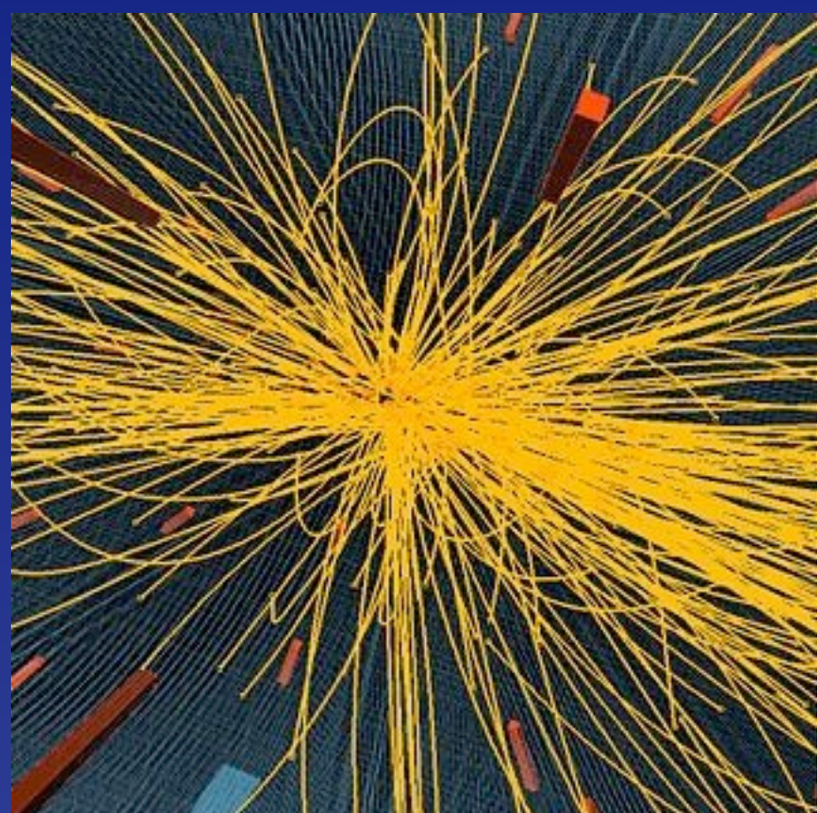
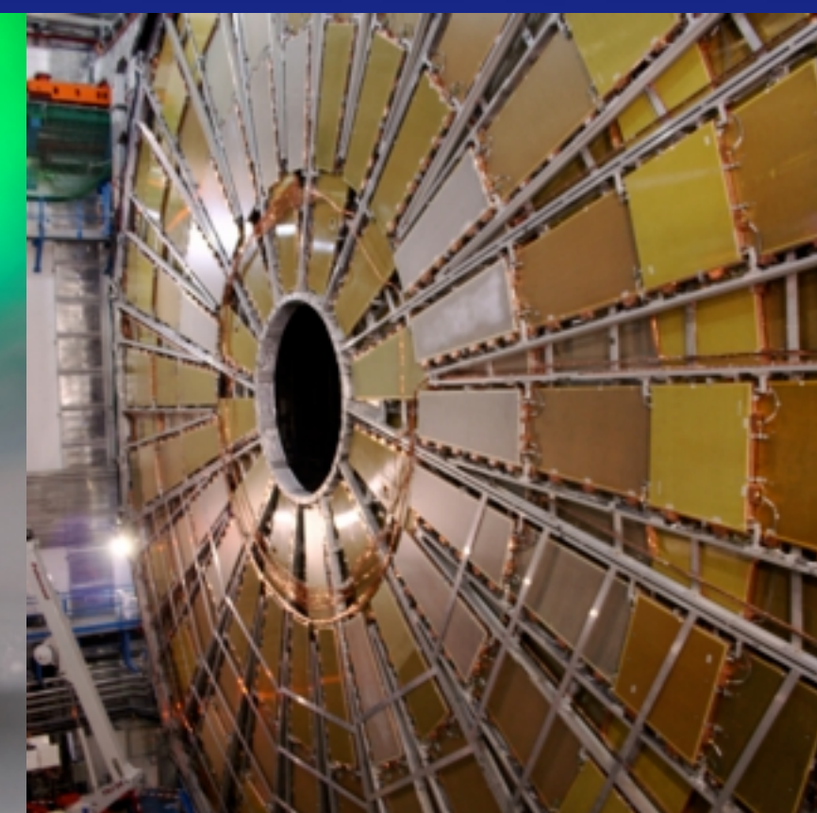
Les révolutions à venir en physique des particules

Chris Quigg





L'atome est devenu réalité au XXe

Jean Perrin, *Les Atomes* (1913)

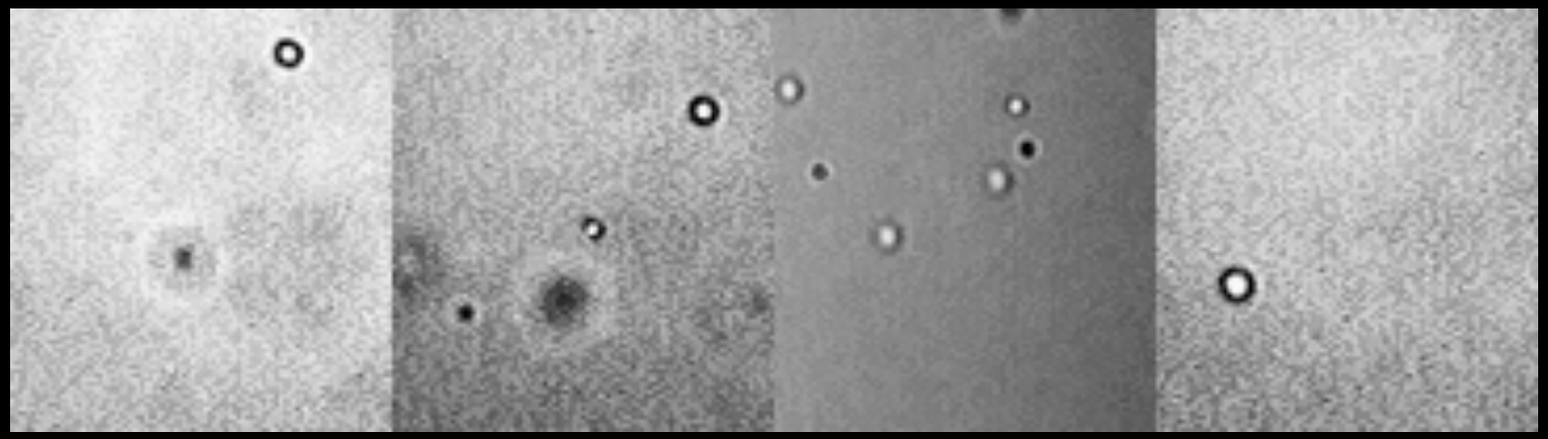
Si nous étudions une machine, nous ne nous bornons pas à raisonner sur les pièces visibles, qui pourtant ont seules pour nous de la réalité tant que nous ne pouvons pas démonter la machine. Certes, nous observons de notre mieux ces pièces visibles, mais nous cherchons aussi à *deviner* quels engrenages, quels organes *cachés* expliquent les mouvements apparents.

Deviner ainsi l'existence ou les propriétés d'objets qui sont encore au-delà de notre connaissance, *expliquer du visible compliqué par l'invisible simple,* voilà la forme d'intelligence intuitive à laquelle, grâce à des hommes tel que Dalton ou Boltzmann, nous devons l'atomistique …

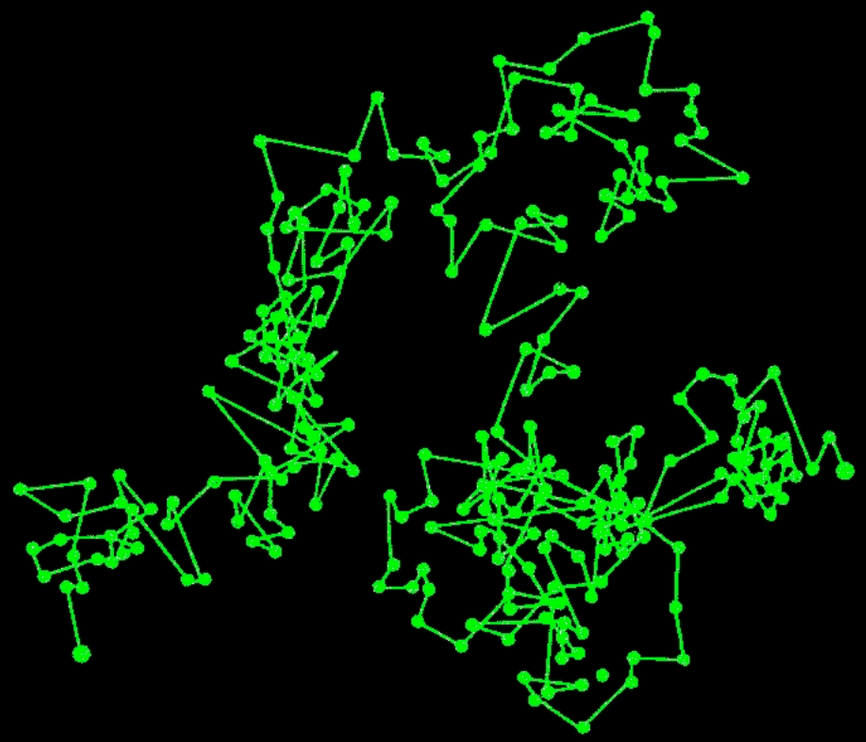
Prix Nobel 1926
pour son travail sur la structure discontinue de la matière

… expliquer du visible compliqué par l'invisible simple

Jean Perrin



Eric Weeks, Emory U.



5. *Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen;*

von A. Einstein.

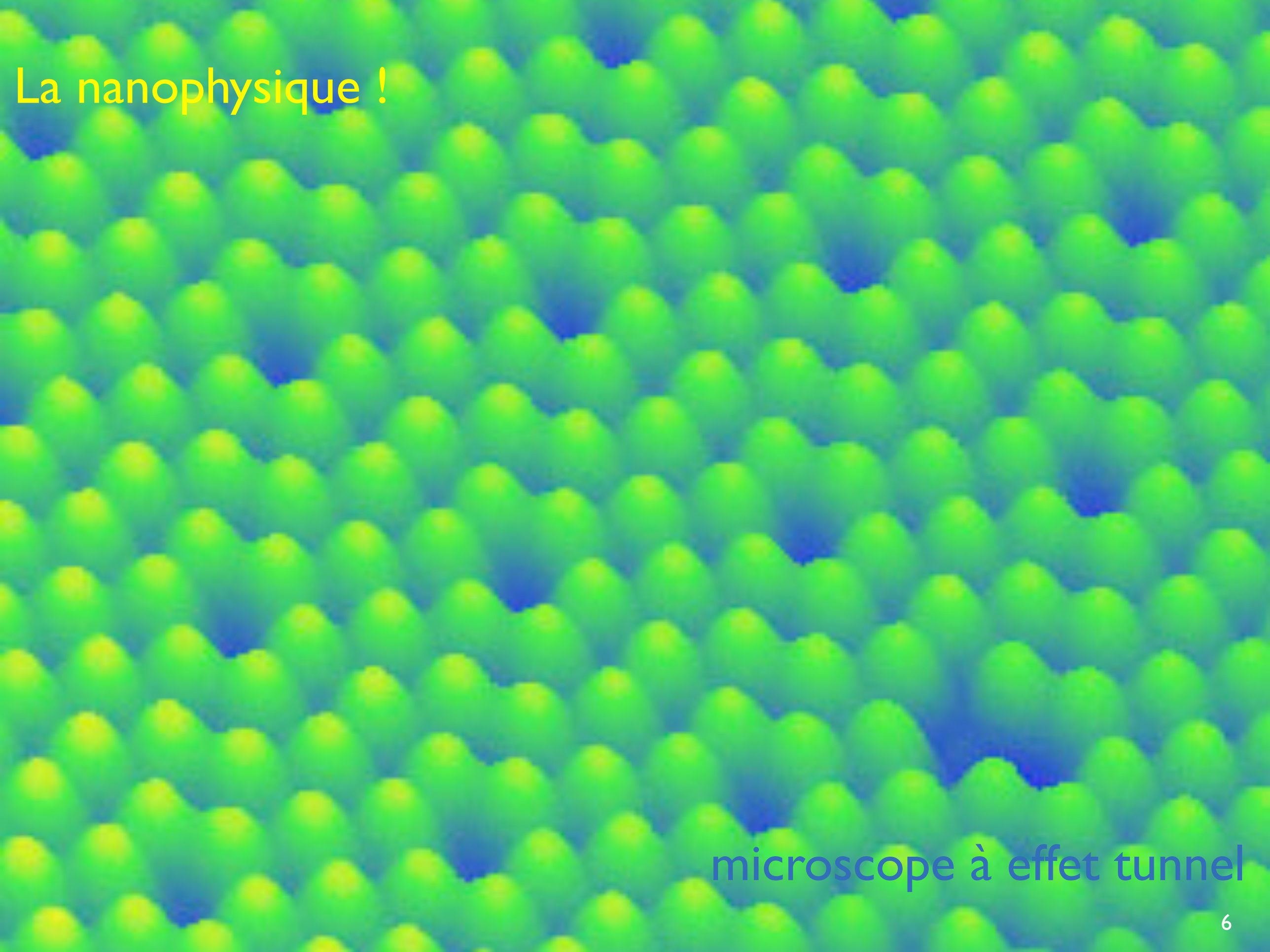
In dieser Arbeit soll gezeigt werden, daß nach der molekularkinetischen Theorie der Wärme in Flüssigkeiten suspendierte Körper von mikroskopisch sichtbarer Größe infolge der Molekularbewegung der Wärme Bewegungen von solcher Größe ausführen müssen, daß diese Bewegungen leicht mit dem Mikroskop nachgewiesen werden können. Es ist möglich, daß die hier zu behandelnden Bewegungen mit der sogenannten „Brownschen Molekularbewegung" identisch sind; die mir erreichbaren Angaben über letztere sind jedoch so ungenau,
[1] daß ich mir hierüber kein Urteil bilden konnte.

Wenn sich die hier zu behandelnde Bewegung samt den für sie zu erwartenden Gesetzmäßigkeiten wirklich beobachten läßt, so ist die klassische Thermodynamik schon für mikroskopisch unterscheidbare Räume nicht mehr als genau gültig anzusehen und es ist dann eine exakte Bestimmung der wahren Atomgröße möglich. Erwiese sich umgekehrt die Voraussage dieser Bewegung als unzutreffend, so wäre damit ein schwerwiegendes Argument gegen die molekularkinetische Auffassung
[2] der Wärme gegeben.

§ 1. Über den suspendierten Teilchen zuzuschreibenden osmotischen Druck.

