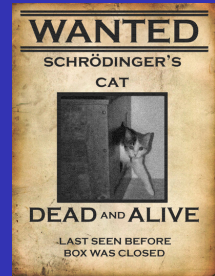


La physique quantique, ou comment apprivoiser le chat de Schrödinger?

\hbar ... Ψ ...



Hélène Perrin

Laboratoire de physique des lasers, CNRS & Université Sorbonne Paris Nord

Nuit du quantique — Cité des sciences, 31 mars 2026

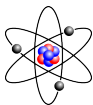


INTERNATIONAL YEAR OF
Quantum Science
and Technology

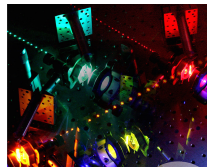


La physique quantique à toutes les échelles

La physique quantique décrit les propriétés de la lumière et de la matière, à très petite mais aussi à très grande échelle :



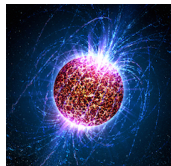
atome



lumière



matériau supraconducteur

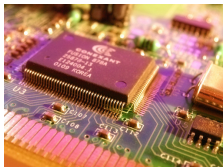


étoile à neutrons

Tout est quantique !*

Notre quotidien repose sur la physique quantique

Exemples de dispositifs utilisant la physique quantique :



circuit intégré (electrons)



IRM (supraconducteur)



laser



GPS (horloge atomique)

* www.toutestquantique.fr

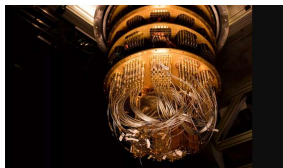
Les avancées de la physique quantique

Des innovations extraordinaires

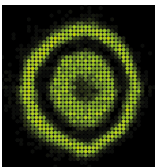
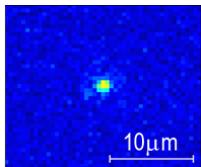
Exemples de dispositifs utilisant la physique quantique :



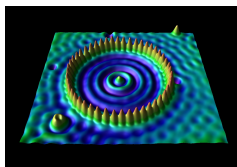
communication quantique



ordinateur quantique



ions / atomes froids



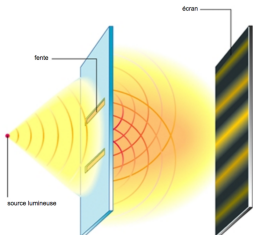
microscope à effet tunnel

Demandez le programme !

- 1 Introduction
 - Tout est quantique
 - La lumière comme une onde
- 2 Une brève histoire de la physique quantique
 - La théorie des quanta
 - La fonction d'onde
 - L'effet de la mesure
- 3 Paradoxes quantiques
 - Intrication et chat de Schrödinger
 - Le paradoxe EPR
- 4 Des expériences de pensée aux technologies quantiques

La lumière

Un rayonnement électromagnétique



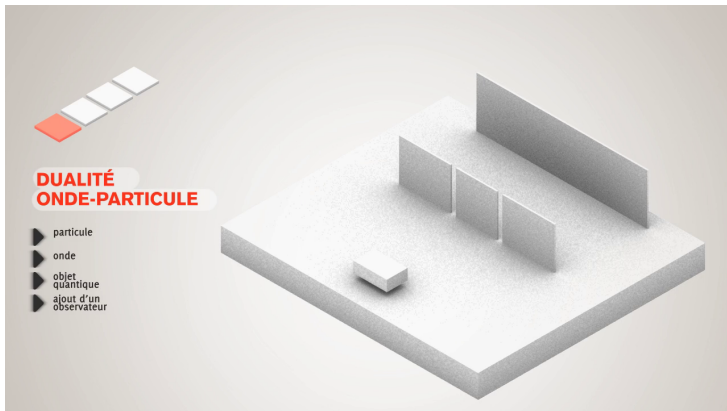
La lumière est une **onde électromagnétique**, qui peut donner lieu à des interférences.



Sa période est appelée **longueur d'onde** λ .

Les interférences lumineuses

Expérience des fentes de Young (1801)

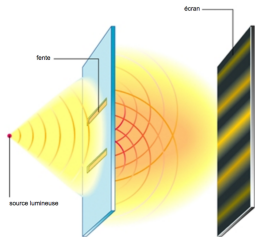


www.toutestquantique.fr

L'onde se propage et **passer par les deux fentes à la fois.**

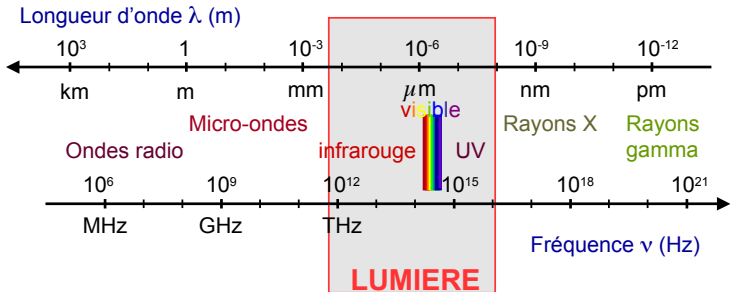
La lumière

Un rayonnement électromagnétique



La lumière est une **onde électromagnétique**, qui peut donner lieu à des interférences.

