Faculté de Chimie (USTHB) **Année 2018 / 2019**
Module : Chimie I. LMD (ST)

TD - Série n° 3 (02 Séances)

Effet Photoélectrique – Modèle atomique de Bohr

Données : $h = 6.625\ 10^{-34}$J.s ; $c = 3\ 10^{8}$m/s ; $e = 1.6\ 10^{-19}$ C (Coulomb) ; $m_e = 9.1\ 10^{-31}$Kg

$R_H = 1.1\ 10^{7}\ m^{-1}$; $E_H = -13.6$ eV ; 1eV = $1.6\ 10^{-19}$ J ; K= $9\ 10^{9}$ u SI.

A- Effet Photoélectrique

Exercice 1 *(Exercice facultatif)*
L'effet photoélectrique est l'émission (éjection) d'électrons par un métal sous l'action d'un rayonnement lumineux ($h\upsilon$). L'énergie minimale qu'il faut fournir pour expulser un électron du métal est appelée : énergie d'extraction, notée W_e ou énergie seuil ($h\upsilon_s$ ou $h\upsilon_0$).
- Ecrire le principe de conservation de l'énergie.
-Définir l'effet photoionisation.

Exercice 2
Une cellule photoélectrique dont le seuil d'extraction est de 2.4 eV, est bombardée (irradiée) par un faisceau polychromatique composé de deux radiations de longueurs d'ondes $\lambda_1 = 430$ nm et $\lambda_2 = 580$ nm.
- Les deux radiations permettent-elles d'observer un effet photoélectrique ?
- Quelle est la vitesse maximale des électrons qui sont éjectés (arrachés) à la photocathode ?
- Définir et calculer le potentiel d'arrêt.

Exercice 3
Une plaque d'aluminium est éclairée (bombardée, illuminée) successivement par deux rayonnements de longueurs d'ondes $\lambda_1 = 2534$ Å et $\lambda_2 = 2967$Å. Dans le premier cas, le courant électrique est annulé par un potentiel retardateur $V_1 = 1.88$ Volts et dans le second cas, par un potentiel retardateur $V_2 = 1.17$ Volts.
En déduire la constante de Planck.

Exercice 4
Le seuil photoélectrique du molybdène (Mo) est égal à 3000 Å.
-Le molybdène émettra-t-il un électron lorsqu'il reçoit des radiations de longueurs d'ondes supérieures à 3000 Å ?
- Calculez le travail d'extraction (W_e ou W_0) de ce métal et exprimez-le-en eV.

Exercice 5
La fréquence photoélectrique seuil du lithium est de $5.77\ 10^{14}$ Hz.

- Calculer en eV l'énergie cinétique des électrons émis à partir de la cathode de lithium éclairée par une radiation de longueur d'onde 0.36 µm. En déduire leur vitesse.
- Déterminer la valeur de la différence de potentiel (ddp) permettant l'annulation du courant électrique.

B- Modèle atomique de Bohr

Exercice 1 *(Exercice facultatif)*
Dans le modèle de Bohr, l'électron de l'atome d'hydrogène, de charge –e, décrit autour du noyau, de charge +e, une trajectoire (orbite) circulaire de rayon r. Bohr a émis l'hypothèse (Postulat) que seules sont possibles les trajectoires pour lesquelles le moment cinétique de l'électron $\boldsymbol{m_c} = \mathbf{mvr}$ est un nombre entier (n) de fois $h/2\pi$.
- Déterminer l'expression du rayon de ces orbites (r_n) et calculer le rayon de la deuxième orbite (r_2).
-Déterminer l'expression de l'énergie correspondante (E_n). Calculer l'énergie de la deuxième orbite (E_2) de l'atome d'hydrogène.
- Retrouver le postulat du moment cinétique de Bohr définit par l'équation, $mvr = nh/2\pi$.

