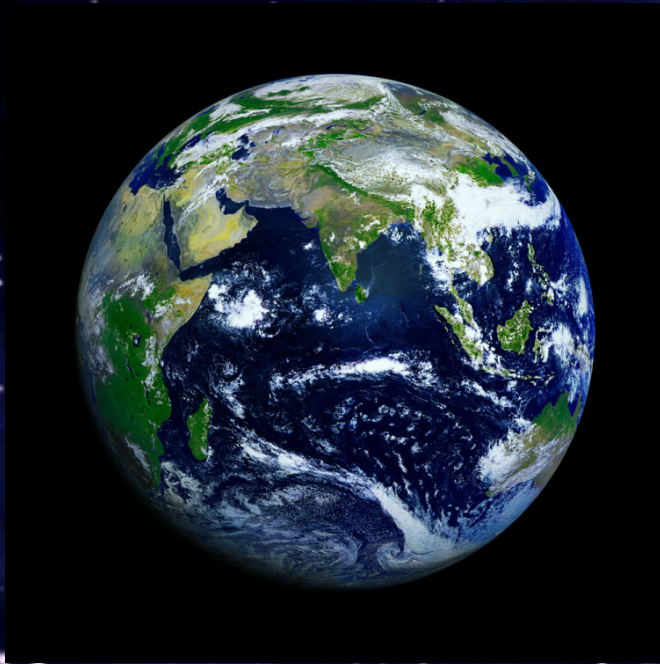


Introduction à la physique des particules

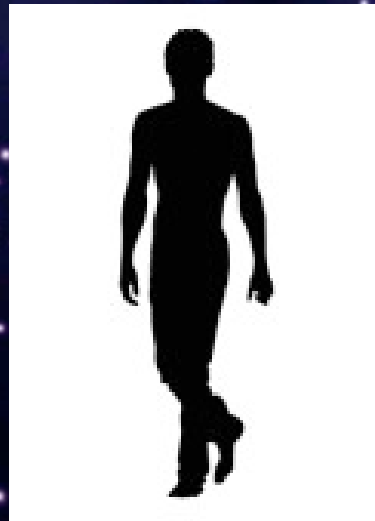
The background of the slide is a complex, abstract visualization of particle physics. It features a dark blue and black space filled with numerous small, glowing particles in shades of blue, green, and yellow. Several prominent, glowing blue and green spheres are scattered throughout, some appearing to be in motion or interacting. The overall effect is a sense of dynamic energy and scientific exploration.

Masterclasses 2018 - IPNL

L'univers est fait de particules



Les planètes



**Les êtres
vivants**




Les atomes

Les particules élémentaires

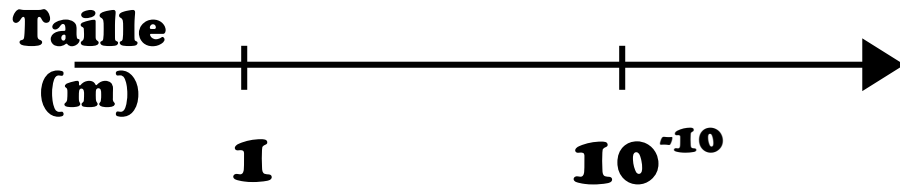
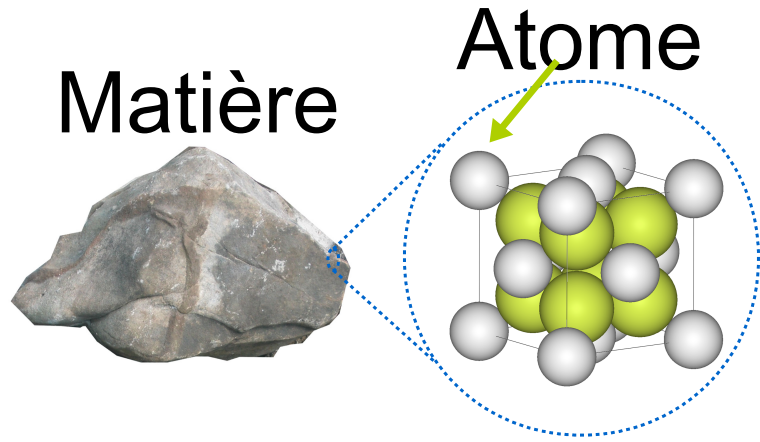
Matière



Taille
(m) 
1

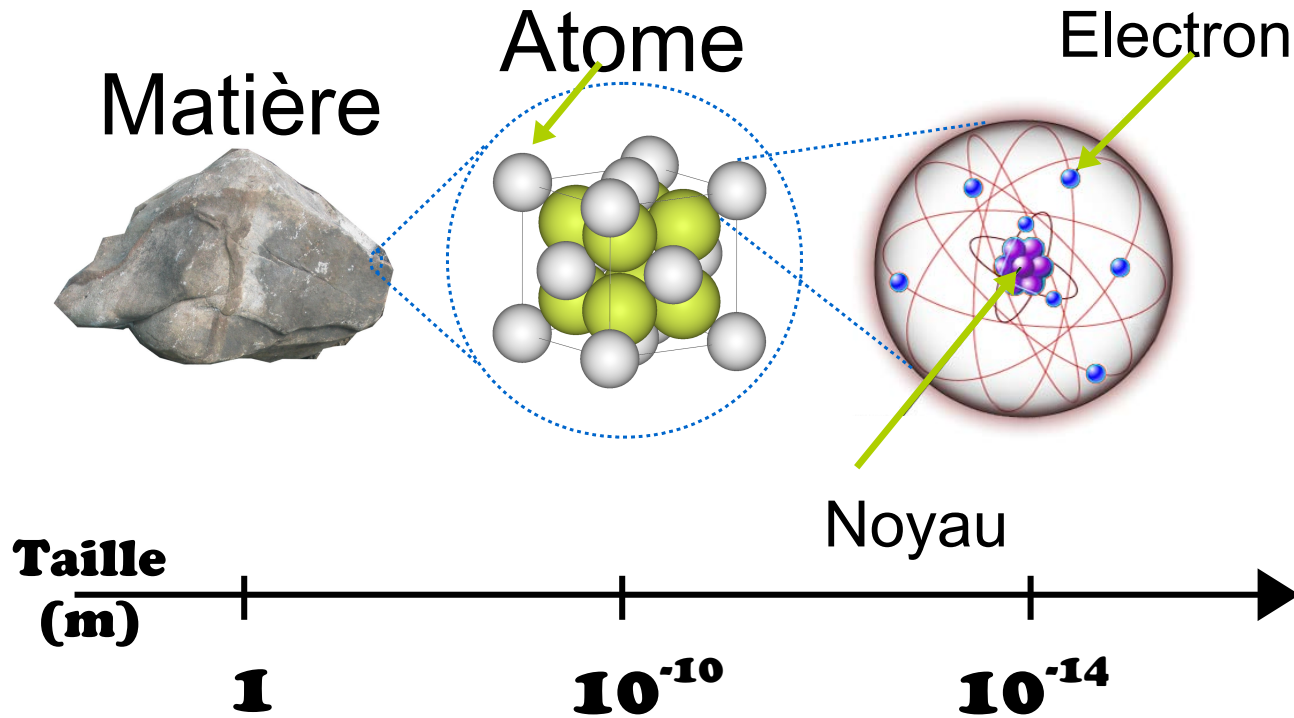
- Des particules **sans sous-structure** !
- Notion qui **varie avec l'époque** et les moyens expérimentaux

