Des électrons pour voir le monde

Bac S 2016 Nouvelle-Calédonie rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 À l'aide du texte introductif, indiquer l'ordre de grandeur de la dimension des plus petits détails que l'on peut distinguer avec un microscope optique.

Données utiles texte : deux points sont distingués si leur distance dépasse la moitié de la longueur d'onde du rayonnement incident

Le microscope optique travaille en lumière visible, dont les longueurs d'onde dans le vide vont de $400\ \text{nm}$ à $800\ \text{nm}$ environ.

Le plus petit détail visible a pour taille $d_{\text{opt}} = \dfrac{\lambda}{2}$, soit entre $200\ \text{nm}$ et $400\ \text{nm}$.

Ordre de grandeur : $d_{\text{opt}} \sim 10^{-7}\ \text{m}$ (quelques centaines de nanomètres).

COMPRENDRE
Les limites du visible ne sont pas rappelées dans l'énoncé : elles sont à connaître. Un ordre de grandeur est une puissance de dix, pas un encadrement.

2.1 Montrer que, dans les conditions de fonctionnement du MEB, le poids de l'électron est négligeable devant la force électrique.

Données utiles $m = 9{,}1 \times 10^{-31}\ \text{kg}$; $e = 1{,}60 \times 10^{-19}\ \text{C}$; $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$; $E = 10{,}0\ \text{kV} \cdot \text{m}^{-1} = 10{,}0 \times 10^{3}\ \text{V} \cdot \text{m}^{-1}$

Poids de l'électron : $P = m\,g$. Force électrique : $\overrightarrow{F_e} = -e\,\overrightarrow{E}$, de valeur $F_e = e\,E$.

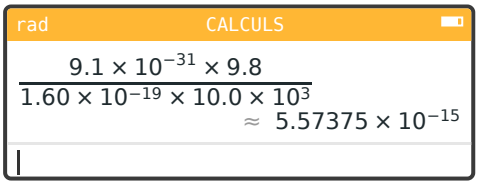
$$\frac{P}{F_e} = \frac{m\,g}{e\,E} = \frac{9{,}1 \times 10^{-31} \times 9{,}8}{1{,}60 \times 10^{-19} \times 10{,}0 \times 10^{3}} = 5{,}6 \times 10^{-15}$$

$\dfrac{P}{F_e} = 5{,}6 \times 10^{-15} \ll 1$: le poids est négligeable devant la force électrique.

PIÈGE
Laisser E en $\text{kV} \cdot \text{m}^{-1}$: il faut $1{,}00 \times 10^{4}\ \text{V} \cdot \text{m}^{-1}$. Comparer deux forces, c'est calculer leur rapport, pas seulement donner deux valeurs.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme m et g, les données les moins précises. Séparément : $P = 8{,}9 \times 10^{-30}\ \text{N}$ et $F_e = 1{,}60 \times 10^{-15}\ \text{N}$.

À LA CALCULATRICE



2.2 Quel phénomène évoqué dans le texte introductif illustre le comportement ondulatoire des électrons ?

Le texte indique que le faisceau, y compris le faisceau d'électrons du MEB, subit une diffraction qui limite le pouvoir de résolution. Or la diffraction est caractéristique des ondes.

La **diffraction** du faisceau d'électrons illustre leur comportement ondulatoire.

2.3 Exprimer la quantité de mouvement p d'un électron en fonction de la longueur d'onde de de Broglie λ, puis montrer que $\lambda = \dfrac{h}{\sqrt{2\,m\,E_c}}$.

Relation de de Broglie : $p = \dfrac{h}{\lambda}$, donc $\lambda = \dfrac{h}{p}$.

Pour un électron de masse m et de vitesse v : $p = m\,v$ et $E_c = \dfrac{1}{2}\,m\,v^2$.

Alors $p^2 = m^2v^2 = 2\,m \times \dfrac{1}{2}\,m\,v^2 = 2\,m\,E_c$, soit $p = \sqrt{2\,m\,E_c}$.

$$p = \frac{h}{\lambda} \text{ et } \lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2\,m\,E_c}}$$

COMPRENDRE
La relation de de Broglie et les ondes de matière figuraient au programme de Terminale S ; elles ne sont plus au programme actuel de spécialité.