La couleur de la lumière est donnée par sa **longueur d'onde** λ , ou sa **fréquence** ν , reliées par $\lambda\nu = c$ (vitesse de la lumière).



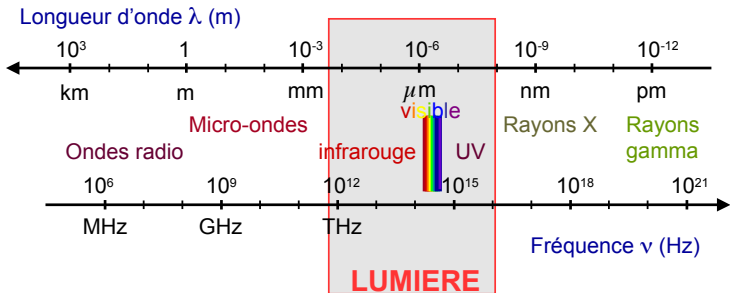
La lumière

Un rayonnement électromagnétique



La lumière est une **onde électromagnétique**, qui peut donner lieu à des interférences.

La lumière du Soleil contient toutes les couleurs visibles du **spectre électromagnétique**.



La lumière

Un rayonnement électromagnétique



La lumière est une **onde électromagnétique**, qui peut donner lieu à des interférences.

La lumière du Soleil contient toutes les couleurs visibles du **spectre électromagnétique**.

Tout cela est très bien décrit au 19^e siècle par la **théorie de l'électromagnétisme** (équations de Maxwell). Enfin, presque tout...

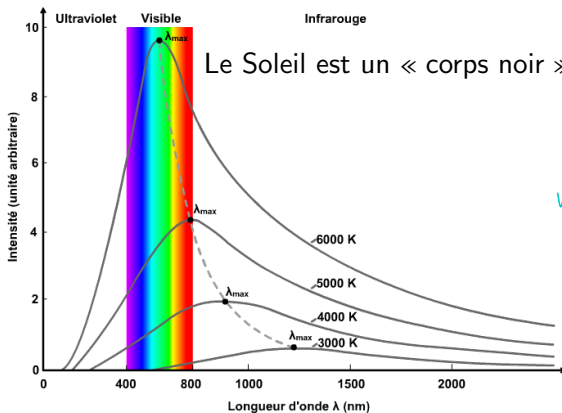
Histoire

Une brève histoire de la physique quantique

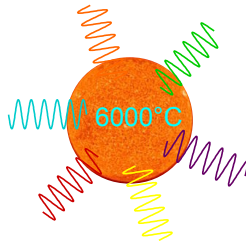
Naissance de la physique quantique

Le problème du rayonnement du corps noir

Un corps « noir » absorbe (et réémet) toute l'énergie lumineuse.



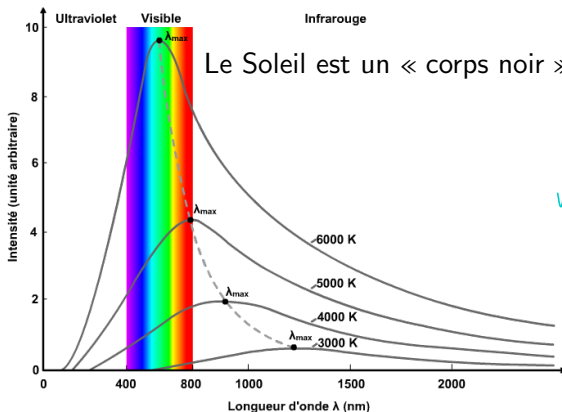
Le Soleil est un « corps noir » à 6000°C environ.



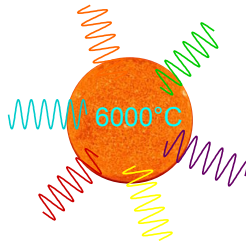
Naissance de la physique quantique

Le problème du rayonnement du corps noir

Un corps « noir » absorbe (et réémet) toute l'énergie lumineuse.



Le Soleil est un « corps noir » à 6000°C environ.



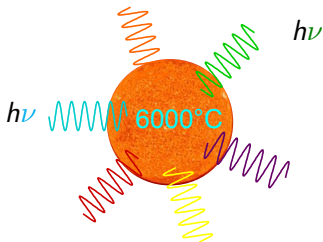
Problème : la physique classique de la fin du 19^e siècle ne permet pas d'expliquer la forme observée du spectre de la lumière !

Naissance de la physique quantique

Max Planck et le rayonnement du corps noir



Planck 1900 : on peut expliquer le spectre (couleur) de la lumière émise par un corps noir si l'on suppose que l'énergie lumineuse est transférée par unité ou **quantum** d'énergie $E = h\nu$. h est une constante appelée la **constante de Planck**.

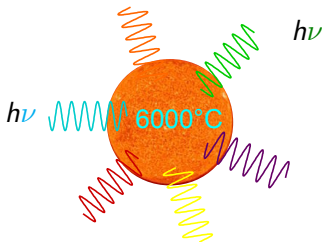


Naissance de la physique quantique

Max Planck et le rayonnement du corps noir



Planck 1900 : on peut expliquer le spectre (couleur) de la lumière émise par un corps noir si l'on suppose que l'énergie lumineuse est transférée par unité ou **quantum** d'énergie $E = h\nu$. h est une constante appelée la **constante de Planck**.

