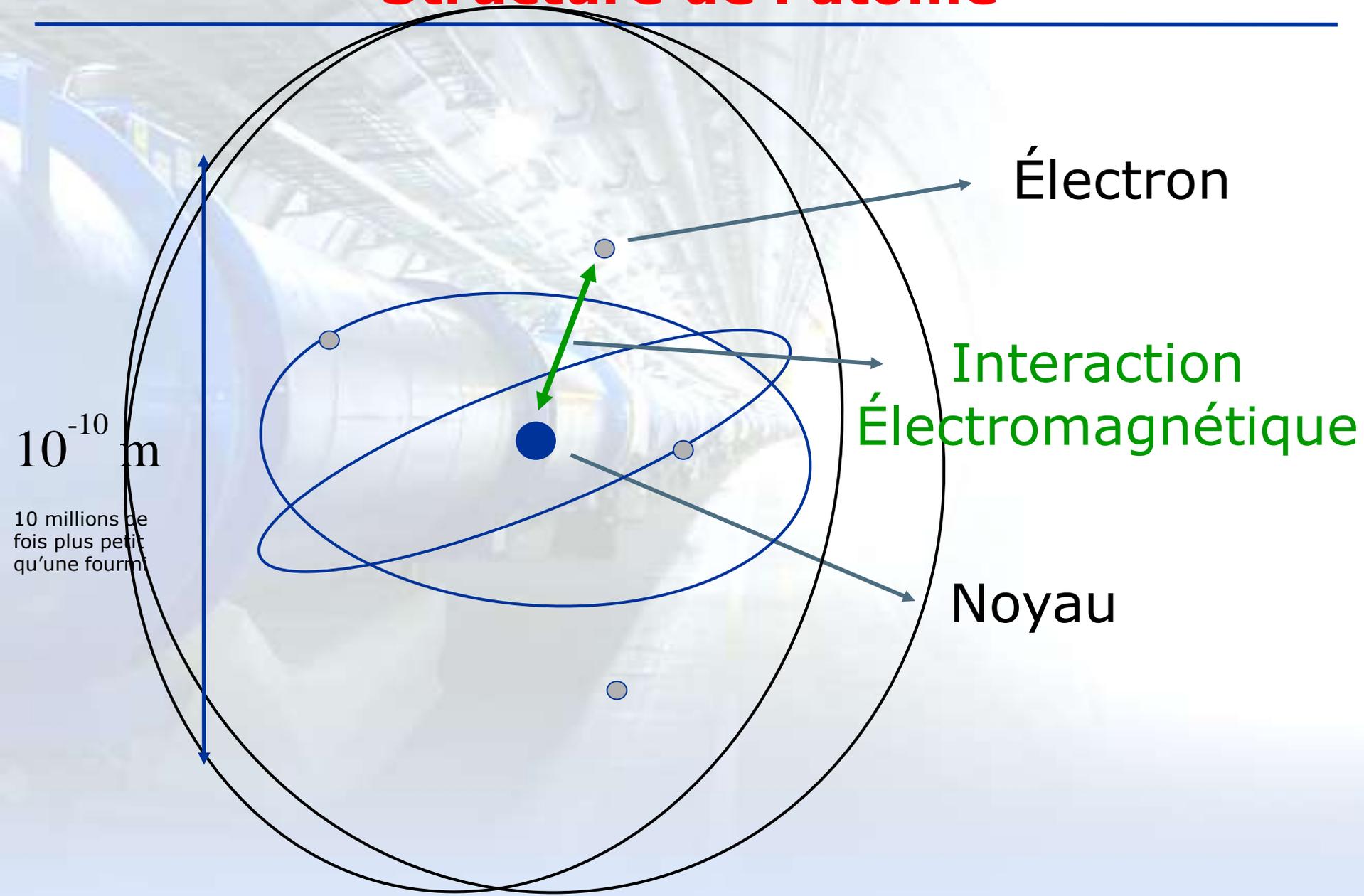
