



Physique des particules

2024 African School of Physics
High School Teachers



Tableau périodique des éléments

Tableau périodique des éléments avec légende et explications.

Explications de la légende :

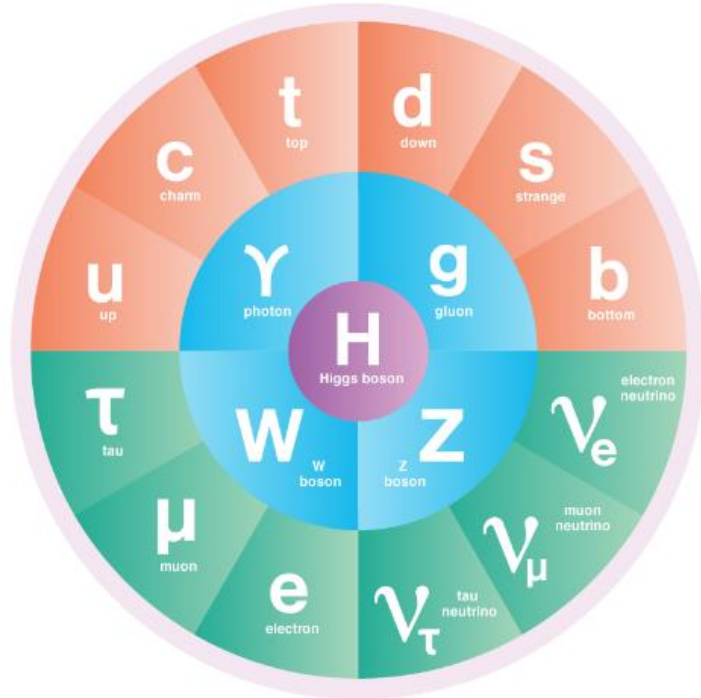
- nom de l'élément (gaz, liquide ou solide à 0°C et 101,3 kPa)
- numéro atomique
- symbole chimique
- masse atomique relative (ou celle de l'isotope le plus stable)
- [CIAAW "Atomic Weights 2013" + rev. 2015]

Classification des éléments :

- Métaux : Alcalins, Alcalino-terreux, Lanthanides, Actinides, Métaux de transition, Métaux pauvres, Métalloïdes.
- Non métaux : Autres non-métaux, Halogènes, Gaz nobles.
- Non classés.
- primordial (encadré simple)
- intégration d'autres éléments (encadré pointillé)
- synthétique (encadré en pointillés)

Groupe	I A	II A										III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII A	18												
Période	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18												
1	Hydrogène 1 H 1,007975																Hélium 2 He 4,002602													
2	Lithium 3 Li 6,9395	Béryllium 4 Be 9,0121831											Bore 5 B 10,8135	Carbone 6 C 12,0106	Azote 7 N 14,00645	Oxygène 8 O 15,99940	Fluor 9 F 18,99840316	Neon 10 Ne 20,1797(8)												
3	Sodium 11 Na 22,98976928	Magnésium 12 Mg 24,3055			III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIII			II B	Aluminium 13 Al 26,9815385	Silicium 14 Si 28,085(1)	Phosphore 15 P 30,97376200	Soufre 16 S 32,0675	Chlore 17 Cl 35,4515	Argon 18 Ar 39,948(1)											
4	Potassium 19 K 39,0983(1)	Calcium 20 Ca 40,078(4)	Scandium 21 Sc 44,955908(5)	Titane 22 Ti 47,867(1)	Vanadium 23 V 50,9415(1)	Chrome 24 Cr 51,9961(8)	Manganèse 25 Mn 54,938044	Fer 26 Fe 55,845(2)	Cobalt 27 Co 58,933194	Nickel 28 Ni 58,6934(4)	Cuivre 29 Cu 63,546(3)	Zinc 30 Zn 65,38(2)	Gallium 31 Ga 69,723(1)	Germanium 32 Ge 72,630(8)	Arsenic 33 As 74,921595	Sélénium 34 Se 78,971(8)	Brome 35 Br 79,904	Krypton 36 Kr 83,798(2)												
5	Rubidium 37 Rb 85,4678(3)	Strontium 38 Sr 87,62(1)	Yttrium 39 Y 88,90584	Zirconium 40 Zr 91,224(2)	Niobium 41 Nb 92,90637	Molybdène 42 Mo 95,95(1)	Technétium 43 Tc [98]	Ruthénium 44 Ru 101,07(2)	Rhodium 45 Rh 102,90550	Palladium 46 Pd 106,42(1)	Argent 47 Ag 107,8682(2)	Cadmium 48 Cd 112,414(4)	Indium 49 In 114,818(1)	Étain 50 Sn 118,710(7)	Antimoine 51 Sb 121,760(1)	Tellure 52 Te 127,60(3)	Iode 53 I 126,90447	Xénon 54 Xe 131,29(8)												
6	Césium 55 Cs 132,905452	Baryum 56 Ba 137,327(7)	Lanthanides 57-71	Hafnium 72 Hf 178,49(2)	Tantale 73 Ta 180,94788	Tungstène 74 W 183,84(1)	Rhénium 75 Re 186,207(1)	Osmium 76 Os 190,23(3)	Iridium 77 Ir 192,217(3)	Platine 78 Pt 195,084(8)	Or 79 Au 196,966569	Mercur 80 Hg 200,592(3)	Thallium 81 Tl 204,3835	Plomb 82 Pb 207,2(1)	Bismuth 83 Bi 208,98040	Polonium 84 Po [209]	Astato 85 At [210]	Radon 86 Rn [222]												
7	Francium 87 Fr [223]	Radium 88 Ra [226]	Actinides 89-103	Rutherfordium 104 Rf [267]	Dubnium 105 Db [268]	Seaborgium 106 Sg [269]	Bohrium 107 Bh [270]	Hassium 108 Hs [277]	Méttorium 109 Mt [278]	Darmstadtium 110 Ds [281]	Roentgenium 111 Rg [282]	Copernicium 112 Cn [285]	Nihonium 113 Nh [286]	Flerovium 114 Fl [289]	Moscovium 115 Mc [289]	Livermorium 116 Lv [293]	Tennesse 117 Ts [294]	Oganesson 118 Og [294]												
8	Lanthane 57 La 138,90547	Cérum 58 Ce 140,116(1)	Praseodyme 59 Pr 140,90766	Néodyme 60 Nd 144,242(3)	Prométhium 61 Pm [145]	Samarium 62 Sm 150,36(2)	Europium 63 Eu 151,964(1)	Gadolinium 64 Gd 157,25(3)	Terbium 65 Tb 158,92535	Dysprosium 66 Dy 162,500(1)	Holmium 67 Ho 164,93033	Erbium 68 Er 167,259(3)	Thulium 69 Tm 168,93422	Ytterbium 70 Yb 173,045	Lutécium 71 Lu 174,9668	Actinium 89 Ac [227]	Thorium 90 Th 232,0377	Protactinium 91 Pa [231,03588]	Uranium 92 U 238,02891	Neptunium 93 Np [237]	Plutonium 94 Pu [244]	Americium 95 Am [243]	Curium 96 Cm [247]	Berkélium 97 Bk [247]	Californium 98 Cf [251]	Einsteinium 99 Es [252]	Fermium 100 Fm [257]	Mendélévium 101 Md [258]	Nobélium 102 No [259]	Lawrencium 103 Lr [266]

