

LES GRANDES VOIX DE LA RECHERCHE

Les médaillés d'or du CNRS explorent tous les domaines de la connaissance et présentent de manière claire et synthétique les grands défis de la science



6 juin



6 juin



6 juin



29 août



29 août



29 août



19 septembre



19 septembre

CNRS EDITIONS



96 pages - 8,00 €

Retrouvez-nous sur



et sur www.cnrseditions.fr

Numéro
500

La physique quantique a aujourd'hui presque 100 ans. Cette théorie jamais mise en défaut a révolutionné les sciences de la matière. Elle a donné lieu à de nombreuses applications, dont certaines, comme le transistor, sont au fondement de la révolution informatique. En a-t-on épuisé les ressources ? Pas du tout. On assiste même à un grand renouveau. Sur le plan fondamental, d'abord, l'interprétation de cette théorie, un défi déjà ancien, se pose aujourd'hui en des termes nouveaux, liés qui plus est à la question de la gravitation. Et sur le plan des applications, toute une ingénierie quantique se développe, qui fera peut-être passer l'ordinateur quantique du rêve à la réalité.

La théorie quantique de demain

L'ESSENTIEL

> La physique quantique a démontré son efficacité pour décrire des phénomènes et prédire les résultats d'expériences.

> Grâce aux travaux de John Bell et aux expériences d'Alain Aspect, il a été prouvé que cette théorie est non locale. Mais que dit-elle vraiment du monde ?

> Son interprétation pose toujours des difficultés, et diverses voies sont explorées pour les résoudre.

> Un autre défi est de construire une théorie quantique de la gravitation, capable de décrire les premiers instants de l'Univers et le cœur des trous noirs.

LES AUTEURS



ÉTIENNE KLEIN
directeur
du laboratoire Larsim
du CEA à Saclay,
au sud de Paris



CARLO ROVELLI
professeur à l'université de
la Méditerranée, chercheur
au Centre de physique
théorique, à Marseille

Les nouveaux défis de la physique quantique

Née il y a près de 100 ans, la physique quantique n'a jamais été mise en défaut et est au cœur des technologies modernes. Mais les difficultés de son interprétation persistent. Elles ont même suscité de nouvelles réflexions, parfois liées à un autre problème majeur et tout aussi persistant : l'élaboration d'une théorie quantique de la gravitation.





Le chat à la fois mort et vivant de Schrödinger symbolise tout le caractère contre-intuitif de la physique quantique et les progrès qui restent à faire pour comprendre les lois étranges de cette théorie.

Au cours des années 1920, pour expliquer le comportement assez étrange des atomes et des particules, les physiciens ont développé des concepts radicalement neufs qui les ont conduits à penser autrement la matière et ses interactions. Une décennie d'effervescence créatrice et d'intense labeur a suffi pour qu'un petit nombre d'entre eux fondent l'une des plus belles constructions intellectuelles de tous les temps, la physique quantique. Celle-ci rencontra rapidement un vif succès, grâce à la confirmation de ses prédictions expérimentales précises. Elle est aujourd'hui omniprésente dans notre quotidien : dans l'électronique de nos ordinateurs, dans nos téléphones portables, dans nos écrans ; elle est aussi à la source des lasers qui envoient de l'information aux quatre coins du monde.

Pourtant, malgré son succès incontestable, la physique quantique reste énigmatique par bien des aspects, notamment parce que cet édifice théorique exige un travail d'interprétation, que les physiciens ont les pires difficultés à mener à bien. Il faut dire que la théorie quantique pose des questions à la fois inédites et vertigineuses : comment comprendre son formalisme ? Est-ce un simple outil pour prévoir les résultats d'une expérience ? Quel statut confère-t-elle au hasard qui intervient dans la détermination des résultats ? Donne-t-elle accès à une description de la réalité du monde ?

Si la physique quantique troubla tant, c'est parce qu'elle échappait au cadre d'interprétation de la physique classique. À tout système, la physique classique attache des propriétés qui appartiennent en propre au système (par exemple, tel vélo est bleu et roule à 30 kilomètres par heure), et n'attribue pas de rôle fondamental à l'opération de mesure, qui n'est que l'enregistrement neutre et passif de grandeurs existant objectivement (le vélo est bleu, qu'on le regarde ou non).

QUAND EINSTEIN ET BOHR S'OPPOSENT

La physique quantique, elle, ne semble pas partager un « engagement ontologique » aussi fort. D'abord, elle n'accorde aux particules ni position, ni trajectoire, ni forme bien déterminées. Ensuite et surtout, elle renonce à faire usage de l'idée, pourtant élémentaire, consistant à attribuer aux particules une réalité qui serait pleinement indépendante des moyens de l'observer. Était-ce le signe que le cadre d'interprétation classique devait être définitivement abandonné ? Ou bien, au contraire, qu'il manquait à cette nouvelle physique des ingrédients dont la prise en compte la ferait « rentrer dans le rang » ?



Niels Bohr (à gauche) et Albert Einstein ont contribué à la fondation de la physique quantique et à son interprétation. Ils ont confronté leurs visions antagonistes lors de débats qui ont profondément marqué les développements de cette théorie et qui ont permis de mieux la comprendre.

C'est autour de ces questions que les physiciens Niels Bohr et Albert Einstein se sont amicalement, mais fermement, opposés l'un à l'autre (voir la photo ci-dessus). Bohr considérait que la physique quantique obligeait à bouleverser les théories rendant compte du rapport que nous avons avec ce qu'on nomme par commodité (sans en dire davantage) « la réalité ». Einstein pensait, lui, qu'il était prématuré de conclure de la sorte. Le père de la relativité n'a jamais prétendu que la physique quantique fût une théorie fausse, mais, selon lui, une théorie physique ne doit pas être jugée à l'aune de sa seule efficacité opératoire : elle doit aussi dépeindre les structures intimes du réel. Or, à ses yeux, la physique quantique, malgré ses spectaculaires et incontestables succès expérimentaux, ne faisait pas cela de façon satisfaisante.

Dans le cadre de la théorie quantique, un système physique est décrit par un objet mathématique, la fonction d'onde. Celle-ci s'écrit, en général, comme la somme de plusieurs fonctions représentant chacune un état particulier, affecté d'un certain coefficient – une « superposition » d'états possibles qui est une situation sans équivalent en physique classique. La théorie stipule alors que connaissant la fonction d'onde, on ne peut en général pas déterminer le résultat d'une mesure, mais