن حينها أن هذه الحالة للذرة تسمى **الانبعاث المحفز**؛ حيث تعود الذرة إلى حالة الاستقرار وتبعث بفوتون طاقته تساوي فرق الطاقة بين الحالتين. بينما لا يتأثر الفوتون الذي سبّب أو حفّز الانبعاث. ثم يغادران الذرة معًا ليس بالتردد نفسه فقط، بل يكون لهما الطور نفسه، ويكونان مترابطين كذلك، كما هو موضح في **الشكل 16b–4**، وقد يصطدم أي من هذين الفوتونين بذرات أخرى مثارة، ومن ثم ينتج فوتونات أخرى؛ بحيث يكون لها الطور نفسه مع الفوتونات الأصلية. وقد تستمر هذه العملية منتجة سيلاً من الفوتونات التي لها الطول الموجي نفسه، حيث يكون لها جميعا حدود قصوى وحدود دنيا في اللحظة نفسها.

هذه العملية محددة بالشروط التالية حتى تحدث. أولاً: يجب أن تكون هناك ذرات أخرى مثارة. ثانيًا: يجب أن تبقى الذرات مثارة لفترة زمنية كافية حتى يحدث التصادم. ثالثًا: يجب السيطرة على الفوتونات وتوجيهها لتكون قادرة على إحداث تصادم مع الذرات المثارة.

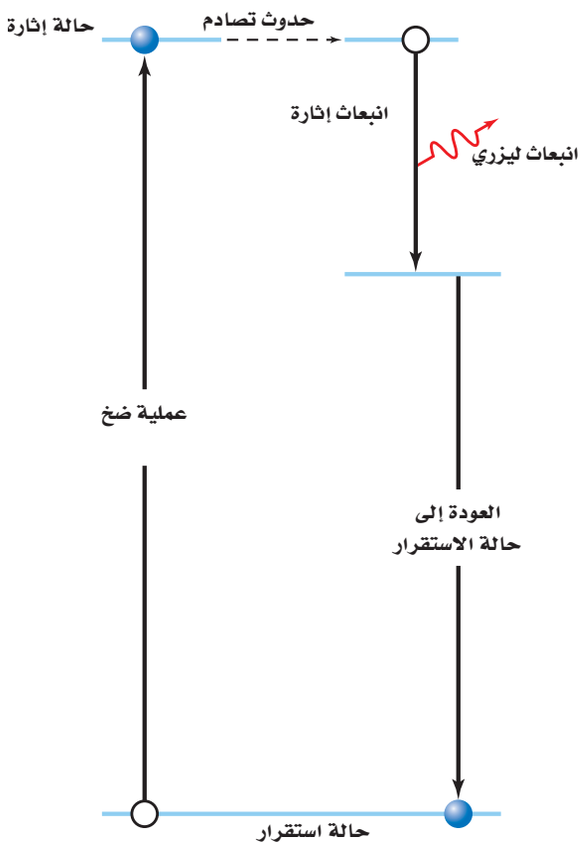
في عام 1959م تم ابتكار أداة تسمى **ليزر**، وقد حققت جميع الشروط اللازمة لإنتاج ضوء مترابط. وكلمة ليزر هي اختصار للعبارة "تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث المحرض للإشعاع". والذرة التي تبعث الضوء عندما تكون مثارة في الليزر تسمى ذرة ليزرية.

إثارة الذرة الذرات في الليزر يمكن أن تثار أو تضخ، كما هو موضح في **الشكل 17–4**. حيث يمكن لومضة كثيفة من الضوء ذات طول موجي أقصر من الليزر أن تستخدم لضخ الذرات. وتُنتج الفوتونات ذات الطول الموجي الأقصر والطاقة الأكبر بواسطة الومضة التي تصطدم بذرات الليزر لتصبح مثارة. وعندما تنتقل إحدى الذرات المثارة إلى مستوى الطاقة الأدنى بانبعاث فوتون، يبدأ انبعاث سيل من الفوتونات. وهذه نتيجة عملية لانبعاث ومضة صغيرة أو نبضة من ضوء الليزر. كما يمكن للذرات الليزرية أن تثار نتيجة التصادم مع ذرات أخرى. ففي أجهزة ليزر هيليوم– نيون التي نشاهدها غالبًا في الغرف الصفية فإن التفريغ الكهربائي هو الذي يثير ذرات الهيليوم، حيث تصطدم ذرات الهيليوم المثارة مع ذرات النيون لتصبح مثارة، وتتحول إلى ذرات ليزرية. وضوء الليزر الناتج عن هذه العملية يكون مستمرًّا وليس على شكل نبضات.

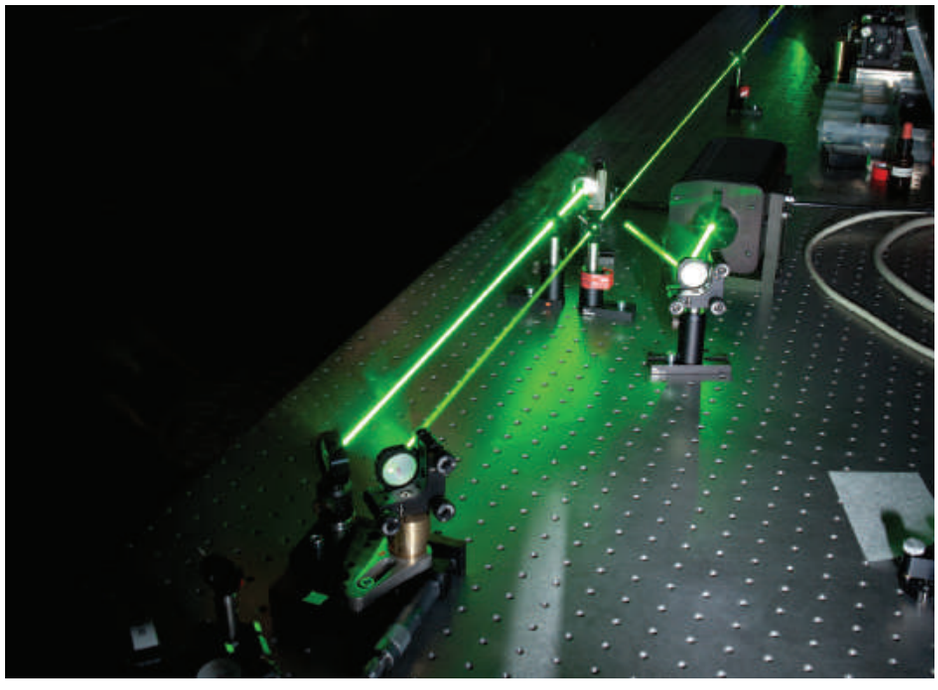
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

إنتاج الليزر الفوتونات المنبعثة من الذرات الليزرية تبقى محتواة عن طريق حصر تلك الذرات في أنبوب زجاجي على طرفيه المتقابلين مرايا مستوية متوازية وسطوحها العاكسة متقابلة. إحدى هذه المرايا عاكسة بمقدار يزيد على 99.9%، وتعكس كل الضوء الساقط عليها تقريبًا، بينما المرآة الأخرى عاكسة وتسمح لـ 1% من الضوء الساقط عليها بالمرور من خلالها. حيث تنعكس الفوتونات التي تنبعث في اتجاه نهايتي الأنبوب مرتدة إلى الغاز بواسطة المرايا، وتصطدم الفوتونات المنعكسة بذرات أكثر محرِّرة فوتونات أكثر عند كل عبور بين المرايا. وباستمرار العملية تتكوّن كثافة أكبر من الفوتونات، ثم تخرج الفوتونات من الأنبوب خلال المرآة الجزئية الانعكاس منتجة شعاع ليزر. **الشكل 18–4** يوضح الليزر المستخدم في المختبر.

ولأن جميع فوتونات الإثارة تنبعث في الطور نفسه مع الفوتونات التي تصطدم بالذرات فإن ضوء الليزر يكون مترابطًا. وكذلك فإن ضوء الليزر له الطول الموجي نفسه (أحادي اللون) بسبب انتقال الإلكترونات بين زوج واحد فقط من مستويات الطاقة، وفي نوع واحد من الذرات. المرايا المتوازية المستخدمة في الليزر والتي ينتج عنها انبعاث ضوء الليزر تكون موجهة بدقة عالية جدًّا. ومن جهة أخرى، فإن ضوء الليزر لا ينحرف مهما ابتعد عن مصدره. ولأن شعاع الليزر التقليدي صغير جدًّا، لا يتجاوز قطره 2 mm فإن الضوء يكون عالي الكثافة. ويمكن تصنيع بعض المواد الصلبة والسائلة والغازية لتصبح ليزرية. من ناحية أخرى فإن معظم المواد تنتج ضوء ليزر بطول موجي واحد. ويمكن إعادة ضبط الضوء الصادر من بعض مصادر الليزر على مدى معين من الأطوال الموجية.



الشكل 17–4 عندما يصطدم فوتون مع ذرة مثارة فإنه يحفز الذرة لتبعث فوتونًا مترابطًا ثانيًا لتعود الذرة إلى حالتها الأولى.



الشكل 18–4 ينتج مصدر الأرجون هذا شعاعًا من ضوء مترابط.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الجدول 1–4		
مصادر الليزر الشائعة		
الوسط	الطول الموجي (nm)	النوع
كريبتون– فلوريد مثار (غاز krF)	248 (فوق بنفسجي)	نبض
نيتروجين (غاز N_2)	337 (فوق بنفسجي)	نبض
نيتريد جاليوم والإنديوم (بلورة InGaN)	420	مستمر
أيون الأرجون (غاز Ar^+)	476.5، 488.0، 514.5	مستمر
النيون (غاز Ne)	632.8	مستمر
زرنيخات الجاليوم والألومنيوم (بلورة Ga AlAs)	635، 680	مستمر
زرنيخات الجاليوم (بلورة Ga As)	840–1350 (تحت حمراء)	مستمر
نيوديميوم (بلورة Nd:YAG)	1064 (تحت حمراء)	نبض
ثاني أكسيد الكربون (غاز CO_2)	10600 (تحت حمراء)	مستمر

تطبيقات الليزر Laser Applications

عندما تشغل جهاز تشغيل القرص المدمج CD أو DVD فإنك بذلك تستخدم الليزر. وأجهزة الليزر هذه تشبه تلك المستخدمة في مؤشرات الليزر، وهي مصنوعة من مواد صلبة شبه موصلة. فمصدر الليزر في مشغل القرص المدمج مصنوع من طبقات من زرنيخات الجاليوم (GaAs)، ومن جاليوم ألومنيوم وزرنيخات (GaAlAs).

ويبلغ سمك الطبقة الليزرية 200 nm فقط. وطول كل جانب من البلورة 1–2 mm فقط. وتضخ ذرات المادة شبه الموصلة الصلبة بواسطة تيار كهربائي وتضخم الفوتونات الناتجة كلما ارتدت بين نهايات البلورة المصقولة. يوضح **الجدول 1–4** الطول الموجي، ونوع وشكل الليزر، وهل هو نبض أو مستمر لبعض أنواع الليزر الشائعة.

معظم مواد الليزر ليست شديدة الفاعلية. فمثلاً لا تزيد الطاقة الكهربائية المتحولة إلى طاقة ضوئية في غاز الليزر على 1 %. على الرغم من أن الليزر البلوري له فاعلية 20% تقريبًا، فغالبًا ما يكون له قدرة أقل كثيرًا مقارنة بالليزرات الغازية. وعلى الرغم من عدم فاعليته فإن خصائص ضوء الليزر المميزة جعلته يدخل في كثير من التطبيقات. وحزمة أشعة الليزر ضيّقة وموجهة بدقة كبيرة، ولا تتشتت على مدى المسافات الكبيرة، ولهذا السبب يستخدم الباحثون حزم الليزر في بعض التطبيقات كاختبار استقامة الأنفاق والأنابيب.

عندما هبط رواد الفضاء على سطح القمر قاموا بتثبيت مرايا على سطحه، وهذه المرايا استخدمت لتعكس حزم الليزر التي ترسل من الأرض، وبذلك أمكن حساب المسافة بين القمر والأرض بدقة عالية، وكذلك تتبُّع مواقع القمر من مناطق مختلفة على الأرض، وقياس حركة الصفائح التكتونية الأرضية.

يستخدم ضوء الليزر كثيرًا في اتصالات الألياف البصرية؛ حيث يعمل سلك الليف البصري على الانعكاسات الداخلية الكلية لنقل الضوء داخل السلك على طول مسافات تمتد عدة كيلومترات بخسارة بسيطة لطاقة الإشارة. وجهاز الليزر الذي يعمل على طول موجي 1300–1500 nm يتصل وينفصل بتتابع سريع جدًّا فينقل المعلومات كسلسلة من النبضات خلال الليف. وقد حلت الألياف البصرية على مستوى العالم محل الأسلاك النحاسية لنقل المكالمات التليفونية، وبيانات الحاسوب، أو حتى الصور التليفزيونية.

تطبيق الفيزياء

جراحة العين بالليزر

يستخدم الليزر في جراحة العين؛ لأن طاقة الفوتونات التي تبعثها قادرة على تدمير النسيج غير الطبيعي دون إحداث أذى بالأنسجة السليمة المحيطة.

لذلك يستطيع الجرّاح الماهر - باستخدام الليزر - إزالة طبقات رقيقة جدًا من الأنسجة لإعادة شكل الشبكية.

King Faisal PRIZE

مُنح البروفيسور أحمد حسن زويل جائزة الملك فيصل / فرع العلوم لعام 1409هـ / 1989 م وذلك لاختصاصه الرائد في استخدامه أشعة الليزر للتحكم في التفاعلات الكيميائية بإعطاء الذرات الطاقة اللازمة لها في الموضع المناسب حتى تنتج التفاعلات المطلوبة فقط، ويمتنع ما سواها.

المصدر: موقع جائزة الملك فيصل / فرع العلوم

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الشكل 19–4 فوتونات الأشعة فوق البنفسجية المنبعثة من جهاز الليزر هذا قادرة على نزع إلكترونات من ذرات أنسجة الهدف؛ حيث تحطم الفوتونات الروابط الكيميائية وتبخر الأنسجة.

وكذلك فإن الطول الموجي الأحادي للضوء الصادر عن أجهزة الليزر يجعلها تستخدم في أجهزة المطياف. حيث يستخدم ضوء الليزر لإثارة ذرات أخرى، ثم تعود الذرات بعد ذلك إلى حالة الاستقرار وتبعث طيفًا مميّزًا. ويمكن للعينات ذات عدد الذرات الصغير جدًّا أن تحلّل بهذه الطريقة. وقد تم الكشف عن ذرات مفردة وتم تثبيتها بلا حراك تقريبًا عن طريق الإثارة بالليزر.

تستخدم الطاقة المركّزة لضوء الليزر بطرائق متعددة. ففي الطب مثلاً يستخدم الليزر في إعادة تشكيل قرنية العين. ويمكن استخدامه في الجراحة أيضًا، كما هو موضح في **الشكل 19–4**. ويستخدم الليزر بدلاً من المشرط أو الشفرة لقطع الأنسجة بفقدان اليسير من الدم. ويستخدم الليزر في الصناعة أيضًا لقطْع المعادن مثل الفولاذ وتلحيم المواد معًا. ومن المحتمل في المستقبل أن يستخدم الليزر في إنتاج اندماج نووي لإيجاد مصدر للطاقة.

الشكل 20–4 يتشكل الهولوجرام عندما يسجّل تداخل شعاعي الليزر كلاً من كثافة وطور الضوء المنبعث من الجسم على الفيلم.

جهاز الهولوجرام الموضح في **الشكل 20–4**، عبارة عن مسجّل فوتوجرافي لكل من كثافة وطور الضوء. وقد أصبح إنتاج أجهزة الهولوجرام ممكنًا بفضل الطبيعة المترابطة لضوء الليزر. وباستطاعة أجهزة الهولوجرام هذه تكوين صور ثلاثية الأبعاد. وهناك تطبيقات أخرى تستخدم في الصناعة لدراسة اهتزازات المعدّات الحساسة ومكوناتها.

2–4 مراجعة

16. **أجهزة الليزر** أي أجهزة الليزر في **الجدول 1–4** تبعث ضوءًا أكثر احمرارًا (ضوءًا مرئيًّا ذا طول موجي كبير)، وأيها يبعث ضوءًا أزرق، وأيها يبعث حزمًا ضوئية لا يمكن رؤيتها بالعين؟
17. **ضخ الذرات** وضح ما إذا كان يمكن استخدام الضوء الأخضر لضخ ضوء ليزر أحمر. لماذا لا يستخدم الضوء الأحمر لضخ الضوء الأخضر؟
18. **محددات نموذج بور** ما أوجه القصور في نموذج بور، على الرغم من توقعه سلوك ذرة الهيدروجين بدقة؟
19. **النموذج الكمي** وضح لماذا تعارَض نموذج بور للذرة مع مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج، بينما لم يتعارض النموذج الكمي معه.
20. **أجهزة الليزر** وضّح كيف يعمل ليزر الانبعاث المحفز على إنتاج ضوء مترابط.
21. **ضوء الليزر** ما الخصائص الأربعة لضوء الليزر التي تجعله مفيدًا؟
22. **التفكير الناقد** افترض أنه تم الحصول على سحابة صغيرة جدًّا من الإلكترونات، بحيث تكون الذرة بحجم النواة تقريبًا. استخدم مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج لتوضيح لماذا تستهلك كمية هائلة من الطاقة في هذه الحالة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مختبر الفيزياء

إيجاد حجم الذرة

استخدم العالم إرنست راذرفورد التحليل الإحصائي والاحتمالات للمساعدة على تحليل نتائج تجربة صفيحة الذهب الرقيقة. في هذه التجربة سوف تشكل نموذجًا لصفيحة رقيقة من الذهب مستخدمًا كرات صغيرة وكؤوسًا.

ثم تحلل نتائجك عن طريق الاحتمالات لتقدير حجم جسم لا يمكن رؤيته.

سؤال التجربة

كيف يمكن استخدام الاحتمالات لتحديد حجم جسم لا يمكن رؤيته؟

الأهداف

- **تفسير البيانات** لتحديد احتمالية تصادم الكرات الصغيرة مع الجسم غير المرئي.
- **حساب** حجم الجسم غير المرئي اعتمادًا على الاحتمالات.

احتياطات السلامة

- **تأكد من التقاط الكرات الصغيرة فور سقوطها على الأرض.**

المواد والأدوات

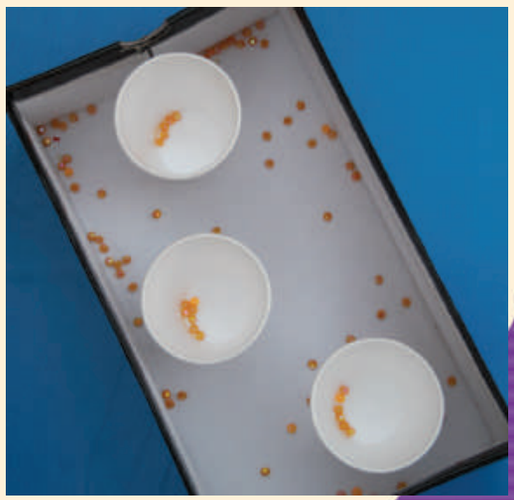
صندوق كرتون.

ثلاث كؤوس ورقية صغيرة متماثلة.

200 كرة صغيرة.

مسطرة.

منشفة أو قطعة قماش كبيرة.



الخطوات

1. استخدم المسطرة لقياس طول وعرض الصندوق من الداخل. دوّن القياسات في جدول النتائج.
2. استخدم المسطرة لقياس قطر فوهة إحدى الكؤوس. دوّن القياس في جدول النتائج.
3. ضع الصندوق عند وسط المنشفة المطوية، بحيث تمتد المنشفة على الأقل 30 cm حول جوانب الصندوق.
4. ضع الكؤوس الورقية الثلاث عشوائيًّا على قاعدة الصندوق.
5. يقوم أحد زملائك بإسقاط 200 كرة صغيرة عشوائيًّا في الصندوق. تأكد أن يوزع زميلك الكرات الصغيرة بانتظام على مساحة الصندوق. لاحظ أن بعض الكرات الصغيرة قد تسقط خارج الصندوق على المنشفة.
6. احسب عدد الكرات الصغيرة التي سقطت في الكؤوس، ودوّن القيمة في جدول النتائج.

التحليل

1. احسب مساحة صندوق الكرتون. مساحة الشكل المستطيل تعطى بالمعادلة: المساحة = الطول × العرض.
2. احسب مساحة فوهة الكأس باستخدام القطر الذي قسته. مساحة الدائرة تعطى بالمعادلة:

$$\text{المساحة} = \frac{\pi\,(\text{القطر})^2}{4}$$

3. احسب المساحة الكلية للكؤوس؛ وذلك بضرب مساحة إحدى الكؤوس في العدد الكلي للكؤوس.
4. احسب النسبة المئوية المشغولة من الصندوق بالكؤوس الثلاث، وذلك بقسمة المساحة الكلية للكؤوس على مساحة الصندوق، ثم اضرب الناتج في العدد 100.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

جدول البيانات						
	بياناتك	بيانات المجموعة 2	بيانات المجموعة 3	بيانات المجموعة 4	بيانات المجموعة 5	متوسط الصف
طول الصندوق (cm)						
عرض الصندوق (cm)						
مساحة الصندوق (cm^2)						
القطر المقيس للكأس الورقية (cm)						
المساحة المحسوبة لفوهة الكأس (cm^2)						
العدد الكلي للكؤوس	3	3	3	3	3	3
المساحة الكلية المحسوبة لفوهات الكؤوس (cm^2)						
النسبة المئوية المحتلة للصندوق والمشغولة بالكؤوس (%)						
عدد الكرات الصغيرة الساقطة.	200	200	200	200	200	200
عدد الكرات الصغيرة في الكؤوس.						
النسبة المئوية للكرات الصغيرة في الكؤوس.						
النسبة المئوية للصندوق والمشغولة بالكؤوس اعتمادًا على الاحتمالات.						
المساحة الكلية لكؤوس اعتمادًا على الإحتمالات.						
عدد الكؤوس	3	3	3	3	3	3
مساحة كأس واحدة اعتمادًا على الاحتمالات (cm^2)						

5. احسب النسبة المئوية للكرات الصغيرة التي سقطت في الكأس بقسمة عدد الكرات الصغيرة في الكؤوس على عدد الكرات الصغيرة الساقطة، ثم اضرب الناتج في العدد 100.
6. حدد النسبة المئوية للصندوق والمشغولة بالكؤوس، اعتمادًا على الاحتمالات. لاحظ أن هذه النسبة المئوية (تشبيهًا) تمثل النسبة المئوية للكرات التي سقطت في الكؤوس.
7. احسب المساحة الكلية للكؤوس اعتمادًا على الاحتمالات. لحساب هذه القيمة أوجد حاصل ضرب النسبة المئوية للصندوق المشغولة بالكؤوس في مساحة الصندوق.
8. احسب مساحة كل كأس اعتمادًا على الاحتمالات. وذلك بإيجاد حاصل قسمة المساحة الكلية للكؤوس مقسومًا على ثلاثة.
9. دوّن نتائجك التجريبية من المجموعات الأخرى في جدول النتائج، ثم احسب معدلات الصف لجميع النتائج.
10. **تحليل الخطأ** قارن حساباتك لمساحة الكأس اعتمادًا على الاحتمالات (قيمة تجريبية) بمساحة الكأس المحسوبة من القطر المقيس (قيمة مقبولة). ما نسبة الخطأ المئوي في قيمتك اعتمادًا على الاحتمالات؟ احسب نسبة الخطأ المئوية مستخدمًا المعادلة التالية: النسبة المئوية للخطأ

$$= \frac{|\text{القيمة المقبولة} - \text{القيمة التجريبية}|}{\text{القيمة المقبولة}} \times 100$$

الاستنتاج والتطبيق

1. هل كنت قادرًا على تحديد دقيق للحيز الذي تشغله الكؤوس اعتمادًا على الاحتمالات؟ فسر ذلك من حيث نسبة الخطأ.
2. اكتب قائمة بمصادر محتملة للخطأ في هذه التجربة واصفًا تأثيرها في نتائجك.

التوسع في البحث

إذا استخدمت كؤوسًا ذات أحجام أكبر من الكؤوس التي استخدمتها في تجربتك، فهل تتوقع أن تحتاج إلى عددٍ أكبر من الكرات، أم عدد مساوٍ، أم عدد أقل من عدد الكرات التي استخدمتها لتحصل على نتائج أكثر دقة.

الفيزياء في الحياة

أجرى معلمك استطلاعًا في الصف من أجل تأجيل موعد امتحان. هل تعتمد دقة الاستطلاع على عدد الطلاب الذين تم استطلاعهم؟ وضح ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

ليزر الذرة Atom Laser

التطور الحديث تقنية الليزر الذري التي طُوّرت مؤخرًا لها مستقبل واعد. فبخلاف أجهزة الليزر التقليدية التي تصدر حزمًا أو نبضات من الفوتونات المترابطة، فإن الليزرات الذرية تصدر حزمًا أو نبضات من الذرات المترابطة. وكما سيتضح لاحقًا، فإن الفوتونات المترابطة تختلف عن الذرات المترابطة التي تكوّن المادة الطبيعية.

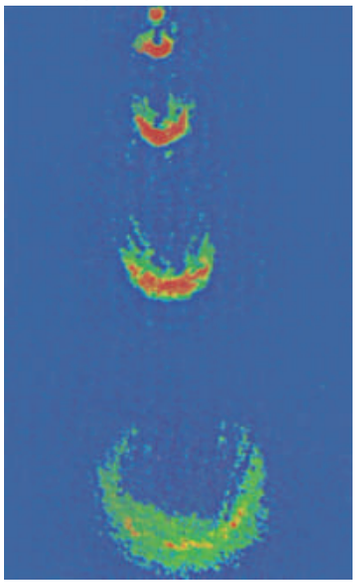
تاريخ توقع العالم برولي عام 1923م أن لجميع الجسيمات خصائص موجية، ويتناسب طولها الموجي عكسيًّا مع كتلة وسرعة الجسيم، وهو قصير جدًّا بحيث يصعب ملاحظته عند درجة حرارة الغرفة، لكن عند تبريد الذرة تقل سرعتها، ويزداد طولها الموجي.

بحث العالمان أينشتاين والعالم بوز في عام 1920م في جسيمات تسمى بوزونات. وقد توقعا أنه إذا كان بالإمكان تبريد البوزونات إلى أدنى مستوى طاقة ممكن فإن كل تلك الجسيمات سيكون لها نفس الطور والطول الموجي. أي أن هذه الجسيمات سيكون لها خصائص مترابطة. ويسمى الطور غير الطبيعي هذا تكاثف بوز-أينشتاين.

إن أول تكاثفات بوز- أينشتاين أُنتجت عام 1995م؛ حيث قام بإنتاجها العالمان إيرك كورنل وكارل ويمان، وقام بإنتاجها كذلك بشكل منفصل العالم فولجانج كيترل، الذي قام بإجراء بحث آخر، حيث وضع عينتين منفصلتين لتكاثف بوز-أينشتاين إحداهما بجانب الأخرى، ولاحظ أنماط التداخل من الذرات في هذه التكاثفات. فذهب إلى تأكيد أن جميع الذرات في حالة التكاثف لها نفس الطول الموجي والطور. وكانت الذرات في التكاثف مترابطة تمامًا، كما توقع ذلك كل من بوز وأينشتاين.

الليزر الذري الأول أعلن العالم كيترل ومساعدوه عام 1997م الخطوات الأولى في تطوير الليزر الذري؛ فقد طوّروا طريقة لقذف نبضات صغيرة (بين 100000 و 1000000 ذرة) من ذرات مترابطة من تكاثف بوز- أينشتاين في حزمة.

في هذا الليزر الذري الأول، يمكن لنبضات الذرات المترابطة الانتقال في اتجاه واحد فقط، بينما تسلك الذرات المنبعثة سلوك الجسيمات تمامًا، بحيث تتبع المسار القوسي إلى أسفل؛ نتيجة تأثير الجاذبية. وكما هو موضح في الصورة فإن الذرات المترابطة في كل نبضة تميل إلى الانتشار بعيدًا عندما تنتشر الحزمة.



يبعث الليزر الذري نبضات من ذرات الصوديوم المترابطة. تحتوي كل نبضة على 10^5 إلى 10^6 من الذرات، وتتسارع النبضات إلى أسفل نتيجة تأثير الجاذبية. وتنتشر النبضات بسبب تأثير قوى التنافر.

وفي عام 1999م وجد وليم فيلبس طريقةً لإرسال نبضات من الذرات المترابطة في أي اتجاه، وكيفية منع الذرات من الانتشار بعيدًا عندما تنتشر الحزمة. وبتكوين سلسلة من الحزم القصيرة جدًّا، استطاع فيلبس تكوين حزمة مستمرة من الذرات المترابطة.

المستقبل سيتم استخدام تكاثف بوز- أينشتاين والليزرات الذرية في دراسة الخصائص الأساسية لميكانيكا الكم والموجات المادية. ويتوقع العلماء أن تكون الليزرات الذرية مفيدة في صناعة الساعات الذرية العالية الدقة، وفي صناعة دوائر إلكترونية صغيرة. ويمكن أن تستخدم الليزرات الذرية أيضًا في علم القياس بالتداخل الضوئي الذري لقياس قوى التجاذب بدقة عالية، ولاختبار النسبية.

التوسع

1. **بحث** ابحث في ماهية الفيرميونات. وهل باستطاعتها تكوين تكاثف بوز- أينشتاين؟ (توضيح: انظر كيف يطبق مبدأ باول في الاستبعاد على الفيرميونات).
2. **التفكير الناقد** تعمل الليزرات الذرية في منطقة تفريغ عالية جدًّا. ترى، ما سبب صحة ذلك؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 4
دليل مراجعة الفصل

4–1 نموذج بور الذري The Bohr Model of the Atom

المفردات

- جسيمات ألفا
- نواة
- طيف الامتصاص
- مستوى الطاقة
- حالة الاستقرار
- حالة الإثارة
- عدد الكم الرئيس

المفاهيم الرئيسة

- قذف العالم إرنست راذرفورد جسيمات ألفا الموجبة الشحنة ذات السرعات العالية على صفيحة رقيقة من الذهب. ومن دراسته لمسارات الجسيمات المنحرفة استنتج أن معظم حجم الذرة فراغ. كذلك توقع وجود نواة ثقيلة وصغيرة جدًّا وذات شحنة موجبة في مركز الذرة.
- يمكن استخدام الطيف الناتج عن ذرات العنصر لتحديد عينة مجهولة من ذلك العنصر.
- إذا عبر ضوء أبيض خلال غاز فإن الغاز يمتص الأطوال الموجية نفسها التي سوف يبعثها عندما يثار. وإذا عبر الضوء بعد ذلك خلال منشور فإن طيف الامتصاص للغاز يكون مرئيًّا.
- أظهر نموذج نيلز بور للذرة بصورة صحيحة أن طاقة الذرة لها قيم محددة فقط، لذلك فإنها مكمّاة. وأن طاقة ذرة الهيدروجين في مستوى طاقة n تساوي حاصل ضرب $-13.6\ \text{eV}$ ومعكوس n^2.

$$E_n = -13.6\ \text{eV} \times \frac{1}{n^2}$$

- اعتمادًا على نموذج بور، ينتقل الإلكترون بين مستويات الطاقة المسموح بها، وهذه الطاقة تمتص أو تبعث على شكل فوتونات (موجات كهرومغناطيسية). وطاقة الفوتون تساوي الفرق بين الحالتين الابتدائية والنهائية للذرة.

$$E_{\text{فوتون}} = E_f - E_i$$

- اعتمادًا على نموذج بور، فإن نصف قطر مدار الإلكترون يكون له قيم محددة (مكمّاة). نصف قطر مدار الإلكترون في مستوى الطاقة n لذرة الهيدروجين يعطى بالمعادلة:

$$r_n = \frac{h^2 n^2}{4\pi^2 kmq^2}$$

4–2 النموذج الكمي للذرة The Quantum Model of the Atom

المفردات

- النموذج الكمي
- السحابة الإلكترونية
- ميكانيكا الكم
- الضوء المترابط
- الضوء غير المترابط
- الانبعاث المحفز
- الليزر

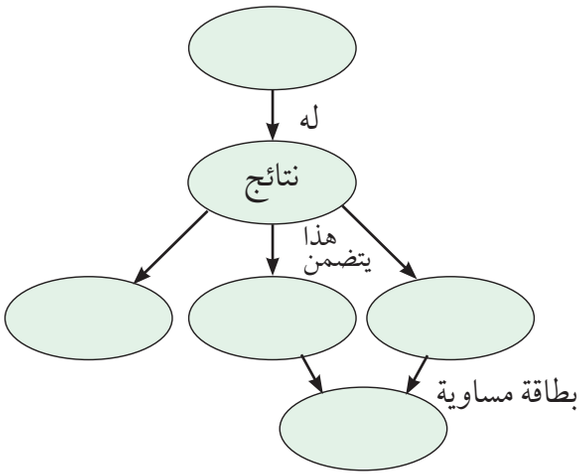
المفاهيم الرئيسة

- في النموذج الكمي- الميكانيكي للذرة، لطاقة الذرة قيم محددة فقط، قيم مكمّاة.
- في النموذج الكمي- الميكانيكي للذرة، يمكن تحديد احتمالية إيجاد الإلكترون في منطقة محددة فقط في ذرة الهيدروجين، فالمسافة الأكثر احتمالية للإلكترون عن النواة تساوي نصف قطر مستوى الإلكترون في نموذج بور.
- نجحت ميكانيكا الكم إلى حدٍّ كبير في تحديد خصائص الذرات والجزيئات والمواد الصلبة.
- تنتج أجهزة الليزر ضوءًا أحادي اللون ومترابطًا وموجهًا وذا طاقة عالية. وكل خاصية تمنح الليزر تطبيقات مفيدة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

خريطة المفاهيم

23. أكمل خريطة المفاهيم التالية مستخدمًا ما يلي: مستويات الطاقة، أقطار الإلكترون الثابتة، نموذج بور، انبعاث وامتصاص الفوتون، فرق مستوى الطاقة.



إتقان المفاهيم

24. وضح كيف حدد راذرفورد أن الشحنة الموجبة في الذرة متركزة في منطقة صغيرة جدًّا، وليست منتشرة في الذرة. (1–4)

25. كيف فسر نموذج بور سبب تضمن طيف الامتصاص للهيدروجين نفس ترددات طيف الانبعاث؟ (1–4)

26. . راجع النموذج النووي (نموذج الكواكب) للذرة. ما المشكلات المتعلقة بهذا النموذج؟ (1–4)

27. حلل وانتقد نموذج بور للذرة. ما الافتراضات الثلاثة التي قدمها بور لتطوير نموذجه؟ (1–4)

28. **أنابيب الغاز المفرغة** وضح كيف تنتج الأطياف الخطية في أنابيب الغاز المفرغة؟ (1–4)

29. كيف قدّم نموذج بور تفسيرًا للطيف المنبعث من الذرات؟ (1–4)

30. فسّر لماذا تختلف الأطياف الخطية الناتجة عن أنابيب التفريغ لغاز الهيدروجين عن تلك الأطياف الناتجة عن أنابيب التفريغ لغاز الهيليوم. (1–4)

31. **الليزرات** إن مصدر قدرة جهاز الليزر المختبري $0.8\ mW\ (8 \times 10^{-4}\ W)$ فقط. لماذا يبدو أنه أكثر قدرة من ضوء مصباح كهربائي 100 W؟ (2–4)

32. جهاز مشابه لليزر يبعث إشعاع موجات ميكروويف يسمى الميزر. ما الكلمات المرجعية التي تكوّن هذا الاختصار؟ (2–4)

33. ما خصائص ضوء الليزر التي أدت إلى استخدامه في أجهزة العرض الضوئية؟ (2–4)

تطبيق المفاهيم

34. يختلف مستوى التعقيد لمستويات الطاقة من ذرة إلى أخرى. كيف تتوقع أن يؤثر ذلك في الأطياف التي تنتجها؟

35. **الأضواء الشمالية** تحدث الأضواء الشمالية بواسطة جسيمات ذات طاقة عالية قادمة من الشمس عندما تصطدم بذرات في الغلاف الغازي للأرض. إذا نظرت إلى هذه الأضواء بمنظار طيفي فهل تشاهد طيفًا متصلاً، أم طيفًا خطيًّا؟ فسّر.

36. إذا انبعث ضوء أبيض من سطح الأرض وشاهده شخص من الفضاء، فهل يظهر الطيف بحيث يكون متصلاً؟ فسّر.

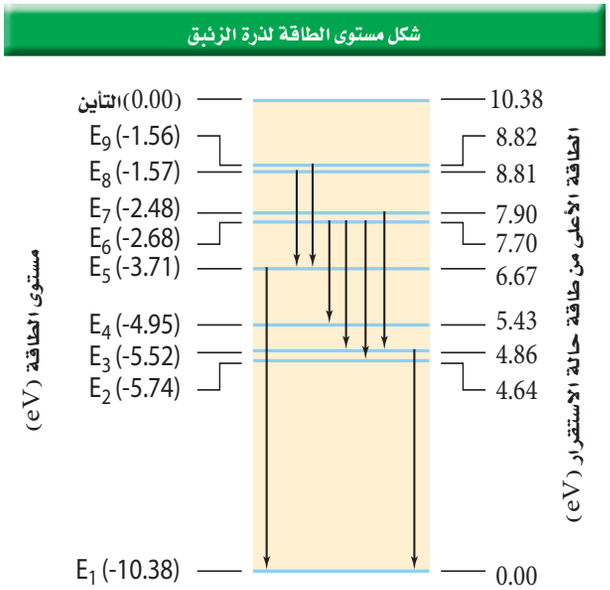
37. هل تعدّ قطع النقود مثالاً جيدًا للتكمية؟ هل يعدّ الماء كذلك؟ فسّر.

38. ذرة لها أربعة مستويات للطاقة، E_4 مستوى الطاقة الأعلى، و E_1 مستوى الطاقة الأدنى. إذا حدثت انتقالات بين أي مستويين للطاقة،فما الأطوال الموجية المختلفة التي تستطيع الذرة أن تبعثها؟ وما الانتقال الذي يبعث فوتونًا بأعلى طاقة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 4

39. من **الشكل 21–4**، يدخل فوتون طاقته 6.2 eV ذرة زئبق في حالة استقرار. هل تمتصه الذرة ؟ فسّر.



الشكل 21–4

40. ينبعث فوتون عندما ينتقل إلكترون ذرة الهيدروجين المثارة خلال مستويات طاقة أدنى. ما مقدار الطاقة العظمى التي يمكن أن تكون للفوتون؟ وإذا مُنحت كمية الطاقة هذه لذرة في حالة الاستقرار، فما الذي يحدث؟

41. قارن بين نظرية الكم الميكانيكية للذرة ونموذج بور.

42. أي الليزرات – الأحمر أو الأخضر أو الأزرق – ينتج فوتونات طاقتها أكبر؟

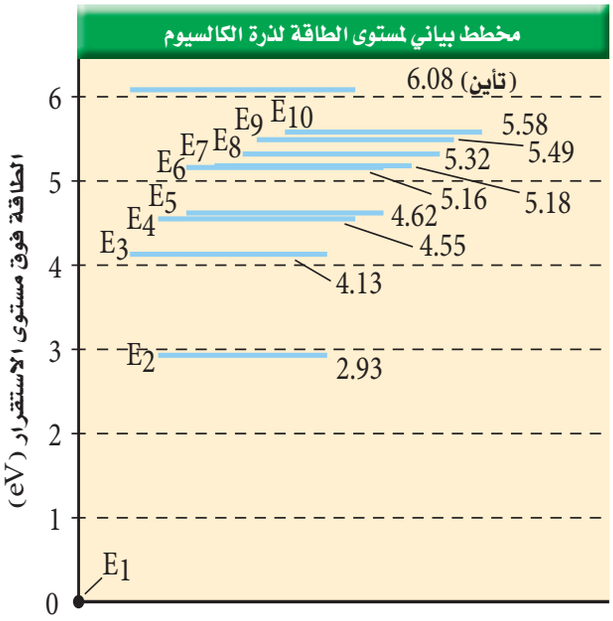
إتقان حل المسائل

4–1 نموذج بور الذري

43. ينتقل إلكترون ذرة كالسيوم من مستوى طاقة 5.16 eV فوق مستوى الاستقرار إلى مستوى طاقته 2.93 eV فوق مستوى الاستقرار. ما الطول الموجي للفوتون المنبعث؟

44. إذا دخل فوتون ضوء برتقالي طوله الموجي 6.00×10^{2} nm في ذرة كالسيوم مثارة عند مستوى الطاقة E_6 فتأينت الذرة، فما مقدار طاقة حركة الإلكترون المنبعث من الذرة؟ ارجع **للشكل 22–4**.

45. ذرة كالسيوم مثارة إلى مستوى طاقة E_2 طاقته 2.93 eV فوق مستوى الاستقرار. اصطدم بها فوتون طاقته 1.20 eV فامتصته. إلى أي مستوى طاقة تنتقل ذرة الكالسيوم؟ ارجع إلى **الشكل 22–4**.



الشكل 22–4

46. ذرة كالسيوم مثارة عند مستوى طاقة E_6. ما مقدار الطاقة المنبعثة عندما تسقط الذرة إلى مستوى الطاقة E_2؟ ارجع إلى **الشكل 22–4**.

47. احسب الطاقة المرتبطة بمستويات الطاقة E_7 و E_2 لذرة الهيدروجين.

48. احسب الفرق في مستويات الطاقة في المسألة السابقة.

ارجع إلى **الشكل 21–4** لحل المسألتين 49 و 50.

49. ذرة زئبق مثارة عند مستوى طاقة E_6.

a. ما مقدار الطاقة اللازمة لتأيين الذرة؟

b. ما مقدار الطاقة المتحررة عندما تسقط الذرة إلى مستوى الطاقة E_2؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 4

50. ذرة زئبق مثارة طاقتها 4.95 eV−، امتصت فوتونًا فأصبحت في مستوى الطاقة الأعلى التالي. ما مقدار طاقة الفوتون؟ وما مقدار تردده؟

51. مـا الطاقات المرتبطـة مع مسـتويات الطاقة لذرة الهيدروجين E_2 ، E_3 ، E_4 ، E_5 و E_6؟

52. باستخدام القيم المحسـوبة في المسألة 51، احسب فروق الطاقة بين مستويات الطاقة التالية:

a. $E_6 - E_5$

b. $E_6 - E_3$

c. $E_4 - E_2$

d. $E_5 - E_2$

e. $E_5 - E_3$

53. استخدم القيم في المسألة 52 لحساب تردد الفوتونات المنبعثـة عندما ينجـز إلكـترون ذرة الهيدروجين تغيرات في مستويات الطاقة المذكورة أعلاه.

54. احسـب الطول الموجي للفوتونات ذات الترددات التي قمت بحسابها في المسألة 53.

