

Chapitre : Approche ondulatoire de la mécanique quantique

Annexe : Repères chronologiques en relation avec la physique quantique

- **1900** : Première quantification de Planck, qui introduit la grandeur d'aide h (appelée ensuite constante de Planck) à l'occasion de l'explication théorique du rayonnement du corps noir.
- **1905** : Einstein explique l'effet photoélectrique en s'appuyant sur les quanta d'énergie lumineuse et ouvre la voie de la dualité onde-corpuscule pour la lumière.
- **1906** : Einstein propose un modèle pour la capacité calorifique des solides en quantifiant les modes de vibration de ceux-ci.
- **1911** : Rutherford introduit le modèle planétaire de l'atome en accord avec ses expériences de diffusion, mais qui pose un problème de stabilité.
- **1913** : Ehrenfest découvre empiriquement une règle de quantification du moment cinétique.
- **1913** : Bohr introduit son modèle semi-quantique stable de l'atome pour essayer de décrire les spectres atomiques de raies.
- **1914** : Les expériences de Franck et Hertz apportent une validation directe de la quantification de l'énergie dans l'atome.
- **1916** : Millikan termine ses travaux expérimentaux qui renforcent la proposition d'Einstein des quanta d'énergie lumineuse.
- **1916-1917** : Einstein discute les phénomènes d'émission spontanée et stimulée dans les molécules.
- **1921** : Les expériences de Stern et Gerlach montrent que la quantification peut concerner les trajectoires des particules et conduisent ensuite à la découverte du moment magnétique de l'électron (spin).
- **1923** : L'aspect corpusculaire de la lumière est renforcé par l'expérience de diffusion X de Compton.
- **1923** : Bohr énonce un principe de correspondance entre les résultats de la physique classique et ceux de la physique quantique.
- **1935** : Yukawa montre que la cohésion du noyau atomique est assurée par l'interaction forte.
- **1935** : Le caractère surprenant des états intriqués est pour la première fois souligné par Einstein, Podolsky et Rosen dans un article visant à réfuter l'interprétation probabiliste de la physique quantique (paradoxe EPR).
- **1935** : Schrödinger développe l'expérience de pensée du chat de Schrödinger mettant en évidence des difficultés avec la mesure quantique et les états superposés.

- **1938** : Kapitza découvre la superfluidité de l'hélium, phénomène quantique expliqué à partir de la condensation de Bose-Einstein par London.
- **1939** : Bloch et Alvarez mesurent le moment magnétique du neutron.
- **1941** : Une théorie quantique de la superfluidité est construite par Landau.
- **1944** : Onsager donne la première interprétation quantique des transitions de phase.
- **1945** : Bloch et Purcell découvrent indépendamment la résonance magnétique nucléaire.
- **1946** : L'étude des semi-conducteurs est effectuée et le transistor est inventé par Bardeen, Brattain et Shockley.
- **1946** : Tomonaga propose un formalisme mathématique covariant relativiste pour les calculs de la théorie quantique des champs.
- **1947** : Lamb mesure le « déplacement de Lamb » de niveaux de l'atome d'hydrogène qui résulte en un écart non décrit par l'équation de Dirac.
- **1948** : Une mesure de précision du moment magnétique de l'électron est réalisée par Kusch et révèle un léger écart avec la prévision issue de l'équation de Dirac.
- **1949** : L'électrodynamique quantique, qui englobe tous les phénomènes électromagnétiques, est proposée par Feynman, Schwinger et Tomonaga et explique les effets trouvés par Lamb et Kusch.
- **1950** : Kastler et Brossel mettent au point la technique du pompage optique.
- **1953** : Le MASER à ammoniac est inventé par Townes, Gordon et Zeiger.
- **1956** : Lee et Yang envisagent la violation de la parité par l'interaction faible et proposent des expériences qui valident cette hypothèse.
- **1957** : Un problème fondamental de la théorie des solides, la supraconductivité, est résolu par Bardeen, Cooper et Schrieffer (théorie BCS).
- **1960** : Townes propose le principe du LASER.
- **1961** : Jönsson réalise la première expérience d'interférences de type Young avec des électrons émis par une source atténuée, longtemps restée une expérience de pensée (Gedanken experiment).
- **1962** : L'effet Josephson est découvert dans les supraconducteurs.
- **1963** : Glauber pose les bases de l'optique quantique.
- **1965** : Fitch et Cronin montrent que l'invariance par renversement du temps est violée légèrement par l'interaction faible.
- **1965** : Bell démontre les inégalités de son nom qui permettent de quantifier les implications du paradoxe EPR.
- **1969** : Les capteurs CCD sont inventés par Smith et Boyle.
- **1970** : La théorie de la décohérence quantique est initiée par Zeh pour essayer de comprendre le postulat de réduction du paquet d'onde relatif à la mesure quantique.
- **1976** : L'expérience d'interférences de type Young avec une source atténuée d'électrons et avec film montrant la construction de la figure est effectuée par Merli, Missiroli et Pozzi.
- **1977** : Une confirmation directe de la nécessité du photon est apportée par Kimble, Dagenais et Mandel grâce à une source à photons uniques.
- **1980-1982** : Aspect met en place des expériences décisives avec des photons montrant la violation des inégalités de Bell, ce qui renforce l'interprétation probabiliste de la physique quantique et son aspect non local (le paradoxe EPR n'a plus lieu d'être et l'état d'intrication quantique a un sens réel).

