

AMÉRIQUE DU NORD 2014 - EX 1

Ondes & particules (6 pts)

Si l'on parvient à établir la correspondance entre ondes et corpuscules pour la matière, peut-être sera-t-elle identique à celle qu'on doit admettre entre ondes et corpuscules pour la lumière ? Alors on aura atteint un très beau résultat : une doctrine générale qui établira la même corrélation entre ondes et corpuscules, aussi bien dans le domaine de la lumière que dans celui de la matière.

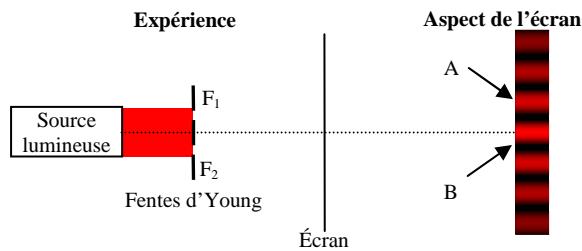
D'après Notice sur les travaux scientifiques, de Louis de Broglie, 1931

Données numériques :

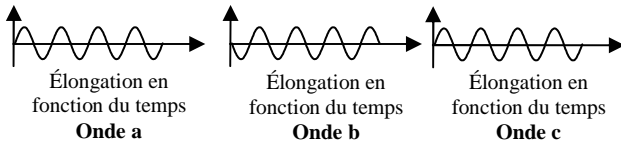
- Masse d'un électron : $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg
- Charge élémentaire : $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C
- Constante de Planck : $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ J·s
- Vitesse de propagation de la lumière dans le vide : $c = 3,0 \cdot 10^8$ m·s⁻¹

Partie 1 : Expérience des fentes d'Young

Au début du XIXe siècle, Thomas Young éclaire deux fentes F_1 , F_2 fines et parallèles (appelés fentes d'Young) à l'aide d'une source lumineuse monochromatique. On observe sur un écran des franges brillantes et des franges sombres. L'aspect de l'écran est représenté ci-dessous.



1. Qualifier les interférences en A et en B.
2. Ci-dessous sont représentées les évolutions temporelles de l'élongation de trois ondes (a), (b) et (c). Choisir en justifiant, les deux ondes qui interfèrent en A et les deux ondes qui interfèrent en B permettant de rendre compte du phénomène observé.



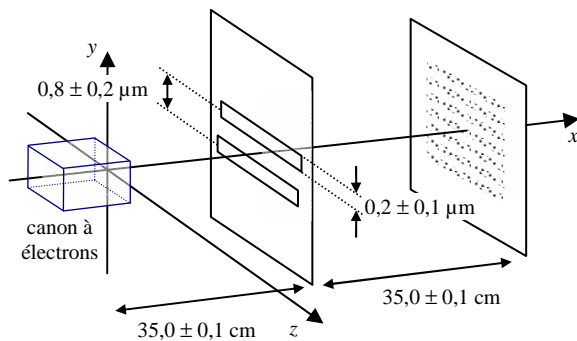
Partie 2 : Particule de matière et onde de matière