55. تبعـث ذرة هيدروجـين فوتونًـا طولـه الموجي 94.3 nm عندما تصل إلى حالة الاستقرار. من أي مستوى طاقة انتقل إلكترونها؟

56. ذرة هيدروجين مثارة إلى $n = 3$. وفق نموذج بور، أوجد كلًّا مما يلي:

a. نصف قطر المستوى.

b. القوة الكهربائية بين البروتون والإلكترون.

c. التسارع المركزي للإلكترون.

d. السرعة الدورانية للإلكـترون (قارن بين هذه السرعة وسرعة الضوء).

4–2 نموذج الذرة الكمي

57. **مشغل القرص المدمج CD** تستخدم ليزرات زرنيخات الجاليوم كثيرًا في مشغلات القرص المدمج. إذا بعث مثل هذا الليـزر عند طول موجـي 840 nm، فما مقدار الفرق بوحدة eV بين مستويات الطاقة ؟

58. أُدخل ليزر GaInNi بين مسـتويات طاقة مفصولة بطاقة مقدارها 2.90 eV.

a. ما الطول الموجي للضوء المنبعث من الليزر؟

b. في أي جزء من الطيف يقع هذا الضوء؟

59. ينبعـث ليزر ثاني أكسـيد الكربون بفوتون أشـعة تحت حمراء طاقتـه عالية جدًّا. ما مقدار فرق الطاقة بوحدة eV بين مستويات الطاقة الليزرية؟ ارجع إلى **الجدول 1–4**.

60. طاقة حزمة ليزر تسـاوي حاصل ضرب طاقة كل فوتون منبعث في عدد الفوتونات لكل ثانية.

a. إذا أردت الحصـول على ليزر عند طول موجي 840 nm بحيث يكون له القدرة نفسـها لليزر طول موجته 427 nm، فكم مرة يتضاعف عدد الفوتونات في كل ثانية؟

b. أوجد عدد الفوتونات لكل ثانية في ليزر قدرته 5.0 m W وطوله الموجي 840 nm.

61. **ليـزرات HeNe** يمكـن صنع الليـزرات HeNe المسـتخدمة بوصفهـا مـؤشرات يسـتخدمها المحاضرون، بحيث تنتج ليزرًا عند الأطوال الموجية الثلاثة: 1152.3 nm، 543.4 nm، 632.8 nm.

a. أوجد فرق الطاقة بين كل وضعين متضمنين في حزمة كل طول موجي.

b. حدد لون كل طول موجي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 4

مراجعة عامة

62. يدخل فوتون طاقته 14.0 eV ذرة هيدروجين في حالة الاستقرار فيؤينها. ما مقدار الطاقة الحركية للإلكترون المتحرر من الذرة؟

63. احسب نصف قطر المستوى لكل من مستويي الطاقة E_5 و E_6 لذرة الهيدروجين.

64. ذرة هيدروجين في المستوى $n = 2$:

a. إذا اصطدم فوتون طوله الموجي 332 nm بهذه الذرة فهل تتأين؟ وضح ذلك.

b. عندما تتأين الذرة، افترض أن إلكترونًا يكتسب الطاقة الزائدة عن التأين، فكم تكون الطاقة الحركية للإلكترون بوحدة الجول؟

65. وُجهت حزمة من الإلكترونات إلى عينة من غاز الهيدروجين الذري. ما أقل طاقة للإلكترونات تلزم لينبعث ضوء أحمر ينتج عندما ينتقل إلكترون ذرة الهيدروجين من مستوى الطاقة $n = 3$ إلى مستوى الطاقة $n = 2$؟

66. تَستخدم أكثر تجارب المطياف دقة تقنيات (فوتونين)؛ حيث يوجَّه فوتونان بأطوال موجية متكافئة على ذرات الهدف من اتجاهين متعاكسين. كل فوتون له نصف الطاقة اللازمة لإثارة الذرات من حالة الاستقرار إلى مستوى الطاقة اللازم. ما طول موجة الليزر الذي يلزم لإنجاز دراسة دقيقة لفرق الطاقة بين $n = 1$ و $n = 2$ في الهيدروجين؟

التفكير الناقد

67. **تطبيق المفاهيم** يوضح **الشكل 23-4** نتيجة إسقاط طيف مصباح غاز الزئبق ذي الضغط العالي على حائط في غرفة مظلمة. ما فروق الطاقة لكل من الخطوط المرئية الثلاثة؟

الشكل 23-4

68. **تفسير الرسوم التوضيحية** بعد انبعاث الفوتونات المرئية التي تم وصفها في المسألة 67، تستمر ذرة الزئبق في بعث فوتونات حتى تصل إلى حالة الاستقرار. من خلال اختبار **الشكل 22-4** حدد ما إذا كانت هذه الفوتونات مرئية أم لا. فسر ذلك.

69. **التحليل والاستنتاج:** تتكون ذرة البوزوترونيوم من إلكترون وضديد مادتها النسبي (بوزترون) يرتبطان معًا. وعلى الرغم من أن فترة الحياة لهذه الذرة قصيرة جدًّا (معدل فترة حياتها $\frac{+1}{7}$ μ s) فإنه يمكن قياس مستويات طاقتها. يمكن استخدام نموذج بور لحساب الطاقات مع استبدال كتلة الإلكترون بمقدار نصف كتلتها. صف كيف تتأثر أقطار المستويات والطاقة لكل مستوى. كم يكون الطول الموجي عند الانتقال من E_2 إلى E_1؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 4

الكتابة في الفيزياء

70. اكتب بحثًا عن تاريخ تطور نماذج الذرة. واصفًا كل نموذج باختصار، ومحددًا أوجه القوة والضعف فيه.

71. بعث مؤشر ليزر أخضر ضوءًا طوله الموجي 532 nm. اكتب بحثًا في نوع الليزر الذي استخدم في هذا النوع من المؤشرات، وصف طريقة عمله، وحدّد ما إذا كان الليزر على شكل نبضات أم مستمرًا.

مراجعة تراكمية

72. فكِّر في التعديلات التي يحتاج إليها تومسون ليجعل أنبوبه يسارع بروتونات بالإضافة إلى الإلكترونات، ثم أجب عن الأسئلة التالية: (الفصل 2)

a. لتحديد جسيمات لها السرعة نفسها، هل ستتغير النسبة $\frac{E}{B}$؟ فسر ذلك.

b. للمحافظة على الانحراف نفسه الذي يسببه المجال المغناطيسي، هل يجب أن يكون المجال المغناطيسي أكبر أم أقل؟ فسر ذلك.

73. جهد الإيقاف اللازم لاستعادة جميع الإلكترونات المنبعثة من فلز 7.3 V. ما مقدار الطاقة الحركية القصوى للإلكترونات بوحدة الجول؟ (الفصل 3)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. أي نماذج الذرة الآتية تعتمد على تجربة صفيحة الذهب الرقيقة لراذرفورد؟

(A) نموذج بور

(B) النموذج النووي

(C) نموذج فطيرة الخوخ

(D) النموذج الكمي الميكانيكي

2. تبعث ذرة زئبق ضوءًا طول موجته 405 nm. ما مقدار فرق الطاقة بين مستويي الطاقة في هذا الانبعاث؟

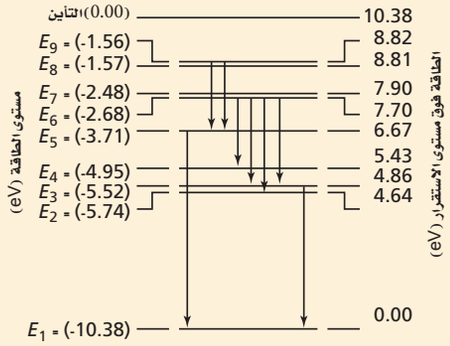
(A) 0.22 eV (C) 3.06 eV

(B) 2.14 eV (D) 4.05 eV

3. يبيّن الرسم أدناه مستويات طاقة ذرة الزئبق. ما طول موجة الضوء المنبعث عندما تحدث تحولات في الذرة من مستوى الطاقة E_7 إلى المستوى E_4؟

(A) 167 nm (C) 500 nm

(B) 251 nm (D) 502 nm



4. أي الجمل الآتية عن النموذج الكمي للذرة غير صحيحة؟

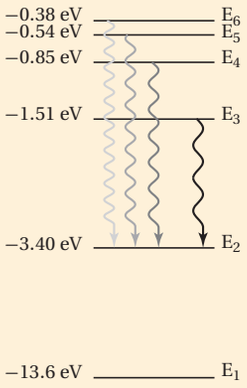
(A) مستويات الطاقة المسموح بها للذرة مكماة.

(B) مواقع الإلكترونات حول النواة معروفة بدقة.

(C) تحدد سحابة الإلكترون المساحة التي يحتمل أن يوجد فيها الإلكترون.

(D) ترتبط مستويات الإلكترون المستقرة مع طول موجة دي برولي.

لحل المسألتين 5 و 6 ارجع إلى الرسم التوضيحي الذي يبين سلسلة بالمر لانتقال الإلكترون في ذرة الهيدروجين.



5. أي تحوّل مسؤول عن انبعاث ضوء بأكبر تردد؟

(A) E_5 إلى E_2 (C) E_6 إلى E_3

(B) E_2 إلى E_3 (D) E_2 إلى E_6

6. ما مقدار تردد خط سلسلة بالمر المرتبط بتحول مستوى الطاقة من E_4 إلى E_2؟

(لاحظ أن $1\ eV = 1.60 \times 10^{-19}\ J$)

(A) 2.55×10^{14} Hz (C) 6.15×10^{14} Hz

(B) 4.32×10^{14} Hz (D) 1.08×10^{15} Hz

الأسئلة الممتدة

7. حدد الطول الموجي للضوء المنبعث عندما تنجز ذرة الهيدروجين تحوّلاً من مستوى طاقة $n = 5$ إلى مستوى طاقة $n = 2$؟

✓ إرشاد

التعثر ليس كالسقوط

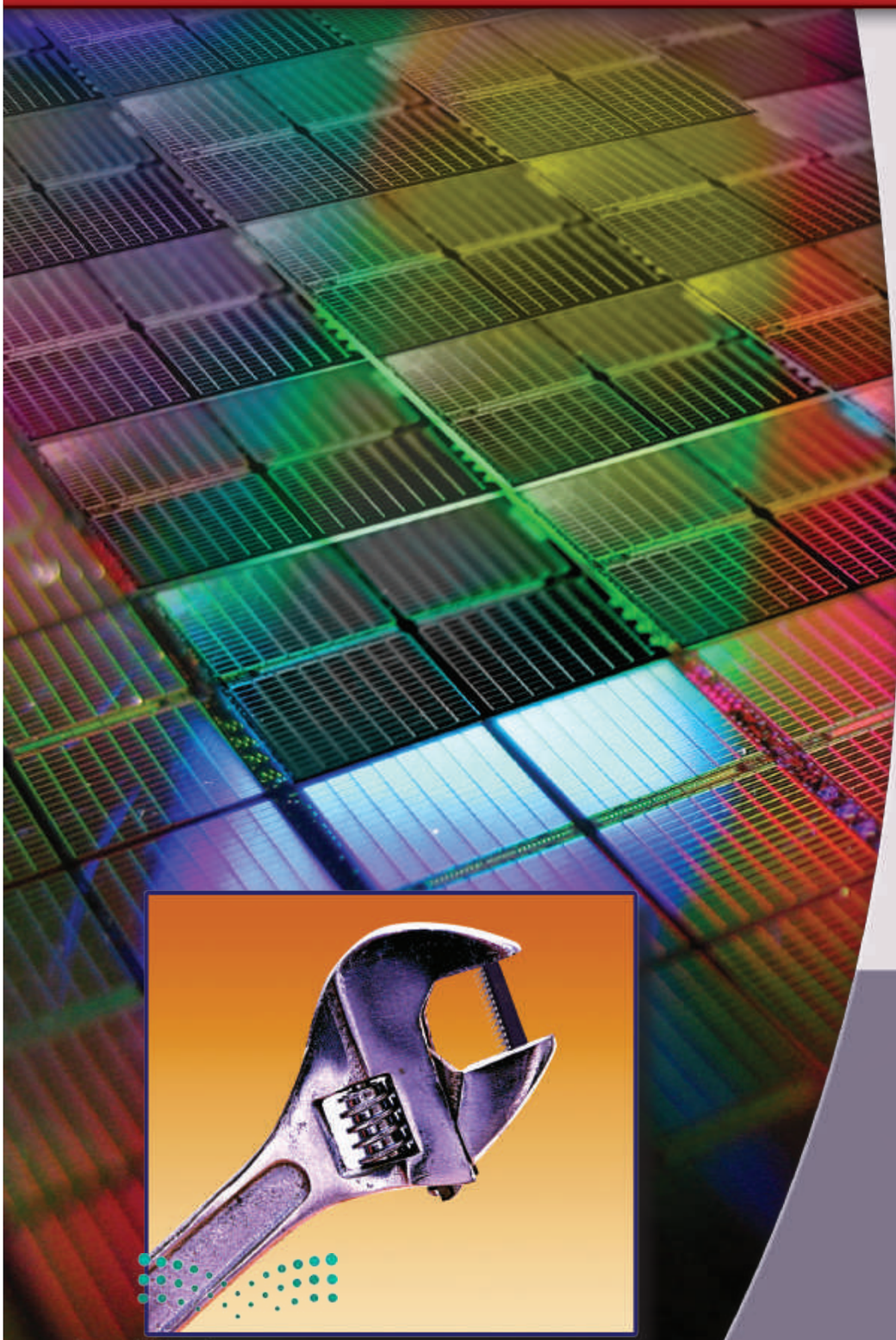
أحيانًا قد تواجه سؤالاً ليس لديك فكرة عن إجابته، وحتى بعد أن تقرأ السؤال عدة مرات قد لا تتكون عندك فكرة منطقية عن الإجابة. إذا كان السؤال من نوع الاختيار من متعدد، فركِّز على جزء من السؤال تعرف شيئًا عنه، واستثنِ أكبر عدد ممكن من الخيارات، واختر أحد الخيارات المتبقية، وانتقل إلى سؤال آخر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 5

إلكترونيات الحالة الصلبة

Solid–State Electronics



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- التمييز بين الموصلات وأشباه الموصلات والعوازل الكهربائية.
- معرفة كيفية تعديل أشباه الموصلات النقية لإكسابها خصائص كهربائية معينة.
- المقارنة بين الدايودات والترانزستورات.

الأهمية

لأشباه الموصلات خصائص كهربائية تمكنها من العمل موصلاتٍ في اتجاه واحد لتضخيم الإشارات الكهربائية الضعيفة في العديد من الأجهزة الإلكترونية الشائعة.

الرياضيات السريعة تستخدم أجهزة الحاسوب والأدوات الإلكترونية الحركة المضبوطة لكل من الإلكترونات والفجوات في أشباه الموصلات لتنفيذ العمليات الحسابية والمنطقية بسرعة.

فكِّر

قد تكون رقاقة السليكون الميكروية صغيرة، إلا أنها قد تحتوي على الملايين من المقاومات والدايودات والترانزستورات. فكيف يمكن لهذا المستوى من التعقيد أن يوجد في مثل هذا التركيب الصغير؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

كيف يوصل الدايود الكهرباء؟

سؤال التجربة ما طريقة توصيل دايود مشع لضوء ثنائي اللون؟

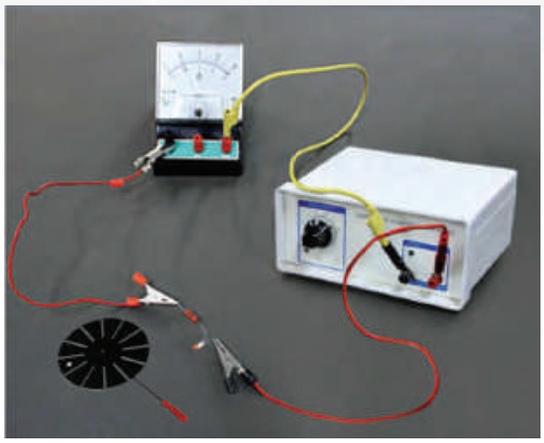
الخطوات

1. احصل على دايود مشع للضوء ذي لونين (أحمر-أخضر) ومصدر جهد كهربائي متناوب 9–12 V أو محوّل كهربائي.
2. صل مقاوم 100 Ω والدايود على التوالي مع مصدر الجهد.
3. احذر عند توصيل مصدر الجهد لكيلا تتعرض لصدمة كهربائية، ولا تلمس المقاوم لأنه قد يكون ساخنًا. صل مصدر الجهد بمقبس موصول به قاطع التفريغ الأرضي.
4. دوّن ملاحظاتك عن الدايود المشع للضوء.
5. ضع قرص ستروبوسكوب أمام الدايود ودوّره، ثم دوّن ملاحظاتك عن الدايود المشع للضوء عندما تشاهده من خلال القرص.

التحليل

كيف أصبح لون الدايود المشع للضوء بعد أن وصلته بمصدر الجهد؟ ما اللون الذي شاهدته للدايود عندما نظرت إليه من خلال قرص الستروبوسكوب؟

التفكير الناقد اقترح تفسيرًا محتملاً لملاحظاتك.



5–1 التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة Conduction in Solids

الأهداف

- تصف حركة الإلكترون في الموصلات وأشباه الموصلات الكهربائية.
- تقارن بين أشباه الموصلات من النوع السالب (n) وأشباه الموصلات من النوع الموجب (p).

المفردات

أشباه الموصلات
نظرية الأحزمة
أشباه الموصلات النقية
الشوائب
أشباه الموصلات غير النقية

لا تعتمد الأدوات الإلكترونية على الموصلات والعوازل الطبيعية فقط، ولكنها تعتمد أيضًا على مواد أخرى صممت وأنتجت بجهد وعمل مشترك من العلماء والمهندسين. سوف يبدأ هذا الفصل بدراسة كيفية توصيل المواد للكهرباء.

يعود الفضل في عمل جميع الأدوات الإلكترونية إلى أنابيب التفريغ التي استخدمت في بدايات القرن العشرين؛ حيث تتدفق الإلكترونات خلال الفراغ في أنابيب التفريغ لتكبير الإشارات الكهربائية الضعيفة وضبطها. وكانت أنابيب الغازات المفرغة المستخدمة كبيرة، مما يتطلب قدرة كهربائية كبيرة، وبسبب احتوائها على فتائل التسخين فهي تنتج كمية كبيرة من الحرارة، مما يتطلب استبدالها خلال سنة إلى خمس سنوات.

في أواخر الأربعينيات من القرن الماضي اختُرعت أدوات الحالة الصلبة، والتي يمكن أن تقوم بوظيفة أنابيب التفريغ نفسها. وصُنعت هذه الأدوات من مواد تعرف **بأشباه الموصلات**، ومنها: السليكون والجرمانيوم.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

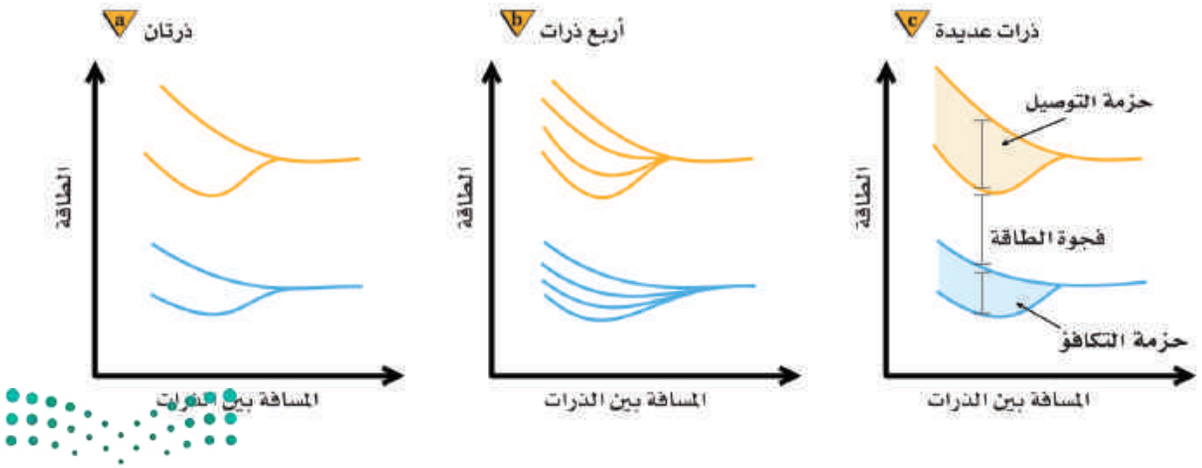
وتعمل هذه الأدوات على تضخيم الإشـــارات الكهربائيـــة الضعيفة جدًّا وضبطها، من خلال حركـــة الإلكترونات داخل منطقة بلورية صغيرة. وتعمل الأدوات المصنوعة من أشـــباه الموصلات بقدرة كهربائية صغيرة، وذلك بسبب قلة عدد الإلكترونات المتدفقة خلالهـــا، بالإضافة إلى أنها لا تحتوي على فتائل. وهذه الأدوات صغيرة جدًّا، ولا تولّد حـــرارة كبيرة، وتكلفة صناعتها قليلة، ويقدّر عمرها الافتراضي بعشـــرين عامًا أو أكثر.

نظرية الأحزمة للمواد الصلبة Band Theory of Solids

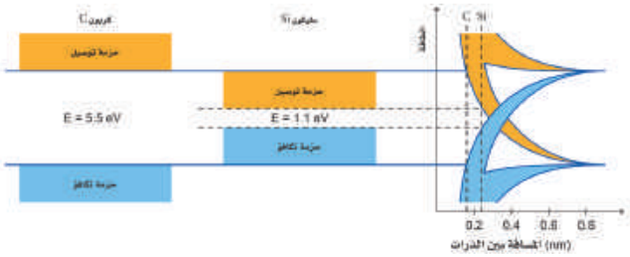
تتحرك الشـــحنات الكهربائية بســـهولة في الموصلات، في حيـــن لا تتحرك كذلك في العـــوازل. وعندما تختبر هذين النوعين من المواد على المســـتوى الذريّ يصبح الفرق بينهما – من حيث مقدرتهما على نقل الشحنات – أكثر وضوحًا.

كذلك تتكون المواد الصلبة البلورية مـــن ذرات مرتبطة معًا بترتيبات منتظمة، وتتكوّن الذرة من نواة كثيفة موجبة الشـــحنة محاطة بســـحابة من الإلكترونات ســـالبة الشحنة. وتوجد هذه الإلكترونات في مســـتويات طاقة محددة مســـموح بهـــا فقط. وفي معظم الظروف تشـــغل الإلكترونات في الذرة أدنى مســـتويات ممكنة للطاقة، ويشار إلى هذا بحالة الاســـتقرار. ولأن الإلكترونات لها كم محدد من الطاقة فإن أي تغيرات في الطاقة تكون مكماة؛ أي أن تغيرات الطاقة تحدث بكميات محددة.

حزم الطاقة افترض أنه يمكنك تكوين مادة صلبة عن طريق تجميع ذرات بعضها مع بعض الواحدة تلو الأخرى، فإن عليك أن تبدأ بذرة في حالة استقرار. وعندما تبدأ البلورة الصلبة في التشكل بتقريب ذرات إلى الذرة الأولى كما في **الشكل 1–5**، فإن المجالات الكهربائية لهذه الذرات تؤثر في مســـتويات طاقة إلكتروناتها، وتكون النتيجة أن مستويات الطاقة لحالة الاســـتقرار في كل ذرة في البلورة الصلبة تتجزأ إلى مستويات طاقة متعددة بسبب المجالات الكهربائية للذرات المجاورة لها. ولذلك سيوجد الكثير من هذه المستويات



الشكل 1–5 تتجزأ مستويات الطاقة الخارجية لذرتين عند تقاربهما من بعضهما (a)، وبالتالي ينتج عن تقارب اربع ذرات مضاعفة هذه التجزئات(b)، وعند تقارب مجموعة أكبر من الذرات تصبح مستويات الطاقة متقاربة جدا لازدياد عدد التجزئات فيمكن تمثيلها بحزم طاقة؛ كما تتشكل أيضا فجوة طاقة بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل(c)



الشكل 2–5 مقارنة فجوة الطاقة بين السيلكون البلوري والكربون البلوري (الألماس)

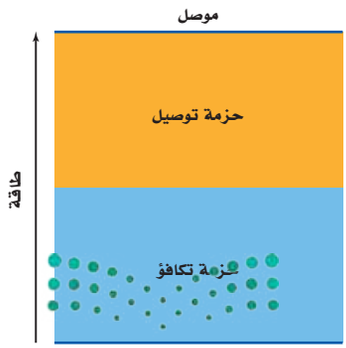
القريبة جدًّا بعضها إلى بعض، التي لا تبدو منفصلة، ولكنها تظهر كحزم طاقة، وحزم الطاقة ذات مستويات الطاقة الدنيا أو حزم التكافؤ تكون مملوءة بإلكترونات مرتبطة في البلورة، أما مستويات الطاقة العليا أو حزم التوصيل فيكون انتقال الإلكترونات فيها من ذرة إلى أخرى متاحًا.

لاحظ من **الشكل 2 –5** أن الفواصل الذرية للسليكون البلوري والكربون البلوري (الألماس) تتحول إلى حزم تكافؤ وحزم توصيل يفصل بعضها عن بعض فجوات طاقة. ولا يوجد في هذه الفجوات مستويات طاقة متاحة للإلكترونات، لذا تسمى هذه الفجوات مناطق الطاقة الممنوعة أو المحظورة. ويسمى هذا الوصف لحزمتي التكافؤ والتوصيل المنفصلتين بفجوات الطاقة الممنوعة **نظرية الأحزمة** للمواد الصلبة، ويمكن استخدامها من أجل فهم أفضل للتوصيل الكهربائي. فمثلا يشير **الشكل 2 —5** إلى الحاجة إلى طاقة كبيرة لنقل إلكترونات التكافؤ من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل في حالة الكربون البلوري (التركيب الماسي)، مقارنة بالسليكون. ويعدّ الكربون في شكله الجرافيتي موصلاً جيدًا؛ لأن ترتيب الذرات فيه يمنحه فجوة طاقة أقل مقارنة بحالة الماس.

وللسليكون البلوري فجوة طاقة صغيرة مقارنة بفجوة الطاقة للماس. وعند درجة حرارة الصفر المطلق تكون حزمة تكافؤ السليكون مملوءة كليًّا بالإلكترونات، وتكون حزمة التوصيل فارغة تمامًا. أما عند درجة حرارة الغرفة، فيكون لعدد معين من إلكترونات التكافؤ طاقة حرارية كافية لتقفز هذه الإلكترونات عن الفجوة 1.1 eV لتصل إلى حزمة التوصيل، وتكوِّن نواقل للشحنة. وعندما تزداد درجة الحرارة، وتكتسب المزيد من الإلكترونات طاقة كافية للقفز عن الفجوة، تزداد موصلية السليكون. وللجرمانيوم فجوة طاقة مقدارها 0.7 eV، وهي أقل من فجوة طاقة السليكون، وهذا يعني أن الجرمانيوم أكثر موصلية من السليكون عند أي درجة حرارة، ويعني أيضًا أن الجرمانيوم حساس جدًّا للحرارة في معظم التطبيقات الإلكترونية. تسبب التغيرات الطفيفة نسبيًّا في درجة الحرارة تغيرات كبيرة في موصلية الجرمانيوم، مما يجعل عملية ضبط الدوائر الكهربائية واستقرارها أمرًا صعبًا.

وللرصاص فراغات تبلغ 0.27mm بين ذراته وهذا من شأنه أن يقود إلى توقع بأن الرصاص موصلًا جيدًا، وهوكذلك فعلًا وتعد المواد الي يوجد فيها تداخل بين حزمها المملؤة جزئياً مواد موصلة كما في **الشكل 3–5**.

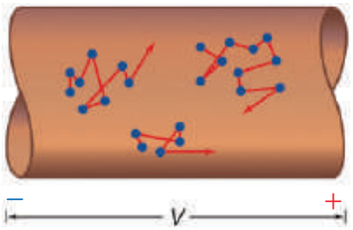
الشكل 3–5 في المادة جيدة التوصيل، تكون حزمة التوصيل مملوءة جزئيًا. وتبين المنطقة المظللة بالأزرق منطقة الطاقة المشغولة بالإلكترونات.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الموصلات الكهربائية Conductors

عند تطبيق فرق جهد عبر مـــادة ما يؤثر المجال الكهربائي الناتج بقوة في الإلكترونات، فتتسارع وتكتسب طاقة، وبذلك يبذل المجال شغلاً عليها. وعندما تكون حزم التوصيل مملوءة جزئيا في المادة تكون هناك مســتويات طاقة متاحــة طاقتها أكبر قليلاً من طاقة الإلكترونات في مستويات الاســتقرار. ونتيجة لذلك، فإن الإلكترونات التي اكتسبت طاقة من المجال الكهربائي يمكنها أن تتحرك من ذرة إلى الذرة التالية. وتســمى حركة الإلكترونات هذه التيار الكهربائي، وتعرف العملية كاملةً بالتوصيل الكهربائي. والمواد ذات الحزم المملوءة جزئيًّا كالفلزات – ومنها الألومنيوم والرصاص والنحاس – توصل الكهرباء بسهولة.



الشكل 4–5 تتحرك الإلكترونات في الموصل بسرعة وبصورة عشوائية. وإذا طبّق مجال كهربائي عبر السلك، فإن الإلكترونات تندفع نحو إحدى نهايتي السلك في اتجاه معاكس لاتجاه حركة التيار الاصطلاحي.

الحركة العشوائية تتحرك الإلكترونات في الموصلات بسرعة وبصورة عشوائية، حيث تتغيّر اتجاهاتها عندما تصطدم بالذرات. أما إذا طبّق مجال كهربائي على طول معين من ســلك فلزي فســتؤثر قوة محصلة تدفع الإلكترونات في اتجاه واحد. وعلى الرغم من أن حركتها لا تتأثر كثيرًا، إلا أنها تتحرك حركة بطيئة وموجهة بتأثير المجال الكهربائي، كما هو موضح في **الشــكل 4–5**. وتســتمر الإلكترونات في التحرك بسرعة $10^{6}\ m/s$ في اتجاهات عشــوائية، وتتحرك ببطء شديد بسرعة تساوي $10^{-5}\ m/s$ أو أقل في اتجاه النهاية الموجبة للســلك. ويسمى هذا النموذج من الموصلات نموذج إلكترون – غاز. وعندمــا ترتفع درجة الحــرارة تزداد ســرعة الإلكترونات، ومن ثم تــزداد تصادماتها بالذرات. لــذا فإنه عندما ترتفع درجة حرارة الفلز فــإن موصليته تقل. والموصلية هي مقلوب المقاومية، لذا كلما قلت موصلية المادة ازدادت مقاومتها.

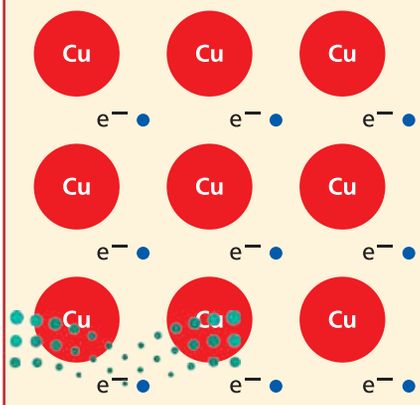
مثــال 1

كثافة الإلكترونات الحرة في موصل مـا عـدد الإلكترونات الحــرة في السنتمتر المكعب من النحـاس $(free\ e^{-}/cm^{3})$؟ علــما بأن كثافة النحاس $\rho = 8.96\ g/cm^{3}$، والكتلة الذرية للنحــاس $M = 63.54\ g/mol$، وعدد الذرات في كل مول نحاس $N_A = 6.02\times10^{23}\ atom/mol$ وأن كل ذرة تشارك بإلكترون واحد.

1 تحليل المسألة ورسمها

- حدد القيم المعلومة والقيم المجهولة.

المعلوم	المجهول
للنحاس: إلكترون حر واحد e^{-} في كل ذرة $\rho = 8.96\ g/cm^{3}$ $M = 63.54\ g/mol$ $N_A = 6.02\times10^{23}\ atom/mol$	$free\ e^{-}/cm^{3} = ?$



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

2 إيجاد الكمية المجهولة

دليل الرياضيات

حساب الوحدات.

بالتعويض

$$\frac{\text{free } e^-}{cm^3} = \frac{(\text{free } e^-)}{\text{atom}} (N_A)(\frac{1}{M})(\rho)$$

$$= (\frac{1 \text{ free } e^-}{1 \text{ atom}}) (\frac{6.02\times10^{23} \text{ atoms}}{1 \text{ mol}}) (\frac{1 \text{ mol}}{63.54 \text{ g}})(\frac{8.96 \text{ g}}{1 \text{ cm}^3})$$

$$= 8.49\times10^{22} \text{ free } e^-/cm^3 \text{ في النحاس}$$

$\text{free } e^-/1 \text{ atom} = 1 \text{ free } e^-/1 \text{ atom}$

$N_A = 6.02\times10^{23} \text{ Atoms/mol}$

$M = 63.54 \text{ g/mol}$

$\rho = 8.96 \text{ g/cm}^3$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يؤكد تحليل الوحدات على تحديد عدد الإلكترونات الحرة في كل cm^3 بدقة.
- **هل الجواب منطقي؟** يُتوقع وجود عدد كبير من الإلكترونات في cm^3.

مسائل تدريبية

1. إذا علمت أن كثافة عنصر الخارصين 7.13 g/cm^3 وكتلته الذرية 65.37 g/mol. وله إلكترونان حران في كل ذرة، فما عدد الإلكترونات الحرة في كل سنتمتر مكعب من الخارصين؟
2. إذا علمت أن هناك إلكترونًا حرًّا واحدًا في كل ذرة لعنصر الفضة فاستخدم ملحق كثافة المواد الشائعة وملحق الجدول الدوري، واحسب عدد الإلكترونات الحرة في كل سنتمتر مكعب من الفضة.
3. لعنصر الذهب إلكترون واحد حر في كل ذرة. استخدم ملحق كثافة المواد الشائعة وملحق الجدول الدوري، واحسب عدد الإلكترونات الحرة في كل سنتمتر مكعب من الذهب.
4. لعنصر الألومنيوم ثلاثة إلكترونات حرة في كل ذرة. استخدم ملحق كثافة المواد الشائعة وملحق الجدول الدوري، واحسب عدد الإلكترونات الحرة في كل سنتمتر مكعب من الألومنيوم.
5. صنعت قمة نصب تذكاري من 2835g من الألومنيوم. استخدم المسألة السابقة وحدد عدد الإلكترونات الحرة في قمة هذا النصب.

العوازل Insulators

تكون حزمة التكافؤ في المادة العازلة مملوءة، في حين تكون حزمة التوصيل فارغة، ويتعين أن يكتسب الإلكترون كمية كبيرة من الطاقة لكي ينتقل إلى مستوى الطاقة التالي. وفي العوازل يكون أدنى مستوى للطاقة في حزمة التوصيل فوق أعلى مستوى للطاقة في حزمة التكافؤ بمقدار 5–10 eV ، كما هو موضح في **الشكل 5a–5**. وتوجد في العوازل فجوات طاقة مقدارها 5 eV على الأقل، وهذه الطاقة ليست لدى الإلكترونات.

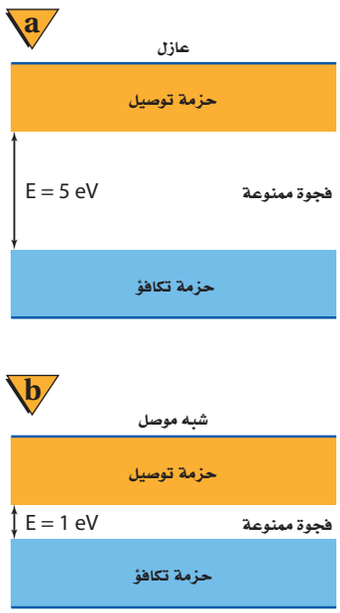
على الرغم من أن للإلكترونات بعض الطاقة الحركية الناتجة عن طاقتها الحرارية، إلا أن متوسط الطاقة الحركية للإلكترونات عند درجة حرارة الغرفة لا تكفيها لكي تقفز عن الفجوة الممنوعة. وإذا طبق مجال كهربائي صغير على عازل فإن الإلكترونات غالبًا لا تكتسب طاقة كافية للوصول إلى حزمة التوصيل، ولذلك لا يتولد تيار كهربائي. ولكي

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تنتقل الإلكترونات إلى حزمة التوصيل في العازل فإنه يجب أن تزود هذه الإلكترونات بكميـــة كبيرة من الطاقة. ونتيجة لذلك، فإن الإلكترونات في المادة العازلة تميل إلى أن تبقى في أماكنها، لذا فإن المادة العازلة لا توصل التيار الكهربائي.

أشباه الموصلات Semiconductors

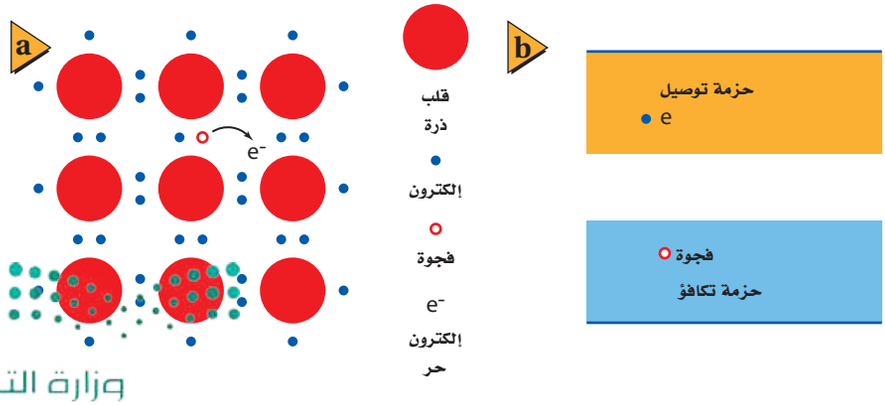
تتحـــرك الإلكترونـــات بحريـــة أكبر فـــي أشـــباه الموصـــلات مقارنـــة بحركتها في العـــوازل، ولكن حركتها ليســـت حـــرة كما في الموصـــلات. وكما هـــو موضح في **الشكل 5b–5**، فإن فجوة الطاقة بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل تساوي 1 eV تقريبًا. كيف يفسّر تركيب أشباه الموصلات خصائصها الإلكترونية؟ لذرات أشباه الموصلات الأكثر شـــيوعًا كالســـليكون Si والجرمانيوم Ge أربعة إلكترونات تكافؤ. وتساهم هذه الإلكترونات الأربعة في ربط الذرات معًا في المادة الصلبة البلورية. وتشكل إلكترونات التكافؤ حزمة مملوءة، كمـــا في العوازل، في حين تكون الفجـــوة الممنوعة بين حزمة التكافـــؤ وحزمة التوصيل أصغر كثيرًا مقارنة بالعوازل. ولذلك فإنَّ نقل أحد إلكترونات ذرة السليكون ووضعه في حزمة التوصيل لا يحتاج إلى طاقة كبيرة، كما هو موضح في **الشـــكل 6a–5**. وتكون الفجوة صغيرة جدًّا، بحيث يمكن لبعض الإلكترونات أن تصل إلى حزمة التوصيل نتيجة لطاقتها الحركيـــة الحرارية وحدها فقط. ولذلك فإن الحركة العشوائية للذرات والإلكترونات تزوّد بعض الإلكترونات بطاقة كافية للتحرر من ذراتها الأصلية وتتجول حول بلورة السليكون.



الشكل 5–5 يقارن بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل في المادة العازلة (**a**) وفي المادة شبه الموصلة (**b**). قارن هذه الرسوم التوضيحية بالرسم التوضيحي في **الشكل 3–5**.

وإذا طبّق مجال كهربائي على مادة شـــبه موصلة فإن الإلكترونات الموجودة في حزمة التوصيل تتحرك خلال المادة الصلبة بحســـب اتجاه المجال الكهربائي المطبّق. وعلى النقيـــض من التأثير في الفلـــزّ، فإن زيادة درجة حرارة أشـــباه الموصلات يزيد من عدد الإلكترونات القادرة على الوصول إلى حزمة التوصيل، ومن ثم تزداد الموصلية.

عندمـــا يتحرر إلكترون من ذرة يترك مكانه فجوة. وكما هو موضح في **الشـــكل 6b–5**، فإن الفجوة عبارة عن مستوى طاقة فارغ في حزمة التكافؤ، و تصبح الشحنة الكلية للذرة موجبة. ويمكن لإلكترون موجود في حزمة التوصيل أن يقفز داخل هذه الفجوة ليصبح



الشكل 6–5 لبعض الإلكترونات في أشباه الموصلات طاقة حركية حرارية كافية لكي تتحرر وتتجول خلال البلورة، كما هو موضح في التركيب البلوريّ (**a**) وفي الحزم (**b**).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مرتبطًــا مع الذرة مرة أخرى. وعندما يعاد اتحاد الفجوة مع الإلكترون الحر فإن شــحنتيهما المختلفتين تعادل كل منهما الأخرى.

غير أن الإلكترون ترك خلفه فجوة في موقعه السابق. لذا تتحرك الإلكترونات الحرة السالبة الشــحنة في اتجاه واحد، في حين تتحرك الفجوات الموجبة الشحنة في الاتجاه المعاكس. وتسمى أشــباه الموصلات النقية التي توصل نتيجة لتحرير الإلكترونات والفجوات حراريًّا **أشــباهَ الموصلات النقية**. ولأن عددًا قليلاً جدًا مــن الإلكترونات والفجوات متوافر لحمل الشــحنة فإن التوصيل في أشباه الموصلات النقية منخفض جدًا، مما يجعل مقاوماتها كبيرة جدًا.

مثــال 2

بعض الإلكترونات الحرة في أشباه الموصلات النقية بسبب الطاقة الحركية الحرارية للسليكون الصلب عند درجة حرارة الغرفة، فإنه يوجد 1.45×10^{10} إلكترون حر في كل cm^3. ما عدد الإلكترونات الحرة في كل ذرة سليكون عند درجة حرارة الغرفة؟ علمًا أن كثافة عنصر السليكون $2.33\ g/cm^3$، وكتلته الذرية $28.09\ g/mol$

1 تحليل المسألة ورسمها

- حدد القيم المعلومة والقيم المجهولة.

المعلوم

$\rho = 2.33\ g/cm^3$

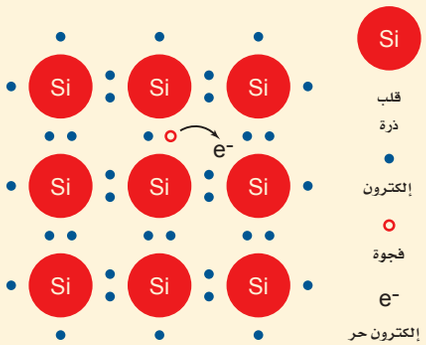
$M = 28.09\ g/mol$

$N_A = 6.02\times10^{23}\ atoms/mol$

للسليكون: $1.45\times10^{10}\ free\ e^-/cm^3$

المجهول

$free\ e^-/atom = \square$



دليل الرياضيات

إجراء العمليات الرياضية بدلالاتها العلمية.

