

Série de TD N° 4

Exercice 1 :

La longueur d'onde de la vapeur de sodium est égale à 5900 \AA ; la vitesse de lumière $C=3.10^8 \text{ m/s}$; la constante de Plank $h=6.62.10^{-34} \text{ J.s}$. Calculer :

- Le nombre d'onde associé en cm^{-1} .
- La fréquence ainsi que la période de l'onde.
- L'énergie des photons émis.

Exercice 2 :

L'effet photoélectrique est l'émission d'électrons extraits d'un métal par une radiation lumineuse. Einstein l'expliqua en 1905 en considérant que la lumière est constituée de photons.

On dispose d'une cellule photoélectrique dont le seuil d'extraction est de $2,4 \text{ eV}$. Elle est éclairée par un faisceau poly chromatique composé de deux radiations de longueurs d'ondes $\lambda_1= 430 \text{ nm}$ et $\lambda_2= 580 \text{ nm}$.

- Dans le cas d'un effet photoélectrique, l'énergie des photons incidents est-elle absorbée entièrement ou partiellement ? écrire l'expression de cette énergie.
- Les deux radiations permettent-elles de produire l'effet photoélectrique ?
- Quelle est la vitesse maximale des électrons qui sont arrachés à la photocathode ?

Exercice 3 :

Si un atome d'Hydrogène dans son état fondamental absorbe un photon de longueur d'onde λ_1 puis émet un photon de longueur d'onde λ_2 , sur quel niveau l'électron se trouve-t-il après cette émission ? $\lambda_1 = 97, 28 \text{ nm}$ et $\lambda_2 = 1879 \text{ nm}$.

Exercice 4 :

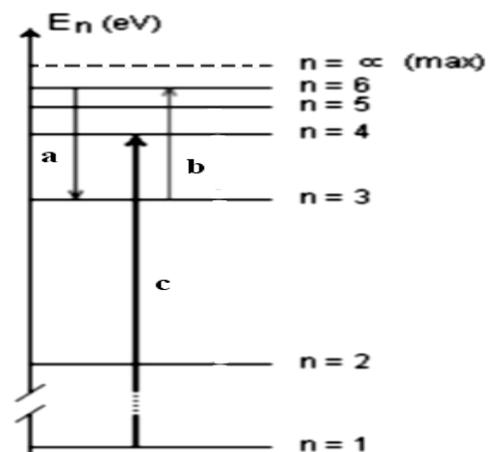
L'énergie de première ionisation de l'atome d'hélium est $24,6 \text{ eV}$.

- Quelle est l'énergie du niveau fondamental ?
- Un atome d'hélium se trouve dans un état excité d'énergie $-21,4 \text{ eV}$. Quelle est la longueur d'onde de la radiation émise quand il retombe au niveau fondamental ?

Exercice 5 :

- Calculer la fréquence du photon émis lors de la transition correspondant à la flèche « a » ; En déduire la longueur d'onde de la transition « b »
- Calculer la longueur d'onde du photon émis lors de la transition d'un électron de l'atome d'hydrogène correspondant à la flèche « c »

- A quel domaine appartient ce photon ?
- Calculer sur cet état excité : le rayon, la vitesse, l'énergie cinétique et l'énergie potentielle de l'électron.
- En déduire son énergie totale sur ce niveau.



Exercice 6 :

- Un atome d'hydrogène initialement à l'état fondamental absorbe une quantité d'énergie de 10,2 eV. A quel niveau se trouve-t-il alors ?
- Un atome d'hydrogène initialement au niveau $n=3$ émet une radiation de longueur d'onde $\lambda = 1027 \text{ \AA}$. A quel niveau se retrouve-t-il ?
- a) Calculer l'énergie à fournir pour ioniser à partir de leur état fondamental les ions He^+ ; Li^{2+} et Be^{3+}
- b) Quelles sont les longueurs d'onde des raies limites de la série de Balmer pour He^+ ?

