Université M'Hamed Bougara, Boumerdès
Faculté des Sciences
Département de Chimie

Série de TD N°03, Structure de la matière

Structure électronique de l'atome

Exercice 1

On éclaire une cellule photoélectrique dont la cathode est en césium (Cs) avec une radiation de longueur d'onde $\boldsymbol{\lambda}_1$ = 495 nm, puis avec une autre radiation de longueur d'onde $\boldsymbol{\lambda}_2$ = 720 nm. L'énergie d'extraction d'un électron de césium est $E_0 = 3 \cdot 10^{-19}$ J.

1. Quel aspect de la lumière permet d'interpréter l'effet photoélectrique ?

2. Calculer la longueur d'onde correspondant au seuil photoélectrique.

3. Vérifier que l'effet photoélectrique n'existe qu'avec une seule des deux radiations précédentes. Justifier.

4. Quelle est l'énergie cinétique maximale (en joule et en eV) d'un électron émis dans le cas de la radiation qui produit un effet photoélectrique ? En déduire le potentiel d'arrêt.

Données : $h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}$ *J·s ;* $c = 3 \cdot 10^{8}$ *m/s ;* $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *C*

Exercice 2

Soumis à une radiation, l'atome d'hydrogène émet des rayonnements, il présente un spectre de raies.

1. Citer 3 séries de raies appartenant respectivement au domaine de l'ultra-violet, du visible et de l'infrarouge.

2. À quel niveau se trouve l'électron après émission de raies dans le domaine du visible ?

3. Calculer la longueur d'onde de la première raie et de la raie limite de ces séries.

4. Représenter ces raies dans un diagramme énergétique et les nommer précisément.

5. Calculer en eV et en J, l'énergie nécessaire pour ioniser un tel atome pris dans son état stable.

Donnée : $R_H = 1{,}097 \cdot 10^{7}\ m^{-1}$

Exercice 3

Un hydrogénoïde $_{Z}\mathbf{X}^{y+}$ absorbe dans son état stable un rayonnement. Sachant que son énergie d'ionisation est égale à 54,4 eV.

1. De quel hydrogénoïde s'agit- il ?

2. Calculer la longueur d'onde (en nm) de la radiation qui permettrait d'arracher cet électron.

3. Calculer l'énergie totale de cet électron s'il est dans son second état d'excitation.

4. Calculer le rayon de l'orbite et la vitesse de l'électron quand il se trouve au niveau n = 3.

5. Montrer que l'absorption d'un photon de nombre d'onde $\overline{\nu} = 1{,}56 \cdot 10^{8}\ m^{-1}$ par l'hydrogénoïde $\mathbf{Be^{3+}}$ à l'état fondamental est possible. Préciser le niveau énergétique de l'électron dans l'ion excité résultant de cette absorption.

Données : $h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}$ *J·s ;* $c = 3 \cdot 10^{8}$ *m/s ;* $R_H = 1{,}097 \cdot 10^{7}\ m^{-1}$ *;* $a_0 = 0{,}53$ *Å ; 1 eV =* $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *J*

Exercice 4

1. Quelle est la longueur d'onde associée à :

- un électron dont l'énergie cinétique est de 54 eV ?
- un proton accéléré sous une différence de potentiel de 10^6 V ?
- un avion de chasse de 15 tonnes volant à 2800 km/h ?

Dans quel(s) cas les propriétés ondulatoires se manifestent-elles ?

2. Appliquer le principe d'incertitude de Heisenberg et calculer l'incertitude sur la vitesse Δv_x de :

- un électron se déplaçant en ligne droite (Δx = 1Å),
- une bille de masse 1g se déplaçant sur une droite dont la position est connue à 1 mm près.

Quelle conclusion en tirez-vous ?

Données : $m_e = 9{,}109\cdot10^{-31}$ *kg ;* $m_p = 1{,}672\cdot10^{-27}$*kg ;* $h = 6{,}62\cdot10^{-34}$*J.s ;* $e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ *C.*

Exercice 5

Soient les éléments et ions suivants : ${}_{2}He$; ${}_{3}Li$; ${}_{5}B$; ${}_{19}K^+$; ${}_{26}Fe$; ${}_{30}Zn$; ${}_{34}Se$.

1. Donner la configuration électronique à l'état fondamental, représenter la couche de valence de chaque élément par les cases quantiques et préciser le caractère magnétique de chacun d'eux.

