
Série de TD N°3

Exercice N°1 :

1. Qu'est-ce qu'un photon ? Expliquez comment l'effet photoélectrique implique leur existence.

2. On éclaire une cellule photoélectrique dont la cathode est en césium avec une radiation de longueur d'onde λ_1 = 4950 Å, puis avec une radiation de longueur d'onde λ_2 = 7200 Å. L'énergie d'extraction d'un électron de césium est $E_0 = 3.\ 10^{-19}$ J.

   a. Calculer la longueur d'onde λ_0 qui correspond au seuil photoélectrique.

   b. Vérifier que l'émission photoélectrique n'existe qu'avec une seule des deux radiations précédentes.

   Données : $h = 6.62\times10^{-34}$J.s ; $c = 3\ 10^{8}$m.s^{-1}.

Exercice N°2

- ✓ Dans l'atome d'hydrogène, l'énergie de l'électron dans son état fondamental est égale à -13,6 eV.

  1. Quelle est la plus petite quantité d'énergie qu'il doit absorber pour :

  - Passer au 1er état excité ? - Passer du premier état excité à l'état ionisé ?

  2. Quelles sont les longueurs d'onde des raies du spectre d'émission correspondant au retour :

  - De l'état ionisé au 1er état excité ?- Du premier état excité à l'état fondamental ?

- ✓ Si l'électron de l'atome d'hydrogène est excité au niveau n=5.

  1. Combien de raies différentes peuvent-elles être émises lors du retour à l'état fondamental.
  2. Calculer dans chaque cas la fréquence et la longueur d'onde du photon émis.

Exercice N°3 :

- ✓ Rappeler la définition d'un ion hydrogénoïde.
- ✓ Lequel de ces ions ($_3Li^+$, $_4Be^{3+}$) est-il un hydrogénoïde

Soit le spectre d'émission de l'hydrogénoïde $_2He^+$.

1. Calculer la longueur d'onde de la 3^{ième} raie de la série de Balmer, ainsi que l'énergie correspondante.

La plus petite longueur d'onde d'une série de spectre d'émission de He^+ se situe à 911,5°A.

2. A quelle transition électronique correspond cette raie limite ?
3. A quelle série appartient cette raie ? Calculer l'énergie correspondante à cette raie.

On donne : $R_H = 1,1.10^{7}$ m^{-1} ; $h = 6,32.10^{-34}$ J.s ; $C= 3\ 10^{8}$ m/s ; 1 nm = 10^{-9} m = 10 Å ; 1 eV = $1,6\times10^{-19}$ J.

Exercice N°4

Donner :

a. Sous forme de tableau le nombre de cases quantiques dans la couche n=4.
b. Les valeurs des nombres quantiques caractérisant les états : 2s ; 3p ; 5d et 4f.
c. En appliquant les règles de remplissage des orbites atomiques, écrire la configuration électronique des espèces suivantes et représenter les électrons de la dernière couche dans les cases quantiques ; $_{17}Cl$; $_{11}Na$; $_{20}Ca$ et $_{26}Fe$.

Exercices supplémentaires :

Exercice N°1 :

1. Un photon X de longueur d'onde 150 pm arrache un électron d'une couche interne d'un atome. L'électron éjecté à une vitesse de $2,1.10^7$ m/s. Quelle est l'énergie de l'électron dans l'atome ?
2. Le travail d'extraction du Césium est équivalent à 2,14 eV. Quelle est l'énergie cinétique et la vitesse de l'électron émis par des radiations de 700 nm et 300 nm ? Quelle est la fréquence de seuil en dessous de laquelle le phénomène n'est plus observé ?

Exercice N° 2

On applique la théorie de Bohr à l'électron de l'atome, d'hydrogène, qui est caractérisé par n= 2.

1. Calculer sans demonstration
   a- Le rayon de cette orbite en Å.
   b- L'énergie de l'électron en eV.
2. Trouver la vitesse de l'électron dans l'atome d'hydrogène à l'état fondamental (n=1), puis à l'état excité pour n = 3.

