Physique quantique : ondes et particules (1re partie)

Partage international n° 443 – Juillet 2025

par Dominique Abdelnour

Ce premier article sur la physique quantique présente quelques-uns des aspects fondamentaux qui ont mobilisé les scientifiques pendant cent ans. Le deuxième article sera consacré à des expériences plus récentes (intrication, passage du quantique au macroscopique). Un troisième article évoquera diverses tentatives d'unification des théories physiques en une « théorie du tout ».

Ces articles décrivent des expériences scientifiques que le lecteur pourra utiliser pour se forger sa propre image de la réalité à partir d'éléments ésotériques. Je tiens à remercier F. Mairal pour sa relecture attentive de ces articles.

« N'oublions jamais, en étudiant ces principes abstraits de base, que les mots ne font qu'obscurcir le sens, ne peuvent que suggérer et non expliquer. » (Alice Bailey)

Au cours des cent dernières années, les découvertes de la physique quantique ont transformé la vie dans le monde entier grâce à de nouvelles techniques : circuits intégrés, smartphones, télévisions, internet, IRM médicaux, satellites, lasers, etc. Elles ont révolutionné notre vision du monde microscopique, suscitant de nombreuses controverses et interprétations.

Physique quantique

La physique quantique, développée dans les années 1920, décrit le fonctionnement de la nature à une très petite échelle, de 10^{-35} mètres (1 mètre divisé par 10, répété 35 fois)[1], connue sous le nom de longueur de Planck. Cette échelle est des milliards de milliards de fois plus petite que l'ordre de grandeur d'un atome (composé d'un noyau et d'un *nuage* d'électrons), qui est de 10^{-11} mètres (la taille du noyau étant d'environ 10^{-15} mètres). La physique quantique a remis en cause notre image mentale du monde, où toute la matière peut être décomposée en objets durs plus petits, dont l'évolution peut être prédite par des lois déterministes, dans lesquelles les notions de vitesse, de position et de causalité ont un sens.

Basée sur des postulats mathématiques très abstraits, la physique quantique peut être évoquée par certains principes qui remettent en cause notre compréhension du monde.

Quelques propriétés

Vers 1900, il est d'abord établi que les échanges entre les électrons et la lumière (tout ce que nous voyons, la photosynthèse, l'effet photoélectrique, etc.) se font de manière discontinue via des **quantas d'énergie**, expliquant ainsi le spectre d'émission discontinu des atomes, valides dans tout l'univers.

En 1923, Louis de Broglie postule que la matière est également une onde. C'est ainsi que naît le concept de **dualité onde-particule**. Les objets quantiques, tels que les photons et les électrons, manifestent des propriétés d'onde ou de particule selon les circonstances.

En 1925, Heisenberg énonce le principe d'indétermination : le produit des indéterminations des quantités dites complémentaires (vitesse et position ; énergie et temps, etc.) est plus grand qu'un certain multiple de la constante de Planck (h). D'abord appelé « principe d'incertitude », il est ensuite rebaptisé principe d'indétermination, car l'incertitude se réfère classiquement à l'incertitude des mesures. En physique quantique, l'indétermination va beaucoup plus loin que les mesures. Elle est intrinsèque à la matière. C'est une impossibilité d'être à la fois dans un endroit précis, avec une vitesse précise.

La **superposition quantique** postule qu'un objet quantique se trouve dans une superposition d'états, c'est-à-dire avec plusieurs positions, vitesses, etc. *en même temps*. Lorsqu'il interagit avec un système macroscopique, par exemple lors d'une mesure, l'objet se positionne dans l'un de ces états avec une certaine probabilité. C'est ce qu'on appelle l'effondrement de la fonction d'onde ou la réduction du paquet d'ondes.

L'intrication quantique est le fait que certaines propriétés des particules peuvent être inexorablement et instantanément liées, quelle que soit la distance entre les particules.

