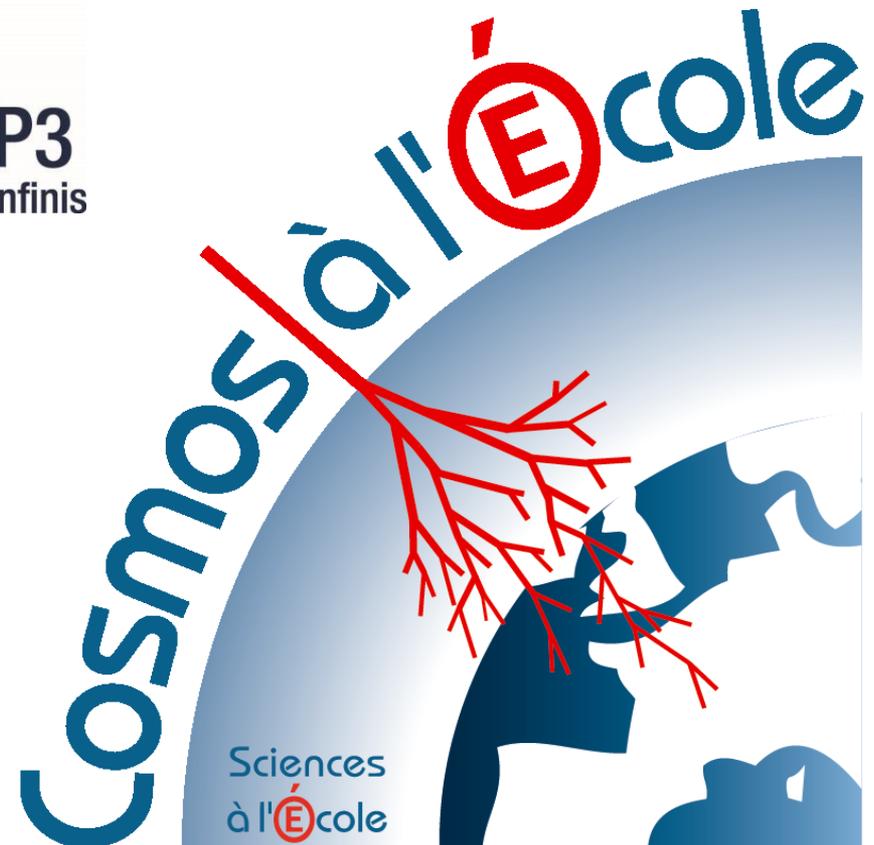
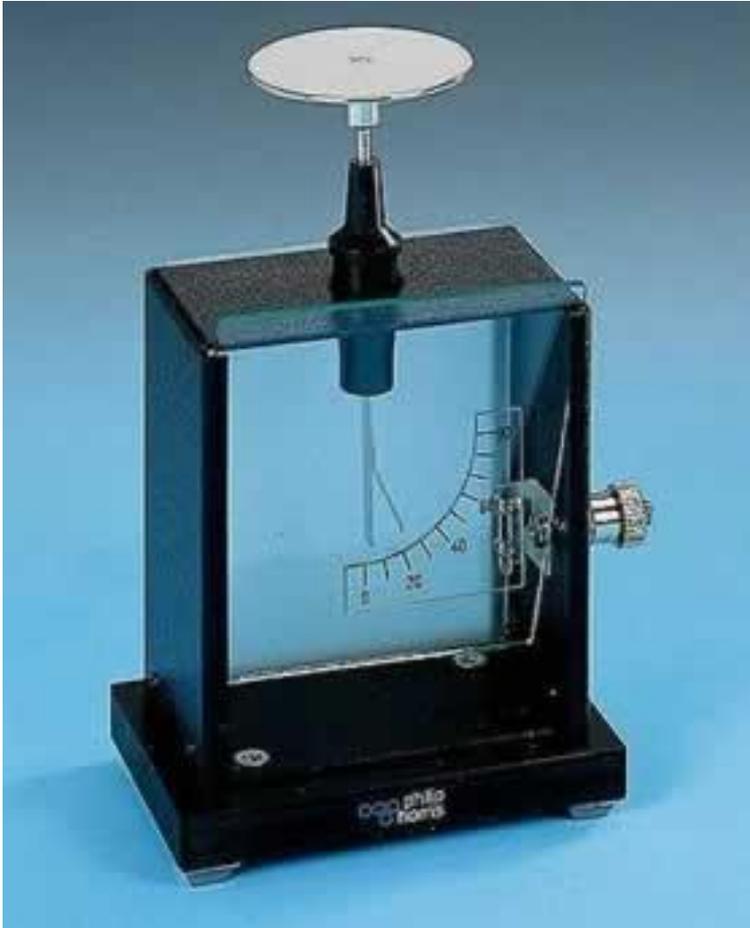


Présentation Cosmodécteur



18 octobre 2016
A. Winger



Au début du XX^{ème} Siècle, on constate la lente décharge inexorable des électromètres.