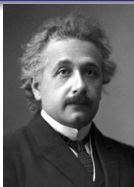


$h = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 662\ 607\ 015$

C'est très très petit ! Pour Planck c'est juste un artifice de calcul...

Naissance de la physique quantique

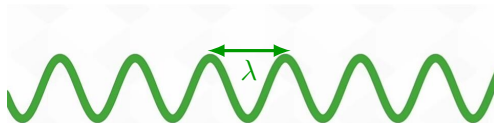
Albert Einstein et la théorie des quanta



Einstein 1905 : Einstein va plus loin et comprend que ces **quanta** correspondent à des particules **réelles**, constitutives de la lumière : les **photons** !

On peut donc considérer la lumière **à la fois** comme une onde et comme un ensemble de particules.

onde



photons

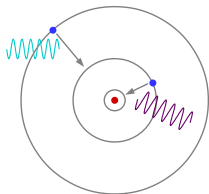


Naissance de la physique quantique

Niels Bohr et les raies de l'hydrogène



Bohr 1913 : grâce au concept des quanta, Niels Bohr explique le **spectre de l'atome d'hydrogène**. L'électron tourne autour du noyau selon certaines orbites uniquement, d'énergie quantifiée. Seules certaines **couleurs ν** telles que l'énergie des orbites diffère de $E = h\nu$ sont présentes dans le spectre.



raies d'absorption de l'hydrogène



ν_1 ... ν_2 ν_3

raies d'émission de l'hydrogène

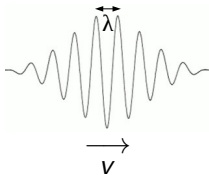
Chaque atome a un spectre différent, ses « empreintes digitales ».

Ondes ou corpuscules ?

Louis de Broglie et les ondes de matière



de Broglie 1923 : l'interprétation d'Einstein montre que la lumière est à la fois une **onde** et une assemblée de **particules**, les photons. Louis de Broglie propose d'étendre cela à la matière et décrit les électrons (ou les atomes) comme des **ondes de matière**.



onde $\Psi(x)$ associée à un électron de masse M :

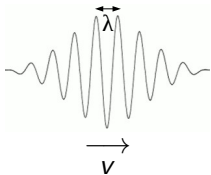
$$\text{longueur d'onde de de Broglie } \lambda = \frac{h}{M \times v}$$

Ondes ou corpuscules ?

Louis de Broglie et les ondes de matière



de Broglie 1923 : l'interprétation d'Einstein montre que la lumière est à la fois une **onde** et une assemblée de **particules**, les photons. Louis de Broglie propose d'étendre cela à la matière et décrit les électrons (ou les atomes) comme des **ondes de matière**.



onde $\Psi(x)$ associée à un électron de masse M :

$$\text{longueur d'onde de de Broglie } \lambda = \frac{h}{M \times v}$$

Encore la constante de Planck !

L'équation de Schrödinger... il y a 100 ans!



Erwin Schrödinger et l'équation d'évolution de la fonction d'onde — où \hbar apparaît



\hbar



Schrödinger 1925 : il établit une équation **linéaire** qui décrit l'**évolution temporelle de l'onde de matière** de de Broglie. On décrit le système par sa fonction d'onde $\Psi(x, t)$ (ou son état $|\Psi\rangle$).

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = H\Psi \quad \text{avec } \hbar = \frac{h}{2\pi}.$$

L'équation de Schrödinger... il y a 100 ans!



Erwin Schrödinger et l'équation d'évolution de la fonction d'onde — où \hbar apparaît



\hbar



Schrödinger 1925 : il établit une équation **linéaire** qui décrit l'**évolution temporelle de l'onde de matière** de de Broglie. On décrit le système par sa fonction d'onde $\Psi(x, t)$ (ou son état $|\Psi\rangle$).

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = H\Psi \quad \text{avec } \hbar = \frac{h}{2\pi}.$$

Encore la constante de Planck !

L'équation de Schrödinger... il y a 100 ans!



Erwin Schrödinger et l'équation d'évolution de la fonction d'onde — où \hbar apparaît



\hbar



Schrödinger 1925 : il établit une équation **linéaire** qui décrit l'**évolution temporelle de l'onde de matière** de de Broglie. On décrit le système par sa fonction d'onde $\Psi(x, t)$ (ou son état $|\Psi\rangle$).

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = H\Psi \quad \text{avec} \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}.$$

Encore la constante de Planck !

Cette équation ressemble à l'équation de propagation des ondes électromagnétiques comme la lumière (équations de Maxwell). L'opérateur H est appelé l'**hamiltonien**.

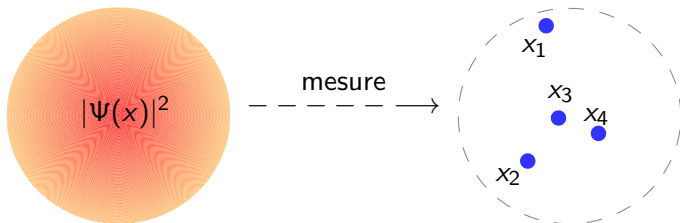
Mais quelle est la **signification de $\Psi(x)$** ?