Depuis la seconde moitié du 20e siècle, de nombreuses expériences ont été réalisées et ont apporté des réponses aux questions qu'Einstein, Bohr et Schrödinger se posaient au début du 20e siècle.

Serge Haroche invite à *« ne pas attribuer à la physique quantique un caractère flou ».* Il mentionne *« l'utilisation inappropriée d'expressions telles que* « indétermination quantique et incertitudes. » *[…] Rien n'est plus éloigné de cette physique qui donne du monde une description d'une incroyable précision, qui s'accompagne d'une universalité, d'une stabilité des formes et des structures dont la physique classique ne sait rendre compte. »*

La stabilité de la matière des atomes, de la lumière, etc., sur des milliards d'années et des distances incommensurables peut être expliquée par la mécanique quantique.

Bosons, fermions, matière, énergie

Tentons un rapprochement avec la philosophie indienne. Dans le livre Raja Yoga de Vivekananda, on peut lire : *« Selon les philosophes de l'Inde, l'univers tout entier est constitué de deux matières, dont l'une porte le nom d'Akasha. C'est de l'Akasha que proviennent l'air, les liquides et les solides. […] C'est l'Akasha qui se transforme en Soleil, en Terre, en lune, en étoiles et en comètes. […] Quel est donc le pouvoir qui manifeste cet Akasha dans l'univers ? Ce pouvoir est Prâna. […] C'est de ce Prâna que découle tout ce que nous appelons énergie et force. Le mouvement est une manifestation de Prâna. Il en va de même de la gravitation et du magnétisme. »*

Revenons à la physique quantique, ses principes conduisent à distinguer deux familles de particules : d'une part, les fermions (particules de matière) qui vont espacer et diversifier la matière ; d'autre part, les bosons qui vont établir des relations entre les particules de matière (forces).

Les protons, neutrons, électrons, etc. sont des fermions[2]. En vertu du principe d'exclusion de Pauli, deux fermions ne peuvent pas être dans le même état (occuper la même place, avoir la même énergie, etc.). Ils se repoussent les uns, les autres et occupent l'espace. Selon le principe d'indétermination, si un électron se trouvait très proche du noyau de l'atome, sa vitesse augmenterait drastiquement, pour l'en éloigner rapidement ; c'est ainsi que se constitue le nuage d'électron tout autour du noyau.

S. Haroche écrit : *« Bien que les atomes soient avant tout « remplis de vide », puisque l'essentiel de leur masse est concentré dans les très petits noyaux* [le diamètre d'un atome est 10 000 à 50 000 fois plus grand que celui du noyau]*, ils ne peuvent s'interpénétrer car leurs électrons périphériques « refusent », selon le principe d'exclusion de Pauli, de se trouver au même endroit. C'est en vertu du même principe que nous ne passons pas au travers du plancher sur lequel nous nous tenons debout, les électrons de nos semelles refusant d'occuper la même place que ceux du sol sur lequel nous nous appuyons. »*

En obligeant les électrons à se répartir sur des couches atomiques différentes, le principe d'exclusion de Pauli régule les possibilités de liaison chimique entre atomes, d'où l'extraordinaire variété de combinaisons de molécules qui permet à la vie de se manifester.

En revanche, les bosons (tels que les photons, par exemple) sont grégaires et indéfiniment superposables dans le même état, donc quasiment au même endroit. Ils sont une sorte de colle qui relie la matière et véhicule l'énergie. Ainsi, nous pouvons allègrement nous promener dans la lumière, qui provient d'une infinité d'endroits, dans une superposition quasi infinie de fréquences.

C'est cette qualité des bosons qui nous permet, en un lieu donné, de voir des étoiles, des microbes ou une émission de télévision, en fonction de l'appareil de détection que nous utilisons (un télescope, un microscope, des yeux).

La matière est constituée de fermions (électrons, neutrons, protons, etc.), reliés entre eux par des bosons, vecteurs des forces électromagnétiques, des interactions nucléaires faibles et fortes et de la gravitation.

