

## CHAPITRE OS17

### Introduction à la physique quantique

- La **mécanique quantique** a été élaborée au début du 20<sup>ème</sup> siècle par de nombreux physiciens dont : Bohr, De Broglie, Dirac, Einstein, Heisenberg, Planck, Schrödinger. Cette théorie est nécessaire pour décrire la **matière à l'échelle atomique** et au-dessous. Ses prédictions n'ont, à l'heure actuelle, jamais été mises en défaut.
- Elles ont permis la réalisation **d'inventions** aussi importantes que le laser, l'horloge atomique, l'imagerie médicale par résonance magnétique nucléaire, le capteur CCD...
- Les phénomènes quantiques qui apparaissent à **l'échelle microscopique** sont difficiles à appréhender car ils ne correspondent pas à notre intuition naturelle fondée sur notre expérience du monde macroscopique.
- À la base de la compréhension de la physique quantique se trouve la **dualité onde – particule**, valable pour la **lumière ET** pour la **matière**.

## 1 Dualité onde – particule pour la lumière

### 1.1 De la physique classique à la physique quantique

- Description ondulatoire de la lumière

Au XIX<sup>ème</sup> siècle, la **physique classique** a décrit la **lumière** comme une **onde**, caractérisée par sa longueur d'onde  $\lambda$ , sa célérité  $c$  dans le vide et sa fréquence  $\nu$ , telles que :

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

Les phénomènes physiques mettant en évidence la présence d'ondes sont la **diffraction** et les **interférences**.

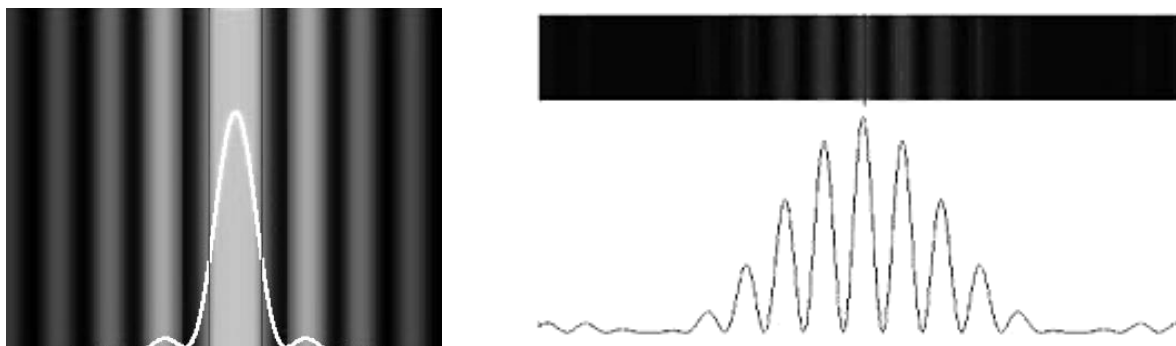


FIGURE 1 : Diffraction par une fente (à gauche) et figure d'interférences obtenue avec des fentes de Young (à droite)

- Quantification de l'énergie

1900 : pour expliquer les propriétés de l'émission thermique du rayonnement électromagnétique d'un corps chauffé (dans l'infrarouge), Max Planck utilise l'hypothèse que l'énergie s'échange entre la matière et le rayonnement par multiples d'une valeur minimale  $E$ , appelée **quantum d'énergie**, telle que :

$$E = h\nu$$

avec  $h = 6,62.10^{-34}$  J.s, la constante de Planck et  $\nu$  la fréquence du rayonnement.

Ainsi, les **échanges d'énergie** entre la **lumière** et la **matière** sont **quantifiés**.

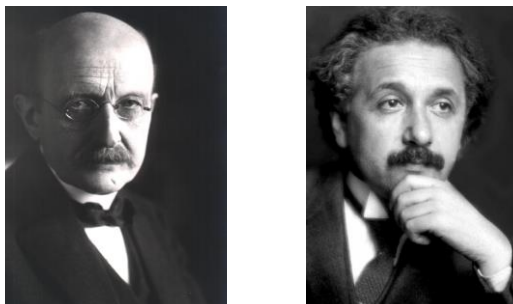


FIGURE 2 : Max Planck (1858 – 1947) et Albert Einstein (1879 – 1955)

➤ Description corpusculaire de la lumière

1905 : Pour expliquer l'effet photoélectrique, Albert Einstein reprend l'idée de Max Planck et émet l'hypothèse que le rayonnement lui-même est **quantifié** : il est constitué de « **quanta** » **de lumière**, sortes de grains de lumière possédant l'énergie  $E = h\nu$ . Ces « **quanta** » **d'énergie** sont appelés **photons**. C'est le début de la **physique quantique**.

