# Corrigé de la série de TD N° 2

## Exercice 1

1. L'ion ${}^{9}_{4}Be^{3+}$ est qualifie d'hyrogénoide car c'est un ion qui ne possède qu'un seul électron. Il a une structure électronique semblable à celle de l'atome d'hydrogène.
2. La relation entre la longueur d'onde du spectre d'un hydrogénoide et les niveaux d'énergies $n$ et $m$

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = Z^2 \cdot R_H \left[\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right] \quad \text{avec} \quad n < m$$

3. (a) Détermination de la transition électronique de la raie
   $m \to \infty \Rightarrow \frac{1}{m^2} = 0 \Rightarrow \bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \left[\frac{Z^2 \cdot R_H}{n^2}\right] \Rightarrow n = \sqrt{Z^2 \cdot R_H \cdot \lambda} \Rightarrow n = 1$
   (b) Spectre d'émission $\Rightarrow$ niveau supérieur vers niveau inférieur $\Rightarrow$ Transition électronique de $m \to \infty$ à $n = 1 \Rightarrow$ série de Lyman, domaine électromagnétique : Ultraviolet.
   (c) Calcul de l'énergie correspondante en Joules et en eV
   $\Delta E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \Delta E = 3{,}47 \cdot 10^{-17}\ J = 216{,}87\ eV$
4. Calcul de la longueur d'onde relative à la même transition dans l'atome d'hydrogène
   $Z = 1$, $n = 1$ et $m \to \infty \Rightarrow \lambda = \frac{1}{R_H} \Rightarrow \lambda = 911$ Å
   $\Delta E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \Delta E = 2{,}18 \cdot 10^{-18}\ J = 13{,}62\ eV$
   Comparaison de l'énergie de l'atome d'hydrogène à celle de l'ion hydrogénoide ${}^{9}_{4}Be^{3+}$
   $\frac{\Delta E(Be^{3+})}{\Delta E(H)} = 16 = 4^2 = Z^2 \Rightarrow \Delta E(Be^{3+}) = Z^2 \times \Delta E(H)$

## Exercice 2

Les combinaisons possibles des quatre nombres quantiques vérifient les conditions suivantes :

- $n$, $\ell$ et $m$ des nombres entiers avec $n \in [1, \infty]$ ; $\ell \in [0,\ n-1]$ et $m \in [-\ell,\ +\ell]$
- $s = \pm\frac{1}{2}$

Les combinaisons possibles sont 1, 3, 4 et 5.
Les combinaisons impossibles sont 2, 6, 7, 8.

# Corrigé de la série N°2 de Chimie 1

## Exercices traités en ligne

### Exercice 03 :

1. Calcul du nombre d'onde : $\bar{\upsilon} = \frac{1}{\lambda}$ = **1,69 × 10⁻⁴ cm⁻¹**
2. Calcul de la fréquence de l'onde : $\nu = \frac{c}{\lambda}$ = **$5{,}08 \times 10^{14}$ Hz**

   Calcul de la période de l'onde : $T = \frac{1}{\nu}$ = **$1{,}97 \times 10^{-15}$ s**
3. Calcul de l'énergie des photons émis : $\Delta E = h\nu$ = **$3{,}36 \times 10^{-19}$ J**

### Exercice 04 :

1. Calcul de la longueur d'onde :

$\nu = c / \lambda \Rightarrow \lambda = c / \nu = 3\times 10^{8} / 7\times10^{14} = 4{,}285\times10^{-7}$ m = **428.5 nm**. Cette raie appartient au domaine du **Visible.**

2. Détermination du niveau sur lequel se trouve l'électron après absorption:

L'énergie absorbée : $\Delta E_{n1\to n2} = E_{n2} - E_{n1}$ = 10,2 eV avec $E_n = -13{,}6*(Z)^2/n^2$.

