

BCPST 1 A-C : Devoir Surveillé n°1
- CHIMIE – ANALYSE DIMENSIONNELLE -
Mercredi 25 Septembre 2024 – 1h

Usage de la calculatrice : autorisé

Toute réponse doit être justifiée.
On attend un résultat littéral préalablement à toute application numérique.
Tout résultat final doit être mis en valeur.
Ne pas restituer l'énoncé avec la copie.

EXERCICE 1 : SUPERFLUIDITE DE L'HELIUM

(20 MINUTES)

D'après « Quantique : rudiments » de Jean-Marc Lévy-Leblond, Françoise Balibar (Dunod, 2007)

Un grand nombre de phénomènes physiques peuvent être expliqués par la mécanique classique, alors que d'autres nécessitent au contraire de faire appel à la mécanique quantique afin de rendre compte de leur comportement.

Afin de distinguer ces situations, on peut définir « l'action » du phénomène étudié, notée A . Afin de voir si la mécanique quantique est indispensable pour décrire le phénomène examiné, il convient de comparer l'action caractéristique dudit phénomène avec la valeur de la constante de Planck h . Si l'action est très supérieure à h ($A \gg h$), la mécanique classique est suffisante. Si en revanche cette action est du même ordre de grandeur que h , le phénomène doit être analysé via la mécanique quantique.

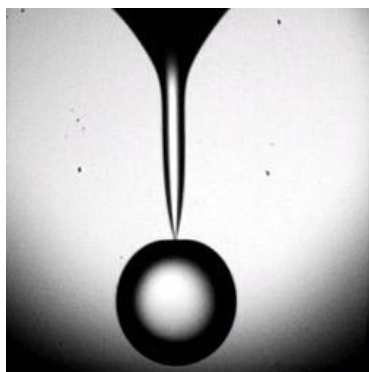
On admettra qu'en raison du principe d'incertitude de Heisenberg, la valeur minimale d'une action est :

$$A_{min} = \frac{h}{4\pi}$$

La constante de Planck est $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

1. Donner en justifiant soigneusement les dimensions de h et d'une action A , ainsi que leurs unités exprimées en fonction des unités de base du système international.

On se propose d'étudier la superfluidité de l'hélium He. A pression ordinaire, l'hélium se liquéfie à la température $T = 4,2 \text{ K}$. Il subit une transition de phase à $T = 2,8 \text{ K}$ qui lui confère une propriété tout à fait remarquable : il devient superfluide, c'est-à-dire qu'il s'écoule avec une viscosité nulle.



*A magnified view
of a superfluid helium-4 droplet
(Physics Dpt, U. of California)*



*Effet thermomécanique dans l'hélium
superfluide : fontaine d'hélium créée par
l'échauffement de l'hélium superfluide*

2. On suppose que l'action A caractéristique d'un atome d'hélium supercritique peut s'exprimer en fonction de sa masse m , de sa masse volumique ρ , de la constante de Boltzmann k_B et de la température absolue T sous la forme :

$$A = a \cdot m^\alpha \cdot \rho^\beta \cdot k_B^\gamma \cdot T^\delta \quad \text{avec } a \text{ une constante sans dimension.}$$

Déterminer α , β , γ , et δ .

Données :

Constante de Boltzmann $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

Masse d'un atome d'hélium $m = 6,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Masse volumique de l'hélium liquide $\rho = 146 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

3. Faire l'A.N. pour cette action A (en prenant le coefficient de proportionnalité $a = 1$) et conclure.
4. Dans cette estimation, nous avons utilisé la masse des atomes d'hélium, ce qui suppose implicitement que ce phénomène provient de l'atome lui-même. Si nous avions supposé que ce phénomène résulte du comportement des électrons ($m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$), quel aurait été l'ordre de grandeur de A ? Conclure sur l'origine atomique ou électronique de la superfluidité.

EXERCICE 2 – AUTOUR DU SODIUM

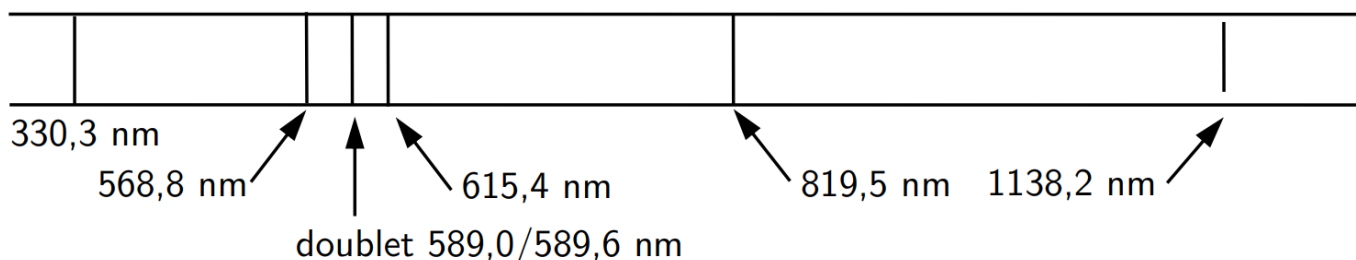
(40 MINUTES)

Données numériques :

- Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
- Célérité de la lumière : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Conversion : $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

On utilise les lampes à vapeur de sodium pour éclairer des tunnels routiers. Ces lampes contiennent de la vapeur de sodium à très faible pression et, après excitation par une décharge électrique, émettent surtout de la lumière jaune.

L'analyse du spectre d'émission d'une lampe à vapeur de sodium (voir ci-dessous) révèle la présence de raies dont la longueur d'onde λ dans le vide est bien définie.



1. Attribuer à chaque longueur d'onde un domaine du spectre électromagnétique.

On donne ci-contre le diagramme simplifié des niveaux d'énergie de l'atome de sodium.

2. Qu'appelle-t-on état fondamental, états excités et état ionisé ?
3. Comment ce diagramme permet-il de justifier la discontinuité du spectre d'émission d'une lampe à vapeur de sodium ?

On considère la raie jaune du doublet du sodium de longueur d'onde $\lambda = 589,0 \text{ nm}$.

4. À quelle variation d'énergie de l'atome ΔE_1 (en eV) correspond l'émission de cette radiation ?
5. En déduire entre quels niveaux se fait la transition correspondante.

Le noyau ${}^{23}_{11}\text{Na}$ est le seul isotope stable du sodium.

6. Donner la configuration électronique d'un atome isolé de sodium dans son état fondamental.
7. En déduire le nombre d'électrons de valence du sodium.
8. Repérer le sodium dans le tableau périodique en précisant la période, le bloc et la colonne auxquels il appartient.
9. Donner la formule de l'ion stable formé par un atome de sodium.

Le sodium peut être associé au sélénium dans un composé ionique appelé séléniure de sodium, notamment utilisé comme agent de blanchiment dans l'industrie textile ou pour donner de la couleur aux glaçures, verres et émaux. Le sélénium appartient à la 4^{ème} période et à la 16^{ème} colonne du tableau périodique.

10. Déterminer la configuration électronique de valence de l'atome de sélénium (Se) dans son état fondamental.
11. L'ion séléniure est l'ion stable le plus probable formé à partir d'un atome de sélénium. Déterminer sa formule.

