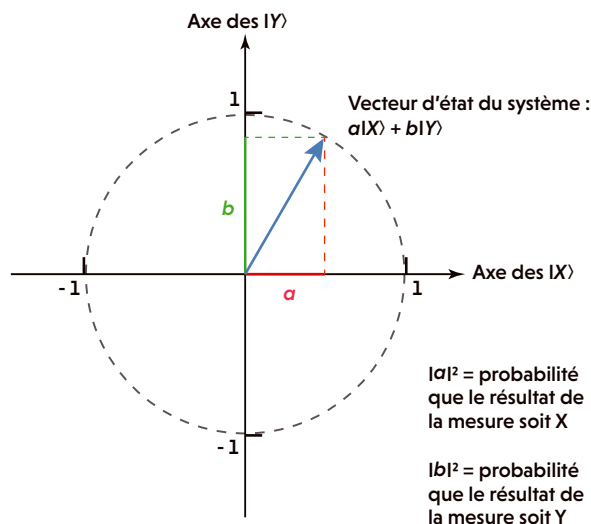


LA RÈGLE DE BORN

La théorie quantique décrit l'état d'un système physique par un vecteur d'un certain espace abstrait. En général, ce vecteur s'écrit comme la somme de plusieurs vecteurs (ou états) de base orthogonaux entre eux et de norme (ou longueur) égale à 1, chacun correspondant à une valeur bien déterminée d'une même grandeur physique (position ou énergie par exemple) et étant affecté d'un certain coefficient. La règle



de Born donne la probabilité de trouver telle ou telle valeur lors d'une mesure en fonction des coefficients des vecteurs

de base dans la somme décrivant l'état du système. Elle stipule que la probabilité de trouver une valeur est égale

au carré du coefficient de l'état de base correspondant (plus précisément au carré du module du coefficient, qui peut être un nombre complexe). La somme des carrés des coefficients représente la somme des probabilités des résultats possibles, et doit donc être égale à 1. C'est pourquoi on demande que le vecteur d'état soit de norme égale à 1. Ainsi, si l'on mesure la position d'un électron dans l'état $1/\sqrt{2}(|X\rangle + |Y\rangle)$, on le trouvera soit en X, soit en Y avec une probabilité $1/2$. Si l'on mesure la position d'un électron dont l'état est $1/\sqrt{3}|X\rangle + \sqrt{2/3}|Y\rangle$, on le trouvera en X avec la probabilité $1/3$ et en Y avec la probabilité $2/3$. Le schéma ci-contre illustre la règle de Born pour un système à deux états de base et avec des coefficients réels a et b (en toute généralité, ils sont complexes).

> et qui est souvent exemplifié par le fameux chat de Schrödinger à la fois mort et vivant: le problème de la mesure des grandeurs physiques.

Cette question de la mesure est étroitement liée à celle de la réalité. La plupart des physiciens considèrent que l'on devrait pouvoir comprendre le monde quantique de façon objective, c'est-à-dire sans faire aucune référence à nous-mêmes: nous sommes supposés être des observateurs passifs, qui se contentent de prendre acte de phénomènes se déroulant dans une réalité extérieure et indépendante de nous. Cette attitude est naturelle. La mécanique classique nous a habitués à raisonner ainsi et, dans l'attitude scientifique traditionnelle, on considère l'objectivité comme une valeur déterminante.

Mais si le concept de mesure ne pose aucun problème en physique classique, il soulève de grandes difficultés en physique quantique. Ce sont ces difficultés que je vais analyser. Elles conduisent à remettre en cause l'existence objective, en l'absence de tout observateur, de valeurs définies pour les grandeurs caractérisant un système physique. Je vais ensuite présenter et défendre une idée plutôt surprenante: c'est seulement lorsqu'un observateur prend conscience de sa mesure qu'une valeur définie de la grandeur mesurée émerge, et celle-ci n'implique aucun changement dans l'état physique du système, mais est relative à l'observateur lui-même.

D'une certaine manière, les difficultés d'interprétation de la mécanique quantique ont pour origine fondamentale le «principe de superposition». Expliquons en quoi celui-ci consiste.

Dans la théorie quantique, on représente les états des systèmes physiques par des objets

mathématiques qui sont des vecteurs dans un certain espace aux propriétés convenables (un «espace de Hilbert»). On utilise aussi parfois le terme de «fonction d'onde» pour désigner le vecteur caractérisant l'état du système. Par exemple, l'état de position d'un électron qui se situe dans la région X sera représenté par un vecteur qu'on a l'habitude de noter $|X\rangle$; celui d'un électron situé dans la région Y sera $|Y\rangle$.

L'ORIGINE DES DIFFICULTÉS

Or le principe de superposition stipule que si deux états quantiques sont possibles, alors toute combinaison linéaire (c'est-à-dire une somme pondérée) des deux vecteurs d'état correspondants représente elle-même un état possible. Ainsi, selon ce principe, si $|X\rangle$ et $|Y\rangle$ sont des états possibles (et bien distincts) du système, l'état $a|X\rangle + b|Y\rangle$, où a et b sont des coefficients numériques, est également un état possible.

Prenons l'exemple de la combinaison linéaire $|X\rangle + |Y\rangle$, où les coefficients sont égaux (en fait, pour des raisons de normalisation liées à la règle de Born – voir l'encadré ci-dessus –, un tel vecteur doit avoir une longueur 1 et il faudrait donc l'écrire $1/\sqrt{2}(|X\rangle + |Y\rangle)$ si $|X\rangle$ et $|Y\rangle$ sont eux-mêmes de longueur 1 et orthogonaux; mais, pour simplifier, nous omettrons les facteurs de normalisation). À quoi correspond un tel état? Où se trouve un électron dont l'état est décrit par cette somme?

Aucune réponse conforme à une description usuelle n'est possible. On peut montrer qu'il est tout aussi faux de dire que l'électron est «à la fois» en X et en Y, qu'il est «tantôt» en X et «tantôt» en Y, qu'il est à mi-chemin