

Ce mécanisme conduisait à l'hypothèse d'une nouvelle particule. Elle fut nommée « axion », d'après le nom d'une lessive, parce qu'elle « nettoie le problème »

galactique. Les plus lourds auraient pu donner des axstéroïdes dans le jeune Univers, mais nous ignorons quel en aurait été le destin.

Les études astronomiques ne nous renseignent qu'indirectement sur les propriétés et le comportement des axions. La détection directe, par une expérimentation *ad hoc*, offrirait très certainement plus d'informations sur les propriétés spécifiques des axions, et apporterait également un degré de certitude sans doute impossible à atteindre avec les seules données astronomiques. En effet, deux particules hypothétiques différentes produisant des structures similaires à grande échelle ne pourraient être différenciées sur la seule base des données astronomiques.

Heureusement, même si, en théorie, la matière noire ne rayonne pas et la lumière la traverse sans s'arrêter, nous avons bon espoir que, parfois, ce ne soit pas toujours le cas. Dans certaines conditions bien précises, elle pourrait interagir avec les photons ou d'autres particules connues, ce qui produirait des effets observables uniques révélant son identité et les propriétés de ses particules. En particulier, soumis à un champ magnétique extrêmement intense, un axion devrait se désintégrer en photons microondes détectables. L'expérience *ADMX* (*Axion dark matter experiment*), à l'université de Washington, teste ce phénomène au moyen d'un champ magnétique de 8 teslas, environ 100 000 fois plus intense que le champ magnétique terrestre.

Présentée ainsi, cette expérience semble simple, mais elle est en pratique très délicate. Régler le champ magnétique et s'assurer que la

cavité à microondes soit dépourvue de « bruit » (comme des photons accidentels résultant d'autre chose) est crucial pour empêcher de fausses détections. Le modèle de Peccei-Quinn est muet sur l'intensité de la relation entre le champ magnétique et l'axion, ainsi que sur la masse de l'axion. C'est pourquoi l'expérience *ADMX* explore toute une gamme de propriétés possibles de l'axion et ne peut se concentrer sur des valeurs précises.

APRÈS L'AXION, LA « PARTICULE DE TYPE AXION »

Pour compliquer encore les choses, le terme d'« axion » ne se réfère plus aujourd'hui au seul axion dit « QCD », dérivé du mécanisme de Peccei-Quinn. En effet, le modèle de gravité quantique connu sous le nom de « théorie des cordes » comporte de nombreuses particules avec des propriétés très proches de celles de l'axion de la QCD, et les physiciens les ont maintenant (en prenant quelques libertés) classées comme des axions, bien qu'elles n'aient pas les propriétés permettant de résoudre le problème CP fort. Les plus rigoureux d'entre nous préfèrent parler de « particules de type axion ». Mais pas tous. De nos jours, quand je m'exprime face à des physiciens, j'explique la nomenclature des axions, y compris des termes tels qu'« axion ultraléger », celui-ci se rapportant à des particules de très faible masse inspirées par la théorie des cordes.

Parce que les « particules de type axion » ne sont pas tenues de résoudre le problème CP fort, les contraintes sur leurs propriétés

potentielles sont moins nombreuses. Les axions ultralégers, par exemple, pourraient avoir une large gamme d'interactions avec le champ électromagnétique et une fourchette de masses plus étendue que l'axion de la QCD. Davantage de liberté élargit le terrain de jeu et le rend encore plus stimulant pour les théoriciens, mais constitue aussi un défi expérimental. Rechercher des « particules de type axion » sur tout l'espace des paramètres est un travail de longue haleine.

Quand j'ai commencé à travailler sur les axions en 2014, c'est de la part de mes collègues d'Europe et d'Asie que j'ai constaté le plus d'intérêt. La situation est très différente aujourd'hui. On dirait que tout le monde parle d'axions, et qu'ils sont omniprésents dans la recherche... et peut-être autour de nous. Nous les cherchons partout, sur Terre et dans l'espace.

CES NOUVEAUX INSTRUMENTS PLEINS DE PROMESSES

ADMX continue à chasser l'axion. Outre ADMX, les expériences *Abracadabra* (*A broadband/resonant approach to cosmic axion detection with an amplifying B-field ring apparatus*) au MIT et plusieurs autres au CAPP (Center for Axion and Precision Physics Research), en Corée du Sud, utilisent des instruments comparables à base d'aimants pour trouver des preuves directes de son existence. D'autres chercheurs, parmi lesquels mon groupe à l'université du New Hampshire, en collaboration avec des collègues de l'université Stanford, en Californie, et du Fermilab, dans l'Illinois, incorporent des axions et des particules de type axion dans les simulations numériques qui modélisent la formation des galaxies. Nous comparons ensuite ces simulations aux observations des galaxies réelles pour voir si la matière noire constituée d'axions conduit aux bonnes structures.

Nos efforts d'investigation vont énormément se développer dans la prochaine décennie, quand de nouvelles installations, au premier rang desquelles l'observatoire Vera-C.-Rubin (en l'honneur de celle qui découvrit les premières preuves concluantes de la matière noire), commenceront à collecter des données. Ces installations cartographieront la structure de l'Univers et la distribution inférée de la matière noire cosmique avec une précision sans précédent. Sur le

modèle d'ADMX, nous pouvons également sonder le ciel à la recherche de systèmes célestes à fort champ magnétique : des étoiles à neutrons, ces objets compacts et denses qui se forment en fin de vie des étoiles massives. À cause de leur structure effondrée, elles ont souvent des champs magnétiques extrêmement puissants. En théorie, les axions interagiraient avec ces champs et produiraient des émissions inattendues d'ondes radio. Un groupe de recherche a récemment rapporté les possibles traces de telles émissions, mais je reste sceptique quant à leur validité.

Ces initiatives sont faciles à ranger dans la catégorie « recherche de matière noire », mais il y a bien plus que cela en jeu. L'axion QCD est un produit dérivé du mécanisme de Peccei-Quinn, et le problème CP fort reste non résolu. Autrement dit, la quête des axions est également celle d'un modèle standard de la physique des particules plus complet, et, *in fine*, d'une compréhension élargie de la complexité mathématique qui décrit notre Univers.

— L'autrice —

> **Chanda Prescod-Weinstein** est professeure assistante de physique à l'université du New Hampshire, aux États-Unis.

— À lire —

> **N. Glennon et al.**, Using PyUltraLight to model scalar dark matter with self-interactions, *Physical Review D*, à paraître, <https://arxiv.org/abs/2011.09510>, 2021.

> **L. Hui**, Wave dark matter, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, à paraître, <https://arxiv.org/abs/2101.11735>, 2021.

> **T. Braine et al.**, Extended search for the invisible axion with the axion dark matter experiment, *Physical Review Letters*, 124, 2020.

> **K. Kirkpatrick et al.**, Relaxation times for Bose-Einstein condensation in axion miniclusters, *Physical Review D*, 102, 103012, 2020.

> **A. H. Guth et al.**, Do dark matter axions form a condensate with long-range correlation ?, *Physical Review D*, vol. 92, 2015.