

Enfin, il est possible que vouloir à tout prix supprimer les effets des particules virtuelles, comme en supersymétrie, n'est pas la bonne idée. Une nouvelle approche consiste à intégrer ces effets pour expliquer d'où vient la masse. L'idée est similaire à ce qui se passe quand les physiciens calculent la masse du proton. Cette particule n'est pas élémentaire. Il s'agit d'un assemblage de trois quarks, qui ont une masse minuscule, et de gluons, dont la masse est nulle. Or le proton est beaucoup plus lourd que la somme des quarks et des gluons dont il est composé. D'où vient cette masse ? Elle vient de l'énergie des champs associés à l'interaction forte qui assure la cohésion du proton. Notre compréhension de ces champs nous permet de prédire précisément la masse du proton.

D'ordinaire, nous pouvons calculer des masses à partir d'autres masses. Cependant, le modèle standard ne permet pas de prévoir la masse du boson de Higgs – nous devons la mesurer. Il semble étonnant que l'on puisse calculer la masse du proton, mais pas celle du boson de Higgs. À partir des travaux de William Bardeen, physicien au Fermilab, quelques théoriciens suggèrent que la masse du boson de Higgs est déterminée par un processus analogue à celui utilisé pour le proton, et qui est nommé transmutation dimensionnelle.

Une telle approche permet de conserver les effets utiles des particules virtuelles tout en évitant ceux qui sont désastreux. En revanche, elle nécessite d'abandonner certaines autres idées véhiculées par la supersymétrie, telle l'unification des lois de la physique à très haute énergie. Et le lien entre la physique quantique et la relativité générale, qui se dérobe à nous depuis si longtemps, en devient plus mystérieux encore. Toutefois, ce modèle a d'autres avantages, notamment celui de proposer un candidat à la matière noire. Sa masse découlerait de ses interactions avec la matière ordinaire, interactions qui seraient véhiculées par le boson de Higgs. Cette prédiction spectaculaire sera testée au LHC ainsi que dans des expériences souterraines de détection de matière noire.

La supersymétrie n'a pas dit son dernier mot. Plusieurs indices suggèrent qu'elle pourrait tout de même s'intégrer aux lois de la physique. Parmi les observations les plus récentes, on peut évoquer le rôle de la masse du boson de Higgs et son impact sur la stabilité de l'Univers.

La supersymétrie dans l'hélium 3

Récemment, Tarun Grover, de l'Université de Californie à Santa Barbara, et ses collègues ont montré que certains phénomènes dans le domaine de la matière condensée peuvent être théoriquement décrits par la supersymétrie. Ils ont analysé ce qui se passe dans de l'hélium 3 superfluide, à une température proche du zéro absolu. Les atomes (des fermions, leur spin ou moment cinétique intrinsèque étant demi-entier) s'associent par paires pour former des bosons (de spin entier), sauf sur les bords de l'enceinte. En présence d'un champ magnétique, les fermions des bords disparaissent. Lors de cette transition, le comportement des fermions et des bosons est analogue à celui de superpartenaires.

BIBLIOGRAPHIE

J. Ellis, Le boson de Higgs, et après ?, *Pour la Science*, n° 419, septembre 2012.

G. Ellis, Le multivers existe-t-il ?, *Pour la Science*, n° 412, février 2012.

G. Kane, Supersymétrie : les lois ultimes de la nature dévoilées, Le Pommier, 2003.

N. Arkani-Hamed et al., Les dimensions cachées de l'Univers, *Pour la Science*, n° 276, octobre 2000.

La découverte du boson de Higgs implique qu'il existe un champ associé à cette particule qui est présent partout dans l'Univers. L'interaction des particules avec ce champ leur confère leur masse. Cela signifie que le vide est en réalité un endroit où il se passe beaucoup de choses, où la combinaison du champ de Higgs et des particules virtuelles produit une dynamique complexe. Mais cette dynamique est-elle stable ? Si elle ne l'est que temporairement, on parle d'équilibre métastable ; le champ de Higgs pourrait alors subir une « transition de phase » et basculer dans une configuration plus stable. L'énergie associée au champ changerait de valeur ainsi que la masse de toutes les particules et la physique de l'Univers, qui d'une certaine façon repartirait de zéro. La supersymétrie permet de stabiliser le vide et d'empêcher de tels accidents.

Un futur incertain

En l'absence de supersymétrie, la stabilité du vide dépend beaucoup de la masse du boson de Higgs. Or la masse que l'on a mesurée correspond à une frontière, impliquant un vide durable, mais au bout du compte instable (voir l'encadré page ci-contre). Un boson de Higgs plus lourd impliquerait un univers stable, alors qu'un boson de Higgs plus léger conduirait à terme à la catastrophe. La nature essaie de nous dire quelque chose, mais nous ignorons quoi.

Les physiciens attendent donc l'issue de la prochaine campagne du LHC. Si des superpartenaires sont observés, les appréhensions actuelles des physiciens des particules céderont la place à une excitation incroyable d'avoir enfin ouvert une brèche vers le monde supersymétrique. Et ce sera le début d'une grande aventure intellectuelle.

Mais si l'on ne trouve pas ces superpartenaires, la physique des particules sera confrontée à une crise. Cette perspective inspire déjà une réflexion radicalement nouvelle sur les phénomènes qui sous-tendent la trame de l'Univers. Une meilleure compréhension des propriétés du boson de Higgs sera cruciale pour construire cette nouvelle voie. Et les signaux astrophysiques et cosmologiques de la matière noire pourraient nous baliser le chemin à suivre. ■