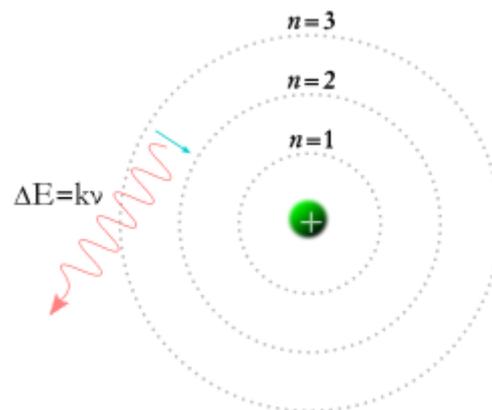


# Histoire de la mécanique quantique

L'**histoire de la mécanique quantique** commence essentiellement par les évènements suivants : en 1838 avec la découverte des rayons cathodiques par Michael Faraday, durant l'hiver 1859-1860 avec l'énoncé du problème du corps noir par Gustav Kirchhoff, la suggestion en 1877 de Ludwig Boltzmann que les états d'énergie d'un système physique puissent être discrets, et l'hypothèse quantique de Max Planck stipulant que tout système atomique irradiant de l'énergie peut être divisé en « éléments d'énergie » discrets  $\epsilon$  tels que chacun de ces éléments est proportionnel à la fréquence  $\nu$  avec laquelle chacun irradie individuellement son énergie, comme défini dans la formule suivante :

$$\epsilon = h\nu$$

où  $h$  est une valeur numérique appelée constante de Planck. En 1905, afin d'expliquer l'effet photoélectrique (connu depuis 1839), c'est-à-dire que l'irradiation lumineuse de certains matériaux puissent en éjecter des électrons, Albert Einstein postula, en se basant sur l'hypothèse quantique de Planck, que la lumière elle-même se composait de particules individuelles quantifiées, appelées par la suite photons (à partir de 1926). L'expression de « mécanique quantique » fut utilisée pour la première fois en 1924 par Max Born dans son article *Zur Quantenmechanik*. Dans les années qui suivirent, cette base théorique commença à être appliquée à la structure, à la réactivité et à la liaison chimiques.



Le *modèle quantique d'atome* de 1913 de Niels Bohr, incorporant le modèle planétaire issu de la découverte du noyau atomique positif de 1907 par Ernest Rutherford, et le postulat des quanta de lumière de 1905 d'Albert Einstein (reprenant lui-même l'hypothèse quantique de 1900 de Max Planck, i.e. que les radiations d'énergies atomiques ont des valeurs discrètes), a permis de fournir une explication de la formule de Rydberg de 1888.

## Sommaire

**Un survol de l'histoire**

**Chronologie**

**Les expériences « fondatrices »**

**Références**

**Voir aussi**

**Liens externes**

## Un survol de l'histoire

En 1900, le physicien allemand Max Planck introduisit l'idée de quantification de l'énergie, afin de proposer une formule pour la dépendance en fréquence observée pour l'énergie émise par le corps noir. Cette quantification supprime la possibilité pour le rayonnement du corps noir d'atteindre une énergie infinie (phénomène de catastrophe ultraviolette).

En 1905, Albert Einstein expliqua l'effet photoélectrique en postulant que la lumière, ou plus généralement toute radiation électromagnétique, peut être divisé en un nombre fini de « quanta d'énergie » qui sont des points localisés dans l'espace. La loi de Planck ne nécessitait de supposer la quantification de l'énergie *qu'à l'émission* d'une onde électromagnétique, mais ne nécessitait pas de supposer que cette énergie restait ensuite quantifiée en tout point de l'espace. En revanche, ceci est nécessaire pour expliquer l'effet photoélectrique<sup>1</sup>. Dans l'introduction de son article de mars 1905, *Sur un point de vue heuristique concernant l'émission et la*

*transformation de la lumière*, Albert Einstein indiqua : « Selon le postulat que l'on peut consulter ici, lorsqu'un rayon de lumière est diffusé à partir d'un point, l'énergie n'est pas distribuée continûment sur des espaces toujours croissants, mais consiste en un nombre fini de *quanta d'énergie* qui sont localisés en des points de l'espace, se déplaçant sans être divisés, et qui peuvent être absorbés ou générés seulement comme un tout. » Ce postulat a été considéré comme la phrase la plus révolutionnaire écrite par un physicien au cours du  $xx^e$  siècle<sup>2</sup>. Ces *quanta d'énergie* seront appelés plus tard « photons », terme introduit par Gilbert Newton Lewisen 1926.