Exercice 2
Le spectre d'émission de l'atome d'hydrogène comporte des séries de raies dont les longueurs d'onde λ sont données par la relation : $1/\lambda = R_H(1/n_1^2 - 1/n_2^2)$.
- Pour chacune des séries: Lyman ($n_1 = 1$), Balmer ($n_1=2$), Paschen ($n_1 = 3$) et Brackett ($n_1 = 4$), calculer la longueur d'onde de la première raie λ_1 ($n_2 = n_1+1$) et de la raie limite λ_∞ ($n_2 = \infty$). Représenter ces transitions sur un diagramme énergétique.
- Situer ces séries dans le spectre électromagnétique des radiations (dire qu'une série donnée est dans l'UV, l'IR ou …). Comment varie l'étalement λ_1-λ_{lim} des raies ?
- La première raie de la série de Balmer se situe à 6563Å et la seconde à 4861Å. En déduire la différence d'énergie en eV séparant les niveaux 3 et 4 de l'atome d'hydrogène.

Exercice 3
Quelle est la relation qui relie la fréquence υ d'une radiation à sa longueur d'onde λ, son nombre d'onde $\bar{\upsilon}$ et son énergie E ?
Calculer l'équivalent énergétique d'une radiation de longueur d'onde $\lambda = 486$ nm. A quelle transition correspond-elle dans le spectre d'émission de l'atome d'hydrogène ?

Exercice 4
L'électron d'un atome d'hydrogène se trouve sur le niveau d'énergie n = 4.
- Quelle est l'énergie de cet électron en eV ?

Cet électron absorbe une radiation lumineuse, l'atome est alors ionisé.
- Quelle est la valeur de l'énergie absorbée ?
- Déduire la longueur d'onde correspondante en nm.

L'électron étant sur le niveau n = 4, il subit une transition en émettant une radiation de plus petite longueur d'onde possible.
- Quelle est cette transition ?
- Déduire la valeur de l'énergie émise.
- Calcùler la valeur de la fréquence correspondante.

Exercice 5
L'ion ${}_Z^AX^{n+}$est un hydrogénoïde : - Dans le cadre du modèle de Bohr, déterminer l'expression littérale du rayon (r_n) des orbites circulaires permises pour cet hydrogénoïde. En déduire les niveaux d'énergie E_n permis et l'énergie d'ionisation en fonction de Z. Commenter.

On s'intéresse à l'hydrogénoïde He^+ (Z = 2), déterminer :

- L'énergie de l'état fondamental
- La longueur d'onde minimale λ_{min} que doit avoir un photon pour provoquer l'ionisation de He^+. La comparer à λ_{min} de l'atome H.

Serie 3 : A_Effet Photoélectrique

Exercice 1 : Serie 3

1) de principe de conservation de l'énergie :

$E = We + Ec$

$E = h\nu_0 + \frac{1}{2} m_e v_e^2$

2) d'effet photoionisation :

C'est ionisation des atomes ou des molécules d'un gaz sous l'effet d'un rayonnement ultraviolet.

d'effet photoélectrique :

C'est l'emission d'électrons par un métal sous l'action d'un rayonnement lumineux.

pour avoir l'effet photoélectrique,

- $\nu > \nu_0$ ou bien $\lambda < \lambda_0$

ν : Fréquence (Hz)

λ : longueur d'onde (Å)

Exercice 2 : Serie 3 : effet photoelectrique

1) des deux radiations permettent-elle d'observer un effet photoélectrique :

On a :

$E = h\nu_0 = h\frac{c}{\lambda_0} \Rightarrow \lambda_0 = \frac{ch}{E}$

avec :

c : "célerité" ou "vitesse de la lumière"

$C = 3.10^8 m/s$

h = Constante de Planck : $6,625.10^{-34} J.s$

λ : longueur d'onde

$$\lambda_0 = \frac{3.10^8 \times (6,625.10^{-34})}{(2,4)(1,6\times10^{-19})}$$

$\lambda_0 = 5,17.10^{-7} m = 517 nm$

$\lambda_0 = 517 nm$

On a : $\lambda_1 < \lambda_0 \Rightarrow$ On a un effet photoelectrique

$\lambda_2 > \lambda_0 \Rightarrow$ On n'a pas d'effet photoelectrique

2) la vitesse maximale des électrons qui sont éjectés à la photocathode

On a : $Ec = Eph - We$

$\frac{1}{2} m_e v^2 = \frac{hc}{\lambda_1} - We$

$$v = \sqrt{\frac{\frac{2\times h\times c}{\lambda_1} - 2We}{m_e}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2(E_{ph} - We)}{m_e}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2\left(\frac{(6,625.10^{-34})\times(3.10^8)}{430.10^{-9}} - 2,4.1,6.10^{-19}\right)}{9,1\times10^{-31}}}$$

$v = 4,145.10^5 m/s$

avec : $1eV = 1,6.10^{-19} J$

3) le potentiel d'arrêt :

C'est le potentiel qui permet d'arrêter le déplacement des electrons.