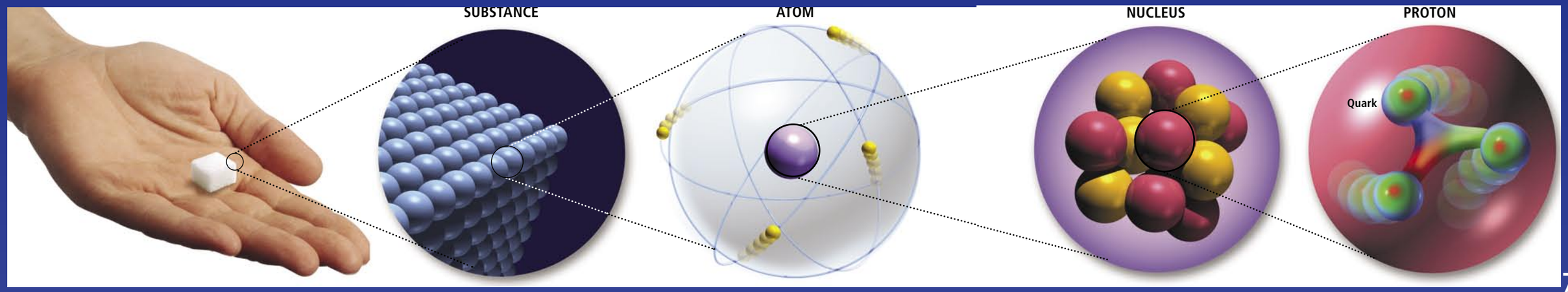
Im Teilvolumen V^* einer Flüssigkeit vom Gesamtvolumen V seien z-Gramm-Moleküle eines Nichtelektrolyten gelöst. Ist das Volumen V^* durch eine für das Lösungsmittel, nicht aber für die gelöste Substanz durchlässige Wand vom reinen Lösungs-

La nanophysique !



La leçon capitale de la science du XXe

L'echelle humaine de l'espace et du temps n'est pas favorisée pour comprendre la nature …
et pourrait être désavantagée



Les microscopes les plus puissants du monde … où travaillent les *nanonanophysiciens* !

Collisionneur Tevatron au Fermilab
protons – antiprotons à 1+1 TeV
vitesse de la lumière : $c \approx 10^9$ km/h
vitesse des protons : c – 495 km/h

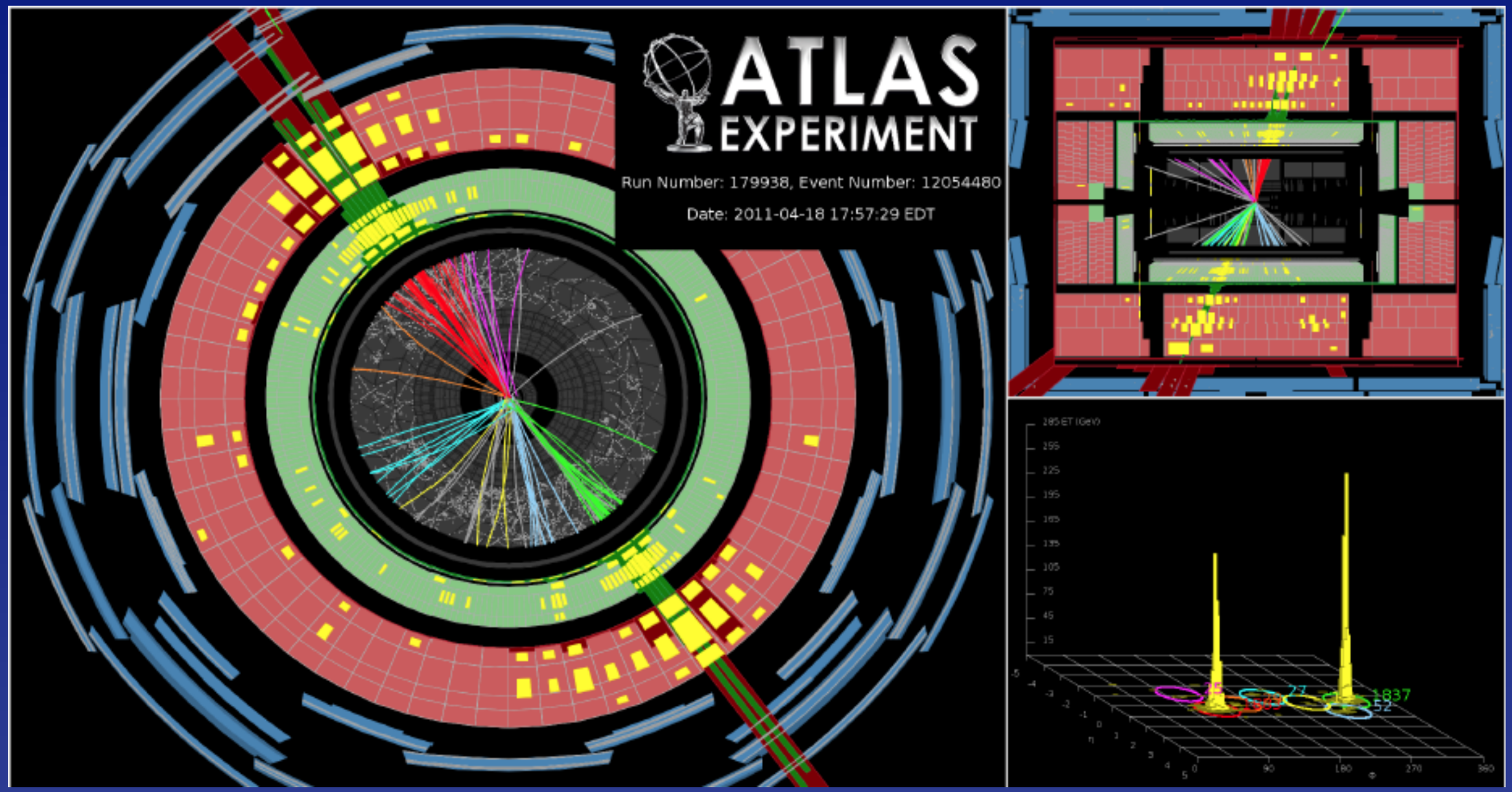
Grand collisionneur de hadrons (LHC) au CERN
protons on protons à 3,5+3,5 TeV
vitesse des protons : c – 39 km/h
bientôt : c – 10 km/h

→ 100 million collisions / seconde

www.fnal.gov

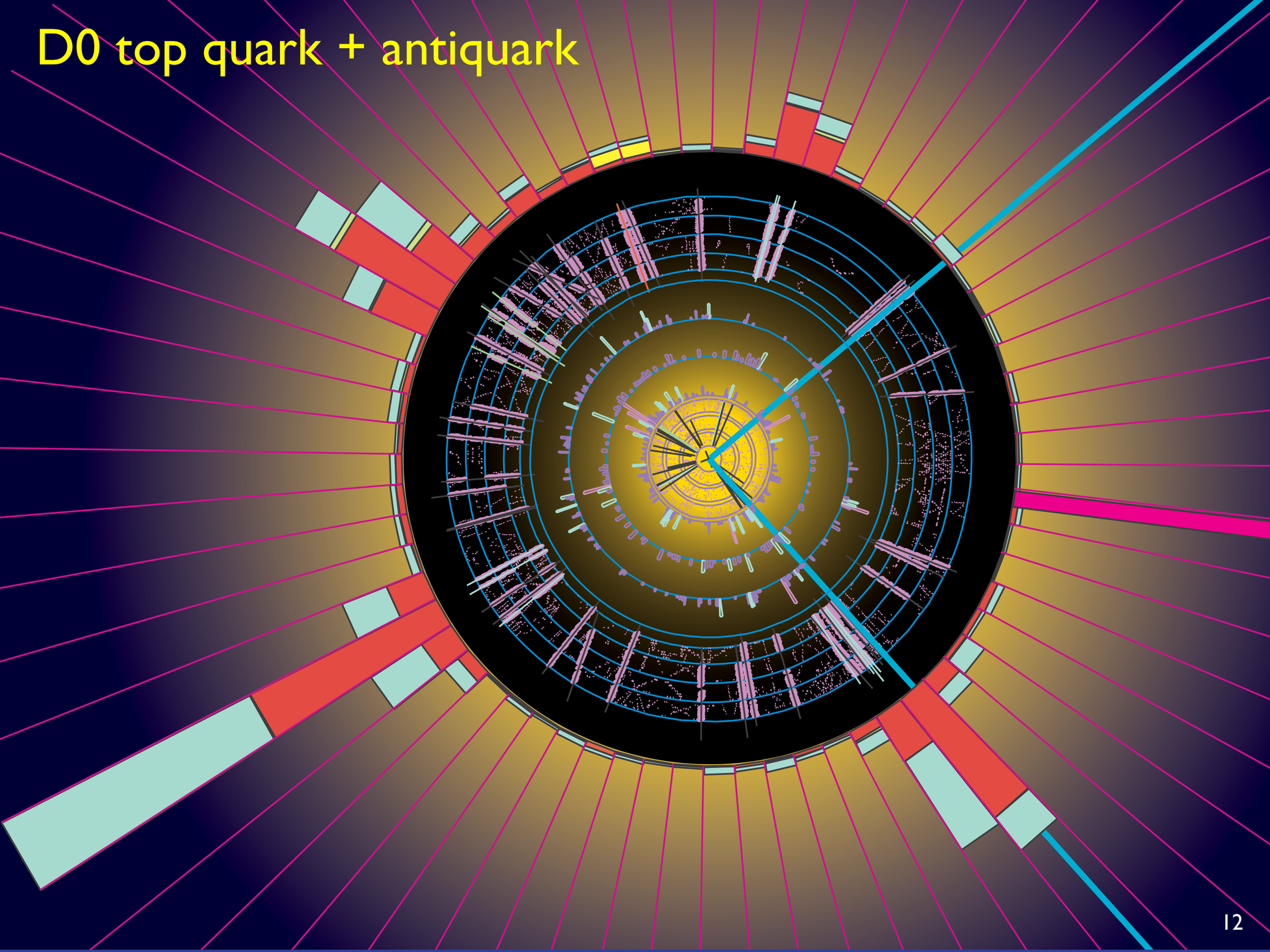
Les microscopes les plus puissants du monde