Données : $h= 6.62\times10^{-34} J.s$; $m_e = 9.11\times10^{-31}$ kg ; $e= 1.602\times 10^{-19} C$; $\varepsilon_0=8.854\times10^{-12} J^{-1}.C^2.m^{-1}$

Exercice N° 3

1. Un atome d'hydrogène initialement à l'état fondamental absorbe une quantité d'énergie de 10,2 eV. A quel niveau se trouve l'électron ?
2. L'électron d'un atome d'hydrogène initialement au niveau n=3 émet une radiation de longueur d'onde λ = 1027 Å. A quel niveau se retrouve l'électron ?
3. Calculer les longueurs d'onde, en nm, de la première et de la dernière raie (raie limite) de la série de Lyman dans le spectre d'émission de l'hydrogène.

On donne : $R_H=1.097.10^7\ m^{-1}$.

Solution :

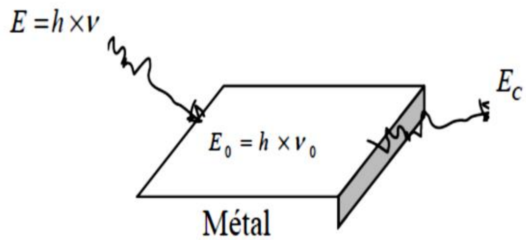
Exercice N°1 :

1. Un photon est une particule sans masse, un « paquet d'énergie ».

   Pour déplacer un électron, celui-ci doit entrer en collision avec une autre particule. Puisque des rayonnements lumineux dirigés sur certains métaux expulsent des électrons, la lumière doit être constituée de particules ou paquets d'énergie appelés les photons.

2. ***La longueur d'onde λ_0 qui correspond au seuil photoélectrique :***

Les électrons sont émis si les photons qui constituent le rayonnement ont une énergie supérieure ou égale à l'énergie d'extraction E_0 :



$E_0 = h\frac{c}{\lambda_0} \rightarrow \lambda_0 = \frac{hc}{E_0} = \frac{6.62\,.10^{-34} \times 3\,.10^{8}}{3.\ .10^{-19}} = 6.62.\ 10^{-7}$ m= 6620 Å

3. ***Des électrons sont émis si $E \geq E_0$*** $\rightarrow$ $\lambda \leq \boldsymbol{\lambda_0}$

λ_1=4950Å $\leq \lambda_0$ $\rightarrow$ Il y a émission photoélectrique.

λ_2= 7200Å $> \lambda_0$ $\rightarrow$ Pas d'émission photoélectrique.

Ou bien en termes d'énergie :

λ_1 correspond à $E_1 = h\frac{c}{\lambda_1} = 6.62\,.\,10^{-34} \times \frac{3\,.10^{8}}{495.\ 10^{-9}} = 4.\ 10^{-19} J \geq E_0$ $\rightarrow$ émission photoélectrique.

$\lambda_2$correspond à$E_2 = h\frac{c}{\lambda_2} = 6.62\,.\,10^{-34} \times \frac{3\,.10^{8}}{720.\ 10^{-9}} = 2.8.\ 10^{-19} J < E_0$ $\rightarrow$ Pas d'émission photoélectrique.

Exercice N°2 :

1. -La plus petite quantité d'énergie qu'il doit absorber pour passer au 1er état excité :

