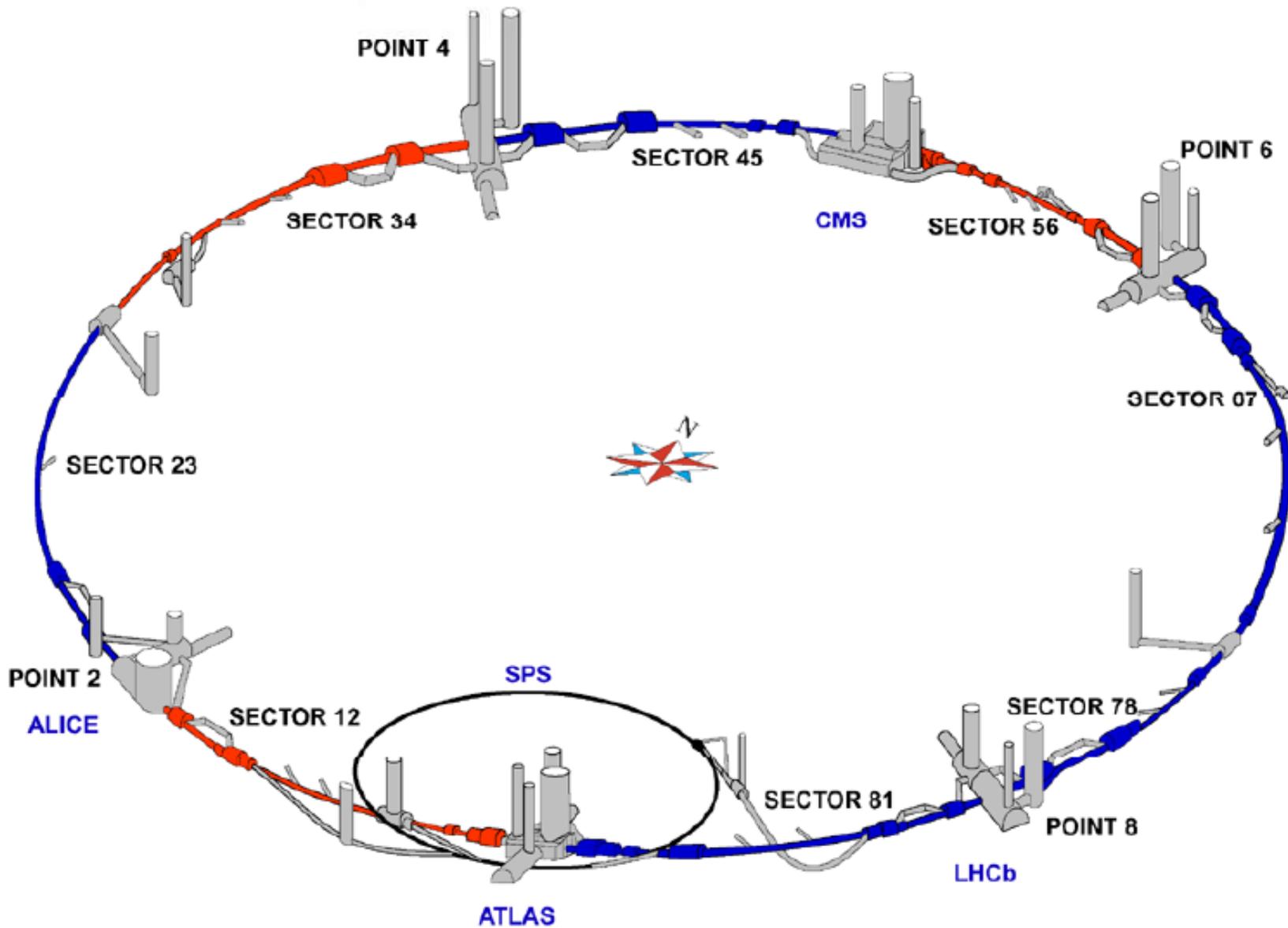


Le Centre Européen pour la Recherche Nucléaire  
(CERN) ou  
Laboratoire Européen pour la Physique des Particules  
>50% des physiciens des particules  
budget annuel de l'ordre de celui de l'hôpital de Genève