2. Calculer Z* (charge nucléaire effective) relative à l'électron de la dernière orbitale de He, Li, B, Zn et Se.

3. Calculer les énergies de 1ère et 2ème ionisation de l'Hélium.

4. Calculer Z* de l'électron 4s du fer. Comparer la stabilité d'un électron de la sous-couche 3d avec celle d'un électron de la sous-couche 4s.

Constantes de Slater		e_j : électrons qui écrantent i					
		1s	**2s 2p**	**3s 3p**	**3d**	**4s 4p**	**4d**
e_i : électron considéré (écranté)	**1s**	**0,31**	0	0	0	0	0
	2s 2p	0,85	**0,35**	0	0	0	0
	3s 3p	1	0,85	**0,35**	0	0	0
	3d	1	1	1	**0,35**	0	0
	4s 4p	1	1	0,85	0,85	**0,35**	0
	4d	1	1	1	1	1	**0,35**

n	1	2	3	4	5	6
n*	1	2	3	3,7	4	4,2

Corrigé de la série de TD N°3, Structure de la Matière

Exercice 1

1. L'aspect corpusculaire permet d'interpréter l'effet photoélectrique.
2. Calcul de la longueur d'onde correspondant au seuil photoélectrique :

$$E_0 = h\nu_0 = h \cdot \frac{c}{\lambda_0} \Rightarrow \lambda_0 = \frac{hc}{E_0}$$

$$\lambda_0 = \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{3 \cdot 10^{-19}} = 662 \cdot 10^{-9} m = 662\ nm$$

3. Vérifier que l'effet photoélectrique n'existe que pour une seule longueur d'onde :

Pour avoir l'effet photoélectrique il faut :

$$\boxed{\boldsymbol{E > E_0 \ \longrightarrow\ \nu > \nu_0 \ \longrightarrow\ \frac{c}{\lambda} > \frac{c}{\lambda 0} \ \longrightarrow\ \lambda < \lambda_0}}$$

$$\boldsymbol{\lambda_1} = \mathbf{495\ nm} < 662\ nm \Longrightarrow \boldsymbol{il\ y\ a\ un\ effet\ photo\acute{e}lectrique}$$

$$\boldsymbol{\lambda_2} = \mathbf{720\ nm} > 662\ nm \Longrightarrow il\ n'y\ a\ pas\ d'effet\ photo\acute{e}lectrique$$

4. Calcul de l'énergie cinétique maximale (en Joule et en eV) :

$$E = E_0 + E_c \Longrightarrow \boldsymbol{E_c} = E - E_0 = h\nu - E_0 = \boldsymbol{h\frac{c}{\lambda} - E_0}$$

$$\boldsymbol{E_c} = h\frac{c}{\lambda} - E_0 = 6{,}62 \cdot 10^{-34}\frac{3 \cdot 10^{8}}{495 \cdot 10^{-9}} - 3 \cdot 10^{-19} = \mathbf{1,012 \cdot 10^{-19}}\,\boldsymbol{J}$$

$$\left.\begin{array}{ll} 1\ eV & \longrightarrow 1{,}6 \cdot 10^{-19} J \\ E_c\ (eV) & \longrightarrow 1{,}012 \cdot 10^{-19} J \end{array}\right] \Longrightarrow \boldsymbol{E_c} = \frac{1{,}012 \cdot 10^{-19}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} = \mathbf{0,632}\ \boldsymbol{eV}$$

Le potentiel d'arrêt U : $Ec = e \cdot U \Longrightarrow \boldsymbol{U} = \boldsymbol{\frac{E_c}{e}}$

$$\boldsymbol{U} = \frac{1{,}012 \cdot 10^{-19}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} = \mathbf{632}\ \boldsymbol{eV}$$

Exercice 2

Soumis à une radiation, l'atome d'hydrogène émet des rayonnements, il présente un spectre de raies.

1. Les trois séries :
   - Série de Lyman dans l'ultraviolet
   - Série de Balmer dans le visible,
   - Série de Paschen , série de Bracket , série de Pfund dans l'infrarouge.
2. Après émission de raies dans le domaine du visible L'électron se trouve dans l'état final $\boldsymbol{n_f} = \mathbf{2}$.