Etat fondamental : $n_1 = 1$ et Z= 1 (hydrogène) donc $\frac{\Delta E_{n1\to n2}}{-13.6} = (\frac{1}{n_2^2} - 1)$

$\frac{1}{n_2^2} = \frac{\Delta E_{n1\to n2}}{-13.6} + 1 = \frac{10.2}{-13.6} + 1 \to n_2^2 = 4 \to$ **$n_2 = 2$**

3. Détermination du niveau sur lequel se retrouve l'électron après émission ;

$\lambda$= 1027 Å = $1027\times10^{-10}$ m

$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right)$ Avec n < m

Ici m=3 $\Rightarrow$ **n= 1** l'électron retombe au niveau fondamental

### Exercice 05 :

1. Calcul de la fréquence seuil du métal :

$E = E_0 + E_C \to h\nu = h\nu_0 + E_C \to \nu_0 = \frac{c}{\lambda} - \frac{E_C}{h}$ = **$4{,}01 \times 10^{14}$ Hz**

2. Calcul du travail d'extraction d'une mole d'électrons :

Le travail d'extraction pour 1 électron = $h\nu_0$ donc pour une mole d'électron, le travail d'extraction serait égale à $\mathcal{N} h\nu_0 = 6{,}023\times10^{23}\times6{,}62\times10^{-34}\times4{,}01\times10^{14}$ = **$160\times10^{3}$ Joules**

### Exercice 06 :

1. Calcul de l'énergie de l'électron dans l'atome ;

L'énergie des photons X est :

$E = h\nu = h.\frac{c}{\lambda} = \frac{6{,}62\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{150\times10^{-12}}$ = **$1{,}324 \times 10^{-15}$ J**

Préparée par : Dr. H. TIGHIDET
Dr. L. ARAB
Dr. Y. AIT MEHDI
Dr. F. SELLAMI

Ce qui est demandé c'est de trouver l'énergie de l'électron dans l'atome (avant sont éjection) → donc énergie d'extraction.

La conservation de l'énergie s'écrit : $E= E_0 + E_C$ ou $E= W + E_C$

Où W est l'énergie d'extraction de l'électron et $E_C$ l'énergie cinétique de l'électron.

$W= E-E_C= E - (\frac{1}{2}\, m\, v^2) =$ **$1{,}124\times10^{-15}$ J = 7025 eV**.

2. Calcul de l'énergie cinétique et de la vitesse de l'électron émis :

Voyons d'abord si les deux longueurs d'onde seront suffisantes pour produire l'effet photoélectrique.

Pour que l'effet photoélectrique se produise, il faut que $E \geq W$.

Nous avons : $E \geq W \rightarrow h\nu \geq h\nu_0 \rightarrow \nu \geq \nu_0 \rightarrow \frac{c}{\lambda} \geq \frac{c}{\lambda 0} \rightarrow \lambda \leq \lambda_0$

Calculons $\lambda_0$ ?

$W= h\,\frac{c}{\lambda 0} \rightarrow \lambda_0= h\,\frac{c}{W} \rightarrow \lambda_0 =$ **580 nm**

- 1ère radiation : $\lambda$=700 nm n'extrait pas l'électron car $\lambda > \lambda_0$
- 2ème radiation : $\lambda$= 300 nm $< \lambda_0 \rightarrow$ extraction de l'électron

$E = h\nu = h.\,\frac{c}{\lambda} = \frac{6{,}62\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{300\times10^{-9}} =$ **$6{,}62\times10^{-19}$ J = 4,14 eV**

$E= W + E_C \rightarrow E_C= E - W =$ **2 eV = $3{,}2\times10^{-19}$ J**

$E_C= \frac{1}{2}\, m\, v^2 \rightarrow v= \sqrt{\frac{2\,E_C}{m}} =$ **$8{,}38\times10^{5}$ m.s$^{-1}$**.

