

Méthodes Géométriques en Physique

Chapitre 1

Interactions Universelles et Leurs Nature

Interactions Physiques :

Aujourd'hui on croit qu'il y a quatre forces: la gravité; l'électromagnétisme, faible et forte forces.

La gravité : Décrit la chute de la pomme, le mouvement de la terre autour du soleil, la dynamique à l'intérieur de la galaxie et aussi la dynamique des galaxies elles mêmes, C'est la cosmologie. Dans tous les cas la gravité se manifeste macroscopiquement et jusqu'à aujourd'hui il n'y a pas une théorie de gravité quantique consistante.

L'électromagnétisme

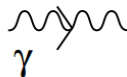


Figure 1.1: A photon from γ decay

Décrit, du côté macroscopique, les générateurs et les moteurs, la lumière, la radio transmission. et du point de vue quantique, l'EM est responsable de la désintégration γ , le freinage (bremsstrahlung), et la création de paires. La désintégration γ provient d'un noyau instable, qui est un état lié de protons et neutrons. Les protons et les neutrons se réarrangent en émettant un photon avec une grande énergie voir Fig.1.1. Bremsstrahlung décrit un électron de haute énergie provenant possiblement d'une désintégration β déminue de sa vitesse en émettant un photon à haute énergie, Fig 1.2

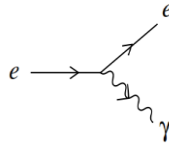


Figure 1.2: Bremsstrahlung

La création de pair : Est le processus où un photon se déplaçant avec une énergie suffisante change en électron et positron, Fig 1.3. Avec sa l'électrodynamique quantique nous enseigne deux importantes leçons: d' une part une particule 'élémentaire', ici c est le photon, peut être instable, et change d' identité ou on peut dire qu' il se désintègre, Ce qui laisse la théorie des champs quantique assez compliqué, heureusement ces désintégrations ne sont pas arbitraires. Elles sont gouvernées par des lois précises; des lois de conservation pour lesquelles la théorie des groupes joue un rôle fondamental. Où les physiciens ont la tache de calculer les durées de vie et les taus de branchement de ces désintégrations et confronter les nombres avec l' expérience. Qu' est ce qu' un tau de branchement dans le cas de la désintégration du photon? Si le photon a l' énergie nécessaire il peut se désintégrer en plusieurs paires de particule et antiparticules chargées. les taus de branchement sont les probabilités correspondantes. Le mot interaction est utilisé souvent pour remplacer le mot force, où non seulement la force change l' état du mouvement de la particule concerné mais aussi change son identité. Et on doit la deuxième leçon à Dirac qui a généralisé l' équation de shrodinger pour les hautes énergies, qui l' a étendu à le relativité restreinte ou la géométrie minkowskienne. Cette généralisation a forcé l'introduction de l'antimatière. Pour chaque particule il doit exister une antiparticule, avec la même masse et le spin, mais avec des charges opposées.

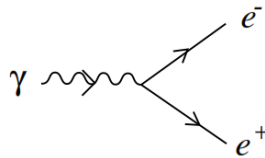


Figure 1.3: Pair production

L' électromagnétisme est la théorie de la physique la plus réussi, il est réussi soit macroscopiquement à l' échelle quantique, il opère avec des mathématiques bien claires et a des applications dans la vie de chaque jour.

Interaction faible : Décrit la désintégration β (célèbre depuis Tchernobyl). Prenons un noyau avec excès de neutrons par rapport aux protons, l'un des neutrons change d'identité. Il se désintègre en proton, un électron et un antineutrino, Fig 1.4.

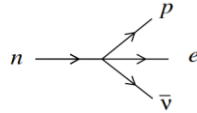


Figure 1.4: A β decay

Le proton est lourd donc il reste au sein du noyau ce qui fait changer de nom. Le neutrino est de masse nulle ou très faible ce qui ne lui permet pas d'interagir avec l'homme, il peut même traverser toute la terre sans aucun danger. Le danger plutôt vient de l'électron. Qui a la propriété physique suivante : Sa chiralité.