En 1913, Niels Bohr expliqua les raies spectrales de l'atome d'hydrogène, en utilisant de nouveau la quantification, dans son article de juillet 1913 *On the Constitution of Atoms and Molecules*<sup>3</sup>. Ces théories, bien que pertinentes, étaient strictement phénoménologiques : il n'existait pas de justification rigoureuse pour la quantification (à part peut-être la discussion dans l'article *Sur la théorie des quanta* de 1912 d'Henri Poincaré). Elles sont connues sous la désignation d'*ancienne théorie quantique*. L'expression « physique quantique » fut employée pour la première fois dans *Planck's Universe in Light of Modern Physics* de Johnston (1931).

En 1924, le physicien français Louis de Broglie proposa sa théorie d'ondes de matière en postulant que les particules pouvaient montrer des caractéristiques ondulatoires, et vice-versa pour la lumière. Cette théorie valait pour toute matière, était directement issue de la théorie de la relativité restreinte mais n'était pas algébriquement maniable, notamment dans le cadre d'une interaction entre la particule et un champ de force.

Construite sur l'approche de de Broglie, la mécanique quantique moderne naquit en 1925, lorsque les physiciens allemands Werner Heisenberg et Max Born développèrent la mécanique matricielle et le physicien autrichien Erwin Schrödinger inventa la mécanique ondulatoire et proposa l'équation dite de Schrödinger non-relativiste comme approximation à la généralisation de la théorie de de Broglie (voir Hanle (1977)). Paul Dirac démontra par la suite que les deux approches étaient équivalentes.

Werner Heisenberg formula son principe d'incertitude en 1927, et l'interprétation de Copenhague commença à prendre forme à peu près à la même époque. À partir de 1926 environ, avec l'équation de Klein-Gordon, puis avec l'équation de Dirac (1927) pour l'électron, commença le processus d'unification de la mécanique quantique et de la relativité restreinte. Cette dernière équation permit la description relativiste de la fonction d'onde électronique que Schrödinger avait échoué à obtenir. Elle prédisait le spin électronique et conduisit Paul Dirac à postuler l'existence du positron. Il initia l'utilisation de la théorie de l'opérateur, y incluant l'influente notation bra-ket, comme décrite dans son fameux livre de 1930. Dans la même période, le mathématicien hongrois John von Neumann formula la base mathématique rigoureuse pour la mécanique quantique comme théorie d'opérateurs linéaires sur des espaces de Hilbert, comme il le décrivit dans son célèbre livre de 1932. Ces travaux, comme d'autres de la période de fondation sont toujours valables et largement utilisés.

Le champ plus spécifique de la chimie quantique fut abordé initialement par les physiciens Walter Heitler et Fritz London, qui publièrent une étude de la liaison covalente de la molécule de dihydrogène en 1927. La chimie quantique fut par la suite développée par un nombre important de chercheurs, comme le chimiste théoricien américain Linus Pauling à Cal Tech, et John Slater dans de nombreuses théories comme la théorie de l'orbitale moléculaire ou la théorie de la valence.

Dès 1927, des essais furent effectués pour appliquer la mécanique quantique à des champs plutôt qu'à de simples particules, donnant naissance à ce qui est connu sous le nom générique de théorie quantique des champs. Des chercheurs comme P.A.M. Dirac, W. Pauli, V. Weisskopf, et P. Jordan comptent parmi les pionniers de cette discipline. Cette voie de recherche atteint son apogée avec la formulation de l'électrodynamique quantique par R.P. Feynman, F. Dyson, J. Schwinger, et S.I. Tomonaga au cours des années 1940. L'électrodynamique quantique est une théorie quantique des électrons, positrons et du champ électromagnétique et sert de modèle de base pour des théories du champ quantique plus poussées. La théorie de la chromodynamique quantique fut énoncée au début des années 1960. La théorie que nous connaissons aujourd'hui fut formalisée par Politzer, Gross et Wilzcek en 1975. En se basant sur le travail pionnier de Schwinger, Higgs, Goldstone, Glashow, Weinberg et Salam montrèrent de manière indépendante comment la force nucléaire faible et l'électrodynamique quantique pouvaient être fusionnées en la seule force électrofaible.

## Chronologie

---

La chronologie suivante montre les étapes clés et les contributeurs dans le développement de la mécanique quantique et la chimie quantique.