$$E_1 = -13.6 \text{ eV}, \quad h = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}, \quad R_H = 1.1 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1} \quad \text{et} \quad C = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Exercice 7 :

- Un atome d'hélium est ionisé à l'état d'ion hydrogénoïde ${}^2\text{He}^+$ dans divers états excités
 - Ecrire les deux réactions d'ionisation de l'hélium ${}^2\text{He}$.
 - Calculer en (eV) son énergie de seconde ionisation.
 - La théorie de Bohr permet-elle de calculer l'énergie de première ionisation?
- Sachant que les raies du spectre d'émission de l'ion ${}^2\text{He}^+$ sont données par la relation :

$$\sigma = R_{\text{He}^+} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad \text{Avec : } m > n$$

Démontrer que le nombre d'onde $\bar{\sigma}_{(p \rightarrow n)}$ d'une radiation associée à la transition de l'électron de ${}^2\text{He}^+$ d'un niveau énergétique E_p vers un niveau énergétique E_n correspond au moins à la somme de deux autres nombres d'ondes caractéristiques, lorsque n et p ne sont pas consécutifs.

- Sachant que le nombre d'onde de la transition $\bar{\sigma}_{(4 \rightarrow 3)} = 21342 \text{ cm}^{-1}$.
 - Evaluer la constante de Rydberg R_{He} de l'ion He^+
 - Déduire la relation entre R_{He^+} et R_H .
 - La longueur d'onde de cette transition correspond à quel domaine ?
- Si l'on néglige les effets de réduction de masse ($\mu = m_e$) ; quelle transition optique du spectre de He^+ aurait la même longueur d'onde que la première transition de Lyman par l'hydrogène.

Exercice 8 :

On considère l'hydrogénoïde (${}_Z\text{X}^{q+}$) dans son troisième état excité. Son rayon, étant égal à $2,826 \text{ \AA}$:

- Déterminer son numéro atomique Z et en déduire la charge q .
- Calculer l'énergie d'ionisation (en eV) de cette hydrogénoïde à partir de cet état excité.

Exercice 9 :

L'électron d'un atome d'hydrogène se trouve sur le niveau énergétique défini par $n=3$.

1-Calculer l'énergie de cet électron.

2-Calculer la longueur d'onde qui provoque l'ionisation de cet hydrogène. En déduire son énergie correspondante en eV.

3-À partir de ce niveau ($n=3$), l'électron de l'hydrogène émet de l'énergie pour se stabiliser sur un niveau donné. Calculer l'énergie ainsi que la fréquence de la transition de plus grande longueur d'onde.

4-l'électron d'un l'hydrogénoïde subit la même transition que celui de l'hydrogène en absorbant une énergie égale à $2.72 \cdot 10^{-18} \text{ J}$. Quel est cet hydrogénoïde.

EX01

a) $G = \frac{1}{\lambda} = 1,69 \times 10^8 \text{ cm}^{-1}$

b) $\nu = \frac{c}{\lambda} = 5,08 \times 10^{14} \text{ Hz}$

$T = \frac{1}{\nu} = 1,97 \times 10^{-15} \text{ s}$

c) $E = h\nu = 3,36 \times 10^{-19} \text{ J}$

EX02

1. L'énergie fournie par les photons incidents de la radiation lumineuse est totalement absorbée, son expression est, $E_{ph} = h\nu_0 + \frac{1}{2} m_e v^2$

2. Détermination de longueur d'onde seuil,

$$E_0 = h\nu_0 = \frac{hc}{\lambda_0} \Rightarrow \lambda_0 = \frac{hc}{E_0} = 517 \text{ nm}$$

avec $E_0 = 2,4 \times 10^{-19} \text{ J} = 3,84 \times 10^{-19} \text{ J}$

λ_1 permet l'effet photoélectrique car $\lambda_1 < \lambda_0$ ($\nu_1 > \nu_0$), mais pas λ_2 .

