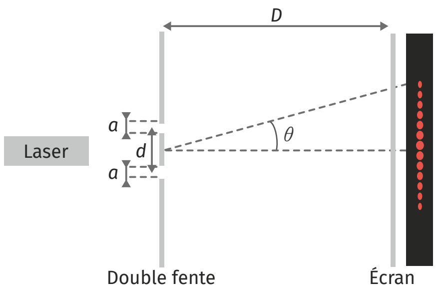
SUJET BAC

4 Fentes de Young

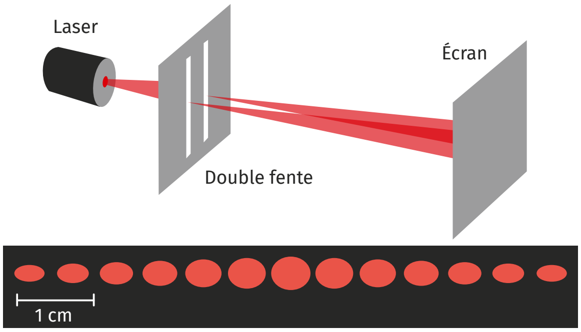
En 1801, le physicien britannique Thomas Young imagine une expérience relativement simple, mais qui marque un tournant dans l'histoire des sciences. Il fait passer un faisceau de lumière à travers deux fentes et observe la figure formée sur un écran placé derrière les fentes. Il démontre ainsi la nature ondulatoire de la lumière.

Cette expérience a une nouvelle fois joué un rôle crucial dans l'histoire de la physique lorsqu'en 1961 le physicien allemand Claus Jönsson réalise exactement la même expérience, mais avec un faisceau d'électrons à la place du faisceau de lumière, démontrant ainsi le comportement ondulatoire des électrons et la dualité onde-particule de la matière.

Doc. 1 Dispositif expérimental



Doc. 3 Figure obtenue à l'écran



Doc. 2 Écart angulaire et interfrange

L'écart angulaire θ est d'autant plus grand que les fentes sont fines. Il est lié à la largeur a des fentes par la formule :

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

La distance i entre deux franges sombres, appelée interfrange, est d'autant plus grande que les fentes sont écartées. Elle est liée à la distance d entre les fentes par la formule :

$$i = \frac{\lambda \cdot D}{a}$$

Donnée

- **Approximation des petits angles :** $\tan(\theta) = \theta$

Questions

1. Fentes de Young pour la lumière

Un laser émettant une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 632$ nm est placé devant une double fente de Young. On place un écran à une distance $D = 2{,}00$ m derrière la double fente. La figure obtenue est montrée sur le **doc. 3**.

1.1 Nommer les deux phénomènes caractéristiques des ondes se produisant ici.

1.2 Indiquer la contribution de chacun des deux phénomènes à la figure obtenue.

1.3 Dans l'approximation des petits angles, exprimer θ en fonction de la distance D entre la double fente et l'écran et r le rayon de la figure obtenue.

1.4 En déduire la distance d entre les fentes.

1.5 Déterminer l'interfrange i le plus précisément possible.

1.6 Déterminer la largeur a des fentes.

Doc. 4 Double fente et électrons

Nous fabriquons un canon à électrons. [...] Tous les électrons qui sortent du canon [ont] (presque) la même énergie. Devant le canon se trouve un mur (juste une mince plaque de métal) percé de deux trous. Au-delà du mur, il y a une autre plaque qui [sert] de « protection ». Nous plaçons un détecteur mobile devant la plaque de protection. Le détecteur peut être un compteur Geiger ou, mieux, un multiplicateur d'électrons connecté à un haut-parleur.

La première chose que l'on remarque avec notre expérience [...] est que tout ce qui arrive à l'arrière-plan arrive en « morceaux ». Tous sont de la même taille et ils arrivent un à la fois. [...] Autrement dit : « Les électrons arrivent toujours par blocs identiques. »

[...] Nous pouvons maintenant chercher [...] la probabilité relative pour qu'un « paquet » électronique arrive en un certain point sur la plaque d'arrêt. [...] Elle est proportionnelle au taux moyen de clics en ce point.