# LHC - large hadron collider - collisionneur de protons



# LHC

E : énergie de centre de masse

14 TeV ( $10^{12}$  électronVolt)

Vitesse des protons

0.999999991 × vitesse de la lumière (7 TeV)

L : luminosité  $\sim 10^{33}$  particules/cm<sup>2</sup>/s

○ <Faisceau> de particules énergétiques

paquets de particules: 300  $\mu\text{m}$  X 300  $\mu\text{m}$  X N cm

$\sim 10^{11}$  particules /paquet



○ Chambre à vide où les particules se déplacent

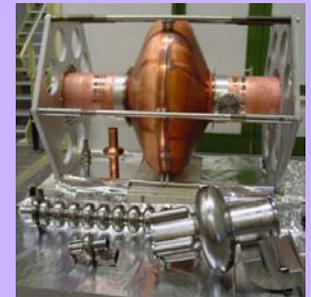
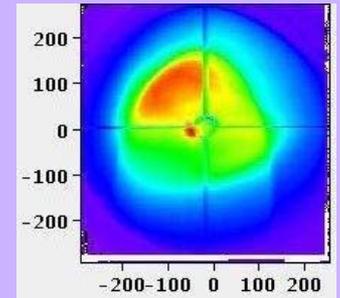
10 X plus vide que sur la lune

○ Champ électromagnétique → accélérer particules

○ Champs magnétiques pour orienter/focaliser faisceaux  
dipoles, quadrupoles, sextupoles, octupoles

