

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.

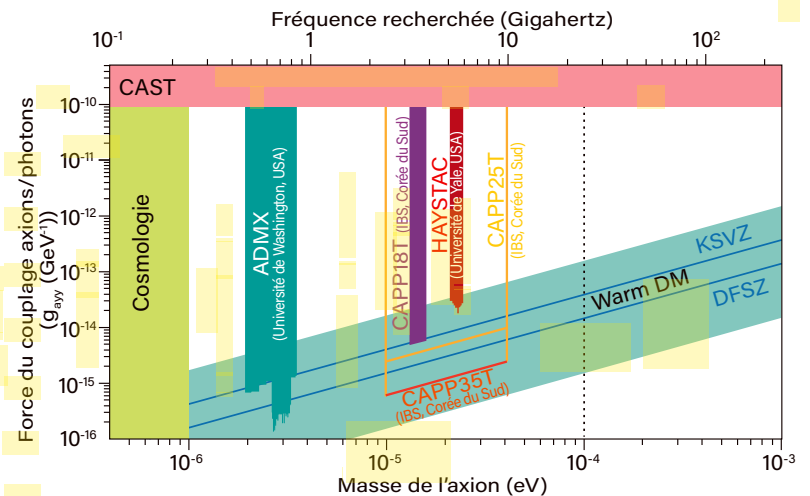
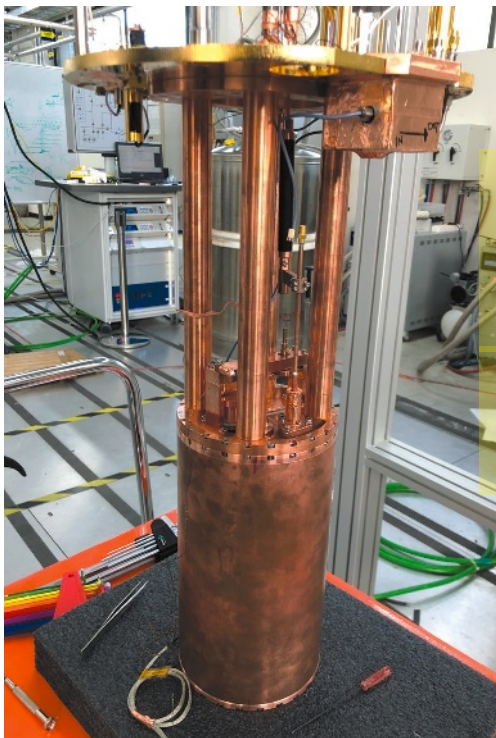
Ces calculs hypothétiques des phénomènes astrophysiques liés aux axions sont intéressants

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.

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