

## LA MATIERE

### LES PARTICULES ELEMENTAIRES

#### Définition des particules élémentaires :

Comme nous venons de le déterminer, avant que la matière dense ne se fut formée, l'univers physique était constitué d'éléments primordiaux que nous appelons les particules élémentaires. Ces particules désignent des grains d'énergie, de masses, de quantités d'énergies, de vitesses et de durées différentes circulant dans l'univers et au sein de la matière. Ces particules ont servi de base à l'élaboration de la matière.

Cependant l'homme a su créer d'autres particules qui n'existent pas à l'état naturel, tout au moins dans notre environnement. Il convient donc de distinguer ici les particules que l'on trouve communément dans la nature, (et qui sont stables) de celles qui sont provoquées par l'homme à travers sa technologie, soit pour la recherche, soit pour des applications pratiques, (notamment à travers la fission nucléaire, et les accélérateurs de particules qui font entrechoquer des particules ou des atomes pour en créer d'autres). Ces dernières sont instables.

A l'heure actuelle, on a répertorié plus de 300 particules élémentaires entre les particules naturelles et les particules provoquées par l'homme.

Mais, pour l'étude de la formation de l'univers matériel, nous ne considérerons que les particules élémentaires naturelles et qui existent à un niveau universel.

#### Les particules élémentaires stables :

##### - Présentation :

La science a regroupé l'ensemble des particules élémentaires connues, qui composent la matière, dans une famille appelée "fermions". Cette famille comprend 12 particules.

Cette famille est composée de 2 groupes de particules appelées, d'une part les quarks (6 unités), et d'autre part les leptons (6 unités).

Parmi ces particules, seules 4 sont stables et constituent la matière stable, (2 pour les quarks et 2 pour les leptons). Elles représentent les briques élémentaires de la matière. Elles ont participé à la création même des premiers éléments de la matière.

(les 8 autres, instables, sont produites dans les accélérateurs de particules).

Ces 4 particules sont, pour les quarks, les quarks u (up) et d (down), et pour les leptons, l'électron et le neutrino.

D'autre part, il existe dans l'univers des forces dites "d'interaction" qui sont indispensables à la formation, à l'organisation, à la structuration de la matière.

Ces interactions sont véhiculées par des particules élémentaires appelées Bosons.

Nous allons donc définir dans un premier temps les 4 particules stables qui font partie des fermions. Puis, nous parlerons des interactions et des particules qui les véhiculent, les bosons.

#### Les fermions :

##### - Les quarks :

Les quarks sont des particules dont certaines s'attirent de façon à former des protons et des neutrons.

Nous venons de voir qu'on distingue 6 types de quarks, mais seulement 2 types pour les particules

élémentaires stables, les quarks up (u), et les quarks down (d).

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 u et d ont des masses faibles mais de fortes énergies, respectivement 5 MeV (mégaélectronvolts) pour les quarks up et 8 MeV pour les quarks down.

La force d'attraction entre quarks est véhiculée par des forces d'interaction dont les particules sont appelées les gluons. Nous y reviendrons.

#### **- Les électrons :**

Les électrons sont des particules qui circulent à grande vitesse autour d'un noyau atomique.

La charge électrique est négative. Elle est =  $-1.6 \times 10^{-19}$  C (coulombs).

La vitesse des électrons et leur distance par rapport au noyau sont variables suivant les différents atomes. Les électrons peuvent être répartis jusqu'à 7 couches autour du noyau, le nombre croissant avec la complexité du noyau.

La masse d'un électron est faible, =  $9 \times 10^{-28}$  g.

Elle est négligeable par rapport à celle du noyau (rapport 1/1836).

La dimension d'un électron est =  $10^{-13}$  cm.

Son énergie est grande, = 0.5 MeV (million d'électronvolts). A la rotation de l'électron autour d'un noyau est toujours associé un champ magnétique perpendiculairement à son orbite.

La force d'attraction entre l'électron et le noyau atomique est véhiculée par des forces d'interaction dont les particules sont appelées les photons. Nous y reviendrons.

Les électrons peuvent absorber et réémettre des photons d'où les phénomènes de couleur, fluorescence, phosphorescence, incandescence.

#### **- Les neutrinos :**

Les neutrinos sont des particules immatérielles.

Ils sont électriquement neutres.

Leur masse est quasi nulle.

Ils semblent naître au cœur des étoiles et ils traversent toutes les matières. Ils sont en grand nombre dans l'univers. Ils se déplacent à la vitesse de la lumière.

La science pense que l'origine des neutrinos est dans des résidus de supernovae, ou dans des microquasars, ou dans le noyau des galaxies.

#### **Définition des interactions ou forces :**

Nous venons de dire qu'il existe dans l'univers des forces dites "d'interaction" qui sont indispensables à la formation, à l'organisation, à la structuration de la matière.

Pour la science actuelle, il existe 4 interactions fondamentales :

- L'interaction nucléaire ou forte.
- L'interaction électromagnétique.
- L'interaction faible.
- L'interaction gravitationnelle.

Les interactions représentent des forces qui s'exercent des actions sur les constituants de la matière. Elles organisent et structurent la matière. Elles assurent la cohésion générale de la matière. Elles représentent le ciment dont les 4 fermions représentent les briques. Ces forces se dispersent sous forme de champs, ce sont des ondes qui s'étendent, et la matière est soumise à ces forces.