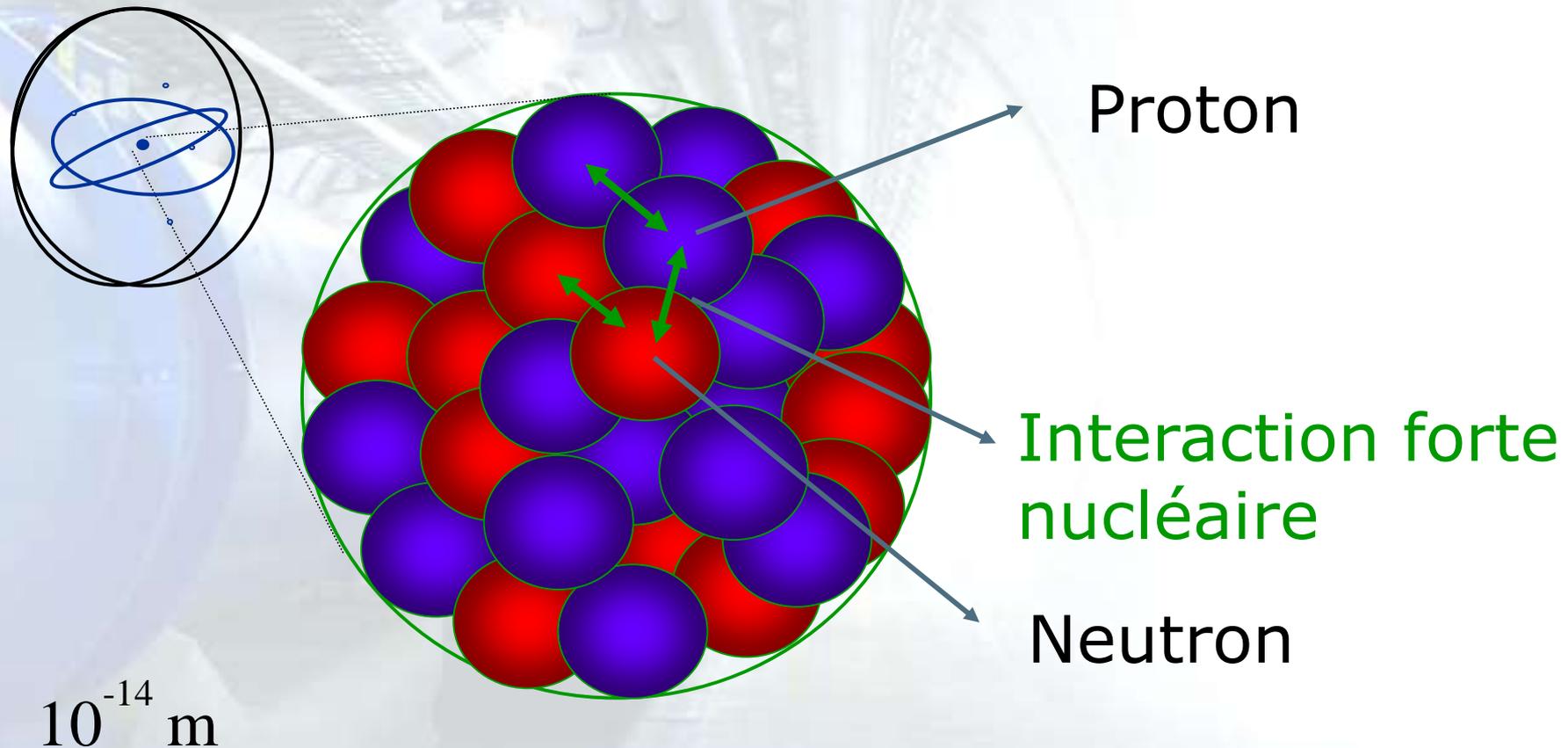