On sait que ce phénomène peut être provoqué par des particules ionisantes (α , β , γ).

Hypothèses:

- mauvais isolement de l'appareil?
- radioactivité de la croûte terrestre?

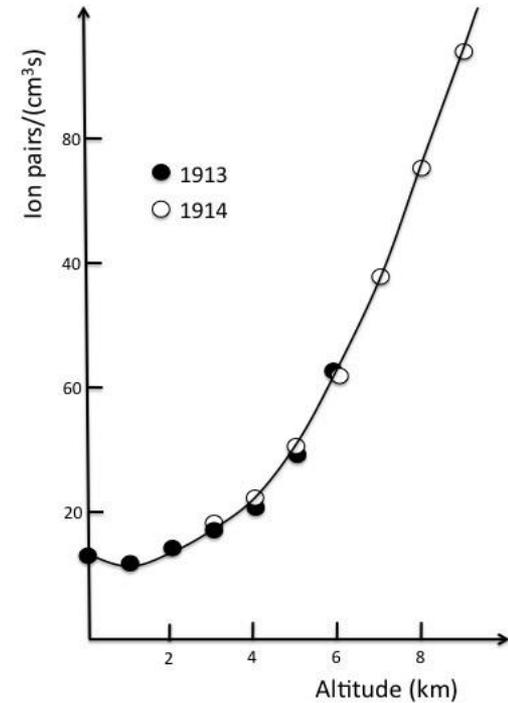
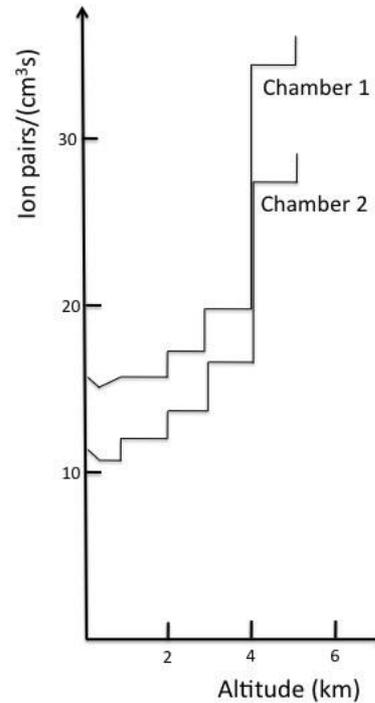


L'intensité du phénomène doit diminuer avec l'altitude!

Victor Hess, 1912:



Résultats:



Le rayonnement augmente avec l'altitude!



Origine extraterrestre du rayonnement!

