

**EXERCICE 1 : SUPERFLUIDITE DE L'HELIUM**

1. • Le document donne la valeur de la constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ .

Sachant que le joule J est l'unité SI de l'énergie, et que la seconde s est l'unité SI du temps, on en déduit que la dimension de h est :  $[h] = [\text{Energie}] \times [\text{temps}]$

Or, la dimension d'une énergie est telle que :

$$[E] = \left[ \frac{1}{2} \text{masse} \cdot \text{vitesse}^2 \right] = \left[ \frac{1}{2} \right] \cdot [\text{masse}] \cdot [\text{vitesse}^2] = 1 \cdot M \cdot (L \cdot T^{-1})^2 = M \cdot L^2 \cdot T^{-2}$$

On peut alors écrire :  $[h] = M \cdot L^2 \cdot T^{-2} \cdot T$

soit finalement :  $[h] = M \cdot L^2 \cdot T^{-1}$

• Le texte du document propose comme critère de discrimination de comparer A à h, ces deux grandeurs ont donc même dimension, et  $[A] = [h] = M \cdot L^2 \cdot T^{-1}$

• En associant la dimension à l'unité SI correspondante, on trouve leur unité en fonction des unités de base du système international à savoir : l'unité commune de h et A est le  $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ .

2. On cherche les puissances intervenant dans l'expression :  $A = a \cdot m^\alpha \cdot \rho^\beta \cdot k_B^\gamma \cdot T^\delta$

On procède par analyse dimensionnelle en s'intéressant dans un premier temps aux dimensions des grandeurs mises en jeu :  $[A] = M \cdot L^2 \cdot T^{-1}$

$$\# [m] = M$$

$$\# [\rho] = M \cdot L^{-3}$$

# La dimension de  $k_B$  est déduite de son unité donnée dans l'énoncé :

$$[k_B] = [E] \cdot \theta^{-1} = M \cdot L^2 \cdot T^{-2} \cdot \theta^{-1}$$

$$\# [T] = \theta$$

Si la relation proposée dans l'énoncé est vérifiée, on a l'équation aux dimensions :

$$[A] = [a] \cdot [m]^\alpha \cdot [\rho]^\beta \cdot [k_B]^\gamma \cdot [T]^\delta$$

$$\text{Soit : } M \cdot L^2 \cdot T^{-1} = 1 \cdot M^\alpha \cdot (M L^{-3})^\beta \cdot (M L^2 T^{-2} \theta^{-1})^\gamma \cdot \theta^\delta$$

$$\Rightarrow M \cdot L^2 \cdot T^{-1} = M^{\alpha+\beta+\gamma} \cdot L^{-3\beta+2\gamma} \cdot T^{-2\gamma} \cdot \theta^{-\gamma+\delta}$$

Par identification des puissances de chaque dimension, on établit le système :

$$\begin{array}{lcl} \text{pour M :} & \left\{ \begin{array}{l} 1 = \alpha + \beta + \gamma \\ 2 = -3\beta + 2\gamma \end{array} \right. & \begin{array}{l} (1) \\ (2) \end{array} \\ \text{pour L :} & & \\ \text{pour T :} & \left\{ \begin{array}{l} -1 = -2\gamma \\ 0 = -\gamma + \delta \end{array} \right. & \begin{array}{l} (3) \\ (4) \end{array} \end{array} \quad \text{Soit } \left\{ \begin{array}{l} \gamma = 1/2 \quad (\text{d'après (3)}) \\ \delta = \gamma = 1/2 \quad (\text{d'après (4)}) \\ \beta = \frac{2-2\gamma}{-3} = -\frac{1}{3} \quad (\text{d'après (2)}) \\ \alpha = 1 - \beta - \gamma = 5/6 \quad (\text{d'après (1)}) \end{array} \right.$$

$$\text{Finalement : } A = a \cdot m^{5/6} \cdot \rho^{-1/3} \cdot \sqrt{k_B \cdot T} = \frac{a \cdot m^{5/6} \cdot \sqrt{k_B \cdot T}}{\rho^{1/3}}$$

3. D'après le document, la transition de phase a lieu pour  $T = 2,8 \text{ K}$ . Pour évaluer l'ordre de grandeur de A, on pose  $a = 1$  et on utilise les données numériques fournies dans l'énoncé :

$$A = \frac{1 \cdot (6,7 \cdot 10^{-27})^{5/6} \cdot \sqrt{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 2,8}}{146^{1/3}} = 1,8 \cdot 10^{-34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

Or,  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$  : le rapport entre h/A valant 3,7 et étant inférieur à 10, on peut considérer que A est du même ordre de grandeur que h et donc que le phénomène est **d'origine quantique**.