- **1980** : Ekimov découvre les boîtes quantiques.
- **1980** : von Klitzing découvre l'effet Hall quantique entier.
- **1981** : Le premier microscope à effet tunnel (STM) est inventé par Binnig et Rohrer.
- **1982** : Les quasicristaux sont découverts par Shechtman en exploitant la diffraction d'un faisceau électronique.
- **1982** : L'effet Hall quantique fractionnaire est révélé par Tsui, Störmer et Gossart et une théorie est élaborée par Laughlin.
- **1982** : Zurek développe des éléments fondamentaux dans la théorie de la décohérence quantique.
- **1985** : Une figure d'interférences est obtenue, avec un interféromètre de Mach-Zehnder et une source à photons uniques, par Grangier, Roger et Aspect.
- **1985-1995** : Chu, Phillips et Cohen-Tannoudji développent et pratiquent des méthodes pour refroidir et piéger des atomes avec de la lumière (mélasses optiques).
- **1988** : Fert et Grünberg découvrent indépendamment l'effet de magnéto-résistance géante.
- **1995** : Cornell, Ketterle et Wieman observent la condensation de Bose-Einstein de gaz d'atomes alcalins à une température de l'ordre du microkelvin.
- **1996** : Haroche et ses collaborateurs réalisent une expérience accréditant la théorie de la décohérence en observant une signature d'une superposition d'états exploitant des atomes de Rydberg.
- **1997-1998** : Les premières téléportations quantiques sont réalisées par diverses équipes (Zeilinger, Kimble...) avec des photons en s'appuyant sur l'intrication quantique. Depuis, on a réussi à téléporter des atomes !
- **2005** : Une expérience de type fente de Young (avec un système de type biprisme de Fresnel) avec source à photons uniques est effectuée par Jacques, Wu, Grosshans, Treussart, Aspect, Grangier et Roch.
- **2007** : Une expérience d'interférences de type Young avec une source à électrons uniques est réalisée par Chesnel, Hajaji, Barrachina et Frémont.

Depuis... Des applications de la physique quantique sont réalisées en abondance, notamment dans le domaine de l'opto-électronique. De nombreux projets « futuristes » sont à l'étude (cryptographie quantique, téléportation quantique appliquée, ordinateur quantique...).

