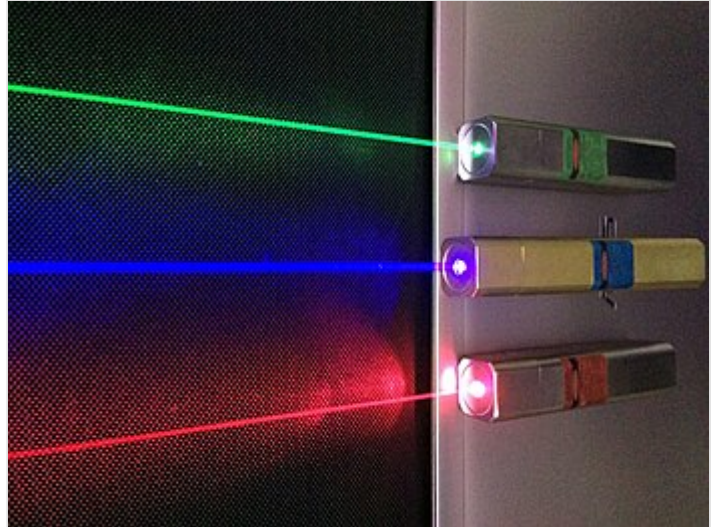




Boson

En mécanique quantique, un **boson** est une particule subatomique de spin entier qui obéit à la statistique de Bose-Einstein. Le théorème spin-statistique différencie les bosons des fermions, qui ont un spin demi-entier.

La famille des bosons inclut des particules élémentaires : les photons, les gluons, les bosons Z et W (ce sont les quatre bosons de jauge du modèle standard), le boson de Higgs (découvert en 2012), et le graviton encore théorique ; ainsi que des particules composites (les mésons et les noyaux qui ont un nombre de masse pair comme le deutérium, l'hélium 4 ou le plomb 208) ; et quelques quasi-particules (paires de Cooper, plasmons et phonons).



Photons émis dans le faisceau cohérent d'un laser.

Alors que les particules élémentaires qui constituent la matière (leptons et quarks) sont des fermions, les bosons élémentaires sont vecteurs de force et servent de « colle » pour lier la matière.

La statistique de Bose-Einstein implique une transition de phase à basse température, responsable notamment de la superfluidité de l'hélium 4 ou de la supraconductivité de certains matériaux. Cela découle du fait que cette statistique ne limite pas le nombre de bosons qui peuvent occuper le même état quantique. Contrairement aux bosons, deux fermions identiques ne peuvent occuper le même espace quantique.

Plus généralement, les bosons montrent une tendance à s'agréger lors des processus d'interaction entre les particules, comme lors de l'émission stimulée de lumière qui donne lieu au laser.

Histoire

Le terme de boson provient du nom du physicien indien Satyendranath Bose et aurait été utilisé pour la première fois par Paul Dirac¹. Bose se rendit compte le premier que pour expliquer la loi de Planck décrivant le rayonnement du corps noir à partir des photons précédemment découverts par Einstein, il fallait supposer que les photons ne suivent pas la statistique de Maxwell-Boltzmann, mais plutôt une statistique désormais appelée statistique de Bose-Einstein. Bose écrit un court article, *Planck's Law and the Hypothesis of Light Quanta*, qu'il envoie à Albert Einstein, après un rejet par le *Philosophical Magazine*. Einstein est favorablement impressionné et le recommande pour publication dans *Zeitschrift für Physik*, et il en fait lui-même la traduction de l'anglais vers l'allemand. Einstein va également étendre la notion de boson à d'autres particules telles que les atomes, et contribuer à la popularité du concept de boson. Ces particules sont

indistinguables les unes des autres et n'ont pas d'individualité propre. Il s'ensuit qu'une mesure complète sur chacune d'entre elles ne peut suffire à caractériser complètement l'état du système, ce phénomène étant dénommé dégénérescence d'échange.