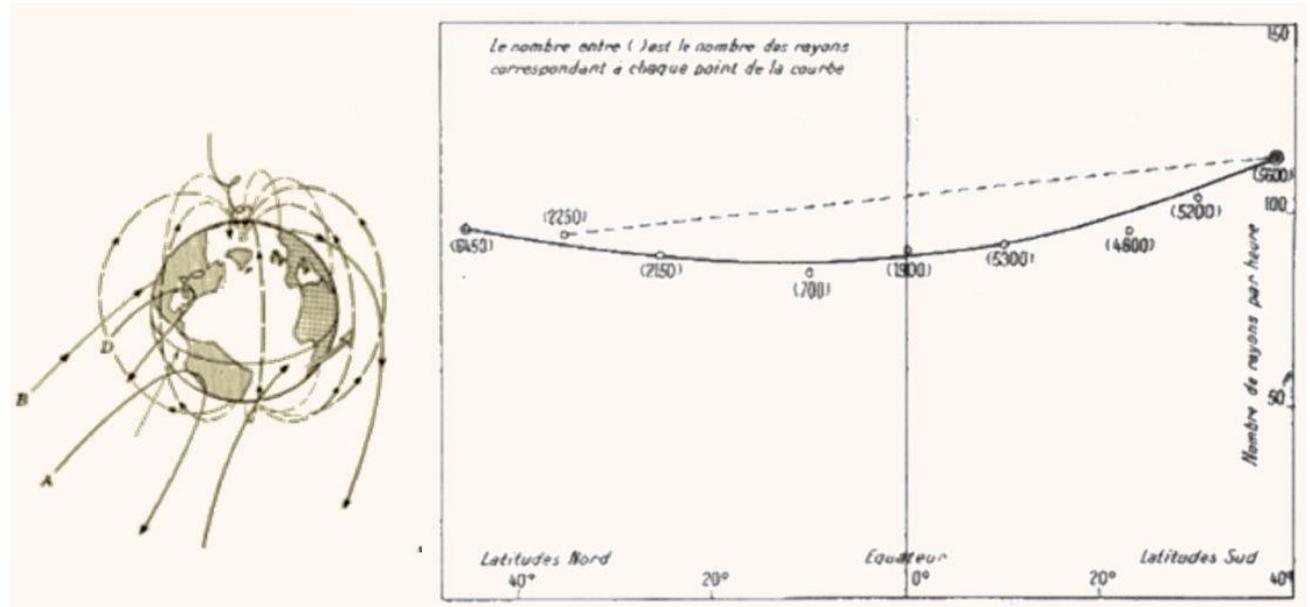
Pierre Auger

(1899-1993)



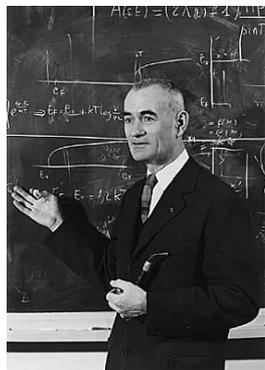
Mise en évidence de la latitude:

Hambourg-Buenos Aires (1933)



Louis Leprince-Ringuet

(1901-2000)



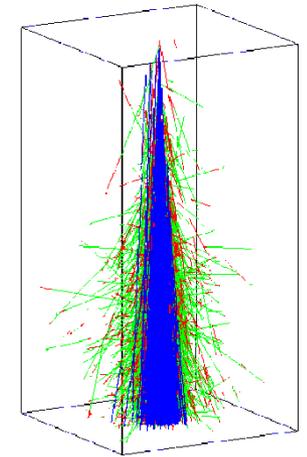
Ce sont des particules chargées!

Pierre Auger

(1899-1993)

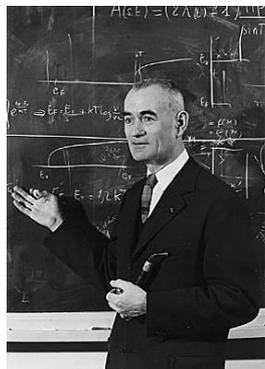


Pierre Auger découvre les grandes gerbes au Jungfrauoch (1933):



Louis Leprince-Ringuet

(1901-2000)



On les étudiera aussi au Pic du Midi de Bigorre (*Hautes Pyrénées*)



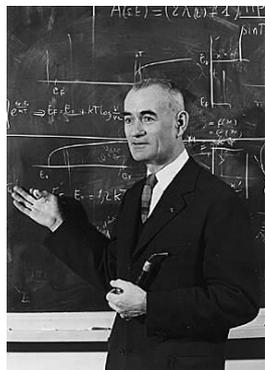
Les rayonnements cosmiques

Expériences

Pierre Auger
(1899-1993)



Louis Leprince-Ringuet
(1901-2000)



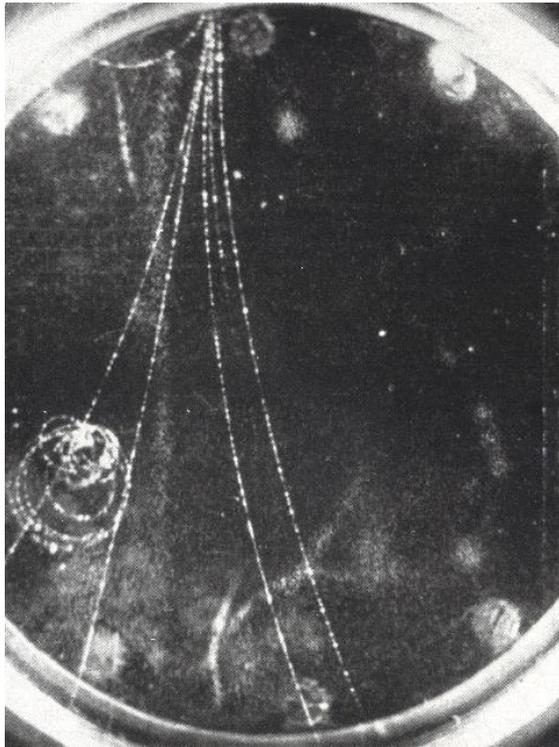
Le refuge des Cosmiques est créé grâce à L. Leprince-Ringuet (1946) pour y étudier le rayonnement pendant 10 ans.