Une théorie probabiliste

Max Born et l'interprétation statistique



Born 1926 : on ne connaît pas avec certitude la position de l'électron ! La probabilité de le trouver à la position x est donnée par $|\Psi(x)|^2$. Les prédictions de la mécanique quantique sont **probabilistes** !



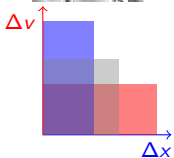
Résultat **aléatoire** : on trouve x_1 avec une probabilité $|\Psi(x_1)|^2$, etc.

L'incertitude...

Werner Heisenberg et ses inégalité



Heisenberg 1927 : on ne peut pas mesurer à la fois la position et la vitesse de l'électron ! Si on la position de l'électron est connue à Δx près, alors sa vitesse est connue à Δv près, de sorte que



$$\Delta x \times \Delta v \geq \frac{\hbar}{2M}$$

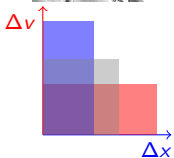
où M est la masse de l'électron.

L'incertitude...

Werner Heisenberg et ses inégalité



Heisenberg 1927 : on ne peut pas mesurer à la fois la position et la vitesse de l'électron ! Si on la position de l'électron est connue à Δx près, alors sa vitesse est connue à Δv près, de sorte que



$$\Delta x \times \Delta v \geq \frac{\hbar}{2M}$$

où M est la masse de l'électron.

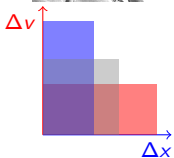
Encore la constante de Planck !

L'incertitude...

Werner Heisenberg et ses inégalité



Heisenberg 1927 : on ne peut pas mesurer à la fois la position et la vitesse de l'électron ! Si on la position de l'électron est connue à Δx près, alors sa vitesse est connue à Δv près, de sorte que



$$\Delta x \times \Delta v \geq \frac{\hbar}{2M}$$

où M est la masse de l'électron.

Encore la constante de Planck !

Conséquence : des atomes très froids ont une vitesse très petite mais une zone Δx de positions possibles très étendue. . .

Le principe de superposition

Où l'on se rapproche du chat...



Une propriété importante de l'équation de Schrödinger est qu'on peut **combiner** ou **superposer** ses solutions :

$$i\hbar \frac{\partial |\Psi_1\rangle}{\partial t} = H|\Psi_1\rangle$$

$$i\hbar \frac{\partial |\Psi_2\rangle}{\partial t} = H|\Psi_2\rangle$$

$$i\hbar \frac{\partial |\Psi\rangle}{\partial t} = H|\Psi\rangle$$

$$\text{avec } |\Psi\rangle = |\Psi_1\rangle + |\Psi_2\rangle$$

Le principe de superposition

Où l'on se rapproche du chat...



Une propriété importante de l'équation de Schrödinger est qu'on peut **combiner** ou **superposer** ses solutions :

$$i\hbar \frac{\partial |\Psi_1\rangle}{\partial t} = H|\Psi_1\rangle$$

$$i\hbar \frac{\partial |\Psi_2\rangle}{\partial t} = H|\Psi_2\rangle$$

$$\boxed{i\hbar \frac{\partial |\Psi\rangle}{\partial t} = H|\Psi\rangle} \quad \text{avec } |\Psi\rangle = |\Psi_1\rangle + |\Psi_2\rangle$$

Une combinaison quelconque de deux états possibles $|\Psi_1\rangle$ et $|\Psi_2\rangle$ est encore un état possible : $|\Psi\rangle = \alpha_1|\Psi_1\rangle + \alpha_2|\Psi_2\rangle$.

C'est le **principe de superposition**. Exemple avec un atome :

$$|\text{atome}\rangle = \left| \begin{array}{c} \bigcirc \\ \bigcirc \\ \bigcirc \end{array} \right\rangle,$$

Le principe de superposition

Où l'on se rapproche du chat...



Une propriété importante de l'équation de Schrödinger est qu'on peut **combiner** ou **superposer** ses solutions :

$$i\hbar \frac{\partial |\Psi_1\rangle}{\partial t} = H|\Psi_1\rangle$$

$$i\hbar \frac{\partial |\Psi_2\rangle}{\partial t} = H|\Psi_2\rangle$$

$$i\hbar \frac{\partial |\Psi\rangle}{\partial t} = H|\Psi\rangle$$

$$\text{avec } |\Psi\rangle = |\Psi_1\rangle + |\Psi_2\rangle$$

Une combinaison quelconque de deux états possibles $|\Psi_1\rangle$ et $|\Psi_2\rangle$ est encore un état possible : $|\Psi\rangle = \alpha_1|\Psi_1\rangle + \alpha_2|\Psi_2\rangle$.