2 إيجاد الكمية المجهولة

$$\frac{free\ e^-}{atom} = \left(\frac{1}{N_A}\right)(M)\left(\frac{1}{\rho}\right)\left(1.45\times10^{10}\ \frac{free\ e^-}{cm^3}\ \text{للسليكون}\right)$$

بالتعويض

$N_A = 6.02\times10^{23}\ atoms/mol$

$M = 28.09\ g/mol$

$\rho = 2.33\ g/cm^3$

$free\ e^-/cm^3\ Si = 1.45\times10^{10}\ free\ e^-/cm^3$

$$= \left(\frac{1\ mol}{6.02\times10^{23}\ atoms}\right)\left(\frac{28.09\ g}{1\ mol}\right)\left(\frac{1\ cm^3}{2.33\ g}\right)\left(\frac{1.45\times10^{10}\ free\ e^-}{cm^3}\right)$$

$= 2.90\times10^{-13}\ free\ e^-/atom$ للسليكون

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يؤكد تحليل الوحدات أن الوحدات صحيحة.
- **هل الجواب منطقي؟** في أشباه الموصلات النقية، كالسليكون مثلاً عند درجة حرارة الغرفة، يكون لعدد قليل جدًا من الذرات إلكترونات حرة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسائل تدريبية

6. كثافــة عنصر الجرمانيوم النقي $5.23\ g/cm^3$ وكتلته الذرية $72.6\ g/mol$. ويوجد فيه $2.25 \times 10^{13}\ free\ e^- / cm^3$ عند درجة حرارة الغرفة، ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في كل ذرة؟
7. لعنصر الســليكون $1.89 \times 10^5\ free\ e^- /cm^3$ عند درجة حرارة $200.0\ K$. ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في كل ذرة عند هذه الدرجة؟ كم تكافئ درجة الحرارة هذه بالسلسيوس؟
8. لعنصر السليكون $9.23 \times 10^{-10}\ free\ e^- /cm^3$ عند درجة حرارة $100.0\ K$. ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في كل ذرة عند هذه الدرجة ؟ كم تكافئ درجة الحرارة هذه بالسلسيوس؟
9. لعنصر الجرمانيوم $1.16 \times 10^{10}\ free\ e^- /cm^3$ عند درجة حرارة $200.0\ k$. ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في كل ذرة عند هذه الدرجة؟
10. لعنصر الجرمانيوم $3.47\ free\ e^- /cm^3$ عند درجة حرارة $100.0\ K$. ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في كل ذرة عند هذه الدرجة ؟

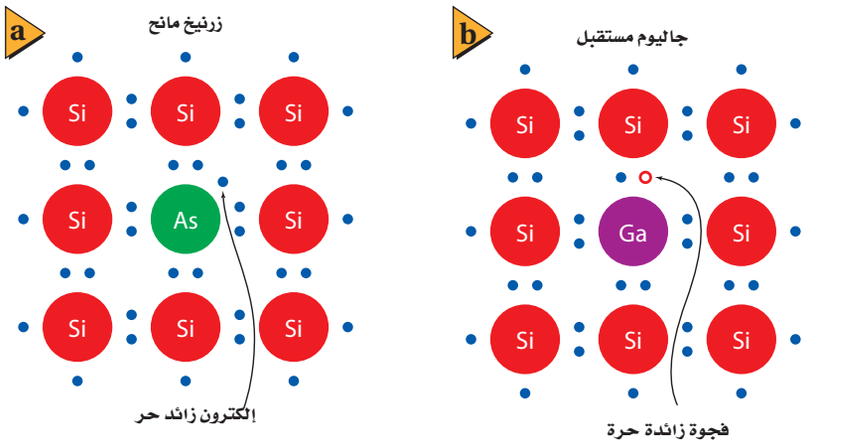
أشباه الموصلات المعالجة Doped Semiconductors

يجب أن تزداد موصلية أشباه الموصلات النقية بمقدار كبير من أجل صنع أدوات عملية. لذا تضاف ذرات مانحة أو مســتقبلة للإلكترونات بتراكيز قليلة إلى أشــباه الموصلات النقية تسمى **الشوائب**، تعمل على زيادة موصليتها، وذلك بتوفير إلكترونات أو فجوات إضافية. وأشــباه الموصلات التي تعالج بإضافة شــوائب تسمى **أشباه الموصلات غير النقية (المعالج)**.

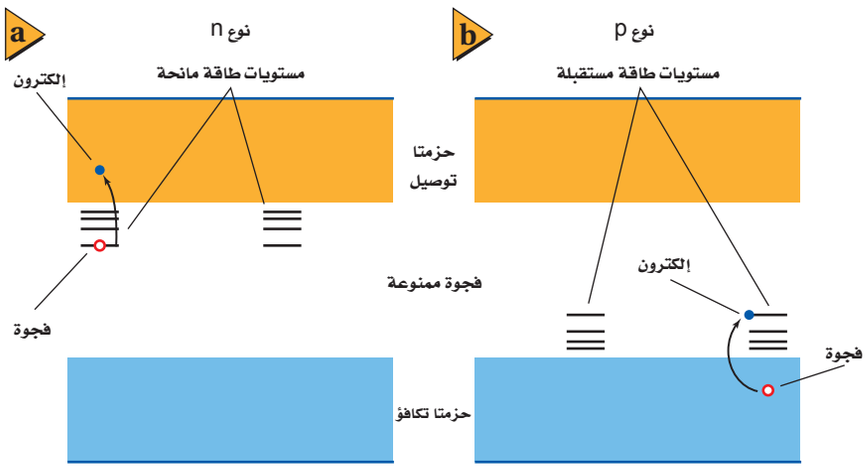
أشباه الموصلات من النوع السالب (n) إذا كانت المادة المانحة لإلكترون ما خماسية التكافؤ كالزرنيخ As الذي يســتخدم في معالجة الســليكون، فإن الناتج يكون مادة شــبه موصلة من النوع السالب (n). ويوضح **الشكل 7a–5** الموقع الذي احتلته الذرة المعالجة As محل إحدى ذرات السليكون Si في بلورة السليكون. حيث ترتبط أربعة من إلكترونات التكافؤ الخمســة مع ذرات السليكون المجاورة. ويســمى الإلكترون الخامس لذرة As الإلكترون الحر. وتكون طاقة الإلكترون الحر قريبةً جدًّا من طاقة حزمة التوصيل، بحيث تكون الطاقة الحرارية كافية لنقل هذا الإلكترون بســهولة مــن الذرة المعالجة إلى حزمة التوصيل، كما هو موضح في **الشــكل 8a–5**. ويزداد توصيل أشباه الموصلات من النوع السالب (n) بتوافر عدد أكبر من هذه الإلكترونات المانحة وانتقالها إلى حزمة التوصيل.

أشباه الموصلات من النوع الموجب (p) إذا كانت المادة المستقبلة لإلكترون ما ثلاثية التكافؤ كالجاليوم Ga الذي يستخدم في معالجة السليكون، فإن الناتج يكون مادة مادة شبه موصلة من النوع الموجب (p). وعندما تحل ذرة الجاليوم Ga محل ذرة السليكون Si في بلورة السليكون ترتبط إلكترونات التكافؤ الثلاثة مع ذرات السليكون المجاورة، وينقص إلكترون واحد، مما يُحدث فجوة في بلورة السليكون كما هو موضح في **الشكل 5–7b**. ويمكن للإلكترونات في حزمة التكافؤ أن تسقط بسهولة في هذه الفجوات، محدثةً فجوات جديدة. ومما يعزّز التوصيل في أشباه الموصلات من النوع الموجب (p) وجود وفرة في الفجوات التي تنتجها ذرات المستقبل المعالج، كما موضح في **الشكل 5–8b**.

تكون كل من أشباه الموصلات من النوع p والنوع n متعادلة كهربائيًّا. وإضافة ذرات معالجة من كلا النوعين لا تضيف أي شحنة محصلة إلى المادة شبه الموصلة. وكلا النوعين من أشباه الموصلات يستخدمان الإلكترونات والفجوات في عملية التوصيل. ولا يتطلب سوى القليل من الذرات المعالجة لكل مليون ذرة سليكون مثلاً لزيادة موصلية أشباه الموصلات بمعامل مقداره 1000 أو أكثر.



الشكل 5–7 تحل ذرة الزرنيخ المانحة مع إلكترونات التكافؤ الخمسة الخاصة بها محل ذرة السليكون وتنتج إلكترونًا غير مرتبط في بلورة السليكون (**a**). وتنشئ ذرة الجاليوم المستقبلة مع إلكترونات التكافؤ الثلاثة الخاصة بها فجوة في البلورة (**b**).



الشكل 5–8 في النوع n من أشباه الموصلات (**a**)، مستويات الطاقة المانحة الإلكترونات تضع الإلكترونات في حزمة التوصيل. في النوع p من أشباه الموصلات (**b**)، تُنتج مستويات طاقة المستقبل فجوات في حزمة التكافؤ.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المجسات الحرارية إن الموصلية الكهربائية لأشباه الموصلات النقية وغير النقية حساسة لكل من درجة الحرارة والضوء، وبعكس الفلزّات التي تنخفض موصليتها بارتفاع درجة حرارتها، فإن زيادة درجة حرارة أشباه الموصلات تسمح بوصول المزيد من الإلكترونات إلى حزمة التوصيل، فتزداد الموصلية وتقل المقاومة. وقد صُمم جهاز شبه موصل سُمِّيَ المجس الحراري، بحيث تعتمد مقاومته بدرجة كبيرة على درجة الحرارة. ويمكن استخدام المجس الحراري مقياسًا حساسًا لدرجة الحرارة، وللكشف عن تغيرات درجة الحرارة للمكوّنات الأخرى للدائرة الكهربائية. ويمكن استخدامه أيضًا للكشف عن الموجات الراديوية والأشعة تحت الحمراء والأنواع الأخرى من الإشعاع.

مقاييس الضوء تعتمد التطبيقات المفيدة الأخرى لأشباه الموصلات على حساسيتها للضوء. فعندما يسقط الضوء على المادة شبه الموصلة، فإنه يعمل على إثارة إلكترونات حزمة التكافؤ، فتنقل إلى حزمة التوصيل بالطريقة نفسها التي تعمل بها مصادر الطاقة الأخرى على إثارة الذرات. وبذلك تتناقص المقاومة مع زيادة شدة الضوء. ويمكن تصميم أشباه الموصلات المعالجة للاستجابة لأطوال موجية محددة من الضوء، ويتضمن ذلك مناطق الأشعة تحت الحمراء ومنطقة الضوء المرئي من الطيف. بالإضافة إلى ذلك، تعدّ بعض المواد كالسليكون وكبريتيد الكادميوم مقاوِمات يعتمد مقدارها على الضوء، وتستخدم في مقاييس الضوء التي يستخدمها مهندسو الإضاءة في إنارة المحال التجارية والمكاتب والمنازل، ويستخدمها أيضًا المصورون الفوتوجرافيون لتعديل آلات التصوير لالتقاط أفضل الصور.

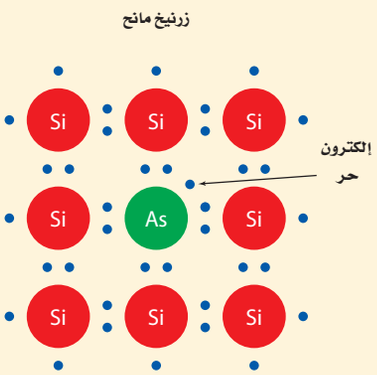
مثال 3

موصلية السليكون المُعالَج يعالج السليكون بفلزّ الزرنيخ، بحيث يُستبدل بذرة واحدة من كل مليون ذرة سليكون ذرة زرنيخ واحدة. وتمنح كل ذرة زرنيخ حزمة التوصيل إلكترونًا واحدًا.

a. ما عدد الإلكترونات الحرة في كل cm3؟

b. ما النسبة بين عدد الإلكترونات الحرة في السليكون غير النقي والسليكون النقي إذا علمت أن عددها للسليكون النقي 1.45×10^{10} free e^- / cm^3؟

c. هل يعتمد التوصيل على إلكترونات السليكون أم على إلكترونات الزرنيخ؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- حدد القيم المعلومة والقيم المجهولة.

المعلوم	المجهول
1 As atom / 10^6 Si atoms	free e^- / cm^3 التي تمنح بواسطة الزرنيخ=؟
1 free e^-/As atom	عدد الإلكترونات الحرة التي يمنحها الزرنيخ بالنسبة إلى الإلكترونات الحرة في شبه الموصل النقي=؟
4.99×10^{22} Si atoms/cm^3	
1.45×10^{10} free e^- / cm^3 في السليكون النقي	

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. بالتعويض

free e^- / As atom

= 1 free e^- / 1 As atom

As atoms / Si atoms

= 1 As atom / 1×10^6 Si atoms

$Si\ atoms/cm^3$

= 4.99×10^{22} Si atoms/cm^3

$$\left(\frac{\text{free } e^-}{cm^3} \text{ من As}\right) = \left(\frac{\text{free } e^-}{\text{As atom}}\right)\left(\frac{\text{As atoms}}{\text{Si atoms}}\right)\left(\frac{\text{Si atoms}}{cm^3}\right)$$

$$\left(\frac{\text{free } e^-}{cm^3}\right) = \left(\frac{1 \text{ free } e^-}{1 \text{ As atmos}}\right)\left(\frac{1 \text{ As atom}}{1\times10^6 \text{ Si atoms}}\right)\left(\frac{4.99\times10^{22} \text{ Si atoms}}{cm^3}\right)$$

$$= 4.99 \times 10^{16} \text{ free } e^- /cm^3$$

b. بالتعويض 4.99×10^{16} free e^-/cm^3 في Si المعالج

1.45×10^{10} free e^-/cm^3 في Si النقي

$$\text{النسبة} = \left(\frac{\text{free } e^- / cm^3 \text{ في Si المعالج}}{\text{free } e^- /cm^3 \text{ في Si النقي}}\right)$$

$$= \left(\frac{4.99 \times 10^{16} \text{ free } e^- /cm^3 \text{ في Si المعالج}}{1.45 \times 10^{10} \text{ free } e^-/cm^- \text{ في Si النقي}}\right)$$

$$= 3.44\times10^6$$

c. التوصيل أساسه إلكترونات الزرنيخ المانحة بسبب وجود أكثر من ثلاثة ملايين إلكترون زرنيخ مقابل كل إلكترون موجود أصلًا.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** التحليل يؤكد صحة الوحدات.
- **هل الجواب منطقي؟** النسبة كبيرة بدرجة كافية، بحيث إن الإلكترونات الموجودة أصلاً لا تساهم تقريبًا في الموصلية.

مسائل تدريبية

11. إذا أردت الحصول على 1×10^4 من إلكترونات الزرنيخ المعالج كإلكترونات حرة في السليكون عند درجة حرارة الغرفة، فما عدد ذرات الزرنيخ التي يجب أن توجد لكل ذرة سليكون؟

12. إذا أردت الحصول على 5×10^3 من إلكترونات الزرنيخ المعالج بوصفها إلكترونات حرة في الجرمانيوم شبه الموصل الذي وصف في المسألة 6 فما عدد ذرات الزرنيخ التي يجب أن توجد لكل ذرة جرمانيوم؟

13. للجرمانيوم 1.13×10^{15} ناقل حراري حر في كل cm^3 عند درجة حرارة 400.0 K. إذا عولج الجرمانيوم بواسطة ذرة زرنيخ واحدة لكل مليون ذرة جرمانيوم، فما نسبة الناقلات المعالجة إلى الناقلات الحرارية؟

14. للسليكون 4.54×10^{12} ناقل حراري حر في كل cm^3 عند درجة حرارة 400.0 k. إذا عولج السليكون بواسطة ذرة زرنيخ واحدة لكل مليون ذرة سليكون، فما نسبة الناقلات المعالجة إلى الناقلات الحرارية؟

15. في السؤال 14 كيف تتوقع أن يكون سلوك الأدوات المصنوعة من الجرمانيوم مقارنة بتلك المصنوعة من السليكون عند درجات حرارة تزيد على درجة حرارة غليان الماء؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

5–1 مراجعة

16. **حركة الناقل** في أي المواد الموصلة أو شبه الموصلة أو العوازل يُرجّح أن تبقى الإلكترونات في الذرة نفسها؟

17. **أشباه الموصلات** إذا زادت درجة الحرارة يزداد عدد الإلكترونات الحرة في أشباه الموصلات النقية. فمثلاً زيادة درجة الحرارة بمقدار درجات سيليزية (8 °C) يضاعف عدد الإلكترونات الحرة في السليكون. فهل المرجح أن تعتمد موصلية الموصل النقي، أم شبه الموصل غير النقي، على درجة الحرارة؟ وضح إجابتك.

18. **عازل أم موصل؟** يستخدم ثاني أكسيد السليكون على نطاق واسع في صناعة أدوات الحالة الصلبة. ويبيّن مخطط حزم الطاقة الخاص به فجوة طاقة بمقدار 9 eV بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل. فهل ثاني أكسيد السليكون مفيد أكثر بوصفه عازلًا أم موصلًا؟

19. **موصل أم عازل؟** لأكسيد الماغنسيوم فجوة ممنوعة مقدارها 8 eV. فهل هذه المادة موصلة أم عازلة أم شبه موصلة؟

20. **أشباه الموصلات النقية وغير النقية** إذا كنت تصمم دائرة متكاملة باستخدام بلورة سليكون، وأردت أن تحصل على منطقة ذات خصائص عازلة جيدة نسبيًّا، فهل يجب أن تعالج هذه المنطقة أم تتركها بوصفها شبه موصل نقي؟

21. **التفكير الناقد** يتضاعف عدد الناقلات الحرارية الحرة التي ينتجها السليكون عند كل زيادة في درجة الحرارة مقدارها 8 °C ، ويتضاعف عدد الناقلات الحرارية الحرة التي ينتجها الجرمانيوم عند كل زيادة في درجة الحرارة مقدارها 13 °C. يبدو أن الجرمانيوم أفضل للتطبيقات ذات درجة الحرارة الكبيرة، ولكن العكس هو الصحيح. وضح ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

5–2 الأدوات الإلكترونية Electronic Devices

الأهداف

- تصف كيف يعمل الدايود على جعل التيار الكهربائي يسري في اتجاه واحد فقط.
- توضح كيف يمكن للترانزستور العمل على زيادة أو تضخيم تغيرات الجهد.

المفردات

الدايود

طبقة النضوب

الترانزستور

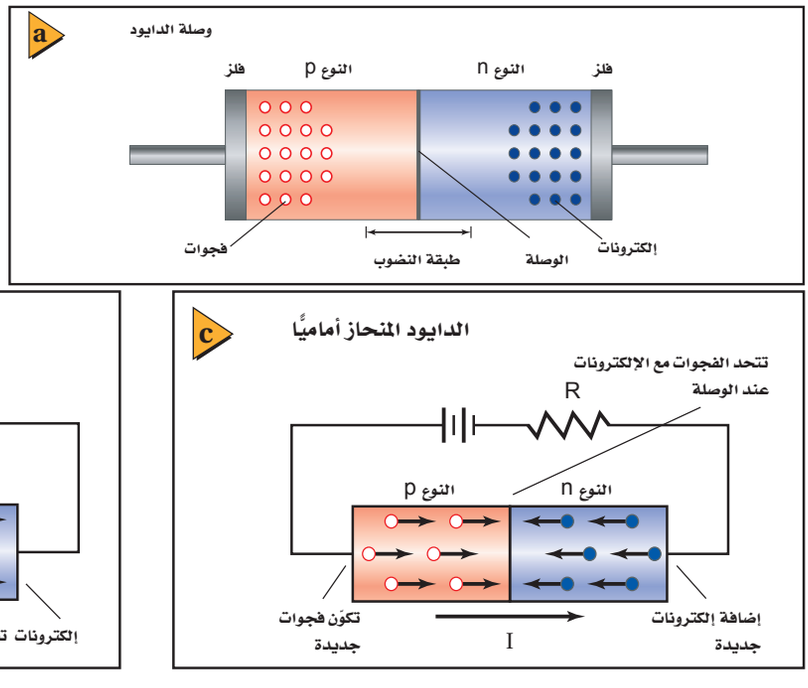
رقاقة ميكروية

تعتمد الأجهزة الإلكترونية في عصرنا الحاضر – ومنها الهاتف الذكي والتلفاز ومشغلات ألعاب الفيديو والحواسيب الصغيرة – على أدوات مصنوعة من أشباه الموصلات، تتجمع في رقائق من السليكون لا يتجاوز عرضها بضعة ملمترات. وفي هذه الأدوات يتغير كل من التيار والجهد بطرائق أكثر تعقيدًا عما وصف قانون أوم.

الدايودات Diodes

يعد **الدايود** (الوصلة الثنائية أو الصمام الثنائي) أبسط الأدوات المصنوعة من أشباه الموصلات. وهو يتكوّن من قطعة صغيرة من مادة شبه موصلة من النوع p موصولة بقطعة أخرى من النوع n. وبدلاً من استخدام قطعتين منفصلتين من السليكون المعالج، ومن ثم وصلهما معًا، تؤخذ عينة واحدة من السليكون النقي ثم تُعالج أولاً بالمعالج p، ومن ثم تعالج بالمعالج n. وتُطلى منطقة الوصل الفلزّية في كل منطقة، بحيث يمكن وصل الأسلاك بها، كما هو موضح في **الشكل 9a–5**. ويطلق على الحد الفاصل بين شبه الموصل من نوع p وشبه الموصل من نوع n بالوصلة، لذا تسمى الأداة الناتجة بالدايود نوع pn.

تنجذب الإلكترونات الحرة في الطرف n من الوصلة نحو الفجوات الموجبة في الطرف p، حيث تتحرك الإلكترونات بسهولة إلى المنطقة p وتتحد مع الفجوات. وبطريقة مماثلة تتحرك الفجوات من الطرف p إلى المنطقة n، حيث تتحد مع الإلكترونات، ونتيجة لهذا التدفق يكون للمنطقة n شحنة كلية موجبة، بينما يكون للمنطقة p شحنة كلية سالبة.



الشكل 9–5 الرسم التوضيحي لدايود نوع pn (a) يوضح أن طبقة النضوب لا تحتوي على ناقلات للشحنة. قارن مقدار التيار في كل من الدايود المنحاز عكسيًا (b) والدايود المنحاز أماميًا (c).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

وتنتج هذه الشحنات قوى في الاتجاه المعاكس، مما يؤدي إلى توقف حركة المزيد من ناقلات الشـــحنة. وتترك المنطقة المحيطة بالطبقة الفاصلة دون فجوات أو إلكترونات حرة، فتنضب فيها ناقلات الشحنة، لذلك تسمى **طبقة النضوب**. ولأن طبقة النضوب لا تحتوي على ناقلات الشحنة، فإنها تعدّ رديئة التوصيل للكهرباء ولذلك، يتكون الدايود من موصلين جيدي التوصيل نسبيًّا عند الطرفين بينهما منطقة رديئة التوصيل.

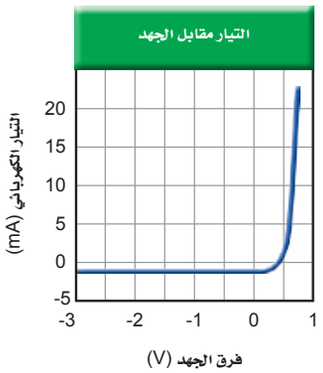
عندما يوصل الدايود في الدائرة الكهربائية بالطريقة الموضحة في **الشـــكل 9b–5**، فإن كلاً من الإلكترونات الحرة في المادة شـــبه الموصلة من النوع n والفجوات في المادة شـــبه الموصلة من النوع p تنجـــذب نحو البطارية، فيزداد عـــرض طبقة النضوب، ولا تتلاقى ناقلات الشـــحنة. ويكاد لا يمرّ تيار كهربائي من خـــلال الدايود، لذا فإنه يعمل عمل مقاوم كبير جدًّا. ويسمى الدايود الموصول بهذه الطريقة الدايود المنحاز عكسيًّا.

أمـــا إذا عكس طرفي وصلـــة الدايود أو عكس اتجاه توصيـــل البطارية، كما موضح في **الشكل 9c–5** ، فإن ناقلات الشحنة تُدفع في اتجاه طبقة النضوب. وإذا كان جهد البطارية كبيرًا بدرجة كافية – 0.7 V عند اســـتعمال دايود السليكون – فإن الإلكترونات تصل إلى الطـــرف p وتملأ الفجوات. وتضمحل طبقـــة النضوب، ويعبر التيار مـــن خلال الدايود. وتســـتمر البطارية في تزويد الطرف n بالإلكترونات. وتزيل الإلكترونات من الطرف p، وبذلك تعمل البطارية عمل مزوّد للفجوات. وبزيـــادة متواصلة في الجهد من البطارية يزداد التيار. ويسمى الدايود الموصول بهذه الطريقة الدايود المنحاز أماميًّا.

يبين الرسم البياني الموضح في **الشكل 10–5** التيار الكهربائي المارّ في دايود السليكون كدالّة رياضية في الجهد المطبق عليه. فإذا كان الجهد المطبق عليه ســـالبًا، فإن الدايود المنحاز عكســـيًّا يعمل عمل مقاومة ذات مقدار كبير جـــدًّا، ووفقًا لذلك يمرّ تيار صغير جدًّا فقط (10^{-11} A تقريبًا لدايود السليكون).

وإذا كان الجهـــد موجبًا فإن الدايـــود يكون منحازًا أماميًّا، ويعمـــل عمل مقاوم صغير، وعلى الرغم من ذلك فإن الدايود لا يحقق قانون أوم. إن إحدى الاستخدامات الرئيسة للدايود هـــي تحويل الجهد المتناوب AC إلى جهد مســـتمر DC بقطبيـــة واحدة فقط. وعندما يســـتخدم الدايود في دائرة كهربائية تقوم بهذه الوظيفة، فعندئذ تســـمى المقوّم. ويبين السهم المرســـوم على رمز الدايود – والذي ستشاهده في المثال 4 – اتجاه التيار الاصطلاحي.

الشـكل 10–5 يشير الرسم البياني إلى خصائص التيار – الجهد لوصلة دايود مصنوع من السليكون.

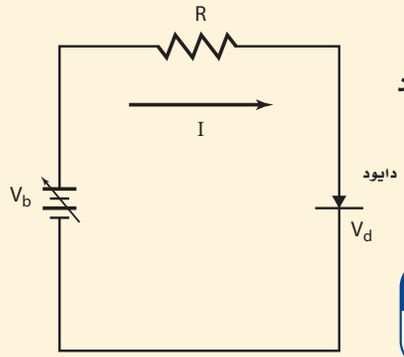


وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مثـــال 4

دايود في دائرة كهربائية بسيطة دايود مصنوع من السليكون له خصائص I /V موضحة في الشكل 9–5، وموصول بمصدر قدرة ومقاوم مقداره 470 Ω. إذا عمل مصدر القدرة على انحياز الدايود إلى الأمام، وعُدّل جهده حتى أصبح التيار المار في الدايود 12 mA. فما مقدار جهد مصدر القدرة؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم مخططًا توضيحيًّا للدائرة الكهربائية التي وصل بها الدايود والمقاومة 470 Ω ومصدر القدرة. ثم بيّن اتجاه التيار.

المعلوم	المجهول
$I = 0.012\ A$	$V_b = ?$
$V_d = 0.70\ V$ (من الشكل)	
$R = 470\ \Omega$	

دليل الرياضيات

ترتيب العمليات.

2 إيجاد الكمية المجهولة

يُعطي الهبوط في الجهد عبر المقاوم من خلال المعادلة V = IR، وجهد مصدر القدرة يساوي مجموع الهبوط في الجهد في المقاوم والدايود.

$$V_b = IR + V_d$$

بالتعويض

$I = 0.012\ A$ ،$R = 470\ \Omega$ ،$V_d = 0.70\ V$

$$= (0.012\ A)\ (470\ \Omega) + 0.70V$$

$$= 6.3\ V$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** فرق جهد مصدر القدرة مقيس بوحدة الفولت.
- **هل الجواب منطقي؟** تتفق مع التيار والمقاومة.

مسائل تدريبية

22. ما جهد البطارية اللازم لتوليد تيار كهربائي مقداره 2.5 mA في الدايود الوارد في المثال 4؟

23. ما جهد البطارية اللازم لتوليد تيار كهربائي مقداره 2.5 mA إذا وصل دايود آخر مماثل على التوالي مع الدايود الوارد في المثال 4؟

24. صف كيف يجب أن يوصل الدايودان معًا في المسألة السابقة؟

25. صف ما يحدث في المسألة 23 إذا وصل الدايودان على التوالي في اتجاه غير صحيح.

26. يبلغ مقدار الهبوط في الجهد للدايود المصنوع من الجرمانيوم 0.40 V عند مرور تيار كهربائي مقداره 12 mA خلاله. فإذا وصل مقاوم مقداره 470 Ω على التوالي مع الدايود فما جهد البطارية اللازم؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

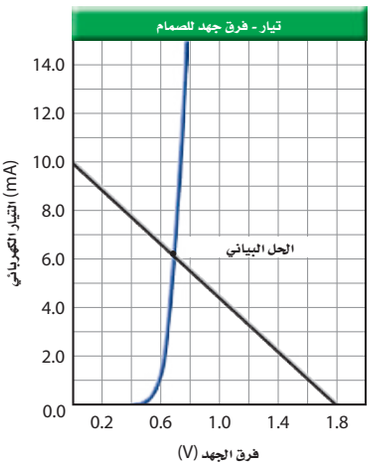
فاز ثلاثة علماء يابانيين بجائزة نوبل في الفيزياء لعام 2014 لاختراعهم الصمام الثنائي الباعث للضوء الأزرق LED.

الدايودات المشعة للضوء تبعث الدايودات المصنوعة من مزيج الجاليوم والألومنيوم مع الزرنيخ والفوسفور ضوءًا عندما تكون منحازة أماميًّا. فعندما تصل الإلكترونات إلى الفجوات في الوصلة فإنها تتحد معًا مجددًا، وتطلق الطاقة الفائضة على هيئة ضوء بأطوال موجية محددة. وتعرف هذه الدايودات بالدايودات المشعة للضوء، أو LED أو LEDs. وقد شكلت بعض الدايودات المشعة للضوء لتبعث حزمة ضيقة من ضوء الليزر المترابط الأحادي اللون. وتُعد دايودات الليزر هذه مصادر قوية للضوء، وتستخدم في مشغلات الأقراص المدمجة CD ومؤشرات الليزر وفي الماسحات الضوئية لأشرطة الترميز المستخدمة في الأسواق التجارية الموضحة في **الشكل 11–5** كما وتستخدم في شاشات التلفاز الحديثة والإضاءة وغيرها من الاستخدامات الواسعة. ويمكن للدايودات استشعار الضوء والكشف عنه، مثل قدرتها على بعثه. والضوء الساقط على وصلة الدايود من النوع pn المنحاز عكسيًّا يحرّر إلكترونات ويكوِّن فجوات، مما يؤدي إلى سريان تيار كهربائي يعتمد على شدة الضوء الساقط.

الشكل 11–5 تعمل صمامات الليزر عمل باعثات للضوء، وكاشفات لأشرطة الترميز.

مسألة تحفيز

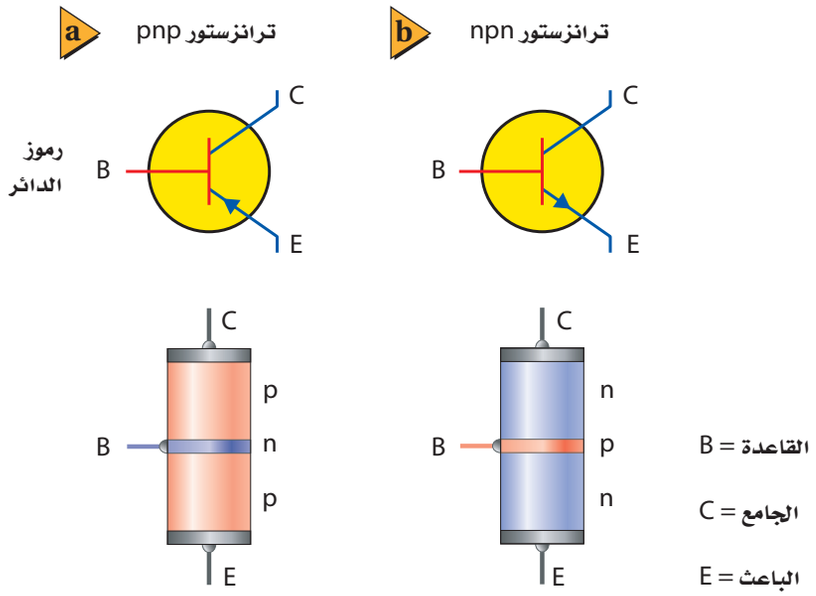
يستخدم التقريب في كثير من الأحيان في الدوائر الكهربائية التي تحتوي على الصمامات الثنائية، وذلك لأن مقاومة الصمام غير ثابتة. ويتم التقريب الأول في دوائر الصمامات عند تجاهل هبوط الجهد المنحاز إلى الأمام عبر الصمام. والتقريب الثاني يأخذ في الحسبان القيمة النموذجية لهبوط جهد الصمام. أما التقريب الثالث فيستخدم المعلومات الإضافية الخاصة بالصمامات الثنائية. وكما هو موضح في الرسم البياني، فإن المنحنى يمثّل خصائص منحنى التيار–الجهد للصمام. ويوضح الخط المستقيم ظروف التيار–الجهد لجميع حالات هبوط الجهد الممكنة للصمام لدائرة مقاومة مقدارها $180\ \Omega$ وبطارية جهدها $1.8\ V$ وصمام ثنائي، وهبوط صفري لجهد الصمام وتيار مقداره $10.0\ mA$ عند إحدى النهايات حتى هبوط مقداره $1.8\ V$، وتيار مقداره $0.0\ mA$ عند النهاية الأخرى.



استخدم دائرة الصمام في المثال 4 على أن تكون $V_b = 1.8\ V$، ولكن مع مقاومة مقدارها $R = 180\ \Omega$.

1. حدد تيار الصمام الثنائي مستخدمًا التقريب الأول.
2. حدد تيار الصمام الثنائي مستخدمًا التقريب الثاني، وافترض هبوط جهد مقداره $0.70\ V$ للصمام.
3. حدد تيار الصمام الثنائي مستخدمًا التقريب الثالث، وذلك باستخدام الرسم البياني المرافق للصمام.
4. قدّر الخطأ لكل من التقريبات الثلاثة، وتجاهل البطارية والمقاومة. ثم ناقش أثر الجهود الكبيرة للبطارية في الأخطاء.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



■ **الشكل 12–5** يُقارن بين رمزي الدائرتين الكهربائيتين المستخدمتين لتمثيل ترانزستور pnp (**a**). وترانزستور npn (**b**).

تطبيق الفيزياء

دايود الليزر يبعث دايود الليزر المثالي الضوء بطول موجي مقداره 800 nm، والذي يعدّ قريبًا من الأشعة تحت الحمراء. فيخرج الشعاع من بقعة صغيرة في رقاقة GaAlAs. وعندما يزوّد الدايود بتيار مقداره 80 mA، يحدث فيه هبوط جهد أمامي مقداره 2 V. وتستخدم دايودات الليزر عادة في الإرسال عبر الألياف البصرية.

تجربة عملية

كيف يمكن لجهاز الحاسوب اتخاذ القرارات؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

الترانزستورات والدوائر المتكاملة

Transistors and Integrated Circuits

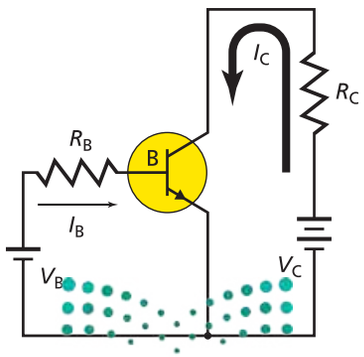
يعدّ **الترانزستور** أداة بسيطة مصنوعة من مادة شبه موصلة معالجة؛ حيث يتكون ترانزستور npn من طبقتين من مادة شبه موصلة من النوع n على طرفي طبقة رقيقة مصنوعة من مادة شبه موصلة أيضًا من النوع p. وتسمى هذه الطبقة المركزية القاعدة، أما الطبقتان الأخريان فتسمى إحداهما الباعث، والأخرى الجامع. ويوضح **الشكل 12–5** الرسمين التخطيطيين لنوعي الترانزستور، ويوضح السهم المرسوم على الباعث اتجاه التيار الاصطلاحي.

يوضح **الشكل 13–5** طريقة عمل ترانزستور npn. ويمكن اعتبار وصلتي pn في الترانزستور تشكيلًا مبدئيًّا لدايودين موصولين معًا بصورة عكسية. وتعمل البطارية الموضوعة على اليمين V_c على إبقاء الجامع ذي شحنة موجبة أكبر من شحنة الباعث. ويكون الدايود الموجود بين القاعدة والجامع منحازًا عكسيًّا، وتكون طبقة النضوب عريضة، ولذلك لا يسري تيار من الجامع إلى القاعدة. وعندما توصل البطارية الموضوعة عن يسار V_B تكون القاعدة ذات شحنة موجبة أكبر من شحنة الباعث، هذا من شأنه أن يجعل الدايود الموجود بين القاعدة والباعث منحازًا أماميًّا، فيؤدي ذلك إلى السماح للتيار I_B بالمرور من القاعدة إلى الباعث.

إن القاعدة الرقيقة جدًّا جزء من كلا الدايودين في الترانزستور. يقلل تدفق الشحنات بواسطة التيار I_B من الانحياز العكسي للدايود الذي بين القاعدة والجامع، بحيث يسمح للشحنة بالتدفق من الجامع إلى الباعث. لذا يُنتج التغير القليل في التيار I_B تغيرًا كبيرًا في التيار I_C.

يسبب تيار الجامع هبوطًا في الجهد عبر المقاوم R_C. وتنتج التغيرات الصغيرة في الجهد V_B

■ **الشكل 13–5** تُظهر الدائرة التي تستخدم ترانزستور npn كيف يمكن تضخيم الجهد.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المطبّق على القاعدة تغيرات كبيرة في تيار الجامع، مما يؤدي إلى تغيرات في الهبوط في الجهد عبر المقاوم R_C. ونتيجة لذلك فإن الترانزستور يضخّم تغيرات الجهد الصغيرة إلى تغيرات أكبر كثيرًا. وإذا كانت الطبقة المركزية مصنوعة من مادة شبه موصلة من النوع n فإن الأداة عندئذ تسمى ترانزستور pnp. ويعمل هذا الترانزستور بطريقة مماثلة لطريقة عمل ترانزستور npn، إلا أن قطبي كل من البطاريتين معكوسان.

كسب التيار يعدّ كسب التيار من دائرة القاعدة إلى دائرة الجامع مؤشرًا مفيدًا على أداء الترانزستور. وعلى الرغم من أن تيار القاعدة صغير جدًّا إلا أنه يعتمد على جهد القاعدة–الباعث الذي يتحكم في تيار الجامع. فمثلاً، إذا أزيل الجهد V_B في **الشكل 12–5**، فسوف يهبط تيار الجامع إلى الصفر. وإذا ازداد الجهد V_B ازداد تيار القاعدة I_B، وازداد أيضًا تيار الجامع I_C ولكن بصورة كبيرة (من المحتمل أن يزيد 100 مرة أو أكثر). يتراوح مدى كسب التيار من القاعدة إلى الجامع من 50 إلى 300 للاستخدامات العامة للترانزستورات.

في جهاز التسجيل، تُضخَّم التغيرات الصغيرة في الجهد الحثي في الملف الناتجة عن المناطق الممغنطة الموجودة على الشريط؛ لتحريك ملف السماعة. وفي الحواسيب يمكن للتيارات الصغيرة في دوائر القاعدة–الباعث تشغيل وإيقاف التيارات الكبيرة في دوائر الجامع–الباعث. وبالإضافة إلى ذلك يمكن وصل العديد من الترانزستورات معًا لتنفيذ عمليات منطقية، أو لإضافة أرقام معًا. في هذه الحالات تعمل الترانزستورات عمل مفاتيح تحكم سريعة الأداء بدلاً من عملها مضخمات.

الرقائق الميكروية دوائر متكاملة يسمّى كل منها **رقاقة ميكروية** تتكوّن من آلاف الترانزستورات والدايودات والمقاومات والموصلات، وطول كل منها لا يتجاوز الميكرومتر الواحد. ويمكن صناعة كل هذه المكوّنات بمعالجة السليكون وتشويبه (إضافة شوائب) بذرات مانحة أو مستقبلة. إن الحجم الصغير للرقائق الميكروية الموضحة في **الشكل 14–5** يسمح بوضع الدوائر المعقدة في مساحة صغيرة. ولأن الإشارات الإلكترونية تنتقل خلال مسافات قصيرة جدًّا فقد زاد هذا من سرعة الحواسيب. وتستخدم الرقائق الآن في الأجهزة الكهربائية وفي السيارات، كما تستخدم في الحواسيب.

تتطلب إلكترونيات أشباه الموصلات عمل الفيزيائيين والكيميائيين والمهندسين معًا في فريق واحد؛ حيث يساهم الفيزيائيون بمعرفتهم لحركة الإلكترونات والفجوات في

تجربة

الضوء الأحمر

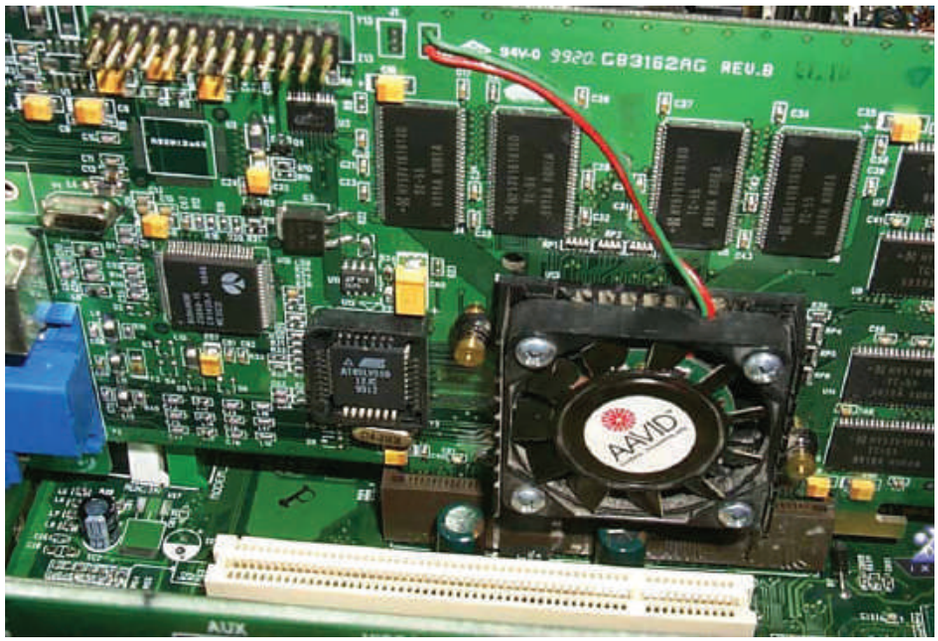
ركّب دائرة كهربائية تحتوي على مصدر قدرة مستمر DC ومقاوم مقداره 470 Ω ودايود مشع للضوء الأحمر متصلة معا على التوالي. صل السلك القصير الخاص بالدايود الباعث للضوء مع القطب السالب لمصدر القدرة الموصول بمقبس GFCI المحمي. ثم صل السلك الآخر الخاص بالدايود بالمقاوم. ثم صل الطرف الآخر للمقاوم مع القطب الموجب لمصدر القدرة، ثم زد الجهد بالتدريج حتى يبدأ الدايود المشع للضوء في التوهج.

