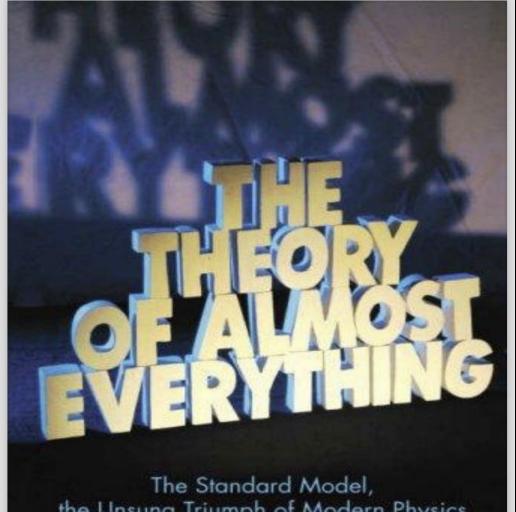
Le modèle standard



The Standard Model, the Unsung Triumph of Modern Physics

ROBERT OERTER

La théorie qui explique (presque) tout

les particules

les interactions

les champs

la relativité

La matière à l'échelle microscopique

Histoire

De quoi la matière est-elle faite ?

Philosophie idéalistes, religions:

4 éléments : eau, air terre, feu.

matière homogène, compacte (la nature a horreur du vide)

Philosophie matérialiste :

Aristipe de Cyrène, Démocrite :

La matière est faite d'atomes

Jusqu'à la Renaissance : science interdite (sorcellerie)

Depuis la Renaissance : on observe la nature à nouveau

Lavoisier:

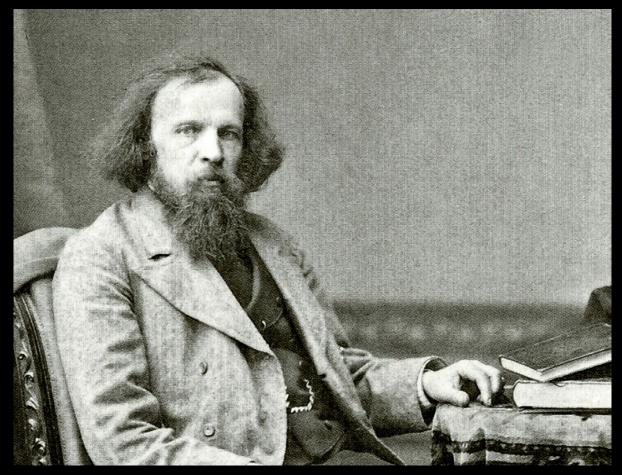


les éléments d'Aristote ne sont pas des éléments.

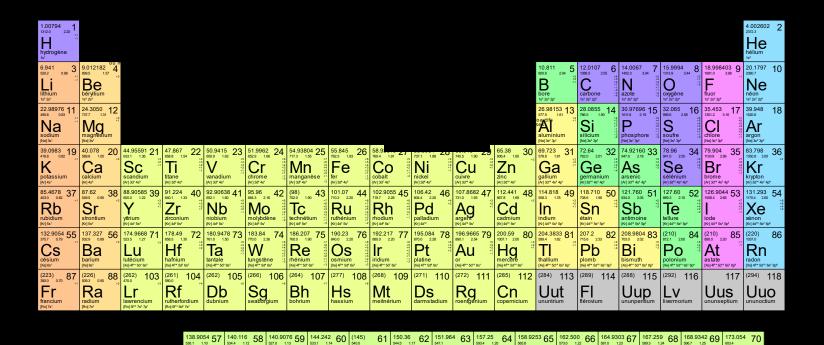
Eau: H_2O Air: mélange O_2 , N_2

Les atomes reviennent!
la chasse aux éléments dure un siècle

Medeleiev:



la classification périodique des éléments



Sm samarium [Xe] 4ff 66² Eu europium [Xe] 4f' 6s'