Les particules élémentaires



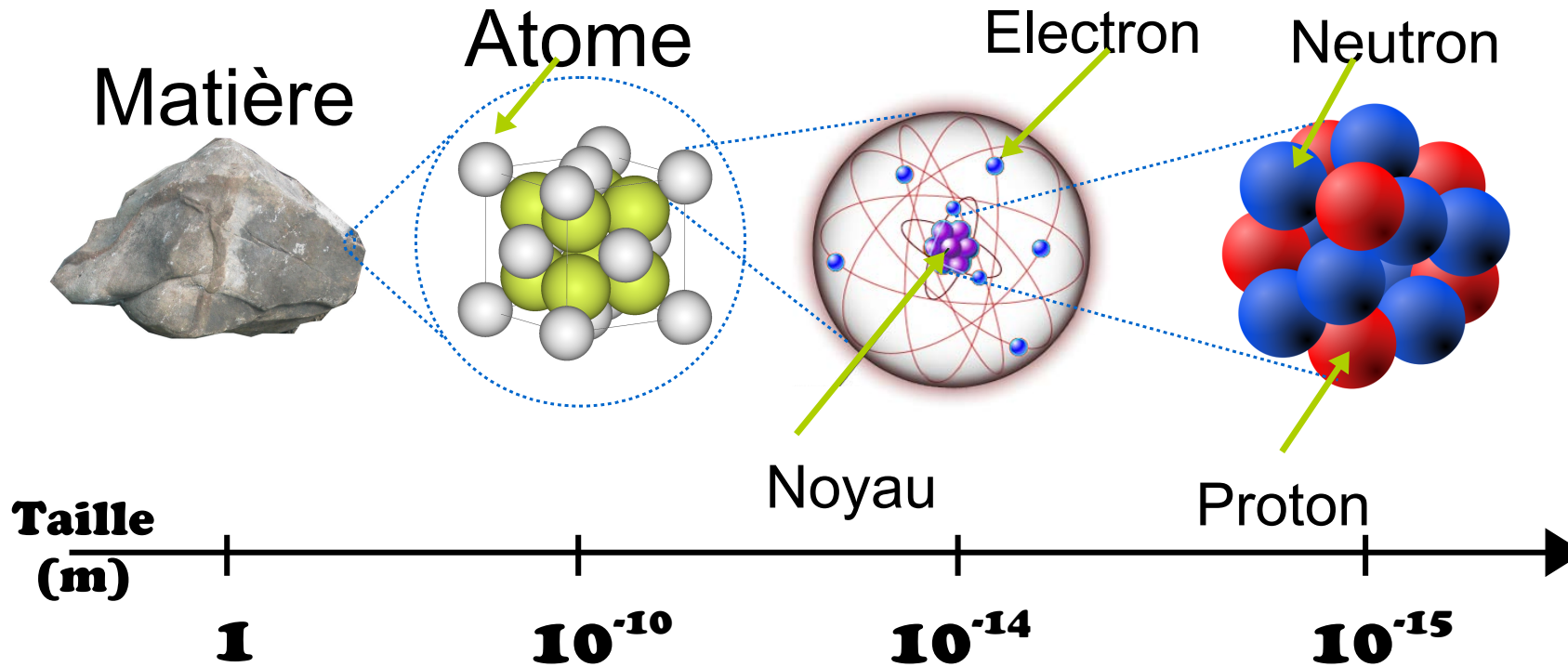
- **Atomes** : notion inventée dès l'antiquité. Composant indivisible de la matière.
- Atomes au sens moderne : XIXe siècle

Les particules élémentaires



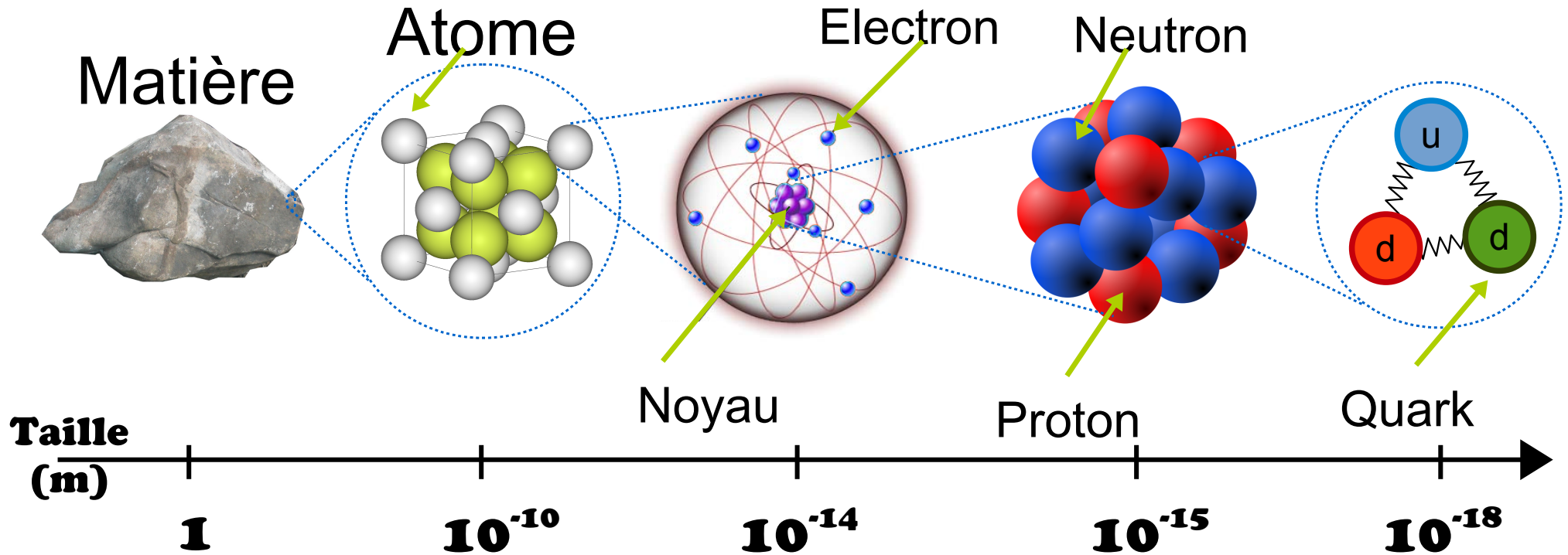
→ Découverte du **noyau et de l'électron** : fin XIXe, début XXe

Les particules élémentaires



→ Les noyaux sont fait de **protons et neutrons** (neutron découvert dans les années 1930)

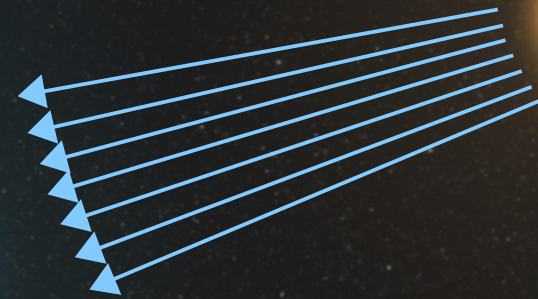
Les particules élémentaires



→ Les **électrons** et **quarks** (années 1960) sont des particules élémentaires : **sans sous-structure**

→ Masse $\sim 10^{-30}$ kg, taille $< 10^{-18}$ m !

Des particules élémentaires vous traversent !