لاحظ قراءة الجهد على مصدر القدرة.

1. ضع فرضية حول ما يحدث إذا عكست اتجاه التيار.
2. جرّب عن طريق عكس التوصيلات مع البطارية.

التحليل والاستنتاج

3. وضح ملاحظاتك بدلالة خصائص الدايود المشع للضوء.



الشكل 14–5 تشكل الرقائق الميكروية قلب وحدة المعالجة المركزية في أجهزة الحاسوب.

أشـــباه الموصلات. ويعمل الفيزيائيون والكيميائيون معًا على إضافة كميات مضبوطة ودقيقة من المعالجات (الشوائب) إلى السليكون ذي النقاوة الكبيرة. ويطوّر المهندسون وسائل إنتاج الرقائق التي تحتوي على الآلاف من الدايودات والترانزستورات المصغّرة. وبتكاثف جهودهم معًا استطاعوا نقل عالمنا هذا إلى العصر الإلكتروني.

5–2 مراجعة

27. دائرة الترانزستور تيار الباعث في دائرة الترانزستور يســاوي دائـمًا مجموع تيــاري القاعــدة والجامع: $I_E=I_B+I_C$. فإذا كان كسب التيار من القاعدة إلى الجامع يساوي 95، فما النسبة بين تيار الباعث إلى تيار القاعدة؟

28. هبوط جهد الدايود إذا كان الدايود في **الشــكل 9–5** منحازًا إلى الأمام بواسطة بطارية ومقاوم موصول معه على التوالي، وتكوّن تيار يزيد على 10 mA، وهبوط في الجهــد دائمًا 0.70 V تقريبًا – افترض أن جهد البطارية زاد بمقدار 1 V – احسب:

a. مقدار الزيادة في الجهد عبر الدايود أو الجهد عبر المقاوم.

b. مقدار الزيادة في التيار المارّ في المقاوم.

29. مقاومة الدايود قارن بين مقــداري مقاومة الدايود نوع pn عندمــا يكون منحــازًا إلى الأمــام وعندما يكون منحازًا عكسيًّا.

30. قطبية الدايود في الدايود المشع للضوء، ما الطرف الذي يجب أن يوصل مع الطرف p لجعل الدايود يضيء؟

31. كسب التيار إذا قيس تيار القاعدة في دائرة الترانزســتور فكان 55 μA، وكان تيار الجامع 6.6 mA، فاحســب مقدار كسب التيار من القاعدة إلى الجامع.

32. التفكير الناقد هل يمكن أن تســتبدل ترانزستور npn بدايودين منفصلين يوصــلان معًا من الطرف p لكل منهما؟ وضح إجابتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مختبر الفيزياء

تيار الدايود وجهده

تصنع أدوات أشــباه الموصلات كالدايودات والترانزستورات باســتخدام شبه موصل مصنوع من مادة من النوع p ومادة من النوع n. وتســمى المادة شــبه الموصلة المعالجة بالذرات المانحة شبهَ الموصل من النوع n، في حين تســمى المادة شبه الموصلة المعالجة بعنصر يترك فجوات في بنية الشبكة البلورية شــبهَ موصل من النوع p. يصنــع الدايود بمعالجة المناطق المتجاورة في شــبه الموصل بذرات المانح والمستقبل، مكوّنًا وصلة pn. ستستقصي في هذه التجربة خصائص جهد وتيار الدايود.

سؤال التجربة

كيف تقارن بين خصائص التيار–الجهد لكل من الدايود والدايود المشع للضوء ومقاوم؟

الأهــداف

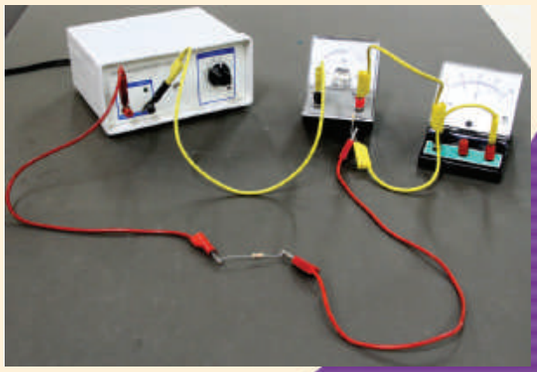
- تجمع وتنظم بيانات الهبوط في الجهد والتيار لكل من الدايود والدايود المشع للضوء.
- تقيس التيار المارّ عبر الدايود والدايود المشع للضوء كدالّة رياضية في الهبوط في الجهد.
- تقارن خصائص التيار–الجهد لمقاوم مع دايودات.

احتياطات السلامة

- **اســتخدم التحذيــر المرفق مع التوصيــلات الكهربائية، وتجنب لمس المقاوم؛ لأنه قد يصبح ساخنًا.**
- **صل مصادر القدرة مع مقبس GFCI المحمي لتجنب خطر الصدمة الكهربائية.**

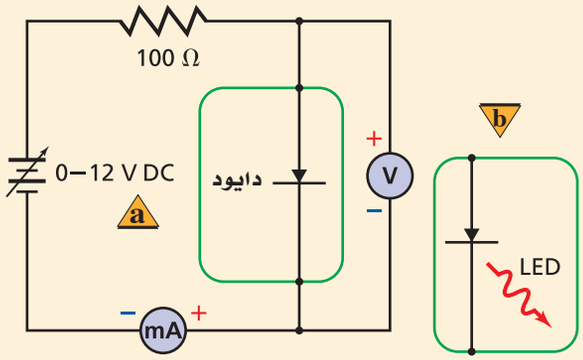
المواد والأدوات

مصدر قدرة مستمر 0–12 V DC	دايود مشع للضوء الأحمر
مقاوِم 100 Ω،	أميتر 0–100 mA DC
وقدرته 1/2 W، 1، أو 1 W	فولتمتر (0–5) V DC
دايود 1N4002	أسلاك توصيل معزولة



الخطوات

1. أنشئ جدول بيانات مماثلًا للجدول الموضح في الصفحة التالية.
2. صل القطب الســالب لمصدر القدرة مع الطرف الســالب للأميتر، كما هو موضح في الرسم.



3. صل طــرف الدايود المغطى بشــريط الفضــة مع الطرف الموجب للأميتر.
4. صل أحد طرفي المقاوِم 100 Ω مع الطرف الحر للدايود.
5. صل ســلكًا من الطرف الحر للمقــاوِم 100 Ω مع القطب الموجب لمصدر القدرة.
6. صل سلكًا من الطرف الموجب لجهاز الفولتمتر مع طرف الدايــود الموصول مع المقاومة، كما موضح في الرســم. وصل الطرف السالب للفولتمتر مع طرف الدايود المغطى بشريط الفضة الموصول مع الأميتر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

جدول البيانات		
هبوط الجهد (V) عبر الدايود	تيار الدايود (mA)	تيار الدايود المشع للضوء (mA)
0		
0.1		
0.2		
1.9		
2.0		

7. يجب أن تكون دائرة الدايود مماثلة للجزء (a) من الرسم التخطيطي. تأكد من أن مؤشر مفتاح مصدر القدرة عند الصفر، ثم صله بمقبس الكهرباء. ابدأ بتدوير مفتاح مصدر القدرة ببطء، وذلك من أجل زيادة الهبوط في الجهد عبر الدايود من 0 حتى 0.8 V، وبزيادة جهد مقدارها 0.1 V في كل مرة، ثم دوّن قيمة التيار المقابلة لكل قيمة جهد. **تحذير: إذا أصبح التيار أكبر مما يتحمله جهاز الأميتر الذي تستخدمه فلا تعمل على زيادة الجهد إلى قيمة أكبر، وتوقف عن أخذ القراءات.** حرّك مفتاح مصدر القدرة إلى الصفر، ثم افصله عن مقبس الكهرباء.
8. استعمل الدايود المشع للضوء بدل الدايود 1N4002، وذلك يقابل الجزء (b) من الرسم التخطيطي.
9. صل طرف التوصيل القصير للدايود المشع للضوء مع الطرف الموجب للأميتر (الطرف السالب للفولتمتر)؛ وهي النقطة التي وصل بها الطرف المغطى بشريط الفضة للدايود. صل الطرف الطويل للدايود المشع للضوء مع المقاوم ومع الطرف الموجب للفولتمتر.
10. صل مصدر القدرة بمقبس الكهرباء، ابدأ بتدوير مفتاح مصدر القدرة ببطء؛ وذلك لزيادة الهبوط في الجهد عبر الدايود المشع للضوء من 0 وحتى 2.0 V، وبزيادة جهد مقدارها 0.1 V في كل مرة، ثم دوّن قيمة التيار المقابلة لكل قيمة جهد. وشاهد الدايود المشع للضوء، ودوّن ملاحظاتك حوله.

التحليل

1. **أنشئ الرسوم البيانية واستخدمها** باستخدام ورقة رسم بياني واحدة، ارسم وعيّن الرسم البياني للتيار مقابل الهبوط في الجهد لكل من الدايود والدايود المشع للضوء مثل التيار على المحور y والهبوط في الجهد على المحور x. ما شكل هذين المنحنيين البيانيّين؟
2. **صياغة النماذج** باستخدام قانون أوم احسب وحدد على الرسم البياني نفسه علاقة الجهد–التيار للمقاوم Ω 100 من الجهد 0 حتى 2 V، وسمِّ هذا الخط المقاوم Ω 100. ما شكل هذا المخطط؟

الاستنتاج والتطبيق

1. **قارن** بين المنحنيات البيانية التيار–الجهد للدايود والدايود المشع للضوء والمقاوم.
2. أي هذه الأدوات تحقق قانون أوم؟
3. **الاستنتاج والتحليل** توصف الدايودات بأن لها نقطة تحوّل في الجهد. ما نقطة التحول للدايود المصنوع من السليكون، وللدايود المشع للضوء الذي استخدمته؟
4. **فسّر** لماذا يصبح للدايود خاصية انبعاث الضوء عند تيار محدد 20 mA مثلاً؟

التوسع في البحث

ما الذي يمكن فعله للحصول على أفضل قياسات لتيار الدايود؟

الفيزياء في الحياة

يسرى تيار مقداره 75–150 mA في المصابيح الكهربائية الصغيرة المثالية عند جهد معين. لماذا تفضل الشركات الصانعة استخدام الدايودات المشعة للضوء في أجهزة تشغيل الأقراص المدمجة أو مشغلات MP3 التي تعمل على البطاريات؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

نيوم NEOM

بمجرد أن تفكر بالمستقبل سيقفز إلى ذهنك أمور أساسية، كالذكاء الاصطناعي، والواقع الافتراضي، وإنترنت الأشياء، والأجهزة الذكية المتصلة التي تسهل حياتنا.

سوف يعتمد مشروع "نيوم NEOM" في ابتكاراته سياسة المصدر المفتوح، كي يتسنى لنخبة علماء البيانات على مستوى العالم تحليل البيانات وتحقيق الابتكارات، في حين سيجد المخترعون في "نيوم NEOM" ملاذا مثاليا لاستخدامه كمكان مأهول لإجراء التجارب والاختبارات الحضرية.

الذكاء الاصطناعي Artificial Intelligence

استخدمت عبارة الذكاء الاصطناعي لأول مرة عام 1955م. وعرّفت على أنها "الفهم العلمي لآليات التفكير الضمني والسلوك الذكي وتضمينها في الآلات". فقد تحتاج المهمة أحيانًا إلى ذكاء اصطناعي لكي تكون منطقية جدًّا، وأحيانًا أخرى تحتاج إلى ذكاء اصطناعي للتفكير والتصرف وفقًا لرغبات الإنسان. ويهدف الذكاء الاصطناعي إلى تطوير أنظمة يمكنها أداء المهام المنطقية والتصرف وفقًا لرغبات الإنسان معًا.

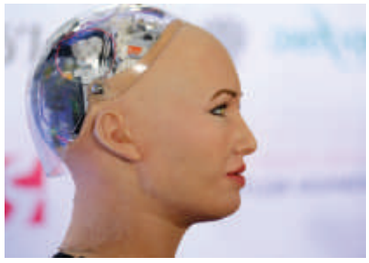
يستخدم الذكاء الاصطناعي حاليا للتحكم في حركة السيارات إلا أنها غير قادرة تمامًا حتى الآن على فهم اللغة التي يخاطب بها الجهاز بشكل تام ودقيق، ولكن هذا في ذاته يشكل هدفًا مستقبلاً.

وقد أُحرز تقدم في هذا المجال، ولكن حتى الآن لا يزال دماغ الإنسان أفضل كثيرًا من الحواسيب في هذا المجال. ومع تحسين الرؤية قد تمكّن الروبوتات الآلية من استكشاف كوكب آخر دون الحاجة إلى روّاد فضاء.

ويمكن استخدام الأنظمة الحاسوبية الخبيرة في المجال الطبي لتشخيص الاضطرابات بدقة عالية؛ حيث يقوم الذكاء الاصطناعي بموازنة ومقارنة الحقائق عن الحالة، ثم يستنتج الإجراءات الأكثر ملاءمة. ومع ذلك فإن الذكاء الاصطناعي يعمل فقط وفق برمجته بالمعرفة حول مواضيع ووقائع محددة زُود بها الحاسوب، ويتعين على مستخدمي الحاسوب أن يكونوا على علم دائم بهذه القيود للأنظمة الخبيرة.

دخلت المملكة العربية السعودية التاريخ لتكون أول بلد يمنح الجنسية لروبوت، وهي خطوة لتعزيز الذكاء الاصطناعي كبادرة رمزية حول مستقبل مشروع "نيوم NEOM" وكما قال ولي العهد محمد بن سلمان في مبادرة مستقبل الاستثمار:

"فقط نحن نرحب بالحالمين الذين يريدون صنع عالم جديد".



يمتلك وجه الروبوت صوفيا القدرة على تفسير المشاعر، وتعقب تعابير الوجه والتعرف عليها، وبإمكانها إجراء حوارات كاملة مع البشر.

مهن إن دراسة الرياضيات، والمنطق الرياضي ولغات برمجة الحاسوب مهمة لتطوير الأنظمة التي يمكنها اتخاذ قرارات منطقية. ويؤكد علم النفس على أن هذه القرارات يمكن أن تأخذ طابعًا إنسانيًّا.

التوسع

1. **ناقش القضية** هل هناك حدود أخلاقية في تطوير الذكاء الاصطناعي؟
2. **إدراك السبب والنتيجة** ما المشكلات التي قد تؤدي بالأنظمة الخبيرة إلى اتخاذ قرار غير دقيق؟
3. **التفكير الناقد** في أي الحالات يجب أن يكون الذكاء الاصطناعي عقلانيًّا ورشيدًا بصورة مطلقة، وفي أي الحالات ينبغي أن يشمل الرغبات الإنسانية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 5
دليل مراجعة الفصل

5–1 التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة Conduction in Solids

المفردات

- أشباه الموصلات
- نظرية الأحزمة
- أشباه الموصلات النقية
- الشوائب
- أشباه الموصلات غير النقية (المعالجة)

المفاهيم الرئيسة

- إن مستويات الطاقة المسموح بها في المواد الصلبة للإلكترونات الخارجية في الذرة تتوزع في حزم واسعة بواسطة المجالات الكهربائية لإلكترونات الذرات المجاورة.
- تنفصل حزم التكافؤ والتوصيل بواسطة فجوات طاقة ممنوعة، وذلك يعني أن هناك مناطق في مستويات الطاقة لا توجد الإلكترونات فيها.
- في الموصلات، يمكن للإلكترونات أن تتحرك خلال المواد الصلبة لأن حزم التوصيل مملوءة جزئيًا.
- تُعالج أشباه الموصلات من النوع n بذرات مانحة للإلكترونات، ويمكنها التوصيل نتيجة استجابة الإلكترونات الممنوحة لفروق الجهد المطبّقة.
- تعالج أشباه الموصلات من النوع p بذرات مستقبلة للإلكترونات، ويمكنها التوصيل بواسطة الفجوات، على أن تكون متاحة للإلكترونات في حزمة التوصيل.

5–2 الأدوات الإلكترونية Electronic Devices

المفردات

- الدايود
- طبقة النضوب
- الترانزستور
- الرقاقة الميكروية

المفاهيم الرئيسة

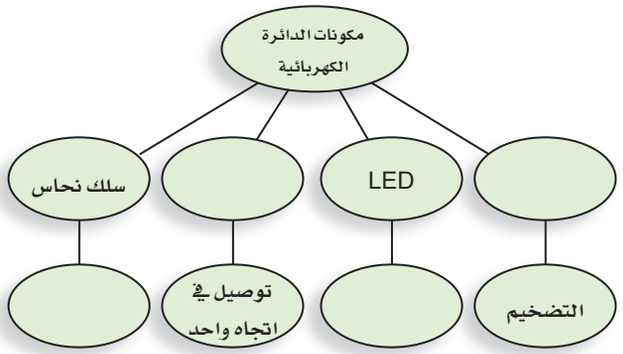
- يمرر الدايود التيار الكهربائي في اتجاه واحد فقط. ويمكن استخدامه في دوائر التقويم لتحويل التيار المتردد AC إلى تيار مستمر DC.
- تتحد الإلكترونات والفجوات القريبة من إحدى جوانب وصلة الدايود لتنتج منطقة خالية من ناقلات الشحنات وتعرف هذه المنطقة بطبقة النضوب.
- إن تطبيق فرق جهد ذي قطبية محددة عبر الدايود يؤدي إلى زيادة عرض طبقة النضوب بصورة كبيرة، فلا يلاحظ أي تيارات خلالها. ويسمى الدايود في هذه الحالة الدايود المنحاز عكسيًّا.
- إن عكس القطبية للجهد المطبّق عبر الدايود يقلل من عرض طبقة النضوب بصورة كبيرة، فيلاحظ التيار خلالها، ويسمى الدايود في هذه الحالة الدايود المنحاز أماميًّا.
- يعمل الترانزستور مضخمًا ومقويًا للإشارات، وهو عبارة عن شريحة مكوّنة من ثلاث طبقات من المادة شبه الموصلة تكون على شكل طبقات npn أو pnp، وتكون طبقة القاعدة المركزية رقيقة جدًّا مقارنةً بالطبقات الأخرى؛ أي الباعث والجامع.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 5

خريطة المفاهيم

33. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: الترانزستور، دايود السليكون، يبعث ضوءًا، يوصل الكهرباء في كلا الاتجاهين.



إتقان المفاهيم

34. كيف تختلف مستويات الطاقة في بلورة عنصر معين عن مستويات الطاقة في ذرة مفردة من ذلك العنصر؟ (5–1)

35. لماذا يؤدي تسخين أشباه الموصلات إلى زيادة موصليتها؟ (5–1)

36. ما الناقل الرئيس للتيار في المادة شبه الموصلة من النوع P؟ (5–1)

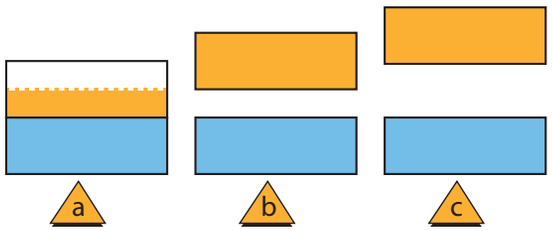
37. يطبق جهاز الأوميتر فرق الجهد على الأداة لفحصها، ويقيس التيار، ويبيّن مقاومة الأداة. إذا قمت بتوصيل الأوميتر بين طرفي الدايود، فهل يعتمد التيار الذي تقيسه على أي طرف للدايود يوصل مع القطب الموجب لجهاز الأوميتر؟ وضح إجابتك. (5–2)

38. ما معنى رأس السهم على الباعث في رمز دائرة الترانزستور؟ (5–2)

39. صف تركيب الدايود المنحاز أماميًّا. ووضح كيفية عمله. (5–2)

تطبيق المفاهيم

40. في مخطط حزم الطاقة الموضح في **الشكل 5–16** أي منها تمثل المادة التي لها أكبر مقاومة؟



الشكل 5–16

41. في مخططات حزم الطاقة الموضحة في **الشكل 5–16** أيها له حزم توصيل نصف ممتلئة؟

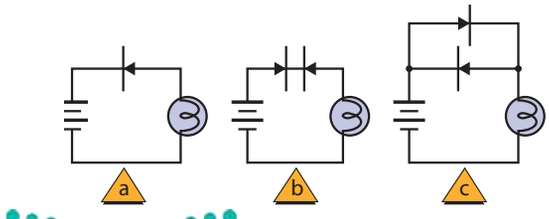
42. في مخططات حزم الطاقة الموضحة في **الشكل 5–16** أيها يمثل أشباه موصلات؟

43. تزداد موصلية الجرافيت عندما ترتفع درجة الحرارة. فهل توصيل الجرافيت للكهرباء أكثر من النحاس أم السليكون؟

44. أي المواد الآتية تعمل عوازل جيدة: مادة لها فجوة ممنوعة عرضها 8 eV، أم مادة لها فجوة ممنوعة عرضها 3 eV، أم مادة ليس لها فجوة ممنوعة؟

45. بالنسبة لذرات المواد الثلاث الواردة في السؤال السابق، أي هذه المواد أكثر صعوبة عند انتزاع إلكترون من ذراتها؟

46. حدد إذا كان المصباح الكهربائي في كل من الدوائر *a,b,c* الموضحة في **الشكل 5–17** مضيئًا أم لا.

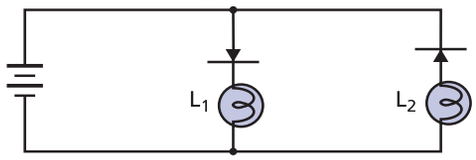


الشكل 5–17

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 5

47. في الدائـــرة الموضحة في **الشـــكل 18–5**، حدد ما إذا كان أحد المصباحين L_1 و L_2 مضيئًا، أم كلاهما مضيء، أم كلاهما غير مضيء.



الشكل 18–5

48. اســتخدم الجدول الدوري لتحديد أي العناصر الآتية يمكن أن يضاف إلى الجرمانيوم لتكوين شبه موصل من النــوع p: B، C، N، P، Si، Al، Ge، Ga، As، In، Sn، Sb.

49. هل يُظهر جهاز الأوميتر مقاومة أكبر عندما يكون الدايود مــن النوع pn منحازًا أماميًّــا أم منحازًا عكسيًّا؟

50. إذا أظهر جهاز الأوميتر في المسألة السابقة مقاومة متدنية فهل يكون ســلك توصيــل الأوميتر عند رأس ســهم الدايود ذا جهد مرتفــع أم ذا جهد منخفض؛ مقارنة بالسلك الآخر الموصول بالأوميتر؟

51. إذا قمت بمعالجة الجرمانيوم النقي بعنصر الجاليوم وحده، فهل تنتج مقاومًا، أم دايودًا، أم ترانزستورًا؟

إتقان حل المسائل

5–1 التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة

52. ما عـدد الإلكترونات الحرة الموجودة في سنتمتر مكعب من الصوديوم؟ علمًا أن كثافته تساوي $0.971\ g/cm^3$، وكتلته الذرية تساوي $22.99\ g/mol$، عندما يوجد إلكترون حر واحد في كل ذرة.

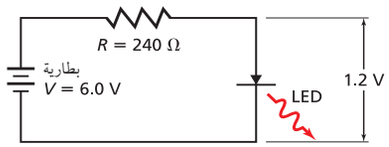
53. لعنصر السيلكون النقي تبلغ عدد الإلكترونات الحرة في كل سنتمتر مكعب $1.55\times10^{9}\ e^-/cm^3$ عند درجة حرارة $0^{\circ}C$ إذا علمت أن كثافة السليكون تساوي $2.33\ g/cm^3$، والكتلة الذرية للسليكون تساوي $28.09\ g/mol$ فما نسبة الذرات التي تحتوي على إلكترونات حرة؟

5–2 الأدوات الإلكترونية

54. **LED** إذا كان هبــوط الجهد عبر الدايود المشــع للضــوء المتوهــج يســاوي 1.2 V تقريبًــا. وفي **الشــكل 19–5**، فإن هبوط الجهد عــبر المقاومة هو الفرق بين جهد البطاريــة وهبوط الجهد عبر الدايود المشــع للضوء. ما مقدار التيار الكهربائي المارّ خلال كل مما يأتي؟

a. الدايود المشع للضوء LED

b. المقاومة



الشكل 19–5

55. أراد عمــر زيادة التيار المارّ خلال الدايود المشــع للضوء في المسألة السابقة ليصبح $3\times10^{1}\ mA$ على أن تكون إضاءته أكثر سطوعًا. افترض أن هبوط الجهد عبر الدايود المشــع للضوء بقي 1.2 V، فما مقدار المقاومة التي ينبغي له استخدامها؟

56. **الدايود** وصل دايود من السليكون ذو الخصائص I/V الموضحة في **الشــكل 10–5** مع بطارية من خلال مقاومة مقدارهــا 270 Ω. إذا كان الدايود منحــازًا إلى الأمام بواســطة بطاريــة، وكان تيار الدايود يساوي 15 mA، فما مقدار جهد البطارية؟

57. افــترض أن المفتــاح الموضح في **الشــكل 20–5** مفتوح، وحدد كلاً من:

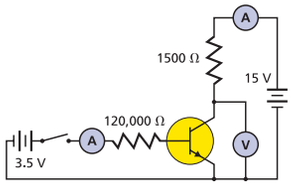
a. تيار القاعدة.

b. التيّار الجامع.

c. قراءة جهاز الفولتمتر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 5



الشكل 20–5

58. افترض أن المفتاح الموضح في **الشكل 20–5** مغلق، وهبوط الجهد عبر وصلة القاعدة–الباعث يساوي 0.70 V، وكسب التيار من القاعدة للجامع يساوي 220، وحدد كلًّا من:

a. تيار القاعدة.

b. تيار الجامع.

c. قراءة الفولتمتر.

مراجعة عامة

59. الموجات الكهرومغناطيسية التي تصطدم بالسليكون تحرك الإلكترونات من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل عندما تكون الفجوة الممنوعة فيه 1.1 eV. ما أكبر طول موجي للإشعاع الذي يمكن أن يثير الإلكترون بهذه الطريقة؟ تذكّر أن $E = 1240\ eV.nm / \lambda$.

60. **صمام الـ Si** يظهر دايود السليكون الخاص عند درجة حرارة 0°C تيارًا كهربائيًّا مقداره 1.0 nA عندما يكون منحازًا عكسيًّا. ما التيار الذي يمكن توقعه إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى 104 °C؟ افترض أن جهد القاعدة العكسي بقي ثابتًا. (إنتاج الناقل الحراري للسليكون يتضاعف لكل زيادة في درجة الحرارة مقدارها 8°C).

61. **صمام الـ Ge** يظهر دايود الجرمانيوم الخاص عند درجة حرارة 0°C تيارًا كهربائيًّا مقداره 1.5 μA عندما يكون منحازًا عكسيًّا. ما التيار الذي يمكن توقعه إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى 104 °C؟ افترض أن جهد القاعدة العكسي بقي ثابتًا. (إنتاج الناقل الحراري للجرمانيوم يتضاعف لكل زيادة في درجة الحرارة مقدارها 13 °C).

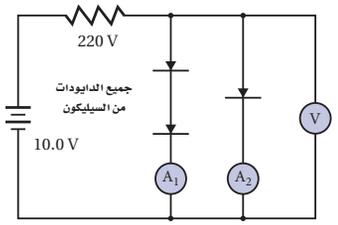
62. **LED** ينتج الدايود المشع للضوء ضوءًا أخضر طوله الموجي 550 nm عندما تتحرك الإلكترونات من حزمة التوصيل إلى حزمة التكافؤ. احسب عرض الفجوة الممنوعة بوحدة eV في هذا الدايود.

63. ارجع إلى **الشكل 21–5** وحدد كلًّا من:

a. قراءة الفولتمتر.

b. قراءة A_1.

c. قراءة A_2.



الشكل 21–5

التفكير الناقد

64. **تطبيق المفاهيم** هناك بعض المحركات في **الشكل 22–5**، تدور في اتجاه عند تطبيق قطبية معينة وتدور في الاتجاه المعاكس عند عكس القطبية.

a. أي دائرة (a، b، c) ستسمح للمحرك بالدوران في اتجاه واحد فقط؟

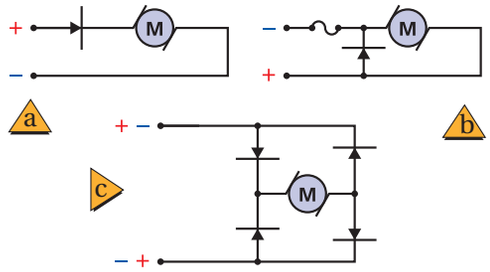
b. أي دائرة ستؤدي إلى تلف المنصهر الكهربائي (الفيوز) عند تطبيق قطبية غير صحيحة؟

c. أي دائرة تنتج اتجاه دوران صحيح بغض النظر عن القطبية المطبقة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

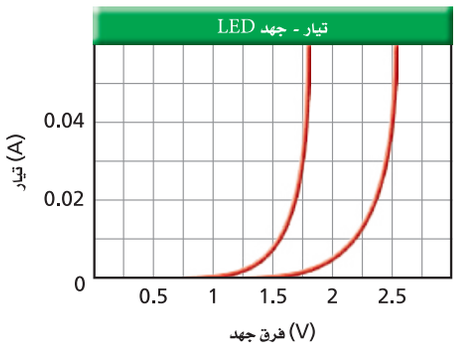
تقويم الفصل 5

d. ناقش مزايا وعيوب كل من الدوائر الثلاث.



الشكل 22–5

65. تطبيق المفاهيم يوضح **الشكل 23–5** خصائص I /V لاثنين من الدايودات المشعة للضوء والتي تتوهج بألوان مختلفة. يتعين أن يوصل كل دايود ببطارية جهدها 9.0 V من خلال مقاومة. إذا كان كل دايود يشغّل بتيار مقداره 0.040 A، فما مقدار المقاومات التي ينبغي اختيارها لكل دايود؟



الشكل 23–5

66. تطبيق المفاهيم افترض أن الدايودين الواردين في المسألة السابقة قد وُصلا معًا على التوالي، فإذا استخدمت البطارية الواردة في المسألة السابقة نفسها، وكان التيار المطلوب يساوي 0.035 A، فما المقاوم الذي ينبغي استخدامه؟

الكتابة في الفيزياء

67. ابحث حول مبدأ الاستبعاد لباولي وحياة فولفجانج باولي، وسلّط الضوء على إسهاماته البارزة في مجال العلوم. وصف تطبيق مبدأ الاستبعاد على نظرية الحزم في التوصيل، وخصوصًا في أشباه الموصلات.

68. اكتب مناقشة تتكون من صفحة واحدة حول مستوى طاقة فيرمي عند تطبيقها على مخططات حزم الطاقة لأشباه الموصلات على أن تتضمن المناقشة رسمًا واحدًا على الأقل.

مراجعة تراكمية

69. أنبوب من النحاس طوله 2.00 m عند 23 °C. ما مقدار التغير في طوله إذا ارتفعت درجة حرارته إلى 978 °C؟ (فيزياء 2)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. أي العبارات الآتية الخاصة بالدايود تعدّ غير صحيحة؟ يمكن للدايود.....

(A) تضخيم الجهد
(B) الكشف عن الضوء
(C) أن يبعث ضوءًا
(D) تقويم التيار المتردد

2. تحتوي كل ذرة كادميوم على إلكترونين حرين. ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في $1\ cm^3$ لعنصر الكادميوم، علمًا أن كثافة الكادميوم تساوي $8650\ kg/m^3$؟

(A) 1.24×10^{21}
(B) 9.26×10^{22}
(C) 9.26×10^{24}
(D) 1.17×10^{27}

3. إذا كان تيار القاعدة في دائرة الترانزستور يساوي 45 µA وتيار الجامع يساوي 8.5 mA، فما مقدار كسب التيار من القاعدة إلى الجامع؟

(A) 110
(B) 190
(C) 205
(D) 240

4. في المسألة السابقة إذا زاد تيار القاعدة بمقدار 5 µA، فما مقدار الزيادة في تيار الجامع؟

(A) 5 µA
(B) 1 mA
(C) 10 mA
(D) 190 µA

5. تبين دائرة ترانزستور أن تيار الجامع 4.75 mA، وكسب التيار من القاعدة إلى الجامع 250، فما مقدار تيار القاعدة؟

(A) 1.19 µA
(B) 18.9 µA
(C) 4.75 mA
(D) 1190 mA

6. أي الصفوف في الجدول الآتي تمثّل الوصف الأفضل لأشباه موصلات السليكون لكل من النوع n والنوع p؟

	النوع n	النوع P
(A)	معالج بالجاليوم	إلكترونات مضافة
(B)	إلكترونات مضافة	معالج بالزرنيخ
(C)	معالج بالزرنيخ	فجوات مضافة
(D)	فجوات مضافة	معالج بالجاليوم

7. أي الصفوف الآتية تمثّل أفضل وصف لسلوك أشباه الموصلات النقية –سيلكون نقي– عند زيادة درجة الحرارة؟

	الموصلية	المقاومة
(A)	تزداد	تزداد
(B)	تزداد	تقل
(C)	تقل	تزداد
(D)	تقل	تقل

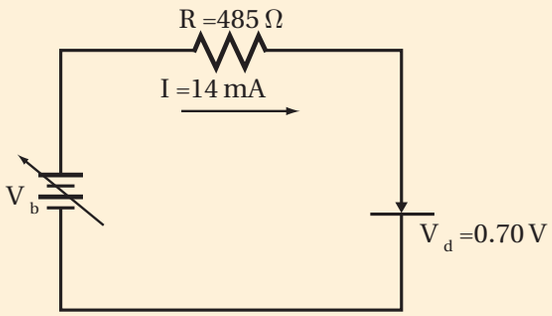
8. يتضاعف إنتاج الإلكترون حراريًّا في السليكون لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره 8 °C. يظهر دايود السليكون تيارا 2.0 nA عند درجة حرارة 0 °C عندما يكون منحازًا عكسيًّا. كم يكون مقدار التيار عند 112 °C إذا كان جهد القاعدة العكسي ثابتًا؟

(A) 11µA
(B) 33µA
(C) 44µA
(D) 66µA

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الأسئلة الممتدة

9. وصل دايود السليكون في اتجاه منحاز إلى الأمام مع مصدر قدرة من خلال مقاوِم مقداره 485 Ω، كما موضح أدناه، إذا كان هبوط جهد الدايود يساوي 0.70 V، فما مقدار جهد مصدر القدرة عندما يكون تيار الدايود 14 mA؟



إرشاد

ركّز.

إذا تحدّث الطلاب الجالسون إلى جوارك أثناء الاختبار، فيتعين عليك أن تنتقل إلى مكانٍ آخر. فقط انتبه إلى تعليمات المعلم أثناء الاختبار؛ لأن الحديث أثناء الاختبار إلهاء ومضيعة للوقت، فضلاً عن أن المعلم قد يعتقد أنك تغش، فلا تتحدث مع الآخرين وركّز في الاختبار.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 6

الفيزياء النووية
Nuclear Physics

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف مكوّنات النواة، وكيف يؤثر الاضمحلال الإشعاعي في هذه المكوّنات.
- حساب الطاقة الناتجة عن التفاعلات النووية.
- دراسة كيفية إنتاج واستخدام النظائر المشعة والطاقة النووية.
- فهم التركيب البنائي للمادة.

الأهمية

للفيزياء النووية العديد من التطبيقات التي تتضمن: الأبحاث الطبية، وإنتاج الطاقة، ودراسة تركيب المادة.

الطب تُستخدم النظائر المشعة لتكوين صورة للدماغ، وأجهزة الجسم الأخرى؛ للتشخيص الطبي والبحث العلمي.

فكِّر

كيف تساعد الأشعةُ المنبعثة من النظائر المشعة العلماءَ والأطباء على تتبع العمليات التي تجري في جسم الإنسان؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

كيف يمكنك عمل نموذج للنواة؟

سؤال التجربة فيم تتشابه القوة التي يؤثر بها شريط ذو وجهين لاصقين مع القوة النووية القوية؟

الخطوات

1. غلّف الأوجه الخارجية لـ 3–6 أقراص مغناطيسية باستخدام الشريط اللاصق ذي الوجهين، ثم كرر الشيء نفسه لـ 3–6 أقراص من الخشب أو الألومنيوم مماثلة لها في الحجم. تمثل المغانط البروتونات، وتمثل الأقراص الأخرى النيوترونات.
2. رتّب المغانط بحيث تكون أقطابها الشمالية متقابلة.
3. صِف القوة المؤثرة في بروتون في أثناء تقريبه من بروتون آخر حتى يتلامسا.
4. صِف القوة المؤثرة في نيوترون في أثناء تقريبه من نيوترون آخر أو من بروتون حتى يتلامسا.

التحليل

تهبط القوة النووية القوية إلى الصفر عندما يبتعد مركزا النيوكليونين أحدهما عن الآخر مسافة تزيد على نصفي قطريهما.

كيف يمكن مقارنة ذلك مع مدى قوة الشريط اللاصق؟ القوة النووية متساوية لكل من النيوترونات والبروتونات. هل يصف هذا المثال ما يحدث في النواة؟

التفكير الناقد تحتوي النواة المستقرة عادةً على عدد من النيوترونات يزيد على عدد البروتونات. لماذا يسلك هذا المثال الطريقة نفسها التي تحدث داخل النواة؟

6–1 النواة The Nucleus

لم يثبت العالم إرنست رذرفورد وجود النواة فقط، بل أجرى أيضًا بعض التجارب المبكرة بهدف اكتشاف تركيبها. من الأهمية أن تدرك أن تجارب رذرفورد والتجارب التي أجراها العلماء بعده لم يتم فيها مراقبة الذرة مباشرةً؛ فقد تم استخلاص الاستنتاجات من المشاهدات التي توصل إليها الباحثون. تذكّر أن فريق رذرفورد أجرى بعناية قياسات دقيقة لانحراف جسيمات ألفا عندما اصطدمت بشريحة الذهب. ويمكن تفسير هذه الانحرافات إذا كان معظم حجم الذرة فراغًا. وقد أظهرت التجارب كذلك أن الذرة تحتوي على مركز صغير جدًّا ذي كثافة كبيرة وشحنة موجبة تتركز فيه كتلة الذرة، ومحاط بإلكترونات مهملة الكتلة تقريبًا.

بعد أن اكتشف العالم بيكرل عام 1896م النشاط الإشعاعي اتجه البحث إلى التأثيرات الناتجة عن اضمحلال النواة نتيجة التحلل الإشعاعي الطبيعي.

ثم اكتشف كل من ماري وبيير كوري عنصرًا جديدًا (الراديوم)، وجعلا منه عنصرًا متوافرًا للباحثين في كافة أنحاء العالم؛ مما أثرى دراسة النشاط الإشعاعي. ثم اكتشف العلماء إمكانية تحويل نوع من الذرات إلى نوع آخر من خلال النشاط الإشعاعي، ومن ثم فلابد أن الذرات تتكوّن من أجزاء أصغر. ثم استخدم كل من إرنست رذرفورد وفريدرك سودي النشاط الإشعاعي لدراسة مركز الذرة (النواة).

الأهداف

- **تحدد** عدد النيوترونات والبروتونات في النواة.
- **تعرف** طاقة الربط النووية للنواة.
- **تربط** الطاقة الناتجة عن التفاعل النووي مع التغير في طاقة الربط النووية في أثناء التفاعل.

المفردات

العدد الذري
وحدة الكتل الذرية
العدد الكتلي
النويدة (نواة النظير)
القوة النووية القوية
النيوكليونات
طاقة الربط النووية
فرق الكتلة

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

وصف النواة Description of Nucleus

هل تتكوّن النواة من جسيمات مشحونة بشحنة موجبة فقط؟ بداية تم تعرّف كتلة النواة، وحقيقة أن شحنتها موجبة فقط. كما عُرف مقدار شحنة النواة نتيجة تجارب تشتّت الأشعة السينية التي أجراها هنري موسلي أحد أعضاء فريق رذرفورد. وأظهرت النتائج أن البروتونات موجبة الشحنة، وأنها مسؤولة عن نصف كتلة النواة. وافترضت إحدى الفرضيات أن الكتلة الإضافية هي نتيجة لوجود البروتونات، وأن في النواة إلكترونات تقلل من قيمة الشحنة التي لوحظت. ومع ذلك واجهت هذه الفرضية بعض المشكلات الأساسية. وفي عام 1932م حلّ العالم الإنجليزي جيمس شادويك هذه المشكلة عندما اكتشف وجود جسيم متعادل كتلته تساوي كتلة البروتون تقريبًا داخل النواة، عُرِّفَ بالنيوترون، وهو المسؤول عن الكتلة المفقودة للنواة دون زيادة شحنتها.

كتلة النواة وشحنتها البروتون هو الجسيم الوحيد المشحون داخل النواة. **والعدد الذري** Z للذرة هو عدد البروتونات. لذا فإن شحنة النواة الكلية تساوي عدد البروتونات مضروبًا في الشحنة الأساسية:

$$\text{شحنة النواة} = Ze$$

ولكل من البروتون والنيوترون (النيوكليونات) كتلة تساوي تقريبًا 1u؛ حيث u **وحدة الكتلة الذرية**، وتعادل $1.66 \times 10^{-27}\,kg$، وتزيد حوالي 1800 مرة على كتلة الإلكترون. ولتحديد الكتلة التقريبية للنواة احسب حاصل ضرب مجموع عدد النيوترونات والبروتونات أو **العدد الكتلي** A في وحدة الكتل الذرية u.

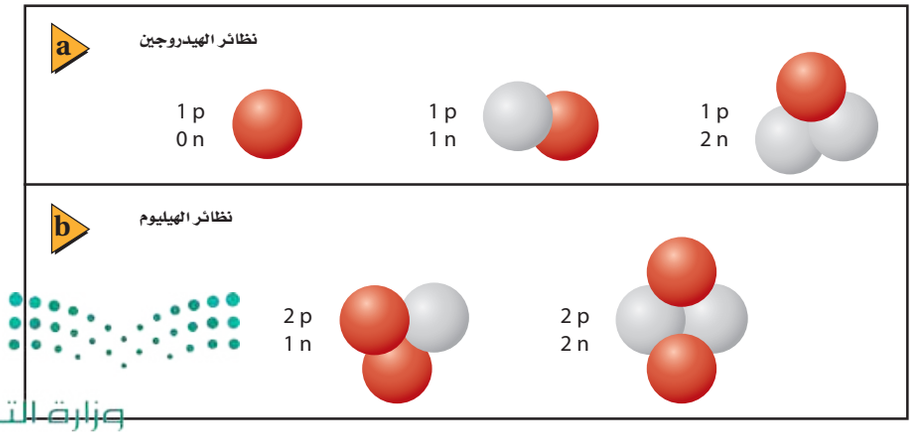
$$\text{كتلة النواة} \cong A\,(u)$$

حجم النواة أظهرت نتائج رذرفورد القياسات الأولى لحجم النواة فقد، وجد أن قطر النواة يساوي $10^{-14}\,m$ تقريبًا. وبذلك يكون للذرة المثالية نصف قطر أكبر أكبر 10000مرة من حجم النواة.