👁 **Vidéo 1 : Lumni / Les fondements de la physique quantique par Étienne Klein (5'36)**

<https://www.lumni.fr/video/les-fondements-de-la-physique-quantique>

## 1.2 Le photon

➤ Caractéristiques du photon

**Définition** : La particule associée à la lumière, le **photon**, possède les caractéristiques suivantes :

- 
- 
- 





➤ Ordre de grandeur

Exemple : rayonnement visible :  $\lambda = 500 \text{ nm}$  (vert)

Unité d'énergie adaptée au photon :

### 1.3 Effet photoélectrique

#### 1.3.1 Principe et caractéristiques

- En 1886, le physicien allemand Heinrich Hertz montre expérimentalement qu'un matériau métallique exposé à la lumière peut émettre des électrons : c'est l'**effet photoélectrique**.

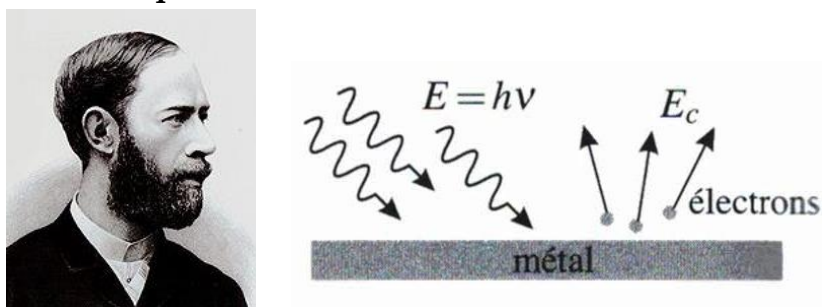


FIGURE 3 : Effet photoélectrique mis en évidence par Heinrich Hertz (1857 – 1894)

- Ce phénomène n'existe que si la fréquence du rayonnement est supérieure à une **fréquence seuil**  $\nu_s$  qui dépend de la nature du métal. Si la fréquence est plus petite que  $\nu_s$ , il n'y a pas d'effet photoélectrique, même si le faisceau lumineux est très intense.

👁 **Animation 1 : PhET Des simulations gratuites en physique, chimie... / Simulations / Physique / Phénomènes quantiques (décocher les cases associées au filtre de compatibilité) / Effet photoélectrique**

<https://phet.colorado.edu/fr/simulations/photoelectric>

- Malheureusement, Heinrich Hertz n'a pas pu expliquer le phénomène car ces caractéristiques sont incompatibles avec la théorie classique de l'électromagnétisme, i.e. la nature ondulatoire de la lumière.

#### 1.3.2 Théorie d'Einstein : étude énergétique de l'électron

- En 1905, Einstein explique l'effet photoélectrique en émettant l'hypothèse qu'un électron du métal ne peut absorber qu'un seul **quantum de lumière**, c'est-à-dire un seul **photon**.

- À l'intérieur du métal, un électron possède une énergie  $E < 0$  avec  $E < -W$ . La grandeur  $W$  est appelée **travail d'extraction** et sa valeur dépend de la nature chimique du métal (ordre de grandeur : quelques eV).
- À l'extérieur du métal, l'électron de masse  $m_e$ , de vitesse  $v_e$  possède une énergie cinétique positive :  $E_C = \frac{1}{2} m_e v_e^2$ .
- Pour sortir du métal, l'électron doit donc gagner au minimum l'énergie  $W$ . Dans l'effet photoélectrique cette énergie provient de **l'absorption d'un photon** d'énergie  $E_{ph} = h\nu$ .

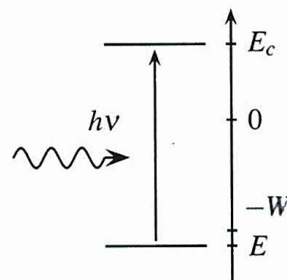
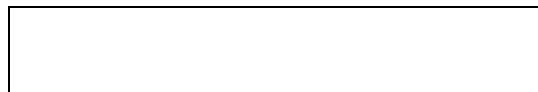


FIGURE 4 : Diagramme énergétique (effet photoélectrique)

- Conservation de l'énergie



La théorie d'Einstein permet d'expliquer l'existence de la **fréquence seuil**  $\nu_s$  (prix Nobel en 1921).