la nanonanophysique

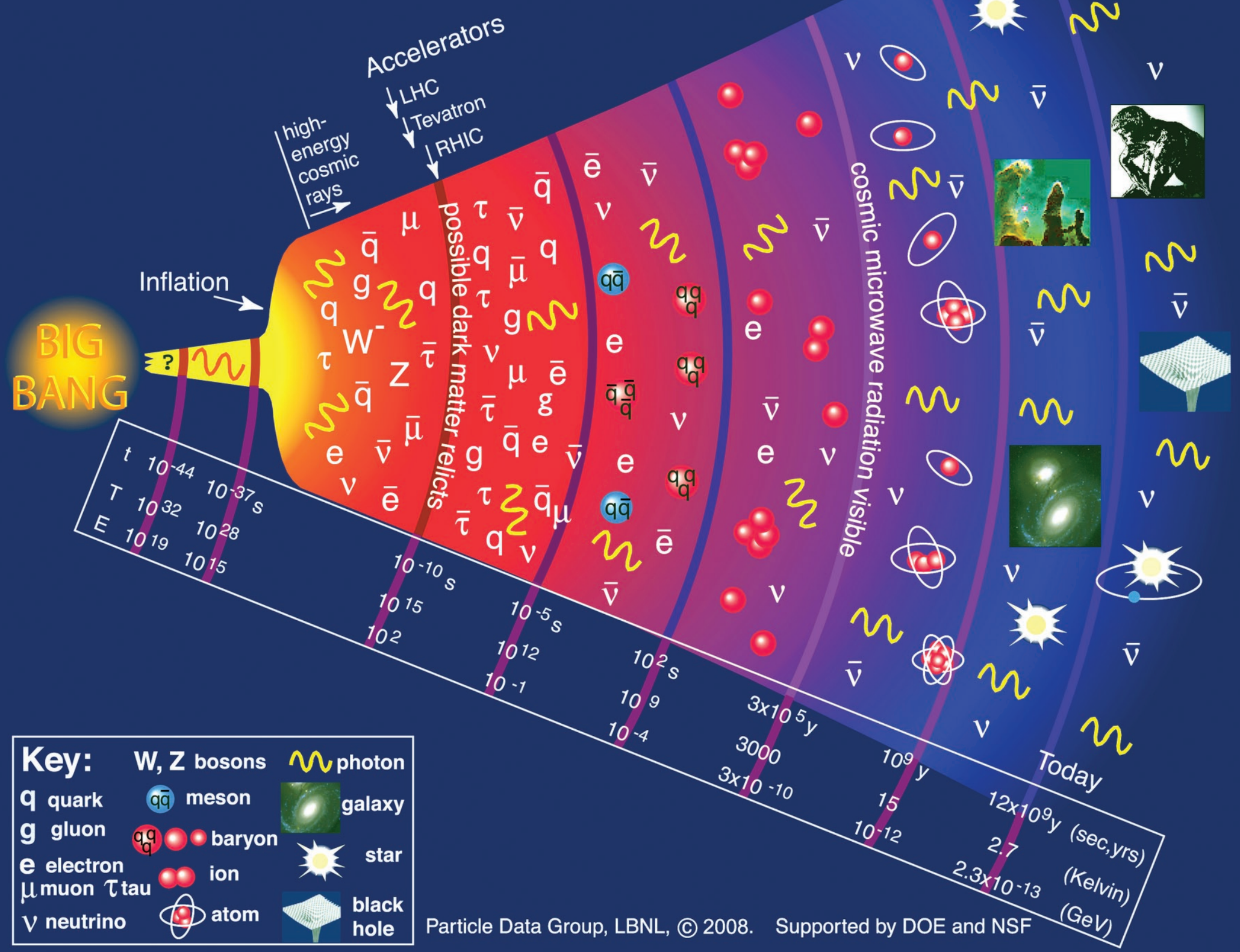


Transverse momenta: 1.8 TeV + 1.8 TeV · *Dijet mass:* 4 TeV

D0 top quark + antiquark

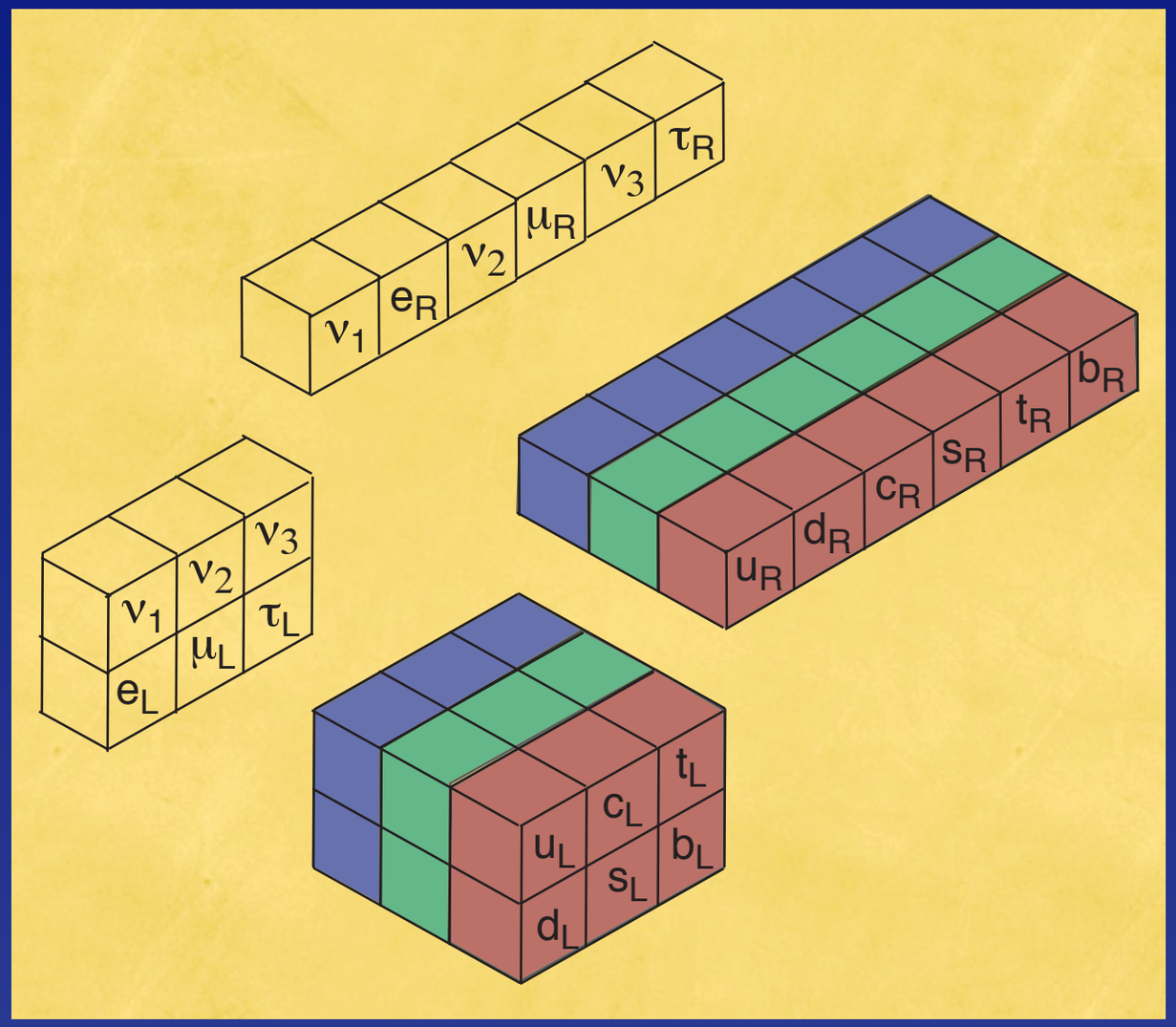


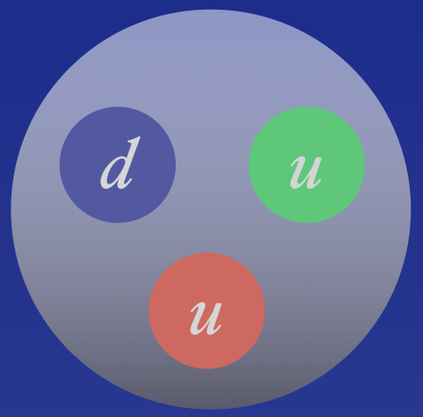
Accélérateurs : machines à explorer le temps



Notre conception de la matière

quarks et leptons : particules ponctuelles ($r \leq 10^{-18}$ m)

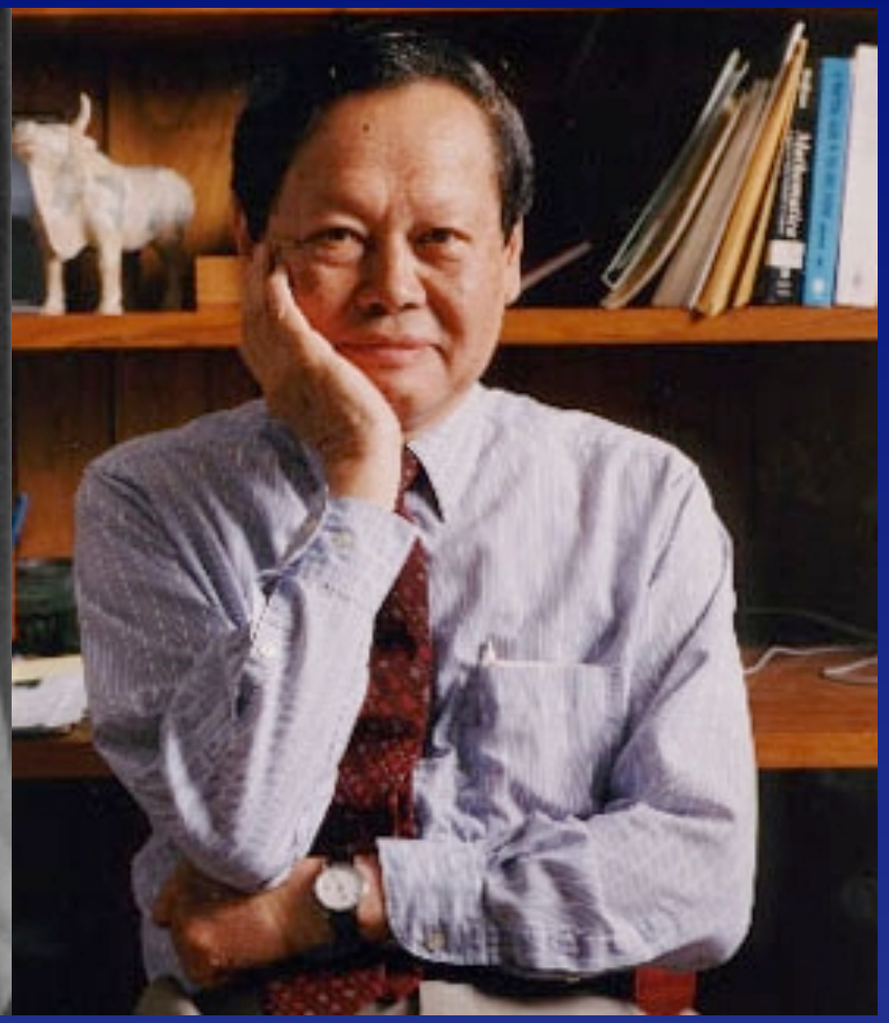




Gravitation, électromagnétisme, radioactivité, interaction forte

Louis Sullivan, architecte (1896)

« La forme découle de la fonction »



Robert Mills (1954) Yang Chen Ning

« La fonction découle de la forme »

« Les interactions découlent de la symétrie »

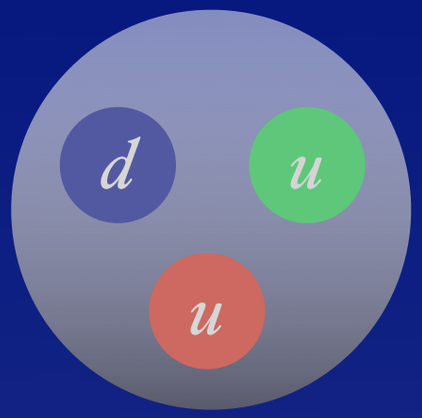
désordre, identité, équivalence

Symétrie : ressemblance parfaite

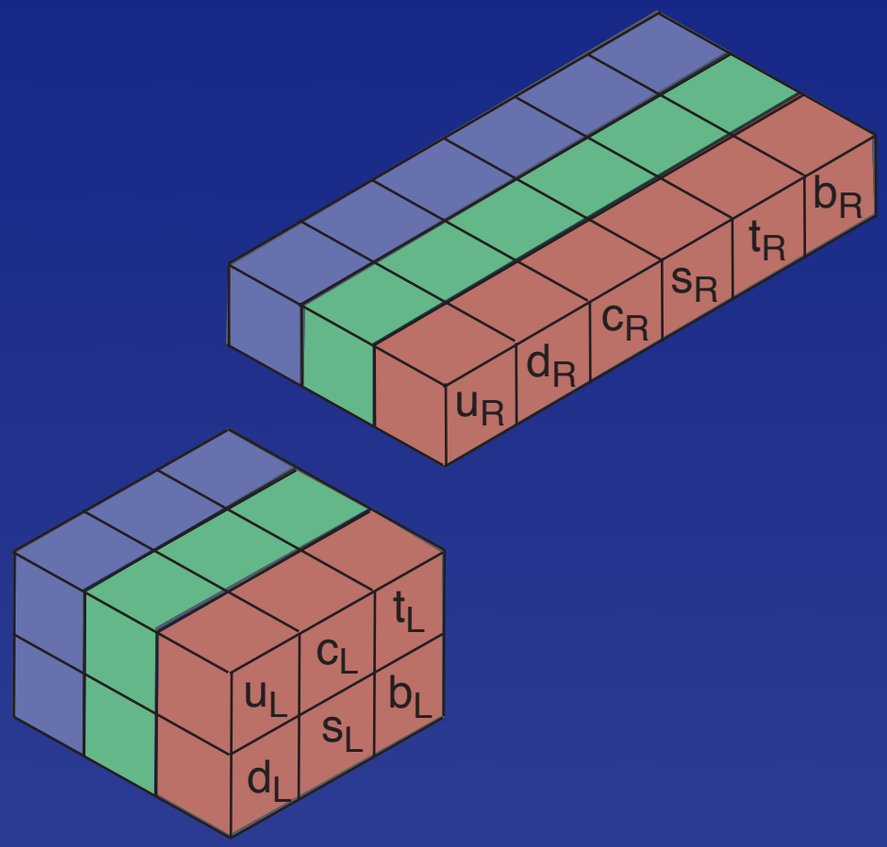
« sameness »

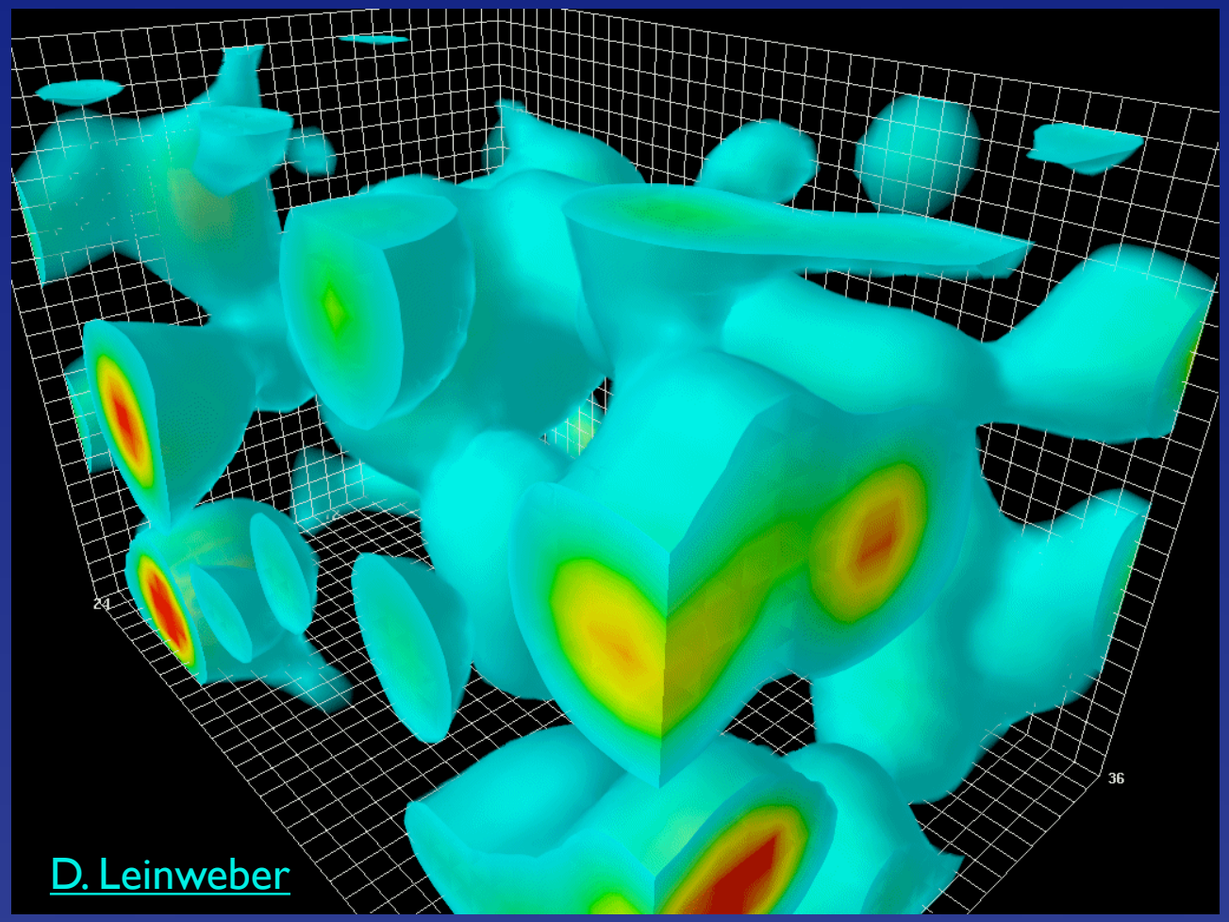
Nouvelle loi de la nature n°1

la chromodynamique quantique (QCD):
symétrie entre les quarks
rouge · vert · bleu



gluons





QCD sur réseau : le confinement des quarks explique l'origine de la masse du nucléon … (presque) toute la masse visible de l'univers

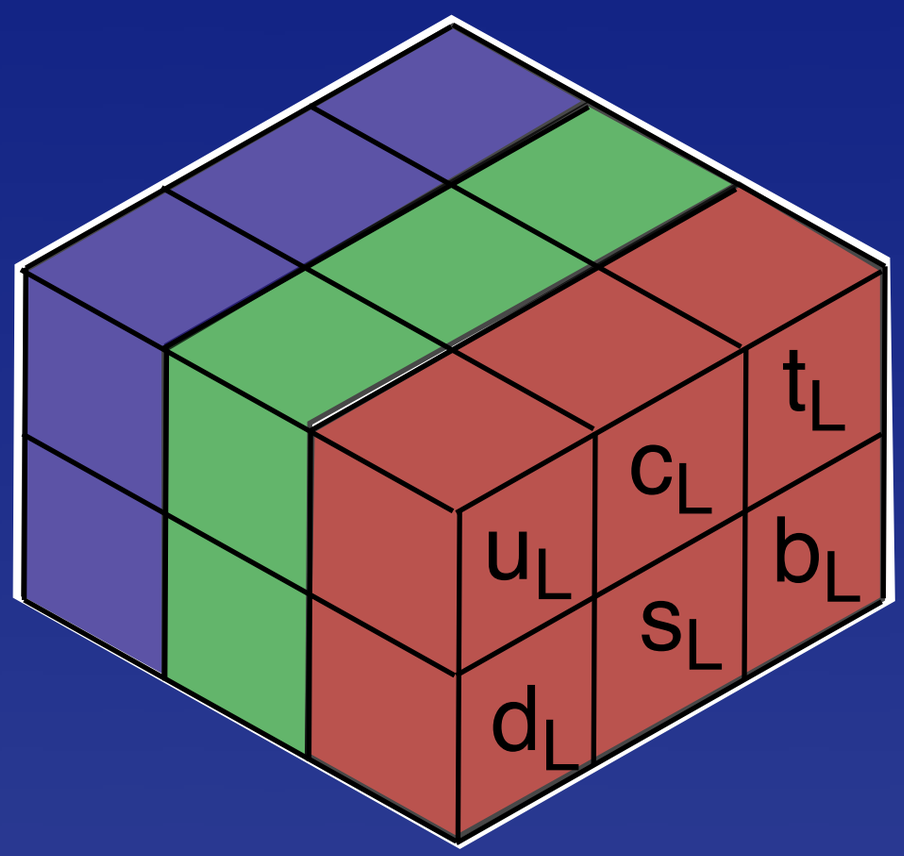
M78 · SDSS

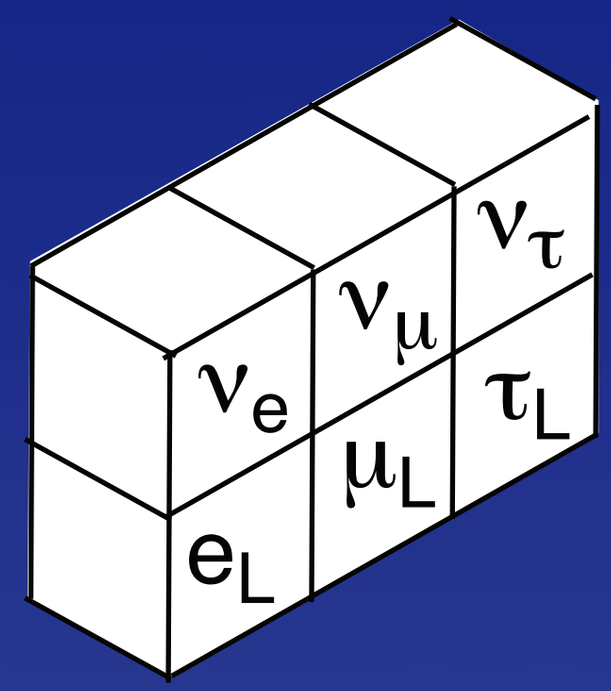
La symétrie qui se voit
dans les lois de la Nature
se cache parfois
derrière les conséquences de ces lois.