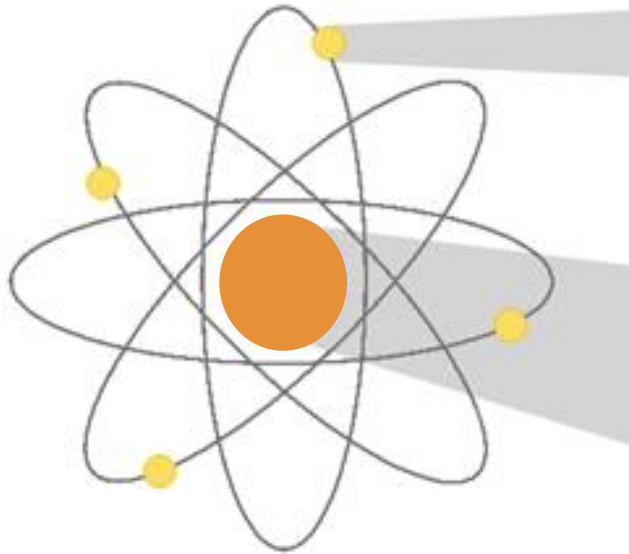
Plus fundamental...



● QUARKS
 ● LEPTONS
 ● BOSONS
 ● HIGGS BOSON

mass →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 126 \text{ GeV}/c^2$
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 Higgs boson
QUARKS					
	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$1.777 \text{ GeV}/c^2$	$91.2 \text{ GeV}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$80.4 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	± 1	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
LEPTONS					GAUGE BOSONS


De quoi est fait le monde?



Atom
(Noyau de l'atome et
nuage électronique)


C'est tout !?

ELEKTRON




$m = 0,511 \text{ MeV}/c^2$
 $q = -1$

UP-QUARKS



$m = 2 \text{ MeV}$
 $q = +\frac{2}{3}$

DOWN-QUARKS

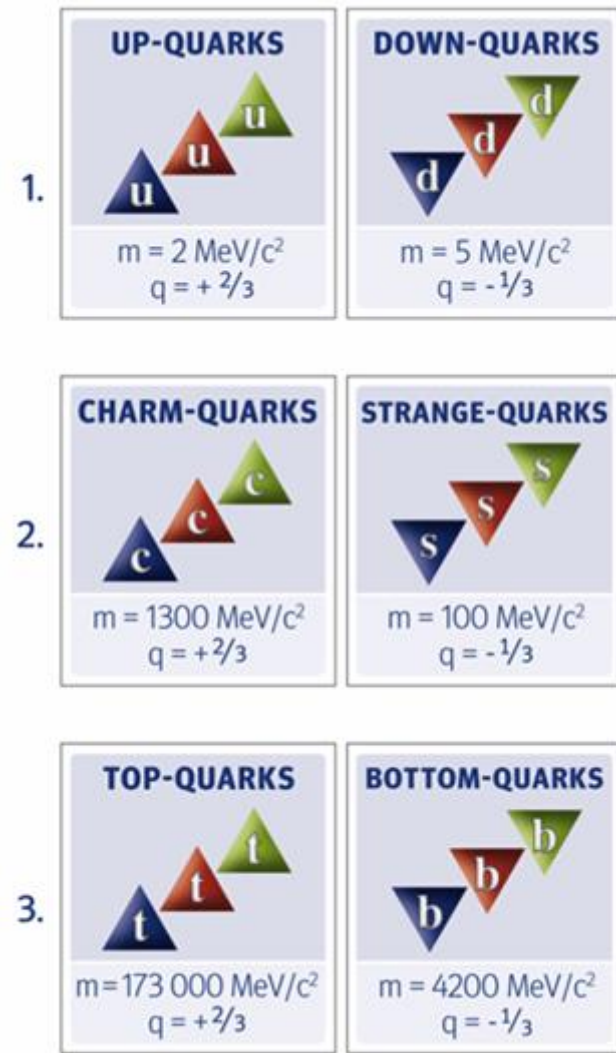


$m = 5 \text{ MeV}/c^2$
 $q = -\frac{1}{3}$

NON!