L'électron sort en général avec une vitesse qui avoisine celle de la lumière et qui a un spin $1/2$. La mécanique quantique nous apprend, que dans cette situation il y a seulement deux possibilités; soit le spin est parallèle à sa vitesse et là on dit que l'électron a une chiralité left (gauche) ou le spin est anti-parallèle et il a une chiralité righte (droite), dans une désintégration β la chiralité est toujours droite, ce qui nous permet de dire que l'interaction faible brise la parité de façon maximale, on ne peut jamais observer un électron ou neutrinos righte sortant d'une désintégration β . La charge électrique des particules indique sur la force sous laquelle ils sont sujet et qui est la force électrique, de même il y a la charge faible nommée isospin (faible). L'électron left et le neutrino left, ils ont des isospin non nuls, par contre l'électron righte a un isospin nul. Si le neutrino righte n'existe pas donc le neutrino doit avoir une masse nulle

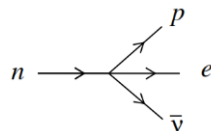


Figure 1.4: A β decay

On ne connaît aucune manifestation macroscopique des forces faibles.

Pourquoi ?

On peut le comprendre à l'aide de la brisure spontanée de la symétrie de jauge.

- Maxwell a expliqué la force EM par :

Elle résulte de l'échange d'une particule entre deux particules chargées et qui est le photon. Ou qu'on peut appeler par le boson de jauge.

Le photon γ a un spin 1 et il est de masse nulle.

La symétrie de jauge $\Rightarrow m_{\text{boson de jauge}} = 0$ Donc la force est de portée infinie.

Les interactions faibles sont aussi véhiculées par les bosons de jauge W^+, W^-, Z .

Donc le neutron (dans l'exemple), se désintègre en premier en W^- et Proton. Et le W^- se désintègre ensuite en antineutrino et électron.

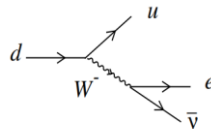


Figure 1.5

Force Forte :

Elle a été inventée pour lier les protons et les neutrons dans le noyau. Normalement à l'intérieur d'un noyau et à cause des charges positives des protons, il doit y avoir une grande impulsion entre eux. Ce qui a laissé les physiciens d'introduire la force forte pour expliquer la stabilité de ce dernier.

Elle est aussi à l'origine de l'explication de la désintégration α du plutonium 239. Elle explique aussi la fusion, la fission et la production de l'énergie dans le soleil.

Mais on a toujours devant la même question : Pourquoi il n'y a pas de manifestation macroscopique de l'interaction forte.

C'est grâce à la symétrie de Jauge :

Les bosons de jauge de l'interaction forte, et qui sont sans masse. Mais l'interaction forte est de courte portée, ce qui est dû au confinement. Grâce aux gluons de couleurs de masse nulle où aux faibles énergies ils sont à l'origine d'une force extrêmement forte qui confine toutes les particules avec des charges fortes non nulles appelées couleurs.

Donc, le proton et le neutron sont sans couleurs mais qui sont des états liés de trois quarks colorés.

Les quarks sont supposés colorés. On a donc :

up_{quark} de charge $+2/3$ (en unité de e) et le

$down_{quark}$ de charge $-1/3$

Les quarks ont aussi des charges fortes. Mais d'autre part le proton qui est un uud état lié et le neutron udd sont sans couleur.

La Gravité : Elle a aussi comme médiateur un boson de qui est le graviton, mais il n'est pas un boson de jauge, il est de masse nulle sans charge, sans isospin, sans couleur mais il a un spin =2.

Enfin, le Higgs qui est un boson de spin nul dont on a besoin, un scalaire mais il est sans charge, sans couleur mais avec un isospin et il est massif pour générer des masses aux bosons et fermions via la brisure spontanée de la symétrie.

Toutes les autres particules élémentaires sont des fermions de spin $1/2$, qu'on peut mettre en deux classes : Leptons et quarks :

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}_L$$

$$u_R, c_R, t_R, e_R, \mu_R, \tau_R \\ d_R, s_R, b_R,$$