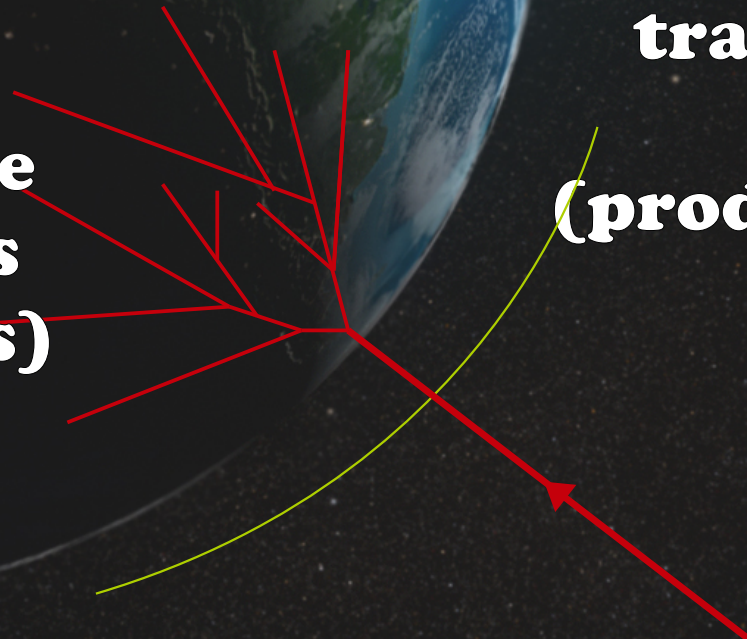


Neutrinos (ν)

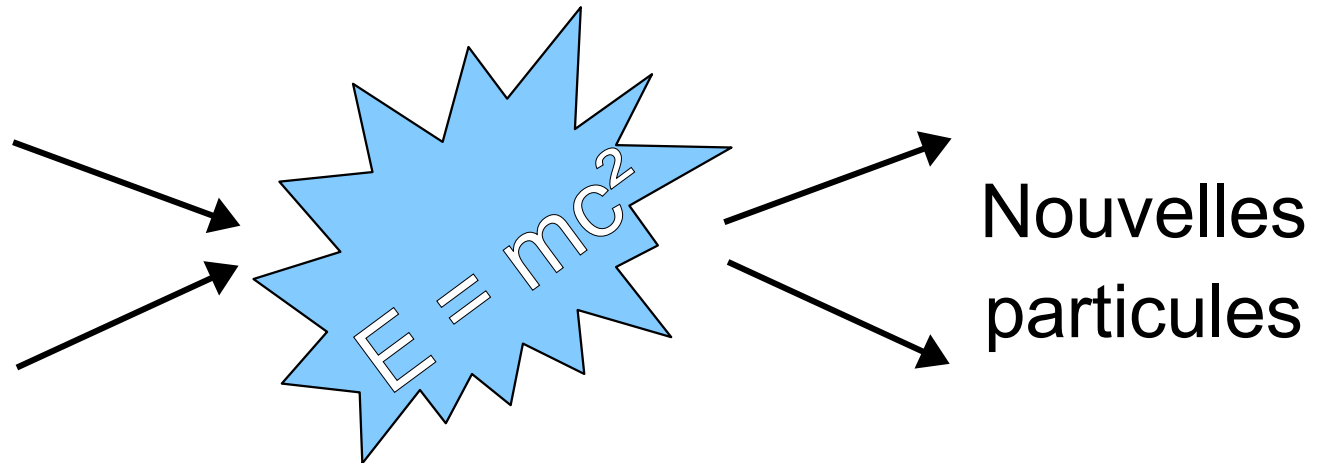
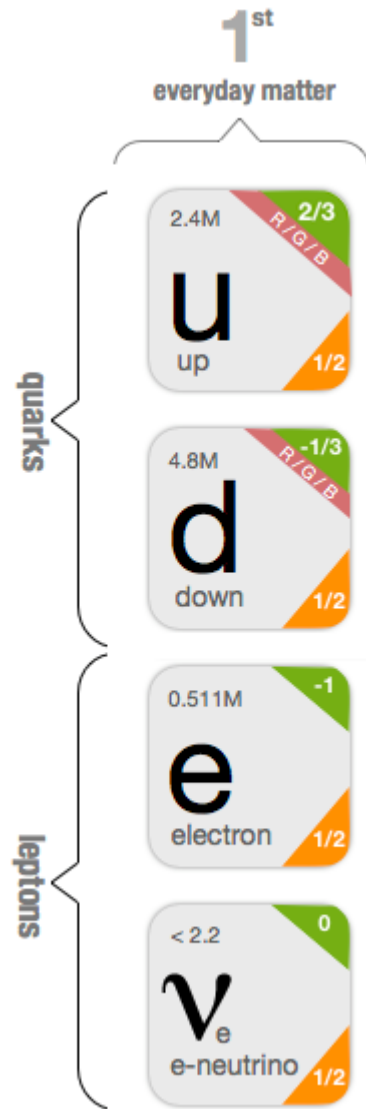
**100 000 milliards vous
traversent chaque
seconde !
(produits par le soleil)**

Muons (μ)

**~ 100 par seconde
(produits par les
rayons cosmiques)**



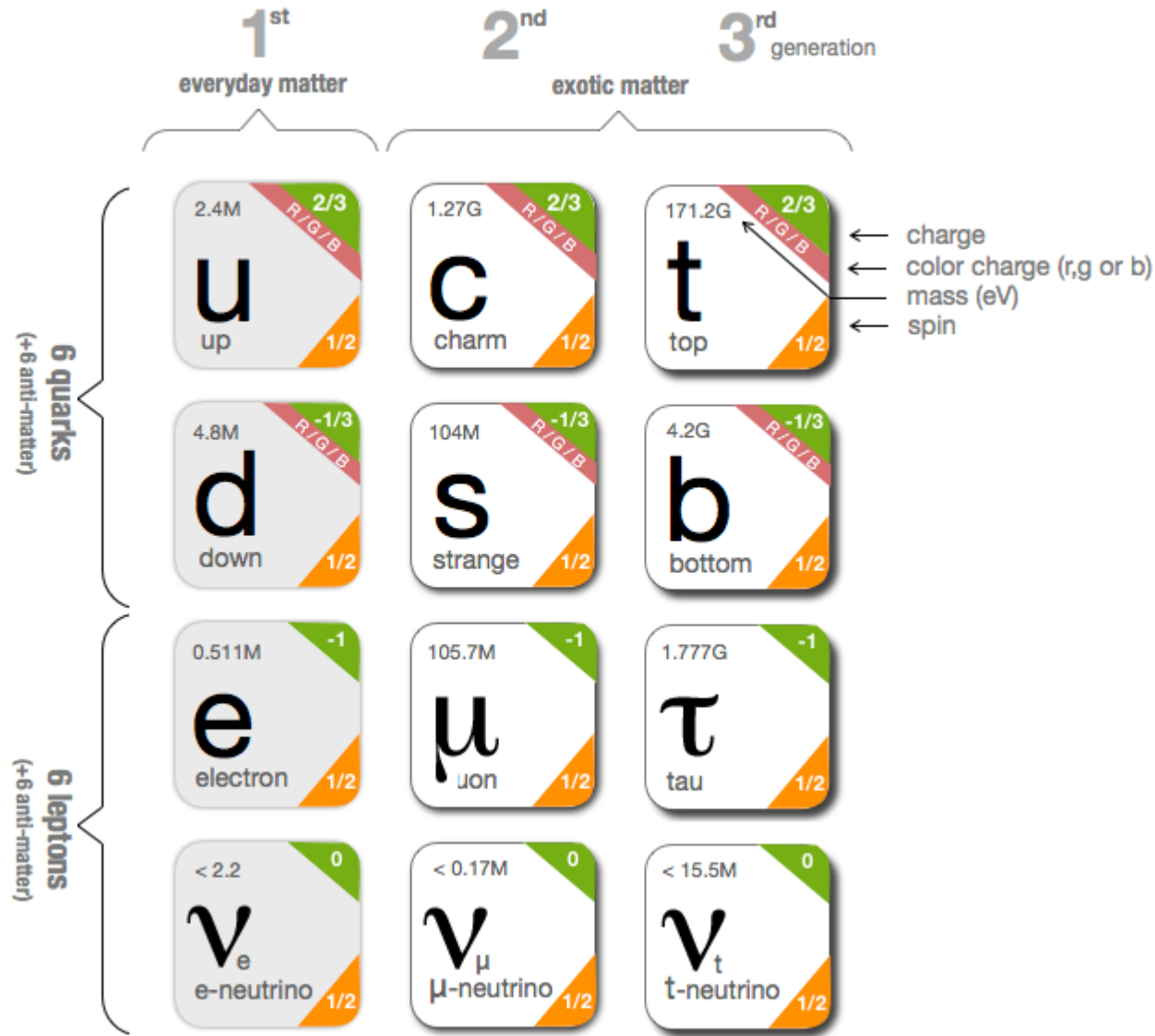
Les particules de matière



Collisions à haute énergie
(ex : accélérateur de particules)