Quarks

- Charge électrique : $+2/3$ ou $-1/3$
- Les quarks n'existent pas individuellement!
- Les quarks portent une charge forte
- Ils ont une charge faible de $+1/2$ ou $-1/2$
- Ils forment des **hadrons** qui ont au total une charge **électrique entière** et une **charge forte "blanche"**.



Hadrons

Charge électric de Proton:

$$\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1$$

$$u + u + d$$

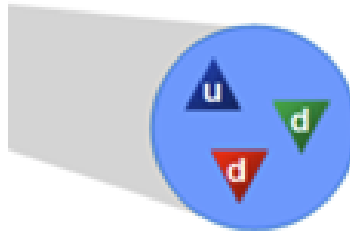
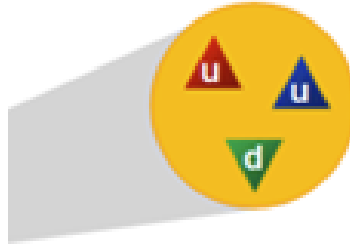
Charge électric de Neutron:

$$\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$$

$$u + d + d$$

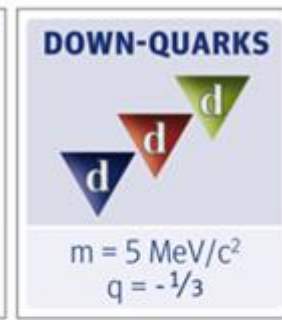
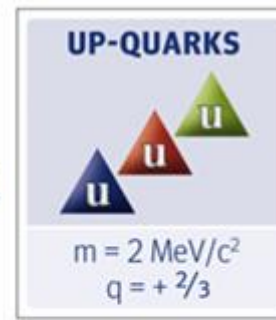
blue + red + green = neutral

Proton
(2 Up-Quarks +
1 Down-Quark)

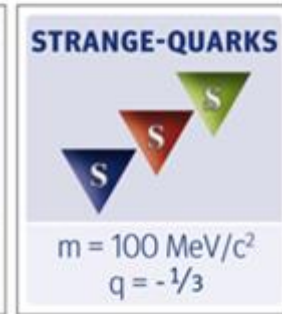
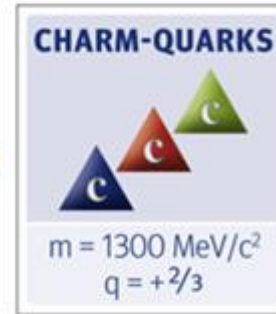


Neutron
(1 Up-Quark +
2 Down-Quarks)

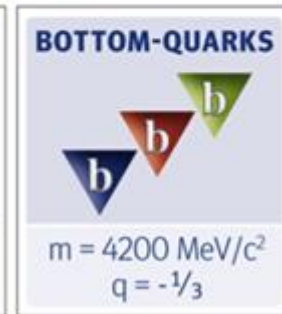
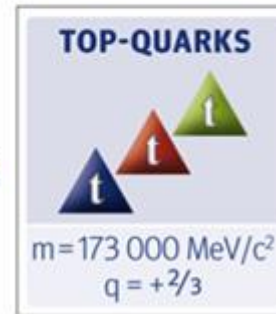
1.



2.



3.



Leptons


Électron, Muon et Tauon:

- Pas des charge forte
- Charge électrique entière négative
- Charge faible

Les Neutrinos :

- Pas de charge forte
- Pas des chargés électriquement
- Charge faible
- Très léger

1.

ELEKTRON  $m = 0,511 \text{ MeV}/c^2$ $q = -1$	ELEKTRON-NEUTRINO  $m < 0,000\ 002 \text{ MeV}/c^2$ $q = 0$
--	---

2.

MYON  $m = 106 \text{ MeV}/c^2$ $q = -1$	MYON-NEUTRINO  $m < 0,000\ 002 \text{ MeV}/c^2$ $q = 0$
---	--

3.