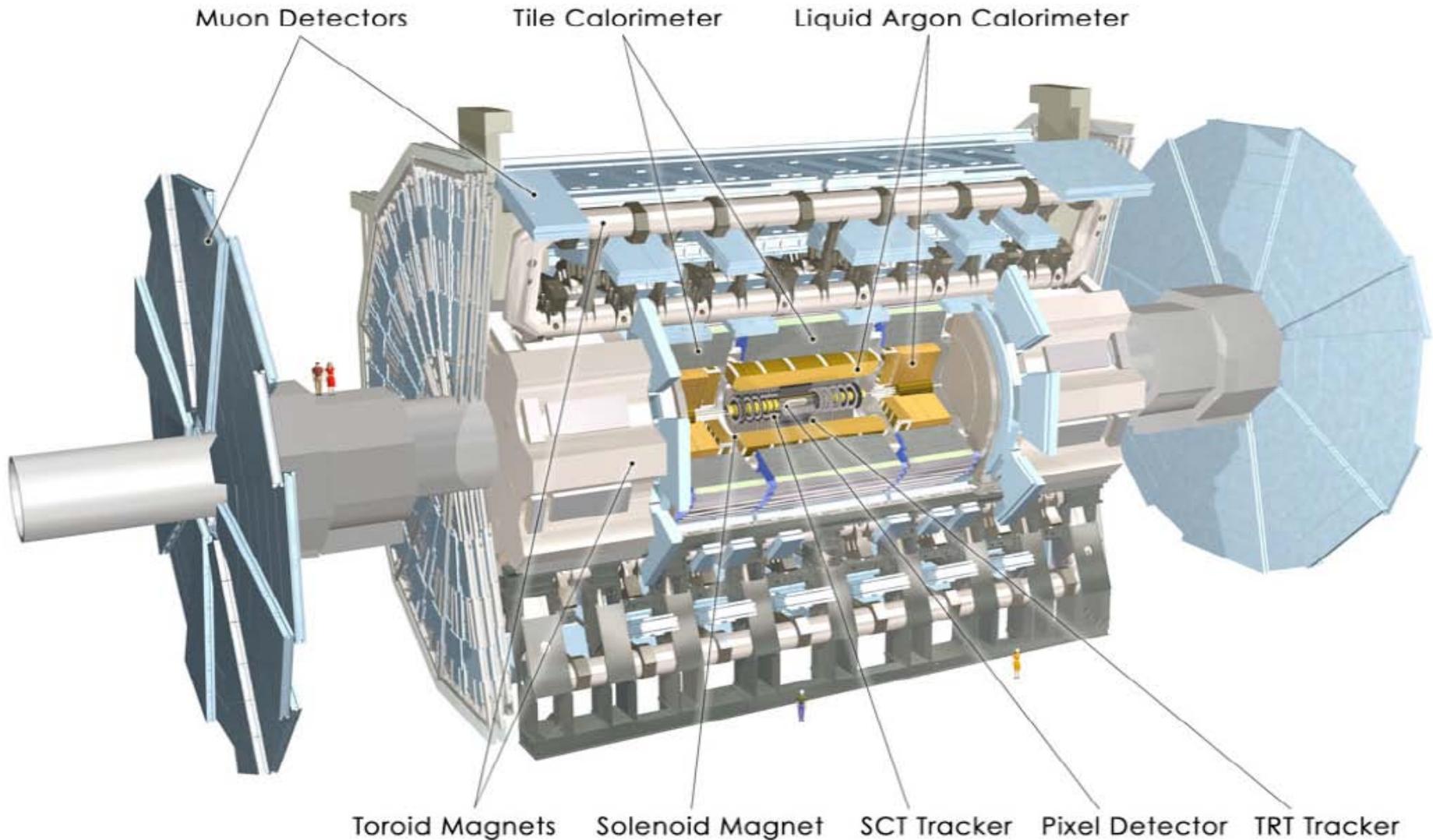


○ Lieu de collisions : détecteurs

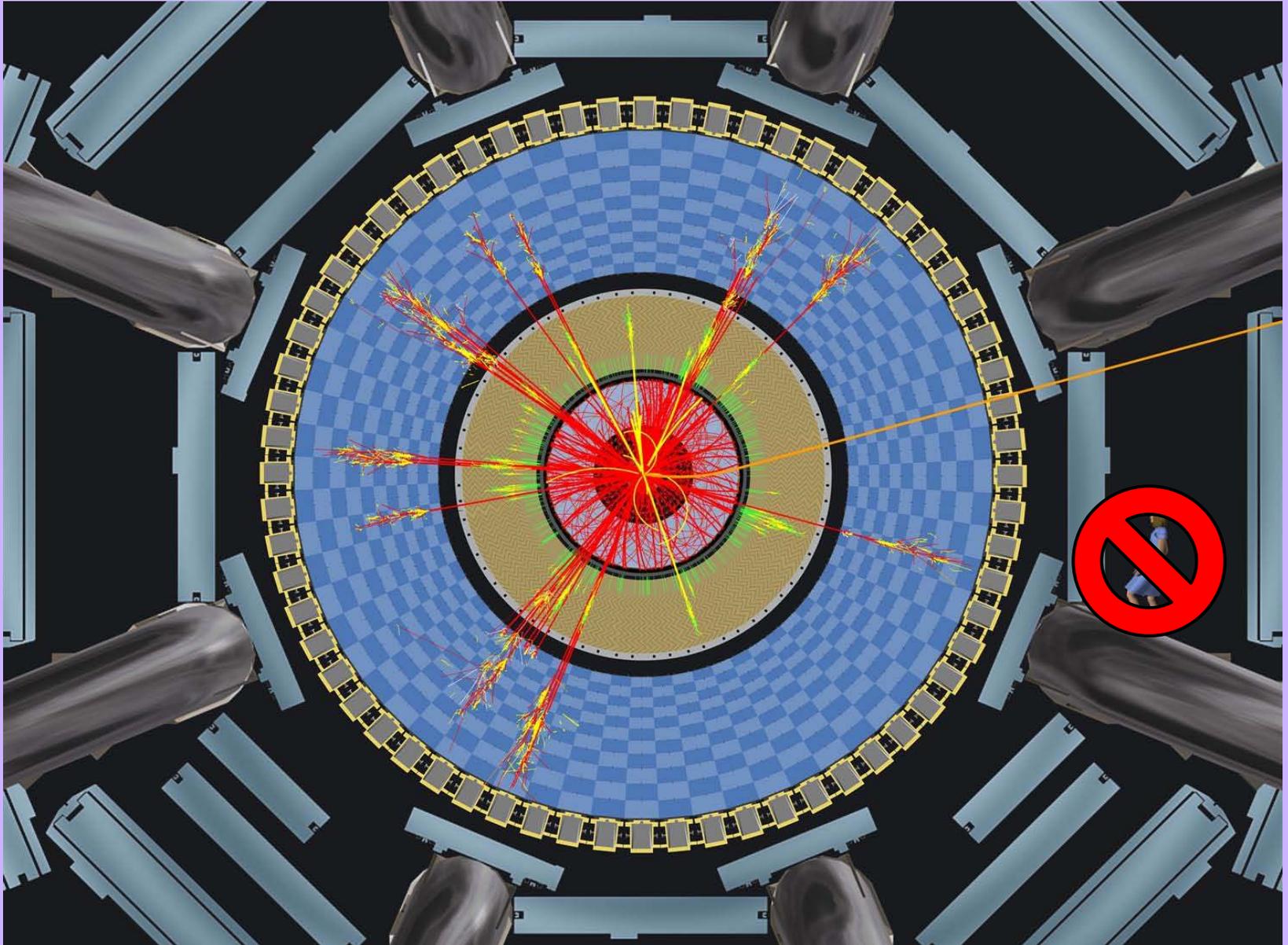


# Le détecteur ATLAS

## A Toroidal LHC Apparatus



Une simulation d'un micro trou noir se désintégrant dans le détecteur ATLAS



A quoi ça sert ?

# Pourquoi des accélérateurs/détecteurs de particules



○ Pour sonder la matière:  
infiniment petit ↔ extrêmement énergétique

Rutherford a bien sondé l'atome  
avec des particules alpha

○ Recréer un environnement chaud et dense,  
similaire à celui des débuts de l'Univers

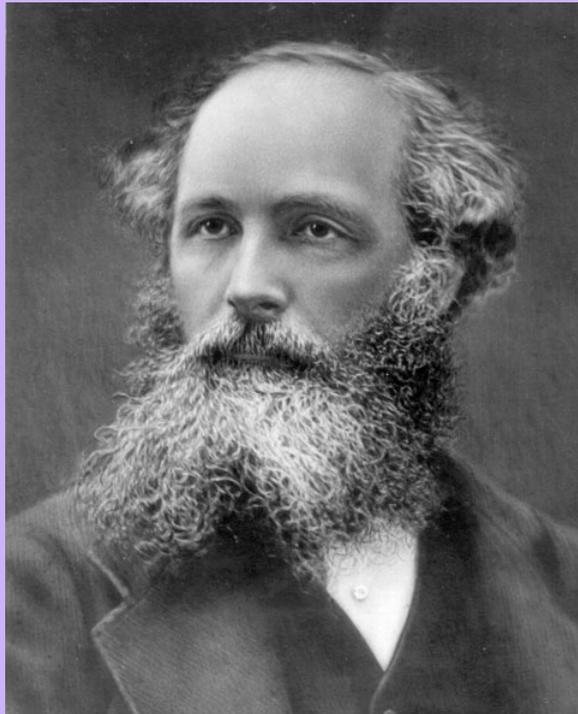


# Au 19<sup>e</sup> siècle

Maxwell (1831-1879) et ses équations

Force électrique et force magnétique unifiées  
Symétrie : une seule interaction électro-magnétique

P.S. Et aussi, conséquence de ses équations,  