Matière ordinaire

Les particules de matière

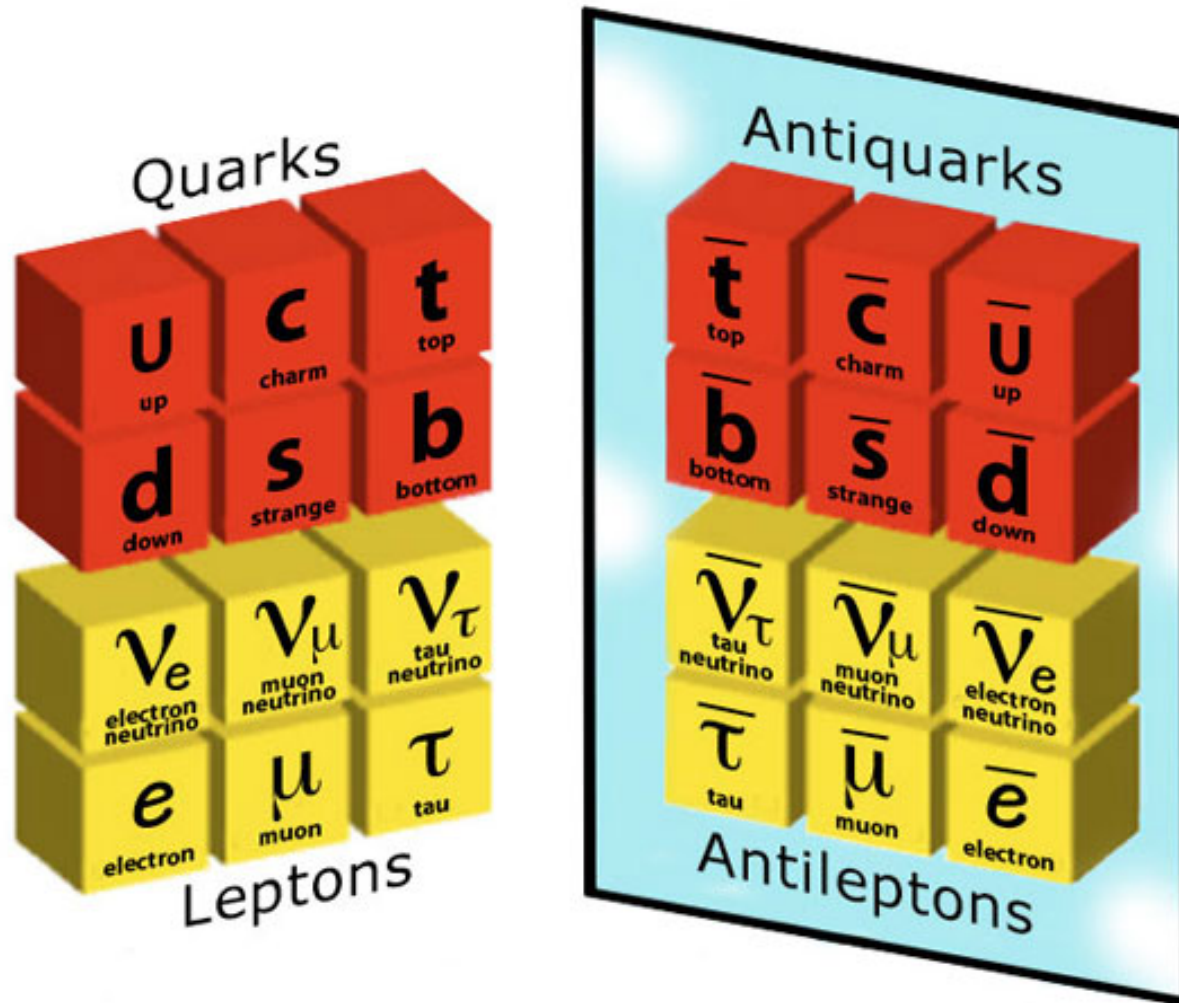


Matière
ordinaire

Désintégration
←

Matière
« **exotique** »

et leurs antiparticules



Pour chaque **particule**, il existe une **anti-particule** associée, avec les même propriétés et la même masse, mais une **charge électrique opposée**.

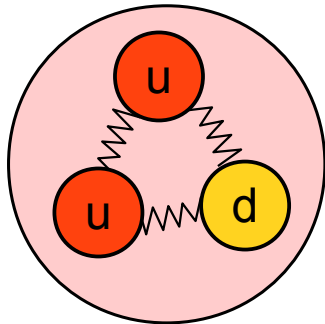
Les quarks forment des hadrons

Les **quarks** ne sont jamais isolés. Ils se regroupent en objets de charge électriques entière : les **hadrons**.

Matière ordinaire

Proton

(charge +1)

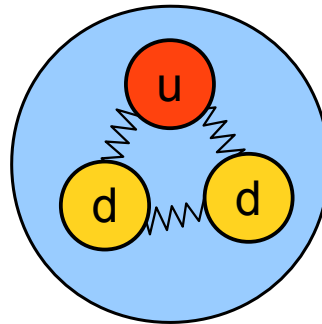


$$\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1$$

u u d

Neutron

(charge 0)



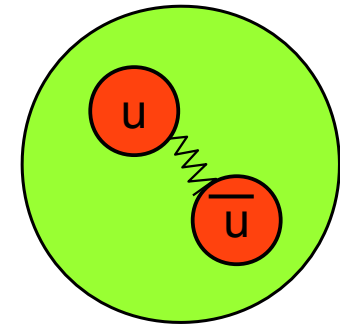
$$\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$$

u d d

Et exotique (exemple)

Pion

(charge 0)

