

# L'essentiel



À retenir du cours  
Particules élémentaires,  
entre relativité restreinte  
et mécanique quantique

# Zoologie : quarks et leptons

Type	Charge	Famille 1	Famille 2	Famille 3
Lepton	-1	Électron 0,511	Muon 105,6	Tau 1 777
Neutrino	0	$\nu_e$ < $3 \cdot 10^{-6}$	$\nu_\mu$ < 0,19	$\nu_\tau$ < 1,2
Quark up	+2/3	<i>up</i> 1,5 à 4,5	<i>charm</i> 1000 à 1400	<i>top</i> 174 000
Quark down	-1/3	<i>down</i> 5 à 8,5	<i>strange</i> 80 à 155	<i>beauty</i> 4100 à 4400

Table 1.5 : Masses en  $\text{MeV}/c^2$

+ Antiparticules, de même masse, spin, temps de vie, mais de charges opposées

# Zoologie : médiateurs d'interactions

Interaction	Portée	Intensité	Médiateur(s)	Charge	Spin	Masse
Électromagnétique	Infinie	1	Photon	0	1	0
Forte	$10^{-15}$ m	60	8 gluons	0	1	0
Faible	$10^{-17}$ m	$10^{-4}$	$W^\pm$ $Z^0$	$\pm 1$ 0	1 1	80 GeV/ $c^2$ 91 GeV/ $c^2$
Gravitationnelle	Infinie	$10^{-41}$	Graviton ?	0	2	0

TABLE 1.6 – Les interactions fondamentales et leurs bosons médiateurs. Les intensités relatives sont celles qui s'exercent sur deux quarks *up* distants de  $3 \cdot 10^{-17}$  m, l'interaction électromagnétique étant arbitrairement prise comme référence.

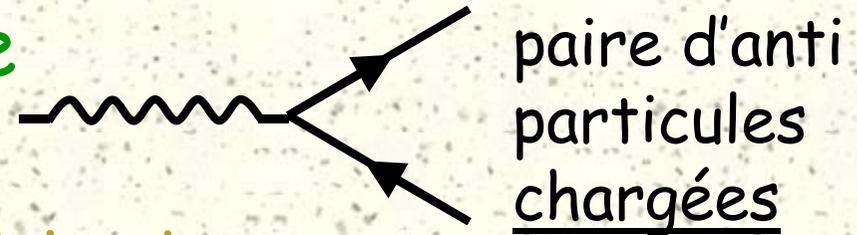
## # Note:

- Photon, Z sont leur propre antiparticule
- $W^\pm$  sont antiparticules l'une de l'autre

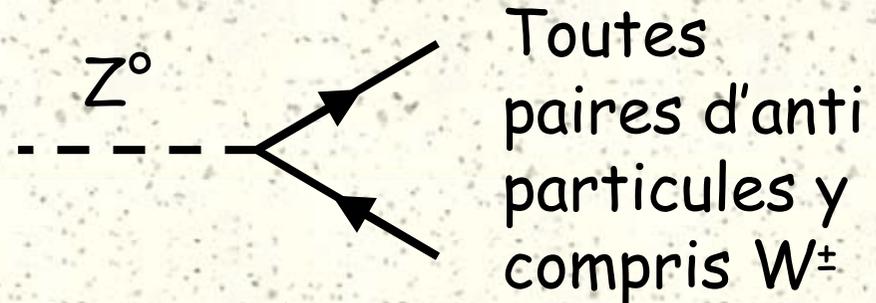
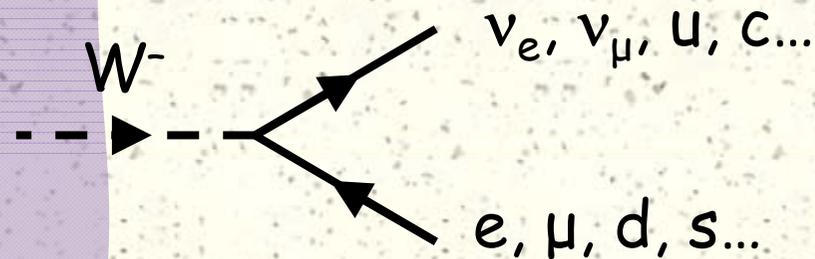
# Diagrammes électrofaibles