3. Les longueurs d'ondes calculées selon la relation de Rydberg-Balmer :

$$\boldsymbol{\frac{1}{\lambda} = R_H \cdot Z^2 \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]} \; \textit{avec } \boldsymbol{n_2 > n_1}$$

Série de Lyman $(n_1 = 1)$

La première raie : Transition $n_2 = 2 \longrightarrow n_1 = 1$

$$\frac{1}{\lambda_1} = R_H \cdot Z^2 \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right] = 1{,}097 \cdot 10^7 \cdot 1^2 \left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right] = 8{,}2275 \cdot 10^6 \, m^{-1}$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{\lambda_1} = \frac{1}{8{,}2275 \cdot 10^6} = 1{,}215 \cdot 10^{-7} m = 121{,}5 \cdot 10^{-9} \, m = \boldsymbol{121,543 \; nm}$$

La raie limite : Transition $n_2 = \infty \longrightarrow n_1 = 1$

$$\frac{1}{\lambda_{\ell im}} = R_H \cdot Z^2 \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right] = 1{,}097 \cdot 10^7 \cdot 1^2 \left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty}\right] = 1{,}097 \cdot 10^7 \, m^{-1}$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{\lambda_{\ell im}} = \frac{1}{1{,}097 \cdot 10^7} = 9{,}1157 \cdot 10^{-8} m = 91{,}15 \cdot 10^{-9} \, m = \boldsymbol{91,157 \; nm}$$

Série de Balmer $(n_1 = 2)$

La première raie : Transition $n_2 = 3 \longrightarrow n_1 = 2$

$$\frac{1}{\lambda_1} = R_H \cdot Z^2 \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right] = 1{,}097 \cdot 10^7 \cdot 1^2 \left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right] = 1{,}523611 \cdot 10^6 \, m^{-1}$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{\lambda_1} = \frac{1}{1{,}523611 \cdot 10^6} = 6{,}56335 \cdot 10^{-7} m = 656{,}335 \cdot 10^{-9} \, m = \boldsymbol{656,335 \; nm}$$

La raie limite : Transition $n_2 = \infty \longrightarrow n_1 = 1$

$$\frac{1}{\lambda_{\ell im}} = R_H \cdot Z^2 \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right] = 1{,}097 \cdot 10^7 \cdot 1^2 \left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{\infty}\right] = 2{,}7425 \cdot 10^6 \, m^{-1}$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{\lambda_{\ell im}} = \frac{1}{2{,}7425 \cdot 10^6} = 3{,}64631 \cdot 10^{-7} m = 364{,}631 \cdot 10^{-9} \, m = \boldsymbol{364,631 \; nm}$$

Série de Paschen $(n_1 = 3)$

La première raie : Transition $n_2 = 4 \longrightarrow n_1 = 3$

$$\frac{1}{\lambda_1} = R_H \cdot Z^2 \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right] = 1{,}097 \cdot 10^7 \cdot 1^2 \left[\frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2}\right] = 5{,}33263 \cdot 10^5 \, m^{-1}$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{\lambda_1} = \frac{1}{5{,}33263 \cdot 10^6} = 1{,}875247 \cdot 10^{-6} m = 1875{,}247 \cdot 10^{-9} \, m = \boldsymbol{1875,247 \; nm}$$

La raie limite : Transition $n_2 = \infty \longrightarrow n_1 = 3$

$$\frac{1}{\lambda_{\ell im}} = R_H \cdot Z^2 \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right] = 1{,}097 \cdot 10^7 \cdot 1^2 \left[\frac{1}{3^2} - \frac{1}{\infty}\right] = 1{,}21889 \cdot 10^6 \, m^{-1}$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{\lambda_{\ell im}} = \frac{1}{1{,}21889 \cdot 10^6} = 8{,}20419 \cdot 10^{-7} m = 820{,}419 \cdot 10^{-9} \, m = \boldsymbol{820,419 \; nm}$$

Série de Brackett ($n_1 = 4$)

La première raie : Transition $n_2 = 5 \longrightarrow n_1 = 4$

$$\frac{1}{\lambda_1} = R_H \cdot Z^2 \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right] = 1{,}097 \cdot 10^7 \cdot 1^2 \left[\frac{1}{4^2} - \frac{1}{5^2}\right] = 2{,}46825 \cdot 10^5 \, m^{-1}$$

$$\Longrightarrow \boldsymbol{\lambda_1} = \frac{1}{2{,}46825 \cdot 10^6} = 4{,}051453 \cdot 10^{-6} m = 4051{,}453 \cdot 10^{-9} \, m = \boldsymbol{4051{,}453 \, nm}$$