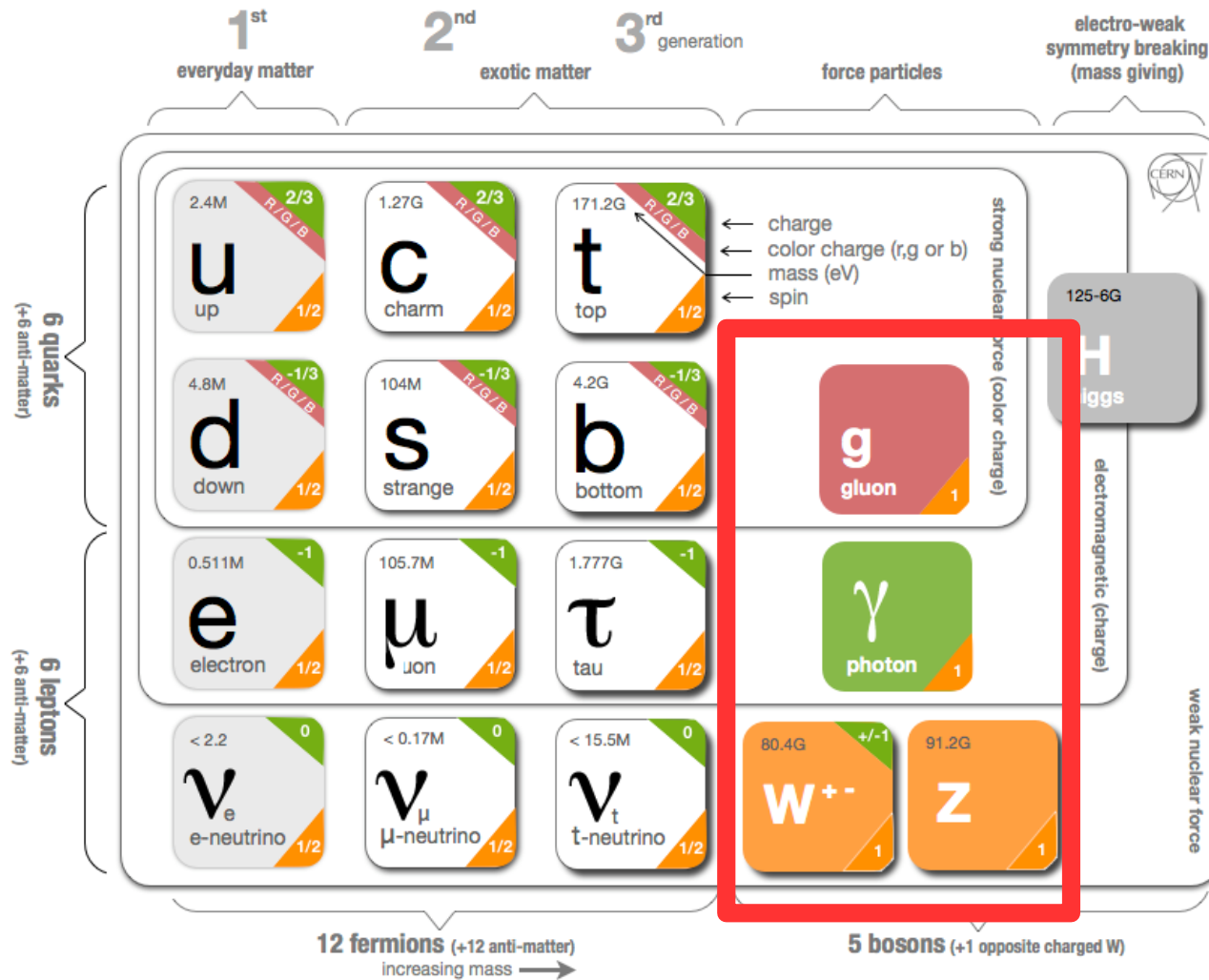


$$\frac{2}{3} - \frac{2}{3} = 0$$

u \bar{u}

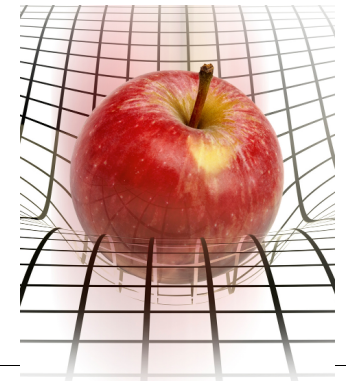
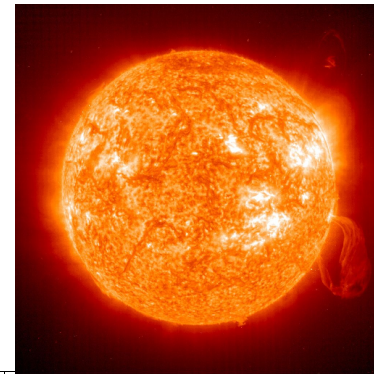
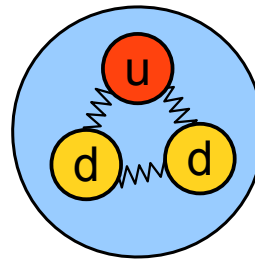
La cohésion des quarks provient d'une **force** (ou **interaction**)

Les interactions (bosons)



Les interactions

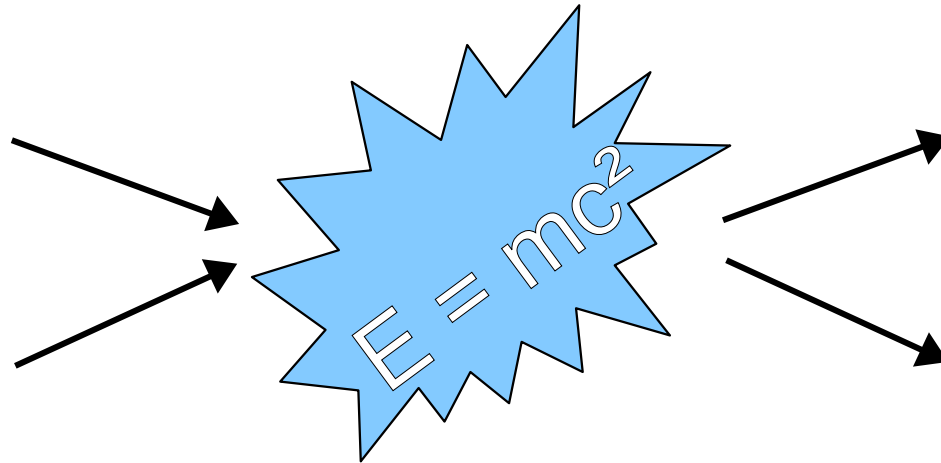
Nous décrivons la nature par **4 interactions fondamentales**, qui résultent de l'échange de **particules médiatrices**



| | | | | |
|-----------------------|-------------------------------|--------------|---------------------------------|----------------------|
| Interaction | Electro magnétique | Forte | Faible | Gravita- tionelle |
| Médiateur | Photon γ | Gluon g | 3 bosons W^+ , W^- , Z | (graviton ?) |
| Intensité relative | 10^{-2} | 1 | 10^{-14} | 10^{-40} |

Les bosons

Particules
initiales



Nouvelles
particules

BOSONS

force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1

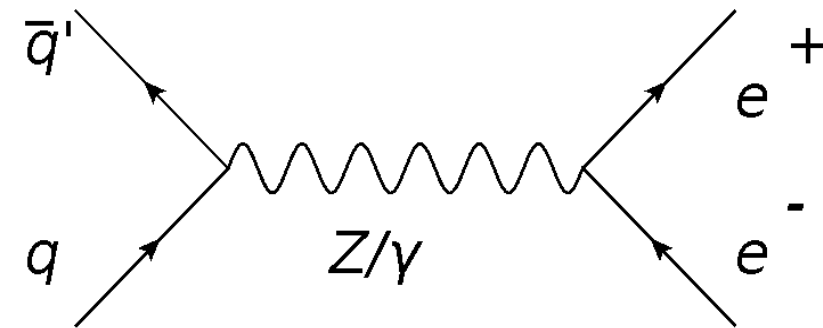
| Name | Mass GeV/c ² | Electric charge |
|--------------------|-------------------------|-----------------|
| γ photon | 0 | 0 |
| W^- | 80.39 | -1 |
| W^+ W bosons | 80.39 | +1 |
| Z^0 Z boson | 91.188 | 0 |

Strong (color) spin = 1

| Name | Mass GeV/c ² | Electric charge |
|-------------------|-------------------------|-----------------|
| g gluon | 0 | 0 |

