

S'il fallait rédiger une annonce, elle commencerait ainsi : « Recherche nouvelle forme de matière avec des interactions très faibles, voire nulles, à la fois avec la matière ordinaire et avec elle-même. » Qui cherchons-nous ? Tout simplement la matière noire, qui compose 27 % de l'Univers (la matière visible décrite par le modèle standard n'en représentant que 5 %). On ignore tout d'elle, à part qu'elle existe (voir *L'insaisissable matière noire* par P. Gagnon, page 92). Reprenons les termes de l'annonce. L'agitation thermique de cette matière inconnue doit être minime, ce qui revient à dire qu'elle doit être constituée de corps qui se déplacent lentement. Dans le cas contraire, les particules s'échapperaient dans un mouvement chaotique et les grandes structures de l'Univers ne se seraient pas formées. Elle doit aussi être stable, c'est-à-dire non sujette à la désintégration naturelle, car elle était présente dans le bouillon chaotique de l'Univers primitif et elle l'est toujours dans les galaxies observées aujourd'hui, confirmant que sa « durée de vie moyenne » est très longue, voire infinie.

En résumé, la candidate idéale est invisible, froide, stable et interagit peu. On ne s'étonnera pas que la science ait d'abord cherché à la recruter parmi les corps célestes les plus bizarres. Par exemple : des astéroïdes compacts trop petits pour être détectés, ou des planètes détachées de leur orbite et trop sombres à voir, ou encore des étoiles mortes... Ce type de corps massifs, collectivement appelés MACHO pour *massive compact halo objects*, aurait le profil de l'emploi. L'exemple parfait serait une population de trous noirs errants : il s'agit d'objets par définition invisibles, peu interactifs, car éloignés et isolés,

— En bref —

> Les physiciens ignorent ce qui constitue la matière noire (27 % de l'Univers). Les corps célestes massifs ont d'abord été perçus comme des candidats plausibles.

> Les scientifiques privilégient désormais l'hypothèse de nouvelles particules élémentaires, comme les neutralinos, dans le cadre de théories au-delà du modèle standard.

> Une autre hypothèse audacieuse postule que les particules concernées auraient leur origine dans des dimensions supplémentaires de l'espace-temps, enroulées et imperceptibles.

> La réécriture des lois de la gravitation est aussi une option.

lents en raison de leur masse importante et immuables en tant qu'étape terminale de l'évolution stellaire.

Les MACHO ont été activement recherchés dans les années 1980 et 1990, en utilisant le phénomène de lentille gravitationnelle (voir *L'insaisissable matière noire*, par P. Gagnon, page 92) : si la Galaxie était remplie de ces objets, l'un d'eux serait probablement passé devant une étoile, provoquant une déformation de l'image et de l'intensité lumineuse perçue. Les recherches ont cependant été infructueuses, et ces objets ne peuvent prétendre constituer la totalité de la matière noire.

TROUS NOIRS : ILS FONT LEUR GRAND RETOUR

Pourtant, les MACHO n'ont pas été abandonnés et ils font un retour remarqué aujourd'hui avec l'idée de trous noirs d'une taille telle qu'ils n'engendrent pas d'effet de lentille gravitationnelle : soit ils sont trop petits pour dévier le cours de la lumière, soit ils sont très grands, donc très rares, et la probabilité de les observer est infime ; dans les deux cas, les limites mentionnées s'évaporent. Ces objets correspondent aux trous noirs primordiaux proposés par Stephen Hawking dans les années 1970. Créés dans les tout premiers instants après le Big Bang, ils auraient été complètement découplés du reste de la matière par la suite. La fusion de certains pourrait même avoir été détectée dès 2015 par les interféromètres à ondes gravitationnelles *Ligo* et *Virgo*. Néanmoins, le sujet est chaudement débattu et davantage d'études sont nécessaires

pour vérifier si la quantité, la distribution et les propriétés de ces corps sont vraiment adéquates pour expliquer la matière noire.

Convaincus que la matière noire ne peut pas être constituée d'objets astrophysiques macroscopiques, des physiciens ont tourné leur attention vers les particules élémentaires. L'idée était qu'une grande quantité de gaz diffus composé de particules avec les bonnes propriétés serait responsable de la masse manquante. Mais rapidement, on se retrouva à nouveau dans une impasse : aucune des particules connues et décrites par le modèle standard ne coche toutes les cases !

