TS3 - Physique-Chimie
Devoir en classe n°9 - Durée : 2h
Proposition de correction

EXERCICE I : OPTIQUE ATOMIQUE (8 POINTS)

1. Extrait de la thèse publiée par Louis de Broglie en 1924

1.1. Énergie E d'un photon de fréquence ν : $\boxed{E = h \cdot \nu}$ La constante de Planck s'exprime en $\mathrm{J \cdot s}$ puisque l'énergie s'exprime en joules et la fréquence en hertz (correspondant à l'inverse de la seconde).

1.2. Quantité de mouvement p d'un photon : $\boxed{p = \dfrac{h}{\lambda}}$

1.3. Cette relation, valable à priori pour une onde électromagnétique, a été généralisée par Louis de Broglie à toute particule de masse m animée d'une vitesse v pour laquelle la quantité de mouvement est donnée par $p = m \cdot v$. La relation en résultant est donc $\boxed{p = m \cdot v = \dfrac{h}{\lambda}}$

2. Interférences avec des particules de matière (expérience A)

2.1. Vitesse des atomes de néon de l'expérience A : $v_{\text{atome}} = 1,3\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$
Vitesse d'un photon : $c = 3,00 \cdot 10^8\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$
On remarque ainsi qu'un photon est environ 200 millions de fois plus rapide que l'un de ces atomes de néon, qui peuvent donc être considérés comme très lents.

2.2. D'après **1.3**, on a $m \cdot v = \dfrac{h}{\lambda}$ d'où $\lambda = \dfrac{h}{m \cdot v} = \dfrac{6,626 \cdot 10^{-34}}{20 \times 1,67 \cdot 10^{-27} \times 1,3} = 1,5 \cdot 10^{-8}\ \mathrm{m} = 15\ \mathrm{nm}$

2.3. L'interfrange i est la distance, mesurée sur l'écran, entre le centre de deux franges consécutives (franges « sombres » pour les zones où il n'y que très peu d'atomes, franges « brillantes » pour les zones présentant une forte densité d'atomes). D'après le **document 2**, 3 interfranges valent environ $3 \cdot i = 2,15$ cm à l'échelle du document sur lequel 1 cm en réalité est représenté par 3,1 cm. L'interfrange i vaut donc $i = \dfrac{2,15}{3 \times 3,1} = 0,23\ \mathrm{cm} = 2,3\ \mathrm{mm}$.

Concernant l'incertitude absolue, on peut estimer avoir mesuré l'échelle L au demi millimètre près, de même que la longueur de 3 interfranges. Ainsi, l'incertitude sur $3 \cdot i$ vaut environ $2 \times 0,5 = 1$ mm et celle sur i environ $\dfrac{1}{3}$ de mm d'où $\boxed{i = (2,3 \pm 0,3)\ \mathrm{mm}}$

2.4. Valeur théorique de l'interfrange : $i = \lambda \times \dfrac{D}{a} = 15 \cdot 10^{-9} \times \dfrac{85 \cdot 10^{-2}}{6,0 \cdot 10^{-6}} = 2,1 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m} = 2,1\ \mathrm{mm}$.

Écart relatif entre les valeurs expérimentale et théorique : $\epsilon = \left| \dfrac{i_{exp} - i_{th}}{i_{th}} \right| = \left| \dfrac{2,3 - 2,1}{2,1} \right| \simeq 10\%$

Les deux valeurs sont donc cohérentes même si la précision de la détermination expérimentale mériterait d'être améliorée.

3. Des interférences atomiques, pour quoi faire ?

3.1. D'après la question **1.3**, $m \cdot v = \dfrac{h}{\lambda}$ d'où

$$v = \frac{h}{\lambda \cdot m} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34}}{1,0 \cdot 10^{-6} \times (20 \times 1,67 \cdot 10^{-27})} = 2,0 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}} = 2,0\ \mathrm{cm \cdot s^{-1}}$$

3.2. Les atomes étant lents, ils passent beaucoup de temps dans l'interféromètre par rapport aux photons et le **document 3** indique que cela permet de réaliser diverses mesures avec une très grande précision.

En outre, le domaine spectral s'étend d'environ 1 nm à 1 µm et couvre donc trois ordres de grandeur en termes de longueur d'onde, contrairement au classique domaine visible qui n'en couvre qu'un seul.

Enfin, le **document 3** indique que les techniques microlithographiques, utilisées notamment en micro-électronique, gagnent significativement en précision grâce aux dispositifs à interférences atomiques.