R. Feynman, R. Leighton, M. Sands, *Le cours de physique de Feynman vol. III : mécanique quantique*, 1964.

Doc. 7 Longueur d'onde de de Broglie

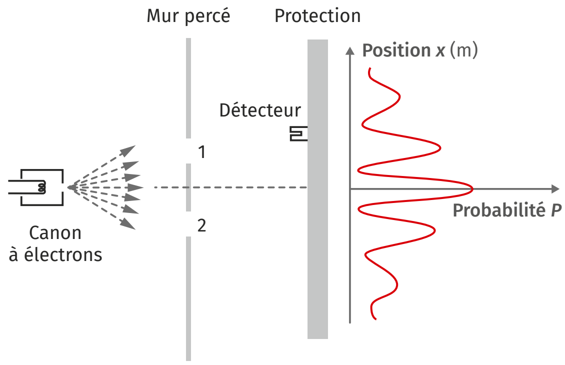
On peut donc concevoir que, par suite d'une grande loi de la Nature, à chaque morceau d'énergie de masse propre m_0, soit lié un phénomène périodique de fréquence ν_0 [...]. Cette hypothèse est la base de notre système : elle vaut, comme toutes les hypothèses, ce que valent les conséquences qu'on [peut en] déduire. Devons-nous supposer le phénomène périodique localisé à l'intérieur du morceau d'énergie ? Cela n'est nullement nécessaire et [...] il est sans doute répandu dans une portion étendue de l'espace. [...]

Si les vitesses sont assez faibles pour permettre de négliger les termes de relativité, la longueur d'onde liée au mouvement d'une molécule dont la vitesse est v [est] :

$$\lambda = \frac{h}{m_0 \cdot v}$$

Louis de Broglie, *Recherches sur la théorie des quanta*, 1924.

Doc. 5 Schéma du dispositif



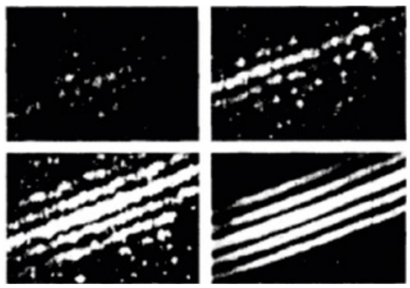
Doc. 6 Expression de l'interfrange

Dans l'expérience de la double fente avec des électrons, l'expression de l'interfrange i peut être employée pour définir la longueur d'onde des électrons :

$$i = \frac{\lambda \cdot D}{a}$$

L'incertitude sur la longueur d'onde $u(\lambda)$ se calcule à l'aide de la relation :

$$\left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{u(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(a)}{a}\right)^2$$



Données

- **Constante de Planck :** $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s
- **Masse de l'électron :** $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg

Questions

2. Fentes de Young pour les électrons

On s'intéresse dans cette partie à l'expérience de la double fente réalisée avec des électrons.

2.1 Préciser en quoi la courbe représentative de P présentée dans le **doc. 5** montre que l'expérience de la double fente donne avec des électrons un résultat identique à ceux obtenus avec un laser (**doc. 3**).

Lors de l'expérience de la double fente, les électrons sortent du canon à électrons avec une vitesse $v_e = 1{,}3 \times 10^8$ m·s^{-1}.

L'écran est situé à une distance $D = 35 \pm 0{,}1$ cm.

Les fentes ont une largeur $a = 0{,}2 \pm 0{,}1$ µm et sont séparées par une distance $l = 0{,}8 \pm 0{,}2$ µm.

2.2 Déterminer la longueur d'onde λ associée à la probabilité de présence de l'électron.

2.3 Déterminer l'incertitude $\Delta\lambda$ sur cette valeur.

2.4 Calculer la valeur de cette longueur d'onde selon la théorie de de Broglie. Vérifier sa cohérence avec la longueur d'onde calculée à partir de l'interfrange.