   $n_1=1$, $n_2=2$

   $$E_n = \frac{E_H}{n^2}\ ;\ (E_1)_H = -2{,}18.10^{-18}\,J = -13{,}6eV$$

   $E_2=-13.6/2^2=-3.4Ev$

   $\Delta E_{1\to2}=E_2-E_1=-3{,}4+13{,}6=10{,}2eV=1{,}63.10^{-18}J$

   - Pour passer du premier état excité à l'état ionisé

   $n_1=2$, $n_2=\infty$

   $\Delta E_{2\to\infty}=E_\infty-E_2=0+3{,}4=3{,}4eV=5{,}44.10^{-19}\,J$

2. Calcul des longueurs d'onde des raies du spectre d'émission correspondant au retour :

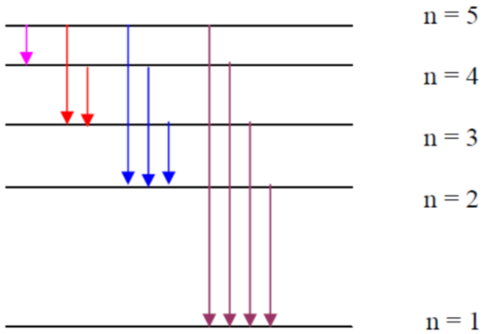
- De l'état ionisé au 1er état excité:

$$|\Delta E_{\infty\to2}| = |\Delta E_{2\to\infty}| = \frac{hc}{\lambda_{\infty\to2}} \Rightarrow \lambda_{\infty\to2} = \frac{hc}{|\Delta E_{\infty\to2}|} = \frac{6{,}62.10^{-34}\,x3.10^{8}}{5{,}4.10^{-19}} = 3{,}678.10^{-7}\,m = 367{,}8nm$$

- Du premier état excité à l'état fondamental :

$$|\Delta E_{2\to1}| = |\Delta E_{1\to2}| = \frac{hc}{\lambda_{2\to1}} \Rightarrow \lambda_{2\to1} = \frac{hc}{|\Delta E_{2\to1}|} = \frac{6{,}62.10^{-34}\,x3.10^{8}}{1{,}63.10^{-18}} = 12{,}184.10^{-8}\,m = 121{,}84nm$$

1. Dix raies sont possibles lors du retour de l'électron d'hydrogène du niveau excité (n=5) à l'état fondamental (émission).



2. Pour le calcul de la fréquence et de la longueur d'onde du photon émis, on peut utiliser indifféremment le modèle de Bohr ou la formule empirique de Ritz

   Modèle de Bohr : $E_n = \dfrac{E_H}{n^2}$

   Formule de Ritz : $\dfrac{1}{\lambda_{i\to j}} = R_H\left(\dfrac{1}{n_j^2} - \dfrac{1}{n_i^2}\right)$

   $$|\Delta E_{ni\to nj}| = \left|\frac{(E_1)_H}{n_j^2} - \frac{(E_1)_H}{n_i^2}\right| = |(E_1)H|\left(\frac{1}{n_j^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

   $\Delta E = h\nu$ et $\nu = c/\lambda$

   $(E_1)_H = -2{,}18.10^{-18}\,J = -13{,}6eV$

Raie-Transition	Energie (J)	Fréquence (Hz) 10^{15}	Longueur d'onde (nm)	Domaine spectral	Série
5 → 4	$4,896 \times 10^{-20}$	0,074	4054	IR	Bracket
5 → 3	$1,547 \times 10^{-19}$	0,234	1282	IR	Paschen
5 → 2	$4,569 \times 10^{-19}$	0.69	434,8	Visible	Balmer
5 → 1	2.088×10^{-18}	3,154	95,12	U.V	Lyman
4 → 3	$1,058 \times 10^{-19}$	0,16	1875	IR	Paschen
4 → 2	$4,08 \times 10^{-19}$	0,616	487	Visible	Balmer
4 → 1	$2,04 \times 10^{-18}$	3,082	97,34	U.V	Lyman
3 → 2	$3,022 \times 10^{-19}$	0,456	657,9	Visible	Balmer
3 → 1	$1,934 \times 10^{-18}$	2,921	102,7	U.V	Lyman
2 → 1	$1,632 \times 10^{-18}$	2,465	121,7	U.V	Lyman

<u>Exercice N°3 :</u>

- ✓ Un ion hydrogénoïde est un ion monoatomique qui possède 1 seul électron.
- ✓ $_3Li^+$ n'est pas un hydrogénoïde car il possède 2 électrons.
- ✓ $_4Be^{3+}$ est un hydrogénoïde car il possède un seul électron.