Nouvelle loi de la nature N° 2

Théorie électrofaible:
symétrie familiale
u ↔ d ; ν ↔ e ; …

bosons (W^+, W^-, Z^0) + *photon*



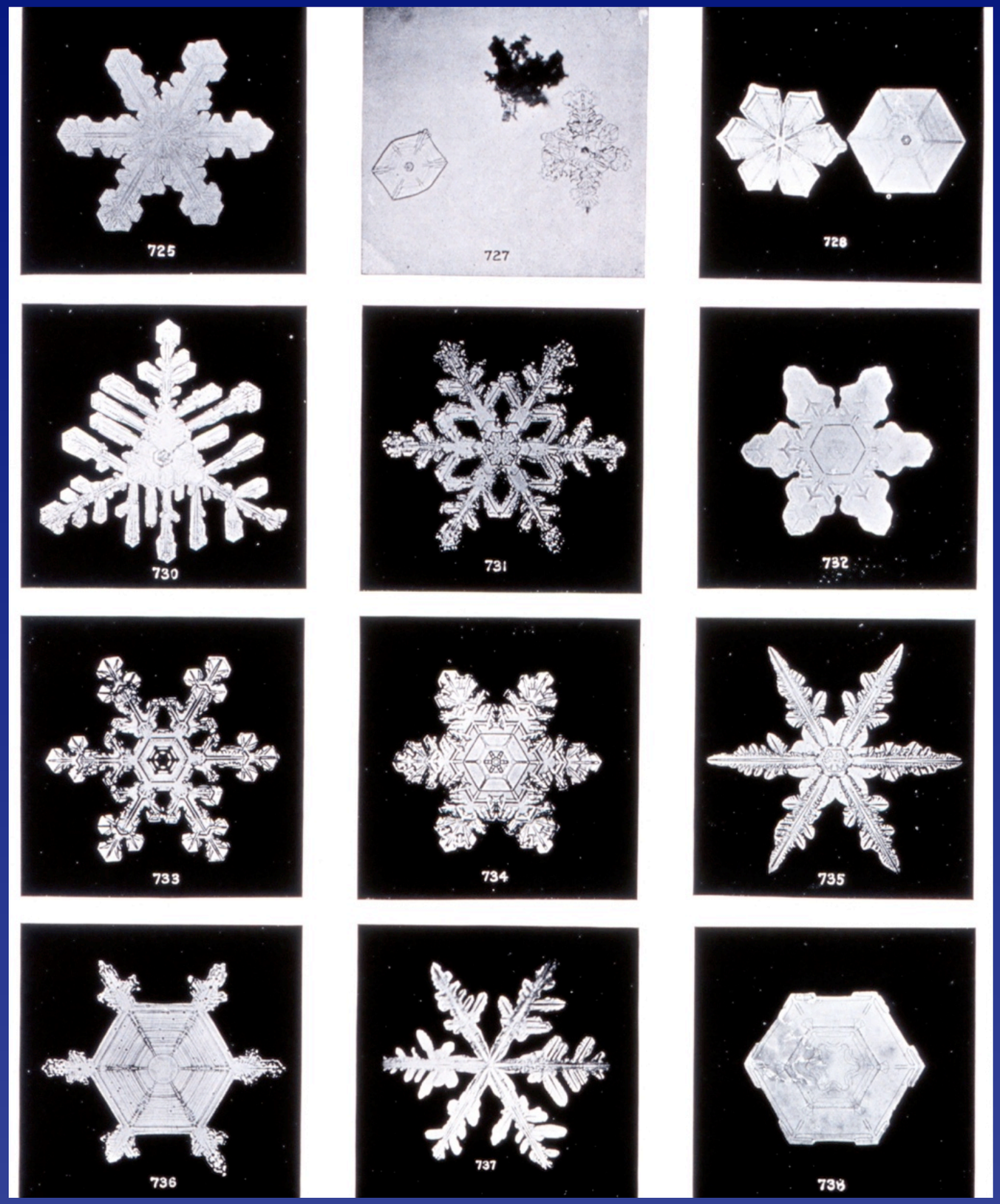


L'interaction faible, l'électromagnétisme se manifestent …

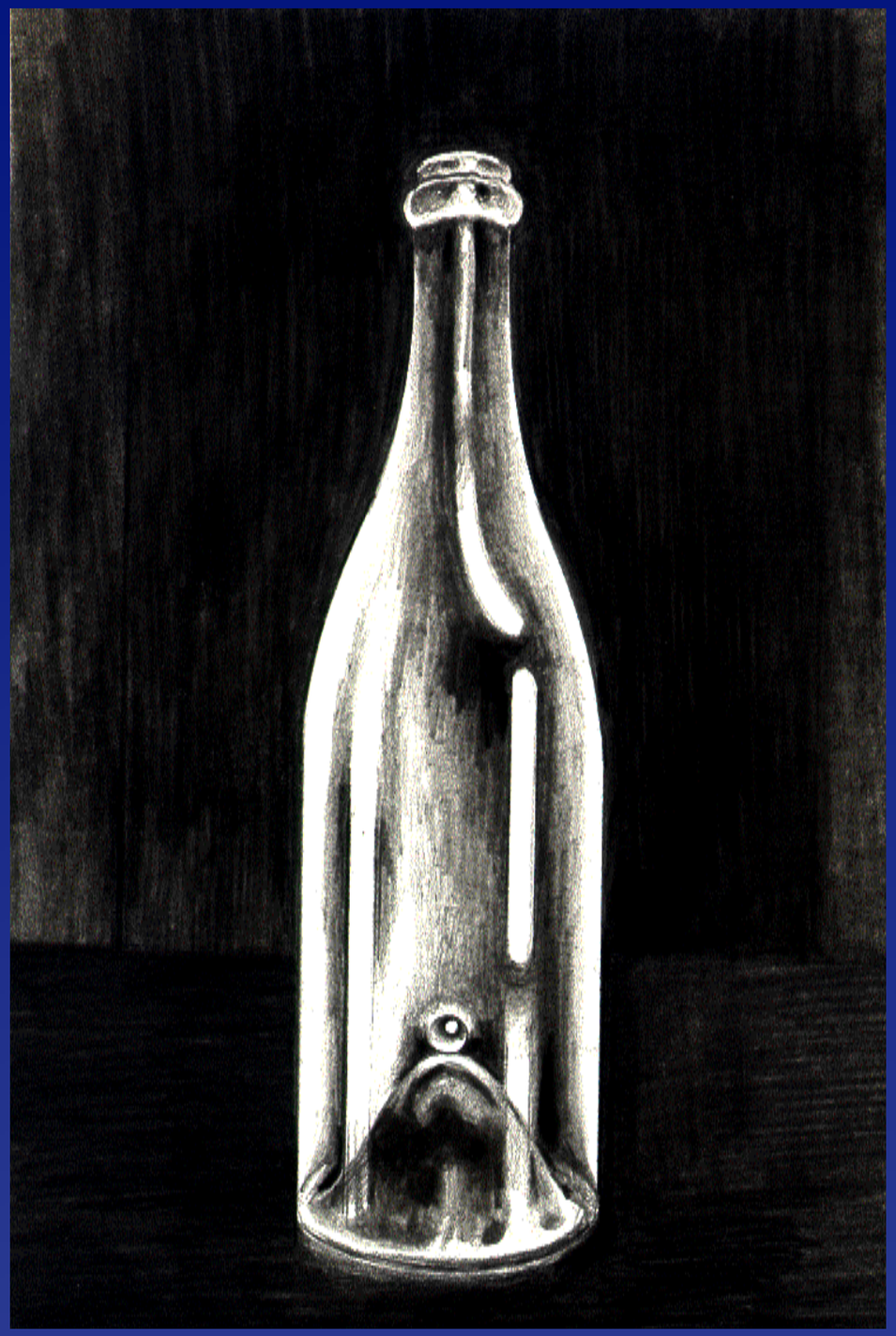
Faible	EM
portée: 10^{-15} cm	infinie
masse *W*: 90× proton	photon: masse nulle

Comment partagent-elles une origine commune ?

symétrie des lois ≠ symétrie des conséquences



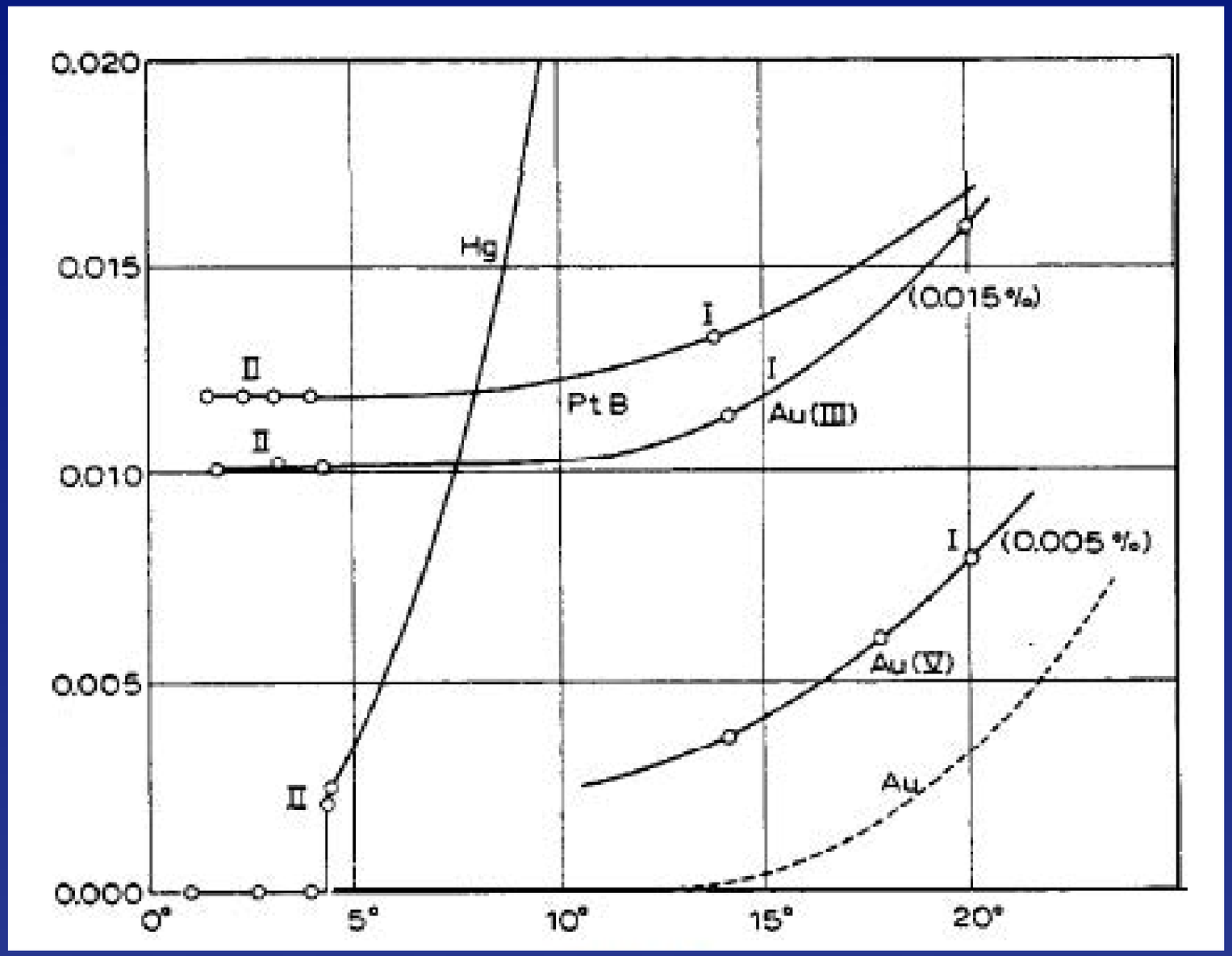
Studies among the Snow Crystals ... by Wilson Bentley, via NOAA Photo Library



