

classique de particule ? Il vaudrait mieux franchir le pas et abandonner complètement le concept.

Certains physiciens considèrent ces difficultés comme des preuves indirectes en faveur d'une interprétation de la théorie quantique des champs en termes de champs purs. Selon cette conception, les particules sont des ondulations d'un champ qui emplit l'espace comme un fluide invisible. Mais comme nous allons le voir, on ne peut pas non plus interpréter facilement en termes de champs la théorie quantique des champs.

L'expression « théorie quantique des champs » évoque naturellement une théorie qui traite de versions quantiques des champs classiques, tels le champ électrique et le champ magnétique. Mais qu'est-ce qu'une « version quantique » ? Le terme de « champ » évoque le champ magnétique qui aligne la limaille de fer autour d'un barreau aimanté et le champ électrique qui fait dresser les cheveux sur la tête, mais un champ quantique est tellement différent d'un champ classique que même les physiciens théoriciens avouent qu'ils ont du mal à se le représenter.

Un champ classique fait correspondre à chaque point de l'espace et à chaque instant une quantité physique, par exemple la température, la pression

ou l'intensité du champ électrique. Un champ quantique, quant à lui, fait correspondre à chaque point de l'espace-temps non pas une quantité physique, mais une entité mathématique abstraite, qui représente le type de mesure que l'on peut effectuer plutôt que le résultat qu'on obtiendrait.

Historiquement, les physiciens ont développé la théorie quantique des champs en « quantifiant » la théorie des champs classiques. Dans cette procédure, les théoriciens partent de l'équation classique à laquelle obéit le champ et remplacent ce dernier (représenté par une fonction de la position et du temps) par un « opérateur » dépendant de la position et du temps. Un opérateur est un objet mathématique représentant une opération telle que la différentiation ou l'extraction de la racine carrée (certains opérateurs peuvent correspondre à des processus physiques particuliers tels que l'émission et l'absorption de lumière).

Les opérateurs ajoutent une couche d'abstraction entre la théorie et la réalité. Un champ classique est analogue à

une carte météorologique indiquant la température en tout lieu d'une région. Sa version quantique est analogue à une carte qui n'indiquerait pas « 40 °C » sur un lieu donné, mais, par exemple, « $\sqrt{}$ ». Pour obtenir la température, il faudrait passer par l'étape supplémentaire consistant à appliquer l'opérateur « $\sqrt{}$ » à une autre entité mathématique, nommée vecteur d'état et qui représente la configuration du système en question.

Pas d'image mentale pour le champ quantique

À certains égards, cette particularité des champs quantiques ne paraît pas surprenante. La physique quantique (la théorie générale sur laquelle est bâtie la théorie quantique des champs) ne gère pas non plus des valeurs bien déterminées, mais seulement des probabilités. Cependant, à y regarder de plus près, la situation est nettement plus bizarre avec un champ quantique. En effet, ce dernier ne spécifie même pas des probabilités ; il doit pour cela être combiné avec le vecteur d'état.

La nécessité d'appliquer le champ quantique, opérateur variant dans l'espace et le temps, au vecteur d'état, entité globale décrivant le système dans son ensemble et ne se référant à aucune position particulière, rend la théorie très difficile à interpréter, à traduire en quelque chose de physique que l'on peut imaginer et manipuler mentalement.

Un champ classique permet de visualiser des phénomènes tels que la lumière comme des ondes qui se propagent dans l'espace. Le champ quantique efface ce tableau et nous laisse bien en peine de dire comment fonctionne le monde.

Il est clair, dès lors, que le tableau usuel constitué des particules élémentaires et des champs de force médiateurs n'est pas une ontologie satisfaisante du monde physique : on ne sait même pas ce qu'est au juste une particule ou un champ. Une réponse courante consiste à dire qu'il faudrait envisager les particules et les champs comme des aspects complémentaires de la réalité. Mais cette caractérisation ne résout pas la difficulté : même dans les cas où nous sommes censés voir l'un seulement des deux aspects, aucune de ces notions ne fonctionne.

Heureusement, les notions de particule et de champ n'épuisent pas les ontologies possibles pour la théorie quantique des

LE TABLEAU USUEL CONSTITUÉ des particules élémentaires et des champs de force médiateurs n'est pas une ontologie satisfaisante du monde physique.