1. Calcul de la longueur d'onde de la 3ième raie de la série de Balmer,

   Série de Balmer alors n=2, 3ieme raie donc m=n+3=5 ; la transition correspondante est de n=5 vers 2.

   $\frac{1}{\lambda_{5\to 2}} = R_H . Z^2 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2}\right)$ On trouve $\lambda_{5\to 2} = 108{,}22.10^{-9} m = 108{,}22\, nm$

- L'énergie correspondante: $\Delta E_{5\to 2} = \frac{h.c}{\lambda_{5\to 2}} = 1{,}83.10^{-18} j = 11{,}46\, eV$.

2. La transition électronique correspondante à la raie limite (λ_{lim} = 911,5°A).

Cette transition entre ∞ et n (émission), on a d'après la relation de Balmer-Rydberg $\frac{1}{\lambda_{\infty\to n}} = \frac{R_H . Z^2}{n^2}$

   On tire n qui sera : $n = \sqrt{R_H . Z^2 . \lambda_{\infty\to n}} = 2$ alors la transition correspondante est de $n \to \infty$ vers n=2

3. Cette raie appartient à la série de Balmer.

- L'énergie correspondante : $\Delta E_{\infty\to 2} = \frac{h.c}{\lambda_{\infty\to 2}} = 2{,}17.10^{-18} j = 13{,}6\, eV$.

Exercice N°4 :

1. ***Le nombre de cases quantiques dans la couche n=4.***

N	0≤ ℓ ≤n-1	-ℓ ≤ m ≤ℓ	Nombre de cases
n=4	0	0	1
	1	-1, 0, 1	3
	2	-2, -1, 0, 1, 2.	5
	3	-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3	7

Le nombre de cases quantiques est le nombre de valeurs que peut prendre le nombre quantique magnétique (m).

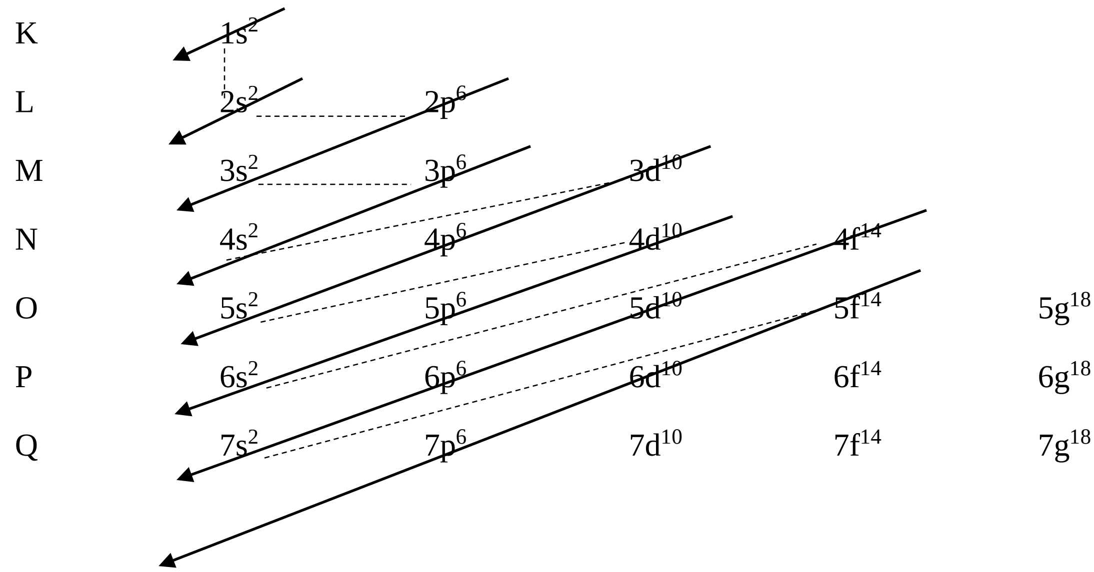
2. ***Les valeurs des nombres quantiques caractérisant les états : 2s ; 3p ; 4f et 5d.***

$$2s\left\{\begin{array}{l} n = 2 \\ \ell = 0 \\ m = 0 \end{array}\right. \quad ; 3p\left\{\begin{array}{l} n = 3 \\ \ell = 1 \\ m = -1, 0, 1 \end{array}\right. \quad ;4f\left\{\begin{array}{l} n = 4 \\ \ell = 3 \\ m = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3 \end{array}\right.$$

$$5d\left\{\begin{array}{l} n = 5 \\ \ell = 2 \\ m = -2, -1, 0, 1, 2 \end{array}\right.$$