وعلى الرغم من أن النواة تحتوي على كل كتلة الذرة تقريبًا، إلا أنها تشغل حيزًا في الذرة أقل من الحيز الذي تشغله الشمس في النظام الشمسي. والنواة مركّزة بطريقة غير مُتخيَّلة؛ فكثافتها $1.4 \times 10^{18}\,kg/m^3$ تقريبًا. فإذا افترضنا أن حجم النواة سنتمتر مكعب واحد فسوف تكون كتلتها بليون طن تقريبًا.

رموز الكتب

يرمز لوحدة الكتل الذرية atomic mass unit في كتاب الفيزياء بالرمز u وبالرمز amu في كتاب الكيمياء؛ وكلاهما صحيحان ويعبران عن نفس الوحدة.



الشكل 1–6 تُظهر نويدات الهيدروجين (a)، والهيليوم (b) لجميع نويدات العنصر العدد نفسه من البروتونات (باللون الأحمر)، وعددًا مختلفًا من النيوترونات (باللون الرمادي).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

هل لجميع العناصر العدد الكتلي نفسه؟
Do all elements have the same mass numbers?

بالنظر إلى الجدول الدوري ستلاحظ أن العناصر الأربعة الأولى لها عدد كتلي A قريب من العدد الصحيح على الرغم من أن كتلة البـــورون 10.81 u فلو كانـــت النواة تتكون من البروتونات والنيوترونات فقط وكانـــت كتلة كل منها 1 u تقريبًا، فإن الكتلة الكلية لأي ذرة يجب أن تكون عددًا صحيحًا.

إن إشـــكالية كون الكتل الذرية لا تساوي عددًا صحيحًا تم حله باستخدام جهاز مطياف الكتلة. لقـــد تعلمت كيف يُظهر مطياف الكتلة إمكانية وجود كتل مختلفة لذرات العنصر الواحد. ففي تحليل عينة نقية من النيون مثلاً لم تظهر بقعة واحدة فقط، بل ظهرت بقعتان على شاشـــة مطياف الكتلة، وهما ناتجتان عن ذرات نيون مختلفة الكتلة. وقد وجدت ذرة نيـــون واحدة لها كتلـــة 20 u، بينما كتلة النوع الثـــاني 22 u. إن ذرة النيون الطبيعية تحتوي على عشرة بروتونات وعـــشرة إلكترونات في الذرة، لكن وجد أنه بينما تحتوي أنوية أنواع مـــن ذرات النيون عـــلى 10 نيوترونات في كل منها، فإن أنواعًا أخـــرى تحتوي نواتها على 12 نيوترونًـــا. وهذان النوعان من الذرات يســـميان نظائر النيون. وتســـمى **نواة النظير النويدة**. وجميع نويدات العنصر لها العدد نفســـه من البروتونات، ولكن لها أعدادًا مختلفة من النيوترونات، كما في نويدات الهيدروجين والهيليوم الموضحة في **الشكل 1–6**. علمًا بأن جميع نظائر العنصر المتعادل كهربائيًّا لها العدد نفســـه من الإلكترونات حول النواة، وكذا السلوك الكيميائي.

متوسط الكتلة الكتلة المقيسة لغاز النيون هي 20.183 u. وهذا الرقم يعرف بمتوسط كتلة نظائـــر النيون الموجودة طبيعيًّا. وعلى الرغم من أن كتلة ذرة النيون المفردة قريبة من العدد الصحيح لوحدات الكتل، فإن الكتلة الذرية المحســـوبة من متوسط الكتل للنيون ليست كذلك. ولمعظم العناصر أشكال متعددة من النظائر التي تنتج طبيعيًّا. وتستخدم كتلة أحد نظائر الكربون (كربون–12) بوصفها وحدة الكتل الذرية؛ فوحدة الكتل الذرية الواحدة u تســـاوي $\frac{1}{12}$ من كتلة نظير الكربون 12. ولوصف النظير يستخدم الرمز Z المنخفض عن يسار رمز العنصر ليمثل العدد الذري أو الشـــحنة، بينما يكتب الرمز العلوي A عن يسار رمز العنصر أيضًا ليمثل العدد الكتلي، بحيث يأخذ هذا الترميز الشـــكل ${}^{A}_{Z}X$؛ حيث X رمز العنصر. فيكتب الكربون–12 مثلاً ${}^{12}_{6}C$ ، ويكتب نظيرا النيون اللذان عددهما الذري 10 في صورة ${}^{20}_{10}Ne$ و ${}^{22}_{10}Ne$.

مسائل تدريبية

1. الأعداد الكتليـــة لنظائر اليورانيـــوم هـــي 234، 235، و238. والعدد الذري لليورانيوم هو 92. ما عدد نيوترونات نواة كل نظير؟
2. العدد الكتلي لنظير الأوكسجين 15. ما عدد نيوترونات نواة هذا النظير؟
3. ما عدد نيوترونات نظير الزئبق ${}^{200}_{80}Hg$ ؟
4. اكتب رموز نظائر الهيدروجـــين الثلاثة التي تحتوي على صفر، وواحد، واثنين من النيوترونات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

ما الذي يحافظ على نيوكليونات النواة معًا؟
What holds the nucleus together?

تبقى الإلكترونات السالبة الشحنة المحيطة بنواة الذرة الموجبة الشحنة في مكانها بتأثير قوة التجاذب الكهرومغناطيسية. ولأن النواة تتكون من البروتونات الموجبة الشحنة والنيوترونات المتعادلة الشحنة فربما تسبب قوة التنافر الكهرومغناطيسية بين البروتونات تباعد بعضها عن بعض. ولأن هذا لا يحدث فيجب أن توجد قوة تجاذب متبادلة وقوية داخل النواة.

القوة النووية القوية The Strong Nuclear Force

القوة التي تؤثر بين البروتونات والنيوترونات والموجودة في النواة والقريبة جدًا بعضها إلى بعض تسمى **القوة النووية القوية**. وهذه القوة تزيد 100 مرة على القوة الكهرومغناطيسية. إن مدى هذه القوة قصير، ويساوي نصف قطر البروتون فقط؛ أي $1.4 \times 10^{-15}\ \text{m}$ تقريبًا. كما أنها قوة تجاذب، وهي القوة نفسها التي تؤثر بين البروتونات والبروتونات، وكذلك بين البروتونات والنيوترونات، وأيضًا بين النيوترونات والنيوترونات.

تسمى كل من النيوترونات والبروتونات **النيوكليونات**. تحافظ القوة النووية الهائلة على بقاء النيوكليونات في النواة. ولإخراج النيكليون خارج النواة يجب بذل شغل للتغلب على قوة التجاذب، وهذا الشغل يضاف إلى النظام. لذلك طاقة النواة الكلية أقل من مجموع طاقات البروتونات والنيوترونات المنفردة التي تتكوّن منها النواة. ويتحول فرق الطاقة للنواة إلى **طاقة ربط نووية**. ولأن طاقة النواة الكلية أقل، فإن طاقات الربط جميعها تكون سالبة.

تطبيق الفيزياء

القوى

البوزترون عبارة عن إلكترون موجب الشحنة. وقوة التجاذب الكهرومغناطيسية بين الإلكترون والبوزترون أكبر من قوة التجاذب التثاقلية بمقدار 4.2×10^{42} مرة.

طاقة الربط النووية Binding Energy of the Nucleus

بيّن أينشتاين أن كلًّا من الكتلة والطاقة متكافئتان. لذلك يمكن التعبير عن طاقة الربط على شكل كمية مكافئة من الكتلة بالمعادلة التالية:

الطاقة المكافئة للكتلة $E = mc^2$

الطاقة المحتواة في المادة تساوي حاصل ضرب الكتلة في مربع سرعة الضوء في الفراغ.

ولأنه يجب أن تضاف طاقة لإفلات نيوكليون من النواة، فإن ذلك يعني أن كتلة النواة الكلية أقل من مجموع كتل النيوكليونات التي تحويها.

فمثلاً تحوي نواة الهيليوم ^4_2He على بروتونين ونيوترونين. وكتلة البروتون 1.007276 u، بينما كتلة النيوترون 1.008665 u. فإذا كانت كتلة نواة الهيليوم تساوي مجموع كتل بروتونين ونيوترونين فسوف تتوقع أن كتلة النواة 4.031882 u. لكن القياس الدقيق يُظهر أن كتلة نواة الهيليوم الفعلية 4.002603 u فقط، وهي أقل من كتل النيوكليونات المكوّنة لها بمقدار 0.029279 u. ويسمى الفرق بين مجموع كتل النيوكليونات المفردة المكونة للنواة والكتلة الفعلية لها **فرق الكتلة**.

ويقيس جهاز مطياف الكتلة عادة كتل النظائر؛ وهي النويدات مع جميع إلكتروناتها. وعند حساب فرق الكتلة للنويدات يجب أن تتأكد من حساب كتلة الإلكترونات بصورة دقيقة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

لذلك فإن كتلة الهيدروجين (بروتون واحد وإلكترون واحد) تذكر عادة في مسائل فرق الكتلة. وتقاس الكتل عادةً بوحدة الكتل الذرية، لذا من المفيد تحديد مقدار الطاقة المكافئة لـ $1u\ (1.6605 \times 10^{-27}\ kg)$. ولتحديد الطاقة يجب أن تضرب الكتلة في مربع سرعة الضوء في الفراغ $2.9979 \times 10^{8}\ m/s$، ويعبّر عن الناتج بخمسة أرقام معنوية.

$$E = mc^2 = (1.6605 \times 10^{-27}\ kg)\ (2.9979 \times 10^{8}\ m/s)^2$$
$$= 1.4924 \times 10^{-10}\ kg.\ m^2/s^2$$
$$= 1.4924 \times 10^{-10}\ J$$

ومن أكثر الوحدات سهولة في الاستخدام وحدة الإلكترون فولت.

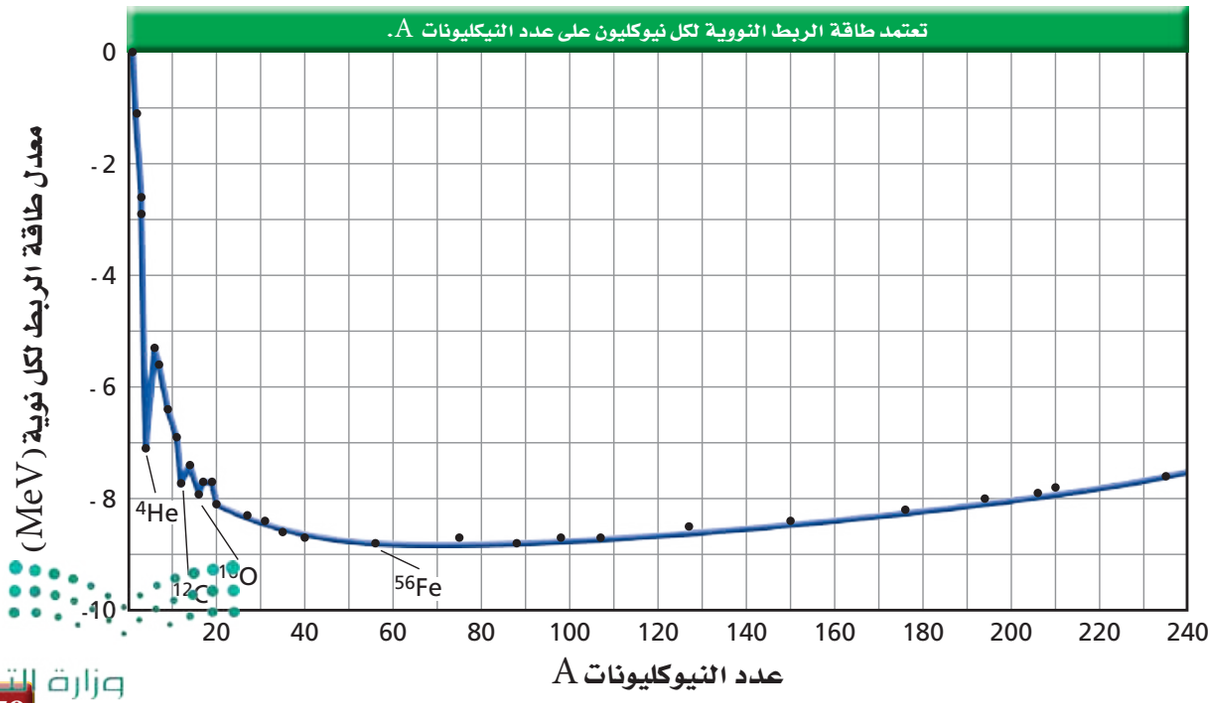
$$E = (1.4924 \times 10^{-10}\ J)(1\ eV/1.60217 \times 10^{-19}\ J)$$
$$= 9.3149 \times 10^{8}\ eV = 931.49\ MeV$$

وهذا يعني أن 1u من الكتلة تكافئ 931.49 Mev من الطاقة، و**الشكل 2–6** يبيّن كيف تعتمد طاقة ربط النوية على كتلة النواة (فرق الكتلة 1u)(طاقة الربط النووية لـ 1u) = E.

إن الأنوية الثقيلة ترتبط بقوة أكبر من الأنوية الخفيفة ما عدا القليل منها. وطاقة الربط النووية لكل نوية تصبح أكثر سالبية كلما ازداد العدد الكتلي A حتى القيمة 56، ويعد الحديد Fe. ونواة الحديد $^{56}_{26}Fe$ من أكثر الأنوية ترابطًا، لذلك تصبح الأنوية أكثر استقرارًا كلما اقترب عددها الكتلي من العدد الكتلي للحديد. أما الأنوية ذوات الأعداد الكتلية الأكبر من ذلك تكون أقل ترابطًا، لذا تكون أقل استقرارًا.

ويحدث التفاعل النووي طبيعيًّا إذا تحررت طاقة نتيجة التفاعل، وهذا يعني أنه إذا تحوّل موقع نواة إلى موقع أقرب من النقطة الدنيا للمنحنى البياني عند A = 56 والتي هي أقل من العدد الكتلي لنواة $^{56}_{26}Fe$، يكون أكثر استقرارًا. ويحدث لها تفاعل نووي طبيعي إذا زاد العدد الكتلي لها.

ويتحول الهيدروجين في الشمس والنجوم الأخرى إلى هيليوم وكربون وبعض العناصر الأثقل الأخرى في تفاعلات تُحرر طاقة مولدة إشعاعًا كهرومغناطيسيًّا، والذي تعلم – من خلال خبرتك – أنه ليسَ مجرد ضوء مرئي بل هو أوسع من ذلك.



الشكل 2–6 طاقة الربط النووية لكل نيوكليون تعتمد على عدد النيوكليونات A.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

عند الأعــداد الكتلية الأكبر من 56 يحدث تفاعل نووي طبيعــي إذا نقص العدد الكتلي. وعندما يضمحل اليورانيوم 238 إلى الثوريوم 234 تكون نواة الثوريوم الناتجة أكثر استقرارًا من نواة اليورانيوم، وتتحرر الطاقة على شــكل جسيم مشع ذي كتلة وطاقة حركية. ولن يتحوّل الثوريوم تلقائيًّا إلى اليورانيوم؛ لأنه يجب إضافة طاقة إلى النواة لحدوث ذلك. وقد تولدَّت أنوية العناصر الثقيلة في الجدول الدوري بهذه الطريقة، وباندماج الأنوية الصغيرة باستخدام المسارعات الجســيمية. وعمومًا فإن العناصر الثقيلة قد تتكون لعدة أجزاء من الثانيــة فقط قبل أن تضمحل إلى أنوية أصغر وأكثر اســتقرارًا. وعندما تكتســب الأنوية الصغيرة نيوكليونات تكون طاقة الربط النووية للنواة الأكبر أكثر ســالبية، لذا تكون أكثر استقرارًا من مجموع طاقات الربط للأنوية الأخف.

في الجزء القادم، سوف تُستخدم حســابات طاقة الربط النووية لفهم التفاعلات النووية. وطاقة الربط النووية تفسر تحرر الطاقة عند اندماج الأنوية الصغيرة، كما يحدث في النجوم، وانقسام الأنوية الكبيرة كما في اضمحلال العناصر المشعة.

مثـــال 1

فرق الكتلة وطاقة الربط النووية أوجد فرق الكتلة وطاقة الربط النووية للتريتيوم ${}_1^3\mathrm{H}$ ، إذا كانت كتلة نظير الهيدروجين (التريتيوم) 3.016049 u، وكتلة ذرة الهيدروجين (مجموع كتلة بروتون وإلكترون) 1.007825 u، وكتلة النيوترون 1.008665 u.

1 تحليل المسألة ورسمها

المعلوم	المجهول
كتلة ذرة الهيدروجين الواحدة = 1.007825 u	كتلة النيوكليونات والإلكترون الكلية = ؟
كتلة النيوترون الواحد = 1.008665 u	فرق الكتلة = ؟
كتلة التريتيوم = 3.016049 u	طاقة الربط النووية للتريتيوم = ؟
طاقة الربط النووية 1 u = 931.49 Mev	

2 إيجاد الكمية المجهولة

دليل الرياضيات
الأرقام الصغيرة واستخدام الأسس السالبة.

اجمع كتل ذرة الهيدروجين (بروتون واحد وإلكترون واحد) ونيوترونين.

كتلة ذرة هيدروجين + كتلة نيوترونين تساوي:
$$\begin{array}{r} 1.007825\ \mathrm{u} \\ +\ 2.017330\ \mathrm{u} \\ \hline 3.025155\ \mathrm{u} \end{array}$$

كتلة النيوكليونات الكلية:

فرق الكتلة يساوي كتلة التريتيوم الفعلية ناقص مجموع كتل مكوّناته

كتلة التريتيوم – كتلة النيوكليونات تساوي:
$$\begin{array}{r} 3.016049\ \mathrm{u} \\ -\ 3.025155\ \mathrm{u} \\ \hline -0.009106\ \mathrm{u} \end{array}$$

فرق الكتلة :

طاقة الربط النوية هي الطاقة المكافئة لمقدار فرق الكتلة.

$E =$ (طاقة الربط النووية لِـ 1 u) (فرق الكتلة u)

$E = (931.49\ \mathrm{MeV/u})\ (-0.009106\ \mathrm{u})$

بالتعويض عن فرق الكتلة = -0.009106 u

طاقة الربط لكل u = 931.49 MeV

$E = -8.4821\ \mathrm{MeV}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس الكتلة بوحدة u، وتقاس الطاقة بوحدة MeV.
- **هل للإشارة معنى؟** يجب أن تكون طاقة الربط سالبة.
- **هل الجواب منطقي؟** اعتمادًا على الشكل 2–6 فإن طاقة الربط لكل نيوكليون في المدى بين2 MeV− و3 MeV−، لذلك فالجواب للنيكليونات الثلاثة منطقي.

مسائل تدريبية

استخدم القيم المبينة لحل المسائل التالية:

وكتلة ذرة الهيدروجين (مجموع كتلة بروتون وإلكترون) = 1.007825 u، وكتلة النيوترون = 1.008665 u، و 1u = 931.49 MeV

5. كتلة نظير الكربون $^{12}_{6}C$ 12.0000 u. احسب:
a. فرق الكتلة. **b.** طاقة الربط النووية بوحدة MeV

6. نظير الهيدروجين الذي يحتوي على بروتون واحد ونيوترون واحد يسمى ديوتيريوم، كتلة ذرته 2.014102 u. ما مقدار:
a. نقص كتلته؟ **b.** طاقة الربط للديوتيريوم بوحدة MeV؟

7. يحتوي نظير النيتروجين $^{15}_{7}N$ على سبعة بروتونات وثمانية نيوترونات، وكتلته 15.010109 u. احسب:
a. فرق الكتلة لهذه النواة. **b.** طاقة الربط النووية لهذه النواة.

8. إذا كانت الكتلة الذرية لنظير الأكسجين $^{16}_{8}O$ تساوي 15.994915 u. ما مقدار:
a. فرق الكتلة لهذا النظير؟ **b.** طاقة الربط النووية لهذا النظير؟

بعض المعارف الأساسية في مجالات محددة في الفيزياء قادت إلى إجراء تطبيقات بصورة سريعة كما في مجال الفيزياء النووية، فبدأ استخدام عنصر الراديوم المشع في الطب خلال عشرين عامًا من اكتشافه. واستخدمت مسارعات البروتون في التطبيقات الطبية بعد أقل من عام من اختراعها. وبدأ التطبيق العسكري للانشطار النووي (انقسام الأنوية) وكان تحت التطوير قبل أن تعرف الأساسيات الفيزيائية. وقد تبعتها التطبيقات السلمية بعد عشر سنوات أو أقل.

1–6 مراجعة

9. الأنوية لاحظ أزواج الأنوية التالية: $^{12}_{6}C$، $^{13}_{6}C$، $^{11}_{6}C$، $^{11}_{5}B$. فيم يتشابه كل زوج منها، وفيم يختلف؟

10. طاقة الربط النووية عندما يضمحل نظير الهيدروجين (التريتيوم) $^{3}_{1}H$ فإنه يطلق جسيم بيتا ويصبح نظير الهيليوم $^{3}_{2}He$. أي نواة تتوقع أن يكون لها أكبر طاقة ربط نووية سالبة؟

11. الطاقة النووية القوية مدى الطاقة النووية القوية قصير جدًّا؛ بحيث إن النيوكليونات القريبة جدًّا بعضها من بعض تتأثر بهذه القوة. استخدم هذه الحقيقة في تفسير سبب تغلب قوة التنافر الكهرومغناطيسية على قوة التجاذب القوية في الأنوية الثقيلة، مما يجعل النواة غير مستقرة.

12. فرق الكتلة أي النواتين في المسألة 10 لها نقص كتلة أكبر؟

13. فرق الكتلة وطاقة الربط إذا علمت أن كتلة نظير الكربون المشع $^{14}_{6}C$ تساوي 14.003074 u.
a. فما مقدار فرق الكتلة لهذا النظير؟
b. وما مقدار طاقة الربط النووية لهذا النظير؟

14. التفكير الناقد في النجوم المتقدمة في العمر، لا ينتج فقط الهيليوم والكربون عن طريق اتحاد أنوية مترابطة معًا بشدة، ولكن ينتج أيضًا الأكسجين (Z = 8) والسليكون (Z = 14). ما العدد الذري للنواة الثقيلة التي يمكن أن تتكون بهذه الطريقة؟ فسر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الأهداف

- **تصنف** ثلاثة أنماط للاضمحلال الإشعاعي.
- **تحل** معادلات نووية.
- **تحسب** كمية المادة المشعة المتبقية ونشاطها بعد فترة زمنية محددة.
- **تعرف** الاندماج النووي والانشطار النووي.
- **تصف** عمل المفاعل النووي.

المفردات

المواد المشعة
اضمحلال ألفا
اضمحلال بيتا
اضمحلال جاما
التفاعل النووي
عمر النصف
النشاط الإشعاعي
الانشطار النووي
التفاعل المتسلسل
الاندماج النووي

في عام 1896م استعمل بيكرل مركبات تحتوي على عنصر اليورانيوم. و فوجئ أن لون الصفائح الفوتوجرافية التي كانت تغطي اليورانيوم وتحجب الضوء عنه أصبح ضبابيًّا، وهو ما حدث أيضًا للصفائح التي تعرضت جزئيًّا لليورانيوم القريب من موقع اليورانيوم. ودل هذا اللون الضبابي على أن نوعًا من الأشعة المنبعثة من اليورانيوم قد نفذت من الصفيحة التي تغطيه. ووجد أن بعض المواد الأخرى غير اليورانيوم أو مركباته قادرة على أن تطلق مثل هذه الأشعة النافذة. والمواد التي تطلق مثل هذا النوع من الإشعاع تسمى **المواد المشعة**. وبسبب انبعاث جسيمات من هذه المواد فإنها تضمحل، وتضمحل النواة عندما تنتقل تلقائيًّا من حالة أقل استقرارًا إلى حالة أكثر استقرارًا.

الاضمحلال الإشعاعي Radioactive Decay

في عام 1899م اكتشف العالم رذرفورد ورفاقه أن عنصر الرادون يتحول تلقائيًّا إلى نواة أخف ونواة هيليوم خفيفة. وفي العام نفسه اكتشف أيضًا أن مركبات اليورانيوم تنتج ثلاثة أنواع مختلفة من الإشعاع فصل بينها تبعًا لقدرتها على اختراق المواد. وقد أطلق عليها اسم إشعاعات α (ألفا)، و β (بيتا) و γ (جاما). حيث يمكن إيقاف جسيمات ألفا عند اصطدامها بصفيحة رقيقة من الورق، بينما يلزم سمك 6 mm من الألومنيوم لإيقاف معظم جسيمات بيتا، ويلزم سمك عدة سنتمترات من الرصاص لإيقاف إشعاع جاما.

اضمحلال ألفا جسيم ألفا عبارة عن نواة هيليوم ^4_2He. وعملية انبعاث جسيم ألفا من النواة تسمى **اضمحلال ألفا**. العدد الكتلي لجسيم ألفا ^4_2He هو 4، والعدد الذري له 2. فعندما تطلق النواة جسيم ألفا فإن عددها الكتلي A ينقص بمقدار 4، بينما ينقص عددها الذري Z بمقدار 2، فيتحوّل العنصر إلى عنصر مختلف. وعلى سبيل المثال يتحوّل اليورانيوم $^{238}_{92}U$ إلى ثوريوم $^{234}_{90}Th$ نتيجة اضمحلال ألفا.

اضمحلال بيتا جسيمات بيتا عبارة عن إلكترونات تنبعث من النواة، ولكن النواة لا تحتوي على إلكترونات. فمن أين تأتي هذه الإلكترونات؟ يحدث **اضمحلال بيتا** عندما يتحول النيوترون إلى بروتون داخل النواة. وفي جميع التفاعلات يجب أن تبقى الشحنة محفوظة، لذا يجب أن تساوي الشحنةُ قبل التفاعل الشحنةَ بعد التفاعل؛ فعندما تحدث عملية اضمحلال بيتا يتحول النيوترون إلى بروتون وينتج أيضًا إلكترون. وفي هذا الاضمحلال تنتهي نواة عدد نيوتروناتها N وعدد بروتوناتها Z متحولة إلى نواة جديدة عدد نيوتروناتها N–1 وعدد بروتوناتها Z+1، مع ظهور جسيم آخر يدعى ضديد النيوترينو مرافق لاضمحلال بيتا.

اضمحلال جاما ينتج **اضمحلال جاما** نتيجة إعادة توزيع الطاقة داخل النواة. وإشعاع γ عبارة عن فوتونات ذات طاقة عالية. ونتيجة لذلك لا يتغير العدد الكتلي أو العدد الذري للنواة المضمحلة. ويرافق إشعاع جاما عادة اضمحلال ألفا أو بيتا. وقد تم تلخيص أنواع الاضمحلال الثلاثة للإشعاع في **الجدول 1–6**.

تمر العناصر المشعة خلال سلسلة الاضمحلالات الإشعاعية لتكوّن نواة مستقرة في النهاية؛ فاليورانيوم $^{238}_{92}U$ مثلاً يخضع إلى 14 اضمحلالاً قبل أن ينتج نظير الرصاص المستقر $^{206}_{82}Pb$.

تجربة عملية
كيف أحمي نفسي من النشاط الإشعاعي؟
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

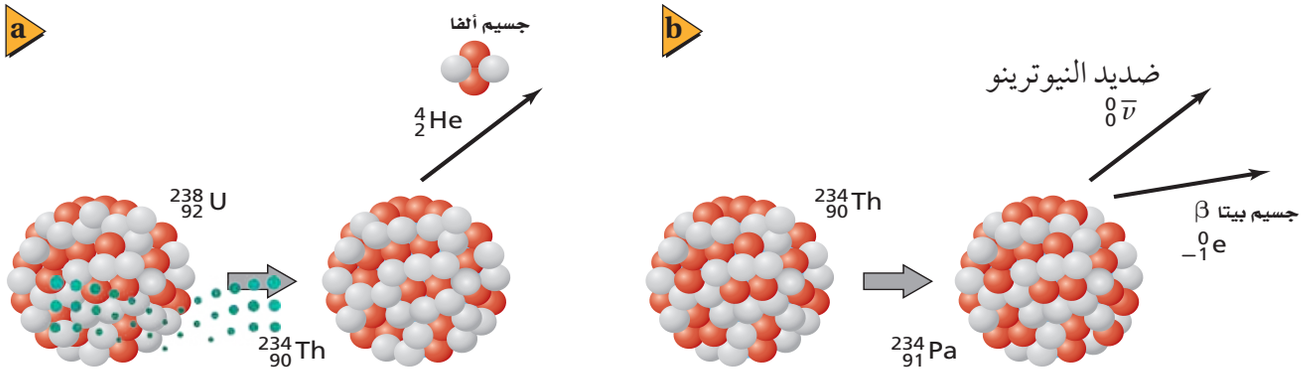
الجدول 1–6		
أنواع الإشعاع الثلاثة		
جسيم ألفا	جسيم بيتا	إشعاع جاما
شحنة 2 +	شحنة 1-	متعادل
أقل نفاذًا	طاقة متوسطة	أكبر نفاذًا
تحوّلات النواة: $A \longrightarrow A-4$ $Z \longrightarrow Z-2$ $N \longrightarrow N-2$	تحوّلات النواة: $A \longrightarrow A$ $Z \longrightarrow Z+1$ $N \longrightarrow N-1$	تحوّلات في الطاقة فقط: $A \longrightarrow A$ $Z \longrightarrow Z$ $N \longrightarrow N$

التفاعلات والمعادلات النووية
Nuclear Reactions and Equations

يحدث **التفاعل النووي** عندما تتغـير طاقة النواة أو عدد النيوترونات أو عدد البروتونات فيها. إن بعض التفاعلات النووية ينتج عنها طاقة، كما يحدث في التفاعلات الكيميائية، بينما تحدث تفاعلات أخرى فقط عندما تزود النواة بطاقة. وأحد أنواع التفاعل النووي هو انبعاث جسيمات بواسطة النشاط الإشعاعي للنواة المشعة. ويطلق التفاعل طاقة زائدة على شكل طاقة حركية للجسيمات المنبعثة، ويبين **الشكل 3–6** نوعي التفاعلات. ويمكن وصف التفاعلات النووية باسـتخدام الكلمات، والتمثيل البياني، أو المعادلات. والرموز المستخدمة للأنوية المشاركة في المعادلات النووية تجعل حسابات العدد الذري والعدد الكتلي في التفاعلات النووية أكثر سـهولة؛ حيث يمكن التعبير عن التفاعل النووي الموضح في **الشكل 3a–6** كما يلي: $^{238}_{92}U \longrightarrow ^{234}_{90}Th + ^{4}_{2}He$ مجموع العدد الكلي للجسيمات النووية يبقى ثابتًا خلال التفاعل. لذلك فإن مجموع الأعداد العلوية في كل طرف يجب أن يتساوى: $238 = 234 + 4$. والشحنة الكلية أيضًا محفوظة، لذلك فإن مجموع الأعداد السفلية في كل طرف يجب أن يتساوى أيضًا: $92 = 90 + 2$. وخلال اضمحلال بيتا ينتج إلكـترون $^{0}_{-1}e$ ، وضديد النيوترينو $^{0}_{0}\overline{\nu}$. (رمز النيوترنيو هو الحرف الإغريقي نيو مرفقًا بالخط الصغير أعلاه، والذي يشـير إلى جسيم ضديد المادة). وعملية تحوّل ذرة الثوريوم بانبعاث جسـيم بيتا أيضًا الموضحة في **الشكل 3b–6** يمكن التعبير عنها كما يلي:

$$^{234}_{90}Th \longrightarrow ^{234}_{91}Pa + ^{0}_{-1}e + ^{0}_{0}\overline{\nu}$$

لاحظ أن مجموع الأعداد العلوية في طرف المعادلة الأيسر يساوي مجموع الأعداد العلوية في الطرف الأيمن للمعادلة. وهناك أيضًا مساواة بين الأعداد السفلية في طرفي المعادلة.



■ **الشكل 3–6** انبعاث جسيم ألفا بواسطة عنصر اليورانيوم 238 ينتج عنه تكوّن الثوريوم 234 **(a)**. وانبعاث جسيم بيتا بواسطة عنصر الثوريوم 234 ينتج تكوّن البروتكتانيوم 234 **(b)**.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مثـــــال 2

اضمحلال ألفا واضمحلال بيتا اكتب المعادلة النووية لكل من العمليات الإشعاعية التالية:

a. نظير الراديوم المشع $^{226}_{88}Ra$ ، يشع جسيم ألفا ليتحول إلى نظير الرادون $^{222}_{86}Rn$

b. نظير الرصاص المشع، $^{209}_{82}Pb$ يشع جسيم بيتا وضديد النيوترينو ليتحول إلى نظير البزموث $^{209}_{83}Bi$

1 تحليل المسألة ورسمها

	المعلوم	المجهول
a.	$^{226}_{88}Ra \rightarrow$ جسيم α + $^{222}_{86}Rn$ جسيم $\alpha = {}^{4}_{2}He$	هل هذا الاضمحلال ممكن؟
b.	$^{209}_{82}Pb \rightarrow {}^{209}_{83}Bi +$ جسيم β^- + ضديد النيوترينو جسيم $\beta^- = {}^{0}_{-1}e$، ضديد النيوترينو $= {}^{0}_{0}\overline{\nu}$	هل هذا الاضمحلال ممكن؟

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. عوّض $^{4}_{2}He$ لجسيم α $\quad$ $^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{222}_{86}Rn$

b. عوّض $^{0}_{-1}e$ لجسيم β^- و $^{0}_{0}\overline{\nu}$ لضديد النيوترينو $\quad$ $^{209}_{82}Pb \rightarrow {}^{209}_{83}Bi + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$

3 تقويم الجواب

- **هل عدد النيوكليونات محفوظ؟**

a. 226 = 222 + 4، لذلك فإن العدد الكتلي محفوظ. **b.** 209=209+0+0، لذلك فإن العدد الكتلي محفوظ.

- **هل الشحنة محفوظة؟**

a. 88=2+86، لذلك فإن الشحنة محفوظة. **b.** 82=83−1+0، لذلك فإن الشحنة محفوظة.

مسائل تدريبية

15. اكتب المعادلة النووية لتحول نظير اليورانيوم المشع، $^{234}_{92}U$ إلى نظير الثوريوم $^{230}_{90}Th$ بانبعاث جسيم ألفا.

16. اكتب المعادلة النووية لتحول نظير الثوريوم المشع $^{230}_{90}Th$ إلى نظير الراديوم المشع $^{226}_{88}Ra$ ، بانبعاث جسيم ألفا.

17. اكتب المعادلة النووية لتحول نظير الراديوم المشع $^{226}_{88}Ra$ إلى نظير الرادون $^{222}_{86}Rn$ ، بانبعاث جسيم α.

18. يمكن أن يتحول نظير الرصاص المشع $^{214}_{82}Pb$ إلى نظير البزموث المشع $^{214}_{83}Bi$، بانبعاث جسيم β وضديد نيوترينو. اكتب المعادلة النووية.

19. يحدث اضمحلال لنظير الكربون المشع $^{14}_{6}C$ عندما ينبعث منه جسيم β فيتحول إلى نظير النيتروجين $^{14}_{7}N$. اكتب المعادلة النووية التي توضح ذلك.

عند اضمحلال جسيمات ألفا وبيتا تظهر في الطرف الأيسر من المعادلة نواة واحدة تضمحل إلى نواة أخرى، بالإضافة إلى جسيم واحد أو أكثر من الجسيمات المشعة التي تظهر في الطرف الأيمن من المعادلة. مثال آخر على التحوّل، يحدث عندما يصطدم جسيم مع نواة ينتج عنه غالبًا انبعاث جسيمات أخرى، كما في المعادلة $^{12}_{6}C + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{13}_{7}N$. ومثل هذه التفاعلات موضحة في المثال التالي، وكذلك في مناقشة موضوع الانشطار النووي لاحقًا في هذا الفصل.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مثـــال 3

حل المعادلات النووية عندما قُذف غاز النيتروجين بجسيمات α انبعثت بروتونات ذات طاقة عالية. ما النظير الجديد الناتج؟

1 تحليل المسألة ورسمها

المعلوم

نيتروجين $= {}^{14}_{7}\mathrm{N}$، $\alpha = {}^{4}_{2}\mathrm{He}$

بروتون $= {}^{1}_{1}\mathrm{H}$

المجهول

ما النظير الذي يتولد في الطرف الأيمن للمعادلة؟

دليل الرياضيات

حل المعادلات.

2 إيجاد الكمية المجهولة

اكتب معادلة التفاعل النووي.

$${}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{14}_{7}\mathrm{N} \longrightarrow {}^{1}_{1}\mathrm{H} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X}$$

حل المعادلة بالنسبة للعدد Z والعدد A.

$$A = 4 + 14 - 1 = 17 \qquad Z = 2 + 7 - 1 = 8$$

استخدم الجدول الدوري. العنصر ذو العدد الذري $Z = 8$ هو الأكسجين. والنظير يجب أن يكون ${}^{17}_{8}\mathrm{O}$.

3 تقويم الجواب

- **هل المعادلة موزونة؟** عدد النيوكليونات محفوظ: $17 + 1 = 14 + 4$. الشحنة محفوظة: $2 + 7 = 1 + 8$

مسائل تدريبية

20. استخدم الجدول الدوري لإكمال المعادلتين النوويتين التاليتين:

a. ${}^{14}_{6}\mathrm{C} \longrightarrow ? + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$ **b.** ${}^{55}_{24}\mathrm{Cr} \longrightarrow ? + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$

21. اكتب المعادلة النووية لتحوّل نظير السيبورجيوم ${}^{263}_{106}\mathrm{Sg}$ إلى نظير روثيرفورديوم ${}^{259}_{104}\mathrm{Rf}$ بانبعاث جسيم ألفا.

22. اصطدم بروتون بنظير النيتروجين ${}^{15}_{7}\mathrm{N}$، فتكوّن نظير جديد وجسيم ألفا. ما النظير الناتج؟ اكتب معادلة نووية تبين ذلك.

23. اكتب المعادلات النووية لاضمحلال بيتا للنظائر التالية:

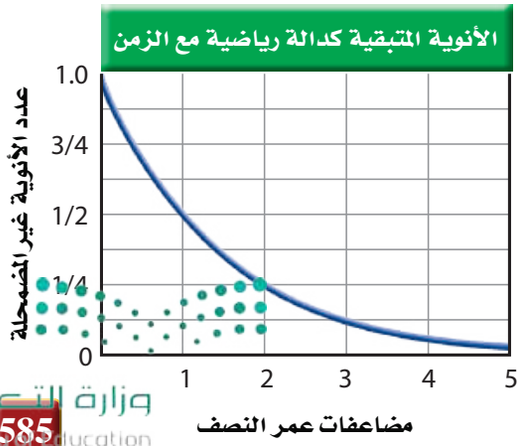
a. ${}^{210}_{82}\mathrm{Pb}$ **b.** ${}^{210}_{83}\mathrm{Bi}$ **c.** ${}^{234}_{90}\mathrm{Th}$ **d.** ${}^{239}_{93}\mathrm{Np}$

عمر النصف

الفترة الزمنية اللازمة لاضمحلال نصف ذرات أي كمية من نظير العنصر المشـــع تسمى **عمر النصف** لذلك العنصر. بعد مرور كل عمر نصف يقل عـــدد الأنوية غير المضمحلة إلى النصف، كما هو موضح في **الشكل 4–6**. ولكل نظير مشع عمر نصف خاص به.

فعمر النصف لنظير الراديوم ${}^{226}_{88}\mathrm{Ra}$ مثلاً 1600 سنة. وبذلك فإن كل 1600 سنة يضمحل نصف الكمية المعطاة من الراديوم ${}^{226}_{88}\mathrm{Ra}$ إلى عنـــصر آخر، هو الرادون، وبعد 1600 ســـنة أخرى يضمحل نصف عينة الراديوم المتبقية. أي أنه بعد مرور 3200 سنة يبقى ربع الكمية الأصلية. وفي المقابل، تضمحل عينة من البولونيوم – 210 إلى ربع الكمية الأصلية خلال 276 يومًا فقط.

الشكل 4–6 اضمحلال النواة المشعة إلى حالات أكثر استقرارًا.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الجدول 2–6

عمر النصف لنظائر مختارة

العنصر	النظير	عمر النصف	الإشعاع الناتج
هيدروجين	$^{3}_{1}H$	12.3 سنة	β
كربون	$^{14}_{6}C$	5730 سنة	β
كوبلت	$^{60}_{27}Co$	30 سنة	β, γ
يود	$^{131}_{53}I$	8.07 أيام	β, γ
رصاص	$^{212}_{82}Pb$	10.6 ساعات	β
بولونيوم	$^{194}_{84}Po$	0.7 ثانية	α
بولونيوم	$^{210}_{84}Po$	138 يومًا	α, γ
يورانيوم	$^{235}_{92}U$	7.1×10^{8} سنة	α, γ
يورانيوم	$^{238}_{92}U$	4.51×10^{9} سنة	α, γ
بلوتونيوم	$^{236}_{94}Pu$	2.85 سنة	α
بلوتونيوم	$^{242}_{94}Pu$	3.79×10^{5} سنة	α, γ

من خلال أعمار النصف للنظائر المختارة الموضحة في **الجدول 2–6**. إذا عرفت الكمية الأصلية للمادة المشعة وعمر نصفها فإنك تستطيع حساب الكمية المتبقية بعد عدد معين من أعمار النصف.

الكمية المتبقية من النظير المشع $N=N_o(1/2)^n$

N الكمية المتبقية

N_o الكمية الأولية (الأصلية)

n عدد فترات عمر النصف التي انقضت $n=\frac{t}{t_{1/2}}$

كمية النظير المشع المتبقية في عينة تساوي الكمية الأولية (الأصلية) مضروبة في الثابت $(\frac{1}{2})$ مرفوعًا لأس يساوي عدد فترات عمر النصف التي انقضت.

تستخدم أعمار النصف للنظائر المشعة لتحديد عمر الأجسام. فيمكن إيجاد عمر عينة من مادة عضوية بقياس كمية الكربون 14 المتبقية. ويمكن حساب عمر الأرض اعتمادًا على اضمحلال اليورانيوم إلى الرصاص.