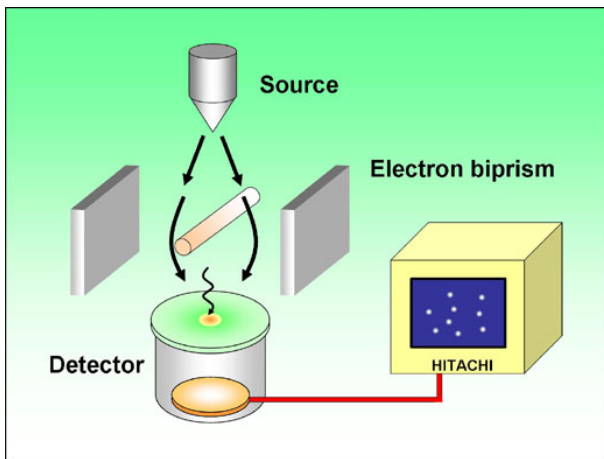
C'est le **principe de superposition**. Exemple avec un atome :

$$|\text{atome}\rangle = |\text{atome}\rangle, \text{ ou } |\text{atome}\rangle \text{ ou } \dots \alpha_1 |\text{atome}\rangle + \alpha_2 |\text{atome}\rangle !$$

La dualité onde-corpuscule et le principe de superposition

Une expérience avec des électrons uniques

1989 : Expérience de fentes de Young
avec des électrons arrivant un par un sur un détecteur :

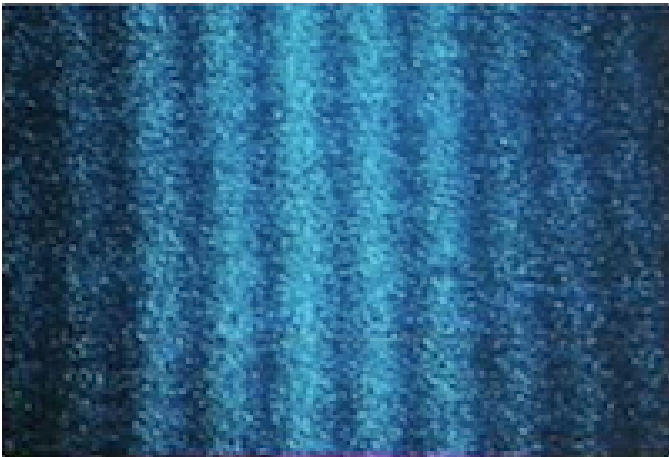


Dessin : Hitachi

La dualité onde-corpuscule et le principe de superposition

Une expérience avec des électrons uniques

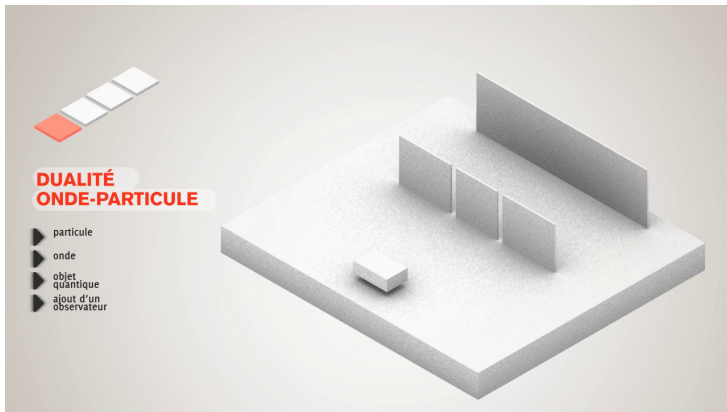
1989 : Expérience de fentes de Young
avec des électrons arrivant un par un sur un détecteur :



Akira Tonomura (Hitachi, Tokyo) ; Film : Hitachi

La dualité onde-corpuscule et le principe de superposition

Fentes de Young à l'échelle de la particule unique



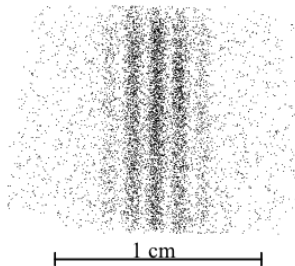
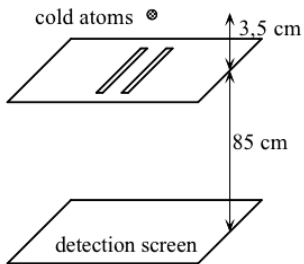
www.toutestquantique.fr

Après les fentes, état $|gauche\rangle + |droite\rangle$

Et avec des particules plus grosses ?

Expérience de Tokyo (1992)

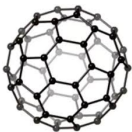
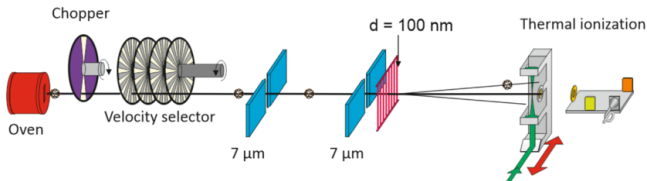
Un atome ~ 0.05 nm.



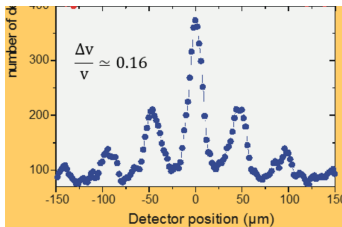
Avec des atomes froids de néon (Fuji Shimizu)

Et avec des particules plus grosses ?

Expérience de Vienne (2003)



$\sim 1 \text{ nm}$




Avec des molécules de fullerène C_{60} (Markus Arndt et Anton Zeilinger)

NB Record actuel (M. Arndt, janv. 2026) : nanoparticules de 10 nm avec 7000 atomes

L'interprétation de Copenhague

La mesure perturbe le système !