### 1.3.3 Validation expérimentale : expérience de Millikan

- Entre 1905 et 1915, les expériences menées par Robert Millikan confirment la théorie d'Einstein (alors qu'il voulait mettre en défaut la description corpusculaire de la lumière !)

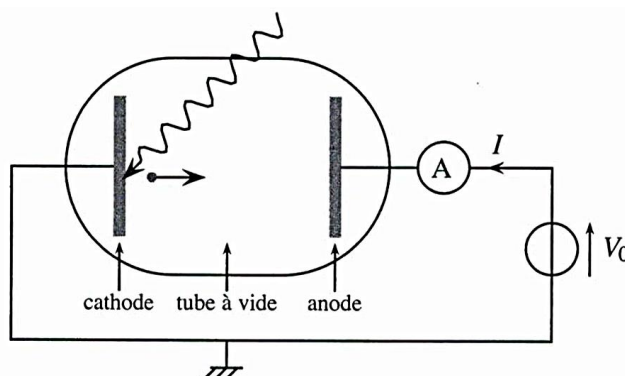


FIGURE 5 : Schéma de l'expérience de Robert Millikan (1868 – 1923)

- Principe de l'expérience

Le principe du dispositif expérimental, représenté sur la FIGURE 5 est le suivant. Dans un tube à vide, une plaque métallique (la cathode) éclairée par de la lumière monochromatique de fréquence  $\nu$  émet des électrons qui sont

collectés par une deuxième plaque métallique (l'anode) reliée électriquement à la première. Dans le circuit ainsi constitué s'établit un courant électrique dans le sens représenté sur la FIGURE 5 et dont on mesure l'intensité  $I$ . Dans le circuit, on ajoute un générateur de tension de force électromotrice  $V_0$ , qui favorise le passage de ce courant si  $V_0 > 0$  et s'y oppose si  $V_0 < 0$ .

➤ Potentiel d'arrêt

On observe que  $I = 0$  si  $V_0 \leq -V_a < 0$ , où  $V_a$  est appelé le **potentiel d'arrêt**, dont la valeur dépend de la fréquence  $\nu$ .

L'existence de ce potentiel d'arrêt est justifiée avec une **étude énergétique** de l'électron.

- Un électron quitte la cathode, au potentiel  $V_{cathode} = 0$ , avec l'énergie cinétique  $E_C$  et l'énergie potentielle électrostatique  $E_{P,elec} = qV_{cathode}$ .
- L'électron arrive sur l'anode, au potentiel  $V_{anode} = V_0$ , avec l'énergie cinétique  $E'_C$  et l'énergie potentielle électrostatique  $E'_{P,elec} = qV_{anode}$ .
- Entre la cathode et l'anode, l'électron n'est soumis qu'à la force électrique conservative  $\vec{F} = q\vec{E} = -e\vec{E}$  (et à son poids négligé) : l'énergie mécanique se conserve :

$$E_{m,cathode} = E_{m,anode} \Leftrightarrow E_C - eV_{cathode} = E'_C - eV_{anode} \text{ soit } \boxed{E'_C = E_C + eV_0}$$

- Si  $V_0 < 0$ , alors  $E'_C < E_C$  : l'électron est ralenti.
- L'électron atteint l'anode si

La condition pour observer l'effet photoélectrique est :



L'évolution du potentiel d'arrêt  $V_a$  en fonction de la fréquence  $\nu$

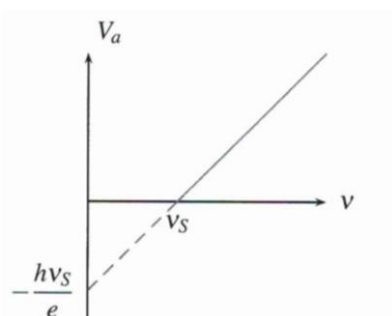


FIGURE 6 : Évolution du potentiel d'arrêt  $V_a$  en fonction de la fréquence  $\nu$

En relevant cette pente, Millikan obtint une mesure de la constante de Planck  $h$  qui était en bon accord avec la valeur provenant des expériences sur le rayonnement thermique.

### 1.3.4 Application : la cellule photoélectrique

#### ➤ Principe

La cellule photoélectrique est un **capteur d'intensité lumineuse** dont le fonctionnement exploite l'effet photoélectrique. Son schéma est le même que celui de l'expérience de Millikan représenté sur la FIGURE 5.

On observe expérimentalement que, pour une valeur positive de  $V_0$ , l'intensité  $I$  du courant est indépendante de  $V_0$ . Si l'anode est suffisamment proche de la cathode tous les électrons émis par la cathode sont collectés par l'anode.

