

Le lego des particules

Masterclass Belle II

Arthur Thaller

Aix Marseille Univ, CNRS/IN2P3, CPPM



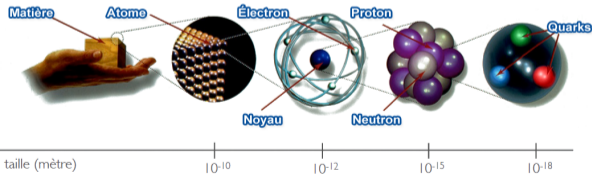
Vers l'infiniment petit

Arthur Thaller

Le modèle
Standard

Les legos

Qu'est ce que la
durée de vie des
particules ?



Les **particules** sont les briques qui forment toute la matière, à l'échelle de l'infiniment petit. La **physique des particules** est le domaine de la science qui les étudie. L'objectif est de comprendre et d'expliquer l'Univers.

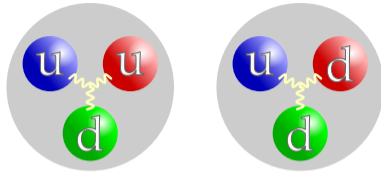
Les particules élémentaires

Arthur Thaller

Le modèle
Standard

Les legos

Qu'est ce que la
durée de vie des
particules ?

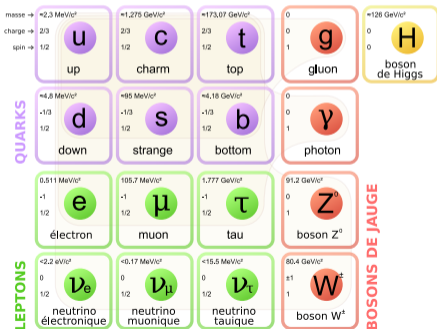


Proton & neutron

- Les électrons et les quarks sont des **particules élémentaires** : elles n'ont pas de sous-structure .
- Assemblées, ces particules constituent les atomes qui sont la base de toute la matière.
- Ce sont des particules avec une charge électrique (1 pour l'électron, $1/3$ ou $2/3$ pour les quarks)
- Elles ont été observées expérimentalement : 1897 pour l'électron, 1968 pour les quarks.
- Pourtant, ces 3 particules ne sont pas les seules : les expériences en ont trouvé d'autres !

Le modèle standard de la physique des particules : la vision complète.

La théorie qui décrit les **17** particules élémentaires connues, et leurs **interactions** (électromagnétisme, interaction nucléaire forte et interaction nucléaire faible)



- On y retrouve **l'électron** ainsi que les quarks **u** et **d**, mais aussi le photon (la particule de lumière), de nouveaux quarks et les neutrinos.
- La plupart de ces particules **ne se trouvent pas dans la nature**, mais sont produites et observées par des expériences **dans des accélérateurs de particules**.
- **Anti-matière** : pour chaque type de particule, il existe une anti-particule correspondante !

Le lego des particules

Arthur Thaller

Le modèle
Standard

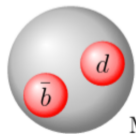
Les legos

Qu'est ce que la
durée de vie des
particules ?

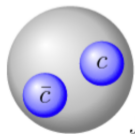
Il existe divers assemblages de quarks, qui forment des particules composites, comme les protons et les neutrons.

Les accélérateurs nous permettent de produire temporairement ces états liés de quarks.

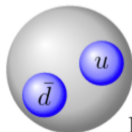
- Le **pion**, noté π : un quark **u** et un anti-quark **d**
- Le **kaon**, noté **K** : un quark **u** et un anti-quark **s**
- Le **phi**, noté ϕ : un quark **s** et un anti-quark **s**
- Le **J/ ψ** : un quark **c** et un anti-quark **c**
- Le **B** : un quark **u** ou **d** et un anti-quark **b**



Méson B^0



J/ψ



Pion chargé π^+

Question

Arthur Thaller

Le modèle
Standard

Les legos

Qu'est ce que la
durée de vie des
particules ?

S'il existe autant de particules, pourquoi n'observe t'on que des **protons**, des **neutrons** (= des quarks **u** et **d**) et des **électrons** ? Pourquoi ne voit on pas d'atomes fait à partir de kaons et de mésons B ? Où sont les quarks les plus lourds ?

S'il existe autant de particules, pourquoi n'observe t'on que des **protons**, des **neutrons** (= des quarks **u** et **d**) et des **électrons** ? Pourquoi ne voit on pas d'atomes fait à partir de kaons et de mésons B ? Où sont les quarks les plus lourds ?