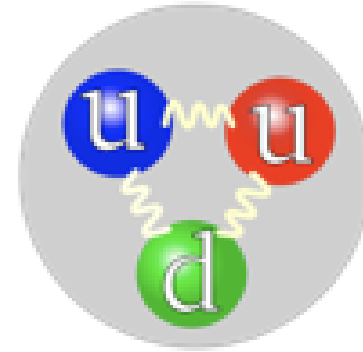
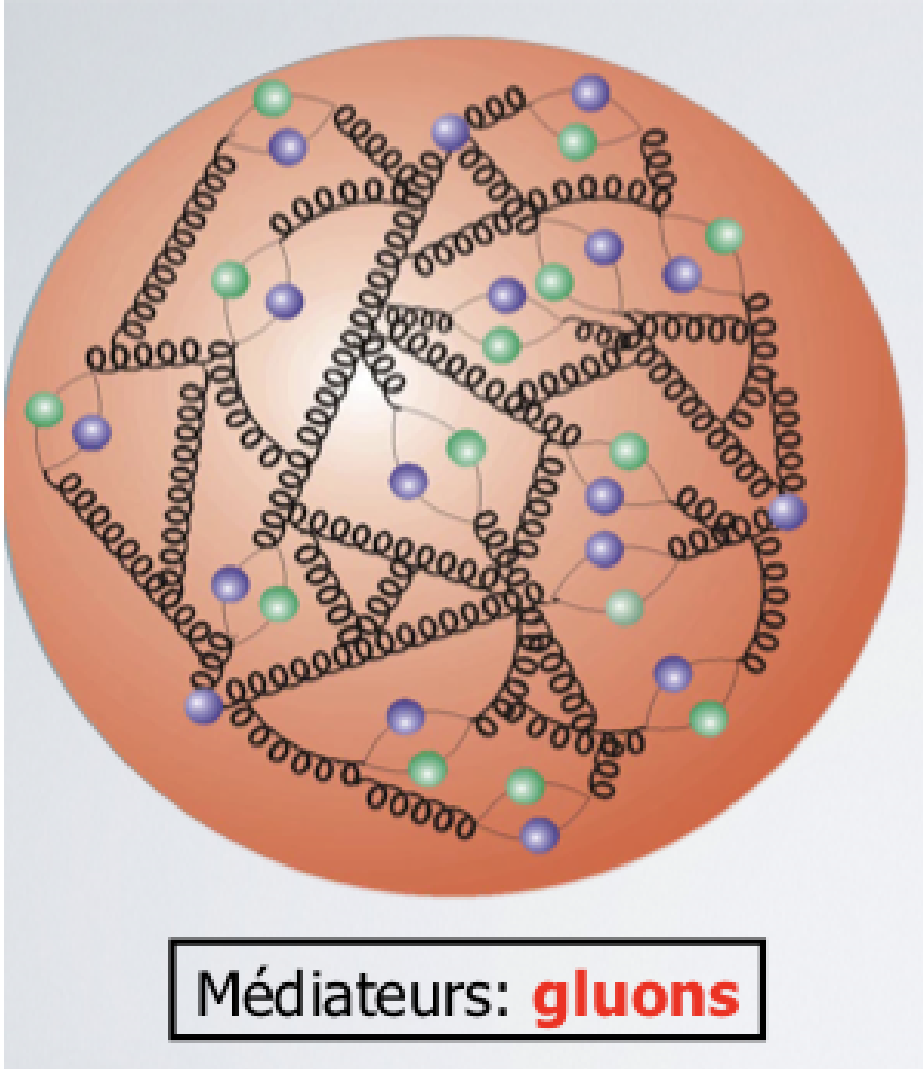
Higgs Boson spin = 0

| Name | Mass GeV/c ² | Electric charge |
|-------------------|-------------------------|-----------------|
| H Higgs | 126 | 0 |



(Exemple
d'interaction)

La masse

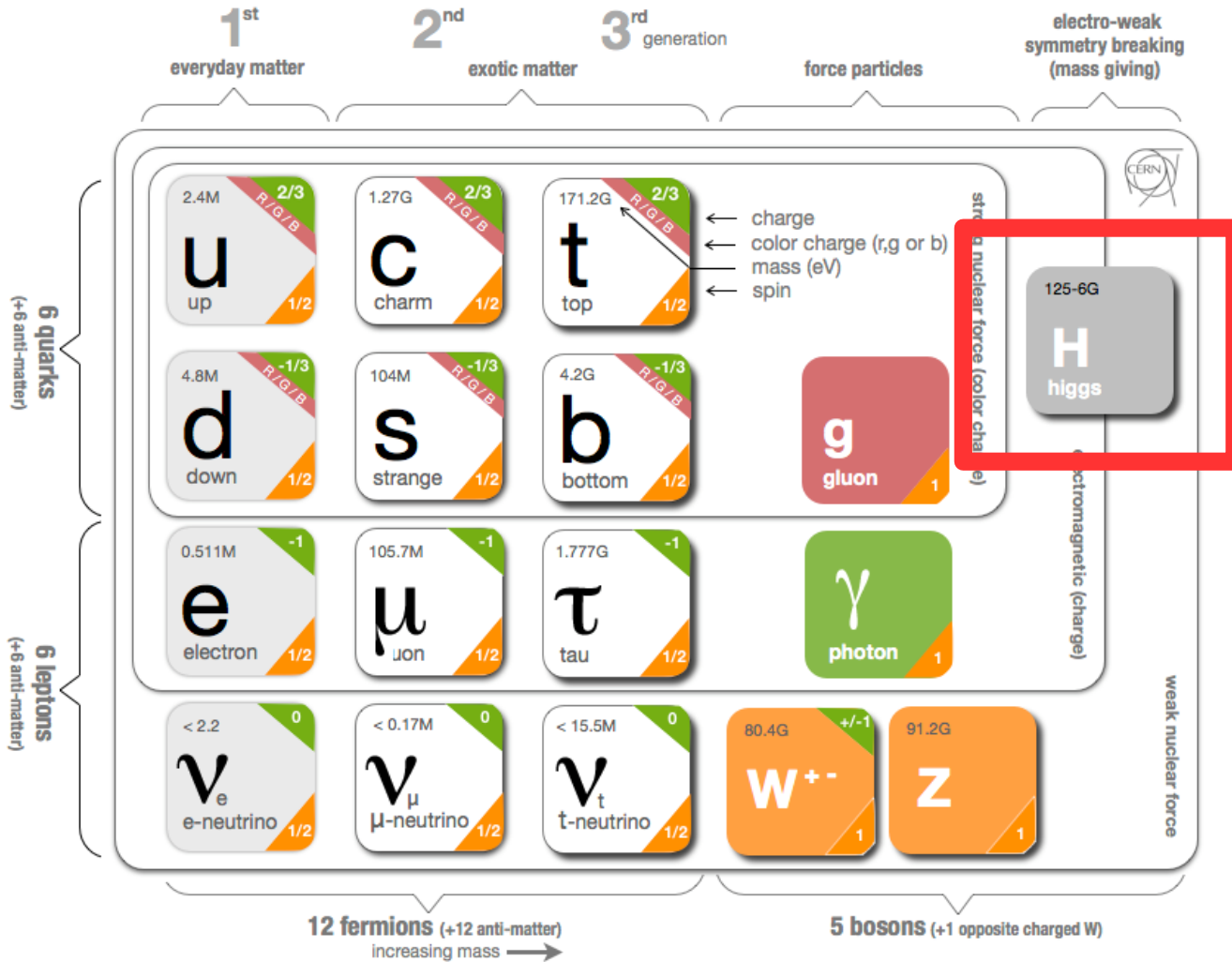


$$m_u = 2.3 \text{ MeV}/c^2, m_d = 4.8 \text{ MeV}/c^2$$

$$m_p = 938 \text{ MeV}/c^2$$

L'essentiel de la masse de notre matière provient de l'énergie portée par les gluons piégés dans nos protons et nos neutrons.

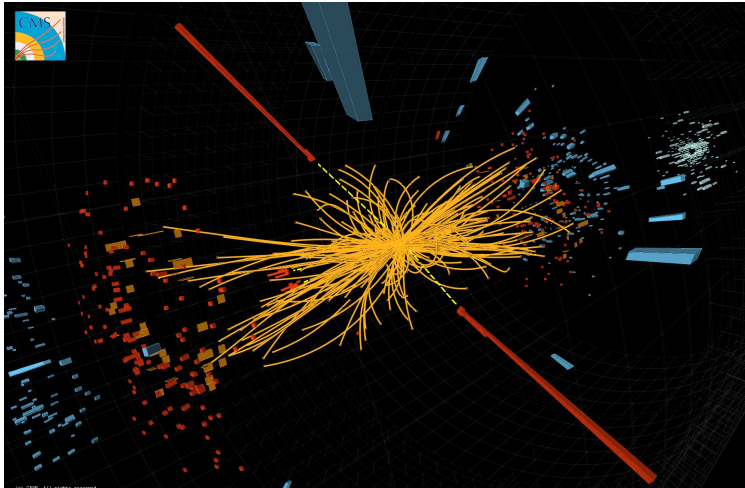
Le Modèle Standard



Le **Modèle Standard** est la théorie qui décrit les particules connues et leurs interactions.

