

1. Introduction par Richard Feynman

L'extrait ci-dessous provient des Cours de physique de Feynman, ouvrage de référence rédigé par le physicien américain, prix Nobel de physique en 1965. Ces premières lignes introduisent le cours de mécanique quantique qu'il donna aux étudiants de première et deuxième année de l'université du Caltech.



La « mécanique quantique » est la description du comportement de la matière et de la lumière dans tous leurs détails et, en particulier, de tout ce qui se passe à l'échelle atomique. A très petite échelle, les choses ne se comportent en rien comme ce dont vous avez une expérience directe. Elles ne se comportent pas comme des ondes, elles ne se comportent pas comme des particules, elles ne se comportent pas comme des nuages, ni comme des boules de billard, ni comme des poids sur une corde, ni comme rien que vous ayez jamais vu.

Newton pensait que la lumière était faite de particules, mais on découvrit ensuite qu'elle se comportait comme une onde. Plus tard, cependant (au début du vingtième siècle), on trouva que la lumière se comportait quelquefois comme une particule. Historiquement, l'électron, par exemple, fut d'abord supposé se comporter comme une particule, puis on trouva qu'il se comportait en plusieurs points comme une onde. Il ne se comporte donc réellement ni comme l'une, ni comme l'autre. A l'heure actuelle nous avons abandonné ce dilemme et nous disons : « il n'est ni l'une ni l'autre ».

Il y a heureusement une issue : les électrons se comportent exactement comme la lumière. Le comportement quantique des objets atomiques (électrons, protons, neutrons, photons, etc.) est le même pour tous, ce sont tous des « ondes-particules » ou comme vous voudrez les appeler. Ainsi, ce que nous apprenons sur les propriétés de l'électron (et que nous utiliserons pour nos exemples) s'appliquera également à toutes les « particules », y compris les photons de la lumière.

L'accumulation progressive d'information sur le comportement microscopique et atomique, durant le premier quart de ce siècle donna quelques indications sur la façon dont les petits objets se comportent, mais produisit une confusion croissante qui fut finalement résolue en 1926 et 1927 par Schrödinger, Heisenberg et Born. Ils obtinrent une description cohérente du comportement de la matière à petite échelle. Dans ce chapitre nous allons nous occuper des caractéristiques principales de cette description.

Le comportement atomique étant tout à fait différent de notre expérience quotidienne, il est très difficile de s'y habituer et il apparaît singulier et mystérieux à tout le monde – aussi bien au physicien expérimenté qu'au novice. Même les experts ne le comprennent pas de la façon dont ils le voudraient et c'est parfaitement normal qu'il en soit ainsi, puisque toute expérience humaine directe, et toute intuition humaine s'appliquent à de grands objets. Nous savons ce que font les grands objets mais à petite échelle les choses ne font rien de la même façon. C'est pourquoi nous ne pouvons plus rien apprendre d'elles par notre expérience immédiate, mais seulement en faisant appel à l'abstraction et à l'imagination.

2. L'électron sous ses 2 facettes

Données numériques :

