

> Leur seul effet sur le reste de l'Univers serait gravitationnel – leur masse cumulée serait assez importante pour expliquer le mouvement des étoiles dans les galaxies ainsi que celui des galaxies dans les amas.

Depuis plus de vingt ans, je participe à la recherche de ces particules dans le cadre de l'expérience ADMX (*Axion Dark Matter eXperiment*). Et même si nous ne les avons pas encore trouvées, nous continuons d'améliorer notre détecteur. En 2016, ADMX a amorcé une nouvelle phase. Le dispositif est maintenant assez sensible pour être en mesure, d'ici cinq à dix ans, de détecter des axions ou d'exclure les scénarios d'axions les plus plausibles. Nous avons franchi un seuil important, et nous devrions avoir bientôt des nouvelles passionnantes, qu'elles aillent dans un sens ou dans l'autre.

DES AXIONS POUR RÉSOUDRE UN PROBLÈME DE LA QCD

Dans les années 1980, peu de temps avant le début de ma thèse, l'idée des axions avait été émise pour répondre à un problème soulevé par la QCD, la chromodynamique quantique. La QCD est la théorie de l'interaction forte, qui assure la cohésion des composants du noyau atomique et du noyau lui-même. Les expériences de physique des particules présentent un accord remarquable avec les prédictions de cette théorie, sauf en ce qui concerne ce que l'on nomme le « problème de la violation de CP pour l'interaction forte » (CP signifiant « charge-parité »).

La QCD suggère que si vous inversez la charge et la parité d'une particule (c'est-à-dire si vous inversez sa charge électrique et si vous la regardez dans un miroir), elle ne suivrait plus exactement les mêmes lois physiques. Pourtant, rien dans les résultats expérimentaux n'indique que c'est le cas. Ce conflit entre la théorie et les expériences constitue une énigme sérieuse, une fissure dans le bel édifice du modèle standard, notre meilleur modèle de la physique des particules. Cette fissure constitue le « problème CP fort ».

En 1977, alors qu'ils étaient tous deux à l'université Stanford, Helen Quinn et Roberto Peccei se sont rendu compte qu'ils pouvaient aborder le problème CP fort de façon simple et élégante en utilisant l'idée des symétries brisées. Ce concept, l'une des idées récurrentes de la physique, se résume simplement ainsi : parfois les lois de la nature ne sont pas invariantes lorsqu'on applique certaines opérations de symétrie, alors qu'on pense qu'elles devraient l'être. Par exemple, si vous posez un crayon verticalement sur sa pointe, la symétrie de rotation fait qu'il a autant de chances de tomber dans une direction que dans une autre. Mais le crayon finit par tomber dans une direction particulière, et la symétrie est donc

« brisée ». Quand une telle brisure se produit dans le contexte de la physique des particules, elle implique l'existence d'une particule qui préserve d'une certaine façon la symétrie sous-jacente, même si elle semble, en surface, avoir été brisée. La symétrie n'est pas nécessairement évidente ; il peut s'agir d'une symétrie mathématique abstraite.

Avec une intuition que je qualifierais de brillante, Helen Quinn et Roberto Peccei ont appliqué cette idée à l'interaction forte. Ils ont supposé qu'une symétrie cachée liée à cette force a été brisée. Si tel était le cas, cela annulerait les effets de la symétrie CP attendus par la théorie et que l'on n'observait pas dans les expériences. Problème résolu. Peu après, grâce à une autre intuition brillante, Steven Weinberg, à l'université du Texas à Austin, et Frank Wilczek, au MIT (l'institut de technologie du Massachusetts), ont remarqué que le mécanisme de Peccei-Quinn implique l'existence d'une nouvelle particule : l'axion. (D'après le folklore de la physique, ce nom reprend celui d'une marque de lessive parce que la particule fait disparaître la tache que constitue le problème CP fort.) Dès le milieu des années 1980, les physiciens ont suggéré que des axions auraient été produits en grande quantité durant le Big Bang et rendraient compte de la matière noire.

La théorie ne nous renseigne pas sur la masse des axions, ni sur leur probabilité d'interagir avec la matière ordinaire. Mais nous



Produits en nombre durant le Big Bang, les axions formeraient la matière noire



savons qu'ils doivent très peu interagir avec la matière ordinaire, parce que les collisionneurs de particules et d'autres expériences n'en ont encore jamais mis en évidence. S'ils sont extrêmement inertes, la théorie indique qu'ils sont aussi extrêmement légers.

En 1987, un événement cosmique majeur a fourni aux physiciens des contraintes sur la masse de l'axion : la supernova qui a explosé dans le Grand Nuage de Magellan, une galaxie naine voisine de la nôtre. Presque toute l'énergie de l'effondrement gravitationnel de l'étoile