TAUON  $m = 1777 \text{ MeV}/c^2$ $q = -1$	TAU-NEUTRINO  $m = < 0,000\ 002 \text{ MeV}/c^2$ $q = 0$
---	---

Les Trois Générations

Dans notre environnement, il y a uniquement des particules de première génération

2ème et 3ème génération sont des copies plus lourdes

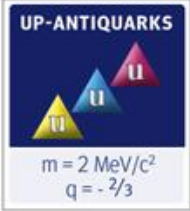



Ils sont labiles et désintègrent

	Quarks		Leptons	
1	UP-QUARKS $m = 2 \text{ MeV}/c^2$ $q = +2/3$	DOWN-QUARKS $m = 5 \text{ MeV}/c^2$ $q = -1/3$	ELEKTRON $m = 0,511 \text{ MeV}/c^2$ $q = -1$	ELEKTRON-NEUTRINO $m < 0,000\ 002 \text{ MeV}/c^2$ $q = 0$
2	CHARM-QUARKS $m = 1300 \text{ MeV}/c^2$ $q = +2/3$	STRANGE-QUARKS $m = 100 \text{ MeV}/c^2$ $q = -1/3$	MYON $m = 106 \text{ MeV}/c^2$ $q = -1$	MYON-NEUTRINO $m < 0,000\ 002 \text{ MeV}/c^2$ $q = 0$
3	TOP-QUARKS $m = 173\ 000 \text{ MeV}/c^2$ $q = +2/3$	BOTTOM-QUARKS $m = 4200 \text{ MeV}/c^2$ $q = -1/3$	TAUON $m = 1777 \text{ MeV}/c^2$ $q = -1$	TAU-NEUTRINO $m < 0,000\ 002 \text{ MeV}/c^2$ $q = 0$

Les Antiparticules

À chaque particule de matière il y a une antiparticule de:

- Même masse
- Même durée de vie
- Des charges inverses :
 - Électrique
 - Forte
 - Faible

	Antiquarks	Antileptons		
1.	 <p>UP-ANTIQUARKS</p> <p>$m = 2 \text{ MeV}/c^2$ $q = -2/3$</p>	 <p>DOWN-ANTIQUARKS</p> <p>$m = 5 \text{ MeV}/c^2$ $q = +1/3$</p>	 <p>POSITRON</p> <p>$m = 0.511 \text{ MeV}/c^2$ $q = +1$</p>	 <p>ELEKTRON-ANTINEUTRINO</p> <p>$m < 0,000\ 002 \text{ MeV}/c^2$ $q = 0$</p>
2.	 <p>CHARM-ANTIQUARKS</p> <p>$m = 1300 \text{ MeV}/c^2$ $q = -2/3$</p>	 <p>STRANGE-ANTIQUARKS</p> <p>$m = 100 \text{ MeV}/c^2$ $q = +1/3$</p>	 <p>ANTI-MYON</p> <p>$m = 106 \text{ MeV}/c^2$ $q = +1$</p>	 <p>MYON-ANTINEUTRINO</p> <p>$m < 0,000\ 002 \text{ MeV}/c^2$ $q = 0$</p>
3.	 <p>TOP-ANTIQUARKS</p> <p>$m = 173\ 000 \text{ MeV}/c^2$ $q = -2/3$</p>	 <p>BOTTOM-ANTIQUARKS</p> <p>$m = 4200 \text{ MeV}/c^2$ $q = +1/3$</p>	 <p>ANTI-TAUON</p> <p>$m = 1777 \text{ MeV}/c^2$ $q = +1$</p>	 <p>TAU-ANTINEUTRINO</p> <p>$m < 0,000\ 002 \text{ MeV}/c^2$ $q = 0$</p>

Interactions

Si des particules chargées se rencontrent, elles peuvent interagir:

- Attraction
- Répulsion
- Production de particules
- Transformation de particules

Les Quatre Interactions Élémentaires



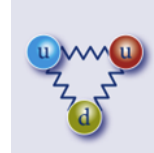
Gravitation

- Attraction entre particules avec des masses
- Gravité terrestre
- Orbites des planètes
- Très faible: ne joue aucun rôle pour la physique des particules élémentaires
- Pas inclus dans le modèle standard



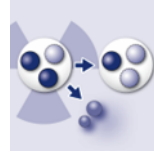
Interaction électromagnétique

- Ondes électromagnétiques (Lumière, Radio, Micro-ondes, Rayons X)
- Cohésion des atomes et des molécules
- Chimie
- Magnétisme



Interaction forte

- Attraction entre les quarks
- Relation entre les noyaux atomiques



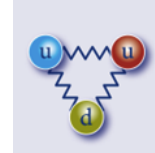
Interaction faible

- Désintégration bêta
- Production de neutrons dans le Soleil
- Transformation de quarks et de leptons

Les Quatre Interactions Élémentaires



Hmmm...



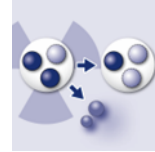
Gluons

- Transmettent l'interaction forte



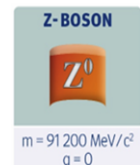
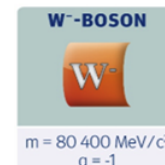
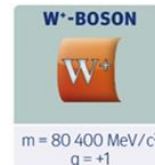
Photon

- Transmet l'interaction électromagnétique







W+ Boson, W- Boson & Z Boson

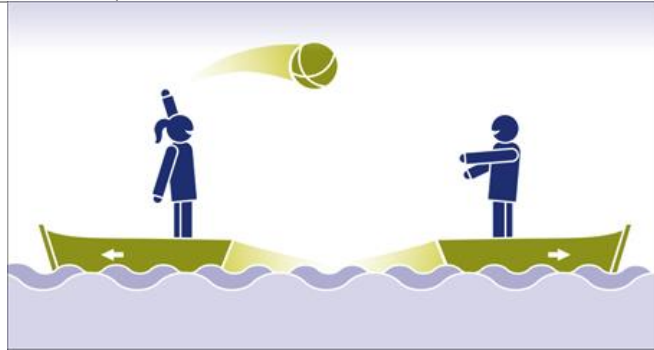
- Transmettent une interaction faible



Les Quatre Interactions Élémentaires

A chaque type de charge correspond un type d'interaction:

	Charge	Interaction	Particule
	Mass (Masse)	Gravitation	Graviton? Pas de particule?
	Electric Charge (Charge électrique)	Interaction électromagnétique	Photon
	Strong Charge (Charge forte)	Interaction forte	Gluon
	Weak Charge (Charge faible)	Interaction faible	W+ Boson, W- Boson & Z Boson



Quelle interaction participe?