Pour illustrer ce que l'on entend par dégénérescence d'échange, supposons donné un ensemble complet d'observables qui commutent (ECOC) pour une particule et notons $\{|u_1\rangle, |u_2\rangle, \dots\}$ la base de vecteurs propres communs à toutes les observables de cet ECOC. Si le système est composé d'une seule particule, et que l'on mesure toutes les observables de l'ECOC, d'après les postulats de la mécanique quantique, on va projeter l'état du système sur l'un des vecteurs $|u_p\rangle$, de sorte que l'état du système après la mesure sera complètement connu. Supposons maintenant que le système soit composé de deux particules et que l'on effectue une mesure complète de chacune des particules. Le résultat que l'on obtient sera : une particule est dans l'état $|u_p\rangle$ et l'autre est dans l'état $|u_{p'}\rangle$, mais puisqu'on ne peut pas *identifier* les particules, on ne sait pas laquelle est dans $|u_p\rangle$ et laquelle est dans $|u_{p'}\rangle$. En conséquence, le vecteur mathématique décrivant l'état du système est indéterminé. Ce peut être :

1. $|u_p\rangle \otimes |u_{p'}\rangle$,
2. $|u_{p'}\rangle \otimes |u_p\rangle$, en échangeant le rôle des particules par rapport à ci-dessus,
3. ou n'importe quel vecteur de l'espace $\mathcal{E}_{p,p'}$ engendré par ces deux vecteurs.

Pour lever la dégénérescence d'échange², on construit deux opérateurs S et A qui projettent l'espace $\mathcal{E}_{p,p'}$ sur un ket unique soit complètement symétrique lors de l'échange de deux particules (dans le cas de S), soit complètement antisymétrique (dans le cas de A). On postule ensuite que le vecteur représentant correctement l'état du système est ce ket unique. Les particules ayant un vecteur d'état complètement symétrique sont les bosons, tandis que celles ayant un vecteur d'état complètement antisymétrique sont les fermions. Cette approche n'est pas limitée au cas de deux particules et peut être généralisée à un nombre quelconque de particules. Des travaux récents de physique théorique ont découvert d'autres moyens de résoudre ce problème qui conduisent à des comportements différents, tels que les anyons ou les plektons en théorie des cordes. Toutefois, toutes les particules élémentaires décrites par le modèle standard sont soit des bosons lorsque leur spin est entier, soit des fermions lorsque leur spin est demi-entier.

Bosons élémentaires

Toutes les particules élémentaires découvertes à ce jour sont soit des fermions, soit des bosons. Tous les bosons élémentaires observés sont des bosons de jauge, c'est-à-dire qu'ils agissent comme des intermédiaires des interactions fondamentales, sauf le boson de Higgs qui est un boson scalaire :

- les photons, vecteurs de l'interaction électromagnétique,
- les huit gluons de l'interaction forte,
- les bosons Z^0 , W^- et W^+ de l'interaction faible.

Les bosons de Higgs donnent leur masse aux bosons Z et W via le mécanisme de Higgs. Leur existence a été confirmée par le CERN le 14 mars 2013.

Le graviton, boson de jauge hypothétiquement responsable de l'interaction gravitationnelle, n'entre pas dans le cadre du modèle standard et toutes les tentatives de le lier à ce dernier ont pour l'instant échoué.

L'existence possible d'autres bosons en dehors du modèle standard est actuellement recherchée, comme dans le cas de l'axion qui serait un boson très léger.

Bosons composites

Les particules composées de particules plus élémentaires, comme les atomes ou le proton, peuvent être des fermions ou des bosons, selon leur spin total (entier pour les bosons, demi-entier pour les fermions).

Exemples de bosons composites :

- atome d'hélium 4
- état de deux électrons formant une paire de Cooper dans les matériaux supraconducteurs
- exciton
- polariton

Autres dénominations de bosons

Selon leur spin, les bosons peuvent être amenés à être décrits sous d'autres dénominations.

Boson vecteur

Le boson vecteur est un boson de spin 1. Les bosons vecteurs élémentaires sont les bosons de jauge. Il existe aussi des bosons composés vecteurs : les mésons vecteurs.