EXERCICE II : DOUBLE VITRAGE ET ISOLATION THERMIQUE (12 points)

1. Espace écocitoyen

1.1. On sait que $J = -\lambda \times S \times \dfrac{T_e - T_i}{e}$ d'où $-R = \dfrac{T_e - T_i}{J} = -\dfrac{e}{\lambda \times S}$ donc $\boxed{R = \dfrac{e}{\lambda \times S}}$

1.2. La résistance thermique R est donc toujours positive, bien entendu.

1.3. Si $T_e < T_i$, alors $T_e - T_i < 0$ et le flux est positif de l'intérieur vers l'extérieur, ce qui est cohérent puisque le milieu extérieur va gagner de l'énergie étant donné qu'il est plus froid. Inversement, si $T_e > T_i$, alors $T_e - T_i > 0$ et le flux est négatif de l'intérieur vers l'extérieur, ce qui signifie que le milieu extérieur cède de l'énergie au milieu intérieur.

1.4. L'unité du flux thermique J dans le système international est le watt de symbole W. Comme nous savons que $R = \dfrac{T_e - T_i}{J}$, alors l'unité de la résistance thermique R est le $\mathrm{K \cdot W^{-1}}$

1.5. D'après le tableau du **document 1**, la valeur de la résistance thermique minimale exigée pour $1\ \mathrm{m^2}$ de plancher bas donnant sur un local non chauffé est $r = 2,0\ \mathrm{m^2 \cdot K \cdot W^{-1}}$. La résistance thermique minimale exigée pour la surface totale de ce plancher est donc $R' = \dfrac{r}{S'} = \dfrac{2,0}{36} = 5,6 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{K \cdot W^{-1}}$.

1.6. D'après le **document 1**, le toit de la maison présente la plus grande part des pertes énergétiques. Il convient donc d'apporter une attention particulière à l'isolation du toit et des combles afin de limiter au maximum les pertes énergétiques.

2. Vitrage simple

2.1. $R = \dfrac{e}{\lambda \cdot S} = \dfrac{5,0 \cdot 10^{-3}}{2,4 \cdot 10^{-2} \times 15} = 1,4 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{K \cdot W^{-1}}$

$J = \dfrac{T_i - T_e}{R} = \dfrac{20 - 5}{1,4 \cdot 10^{-2}} = 1,1 \cdot 10^3\ \mathrm{W} = 1100\ \mathrm{W}$

2.2. La résistance thermique surfacique est donnée par $r_1 = R \times S = 1,4 \cdot 10^{-2} \times 15 = 0,21\ \mathrm{m^2 \cdot K \cdot W^{-1}}$, ce qui est inférieur à la valeur minimale de la réglementation qui est de $0,50\ \mathrm{m^2 \cdot K \cdot W^{-1}}$. Ce simple vitrage est donc un mauvais isolant thermique.

2.3. La valeur de J est relativement élevée : elle correspond à 11 lampes de 100 W ou un radiateur de 1000 W.

2.4. En conservant les mêmes températures, pour diminuer les pertes, donc pour diminuer J, il faut augmenter la résistance thermique R dont l'expression est $R = \dfrac{e}{\lambda \cdot S}$. Pour augmenter cette résistance, on peut augmenter l'épaisseur du vitrage (mais il devient lourd et onéreux) ou en diminuer la surface (mais ce n'est pas très réaliste car cela limite la lumière entrant dans la pièce). Le plus efficace serait donc d'opter pour un matériau (ou une association de matériaux) présentant une plus faible conductivité thermique λ.

3. Double vitrage

3.1. Résistance thermique de la couche d'air : $R_a = \dfrac{e'}{\lambda' \cdot S} = \dfrac{16 \cdot 10^{-3}}{0,025 \times 15} = 4,3 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{K \cdot W^{-1}}$

3.2. D'après l'énoncé, les résistances thermiques s'additionnent donc
$R_d = R_i + R_a + R_i = 2 \cdot R_i + R_a = 2 \times 2,8 \cdot 10^{-4} + 4,3 \cdot 10^{-2} = 4,4 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{K \cdot W^{-1}}$

Pour un mètre carré de surface, on obtient donc
$r = 15 \cdot R_d = 15 \times 4,4 \cdot 10^{-2} = 0,66\ \mathrm{m^2 \cdot K \cdot W^{-1}} > 0,50\ \mathrm{m^2 \cdot K \cdot W^{-1}}$
Ce double vitrage respecte donc le minimum réglementaire.

3.3. Déperditions thermiques à travers le double vitrage : $J = \dfrac{T_i - T_e}{R_d} = \dfrac{20 - 5}{4,4 \cdot 10^{-2}} = 3,4 \cdot 10^2\ \mathrm{W} = 340\ \mathrm{W}$
Les déperditions à travers le double vitrage sont donc environ trois fois plus faibles qu'à travers le simple vitrage étudié précédemment.