Configuration électronique des espèces suivantes et représentation des électrons de la dernière couche dans les cases quantiques ; $_{17}Cl$; $_{11}Na$; $_{20}Ca$ et $_{26}Fe$.

Pour représenter la configuration électronique des différentes espèces on applique la règle de ***KLECHKOWSKI :***



$_{17}$***Cl :*** $1s^2\ 2s^2\ 2p^6 / 3s^2\ 3p^5$; $_{10}[Ne]\ 3s^2 3p^5$

$3s^2 3p^5$ $\boxed{\uparrow\downarrow}$ $\boxed{\uparrow\downarrow}\boxed{\uparrow\downarrow}\boxed{\uparrow\ \ }$

$_{11}$***Na:*** $1s^2\ 2s^2\ 2p^6 / 3s^1$; $_{10}[Ne]\ 3s^1$; $3s^1$ $\boxed{\uparrow\ \ }$

$_{20}$***Ca:*** $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6 / 4s^2$; $_{18}[Ar]\ 4s^2$; $4s^2$ $\boxed{\uparrow\downarrow}$

$_{26}$***Fe:*** $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6 / 4s^2 3d^6$; $_{18}[Ar]\ 4s^2 3d^6$; $4s^2 3d^6$ $\boxed{\uparrow\downarrow}$ $\boxed{\uparrow\downarrow}\boxed{\uparrow\ \ }\boxed{\uparrow\ \ }\boxed{\uparrow\ \ }\boxed{\uparrow\ \ }$

Exercices supplémentaires :

Exercice N° 1 :

1. *L'énergie des photons X est* : $E = h\nu = \frac{h.c}{\lambda} = \frac{6{,}62.10^{-34}.3.10^{8}}{150.10^{-12}} = 1{,}324.10^{-15}J$

La conservation de l'énergie s'écrit : $E = E_0 + E_c = E_0 + \frac{1}{2}m_e V^2$

Où E_0 est l'énergie d'extraction de l'électron et E_c c'est l'énergie cinétique de l'électron on prend $m_e = 9{,}1.10^{-31}$Kg On obtient :

$E_c = \frac{1}{2} \times 9{,}1.10^{-31}(2.1.10^{7})^{2} = 0{,}201 \times 10^{-15}$ J

E_0 = E- E_c =$1{,}324.10^{-15} - 0{,}201 \times 10^{-15}$ =$1{,}123.10^{-15}$ J = 7018,75 eV

2. $E_0 = 2.14eV = 3.424 . 10^{-19}J$, pour savoir quelle longueur d'onde peut extraire un électron, il faut calculer la longueur d'onde seuil λ_0 :

$$E_0 = \frac{h.c}{\lambda_0} \rightarrow \lambda_0 = \frac{h.c}{E_0} = \frac{6{,}62.10^{-34}.3.10^{8}}{3.424 . 10^{-19}} = 5.8.10^{-7}m = 580\ nm$$

Le photon de longueur d'onde λ_1 =700 nm n'extrait pas l'électron ($\lambda_1 > \lambda_0$), celui de longueur d'onde λ_2=300 nm éjecte un électron ($\lambda_2 < \lambda_0$).