#### **Les différentes interactions :**

- **L'interaction nucléaire ou forte :**

Elle exerce la cohésion entre les nucléons (protons et neutrons). Elle organise donc le noyau atomique.

Elle est de portée limitée.

Son énorme intensité permet la cohésion des quarks dans les nucléons, et des nucléons entre eux.

Elle est stable.

L'interaction nucléaire ou forte est véhiculée par une particule appelée "gluon".

#### **- L'interaction électromagnétique :**

Elle assure les liaisons entre les électrons et le noyau.

Elle est attractive et de portée infinie.

Son intensité est forte.

Elle est stable.

Elle agit surtout au niveau moléculaire (c'est le lieu des réactions chimiques).

Elle s'auto-équilibre car elle attire ou repousse en fonction de sa charge + ou -.

Elle est à l'origine des divers rayonnements électromagnétiques (lumière, ondes radio, etc.), ainsi que des propriétés des atomes impliquant des électrons. Cela concerne donc l'ensemble de la biologie, de la chimie, mais aussi toutes les caractéristiques les plus connues de la matière.

L'interaction électromagnétique est véhiculée par une particule appelée "photon".

#### **- L'interaction faible :**

Elle gouverne la désintégration de certains noyaux radioactifs.

Elle se manifeste dans certains aspects de la radioactivité et dans les processus qui modèrent les réactions nucléaires à l'intérieur des étoiles.

Sur Terre est responsable de la radioactivité naturelle par désintégration spontanée du neutron.

L'interaction faible, a des effets très subtils à cause de sa très courte portée.

Son intensité est relativement faible.

Elle est instable.

Elle se signale toujours par l'implication de neutrinos.

L'interaction faible est véhiculée par une particule appelée "weakon" qui se décompose en 3 particules.

#### **- L'interaction gravitationnelle :**

La gravitation opère sur toute la matière aussi bien que sur l'énergie.

Elle agit autant sur les constituants de la matière que sur les mouvements astronomiques au niveau des attractions universelles, dans la position et le mouvement des astres (planètes, étoiles, galaxies, etc.). Pour la Terre, elle agit sur la chute des corps (pesanteur).

Elle est attractive et de portée infinie.

Son intensité est faible (est la plus faible de toutes les interactions).

Elle serait stable.

Selon une hypothèse récente des physiciens, l'interaction gravitationnelle serait véhiculée par une particule appelée "graviton".

Voir plus loin le chapitre intitulé "autre approche de la gravitation", dans la partie des théories avancées.

#### **Intensité relative entre les interactions :**

Interactions nucléaires ou fortes : 1

Interactions électromagnétiques :  $10^{-2}$

Interactions faibles :  $10^{-13}$

Interactions gravitationnelles :  $10^{-38}$

#### **Les bosons :**

### - **Présentation :**

Nous avons vu que les interactions sont véhiculées par des particules élémentaires appelées Bosons. Nous ne parlerons ici que des bosons stables en mettant de côté les bosons vecteurs des interactions faibles.

### - **Les photons :**

Les photons sont les vecteurs des forces électromagnétiques.

Leur portée est infinie.

Leur masse est nulle.

Ils transportent l'énergie lumineuse. Cette énergie peut se traduire par de la lumière visible, mais également par un rayonnement électromagnétique non perceptible comme les rayons gamma.

Les photons se déplacent à la vitesse de la lumière ( $c$ ).

Un faisceau lumineux est un flux de photons guidés par une onde électromagnétique.

### - **Les gluons :**

Les gluons sont les vecteurs des forces nucléaires fortes.

Leur portée est courte.

Leur masse est nulle.

Ils collent les quarks entre eux à l'intérieur des nucléons.

### - **Les gravitons :**

Les gravitons sont les vecteurs hypothétiques des forces gravitationnelles.

Leur portée est supposée être infinie.

Leur masse est supposée être nulle.

### **Tableau des particules élémentaires stables :**

Nous avons vu que, dans un souci de simplification, nous ne considérons ici que les particules stables. Un tableau plus complet des particules est présenté en annexe 2.

Notons que les éléments de base de la matière que l'on appelle les atomes possèdent des noyaux constitués de protons et de neutrons. Ces éléments, que nous étudierons plus loin dans le chapitre du monde atomique, sont également classés dans une famille appelée "hadrons", qui comprend aussi des éléments stables et des éléments instables. Nous restons toujours dans l'optique de la définition de la matière naturelle stable. Ces éléments sont classés dans le tableau des particules. Nous les ferons donc apparaître également.

Dans les particules stables, nous avons donc :

#### **\* Les Hadrons :**

- Les Baryons :

Ces particules sont soumises aux interactions fortes.

° Les Nucléons :

Le proton et le neutron (formés par les quarks).

#### **\* Les Leptons :**

° L'électron.

° Le neutrino.

**\* Les quarks :**

Ces particules sont soumises aux interactions fortes.

- ° Up.
- ° Down.

Nota : On désigne sous le nom de Fermions l'ensemble des Quarks et des Leptons.

**\* Les bosons :**

Ils sont les vecteurs des interactions.

- ° Le gluon. Vecteur de l'interaction forte.
- ° Le photon. Vecteur de l'interaction électromagnétique.
- ° Le graviton. (hypothétique). Vecteur de l'interaction gravitationnelle.