

- 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*) dont le détecteur est sans cesse amélioré. Le dispositif est désormais 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. Mais en quoi consiste plus précisément ces axions ?

UN PROBLÈME DE CP

Dans les années 1980, l'idée des axions a été émise pour répondre à un problème soulevé par la chromodynamique quantique (QCD). 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 sont en accord remarquable avec les prédictions de cette théorie, sauf en ce qui concerne le « problème de la violation de CP pour l'interaction forte » (CP signifiant « charge-parité »).

Selon la QCD, 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 fissure dans le bel édifice du modèle standard, notre meilleur modèle de la physique des particules. Cette énigme est le « problème CP fort ».

En 1977, alors 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 ainsi : les lois de la nature ne sont parfois 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 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, à 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 une légende, 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 savons qu'ils doivent très peu interagir avec la matière ordinaire, parce que les collisionneurs de particules et d'autres expériences n'en ont

LE NOM D'AXION REPREND CELUI D'UNE LESSIVE PARCE QUE LA PARTICULE FAIT DISPARAÎTRE LA TACHE QUE CONSTITUE LE PROBLÈME CP FORT

encore jamais repéré. 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 sur elle-même s'est échappée sous forme de neutrinos, dont certains ont été détectés. Si les axions avaient une masse d'au moins quelques milliélectronvolts, en unités d'énergie (un peu plus d'un milliardième de la masse de l'électron), ils auraient été produits en grandes quantités lors de l'explosion et auraient modifié le temps mis par les neutrinos pour s'échapper de l'astre. Mais puisque