Boson scalaire

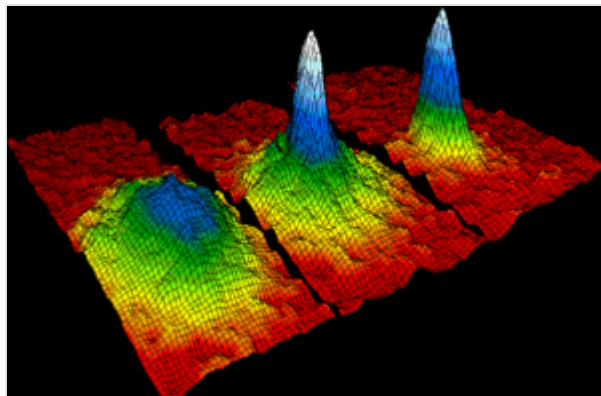
Le boson scalaire est un boson de spin 0. Le seul boson scalaire élémentaire est le boson de Higgs, bien que certaines théories en évoquent d'autres comme l'inflaton. Parmi les différents mésons pseudoscalaires, on peut citer le pion.

Phénomènes montrant le comportement bosonique

Alors que les fermions obéissent au principe d'exclusion de Pauli : « *Un état quantique donné ne pouvant être occupé que par au plus un fermion* », ce n'est pas le cas des bosons. Un état quantique bosonique peut être occupé par un nombre quelconque de bosons. Et inversement aux fermions, à très basse température les bosons tendent à se rassembler dans un état quantique donné (l'état fondamental).

Ce comportement permet d'expliquer entre autres :

- le rayonnement du corps noir, qui s'explique par la statistique des photons ;
- la population macroscopique d'un mode unique de photon dans un laser ;
- le groupement des photons lors de leur détection (expérience de Hanbury-Brown et Twiss) ;



Condensation de bosons – des atomes de rubidium – dans un état quantique unique lorsque l'on baisse la température.

- la transition de phase vers un état cohérent à basse température, c'est-à-dire dans lequel deux parties du système puissent interférer. Une telle transition de phase est observée dans différents systèmes :
 - dans les gaz atomiques dilués, qui sont l'exemple le plus proche de la condensation de Bose-Einstein d'un gaz parfait de bosons envisagée initialement par Bose et Einstein ;
 - dans l'hélium 4 qui devient superfluide à basse température ;
 - dans certains métaux qui deviennent supraconducteurs à basse température.

Dans ces deux derniers cas, les interactions entre particules sont fortes et l'état fondamental dans lequel se développe le condensat est très différent de l'état fondamental du système en l'absence de condensat. En particulier, il existe de fortes corrélations entre les atomes.

Notes et références

- (en)** Cet article est partiellement ou en totalité issu de l’article de Wikipédia en anglais intitulé « Boson (<https://en.wikipedia.org/wiki/Boson?oldid=697709860>) » (voir la liste des auteurs (<https://en.wikipedia.org/wiki/Boson?action=history>)).
- (en)** Cet article est partiellement ou en totalité issu de l’article de Wikipédia en anglais intitulé « Vector boson (https://en.wikipedia.org/wiki/Vector_boson?oldid=602340447) » (voir la liste des auteurs (https://en.wikipedia.org/wiki/Vector_boson?action=history)).
- (en)** Cet article est partiellement ou en totalité issu de l’article de Wikipédia en anglais intitulé « Scalar boson (https://en.wikipedia.org/wiki/Scalar_boson?oldid=465677748) » (voir la liste des auteurs (https://en.wikipedia.org/wiki/Scalar_boson?action=history)).

- Biographie de Bose sur le site de Wolfram (<http://scienceworld.wolfram.com/biography/Bose.html>)
- Chapitre XIV sur les particules identiques du livre de C. Cohen-Tannoudji, B. Diu et F. Laloë, *Mécanique quantique* [détail de l’édition]

Voir aussi

Articles connexes

- Boson de Higgs
- Condensat de Bose-Einstein
- Fermion et Anyon
- Particules indiscernables
- Statistique de Bose-Einstein

- Boson de Schwinger

Liens externes

- Caractéristiques des bosons de jauge et de Higgs (<http://pdg.lbl.gov/2006/listings/gxxx.html>) d'après le Particle Data Group (<http://pdg.lbl.gov>)

Bibliographie

- (de) S.N. Bose. "Plancks Gesetz und Lichtquantenhypothese", *Zeitschrift für Physik* **26**:178-181 (1924). (<http://www.springerlink.com/content/j30330n763017620/fulltext.pdf>)
(*La traduction en Allemand de l'article de Bose sur la loi de Planck*)
-

Ce document provient de « <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Boson&oldid=212178001> ».

▪