Le Modèle Standard de la Physique des Particules Élémentaires et des Interactions Fondamentales

- De l'atome aux particules élémentaires
- Les interactions : une vision moderne
- Le Modèle Standard de la Physique des Particules

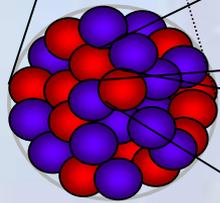
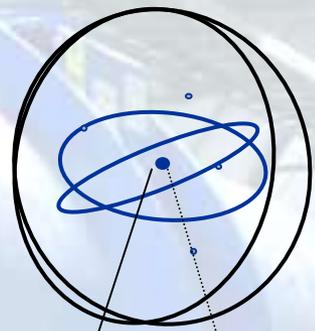
Structure de l'atome



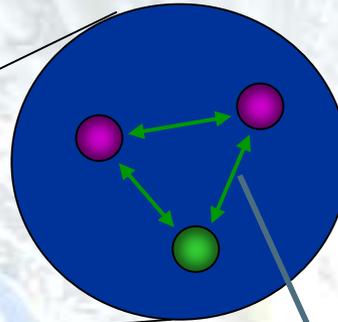


Structure interne aux protons et neutrons ?

Structure des protons et des neutrons⁵



10^{-15} m

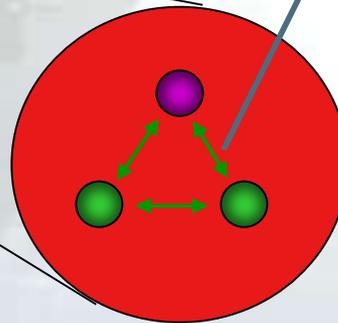


Proton :

2 quarks up (+2/3)

1 quark down (-1/3)

Interaction forte



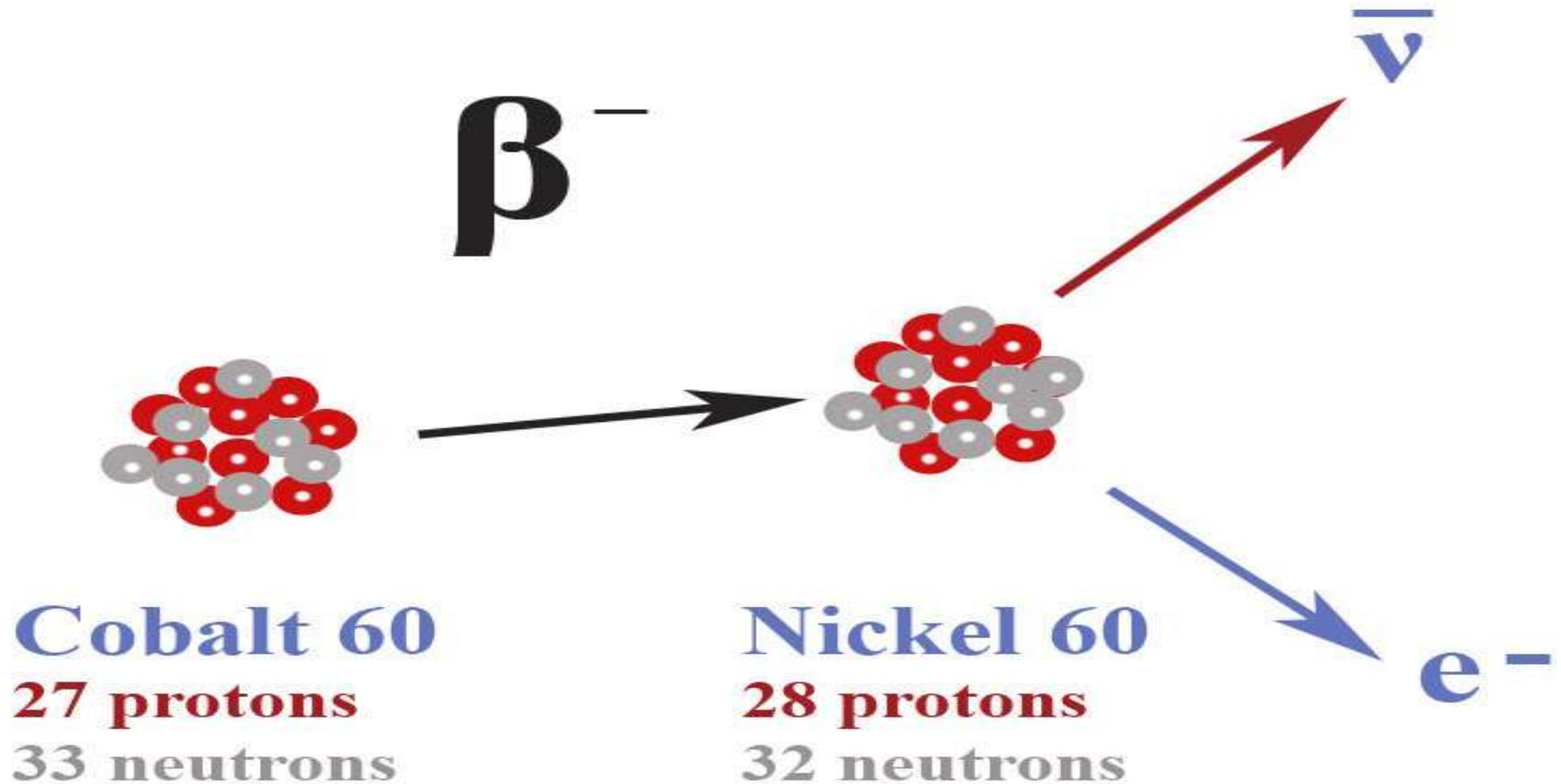
Neutron :