$|Ec| = |Ee|$

$\frac{1}{2} m v^2 = e U_0$

$$U_0 = \frac{mv^2}{2e} = \frac{9,1\times10^{-31}\times(4,15.10^5)^2}{2\times(1,6\times10^{-19})}$$

$U_0 = 0,489 V$

Exercice 3: Serie 3 : effet photoelectrique

Déduction de la constante de Planck:

On a : $E_c = E_{ph} - W_0$

$E_c = E_e = e.V$

$e.V_1 = \frac{hc}{\lambda_1} - W_0$ ①

$e.V_2 = \frac{h.c}{\lambda_2} - W_0$ ②

① - ② $\Rightarrow e(V_1 - V_2) = h.c\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right)$

$$h = \frac{e(V_1 - V_2)}{c\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right)}$$

$$h = \frac{1,6.10^{-19} \times (1,88 - 1,17)}{3.10^8 \times \left(\frac{1}{2534.10^{-10}} - \frac{1}{2967 \times 10^{-10}}\right)}$$

$h = 6,625.10^{-34}\ J.S$

Exercice 4: Effet photoelectrique

1) de molybdène emettra-t-il un électron?

On a : $\lambda_0 = 3000\ Å$

$\lambda_1 > \lambda_0 \Rightarrow$ de molybdène n'emettra pas d'éléctrons

2) de calcul du travail d'extraction (W_e):

$$W_0 = h\nu_0 = h \times \frac{c}{\lambda_0} = 6,625.10^{-34} \times \frac{3.10^8}{3000.10^{-10}}$$

$W_0 = 6,625.10^{-19}\ J = 4,14\ ev$

Exercice 5: Effet photoelectrique

- Calcul de l'énergie cinétique:

$E_c = E_{ph} - W_0 = h.\frac{c}{\lambda} - h\nu_0$

avec : $\lambda = 0,36\ \mu m = 0,36 \times 10^{-6}\ m$

$$E_c = 6,625.10^{-34} \times \frac{3.10^8}{0,36.10^{-6}} - 6,625.10^{-34} \times 5,77.10^{14})$$

$E_c = 1,69 \times 10^{-19}\ J$

$\frac{1}{2} m v^2 = 1,69 \times 10^{-19} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \times 1,69 \times 10^{-19}}{9,1 \times 10^{-31}}}$

$v = 6,09 \times 10^5\ m/s$

B - Modèle de Bohr:

Exo 3:

La relation entre ν, λ et E:

$\nu = \frac{c}{\lambda}$; $\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda}$; $E = h\nu = h \times \frac{c}{\lambda}$

* Calcul de l'equivalent énergetique:

$$E = h\nu = h \times \frac{c}{\lambda} = 6,625.10^{-34} \times \frac{3.10^8}{486 \times 10^{-9}}$$

$E = 4,089 \times 10^{-19}\ J = 2,55\ ev$

Elle correspond a la transition de : Balmer.

Exercice 4: Modèle de Bohr

1) L'énergie de l'électron en eV:

$E_n = \frac{-13,6.Z^2}{n^2}$; $E_4 = \frac{-13,6.(1)^2}{(4)^2}$

$E_4 = -0,85\ ev$

2) - La valeur de l'énergie absorbée :

On a : $E_i = E_\infty - E_4 = -(-0,85) = 0,85\,ev$

avec $E_\infty = 0\,ev$.