La raie limite : Transition $n_2 = \infty \longrightarrow n_1 = 4$

$$\frac{1}{\lambda_{\ell im}} = R_H \cdot Z^2 \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right] = 1{,}097 \cdot 10^7 \cdot 1^2 \left[\frac{1}{4^2} - \frac{1}{\infty}\right] = 6{,}85625 \cdot 10^5 \, m^{-1}$$

$$\Longrightarrow \boldsymbol{\lambda_{\ell im}} = \frac{1}{6{,}85625 \cdot 10^5} = 1{,}458523 \cdot 10^{-7} m = 1458{,}523 \cdot 10^{-9} \, m = \boldsymbol{1458{,}523 \, nm}$$

Série de Pfund ($n_1 = 5$)

La première raie : Transition $n_2 = 6 \longrightarrow n_1 = 5$

$$\frac{1}{\lambda_1} = R_H \cdot Z^2 \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right] = 1{,}097 \cdot 10^7 \cdot 1^2 \left[\frac{1}{5^2} - \frac{1}{6^2}\right] = 1{,}340778 \cdot 10^5 \, m^{-1}$$

$$\Longrightarrow \boldsymbol{\lambda_1} = \frac{1}{1{,}340778 \cdot 10^5} = 7{,}458356 \cdot 10^{-6} m = 7458{,}356 \cdot 10^{-9} \, m = \boldsymbol{7458{,}356 \, nm}$$

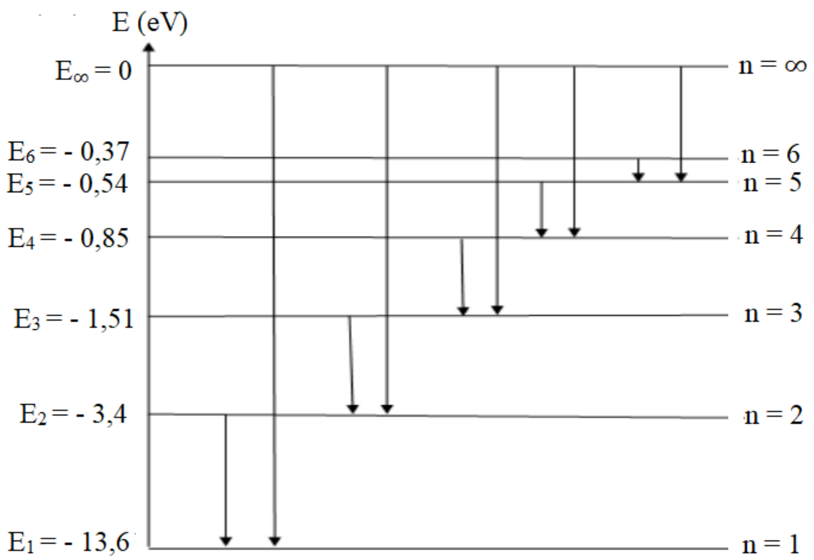
La raie limite : Transition $n_2 = \infty \longrightarrow n_1 = 5$

$$\frac{1}{\lambda_{\ell im}} = R_H \cdot Z^2 \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right] = 1{,}097 \cdot 10^7 \cdot 1^2 \left[\frac{1}{5^2} - \frac{1}{\infty}\right] = 4{,}388 \cdot 10^5 \, m^{-1}$$

$$\Longrightarrow \boldsymbol{\lambda_{\ell im}} = \frac{1}{4{,}388 \cdot 10^5} = 2{,}278942 \cdot 10^{-6} m = 2278{,}942 \cdot 10^{-9} \, m = \boldsymbol{2278{,}942 \, nm}$$

Série	n_1	Transition	λ_1 (nm)	Transition	$\lambda_{\ell im}$ (nm)
Lyman	1	$2 \rightarrow 1$	121,543	$\infty \rightarrow 1$	91,157
Balmer	2	$3 \rightarrow 2$	656,335	$\infty \rightarrow 2$	364,631
Paschen	3	$4 \rightarrow 3$	1875,247	$\infty \rightarrow 3$	820,419
Brackett	4	$5 \rightarrow 4$	4051,453	$\infty \rightarrow 4$	1458,523
Pfund	5	$6 \rightarrow 5$	7458,356	$\infty \rightarrow 5$	2278,942

4. Représentation des raies dans le diagramme énergétique : spectre d'émission



5. L'énergie d'ionisation : $E_{ion} > 0$

$$E_n = -13{,}6 \cdot \frac{Z^2}{n^2} (eV)$$

$$\boldsymbol{E_{ion}} = \Delta E = E_{finale} - E_{initiale} = E_\infty - E_1 = \boldsymbol{-E_1}$$