Brisure spontanée d’une symétrie

Heike Kamerlingh Onnes, 1911: *Supraconductivité*

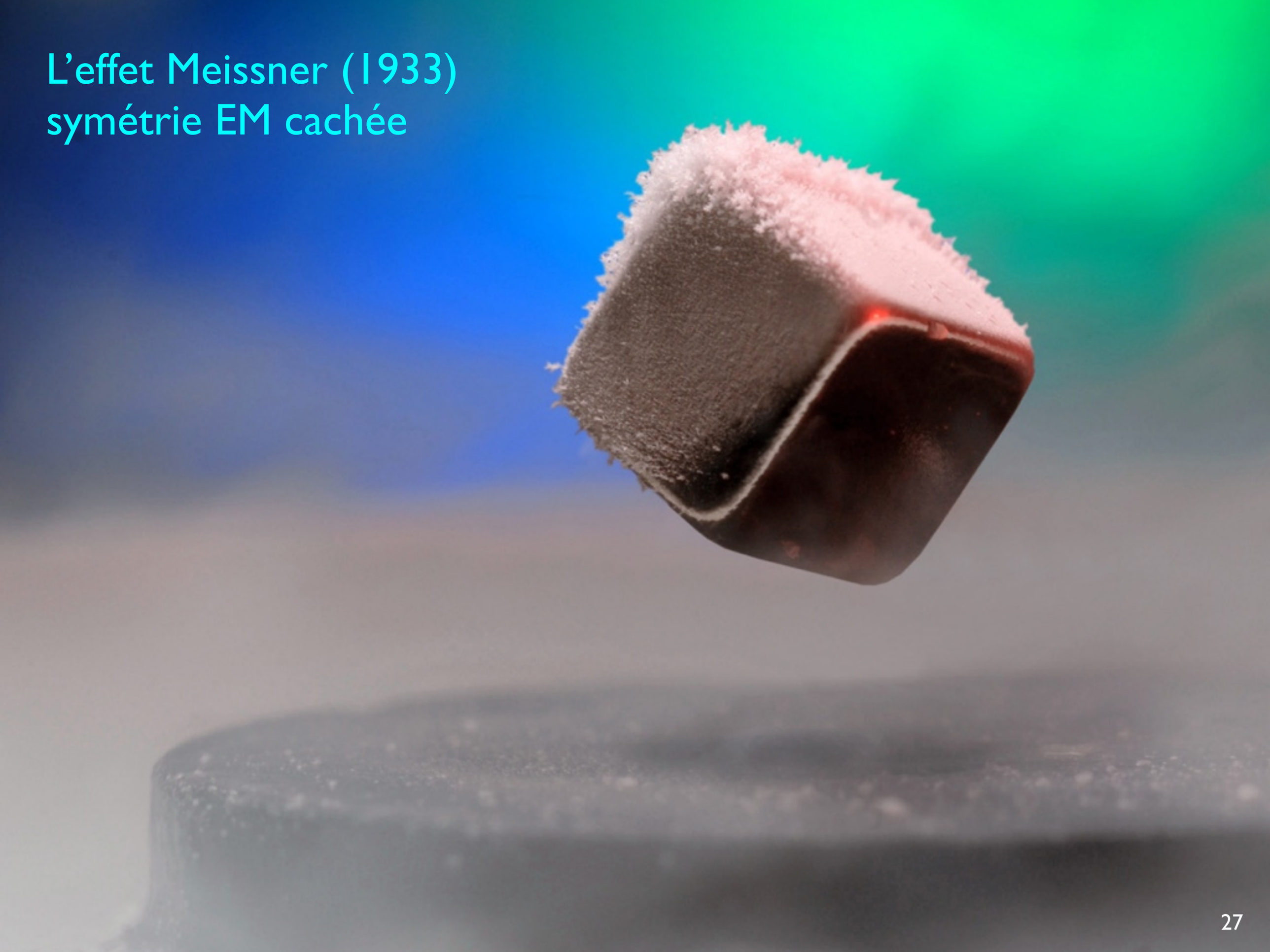
Résistance par rapport à 0° C



Température [K]

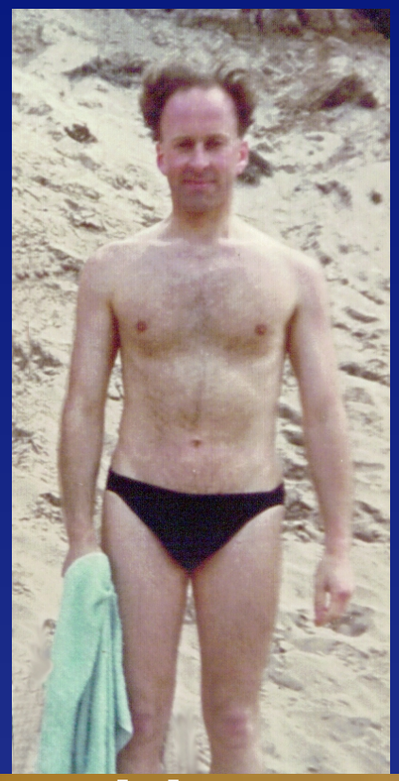
Le vivargent perd toute résistance a 4.2 K

L'effet Meissner (1933)
symétrie EM cachée



Brisure spontanée d'une symétrie de jauge (1964)

Higgs (1964)



À la recherche de l'agent provocateur
de la brisure de la symétrie électrofaible

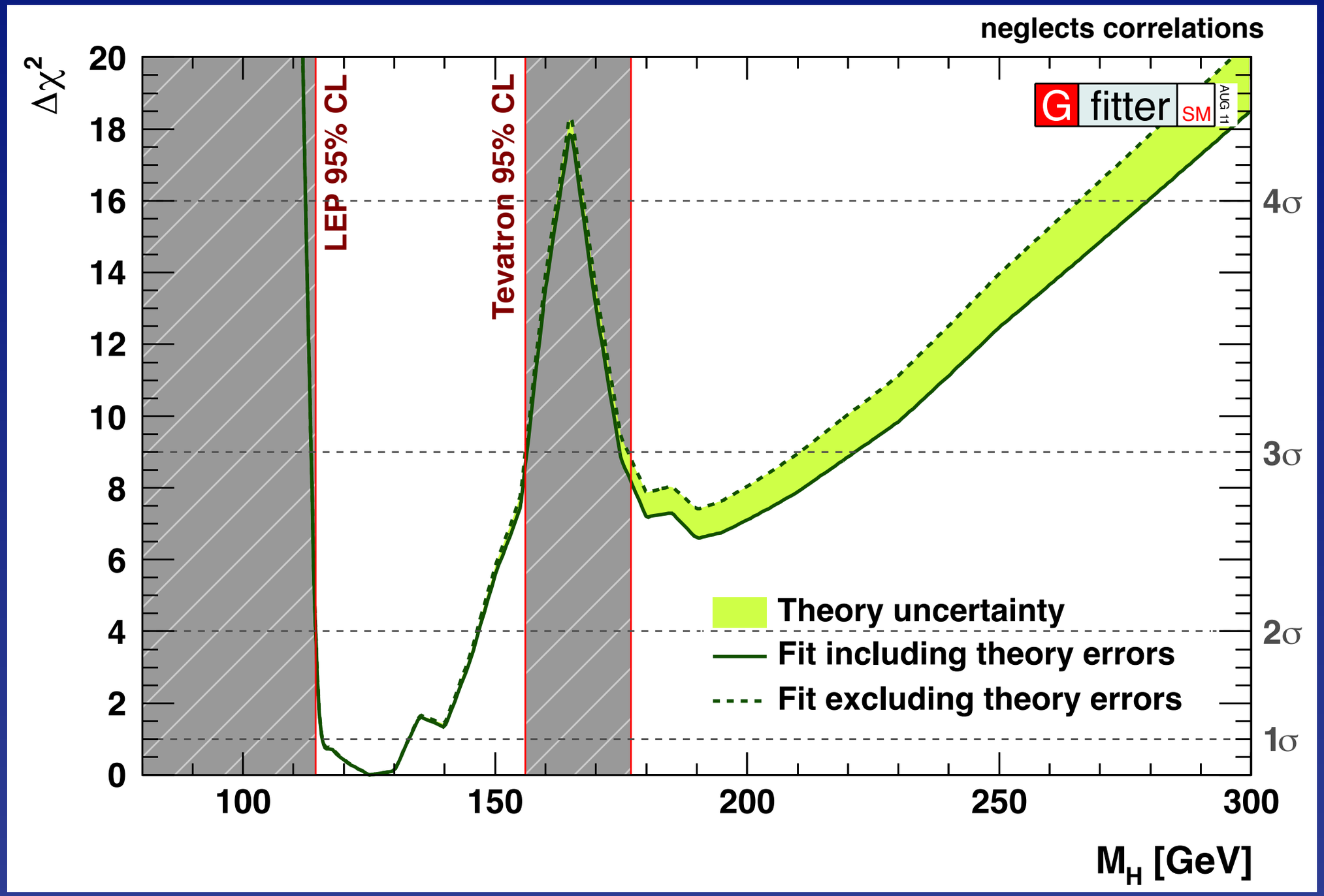
Théorie électrofaible standard …

Boson de Higgs: particule massive, spin 0
cache la symétrie électrofaible
donne masse au *W* et *Z*
donne masse à l'électron, aux quarks, etc.

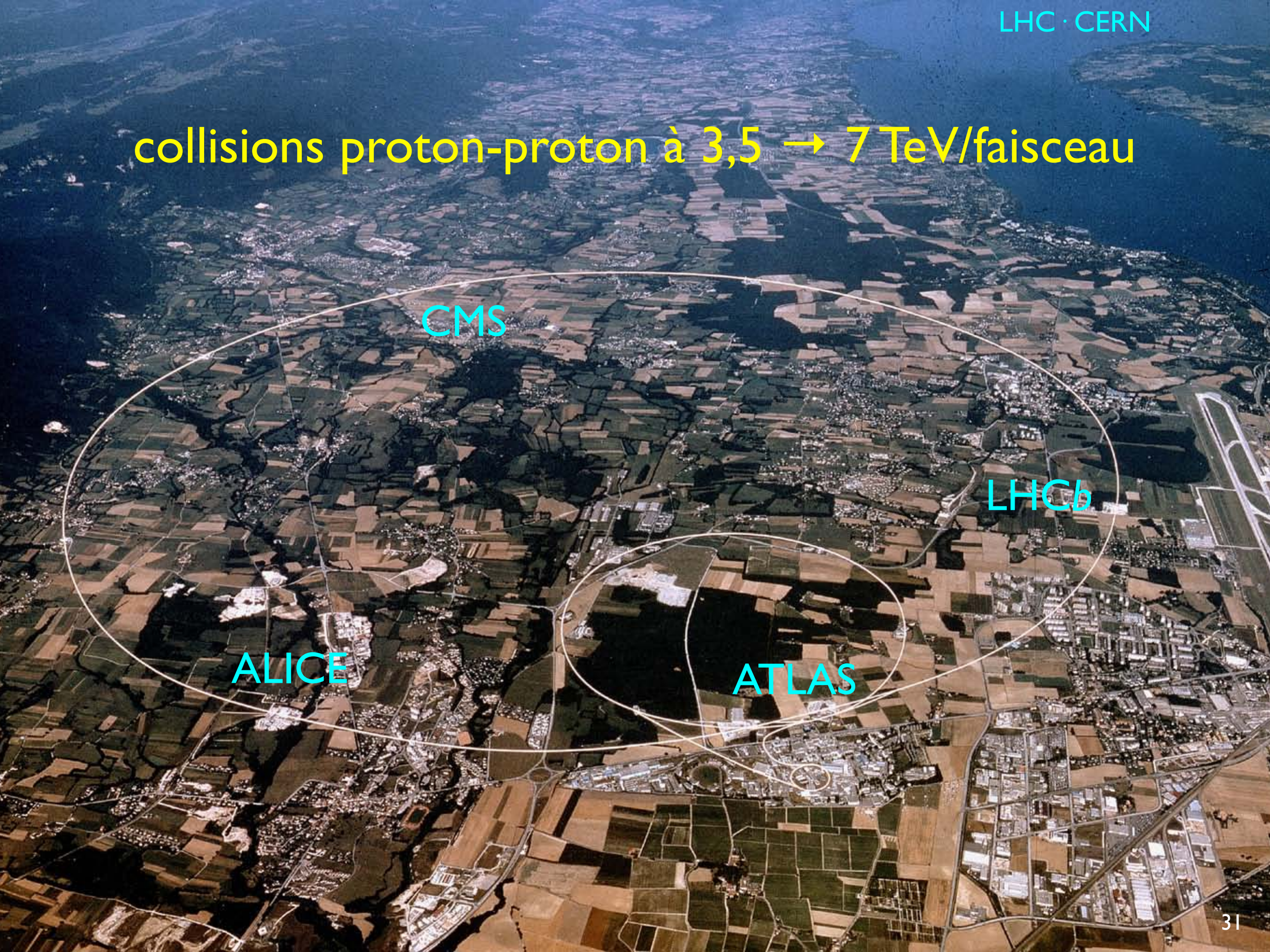
La théorie ne prévoit pas la masse du boson *H*

Pas encore trouvé !

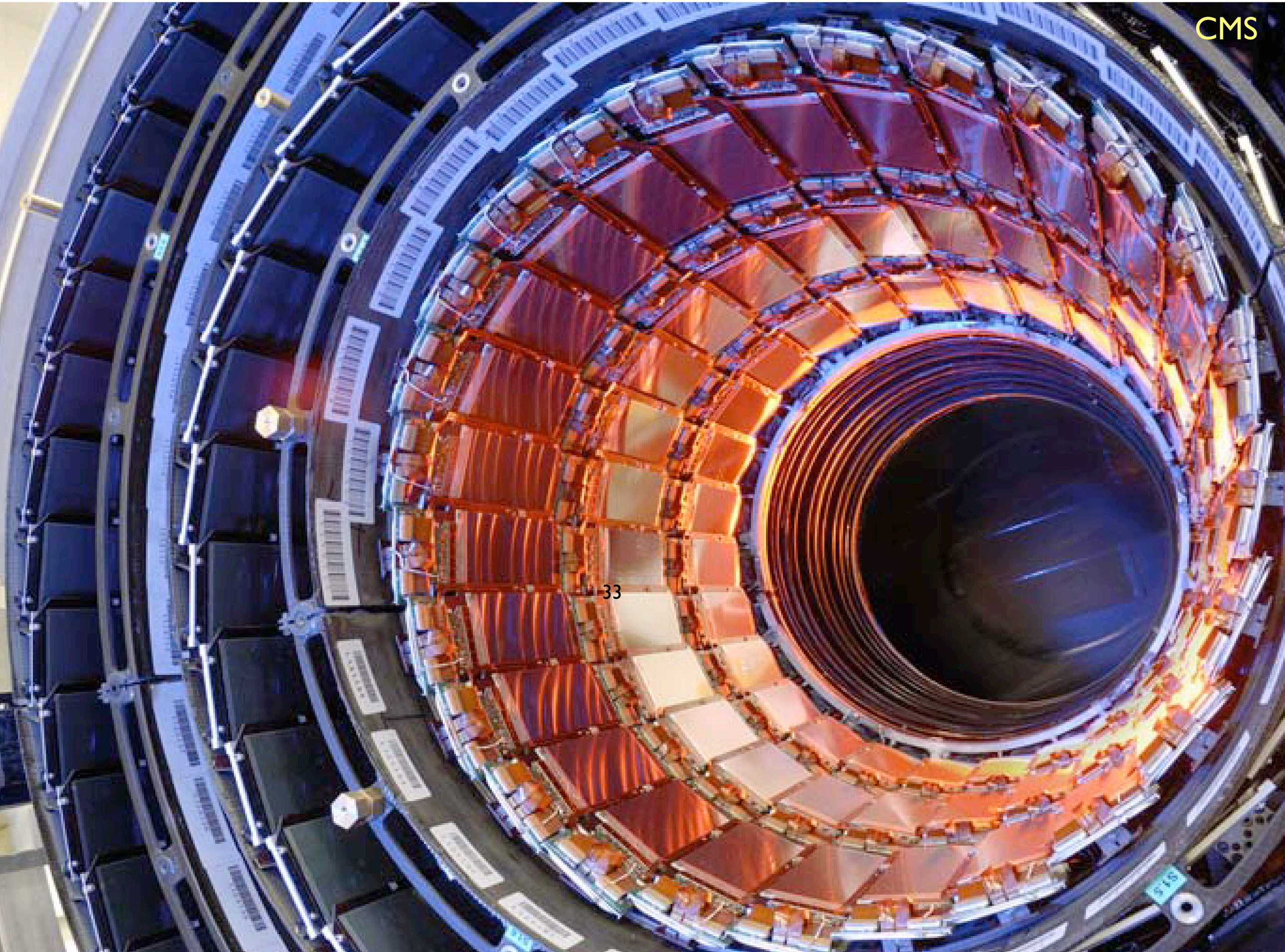
Où le boson de Higgs (standard) devrait paraître