#### ➤ Rendement quantique

Les électrons arrivant à l'anode sont beaucoup moins nombreux que les photons reçus par la cathode :

$$N_{e^-} = \eta N_{photons}$$

où  $\eta$  est le rendement quantique de l'ordre de  $10^{-3}$ .

#### ➤ Relation entre intensité électrique et éclairage lumineux

L'éclairement lumineux  $\mathcal{E}$ , correspondant à une puissance par unité de surface, est proportionnel au nombre de photons  $N_{photons}$ .

L'intensité électrique  $I$ , correspondant à un débit d'électrons par unité de temps, est proportionnelle au nombre d'électrons  $N_{e^-}$ .

**Propriété :** L'intensité électrique  $I$  traversant la cellule photoélectrique est **proportionnelle** à l'éclairement  $\mathcal{E}$  qu'elle reçoit.

#### ➤ Exercice d'application 1

La cathode d'une cellule photoélectrique a une surface utile  $s = 100 \text{ mm}^2$ . Elle reçoit une lumière blanche, de longueur d'onde moyenne  $\lambda_m = 0,5 \mu\text{m}$  et d'éclairement  $\mathcal{E} = 100 \text{ W.m}^{-2}$ . Le rendement quantique est  $\eta = 1.10^{-3}$ . Quelle est l'intensité électrique  $I$  mesurée ?

Réponse



## 1.4 Interaction lumière (photon) / matière

### 1.4.1 Relations énergétiques

➤ Caractéristiques de l'interaction lumière / matière

1913 : Bohr énonce deux postulats :

- l'électron lié à un proton (atome d'hydrogène) ne possède qu'un nombre limité d'états stationnaires. Ceci signifie que l'électron ne peut prendre que certaines énergies particulières : son **énergie est quantifiée** ;
- l'émission ou l'absorption de lumière résulte d'une **transition** entre deux états électroniques stationnaires. Ces deux phénomènes, inverses l'un de l'autre, traduisent **l'interaction photon-matière**.

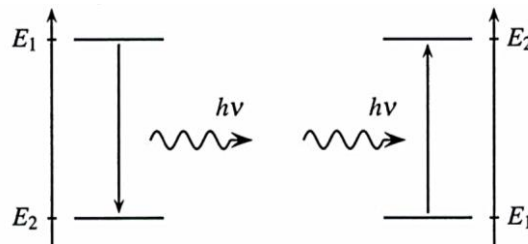


FIGURE 7 : Diagramme énergétique : émission (à gauche) et absorption (à droite) d'un photon

➤ Émission d'un photon par une particule matérielle

Le phénomène **d'émission** s'accompagne d'une transition de la particule entre un état d'énergie  $E_1$  et un état d'énergie  $E_2 < E_1$ . Par conservation de l'énergie, la fréquence du photon émis est telle que :

$$h\nu_{\text{émis}} = E_1 - E_2$$

➤ Absorption d'un photon par une particule matérielle

Le phénomène **d'absorption** s'accompagne d'une transition entre un état d'énergie  $E_1$  et un état d'énergie  $E_2 > E_1$ . Par conservation de l'énergie, la fréquence du photon absorbé est telle que :

$$h\nu_{\text{absorbé}} = E_2 - E_1$$

### 1.4.2 Applications

➤ Phénomène d'émission

Le phénomène d'émission intervient dans toutes les sources de lumière.

Dans une **diode électroluminescente**, les photons sont émis par des électrons qui passent d'un niveau  $E_1$  d'énergie dans la **bande de conduction** (électrons libres participant à la conduction électrique) à un niveau  $E_2$  la **bande de valence** (électrons de valence rattachés à un noyau).

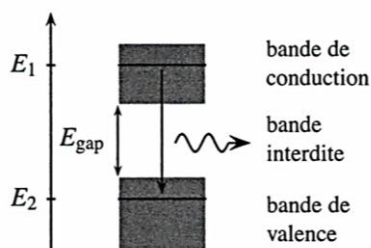


FIGURE 8 : Diagramme énergétique d'une diode électroluminescente

On note  $E_{gap}$  la largeur de la **bande interdite** (dans laquelle il n'y a aucun état énergétique possible) entre la bande de valence et la bande de conduction.

L'émission est possible si  $E_1 - E_2 > E_{gap}$ .

