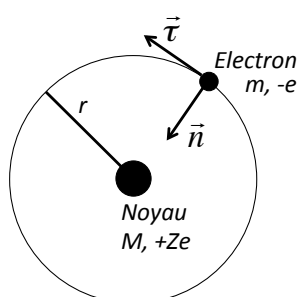


Exercice 1. L'électron satellite (6 pt)

On considère le modèle planétaire d'un ion hydrogénoïde, dans lequel un électron de masse m se déplace autour d'un noyau comportant Z protons sur une orbite circulaire de rayon r . Sa trajectoire est définie par les vecteurs position $\vec{r} = -r\vec{n}$ et quantité de mouvement $\vec{p} = m\vec{v}\vec{t}$ exprimés dans le repère de Frenet $\{\vec{t}, \vec{n}\}$ schématisé ci-dessous (\vec{t} et \vec{n} sont des vecteurs unitaires).



L'équation de Newton relie la force électrostatique \vec{F} qui s'exerce sur l'électron à son accélération \vec{a} :

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{Ze^2}{r^2} \vec{n} = m\vec{a}$$

L'accélération peut se décomposer en une composante tangentielle et une composante normale, selon l'expression suivante :

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt} \vec{t} + \frac{v^2}{r} \vec{n}$$

L'énergie totale est une constante du mouvement et se décompose en une partie cinétique T et potentielle V :

$$E = T + V = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

1) Démontrer que $V = -2T$ dans le cas d'un mouvement circulaire uniforme. **1 pt**

Dans le cas d'un mouvement circulaire uniforme, $\frac{dv}{dt} = 0$ d'où $\vec{a} = \frac{v^2}{r} \vec{n}$.

$$\vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{Ze^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r} \Rightarrow v^2 = \frac{1}{4\pi m \epsilon_0} \times \frac{Ze^2}{r}$$

$$T = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \times \frac{Ze^2}{r} = -\frac{V}{2}$$

D'où $V = -2T$

2) En vous servant de la relation $V = -2T$, l'énergie totale E peut s'exprimer soit en fonction de la vitesse v , soit en fonction du rayon r . Ecrire ces deux expressions alternatives de l'énergie totale. **1 pt**

$$E = T + V = T - 2T = -T = -\frac{1}{2}mv^2$$

$$E = T + V = -\frac{V}{2} + V = \frac{V}{2} = -\frac{Ze^2}{8\pi\epsilon_0 r}$$

3) Dans le cas d'un objet classique, l'énergie totale est une fonction continue de la position et de la vitesse. Ce n'est pas le cas pour une particule quantique telle que l'électron. Cela peut être révélé par exemple en considérant une grandeur expérimentale mesurable telle que l'énergie d'ionisation I . Cette dernière correspond à l'énergie nécessaire pour extraire l'électron du champ électrostatique nucléaire, et peut s'écrire sous la forme d'une différence d'énergie $I = E_f - E_i$, où l'énergie initiale E_i est l'énergie totale de l'électron sur son orbite, et l'énergie finale E_f son énergie à une distance infinie du noyau à vitesse nulle. Pour l'hydrogénoïde Li^{2+} ($Z = 3$), on mesure une seule valeur : $I = 122,4$ eV.

En déduire :

a) la valeur de l'énergie initiale E_i (en eV et J) **1 pt**

E_f est l'énergie à une distance infinie du noyau à vitesse nulle. D'après les deux expressions de l'énergie totale déterminées question 2, on a $E_f = 0$, d'où $E_i = -I = -122,4$ eV.

b) le rayon de l'orbite correspondant à l'état initial d'énergie E_i (en m et Å) **1 pt**

$$I = -E_i = \frac{Ze^2}{8\pi\epsilon_0 r} \Rightarrow r = \frac{Ze^2}{8\pi\epsilon_0 I} = 1,76 \cdot 10^{-11} \text{ m} = 0,176 \text{ Å}$$

c) la vitesse de l'électron sur cette orbite (en m.s⁻¹) **1 pt**

$$I = -E_i = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2I}{m}} = 6,56 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

4) Donner la relation établie par de Broglie associant la vitesse d'une particule quantique à une longueur d'onde. En déduire la valeur de la longueur d'onde associée à l'électron de l'ion Li^{2+} . **1 pt**

$$\lambda = \frac{h}{mv} = 1,11 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 1,11 \text{ Å}$$

Exercice 2. Spectroscopie de l'ion He^+ (3 pt)

1) L'ion He^+ dans l'état fondamental absorbe un photon de longueur d'onde $\lambda_1 = 23,732 \text{ nm}$. Sur quel niveau d'énergie n l'électron se trouve l'électron après cette absorption ? **1 pt**

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

Avec $Z = 2$ (He^+) et $m = 1$ (état fondamental), on obtient $n = 5$.