la vitesse de la lumière est constante quel que soit le référentiel de mesure

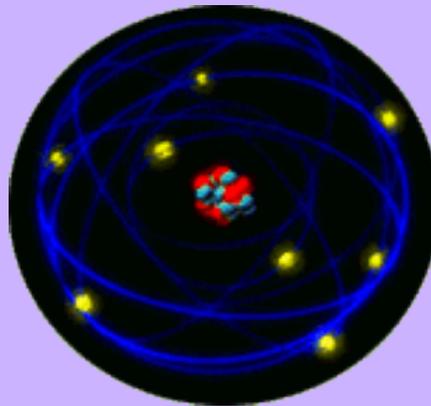


Rutherford (1871-1937) néo-zélandais, Nobel 1908

sonde l'atome avec des particules alpha

Il découvre que l'atome est quasiment vide et qu'il a un noyau très dur.

Niels Bohr (1885-1962) danois, Nobel 1922



Protons(+) chargés positivement au centre  
avec électrons(-) chargés négativement tout autour.

Pourquoi les électrons ne sont ils pas attirés par les protons?

Logiquement, l'atome devait s'écrouler!

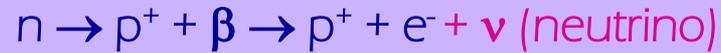
Bohr introduisit une idée révolutionnaire:

seules certaines orbites étaient permises aux électrons d'un atome,  
l'énergie des électrons étant quantifiée : physique quantique est née!

