

En bref

> Particules hypothétiques, les axions expliqueraient une perturbante asymétrie au cœur du modèle standard.	> Ces particules sont également des candidats au titre de matière noire, ce composant mystérieux qui explique la forme des grandes structures de l'Univers.	> Plusieurs expériences traquent les axions, notamment grâce à des études astronomiques, même si elles n'offrent que des preuves indirectes de leur existence.	> Des mesures directes sont tentées sur Terre, mais elles n'ont pas encore conclu à l'existence des axions. De nouveaux instruments sont en cours de développement pour y remédier.
---	---	--	---

38

Il y a deux façons de commencer un article sur l'axion. La première est d'expliquer que cette particule hypothétique serait la clé d'un problème majeur du modèle standard de la physique, qui décrit toutes les particules connues. Mais toute la beauté de l'axion est qu'un autre début est possible, tout aussi intéressant. Les physiciens le soupçonnent désormais d'être également la réponse à une des questions les plus importantes de la science : qu'est-ce que la « matière noire » ?

Ce terme désigne la substance invisible qui semble dominer la formation des structures cosmiques comme les galaxies et constituerait l'écrasante majorité de la matière palpable de l'Univers (voir la figure page 40). Présenter toutes les particules proposées pour l'expliquer serait un peu comme décrire tous les occupants d'une ménagerie gigantesque (voir *Beaucoup d'appelés, pas encore d'élus*, par M. Cirelli, p. 102). Pendant un temps, de nombreux chercheurs ont placé leurs espoirs dans des candidates inspirées de la théorie de la supersymétrie. Ces prétendants ont été recherchés dans le Grand collisionneur de hadrons (LHC) du Cern, sous la frontière franco-suisse, ou dans des détecteurs souterrains tels que LUX (*Large Underground Xenon*), aux États-Unis, et *Xenon1T*, en Italie. L'absence du moindre soupçon de découverte a renvoyé les physiciens à la case départ, à la recherche d'une nouvelle particule potentielle de matière noire à traquer. En conséquence, ces dernières années ont vu grandir la popularité d'un *outsider*, accessible par d'autres moyens, et qui avait jusqu'à présent peu fait parler de lui : l'axion.

Je l'avoue, je n'ai pas toujours cru que la matière noire était si importante que cela. En fait, je trouvais même que c'était un sujet ennuyeux et marginal de la physique, qui ne tarderait pas à être résolu. Pendant longtemps, le seul grand défi de notre époque me semblait être l'accélération de l'expansion de l'Univers, peut-être parce que les scientifiques l'ont découverte l'année où j'ai commencé mes études universitaires. Il est facile d'attribuer cette attitude à mon ignorance de jeunesse, mais le fait est que partout où je tendais l'oreille, des conversations passionnantes portaient sur l'« énergie sombre ».

En 2000, j'ai eu l'occasion de passer quelques mois à faire de la recherche en physique des particules. Dans ce cadre, j'ai visité le Fermilab, où j'ai assisté à une présentation donnée par un grand physicien théoricien, Edward « Rocky » Kolb. C'était deux ans après que les astronomes avaient publié que non seulement l'Univers était en expansion, mais que cette expansion accélérât. Les efforts pour concilier ces nouvelles données empiriques avec notre meilleur cadre théorique de la gravitation, la relativité générale, ont conduit à l'idée que l'espace est rempli d'une énergie invisible : l'énergie sombre (voir *Les cachotteries de l'énergie sombre*, par P. Brax, p. 112).

Edward Kolb a ouvert sa présentation en rappelant que les cosmologues avaient déterminé la composition de l'Univers. Soit, à cette époque, 5 % de matière « ordinaire », 20 % de matière noire, et 70 % d'énergie sombre (les réévaluations récentes donnent 26,8 % et 68,3 % pour ces deux dernières). Nous étions tout près du but, disait-il. Il restait « juste » à déterminer ce qu'étaient la matière noire et

l'énergie sombre... Après cette plaisanterie, je me suis imaginé que nous trouverions bientôt la matière noire, et que l'énergie sombre était le seul véritable mystère qui vaille la peine de s'y intéresser. Erreur...

La matière noire a le don de vous attirer irrésistiblement, et pour moi cette attraction est passée par les axions. Aujourd'hui, mes collègues du monde entier voient en moi un spécialiste de cette particule. Pour comprendre comment j'ai été captivée par une particule qui n'a peut-être aucune réalité, il importe de revenir à ses origines, en l'occurrence le problème CP (charge-parité) fort.

DES FAILLES DANS LE MODÈLE STANDARD

L'axion a fait ses débuts comme solution à un problème du modèle standard de la physique, et plus précisément de la partie qui repose sur la chromodynamique quantique (QCD), qui gouverne les particules fondamentales que sont les quarks et les gluons : comment interagissent-elles ? Se regroupent-elles ? Etc. La QCD est très efficace, mais elle prédit pour le neutron, constitué de quarks, des propriétés qui n'ont jamais été observées. Pour mieux saisir, quelques notions des mathématiques qui se cachent derrière l'édifice complexe du modèle standard sont utiles.

Il existe une recette spéciale pour transcrire de nouvelles idées en physique des particules. Nous utilisons pour cela un objet mathématique, le lagrangien, censé caractériser les propriétés d'une particule, et à partir duquel on



Tout comme les galaxies, les amas de galaxies (ici, MACS J0416.1-240) baignent dans un nuage de matière noire, indispensable pour conserver leur cohésion, mais impossible à observer directement. Sur cette image, sa présence correspond au halo bleuté.

peut prédire le comportement de cette particule dans l'espace et dans le temps. Les ingrédients de base sont les composantes qui décrivent les différents types d'énergie que peut prendre une particule. À cela s'ajoute une pincée d'« épices », qui correspondent, par exemple, à la manière dont la particule interagit avec d'autres particules. Comme en pâtisserie, des règles très précises dictent comment doser ces composantes et s'assurer que leur effet n'est ni trop faible ni trop fort. Beaucoup de ces règles reposent sur l'attente que chaque terme du lagrangien restera inchangé après une opération mathématique associée à une symétrie.

Cela peut sembler complexe, mais nous avons l'habitude des symétries dans notre vie