- Quelqu'un téléphone avec un portable
- Un atom se transforme en un autre par désintégration bêta
- Les noyaux atomiques sont stables, bien que les protons se repoussent mutuellement
- Une boussole indique le nord
- Deux atomes forment une liaison chimique
- Un verre tombe de la table
- Deux quarks up et un quark down forment un proton
- Le soleil brille



Higgs

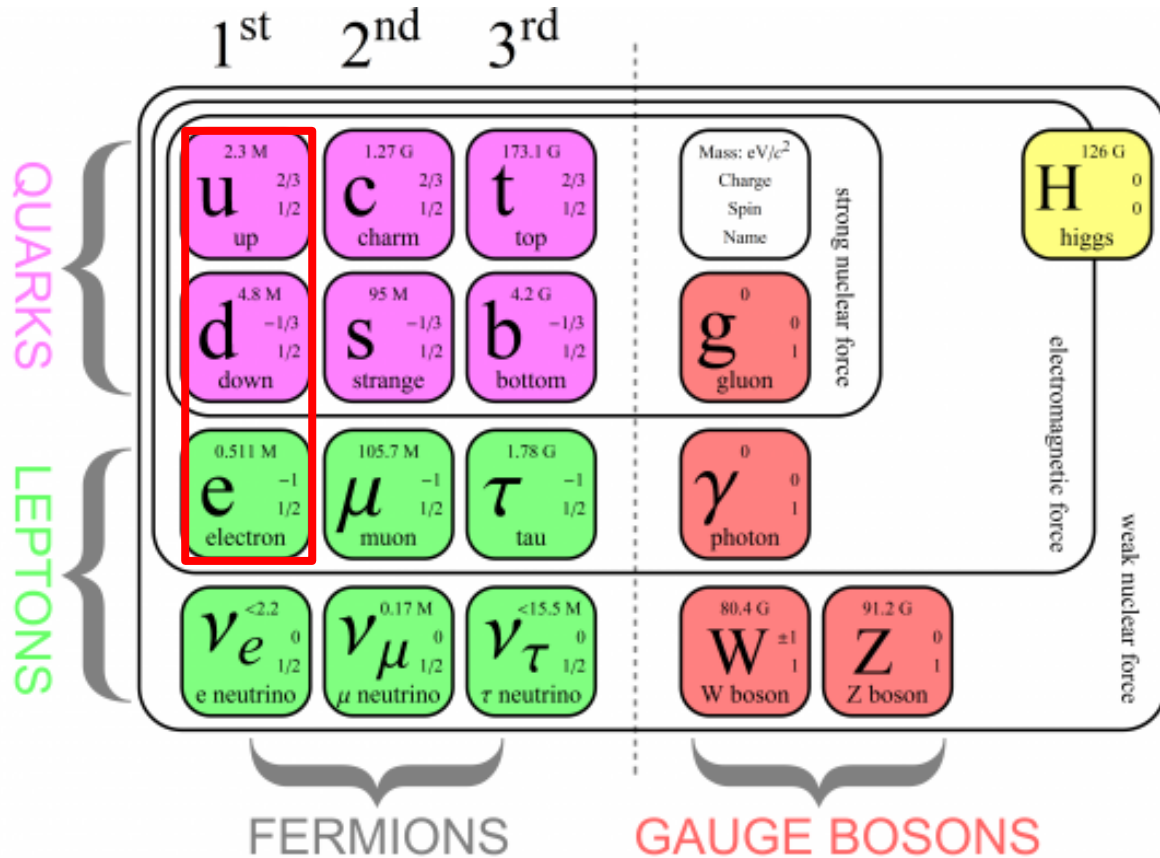
- électriquement neutre
- aucune charge forte
- charge faible de moins un demi
- est responsable des masses des particules



