

Historique

La physique quantique (physique des « quanta ») permet de comprendre les interactions entre la lumière et la matière.

Repère : Un Quantum (quanta au pluriel) : signifie « quantité » en latin, correspond à la plus petite valeur que peut prendre une grandeur. Toutes les autres valeurs de cette grandeur sont des multiples de cette quantité élémentaire.

À la fin du XIX^{ème} siècle, la physique classique ne trouve pas d'explication théorique aux phénomènes expérimentaux d'émission et d'absorption de la lumière par la matière, ou plus généralement aux phénomènes d'interaction rayonnement-matière. Certains physiciens vont alors introduire de nouveaux concepts.

Les paquets d'énergie de Planck

En décembre 1900, Max Planck (1858-1947) publie une loi théorique justifiant le profil spectral du corps noir. Dans ses calculs, il fait intervenir une constante h (appelée depuis « constante de Planck ») et pose que les échanges d'énergie entre la lumière et la matière ne peuvent se faire que par paquets indivisibles.

Le plus petit « paquet » d'énergie absorbé ou émis par une radiation de fréquence ν (lettre grecque *nu*) vaut $h \times \nu$. Il sera nommé plus tard « quantum » d'énergie.

Les quanta de lumière d'Einstein

En 1905, Albert Einstein (1879-1955) propose un modèle corpusculaire de la lumière: une lumière monochromatique de fréquence ν est constituée de petits « grains d'énergie » (appelés « photons » en 1926) transportant chacun un quantum d'énergie $h \times \nu$.

Cette théorie lui permet d'expliquer l'effet photoélectrique (émission d'électrons par un matériau soumis à un rayonnement).

Les niveaux d'énergie de l'atome de Bohr

En 1913, Niels Bohr (1885-1962) qui cherche à prendre la stabilité des atomes, introduit l'idée que l'énergie des électrons dans un atome ne peut prendre que certaines valeurs particulières, appelées niveaux d'énergie. Sur une orbite donnée, l'énergie de l'électron ne varie pas (état stationnaire). L'électron ne peut donc gagner ou perdre de l'énergie qu'en passant d'une orbite permise à une autre orbite permise.

Ce modèle de l'atome permet de rendre compte quantitativement du spectre de raies de l'atome d'hydrogène. Néanmoins, ce modèle de Bohr a ses limites. Lorsqu'on étudie les spectres atomiques des atomes à plusieurs électrons, le modèle de Bohr ne peut rendre compte de la position exacte des raies observées.

En fait, seule la mécanique quantique, nouvelle branche de la physique, permet de bâtir un modèle permettant de rendre fidèlement compte des observations expérimentales.

Modèle de la physique quantique (à partir de 1926)

Il faut renoncer à appliquer au monde atomique les équations de la mécanique classique de Newton.

- Le premier concept introduit tient compte du fait que nous nous adressons à des systèmes extrêmement petits (« submicroscopiques » comme disent certains auteurs). On ne peut mesurer simultanément et exactement la position et la vitesse d'une particule à un instant donné (Principe d'Incertitude d'Heisenberg).
- Le deuxième concept, introduit en 1924, par Louis de Broglie, postule que l'on doit décrire le mouvement d'une microparticule matérielle de manière identique à celle d'une onde.
- En 1926, Schrödinger établit l'équation du mouvement associé à l'électron de l'atome d'hydrogène.

Cette équation, *hors programme*, est une équation différentielle du deuxième ordre à trois variables. Schrödinger a montré que cette équation n'admet des solutions que pour certaines valeurs bien définies de l'énergie électronique totale.

Quand on étudie les systèmes submicroscopiques, la mécanique de Newton doit être remplacée par la mécanique quantique dont l'étude sera poursuivie dans l'enseignement post-baccalauréat.

Elle permet d'expliquer que les noyaux, les atomes, les molécules ont des niveaux d'énergie quantifiés. Leurs échanges d'énergie avec l'extérieur (émission ou absorption) ne peuvent prendre que certaines valeurs discrètes.

A chaque particule est associée une onde et réciproquement. On sait réaliser avec les électrons matériels des expériences de diffraction et d'interférences que l'on croyait ne pouvoir réaliser qu'avec les ondes. Inversement, les ondes lumineuses se comportent parfois comme des particules (les photons) dans certaines expériences (effet photoélectrique, par exemple).

Cette branche de la physique est encore en plein développement.

Des Hommes pour l'Histoire :



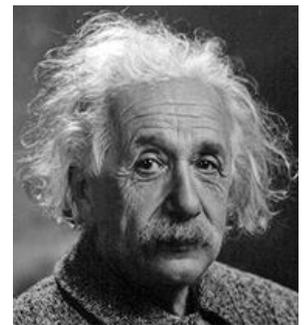
- **Max Planck** (1858 - 1947) est un physicien allemand. Il est lauréat du prix Nobel de physique de 1918 pour ses travaux en théorie des quanta.