La fréquence du photon émis vérifie :  $\nu_{émis} > \frac{E_{gap}}{h}$

➤ Phénomène d'absorption

- Le phénomène d'absorption est exploité dans toutes les techniques de **spectroscopie d'absorption**. Le principe consiste à envoyer un flux connu de photons de fréquence  $\nu$  fixée à travers un échantillon et à mesurer le flux transmis par l'échantillon. Ce flux diminue quand la fréquence  $\nu$  peut être absorbée par l'échantillon, ce qui est le cas lorsque les particules contenues dans l'échantillon possèdent deux états d'énergies  $E_1$  et  $E_2$  telles que :

$$h\nu_{absorbé} = E_2 - E_1$$

Comme les valeurs de ces énergies sont caractéristiques de la nature précise de ces particules, la spectroscopie est une méthode d'analyse puissante utilisée en chimie, en astronomie... La **spectroscopie UV-visible** met en jeu des états électroniques tandis que la **spectroscopie IR** met en évidence des états de vibration ou de rotation moléculaires.

- Le phénomène d'absorption est aussi au cœur du fonctionnement des **capteurs de lumière**. La **photodiode** est un capteur à base de semi-conducteurs dont le fonctionnement est basé sur la transition, par absorption d'un photon, d'un électron entre un état de la bande de valence vers un état de la bande de conduction (bande initialement vide) : création d'une paire « électron – trou ». Sous l'action du champ électrique régnant à la jonction entre un semi-conducteur de type N et un semi-conducteur de type P, l'électron chargé négativement et le trou chargé positivement partent en sens inverse, ce qui crée un courant électrique dont l'intensité est proportionnelle à l'éclairement reçu par la photodiode. Ce principe est aussi utilisé dans les **cellules photovoltaïques** des panneaux solaires qui produisent de l'énergie électrique à partir d'énergie solaire.



## 1.5 Figure d'interférences photon par photon

### ➤ Franges d'interférences et photons

1989 : Alain Aspect réalise une expérience dans laquelle un dispositif permet de générer des **photons uniques**. Après la traversée d'un biprisme de Fresnel et focalisation par une lentille convergente, ces photons sont récupérés sur un capteur CCD : on observe une **figure d'interférences**, caractérisée par une alternance de franges lumineuses et de franges sombres.

👁 **Vidéo 2 : Laboratoire Charles Fabry/ Groupes / Gaz quantiques / Membres / Permanents / Alain Aspect (Single photon interference movie)**

<https://www.lcf.institutoptique.fr/groupes-de-recherche/gaz-quantiques/membres/permanents/alain-aspect> (biprisme\_movie.mov)

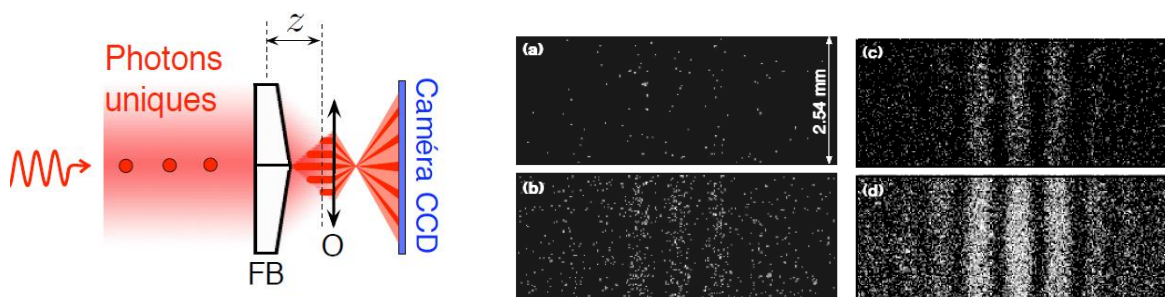


FIGURE 9 : Construction d'une figure d'interférences photon par photon à l'aide d'un biprisme de Fresnel

Nombre de photons respectifs sur les images a, b, c, et d :

100, 1000, 5000, 20000

### Conclusion :

### ➤ Dualité onde – particule pour la lumière

**Propriété :** La lumière peut être considérée :

- 
- 

### ➤ Remarque

La notion de photon s'étend à toutes les ondes électromagnétiques. **L'aspect ondulatoire** du rayonnement ressort d'autant plus que la longueur d'onde est élevée (ondes hertziennes), alors que **l'aspect corpusculaire** du rayonnement ressort d'autant plus que l'énergie du photon est élevée (rayons X, rayons gamma).

