

LA MATIERE

ANNEXES

ANNEXE 4:

Le monde des particules

DEFINITION DES PARTICULES

Présentation :

Nous avons désigné sous le nom de particules élémentaires des grains d'énergie, de masses, d'énergies, de vitesses et de durées différentes circulant dans l'univers et au sein de la matière, et à un niveau subatomique.

Nous avons vu qu'il convient de distinguer, sous ce terme, les particules élémentaires qui ont servi de base à l'élaboration de la matière, (et que nous avons étudié), des particules élémentaires que l'homme a pu créer par sa science.

D'autre part, nous avons vu qu'il fallait dissocier les particules élémentaires de base qui constituent la matière des particules vecteurs des forces (appelées interactions) qui les organisent et les structurent.

Le tableau ci-dessus récapitule l'ensemble des particules, naturelles et celles créées par l'homme. Nous allons maintenant reprendre ces notions dans l'ensemble des particules recensées, dans un contexte plus complet, et dans une présentation officielle.

Notons qu'à chaque particule est associée une autre particule de charge électrique opposée, nommée antiparticule. En dehors de sa charge, cette antiparticule présente les mêmes grandeurs caractéristiques que la particule correspondante (masse, durée de vie, etc.).

Le spin :

On désigne par "spin" le moment angulaire intrinsèque d'une particule. Cette grandeur quantique ne peut prendre que des valeurs discrètes entières ou demi-entières.

On désigne par moment mécanique, la grandeur vectorielle liée à la description de la rotation d'un système (point ou solide).

Dans l'usage courant, dire qu'une particule a un spin de $1/2$ signifie que son moment angulaire de spin est égal à $1/2$. Les particules présentes dans l'atome (électron, proton, neutron) ont un spin de $1/2$. En présence d'un champ magnétique, le spin a deux états d'orientation possibles.

Les fermions ont un spin demi-entier. Les bosons, tels que les photons, et les mésons, ont un spin entier (respectivement 1 et 0).

Les quarks :

Dans le tableau synoptique ci-dessus, nous voyons apparaître les nucléons qui comprennent les protons et les neutrons dans la classification des baryons.

Ces nucléons sont constitués de particules appelées quarks. Voici quelques précisions à ce sujet :

Les quarks sont des particules fondamentales de la matière, entrant dans la composition des

hadrons.

Les quarks s'attirent de façon à former des objets neutres, les hadrons.

La force d'attraction entre quarks est véhiculée par des bosons vecteurs, les gluons. Cette attraction est à l'origine du confinement des quarks : Il est impossible de les séparer à l'intérieur d'un hadron.

En effet, alors que deux charges électriques de signes opposés placées à une distance infinie n'interagissent pas, les quarks s'attirent d'autant plus qu'ils sont éloignés.

3 quarks s'attirent pour former un baryon (neutron, proton).

Le proton comporte deux quarks u et un quark d, alors que le neutron est formé de deux quarks d et d'un quark u.

Les quarks font partie des particules les plus fines de la matière.

Il existe 6 sortes de quarks différents, chacune étant définie par une "saveur" particulière (caractéristique quantique) :

Up (u), down (d), strange ou étrange (s), charmed ou charmé (c), beauty ou bottom (b), top (t).

Les quarks u, c et t ont une charge de $+2/3$ tandis que les quarks d, s et b ont une charge de $-1/3$.

Les saveurs des quarks sont classées en trois générations :

Les quarks u et d, les plus légers, de masses respectives 5 MeV et 8 MeV (mégaélectronvolts), constituent la première génération.

Les quarks c et s de masses respectives 1 500 MeV et 160 MeV la deuxième génération.

Les quarks t et b de masses respectives 175 000 MeV et 4 250 MeV la troisième génération.

Chaque génération comprend un quark de charge $+2/3$ et un quark de charge $-1/3$.

A ces particules, il faut également ajouter les antiquarks, constituants de l'antimatière, semblables aux quarks mais de charges opposées.

Dans la nature, seuls les quarks up, down et strange existent, les trois autres étant créés en laboratoire. Les antiquarks sont également produits artificiellement dans des accélérateurs de particules.

Le modèle standard :

Il représente une définition de la physique corpusculaire qui résume les connaissances actuelles des chercheurs sur les particules élémentaires et les forces fondamentales de la nature. Selon la théorie quantique des champs (TQC), la matière est constituée de particules appelées fermions, tandis que les forces sont transmises par l'interaction ou l'échange d'autres particules appelées bosons.

Dans le modèle universel, les fermions de base se divisent en trois familles dont chacune comporte un certain nombre de quarks et de leptons :

- La première famille :

C'est celle des quarks et leptons de masse faible.

Elle est constituée des quarks u (up) et d (down), de l'électron et de son neutrino associé, ainsi que de leurs antiparticules.

Les quarks se regroupent en triplets pour former les neutrons et les protons, lesquels à leur tour se regroupent pour former des noyaux. Ces derniers s'associent aux électrons pour constituer des atomes. Les neutrinos des électrons participent à la désintégration radioactive de neutrons en protons.

Les leptons chargés sont : L'électron, le muon, le tauon.

Les leptons neutres sont : Les neutrinos de l'électron, du muon, du tauon.

- La deuxième famille :

Elle comprend des particules lourdes, instables, faible durée de vie.

Elle rassemble les quarks c (charmed) et s (strange), le muon et le neutrino du muon, ainsi que leurs

antiparticules.

- La troisième famille :

Elle comprend aussi des particules lourdes, instables, faible durée de vie.

Elle comprend les quarks b (bottom) et t (top), le tauon et le neutrino du tauon, ainsi que leurs antiparticules.

La théorie quantique des champs (TQC) à interaction forte est appelée chromodynamique quantique; la TQC des interactions électromagnétiques faibles est appelée théorie électro-faible.

Bien qu'il soit cohérent vis-à-vis de toutes les expériences effectuées jusqu'à ce jour, le modèle standard présente de nombreuses lacunes. Il ne tient pas compte de la gravitation, force la plus faible, il n'explique pas le spectre de masse des particules, il comporte plusieurs paramètres arbitraires et ne concilie pas entièrement les hypothèses d'interaction forte et d'interaction faible. Les théories d'unification se proposent d'unifier les équations d'interactions forte et faible en supposant que celles-ci sont équivalentes lorsque l'énergie du système est suffisamment élevée.

Nous allons maintenant revenir sur les hadrons, les leptons et les bosons.