1 quark up (+2/3)

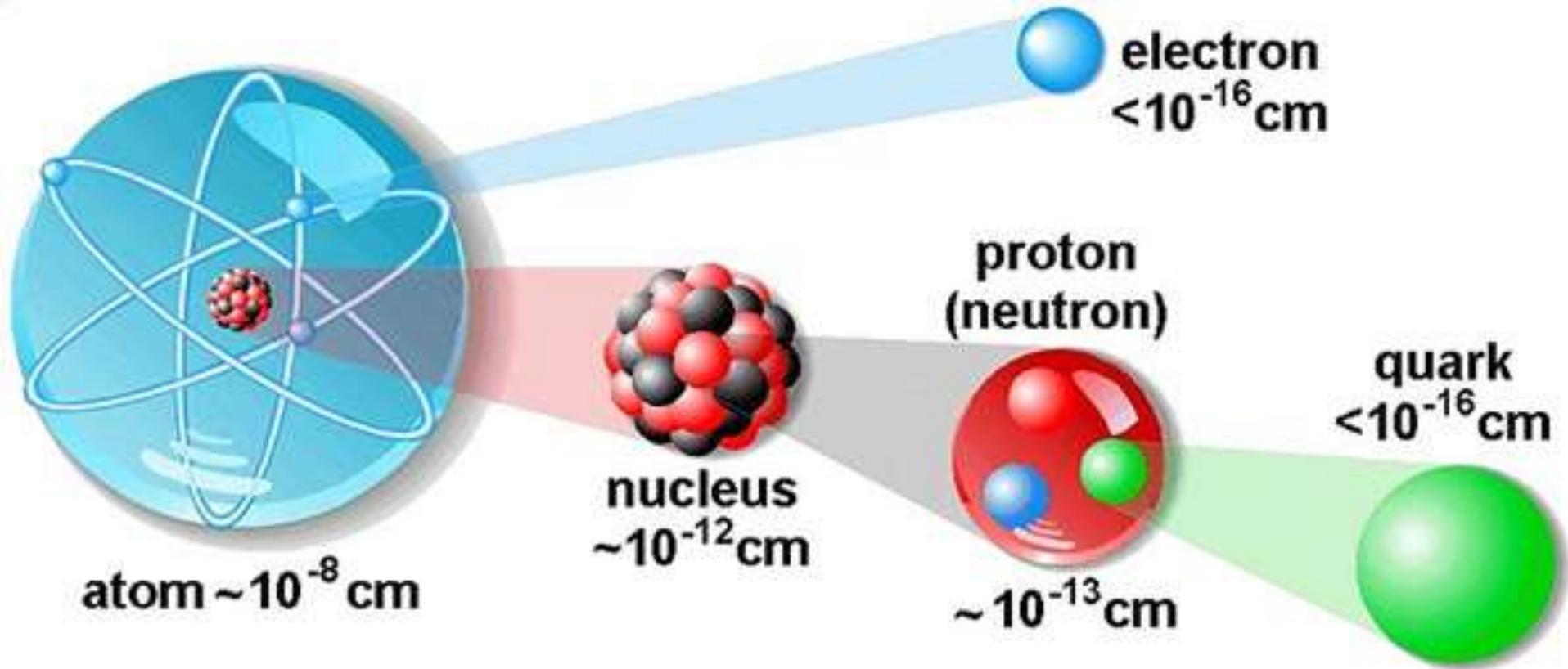
2 quarks down (-1/3)

HADRONS = PARTICULES FAITES
DE QUARKS

Les interactions précédentes n'expliquent pas les désintégrations spontanées.