Ces constats permettent de dresser le tableau suivant :

Bosons	Forces, énergie	Prana	Photons, gluons, Z, W
Fermions	Espace, matière	Akasha	Protons, neutrons, électrons

Ondes et particules

Classiquement, une onde est un mouvement (ou une variation) coordonné et périodique d'*objets* dans l'espace et le temps, mouvement qui se propage à d'autres objets : les oscillations verticales des molécules d'eau se propagent en ondes, la compression des molécules d'air se propage en son, les variations du champ électromagnétique se propagent en lumière. Ces *objets* se déplacent sur place, tandis que l'énergie se propage dans l'espace dans toutes les directions. Certaines ondes se propagent sur des milliards d'années-lumière, comme la lumière des galaxies lointaines ; d'autres, comme les orbites d'un électron autour du noyau d'un atome, sont des ondes stationnaires, telles les vibrations d'une corde de guitare. Les ondes se combinent, s'interpénètrent et se superposent. Par exemple, la lumière du soleil est une superposition et une combinaison de lumières de différentes couleurs et fréquences provenant de multiples endroits.

A l'inverse, en mécanique classique, une particule occupe sa place et rien que sa place, se déplace d'un endroit à l'autre de façon déterministe sur sa seule trajectoire, et reste identique à elle-même.

Expérience des fentes de Young

Voici quelques extraits du *Traité sur le Feu cosmique* d'Alice Bailey : citant H. P. Blavatsky, *« Partout où il y a un atome de matière, il y a de la vie.[…] Chaque atome a 7 plans d'existence.[…] Les atomes sont des vibrations. »* A. Bailey déclare également : *« …On nous dit que l'atome physique contient, dans sa périphérie, quatorze milliards d'atomes archétypaux ; pourtant, ces myriades d'atomes se manifestent comme un tout. » « On s'apercevra un jour, que l'électron est une minuscule vie élémentaire. » « Tous les phénomènes physiques tel que nous comprenons ce terme, ont une origine électrique, et une vibration initiale sur le premier sous-plan physique. » « La lumière, la lumière du plan physique, est en relation étroite avec le second éther et l'utilise comme médium. » « Le quatrième éther est déjà étudié par les savants, et une grande partie de ce qu'ils affirment sur l'éther, l'atome, le radium et l'ultime « protyle » concerne ce quatrième éther. Il sera un jour traduit en une formule mathématique, et certaines de ses propriétés, l'étendue de son influence et son utilisation seront connues des hommes. »*

En physique classique, particules et ondes se comportent de manière très différente. La célèbre *expérience des fentes de Young*[3] permet de déterminer si l'objet étudié est une onde ou une particule. Lorsque les deux fentes sont ouvertes, une particule passe soit par une fente, soit par l'autre ; sur l'écran, on obtient l'image de deux franges verticales en face des deux fentes. En revanche, une onde s'étale sur l'écran et, à certains endroits de l'écran, l'onde passant par la fente gauche annule l'onde passant par la fente droite (s'il y a déphasage entre les deux ondes) ; à d'autres endroits, elles s'additionnent (si les deux ondes sont en phase), projetant une alternance de franges blanches et noires, caractéristique d'une figure d'interférence.

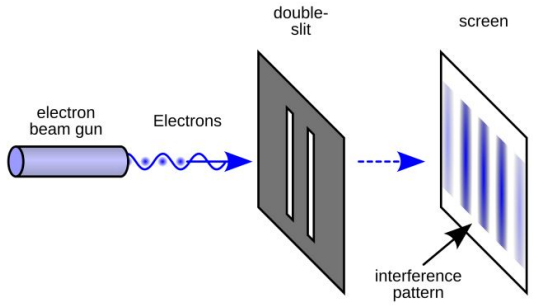


Photo : NekoJa Vector/Johannes Kalliauer, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons
Dispositif d'expérience des fentes de Young