Higgs



Résumé



Test de personnalité

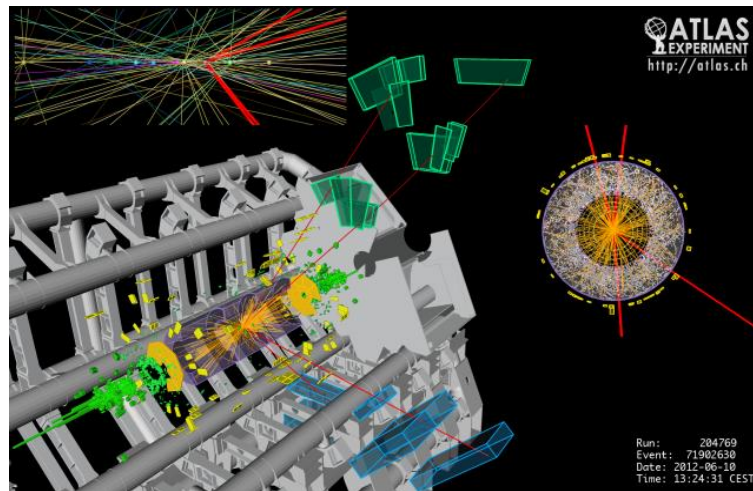
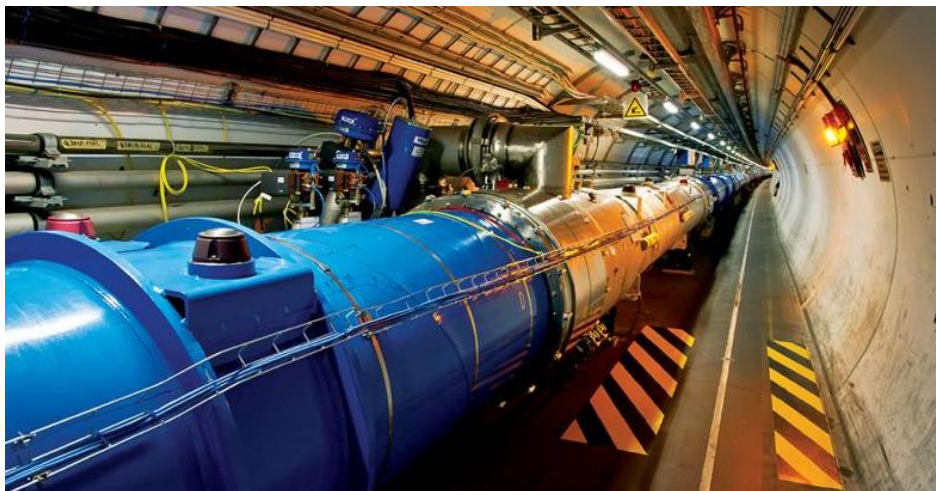
Quelle particule élémentaire suis-je ?



Particle Identity - S`Cool Lab CERN

Mais...

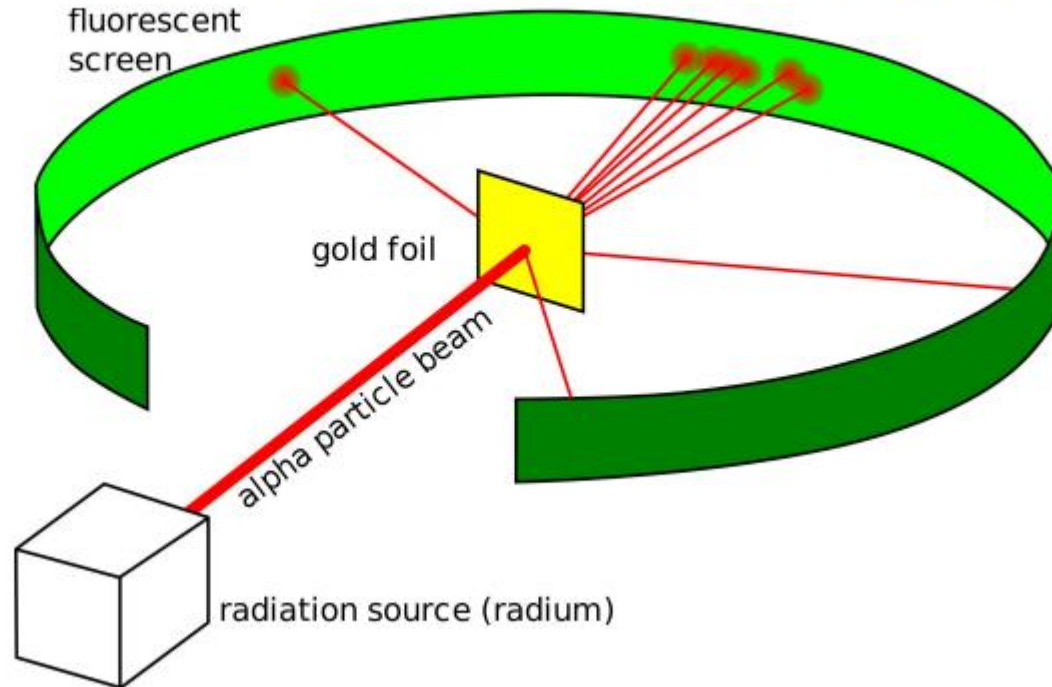
- Comment savon-nous?
- Comment mesuron-nous les particules?



L'expérience de physique des particules la plus élémentaire

L'expérience Rutherford c'est l'expérience prototype de physique des particules.

- Le faisceau
- La cible (fixe)
- Détecteur



Qu'est que c'est le LHC? (CERN en 3 minutes, 2019)



Qu'est que c'est le Grand Collisionneur des Hadrons ou "Large Hadron Collider - LHC"?