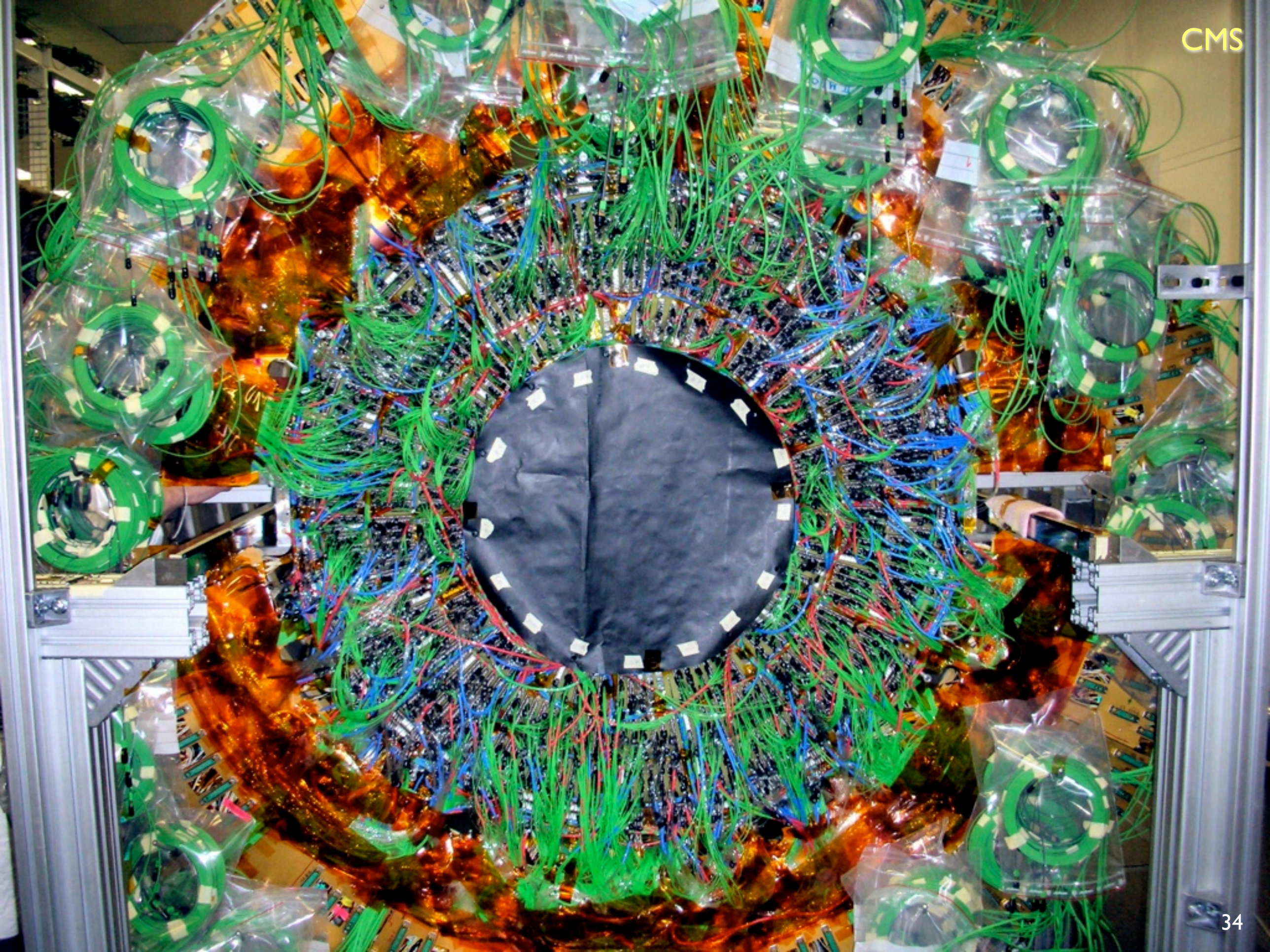


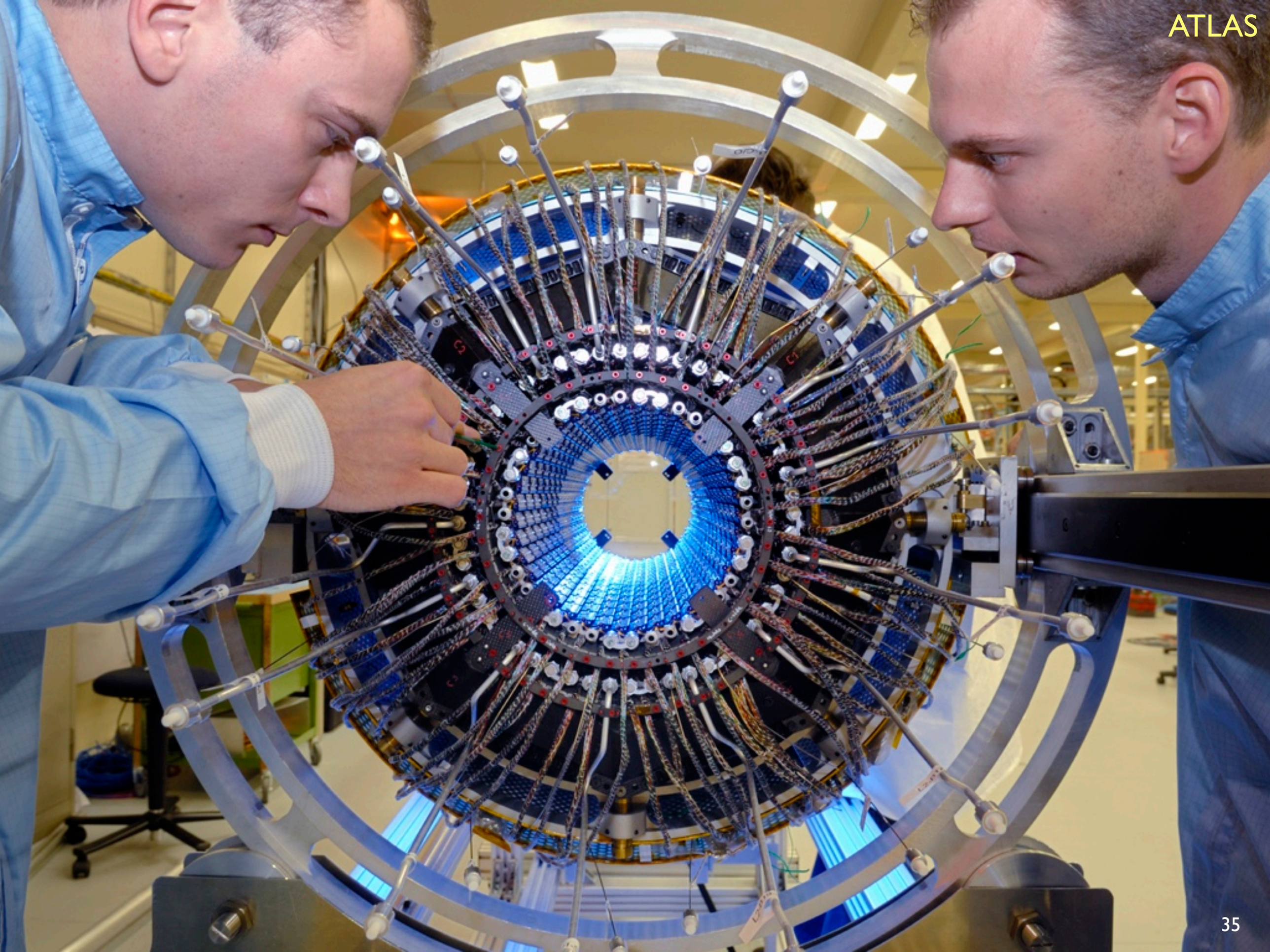
collisions proton-proton à 3,5 → 7 TeV/faisceau

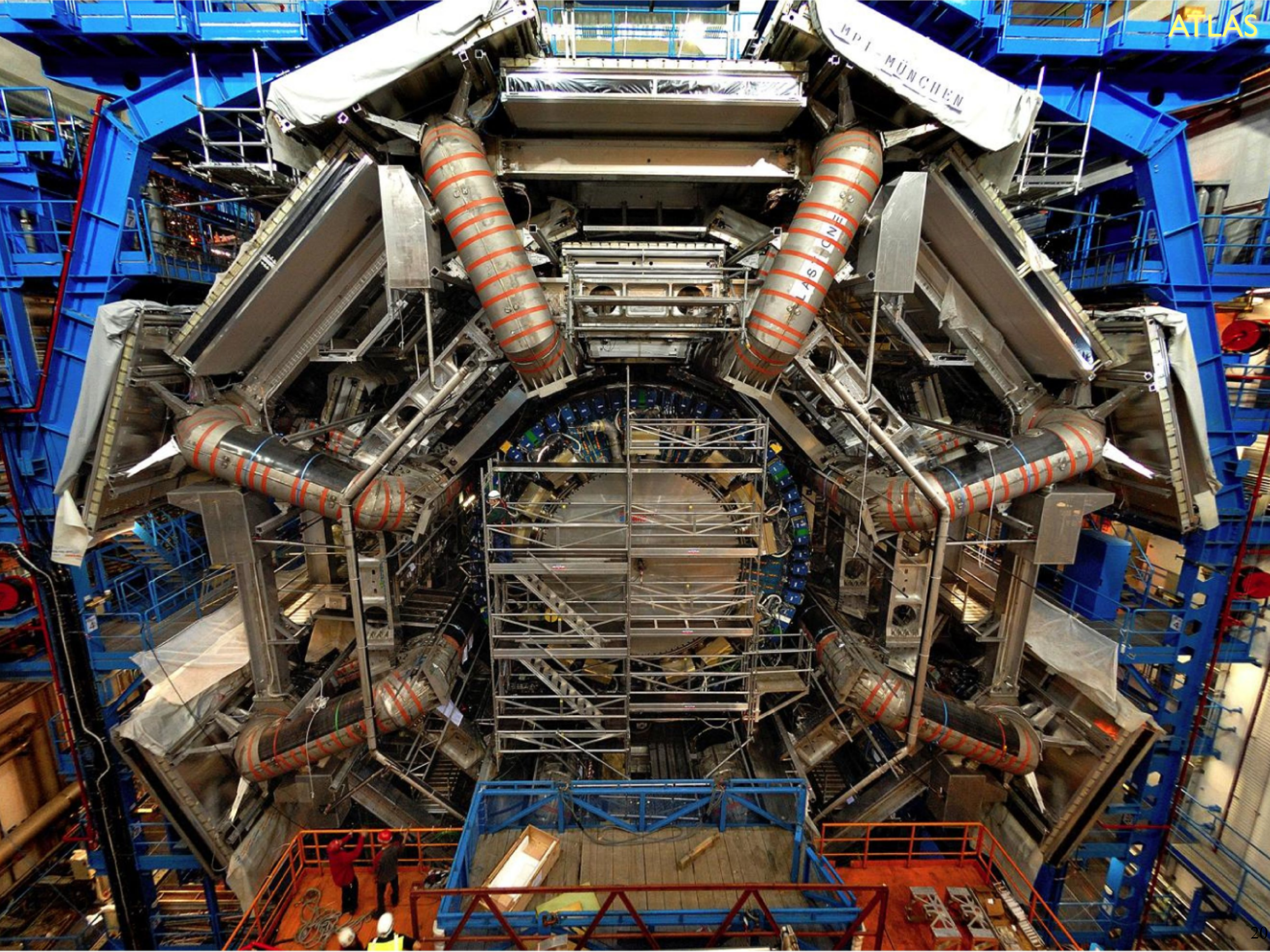


CMS

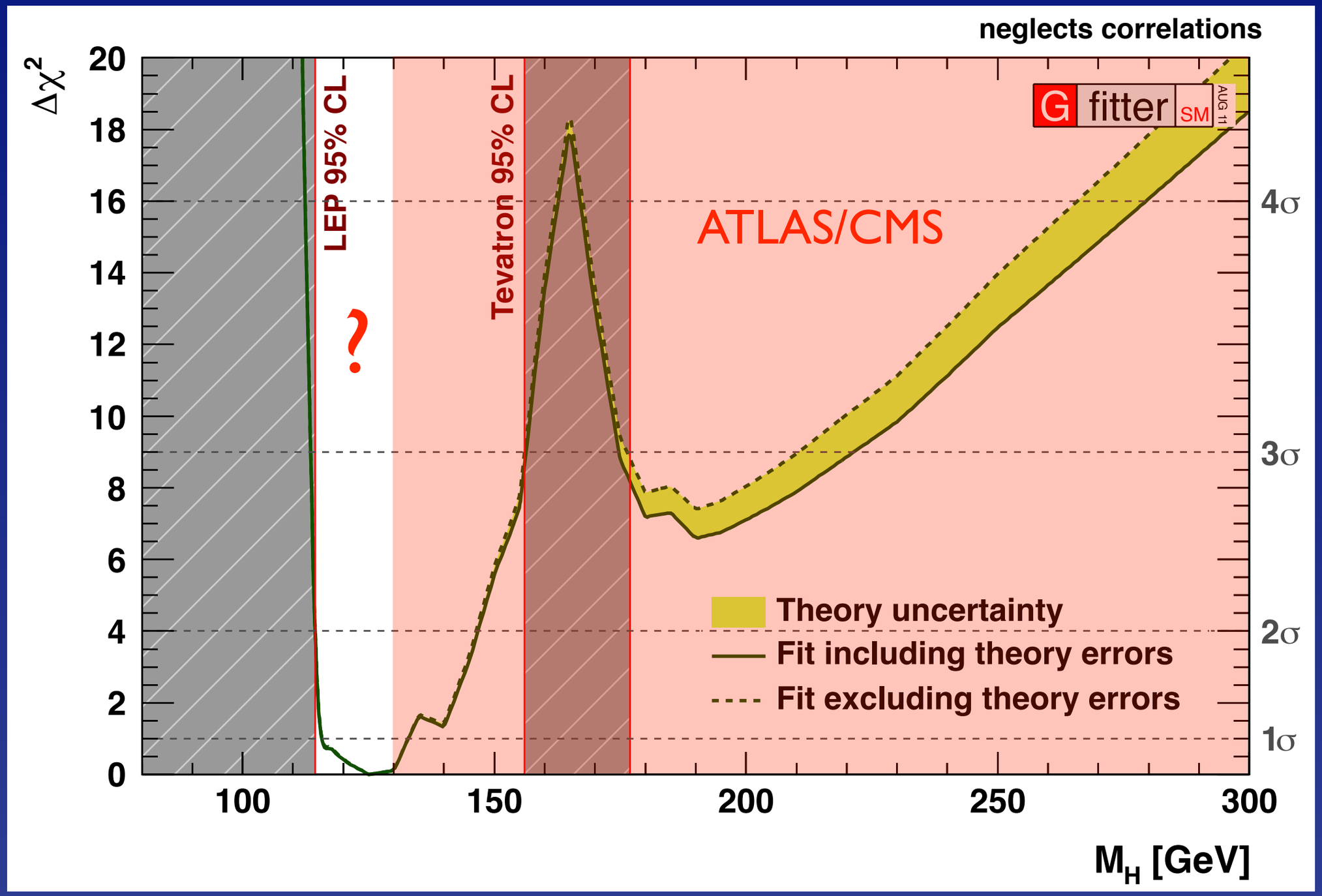

CMS


CMS


ATLAS


ATLAS
MPI-MÜNCHEN

Où le boson de Higgs (standard) ne se montre pas encore



Fabiola Gianotti (ATLAS) : *Si on ne trouve pas le fameux boson, ça veut dire que la théorie est, tout simplement, fausse !*

Les bisons du Fermilab

Pourquoi atomes ?