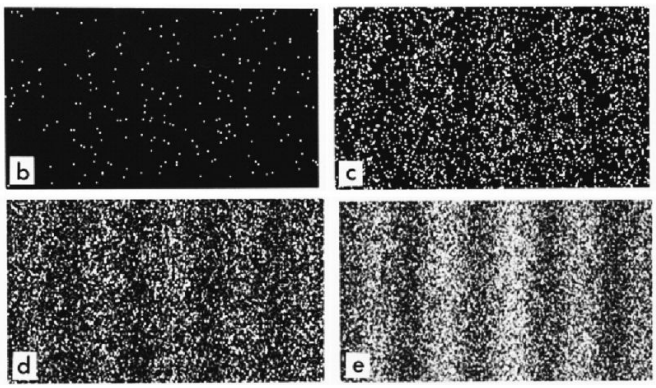


Photo : File:Double-slit experiment results Tanamura 2.jpg: user:Belsazar derivative work: MikeRun, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons
Résultats d'une expérience de fentes de Young réalisée par le Dr Tonomura montrant la formation d'une figure d'interférence d'électrons individuels. Les nombres d'électrons est de 200 (b), 6 000 (c), 40 000 (d), 140 000 (e).

Pour une onde, le résultat est différent si les deux fentes sont ouvertes simultanément, ou si elles sont ouvertes alternativement.

Au cours des dernières décennies, de grands progrès ont été réalisés en matière d'instrumentation et nous savons maintenant comment tirer des photons et des électrons un par un. De nombreux laboratoires ont répété l'expérience de Young, en tirant des photons (ou des électrons) un par un, en veillant à ce qu'un

photon ne soit tiré qu'*après* que le précédent ait laissé sa trace sur l'écran. Chaque fois qu'un photon ou un électron est tiré, il laisse une petite tache sur l'écran de détection : on a alors identifié une particule. Et pourtant, progressivement, on voit apparaître une alternance de bandes claires et sombres, caractéristiques d'une figure d'interférence, comme lorsqu'il s'agit d'une onde.

Si l'on essaie de détecter par quelle fente passe l'électron (ou le photon), la figure d'interférence disparaît, donnant lieu à ce que l'on appelle *« l'effondrement de la fonction d'onde ».*

Selon Alain Aspect : *« Ces interférences ne peuvent être interprétées qu'en invoquant une onde qui se divise en deux… et qui est recombinée [à la sortie]. »* Cette expérience a également été réalisée avec des atomes et même des molécules de fullerène (composé de 60 atomes de carbone), toujours avec le même résultat. Cela montre la double nature de la matière (et de la lumière), qui est à la fois onde et particule.

S. Haroche écrit : *« Chaque atome nous dit alors, de façon apparemment contradictoire :* « Je suis une particule, voyez mon point d'impact discret sur l'écran ; je suis une onde, voyez ces belles interférences. » »

Ces expériences révèlent un aspect assez troublant de ces particules : leur capacité à percevoir bien au-delà de leur taille.

En effet, V. Zartarian rappelle que les atomes sont 10 000 fois plus petits que l'ouverture des fentes, ce qui ne les empêche pas de se comporter comme s'ils savaient qu'il y a une fente de largeur fixe et qu'une deuxième fente est ouverte à côté.

S. Haroche note qu'*« il est difficile de donner une valeur précise à la taille de l'électron, mais on peut la représenter qualitativement comme une petite boule d'électricité de 10^{-15} mètre de rayon entourée d'un nuage sphérique, de particules virtuelles, 1 000 fois plus grands ».*

Il souligne une analogie entre les recherches sur la matière noire qui entoure les galaxies et les amas de galaxies et les études sur le nuage de particules virtuelles qui entoure l'électron.

Ces expériences peuvent être interprétées comme un test de la sensibilité, de la conscience de l'électron, du photon, de l'atome, qui va bien au-delà de leur taille supposée infinitésimale, évoquant la notion de corps éthérique enveloppant chaque particule.