La plupart des particules sont instables : elles ont une durée de vie très courte et finissent par se désintégrer en d'autres particules

Les seules particules stables sont le proton, le neutron*, et l'électron.

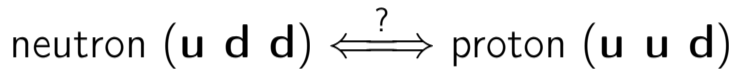
S'il existe autant de particules, pourquoi n'observe t'on que des **protons**, des **neutrons** (= des quarks **u** et **d**) et des **électrons** ? Pourquoi ne voit on pas d'atomes fait à partir de kaons et de mésons B ? Où sont les quarks les plus lourds ?

La plupart des particules sont instables : elles ont une durée de vie très courte et finissent par se désintégrer en d'autres particules

Les seules particules stables sont le proton, le neutron*, et l'électron.

→ Qu'est ce que la durée de vie d'une particule ?

Durée de vie et désintégration



Arthur Thaller

Le modèle
Standard

Les legos

Qu'est ce que la
durée de vie des
particules ?

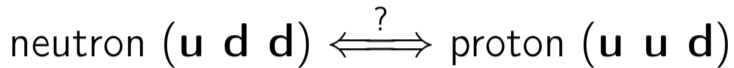
Durée de vie et désintégration

Arthur Thaller

Le modèle
Standard

Les legos

Qu'est ce que la
durée de vie des
particules ?



Charge = 0

X

Charge = +1

Il faut équilibrer les charges électriques !

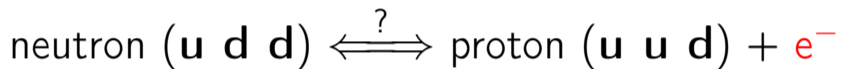
Durée de vie et désintégration

Arthur Thaller

Le modèle
Standard

Les legos

Qu'est ce que la
durée de vie des
particules ?



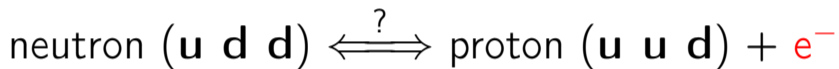
Durée de vie et désintégration

Arthur Thaller

Le modèle
Standard

Les legos

Qu'est ce que la
durée de vie des
particules ?



Charge = 0

Charge = 0 ✓

Durée de vie et désintégration



Arthur Thaller

Le modèle
Standard

Les legos

Qu'est ce que la
durée de vie des
particules ?

Durée de vie et désintégration



Il faut aussi prendre en compte la masse !

Le neutron est plus massif que le proton, l'électron et le neutrino réunis.

Il va donc spontanément se désintégrer : sa durée de vie est d'environ 15 minutes.

C'est le principe des centrales et explosions nucléaires.



Durée de vie et désintégration

Arthur Thaller

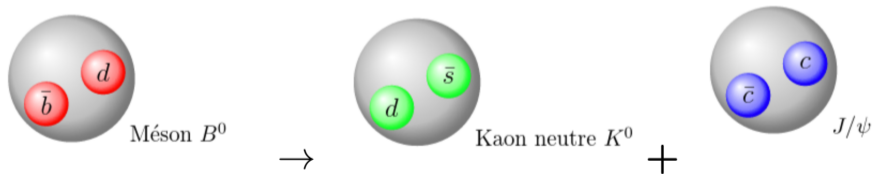
Le modèle
Standard

Les legos

Qu'est ce que la
durée de vie des
particules ?

Toutes les particules se désintègrent en des particules plus légères. Uniquement le proton et l'électron sont stables : il n'existe pas de particules plus légères.

La durée de vie d'une particule, c'est à dire le temps avant qu'elle ne se désintègre, est inversement proportionnel à sa masse.



Pour finir...

Arthur Thaller

Le modèle
Standard

Les legos

Qu'est ce que la
durée de vie des
particules ?

Imaginons une collision entre un électron et un anti-électron...

$$e^+ + e^- \rightarrow$$

Pour finir...

Arthur Thaller

Le modèle
Standard

Les legos

Qu'est ce que la
durée de vie des
particules ?

Imaginons une collision entre un électron et un anti-électron...

$e^+ + e^- \rightarrow$ Pas grand chose... (ou un peu de lumière)

Pour finir...

Imaginons une collision entre un électron et un anti-électron...

$$e^+ + e^- (+ \text{ beaucoup d'énergie}) \rightarrow$$

Pour finir...

Arthur Thaller

Le modèle
Standard

Les legos

Qu'est ce que la
durée de vie des
particules ?

Imaginons une collision entre un électron et un anti-électron...