Pourquoi la chimie ?

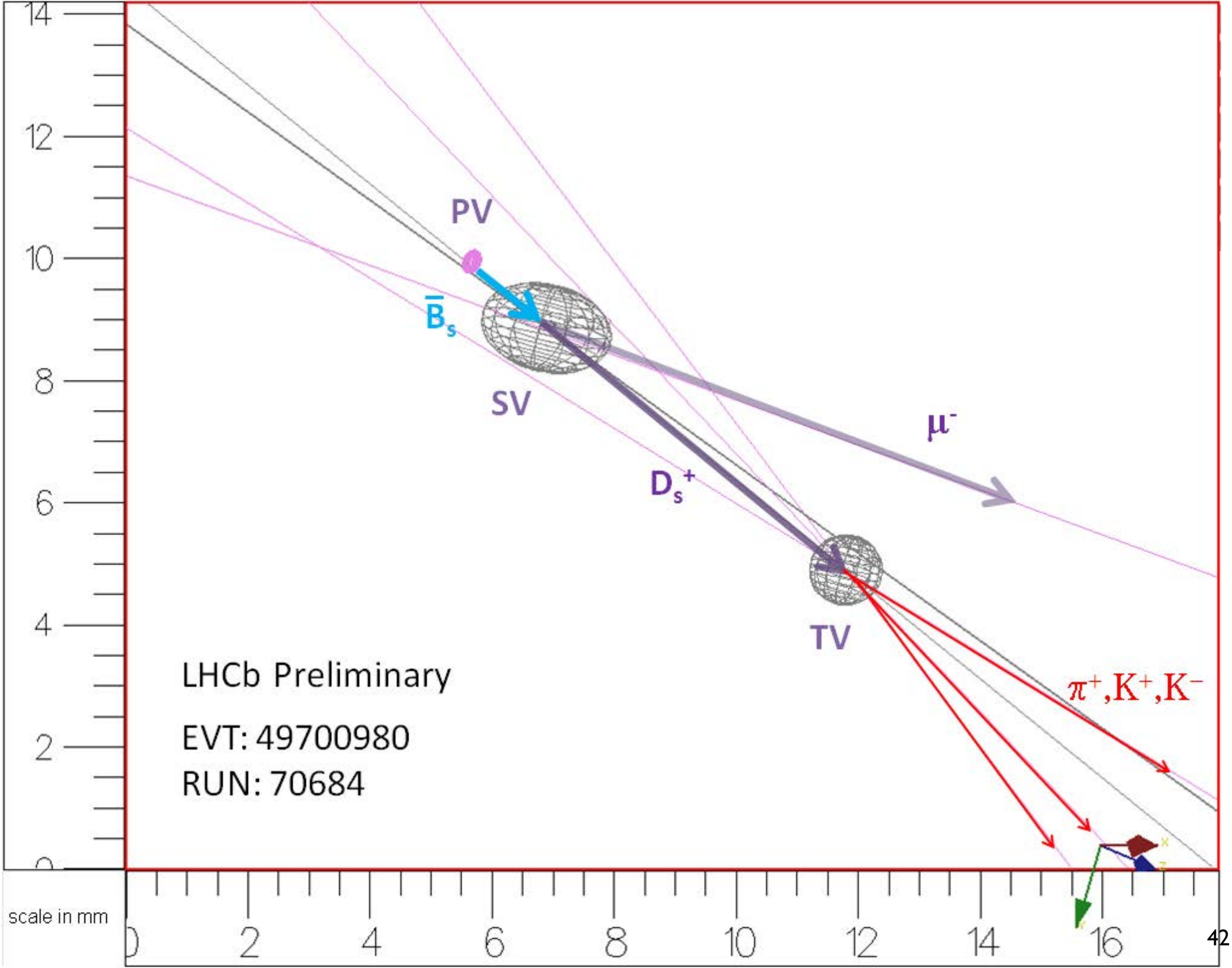
Pourquoi liquides, solides, etc. ?

Le problème d'identité

- Qu'est-ce qui rend …
  un quark top un quark top ?
  un électron un électron ?

- Qu'est-ce qui fixe les masses des quarks et leptons ?

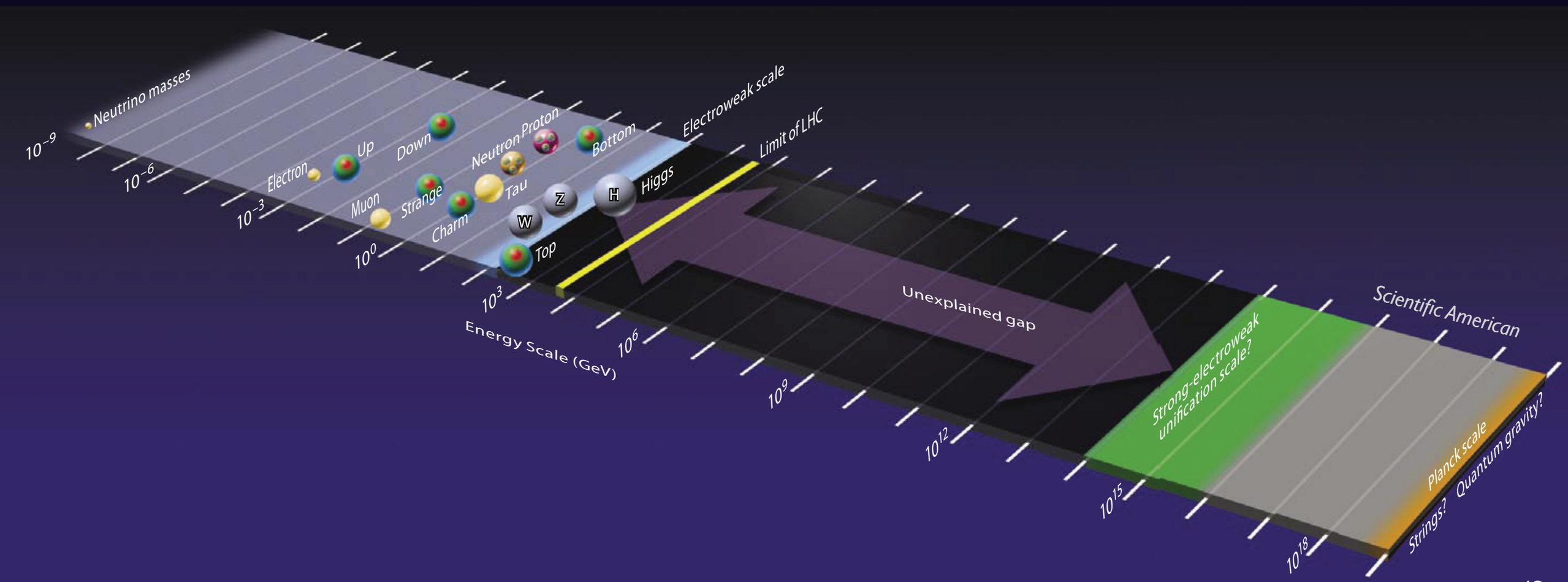
le quark top pèse 300 000 x electron


PV
$\overline{B}_s$
SV
μ^-
D_s^+
TV
π^+, K^+, K^-
LHCb Preliminary
EVT: 49700980
RUN: 70684
scale in mm
0
2
4
6
8
10
12
14
16

Un défi pour la théorie électrofaible

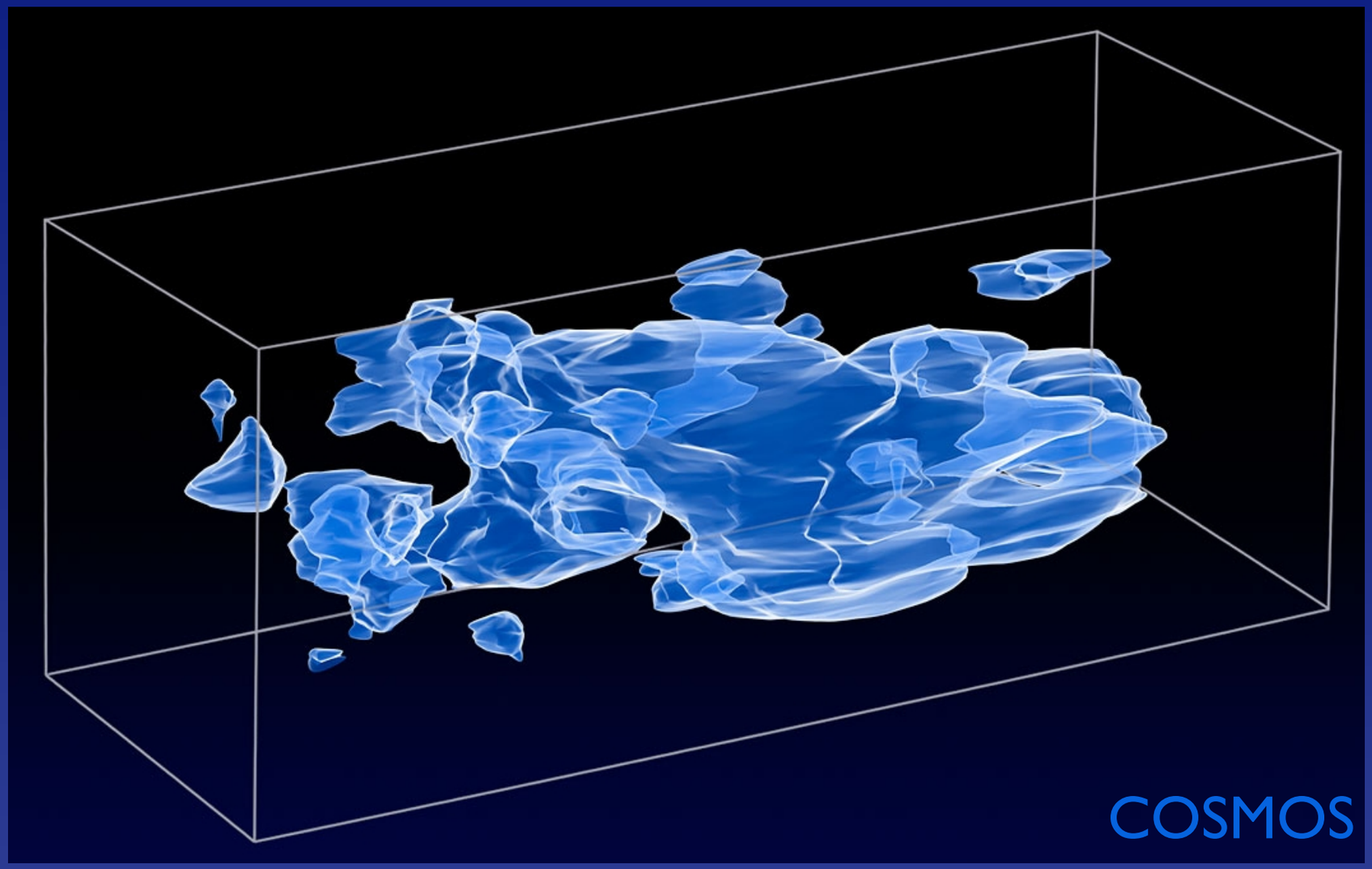
M_H < 1 TeV raisonnable ?