# Photon, médiateur de l'électromagnétisme

■ Proportionnellement à la charge

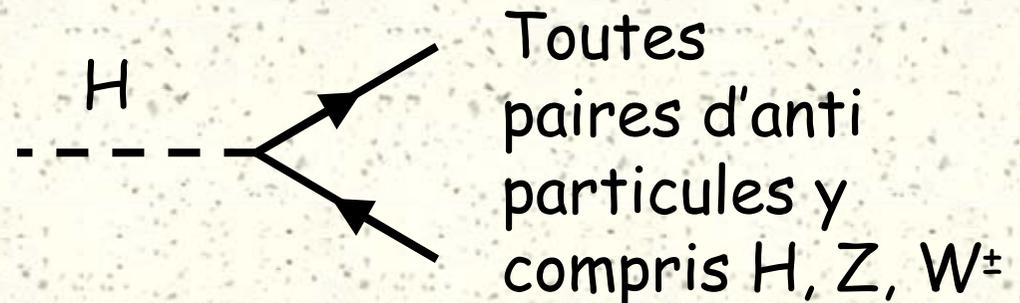


#  $W^\pm Z^0$  : médiateur de l'int. faible



# Boson de Higgs...

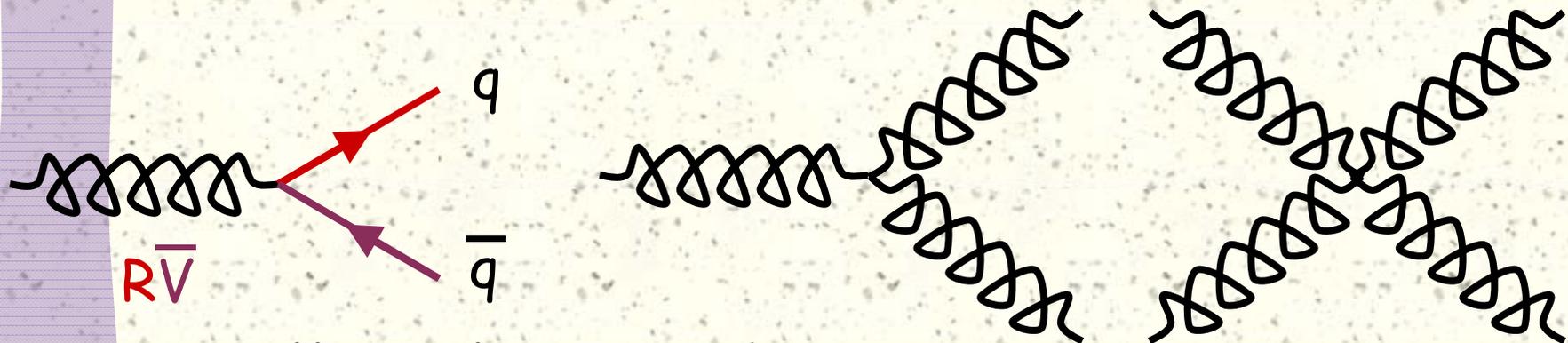
■ Prop. à la masse



# L'interaction forte

# Huit médiateurs = les gluons

■ Notion de couleur des quarks (RVB)



# Collent les quarks entre eux

■ Mésons :  $q_1 q_2$

■ Baryons :  $q_1 q_2 q_3$

■ Pas de quarks libres (à part le top...)