Am

(244) 94 (243) 95

Gd gadolinium [Xe] 4° 50° 68°

Cm

Tb terbium [Xe] 4f° 6s²

Bk

Ho holmium [Xe] 4f" 6s²

Es

(247) 96 (247) 97 (251) 98 (252) 99 (257) 130 100

Er erbium [Xe] 4f°2 6s2

Fm

Yb ytterbium (Xe) 4f** 6s²

No

(258) 101 (259) 102

Tm thulium [Xe] 4ft 6s2

Md

Ce cérium [Xe] 4f' 5d' 6s²

La lanthane (Xe) 5d* 6s²

(227) 499.0 1.10

Ac

Pr praséodyme [Xe] 4P 6s²

Pa

89 232.0380 90 231.0358 91 238.0289 92 (237) 93

Nd néodyme [Xe] 41° 65° Pm

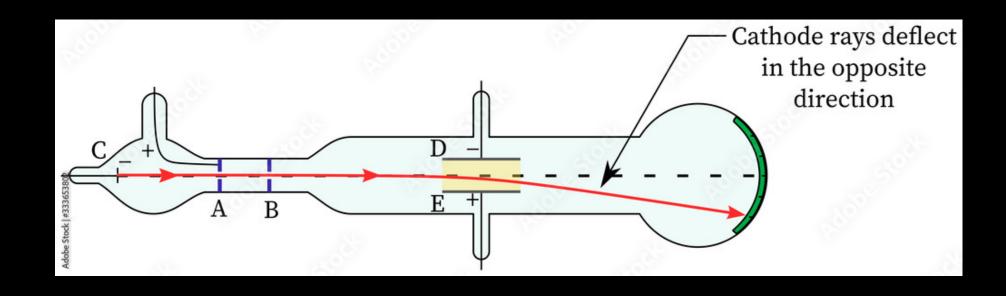
prométhium [Xe] 4th 6s²

Np



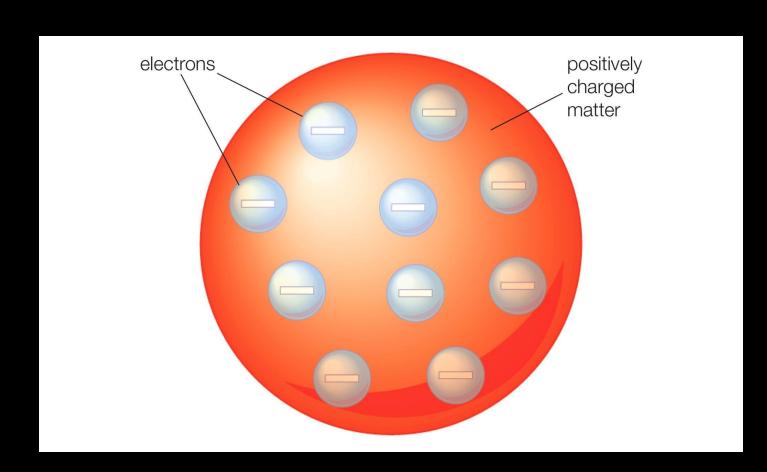
Thomson: 1899

Expérience de Thomson: 1899

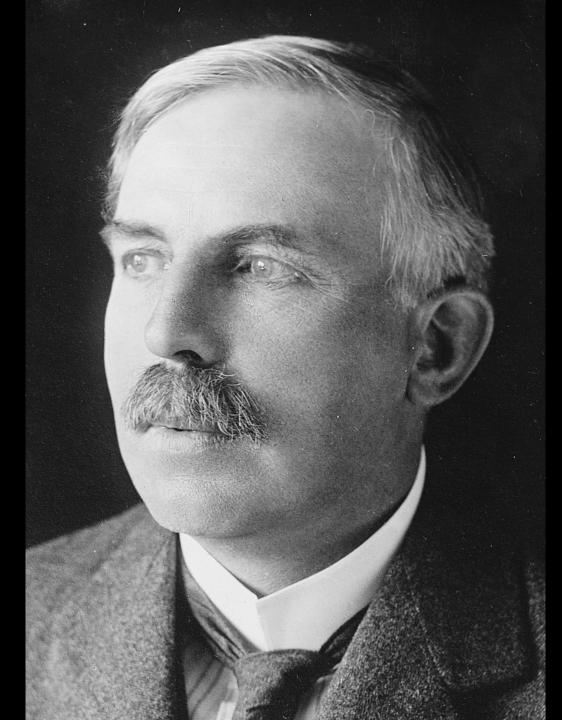


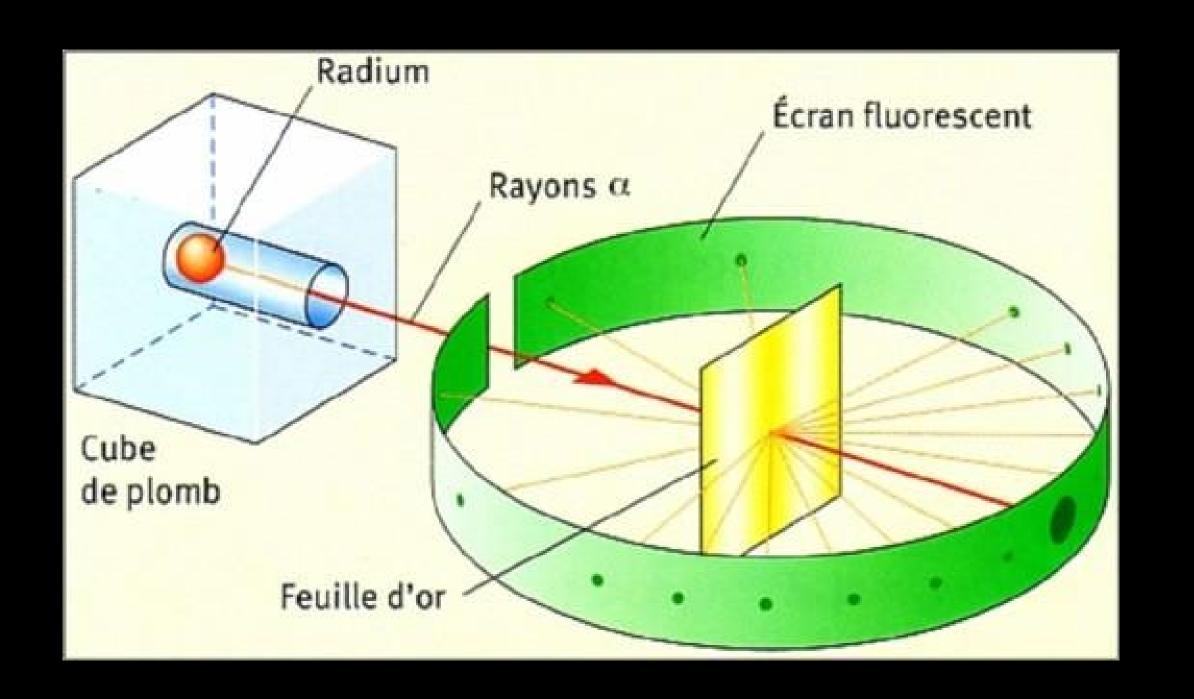
Les atomes ne sont pas insécables. Mise en evidence des électrons

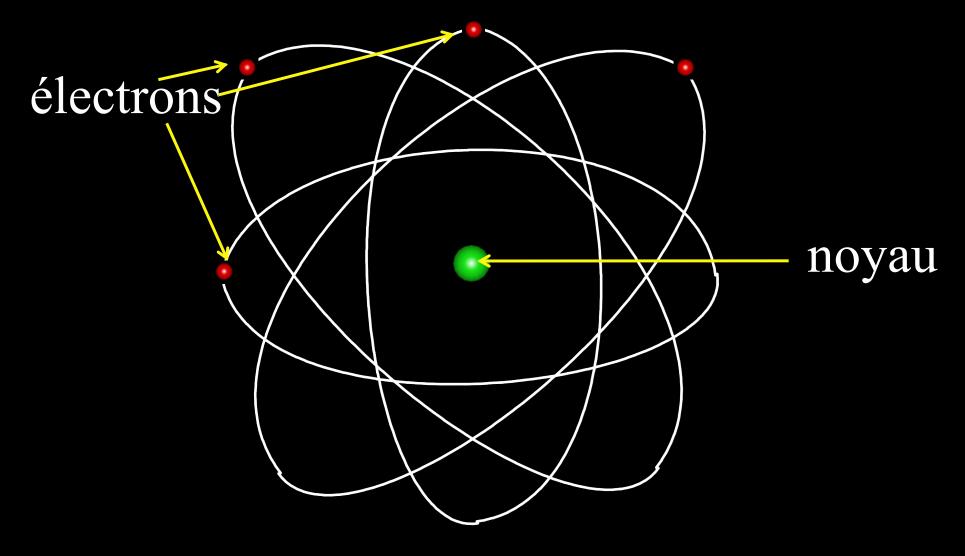
1904: Thomson: modèle de l'atome « plum pudding »



E. Rutherford 1909





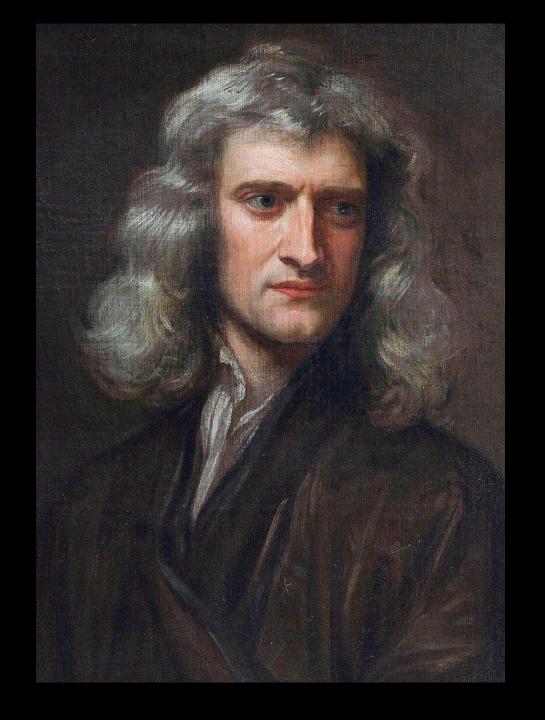


matière: 99,999... % ... de vide!

Qu'est-ce qui lie les éléments entre eux ?