Grand - 27 km circonférence, ~100 m souterrain

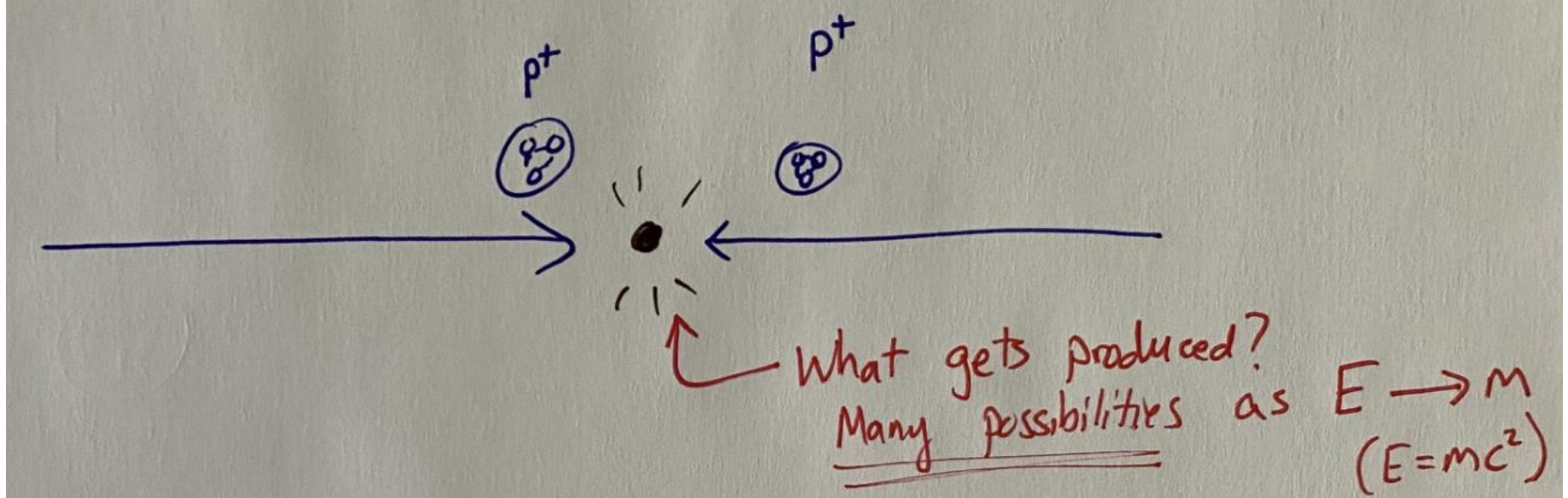
Collisionneur - 2 faisceaux entrent en collision en 4 points autour de l'anneau

Hadrons - Entre en collision des hadrons comme des protons (généralement) et des ions (parfois)

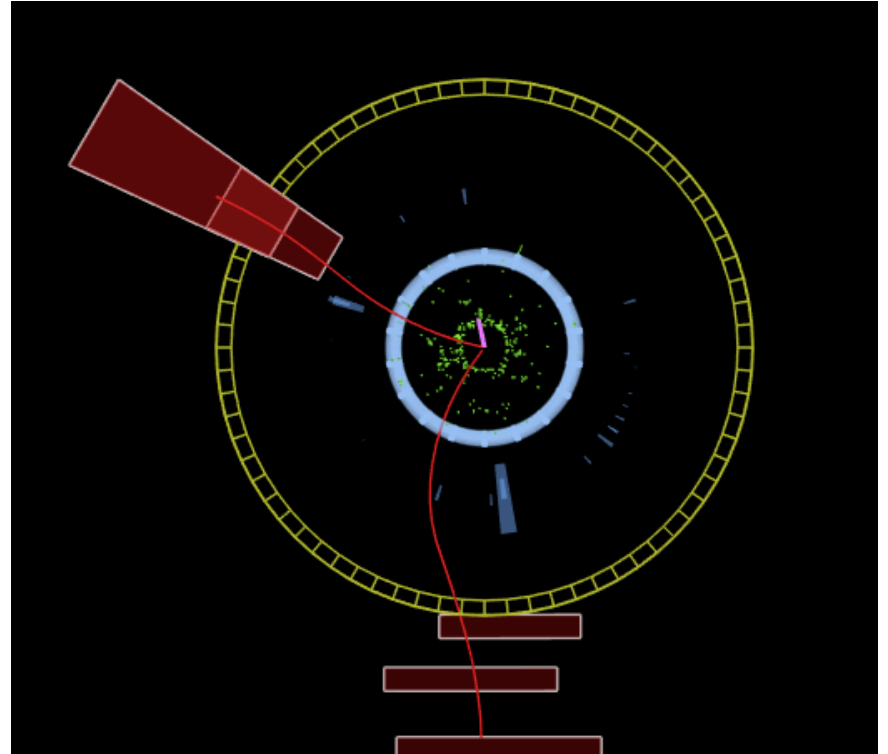
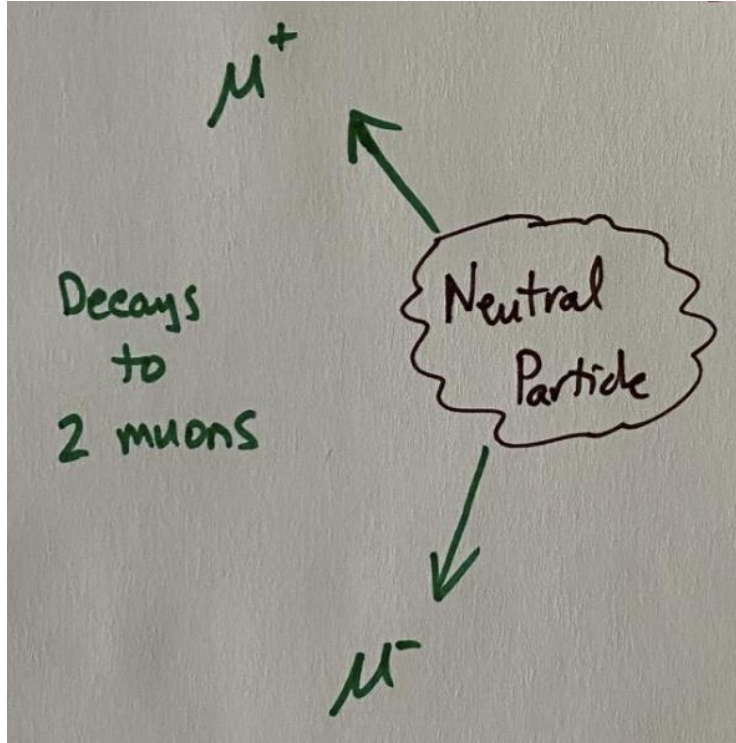