Toutes ces particules avaient été observées avant le LHC, sauf une : le **boson de Higgs**, responsable de la masse des particules élémentaires

Le boson de Higgs

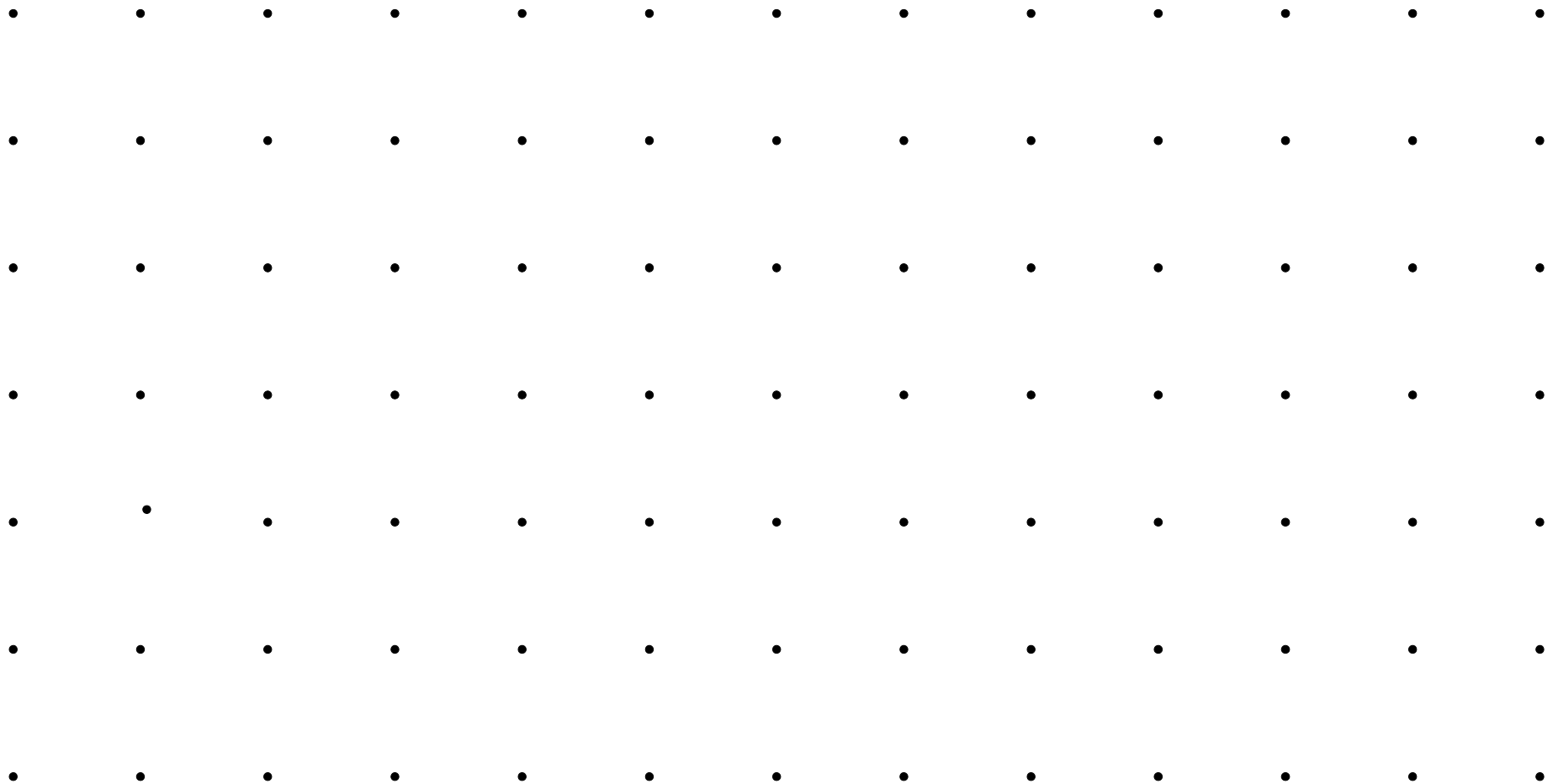


Observé en 2012,
40 ans après sa
prédiction !



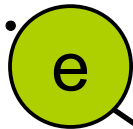
Le mécanisme de Higgs

Ou comment la masse des particules
est la manifestation de leur interaction avec
le **champ de Higgs**



Le mécanisme de Higgs

Ou comment la masse des particules est la manifestation de leur interaction avec le **champ de Higgs**



L'**électron interagit peu**

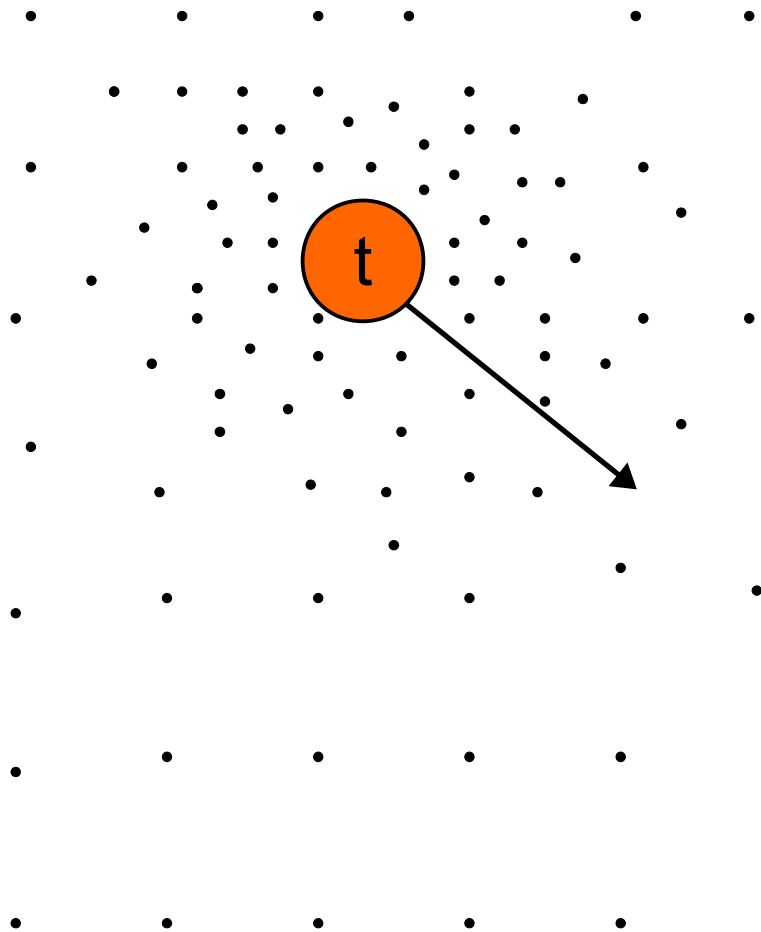
avec le champ de Higgs :

une faible quantité d'énergie lui

donne une **grande vitesse**

Le mécanisme de Higgs

Ou comment la masse des particules est la manifestation de leur interaction avec le **champ de Higgs**



Le **quark top interagit beaucoup** avec le champ de Higgs :
il lui fait plus d'énergie pour se déplacer, il paraît **plus lourd** !

Cependant, encore beaucoup de questions sans réponses...