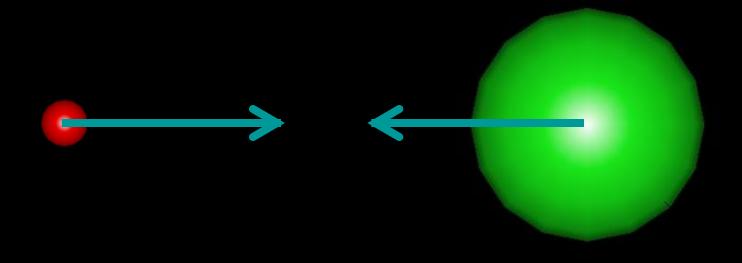
Les interactions, ou forces

La gravitation



Isaac Newton

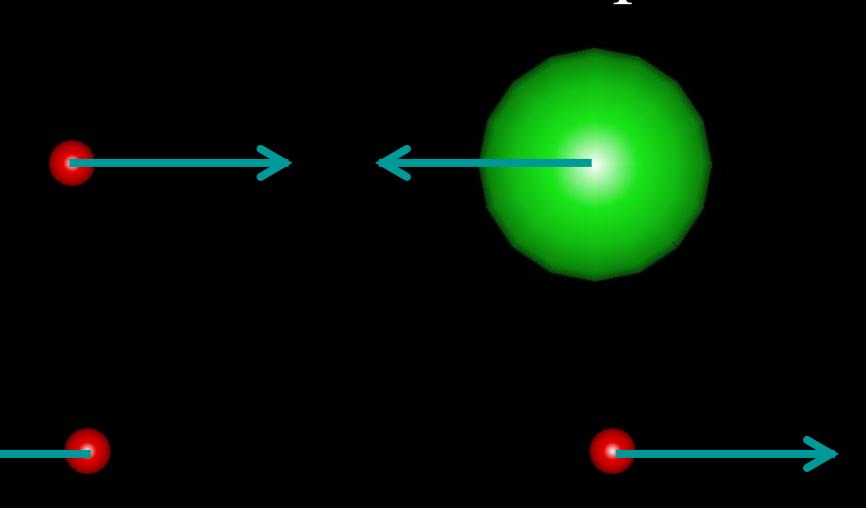
La gravité

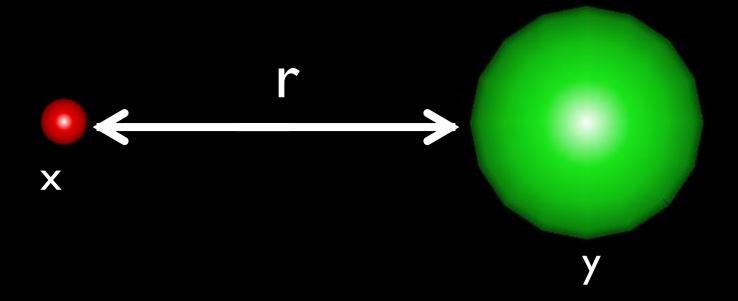




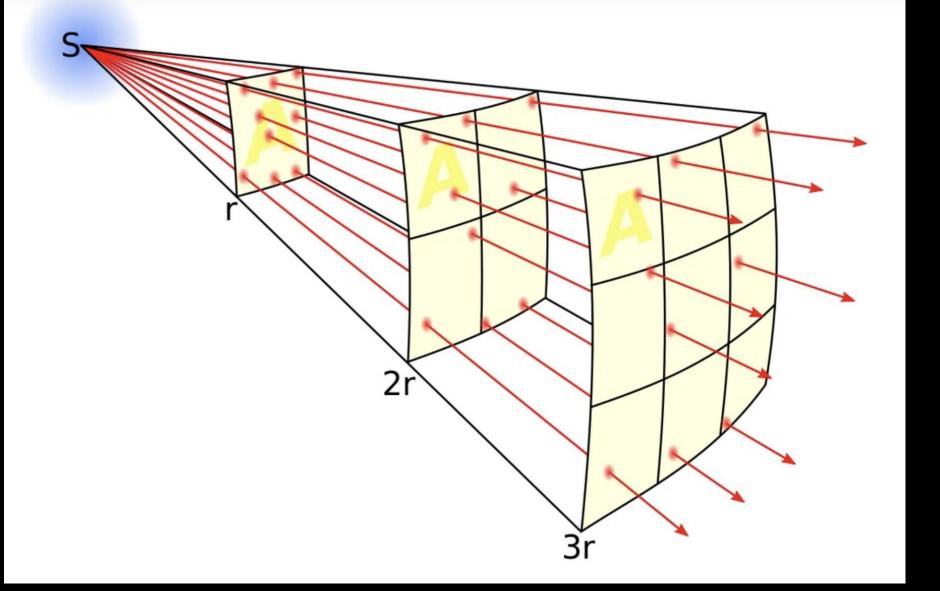
Charles de Coulomb

Force électrostatique





Force = $a.x.y/r^2$

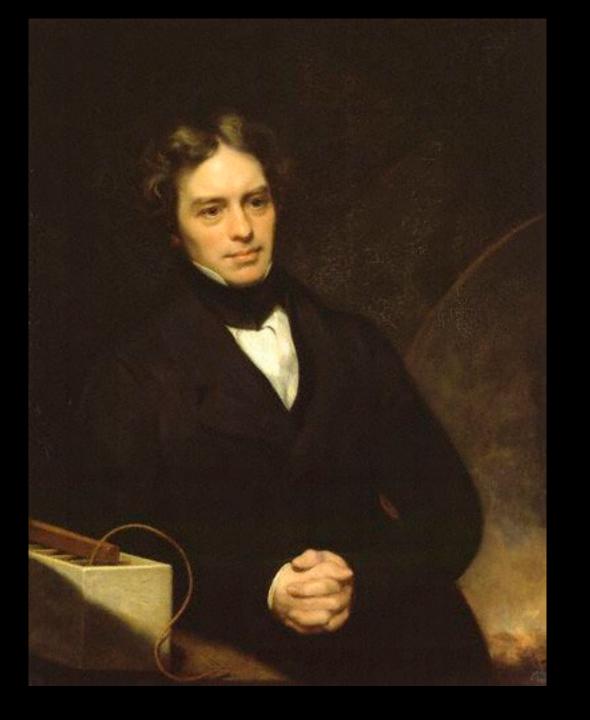


Force =
$$a.x.y/r^2$$

$$G = 6,67.10^{-11} USI$$

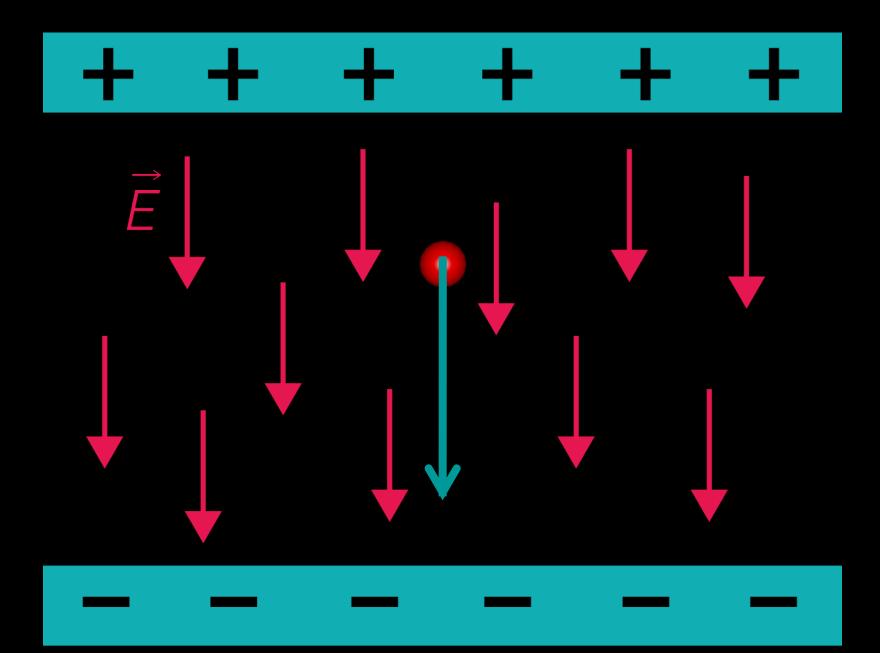
 $k = 9,0.10^{9} USI$

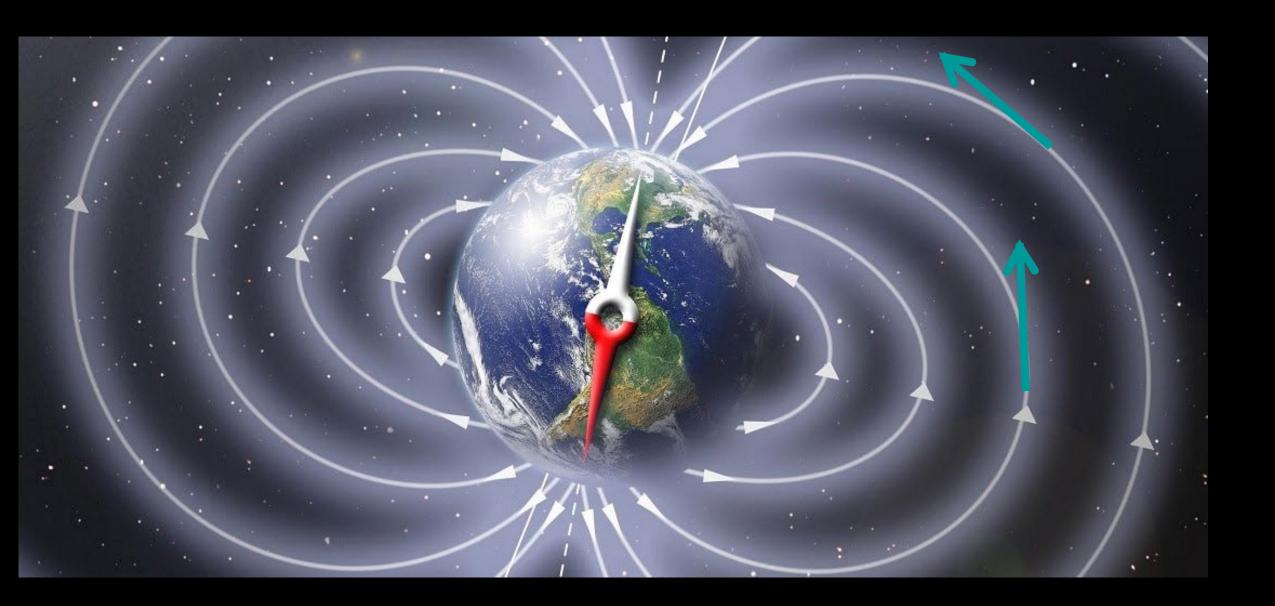
Pour les particules, on néglige la gravité



Michael Faraday:

Notion de champ

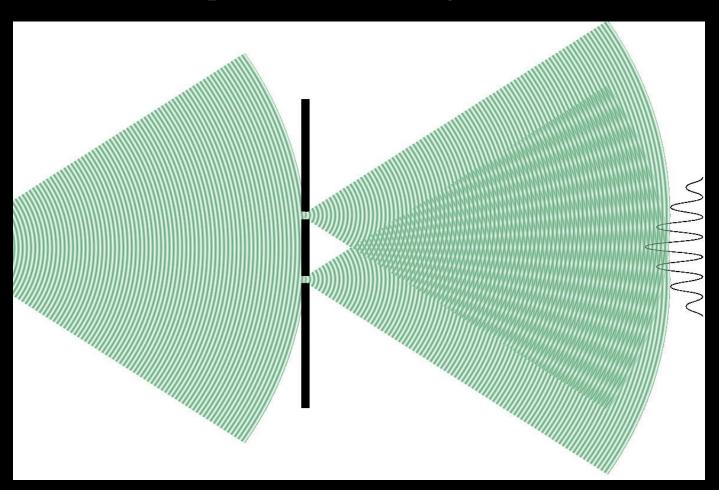




Nature de la lumière

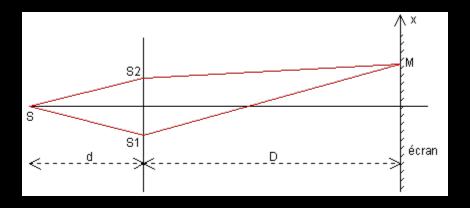
Newton: particules

Expérience de Young: 1801



Expérience de Young: 1801

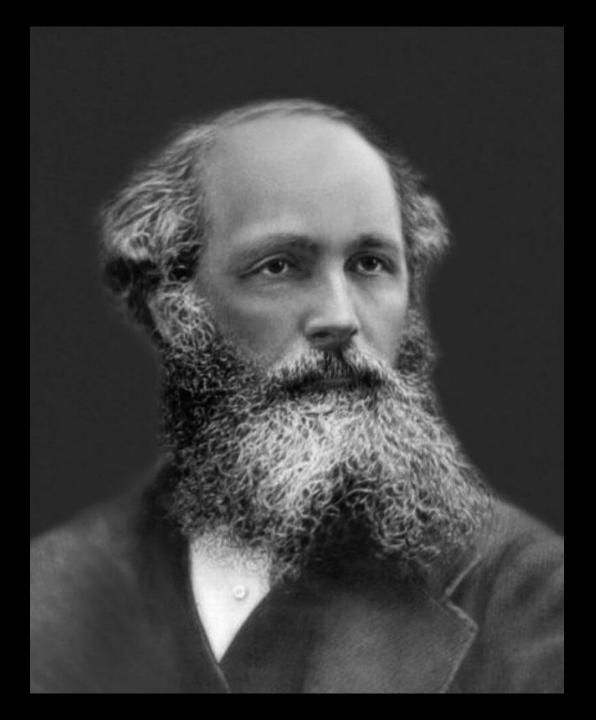
Expérience de Young: 1801



La lumière est une onde

La lumière est une onde

Qu'est-ce qui vibre?



James C. Maxwell:

électromagnétisme

$$\operatorname{div}(\vec{E}) = \frac{\rho}{\epsilon_0} \qquad \operatorname{rot}(\vec{E}) = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$
 (Maxwell-Gauss) (Maxwell-Faraday)

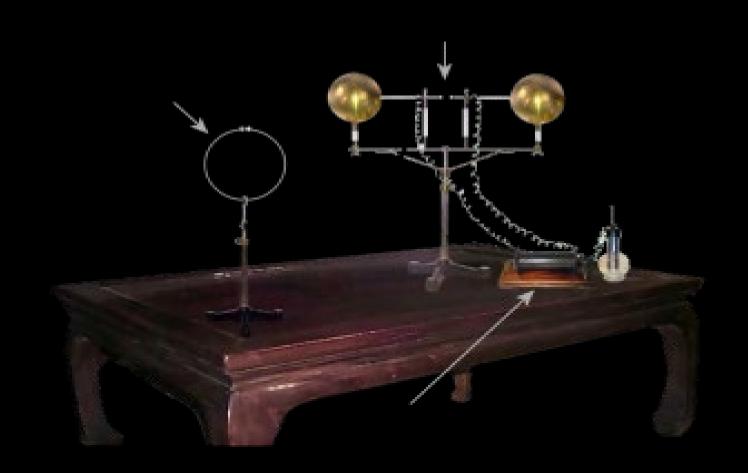
$$\operatorname{div}(\vec{B}) = 0 \quad \operatorname{rot}(\vec{B}) = \mu_0 \vec{J} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$
(Maxwell-Flux) (Maxwell-Ampère)

Maxwell: 1865

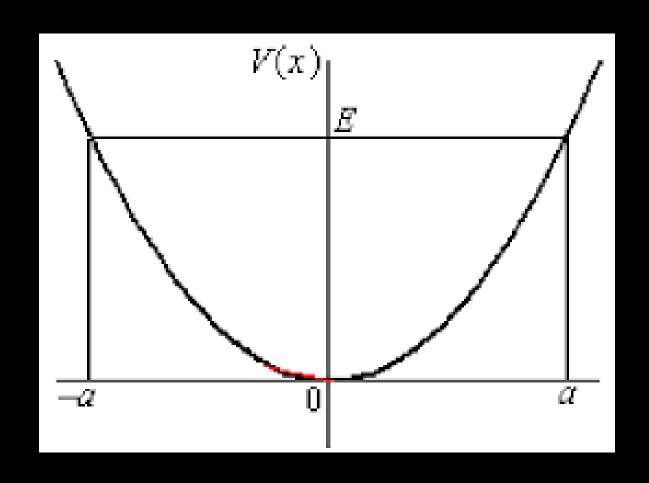
La lumière est une onde

électromagnétique

Expérience de Hertz: 1886-1888



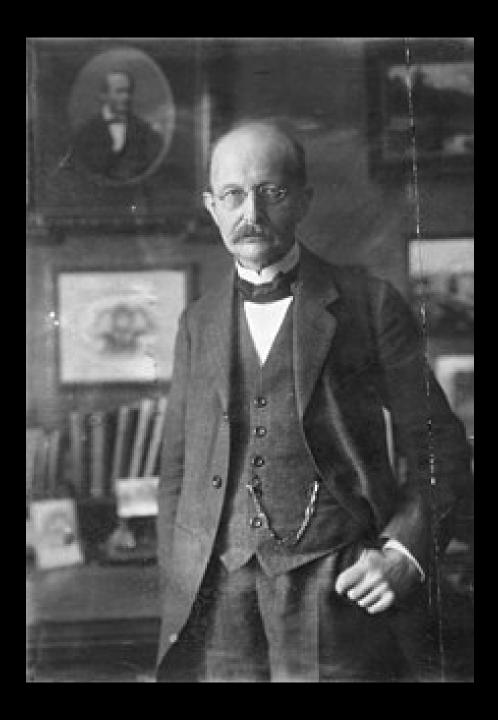
Oscillateur harmonique



1900:

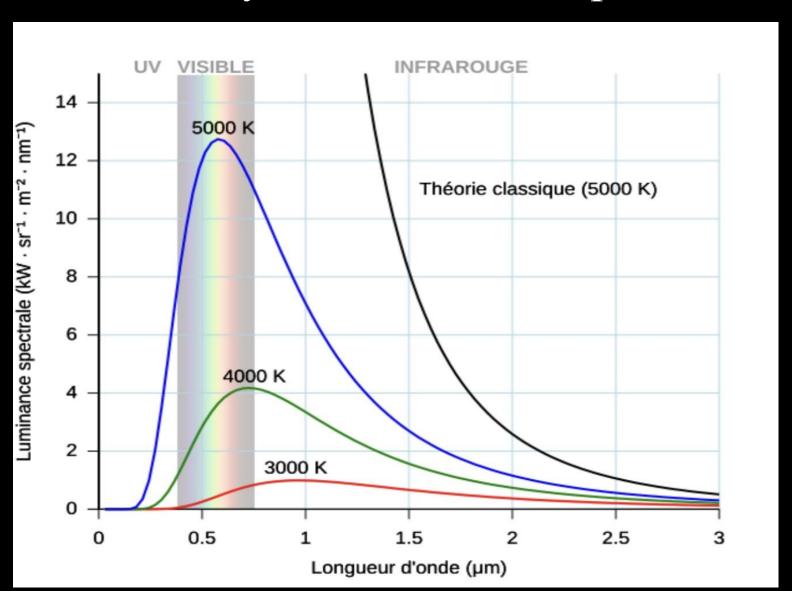
La physique est presque finie.

Erreur!