1. Expérience des fentes d'Young

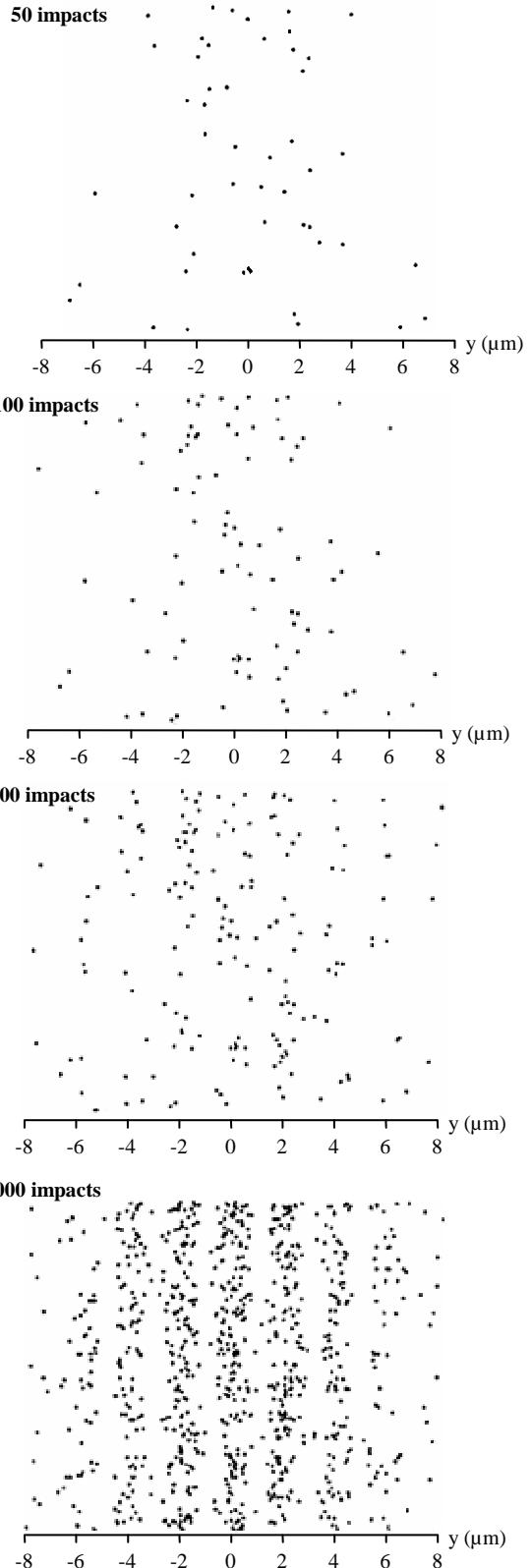
En 1961, Claus Jönsson reproduit l'expérience des fentes d'Young en remplaçant la source lumineuse par un canon à électrons émettant des électrons, de mêmes caractéristiques, un à un. L'impact des électrons sur l'écran est détecté après leur passage à travers la plaque percée de deux fentes.

- Répondre aux questions suivantes à partir des documents 1 et 2.
- 1.1. Peut-on prévoir la position de l'impact d'un électron ? Justifier.
 - 1.2. En quoi cette expérience met-elle en évidence la dualité onde-particule pour l'électron ? Détailler la réponse.

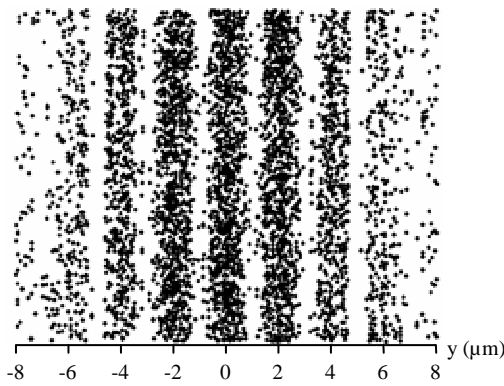
Document 1 : Expérience des fentes d'Young



Document 2 : Impacts des électrons sur l'écran



5000 impacts



2. Longueur d'onde de l'onde de matière associée à un électron

2.1. Passage à travers la plaque percée de deux fentes

Données :

- L'interfrange est donnée par la relation : $i = \frac{\lambda \cdot D}{b}$ où i est l'interfrange, λ la longueur d'onde de l'onde associée à un électron, D la distance entre la plaque et l'écran et b la distance séparant les deux fentes. Toutes ces grandeurs s'expriment en mètres.
- L'incertitude sur la mesure de la longueur d'onde est évaluée par :

$$\Delta\lambda = \lambda \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta i}{i}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2}$$

- Incertitude sur la mesure de l'interfrange : $\Delta i = 0,2 \mu\text{m}$
- Vitesse des électrons : $v = 1,3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

2.1.1. Déterminer la valeur de la longueur d'onde de l'onde de matière associée à un électron et donnée par la relation de de Broglie.

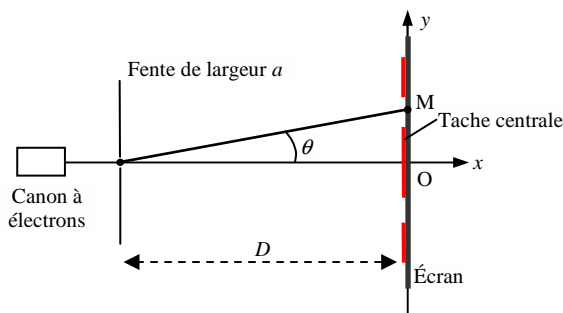
On admettra que cette valeur est connue avec une incertitude égale à $5 \cdot 10^{-13} \text{ m}$.

2.1.2. Vérifier la cohérence des observations expérimentales réalisées avec le résultat précédent.

2.2. Passage à travers une seule fente de la plaque

L'une des deux fentes de la plaque est dorénavant bouchée ; l'autre de largeur $a = 0,2 \mu\text{m}$ est centrée sur l'axe Ox du canon à électrons.

