

Un terme de plus dans l'équation, et le neutron gagne une charge locale positive ou négative. Un peu étrange pour une particule supposée être neutre...

zéro, annulant le moment dipolaire électrique du neutron. On ne tarda pas à comprendre que ce mécanisme conduisait à la production d'une nouvelle particule hypothétique. Inspiré par une marque de lessive, le physicien théoricien Frank Wilczek l'a facétieusement nommée «axion», car elle «nettoie le problème».

42

Au début des années 1980, les articles sur les conséquences observationnelles potentielles de l'hypothétique axion ont proliféré. Parmi elles, la possibilité que l'axion ait exactement les bonnes propriétés pour résoudre le problème de la matière noire, comme le suggérait par exemple le théoricien Pierre Sikivie, de l'université de Floride. Grâce aux données observationnelles, nous savons que les particules de matière noire doivent être de faible masse, non chargées électriquement, d'une grande stabilité, et peu rapides. Idéalement, un mécanisme évident devrait aussi exister pour produire une grande partie de ces particules de matière noire au tout début de l'Univers. L'axion possède à peu près toutes les caractéristiques recherchées pour la matière noire. Un parfait candidat, à un détail près : nous ne l'avons encore jamais vu, et nous ne savons même pas s'il existe vraiment.

LES AXIONS COMME MATIÈRE NOIRE

En fin de compte, je suis venue au problème de la matière noire par le questionnement sur l'évolution cosmologique des axions. Au début des années 2010, les physiciens débattaient des types d'état quantique dans lesquels les axions pourraient se trouver, et une partie des

discussions tournait autour des calculs pour le déterminer. Je m'intéressais aux questions techniques concernant ces calculs, et c'est ainsi que j'ai commencé à travailler sur les axions. L'axion est un candidat à la matière noire à part, non seulement à cause de ses propriétés microphysiques spécifiques ou parce que nous en avons besoin indépendamment de sa relation avec le problème de la matière noire, mais aussi parce que ses propriétés peuvent se traduire en signatures astrophysiques distinctes de celles des autres candidats. Le débat fait encore rage sur l'étendue de ces différences entre les modèles de matière noire.

Avec un spin de valeur zéro, les axions font partie de la catégorie des bosons (très précisément, des bosons scalaires), alors que la plupart des autres candidats à la matière noire seraient plutôt des fermions. Une différence cruciale entre bosons et fermions est qu'en un même lieu, deux fermions ne peuvent pas partager le même état quantique. Cette règle explique pourquoi les électrons occupent des orbitales atomiques différentes. Les bosons, en revanche, n'ont aucune difficulté à partager un état. Un peu comme des majorettes, ils sont capables de se synchroniser complètement. Un résultat remarquable de cette propriété est le condensat de Bose-Einstein, dans lequel de nombreux bosons partagent le même état de basse énergie et se comportent comme un unique superboson. Nous savons que le condensat de Bose-Einstein existe, car nous en créons en laboratoire avec des atomes depuis près de vingt-cinq ans. Désormais, nous nous demandons si cela se produirait aussi dans

l'espace avec la matière noire. Si c'est le cas, la structure et l'évolution de l'Univers en seraient profondément bouleversées.

Le diable est dans les détails. Cette question est importante, mais d'autres surgissent dans la foulée. S'il existe des condensats de Bose-Einstein de matière noire, nous aimerions savoir quels types d'objets ils forment, leur masse et leur taille typique, et comment ils interagissent. En 2014, à l'institut de technologie du Massachusetts (MIT), avec Mark Hertzberg (maintenant à l'université Tufts) et notre mentor Alan Guth, j'ai entrepris de tester l'hypothèse selon laquelle les condensats de Bose-Einstein de ces axions seraient énormes, de la taille des galaxies. Nous avons trouvé le contraire... En partant des propriétés de l'axion prédit par Peccei et Quinn dans les années 1970, nous avons mis en évidence, par le calcul, des condensats d'axions de la taille d'astéroïdes, des «axstéroïdes», comme les a nommés Anna Watts, de l'université d'Amsterdam.