Les neutrinos sont celles qui s'en approchent le mieux : ils sont stables, sans charge électrique (donc sans interaction avec le rayonnement électromagnétique) et n'interagissent que par l'intermédiaire de la force faible, l'une des trois grandes forces fondamentales considérées par le modèle standard (voir les Repères page 6). Cependant, les mesures cosmologiques indiquent qu'ils ont une masse. Problème : des particules même très légères sont faciles à bousculer et donc acquièrent aisément une énergie thermique au

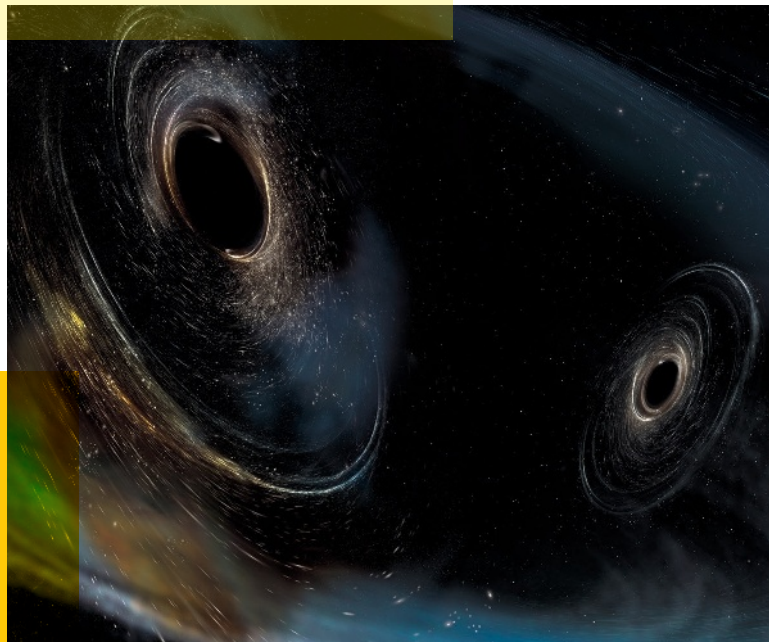
contact du bain chaud de l'Univers primitif, invalidant ainsi la condition de particules « froides ».

En conséquence, les physiciens pensent désormais que le problème de la matière noire est l'un des indices les plus concrets de l'existence de nouvelles particules, et donc d'une « nouvelle physique » encore inconnue. Pour comprendre la portée révolutionnaire de ces propositions, il est utile de passer en revue les hypothèses les plus étudiées.

La matière noire pourrait être constituée de particules prédites par une théorie hypothétique

105

→ Les corps célestes macroscopiques n'apparaissent plus comme les candidats les plus crédibles au poste de matière noire, à l'exception peut-être des trous noirs primordiaux.



dite «de supersymétrie». Cette théorie, initialement proposée dans les années 1970 puis continuellement mise à jour, formule un postulat audacieux et surprenant : pour chaque type de particules actuellement connu, il y aurait une particule jumelle aux propriétés similaires, mais pas exactement équivalentes, qui serait jusqu'ici passée inaperçue, car inaccessible à nos outils de recherche. Si ces particules exotiques, appelées « partenaires supersymétriques », existent, l'une d'entre elles pourrait constituer la matière noire.

L'IMPOSSIBILITÉ D'UNE SYMÉTRIE PARFAITE

Mais reprenons les choses dans l'ordre. Il est bien établi que les particules du modèle standard appartiennent à deux grandes catégories (voir les Repères, page 6) : les fermions (comme les électrons, les quarks et les leptons) et les bosons (dont la particule de Higgs, les photons et les particules médiatrices de force). La différence entre elles tient à une propriété intrinsèque des particules, appelée «spin». Des considérations mathématiques assez complexes ont conduit les physiciens théoriciens dans les années 1970 à émettre l'hypothèse d'un lien profond entre les deux classes de particules. Ce lien associe un boson à chaque fermion, et inversement. Une telle association rend chaque particule plus complète, comme le côté droit d'un visage réfléchi dans un miroir complète le côté gauche. C'est pourquoi on parle de symétrie, ou plus précisément de supersymétrie (notée SuSy). Une symétrie, en physique et aussi dans la nature, rend en général une

théorie plus élégante et cohérente. Dans ce cas, SuSy remédie à une inquiétante incohérence interne du modèle standard qui conduirait à prédire une masse pour le boson de Higgs bien supérieure à celle mesurée. Surtout, elle fait l'hypothèse de l'existence d'un partenaire pour chaque particule connue : outre l'électron, il existerait un superélectron (ou «sélectron»), doté des mêmes propriétés à ceci près que c'est un boson ; et, de même, le «photino» serait à tous égards semblable au photon, à l'exception de sa nature de fermion.

Or, une symétrie aussi parfaite n'est clairement pas réaliste : s'il existait vraiment un sélectron de même masse que l'électron, nous l'aurions déjà remarqué ! Il y aurait de la

Si le sélectron,
le partenaire
supersymétrique
de l'électron,
existait et avait
la même masse, nous
l'aurions remarqué !