Dans ces conditions, le faisceau contenant les deux longueurs d'onde permet l'effet photoélectrique.

3. Les électrons n'étant arrachés que par la radiation 1, seule la vitesse de ces électrons sera calculée.

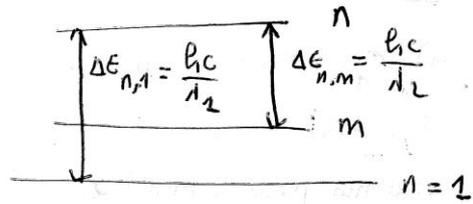
$$E_c = E_{ph} - E_0 \quad (E_c = \frac{1}{2} m_e v^2, E_{ph} = \frac{hc}{\lambda})$$

$$\Rightarrow v^2 = 2(E_{ph} - E_0) / m_e$$

$$\Rightarrow v = 4,14 \times 10^5 \text{ m.s}^{-1}$$

Solution

EX03



$$* \Delta E_{n,1} = \frac{hc}{\lambda_1} = E_0 \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) = hc R_H \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

$$\frac{1}{\lambda_1} = R_H \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

$$\Rightarrow 1 - \frac{1}{n^2} = \frac{1}{R_H \lambda_1}$$

(A.N) $\Rightarrow n = 4$

$$* \Delta E_{n,1} = \frac{hc}{\lambda_1} = E_0 \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) = hc R_H \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

$$\Delta E_{n,m} = \frac{hc}{\lambda_2} = E_0 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) = hc R_H \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\lambda_2} = R_H \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

~~$$\frac{1}{\lambda_2} = R_H \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$~~

$$\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} = \frac{1}{R_H \lambda_2} =$$

($n=4$).

A.n $\Rightarrow m = 3$

Exo 4

a) $E_1 = -24,6 \text{ eV}$ puisque l'énergie d'ionisation est l'énergie à fournir pour arracher l'électron du niveau $n=1 \rightarrow$ niveau ionisé à $n=\infty$

b) $\Delta E = 24,6 - 21,4 = 3,2 \text{ eV} = 5 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{\Delta E} = 3,88 \times 10^{-8} \text{ m} = 388 \text{ nm}$$

Exo 6

a) $\Delta E = E_0 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$

$$\Rightarrow \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} = \frac{\Delta E}{E_0}$$

ici $n=1$

$$1 - \frac{1}{m^2} = \frac{\Delta E}{E_0}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{m^2} = 1 - \frac{\Delta E}{E_0} = 1 - \left(\frac{10,2}{13,6} \right)$$

$$= 0,25 \Rightarrow \boxed{m=2}$$

b)

$$\lambda = 1,027 \text{ Å} = 1,027 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} = 1,934 \times 10^{-18} \text{ J}$$

$$E = 12,086 \text{ eV}$$

$$\Delta E = E_0 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

ici $m=3 \Rightarrow$

$$\frac{1}{n^2} = \frac{1}{m^2} + \frac{\Delta E}{E_0} = \frac{1}{9} + \frac{12,086}{13,6}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{n^2} = 0,9998 \Rightarrow \boxed{n=1}$$

c) Atomes hydrogénéoïdes

$$E_n = E_0 \left(\frac{Z^2}{n^2} \right)$$

* $\text{He}^+ \cdot Z=2$

$$\Rightarrow E_n = -E_0 \left(\frac{Z^2}{n^2} \right)$$

$$\boxed{E_n = \frac{-54,4}{n^2}}$$

$$E, I = +54,4 \text{ eV}$$

* $\text{Li}^{+2} \cdot Z=3 \Rightarrow E_n = \frac{-122,4}{n^2}$

$$\Rightarrow E, I = 122,4 \text{ eV}$$

* $\text{Be}^{+3} \Rightarrow E_n = \frac{-217,6}{n^2}$

$$\Rightarrow E, I = 217,6 \text{ eV}$$

d) Balmer retour à $n=2$

$$\Delta E_{3,2} = E_3 - E_2 = \frac{-54,4}{2^2} + \frac{54,4}{3^2}$$

$$\Delta E_{3,2} = 7,556 \text{ eV} = 1,21 \times 10^{-18} \text{ J}$$

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = 164,3 \text{ nm}$$

$$\Delta E_{\infty,2} = E_{\infty} - E_2 = \frac{-54,4}{4}$$
$$= 13,6 \text{ eV} = 2,18 \times 10^{-18} \text{ J}$$