Date	Personne	Contribution
1771	<u>Luigi Galvani</u>	Note que les muscles des grenouilles mortes s'agitent lorsqu'elles sont touchées par une <u>décharge</u> , qu'il appela <u>électricité animale</u> .
1800	<u>Alessandro Volta</u>	Invente la <u>pile voltaïque</u> , ou « batterie », dans le but de contrer la théorie de Galvani sur l'électricité animale.
1838	<u>Michael Faraday</u>	Utilisant la batterie de Volta, il découvre les <u>rayons cathodiques</u> lorsque, durant une expérience, il fait passer du courant au travers un tube de verre contenant de l'air raréfié et aperçu un arc lumineux étrange partant de <u>l'anode</u> (électrode négative) et se terminant à la <u>cathode</u> (électrode positive).
1852	<u>Edward Frankland</u>	Propose la théorie de la <u>valence</u> en posant que chaque élément chimique possède une « puissance combinatrice », e.g. certains éléments comme l'azote tend à se combiner à trois autres éléments (e.g. $NO_3$ ) alors que d'autres peuvent se combiner avec cinq autres éléments (e.g. $PO_5$ ), et que chaque élément tend à remplir son pouvoir de combinaison (valence) afin de satisfaire ses <u>afinités</u> .
1859	<u>Gustav Kirchhoff</u>	Pose le problème du <u>corps noir</u> c'est-à-dire comment l'intensité du <u>rayonnement électromagnétique</u> émis par un <u>corps noir</u> dépend de la <u>fréquence</u> de la radiation et de la température du corps.
1877	<u>Ludwig Boltzmann</u>	Suggère que les états d'énergie d'un système physique peuvent être discrets.
1879	<u>William Crookes</u>	Montre que les rayons cathodiques, contrairement aux rayons lumineux, peuvent être courbés dans un <u>champ magnétique</u> .
1885	<u>Johann Balmer</u>	Découvre que les quatre bandes visibles du spectre de l'hydrogène peuvent être assignés à des <u>entiers</u> dans une <u>série</u> .
1888	<u>Johannes Rydberg</u>	Modifie la formule de Balmer afin d'inclure d'autres séries de bandes afin de donner la <u>formule</u> de Rydberg.
1891	<u>Alfred Werner</u>	Propose une théorie de l' <u>affinité</u> et de la valence dans laquelle l' <u>affinité</u> est une force attractive issue du centre de l'atome agissant uniformément à partir de toutes les parties de la surface sphérique de l'atome central.
1892	<u>Heinrich Hertz</u>	Montre que les rayons cathodiques peuvent traverser de fines feuilles d'or et produire une luminosité appréciable sur du verre située entre elles.
1896	<u>Henri Becquerel</u>	Découvre la <u>radioactivité</u> , processus durant lequel, en raison de la désintégration nucléaire, certains éléments chimiques ou isotopes émettent spontanément un des trois types d'entités énergétiques : les <u>particules alpha</u> (charge positive), les <u>particules bêta</u> (charge négative), et les <u>particules gamma</u> (charge neutre).
1897	<u>Joseph John Thomson</u>	Montre que les rayons cathodiques se courbent sous l'influence conjuguée d'un <u>champ électrique</u> et d'un <u>champ magnétique</u> , et afin de l'expliquer il suggère que ces rayons cathodiques sont des <u>particules électriques</u> subatomiques chargées négativement ou « corpuscules » (électrons) arrachés de l'atome ; et en 1904, il propose le <u>modèle de plum pudding</u> dans lequel les atomes sont des masses amorphes positivement chargées (pudding) dans lesquelles des électrons négativement chargés (prunes) sont dispersés sous la forme d'anneaux tournants non aléatoires.
1900	<u>Max Planck</u>	Suggère, afin d'expliquer le rayonnement du <u>corps noir</u> , que l'énergie électromagnétique ne peut être émise que sous forme quantifiée, i.e. que l'énergie peut être seulement multiple d'une unité élémentaire $E = h\nu$ , dans laquelle $h$ est la <u>constante de Planck</u> et $\nu$ la fréquence de radiation.
1902	<u>Gilbert N. Lewis</u>	Afin d'expliquer la <u>règle de l'octet</u> (1893), développe la théorie de l'atome cubique dans laquelle les électrons, sous formes de points, se positionnent aux sommets d'un cube et suggèrent que les <u>liaisons covalentes</u> simples, doubles ou triples se produisaient lorsque deux atomes sont maintenus ensemble par plusieurs paires d'électrons (une pour chaque liaison) localisées entre les deux atomes (1916).
1904	<u>Richard Abegg</u>	Remarque le fait que la différence entre la valence maximale positive, par exemple +6 pour $H_2SO_4$ , et la valence maximale négative, par exemple -2 pour $H_2S$ , d'un élément tend à être huit ( <u>loi d'Abegg</u> ).
1905	<u>Albert Einstein</u>	Afin d'expliquer l' <u>effet photoélectrique</u> (1839), i.e. que la lumière arrivant sur certains matériaux peut éjecter des électrons de celui-ci, il postule à partir de l'hypothèse quantique de