Cas d'une superposition quantique : le résultat de la mesure n'est connu qu'avec une certaine **probabilité** reliée au **poids** sur les états $|\Psi_1\rangle$ et $|\Psi_2\rangle$.

Par exemple si $|\Psi\rangle = \alpha_1|\text{cible}\rangle + \alpha_2|\text{cible}\rangle$ la mesure donnera  avec une probabilité $|\alpha_1|^2$.

L'interprétation de Copenhague

La mesure perturbe le système !


Cas d'une superposition quantique : le résultat de la mesure n'est connu qu'avec une certaine **probabilité** reliée au **poids** sur les états $|\Psi_1\rangle$ et $|\Psi_2\rangle$.

Par exemple si $|\Psi\rangle = \alpha_1|\text{cible}\rangle + \alpha_2|\text{cible}\rangle$ la mesure donnera  avec une probabilité $|\alpha_1|^2$. Mais que devient l'état **après** la mesure ?

L'interprétation de Copenhague

La mesure perturbe le système !


Cas d'une superposition quantique : le résultat de la mesure n'est connu qu'avec une certaine **probabilité** reliée au **poids** sur les états $|\Psi_1\rangle$ et $|\Psi_2\rangle$.

Par exemple si $|\Psi\rangle = \alpha_1|\text{cible}\rangle + \alpha_2|\text{cible}\rangle$ la mesure donnera  avec une probabilité $|\alpha_1|^2$. Mais que devient l'état **après** la mesure ?











Bohr, Heisenberg et Pauli

Niels Bohr, Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli postulent que la fonction d'onde du système est **réduite** à l'un des résultats possibles lors d'une mesure. C'est le **postulat de la mesure**.

L'état après la mesure est **modifié** et vaut  !

La mesure perturbe le système !

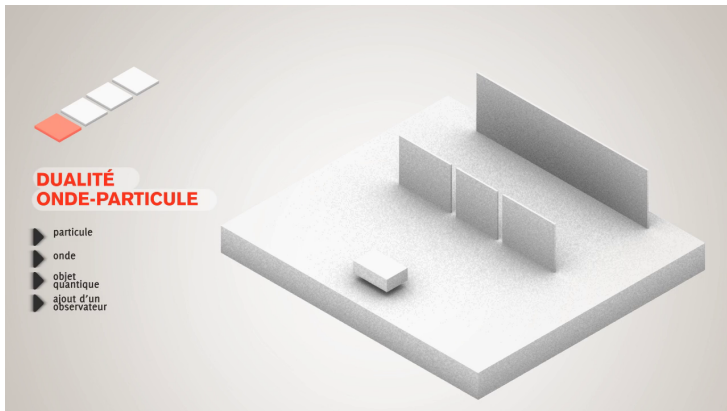
Exemple 1 : un atome dans plusieurs états d'énergie :

état de départ			$\sqrt{\frac{1}{2}} \text{2s}\rangle + \sqrt{\frac{1}{2}} \text{2p}\rangle$
résultat de la mesure			 ou 
probabilité du résultat	100%	100%	50-50
état final			$ \text{2s}\rangle$ ou $ \text{2p}\rangle$

La mesure perturbe le système

Fentes de Young à l'échelle de la particule unique

Exemple 2 : et si on détecte par quel trou est passé l'électron ?



www.toutestquantique.fr

Après la mesure, état $|gauche\rangle$ ou $|droite\rangle$

Paradoxes

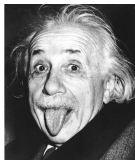
Les paradoxes soulevés par la théorie quantique

Le temps des paradoxes

Après les premiers succès, les inventeurs de la mécanique quantique imaginent des **expériences de pensée** qui semblent conduire à des résultats paradoxaux.



Un chat peut-il être à la fois **mort** et **vivant** ?
L'expérience de pensée du **chat de Schrödinger**.



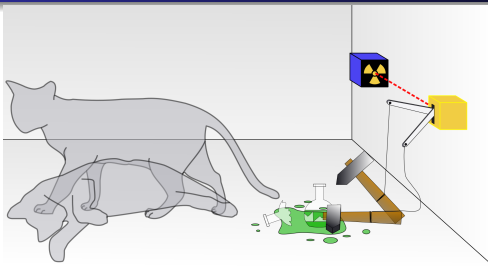
Deux particules peuvent-elles être dans des **états corrélés** même si elles sont très éloignées et n'échangent aucune information ? Le paradoxe EPR (pour Einstein-Podolsky-Rosen).

Le chat de Schrödinger (1935)

Un paradoxe de la mécanique quantique

chat

image :
Dhatfield



atome
radioactif

détecteur

marteau

poison

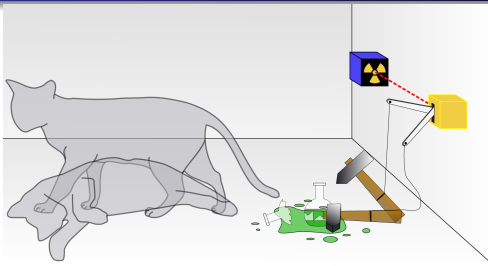
L'état du chat est **intriqué** avec celui de l'atome :
 $|\text{atome et chat}\rangle = \alpha_1 |\text{excité, vivant}\rangle + \alpha_2 |\text{désexcité, mort}\rangle$