Les corrections quantiques



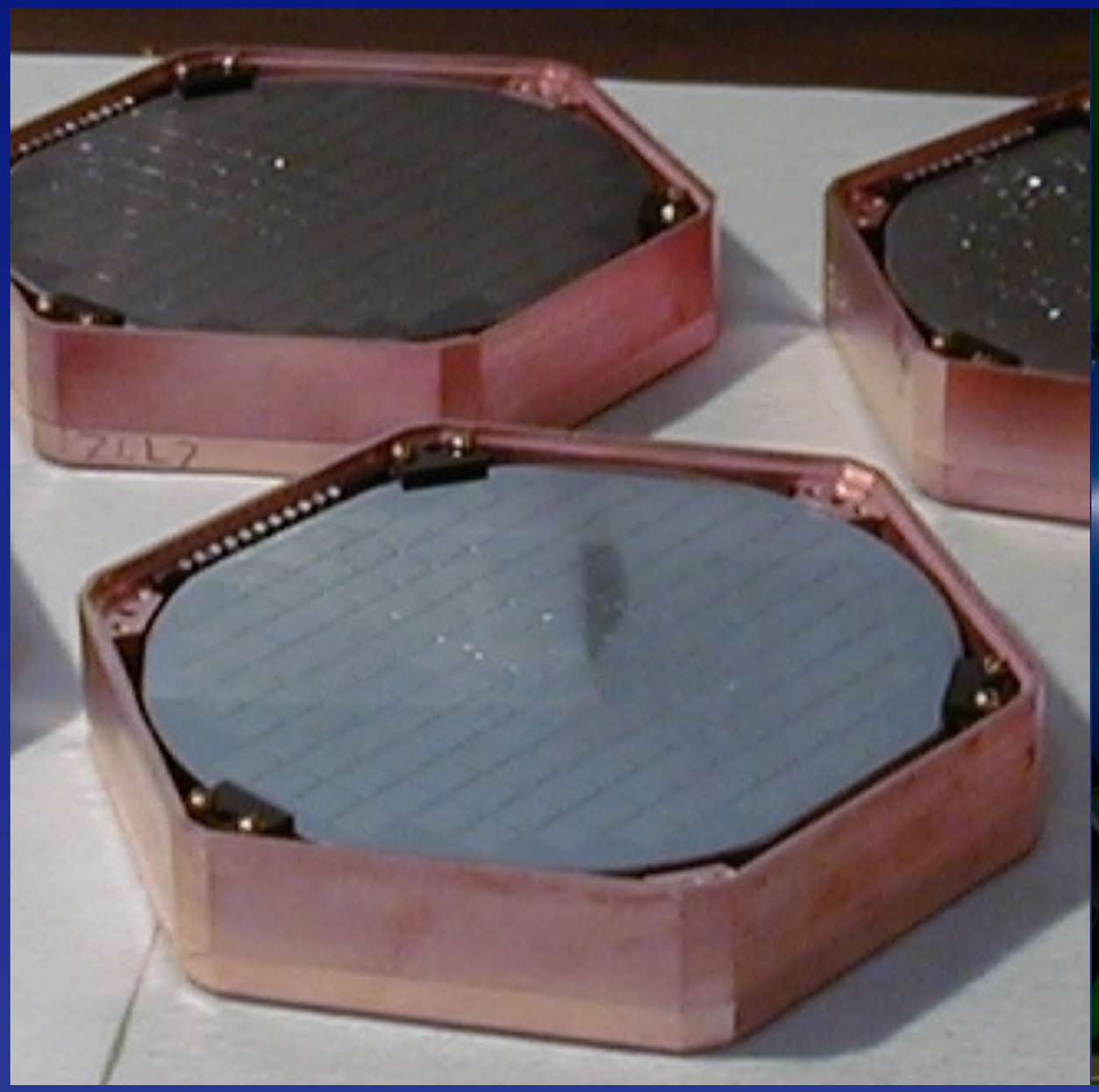
La matière noire …

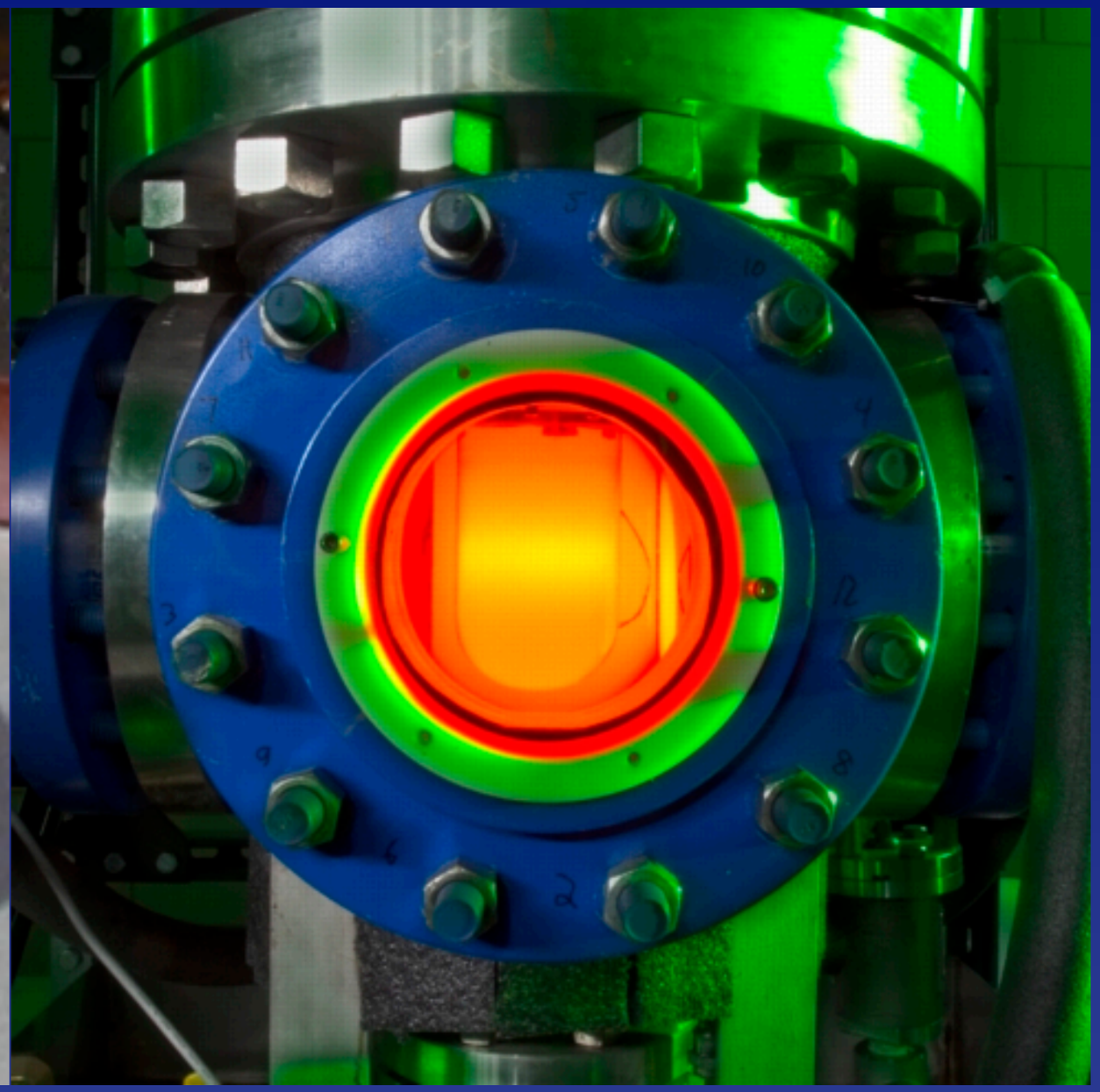
Si les interactions sont faible …



… la masse est naturellement entre 0,1 et 1 TeV

Matière noire crée dans le Big-bang ?





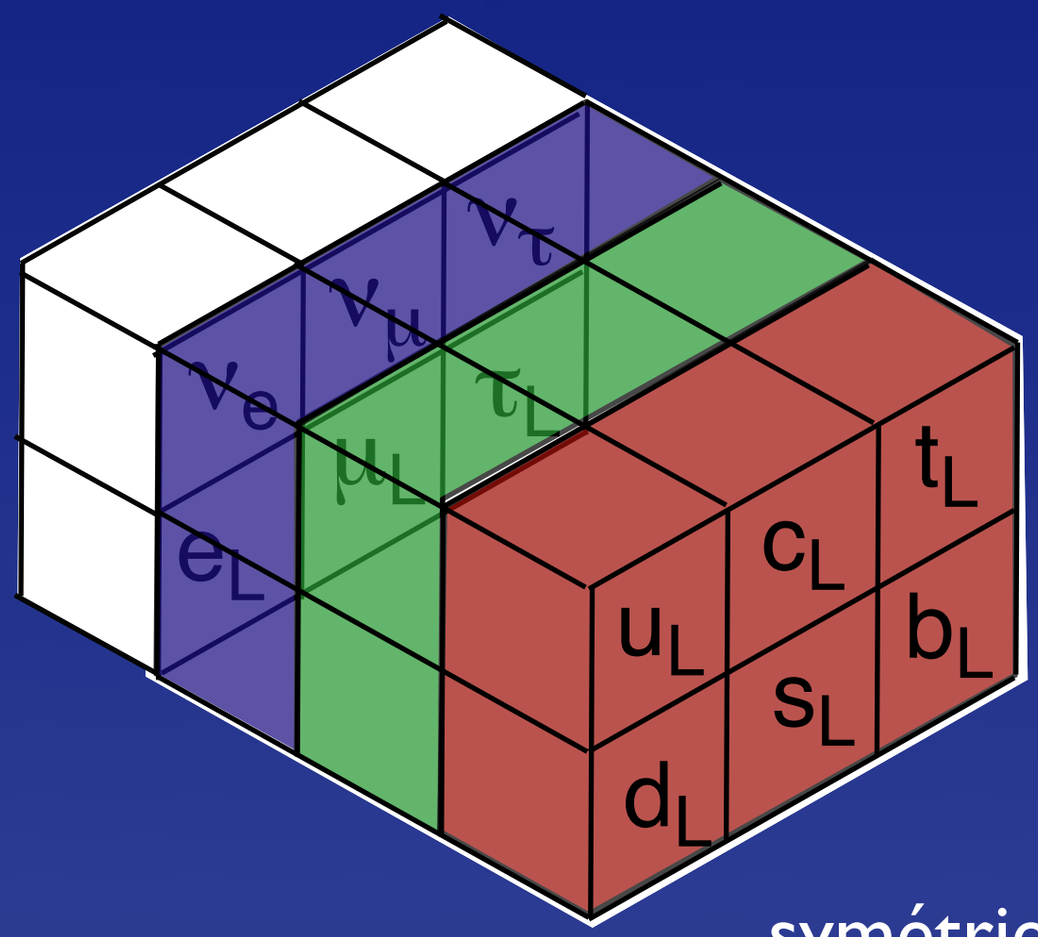
L'unité de quarks et leptons

- Liens entre quarks et leptons ?
- Pourquoi les atomes sont-ils neutres ?

Encore une nouvelle loi de la nature ?

Une symétrie entre quarks et leptons …

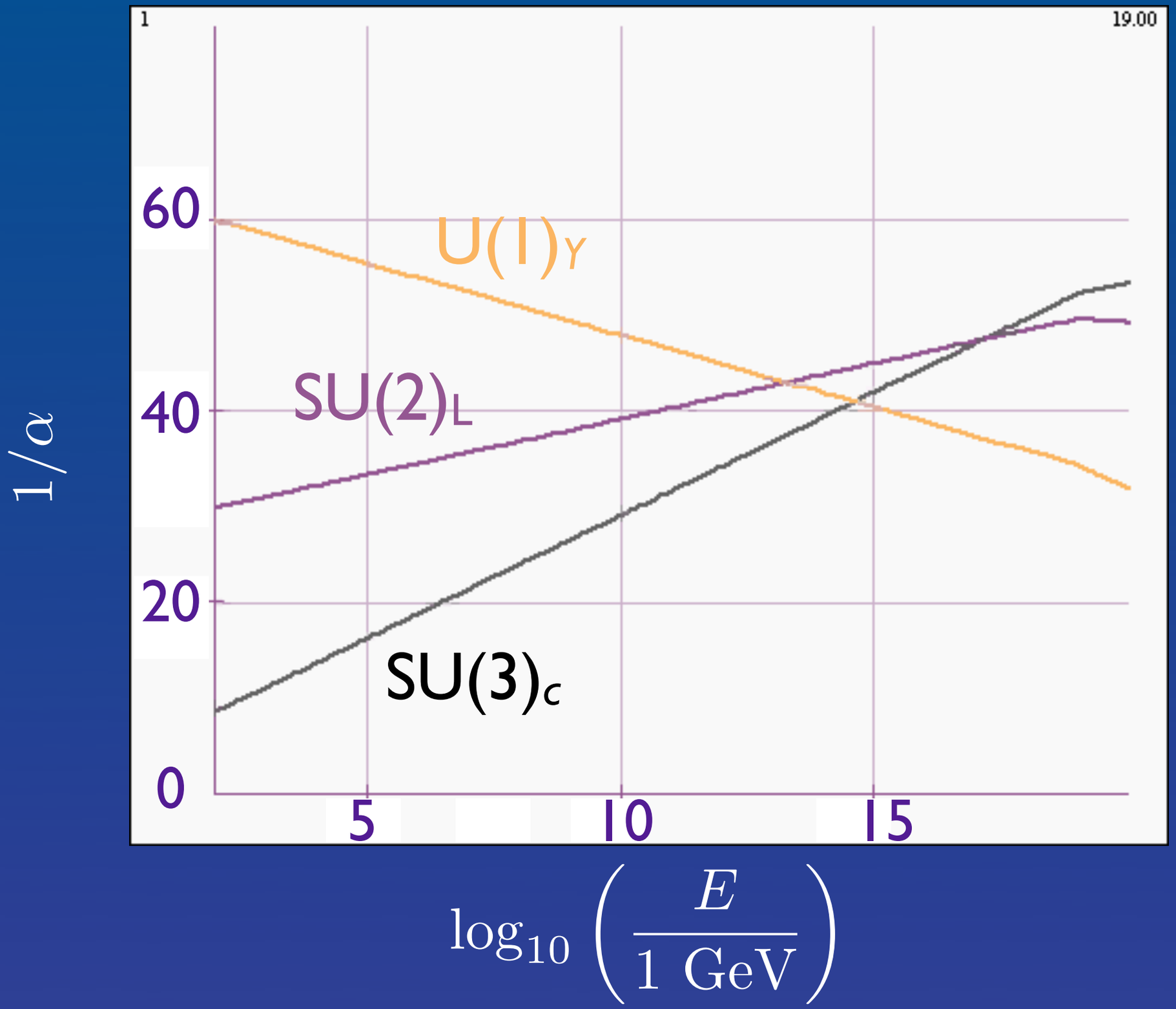
… devrait être une symétrie cachée



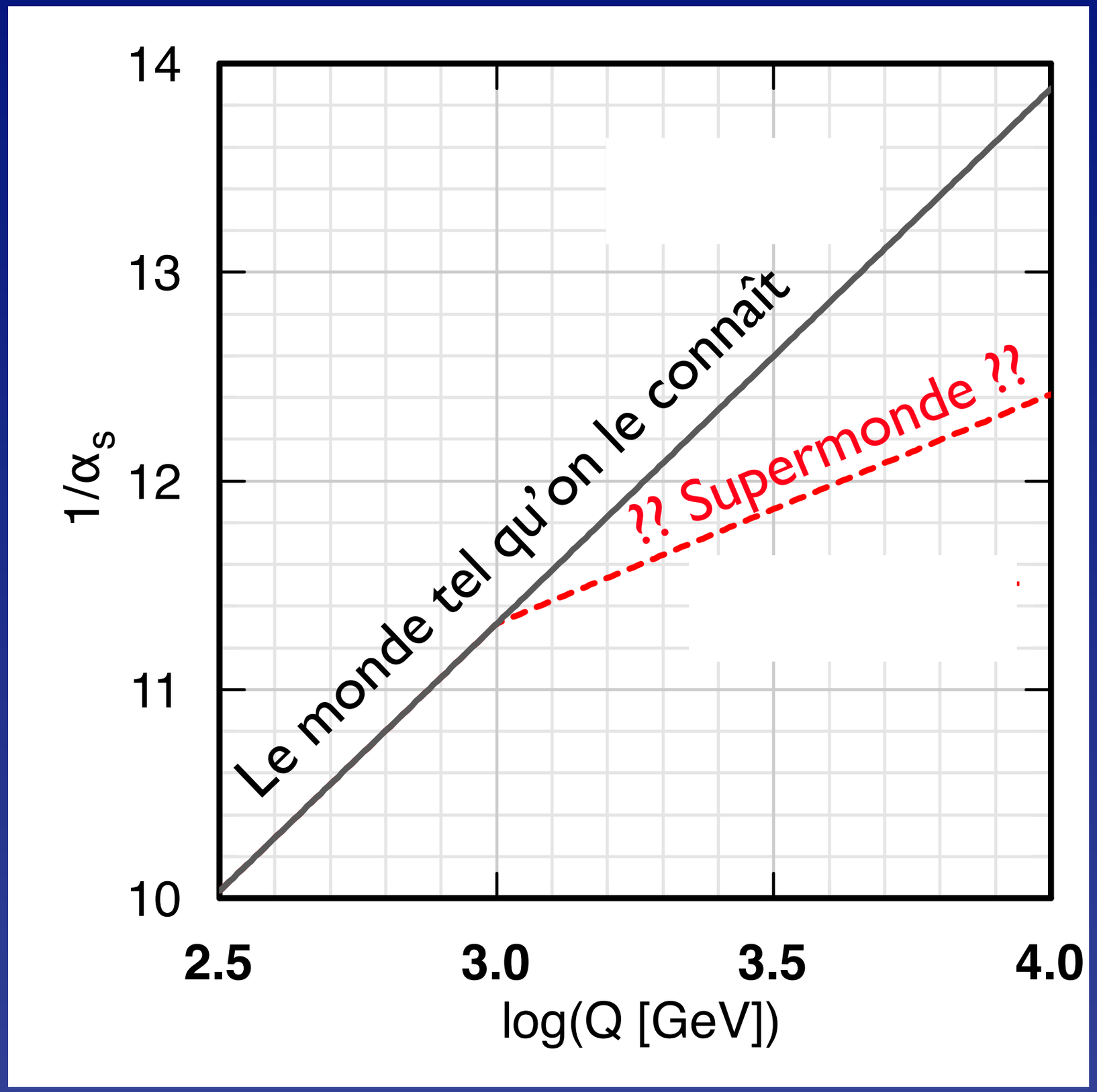
symétrie quark–lepton :

désintégration du proton !

Unification des forces?



Peut-on voir au LHC le changement ?



?