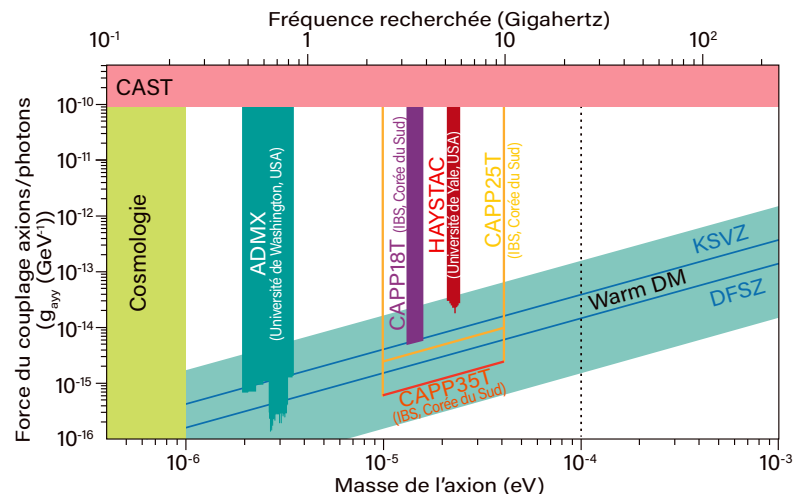
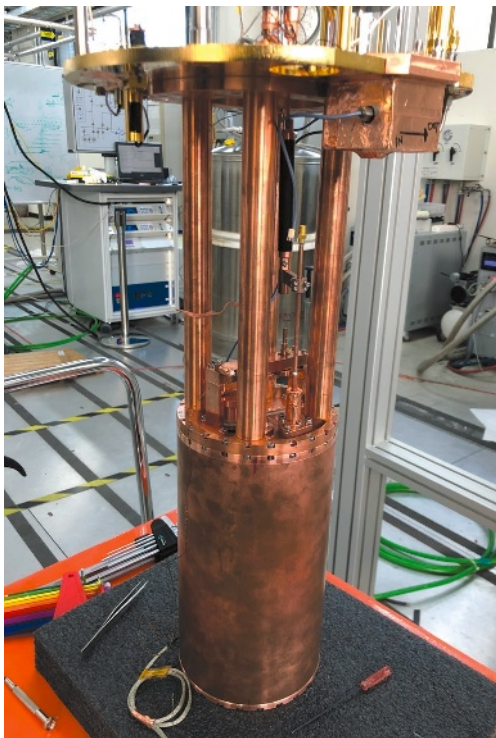
Ces calculs hypothétiques des phénomènes astrophysiques liés aux axions sont intéressants

parce que nous pouvons les confronter aux observations et vérifier si l'axion tient la route comme candidat à la matière noire. Aujourd'hui, mes recherches se concentrent sur le développement d'outils de calcul robustes pour modéliser les axions dans l'espace. Je travaille en particulier avec Kay Kirkpatrick et Tony Mirasola, de l'université de l'Illinois, à Urbana-Champaign. Nous tentons de comprendre exactement quelles techniques mathématiques sont nécessaires pour rendre compte de toutes les propriétés de l'axion. Ces travaux ont une incidence sur ce qu'il est nécessaire d'intégrer dans les simulations numériques destinées à modéliser le halo de matière noire supposé entourer notre galaxie.

L'ESPOIR D'UNE INTERACTION

Les implications observationnelles des axions, elles, ne sont pas encore totalement comprises pour les différentes masses possibles de la particule. Les axions légers auraient pu former un condensat de la taille du halo

43



Plusieurs expériences traquent ou ont traqué les axions dans des gammes différentes de masse et de fréquence associée. Les noms en lettres capitales indiquent les principales d'entre elles. À gauche, l'expérience CAPP-8TB en Corée du Sud.