

L'expérience des fentes d'Young a prouvé que la lumière se propage comme une onde, mais les expérimentations du début du XX^e siècle ont montré qu'elle est aussi constituée de particules : les photons.

Un modèle probabiliste

Comment expliquer les résultats de l'expérience des fentes faite d'Young en termes de particules ?

L'un des modèles qui nous permet de nous faire comprendre ces phénomènes repose sur les ondes de probabilité.

Si on considère des photons, et que les fentes sont extrêmement petites, on obtient alors une figure de diffraction. Tout se passe comme si une onde était associée à chaque photon. Les ondes issues des photons interagissent et forment une figure de diffraction. On peut interpréter ce schéma comme étant probabiliste dans la mesure où les photons ont plus de chance d'atterrir aux endroits où les ondes interfèrent pour produire des pics, que là où elles s'annulent mutuellement. Reste qu'il n'existe aucun moyen de savoir à l'avance où un photon va atterrir. Le phénomène est déjà très surprenant avec des photons; il l'est encore davantage avec des électrons.

Ondes et particules

Il devint de plus en plus évident que la lumière, considérée jusqu'alors comme une onde, est à la fois onde et particule. Au début des années vingt, le physicien français Louis de Broglie suggéra que les électrons étaient bien des particules mais aussi des ondes. Il avança même que tout objet possédait ce caractère dual, mais que le caractère ondulatoire associé aux «objets» du quotidien ne se manifestait pas, vu la très grande masse de ces objets.

S'inspirant des travaux d'Einstein, de Broglie établit une équation qui liait les propriétés ondulatoire et corpusculaire de la lumière, en stipulant que le produit de la longueur d'onde λ associée à un photon, multiplié par sa quantité de mouvement p (produit de la masse m par la vitesse v) était égal à la constante de Planck h . De Broglie découvrit l'universalité de cette équation, à savoir que toute particule, dotée d'une masse m et d'une vitesse v , a nécessairement une longueur d'onde λ , calculable grâce à cette équation. Einstein adhéra avec enthousiasme à l'hypothèse de Louis de Broglie, et les années vingt virent fleurir les expériences de mesure des longueurs d'onde des électrons. Celles-ci démontrèrent que tout, dans l'Univers, est à la fois onde et particule.

Néanmoins, du fait de la valeur extrêmement faible de la constante de Planck, cet univers reste limité au monde de l'infiniment petit. Puisque l'équation de Louis de Broglie dit que la longueur d'onde λ d'un objet est égale à la constante de Planck h divisé par la quantité de mouvement p , cette longueur d'onde n'est détectable que pour les masses infiniment petites. Il se trouve que la masse de l'électron vaut $9,1 \times 10^{-31}$ kilogramme, la chose est donc faisable.

Extrait de : *La physique quantique* - John GRIBBIN
PEARSON EDUCATION

Questions

1. Quelle est la conclusion à laquelle a abouti l'expérience des fentes d'Young faite avec la lumière ?
2. D'autres expériences ont pu prouver que la lumière possède un autre aspect. Quel est cet aspect ?

3. Comment appelle-t-on les particules qui composent la lumière ? Quel physicien leur a donné ce nom ?
4. Quelle est cette nouvelle physique qui permet d'expliquer les résultats de l'expérience des fentes d'Young ?
5. Pour apporter sa contribution à la physique quantique, en 1924, le physicien français Louis de Broglie propose un nouveau modèle pour relier les propriétés ondulatoires et corpusculaire de la lumière. Quelle est l'équation qui a été proposée par Louis De Broglie ?
6. Louis de Broglie proposa que cette loi soit universelle. En quoi consiste cette universalité ?
7. Des expériences ont pu être réalisées pour valider l'hypothèse de Louis De Broglie. De quelles expériences s'agit-il ?
8. Domaine d'intervention de la physique quantique
 - 8.1. Déterminer la longueur d'onde associée à un électron, animé d'une vitesse de 10^6 m.s^{-1} .
 - 8.2. Déterminer la longueur d'onde associée à un corps de masse $m = 1 \text{ kg}$ et animé d'une vitesse de 1 m.s^{-1} .
 - 8.3. Pourquoi finalement la physique quantique reste-t-elle limitée au monde de l'infiniment petit ?

Données : Masse d'un électron $m_e = 9.10 \times 10^{-31} \text{ kg}$; Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$
9. Quelle conclusion faut-il retenir de ces expériences ?

LES INTERFERENCES AVEC DES ELECTRONS

Bien qu'ils aient été connus des scientifiques avant la fin des années vingt, la dualité onde-particule et l'aspect probabiliste de la physique quantique connurent un nouveau coup de théâtre dans les années quatre-vingts. Une équipe de scientifiques japonais des laboratoires de recherche Hitachi refirent l'expérience des fentes faite par Young, mais avec des électrons. Ceux-ci, lancés un à un, tombaient sur un écran en émettant un point lumineux. L'écran « mémorisait » chaque arrivée, de sorte qu'une image se formait peu à peu, à mesure que les électrons y parvenaient.

Le fait que chaque électron produit un point lumineux prouve bien leur caractère corpusculaire. Mais on fut surpris de voir que l'accumulation de ces points formait une figure très nette, une figure d'interférences. Ainsi, bien que les électrons ne voyagent pas ensemble, ils forment néanmoins le motif caractéristique des ondes qui passent par deux fentes. Tout se passe comme si chaque électron savait où avaient atterri ses prédécesseurs, où allaient atterrir ses successeurs, et où lui-même avait sa propre place sur la figure. C'est là une belle démonstration de l'étrangeté du monde quantique pour les profanes.

L'électron ne « sait » rien, bien entendu. Il suit simplement les règles aveugles du hasard, de la même façon qu'un dé ne sait pas quels numéros sont sortis avant lui, ni ceux qui vont sortir après. La probabilité que le chiffre 3 sorte reste de un sur six. La probabilité est totalement inhérente à la physique quantique, une réalité qu'Einstein détestait. « Dieu ne joue pas aux dés ! », disait-il. Mais les preuves sont là : Einstein avait tort, et le monde quantique est bel et bien régi par la probabilité.

La physique quantique - John GRIBBIN
PEARSON EDUCATION

Questions

1. L'expérience des fentes faite par Young avec la lumière a été refaite par une équipe de chercheurs japonais. En quoi consiste cette expérience ?
2. Quel caractère possède un électron, du fait qu'il produise un point lumineux ?
3. Quelle était la surprise à la suite de l'expérience faite avec les électrons ?
4. La figure obtenue sur l'écran permet de prouver qu'un électron possède un autre caractère. De quel caractère s'agit-il ?
5. Le texte stipule que « La probabilité est totalement inhérente à la physique quantique ». Que signifie cette affirmation ?