Une interaction doit être responsable de tels procédés => Interaction faible !

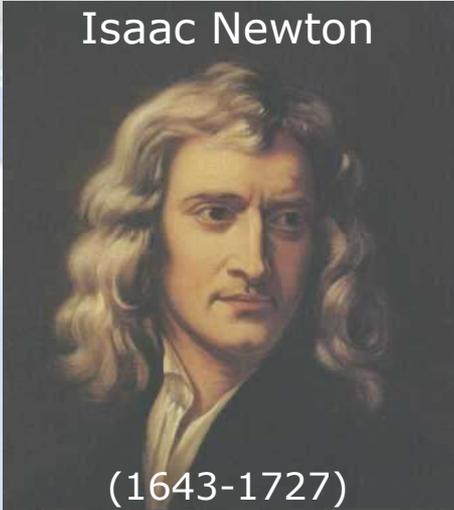


- Interactions :
- électromagnétique (cohésion des atomes)
 - forte (cohésion des protons et neutrons)
 - faible (désintégrations spontanées des noyaux lourds)

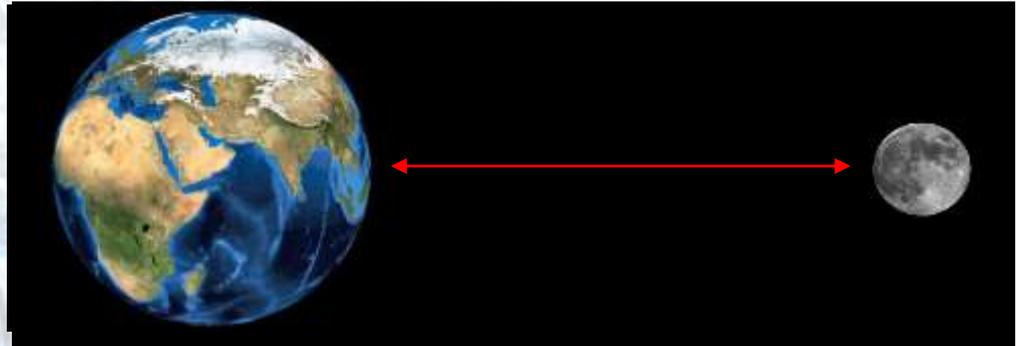


Les interactions : une approche moderne

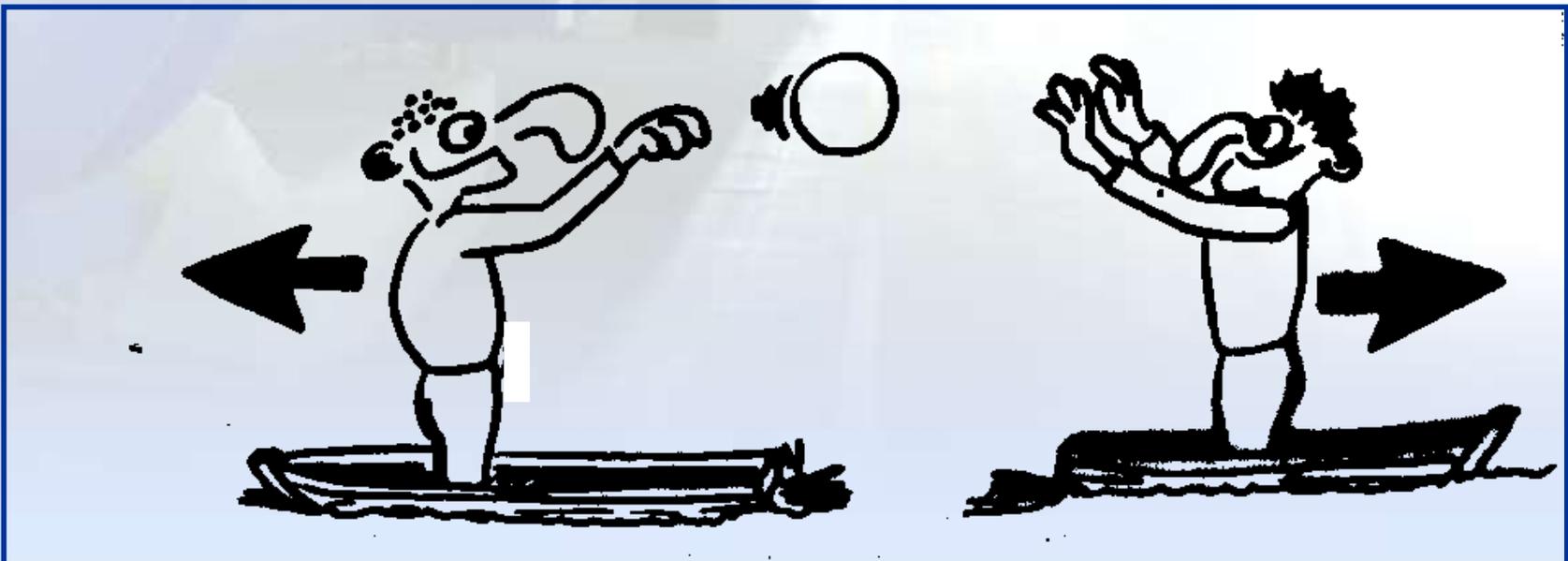
Isaac Newton



Vision « classique » :
Action instantanée à distance



Vision « moderne » : échange de particules