Masse d'un électron : $m_e = 9,1 \times 10^{-31}$ kg

Charge élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C

Constante de Planck : $h = 6,6 \times 10^{-34}$ J.s

Vitesse de propagation de la lumière dans le vide : $c = 3,0 \times 10^8$ m.s⁻¹



<https://bit.ly/VIDdual>

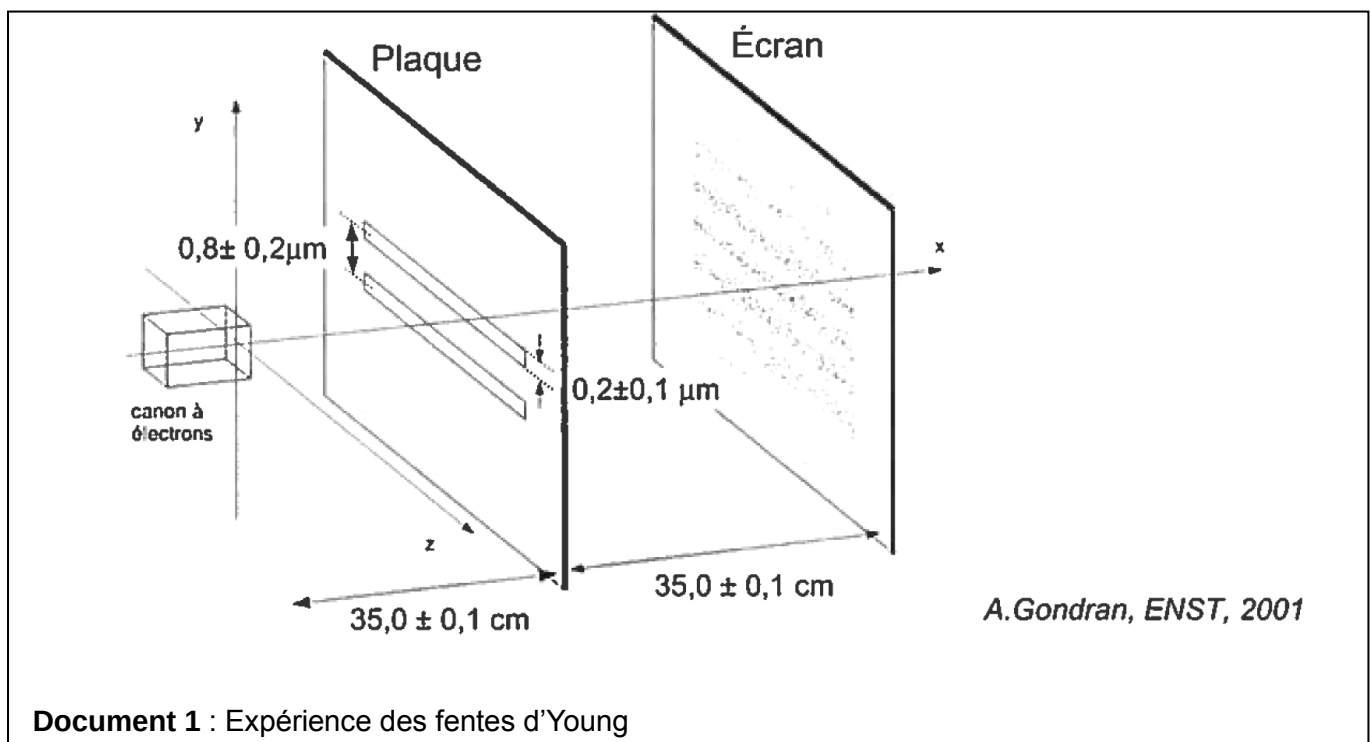
1. Expérience des fentes d'Young

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 1,2 et 2 de la vidéo en lien ci-dessus.

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

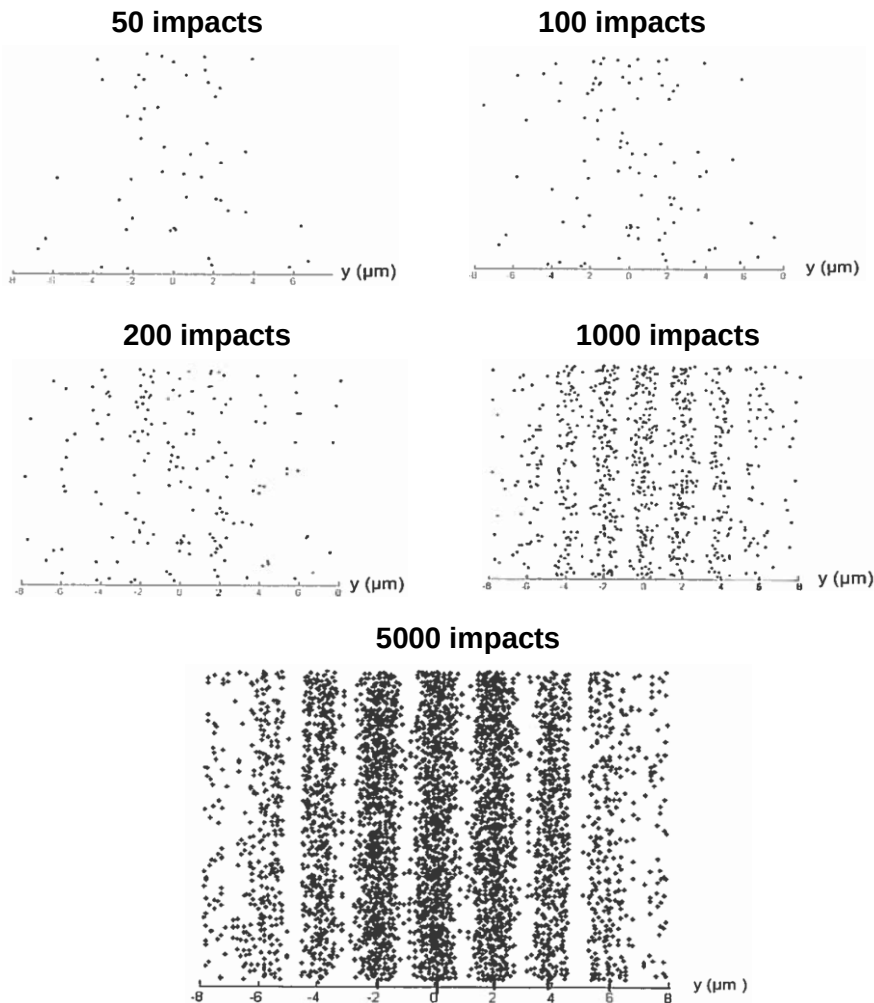
2. Longueur d'onde de l'onde de matière associée à un électron