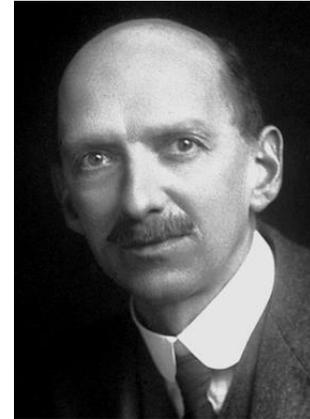
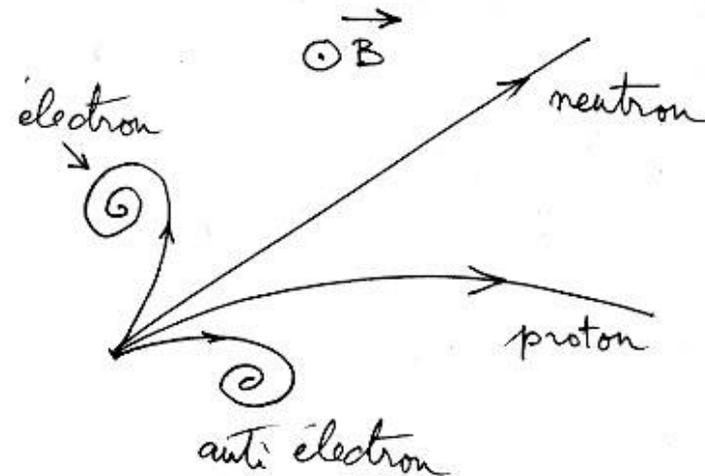
Les outils d'investigation de l'époque:

1. La chambre de Wilson: (1912)

Un exemple de cliché:

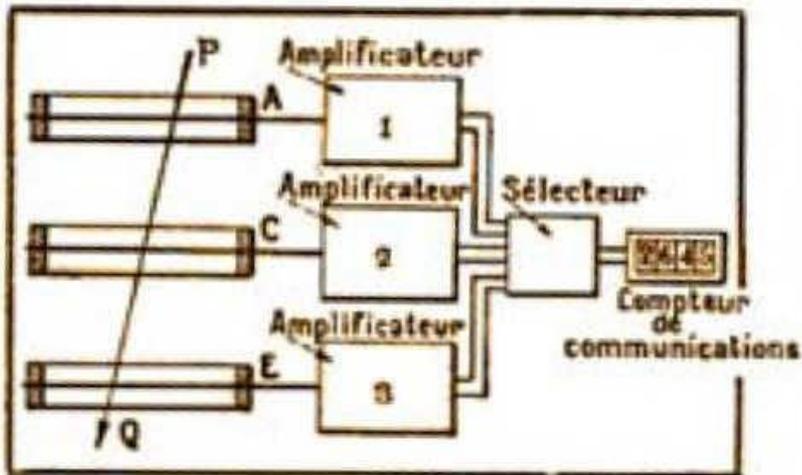


La présence d'un champ magnétique dévie les particules sélectivement selon le signe de leur charge électrique. Les particules les plus légères sont fortement déviées; les plus lourdes le sont moins.

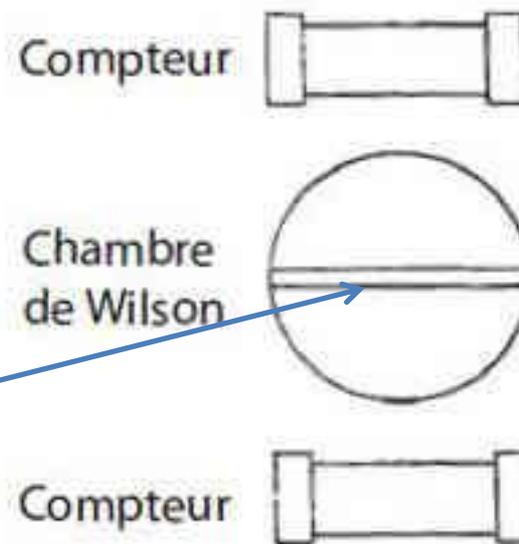


Les outils d'investigation de l'époque:

2. Le principe de la détection en coïncidence:

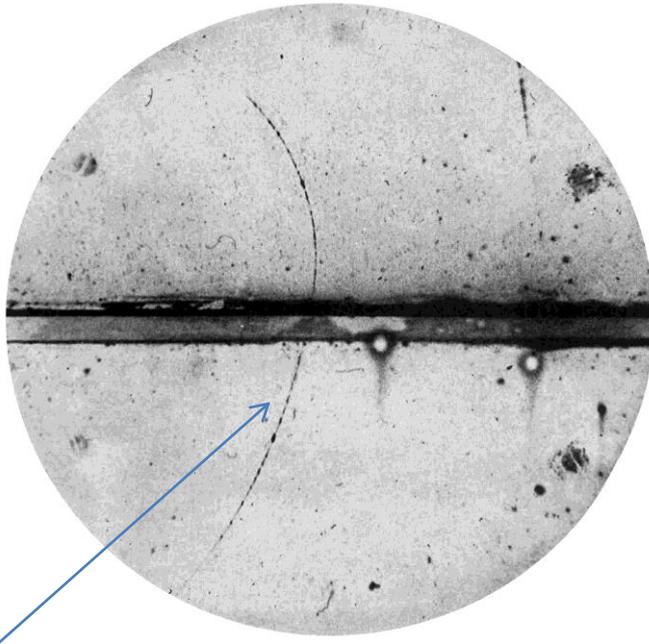


Différents détecteurs captent le passage d'une particule, et déclenchent l'appareil photo au bon moment, améliorant la qualité des clichés!



On intercale une lame de plomb pour ralentir les particules et identifier le sens de parcours en remarquant la modification de la courbure de la trajectoire.

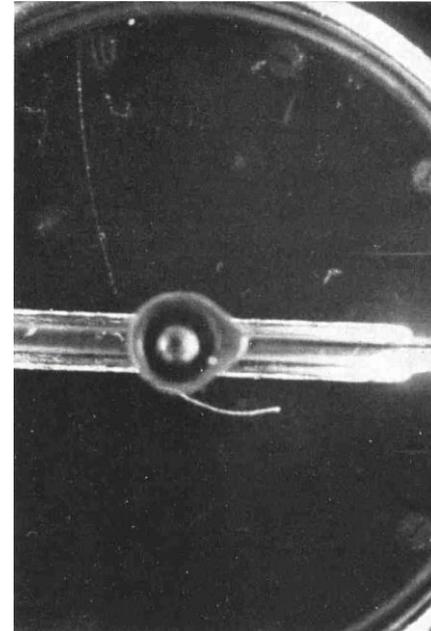
On découvre ainsi la première antiparticule: le positron en 1932...



La trajectoire du positron est courbée de manière identique à celle d'un électron, mais dans l'autre sens, en accord avec sa charge opposée.

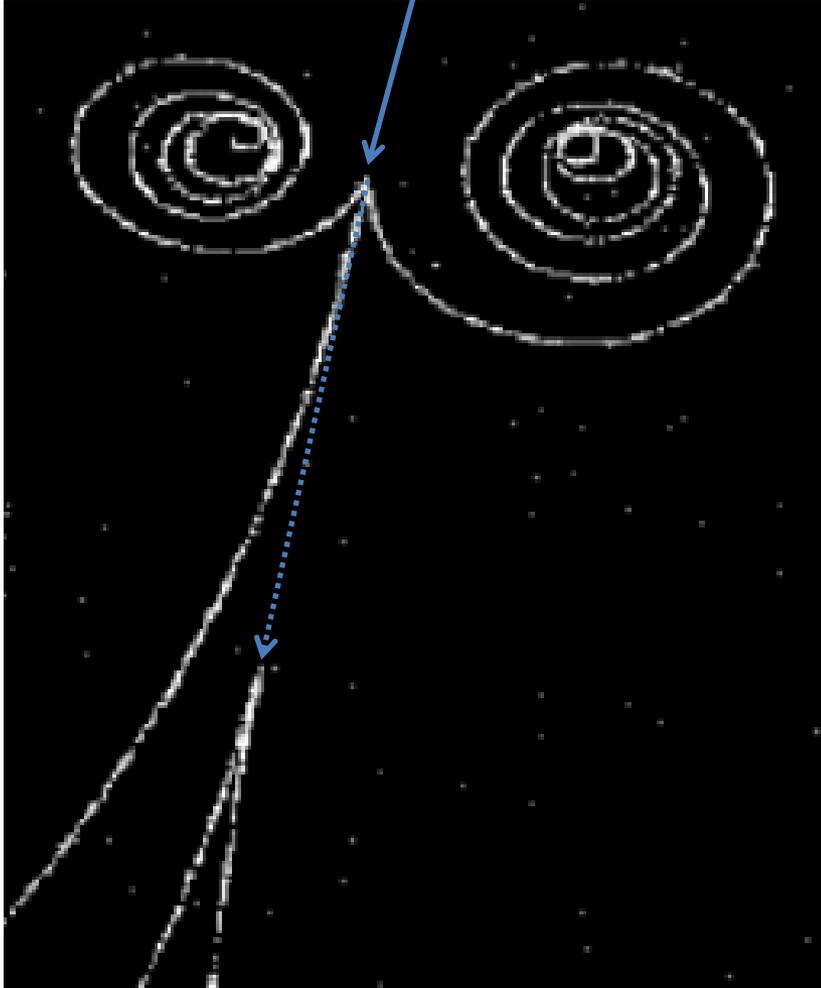
(prédit par Paul Dirac en 1928)

