

> Depuis quelques années, une nouvelle facette des cristaux se dessine. Elle prend sa source dans les principes de la théorie de la relativité d'Albert Einstein: l'espace et le temps sont intimement liés et, au bout du compte, sont à considérer sur un pied d'égalité. Il est donc naturel de se demander si certains objets présentent des propriétés temporelles qui seraient analogues à celles des cristaux ordinaires habituellement définis dans l'espace. En explorant cette question, les physiciens ont découvert les «cristaux temporels». Ce concept inédit, qui a donné naissance à toute une classe de matériaux nouveaux, a livré des éclairages passionnants sur la physique. Il offre aussi des perspectives d'applications innovantes, en particulier des horloges plus précises que toutes celles qui existent actuellement.

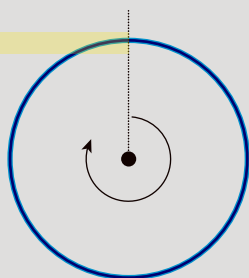
UNE QUESTION DE SYMÉTRIE

Avant d'expliquer en détail cette idée récente, je dois clarifier ce qu'on entend exactement par le terme de cristal. La définition la plus utile à des fins scientifiques fait intervenir deux notions fondamentales: la symétrie et la brisure spontanée de symétrie.

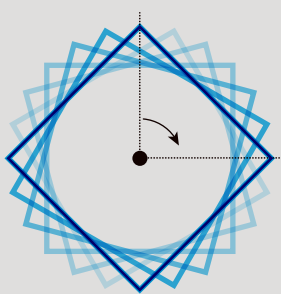
Dans le langage courant, le terme de «symétrie» est utilisé dans de nombreuses situations et véhicule une idée d'équilibre, d'harmonie ou même de justice. En physique et en mathématiques, sa définition est plus précise. On dit qu'un objet est symétrique ou possède une symétrie s'il existe des transformations qui, quand on les applique à cet objet, conduisent à un résultat identique à la situation initiale.

Pour illustrer cette définition, prenons l'exemple du cercle. Quand on fait tourner un cercle autour de son centre, d'un angle quelconque, il reste visuellement identique, même si chaque point du cercle s'est déplacé: la figure géométrique possède une symétrie de rotation. Un carré présente aussi des symétries de rotation, mais pas autant qu'un cercle, car il faut faire tourner le carré de 90 degrés pour qu'il retrouve son apparence de départ.

SYMÉTRIE DE ROTATION



Symétrie vérifiée pour tout angle



Symétrie partielle

Le concept de symétrie est généralisable. Il est possible d'adapter l'idée de telle sorte qu'elle s'applique aux lois de la physique. Nous disons qu'une loi est symétrique si nous pouvons changer le contexte dans lequel elle s'applique sans changer la loi elle-même. Par exemple, l'axiome fondamental de la relativité restreinte est que les mêmes lois physiques s'appliquent dans deux référentiels différents qui se déplacent à vitesse constante (en grandeur et en direction) l'un par rapport à l'autre. Ainsi, la relativité exige que les équations qui décrivent les lois de la physique doivent être inchangées quand on applique certaines transformations représentant un tel changement de référentiel.

Une classe différente de transformations est importante pour les cristaux, y compris les cristaux temporels. Ce sont des transformations très simples et néanmoins d'une importance capitale: les «translations». La symétrie de translation garantit que les lois physiques s'appliquent de la même façon en deux endroits différents. Si vous déménagez (ou «translatez») votre laboratoire d'une ville à une autre, vous constaterez que les mêmes lois sont encore valables au nouvel emplacement. En d'autres termes, la symétrie de translation spatiale affirme que les lois que nous découvrons quelque part s'appliquent partout à l'identique.

La symétrie de translation temporelle exprime une idée similaire, l'espace étant remplacé par le temps. Elle dit que les mêmes lois qui nous gouvernent maintenant s'appliquent aussi aux observateurs dans le passé et dans le futur. En d'autres termes, les lois que nous découvrons à un moment s'appliquent tout le temps. Étant donné son importance majeure dans ce récit, je noterai τ (la lettre grecque «tau») la symétrie de translation temporelle.

Sans symétrie de translation spatiale et temporelle, les expériences réalisées en des lieux différents ou à des moments différents ne seraient pas reproductibles. La science telle que nous la connaissons serait alors impensable. Jusqu'à présent, toutes les observations indiquent que les règles de la physique valides ici et maintenant sont les mêmes que celles qui régissent des galaxies lointaines, situées aux confins de l'Univers et vues par nous telles qu'elles étaient dans un passé reculé. Il est donc raisonnable d'admettre la validité de ces symétries.

BRISURE DE SYMÉTRIE

Paradoxalement, si les symétries sont à l'origine du caractère esthétique des cristaux, c'est le manque de symétrie au sens mathématique de ces objets qui les définissent aux yeux des physiciens.

Pour l'illustrer, considérons d'abord une droite. Toute translation laisse cet objet inchangé. Maintenant, imaginons un cristal