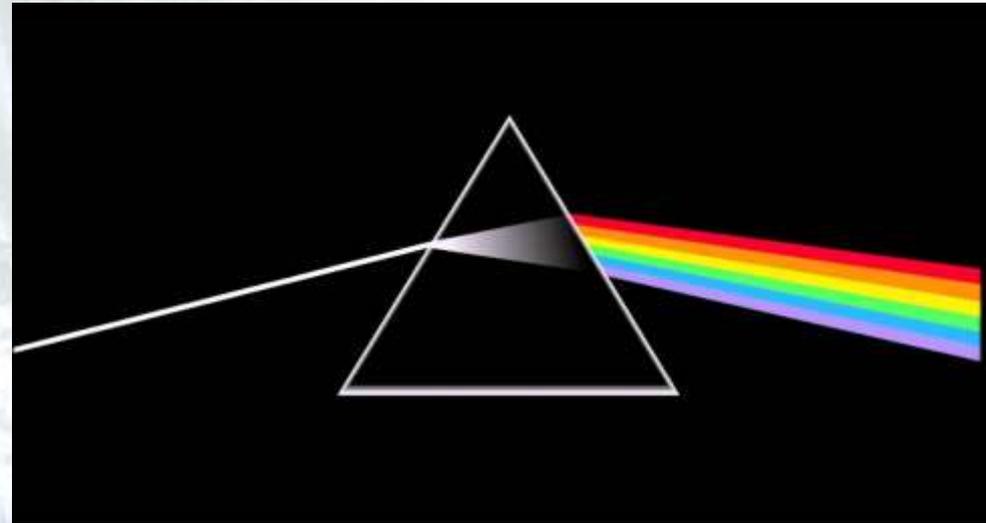


L'interaction électromagnétique

10

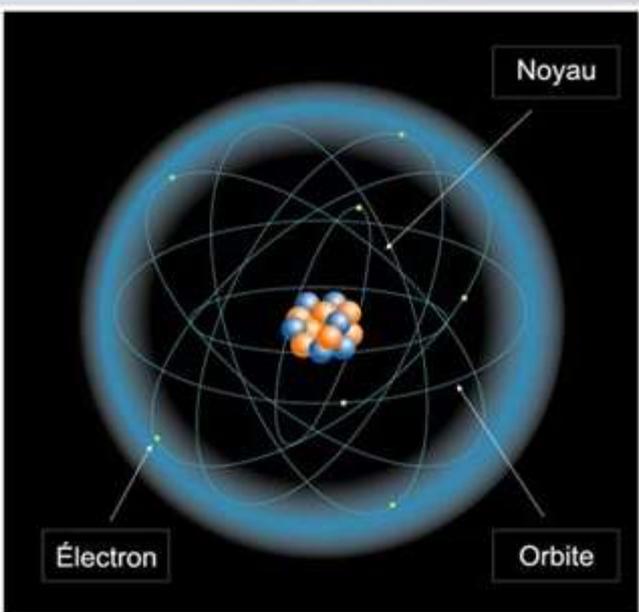
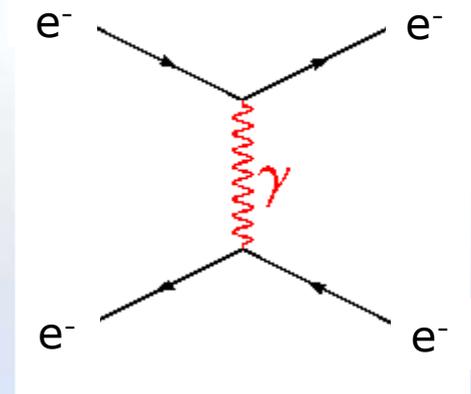
Responsable des phénomènes **électriques et magnétiques** :
aimantation, lumière,
cohésion des atomes,...

Répulsion entre objets de
charges électriques identiques
(attraction si charges opposées)



Agit sur les particules chargées

Médiateur : **photon**



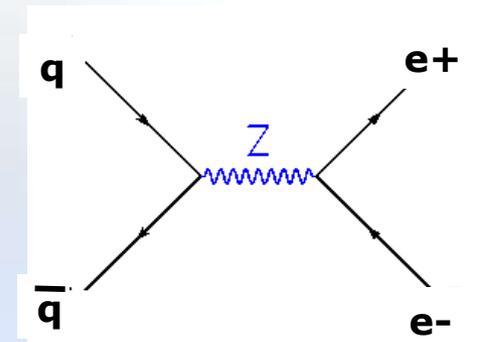
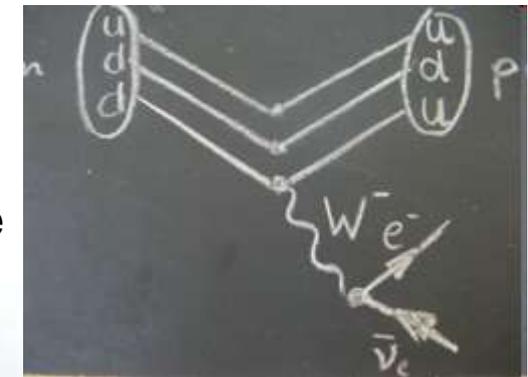