MÉTHODE
Pour relier p et E_c sans faire apparaître v, calculer p^2 : on obtient $p^2 = 2\,m\,E_c$. C'est plus court que d'isoler v puis de le remplacer.

2.4 Comparer la taille des plus petits détails observables avec ce MEB à celle des détails observés avec un microscope optique.

Données utiles $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $m = 9{,}1 \times 10^{-31}$ kg ; $E_c = 1{,}6 \times 10^{-15}$ J ; MEB : distance minimale d'environ $50\,\lambda$; $d_{\text{opt}} \approx 2 \times 10^{-7}$ m au mieux (Q1)

Plus petit détail observable au MEB : $d_{\text{MEB}} = 50\,\lambda = \dfrac{50\,h}{\sqrt{2\,m\,E_c}}$

$$d_{\text{MEB}} = \frac{50 \times 6{,}63 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 9{,}1 \times 10^{-31} \times 1{,}6 \times 10^{-15}}} = 6{,}1 \times 10^{-10}\ \text{m}$$

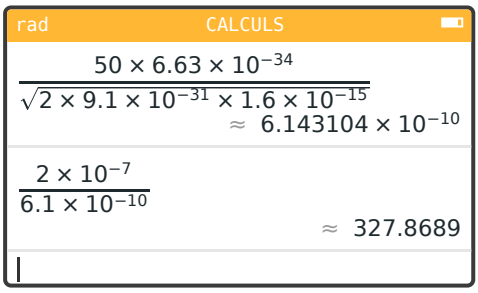
Comparaison avec le microscope optique : $\dfrac{d_{\text{opt}}}{d_{\text{MEB}}} = \dfrac{2 \times 10^{-7}}{6{,}1 \times 10^{-10}} \approx 3 \times 10^2$

$d_{\text{MEB}} = 6{,}1 \times 10^{-10}$ m, soit environ $0{,}6$ nm : des détails plusieurs centaines de fois plus petits qu'au microscope optique.

PIÈGE
Oublier le facteur 50 et annoncer $\lambda = 1{,}2 \times 10^{-11}$ m comme taille du plus petit détail. « Comparer » demande un rapport chiffré.

COMPRENDRE
En ordres de grandeur : 10^{-9} m pour le MEB contre 10^{-7} m pour l'optique, soit un facteur 100. Les deux formulations sont acceptées.

À LA CALCULATRICE



2.5 Pourquoi faut-il un MEB et non un microscope optique pour observer les détails de la surface des bactéries représentés sur la photo ?

Données utiles figure 1 : segment d'échelle de 200 nm ; $d_{\text{opt}} \geq 200$ nm (Q1) ; $d_{\text{MEB}} \approx 0{,}6$ nm (Q2.4)

D'après l'échelle de la figure 1, une bactérie mesure environ $2\ \mu$m de long, mais les reliefs de sa surface sont nettement plus petits que le segment de 200 nm : quelques dizaines de nanomètres.

Ces détails sont plus petits que la limite du microscope optique (200 nm au mieux) et bien plus grands que celle du MEB ($0{,}6$ nm).

Le microscope optique montrerait les bactéries mais pas les détails de leur surface, trop fins pour lui ; seul le MEB les distingue.

MÉTHODE
Pour justifier le choix d'un instrument, estimer la taille de l'objet avec l'échelle du document, puis la comparer à la limite de résolution de chaque instrument.

2.6 Indiquer un paramètre expérimental que l'on peut modifier pour améliorer le pouvoir de résolution du MEB.

Améliorer la résolution, c'est diminuer $d_{\text{MEB}} = 50\,\lambda$, donc diminuer $\lambda = \dfrac{h}{\sqrt{2\,m\,E_c}}$: il faut augmenter l'énergie cinétique E_c des électrons.

Cette énergie est fournie par la force électrique pendant l'accélération : elle croît avec la valeur E du champ.

> On augmente la valeur E du champ électrique accélérateur (ou la distance d'accélération d_1).

COMPRENDRE

Le travail de la force électrique sur la distance d_1 vaut $e\,E\,d_1 = 1{,}6 \times 10^{-15}$ J : c'est exactement l'énergie cinétique donnée par l'énoncé.