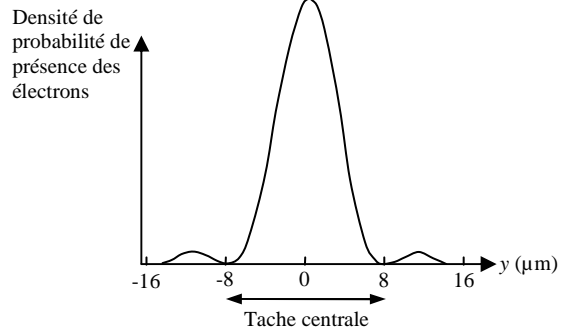
Schéma de l'expérience (vue de coupe)



2.2.1. Quel est le phénomène physique observé ?

2.2.2. À partir du document 3 ci-dessous, déterminer la valeur de l'angle θ , sachant que la distance séparant la fente de l'écran est $D = 35,0 \text{ cm}$. Pour les petits angles, on rappelle que $\tan \theta \approx \theta$.

Document 3 : Densité de probabilité de présence des électrons sur l'écran après passage par la fente



2.2.3. À partir de la valeur de cet angle, retrouver l'ordre de grandeur de la valeur de la longueur d'onde de l'onde de matière associée à un électron.

Correction

Partie 1 : Expérience des fentes d'Young

1.1. En A : constructives ; en B : destructives

1.2. Les ondes qui interfèrent en A sont en phase : onde a et onde c. Celles qui interfèrent en B sont en opposition de phase : onde a et onde b, ou onde c et onde b.

Partie 2 : Particule de matière et onde de matière

1. On voit, d'après les documents 1 et 2, que la position du point d'impact d'un électron peut varier grandement sans changement du dispositif expérimental. Donc on ne peut pas prévoir la position de son impact.

2. On peut observer les impacts des électrons, qui se comportent donc comme des particules. D'autre part, ces impacts forment un motif d'interférence, caractéristique d'une onde. On voit donc que les électrons se comportent comme les deux à la fois.

2.1.1. Relation de de Broglie : $\lambda = h / p$

Or $p = m \cdot v$. On trouve $\lambda_{\text{théorique}} = 5,6 \cdot 10^{-12} \text{ m}$ et $\Delta\lambda_{\text{théorique}} = 5 \cdot 10^{-13}$

2.1.2. On peut déterminer, à partir du document 2, que $i = 2 \mu\text{m}$.

Donc $\lambda_{\text{expérimental}} = b \cdot i / D = 4,6 \cdot 10^{-12} \text{ m}$

Et $\Delta\lambda_{\text{expérimental}} = \lambda \cdot \sqrt{\left(\frac{0,2}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,2}{0,8}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{35}\right)^2} = 1,2 \cdot 10^{-12} \text{ m}$.

Donc $\lambda_{\text{expérimental}} = (4,6 \pm 1,2) \cdot 10^{-12} \text{ m}$.

Si on respecte strictement les règles des chiffres significatifs portant sur l'incertitude : 1 seul CS pour l'incertitude et le dernier CS de la valeur de la mesure doit correspondre au rang du CS de l'incertitude, on doit écrire : $\lambda_{\text{expérimental}} = (5 \pm 1) \cdot 10^{-12} \text{ m}$.

On voit que $5,1 \cdot 10^{-12} \text{ m} \leq \lambda_{\text{théorique}} \leq 6,1 \cdot 10^{-12} \text{ m}$

On voit que $4 \cdot 10^{-12} \text{ m} \leq \lambda_{\text{expérimental}} \leq 6 \cdot 10^{-12} \text{ m}$

Ces deux valeurs sont compatibles car l'intersection des ensembles de valeurs possibles pour chacune n'est pas nulle.

2.2.1. Diffraction

2.2.2. $\tan \theta =$ moitié de la largeur de la tache centrale / D

Or d'après le document 3, la tache centrale a une largeur de $16 \mu\text{m}$

Donc $\tan \theta = 8 \cdot 10^{-6} / 35 \cdot 10^{-2} = 2,3 \cdot 10^{-5} \approx \theta$

2.2.3. On sait que $\theta = \lambda / a$ (voir P3)

Donc $\lambda = a \cdot \theta = 4,6 \cdot 10^{-12} \text{ m}$. Même ordre de grandeur que les valeurs calculées précédemment.