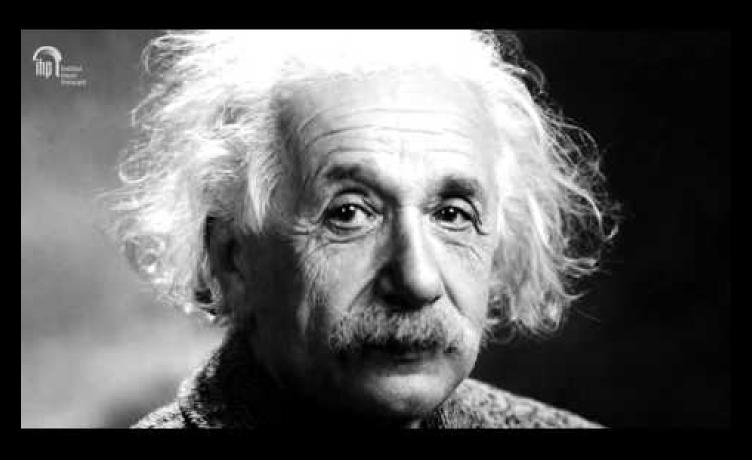


Max Planck

Max Planck
1900: rayonnement du corps noir



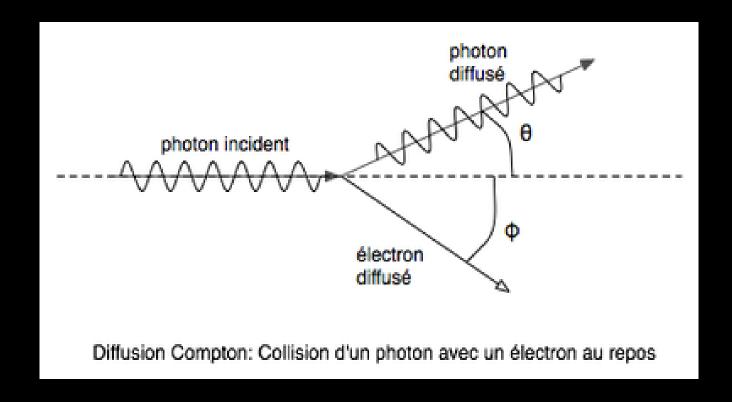
Quantification E = H.V

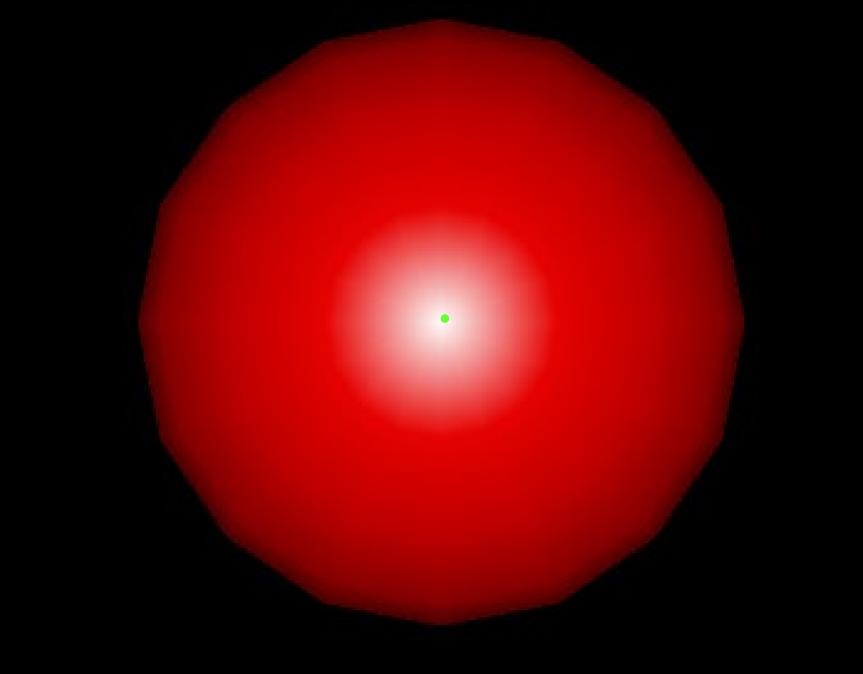


A. Einstein

Effet photoélectrique : les photons

Expérience d'Arthur Compton: 1923





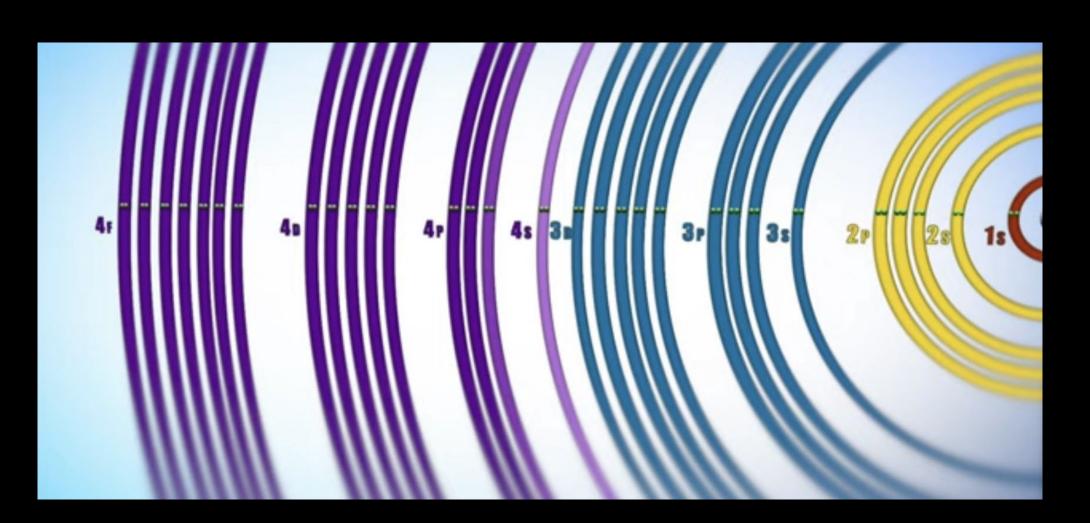
Wolfgang Pauli

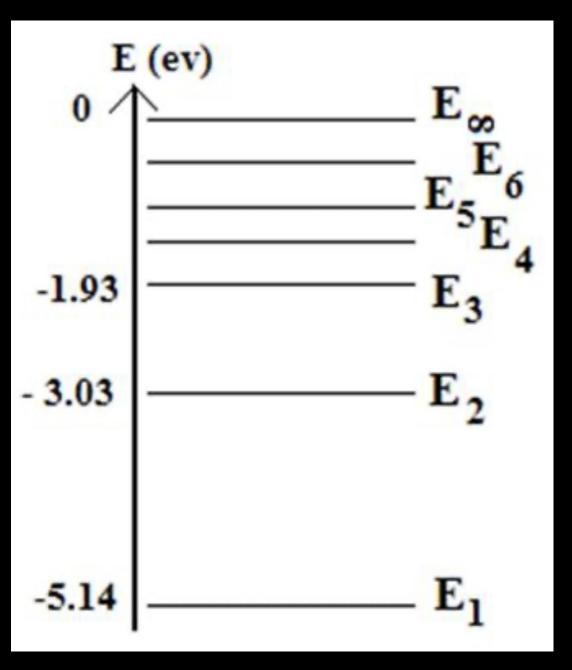


Principe d'exclusion: on ne peut pas mettre plusieurs fermions (spin ½) au même endroit

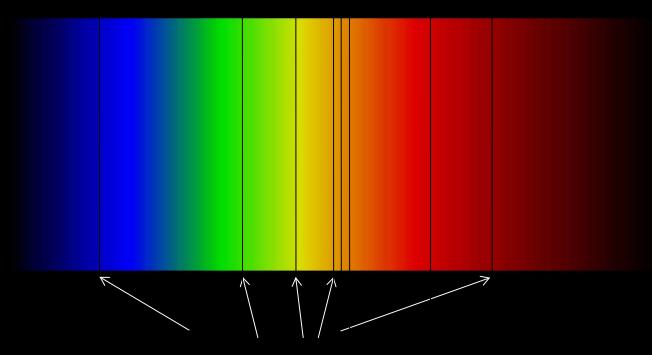
Bohr







Spectre d'une substance = signature



Raies d'absorption



Werner Heisenberg $\Delta v.x \ge h/2\pi$

Application: l'effet tunnel

Microspopie (10⁻⁹ m)
Catalyse enzymatique

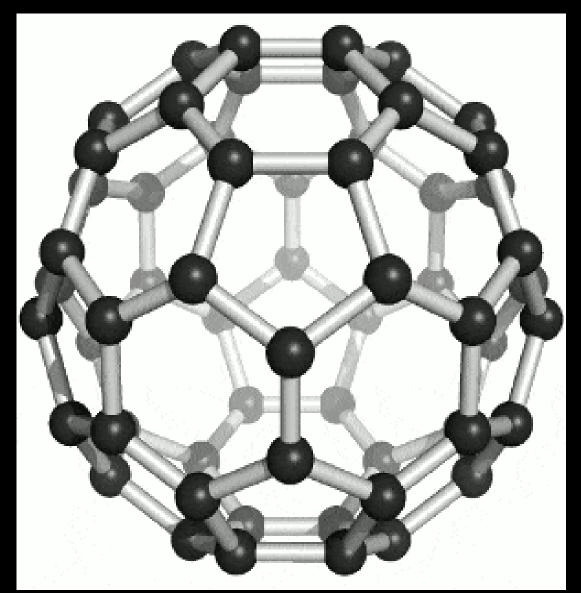


Louis De Broglie

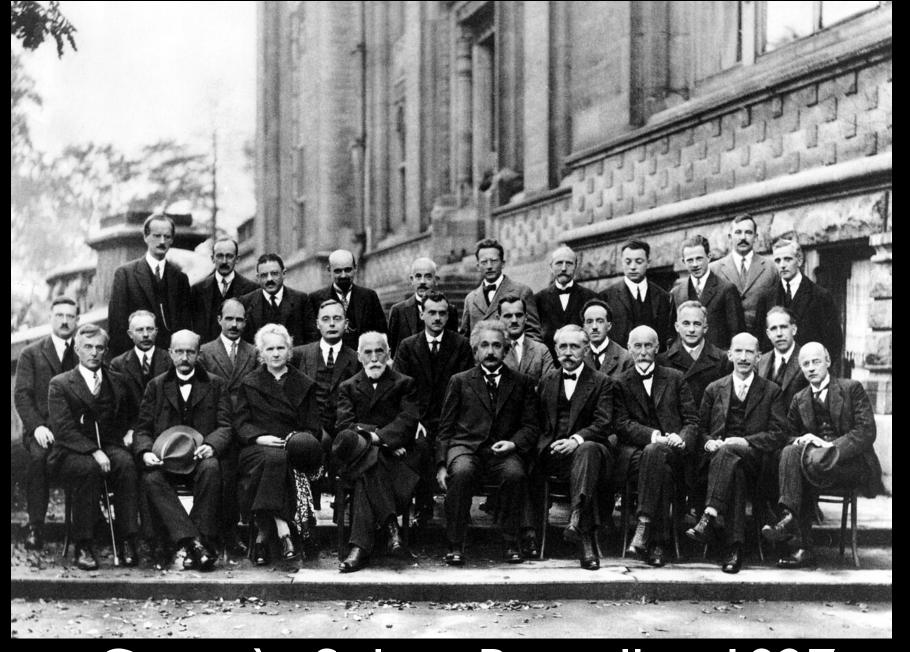
1925 : dualité onde – corpuscule généralisée

Intérférences d'électrons (1927)

2003 : interférences fullerène !



