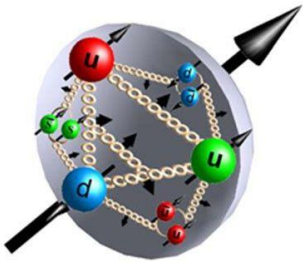


GLUONS



Dans la **chromodynamique quantique** QCD (Quantum Chromo Dynamics), l'interaction forte est expliquée comme l'**échange de gluons** entre fermions élémentaires possédant une **charge de couleur**. Les gluons sont donc les **vecteurs de l'interaction forte**. Il existe 8 gluons de charges de couleur différentes (des combinaisons d'une couleur et d'une anti-couleur).

Seuls les quarks possèdent une charge de couleur, les leptons sont donc **neutres** vis à vis de l'interaction forte, ils n'y sont donc pas sensibles. La charge de couleur peut prendre trois "valeurs" : elle peut être **rouge, verte ou bleue**. Pour les antiquarks, ils sont **jaune magenta ou cyan**, on dit aussi **anti-rouge, anti-vert et anti-bleu**.

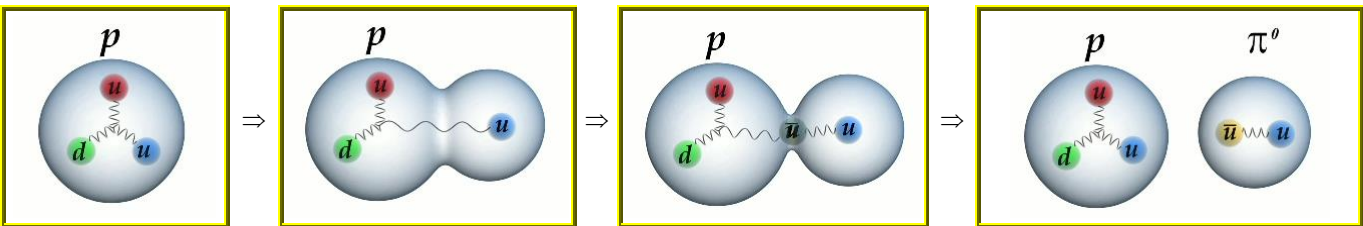
Les gluons possèdent aussi une charge couleur. Ainsi, lors d'un échange de gluon entre quarks, les quarks **échantent leurs couleurs respectives**. La **masse des gluons** est nulle, mais comme ils portent une charge de couleur et donc peuvent interagir entre eux, la portée de l'interaction forte n'est pas infinie, elle est **de l'ordre de $10^{-15}m$** , elle est donc très courte ! Le comportement de l'interaction forte est ainsi assez bizarre : plus les quarks sont **éloignés**, plus leur interaction est **forte**... A la limite où ils sont infiniment proches, ils n'interagissent plus du tout, c'est ce qu'on appelle la **liberté asymptotique**. Cette caractéristique est à l'origine du **confinement** des quarks à l'intérieur des hadrons : **les quarks ne peuvent pas être libres**.

Les particules directement observables sont donc les hadrons, c'est à dire des états liés de plusieurs quarks. Ces hadrons doivent être **"blancs"**, c'est à dire avoir une **charge de couleur nulle**.

| | | | |
|--|--|---|--|
| <p>Des baryons, qui contiennent trois quarks : un rouge, un vert et un bleu, le total est donc le blanc (et aussi les anti-baryons avec un anti-quark anti-rouge, un anti-vert et un anti-bleu).</p> <p>Hadron incolore, Proton de charge +1 ⇒</p> | | <p>Émission d'un gluon virtuel dans une interaction forte entre quarks bleu et rouge. Il faut donc se représenter un nucléon comme une incessante transformation de 3 quarks s'échangeant en</p> | |
| <p>Des mésons qui contiennent un quark d'une couleur (rouge, vert ou bleu) et un anti-quark de l'anti-couleur correspondante, le total étant aussi blanc.</p> <p>Méson π^+ incolore charge +1 ⇒</p> | | <p>permanence des gluons. A un instant donné, les 3 quarks ont bien 3 couleurs différentes, mais ces couleurs vont constamment changer de propriétaires à tour de rôle dans une sorte de ballet nucléo-gluonique.</p> | |

Considérons un quark rouge : celui-ci peut s'avérer être un quark vert, s'il est entouré d'un gluon **anti-vert / rouge**. Nous avons effectué un changement de jauge local sur un champ de spin 1/2, et ce processus ne modifie en rien la nature du quark, si l'on postule l'existence du gluon porteur d'une couleur et d'une anti-couleur, décrit par un champ de spin 1 et de masse nulle : c'est un boson. Voici « l'origine » de l'interaction forte qui découle du principe de jauge. Puisqu'il existe 3 couleurs de quarks différentes, la théorie de jauge implique 8 gluons différents (selon la paire couleur / anti-couleur qu'ils portent). Une des propriétés essentielles de cette force forte : **le couplage augmente avec la distance**. En dessous de $10^{-18} m$, elle est comparable à l'électromagnétisme. A cette distance les quarks semblent libres : ce phénomène est nommé « liberté asymptotique ». Néanmoins, à $10^{-18} m$, le rapport des forces est de 25 (pour l'interaction forte). Pour une distance de 1 fermi, l'échange de couleur est intense, et le couplage entre eux des gluons entraîne leur dénaturation. En effet, lorsque deux quarks sont étirés, un flux de couleur s'intensifiant les retient. Si l'énergie fournie pour la séparation est supérieure à l'énergie de masse d'un *méson* (paire quark-antiquark neutre de couleur et de charge), celui-ci apparaît : de deux quarks initialement, vous en obtenez quatre ! Et, bien que la masse des gluons soit nulle, leur dénaturation et l'apparition des mésons (dont le plus léger possède une masse de 140 MeV) limitent la portée de l'interaction (U) alors appelée « forte » à $10^{-15} m$, soit 1 fermi. De même, la couleur est confinée à l'intérieur de « bulles » de ce rayon environ, globalement blanches (neutre de couleur ; en effet, $\mathbf{R} + \mathbf{V} + \mathbf{B} = 0$ en chromodynamique) : pour nos noyaux atomiques, ces bulles correspondent aux protons et aux neutrons. Ces *nucléons*, quoique globalement blancs, sont sensibles à leur distribution interne de couleur, et c'est l'origine de la cohésion du noyau : cette interaction résiduelle est supérieure à la répulsion électrostatique d'un facteur 20.

$$U = \frac{1}{r} e^{\frac{2\pi mc}{h} r}$$



Peut-on voir des quarks libres ? Non, car l'interaction forte se comporte comme un élastique : plus on tire sur un quark pour le séparer de l'hadron, plus l'intensité de l'interaction augmente, jusqu'au point où l'énergie de la liaison provoque la création d'une paire quark-antiquark. En tirant ainsi sur le quark d'un hadron, on ne peut pas le séparer de l'hadron mais on forme des mésons. Pour tirer sur le quark, il a fallu fournir de l'énergie, celle-ci s'est transformée en matière par $e = mc^2$.