En 1900, Max Planck découvre la loi spectrale du rayonnement d'un corps noir (publiée en 1901) en essayant de réconcilier la loi de Rayleigh-Jeans qui fonctionne aux grandes longueurs d'ondes (basses fréquences) et la loi de Wien qui fonctionne aux petites longueurs d'ondes (hautes fréquences). Il trouve que sa propre fonction correspondait remarquablement bien aux données pour toutes les longueurs d'ondes.

Planck déduit sa loi de façon empirique. Il la justifie en postulant que l'énergie émise ou absorbée par les oscillateurs ne se fait que par petits paquets d'énergie E . Ces paquets seraient directement reliés à la fréquence des oscillations selon la formule qu'il expose le 14 décembre 1900 : $E = h\nu$

- **Albert Einstein** (1879 - 1955) est un physicien théoricien qui fut successivement allemand, puis apatride (1896), suisse (1901), et enfin sous la double nationalité helvético-américaine (1940).

Il publie sa théorie de la relativité restreinte en 1905, et une théorie de la gravitation dite relativité générale en 1915. Il contribue largement au développement de la mécanique quantique et de la cosmologie, et reçoit le prix Nobel de physique de 1921 pour son explication de l'effet photoélectrique. Son travail est notamment connu pour l'équation $E=mc^2$, qui établit une équivalence entre la matière et l'énergie d'un système.



- **Niels Henrik David Bohr** (1885 - 1962) est un physicien danois. Il est surtout connu pour son apport à l'édification de la mécanique quantique, pour lequel il a reçu de nombreux honneurs.

Pendant les années 1920, il complète sa théorie, parvenant à établir une relation étroite entre le tableau de Mendeleïev et la structure électronique des atomes.

Il reçoit le prix Nobel de physique en 1922 « pour ses études de la structure des atomes et des radiations qui en proviennent ».

Bohr est aussi à l'origine du principe de complémentarité : des objets peuvent être analysés séparément et chaque analyse fera conclure à des propriétés contraires. Par exemple, les physiciens pensent que la lumière est à la fois une onde et un faisceau de particules, les photons.

- **Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger** (1887 - 1961) est un physicien et théoricien scientifique autrichien.

En imaginant l'équation d'évolution de la fonction d'onde associée à l'état d'une particule, il a permis le développement du formalisme théorique de la mécanique quantique. Cette équation d'onde qui tient compte à la fois de la quantification et de l'énergie non relativiste a été appelée par la suite équation de Schrödinger (pour laquelle il a reçu, en commun avec Paul Dirac, le prix Nobel de physique de 1933).

Il est également connu pour avoir soumis l'étonnante expérience de pensée, nommée plus tard du *Chat de Schrödinger*, suite à une importante correspondance avec Albert Einstein en 1935.





- **Louis Victor de Broglie**, prince, puis duc de Broglie (1892 – 1987) est un mathématicien et physicien français. A seulement 37 ans, il devient lauréat du prix Nobel de physique de 1929 « pour sa découverte de la nature ondulatoire des électrons ».

L'idée fondamentale est la suivante : « Le fait que, depuis l'introduction par Einstein des photons dans l'onde lumineuse, l'on savait que la lumière contient des particules qui sont des concentrations d'énergie incorporée dans l'onde, suggère que toute particule, comme l'électron, doit être transportée par une onde dans laquelle elle est incorporée »...

L'idée essentielle était d'étendre à toutes les particules la coexistence des ondes et des corpuscules découverte par Einstein en 1905 dans le cas de la lumière et des photons. « À toute particule matérielle de masse m et de vitesse v doit être "associée" une onde réelle » reliée à la quantité de mouvement par la relation :

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

où λ est la longueur d'onde, h la constante de Planck, p la quantité de mouvement, m la masse au repos, v sa vitesse et c la célérité de la lumière dans le vide.

Cette théorie posait les bases de la mécanique ondulatoire. Elle fut soutenue par Einstein, confirmée par les expériences de diffraction des électrons de Davisson et Germer, et surtout généralisée par les travaux de Schrödinger.

- **Werner Karl Heisenberg** (1901 - 1976) était un physicien allemand. Il fut l'un des fondateurs de la mécanique quantique. Il est lauréat du prix Nobel de physique de 1932 « pour la création de la mécanique quantique, dont l'application a mené, entre autres, à la découverte des variétés allotropiques de l'hydrogène ».

Il développa la première formalisation de la mécanique quantique, en 1925, en même temps qu'Erwin Schrödinger.

Son principe d'incertitude, découvert en 1927, affirme que la détermination de certains couples de valeurs, par exemple la position et la quantité de mouvement, ne peut se faire avec une précision infinie.

À partir de 1929, il travailla avec Wolfgang Pauli à l'élaboration de la théorie quantique des champs.

Après la découverte du neutron par James Chadwick en 1932, Heisenberg proposa le modèle proton-neutron du noyau atomique, et s'en servit pour expliquer le spin nucléaire des isotopes.

