

Résumé de la Conférence : sur l'origine de la masse des particules élémentaires et de la matière

L'objet de cette conférence est de discuter l'origine de la masse des particules élémentaires et de la matière, dont celle qui nous entoure faite d'atomes eux-mêmes constitués d'électrons et de nucléons, le mot nucléon étant un terme générique pour désigner à la fois les protons et les neutrons rassemblés dans des noyaux d'atomes. Un point essentiel sera de préciser le rôle clef joué par le célèbre boson de Brout-Englert-Higgs, ou plus simplement boson de Higgs, dont la découverte au CERN en 2012 a eu un écho considérable.

La notion de masse est un élément central des théories physiques dont l'élaboration repose sur trois piliers, un principe de relativité décrivant les propriétés de l'espace et du temps, un principe de moindre action dictant l'évolution d'un système et des lois d'interaction qui sont maintenant regroupées au niveau fondamental dans ce que l'on appelle le « Modèle Standard » de la physique des particules. Dans ce cadre il sera montré comment la notion de masse, dont chacun a une compréhension intuitive comme étant reliée à l'inertie d'un corps et à sa substantialité, n'est en réalité pas une propriété intrinsèque d'un corps mais trouve son origine au niveau le plus fondamental de la description quantique de la matière et de la relativité d'Einstein *via* l'équivalence masse-énergie, c'est-à-dire le fameux $E=mc^2$. Cela requiert le mariage des concepts quantiques et relativistes au travers des théories constitutives du Modèle Standard, à savoir la théorie électrofaible, unifiant l'interaction électromagnétique et l'interaction faible responsable de la radioactivité beta, et la théorie de l'interaction forte (la chromodynamique quantique) rendant compte de la structure des nucléons.

La grande difficulté originelle de ces théories, que l'on appelle théories de jauge, vient du fait qu'elles ne sont intrinsèquement pas capables d'incorporer une échelle d'énergie et que par suite toutes les particules devraient être de masse nulle. La solution de ce dilemme pour la théorie électrofaible a été d'introduire un mécanisme dit de « brisure spontanée de symétrie » compatible avec les fondements des théories de jauge, permettant de conférer une masse aux particules élémentaires. Ce mécanisme provient de l'introduction d'un champ quantique de Higgs remplissant tout l'univers et dont la plausibilité a été validée par découverte du boson de Higgs, découverte dont nous retracerons la genèse. Ce mécanisme a l'immense mérite de donner, par interaction avec le champ de Higgs, une masse à l'électron, sans quoi aucun atome et donc nous-mêmes n'existeraient, mais n'est que très marginalement responsable de notre masse, contrairement à ce qui a parfois été annoncé dans les media. Celle-ci provient en réalité presque exclusivement de la masse des nucléons. Ceux-ci sont en effet constitués de particules élémentaires, les quarks, mais dont la masse issue du mécanisme de Higgs ne représente au plus que quelques pour cent de la masse totale, le reste étant de la pure énergie associée aux champs quantiques de gluons ; il s'agit sans doute de la plus spectaculaire illustration de l'équivalence masse énergie. Il n'en reste pas moins vrai que ce mécanisme de Higgs est indispensable à la réalisation de notre univers et de notre monde quotidien ; un exemple est le proton, noyau de l'atome d'hydrogène, qui serait instable car devenant plus lourd que le neutron sans ce mécanisme.

Bien qu'il soit très abouti, le Modèle Standard n'est pas satisfaisant à bien des égards. Il possède en effet de nombreux paramètres largement arbitraires et d'une extrême variabilité, tout cela militant pour la recherche d'une théorie supérieure voire unifiée dont le modèle standard serait l'émanation de basse énergie. Nous terminerons donc en évoquant l'intense activité théorique et expérimentale de recherche de « nouvelle physique ». La piste considérée comme privilégiée des particules dites supersymétriques n'ayant pour l'instant pas reçu de confirmation expérimentale, nous ferons un point sur les perspectives de la physique des particules, sujet actuellement d'intenses débats dans le contexte des grands projets expérimentaux présents ou futurs.