ويسمى معدل الاضمحلال، أو عدد انحلالات المادة المشعة كل ثانية **النشاط الإشعاعي**. ويتناسب النشاط الإشعاعي طرديًّا مع عدد الذرات المشعة الموجودة. لذلك فإن النشاط الإشعاعي لعينة تقل أيضًا بمقدار النصف خلال عمر نصف واحد. تأمل النظير $^{131}_{53}I$ الذي عمر النصف له 8.07 أيام. فإذا كان النشاط الإشعاعي لعينة من اليود–131 تساوي 4×10^{5} اضمحلال/ ثانية، فسوف يكون نشاطها الإشعاعي بعد انقضاء 8.07 أيام أخرى 2×10^{5} اضمحلال/ ثانية؛ فالنشاط الإشعاعي لعينة يرتبط أيضًا مع عمر النصف. فعمر النصف الأقصر يعني نشاطًا إشعاعيًا أكبر. فإذا عرفت النشاط الإشعاعي لمادة معينة وكتلة تلك المادة فإنك تستطيع تحديد عمر النصف لها. ووحدة اضمحلال لكل ثانية في النظام العالمي للوحدات SI هي البيكرل(Bq).

مسائل تدريبية

*ارجع إلى **الشكل 4–6** و**الجدول 2–6** لحل المسائل التالية:*

24. تولدت عينة تريتيوم $^{3}_{1}H$ كتلتها 1.0 g. ما كتلة التريتيوم التي تتبقى بعد مرور 24.6 سنة؟

25. عمر النصف لنظير النبتونيوم $^{238}_{93}Np$ هو 2.0 يوم. فإذا أنتجت عينة كتلتها 4.0 g من النبتونيوم يوم الإثنين، فما الكتلة التي ستبقى منه يوم الثلاثاء من الأسبوع التالي؟

26. تم شراء عينة من البولونيوم 210 بتاريخ 1/ 9، وكان نشاطها الإشعاعي 2×10^{6} Bq. استخدمت العينة لإجراء تجربة في 1/ 6 من السنة التالية. ما النشاط الإشعاعي المتوقع للعينة؟

27. استخدم التريتيوم $^{3}_{1}H$ في البداية في بعض ساعات اليد لتوليد التوهج الفلوري؛ لكي تستطيع قراءة الوقت في الظلام. إذا كان سطوع التوهج يتناسب طرديًّا مع النشاط الإشعاعي للتريتيوم، فكيف يكون سطوع هذه الساعة، بالمقارنة مع سطوعها الأصلي عندما يكون عمر الساعة ست سنين؟

تجربة عملية

كيف تستطيع إيجاد عمر النصف لنظير مشع ذي فترة حياة قصيرة؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

النشاط الإشعاعي الاصطناعي Artificial Radioactivity

يمكن إنتاج نظائر مشعة من النظائر المستقرة بقذفها بجسيمات α، أو ببروتونات، أو إلكترونات أو أشعة جاما؛ حيث تطلق الأنوية غير المستقرة الناتجة إشعاعات، حتى تتحول إلى نظائر مستقرة. ويمكن للأنوية المشعة أن تبعث جسيمات ألفا، وجسيمات بيتا، وإشعاع جاما. بالإضافة إلى النيوترينو، وضديد نيوترينو، والبوزترونات (البوزترون عبارة عن إلكترون موجب الشحنة ${}^{0}_{+1}e$).

النظائر المشعة المنتجة اصطناعيًّا تستخدم غالبًا في البحوث الدوائية والطبية. ففي العديد من التطبيقات الطبية يعطى المرضى نظائر مشعة تمتصها أعضاء محددة من الجسم. ويستخدم الأطباء عدّاد الإشعاع لمراقبة الإشعاع في العضو الذي يخضع للعلاج. وبعض النظائر المشعة تتعلق بالجزيء الذي سيُمتص في منطقة العلاج، كما يحدث في تطبيق انبعاث البوزوترون في عملية التصوير الإشعاعي المقطعي الذي يعرف بشكل أفضل بمسح PET (التصوير الطبقي) للدماغ، كما هو موضح في **الشكل 5–6**.

وكثيرًا ما يستخدم الإشعاع لتدمير الخلايا السرطانية؛ فهذه الخلايا أكثر حساسية لتأثيرات التدمير الإشعاعي؛ لأنها تنقسم غالبًا أكثر من الخلايا الطبيعية. وتستخدم أشعة جاما المنبعثة من نظير الكوبلت ${}^{60}_{27}Co$ لمعالجة مرضى السرطان، كما يحقن نظير اليود المشع في الغدة الدرقية المصابة بالسرطان.

وفي تطبيق ثالث، توجَّه الجسيمات الناتجة في مسارع الجسيمات على شكل شعاع إلى داخل النسيج بطريقة معينة، بحيث تضمحل في النسيج المصاب بالسرطان، فتدمر خلاياه.

الانشطار النووي Nuclear Fission

تمت مناقشة إمكانية الحصول على أشكال مفيدة للطاقة الناتجة عن التفاعلات النووية عام 1930م، وجاءت معظم النتائج الواعدة نتيجة قذف المواد بالنيوترونات. وفي إيطاليا عام 1934م أنتج كل من العالمين أنريكو فيرمي، وأميليو سيرجي العديد من النظائر المشعة الجديدة؛ وذلك بقذف اليورانيوم بالنيوترونات. وبيَّن كل من الكيميائي الألماني أوتوهان وفرتز ستراسمان عام 1939م أن الذرات الناتجة سلكت كيميائيًّا سلوك عنصر الباريوم. وبعد أسبوع آخر توقع ليز ميتنر وأوتو فرش أن قذف نواة اليورانيوم بالنيوترونات يسبب انقسامها إلى نواتين أصغر مع إنتاج طاقة كبيرة جدًّا. ويسمى مثل هذا الانقسام للنواة الثقيلة إلى نواتين أو أكثر **الانشطار النووي**. وقد أدرك الكثير من العلماء على الفور إمكانية ألا يكون الانشطار النووي مصدرًا للطاقة فقط، ولكنه أيضًا يمكن أن يكون أسلحة متفجرة.

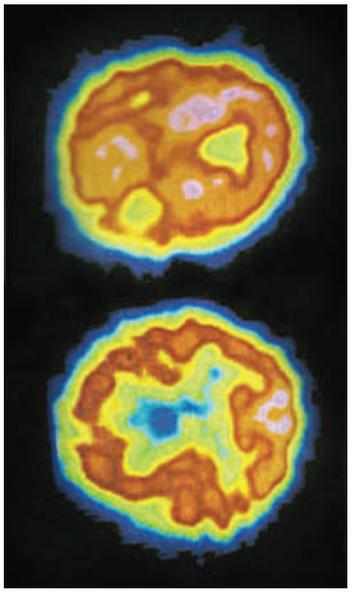
ويحدث الانشطار النووي لليورانيوم عندما تنشطر النواة إلى نواتين أو أكثر محرّرة نيوترونات وطاقة. فنواة نظير اليورانيوم تنشطر إلى نواتي عنصري الباريوم والكربتون عند قذفها بالنيوترونات، وهذه نتائج مثالية للانشطار. والمعادلة النووية التالية توضح هذا التفاعل: ${}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \longrightarrow {}^{92}_{36}Kr + {}^{141}_{56}Ba + 3\,{}^{1}_{0}n + 200\ MeV$

ويمكن إيجاد الطاقة المحررة نتيجة كل انشطار بحساب كتل الذرات في كل من طرفي المعادلة. ففي تفاعل اليورانيوم 235، تكون الكتلة الكلية في الطرف الأيمن للمعادلة أقل بمقدار 0.215 u من الكتلة الكلية في الطرف الأيسر. والطاقة المكافئة لهذه الكتلة هي $3.21 \times 10^{-11}\ J$، أو $2.00 \times 10^{2}\ Mev$. وهذه الطاقة تظهر على شكل طاقة حركية لنتائج الانشطار.

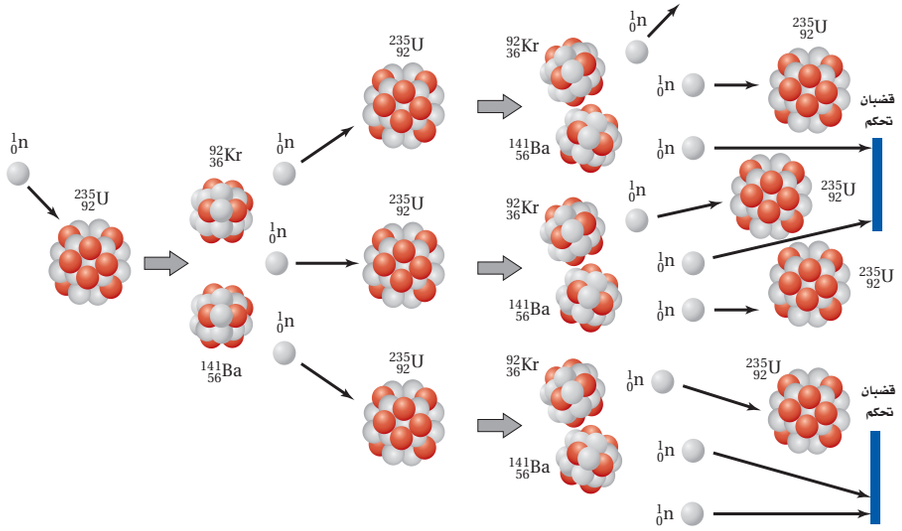
تطبيق الفيزياء

العلاج بالأشعة

أشعة جاما تدمر الخلايا السرطانية والخلايا السليمة، لذلك يجب أن يُوجه الإشعاع مباشرة إلى الخلايا السرطانية فقط

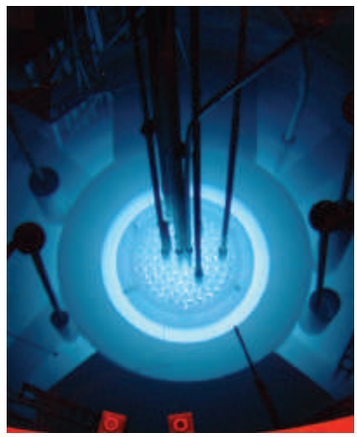


الشكل 5–6 لإجراء مسح PET يحقن الأطباء الجسم بسائل يحوي نظائر مشعة مثل ${}^{18}_{9}F$ ترتبط مع الجزيء الذي سيتركز في الأنسجة الخاضعة للعلاج. وعندما يضمحل ${}^{18}_{9}F$ ينتج بوزترونات تفنى عندما تتحد مع الإلكترونات منتجة أشعة جاما، التي يكشف عنها بجهاز مسح PET. بعد ذلك يكوّن الحاسوب خريطة ثلاثية الأبعاد لتوزيع النظير. والصورة العليا دماغ طبيعي أما الصورة السفلية فهي لدماغ شخص يعاني من داء الخرف، وهما مختلفان.



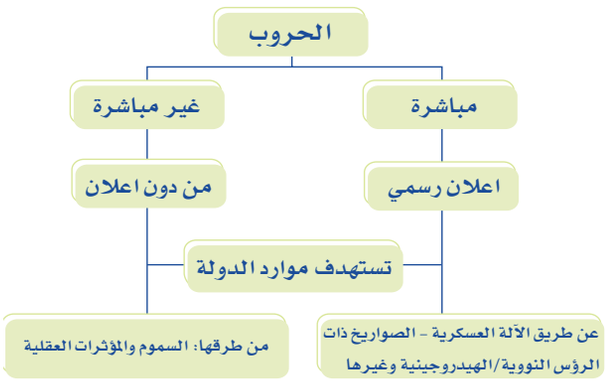
الشكل 6–6 تفاعل الانشطار النووي المتسلسل لليورانيوم235 الذي يحدث في قلب المفاعل النووي.

الشكل 7–6 يعود التوهج إلى تأثير كرينكوف، الذي يحدث عندما تدخل جسيمات إلى الماء بسرعة عالية جدًا تتجاوز سرعة الضوء في الماء. وتبعث الإلكترونات فوتونات تسبّب توهجًا للماء عندما توضع قضبان الوقود داخله. ولا ينتج هذا التوهج عن النشاط الإشعاعي.



النيوترونات اللازمة لإحداث الانشطارات الإضافية لنوى اليورانيوم $^{235}_{92}U$ يمكن أن تكون هي ذاتها النيوترونات التي نتجت عند بدء عملية الانشطار. فعندما يُحدث النيوترون الواحد انشطارًا نوويًّا يحرر ذلك الانشطار ثلاثة نيوترونات، كل منها يستطيع أن يُحدث انشطارًا جديدًا، وهكذا. وهذه العملية المستمرة في تفاعلات الانشطار المتكررة التي تسبب تحرير نيوترونات من تفاعلات الانشطار السابقة تسمى **التفاعل المتسلسل**. ويوضحها **الشكل 6–6**.

الربط مع الصحة تتشابه الصواريخ ذات الرؤوس النووية / الهيدروجينية مع السموم والمؤثرات العقلية بأنها طرق ووسائل لتدمير الدول، وانطلاقًا من مسؤوليتك وواجبك الديني ثم الوطني ساهم بالتصدي لآفة المؤثرات العقلية والسموم وذلك بتقديم رسالة توعوية سواءً من خلال وسائل التواصل الاجتماعي أو المشاركة بالحملات التوعوية التي تطلقها مديرية مكافحة المخدرات وغير ذلك من البرامج التي تدعمها المملكة في هذا المجال.



المفاعلات النووية Nuclear Reactors

لإحداث تفاعل متسلسل تحت السيطرة بحيث تستخدم الطاقة الناتجة عنه، تحتاج النيوترونات إلى التفاعل مع اليورانيوم المنشطر بمعدل مناسب؛ فمعظم النيوترونات المحررة نتيجة انشطار ذرات اليورانيوم $^{235}_{92}U$ تتحرك بسرعات عالية جدًّا، لذا تسمى النيوترونات السريعة. وبالإضافة إلى ذلك فاليورانيوم الذي يوجد طبيعيًّا يحتوي على أقل من 1% من نظير

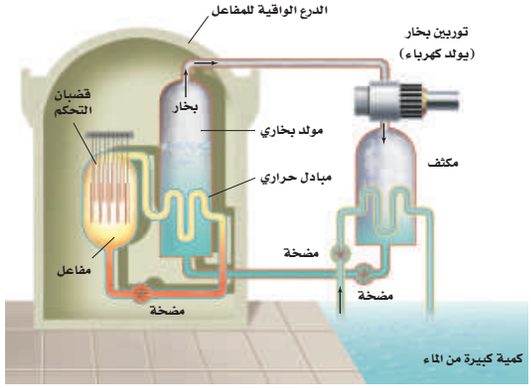
تطبيق الفيزياء

مفاعل الأبحاث النووية منخفض الطاقة (LPRR)

يهدف مشروع مفاعل الأبحاث النووية منخفض الطاقة (LPRP) لإنشاء أول مفاعل نووي في المملكة العربية السعودية، وتطوير ونقل الصناعة النووية المحلية المتوافقة مع رؤية 2030؛ وذلك من خلال إتاحة مشاركة الشركات الوطنية مع بيوت الخبرة العالمية في تصنيع بعض المكونات النووية الهامة كتصنيع حوض قلب المفاعل.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

اليورانيوم $^{235}_{92}U$ وأكثر من 99% من نظير اليورانيوم $^{238}_{92}U$. وعندما تمتص نواة $^{238}_{92}U$ نيوترونًا سريعًا لاتنشطر، ولكنها تصبح نظيرًا جديدًا $^{239}_{92}U$. إن امتصاص النيوترونات بواسطة $^{238}_{92}U$ يمنع معظم النيوترونات من الوصول إلى ذرات $^{235}_{92}U$ الانشطارية. ومن ثم فمعظم النيوترونات المحررة نتيجة انشطار $^{235}_{92}U$ غير قادرة على إحداث انشطار لذرة أخرى من $^{235}_{92}U$.



الشكل 8–6 في محطة الطاقة النووية تتحول الطاقة الحرارية المتحررة من التفاعلات النووية إلى طاقة كهربائية.

وللسيطرة على التفاعل يتفتت اليورانيوم إلى قطع صغيرة توضع في مهدئ؛ وهو مادة يمكن أن تبطئ النيوترونات السريعة. وعندما يصدم النيوترون بذرة خفيفةينقل زخمه وطاقته إلى تلك الذرة. وبهذه الطريقة يخسر النيوترون طاقة. وهكذا فإن المهدئ يبطئ الكثير من النيوترونات السريعة إلى سرعات يمكن عندها امتصاصها بسهولة أكثر بواسطة $^{235}_{92}U$ مقارنة مع $^{238}_{92}U$. والعدد الأكبر من النيوترونات البطيئة يزيد إلى حد كبير من احتمال انشطار نواة $^{235}_{92}U$، وقد يحدث تفاعلاً آخر. وإذا توافرت كمية كبيرة من نظير اليورانيوم $^{235}_{92}U$ في العينة يمكن أن يحدث تفاعل متسلسل. ولزيادة نظير اليورانيوم القابل للانشطار يمكن تخصيب اليورانيوم؛ وذلك بإضافة كمية أكبر من $^{235}_{92}U$، علمًا بأن نوعي اليورانيوم يستخدمان في المفاعلات النووية. مفاعل الماء المضغوط هو أحد أنواع المفاعلات النووية، ويحتوي على 200 طن متري $(200\times10^3\ kg)$ من اليورانيوم مغلّفة بإحكام بمئات القضبان الفلزية. ويتم غمر القضبان في الماء، كما في **الشكل 7–6**. ولا يعمل الماء مهدئًا فقط، بل ينقل أيضًا الطاقة الحرارية بعيدًا عن انشطار اليورانيوم. وتوضع قضبان من فلز الكادميوم بين قضبان اليورانيوم، فيمتص الكادميوم النيوترونات بسهولة فيعمل مهدئًا أيضًا. وتتحرك قضبان الكادميوم إلى داخل وخارج المفاعل للتحكم في معدل التفاعل المتسلسل؛ لذلك تسمى هذه القضبان قضبان التحكم. وعندما يتم إدخال قضبان التحكم كليًّا داخل المفاعل تمتص عددًا كافيًا من النيوترونات المتحررة نتيجة التفاعلات الانشطارية، وبذلك تمنع حدوث تفاعل متسلسل آخر. وعند رفعها من المفاعل يزداد معدل الطاقة المحررة؛ بسبب توافر نيوترونات حرة أكثر كافية لاستمرار حدوث التفاعل المتسلسل.

وتسخن الطاقة المتحررة من الانشطار الماء المحيط بقضبان اليورانيوم، لكن الماء نفسه لا يغلي؛ لأنه تحت ضغط كبير جدًّا، يزيد من درجة غليانه. وكما هو موضح في **الشكل 8–6**. يضخ هذا الماء إلى مبدل الحرارة، فيسبب غليان ماء آخر منتجًا بخارًا يعمل على إدارة التوربينات. وهذه التوربينات موصولة بمولدات لتوليد الطاقة الكهربائية.

إن انشطار نواة $^{235}_{92}U$ ينتج ذرات كربتون Kr، وباريوم Ba وبعض الذرات الأخرى في قضبان الوقود. ومعظم هذه الذرات مشعة. وبعد سنة تقريبًا يجب استبدال بعض قضبان اليورانيوم التي لا يمكن إعادة استخدامها في المفاعل، لكنها تبقى مشعة بمقدار كبير، لذا يجب أن تخزّن في موقع آمن. وحاليًّا يتم تطوير أساليب دائمة لتخزين هذه المخلفات الإشعاعية الناتجة.

الاندماج النووي Nuclear Fusion

في عملية **الاندماج النووي** تندمج أنوية كتلها صغيرة لتكوين نواة ذات كتلة كبيرة، كما

تجربة

نمذجة الاضمحلال الإشعاعي

نحتاج إلى 50 قطعة نقدية معدنية لتمثيل 50 ذرة نظير مشع. في هذا النموذج يمثل أحد وجهي القطعة (الشعار) عدمَ اضمحلال النواة.

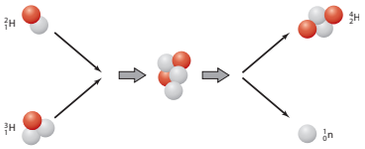
1. **دوّن** 50 (شعارًا) في البداية.
2. **ضع** القطع النقدية في كأس كبيرة، ثم رج الكأس وأفرغها من القطع. ارفع القطع النقدية التي وجه الكتابة فيها إلى أعلى وضعها جانبًا. وعدّ ودوّن عدد القطع الباقية.
3. **أعد** الخطوة 2 باستخدام القطع النقدية التي كان وجهها العلوي شعارًا في الرمية الأخيرة. بحيث تمثل كل رمية عمر نصف واحد.

التحليل والاستنتاج

4. **مثّل** بيانيًا عدد القطع النقدية في دالة رياضية مع عدد أعمار النصف.
5. **اجمع** النتائج من طلبة آخرين واستخدم المجاميع لعمل تمثيل بياني جديد.
6. **قارن** هذا الرسم البياني مع الرسوم البيانية المفردة. أيها أكثر تطابقًا مع الرسم البياني النظري في الشكل 4–6؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

في **الشكل 9–6**؛ حيث تتحرر طاقة نتيجة هذه العملية. وقد درست في هذا الفصل أن النواة الأكبر تكون طاقة ربطها أكبر، لذا تكون كتلتها أقل من مجموع كتل النيوكليونات الأصغر. وهذا النقص في الكتلة يعتمد على مقدار الطاقة المحررة.



الشكل 9–6 اندماج الديوتيريوم والتريتيوم لإنتاج الهيليوم. البروتون باللون الأحمر، والنيوترون باللون الرمادي في الشكل.

والعمليات التي تحدث في الشمس مثال على عملية الاندماج النووي؛ حيث تندمج أربع أنوية هيدروجين (بروتونات) خلال عدة مراحل لتكوين نواة هيليوم واحدة. إن كتلة أربعة بروتونات أكبر من كتلة نواة الهيليوم الناتجة، والطاقة المكافئة لفرق الكتلة هذه تظهر على شكل طاقة حركية للجسيمات الناتجة، والطاقة المتحررة نتيجة الاندماج الذي يكوّن نواة الهيليوم-4 تساوي 25 MeV، وبالمقارنة مع الطاقة المتحررة من تفاعل كيميائي لجزيء واحد من الديناميت والتي تعادل 20 eV. تقريبًا، نجد أنها أقل مليون مرة تقريبًا من طاقة الاندماج النووي.

وهناك عدة عمليات تحدث من خلالها عملية الاندماج النووي في الشمس، والعملية الأكثر أهمية هي سلسلة بروتون – بروتون.

$$ {}^{1}_{1}\mathrm{H} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{0}_{+1}\mathrm{e} + {}^{0}_{0}\nu $$

$$ {}^{1}_{1}\mathrm{H} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He} + \gamma $$

$$ {}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{3}_{2}\mathrm{He} \longrightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + 2\,{}^{1}_{1}\mathrm{H} $$

وأول تفاعلين يجب أن يحدثا مرتين لإنتاج جسيمين ${}^{3}_{2}\mathrm{He}$ يلزمان لإحداث التفاعل الأخير. والنتيجة النهائية (حذف البروتونين الناتجين في المرحلة الأخيرة)، هي أن أربعة بروتونات تنتج ذرة ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ واحدة وبوزيترونين وجسيمي نيوترينو.

إن قوة التنافر بين النوى المشحونة تتطلب أن تكون طاقة النوى المندمجة عالية جدًّا؛ لذلك لا تحدث تفاعلات الاندماج إلا عندما يكون للأنوية كميات هائلة من الطاقة الحرارية. وتحتاج سلسلة بروتون– بروتون إلى درجة حرارة $2 \times 10^{7}\ \mathrm{k}$، كتلك التي وجدت في مركز الشمس. وبنفس الكيفية تحدث تفاعلات الاندماج في القنبلة الهيدروجينية، أو القنبلة الحرارية النووية. فنحصل على درجة الحرارة العالية الضرورية لإحداث التفاعل الاندماجي في هذه القنبلة من انشطار اليورانيوم أو القنبلة الذرية.

6–2 مراجعة

28. **اضمحلال بيتا** كيف يمكن إطلاق إلكترون من النواة في اضمحلال بيتا إذا لم تحتوِ هذه النواة على الإلكترونات؟
29. **التفاعلات النووية** يخضع نظير البولونيوم ${}^{210}_{84}\mathrm{Po}$ لاضمحلال ألفا. اكتب معادلة التفاعل.
30. **عمر النصف** استخدم **الشكل 4 –6** و**الجدول 2–6** لتقدير عدد الأيام اللازمة لانخفاض نشاطية نظير اليود ${}^{131}_{53}\mathrm{I}$ إلى ثلاثة أثمان الكمية الأصلية.
31. **المفاعل النووي** يستخدم الرصاص واقيًا من الإشعاع. لماذا لا يمكن اعتباره خيارًا جيدًا ليكون مهدئًا في المفاعل النووي؟
32. **الاندماج النووي** يحتوي تفاعل اندماجي واحد على نواتي ديوتيريوم ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$، ويحتوي جزيء الديوتيريوم على ذرتي ديوتيريوم. لماذا لا تتعرض الذرتان لعملية الاندماج؟
33. **طاقة** احسب الطاقة المتحررة في أول تفاعل نووي اندماجي في الشمس.

$$ {}^{1}_{1}\mathrm{H} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{0}_{+1}\mathrm{e} + {}^{0}_{0}\overline{\nu} $$

34. **التفكير الناقد** تستخدم بواعث ألفا في كواشف التدخين. فيوضع باعث على أحد ألواح المكثف. وتصطدم جسيمات α باللوح الآخر، ونتيجة لذلك يتولد فرق في الجهد بين اللوحين. فسّر وتوقّع أي اللوحين يكون له جهد موجب أكبر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

عندما درس الفيزيائيون الأوائل النواة بواسطة الجسيمات ذات السرعات العالية، كان عليهم استخدام جسيمات ألفا من مصادر مشعة. وقد استخدم مجربون آخرون الأشعة الكونية التي تنتج عن عمليات لم تفهم بصورة كاملة حتى الآن في النجوم والمجرات. وفي بداية عام 1930م طُورت أول أجهزة مختبرية استطاعت مسارعة البروتونات وجسيمات ألفا لتكسبها طاقة كبيرة كافية لاختراق نواة الهدف. وفي الوقت الحاضر يستخدم جهازان لهذا الغرض هما: المسارع الخطي، والمسارع الدائري التزامني (السنكروترون).

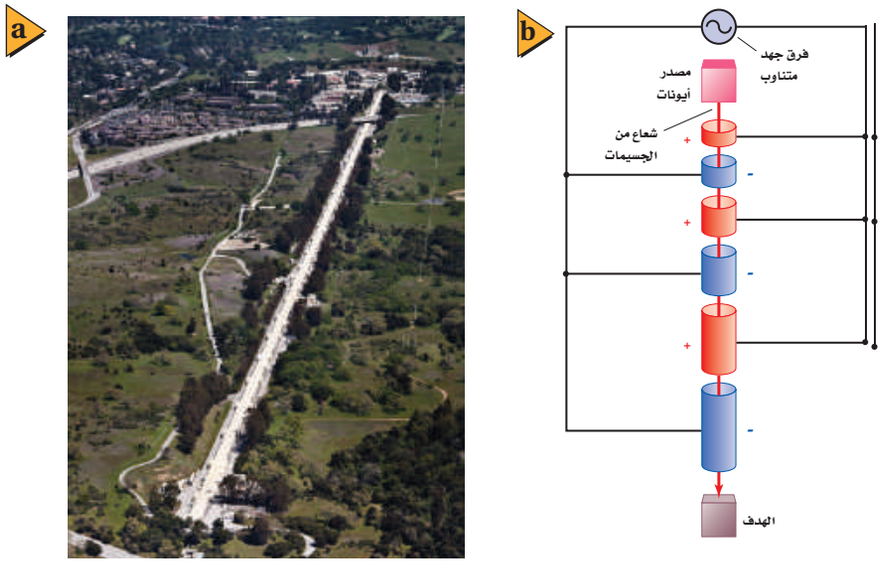
المسارعات الخطية Linear Acceleration

يستخدم المسارع الخطي لمسارعة البروتونات أو الإلكترونات، ويتكون المسارع من سلسلة من الأنابيب المجوّفة داخل حجرة طويلة مفرغة، وهذه الأنابيب موصولة بمصدر جهد متناوب عالي التردد يولد مجالًا كهربائيًا، كما في **الشكل 10–6**. وتُنتَج البروتونات في مصدر أيوني. وعندما يطبق جهد سالب على الأنبوب الأول تتسارع البروتونات الداخلة له. ولا يوجد مجال كهربائي داخل الأنبوب لكن المجال الكهربائي يوجد في الفجوات بين الأنابيب، لذلك تتحرك البروتونات داخله بسرعة ثابتة. ويعدل كل من طول الأنبوب وتردد الجهد، بحيث عندما تصل البروتونات إلى النهاية البعيدة للأنبوب الأول يصبح جهد الأنبوب الثاني سالبا ويتحول جهد الأنبوب الأول ليصبح موجبا. فيعمل المجال الكهربائي المتكوّن في الفجوة بين الأنابيب على مسارعة البروتونات في الفجوات قبل دخولها إلى داخل الأنبوب الثاني. تستمر هذه العملية بحيث تبقى البروتونات تتسارع في الفجوات بين كل زوج من الأنابيب. تزداد طاقة البروتون بمقدار 10^5 eV بتأثير كل تسارع. وكأن البروتونات تركب على قمة موجة المجال الكهربائي، كما تركب الموجة في المحيط. وفي نهاية المسارع تكون البروتونات قد اكتسبت طاقة عالية تصل إلى تيرا إلكترون فولت.

وهناك طرائق أخرى مماثلة تستخدم لمسارعة الإلكترونات. لاحظ أن هذا النوع من المسارعات يعمل على تسارع الجسيمات المشحونة فقط.

الأهداف
- **تصف** عمل مسارعات الجسيمات وكواشف الجسيمات.
- **تصف** النموذج المعياري للمادة، وتفسر دور حاملات القوة.

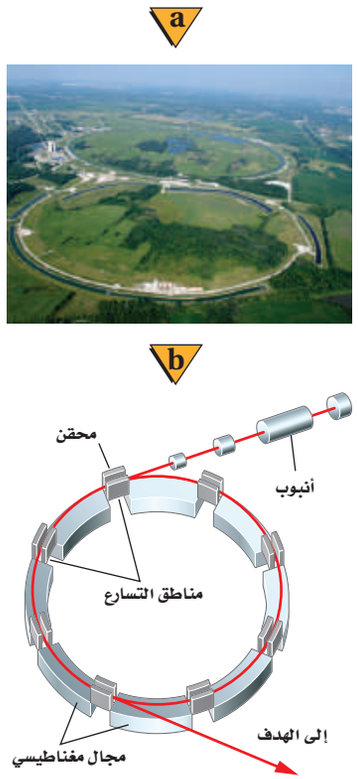
المفردات
النموذج المعياري
الكواركات
الليبتونات
حاملات القوة
إنتاج الزوج
القوة النووية الضعيفة



الشكل 10–6 المسارع الخطي في جامعة ستانفورد طوله 3.3 km ويعمل على مسارعة الإلكترونات إلى طاقات 20 GeV (**a**). تتسارع بروتونات في مسارع خطي عن طريق تغيير الشحنة في الأنابيب في أثناء حركة البروتونات (**b**). (القياسيات لا تعتمد مقياسًا).

السنكروترون The Synchrotron

يمكن أن يصنع المسارع ليكون أصغر باستخدام المجال المغناطيسي لثني مسار الجسيمات فيصبح دائريًّا. في جهاز السنكروترون تفصل مناطق الثني المغناطيسي بمناطق تسارع، كما في **الشكل 6–11b**. في المناطق المستقيمة يسارع الجهد المتناوب العالي التردد الجسيمات، إن شدة المجال المغناطيسي وطول المسار يتم اختيارهما؛ بحيث تصل الجسيماتِ إلى موقع المجال الكهربائي المتناوب بالضبط عندما تعمل قطبية المجال على تسارعها. إن إحدى أجهزة السنكروترون الضخمة التي تعمل الآن موجودة في مختبر مسارع فيرمي الوطني بالقرب من شيكاجو، الموضح في **الشكل 6–11a** حيث تصل طاقة البروتونات فيه إلى 1 TeV (10^{12} eV). ينتقل شعاع البروتون وشعاع ضديد البروتون في اتجاهات متعاكسة في المسار الدائري (ضديد البروتون جسيم له كتلة البروتون نفسها لكن شحنته معاكسة)، فتتصادم الأشعة في مناطق تفاعلات متعددة، وتدرس النتائج. يبين **الشكل 6–11c** منظرًا خارجيًا مسارع المنظمة الأوربية للأبحاث النووية (سيرن CERN) هو أكبر مختبر للفيزياء الحديثة في العالم أما باقي المسارع فهو موجود تحت الأرض وفي هذا المسارع أجريت تجربة تصادم البروتونات التي نتج عنها ضديد البروتون.

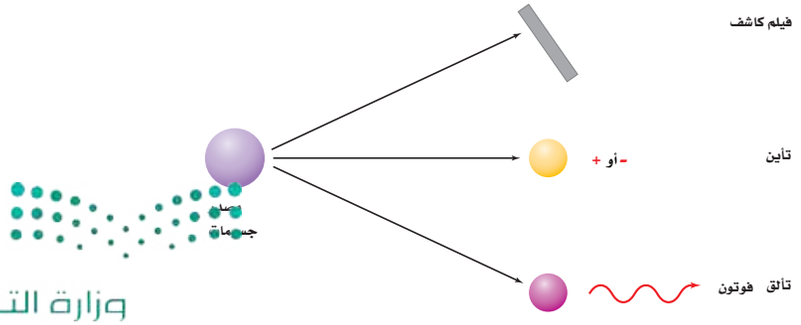


الشكل 6–11 سنكروترون مختبر فيرمي نصف قطره 2 km (a). السنكروترون عبارة عن مسارع دائري، تستخدم فيه المغانط لضبط المسار وتسارع الجسيمات (b) مسارع سيرين في أوروبا وهو أكبر مسارع في العالم (C).

كواشف الجسيمات Particle Detectors

عندما تنتج الجسيمات لا بد من الكشف عن نتائج التصادم؛ أي أنها تحتاج إلى التفاعل مع مادة بطريقة معينة بحيث نستطيع الإحساس بها بحواسنا الإنسانية المحدودة نسبيًّا. فيَدُك توقف جسيم α، رغم عدم إحساسك بأن الجسيم قد ارتطم بها. وفي اللحظة التي تقرأ فيها هذه العبارة، تعبر بلايين النيوترينوات neutrinos الشمسية خلال جسمك دون أن تشعر بها. لذلك ابتكر العلماء في القرن الماضي أدوات لكشف وتمييز نواتج التفاعلات النووية.

درست أن عينات اليورانيوم كوّنت طبقة ضبابية على الصفائح الفوتوجرافية؛ فعندما اصطدمت جسيمات α أو جسيمات β أو أشعة جاما بالصفيحة الفوتوجرافية أصبح لون الصفيحة ضبابيًّا. لذلك يمكن استخدام تلك الصفائح للكشف عن الإشعاع. تستخدم أجهزة أخرى عديدة للكشف عن الجسيمات المشحونة وأشعة جاما. ومعظم هذه الأجهزة تعمل على مبدأ الاستفادة من حقيقة أن تصادم الذرات مع جسيمات ذات سرعة عالية تعمل على تحرير إلكترونات من الذرات، أي أن الجسيمات العالية السرعة تؤين المادة التي يُقذف بها. بالإضافة إلى ذلك تتألق (تلمع) بعض المواد، أو تبعث فوتونات عند تعرضها لأنواع معينة من الإشعاع. وهكذا فإن المواد الفلّورية يمكن أن تستخدم أيضًا للكشف عن الإشعاع. وإليك الطرائق الثلاث للكشف عن الإشعاع موضحة في **الشكل 6–12**.



الشكل 6–12 يمكن الكشف عن الجسيمات عندما تتفاعل مع المادة، أو تتعرض لفيلم كاشف، أو تشحن المادة، أو تسبب انبعاث فوتونات من المادة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

عدّاد جايجر يحتوي أنبوب عدّاد جايجر- مولر على أسطوانة نحاسية ذات شحنة سالبة. يوضع أسفل مركز هذه الأسطوانة سلك شبك موجب الشحنة، بحيث يبقى فرق الجهد المطبّق على السلك والأسطوانة دون النقطة التي يحدث عندها التفريغ التلقائي للشحنات أو الومضة. عندما يدخل جسيم مشحون أو أشعة جاما إلى الأنبوب، يؤيِّن ذرة غاز بين أسطوانة النحاس والسلك، فيتسارع الأيون الموجب الناتج في اتجاه الأسطوانة تحت تأثير فرق الجهد، فيتسارع إلكترون في اتجاه السلك الموجب. وتولد حركة الجسيمات المشحونة في اتجاه الأقطاب سيلاً من الجسيمات المشحونة، فتولِّد نبضة التيار خلال الأنبوب.

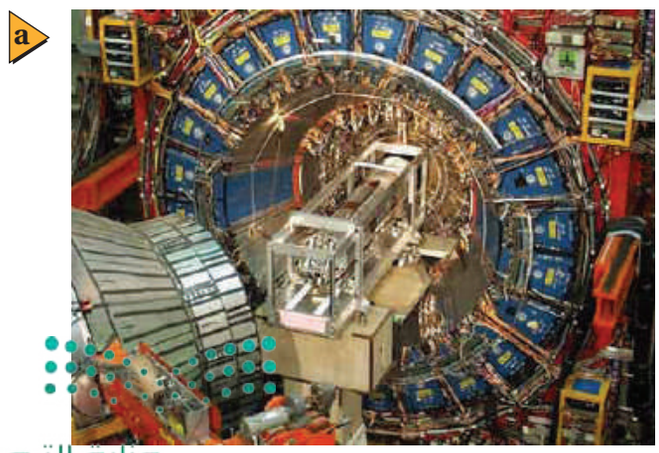
مسارات التكاثف أول جهاز استخدم للكشف عن الجسيمات كان حجرة غيمة ولسون. تحتوي هذه الحجرة على منطقة مشبعة ببخار الماء أو بخار الإيثانول. وعندما تنتقل الجسيمات المشحونة خلال الحجرة تترك أثرًا من الأيونات في مسارها، فيتكاثف البخار على شكل قطرات صغيرة على تلك الأيونات. وبهذه الطريقة تتكون مسارات مرئية من القطرات، أو الضباب. وفي الكشاف المماثل الذي لا يزال يستخدم حتى الآن، والمسمى بحجرة الفقاعة، تعبر الجسيمات المشحونة خلال سائل تبقى درجة حرارته فوق درجة الغليان. في هذه الحالة فإن مسار الأيونات يسبب تكوُّن فقاعات بخار تحدد مسارات الجسيمات، كما في **الشكل 13–6**.

أنتجت التقنية الحديثة حجرات كشف تسمى حجرات سلك تشبه أنابيب جايجر- مولر العملاقة. وتفصل الصفائح الكبيرة بفجوة صغيرة مملوءة بغاز ذي ضغط منخفض. يحدث التفريغ الكهربائي في مسار الجسيم الذي يعبر خلال الحجرة فيكشف الحاسوب عن التفريغ، ويسجّل موقعه للتحليل التالي.

الجسيمات المتعادلة كهربائيًّا لا تغادر المسارات؛ لأنها لا تُحدث تفريغًا. ويمكن استخدام قوانين حفظ الطاقة وحفظ الزخم في التصادمات لتبين ما إذا أنتجت جسيمات متعادلة. وتستخدم كواشف أخرى لتقيس طاقة الجسيمات. تستخدم مجموعة متكاملة من أجهزة الكشف في تجارب المسارعات العالية الطاقة، ومنها الكاشف التصادمي في مختبر فيرمي؛ الذي يصل ارتفاعه إلى ارتفاع بناء من ثلاث طوابق، كما هو موضح في **الشكل 14a–6**. صمم الكاشف التصادمي في مختبر فيرمي لرصد ربع مليون تصادم للجسيم في الثانية. يعمل الكاشف كآلة تصوير كتلتها 5000 طن، لتكوين صورة حاسوبية لحالات التصادم، كما هو موضح في **الشكل 14b–6**.

■ **الشكل 13–6** تُظهر صورة حجرة فقاعة اللون الوهمية مسار الجسيمات المشحونة.

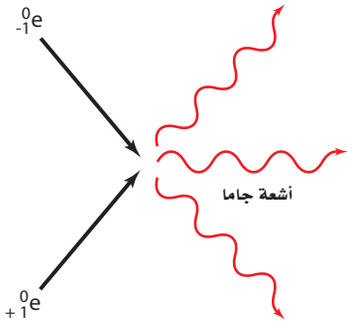
■ **الشكل 14–6** في مختبر فيرمي، يسجّل الكاشف التصادمي المسارات الناتجة عن بلايين التصادمات (**a**). صورة حاسوبية للكاشف التصادمي في مختبر فيرمي لحالة الكوارك العلوي (**b**)



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

ضديد المادة Antimatter

في بداية عام 1920م توقع باول ديراك وجود ضديد جسيم خاص بكل نوع من الجسيمات. والإلكترون الموجب الذي يسمى بوزترون مثال على ضديد الجسيم. وللإلكترون والبوزترون نفس الكتلة ومقدار الشحنة، ومع ذلك فإن إشارتَيْ شحنتيهما متعاكستان. وعندما يصطدم إلكترون وبوزترون معًا فإن كلاً منهما يُفني الآخر، وينتج عن ذلك طاقة على شكل أشعة جاما، كما هو موضح في **الشكل 15–6**.



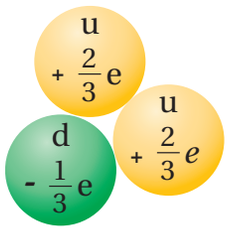
الشكل 15–6 نتائج تصادم البوزترون والإلكترون في عملية إنتاج أشعة جاما

الجسيمات Particles

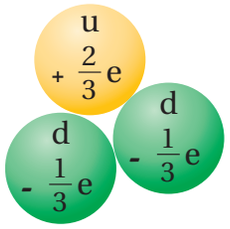
لقد كان نموذج الذرة الذي اكتشف عام 1930م بسيطًا للغاية؛ فالذرة فيه مكونة من بروتونات ونيوترونات محاطة بالإلكترونات. ثم عملت الدراسات العميقة للاضمحلال الإشعاعي على تطوير هذه الصورة المبسطة. فبينما جسيمات ألفا وأشعة جاما التي تنبعث من النواة المشعة لها طاقات أحادية تعتمد على النواة المضمحلة، فإن جسيمات بيتا تنبعث بمدى واسع من الطاقات. وقد يظن البعض أن طاقة جسيمات بيتا تساوي الفرق بين طاقة النواة قبل الاضمحلال وطاقة النواة الناتجة عن الاضمحلال. والحقيقة أن المدى الواسع لطاقات الإلكترونات المنبعثة خلال اضمحلال بيتا نبهت العالم نيلز بور إلى وجود جسيم آخر يمكن أن يشارك في التفاعل النووي؛ حيث يحمل جزءًا من الطاقة. توقع العالمان باولي عام 1931م وفيرمي عام 1934م وجود جسيم متعادل غير مرئي ينبعث مع جسيم بيتا. وقد أطلق عليه فيرمي اسم النيوترينو، ويعني في الإيطالية "جسيم صغير متعادل"، فهو عديم الشحنة ويصعب الكشف عنه، لذلك يطلق عليه الجسيم الشبحي. ولكن في الواقع فإن هذا الجسيم كان ضديد النيوترينو، ولم يلاحظ مباشرة حتى عام 1956م. أظهرت دراسات أخرى وجود جسيمات أخرى، منها الميون الذي يبدو كإلكترون ثقيل، وقد اكتشف عام 1937م. ففي عام 1935م شجعت فرضية الفيزيائي الياباني هيدكي يوكاوا الجديرة بالاهتمام على إجراء بحوث كثيرة في السنوات التالية؛ حيث افترض يوكاوا وجود جسيم جديد يستطيع حمل القوة النووية خلال الفراغ، تمامًا كما يحمل الفوتون القوة الكهرومغناطيسية. وفي عام 1947م اكتشف الجسيم المفترض وهو البيون. وعلى الرغم من أنه لم يكن يحمل القوة النووية القوية، لكنه كان نوعًا جديدًا من المادة.