## 2 Dualité onde – particule pour la matière

### 2.1 Onde de matière



#### ➤ Postulat de de Broglie

1924 : De façon analogue au fait que la lumière et les ondes électromagnétiques en général sont des ondes pouvant être décrites par une approche corpusculaire, Louis de Broglie (1892 – 1987) énonce le postulat suivant (Prix Nobel en 1929) :

**Postulat** : À toute particule de matière (électron, proton, neutron, atome...) est associée une **onde de matière** caractérisée par la longueur d'onde  $\lambda_{DB}$ , appelée **longueur d'onde de de Broglie**.

#### ➤ Caractéristique de l'onde de matière

**Définition** : La longueur d'onde de l'onde de matière est donnée par la **relation de de Broglie** :

#### ➤ Autre formulation de la relation de de Broglie

Quantité de mouvement :

**Relation de de Broglie** :

#### ➤ Quantité de mouvement de la particule

- Si la particule de masse  $m$  a une vitesse  $v$  telle que  $v \ll c$ , la particule n'est **pas relativiste** :

$$p = mv$$

- Si la particule de masse  $m$  a une vitesse  $v$  telle que  $0,1 c < v < c$ , la particule est **relativiste** :

$$p = \gamma mv$$

où  $\gamma$  est le facteur de Lorentz :  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ .

L'énergie cinétique s'écrit  $E_c = (\gamma - 1)mc^2$

- Si la particule de masse nulle a une célérité  $c$  (photon), la particule est **relativiste** :

$$p = \frac{E}{c}$$

## 2.2 1<sup>ère</sup> validation expérimentale

### ➤ Diffraction d'électrons

1927 : les américains Clinton Davisson et Lester Germer valident la théorie de de Broglie en observant la **diffraction d'un faisceau d'électrons** par un monocristal de nickel (réflexion). Ils bombardent une cible de nickel cristallin par des électrons dont ils maîtrisent la vitesse grâce à un canon à électrons utilisant une différence de potentiel ajustable. Un détecteur mobile permet ensuite d'étudier la dépendance angulaire de la diffraction des électrons sur la cible. On observe alors que les électrons sont diffractés par la cible principalement dans une direction privilégiée. Cette figure de diffraction est identique à celle prévue par la loi de Bragg avec un rayonnement de longueur d'onde  $\lambda \approx 10^{-10}$  m.

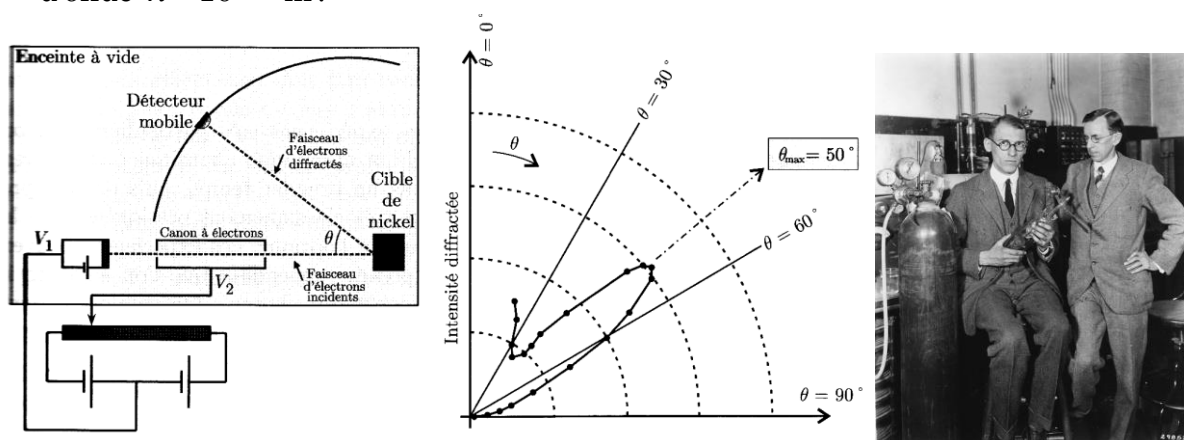


FIGURE 10 : Figure de diffraction obtenue avec un faisceau d'électrons (au centre)  
Schéma de l'expérience (à gauche) de Germer et Davisson (à droite)

👁 **Animation 2 : PhET Des simulations gratuites en physique, chimie... / Simulations / Physique / Phénomènes quantiques (décocher les cases associées au filtre de compatibilité) / Davisson-Germer : Diffraction de l'électron**

<http://phet.colorado.edu/fr/simulation/davisson-germer>

### ➤ Conclusion

#### ➤ Pourquoi un solide cristallin diffracte-t-il certaines ondes ?

Les solides cristallins présentent au niveau atomique un arrangement parfaitement ordonné, périodique dans les trois directions de l'espace avec des périodes spatiales de l'ordre de  $10^{-10}$  m = 0,1 nm. Or les objets périodiques ont la propriété de diffracter d'une manière caractéristique une onde dont la longueur d'onde est proche de leur période.