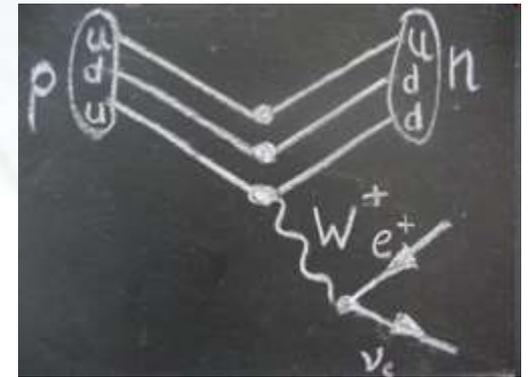
Médiateurs : **W^+, W^- et Z**

- Explique la radioactivité β (désintégration):
 - Bosons W
- Interactions entre courants de quarks et leptons

Insensibles à l'interaction forte

Agit sur les quarks ET les leptons !

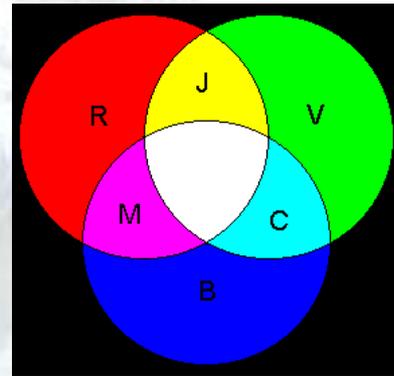
Interagissent fortement



Agit sur les quarks

En plus de la charge électrique, les quarks portent une charge de couleur:

Bleu vert rouge



Seules les configurations incolores sont observées !
=> Soit Mésons, soit Baryons !