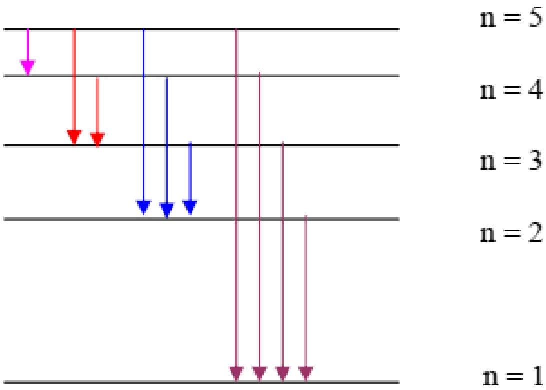
- La fréquence seuil en deça de laquelle le phénomène n'est plus observé est : $\nu_0= \frac{c}{\lambda 0}$

**$\nu_0 = 5{,}17\times10^{14}$ s$^{-1}$**

**Exercice 07 :**

Calcul dans chaque cas la fréquence et la longueur d'onde du photon émis :

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




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

Modèle de Bohr : $E_n = \frac{(E1)_H}{n^2}$

Formule de Ritz : $\frac{1}{\lambda_{i\rightarrow j}} = R_H\,(\frac{1}{n_j^2} - \frac{1}{n_i^2})$

$$|\Delta E_{ni \to nj}| = \left|\left(\frac{(E1)_H}{n_j^2} - \frac{(E1)_H}{n_i^2}\right)\right| = |(E1)_H| \left(\frac{1}{n_j^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

E = h .ν et  ν = c/λ

$(E1)_H = -2{,}18\times10^{-18}$ J = -13.6 eV.

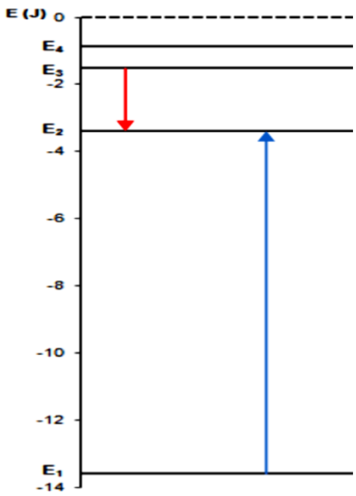
| Raie - Transition | Energie (J ) | Fréquence ($10^{15}$ Hz ) | Longueur d'onde (nm) | Domaine spectral | Série |
|---|---|---|---|---|---|
| 5→4 | 4,905 $10^{-20}$ | 0,074 | 4049 | I.R | Bracket |
| 5→3 | 1,55 $10^{-19}$ | 0,23 | 1281 | I.R | Paschen |
| 5→2 | 4,58 $10^{-19}$ | 0,69 | 433,8 | Visible | Balmer |
| 5→1 | 2,09 $10^{-18}$ | 3,16 | 94,9 | U.V | Lyman |
| 4→3 | 1,06 $10^{-19}$ | 0,16 | 1874 | I.R | Paschen |
| 4→2 | 4,09 $10^{-19}$ | 0,62 | 486 | Visible | Balmer |
| 4→1 | 2,04 $10^{-18}$ | 3,09 | 97,2 | U.V | Lyman |
| 3→2 | 3,02 $10^{-19}$ | 0,46 | 656 | Visible | Balmer |
| 3→1 | 1,93 $10^{-18}$ | 2,93 | 102,5 | U.V | Lyman |
| 2→1 | 1,63 $10^{-18}$ | 2,5 | 121,5 | U.V | Lyman |

## Exercice 08 :

Les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène sont donnés par la relation : $E_n=-13{,}6*(Z)^2/n^2$.

1. Les valeurs correspondant aux 4 niveaux d'énergie les plus bas sont :

$E_1=-13{,}6\times(1)^2/1^2$.  A.N.  **$E_1$=-13,6 eV**
$E_1=-13{,}6\times(1)^2/2^2$.  A.N.  **$E_2$=-3,40 eV**
$E_1=-13{,}6\times(1)^2/3^2$.  A.N.  **$E_3$=-1,51 eV**
$E_1=-13{,}6\times(1)^2/4^2$.  A.N.  **$E_4$=-0,85 eV**




2. Voir la représentation ci-contre.
3. Le niveau fondamental est **$E_1$**.
4. On considère la transition du niveau 3 vers le niveau 2.