2) Si l'électron de He^+ est excité au niveau n déterminé à la question précédente, combien de raies différentes peuvent-elles être émises lors du retour de l'électron à son niveau fondamental ? Lister toutes les transitions électroniques possibles. **1 pt**

10 raies d'émission sont possibles :

$5 \rightarrow 4$
 $5 \rightarrow 3$ $4 \rightarrow 3$
 $5 \rightarrow 2$ $4 \rightarrow 2$ $3 \rightarrow 2$
 $5 \rightarrow 1$ $4 \rightarrow 1$ $3 \rightarrow 1$ $2 \rightarrow 1$

3) Les longueurs d'onde $\lambda_2 = 1013,74 \text{ nm}$ et $\lambda_3 = 190,08 \text{ nm}$ font-elles partie du spectre de démission de He^+ ? Si oui, à quelle transition électronique correspondent-elles ? **1 pt**

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

L'état de départ est l'état excité déterminé question 1 ($n = 5$).

Pour $\lambda_2 = 1013,74 \text{ nm}$, on obtient $m = 4$. Cette raie fait bien partie du spectre de He^+ .

Pour $\lambda_3 = 190,08 \text{ nm}$, on obtient $m = 2,5$. Cette raie ne fait pas partie du spectre de He^+ .

Exercice 3. Effet photoélectrique (3 pt)

1) Ecrire l'équation bilan de l'échange d'énergie lumière/matière lors de l'effet photoélectrique, en définissant les différents termes. **1 pt**

$$h\nu = W_0 + \frac{1}{2}mv^2$$

$h\nu$: énergie du photon incident

W_0 : Travail d'extraction

$\frac{1}{2}mv^2$: énergie cinétique des photoélectrons

2) On donne ci-dessous la valeur du travail d'extraction pour différents matériaux métalliques. Avec quels matériaux observera-t-on un effet photoélectrique si on utilise un rayonnement incident de fréquence $1,04 \times 10^{15} \text{ Hz}$? **1 pt**

Matériau	Lithium	Argent	Zinc	Cuivre
Travail d'extraction W_0 (eV)	2,90	4,26	4,33	4,65

Pour une fréquence de $1,04 \times 10^{15}$ Hz, $h\nu = 4,3$ eV. L'énergie des photons incidents est supérieure au travail d'extraction du Lithium et de l'Argent. Un effet photoélectrique sera donc observé pour ces deux matériaux.

3) Déterminer dans chaque cas l'énergie cinétique des photoélectrons. **1 pt**

$$\text{Li} : \frac{1}{2}mv^2 = 4,3 - 2,90 = 1,40 \text{ eV}$$

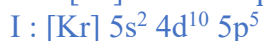
$$\text{Ag} : \frac{1}{2}mv^2 = 4,3 - 4,26 = 0,04 \text{ eV}$$

Exercice 4. Configuration électronique des atomes (8 pt)

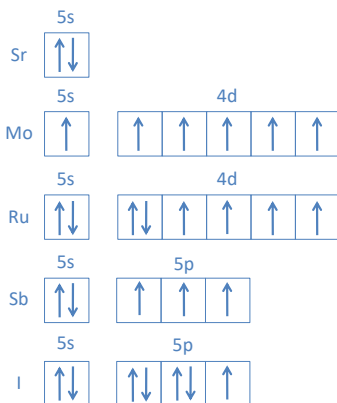
On considère une série d'éléments de la 5^{ème} période de la classification périodique :

Sr (Z= 38), Mo (Z = 42), Ru (Z = 44), Sb (Z = 51), I (Z = 53)

1) Déterminer la configuration électronique de chaque élément. **2 pt (-0,5 par erreur)**



2) Pour chaque élément, schématiser l'occupation électronique des orbitales de valence à l'aide du formalisme des cases quantiques. **2 pt (-0,5 par erreur)**



3) A quelle famille chimique appartient les éléments Sr, Mo et I ? **1 pt**

Sr : alcalino-terreux

Mo : métal de transition

I : halogène

4) Le ruthénium Ru forme principalement deux types d'ions. Donner la configuration électronique de valence de ces ions et leur degré d'oxydation, en justifiant votre réponse. **1 pt**

La perte des deux électrons 5s donne lieu à la formation d'ions Ru^{2+} (DO = +II), de configuration électronique $[\text{Kr}] 5s^0 4d^6$.