- *L'énergie cinétique et la vitesse de l'électron émis par la radiation 300 nm*

$$E = \frac{h.c}{\lambda} = \frac{6{,}62.10^{-34}.3.10^{8}}{300.10^{-9}} = 6{,}62.10^{-19}J$$

$E = E_0 + E_c \rightarrow E_c = E - E_0 = 6{,}62.10^{-19} - 3.424 . 10^{-19} \rightarrow E_c = 3{,}196.10^{-19}J$

$E_c = \frac{1}{2}m_e V^2 \rightarrow V = \sqrt{2E_c/m_e}$

$\rightarrow V = \sqrt{2 * 3{,}196.10^{-19} / 9{,}1.10^{-31}}$

$\rightarrow$ V= $8{,}38.10^{5}$ m/s

- *Fréquence de seuil au-dessous de laquelle le phénomène n'est plus observé*

Pour observer l'effet photoélectrique, il faut que l'énergie du photon incident soit supérieure ou égale au travail d'extraction (W) ou l'énergie d'extraction (E_0).

On a : $\nu_0 = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{3.10^{8}}{5.8.10^{-7}} = 5{,}17.10^{14}\ S^{-1}$

Ainsi, l'effet photoélectrique ne sera plus observé pour une fréquence inférieure à la fréquence de seuil qui est $5{,}17.10^{14}\ s^{-1}$.

Remarque : 1pm (picomètre)=10^{-12} m

Exercice N° 2

1. ***Le Calcul sans démonstration de :***

a- Rayon de l'orbite (n=2) en A°.

Soit r $=\frac{h^2.\varepsilon_0}{\pi\, m_e e^2}$ (n^2 / Z) = a_0 (n^2 / Z) Avec $a_0 = \frac{h^2.\varepsilon_0}{\pi\, m_e e^2}$

Pour : n = 1 et Z = 1 : $a_0 = \frac{(6.62\,.10^{-34})^2 \times 8.854.10^{-12}}{3.14.\ 9.11\,.10^{-31}(1.602.\ 10^{-19})^2}$ = 5,3 10^{-11} m = 0,53 A°.

Pour n=2 => r = $a_0 \times n^2$= 0,53 × (2^2) = 2,12 A°.

b- L'énergie de l'électron en eV.

E_n = - 13.6 x (Z^2 / n^2)

Pour l'atome d'hydrogène z =1→E_n = -13,6/n² =-13,6/4 = -3.4 eV

2. ***La vitesse de l'électron dans l'atome d'hydrogène à l'état fondamental (n=1), et à l'état excité (n = 3).***

On a: m_e V r = n $\frac{h}{2\pi}$ →V= $\frac{n\,h}{2\,\pi}.\frac{1}{m_e r}$

La vitesse de l'électron à l'état fondamental c.-à-d. n=1 :

Pour n=1 → r = a_0 n^2 = 0,53A° → V= $\frac{1(6.62\,.10^{-34})}{2\,.\ 3.14}.\frac{1}{9.11\,.10^{-31}\,.0.53\,.10^{-10}}$

→V= 2.18 .10^6 m/s.

La vitesse de l'électron pour n =3 :

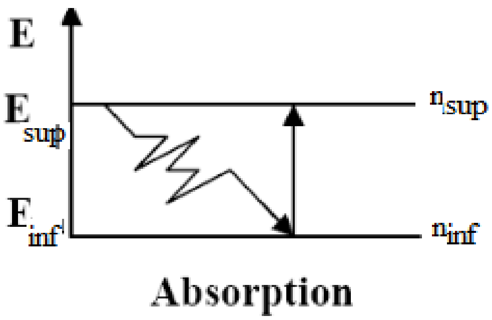
Pour n=3 => r = a_0 n^2 = 0,53 (3²) = 4.77A° → $V = \frac{n\,h}{2\,\pi}.\frac{1}{m_e r} = \frac{3\,(6.62\,.10^{-34})}{2\,.\ 3.14}.\frac{1}{9.11\,.10^{-31}\,.4.77\,.10^{-10}}$

→V= 7,28 .10^5 m/s.

Exercice N° 3

1. Le niveau d'électron après absorption d'énergie

Lors de l'absorption d'énergie, l'électron passe d'un niveau inférieur n_{inf} =1 (niveau fondamental) à un niveau supérieur n_{sup}.