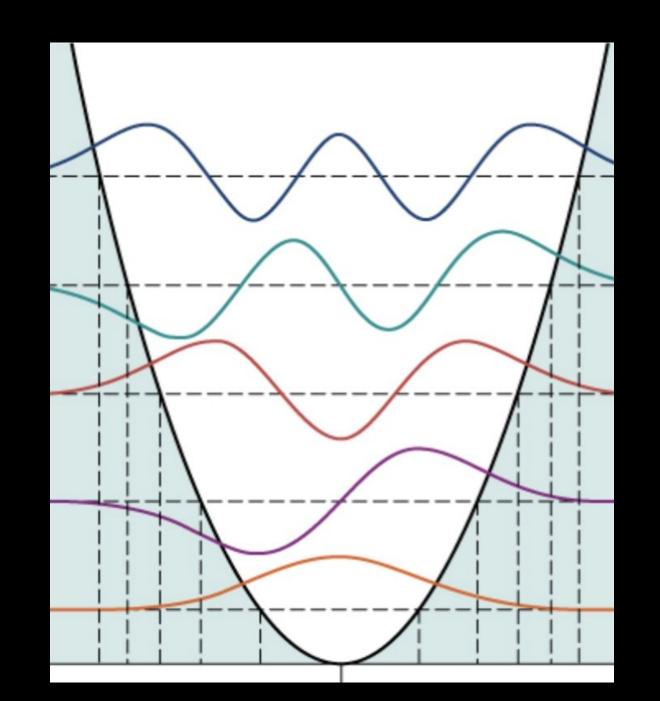
Compréhension des éléments chimiques, La chimie



Congrès Solvay, Bruxelles, 1927

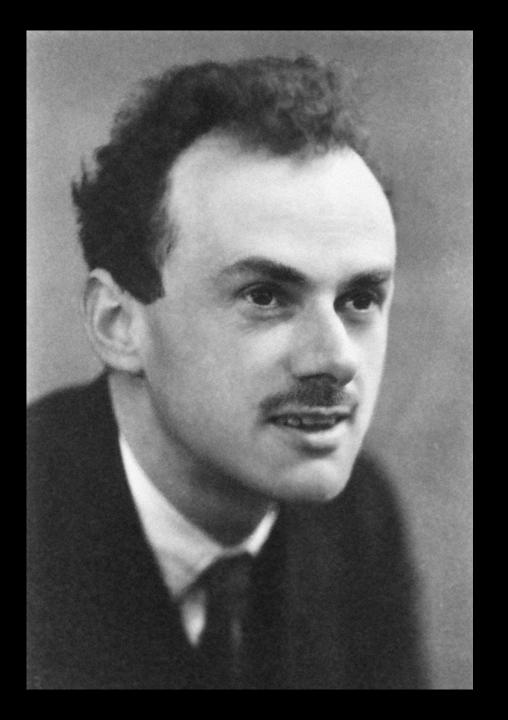
Les fonctions d'onde : équations de Schrödinger

$$H(\Psi) = E. \Psi$$



Problème : que signifie Ψ?

Ψ² donne la probabilité de présence de la particule



Paul Dirac

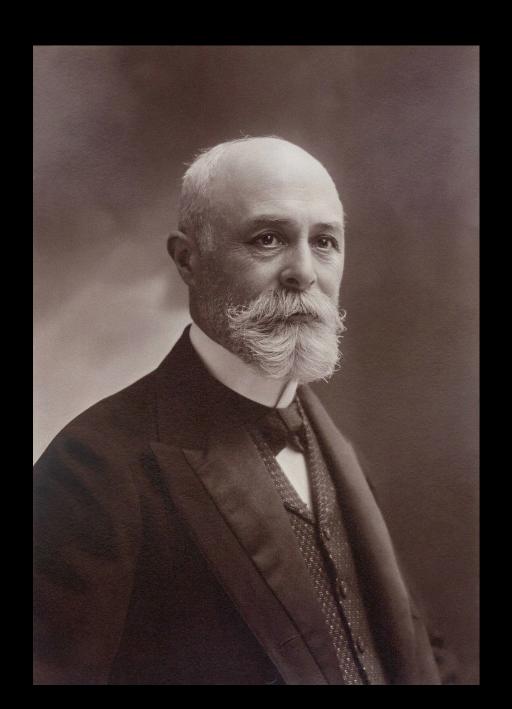
Il inclut la relativité et formule une équation relativiste :

naissance de l'électrodynamique quantique

l'électron est une particule élémentaire

Prédiction de l'anti-matière

Précision du modèle : 10-9!



1895, Becquerel: découverte de la radioactivité, soit l'instabilité de noyaux

Mise en évidence des nucléons : protons et neutrons

Dans le noyau : quelles forces agissent?

Résultats expérimentaux : les nucléons ne sont pas des particules élémentaires

Stabilité des noyaux, radioactivité:

Interaction faible

Les nucléons échangent des pions

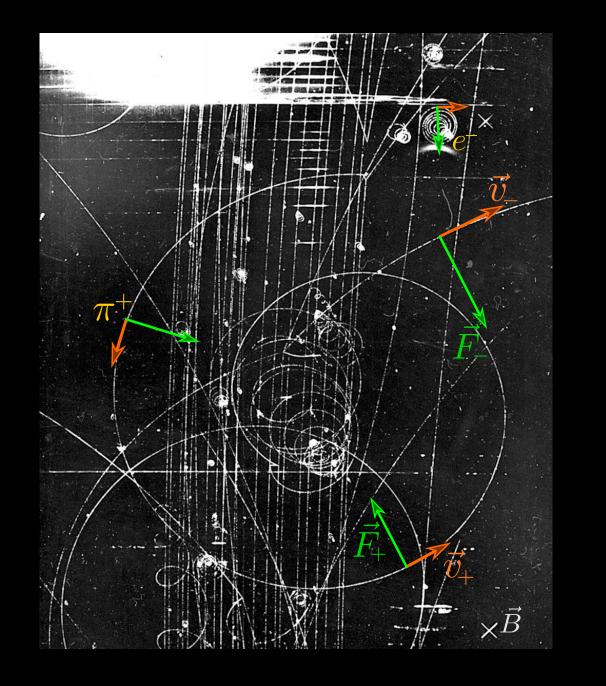
Durée de vie très brève : l'interaction faible n'agit qu'à très faible distance

1935 : recherche de nouvelles particules

En ballons, en montagne : détection du rayonnement cosmique.

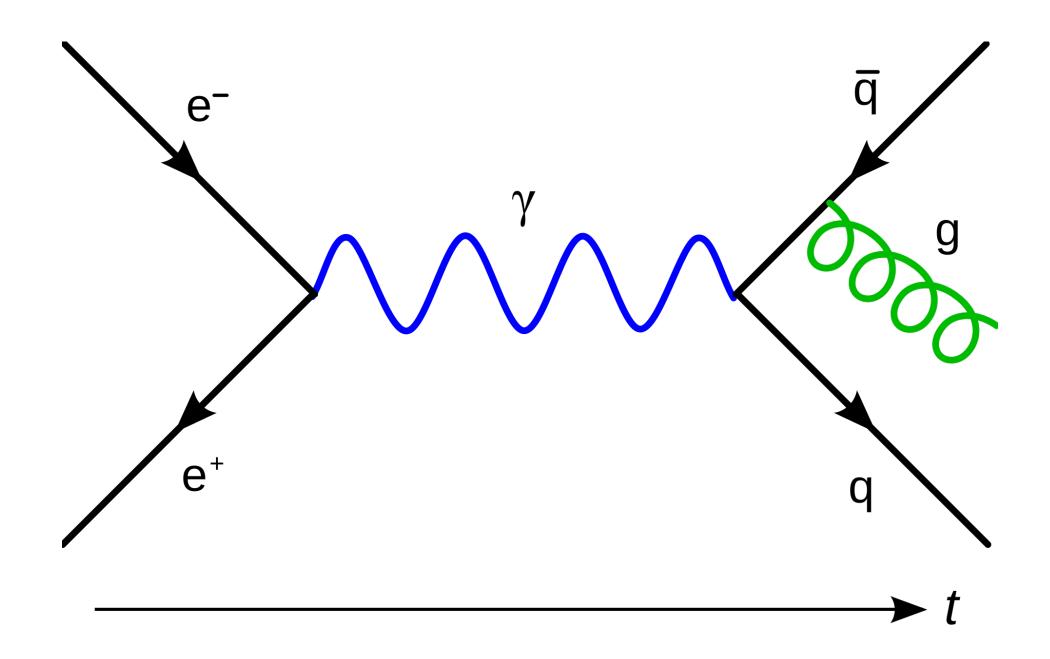
Un zoo de particules exotiques émerge : pions, muons...