Energie d'ionisation en eV :

$$\boldsymbol{E_{ion}} = -E_1 = -13{,}6 \cdot \frac{1^2}{1^2} \Longrightarrow \boldsymbol{E_{ion} = 13,6\ eV}$$

Energie d'ionisation en Joule :

$$1eV = 1{,}6 \cdot 10^{-19} J$$

$$\boldsymbol{E_{ion}} = 13{,}6 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} = \boldsymbol{21,76 \cdot 10^{-19}\ J}$$

Exercice 3

Un hydrogénoïde $_{Z}\mathbf{X}^{y+}$ absorbe dans son état stable un rayonnement. Sachant que son énergie d'ionisation $E_{ion} = 54{,}4\ eV$

1. Pour identifier l'Hydrogenoide → calcul le numéro atomique **Z**

$$E_n = -13{,}6 \cdot \frac{Z^2}{n^2}$$

$$\boldsymbol{E_{ion}} = \Delta E = E_{finale} - E_{initiale} = E_\infty - E_1 = \boldsymbol{-E_1}$$

$$\boldsymbol{E_{ion}} = -E_1 = 13{,}6 \cdot \frac{Z^2}{n^2} = 54{,}4 \Longrightarrow 13{,}6\, Z^2 = 54{,}4 \Longrightarrow Z = \sqrt{\frac{54{,}4}{13{,}6}} \longrightarrow \boldsymbol{Z = 2}$$

L'hydrogenoide est : $_{2}\mathbf{He}^{+}$

2. Calcul de la longueur d'onde (en nm) de la radiation qui permettrait d'arracher cet électron.

$$\boldsymbol{E_{ion}} = \Delta E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \longrightarrow \boldsymbol{\lambda} = \frac{\boldsymbol{hc}}{\boldsymbol{E_{ion}}}$$

$$\boldsymbol{\lambda} = \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{54{,}4 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 2{,}282 \cdot 10^{-8}\ m = \boldsymbol{22,821\ nm}$$

Ou bien : arracher l'électron (ionisation) de $\mathbf{n_1 = 1} \;\rightarrow\; \mathbf{n_2} = \infty$

On utilise la relation de Balmer-Rydberg :

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \cdot Z^2 \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right] \longrightarrow \frac{1}{\lambda} = R_H \cdot Z^2 \left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty}\right] = R_H \cdot Z^2 \Longrightarrow \boldsymbol{\lambda} = \frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{R_H \cdot Z^2}}$$

$$\boldsymbol{\lambda} = \frac{1}{1{,}097 \cdot 10^7 \cdot 2^2} = 2{,}2789 \cdot 10^{-8} m = 22{,}789 \cdot 10^{-9}\ m = \boldsymbol{22,789\ nm}$$

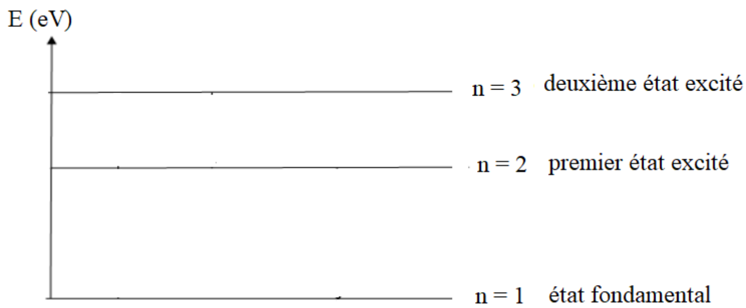
3. Calcul de l'énergie totale de cet électron s'il est dans son second état d'excitation :

Second état d'excitation → **n = 3**

$$E_n = -13{,}6 \cdot \frac{Z^2}{n^2}$$

$$\boldsymbol{E_3} = -13{,}6 \cdot \frac{2^2}{3^2} = \boldsymbol{6,04\ eV}$$

$$\boldsymbol{E_3} = 6{,}04 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} = \boldsymbol{9,67 \cdot 10^{-19}\,J}$$