Le chat de Schrödinger (1935)

Un paradoxe de la mécanique quantique

chat

image :
Dhatfield



atome
radioactif

détecteur

marteau

poison

L'état du chat est **intriqué** avec celui de l'atome :

$$|\text{atome et chat}\rangle = \alpha_1 |\text{excité, vivant}\rangle + \alpha_2 |\text{désexcité, mort}\rangle$$

Lorsque l'état de l'atome devient

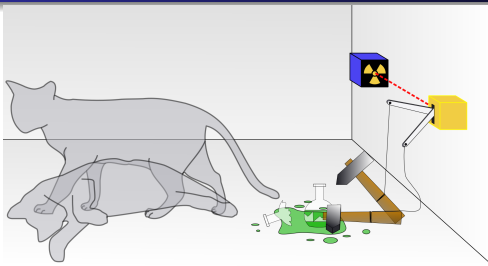
$$|\text{atome}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} |\text{excité}\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} |\text{désexcité}\rangle$$

Le chat de Schrödinger (1935)

Un paradoxe de la mécanique quantique

chat

image :
Dhatfield



atome
radioactif

détecteur

marteau

poison

L'état du chat est **intriqué** avec celui de l'atome :

$$|\text{atome et chat}\rangle = \alpha_1 |\text{excité, vivant}\rangle + \alpha_2 |\text{désexcité, mort}\rangle$$

Lorsque l'état de l'atome devient

$$|\text{atome}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} |\text{excité}\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} |\text{désexcité}\rangle$$

alors l'état du chat est $\frac{1}{\sqrt{2}} |\text{chat vivant}\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} |\text{chat mort}\rangle$!

Quand on ouvre la boîte, on réduit l'état à mort ou vivant.

L'explication : la décohérence

L'intrication est fragile !



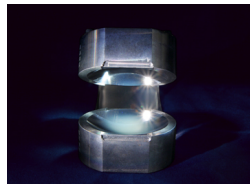
Serge Haroche

Si l'état « chat » interagit avec l'**environnement**, celui le **mesure** en permanence et le **projette** dans l'état mort **ou** vivant.

⇒ comme le détecteur qui observe par quelle fente passe la particule !

Il est difficile de préparer un chat de Schrödinger, mais on peut fabriquer des chatons !

→ Expériences de Serge Haroche au Laboratoire Kastler Brossel avec des états à **quelques photons**. La superposition entre deux états est d'autant plus **fragile** que les états sont très différents, et qu'ils sont **GROS** (beaucoup de particules par exemple).



boîte à
photons-chatons

Le paradoxe EPR (1935)

Une expérience de pensée d'Einstein, Podolsky et Rosen

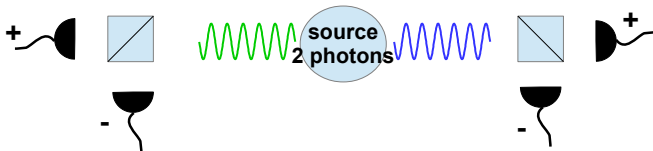


Einstein

Podolsky

Rosen

Une expérience de pensée d'Albert Einstein, Boris Podolsky et Nathan Rosen :
particules corrélées de manière **non locale**.

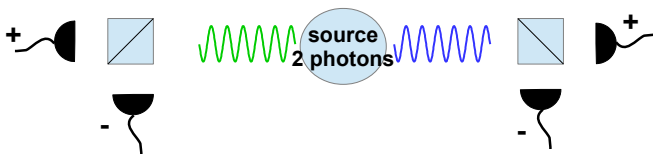


paire de photons intriqués émis simultanément par un processus de désexcitation

Les deux photons ont des **polarisations aléatoires mais opposées**. Si on mesure une polarisation + pour le photon de gauche, alors celui de droite est dans l'état -.

Le paradoxe EPR (1935)

Une expérience de pensée d'Einstein, Podolsky et Rosen



paire de photons intriqués émis simultanément par un processus de désexcitation

Les deux photons ont des **polarisations aléatoires mais opposées**.

Résultats de mesure possibles : $+-$, $-+$, mais pas $++$ ni $--$.

État **intriqué** de la paire de photons d'après Bohr :

$$\frac{1}{\sqrt{2}}|+-\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|-+\rangle$$

Chaque mesure est aléatoire, mais les résultats **non locaux** sont corrélés : $++$ est impossible ! MAIS ALORS... comment font les photons pour être dans l'état opposé sans communiquer ?

Les inégalités de Bell (1964)

Tester la mécanique quantique



John Bell propose un moyen concret de tester la proposition EPR. Selon la valeur d'une grandeur S **combinant les résultats des mesures** des polarisations + et - des deux photons, on peut vérifier si la prédiction quantique est correcte.

Si $S < 2$, on peut expliquer les résultats avec des **probabilités classiques** (le résultat est connu dès la séparation).

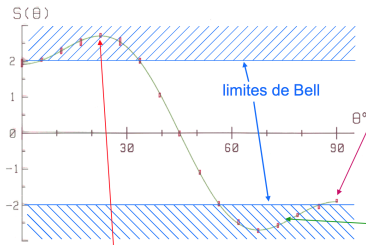
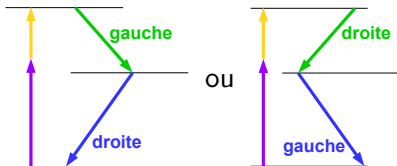
Si $S > 2$, seule la **théorie quantique des photons corrélés** permet d'expliquer le résultat (le résultat se décide lors de la mesure).