**a.** Voir le diagramme ci-contre (**flèche rouge**)

→ Radiation **émise.**

**b.** La longueur d'onde correspondant à cette transition :

$\Delta E = E_2 - E_3$

A.N. **$\Delta E$ = - 1,89 eV = - 3,02×$10^{-19}$J.**

Rq : $\Delta E < 0$ ; il s'agit bien d'une émission d'énergie.

D'après la relation de Planck-Einstein : $|\Delta E| = h.\frac{c}{\lambda}$ soit $\lambda = h.\frac{c}{|\Delta E|}$**=6,57 ×$10^{-7}$ m= 657 nm**

**c.** Il s'agit d'une radiation rouge du domaine du **visible**.

5. L'atome absorbe un photon de longueur d'onde $\lambda = 121{,}7$nm.

**a .** Détermination de la transition qui entraine cette absorption :

Calculons d'abord l'énergie correspondante :

$$|\Delta E| = h\nu = h.\frac{c}{\lambda} = \frac{6{,}62\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{122\times10^{-9}} = 1{,}63\times10^{-18}\text{ J soit } |\Delta E| = 10{,}2\text{ eV}$$

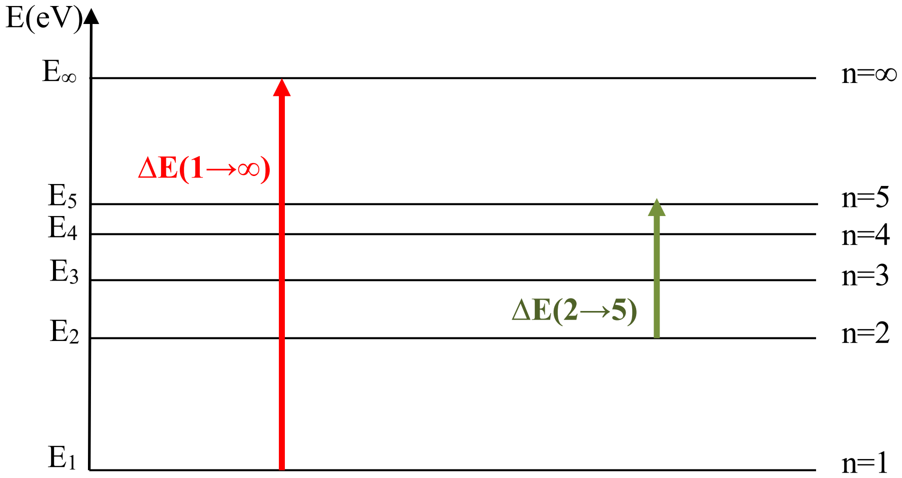
Comme il s'agit d'une absorption, donc $\Delta E = +\,10{,}2$ eV.

La seule transition possible donnant cette énergie est du niveau 1 vers le niveau **2** :
$\Delta E = -\,3{,}40 + 13{,}6 =$ **10,2eV**.

**b.** Voir la représentation (**flèche bleue**).

**<u>Exercice 09 :</u>**

1. Représentation des deux transitions sur un diagramme énergétique :




2. Il s'agit d'une absorption car l'électron a besoin d'énergie pour passer d'un niveau inférieur à un niveau supérieur.
3. Calcul du rapport $\Delta E(1\to\infty)/\Delta E(2\to5)$ :
   Notons par 1 la transition $1\to\infty$ et par 2 la transition $2\to5$
   Donc nous devons calculer $\Delta E_1/\Delta E_2$
   $$\Delta E_1 = h\nu = h.\frac{c}{\lambda_1} \text{ avec } \frac{1}{\lambda_1} = R_H\left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty^2}\right]$$
   et $$\Delta E_2 = h\nu = h.\frac{c}{\lambda_2} \text{ avec } \frac{1}{\lambda_2} = R_H\left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2}\right]$$
   $\rightarrow$ $\mathbf{\Delta E_1/\Delta E_2 = 4{,}76}$
4. Déduction du rapport $\lambda_1/\lambda_2$ ;
   $$\Delta E_1 = h\nu = h.\frac{c}{\lambda_1} \rightarrow \lambda_1 = \frac{h.c}{\Delta E_1} \text{ et } \lambda_2 = \frac{h.c}{\Delta E_2} \rightarrow \boldsymbol{\lambda_1/\lambda_2 = 0{,}21}$$
5. Calcul de la longueur d'onde de la troisième raie de la série de Balmer :

La troisième raie de la série de Balmer est la transition 2 vers 5 ($\lambda_2 = \lambda_{2\to5}$) et la raie limite de la série de Lyman constitue la transition 1 vers $\infty$ ($\lambda_1 = \lambda_{1\to\infty}$).