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = 91,3 \text{ nm}$$

Exercice 5

1. Calcul de la fréquence $\nu_{6 \rightarrow 3}$:

$$|\Delta E| = h\nu_{6 \rightarrow 3} \Rightarrow \nu_{6 \rightarrow 3} = \frac{|\Delta E|}{h} ; \text{ par ailleurs : } |\Delta E| = |E_3 - E_6|$$

$$E_3 = \frac{-13,6}{3^2} = -1,51 \text{ (eV)} \text{ et } E_6 = \frac{-13,6}{6^2} = -0,38 \text{ (eV)} \Rightarrow |\Delta E| = 1,14 \text{ (eV)} = 1,18 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\nu_{6 \rightarrow 3} = 2,74 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

Longueur d'onde de la transition b :

Les transitions **a** et **b** correspondent à une seule et même raie d'émission et d'absorption, respectivement. Par conséquent $\nu_{6 \rightarrow 3} = \nu_{3 \rightarrow 6}$

$$\text{Par ailleurs on a : } \nu_{(3 \rightarrow 6)} = \frac{c}{\lambda_{(3 \rightarrow 6)}} \Rightarrow \lambda_{3 \rightarrow 6} = \frac{c}{\nu_{3 \rightarrow 6}} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,74 \cdot 10^{14}}$$

$$\lambda_{(3 \rightarrow 6)} = 1095,22 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 1095,22 \text{ nm}$$

2. a- Calcul de la longueur d'onde $\lambda_{1 \rightarrow 4}$:

$$\frac{1}{\lambda_{(n \rightarrow m)}} = Rh \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \Rightarrow \frac{1}{\lambda_{(1 \rightarrow 4)}} = Rh \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{4^2} \right) = \frac{Rh \times 15}{16}$$

$$\lambda_{1 \rightarrow 4} = 96,97 \cdot 10^{-9} \text{ m} ; \lambda_{1 \rightarrow 4} \in \text{domaine UV}$$

b- Calcul du rayon r_4 :

$$r_n = a_0 \cdot n^2 \Rightarrow r_4 = a_0 \cdot 4^2 = 0,53 \cdot 16 = 8,48 \text{ (Å)} \Rightarrow r_4 = 8,48 \cdot 10^{-10} \text{ (m)}$$

Calcul de la vitesse v_4 :

$$v_n = \frac{2,18 \cdot 10^6}{n} \Rightarrow v_n = \frac{2,18 \cdot 10^6}{4} ; v_n = 0,545 \cdot 10^6 \text{ (m/s)}$$

Calcul de l'énergie cinétique E_c :

$$E_c = \frac{1}{2} m_e \cdot v_4^2 \Rightarrow E_c = 1,35 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

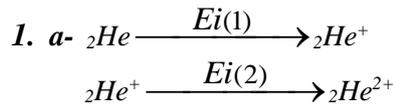
Calcul de l'énergie potentielle E_p :

$$E_p = -\frac{Ke^2}{r_4} \Rightarrow E_p = -2,72 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

c- calcul de l'énergie totale E_T :

$$\left. \begin{array}{l} \bullet E_T = E_c + E_p \\ \bullet E_T = E_n = \frac{-13,6}{n^2} \text{ (eV)} \end{array} \right\} E_T = -0,85 \text{ (eV)}$$

Exercice 7



$$\text{b- } Ei(2) = E_\infty - E_I({}_2\text{He}^+) = -E_I({}_2\text{He}^+) = -\left[\frac{-13,6 \times Z^2}{n^2} \right] = \frac{13,6 \times 2^2}{1^2} \Rightarrow Ei = 54,4 \text{ (eV)}$$

c- Non la théorie de Bohr ne permet pas de calculer l'énergie de première ionisation, car ${}_2\text{He}$ est un atome poly-électronique.