2.1. Passage à travers la plaque percée de deux fentes

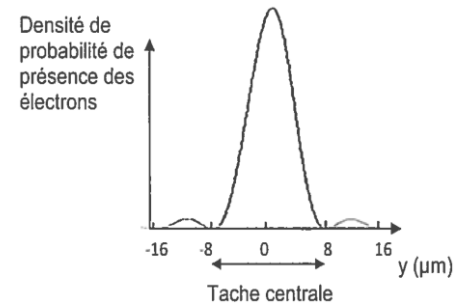
Données :

- L'interfrange est donné 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 : $\Delta\lambda = \lambda \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta i}{i}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2}$
- Incertainitude sur la mesure de l'interfrange : $\Delta i = 0,2 \mu\text{m}$
- Vitesse des électrons : $v = 1,3 \times 10^8$ m.s⁻¹

Document 2 : Impacts des électrons sur l'écran



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



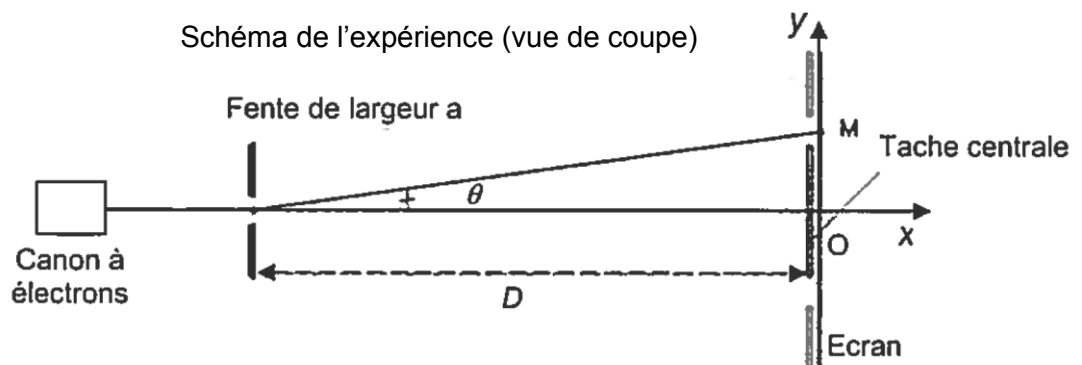
2.1.1. Déterminer la valeur de la longueur d'onde de l'onde de matière associée à un électron. On admettra que cette valeur est connue avec une incertitude égale à 5×10^{-13} m.

Donnée : la **relation de de Broglie** associant une onde de longueur d'onde λ à toute particule en mouvement s'écrit : $p = h / \lambda$ avec $p = m_e \cdot v$ (quantité de mouvement de la particule).

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.



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 $D = 35,0$ cm. Pour les petits angles, on rappelle que $\tan \theta \approx \theta$.

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.