

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.

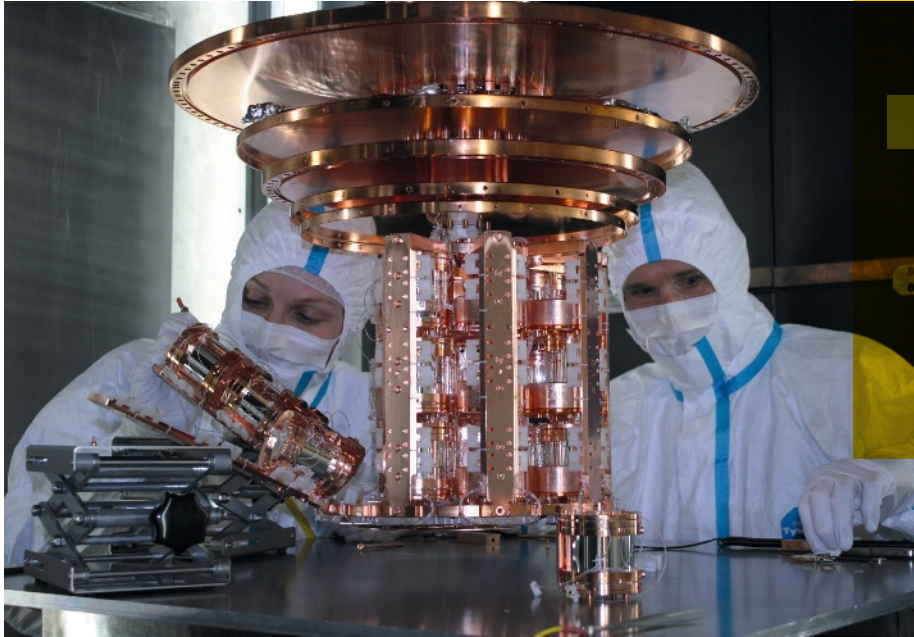
L'IMPOSSIBILITÉ D'UNE SYMÉTRIE PARFAITE

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 !



← Des scientifiques travaillent sur le cœur de l'expérience *CRESST* avant de l'installer dans le laboratoire souterrain de Gran Sasso, en Italie. Le dispositif contient des cristaux très purs, sensibles au passage des particules de matière noire qui sillonnaient la Galaxie et traverseraient la Terre.

sélectricité, des sampoules, des sélectionneurs ! L'expérience montre donc que la symétrie doit être « brisée » : les masses des particules supersymétriques seraient bien plus grandes que celles des particules ordinaires. La théorie perd beaucoup de son élégance, mais, au moins, elle évite les absurdités flagrantes. Étant plus lourdes, les particules supersymétriques se désintègrent en particules plus légères, y compris en celles du modèle standard, et cessent ainsi d'exister. Toutes sauf une.

En réalité, SuSy intègre un mécanisme, la R-parité, nécessaire pour être en accord avec les observations expérimentales, qui garantit la stabilité absolue de la particule supersymétrique la plus légère. Si cette particule est par exemple le partenaire de la particule Z du modèle standard, on se retrouve avec un candidat idéal de matière noire ! Une particule neutre, lourde et donc froide et stable grâce à la R-parité. Les particules de ce type, collectivement appelées « neutralinos », sont généralement de bons candidats pour la matière noire. La théorie n'est pas capable d'en prédire la masse de manière unique, mais seulement d'indiquer une valeur autour de 100 fois la masse d'un proton, avec une grande marge de variabilité.

Ainsi, une solution possible au problème de la matière noire émerge d'une théorie comme la

supersymétrie, qui est complexe, fascinante et apparemment sans rapport avec les phénomènes pertinents aux échelles cosmologiques. Voici un cas exemplaire du contact entre la physique de l'infiniment petit et de l'infiniment grand. Si l'hypothèse est correcte, la matière noire serait le premier signal d'un monde parallèle fait de particules lourdes. Une éventuelle preuve de l'existence des neutralinos résoudrait le problème cosmologique crucial de la « masse manquante » et en même temps révélerait l'autre moitié d'un monde subatomique extraordinaire jusqu'alors ignoré.