2. S'il existe un niveau « m » entre les niveaux d'énergie n et p, alors dans l'expression :

$$\bar{\sigma}_{(p \rightarrow n)} = R_{He^+} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{p^2} \right), \text{ rajoutons et retranchons le rapport : } \frac{1}{m^2}$$

$$\bar{\sigma}_{(p \rightarrow n)} = R_{He^+} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{p^2} + \frac{1}{m^2} - \frac{1}{m^2} \right); \text{ Cette expression peut se mettre sous la forme :}$$

$$\bar{\sigma}_{(p \rightarrow n)} = R_{He^+} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{p^2} + \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) = R_{He^+} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{p^2} \right) + R_{He^+} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

$$\text{Equivalent à : } \bar{\sigma}_{(p \rightarrow n)} = \bar{\sigma}_{(p \rightarrow m)} + \bar{\sigma}_{(m \rightarrow n)}$$

$$2. \text{ a- } \bar{\sigma}_{(4 \rightarrow 3)} = R_{He^+} \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2} \right) = R_{He^+} \left(\frac{7}{144} \right) \Rightarrow R_{He^+} = \left(\frac{144 \times \bar{\sigma}_{(4 \rightarrow 3)}}{7} \right) \\ \Rightarrow R_{He^+} = 4,39026 \cdot 10^7 m^{-1}$$

$$\text{b- } R_{He^+} \approx 4 R_H = Z^2 R_H$$

$$\text{c- } \bar{\sigma}_{(4 \rightarrow 3)} = \frac{1}{\lambda_{(4 \rightarrow 3)}} \Rightarrow \lambda_{(4 \rightarrow 3)} = \frac{1}{\bar{\sigma}_{(4 \rightarrow 3)}} \Rightarrow \lambda_{(4 \rightarrow 3)} = 468,56 \cdot 10^{-9} m$$

$$\lambda_{(4 \rightarrow 3)} \in] 400 \text{ nm} \dots 770 \text{ nm} [\Rightarrow \text{Domaine Visible.}$$

3. • n^{ième} transition optique de l' ${}_2\text{He}^+ \Leftrightarrow$ Domaine du visible \Rightarrow il s'agit de la série de Balmer, soit :
n=2 $\Leftrightarrow \lambda_{(2 \leftrightarrow m)}$.

• 1^{ère} transition de Lyman par l'hydrogène, soit : n=1 et m=n+1=2 $\Leftrightarrow \lambda_{(1 \leftrightarrow 2)}$.

• Selon les données : $\lambda_{(2 \leftrightarrow m)} = \lambda_{(1 \leftrightarrow 2)}$

$$\text{n}^{\text{ième}} \text{ transition optique de l'} {}_2\text{He}^+ : \frac{1}{\lambda_{(2 \leftrightarrow m)}} = Rh \times Z^2 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right); \text{ Avec } Z=2 \text{ on aura :}$$

$$\lambda_{(2 \leftrightarrow m)} = \frac{1}{Rh} \left(\frac{m^2}{m^2 - 4} \right)$$

$$\text{1}^{\text{ère}} \text{ transition de Lyman par l'hydrogène : } \frac{1}{\lambda_{(1 \leftrightarrow 2)}} = Rh \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)$$

$$\Rightarrow \lambda_{(1 \leftrightarrow 2)} = \frac{4}{3 \times Rh} = 1,21 \cdot 10^{-7} m$$

$$\text{Par ailleurs : } \frac{1}{Rh} \left(\frac{m^2}{m^2 - 4} \right) = 1,21 \cdot 10^{-7} (m) \Rightarrow \mathbf{m = 4}$$