Mise au point des premiers accélérateurs de particules





Richard Feynman



Julian Schwinger



L'espace peut être considéré comme une juxtaposition d'oscillateurs quantiques, d'où peuvent émerger des particules et anti-particules

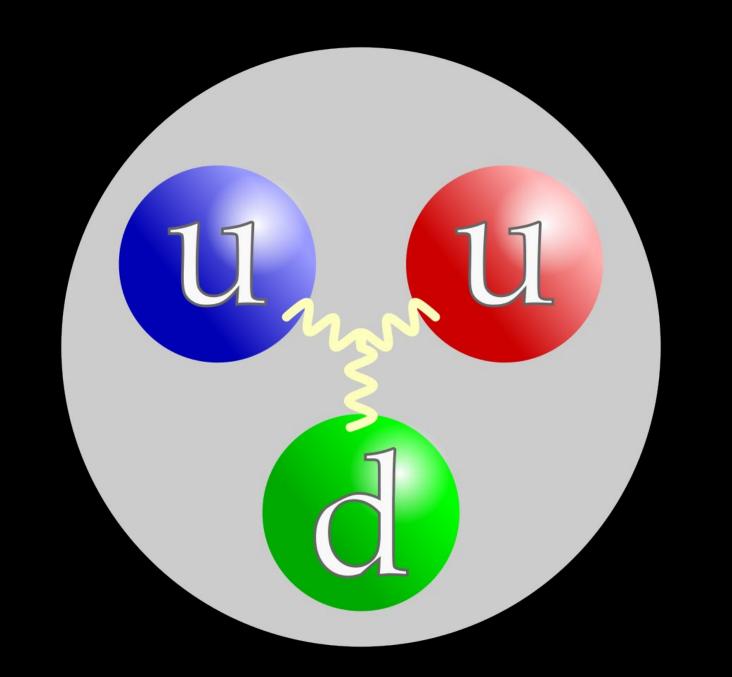


Murray Gell-Mann

Chromodynamique quantique:

Les nucléons sont faits de quarks.

Quarks sont groupés par 3 (nucléons) Par deux (pions)

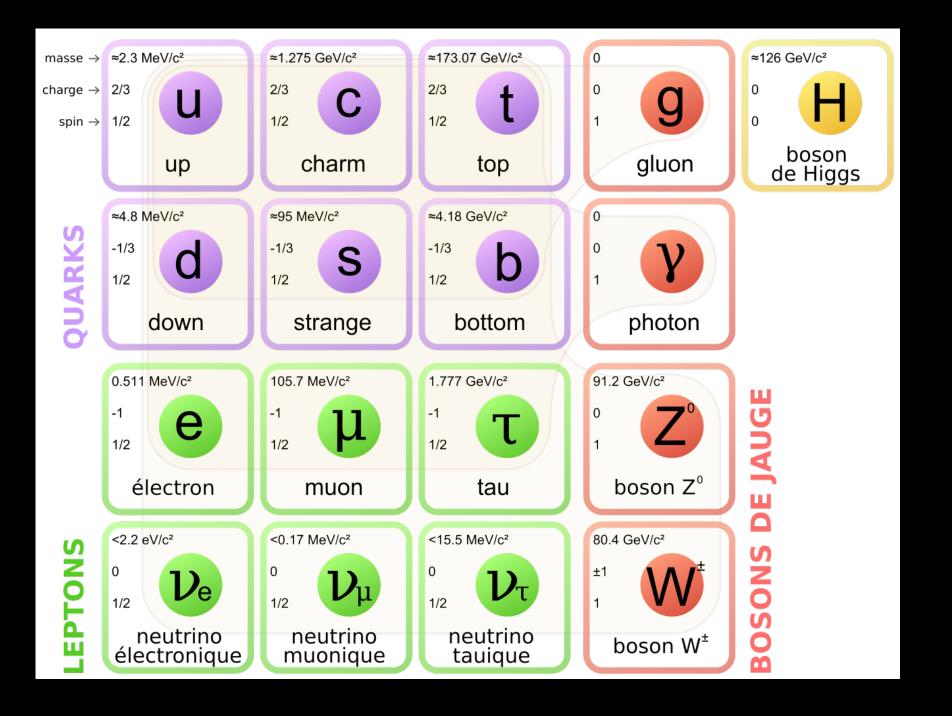


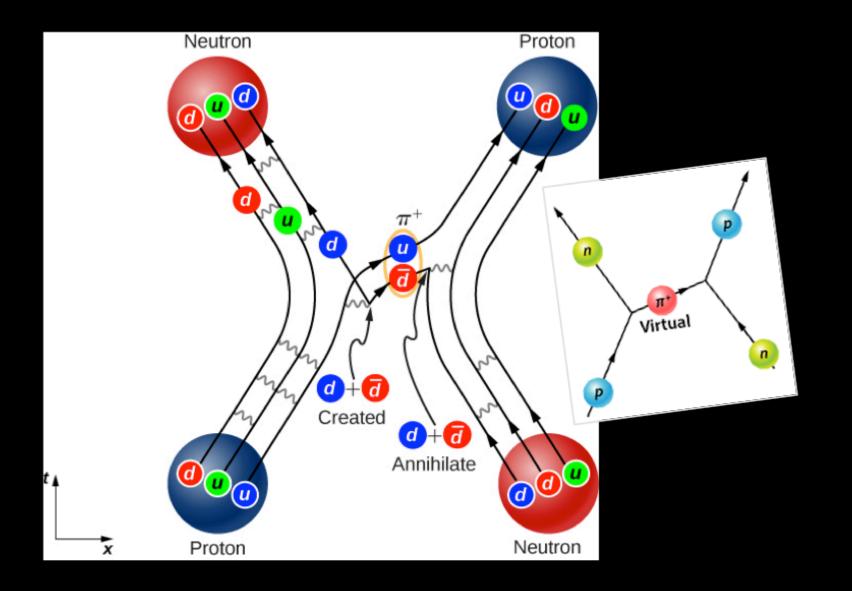
Couleur des quarks : interaction forte

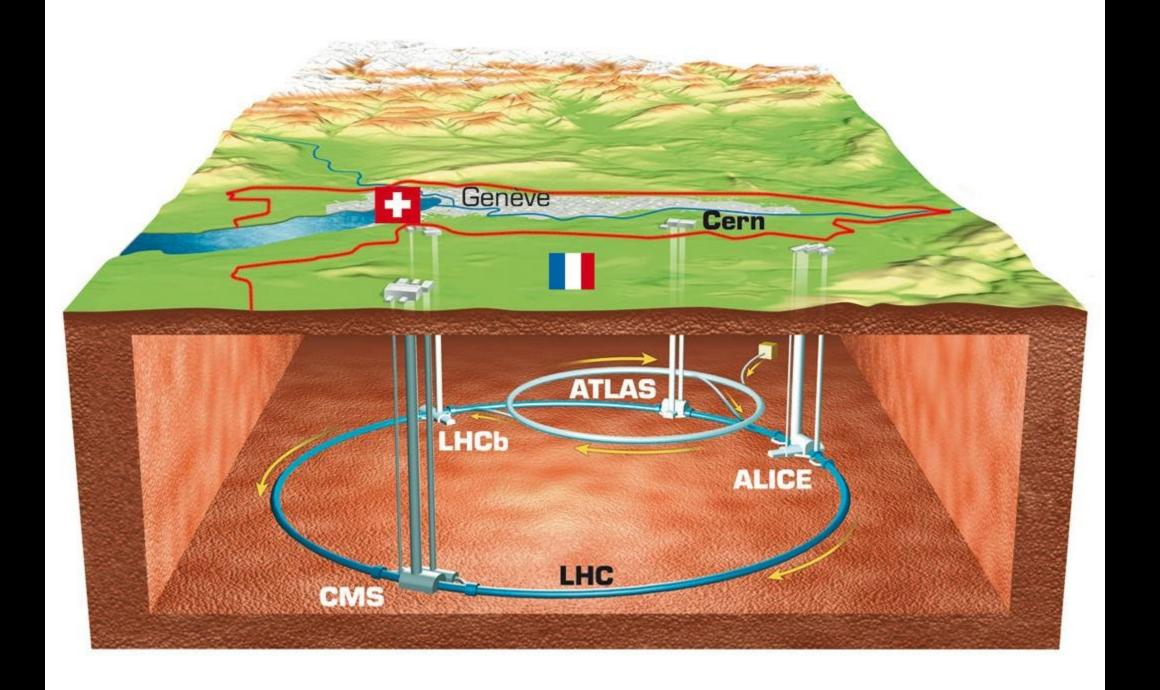
A faible distance, elle n'est pas intense.

