

LE CHANT QUANTIQUE

Une longue controverse, prolongée jusqu'au début de notre siècle, a opposé les visions corpusculaire et ondulatoire de la lumière. Selon Newton, les rayons lumineux étaient constitués de petits grains de lumière, mais cette conception ne pouvait rendre compte des phénomènes d'interférences ni de diffraction. Dans l'expérience de Young, par exemple, un pinceau de lumière traverse deux trous situés devant un écran. Or, sur l'écran, n'apparaissent pas des impacts de corpuscules, mais une alternance de zones sombres et de zones claires ; ces «franges d'interférences» résultent de la composition de l'onde lumineuse avec elle-même, tantôt s'annulant (zones sombres), tantôt se renforçant (zones claires).

L'hypothèse ondulatoire, quant à elle, est incompatible avec l'effet photoélectrique : des électrons peuvent être arrachés à un métal soumis à une irradiation lumineuse. Pour expliquer cet effet, Einstein avait supposé en 1905 que la lumière est constituée d'un ensemble de corpuscules, les photons.

Le corpuscule, objet quasi-ponctuel précisément localisable, et l'onde, structure délocalisée, «étalée» dans tout l'espace, sont apparemment antagonistes. La nature vibratoire des ondes lumineuses, l'analogie avec les ondes sonores qui en constituent le modèle, leur confère explicitement une connotation harmonique, insistant notamment sur ce qui réunit les objets physiques, tandis que la vision purement corpusculaire considère le monde comme un assemblage de particules individuelles.

Chacune de ces conceptions – mécaniste et particulière d'un côté, harmonique et ondulatoire de l'autre –, est insuffisante si elle est prise séparément. La révolution de la physique quantique a consisté à résoudre la contradiction, en introduisant une vision «dualiste» : ni particulière, ni ondulatoire dans le sens classique, le «champ quantique» incarne une synthèse

4. Le médecin alchimiste Robert Fludd (1619) décrit l'Univers comme un instrument de musique à une corde dont les modes vibratoires représentent les astres. La corde cosmique embrasse deux octaves de sept notes chacune. Les deux octaves s'étendent du sol grave (Γ) associé à la Terre, jusqu'à un sol aigu associé à l'Empyrée (la demeure des dieux) (gg), en passant par le sol médian associé au Soleil (G).

des aspects mécaniste et harmonique. Non seulement la lumière, mais aussi la matière, sont des champs quantiques.

Un champ quantique remplit l'espace entier, comme une immense membrane prête à vibrer. Ses vibrations (analogues à celles d'un tambour qui émet des sons) se manifestent, selon leur nature, sous forme de lumière, ou sous forme de particules : matière, lumière, rayonnements, toute la réalité observable du monde n'est qu'excitation de champs quantiques. Certains modes de vibration du champ électromagnétique correspondent à la lumière ordinaire, d'autres aux ondes radio, aux rayons X, etc. D'autres champs matérialisent des quarks (les constituants élémentaires du neutron et du proton) et des électrons. Tous ces champs constituent le monde. Les lois de la physique quantique ne sont autres que les règles harmoniques qui gouvernent les vibrations des champs.

CORDES VIBRANTES

Malgré son expression en termes de champs, la physique quantique est encore sous-tendue par une représentation de certaines particules élémentaires, comme l'électron ou le photon, en termes de points de dimension nulle. Cela pose plusieurs problèmes conceptuels. Par exemple, des infiniment grands apparaissent dans les calculs lorsque des infiniment petits, dus aux dimensions nulles des particules, se retrouvent au dénominateur. Ces «singularités» sont indésirables, car, en physique, toute quantité mesurable doit être finie. La

présence de telles singularités était déjà gênante en physique classique. De surcroît, en physique quantique, l'idée de particule de dimension nulle s'accorde mal avec les relations d'incertitude – selon lesquelles il est impossible, par exemple, de localiser en un point infiniment précis la position d'une particule. Mais surtout, comment attribuer à une particule sans dimension les degrés de liberté correspondant aux différents nombres quantiques, tels que la charge électrique, le spin (ou moment cinétique élémentaire)?