4. Calcul le rayon de l'orbite et la vitesse de l'électron quand il se trouve au niveau n = 3

$$r_n = a_0 \cdot \frac{n^2}{Z} \qquad avec \qquad a_0 = 0{,}53\ \text{Å} = 0{,}53 \cdot 10^{-10}\ m$$

$$\boldsymbol{r_3} = 0{,}53 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{3^2}{2} = \boldsymbol{2,385 \cdot 10^{-10}\ m = 2,385}\ \text{Å}$$

$$V_n = V_0 \cdot \frac{Z}{n} \qquad avec \qquad v_0 = 2{,}18 \cdot 10^6\ m/s$$

$$\boldsymbol{V_3} = 2{,}18 \cdot 10^6 \cdot \frac{2}{3} = \boldsymbol{1,453 \cdot 10^6\ m/s}$$

5. On montre que l'absorption d'un photon de nombre d'onde $\overline{\nu}$ = $1{,}56 \cdot 10^8$ m^{-1} par l'hydrogénoïde Be^{3+} **(Z = 4)** à l'état fondamental **(n_1 = 1)** est possible.

$$\overline{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R_H \cdot Z^2 \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right] \longrightarrow \overline{\nu} = R_H \cdot Z^2 \left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right] \longrightarrow \frac{1}{n_2^2} = 1 - \frac{\overline{\nu}}{R_H Z^2} \longrightarrow \boldsymbol{n_2} = \sqrt{\frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{1} - \frac{\boldsymbol{\overline{\nu}}}{\boldsymbol{R_H Z^2}}}}$$

$$n_2 = \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{1{,}56 \cdot 10^8}{1{,}097 \cdot 10^7 4^2}}} \Longrightarrow \boldsymbol{n_2 = 3}$$

Donc le photon peut être absorbé et l'électron atteint le niveau énergétique supérieur $\boldsymbol{n = 3}$.

Exercice 4

1. La longueur d'onde associée : $\boldsymbol{\lambda = \frac{h}{mv}}$

- un électron dont l'énergie cinétique $E_c = 54\ eV$

$$E_c = \frac{1}{2}\, m_e\, v_e^2 \longrightarrow v_e = \sqrt{\frac{2E_c}{m_e}} \longrightarrow v_e = \sqrt{\frac{2 \cdot 54 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{9{,}109 \cdot 10^{-31}}} \Longrightarrow v_e = 4{,}355 \cdot 10^6\ m/s$$

$$\boldsymbol{\lambda} = \frac{\boldsymbol{h}}{\boldsymbol{m_e v_e}} \longrightarrow \lambda = \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34}}{9{,}109 \cdot 10^{-31} \cdot 4{,}355 \cdot 10^{6}} = 1{,}67 \cdot 10^{-10}\, m \Longrightarrow \boldsymbol{\lambda = 1{,}67}\ \text{Å}$$

✓ La longueur d'onde associée à l'électron (particule microscopique) est de l'ordre des dimensions des particules atomiques.

- un proton accéléré sous une différence de potentiel U = 10^6 V

$$E_c = \frac{1}{2}\, m_p\, v_p^2 = e \cdot U \longrightarrow v_p = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U}{m_p}} \longrightarrow v_p = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{6}}{1{,}672 \cdot 10^{-27}}} \Longrightarrow v_p = 1{,}383 \cdot 10^{7} m/s$$

$$\boldsymbol{\lambda} = \frac{\boldsymbol{h}}{\boldsymbol{m_p v_p}} \longrightarrow \lambda = \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34}}{1{,}672 \cdot 10^{-27} \cdot 1{,}383 \cdot 10^{7}} = 2{,}86 \cdot 10^{-14} m \Longrightarrow \boldsymbol{\lambda = 2{,}86 \cdot 10^{-4}}\ \text{Å}$$

✓ La longueur d'onde associée au proton (particule microscopique) est de l'ordre des dimensions des particules nucléaire.

- un avion de chasse de 15 tonnes volant à 2800 km/h

$$m_{avion} = 15\ tonnes = 15 \cdot 10^{3} kg$$

$$v_{avion} = \frac{2800 \cdot 10^{3}(m)}{3600(s)} = 777{,}78\, m/s$$

$$\boldsymbol{\lambda} = \frac{\boldsymbol{h}}{\boldsymbol{m_{avion} v_{avion}}} = \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34}}{15 \cdot 10^{3} \cdot 777{,}78} \longrightarrow \boldsymbol{\lambda = 5{,}67 \cdot 10^{-41} m}$$

✓ La valeur de la longueur d'onde $\lambda = 5{,}67 \cdot 10^{-41} m$ est négligeable par rapport aux dimensions de l'avion, cela confirme bien que le postulat de De Broglie ne s'applique qu'à l'échelle atomique et subatomique.

