

Monsieur Unification

La construction d'une théorie unifiant les interactions fondamentales de la physique est un chantier ouvert depuis des décennies. Steven Weinberg est l'un de ses principaux protagonistes.

Entretien avec Steven Weinberg

→ Le collisionneur LHC, au CERN, suscite beaucoup d'espoirs. Certains ont comparé les résultats attendus avec les révolutions quantique et relativiste du premier tiers du XX^e siècle. Qu'en pensez-vous ?

→ Steven Weinberg

On peut imaginer que ces résultats vont conduire à une révolution de notre pensée en physique comparable à celle du début du XX^e siècle, mais ce n'est pas une certitude. Pour qu'une telle révolution se produise, il faut qu'arrive quelque chose de complètement imprévu... que je ne peux donc pas prévoir !

À court terme, nous essayons d'avancer au-delà du modèle standard, et aussi d'imaginer ce qui s'est passé aux débuts de l'Univers. Cela prendra du temps. Nous espérons ensuite pouvoir tout relier, et disposer enfin d'une théorie rendant compte de toutes les particules et de toutes leurs interactions. Nous ignorons à quoi elle ressemblera.

Quand nous aurons une compréhension vraiment complète de la nature au niveau le plus fondamental, elle diffusera dans la société. Elle sera probablement très mathématique, et le grand public mettra longtemps à comprendre, comme il a fallu longtemps avant que les scientifiques eux-mêmes comprennent la théorie de Newton. Mais cette dernière a finalement eu une profonde influence sur la façon dont les gens en général conçoivent le monde et la vie humaine. Elle a eu des répercussions sur l'économie, la biologie, la politique et la religion. Une situation semblable pourrait se produire si

nous parvenons à une théorie vraiment complète de la nature.

Notre représentation de la nature se fait de plus en plus globale, et des énigmes d'autrefois, comme la nature des forces qui assurent la cohésion des particules au sein d'un atome, ont été parfaitement comprises — pour être aussitôt remplacées par de nouvelles énigmes, telle l'origine des propriétés des particules élémentaires, particules du modèle standard. Et le processus par lequel on explique des énigmes tout en en suscitant de nouvelles se poursuivra longtemps. Ce n'est qu'une supposition, mais je pense que nous parviendrons à un point où il n'y aura plus le même genre d'énigmes. Et ce sera alors un remarquable tournant dans l'histoire de la pensée.

→ La découverte du boson de Higgs est le premier grand objectif poursuivi au LHC, à supposer que les physiciens du Tevatron, au Fermilab, ne le trouvent pas en premier. Dans quelle mesure l'unification électrofaible et le modèle standard dépendent-ils du boson de Higgs ?

→ Steven Weinberg

Le modèle standard repose complètement sur l'existence d'une brisure de la symétrie électrofaible. Mais si vous vous demandez pourquoi la symétrie est brisée, le doute est permis. Le mécanisme de brisure de symétrie mis en œuvre dans le modèle de Weinberg-Salam (le secteur électrofaible du modèle standard) requiert l'existence d'une nouvelle particule, qui a pris le nom de boson de Higgs. Ce modèle simple a conduit à la pré-

diction du rapport des masses des bosons faibles, prédiction qui semble très bonne.

Pour autant, une autre possibilité existe : que la symétrie soit brisée par des interactions fortes d'un type nouveau, de façon qu'il n'y ait pas de boson de Higgs. Ces nouvelles interactions devraient être bien plus fortes que l'interaction forte ordinaire. Lenny Susskind et moi avons, indépendamment, mis au point une théorie sur ce principe que nous avons d'un commun accord nommée Technicouleur. Elle prédit bien elle aussi les masses des bosons faibles, mais peine à expliquer les masses des quarks. Certains théoriciens continuent de travailler sur la Technicouleur. Si cette théorie est pertinente, le LHC devrait la mettre en évidence, ainsi que tout un ensemble de particules nouvelles.

Ainsi, même si le LHC ne trouve pas le boson de Higgs, il se peut que ce collisionneur trouve autre chose d'équivalent, par exemple des indices de la validité de la Technicouleur. De fait, on montre que sans particules nouvelles, on a des incohérences mathématiques.

→ Un autre principe que les physiciens espèrent confirmer au LHC est la supersymétrie, l'idée selon laquelle les particules médiatrices des interactions, tels les bosons faibles, et les particules de matière, telles que les électrons et les quarks, sont intimement reliées. Certains physiciens ont autant confiance dans la supersymétrie qu'Einstein en avait dans la relativité : elle est si convaincante qu'elle ne peut qu'être vraie. Est-ce aussi ce que vous ressentez ?

→ Steven Weinberg

Non. La relativité restreinte s'inscrivait dans tout ce qui était déjà connu théoriquement et expérimentalement à la fin du XIX^e siècle, à savoir la théorie électromagnétique de Maxwell, et le fait que personne ne parvenait à découvrir les effets de l'« éther » dont on supposait qu'il remplissait tout l'espace. Si j'avais eu la chance d'inventer la relativité restreinte en 1905, j'aurais ressenti comme Einstein que cette théorie ne pouvait qu'être juste.

