

Extrait du SUD ÉDUCATION 37

<http://www.sudeducation37.fr/spip.php?article1628>

Pourquoi la particule de Higgs est importante

- DOSSIERS SUD ÉDUCATION 37 - THÉMATIQUES SCOLAIRES - PÉDAGOGIE / SCOLARITE -



Date de mise en ligne : mardi 8 octobre 2013

Copyright © SUD ÉDUCATION 37 - Tous droits réservés

[<http://www.skolo.org/IMG/arton1480.jpg>]

La plupart d'entre nous [1] ont appris à l'école ou dans les livres que toute la matière qui nous entoure est tout ce que nous mangeons, buvons ou respirons, toutes les créatures vivantes, et la terre elle-même est constituée d'atomes. Il en existe environ cent sortes appelées « éléments chimiques », généralement assemblées pour former des molécules, tout comme les lettres s'assemblent pour former des mots.

Nous avons tendance à considérer pour acquis de tels faits concernant le monde, et pourtant ils faisaient encore l'objet de discussions animées à la fin du 19^e siècle. Ce n'est que vers 1900, lorsque la taille réelle des atomes put finalement être établie au départ de multiples lignes de raisonnement et que l'électron, particule subatomique qui occupe l'espace dans la périphérie des atomes, fut découvert, qu'une nouvelle image atomique du monde fut mise en lumière.

À ce jour, cependant, certaines zones de cette image restent floues. Des énigmes vieilles d'un siècle sont toujours sans solution. Et le tohu-bohu que l'on entend à propos du « boson de Higgs » concerne les questions fondamentales de notre existence. Certaines de ces zones floues s'éclairciront peut-être bientôt, pour révéler, sur le monde, des détails que nous ne pouvons pas encore percevoir.

Nous avons appris à l'école que la masse de l'atome est fonction, principalement, de son noyau minuscule ; les électrons forment un large nuage autour du noyau et représentent moins d'un millième de la masse d'un atome. Cependant, ce que la plupart d'entre nous n'ont pas appris du moins ceux qui n'ont pas suivi de cours universitaires de physique, c'est que la taille d'un atome la distance qui le traverse dépend principalement de la masse de l'électron. Si l'on pouvait diminuer la masse de l'électron, on s'apercevrait que les atomes deviendraient plus grands, et beaucoup plus fragiles. En réduisant la masse de l'électron d'un facteur de plus de mille, on arriverait à des atomes d'une telle fragilité que même la chaleur résiduelle actuelle du Big Bang, qui lança notre univers, pourrait les briser. Partant, la structure même et la survie des matériaux ordinaires sont liées à une question apparemment ésotérique : pourquoi donc l'électron a-t-il une masse ?

Dès la première mesure, la masse de l'électron, et son origine, ont laissé les physiciens perplexes et troublés. Les nombreuses découvertes de particules apparemment élémentaires, faites au cours du siècle passé, ont compliqué et enrichi le puzzle. Il a été découvert tout d'abord que la lumière est, elle aussi, composée de particules élémentaires, les photons, qui n'ont pas de masse ; ensuite, on découvrit que les noyaux atomiques sont constitués de particules, les quarks, qui ont une masse ; et depuis peu, nous avons de fortes indications que les neutrinos, particules peu détectables qui coulent à flot du soleil, possèdent également une masse, même si elle est très petite. C'est ainsi que la question de l'électron s'intègre dans une question plus large : pourquoi des particules telles que les électrons, les quarks ou les neutrinos, ont-elles une masse, alors que les photons n'en ont pas ?

Au milieu du siècle passé, les physiciens ont appris à écrire les équations qui prédisaient et décrivaient le comportement des électrons. Même s'ils ne savaient pas d'où venait la masse de l'électron, ils n'ont eu aucune difficulté à introduire à la main la masse dans leurs équations, en se disant qu'une explication complète de son origine serait donnée plus tard. Mais alors qu'ils commençaient à en apprendre plus sur la force nucléaire faible, une des quatre forces connues de la nature, un problème sérieux fit surface.

Les physiciens savaient déjà que les forces électriques sont liées aux photons, et ils réalisèrent alors que la force nucléaire faible est liée, de la même façon, aux particules dites « W » et « Z ». Cependant, les W et Z sont différentes du photon en ce qu'elles possèdent une masse elles sont aussi massives qu'un atome d'étain, plus de cent mille fois plus lourdes que les électrons. Malheureusement, les physiciens s'aperçurent qu'ils ne pouvaient pas

introduire à la main les masses des W et Z dans leurs équations, car celles-ci donnaient alors des prédictions insensées. Et lorsqu'ils examinèrent la manière dont la force nucléaire faible affectait les électrons, les quarks et les neutrinos, ils découvrirent que l'ancienne méthode utilisée pour introduire, à la main, la masse de l'électron ne fonctionnait plus ; elle aussi briserait les équations.

Des idées nouvelles allaient être nécessaires si l'on voulait expliquer comment les particules élémentaires connues pouvaient bien avoir une masse.