فاز الياباني تاكاكي كاجيتا والكندي آرثر بي بجائزة نوبل للفيزياء لعام 2015 لاكتشافهما أن جسيمات النيوترينو لها كتلة.

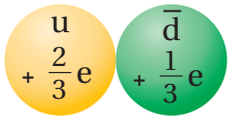
الشكل 16–6 بالرغم من أن للكواركات شحنات جزئية فإن جميع الجسيمات التي تكوّنها لها عدد صحيح من الشحنات.



بروتون



نيوترون



بيون

لقد نتج عن التجارب التي أجريت على مسارعات الجسيم معرفة المزيد عن جسيمات أخرى جديدة، بعضها ذو كتلة متوسطة، وبعضها الآخر ذو كتلة أكبر من كتلة البروتون. وتحمل شحنات موجبة أو سالبة، أو لا تحمل شحنة، وبعضها له فترة حياة 10^{-23}s، ولبعضها الآخر فترة حياة غير محددة. من جهة أخرى سئل العالم فيرمي أن يحدد مسار جسيم ما عند نقطة معينة فأجاب "لو أستطيع أن أتذكّر أسماء جميع هذه الجسيمات فعندئذٍ سأكون عالم نبات".

النموذج المعياري The Standard Model

لقد أصبح واضحا في أواخر عام 1960م أن البروتونات والنيوترونات والبيونات ليست جسيمات أولية، بل مكونة من مجموعة من جسيمات تسمى الكواركات (quarks). ويعتقد العلماء الآن وجود ثلاث عائلات من الجسيمات الأولية وفقا للنموذج المعياري هي: الكواركات، واللبتونات، وحاملات القوى (البوزونات).

■ **الجدول 3–6** يبين كيف تقسم الكواركات واللبتونات المعروفة إلى ثلاث عائلات. ويتكوّن عالم اليوم من جسيمات من عائلة اليد اليسرى (u، d، e) والجسيمات في المجموعة الوسطى (c،s،μ) موجودة في الأشعة الكونية، وتنتج بطريقة روتينية في مسارعات الجسيم. ويعتقد أن عائلة اليد اليمنى (b،t،τ) مستثارة قليلاً خلال اللحظات المبكرة للانفجار العظيم، وتوجد نتيجة التصادمات العالية الطاقة. ويحمل مقياس البوزونات القوى الكهرومغناطيسية الضعيفة والقوية وقوى التجاذب الكتلي، ويعبّر عن الكتل بمكافئات الطاقة المعطاة بمعادلة أينشتاين. $E = mc^2$

عائلة **الكواركات** (quarks): تتحد الكواركات لتشكل الهادرونات التي تنقسم إلى مجموعتين فرعيتين، هما مجموعة الباريونات مثل: البروتونات والنيوترونات، ومجموعة الميوزونات مثل البيونات المكونة من كوارك وضديده كما في **الشكل 16–6**.

عائلة **اللبتونات** (leptons) مثل: الإلكترون، والميون، والتّاو.

عائلة **حاملات القوى** (force carriers) وتسمى كذلك البوزونات: وهي جسيمات تنقل القوى الأساسية، فمثلا تحمل الفوتونات القوة الكهرومغناطيسية، وتحمل الجلونات الثمانية القوى النووية القوية، أما البوزونات الثلاثة الضعيفة فهي التي تحمل القوة النووية الضعيفة، والجرافيتون حامل قوة الجاذبية الأرضية والذي لم يكتشف حتى الآن ويعتبر من نظريات ما بعد النموذج المعياري.

تشكل الكواركات واللبتونات المادة، بينما حاملات القوة جسيمات تنقل القوى، وقد تم تلخيص خصائص الجسيمات الأولية التي تمثل أساس النموذج المعياري في **الجدول 3–6**.

البروتونات والنيوترونات Protons and Neutrons

نموذج الكوارك يصف النيوكليونات (البروتونات والنيوترونات)، بوصفه تجمعًا من الكواركات. وكل نيوكليون مكوّن من ثلاثة كواركات، فيتكون البروتون من اثنين من الكواركات العلوية (up quarks) (شحنة $+\frac{2}{3}e$). وكوارك سفلي واحد (down quarks) (شحنة $-\frac{1}{3}e$)، ويعبر عن البروتون بالرمز $p=uud$. فشحنة البروتون عبارة عن مجموع شحنات ثلاثة كواركات $e=+e\left(\frac{2}{3}+\frac{2}{3}+-\frac{1}{3}\right)$. بينما يتكون النيوترون من كوارك واحد علوي واثنين من الكواركات السفلية $n = u\,dd$؛ فشحنة النيوترون صفر. $e=0\left(\frac{2}{3}+-\frac{1}{3}+-\frac{1}{3}\right)$.

لا يمكن مشاهدة الكواركات الحرة المنفردة؛ لأن القوة القوية التي تبقيها مجتمعة معًا تصبح أكبر كلما اندفعت الكوراكات ليبتعد بعضها عن بعض. في مثل هذه الحالة، تعمل القوة القوية كقوة النابض، فهي لا تشبه القوة الكهربائية التي تصبح أضعف كلما تحركت الجسيمات مبتعدةً بعضها عن بعض. وتنتقل القوة القوية في نموذج الكوارك بواسطة الجلونات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

التحولات بين الكتلة والطاقة
Conversions Between Mass and Energy

يمكن حساب كمية الطاقة التي تتولّد نتيجة فناء جسيم باستخدام معادلة أينشتاين لتكافؤ الطاقة والكتلة $E=mc^2$. إن كتلة الإلكترون $9.11 \times 10^{-31}\,\text{kg}$ وتساوي كتلة البوزترون. لذلك فإن الطاقة المكافئة للبوزترون والإلكترون معًا يمكن حسابها كما يلي:

$$E = 2\,(9.11 \times 10^{-31}\,\text{kg})(3.00 \times 10^{8}\,\text{m/s})^2$$
$$E = (1.64 \times 10^{-13}\,\text{J})\,(1\,\text{eV}/1.60 \times 10^{-19}\,\text{J})$$
$$E = 1.02 \times 10^{6}\,\text{eV} \text{ أو } 1.02\,\text{MeV}$$

عندما يكون كل من البوزترون والإلكترون في حالة سكون فإن كلًّا منهما يفنى الآخر. ومجموع طاقات أشعة جاما المنبعثة هو 1.02 MeV. ويمكن أن يحدث أيضًا معكوس الفناء، أي أن الطاقة يمكن أن تتحول مباشرةً إلى مادة. فإذا عبر شعاع جاما بطاقة 1.02 MeV على الأقل بالقرب من نواة فقد ينتج زوج من البوزترون والإلكترون.

$$\gamma \rightarrow e^- + e^+$$

يسمى تحوّل الطاقة إلى زوج الجسيمات "مادة وضديد المادة" **إنتاجَ الزوج**. ولا يمكن أن تحدث التفاعلات منفردة مثل تفاعل $\gamma \rightarrow e^-$ و $\gamma \rightarrow e^+$؛ لأن مثل هذه التفاعلات لا تحقق قانون حفظ الشحنة. وكذلك تفاعلات $\gamma \rightarrow e^- + p$ لا تحدث أيضًا. فالزوج يجب أن يكون الجسيم وضديد الجسيم الخاص به.

الشكل 17–6 عندما ينتج الجسيم فإن ضديد هذا الجسيم ينتج أيضًا، هنا تضمحل أشعة جاما إلى زوج من الإلكترون والبوزترون.

جسيمات المادة وضديد المادة توجد في أزواج. ويوضح **الشكل 17–6** إنتاج زوج بوزترون – إلكترون؛ حيث يعمل المجال المغناطيسي حول حجرة الفقاعة على ثني مسارات الجسيمات المتعاكسة الشحنة لتتحرك في اتجاهات متعاكسة. و لا تتبع أشعة جاما المنتجة المسار. وإذا كانت طاقة أشعة جاما أكبر من 1.02 MeV فإن الفائض في الطاقة يظهر على شكل طاقة حركية للبوزترون والإلكترون، فيتصادم البوزترون في الحال مع إلكترون آخر، ويفني كل منهما الآخر، وينتج إشعاعان أو ثلاثة إشعاعات جاما لا تقل طاقتها الكلية عن 1.02 MeV.

حفظ الجسيم: كل كوارك وكل لبتون أيضًا له ضديد جسيم. يتماثل ضديد الجسيمات مع الجسيمات إلا في نوع الشحنة؛ حيث تكون الشحنتان متعاكستين. فالكوارك العلوي u مثلاً شحنته $+\frac{2}{3}$، بينما ضديد الكوارك العلوي $\bar{u}$ شحنته $-\frac{2}{3}$، وشحنة البروتون uud هي $+1$، وشحنة ضديد البروتون $\bar{u}\,\bar{u}\,\bar{d}$، $-\frac{2}{3}-\frac{2}{3}+\frac{1}{3}=-1$. وعندما يصطدم الجسيم وضديده فإن كلًّا منهما يفنى الآخر، ويتحولان إلى فوتونات أو إلى زوج من جسيم وضديد جسيم أخف وإلى طاقة. العدد الكلي للكواركات والعدد الكلي للبتونات في الكون ثابتة؛ حيث إن الكواركات واللبتونات توجد أو تفنى فقط بوصفهما زوج جسيم وضديد الجسيم. ومن جهة أخرى فإن حاملات القوى ومنها الجرافيتونات والفوتونات والجلونات والبوزونات الضعيفة قد توجد أو تفنى إذا كان هناك طاقة كافية.

يمكن أن يوجد ضديد للبروتونات أيضًا. فلضديد البروتون كتلة تساوي كتلة البروتون، ولكن شحنته سالبة. و كتلة البروتون تساوي كتلة 1836 إلكترونًا. وهكذا فإن الطاقة اللازمة لتكوين زوج من البروتون وضديد البروتون كبيرة نسبيًّا. وقد تم إنتاج وملاحظة زوج البروتون وضديد البروتون أول مرة في باركلي، في كاليفورنيا عام 1955م.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مسائل تدريبية

35. كتلة البروتون 1.67×10^{-27} kg.

a. أوجد الطاقة المكافئة لكتلة البروتون بوحدة الجول. **b.** حوّل هذه القيمة إلى وحدة eV.

c. أوجد الطاقة الكلية الأصغر لأشعة جاما التي يمكن أن تؤدي إلى تكون زوج من البروتون وضديد البروتون.

36. يمكن لكل من البوزترون والإلكترون أن يفني أحدهما الآخر، وينتج ثلاثة إشعاعات جاما. تم الكشف عن اثنين من إشعاعات جاما، فكانت طاقة أحدها 225 keV وطاقة الآخر 357 keV. ما طاقة إشعاع جاما الثالث؟

37. كتلة النيوترون 1.008665 u.

a. أوجد الطاقة المكافئة لكتلة النيوترون بوحدة MeV.

b. أوجد الطاقة الكلية الصغرى لأشعة جاما التي يمكن أن تؤدي إلى تكون زوج من النيوترون وضديد النيوترون.

38. كتلة الميون 0.1135 u، وهو يضمحل إلى إلكترون ونيوترينونين. ما مقدار الطاقة الناتجة عن هذا الاضمحلال؟

اضمحلال بيتا والتفاعل الضعيف
Beta Decay and the weak interaction

لا توجد إلكترونات عالية الطاقة منبعثة من اضمحلال بيتا للنواة المشعة داخل النواة. إذنْ من أين جاءت هـذه الإلكترونات؟ في عملية اضمحلال النيوترون يتحول النيوترون إلى بروتون، في حين لا يضمحل النيوترون داخل النواة المستقرة. بل الذي يمكن أن يضمحل إلى بروتون وينبعث جسـيم بيتا هو النيوترون الحر في النواة غير المستقرة. ويشارك ضديد النيوترينـو في الطاقة الناتجة مع البروتون وجسـيم بيتا. وضديد النيوترينو جسـيم كتلته صغيرة جدًّا، وهو عديم الشـحنة، ولكنـه كالفوتون؛ له زخم وطاقـة. وتكتب معادلة اضمحلال النيوترون كما يلي: ${}^{1}_{0}\mathrm{n} \longrightarrow {}^{1}_{1}\mathrm{p} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$

وعندما يضمحـل النظير بإطلاق بوزترون تحدث عملية شـبيهة باضمحلال بيتا. وعلى الرغم من أنه لم يشـاهد اضمحلال البروتون الحر فإنه يمكـن للبروتون داخل النواة أن يتحول إلى نيوترون مع إطلاق بوزترون ${}^{0}_{+1}\mathrm{e}$ ونيوترينو ${}^{0}_{0}\nu$.

$$ {}^{1}_{1}\mathrm{P} \longrightarrow {}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{0}_{+1}\mathrm{e} + {}^{0}_{0}\nu $$

إن انحـلال النيوترونات إلى بروتونات، وانحلال البروتونـات إلى نيوترونات لا يمكن تفسيره بواسطة القوة القوية.

إن وجود انحلال بيتا يشير إلى أنه يجب أن يكون هناك تفاعل آخر، وهو **القوة النووية الضعيفة** التي تؤثر في النواة. وهذه القوة أضعف كثيرًا من القوة النووية القوية.

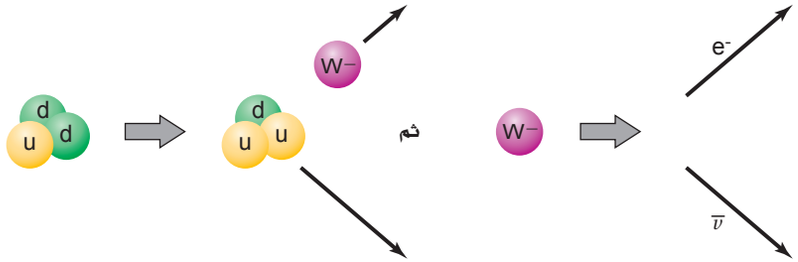
مسألة تحفيز

يضمحـل ${}^{238}_{92}\mathrm{U}$ بانبعاث α وبانبعاثين متتاليين لجسـيم β ويتحـول ثانية إلى نظير لليورانيوم.

1. وضّح معادلات الاضمحلال النووي الثلاث.

2. احسب العدد الكتلي لليورانيوم المتكوّن.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



الشكل 18–6 يبين انبعاث بيتا عند تحول نيوترون إلى بروتون بنموذج الكوارك:
$d \rightarrow u + w^-$ ثمّ $w^- \longrightarrow e^- + \nu$

نموذج الكوارك لاضمحلال بيتا إن الفرق بين البروتون uud، والنيوترون udd كوارك واحد فقط. حيث يحدث اضمحلال بيتا في نموذج الكوارك على مرحلتين، كما يتضح من **الشكل 18–6**. أولاً: كوارك d واحد في النيوترون يتحول إلى كوارك u مع انبعاث بوزون w^-؛ حيث w^- أحد ثلاثة حاملات قوة ضعيفة. وفي الخطوة الثانية يتحول البوزون إلى إلكترون وضديد النيوترينو، وبالمثل في تحلل البروتون في النواة ينبعث نيوترون وبوزون w^+ ، ومن ثم ينحل البوزون w^+ إلى بوزترون ونيوترينو.

إن انبعاث حامل القوة الضعيفة الثالث بوزون Z° لا يترافق مع تحوّل من كوارك إلى آخر. يُحدث البوزون Z° تفاعلاً بين النيوكليونات والإلكترونات في الذرات المماثلة، ولكنه أضعف كثيرًا من القوة الكهرومغناطيسية التي تحافظ على الذرة متماسكة؛ حيث تم الكشف عن هذا التفاعل أول مرة عام 1979م. وتمت مشاهدة البوزونات w^+، وw^-و Z° مباشرة أول مرة عام 1983م.

لقد ساد الاعتقاد طويلاً أن كلًّا من النيوترينات وضديد النيوترينات عديمة الكتلة، إلا أن التجارب الأخيرة التي التقطت النيوترينات المنبعثة من الشمس ومن المسارعات الطويلة أظهرت أن للنيوترينات كتلة. على الرغم من أن هذه الكتل أقل كثيرًا من كتلة أي جسيم معروف.

اختبار النموذج المعياري Testing the Standard Model

تستطيع أن تلاحظ من **الجدول 3–6** أن الكواركات واللبتونات تنفصل إلى ثلاث عائلات؛ فالعالم المحيط بنا يتكوّن من جسيمات في عائلة اليد اليسرى (بروتونات ونيوترونات وإلكترونات)، وجسيمات في المجموعة الوسطى توجد في الأشعة الكونية وتنتج بطريقة روتينية في مسارعات الجسيمات، وجسيمات عائلة اليد اليمنى التي يعتقد أنها كانت مستثارة قليلاً خلال اللحظات الأولى للانفجار العظيم، ونتجت عن تصادمات عالية الطاقة. ما الذي يحدد كتل الكواركات واللبتونات؟ إن بوزون هيجز الذي يفترض أنه جسيم يحدد كتل اللبتونات والكواركات، أعلن عن اكتشافه في المنظمة الأوربية للأبحاث النووية (سيرن CERN) عام 2012. وكرم البروفيسور بيتر هيجز عن الاكتشاف بجائزة نوبل في الفيزياء 2013م. فالنموذج المعياري ليس نظرية؛ لأنه لا يفسر كتل الجسيمات، ولا يفسر لماذا توجد ثلاث عائلات من الكواركات واللبتونات وحاملات القوى.

فاز البريطاني بيتر هيجز والبلجيكي فرانسوا إنغليرت بجائزة نوبل في الفيزياء لعام 2013 تقديرا لأعمالهما التي أدت إلى الاكتشاف النظري لبوزون هيجز.

لماذا توجد أربع قوى؟ إن الاختلافات بين التفاعلات الرئيسة الأربعة واضحة؛ فقد تؤثر القوى بكميات مختلفة في الشحنة أو الكتلة، وقد يكون لها تبعيات مختلفة على المسافات، وحاملات القوى لها خصائص مختلفة. وعلى أي حال، هناك بعض التماثل بين التفاعلات. فمثلاً القوى بين الجسيمات المشحونة، والتفاعلات الكهرومغناطيسية تُحمل بواسطة الفوتونات بطريقة مماثلة لحمل البوزونات الضعيفة للتفاعل الضعيف. والقوى الكهربائية تؤثر في مدى واسع؛ لأن كتلة الفوتونات صفر، بينما القوى الضعيفة تؤثر في مسافات قصيرة لأن كتل البوزونات w و z كبيرة نسبيًّا. إن التركيب الرياضي لنظريات التفاعل الضعيف والتفاعل الكهرومغناطيسي متماثلان.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

■ **الشكل 19–6** في النجم فوق المستعر، ليست القوى الكهرومغناطيسية والقوى الضعيفة متمايزة. والضوء المتزايد والنيوترونات الصادرة من النجم فوق المستعر 1987A تصل الأرض في اللحظة نفسها، وهذا يظهر أن النيوترينات تنتقل بسرعة قريبة من سرعة الضوء وتنتج في النجم الأعظم. وكما هو متوقع، ظهر النجم فوق المستعر قبل الانفجار (**a**)، خلال الانفجار (**b**)، وبالقرب من هابل (**c**).

تشير النظريات الفلكية الفيزيائية للنجم فوق المستعر إلى حدوث تفاعلين متماثلين خلال الانفجارات النجمية الهائلة، كتلك الموضحة في **الشكل 19–6**. أما النظريات الحالية المتعلقة بأصل الكون فتتوقع أن القوتين كانتا متماثلتين خلال اللحظات المبكرة للكون كذلك. لهذا السبب، كانت القوى الكهرومغناطيسية والقوى الضعيفة متحدتين في قوة واحدة تسمى قوة كهربائية ضعيفة.

بالطريقة نفسها تبين أن القوى الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة متحدتان في قوة كهربائية ضعيفة خلال عام 1970م. كذلك توصل الفيزيائيون الآن إلى تطوير نظريات تتضمن القوة القوية أيضًا، ولا يزال العمل غير مكتمل. وما زالت النظريات تتطور، ويتم التخطيط لاختبار هذه النظريات الآن. ونظرية الاتحاد التام التي تتضمن التجاذب تحتاج إلى المزيد من العمل.

وقد ظهر ارتباك كبير نتيجة الدراسات التي أجريت على المجرات والتي تتوقع أن المادة التي تم وصفها بالنموذج المعياري تكوّن فقط جزءًا صغيرًا من كتلة الكون. والجزء الأكبر من المادة شكلت المادة المعتمة؛ وقد سميت بذلك لأنها لا تتفاعل مع الفوتونات أو المادة العادية، لكنها قوة التجاذب. والتي تبدو كطاقة معتمة، وقوة غير معروفة تعمل على تسارع تمدد الكون.

لذلك فإن الدراسات المتعلقة بالجسيمات المتناهية في الصغر التي تكوّن الأنوية تتصل مباشرة مع البحوث المتعلقة بالأنظمة الكبيرة والمجرات التي تكوّن الكون. وقد اعتاد فيزيائيو الجسيمات الأولية وعلماء الكون أن يكونوا في النهايتين المتعاكستين لمقياس الطول. والآن يتساءلون معًا: "ما وحدات البناء الأساسية التي يتكون منها العالم؟". قد يستطيعون الإجابة عن هذا السؤال في المستقبل.

3–6 مراجعة

39. **قذف النواة** لماذا يحتاج البروتون إلى طاقة أكثر من النيوترون عندما يستخدم لقذف النواة؟
40. **مسارع الجسيمات** تتحرك البروتونات في مسارع مختبر فيرمي **الشكل 11–6** في اتجاه عكس عقارب الساعة. ما اتجاه المجال المغناطيسي في مغانط الثني؟
41. **إنتاج الزوج** يوضح **الشكل 18–6** إنتاج أزواج الإلكترون–البوزترون. لماذا تنثني مجموعة المسارات السفلية أقل من انثناء زوج المسارات العلوية؟
42. **النموذج المعياري** ابحث في محددات النموذج المعياري والبدائل المحتملة.
43. **التفكير الناقد** تأمل المعادلتين التاليتين:

$$u \longrightarrow d^{+} w^{+} \quad \text{و} \quad w^{+} \longrightarrow e^{+} + \nu$$

كيف يمكن استخدامهما لتفسير الاضمحلال الإشعاعي للنيوكليون الذي ينتج عن انبعاث البوزترون والنيوترينو؟ اكتب المعادلة التي تتضمن نيوكليونات بدلاً من الكواركات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مختبر الفيزياء

صمّم تجربتك

استكشاف الإشعاع

تستخدم كاشفات الإشعاع طرائق مختلفة للكشف عن وجود الإشعاع. من الأنواع الشائعة للكواشف المستخدمة أنبوب جايجر- مولر. وهو يتكون من أنبوب فلزي مملوء بغاز عند ضغط منخفض وسلك شبك طويل على طول محور الأنبوب. يخضع السلك لفرق جهد عال 400–800 V بالنسبة إلى الأنبوب الفلزي. ويوجد عند إحدى نهايتي الأنبوب نافذة رقيقة وهشّة. عندما يدخل فوتون أو جسيم مشحون بطاقة عالية إلى الأنبوب من خلال النافذة فإن جزءًا من الغاز يصبح مؤينًا، فتنجذب إلكترونات التأين في اتجاه السلك وتزداد سرعتها، ومن ثَم تؤين ذرات إضافية مكوّنة نبضة من الشحنات تصطدم بالسلك. وتتحول نبضة الشحنة هذه إلى نبضة جهد، ثم تُضخّم وتُعدّ أو ترسل إلى مكبر الصوت.

تعلمت سابقًا أن الضوء والإشعاع الكهرومغناطيسي ينتشر في جميع الاتجاهات، ويسير في خطوط مستقيمة من المصدر، كالشمس مثلاً. في هذه التجربة سوف تستكشف العلاقة بين المسافة من مصدر جاما وبيتا المشع، وشدة الإشعاع المقيس.

سؤال التجربة

ما العلاقة بين المسافة من مصدر إشعاع جاما وبيتا وشدة الإشعاع؟

الأهداف

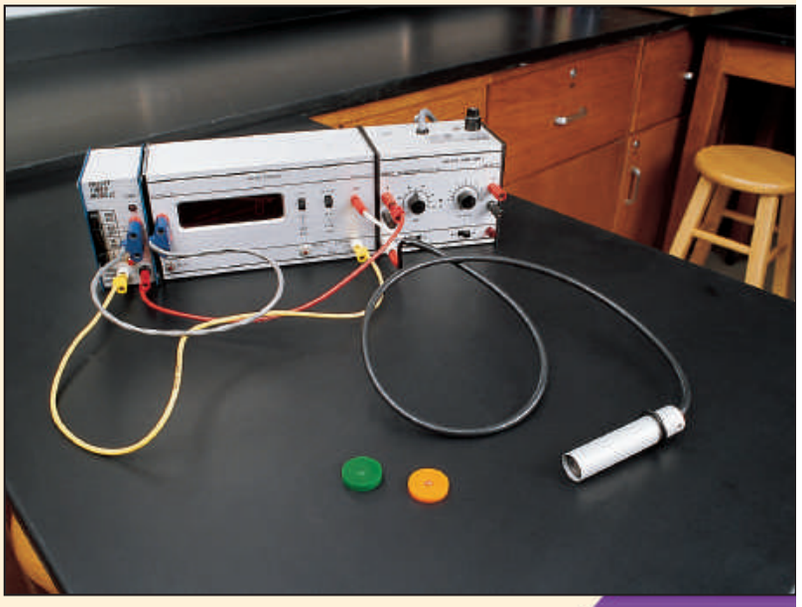
- **تقيس** الإشعاع.
- **تستخدم المتغيرات والثوابت والضوابط** لتصميم تجربتك.
- **تجمع وتنظم البيانات** عن النشاطية الإشعاعية لأشعة جاما وجسيمات بيتا بدلالة البعد عن المصدر.
- **تقارنة وتستنتج** نشاطية بيتا وجاما الإشعاعية.

احتياطات السلامة

- **إذا استخدمت عداد جايجر فحافظ على بقاء الأيدي والأقلام وغيرها من الأشياء بعيدة عن نهاية أنبوب جايجر؛ فنافذة الأنبوب رقيقة وهشة جدًا.**
- **صل الأجهزة في المقابس المحمية فقط؛ تجنبًا لخطر الصدمة الكهربائية.**
- **لا تأكل أو تشرب في أثناء العمل بالمواد المشعة.**
- **كن حذرًا من تمزق فتحة الحافظة البلاستيكية الحامية للمادة المشعة. فإذا حدث ذلك فأبلغ معلمك فورًا.**

المواد والأدوات

مصادر بيتا وجاما.
عداد إشعاعي أو كاشف إشعاعي.
مسطرة مترية.
شريط لاصق.
ساعة وقف.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

جدول البيانات	
الإشعاع الخلفي (عدات لكل دقيقة = cpm)	cpm

المسافة (cm)	بيتا– المقيسة معدل الإشعاع (cpm)	بيتا– المصححة معدل الإشعاع (cpm)	جاما– المقيسة معدل الإشعاع (cpm)	جاما– المصححة معدل الإشعاع (cpm)
2				
4				
6				
8				
10				
12				
14				

الخطوات

1. يختلف نوع عداد الإشعاع أو أنبوب جايجر– مولر، والأنابيب المتوافرة في المدارس بعضها عن بعض كثيرًا. يجب أن تأخذ هذا في الحسبان في خطواتك، وكذلك الاهتمام بكيفية تجميع وحمل الجهاز المتوافر وكل من الكاشف والمادة المشعة.
2. عندما يكون الكاشف على بعد 1 m على الأقل بعيدًا عن المواد المشعة، قم بتشغيل الكاشف، وقس الإشعاع. وهذا يسمى الإشعاع الأولي. سجّل المقدار في جدول البيانات.
3. قس إشعاع بيتا وجاما الصادرين عن المصادر المشعة لديك وعلى مسافات مختلفة.
4. اطرح معدل الإشعاع الأولي من معدل الإشعاع المسجّل للحصول على النشاطية المصحّحة.
5. تأكد أن تفحص – بمساعدة معلمك – وتتأكد من تصميمك قبل أن تواصل تجربتك.

التحليل

1. **لاحظ واستنتج** ما مقدار الإشعاع الأولي في هذه التجربة؟
2. **مثّل بيانيًا واستخدم الرسوم البيانية** عيّن نقاطًا على الرسم البياني تمثل معدل إشعاع جاما مقابل بُعد، ثم عيّن البُعد على المحور الأفقي ومعدل العد المصحح للعينة على المحور الرأسي. إذا كانت معدلات العد متماثلة فعيّن معدل عد بيتا على الرسم البياني نفسه، وميّز الرسم البياني لكل مجموعة بيانات.
3. **مثّل بيانيًا واستخدم الرسوم البيانية** عيّن نقاطًا على الرسم البياني تمثّل معدل الإشعاع المصحح لكل من بيتا وجاما مقابل $1/d^2$.

الاستنتاج والتطبيق

1. **وضح** فيم يتشابه المنحنيان؟ وما العلاقة بين البعد ومعدلات العد؟
2. **وضح** كيف يتغير معدل العد الأولي لشخص عندما ينتقل من الساحل في مستوى سطح البحر مقارنة بمستوى قمة جبل؟
3. **صف** ما يحدث لمعدل عد بيتا عندما يتحرك أنبوب جايجر – ميلر إلى الخلف ثلاثة أمثال المسافة الأولية. على سبيل المثال 18 cm مقارنة بـ 6 cm.

التوسع في البحث

ما الظواهر الفيزيائية الأخرى التي تتبع أنماطًا مماثلة؟

الفيزياء في الحياة

اشرح كيف يشكل قربك من المواد المشعة خطرًا محتملاً لك أو للآخرين؟

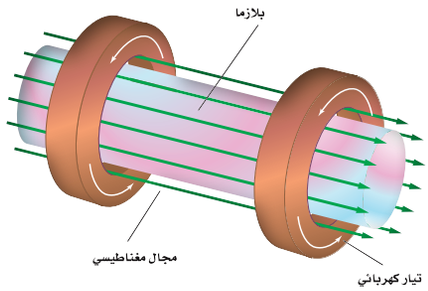
وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الاندماج النووي الحراري Thermonuclear Fusion

لعدة عقود مضت بحث الفيزيائيون في إيجاد ودعم تفاعل الاندماج الذي يولّد طاقة أكبر من تلك الطاقة التي يستهلكها. يولّد المفاعل الحراري النووي حرارة هائلة جدًّا من كميات صغيرة من الديوتيريوم $^{2}_{1}H$ ، والتريتيوم $^{3}_{1}H$ ، والذي يمكن استخلاصه من مياه البحر.

لبدء تفاعل الاندماج يجب أن يسخن خليط من الديوتيريوم والتريتيوم ويضغط تحت ظروف معيارية مشابهة لتلك الموجودة في الشمس. وسوف تحطم الحرارة المتوافرة محتويات العبوات المستخدمة في محطات الانشطار النووي. ويعدّ احتجاز البلازما من مشكلات التصميم الرئيسة للمفاعلات الاندماجية.

العزل المغناطيسي في مفاعلات العزل المغناطيسي، يعبر تيار قوي خلال وعاء يحوي غاز الديوتيريوم والتريتيوم، فتنضغط البلازما داخل الجزء الدائري. وتحدد المجالات المغناطيسية الإضافية شكل سيل البلازما لتعزله بعيدًا عن جوانب الوعاء، كما في الشكل. يحافظ أحد التركيبات الإلكترونية الفضلى على بقاء البلازما على شكل حلقي، مما يعطي فائدة عظيمة بعدم وجود نهايات تتطلب أن تختم.

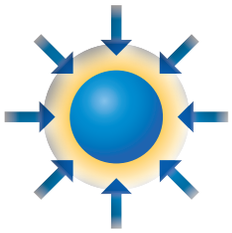


العزل المغناطيسي: تنضغط البلازما وتعزل بواسطة المجال المغناطيسي.

العزل بالقصور الذاتي إذا نظرت إلى قوس كهربائي (تفريغ كهربائي مستمر في صورة شرر متكرر)، يتحرك سريعًا بحركة شبيهة بحركة وتر فستلاحظ أن هناك صعوبة كبيرة في أن تحافظ على البلازما في شكل ثابت.

في مفاعل العزل بالقصور الذاتي فإن كُريّة صغيرة الحجم من الديوتيريوم- التريتيوم المتجمد تضاء من كل الجوانب بواسطة حزم ليزر قوية جدًّا. تُسخِّن حزم الليزر هذه الطبقة الخارجية للكريّة فتنفجر سريعًا. وبصورة متزامنة يُضغط المتبقي من الكرية ويسخّن إلى درجة كبيرة يبدأ عندها الاندماج النووي.

تعمل الطاقة الناتجة عن اندماج الكُرية على زيادة الطاقة التي تُستخدم لتسخين الكرية، فيندمج سيل من الكريات الواحدة تلو الأخرى للحصول على تحفيز مستمر، ويتم تجميع الحرارة الناتجة لإنتاج بخار لتشغيل التوربينات.



في العزل بالقصور الذاتي، يسخّن الضوء أو الأشعة السينية الناتجة عن الليزر سطحَ الكُريات بسرعة، مكوّنة غلافًا يحيط بالبلازما. أما الوقود المتبقي فيضغط بنفخ المواد السطحية الساخنة.

المستقبل في الوقت الذي لا يزال الاندماج الحراري النووي مستمرًّا في كلا النوعين من المفاعلات النووية، يواجه الباحثون صعوبة في تحقيق التفاعل المتعادل (أي أن الطاقة الناتجة عن التفاعل تزيد على الطاقة اللازمة للمحافظة على استمرار التفاعل). والتقدم الذي يتم إنجازه في تصميم المفاعل الحراري النووي العملي يعدّ مكلفًا وبطيئًا، إلا أن الأمل في تحقيق ذلك كبير. ولا يخلو مفاعل الاندماج تمامًا من المخلّفات المشعة الخطرة؛ لأن النيوترونات تنتج في مفاعلات الاندماج، لكن لأن الوقود غير مشع بنفسه فإنه يمكن تجاهل المخلفات النووية.

التوسع

1. **التحليل** لماذا يبدو المفاعل النووي الحراري مصدر طاقة مفضل؟
2. **المقارنة** درست ثلاثة أنواع من محطات توليد الطاقة الحرارية الكهربائية. ما الميزات العامة التي تمتاز بها كل من هذه المحطات؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 6
دليل مراجعة الفصل

6-1 النواة The Nucleus

المفردات

- العدد الذري
- وحدة الكتلة الذرية
- العدد الكتلي
- (النويدة) نواة النظير
- القوة النووية القوية
- النيوكليونات
- طاقة الربط النووية
- فرق الكتلة

المفاهيم الرئيسة

- إن عدد البروتونات في النواة يمثل بالعدد الذري Z.
- إن مجموع عدد البروتونات والنيوترونات في النواة يساوي العدد الكتلي A.
- الذرات التي لها العدد نفسه من البروتونات وعدد نيوترونات مختلف تسمى النظائر.
- تربط القوة النووية القوية مكوّنات النواة معًا.
- تحسب الطاقة المتحررة في التفاعل النووي بحساب فرق الكتلة، وهو الفرق بين كتلة الجسيمات قبل التفاعل وبعده من العلاقة $E= mc^2$
- طاقة الربط النووية هي الطاقة المكافئة لفرق الكتلة.

6-2 الاضمحلال النووي والتفاعلات النووية Nuclear Decay and Reactions

المفردات

- المواد المشعة
- اضمحلال ألفا
- اضمحلال بيتا
- اضمحلال جاما
- التفاعل النووي
- عمر النصف
- النشاط الإشعاعي
- الانشطار النووي
- تفاعل متسلسل
- الاندماج النووي

المفاهيم الرئيسة

- تضمحل النواة غير المستقرة متحوّلة إلى عنصر آخر.
- يُنتج الاضمحلال الإشعاعي ثلاثة أنواع من الجسيمات، هي: جسيمات ألفا (α) وهي أنوية هيليوم، وجسيمات بيتا (β)، وهي إلكترونات عالية السرعة، وأشعة جاما (γ)، وهي أشعة مكوّنة من فوتونات عالية الطاقة.
- في التفاعلات النووية، لا يتغير مجموع العدد الكتلي A، ولا الشحنة الكلية Z.
- عمر النصف للنظير المشع هو الزمن اللازم لتحول نصف عدد أنويته. وبعد t من أعمار النصف تحسب بالعلاقة: $N=N_o(1/2)^n$
- إن عدد اضمحلالات العينة المشعة لكل ثانية تمثل النشاطية الإشعاعية.
- في الانشطار النووي تنقسم نواة اليورانيوم إلى نواتين أصغر وينبعث نيوترونات وطاقة.
- تستخدم المفاعلات النووية الطاقة المتحررة من الانشطار النووي لتوليد طاقة كهربائية.

6-3 وحدات بناء المادة The Building Blocks of Matter

المفردات

- الكواركات
- اللبتونات
- النموذج المعياري
- حاملات القوة
- إنتاج الزوج
- القوة النووية الضعيفة

المفاهيم الرئيسة

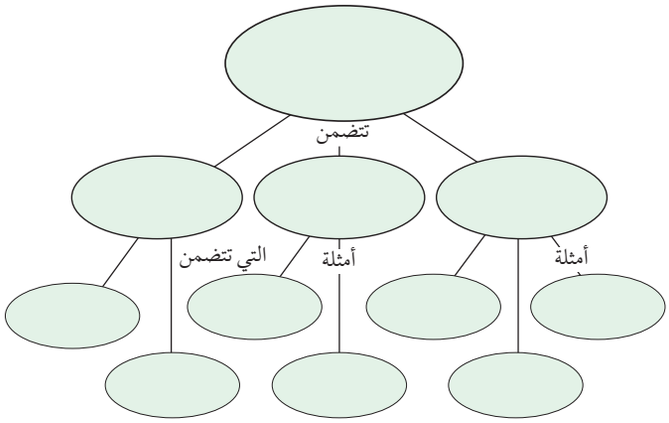
- المسارعات الخطية والمسارعات الدائرية التزامنية تنتج جسيمات عالية الطاقة.
- يستخدم عداد جايجر– مولر، وحجرة السحابة، وكواشف الجسيمات الأخرى، التأين الناتج عن شحن الجسيمات عند عبورها خلال المادة.
- تبدو المادة كلها أنها تتكون من الكواركات واللبتونات.
- تتفاعل المادة مع مادة أخرى عن طريق جسيمات تسمى حاملات القوة.
- النموذج المعياري يتضمن الكواركات واللبتونات وحاملات الطاقة.
- عندما تتحد جسيمات ضديد المادة المماثلة مع جسيمات المادة تتحول كتلتها وطاقتها إلى طاقة أو إلى مادة أخف –زوج من ضديد الجسيم.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الفصل 6
التقويم

خريطة المفاهيم

44. نظّم المصطلحات التالية في خريطة المفاهيم: النموذج المعياري، أشعة جاما، حاملات القوة، البروتونات، النيوترونات، اللبتونات، بوزونات W، نيوترينوات، إلكترونات، جلونات.



إتقان المفاهيم

45. ما القوة التي تدفع النيوكليونات داخل النواة ليبتعد بعضها عن بعض؟ وما القوة التي تعمل على ربط مكوّنات النواة معًا داخل النواة؟ (1–6)

46. عرّف فرق كتلة النواة. ما سببها؟ (1–6)

47. أي الأنوية أكثر استقرارًا عمومًا: الصغيرة أم الكبيرة؟ (1–6)

48. ما النظير الذي له عدد أكبر من البروتونات: اليورانيوم– 235 أم اليورانيوم– 238؟ (1–6)

49. عرّف مفهوم الاضمحلال، كما يستخدم في الفيزياء، واذكر مثالاً عليه. (2–6)

50. **الجسيم المُشِع** ما الأسماء الشائعة لكل من جسيم α، وجسيم β، وإشعاع γ؟ (2–6)

51. ما الكميتان اللتان يجب أن تكونا محفوظتين دائمًا في أي تفاعل نووي؟ (2–6)

52. **الطاقة النووية** ما سلسلة العمليات التي يجب أن تحدث حتى يحدث التفاعل المتسلسل؟ (2–6)

53. **الطاقة النووية** ما الدور الذي يؤديه المهدئ في مفاعل الانشطار؟ (2–6)

54. الانشطار النووي والاندماج النووي عمليتان متعاكستان. كيف يحرر كل منهما الطاقة؟ (2–6)

55. **فيزياء الطاقة القوية** لماذا لا يعمل المسارع الخطي بالنيوترونات؟ (3–6)

56. **القوى** في أي التفاعلات الأربعة التالية (القوية، الضعيفة، الكهرومغناطيسية، التجاذب) تشارك الجسيمات التالية؟ (3–6)

a. إلكترون

b. بروتون

c. نيوترينو

57. ماذا يحدث للعدد الذري والعدد الكتلي للنواة التي تشع بوزترونًا؟ (3–6)

58. **ضديد المادة** ماذا يحدث إذا سقط حجر نيزكي يتكوّن من ضديد بروتونات وضديد نيوترينو وضديد إلكترونات على الأرض؟ (3–6)

تطبيق المفاهيم

59. **الانشطار** يدّعي أحد المواقع الإلكترونية أن العلماء سيكونون قادرين على إخضاع الحديد للانشطار النووي. هل يمكن أن يكون هذا الادعاء صحيحًا؟ فسّر.

60. استخدم الرسم البياني لطاقة الربط لكل نوية في **الشكل 2–6** لتحديد ما إذا كان التفاعل ${}_{1}^{2}\mathrm{H} + {}_{1}^{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}_{2}^{3}\mathrm{H}$ ممكنًا من حيث الطاقة؟

61. **النظائر** وضح الفرق بين النظائر المشعة التي تنتج اصطناعيًّا وتلك التي تنتج طبيعيًّا.