		Planck que la <u>lumière</u> elle-même est constituée de particules individuelles quantiques (photons).
1907	Ernest Rutherford	Afin de tester le modèle de plum pudding (1904), il tire des <u>particules alpha</u> positivement chargées sur une feuille d'or et remarque que certaines repartaient en arrière, montrant ainsi que les atomes possèdent un <u>noyau atomique</u> de petite taille et chargé positivement en leurs centres.
1913	Niels Bohr	Afin d'expliquer la <u>formule de Rydberg</u> (1888), qui modélise correctement le spectre d'émission lumineuse de l'atome d'hydrogène, il suppose que les électrons négativement chargés tournent autour d'un noyau positivement chargé à certaines distances quantifiées fixes et que chacune de ces « orbites sphériques » possède une énergie associée telle que les mouvements électroniques entre les orbites nécessitent des émissions ou des absorptions quantifiées d'énergie.
1916	Arnold Sommerfeld	Afin de prendre en compte l' <u>effet Zeeman</u> (1896), i.e. que les bandes spectrales d'absorption ou d'émission atomique changent lorsque la lumière est d'abord passée au travers d'un champ magnétique, il suggère qu'il peut y avoir des « orbitales elliptiques » dans les atomes en plus des orbitales sphériques.
1919	Irving Langmuir	Se basant sur le travail de Lewis (1916), il propose le terme de « <u>covalence</u> » et postule que la formation d'une <u>liaison covalente de coordination</u> lorsque les électrons d'une paire proviennent du même atome.
1922	Stern et Gerlach	Proposent l' <u>expérience de Stern et Gerlach</u> durant laquelle les valeurs discrètes de moments angulaires pour des atomes à l'état fondamental sont détectées par passage dans un champ magnétique inhomogène, conduisant à la découverte du <u>spin</u> de l'électron.
1923	Louis de Broglie	Postula que les électrons en mouvement sont associés avec des ondes dont les longueurs d'ondes sont données par la constante de Planck $h$ divisée par la quantité de mouvement $mv = p$ de l'électron : $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p}$ .
1925	Friedrich Hund	Met en lumière la <u>règle de multiplicité maximale</u> qui indique que lorsque les électrons sont ajoutés successivement à un atome, les niveaux ou orbitales sont occupées par un électron seul tant que c'est possible avant que appariement d'électrons avec spins opposés et fait ainsi la distinction entre les électrons internes dans les molécules restant dans les <u>orbitales atomiques</u> et les <u>électrons de valence</u> se plaçant dans les <u>orbitales moléculaires</u> impliquant les deux noyaux.
1925	Wolfgang Pauli	Formule le principe d' <u>exclusion de Pauli</u> stipulant que deux <u>fermions</u> identiques ne peuvent occuper le même état quantique simultanément.
1926	Erwin Schrödinger	Utilise le postulat d'équivalence onde-matière de Broglie pour développer une <u>équation d'onde</u> représentant mathématiquement la distribution d'une charge d'un électron sur l'espace, symétrique sphériquement ou proéminente selon certaines directions, i.e. les <u>liaisons de valence dirigées</u> , donnant les valeurs corrects pour les bandes spectrales de l'atome d'hydrogène.
1927	Walter Heitler	Utilise l'équation de Schrödinger pour montrer comment les <u>fonctions d'ondes</u> de deux atomes d'hydrogène se rejoignent, avec des termes plus, moins et d'échange, pour former une <u>liaison covalente</u> .
1927	Robert Mulliken	Travaille à développer, avec Hund, une théorie de l' <u>orbitale moléculaire</u> dans laquelle les électrons sont assignés à des états s'étendant sur une molécule dans son ensemble et en 1932 introduit les terminologies d' <u>orbitales moléculaires</u> , comme <u>liaison <math>\sigma</math></u> , <u>liaison <math>\pi</math></u> , et <u>liaison <math>\delta</math></u> .
1928	Linus Pauling	Éclaire la nature de la <u>liaison chimique</u> pour laquelle il utilise le modèle de <u>liaison covalente quantique</u> de Heitler pour montrer la base quantique de tous les types de structures moléculaires et de liaisons et suggère que les différents types de liaisons dans les molécules peuvent être égalisées par une permutation rapide des électrons, processus appelé <u>résonance</u> (1931), de tels hybrides de résonance contenant des contributions des différentes configurations électroniques possibles.
1929	John Lennard-Jones	Introduit l' <u>approximation de la combinaison linéaire d'orbitales atomiques</u> pour le calcul des <u>orbitales moléculaires</u>
1932	Werner Heisenberg	Applique la <u>théorie des perturbations</u> au problème à deux électrons et montre que la <u>résonance</u> provenant de l'échange électronique pouvait expliquer les <u>forces d'échange</u>
1938	Charles	Fait le premier calcul précis d'une <u>fonction d'onde d'orbitale moléculaire</u> avec le <u>dihydrogène</u> .