La théorie des cordes résout en partie ces difficultés en identifiant les entités élémentaires – les particules – à des lignes ou à des boucles extrêmement petites, et non à des points. Toutes les propriétés des particules résultent alors des différents modes de vibrations de ces cordes ouvertes ou fermées. Introduit dans les années 1960, le concept de corde fut abandonné, puis réintroduit 20 ans plus tard en vue d'une unification des lois de la physique : certains physiciens espèrent aujourd'hui que cette théorie rendra compte des quatre interactions fondamentales connues – la gravitation, l'électromagnétisme, les interactions nucléaires forte et faible – en termes d'une «superinteraction» unique.

Enrichie d'une symétrie supplémentaire, la «supersymétrie» (selon laquelle toute particule de spin entier a un partenaire supersymétrique de spin demi-entier), la théorie des cordes a été renommée «théorie des supercordes». Toutefois, les physiciens ne peuvent la formuler de façon cohérente que dans un



4. Certains théoriciens ont imaginé que les éléments constitutifs du monde pourraient être des cordes de diamètre infime et non des particules ponctuelles (sans dimension). Les interactions entre cordes seraient les fondements de la physique microscopique.

espace muni d'un grand nombre de dimensions. Le monde serait ainsi fait d'entités à une dimension (les cordes) vibrant dans un espace à n dimensions ($n = 10$ ou 26 , selon les modèles) (voir la figure 4).

Premier problème, comment retrouver les trois dimensions usuelles de l'espace (les supercordes ne prévoient pas de dimension supplémentaire du genre «temps»)? Le plus simple est de considérer que les dimensions supplémentaires sont fortement enroulées sur elles-mêmes, selon un rayon de courbure infime. À notre échelle de résolution, l'espace semblerait posséder trois dimensions, pour les mêmes raisons qu'une ficelle, objet à trois dimensions, semble ne posséder qu'une dimension lorsqu'elle est vue de loin, du fait de sa faible épaisseur. Ce n'est qu'à des échelles microscopiques (de l'ordre de 10^{-35} mètre, la longueur de Planck) que les dimensions supplémentaires de l'espace seraient manifestes.

Ces théories, mathématiquement si complexes que personne ne parvient aujourd'hui à les maîtriser vraiment, ont de nombreux aspects séduisants. En particulier, la gravitation, qui paraît si différente des autres interactions (elle n'est pas quantifiable au sens habituel du terme) y est décrite de manière naturelle. Si ces théories se révèlent pertinentes, il restera à interpréter la nature intime du monde, dont les propriétés résulteraient des modes vibratoires de cordes à jamais inaccessibles à nos sens.

On retrouve ainsi, par un biais inattendu, la musique secrète des Pythagoriciens, qui n'est perceptible qu'aux «oreilles» adaptées à leur écoute. Dans le *Songe de Scipion*, Cicéron disait que la musique des astres ne pouvait s'entendre qu'en quittant la Terre pour rejoindre les orbes gigantesques du ciel. La théorie des supercordes nous suggère que la musique des particules microscopiques ne pourrait s'appréhender qu'en plongeant au cœur de l'infiniment petit.

Marc LACHIÈZE-REY et Jean-Pierre LUMINET, directeurs de recherche au CNRS, sont commissaires de l'exposition «Figures du ciel» qui se déroule à la bibliothèque François-Mitterrand du 10 octobre au 10 janvier 1999.

Marc LACHIÈZE-REY et Jean-Pierre LUMINET, *Figures du ciel*, Seuil / Bibliothèque nationale de France, 1998

***Les nouvelles théories des cordes, Pour la Science*, avril 1998**

Étienne KLEIN et Marc LACHIÈZE-REY, *La quête de l'unité*, Albin Michel, 1996

Jean-Pierre LUMINET, *Les poètes et l'univers*, Le Cherche Midi, 1996

Dominique PROUST, *L'harmonie des sphères*, Dervy, 1990.