Les expériences d'Aspect (1980-82)

Vérifier la mécanique quantique



Alain Aspect monte une expérience à l'Institut d'Optique pour tester cette inégalité avec des **photons jumeaux** émis par des atomes de calcium et dont les polarisations sont opposées.



Verdict : **Bohr a raison contre Einstein**, la théorie quantique donne le résultat correct !

Des expériences de pensée aux technologies quantiques

Ondes de matière, mesures de précision,
cryptographie quantique. . .

La cryptographie quantique

On peut utiliser les corrélations non locales pour transmettre de l'information de façon sûre.



Bob

00101100111001101000



espion

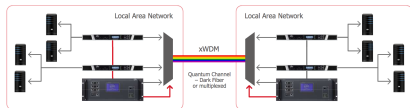


Alice

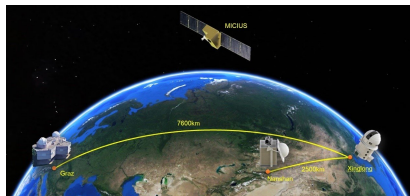
Si un espion intercepte le message, Alice et Bob s'en rendent compte car **la mesure perturbe le système** et les mesures d'Alice et Bob n'obéissent plus aux inégalités de Bell !

La cryptographie quantique en pratique

Des dispositifs déjà opérationnels :



dispositif commercial avec des fibres optiques (ID Quantique, Genève)



échange de clé quantique via un satellite (collaboration Chine-Autriche)

Europe : grande opération sur les **technologies quantiques**.

France : Stratégie nationale quantique, réseau francilien QuanTiP...

Des équipes de recherche travaillent aussi sur ce sujet en France et ont fait émerger des startups (Quandela, WeLinq, VeryQcloud...).

Le Graal de l'ordinateur quantique

Avec le même principe des **superpositions quantiques** et des **états intriqués**, on pourrait améliorer la vitesse de calcul d'un ordinateur : en plus des éléments logiques (ou bits) 0 et 1 on utilise des états

$$\alpha_1|0\rangle + \alpha_2|1\rangle$$

Cela permet de résoudre **beaucoup plus vite** certains problèmes difficiles.

Challenge : **lutter contre la décohérence** (le problème du chat de Schrödinger...). Premiers résultats encourageants !

La course est lancée, des grandes entreprises (IBM, Google...) aux startups (Pasqal, Quandela, Alice & Bob...)

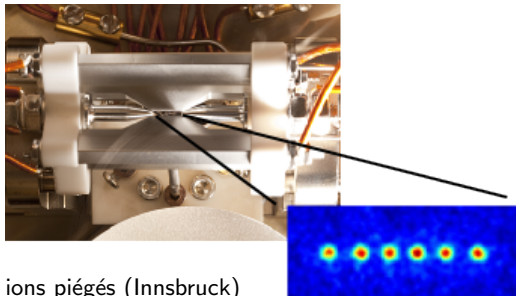


Les atomes et les ions ultra froids

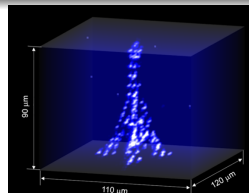
Une des approches pour limiter la décohérence

Les ions ou les atomes piégés dans des enceintes à ultra vide interagissent très peu avec l'environnement, donc ils sont **peu sensibles à la décohérence**.

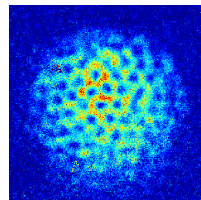
→ développement de **simulateurs quantiques** idéal pour simuler des matériaux complexes



ions piégés (Innsbruck)



atomes de Rydberg
(CNRS/IOGS)



atomes froids
(CNRS/LPL)

Les horloges à atomes froids

Des équipes du CNRS à la pointe des mesures de précision

Plus le temps d'observation des atomes est long, meilleure est la **précision de la mesure** de leurs énergies $E = h\nu$.

⇒ **ralentir les atomes** pour les observer plus longtemps



Des atomes froids de strontium servant d'horloge (CNRS/LTE)

Erreur d'**une seconde tous les milliards d'années** !



Un gravimètre à atomes froids (MuQuans/Exail, Bordeaux)

La mécanique quantique : une vieille dame en pleine forme !

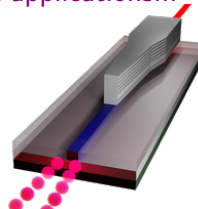
100 ans de
mécanique quantique !



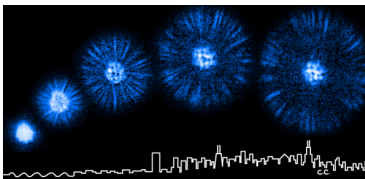
Des premières découvertes...



aux applications...



une science
fascinante...



et toujours
foisonnante !

Pour en savoir plus



La mécanique quantique en 7 idées



ScienceEtonnante ©
1,5 M d'abonnés

S'abonner

60 k



Partager



Merci de votre attention !