2. Application de principe d'incertitude de Heisenberg et calcul l'incertitude sur la vitesse Δv_x de :

$$\Delta p_x \cdot \Delta x \geq \frac{h}{2\pi}$$

$$m \cdot \Delta v_x \cdot \Delta x \geq \frac{h}{2\pi}$$

Δp_x: *l'incertitude sur la quantité de mouvement*
Δv_x: *l'incertitude sur la vitesse*
Δx: *l'incertitude sur la position*

- un électron se déplaçant en ligne droite ($\Delta x = 1\text{Å} = 10^{-10}\, m$)

$$m \cdot \Delta v_x \cdot \Delta x \geq \frac{h}{2\pi} \longrightarrow \Delta v_x \geq \frac{h}{2\pi \cdot m \cdot \Delta x}$$

$$\Delta v_x \geq \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 9{,}109 \cdot 10^{-31} \cdot 10^{-10}} \Longrightarrow \Delta v_x \geq 1{,}16 \cdot 10^{6} m/s$$

- une bille de masse 1g se déplaçant sur une droite dont la position est connue à 1 mm près $\Longrightarrow \Delta x = 1mm$

$$\Delta v_x \geq \frac{h}{2\pi \cdot m \cdot \Delta x} \longrightarrow \Delta v_x \geq \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3}} \Longrightarrow \Delta v_x \geq 1{,}054 \cdot 10^{-28}\ m/s$$

<u>Conclusion :</u> Pour l'électron, l'incertitude sur sa vitesse est très importante. Donc, il est impossible de déterminer avec précision et simultanément la position de l'électron et sa vitesse (ou quantité de mouvement). Pour la bille (échelle macroscopique), cette valeur $\Delta v_x \geq 1{,}054 \cdot 10^{-28}\ m/s$, montre une grande précision qui par contre n'a aucune conséquence pratique. Le principe d'incertitude d'Heisenberg n'est applicable qu'à l'échelle microscopique, mais n'a aucun sens physique à l'échelle macroscopique.

<u>Exercice 5</u>

1. La configuration électronique à l'état fondamental, représentation de la couche de valence par les cases quantiques et le caractère magnétique :

Caractère magnétique

- Un élément ou composé est **paramagnétique** s'il possède des électrons dont les spins ne sont pas appariés, c'est-à-dire des e - célibataires ; il est attiré par un champ magnétique.
- Un élément ou composé est **diamagnétique** si tous les électrons sont appariés, il est repoussé par un champ magnétique.

Couche de valence

La couche de valence (couche externe) d'un atome est sa dernière couche électronique partiellement ou totalement remplie. Elle est caractérisée par le nombre quantique principal (**n**) le plus élevé.

Configuration électronique	**couche de valence**	**cases quantiques**	**caractère magnétique**
${}_{2}He : \mathbf{1s^2}$	$1s^2$	[↑↓]	Diamagnétique
${}_{3}Li : 1s^2\mathbf{2s^1}$	$2s^1$	[↑]	Paramagnétique
${}_{5}B : 1s^2\mathbf{2s^2 2p^1}$	$2s^2 2p^1$	[↑↓] [↑ | |]	Paramagnétique
${}_{19}K^+ : 1s^2 2s^2 2p^6\mathbf{3s^2 3p^6}$	$3s^2 3p^6$	[↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓]	Diamagnétique
${}_{26}Fe : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6\mathbf{4s^2 3d^6}$	$4s^2 3d^6$	[↑↓] [↑↓|↑|↑|↑|↑]	Paramagnétique
${}_{30}Zn : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6\mathbf{3d^{10} 4s^2}$	$3d^{10} 4s^2$	[↑↓|↑↓|↑↓|↑↓|↑↓] [↑↓]	Diamagnétique
${}_{30}Zn : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10}\mathbf{4s^2 4p^4}$	$4s^2 4p^4$	[↑↓] [↑↓|↑|↑]	Paramagnétique

2. Calcul de la charge nucléaire effective (Z*) relative à l'électron de la dernière orbitale de He, Li ; B ; Zn et Se. $Z^* = Z - \sum\sigma_i$

$_2He \longrightarrow Z^*_{1s} = 2 - (0{,}31 \cdot 1) = \mathbf{1{,}69}$

$_3Li \longrightarrow Z^*_{2s} = 3 - [(0{,}35 \cdot 0) + (0{,}85 \cdot 2)] = \mathbf{1{,}3}$