Congrès Solvay

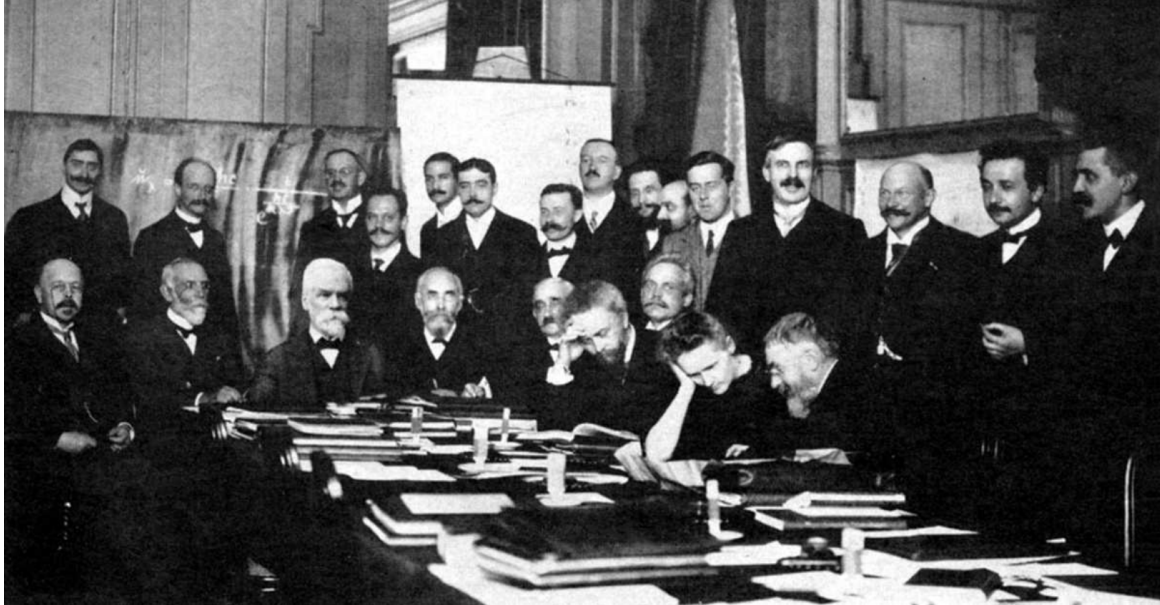


FIGURE 1 – Congrès Solvay 1911 - La théorie du rayonnement et les quanta

Debout (de gauche à droite) : R. Goldschmidt, M. Planck (Nobel 1918), H. Rubens, A. Sommerfeld, F. Lindemann, M. de Broglie, M. Knudsen, F. Hasenöhl, G. Hostelet, É. Herzen, J. Jeans, E. Rutherford (Nobel 1908), H. Kamerlingh Onnes (Nobel 1913), A. Einstein (Nobel 1921) et P. Langevin.

Assis (de gauche à droite) : W. Nernst (Nobel 1920), M. Brillouin, E. Solvay, H.A. Lorentz (Nobel 1902), E. Warburg, J.-B. Perrin (Nobel 1926), W. Wien (Nobel 1911), M. Curie (Nobel 1903 et Nobel 1911) et H. Poincaré.

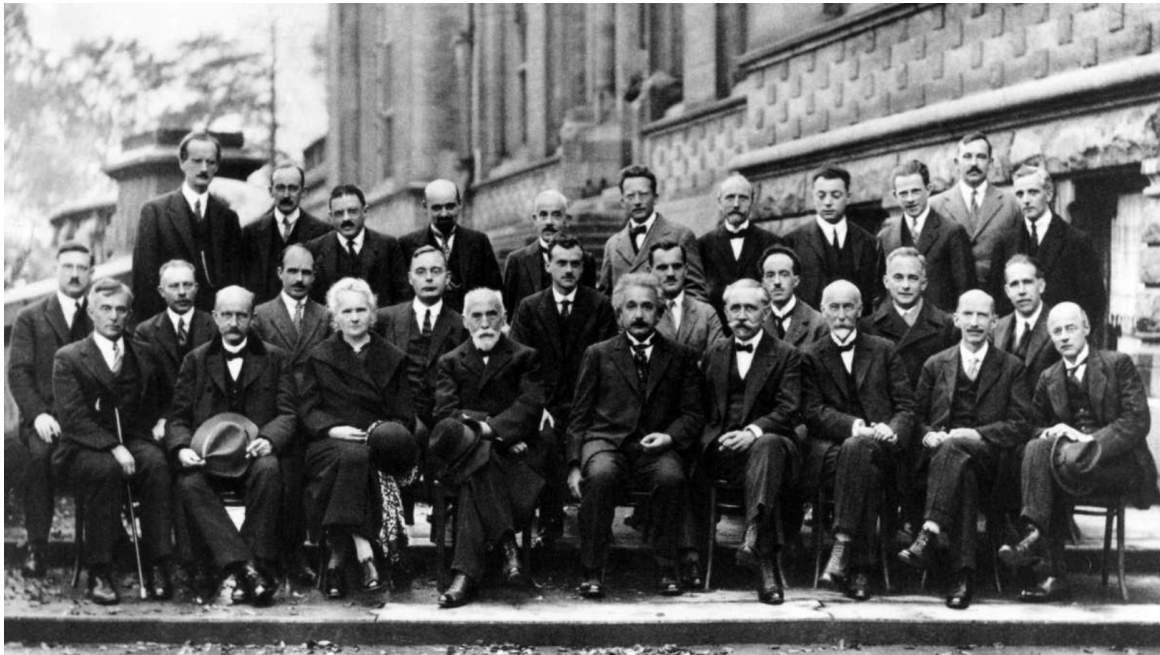


FIGURE 2 – Congrès Solvay 1927 - Électrons et photons

Rangée arrière (de gauche à droite) : A. Piccard, É. Henriot, P. Ehrenfest, É. Herzen, T. de Donder, E. Schrödinger (Nobel 1933), J.-É. Verschaffelt, W. Pauli (Nobel 1945), W. Heisenberg (Nobel 1932), R.H. Fowler et L. Brillouin.

Rangée du milieu (de gauche à droite) : P. Debye (Nobel 1936), M. Knudsen, W.L. Bragg (Nobel 1915), H.A. Kramers, P. Dirac (Nobel 1933), A. Compton (Nobel 1927), L. de Broglie (Nobel 1929), M. Born et N. Bohr (Nobel 1922).

Rangée avant (de gauche à droite) : I. Langmuir (Nobel 1932), M. Planck (Nobel 1918), M. Curie (Nobel 1903 et Nobel 1911), H.A. Lorentz (Nobel 1902), A. Einstein (Nobel 1921), P. Langevin, C.-E. Guye, C.T.R. Wilson (Nobel 1927) et O.W. Richardson (Nobel 1928).