Je ne ressens pas les choses de la même façon à propos de la supersymétrie. Cette théorie a quelques succès mineurs à son actif : elle améliore la prédiction d'un paramètre crucial du modèle standard ; elle fournit un candidat naturel pour les particules de matière noire ; elle a aussi la très séduisante propriété d'être la seule symétrie susceptible d'unifier des particules comme les bosons faibles avec des particules comme les électrons. Mais rien de cela n'est assez impressionnant pour me convaincre que la supersymétrie est nécessairement juste.

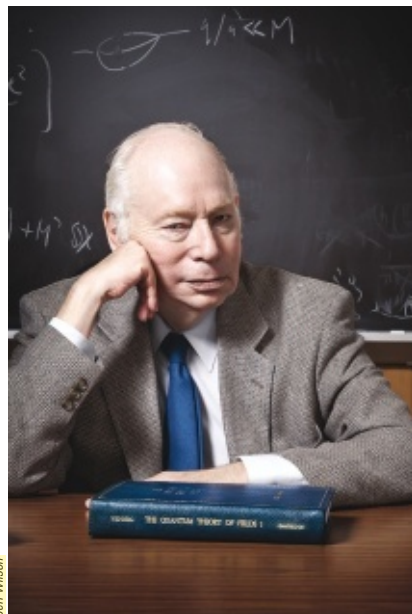
→ Vous avez avancé que le principe anthropique – l'idée que certains aspects de notre Univers n'ont pas d'explication plus profonde que le fait que nous vivons dans une partie particulièrement habitable d'un domaine plus vaste – est notre meilleure explication de la densité d'énergie sombre, cette mystérieuse substance responsable de l'accélération de l'expansion de l'Univers. Pouvez-vous nous en parler ?

→ Steven Weinberg

Nous spéculons beaucoup sur ce que nous considérons comme fondamental, par exemple la masse des particules, les différentes interactions, les trois dimensions d'espace flanquées d'une dimension de temps, mais il se pourrait que tout cela ne soit pas fondamental, mais lié à notre environnement. L'Univers pourrait être beaucoup plus grand que nous ne l'avons imaginé, et englober beaucoup plus que le Big Bang observé autour de nous. Il pourrait comprendre différentes parties – par « parties », je désigne diverses choses pos-

sibles – dotées de propriétés très différentes et où ce que nous nommons les principes fondamentaux de la nature pourraient être différents, et où même les dimensions d'espace et de temps seraient différentes. Il devrait y avoir un grand principe sous-jacent qui décrit l'ensemble, mais il se pourrait que soyons bien plus loin de le découvrir que nous ne l'imaginons aujourd'hui.

Quand j'ai commencé à écrire sur ce sujet en 1987, j'avais l'esprit complètement



Jeff Wilson

Steven WEINBERG, prix Nobel de physique en 1979 pour sa contribution à la théorie électrofaible, est physicien théoricien à l'Université du Texas à Austin (États-Unis).

Ses propos ont été recueillis par Amir ACZEL, chercheur à l'Université de Boston et écrivain.

ouvert – et c'est toujours le cas aujourd'hui – quant aux diverses façons dont on pourrait concevoir ces parties de l'Univers, avec des propriétés telles que des densités d'énergie sombre différentes. Une des pistes est l'inflation chaotique d'Andrei Linde, qui suppose de nombreux Big Bang se produisant épisodiquement ici ou là, chacun étant caractérisé par des valeurs différentes des paramètres tels que la densité d'énergie sombre.

Comme Stephen Hawking le décrit (voir l'article de S. Hawking et L. Mlodinow dans

ce numéro), l'Univers pourrait être une superposition quantique de plusieurs états, comparables au célèbre chat de Schrödinger (un chat à la fois vivant et mort imaginé par Erwin Schrödinger pour exprimer la notion de superposition quantique d'états). Ainsi, comme il est possible en théorie quantique qu'un chat se trouve dans deux états à la fois, l'un où il est vivant, l'autre où il est mort, il en va peut-être de même pour l'Univers. Dans l'état où le chat est vivant, le chat sait qu'il est vivant, et dans l'autre état il ne sait rien du tout. De même, il y aurait des états de l'Univers comportant des chercheurs explorant ce qui leur semble être l'Univers entier, et d'autres états où peut-être l'Univers est trop petit ou évolue trop vite, et où il n'y a personne pour l'explorer.

Les arguments anthropiques prédisent que la densité de l'énergie sombre doit être assez faible pour que puissent se former des galaxies, mais pas trop, parce que les univers où elle est nettement plus petite sont rares. Un calcul que j'ai effectué en 1998 avec deux astrophysiciens de l'Université du Texas à Austin, Hugo Martel et Paul Shapiro, suggérait que toute énergie sombre devrait être en quantité assez importante pour qu'on la découvre bientôt. Et peu de temps après, les astronomes découvraient son existence.

→ Vous faites le lien entre deux communautés différentes de physiciens : ceux qui font de la cosmologie et de la relativité générale, et ceux qui font de la physique des particules et de la théorie quantique. Cette double expertise vous aide-t-elle à voir comment unifier ces deux domaines ?

→ Steven Weinberg

Pour le moment, je ne vois aucune direction d'unification. J'aurais certainement aimé en voir. J'ai des idées sur les voies possibles vers l'unification, qui me viennent de la physique expérimentale des particules, mais il est beaucoup trop tôt pour dire si ces idées ont un rapport quelconque avec la réalité.

On présente souvent la théorie des cordes comme la seule façon de traiter le problème des infinis apparaissant en théorie