$_5B \longrightarrow Z^*_{2s2p} = 5 - [(0{,}35 \cdot 2) + (0{,}85 \cdot 2)] = \mathbf{2{,}6}$

$_{30}Zn \longrightarrow Z^*_{4s} = 30 - [(0{,}35 \cdot 1) + (0{,}85 \cdot 18) + (1 \cdot 10)] = \mathbf{4{,}35}$

$_{34}Se \longrightarrow Z^*_{4s4p} = 34 - [(0{,}35 \cdot 5) + (0{,}85 \cdot 18) + (1 \cdot 10)] = \mathbf{6{,}95}$

3. Les énergies de 1ère et 2ème ionisation de l'Hélium.

L'énergie d'ionisation est l'énergie minimale qu'il faut fournir pour arracher un électron à un atome (ou un ion). Elle est positive.

$$He_{(g)} \longrightarrow He^+_{(g)} + 1e^- \quad \textit{Première ionisation} \Rightarrow E_i1(He) = E_{(He^+)} - E_{(He)}$$

$$He^+_{(g)} \longrightarrow He^{++}_{(g)} + 1e^- \quad \textit{deuxième ionisation} \Rightarrow E_i2(He) = E_{(He^{++})} - E_{(He^+)}$$

$$E_n = -13{,}6 \cdot \frac{Z^{*2}}{n^{*2}}$$

$$_2He : 1s^2 \longrightarrow E_{(He)} = 2E_{1s} = 2 \cdot \left(-13{,}6 \cdot \frac{Z^{*2}_{1s}}{1^2}\right) \Rightarrow E_{(He)} = 2 \cdot (-13{,}6)\ (1{,}69)^2 = -\mathbf{77{,}686\ eV}$$

$$_2He^+ : 1s^1 \longrightarrow ion\ Hydrognoide \longrightarrow E_n = -13{,}6 \cdot \frac{Z^2}{n^2} \Rightarrow E_{(He^+)} = E_{1s} = \left(-13{,}6 \cdot \frac{2^2}{1^2}\right) = -\mathbf{54{,}4\ eV}$$

$$_2He^{++} : 1s^0 \longrightarrow pas\ d'électrons \Rightarrow E_{1s} = 0$$

$$E_i1(He) = E_{(He^+)} - E_{(He)} = -54{,}4 - (-77{,}686) \Rightarrow \boldsymbol{E_i1(He) = 23{,}286\ eV}$$

$$E_i2(He) = E_{(He^{++})} - E_{(He^+)} = 0 - (-54{,}4) \Rightarrow \boldsymbol{E_i2(He) = 54{,}4\ eV}$$

4. Les charges effectives (Z*) de l'électron 4s et 3d du fer.

$_{26}Fe : (1s^2 2s^2 2p^6)\ (3s^2 3p^6 3d^6)\ \mathbf{(4s^2)}$

$$Z^*_{4s} = 26 - [(0{,}35 \cdot 1) + (0{,}85 \cdot 14) + (1 \cdot 10)] \Rightarrow \boldsymbol{Z^*_{4s} = 3{,}75}$$

$_{26}Fe : (1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6)\ \mathbf{(3d^6)}\ (4s^2)$

$$Z^*_{3d} = 26 - [(0{,}35 \cdot 5) + (1 \cdot 18)] \Rightarrow \boldsymbol{Z^*_{3d} = 6{,}25}$$

La stabilité d'un électron de la sous-couche 3d avec celle d'un électron de la sous-couche 4s.

$$E_{4s} = -13{,}6 \cdot \frac{Z^{*2}_{4s}}{n^{*2}} = -\,13{,}6 \cdot \frac{(3{,}75)^2}{(3{,}7)^2} \Rightarrow \boldsymbol{E_{4s} = -\,13{,}97\ eV}$$

$$E_{3d} = -13{,}6 \cdot \frac{Z^{*2}_{3d}}{n^{*2}} = -\,13{,}6 \cdot \frac{(6{,}25)^2}{(3)^2} \Rightarrow \boldsymbol{E_{3d} = -\,59{,}03\ eV}$$

$|E_{3d}| > |E_{4s}|$ donc il est plus facile d'extraire les électrons de la sous-couche **4s** que de la **3d** où ils sont retenus ($\boldsymbol{Z^*_{4s} < Z^*_{3d}}$), d'abord parce que c'est la dernière couche, la plus externe (le plus grand n), puis la **3d** a une énergie supérieure à la **4s**. Les électrons sur la 3d sont plus stables dans l'état fondamental de Fe.