D'après les données de l'exercice : $\lambda_1 = 91$ nm et nous avons $\lambda_1/\lambda_2 = 0{,}21$ alors $\boldsymbol{\lambda_2}$**= 433,3 nm**.

**Exercice 10 :**

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

   $Be^{3+}$ est un hydrogénoïde car il possède un seul électron.
3. L'énergie d'ionisation d'un atome est l'énergie qu'il faut fournir à un atome neutre pour arracher un électron (le moins lié) à l'état gazeux et former un ion positif. Plus généralement, la $n^{ème}$ énergie d'ionisation est l'énergie requise pour arracher le $n^{ème}$ électron après que les n-1 premiers électrons ont été arrachés.

- La longueur d'onde correspondante à l'ionisation :

Énergie de l'ion hydrogénoïde : $E_n=-13,6\times(Z)^2/n^2$.

Ionisation de $Be^{3+}$ (Z =4) dans son état fondamental (n = 1) correspond à la transition: $\mathbf{n_1=1}$ **et** $\mathbf{n_2\rightarrow \infty}$

$$E_{Ionis} = E_{n2} - E_{n1} = E_{\infty} - E_1 = -E_1$$

$$E_I = 13,6\times(4)^2/(1)^2 = \mathbf{217,6\ eV = 3,49\times10^{-17}\ J}$$

On a : $\lambda = h\times c/E_I$ où $E_I$ est en J.

D'où $\lambda = 6,626\times10^{-34}\times3\times10^8/3,49\times10^{-17} = \mathbf{5,7.10^{-9}\ m = 5,7\ nm}$.

4. Calcul de l'énergie des 4 premiers niveaux de l'ion hydrogénoide $Li^{2+}$ :

   $Li^{2+}$ : Z=3, $E_n= -13,6\times(Z)^2/n^2$

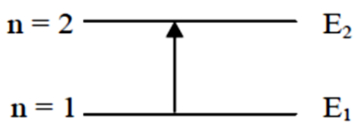
$n=1 \rightarrow E_1(Li^{2+})= -13.6\ (3)^2 = \mathbf{-\ 122.4\ eV= -1.96\ 10^{-17}J}$

$n=2 \rightarrow E_2= \mathbf{-30.6\ eV= -4.9\ 10^{-18}J}$

$n=3 \rightarrow E_3= \mathbf{-\ 13.6\ eV= -2.18\ 10^{-18}J}$

$n=4 \rightarrow E_4= \mathbf{-\ 7.65\ eV= -1.22\ 10^{-18}J}$

5. L'électron passe du niveau fondamental **n=1** au premier niveau excité **n=2**




Energie absorbée : $\Delta E_{1\rightarrow2} = E_2 - E_1 = -30,6 - (-122,4) = 91,8$ eV

6. $\lambda$ =25,64 nm

$$\frac{1}{\lambda} = Z^2.\ R_H\left[\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right]$$

Ici absorption à partir du niveau n=2 donc $m = \sqrt{\frac{n^2 R_H Z^2 \lambda}{R_H Z^2 \lambda - n^2}} = 6$

On trouve m=6, nombre entier. Le photon est donc absorbé par $Be^{3+}$ qui passe à l'état excité **n=6**.

**Exercice 11 :**

1. Calcul du rayon de la première orbite :

$Li^{2+}$ (Z=3)

$R_n= a_0 \frac{n^2}{Z} = 0,53 \times \frac{n^2}{Z}$ (Å). Vu que c'est la $1^{ère}$ orbite $\rightarrow$ n= 1

Donc $\mathbf{R_1= 0,1763}$ **Å**.