62. **المفاعل النووي** في المفاعل النووي، يتدفق الماء الذي يعبر من قلب المفاعل خلال حلقة واحدة، بينما يتدفق الماء الذي يولّد البخار لتحريك التوربينات خلال الحلقة الثانية. لماذا توجد حلقتان؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 6

63. انشطار نواة اليورانيوم واندماج أنوية الهيدروجين الأربعة لإنتاج نواة الهيليوم كلاهما ينتجان طاقة.

a. أيهما ينتج طاقة أكبر؟

b. في أي الحالتين التاليتين تكون الطاقة الناتجة أكبر: انشطار كيلوجرام واحد من أنوية اليورانيوم، أم اندماج كيلوجرام من الهيدروجين؟

c. لماذا تختلف إجابة الجزأين a و b؟

إتقان حل المسائل

6–1 النواة

64. ما الجسيمات التي تكوّن ذرة $^{109}_{47}Ag$؟ وما عدد كل منه؟

65. ما رمز النظير (الذي يستخدم في التفاعلات النووية) لذرة زنك مكوّنة من 30 بروتونًا و 34 نيوترونًا؟

66. نظير الكبريت $^{32}_{16}S$ له كتلة نووية مقدارها 31.97207 u ما مقدار:

a. فرق الكتلة للنظير؟

b. طاقة الربط النووية لنواة الكبريت؟

c. طاقة الربط لكل نيوكليون؟

67. لنظير النيتروجين $^{12}_{7}N$ كتلة نووية مقدارها 12.0188 u ما مقدار:

a. طاقة الربط لكل نيوكليون؟

b. أيهما يحتاج إلى طاقة أكبر: فصل النيوكليون من نواة $^{12}_{7}N$، أو من نواة $^{14}_{7}N$؟ علما بأن كتلة $^{14}_{7}N$ تساوي 14.00307 u.

68. يبتعد بروتونان موجبا الشحنة في نواة الهيليوم أحدهما عن الآخر مسافة 2.0×10^{-15} m تقريبًا. استخدم قانون كولوم لإيجاد القوة الكهربائية للتنافر بين البروتونين. سوف تعطيك الإجابة مؤشرًا عن مقدار القوة النووية القوية.

69. إذا كانت طاقة الربط النووية لنواة الهيليوم $^{4}_{2}He$ 28.3 MeV− فاحسب كتلة نظير الهيليوم بوحدة الكتلة الذرية.

6–2 الاضمحلال النووي والتفاعلات النووية

70. اكتب المعادلة النووية الكاملة لاضمحلال ألفا للنظير $^{222}_{86}Rn$.

71. اكتب المعادلة النووية الكاملة لاضمحلال بيتا للنظير $^{89}_{36}Kr$.

72. أكمل المعادلات النووية التالية:

a. $^{225}_{89}Ac \longrightarrow {}^{4}_{2}He + ____$

b. $^{227}_{88}Ra \longrightarrow {}^{0}_{-1}e + ____ + ____$

c. $^{65}_{29}Cu + {}^{1}_{0}n \longrightarrow ____ \longrightarrow {}^{1}_{1}p + ____$

d. $^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{96}_{40}Zr + 3({}^{1}_{0}n) + ____$

73. عمر النصف لنظير معين 3.0 أيام. ما النسبة المئوية للمادة الأصلية التي ستبقى بعد:

a. 6.0 أيام؟ **b.** 9.0 أيام؟ **c.** 12 يومًا؟

74. في إحدى حوادث مختبر أبحاث، انسكب نظير مشع عمر النصف له ثلاثة أيام. وكان الإشعاع ثمانية أضعاف الكمية العظمى المسموح بها. كم يجب أن ينتظر العاملون قبل أن يستطيعوا الدخول إلى المختبر؟

75. عندما يُقذف نظير البورون $^{11}_{5}B$ ببروتونات فإنه يمتص بروتونًا ويطلق نيوترونًا.

a. ما العنصر المتكوّن؟

b. اكتب المعادلة النووية لهذا التفاعل.

c. النظير المتكون مشع ويضمحل بانبعاث بوزترون. اكتب المعادلة النووية الكاملة لهذا التفاعل.

76. حررت القنبلة الذرية الأولى طاقة تعادل 2.0×10^{1} كيلو طن من مادة TNT. فإذا كان كل كيلو طن واحد من TNT يكافئ 5.0×10^{12} j. وكان اليورانيوم–235 يحرر ذرة/ 3.21×10^{-11} j، فكم كانت كتلة اليورانيوم 235 التي خضعت للانشطار لتوليد طاقة القنبلة؟

77. خلال تفاعل الاندماج يتحد ديوترونان $^{2}_{1}H$ لتكوين نظير الهيليوم $^{3}_{2}He$. ما الجسيم الآخر الذي تكوّن؟

78. عمر النصف لنظير البولونيوم $^{209}_{84}Po$ 103سنة. كم تستغرق عينة 100g حتى تضمحل ليبقى منها 3.1g؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 6

6–3 وحدات بناء المادة

79. ما شحنة الجسيم الذي يتكوّن من ثلاثة كواركات علوية؟

80. شحنة ضديد الكوارك معاكسة لشحنة الكوارك. يتكوّن البيون من كوارك علوي ومن ضديد الكوارك السفلي $u\bar{d}$. ما شحنة هذا البيون؟

81. تتكون البيونات من كوارك وضديد الكوارك. أوجد شحنة البيون الذي يتكون من:

a. $u\bar{u}$

b. $d\bar{u}$

c. $d\bar{d}$

82. الباريونات جسيمات تتكون من ثلاثة كواركات. أوجد الشحنة على كل من الباريونات التالية:

a. نيوترون ddu.

b. ضديد بروتون $\bar{u}\,\bar{u}\bar{d}$.

83. نصف قطر السنكروترون في مختبر فيرمي 2.0 km، وتتحرك البروتونات التي تدور داخله بسرعة تساوي سرعة الضوء في الفراغ تقريبًا.

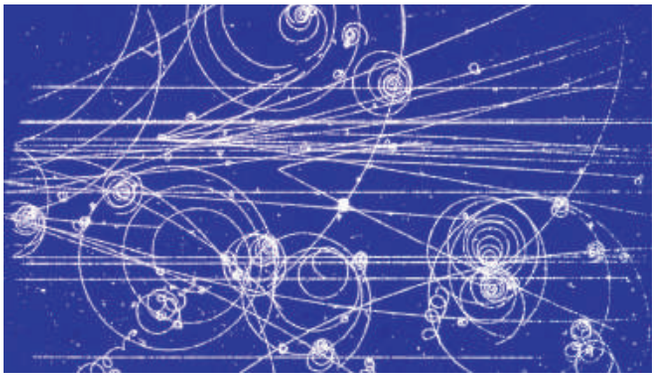
a. ما الفترة الزمنية التي يحتاج إليها البروتون حتى يكمل دورة كاملة.

b. تدخل البروتونات الحلقة بطاقة 8.0 GeV فتكتسب طاقة 2.5 MeV في كل دورة. ما عدد الدورات التي يجب أن يكملها قبل أن تصل طاقتها إلى 400.0 GeV؟

c. ما الفترة الزمنية التي تحتاج إليها البروتونات حتى تتسارع إلى 400.0 GeV؟

d. ما المسافة التي تقطعها البروتونات التي تنقل خلال هذا التسارع؟

84. **الشكل 6–20** يبيّن مسارات في حجرة الفقاعة. ما بعض الأسباب التي تسبب انحراف أحد المسارات أكثر من المسارات الأخرى؟



الشكل 6–20

85. كل الأنوية التالية تستطيع أن تمتص جسيم α. افترض أنه لا تنبعث جسيمات ثانوية من النواة، أكمل المعادلات التالية:

a. $^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \longrightarrow ____$

b. $^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \longrightarrow ____$

86. عمر النصف للرادون $^{211}_{86}\mathrm{Rn}$ 15h. ما الكمية المتبقية من العينة بعد مرور 60 h؟

87. إحدى تفاعلات الاندماج البسيطة تتضمن إنتاج الديوتيريوم $^{2}_{1}\mathrm{H}$ (2.014102 u) من نيوترون وبروتون. اكتب تفاعل الاندماج الكامل، وأوجد مقدار الطاقة المتحررة.

88. كتلة نواة اليورانيوم $^{232}_{92}\mathrm{U}$= 232.0372 u، ويضمحل إلى الثوريوم $^{228}_{90}\mathrm{Th}$ ، الذي كتلته = 228.0287 u، بانبعاث جسيم α الذي كتلته = 4.0026 u، وطاقته الحركية 5.3 MeV، كم يجب أن تكون الطاقة الحركية لنواة الثوريوم المتكونة؟

التفكير الناقد

89. **استنتج** لأشعة جاما زخم. وزخم شعاع جاما ذي الطاقة E يساوي E/c، حيث c سرعة الضوء. عندما يضمحل زوج إلكترون–بوزترون إلى إشعاعي جاما فإن كلًّا من الزخم والطاقة يجب أن يكونا محفوظين. إذا كان مجموع طاقات أشعة جاما تساوي 1.02 MeV، وكان كل من البوزترون

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

تقويم الفصل 6

والإلكترون مبدئيًّا في حالة سكون، فكم يجب أن يكون مقدار واتجاه زخم إشعاعين من أشعة جاما؟

90. استنتج إذا كان زوج إلكترون-بوزترون مبدئيًّا في حالة سكون، ويستطيع أن يضمحل إلى ثلاثة إشعاعات جاما، وكانت إشعاعات جاما الثلاثة لها طاقات متساوية، فكيف يجب أن تكون اتجاهاتها النسبية؟ وضّح بالرسم.

91. قدّر يُطلق تفاعل اندماجي واحد في الشمس طاقة 25 MeV تقريبًا. قدّر عدد التفاعلات التي تحدث في ثانية من سطوع الشمس الذي يكون عنده معدل الطاقة المنبعثة 4×10^{26} W.

92. تفسير البيانات يُراقَب نظير يخضع لاضمحلال إشعاعي بواسطة كاشف إشعاعي، فيسجّل عدد العدات كل خمس دقائق. وبحسب النتائج الموضحة في **الجدول 4-6** أزيلت العينة بعد ذلك، وسجّل الكاشف الإشعاعي 20 عدة ناتجة عن الأشعة الكونية خلال 5 دقائق. أوجد عمر نصف النظير. لاحظ أنه يجب أن تطرح 20 عدة أولية من كل نتيجة. ثم عيّن العدات كدالة رياضية مع الزمن برسم بياني، وحدد عمر النصف.

الجدول 4-6

قياسات الاضمحلال الإشعاعي	
الزمن (دقيقة)	العدات (لكل 5 دقائق)
0	987
5	375
10	150
15	70
20	40
25	25
30	18

الكتابة في الفيزياء

93. ابحث في الفهم الحالي للمادة المعتمة في الكون، وما أهمية هذه المادة لعلماء الكونيات؟ وما مكونات هذه المادة؟

94. ابحث في تعقّب الكوارك العلوي. لماذا افترض الفيزيائيون وجوده؟

مراجعة تراكمية

95. إلكترون طول موجة دي برولي له 400.0 nm. (الطول الموجي الأقصر في الضوء المرئي). (الفصل 3)

a. أوجد سرعة الإلكترون.

b. احسب طاقة الإلكترون بوحدة eV.

96. يدخل فوتون طاقته 14.0 eV ذرة هيدروجين في حالة استقرار ويؤينها. ما مقدار الطاقة الحركية التي ينطلق بها الإلكترون من الذرة؟ (الفصل 4)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. ما عدد البروتونات، النيوترونات، والإلكترونات في نظير النيكل 60 ($^{60}_{28}Ni$)؟

	البروتونات	النيوترونات	الإلكترونات
A	28	32	28
B	28	28	32
C	32	32	28
D	32	28	28

2. ما الذي يحدث في التفاعلات التالية؟

$$^{212}_{82}Pb \longrightarrow {}^{212}_{83}Bi + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$$

A اضمحلال ألفا
C اضمحلال جاما
B اضمحلال بيتا
D فقد بروتون

3. ما الناتج عندما يخضع البولونيوم– 210 $^{210}_{84}Po$ لاضمحلال ألفا؟

A $^{206}_{82}Pb$
C $^{210}_{85}Pb$
B $^{208}_{82}Pb$
D $^{210}_{80}Pb$

4. تبعث عينة من اليود– 131 المشع جسيمات بيتا بمعدل 2.5×10^{8} Bq. إذا كان عمر النصف لليود 8 أيام. فما النشاطية بعد مرور 16 يومًا؟

A 1.6×10^{7} Bq
C 1.3×10^{8} Bq
B 6.3×10^{7} Bq
D 2.5×10^{8} Bq

5. حدد النظير المجهول في هذا التفاعل:

$$^{14}_{7}N \longrightarrow {}^{14}_{6}C + ? + \text{نيوترون}$$

A $^{1}_{1}H$
C $^{3}_{1}H$
B $^{2}_{1}H$
D $^{4}_{2}H$

6. أي نوع من الاضمحلال لا يغير عدد البروتونات أو النيوترونات في النواة؟

A البوزترون
C بيتا
B ألفا
D جاما

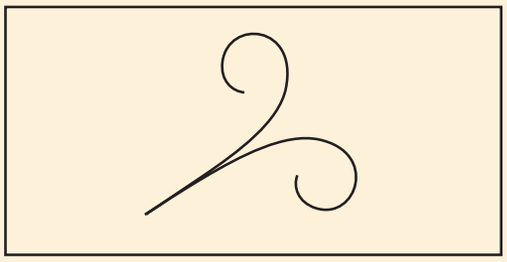
7. نظير البولونيوم – 210 له عمر نصف 138 يومًا. ما مقدار الكمية المتبقية من عينة 2.34 kg بعد مرور أربعة أعوام؟

A 0.644 mg
C 1.51 g
B 1.50 mg
D 10.6 g

8. يتصادم إلكترون وبوزترون فيفني كل منهما الآخر، ويطلقان طاقتهما على شكل أشعة جاما. ما أقل طاقة لأشعة جاما؟ (الطاقة المكافئة لكتلة الإلكترون 0.51 Mev).

A 0.51 MeV
C 931.49 MeV
B 1.02 MeV
D 1863 MeV

9. يبيّن الرسم التوضيحي أدناه المسارات في حجرة الفقاعة التي تنتج عندما تضمحل أشعة جاما إلى بوزترون وإلكترون. لماذا لا تغادر أشعة جاما المسار؟



A تنتقل أشعة جاما بسرعة عالية جدًّا خلال مساراتها لكي يتم اكتشافها.
B أزواج من الجسيمات فقط يمكن أن تغادر المسارات في حجرة الفقاعة.
C يجب أن يكون للجسيم كتلة حتى يتفاعل مع السائل ويغادر المسار، وأشعة جاما عديمة الكتلة فعليًّا.
D أشعة جاما متعادلة كهربائيًّا، لذلك فلا تؤين السائل.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الأسئلة الممتدة

10. يطلق انشطار نواة يورانيوم – 235 طاقة 3.2×10^{-11} J تقريبًا. ويحرر طن واحد من مادة TNT طاقة 4×10^{9} J تقريبًا. ما عدد أنوية اليورانيوم – 235 في قنبلة الانشطار النووي الذي يطلق طاقة تكافئ 20000 طن من مادة TNT؟

إرشاد

استطلع

ابحث في الظروف التي ستقدم فيها الامتحان. هل حدد موعده أم لا؟ هل يسمح لك باستخدام الآلة الحاسبة أو أي أدوات أخرى؟ هل الثوابت الفيزيائية ستكون مرفقة مع ورقة الامتحان؟ إن معرفة هذه الأشياء مسبقًا قد تمكنك من تجريب تقديم الامتحان تحت ظروف مشابهة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

مصادر تعليمية للطالب

- دليل الرياضيات
- الجداول
- المصطلحات
- الجدول الدوري للعناصر

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

دليل الرياضيات

يمكنك الإطلاع على الدليل من خلال
زيارة الرابط التالي:

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الجداول

الوحدات الأساسية SI		
الكمية	الوحدة	رمز الوحدة
الطول	meter	m
الكتلة	kilogram	kg
الزمن	second	s
درجة الحرارة	kelvin	K
مقدار المادة	mole	mol
التيار الكهربائي	ampere	A
شدة الإضاءة	candela	cd

وحدات SI المشتقة				
القياس	الوحدة	رمز الوحدة	معبرة بالوحدات الأساسية	معبرة بوحدات SI أخرى
التسارع		m/s^2	m/s^2	
المساحة		m^2	m^2	
الكثافة		kg/m^3	kg/m^3	
الشغل، الطاقة	joul	J	$kg.m^2/s^2$	N.m
القوة	newton	N	$kg.m/s^2$	
القدرة	watt	W	$kg.m^2/s^3$	J/s
الضغط	Pascal	Pa	$kg/m.s^2$	N/m^2
السرعة		m/s	m/s	
الحجم		m^3	m^3	

تحويلات مفيدة		
1 in = 2.54 cm	1kg = 6.02×10^{26} u	1 atm = 101 kPa
1 mi = 1.61 km	1 oz ↔ 28.4 g	1 cal = 4.184 J
	1 kg ↔ 2.21 lb	1ev = 1.60×10^{-19} J
1 gal = 3.79 L	1 lb = 4.45 N	1kwh = 3.60 MJ
1 m^3 = 264 gal	1 atm = 14.7 lb/in^2	1 hp = 746 W
	1atm = 1.01×10^5 N/m^2	1 mol= 6.022×10^{23}

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الجداول

ثوابت فيزيائية			
الكمية	الرمز	المقدار	القيمة التقريبية
وحدة كتلة الذرة	u	$1.66053886\times 10^{-27}$ kg	1.66×10^{-27} kg
عدد أفوجادرو	N_A	6.0221415×10^{23} mol^{-1}	6.022×10^{23} mol^{-1}
ثابت بولتزمان	k	1.3806505×10^{-23} $Pa.m^3/K$	1.38×10^{-23} $Pa.m^3/K$
ثابت الغاز	R	8.314472 $Pa.m^3/mol.K$	8.31 $Pa.m^3/mol.K$
ثابت الجاذبية	G	6.6742×10^{-11} $N.m^2/kg^2$	6.67×10^{-11} $N.m^2/kg^2$

البادئات		
الدلالة العلمية	الرمز	البادئة
femto	f	10^{-15}
Pico	p	10^{-12}
nano	n	10^{-9}
micro	μ	10^{-6}
milli	m	10^{-3}
centi	c	10^{-2}
deci	d	10^{-1}
deka	da	10^{1}
hecto	h	10^{2}
kilo	k	10^{3}
mega	M	10^{6}
giga	G	10^{9}
tera	T	10^{12}
peta	P	10^{15}

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الجداول

كثافة بعض المواد الشائعة	
المادة	الكثافة (g/cm^3)
ألومنيوم	2.702
كادميوم	8.642
نحاس	8.92
جرمانيوم	5.35
ذهب	19.31
هيدروجين	8.99×10^{-5}
إنديوم	7.30
حديد	7.86
رصاص	11.34
زئبق	13.546
أكسجين	1.429×10^{-3}
سليكون	2.33
فضة	10.5
ماء (4 C°)	1.000
خارصين	7.14

درجات الانصهار والغليان لبعض المواد		
المادة	درجة الانصهار (C°)	درجة الغليان (C°)
ألومنيوم	660.37	2467
نحاس	1083	2567
جرمانيوم	937.4	2830
ذهب	1064.43	2808
إنديوم	156.61	2080
حديد	1535	2750
رصاص	327.5	1740
سليكون	1410	2355
فضة	961.93	2212
ماء	0.000	100.000
خارصين	419.58	907

الحرارية النوعية لبعض المواد الشائعة			
	الحرارة النوعية (J/kg.K)	المادة	الحرارة النوعية (J/kg.K)
ألومنيوم	897	رصاص	130
نحاس أصفر	376	ميثانول	2450
كربون	710	فضة	235
نحاس	385	بخار	2020
زجاج	840	ماء	4180
جليد	2060	خارصين	388
حديد	450		

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الجداول

الحرارة الكامنة للانصهار والحرارة الكامنة للتبخر لبعض المواد الشائعة		
المادة	الحرارة الكامنة للانصهار (J/kg)	الحرارة الكامنة للتبخر (J/kg)
نحاس	2.05×10^{5}	5.07×10^{6}
ذهب	6.30×10^{4}	1.64×10^{6}
حديد	2.66×10^{5}	6.29×10^{6}
رصاص	2.04×10^{4}	8.64×10^{5}
زئبق	1.15×10^{4}	2.72×10^{5}
ميثانول	1.09×10^{5}	8.78×10^{5}
فضة	1.04×10^{5}	2.36×10^{6}
ماء (جليد)	3.34×10^{5}	2.26×10^{6}

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المصطلحات

أ

أشباه الموصلات Semiconductors مواد موصلة منها السليكون والجرمانيوم، وعندما تصنع منها أدوات صلبة فإنها تعمل على تضخيم الإشارات الكهربائية الضعيفة جدًّا وضبطها، من خلال حركة الإلكترونات داخل منطقة بلورية صغيرة.

أشباه الموصلات غير النقية Extrinsic Semiconductors أشباه الموصلات يكون توصيلها كبيرًا بسبب احتوائها على شوائب.

أشباه الموصلات النقية Intrinsic Semiconductors أشباه الموصلات النقية التي توصل نتيجة لتحرير الإلكترونات والفجوات حراريًّا.

اضمحلال ألفا Alpha decay عملية اضمحلال إشعاعي ينبعث فيها جسيم ألفا من النواة.

اضمحلال بيتا beta decay عملية اضمحلال إشعاعي يتحول فيها نيوترون إلى بروتون يبقى في النواة وجسيم بيتا وضد نيوترينو.

اضمحلال جاما Gamma Decay عملية اضمحلال إشعاعي يتم فيها إعادة توزيع الطاقة داخل النواة، لكن دون تغير في العدد الكتلي أو مقدار الشحنة.

الانبعاث المحفز stimulated emission عملية تحدث عندما تصطدم ذرة مثارة بفوتون طاقته تساوي الفرق بين طاقتي مستوى الإثارة وطاقة مستوى الاستقرار، فتعود الذرة إلى حالة الاستقرار، وينبعث فوتون طاقته تساوي الفرق بين طاقتي المستويين.

إنتاج الزوج Pair Production تحوّل الطاقة إلى جسيمات مزدوجة "مادة وضديد المادة".

الاندماج النووي Fusion عملية يتم فيهااندماج أنوية صغيرة لإنتاج نواة أكبر وتحرير طاقة.

الانشطار النووي Fission عملية تنقسم فيها النواة إلى نواتين أو أكثر ونيوترونات وطاقة.

الإشعاع الكهرومغناطيسي Electromagnetic radiation الطاقة التي تحمل أو تشع على شكل موجات كهرومغناطيسية

ت

التأثير الكهروضوئي Photoelectric Effect انبعاث إلكترونات من سطوح الفلزات عند سقوط إشعاع كهرومغناطيسي مناسب عليها.

تأثير كومبتون Compton Effect الإزاحة في طاقة الفوتونات المشتتة.

الترانزستور Transistor أداة بسيطة مصنوعة من مادة شبه موصلة معالجة بالشوائب، ويعمل مضخمًا، ومقويًا للإشارات الضعيفة.

تردد العتبة Threshold Frequency أقل تردد للأشعة الساقطة يمكنه تحرير إلكترونات من العنصر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المصطلحات

التفاعل المتسلسل Chain Reaction عملية مستمرة ومتكررة من تفاعلات الانشطار سببها تحرير نيوترونات من تفاعل الانشطار الأول.

التفاعل النووي Nuclear Reaction عملية تحدث عندما يتغير عدد النيوترونات أو عدد البروتونات في النواة. وقد تحدث عندما تقذف النواة بأشعة جاما، أو بروتونات، أو نيوترونات، أو جسيمات ألفا، أو إلكترونات.

التيار الدوامي Eddy current تيار متولد في قطعة حديد تتحرك في مجال مغناطيسي متغير، وتولد مجالًا مغناطيسيًّا معاكسًا لاتجاه الحركة التي ولّدت التيار.

التيار الكهربائي الحثي Inductive electric current التيار الكهربائي المتولد عندما يتحرك سلك في مجال مغناطيسي بحيث يقطع خطوط المجال المغناطيسي أثناء حركته، أو عندما يتحرك مصدر المجال المغناطيسي في منطقة السلك.

ج

جسيمات ألفا Alpha Particles جسيمات موجبة الشحنة وثقيلة، وتتحرك بسرعات عالية، ويرمز لها بالرمز α.

ح

حالة الإثارة Excited State أي مستوى طاقة للذرة أعلى من مستوى الاستقرار.

حالة الاستقرار Ground State حالة الذرة عندما يكون لها أقل مقدار مسموح به من الطاقة.

حاملات القوة Force Carriers جسيمات تنقل أو تحمل القوى في المادة.

الحث الذاتي Self–Inductance حث قوة دافعة كهربائية **EMF** في سلك يتدفق فيه تيار متغير.

الحث الكهرومغناطيسي Electromagnetic induction عملية توليد التيار الكهربائي في دائرة، وسببه الحركة النسبية بين السلك والمجال المغناطيسي عندما يتحرك السلك خلال المجال المغناطيسي، أو عندما يتحرك المجال المغناطيسي خلال السلك.

الحث المتبادل Mutual inductance تأثير التغير في التيار الكهربائي المار بالملف الابتدائي لمحول كهربائي، والذي يحدث تغيرًا في المجال المغناطيسي ينتقل خلال القلب الحديدي إلى الملف الثانوي في المحول ليولد التغير في المجال قوة دافعة كهربائية حثية متغيرة **EMF**.

د

الدايود Diode شبه موصل بسيط يوصل الشحنات في اتجاه واحد، ويتكوّن من قطعة صغيرة من أشباه الموصلات من النوع **p** موصولة بقطعة أخرى من النوع **n**.

دالة (اقتران) الشغل work function الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون الأضعف ارتباطا في الفلز

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المصطلحات

ر

الرقاقة الميكروية Microchip دوائر متكاملة تتكوّن من آلاف الترانزستورات والدايودات والمقاومات والموصلات.

س

السحابة الإلكترونية Electron Cloud منطقة احتمال وجود الإلكترون فيها كبير.

ش

الشوائب Dopants ذرات مانحة أو مستقبلة للإلكترونات بتراكيز قليلة تضاف إلى أشباه الموصلات النقية تسمى الشوائب فتعمل على زيادة موصليتها ، وذلك بتوفير إلكترونات أو فجوات إضافية.

ض

الضوء المترابط Coherent light ضوء من مصدرين أو أكثر، يولد موجة ذات مقدمات منتظمة. أو موجات ضوء تكون متطابقة عند القمم والقيعان.

الضوء غير المترابط Incoherent light ضوء بمقدمات موجية غير متزامنة تضيء الأجسام بضوء أبيض منتظم. أو هو ضوء يتكون من موجات مختلفة في الطور، قممها وقيعانها غير متوافقة.

ط

طاقة الربط النووية Binding Energy طاقة مكافئة لنقص كتلة النواة، وهي دائما سالبة.

طبقة النضوب Depletion layer منطقة تحيط بالطبقة الفاصلة **pn**، ولا يوجد فيها فجوات أو إلكترونات حرة، فتنضب فيها ناقلات الشحنة، وتصبح موصلاً ضعيفًا جدًّا.

طول موجة دي برولي De Broglie Wavelength طول الموجة الملازمة للجسم المتحرك.

طيف الامتصاص Absorption Spectrum مجموعة مميزة من الأطوال الموجية، تُنتج عند امتصاص الغاز جزءًا من الطيف، وتستخدم لتعرُّف نوع الغاز.

طيف انبعاث Emission Spectrum ضوء ينبعث من الأجسام الساخنة والمتوهجة في نطاق محدد من الترددات.

الطيف الكهرومغناطيسي Electro magnetic Spectrum طيف يتكون من مدى الترددات والأطوال الموجية التي تشكل جميع أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المصطلحات

ع

العدد الذري Atomic Number عدد البروتونات في نواة العنصر.

العدد الكتلي Mass Number عدد البروتونات والنيوترونات داخل نواة العنصر.

عدد الكم الرئيس Principal quantum Number عدد صحيح **n** يحدد القيم المكماة لنصف القطر أو الطاقة لمستوى (مدار) الإلكترون ـــ يتضاعف نصف القطر عندما يتضاعف مربع **n** بينما تعتمد الطاقة على مقلوب n^2 .

عمر النصف Half – life الفترة الزمنية اللازمة لاضمحلال نصف أي كمية من ذرات نظير عنصر مشع.

العوازل الكهربائية Dielectrics مواد غير موصلة – منها الزجاج والهواء والماء – تنتقل خلالها الموجات الكهرومغناطيسية بسرعة أقل من سرعة الضوء في الفراغ.

ف

الفوتون photon حزمة مكماة منفصلة من الإشعاع الكهرومغناطيسي، لا كتلة لها، تتحرك بسرعة الضوء، ولها طاقة وكمية تحرك.

فرق الكتلة mass defect الفرق بين مجموع كتل النيوكليونات المفردة المكونة للنواة والكتلة الفعلية لها

ق

القاعدة الرابعة لليد اليمنى Forth right–hand rule الطريقة المستخدمة لتحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في الشحنات الموجودة داخل الموصل المتحرك داخل مجال مغناطيسي.

قانون لنز Lenz's low ينص على أن التيار الحثي المتولد يكون اتجاهه دائماً بحيث يقاوم المجال المغناطيسي الذي كان سببًا في توليده أو التغير في المجال المغناطيسي الذي ولده.

القوة الدافعة الكهربائية الحثية Electromotive force فرق جهد مقيس بالفولت، معطى للشحنات بواسطة البطارية، ويرمز له بالرمز **EMF**.

القوة النووية الضعيفة Weak Nuclear Force قوة ضعيفة تؤثر في انبعاث بيتا داخل النواة.

القوة النووية القوية Strong Nuclear Force قوة كبيرة جدًّا تربط مكونات النواة، وهي القوة نفسها بين البروتونات والبروتونات، أو بين البروتونات والنيوترونات، أو بين النيوترونات والنيوترونات.

ك

الكهرباء الإجهادية Piezoelectricity خاصية للبلورة تسبب انحناءها أو تشوهها فتولد تذبذبات كهربائية عند تطبيق فرق جهد عليها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

المصطلحات

الكواركات quarks جسيمات صغيرة تكون البروتونات والنيوترونات والبيونات.

ل

اللبتونات leptons مجموعة من الجسيمات تكون الإلكترونات والنيوترينات.

ليـزر laser أداة تنتج ضوءًا موحدًا مترابطًا متفقًا في الطور يستخدم لإثارة ذرات أخرى، وينتج عن طريق الانبعاث المحفز بالإشعاع.

م

مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج Uncertainty Principle ينص على أنه لا يمكن تحديد موقع جسيم وزخمه بدقة عالية، في اللحظة نفسها.

متوسط القدرة Average power نصف القيمة القصوى للقدرة المرتبطة مع التيار المتناوب.

المحول الخافض Step–down transformer نوع من المحولات، ينتج عندما يكون فرق الجهد الناتج عن المحول أقل من فرق الجهد المدخل إليه.

المحول الرافع Step–up transformer نوع من المحولات، ينتج عندما يكون فرق الجهد الناتج عن المحول أكبر من فرق الجهد المدخل إليه.

المحوّل الكهربائي Transformer جهاز يمكنه رفع أو خفض فرق الجهد في دوائر **AC** مع فقدان قليل من الطاقة.

المُستقبِل receiver جهاز يستعمل للحصول على معلومات من الموجات الكهرمغناطيسية، ويتكون من هوائي ودائرة ملف ومكثف وكاشف لفك شفرة الإشارة ومضخم.

مستوى الطاقة Energy level كمية محددة من الطاقة توجد في كل مستوى للذرة.

مطياف الكتلة Mass Spectrometer جهاز يستخدم المجالين الكهربائي والمغناطيسي في قياس كتلة الذرات المتأينة والجزيئات، ويحدّد نسبة شحنة الأيون إلى كتلته.

مكمّاة quantized الطاقة الموجودة في حزمة محددة.

الملف الابتدائي Primary coil أحد ملفي المحول الكهربائي، يولد قوة دافعة كهربائية حثية متناوبة **EMF** في الملف الثانوي عند وصله بمصدر فرق جهد متناوب **Ac**

الملف الثانوي secondary coil أحد ملفي المحول الكهربائي المعزول، تتولد فيه قوة دافعة كهربائية حثية متناوبة بواسطة مرور تيار **AC** بالملف الابتدائي.

المواد المشعة Radioactive مواد ينبعث منها إشعاعات تلقائيًا، وهذه الإشعاعات لها قدرة على النفاذ

المصطلحات

الموجة الكهرومغناطيسية Electromagnetic Wave موجة ناتجة عن التغير المزدوج في المجالين الكهربائي والمغناطيسي، وتنتقل في الفضاء.

المولد الكهربائي Electric generator جهاز يحوّل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية، ويتكون من عدد من الملفات الموضوعة في مجال مغناطيسي قوي.

ميكانيكا الكم Quantum Mechanics دراسة خصائص المادة باستخدام خصائصها الموجية.

ن

النشاط الإشعاعي Radio activity معدل الاضمحلال، أو عدد انحلالات المادة المشعة كل ثانية.

النظير Isotope كل شكل من الأشكال المختلفة للذرة نفسها، له كتلة مختلفة والخصائص الكيميائية نفسها.

النموذج الكمي Quantum Model نموذج يتوقع احتمالية وجود الإلكترون في منطقة محددة.

النموذج المعياري Standard Model نموذج بناء وحدات المادة، تتوزع فيه الجزيئات على ثلاث مجموعات، هي الكواركات واللبتونات وحاملات القوة.

النيوكليونات nucleons البروتونات والنيوترونات.

النويدة (نواة النظير) Nuclide مصطلح يطلق على نواة النظير،وجميع نويدات العنصر لها العدد نفسه من البروتونات ولكن لها أعدادا مختلفة من النيوترونات

النواة Nucleus جزء صغير جدا في مركز الذرة، موجب الشحنة، تتركز فيه معظم كتلة الذرة

نظرية الأحزمة للمادة الصلبة Band theory of solids مستويات الطاقة لحالة الاستقرار في كل ذرة في البلورة الصلبة تتجزأ –بسبب المجالات الكهربائية للذرات المجاورة لها– إلى مستويات طاقة متعددة تظهر كحزمتي تكافؤ وتوصيل منفصلتين بفجوات طاقة ممنوعة

هـ

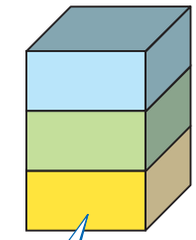
الهوائي Antenna سلك مصمّم لنقل أو استقبال الموجات الكهرمغناطيسية.

و

وحدة الكتل الذرية Atomic Mass Unit وحدة كتلة u؛ حيث u تساوي 1.66×10^{-27} kg.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

الجدول الدوري للعناصر

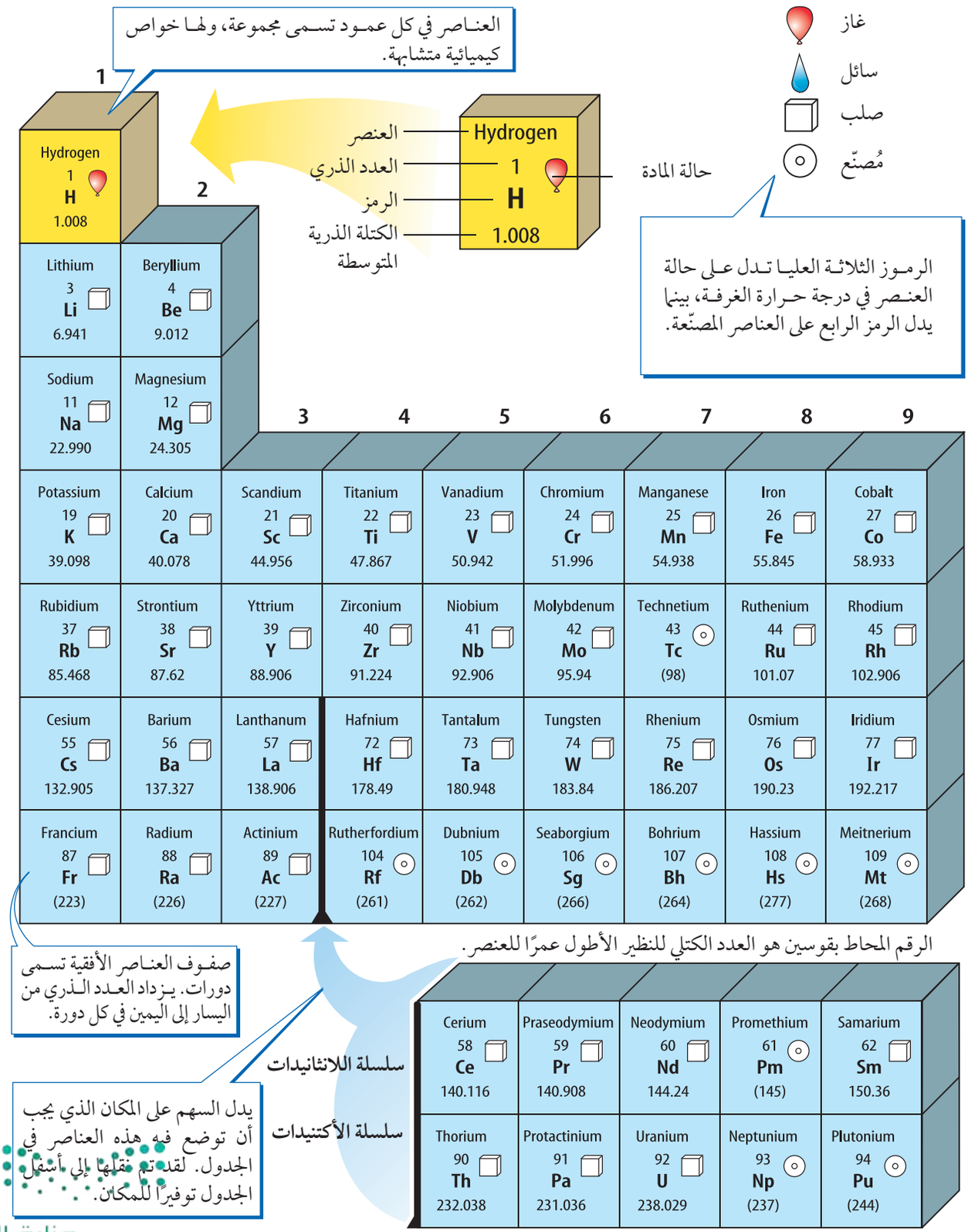


يدل لون صندوق كل عنصر على ما إذا كان فلزًّا أو شبه فلز أو لافلزًّا.

10	11	12	13	14	15	16	17	18
								Helium 2 He 4.003
			Boron 5 B 10.811	Carbon 6 C 12.011	Nitrogen 7 N 14.007	Oxygen 8 O 15.999	Fluorine 9 F 18.998	Neon 10 Ne 20.180
			Aluminum 13 Al 26.982	Silicon 14 Si 28.086	Phosphorus 15 P 30.974	Sulfur 16 S 32.065	Chlorine 17 Cl 35.453	Argon 18 Ar 39.948
Nickel 28 Ni 58.693	Copper 29 Cu 63.546	Zinc 30 Zn 65.409	Gallium 31 Ga 69.723	Germanium 32 Ge 72.64	Arsenic 33 As 74.922	Selenium 34 Se 78.96	Bromine 35 Br 79.904	Krypton 36 Kr 83.798
Palladium 46 Pd 106.42	Silver 47 Ag 107.868	Cadmium 48 Cd 112.411	Indium 49 In 114.818	Tin 50 Sn 118.710	Antimony 51 Sb 121.760	Tellurium 52 Te 127.60	Iodine 53 I 126.904	Xenon 54 Xe 131.293
Platinum 78 Pt 195.078	Gold 79 Au 196.967	Mercury 80 Hg 200.59	Thallium 81 Tl 204.383	Lead 82 Pb 207.2	Bismuth 83 Bi 208.980	Polonium 84 Po (209)	Astatine 85 At (210)	Radon 86 Rn (222)
Darmstadtium 110 Ds (269)	Roentgenium 111 Rg (272)	Copernicium 112 Cn (277)	Nihonium 113 Nh 286.183	Flerovium 114 Fl 289.191	Moscovium 115 Mc 290.196	Livermorium 116 Lv 293.205	Tennessine 117 Ts 294.211	Oganesson 118 Og 294.214

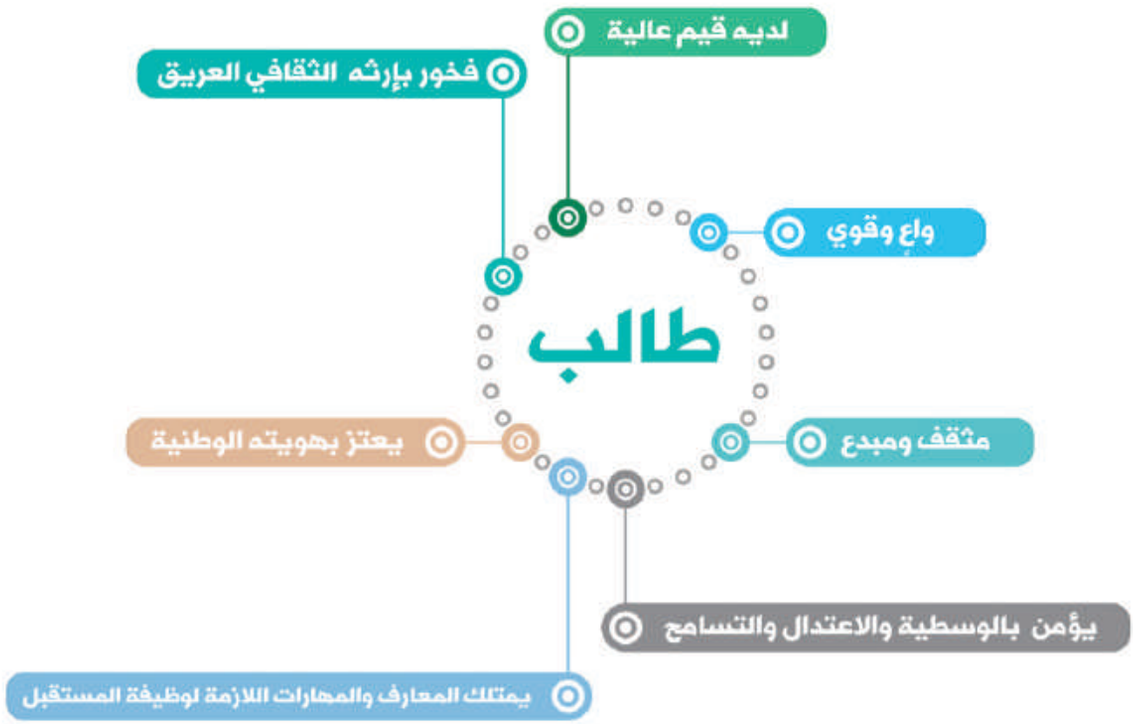
Europium 63 Eu 151.964	Gadolinium 64 Gd 157.25	Terbium 65 Tb 158.925	Dysprosium 66 Dy 162.500	Holmium 67 Ho 164.930	Erbium 68 Er 167.259	Thulium 69 Tm 168.934	Ytterbium 70 Yb 173.04	Lutetium 71 Lu 174.967
Americium 95 Am (243)	Curium 96 Cm (247)	Berkelium 97 Bk (247)	Californium 98 Cf (251)	Einsteinium 99 Es (252)	Fermium 100 Fm (257)	Mendelevium 101 Md (258)	Nobelium 102 No (259)	Lawrencium 103 Lr (262)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445



وزارة التعليم
Ministry of Education
2023 - 1445

رؤيـــة VISION
2030
المملكة العربية السعودية
KINGDOM OF SAUDI ARABIA



وزارة التعـــليم
Ministry of Education
2023 - 1445