1912 : Max von Laue obtient une figure de diffraction d'un cristal par des rayons X, ce qui prouve à la fois la nature ondulatoire de ces rayons et la structure

périodique des cristaux. Cette expérience a aussi permis de mesurer la longueur d'onde des rayons X.



FIGURE 11 : Figure de diffraction d'un cristal par des rayons X

1913 : William Bragg (père et fils) établit l'expression mathématique donnant l'angle de diffraction en fonction de la longueur d'onde et des caractéristiques du cristal (Prix Nobel en 1915).

➤ Exercice d'application 2

1. Déterminer la vitesse des électrons dans l'expérience de Davisson et Germer, sachant que qu'ils sont accélérés par une différence de potentiel  $U = 54 \text{ V}$  et que la masse d'un électron est  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ .
2. En déduire la longueur d'onde de de Broglie  $\lambda_{DB}$  des électrons.

Réponse

## 2.3 Dualité onde – particule pour la matière

Propriété : La matière peut être considérée :

- 
-

## 2.4 Applications actuelles de la diffraction de particules

### 2.4.1 Microscopie électronique

- Le pouvoir de résolution d'un microscope optique est limité par la diffraction et ne peut pas révéler des détails plus petits que l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de la lumière, soit de l'ordre de **1  $\mu\text{m}$** .
- La longueur d'onde de de Broglie d'électrons suffisamment accélérés est inférieure à celle de la lumière : elle est de l'ordre de 0,1 nm pour des électrons d'énergie cinétique égale à 100 eV. La microscopie électronique permet donc d'observer **des détails de l'ordre de 1 nm, voire de 1 pm** avec certains appareils pour lesquels l'énergie cinétique des électrons atteint 100 keV (Attention : l'électron est relativiste dans ce cas et il est nécessaire d'utiliser la formule relativiste de la quantité de mouvement pour appliquer la formule de de Broglie !).

### 2.4.2 Diffraction des neutrons

- Les neutrons dits « thermiques », appelés ainsi parce qu'ils sont à une température de l'ordre de la température ambiante (de l'ordre de 300 K) ont une longueur d'onde de de Broglie de l'ordre de la taille d'un atome, i.e. **0,1 nm**. Ainsi, ces neutrons sont utilisés comme sonde pour explorer la matière à l'échelle atomique.

- Exercice d'application 3

L'énergie cinétique moyenne d'un neutron sous l'effet de l'agitation thermique est  $E_C = \frac{3}{2} k_B T$ , avec  $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$  la constante de Boltzmann.

Déterminer la longueur d'onde de de Broglie de neutrons de masse  $m_n = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  et de température  $T = 300 \text{ K}$ .

Réponse

## 2.5 Expériences d'interférences de particules

### 2.5.1 Interférences d'électrons

- 1989 : Les chercheurs japonais A. Tonomura, J. Endo, T. Malsuda, T. Kawasaki et H. Ezawa réalisent une expérience d'interférences d'électrons, analogue à l'expérience des fentes de Young. Les électrons, après leur passage à travers les

« fentes », tombent sur un film fluorescent jouant le rôle « d'écran ». Chaque électron arrivant sur le film provoque l'émission d'environ 500 photons, collectés par un dispositif d'imagerie. Sur la FIGURE 12, chaque point lumineux témoigne de l'arrivée d'un électron.

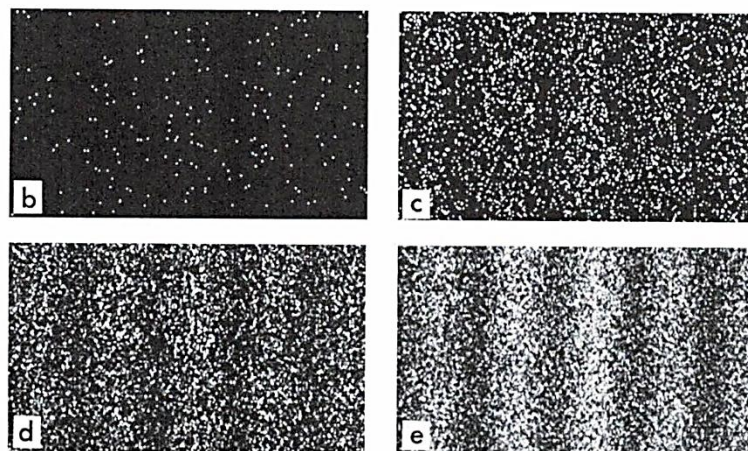


FIGURE 12 : Construction d'une figure d'interférences d'électrons  
 Nombre d'électrons respectifs sur les images b, c, d et e :  
 100, 3000, 20000, 70000