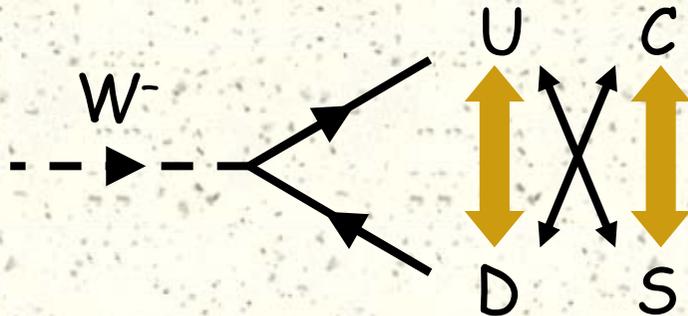
Voir Table 1.1 et  
Figures 1.1 à 1.8

# Parenthèse



## Le mélange des quarks

# Le mélange des quarks



# Les états propres de « saveurs » ne sont pas les états propres « faibles »

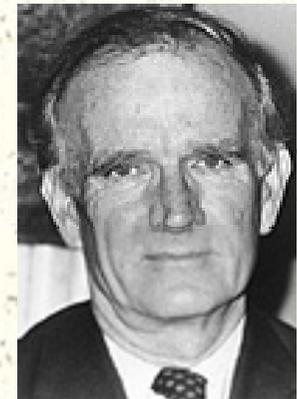
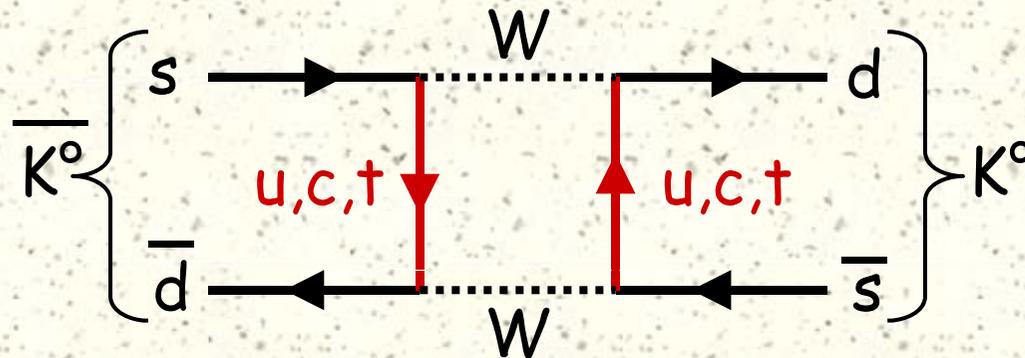
# Violation de CP



- # 1957 : Violation *maximale* de C et P
  - Mais  $C \times P$  conservée jusqu'à...
- # 1964 : découverte par Christensen, Cronin, Fitch & Turlay d'une légère violation.

$$K^0 \leftrightarrow \bar{K}^0$$

- # 1973 : expliquée par Kobayashi & Maskawa s'il existe un troisième doublet de quarks !

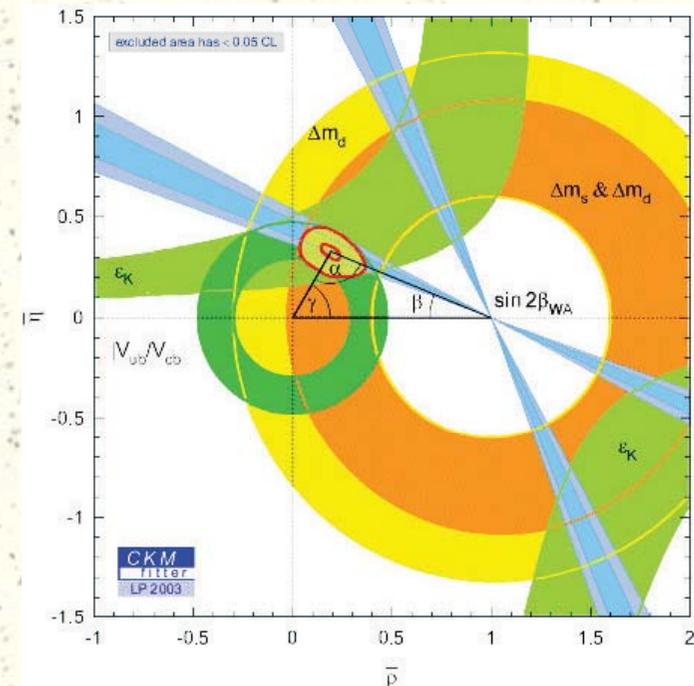


# Matrice Cabibbo Kobayashi Maskawa

- # Une matrice donne la correspondance (u,c,t) (d,s,b)

$$\begin{bmatrix} 0.9753 & 0.221 & 0.003 \\ 0.221 & 0.9747 & 0.040 \\ 0.009 & 0.039 & 0.9991 \end{bmatrix}$$

- # Contient la violation de CP !
- # Testée de façon redondante →



# Fin de parenthèse



# Comportements quantiques ( $\hbar = 1$ )

- # Extrême dans les processus virtuels, rares pour états initiaux / finals
  - Kaons (chap. 4), neutrinos, mésons B (annexe B)...

# Eq. d'évolution (3.11)  $\rightarrow$  
$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \mathcal{H}\psi,$$

- # États propres, combinaisons linéaires, mélange quantique et effondrement du paquet d'onde (lors d'une « mesure »)

Rappel: un quantum  $\hbar = 6,6 \cdot 10^{-22}$  MeV.s

# Comportements relativistes ( $c = 1$ )

#  $E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$

■ masse = énergie, et vice-versa

Impulsion	Énergie	Relation E-p	E de repos	E cinétique
$\vec{p} = \gamma m \vec{v}$	$E = \gamma m c^2$	$E^2 = \vec{p}^2 c^2 + m^2 c^4$	$E_0 = m c^2$	$E_c = (\gamma - 1) m c^2$

TABLE 2.1 - Minimum vital pour la physique des particules (si on n'oublie pas que  $\gamma = 1/\sqrt{1 - (v/c)^2}$ ).