En physique quantique,  
une particule n'est plus représentée par un point unique  
mais par une équation/fonction de probabilité

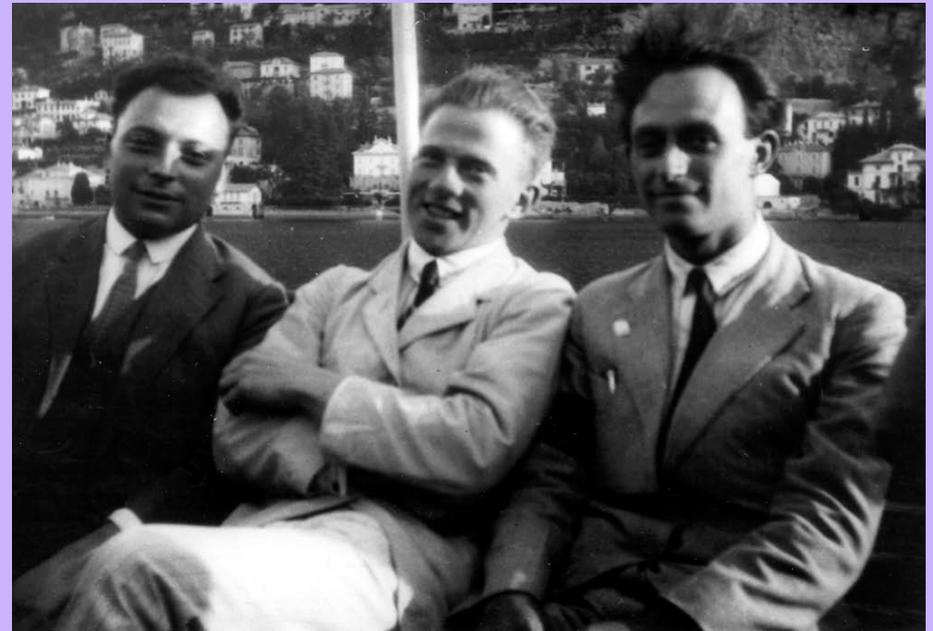
Enrico Fermi (1901-1954) italien, Nobel 1938  
Une étoile parmi les génies.

1933 Il suggéra l'existence d'une autre force fondamentale pour expliquer la désintégration du neutron en proton (radioactivité):



La force nucléaire faible

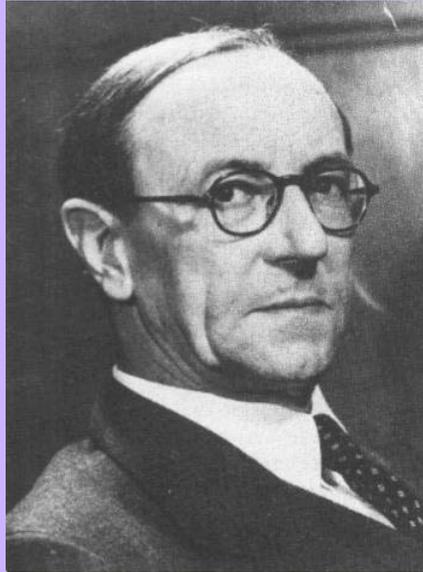
Pauli, Heisenberg, Fermi 1930



Inspiré par les écrits de Dirac, Pauli et Heisenberg (quanticiens): les champs des forces fondamentales pouvaient être remplacés par des particules transporteuses de forces:

e.g. force électromagnétique  $\rightarrow$  photon

Chadwick (1891-1974) 1928 Nobel 1935



Les neutrons, particules neutres,  
cohabitent dans le noyau avec les protons,  
chargés positivement.  
Quelle force les lient tous?

La force nucléaire forte

# 1930

o Forces → interactions → champs / « particules » transmetteuses

ÉlectroMagnétique – photon ( $\gamma$ )

Nucléaire Faible - ?

Nucléaire Forte - ?

Gravitationelle - ?

