

tellement inhabituelle que le jury d'examen sollicita des avis extérieurs. Consulté, Einstein donna un avis favorable, et la thèse fut acceptée.

En novembre 1925, Erwin Schrödinger vint donner un séminaire à Zurich sur les travaux de Louis de Broglie. Quand il eut terminé, Peter Debye lui demanda : « Vous parlez d'ondes, mais où est l'équation d'onde ? » Schrödinger se mit au travail, et c'est alors qu'il élaborait sa célèbre équation, devenue le fondement de tant de domaines de la physique moderne. Peu de temps après, Max Born, Pascual Jordan et Werner Heisenberg donnèrent une formulation équivalente de la théorie quantique, sous forme matricielle. Une fois ces solides fondements mathématiques établis, la mécanique quantique fit des progrès fulgurants. En quelques années, les physiciens expliquèrent une multitude de résultats expérimentaux, y compris dans les spectres d'atomes plus compliqués et dans les réactions chimiques.

Que signifiait tout cela ? Quelle était cette « fonction d'onde », que décrivait l'équation de Schrödinger ? Aujourd'hui encore, ce concept de la mécanique quantique est controversé.

Born avait compris que la fonction d'onde devait être interprétée en termes de probabilités. Quand les expérimentateurs déterminent la position d'un électron, la probabilité qu'ils le trouvent en un endroit donné dépend de l'amplitude de la fonction d'onde en ce lieu (en fait, du carré de cette amplitude). Ainsi, le hasard semblait érigé au rang de loi de la nature. Einstein appréciait peu cette idée et il exprima sa préférence pour un Univers déterministe par cette célèbre formule : « Je ne peux pas croire que Dieu joue aux dés. »

Chats bizarres et cartes quantiques

Schrödinger lui aussi était réticent. Les fonctions d'onde décrivaient des combinaisons d'états différents, que l'on nomme des superpositions. Un électron, par exemple, pouvait se trouver dans une superposition de plusieurs localisations. Schrödinger fit remarquer que si des objets microscopiques, tels que des atomes, peuvent se trouver dans des superpositions, il pourrait en être de même pour des objets macroscopiques, puisque ceux-ci sont constitués d'atomes. Pour illustrer cette

idée, il imagina une expérience, restée célèbre depuis, où un dispositif pervers tue un chat si (et seulement si) un atome instable se désintègre. Comme l'atome radioactif va se trouver dans une superposition d'un état désintégré et d'un état non désintégré, il produit un chat à la fois vivant et mort, en superposition des deux.

On peut imaginer une variante simple de cette expérience imaginaire. Vous prenez une carte à jouer que vous placez en équilibre sur la tranche. En physique classique, une telle carte reste, en principe, indéfiniment en équilibre. En revanche, l'équation de Schrödinger prédit que la carte tombera en quelques secondes (quels que soient vos efforts pour la maintenir en équilibre) et, qui plus est, qu'elle tombera des deux côtés à la fois dans une superposition d'un état « vers la gauche » et d'un état « vers la droite ».

Bien sûr, en physique classique, la carte tombe aléatoirement soit vers la droite, soit vers la gauche, mais jamais à la fois « vers la droite et vers la gauche », comme semble l'indiquer l'équation de Schrödinger. Manifestement, un système aussi macroscopique qu'une carte « refuse » de rester dans un état de superposition quantique. Il y a là une contradiction apparente qui est au cœur de l'un des principaux mystères de la mécanique quantique.

L'interprétation de la mécanique quantique dite « de Copenhague » est née des discussions qui eurent lieu entre Bohr et Heisenberg à la fin des années 1920 ; elle traite le mystère quantique en question en supposant que les observations ou les mesures ont un rôle très spécial. Tant que l'on n'observe pas la carte qui tombe, sa fonction d'onde évolue en obéissant à l'équation de Schrödinger. Les physiciens qualifient cette évolution régulière et continue d'« unitaire ». Le caractère unitaire de l'évolution produit une superposition quantique qui fait tomber la carte à la fois vers la droite et vers la gauche ; toutefois, au moment où l'on observe le système, la fonction d'onde subit un changement brusque vers un des états interprétables classiquement. C'est ce que l'on appelle la réduction de la fonction d'onde. Un observateur voit la carte dans un état bien défini (soit à droite, soit à gauche) et, dès lors, seule la composante de la fonction d'onde correspondant à cet état classique subsiste. Tout se passe comme si la nature sélectionnait au hasard l'un des états possibles, selon une probabilité imposée par la fonction d'onde.

L'interprétation de Copenhague fournissait une « recette » étonnamment efficace pour des calculs dont

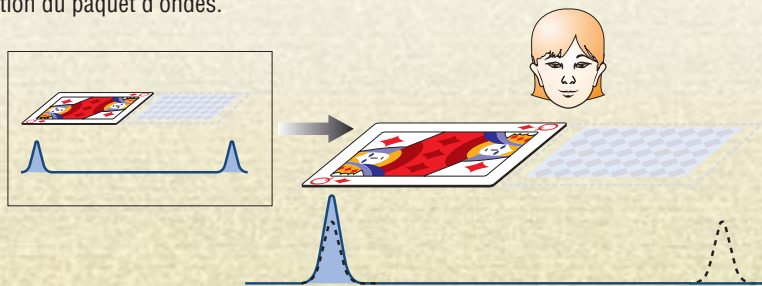
L'interprétation de Copenhague

IDÉE : Les observateurs voient des résultats au hasard ; les probabilités correspondantes sont données par la fonction d'onde.

AVANTAGE : On n'observe qu'un unique résultat, et il est observable.

INCONVÉNIENT : On suppose l'existence d'un mécanisme de « réduction » de la fonction d'onde, sans qu'aucune équation précise quand et comment il se met en place.

Quand nous mesurons l'état d'un système placé dans une superposition quantique de deux états observables, nous obtenons l'un ou l'autre des deux états de la superposition, et la probabilité est imposée par la fonction d'onde. Une personne pariant que la carte tombe vers la droite a une chance sur deux de gagner. Les physiciens acceptent cette interprétation avec pragmatisme, même si elle implique que la fonction d'onde change brusquement, subissant une réduction du paquet d'ondes.



Laurie Grace