# Dilatation des temps (eq. 2.25),  
en particulier des temps de vie  
(eq. 5.3)

■ Inversement, contraction des  
longueurs (eq. 2.26)

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

# Comportements relativistes ( $c = 1$ )

# Derrière, la transfo de Lorentz, pour un référentiel en translation d'une vitesse  $V$  le long de l'axe  $Ox$  (eq. 2.41)

$$\begin{cases} x &= \frac{x' + Vt'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= \frac{t' + \frac{V}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \end{cases}$$

→ Composition des vitesses :

→ Vitesse limite =  $c$

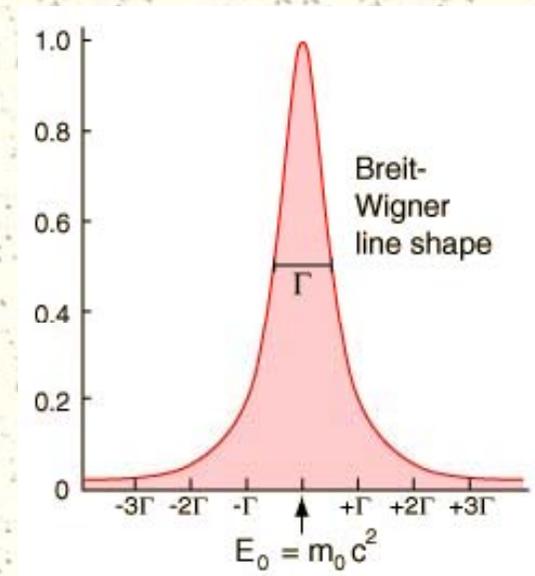
$$v_x = \frac{v'_x + V}{1 + v'_x \frac{V}{c^2}} \quad \text{et} \quad v_y = \frac{v'_y \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}{1 + v'_x \frac{V}{c^2}} \quad \text{et} \quad v_z = \frac{v'_z \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}{1 + v'_x \frac{V}{c^2}} \quad (2.47)$$

## Se conservent...

- # L'énergie et l'impulsion, en particulier dans un vertex élémentaire à la Feynman
  - Mais pas la masse (dans un bilan initial/final, ou pour les particules virtuelles)
- # Le spin (peu évoqué cette année)
- # La charge électrique
- # Le nombre baryonique. Pourquoi ?
- # Les nombres leptoniques. Pourquoi ?
- # L'étrangeté, sauf par interaction faible. Pourquoi ?

# Désintégration de particules (5.1)

- # Masse mère convertie en masse + énergie cinétique des filles
- # Temps de vie :  $N(t) = N(0) \exp(-t/\tau)$ 
  - + Dilatation du temps :  $\tau = \gamma \tau_0$
- # Masse pas parfaitement définie
  - Largeur  $\Gamma$ , telle que  $\Gamma\tau = \hbar$



# Le modèle standard en lagrangiens

soit ...

Et encore, il manque des termes...

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L}_{EF} = & \sum_i \bar{\psi}_i \left( i \not{\partial} - m_i - \frac{g m_i}{2M_W} H \right) \psi_i \\
 & - \frac{g}{2\sqrt{2}} \sum_i \bar{\psi}_i \gamma^\mu (1 - \gamma^5) (T^+ W_\mu^+ + T^- W_\mu^-) \psi_i \\
 & - e \sum_i q_i \bar{\psi}_i \gamma^\mu \psi_i A_\mu \\
 & - \frac{g}{2 \cos \theta_W} \sum_i \bar{\psi}_i \gamma^\mu (g_V^i - g_A^i \gamma^5) \psi_i Z_\mu
 \end{aligned}$$

*Electron, neutrinos, quarks...*  
*Boson de Higgs*  
*W<sup>+</sup>W<sup>-</sup>*  
*Photon*  
*Z<sup>0</sup>*

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L}_{QCD} = & -\frac{1}{4} F_{\mu\nu}^{(a)} F^{(a)\mu\nu} + i \sum_q \bar{\psi}_q^i \gamma^\mu (D_\mu)_{ij} \psi_q^j \\
 & - \sum_q m_q \bar{\psi}_q \psi_q
 \end{aligned}$$

*Gluons*  
*Couleur*  
*Quarks*  
*Saveur*