	Coulson	
1951	Clemens Roothaan et George Hall	Établissent les équations de Roothaan-Hall donnant une base solide aux méthodes d'orbitales moléculaires.

## Les expériences « fondatrices »

---

- Expérience des fentes de Young démontrant la nature ondulatoire de la lumière (1805).
- Découverte de la radioactivité par Henri Becquerel (1896).
- Expériences de Joseph John Thomson sur les rayons cathodiques : découverte de l'électron et de sa charge négative (1897).
- Étude du rayonnement du corps noir entre 1850 et 1900, qui ne peut être expliqué sans concepts de quantification.
- Explication de l'effet photoélectrique par Albert Einstein en 1905 pour laquelle il recevra le prix Nobel de physique, employant les concepts de photons, particules de lumières à énergie quantifiée.
- Expérience de la goutte d'huile de Robert Millikan, montrant la quantification de la charge électrique (1909).
- Expérience d'Ernest Rutherford réfutant le modèle de plum pudding de l'atome qui suggérait que la masse et la charge positive de l'atome était distribuée uniformément (1911).
- Expérience de Stern et Gerlach démontrant la nature quantique du spin (1920).
- Clinton Davisson et Lester Germer démontre la nature ondulatoire de l'électron<sup>4</sup> dans une expérience de diffraction (1927).
- Clyde Cowan et Frederick Reines confirment l'existence d'un neutrino lors d'une expérience (1955).
- Expérience de double diffraction des électrons de Claus Jönsson (1961).
- Découverte en 1980 de l'effet Hall quantique par Klaus von Klitzing. La version quantifiée de l'effet Hall a permis la définition d'un nouveau standard pratique pour la résistance électrique et pour une détermination extrêmement précise et indépendante de la constante de structure fine
- Vérification expérimentale de l'intrication quantique par Alain Aspect en 1982.

## Références

---

1. Holton & Brush *Physics, the Human Adventure* Rutgers University Press, 2005, p. 399
2. Albrecht Folsing, *Albert Einstein: A Biography*, trans. Ewald Osers, Viking, 1997
3. En français : *sur la constitution des atomes et molécules*
4. (en) The Davisson-Germer experiment, which demonstrates the wave nature of the electron (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/davger2.html>)

## Voir aussi

---

- Chimie quantique
- Histoire de la chimie
- Histoire de la physique
- Mécanique quantique
- Quantum

## Liens externes

---

- (en) A History of Quantum Mechanics
- (en) A Brief History of Quantum Mechanics
- (en) Homepage of the Quantum History Project

- (en) Cet article est partiellement ou en totalité issu de l'article de Wikipédia eanglais intitulé « History of quantum mechanics » (voir la liste des auteurs).

---

---

Ce document provient de «[https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Histoire\\_de\\_la\\_mécanique\\_quantique&oldid=144084046](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Histoire_de_la_mécanique_quantique&oldid=144084046)».

**La dernière modification de cette page a été faite le 2 janvier 2018 à 14:47.**

Droit d'auteur : les textes sont disponibles sous licence Creative Commons attribution, partage dans les mêmes conditions ; d'autres conditions peuvent s'appliquer. Voyez les conditions d'utilisation pour plus de détails, ainsi que les crédits graphiques. En cas de réutilisation des textes de cette page, voyez comment citer les auteurs et mentionner la licence.

Wikipedia® est une marque déposée de la Wikimedia Foundation, Inc, organisation de bienfaisance régie par le paragraphe 501(c)(3) du code fiscal des États-Unis.