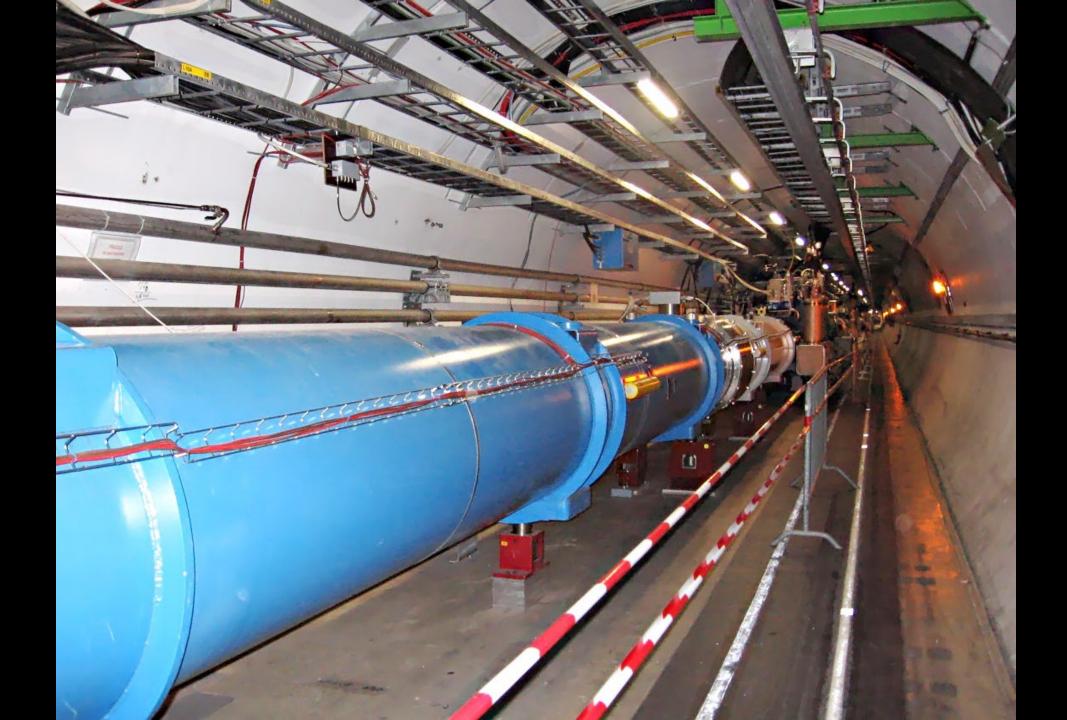
Confinement par la force de couleur : il est impossible d'observer un quark libre

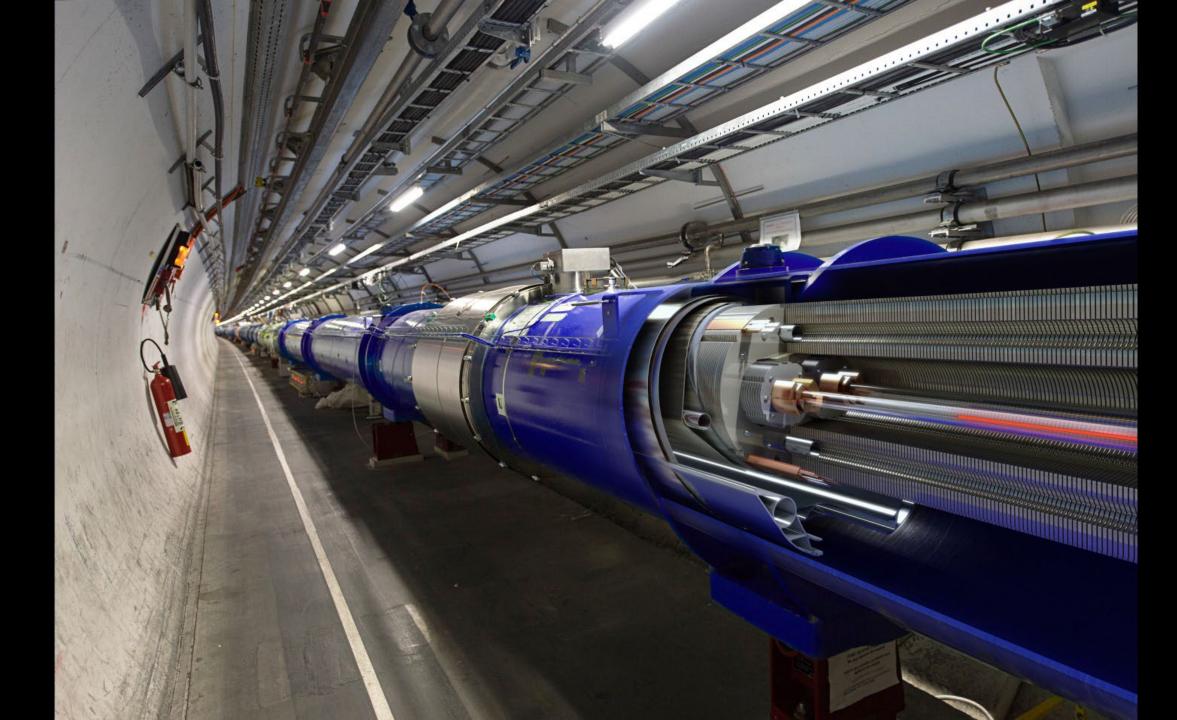
Le modèle standard : la matière, l'énergie, les phénomènes ondulatoires sont décrits par les mêmes objets mathématiques.













 $E = m.c^2$

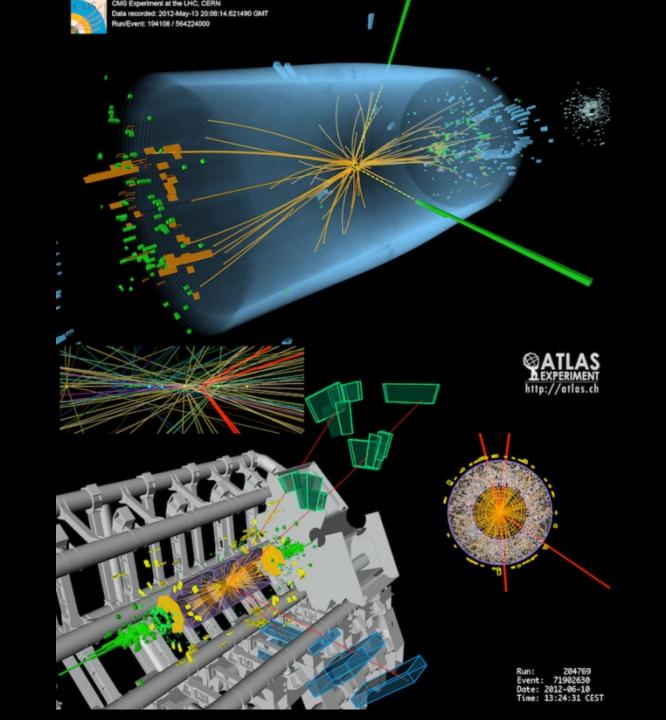
v = 99,99999991.c

E = E0 + Ec

E0 = 940 MeVEc = 7 TeV = 7 000 000 MeV

Besoin de très nombreuses collisions

développement des ordinateurs



Conclusion: le modèle qui explique TOUT n'a jamais été aussi proche, s'il nous est accessible

Perspectives:

théorie qui inclut la gravitation

Les cordes

Supersymétrie

Autre piste : préons

GUTs:

SO(10) SU(5)

Problème : le proton est instable

Mesure de la durée de vie d'un proton :

 $> 10^{33}$ ans

Matière anti-matière : pourquoi y a-t-il de la matière dans l'univers ?

Inconvénient : plus on en sait, plus on réalise qu'on sait peu de choses.

On recherche une explication du tout, on obtient des explications sur des fragments

C'est déjà pas si mal!

Fin de l'illusion des Lumières

Des modèles simples ne permettent pas de tout comprendre

Prolifération des pseudo sciences

Aspect probabiliste : liberté possible ?

Aspect très positif : le monde est infiniment plus riche que nous ne pouvons l'imaginer.



Physics is like sex:
It may have some practical results,
but that is not why we do it.