Ce dilemme apparut graduellement fin des années cinquante, début des années soixante. Une solution possible vit le jour dès le début des années soixante et c'est ici que nous rencontrons Peter Higgs et les autres : Robert Brout et François Englert ; Gerald Guralnik, Carl Hagen et Tom Kibble. Ils suggérèrent ce qu'on appelle maintenant le « mécanisme de Higgs ». À supposer, disaient-ils, qu'il existe un champ de la nature inconnu à ce jour comme tous les champs, une sorte de substance présente partout dans l'espace qui ne soit pas zéro, distribué uniformément au travers de tout l'espace et du temps. Si ce champ appelé à l'heure actuelle le champ de Higgs était du bon type, sa présence ferait que les particules W et Z acquerraient une masse, et les physiciens pourraient replacer la masse de l'électron dans leurs équations renvoyant toujours en cela à plus tard la question de savoir pourquoi la masse de l'électron est ce qu'elle est, mais permettant au moins d'écrire des équations dans lesquelles la masse de l'électron n'est pas zéro !

Au cours des années qui suivirent, l'idée du mécanisme de Higgs fut testée de différentes manières. Les études exhaustives des particules W et Z ont permis de savoir, aujourd'hui, que c'est la bonne solution à l'énigme posée par la force nucléaire faible. Quant aux détails, nous ne les connaissons pas du tout.

Qu'est-ce que le champ de Higgs, et comment le concevoir ? Il nous est aussi invisible et imperceptible que l'air ne l'est à l'enfant, ou l'eau au poisson ; en fait, il l'est même plus : au cours de notre croissance, nous apprenons à prendre conscience de la circulation d'air sur notre corps, telle qu'elle est détectée par le toucher ; par contre, aucun de nos sens ne nous permet de pénétrer le champ de Higgs. Et si nous n'avons pas le moyen de le détecter par nos sens, il nous est impossible de le détecter au moyen d'instruments scientifiques. Comment pouvons-nous, dès lors, espérer pouvoir affirmer qu'il existe vraiment ? Et comment pouvons-nous espérer pouvoir apprendre quoi que ce soit à son propos ?

L'analogie entre l'air et le champ de Higgs s'étend aussi à ceci : si l'un ou l'autre est perturbé, il vibrera et formera des ondes. Dans le cas de l'air, il est facile de faire des vagues il suffit de crier ou de battre des mains pour que l'oreille détecte facilement ces vagues sous forme de son. Il est plus difficile de créer des ondes dans le cas du champ de Higgs, et elles sont plus difficiles à observer. Leur création requiert l'utilisation d'un accélérateur de particules géant, le Large Hadron Collider ou LHC, au laboratoire du CERN, non loin de Genève, en Suisse, et leur détection requiert l'utilisation d'instruments scientifiques de la taille d'un bâtiment, qui ont pour nom ATLAS et CMS. Comment cela est-il mis en oeuvre ? Le battement de mains provoque des ondes sonores puissantes. Le choc de deux protons très énergétiques produit au moyen du LHC peut provoquer des ondes de Higgs très douces et de manière très peu certaine seule une collision environ sur dix milliards le fera. La vague créée est la vague la plus douce possible du champ de Higgs (techniquement, un seul « quantum » de ce type de vague). Cette vague la plus douce possible est appelée « particule de Higgs » ou « boson de Higgs ».

Il arrive que les médias l'appellent « particule de Dieu ». Ce terme fut inventé par un éditeur aux fins de vendre un livre et trouve donc son origine dans la publicité et non dans la science ni dans la religion. Les scientifiques n'utilisent pas ce terme.

La création de la particule de Higgs est la partie relativement facile du processus ; sa détection est la partie difficile. Alors qu'une onde sonore voyage librement des mains au travers de la pièce vers l'oreille d'un autre, la particule de Higgs se désintègre en d'autres particules plus rapidement que vous ne pourriez prononcer « boson de Higgs »... en fait, en moins de temps qu'il ne faut à la lumière pour traverser un atome. Tout ce qu'ATLAS et CMS peuvent faire est mesurer les débris issus de l'explosion de la particule de Higgs aussi minutieusement que possible et tenter d'aller à rebours à la manière des détectives qui se servent d'indications pour élucider un crime pour

déterminer si une particule de Higgs pourrait être à l'origine de ces débris.

Et, en fait, c'est encore plus difficile. Il ne suffit pas de créer une particule de Higgs. En effet, ses débris ne sont pas assez caractéristiques ; souvent, la collision de deux protons crée autrement des débris qui ressemblent à ce qui pourrait être produit par la fragmentation d'une particule de Higgs. Comment, dès lors, pouvons-nous espérer pouvoir déterminer que des particules de Higgs ont été formées ? La clé réside dans le fait que les particules de Higgs sont rares, mais que leurs débris ont une apparence relativement régulière, alors que les autres processus sont plus communs mais plus aléatoires ; et tout comme l'oreille est capable de distinguer graduellement l'intonation chantante d'une voix humaine malgré un fort bruit de fond à la radio, les chercheurs arrivent à distinguer le son régulier du champ de Higgs dans la cacophonie aléatoire créée par les autres processus d'aspect semblable.