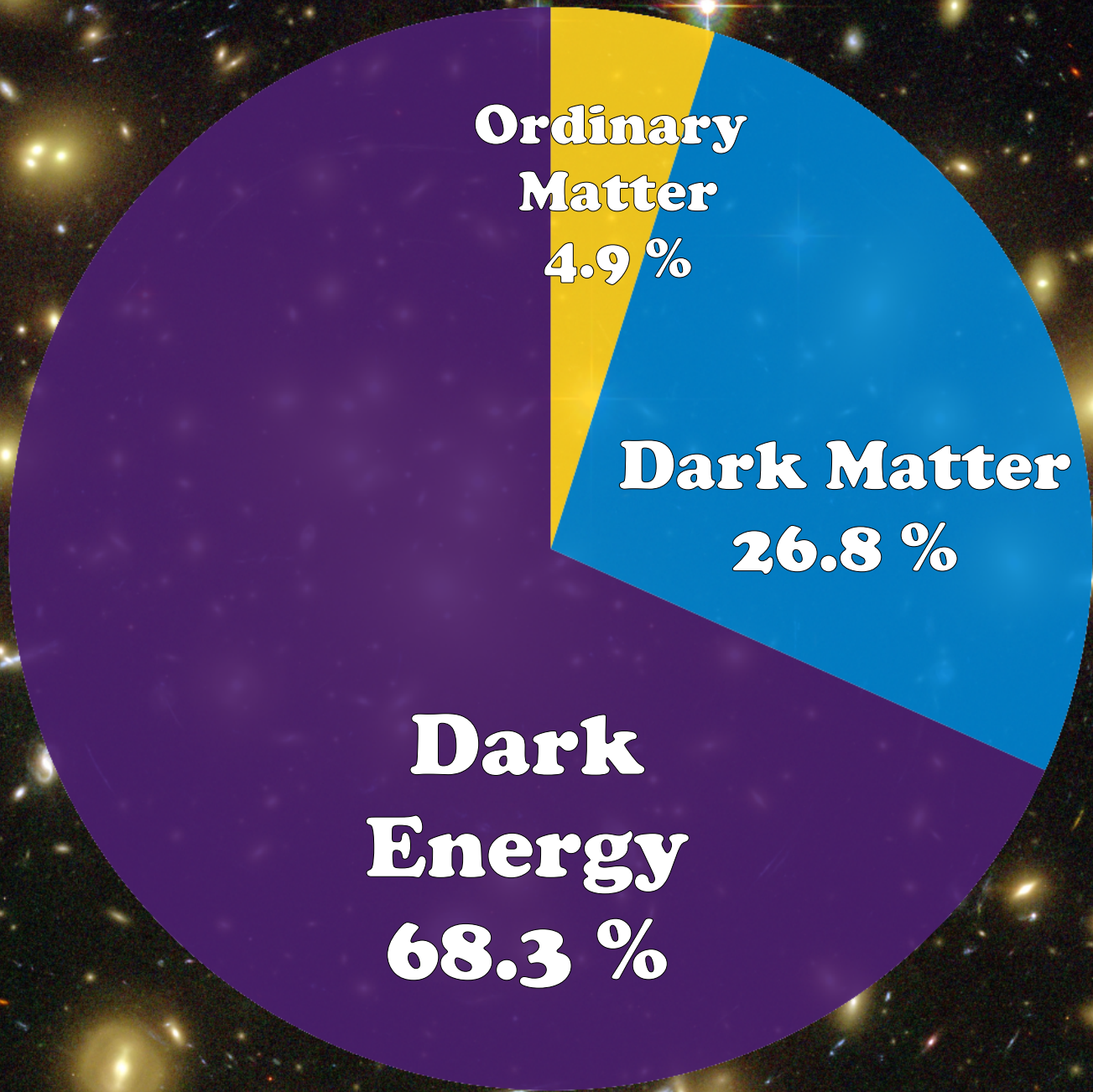
- Pourquoi y a-t-il **trois familles** de constituants ?
- Pourquoi le **quark top** est-il si lourd ?
- Où est passé l'**anti-matière** ? A l'origine, il y devait y avoir autant de matière que d'anti-matière.
- Qu'est-ce que la **matière noire** et l'**énergie sombre** ?
- Comment inclure la description de la **gravitation** ?
- Existe-t-il d'**autres particules**, proposées par des théories qui résoudreiraient ces problèmes ?



**Si les étoiles tournent
réellement à la vitesse
que l'on mesure ...**

A photograph of a spiral galaxy, likely the Milky Way, viewed from an angle. The galaxy's core is bright and yellowish, surrounded by a dense field of stars. Two yellow curved arrows are overlaid on the image, one pointing clockwise and one pointing counter-clockwise, indicating the direction of rotation. The background is a dark field of stars.

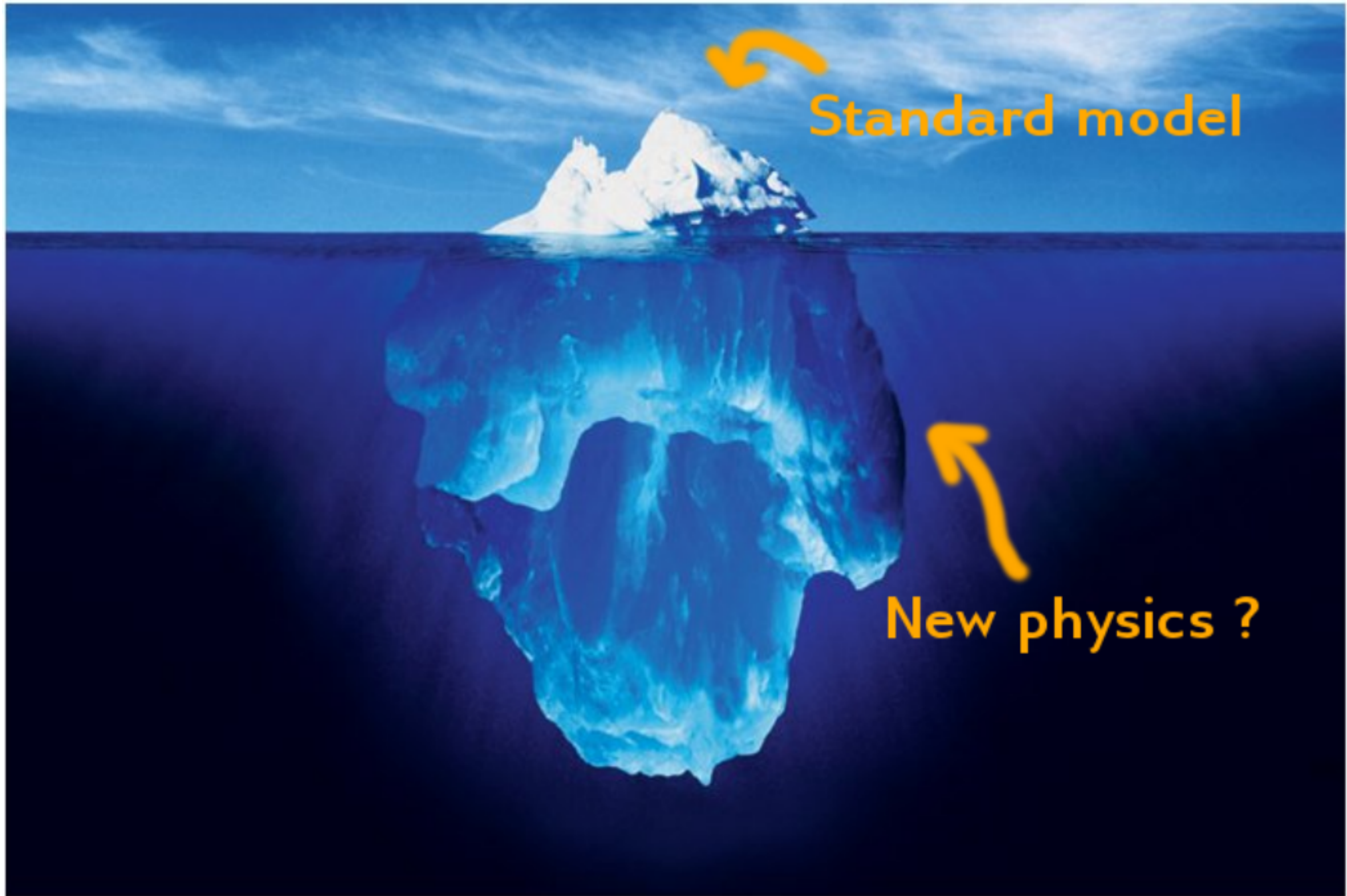
**... il doit y avoir
de la masse en plus, mais
qu'on ne voit pas !
De la « matière noire »**



**Ordinary
Matter**
4.9 %

Dark Matter
26.8 %

**Dark
Energy**
68.3 %



Standard model

New physics ?