La variation d'énergie $\Delta E = E_{finale} - E_{initiale}$

$$\Delta E = E_{sup} - E_{inf} = \frac{-13.6\,.z^2}{n_{sup}^2} - \frac{-13.6\,.z^2}{n_{inf}^2} = -13.6\,.\,z^2\left(\frac{1}{n_{sup}^2} - \frac{1}{n_{inf}^2}\right)$$

L'atome d'hydrogène initialement à l'état fondamentale donc : Z=1 ; n_{inf} =1

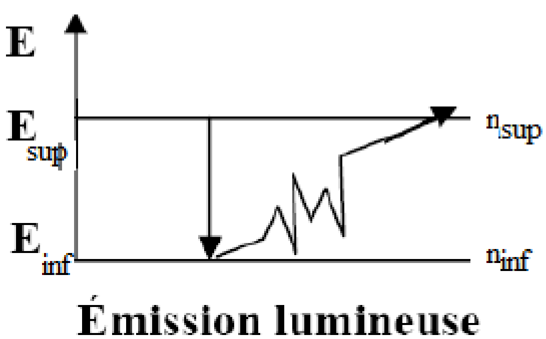
Donc $\left(\frac{1}{n_{sup}^2} - 1\right) = \frac{\Delta E}{-13.6} \rightarrow \frac{1}{n_{sup}^2} = \frac{\Delta E}{-13.6} + 1 = 1 - \left(\frac{10.2}{13.6}\right) = 0.25$

$$\rightarrow n_{sup}^2 = \frac{1}{0.25} = 4$$

$\rightarrow n_{sup} = 2$; l'électron se trouve au niveau 2.

2. Niveau d'électron après l'émission de l'énergie :

Lors de l'émission d'énergie, l'électron passe d'un niveau supérieur $n_{sup}=3$ à un niveau inférieur n_{inf} .



On a la formule de Balmer-Rydberg :

$$\frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{n_{inf}^2} - \frac{1}{n_{sup}^2}\right) \rightarrow \frac{1}{n_{inf}^2} - \frac{1}{n_{sup}^2} = \frac{1}{\lambda.\ R_H}$$

$$\rightarrow \frac{1}{n_{inf}^2} = \frac{1}{n_{sup}^2} + \frac{1}{\lambda.\ R_H}$$

$$\rightarrow n_{inf}^2 = \frac{1}{\frac{1}{n_{sup}^2}+\frac{1}{\lambda.\ R_H}}$$

$$\rightarrow n_{inf} = \left(\frac{1}{\frac{1}{n_{sup}^2}+\frac{1}{\lambda.\ R_H}}\right)^{1/2}$$

$$\rightarrow n_{inf} = \left(\frac{1}{\frac{1}{3^2}+\frac{1}{1027\ .10^{-10}\ .1.097\ .10^7}}\right)^{1/2} = 1$$

Donc l'électron retombe au niveau fondamental.

3. Calcul des longueurs d'onde.

On a la formule de Balmer-Rydberg : $\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{n_{inf}^2} - \frac{1}{n_{sup}^2})$

Série de Lyman $\rightarrow n_{inf} = 1$

a- Première raie:

$n_{sup} = n_{inf} + 1 = 2$

D'après la formule de Balmer-Rydberg :

$$\lambda = \frac{1}{R_H\left(\frac{1}{n_{inf}^2} - \frac{1}{n_{sup}^2}\right)} = \frac{1}{1.097\ .10^7\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right)} = 1.215\ .10^{-7}m = 121.5\ nm$$

b- Dernière raie (raie limite) :

$n_{sup} \rightarrow \infty$

Donc:

$\frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty^2}\right) \rightarrow \frac{1}{\lambda} = R_H$;$(\frac{1}{\infty^2} \rightarrow 0)$

$$\rightarrow \lambda = \frac{1}{R_H} = \frac{1}{1.097\ .10^7} = 9.12\ .\ .10^{-8}m = 91.2\ nm.$$