4. Si on calcule l'action en utilisant la masse de l'électron  $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ,

$$\text{On obtient : } \underline{A} = \frac{1 \cdot (9,1 \cdot 10^{-31})^{5/6} \cdot \sqrt{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 2,8}}{146^{1/3}} = 1,1 \cdot 10^{-37} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

Or d'après le début du texte du document fourni, la valeur minimale d'une action est

$$A_{\min} = \frac{h}{4\pi} = 5,3 \cdot 10^{-35} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

On constate donc que la valeur de A obtenue en utilisant la masse de l'électron est plus petite que  $A_{\min}$ , ce qui est impossible. **Le phénomène de superfluidité n'est donc pas dû au cortège électronique.**

## EXERCICE 2 – AUTOUR DU SODIUM

1. Dans le vide, les longueurs d'onde comprises :

# entre 10 nm et 400 nm correspondent aux **ultraviolets** : c'est le cas de la raie située à **330,3 nm** ;

# entre 400 nm et 800 nm correspondent à la lumière **visible** : c'est le cas des raies situées à **568,8 nm**, **589,0/589,6 nm** et **615,4 nm** ;

# entre 800 nm et 1 mm correspondent aux **infrarouges** : c'est le cas des raies situées à **819,5 nm** et **1138,2 nm**.

2. • L'état fondamental est le **niveau de plus basse énergie de l'atome** (niveau  $n = 1$ ).  
• Les états excités sont les **niveaux dont l'énergie est supérieure à l'énergie de l'état fondamental** (niveaux  $n = 2$ ,  $n = 3$ ,  $n = 4$ ,  $n = 5$  et niveau d'énergie  $E = 0 \text{ eV}$ ).  
• L'état ionisé est un état excité particulier, associé au **niveau d'énergie  $E = 0 \text{ eV}$** . Dans cet état, un électron a été arraché de l'atome, cet électron se trouvant immobile à l'infini du noyau.

3. Ce diagramme montre que **les niveaux d'énergie de l'atome de sodium sont quantifiés**, c'est-à-dire qu'ils ne peuvent prendre que des valeurs discrètes d'énergie.

Or, le postulat de Bohr affirme que **chaque raie du spectre d'émission de l'atome de sodium est associée à une transition entre deux niveaux d'énergie**. Le nombre de niveaux d'énergie de l'atome de sodium étant limité, il en sera de même pour le nombre de transitions possibles et donc, cela justifie que **le spectre d'émission de l'atome de sodium ne contienne qu'un nombre limité de raies** : c'est ce qu'on qualifie de spectre discontinu.

4. D'après la relation de Planck-Einstein, on associe à la radiation de longueur d'onde  $\lambda = 589,0 \text{ nm}$  un photon transportant l'énergie  $E_{\text{photon}}$  telle que :

$$E_{\text{photon}} = h \times \frac{c}{\lambda} \quad \text{avec } c \text{ la célérité de la lumière dans le vide.}$$

Or, l'énergie  $E_{\text{photon}}$  transportée par ce photon correspond à la variation d'énergie  $\Delta E_1$  subie par l'atome lors de la transition correspondante. On en déduit donc que :

$$\Delta E_1 = E_{\text{photon}} \quad \leftrightarrow \quad \boxed{\Delta E_1 = h \times \frac{c}{\lambda}}$$

$$\underline{AN} \rightarrow \Delta E_1 \text{ (en Joules)} = 6,63 \cdot 10^{-34} \times \frac{3,00 \cdot 10^8}{589,0 \cdot 10^{-9}} \quad \text{soit } \Delta E_1 = 3,38 \cdot 10^{-19} \text{ J (calcul inutile)}$$

$$\underline{AN} \rightarrow \Delta E_1 \text{ (en eV)} = 6,63 \cdot 10^{-34} \times \frac{3,00 \cdot 10^8}{589,0 \cdot 10^{-9}} \times \frac{1}{1,60 \cdot 10^{-19}} \quad \text{soit } \underline{\Delta E_1 = 2,11 \text{ eV}}$$

5. On constate que cette variation d'énergie  $\Delta E_1$  **correspond exactement à la différence entre l'énergie du niveau  $n = 2$  et l'énergie du niveau  $n = 1$**  (en effet,  $\Delta E_1 = E_2 - E_1 = -3,03 - (-5,14)$ ).

La longueur d'onde  $\lambda = 589,0 \text{ nm}$  correspond donc à une transition **depuis le niveau  $n = 2$  vers le niveau  $n = 1$**  (c'est une transition descendante car il s'agit d'une raie d'émission).