2. Calcul de la vitesse de l'électron sur cette orbite :

$m.v.R= n\,(\frac{h}{2\pi}) \rightarrow v_e= \frac{n.h}{2\pi.m.R} = \mathbf{6{,}57\times10^{6}\ m.s^{-1}}$.

3. Calcul de la force d'attraction :

$Fa= \frac{-K.Z.e^2}{R^2} = \mathbf{2222{,}5\ N}$

4. Calcul de l'énergie de cet électron :

$E_{totale}= E_{potentielle} + E_{cinétique}= E_P + E_C$

Avec : $E_P = \int_0^{\infty} Fa.dR= - \int_0^{\infty} \frac{K.Z.e^2}{R^2}\,dR = -KZe^2\int_0^{\infty} \frac{dR}{R^2} = - KZ\,\frac{e^2}{R}$

$E_C= \frac{1}{2}\,m\,v^2$

Nous avons : $Fa= \frac{-K.Z.e^2}{R^2}$ (attraction) et $Fc= m\,\frac{v^2}{R}$ (centrifuge)

Pour que l'électron de $Li^{2+}$ soit stable sur la 1ère orbite, il faut que Fa= Fc

$$\frac{K.Z.e^2}{R^2} = m\,\frac{v^2}{R} \rightarrow \frac{K.Z.e^2}{2R} = m\,\frac{v^2}{2}$$

Il en résulte que : $Ec= \frac{K.Z.e^2}{2R}$

Donc $E_{totale}= E_P + E_C= - KZ\,\frac{e^2}{R} + \frac{K.Z.e^2}{2R} = \frac{-K.Z.e^2}{2R}$

$E_{totale}= \mathbf{-196{,}03\times10^{-19}\ J = -122{,}5\ eV}$.

5. Calcul de la petite longueur d'onde du spectre d'émission de cet ion $\lambda_{min}$:

$\Delta E_{max} = h\nu = h.\,\frac{c}{\lambda min}$

$\Delta E_{max} \rightarrow \lambda_{min}= \lambda_{1\rightarrow\infty}$

$\Delta E_{min} \rightarrow \lambda_{max}= \lambda_{1\rightarrow2}$

$\Delta E_{max} = h\nu = h.\,\frac{c}{\lambda min} = \Delta E_{1\rightarrow\infty} = E_{\infty}-E_1 = 0+122{,}4= 122{,}4\ eV = \mathbf{195{,}84\times10^{-19}\ J}$

De ce fait, $\lambda_{min}= h\nu = h.\,\frac{c}{\Delta Emax} = \mathbf{0{,}1014\times10^{-7}\ m = 101{,}4\ Å}$.

6. Calcul de l'énergie correspondante à la plus grande longueur d'onde :

$\Delta E_{min} = h\nu = h.\,\frac{c}{\lambda max}$ avec $\lambda_{max}= \lambda_{1\rightarrow2}$

$\Delta E_{min}= hcR_HZ^2\left[\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right]$ avec n=1 et m=2

$\mathbf{\Delta E_{min}= 588{,}2\times10^{-19}\ J = 367{,}6\ eV}$

## <u>Exercice 12 :</u>

Comparaison des longueurs d'onde de De Broglie associées à un électron et à une balle :

En appliquant la relation de De Broglie : $\lambda= h\,/mv$,

Pour l'électron $\rightarrow \lambda= \frac{6{,}62\times10^{-34}}{9{,}1\times10^{-31}\times3\times10^{7}} = 0{,}242$ Å

Pour la balle $\rightarrow \lambda= \frac{6{,}62\times10^{-34}}{0{,}2\times35} = 0{,}946\times10^{-34}$ m

L'équation de De Broglie n'a aucune conséquence pratique dans le cas d'objets macroscopiques, ce qui n'est pas le cas à l'échelle microscopique (exemple électron) où les particules présentent un aspect ondulatoire.