La perte d'un électron supplémentaire donne lieu à la formation d'ions Ru^{3+} (DO = +III), dont la configuration électronique $[\text{Kr}] 5s^0 4d^5$ est particulièrement stable du fait du demi-remplissage de la sous-couche 4d.

5) Le ruthénium peut s'associer au fluor pour former des fluorures (de formule chimique Ru_xF_y), ou des oxydes (de formule chimique Ru_xO_y). Déterminer les formules chimiques de ces deux types de molécules dans lesquelles le ruthénium adopte les degrés d'oxydation déterminés à la question précédente. **1 pt**

Ru^{+II} : fluorure RuF_2 , oxyde RuO .

Ru^{+III} : fluorure RuF_3 , oxyde Ru_2O_3

6) Définir la notion d'électronégativité. Parmi les cinq éléments considérés dans cet exercice, lequel aura l'électronégativité la plus faible ? la plus forte ? *Justifiez votre réponse.* **1 pt**

L'électronégativité est une mesure de l'aptitude des atomes à gagner ou à perdre des électrons lorsqu'ils sont engagés dans une liaison chimique avec un autre atome. Dans la série proposée, Sr a l'électronégativité la plus faible : cet élément se trouve sur la gauche du tableau périodique avec peu d'électrons sur sa couche de valence, il a donc plutôt tendance à les perdre. I a l'électronégativité la plus forte : cet élément se trouve sur la droite du tableau périodique avec une couche de valence presque pleine, il a donc plutôt tendance à gagner des électrons pour la compléter.

GRANDEURS PHYSIQUES (Unités du Système International ou dérivées)

Grandeur	Symbol	Valeur	Unité
vitesse de la lumière	c	$2,9979.10^8$	$m.s^{-1}$
permittivité du vide	ϵ_0	$8,8542.10^{-12}$	$F.m^{-1} (= m^{-3}.kg^{-1}.s^4.A^2)$
constante de Planck	h	$6,6261.10^{-34}$	J.s
charge élémentaire	e	$1,6022.10^{-19}$	C (= s.A)
masse de l'électron	m_e	$9,1094.10^{-31}$	kg
masse du proton	m_p	$1,6726.10^{-27}$	kg
rayon de Bohr	a_0	$0,5292.10^{-10}$	m
constante de Rydberg	R_H	$1,0974.10^7$	m^{-1}
constante d'Avogadro	N_A	$6,0221.10^{23}$	mol^{-1}
constante de Faraday	F	96485	$C.mol^{-1}$
constante des gaz parfaits	R	8,3145	$J.mol^{-1}.K^{-1}$

UNITÉS DU SYSTÈME INTERNATIONAL

Grandeur	[Symbol]	Unité	Nom
longueur	[L]	m	mètre
masse	[M]	kg	kilogramme
temps	[T]	s	seconde
température	[Θ]	K	Kelvin
intensité électrique	[I]	A	Ampère
quantité de matière	[N]	mol	mole
intensité lumineuse	[J]	candela	cd

PRINCIPALES UNITÉS DÉRIVÉES

Grandeur	Unité	Nom	Correspondance
force	N	Newton	$1 N = 1 kg.m.s^{-2}$
énergie	J	Joule	$1 J = 1 N.m$
	cal	calorie	$1 cal = 4,184 J$
	eV	electron-Volt	$1 eV = 1,6022.10^{-19} J$
pression	Pa	Pascal	$1 Pa = 1 N.m^{-2}$
	atm	atmosphère	$1 atm = 1,013.10^5 Pa$
	bar	bar	$1 bar = 10^5 Pa$
	mmHg	mm de mercure	$760 mmHg = 1 atm$
charge électrique	C	Coulomb	$1 C = 1 A.s$
	F	Faraday	$1 F = 96485 C.mol^{-1}$
potentiel électrique	V	Volt	$1 V = 1 N.m.C^{-1}$
capacité électrique	F	Farad	$1 F = 1 C.V^{-1}$
moment dipolaire	D	Debye	$1 D = 3,335.10^{-30} C.m$
volume	l	litre	$1 L = 10^{-3} m^3$
température	°C	degré Celsius	$T [°C] = (T[K] - 273.15)$