6. Pour établir la configuration électronique d'un atome dans son état fondamental, on considère :

- \* le numéro atomique  $Z$  donnant le nombre de protons dans le noyau de l'atome ; or, un atome isolé étant électriquement neutre,  **$Z$  représente aussi le nombre d'électrons du nuage électronique** (ici,  $Z = 11$ ) ;
- \* ces 11 électrons se répartissent dans les **sous-couches électroniques par ordre croissant d'énergie** ;
- \* Il y a au maximum **2 e- par sous-couche s, 6 par sous-couche p et 10 par sous-couche d**.

**Conclusion** : La configuration électronique du sodium est :  **$[\text{Na}] = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$**

7. Les électrons de valence sont ceux appartenant aux **sous-couches caractérisées par le nombre quantique principal le plus grand** et ceux appartenant à des **sous-couches non saturées** (= non entièrement remplies) :

**Conclusion** : Pour le sodium, **il n'y a qu'un seul électron de valence**, celui présent sur la sous-couche 3s.

8. D'après la question précédente, la configuration électronique de valence du sodium est  $3s^1$ . Elle est donc du type «  $ns^x$  » avec  $n = 3$  et  $x = 1$ . On en déduit donc que le sodium appartient :

# au **bloc s** car sa **sous-couche 3s est en cours de remplissage** ;

# à la **3<sup>ème</sup> période du tableau périodique** car  **$n = 3$**  ;

# à la **1<sup>ère</sup> colonne du bloc s** car  **$x = 1$** , ce qui correspond aussi à la **1<sup>ère</sup> colonne du tableau périodique** puisque le bloc s est le bloc le plus à gauche du tableau.

9. Pour devenir stable, un atome perd ou gagne autant d'électrons que nécessaire pour se transformer en un **ion isoélectronique** (c'est-à-dire de même configuration électronique) **du gaz noble le plus proche** dans la classification périodique des éléments.

Dans le cas du sodium ( $Z = 11$ ), le gaz noble le plus proche est le néon ( $Z = 10$ ) dont la configuration électronique est  $1s^2 2s^2 2p^6$ . **L'atome de sodium va donc perdre un électron** pour se transformer en **ion  $\text{Na}^+$**  de même configuration électronique que le néon.

---

10. Le sélénium appartient à la 4<sup>ème</sup> période et la 16<sup>ème</sup> colonne du tableau périodique. Or, le tableau périodique est constitué de 2 colonnes du bloc « s », suivies des 10 colonnes du bloc « d », suivies des 6 colonnes du bloc « p » : on en déduit donc que **le sélénium appartient à la 4<sup>ème</sup> colonne du bloc p**.

Comme tout élément appartenant au bloc « p », sa configuration électronique de valence est du type «  $ns^2 np^x$  » avec :

# n correspondant au numéro de la ligne du tableau périodique à laquelle appartient le sélénium :  **$n = 4$**  ;

# x correspond au numéro de la colonne du bloc p à laquelle appartient le sélénium :  **$x = 4$** .

**Conclusion** : La configuration électronique de valence du sélénium est donc  **$4s^2 4p^4$** .

---

11. On raisonne comme à la question 9. : dans le cas du sélénium, le gaz noble le plus proche est le krypton dont la configuration électronique de valence est  $4s^2 4p^6$ . **L'atome de sélénium va donc gagner deux électrons** pour se transformer en **ion  $\text{Se}^{2-}$**  de même configuration électronique que le krypton.

Autre raisonnement possible (plus long) :

Le sélénium va former un ion du même type que le premier élément de sa famille (à savoir l'oxygène). Comme ces deux éléments appartiennent à la même famille, l'oxygène a une configuration électronique de valence du même type que le sélénium, c'est-à-dire  $ns^2 np^4$  avec une valeur de n la plus petite possible, soit  $n = 2$  puisque la sous-couche 1p n'existe pas. On en déduit donc que la configuration électronique complète de l'oxygène est  **$[\text{N}] = 1s^2 2s^2 2p^4$** .

Afin d'acquérir la structure électronique du gaz noble le plus proche (ici, le néon de numéro atomique  $Z = 10$ ), cet élément va donc gagner 2 électrons et former l'ion  **$\text{O}^{2-}$** .

Le sélénium appartenant à la même famille, lui aussi pourra conduire à la formation d'un ion portant 2 charges négatives, c'est-à-dire l'ion  **$\text{Se}^{2-}$** . Cet ion a d'ailleurs une configuration électronique de valence  $4s^2 4p^6$  qui est la même que celle du krypton (gaz noble le plus proche de l'arsenic).

NB : il existe d'autres ions stables issus du sélénium comme  $\text{Se}^{2+}$ ,  $\text{Se}^{4+}$  et  $\text{Se}^{6+}$ , mais les règles justifiant leur obtention ne sont pas au programme de BCPST.