Mener à bien cette entreprise est extrêmement complexe et difficile. Pourtant, l'ingéniosité humaine collective a triomphé et cela a été fait.

Pourquoi cette tâche herculéenne a-t-elle été entreprise ? Parce que l'importance profonde du champ de Higgs pour notre existence même est à la mesure de notre ignorance profonde de son origine et de ses propriétés. Nous ne savons même pas s'il n'y a qu'un tel champ ; il pourrait y en avoir plusieurs. Il se peut que le champ de Higgs soit une chose compliquée, elle-même issue d'autres champs. Nous ne savons pas pourquoi il n'est pas zéro, et nous ne savons pas pourquoi il se comporte différemment avec des particules différentes, en donnant à l'électron une masse très différente de celle du type de quark que nous appelons le « top quark ». Étant donné l'importance de la masse, non seulement pour la détermination de la taille des atomes, mais aussi dans nombre d'autres propriétés de la nature, notre compréhension de l'univers et de nous-mêmes ne pourra être complète et satisfaisante tant que le champ de Higgs restera si mystérieux. L'étude de la particule de Higgs à€” les ondes dans le champ de Higgs à€” nous donnera nos premiers aperçus profonds de la nature de ce champ, tout comme la connaissance de l'air peut être déduite de ses ondes sonores, la connaissance de la roche des tremblements de terre et la connaissance de la mer de l'observation des vagues sur la plage.

Certains d'entre vous poseront inévitablement (et à bon escient) la question suivante : tout ceci peut être de nature à inspirer, certes, mais quel en est, d'un point de vue pratique, l'avantage pour la société ? Vous n'aimerez peut-être pas la réponse, mais vous le devriez. L'histoire montre que les avantages pour la société de la recherche sur des questions fondamentales n'apparaissent souvent qu'après des décennies, voire un siècle. J'imagine que vous avez utilisé un ordinateur aujourd'hui ; je doute que l'entourage de Thompson ait pu prévoir le gigantesque changement qui allait être apporté dans la société par l'électronique lorsque Thompson découvrit l'électron en 1897. Nous ne pouvons espérer imaginer la technologie du siècle à venir, ou envisager l'impact sur un avenir lointain de la connaissance apparemment ésotérique acquise aujourd'hui. Investir dans la recherche fondamentale a toujours quelque chose d'un pari éclairé. Mais, au pire, nous apprendrons très probablement sur la nature quelque chose de profond, avec de nombreuses implications imprévisibles. Et si une telle connaissance n'a, bien sûr, aucune valeur monétaire évidente, elle n'a pas de prix (dans les deux sens du terme).

Pour faire court, j'ai simplifié à outrance ; il ne devait pas nécessairement en être ainsi. Il était possible que les ondes du champ de Higgs ne puissent pas être découvertes, ainsi que toute tentative de faire des vagues dans un lac d'asphalte ou dans un sirop épais doit échouer, car les vagues mourront avant même de se former. Mais nous en savons assez sur les particules de la nature pour savoir que ceci n'aurait pu se produire que s'il existait d'autres particules et d'autres forces non encore découvertes, dont certaines d'entre elles accessibles au LHC. Ou encore, même si la particule ou les particules de Higgs existaient, elles pourraient avoir été un peu plus difficiles à produire que prévu, ou elles auraient pu typiquement se désintégrer de manière inattendue. Dans tous ces cas, de nombreuses années auraient encore pu passer avant que le champ de Higgs ne révèle ses secrets. C'est pour cette raison que nous étions prêts à être patients, dans l'espoir, toutefois, de ne pas avoir à expliquer ces aspects complexes aux médias.

Nous n'avons cependant aucune raison de nous faire du souci.

La découverte de la particule de Higgs représente un tournant à€” un triomphe pour ceux qui ont suggéré le mécanisme de Higgs et pour ceux qui utilisent les détecteurs ATLAS et CMS au LHC. Si elle ne met pas fin aux énigmes sur la masse des particules connues, elle est toutefois le début d'un espoir de les résoudre. Au fur et à mesure de l'augmentation du taux d'énergie et de collisions dans les années à venir au LHC, ATLAS et CMS

Pourquoi la particule de Higgs est importante

poursuivront l'étude exhaustive et systématique de la particule de Higgs. Ce qu'ils apprendront aidera à comprendre les mystères de l'océan créateur de masse dans lequel nous nageons, et nous fera progresser dans le voyage épique entamé il y a plus d'un siècle, dont l'aboutissement dépassera peut-être notre horizon actuel de décennies, sinon de siècles.

[1] Article du 2 juillet 2012, légèrement mis à jour le 4 suite à l'annonce du CERN (<http://profmattstrassler.com/articles-and-posts/the-higgs-particle/why-the-higgs-particle-matters/>).

Matt Strassler (strassler@physics.rutgers.edu) est professeur à l'Université Rutgers, du New Jersey aux États-Unis. Il publie un excellent site de vulgarisation de la physique des particules élémentaires. <http://profmattstrassler.com/>