Gomme quantique à choix retardé

Depuis lors, plusieurs expériences encore plus étranges ont été réalisées, par exemple la *« gomme quantique à choix retardé »*. Dans cette expérience, le photon peut suivre plusieurs chemins, et l'information sur le chemin suivi par le photon est effacée *après* que le photon a touché l'écran de détection. Résultat, il y a interférence (caractéristique d'une onde) lorsque l'information sur le chemin suivi est effacée ; il n'y a pas d'interférence (comme pour une particule) lorsque nous connaissons le chemin emprunté par le photon.

Vahé Zartarian commente : *« [C'est] comme si la causalité allait à rebours du temps, une décision prise dans le futur déterminant une action dans le passé. »* Il fait remarquer plus loin que, puisqu'un photon voyage à la vitesse de la lumière, selon la relativité, le photon est partout à la fois sur sa trajectoire en un seul instant. *« Son existence propre est intemporelle… La naissance, la disparition [du photon] et tout ce qu'il y a entre, ne forment qu'un seul événement qui existe hors du temps. »*

V. Zartarian conclut que l'expérience temporelle d'un observateur humain et l'expérience atemporelle du photon observé peuvent coexister dans la même réalité physique.

B. Creme explique : *« Pour les Maîtres, le temps n'existe pas, tout au moins à la manière dont nous l'entendons. Pour eux, le passé, le présent et le futur sont vécus comme un éternel présent.* » Cela ressemble étrangement au point de vue du photon, qui ne connaît ni passé ni futur, mais un événement unique en un seul point de l'espace où il se trouve, dès qu'il est créé.

Conclusion

Notre conception du monde est structurée par nos sens et par les connaissances accumulées au fil des générations. La physique quantique révolutionne notre vision du monde, en ouvrant notre conscience à un univers magnifiquement imbriqué dans une construction fractale, en « poupées gigognes », où l'indétermination et la quantification de l'infiniment petit apportent stabilité, diversité et viabilité au plus grand.

Le fait que la matière soit une onde vibrante, change fondamentalement notre vision de la matière. En vibrant, l'onde est donc mouvement et n'est en aucun

cas inerte. Quelque chose l'a mise en mouvement, elle a une forme de dynamisme et d'activité intrinsèque. De plus, une vibration se transmet, s'additionne, se combine. De manière spectaculaire, la physique quantique a validé une phrase écrite par H. P. Blavatsky en 1871 dans La Doctrine secrète :

« Les atomes sont des vibrations. » L'ensemble des prédictions des ésotéristes sur la matière seront sans doute validées par la science lorsque la découverte de l'éthérique permettra d'envisager la vitalité de la matière et l'existence des plans de conscience.

En citant A. Bailey : *« Toute la question de l'akasha va s'éclairer largement, à mesure que la science exotérique étudiera plus à fond la question des éthers. Quand la connaissance de ces quatre types d'éthers sera accessible, quand leur action vibratoire sera comprise, ainsi que les détails concernant leur composition, leur utilisation, leur capacité d'engendrer la lumière et les différents angles selon lesquels ils peuvent être étudiés, alors la connaissance parallèle des quatre éthers cosmiques sera imminente. »*

1. Des expériences de physique quantique sont actuellement menées sur des objets beaucoup plus grands, tels que les molécules de fullerène (60 atomes de carbone).
2. Un nombre pair de fermions peut former un boson, ce qui explique la supraconductivité de certains métaux.
3. Voir illustrations

Auteur : Dominique Abdelnour, collaboratrice de Share International résidant en France.
Sources : Serge Haroche : Physique quantique ; La lumière révélée du télescope de Galilée à l'étrangeté quantique. Physicien français, prix Nobel en 2012 avec David Wineland pour ses expériences de mesure quantique non destructive (NDM). – Vahé Zartarian : Physique quantique : l'esprit dans la matière. Auteur de formation scientifique, il s'attache à « réintroduire de la conscience et du sens en s'appuyant sur les données les plus irréfutables de la science. »
Thématiques : Sciences et santé
Rubrique : De nos correspondants