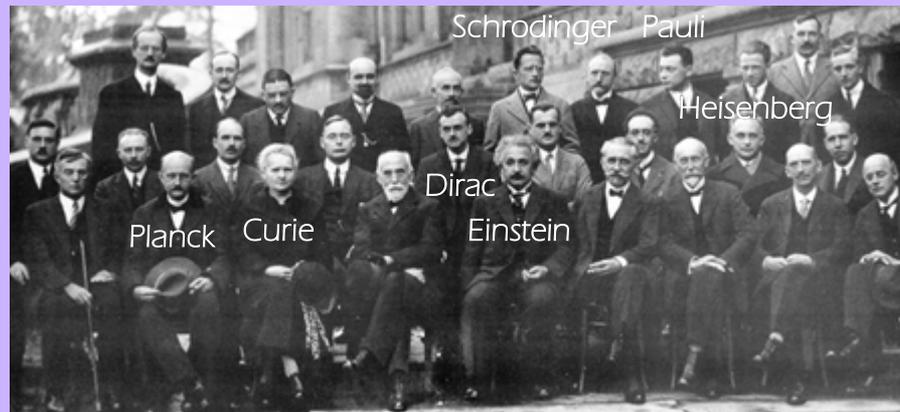
o Particules constituantes de la matière  
électron (e), neutrino ( $\nu$ ), protons, neutrons

o Spin

demi-entier « fermion » (électron, neutrino, proton, neutron :  $\frac{1}{2}$ )

entier « boson » (photon : 1)

o Particule → Anti-particule



2011

# « Modèle Standard » des particules élémentaires

3 générations de *fermions* constituants de la matière

## quarks

soumis à la force nucléaire forte

1- Up - Down

2- Charme - Strange

3- Top - Beauté

## leptons

pas soumis à la force nucléaire forte

électron  $e^-$  -  $\nu_e$  neutrino

muon  $\mu^-$  -  $\nu_\mu$

tau  $\tau^-$  -  $\nu_\tau$

matière légère  
"normale"

+lourde

++lourde

N.B.

Hadron = particule composée de quarks e.g.

proton =  $u+u+d$

neutron =  $u+d+d$

2011

# 4 forces/interactions fondamentales du « Modèle Standard » et leurs particules « transmetteuses » : les *bosons*

Interaction

transmetteurs

masse

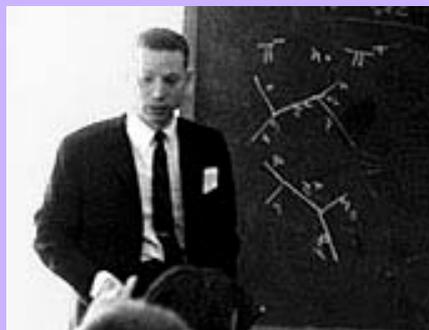
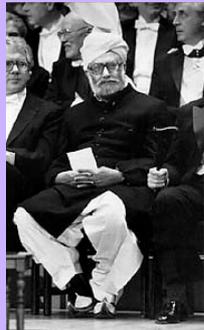
- Gravitationelle
- ÉlectroMagnétique
- Nucléaire Faible
- Nucléaire Forte

graviton?  
photon  $\gamma$   
 $W^{\pm}, Z^0$   
gluon

peut être  
non  
oui  
non

Unification Électrofaible

Glashow, Salam et Weinberg



Richard Feynman



Unification des interactions  $\leftrightarrow$  symétries

Mais symétries requièrent des transmetteurs de masse nulle

photon transmetteur de l'interaction électromagnétique est de masse nulle  
mais bosons électrofaibles  $W$  et  $Z \sim 100$  fois plus massifs que le proton

Glashow, Salam et Weinberg

mécanisme pour « briser » la symétrie

champ de Higgs

→ une espèce de mélasse dans laquelle l'Univers est englué

avant la brisure bosons de masse nulle → après la brisure  $W^\pm$   $Z^0$  massifs

et le Higgs donne aussi une masse aux fermions.

Boson de Higgs :

WANTED

# Chasse au Higgs au LHC avec le détecteur ATLAS mais aussi

- Comprendre les interactions fondamentales (nucléaire forte, électrofaible, gravitationnelle)
  - Étudier les bosons électrofaibles
  - Étudier les quarks lourds : top, beauté, charme
- Recherche de la physique au delà du Modèle Standard  
e.g. Super-Symétrie (SUSY), dimensions supplémentaires