Les gluons « **collent** » les quarks entre eux : ils sont **confinés** à l'intérieur des hadrons (proton, neutron, pion, ...)

⇒ Stabilité des noyaux et confinement des quarks

Médiateurs: **gluons**

Récapitulatif

	1 ^{ÈRE} GÉNÉRATION	2 ^{ÈME} GÉNÉRATION	3 ^{ÈME} GÉNÉRATION	
masse →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$	0
charge →	2/3	2/3	2/3	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1
QUARKS	u up	c charm	t top	g gluon
	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$ -1/3 1/2 d down	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$ -1/3 1/2 s strange	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$ -1/3 1/2 b bottom	0 0 1 γ photon
	0.511 MeV/c^2 -1 1/2 e électron	105.7 MeV/c^2 -1 1/2 μ muon	1.777 GeV/c^2 -1 1/2 τ tau	91.2 GeV/c^2 0 1 Z boson Z
LEPTONS	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$ 0 1/2 ν_e neutrino électronique	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$ 0 1/2 ν_μ neutrino muonique	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$ 0 1/2 ν_τ neutrino tauique	80.4 GeV/c^2 ± 1 1 W^\pm bosons W^\pm
				BOSONS DE JAUGE
				?

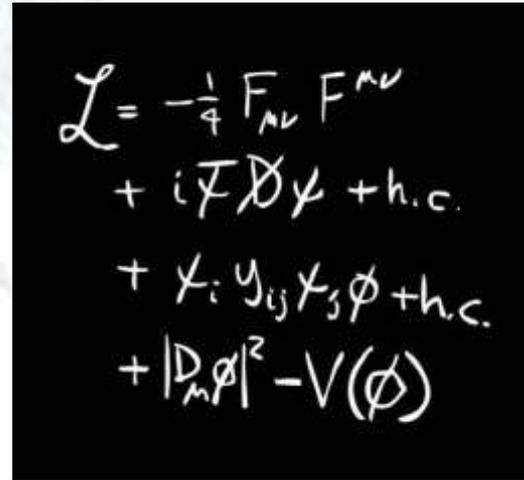
Récapitulatif

	1 ^{ÈRE} GÉNÉRATION	2 ^{ÈME} GÉNÉRATION	3 ^{ÈME} GÉNÉRATION		
masse →	≈2.3 MeV/c ²	≈1.275 GeV/c ²	≈173.07 GeV/c ²	0	≈126 GeV/c ²
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H boson de Higgs
QUARKS	≈4.8 MeV/c ²	≈95 MeV/c ²	≈4.18 GeV/c ²	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
LEPTONS	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	91.2 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e électron	μ muon	τ tau	Z boson Z	
<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	80.4 GeV/c ²		
0	0	0	±1		
1/2	1/2	1/2	1		
	ν_e neutrino électronique	ν_μ neutrino muonique	ν_τ neutrino tauique	W[±] bosons W [±]	
				BOSONS DE JAUGE	



Le Modèle Standard

- Il décrit dans un formalisme unifié, les **particules élémentaires** et leurs **interactions** :
 - Électromagnétique (le photon)
 - Faibles (W et Z)
 - Fortes (gluons)
- Il est basé sur:
 - Relativité restreinte
 - Théorie quantique des champs
 - Symétries de jauge
- Il a été élaboré dans les années **1960-70** et ses prédictions sont en très bon accord avec les expériences.
- Pourquoi le Boson de Higgs ?
 - Sauve l'invariance de jauge grâce à la brisure spontanée
 - Il explique la masse des particules élémentaires, en particulier celle des bosons de jauge W,Z.


$$\begin{aligned}\mathcal{L} = & -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} \\ & + i\bar{\psi} \not{D} \psi + \text{h.c.} \\ & + \chi_i y_{ij} \chi_j \phi + \text{h.c.} \\ & + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)\end{aligned}$$

- Matière noire, énergie noire, inflation? Nouvelles particules?
- Quantifier la gravitation?
- Matière vs antimatière?
- Comment expliquer la masse du Higgs ?
- Quid de la masse des neutrinos ?
- Strong CP-problem ? Axions ?