<https://www.innovationnewsnetwork.com/technology-in-relativistic-heavy-ion-collider-physics-research/6466/>

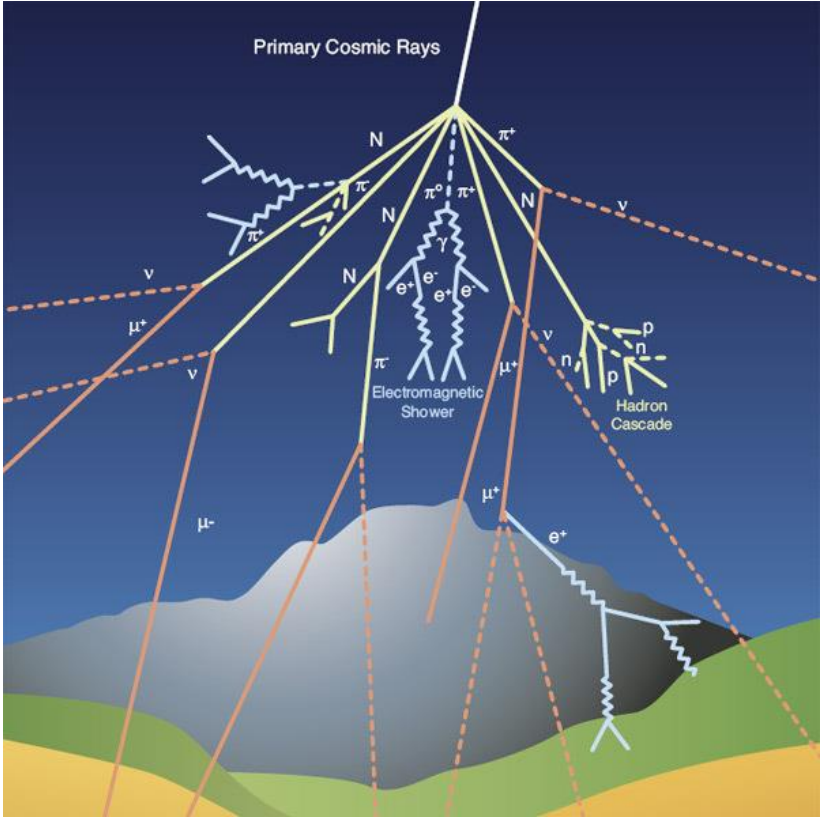
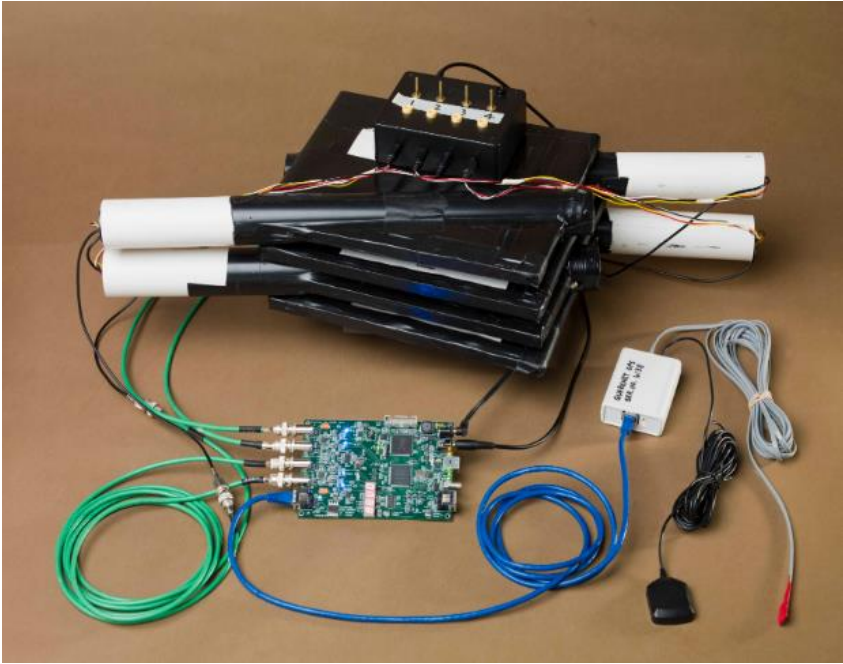
Expérience collisionneur : le faisceau est la cible !



Une possibilité: Une particule neutre (Z boson, par exemple) est produit - se désintègre en 2 muons



En parlant de muons...



Nous pouvons collecter des muons!

La plupart des muons traversent le détecteur.

Ils laissent un signal lors de leur passage.

Mais quelques muons ont une faible énergie. Ils s'arrêtent dans le détecteur.

