

seulement calculer les probabilités d'obtenir tel ou tel résultat. Et parmi tous les résultats possibles *a priori*, un seul est sélectionné, au hasard, par l'opération de mesure. Cette dernière entraîne une «réduction des possibles» qui s'effectue d'un coup et de façon aléatoire (voir l'encadré page 30).

Or, selon Einstein, une bonne théorie physique se doit d'éliminer le hasard, sinon de ses constructions, du moins de ses principes. Ensuite, Einstein tenait à une certaine forme de «réalisme», l'idée d'un monde réel dont les plus minuscules parcelles existent objectivement, que nous les observions ou non. Or, constatant que ce réalisme-là est compromis

Pour Einstein, le monde réel existe objectivement, que nous l'observions ou non

par la physique quantique, il voulut démontrer qu'il existait des éléments de réalité que cette théorie n'est pas en mesure d'appréhender. Cette dernière serait donc incomplète, d'où cette impression d'une description fondée sur le hasard et ne décrivant pas un monde qui existe indépendamment de l'observation.

Bohr, lui, répugnait à considérer qu'il existât une réalité objective, indépendante de l'appareil de mesure. Selon lui, ce qu'une théorie physique peut prétendre décrire, ce sont seulement des phénomènes incluant dans leur définition le contexte expérimental qui les rend manifestes. La physique quantique n'avait donc pas besoin d'être amendée. Cette vision est à la base de ce qu'on nomme l'interprétation de Copenhague (et ses différentes nuances), portée par Bohr, Werner Heisenberg et d'autres, et qui a longtemps été considérée comme la seule façon de concevoir la physique quantique.

Le débat entre Einstein et Bohr démarra en 1927, à Bruxelles, lors d'un congrès Solvay, une conférence scientifique qui réunissait les plus grands physiciens de l'époque. Einstein chercha une contradiction dans les «relations d'incertitude de Heisenberg», qui concernent le comportement de particules quantiques individuelles. Ces relations fondamentales de

la théorie quantique s'expriment sous la forme d'inégalités qui relient deux grandeurs dites complémentaires, comme la position et la vitesse. Une conséquence de ces inégalités est qu'il n'est pas possible de connaître parfaitement les grandeurs complémentaires en même temps. Mais à chaque offensive, Bohr parvint à contrer les arguments d'Einstein.

En 1935, la discussion reprit autour d'un article signé par Einstein et deux de ses collègues, Boris Podolsky et Nathan Rosen. Ce texte comportait une objection concernant non plus le comportement d'une seule particule, mais celui d'une paire de particules – dont les propriétés sont si étroitement liées que l'on parle de «particules intriquées» – et s'intitulait: «La description quantique de la réalité physique peut-elle être considérée comme complète?» Question à laquelle les trois chercheurs répondaient par la négative.

Leur raisonnement s'appuie sur trois hypothèses. La première stipule que les prédictions de la physique quantique sont justes. Il n'est pas question pour Einstein et ses collègues de considérer que la physique quantique est une théorie fautive, ils questionnent juste sa cohérence interne.

Deuxième hypothèse: aucune influence ne peut se propager plus vite que la lumière, conformément à la relativité restreinte. Ce critère de localité implique tout simplement que lorsque deux événements sont si lointains dans l'espace et si rapprochés dans le temps que la lumière n'a pas le temps de les relier, aucun de ces deux événements ne peut agir sur l'autre; ils se déroulent alors «chacun dans son coin», exactement comme si l'autre n'avait pas eu lieu. Et si on applique le critère de localité aux particules, il implique que chacune transporte avec elle, c'est-à-dire «localement», les propriétés qui vont déterminer les résultats des mesures.

Enfin, le dernier critère, l'hypothèse de réalité, indique que si l'on peut prédire avec certitude la valeur d'une grandeur physique, alors il existe un élément de réalité physique correspondant à cette grandeur. La valeur trouvée n'est ni une hallucination ni un fantôme: un élément de réalité lui correspond nécessairement, et le formalisme se doit de l'intégrer, sans quoi il ne serait pas complet.

L'ARGUMENT EPR SÈME LE TROUBLE

Mises ensemble, ces trois hypothèses précisent ce qu'il faut entendre par le concept d'objet réel en restant proches d'un certain bon sens et des idées de la physique classique. Forts de ces arguments, Einstein, Podolsky et Rosen considérèrent une expérience de pensée s'appuyant sur un système constitué de deux électrons intriqués, créés par un processus liant >