**Exercice 13 :**

Calcul de la longueur d'onde associée à :

- Un électron dont l'énergie cinétique est de 54 eV :

En appliquant la relation de De Broglie : $\lambda= h/mv$ avec $E_{cinétique} = mv^2/2 \Rightarrow \lambda= h/(2m.Ec)^{1/2}$

AN : $\lambda= 6{,}62\times10^{-34}/ [2\times(9{,}109\times10^{-31}) . (54\times1{,}6\times10^{-19})]^{1/2}$ = **$0{,}1668.10^{9}$ m =1,67Å**

- Une balle dont la vitesse est de 300 $m.s^{-1}$ et dont la masse est de 2g :

  $\lambda= h/mv$ avec m en kg et v en m/s

  **$\lambda=1{,}1\ 10^{-33}$ m.**

- La terre dans son mouvement autour du soleil ($m$ = 6. $10^{24}$ kg, $v$ = 3. $10^4$ $m.s^{-1}$) :

  **$\lambda= 3{,}710^{-63}$ m.**

- Un homme marchant à un pas normal, supposant m = 80 kg et $v$ = 5 $km.h^{-1}$ :

  v = 5 km/h=1,4 m/s $\rightarrow$ **$\lambda=5.9\ 10^{-36}$ ~ $610^{-36}$ m.**

Conclusion:

Pour l'électron, la longueur d'onde associée est de l'ordre des dimensions des particules atomiques.

Pour la balle, terre et l'homme, leurs longueurs d'onde associées sont non observables et négligeables devant les dimensions typiques des problèmes dans lesquelles ils interviennent. Il n'y a pas de signification physique à l'échelle macroscopique. **Le postulat de Broglie n'est pas applicable dans ce cas.**

**Exercice 14 :**

1. Les règles de remplissage électronique sont :

**Principe ou Règle de stabilité :** Quand l'atome est à l'état fondamental, les électrons occupent les niveaux d'énergie les plus bas.

**Principe d'exclusion de Pauli. Cases quantiques :** Deux électrons d'un même atome ne peuvent pas posséder les mêmes quatre nombres quantiques. Autrement dit, dans une case quantique, les électrons doivent avoir des spins anti parallèles.

**Règle de Hund :** Pour une sous-couche donnée, la configuration électronique est obtenue en plaçant un maximum d'électrons de même spin (même valeur de s) dans des orbitales différentes (cf Principe d'exclusion de Pauli), avant d'apparier des électrons de spins opposés (valeurs de s antiparallèles)

**Règle de Klechkowski :** Le remplissage des sous couches se fait dans l'ordre de (***n*** + ***l***) croissant. Si, pour deux sous couches, cette somme est la même, celle qui a la plus petite valeur de ***n*** se remplit la première.

***Exemple :*** Pour l'orbitale 2p ; (n + l) = 2+1= 3 Pour l'orbitale 3s ; (n + l)=3+0 =3

Dans ce cas, l'orbitale 2p se remplit avant l'orbitale 3s.

2. Au cours du remplissage, l'orbitale 4s se remplit avant celle des 3d car son énergie est plus faible.

D'après la règle de Klechkowski, nous avons :
3d :(n + l) = (3+2)=5
4s : (n + l) = (4+0)= 4
L'orbitale 4s a la plus petite valeur de (n+l). Elle se remplit la première.

3.
  a. Etat inexacte : il faut que les deux spins soit opposés (règle de Pauli).
  b. Etat exact
  c. Etat inexact : la règle de stabilité n'est pas respectée.
  d. Etat inexact : la règle de Hund n'est pas respectée.
  e. Etat inexact : les règles de stabilité et de Hund ne sont pas respectées
  f. Etat inexacte. La règle de Hund et le principe de Pauli ne sont pas respectés
  g. Etat exact

**<u>Exercice 15 :</u>**

Identification des différentes sous-couches et leur classement par ordre d'énergie croissante :

| Cas | a | b | c | d | e |
|---|---|---|---|---|---|
| n+ℓ | 4 | 4 | 5 | 3 | 4 |
| Schéma | [ ][↑][ ]<br>-1 0 +1 | [↓]<br>0 | [ ][ ][ ][↓][ ]<br>-2 -1 0 +1 +2 | [↑]<br>0 | [↑][ ][ ]<br>-1 0 +1 |