DES PARTICULES ENROULÉES DANS CINQ DIMENSIONS

Selon une autre hypothèse, la matière noire serait constituée de particules liées à l'existence d'un espace multidimensionnel plus complexe et étendu que celui que nous connaissons. Certaines théories stipulent, en effet, que notre monde ne serait que le « rez-de-chaussée » d'un immeuble avec un nombre infini de niveaux : les étages supérieurs contiendraient des copies lourdes des particules du modèle standard et l'une d'entre elles serait la matière noire. Même si le concept de copies exotiques de particules rappelle la supersymétrie, l'idée de base est radicalement différente et peut-être encore plus étonnante.

Cette théorie pose que l'espace-temps n'est pas simplement constitué des trois dimensions qui nous sont familières, plus le temps; mais qu'en chaque point il y a une ou plusieurs dimensions spatiales supplémentaires, enroulées en anneaux extrêmement petits et donc imperceptibles. L'idée fut proposée par les physiciens Theodor Kaluza et Oskar Klein dès les années 1920, puis largement oubliée. Elle est revenue au premier plan à la fin des années 1990 pour des raisons liées en partie à la solution de l'incohérence interne du modèle standard concernant la masse du boson de Higgs, que nous avons déjà mentionnée. Une version de ces théories fait également partie intégrante de la théorie des cordes.

Pour comprendre de quoi nous parlons, utilisons une analogie classique, popularisée entre autres par Lisa Randall, physicienne théoricienne à l'université Harvard. Imaginons un tuyau d'arrosage posé sur la pelouse: vu de loin, il nous apparaît comme une ligne, c'est-à-dire un objet unidimensionnel. Cependant, à mesure que nous nous approchons, nous nous rendons compte que l'objet a une dimension transversale, de forme circulaire, si petite qu'elle est invisible de loin, mais

Technibaryons,
Q-balls, pépites
de quarks: derrière
les hypothèses
aux noms facétieux,
il y a un travail
scientifique rigoureux

très concrète et évidente de près. Par exemple, une fourmi est capable de parcourir la dimension linéaire « infinie » du tuyau aussi facilement que la dimension circulaire finie. L'idée de base des théories extradimensionnelles est que l'espace-temps lui-même ressemble à ce tuyau: chaque point (x , y , z , plus le temps t) serait en fait aussi le siège d'un anneau infinitésimal d'une nouvelle dimension. La réalité serait donc en fait 5-dimensionnelle; et les particules élémentaires seraient des entités à cinq dimensions, capables de parcourir cet espace-temps étendu exactement comme la fourmi parcourt toutes les directions du tuyau. Le fait que la dimension supplémentaire soit renfermée sur elle-même a une conséquence importante pour les propriétés des particules.

Reprenons l'analogie en forçant un peu ses limites pour voir quelle est cette conséquence. Imaginons une petite colonie de fourmis, toutes identiques et de même masse m , marchant le long du tuyau. La première fourmi ne fait que parcourir la direction rectiligne à une vitesse v . La deuxième fourmi, elle, a l'habitude de faire le tour du tuyau au fur et à mesure qu'elle le longe. Pour nous, observateurs éloignés qui ne voyons pas la dimension circulaire, le résultat est que la fourmi semble se déplacer dans une direction droite à une vitesse plus lente, disons de la moitié: $v/2$. Nous nous dirions alors: ce doit être une fourmi plus grosse, de masse $2m$. Quant à la troisième fourmi, elle se plaît à faire deux tours autour du tuyau au fur et à mesure qu'elle le parcourt: de loin elle paraît avancer avec une vitesse $v/3$ et on dira qu'elle a une

108