#### ➤ Interprétation de l'expérience

- Les électrons ne se comportent pas comme attendu avec les lois de la mécanique classique, qui est déterministe : pour des conditions initiales données (position et vitesse initiale de l'électron), la trajectoire est bien définie. Dans ce cas, il devrait y avoir en théorie un seul point d'impact sur l'écran, et en pratique des points regroupés. Au lieu de cela, on observe, notamment sur la photographie b, une **répartition aléatoire** des points d'impacts : c'est un des fondements de la physique quantique.
- De la photographie b à la photographie e, au fur et à mesure que le nombre d'électrons détectés croît, apparaît une modulation régulière du nombre d'impacts enregistrés. Des franges d'interférences tout à fait analogues à celles que l'on obtient avec des photons se dessinent peu à peu : il s'agit d'une **figure d'interférences d'électrons**.

👁 **Vidéo 3 : Tout est quantique / Bases de la quantique / Dualité / La dualité onde - particule (1'57)**

<http://www.toutestquantique.fr/#dualite>

### 2.5.2 Interférences d'atomes

- 1992 : L'expérience des japonais Shimizu et Takuma présentée de façon sommaire ci-dessous met en œuvre un dispositif en réalité très complexe. Il utilise des **atomes de Néon piégés et refroidis** à une température de 2,5 mK de manière à minimiser leur agitation thermique moyenne. Ils sont portés dans un état métastable grâce à un laser à 598 nm, ils peuvent alors quitter le piège et tombent dans le champ de pesanteur. L'utilisation d'atomes légers et



refroidis permet de disposer de valeurs de longueur d'onde de de Broglie plus élevées. L'ensemble du dispositif est disposé verticalement.

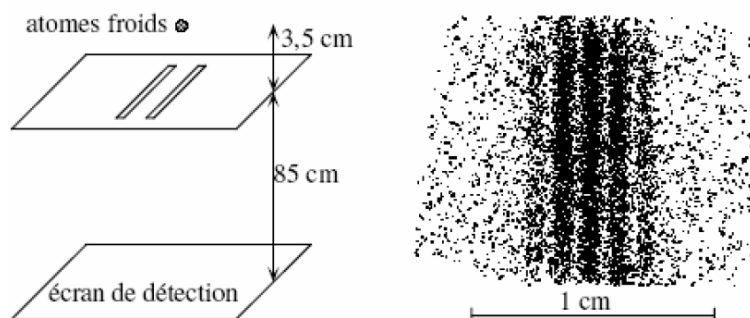


FIGURE 13 : Figure d'interférences obtenue avec des atomes de Néon

### ➤ Conclusion



## 3 Physique quantique : de nouvelles idées

### ➤ Quelques citations

*« Il est plus facile de briser un atome que de briser un préjugé. »*

A. EINSTEIN, physicien d'origine allemande, naturalisé suisse puis américain (1879-1955)

*« Pour comprendre la quantique, se débarrasser de ce qu'on sait. Ouvrir son esprit. Faire preuve d'esprit critique face aux faits expérimentaux. »*

J.-L. BASDEVANT, physicien français

*« Une nouvelle théorie ne triomphe jamais. Ce sont ses adversaires qui finissent par mourir. »*

M. PLANCK, physicien allemand (1858-1947)

### ➤ Objets quantiques ou quantons

**Définition** : Un **objet quantique** ou **quanton** est un système physique élémentaire qui possède des propriétés quantiques. Les quantons sont les **objets élémentaires** d'étude de la mécanique quantique. Ils se comportent tantôt comme des ondes, tantôt comme des corpuscules.

Exemples de quantons : photons, électrons, atomes...

Le terme de quanton a été inventé par un physicien français, Jean-Marc Lévy-Leblond, mais n'est pas universellement utilisé.

### ➤ Constante caractéristique du monde quantique

Constante de Planck :  $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$

➤ Physique quantique ou pas ?



**Propriété** : Un phénomène physique est étudié avec une **approche quantique** lorsque sa **longueur d'onde** (de l'onde ou de de Broglie) est du **même ordre de grandeur que les dimensions du milieu** d'existence du phénomène.

La physique quantique permet d'expliquer ce qui se passe **au niveau de la matière à l'échelle microscopique**.