- Déduction de la longueur d'onde correspondante en nm :

$$E = \frac{h.c}{\lambda} \Longrightarrow \lambda = \frac{h.c}{E} = \frac{6,625.10^{-34} \times 3.10^{8}}{0,85 \times 1,6 \times 10^{-19}}$$

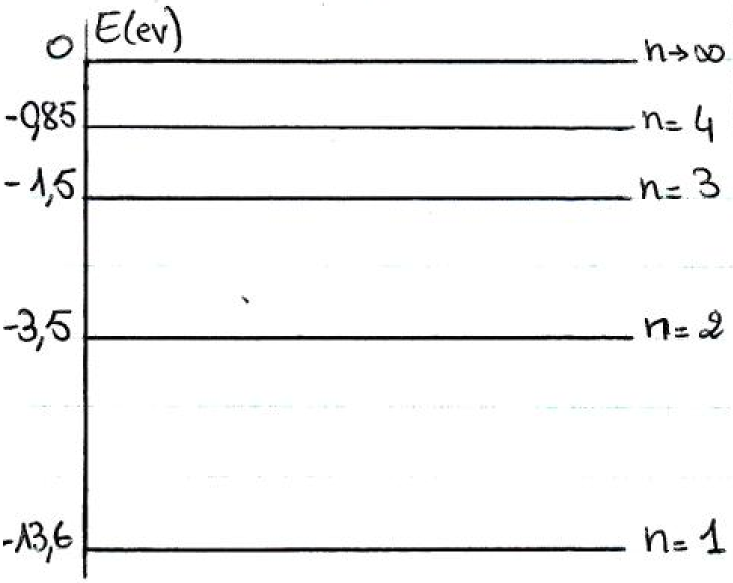
$\lambda = 1,46 \times 10^{-9}\,m = 1460\,nm.$

3) - Qu'elle est la transition :

On a : $E_1 = \frac{-13,6.(1)^2}{(1)^2} = -13,6\,ev$

$E_2 = \frac{-13,6.(1)^2}{(2)^2} = -3,4\,ev$

$E_3 = \frac{-13,6.(1)^2}{(3)^2} = -1,51\,ev$



On a : $\Delta E_1 = n_3 - n_4 = -1,5 - (-0,85)$

$\Delta E_1 = -0,65\,ev$

$\Delta E_2 = n_2 - n_4 = -3,5 - (-0,85)$

$\Delta E_2 = -2,65\,ev$

$\Delta E_3 = n_1 - n_4 = -13,6 - (-0,85) = -12,75\,ev$

$\Delta E_1 > \Delta E_2 > \Delta E_3$

Donc la transmission est de 4 à 3 "emission d'une radiation de plus petite longueur d'onde possible".

- La valeur de l'énergie emise :

$|\Delta E| = |-0,65\,ev| = 0,65\,ev$

- Calcul de la valeur de la fréquence correspondante : ν

$$E = h\nu \Longrightarrow \nu = \frac{E}{h} = \frac{0,65 \times 1,6 \times 10^{-}}{6,625 \times 10^{-34}}$$

$\nu = 1,56 \times 10^{14}\,Hz$

Exercice 5 : Modèle de Bohr

Pour l'hydrogénoïde He^+ $(Z=2)$:

1) L'énergie de l'état fondamental :

$$Z=2\,;\ E_1 = \frac{-13,6 \times (Z)^2}{n^2} = \frac{-13,6 \times (2)^2}{(1)^2}$$

$E_1 = -54,4\,ev$

2) Détermination de la longueur d'onde minimale λ_{min} :

λ_{min} : $\Delta E = E_\infty - E_i = 54,4\,ev$

$$\Delta E = \frac{h.c}{\lambda_{min}} \Longrightarrow \lambda_{min} = \frac{h.c}{\Delta E} = \frac{6,625.10^{-34}.3.10^{8}}{54,4 \times 1,6.10^{-19}}$$

$\lambda_{min} = 22,8\,nm.$

- La comparaison à λ_{min} de l'atome H :

$$\lambda_H = \frac{h \times C}{E_H} = \frac{6,625 \times 10^{-34} \times 3.10^{8}}{13,6 \times 1,6 \times 10^{-19}}$$

$\lambda_H = 91,3 \times 10^{-9}\,nm \Longrightarrow \lambda_{min} < \lambda_H$