...et le muon en 1936:



La déviation se fait dans le même sens que pour un électron, mais la trajectoire est bien moins courbée que pour un électron, car le muon est environ 200 fois plus massif.

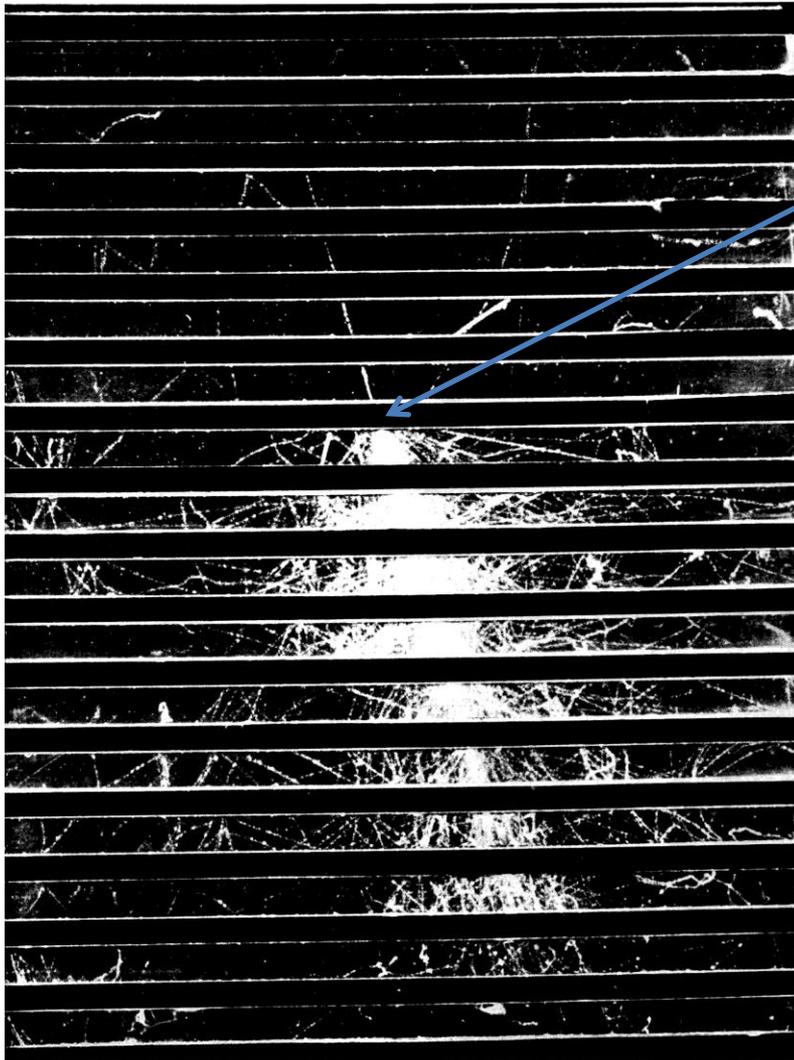
Particule incidente neutre (pas de traces) qui se désintègre...



...probablement en un électron et son antiparticule...

...et en une particule plus massive chargée (peut être un muon?) ainsi qu'une particule non chargée instable...

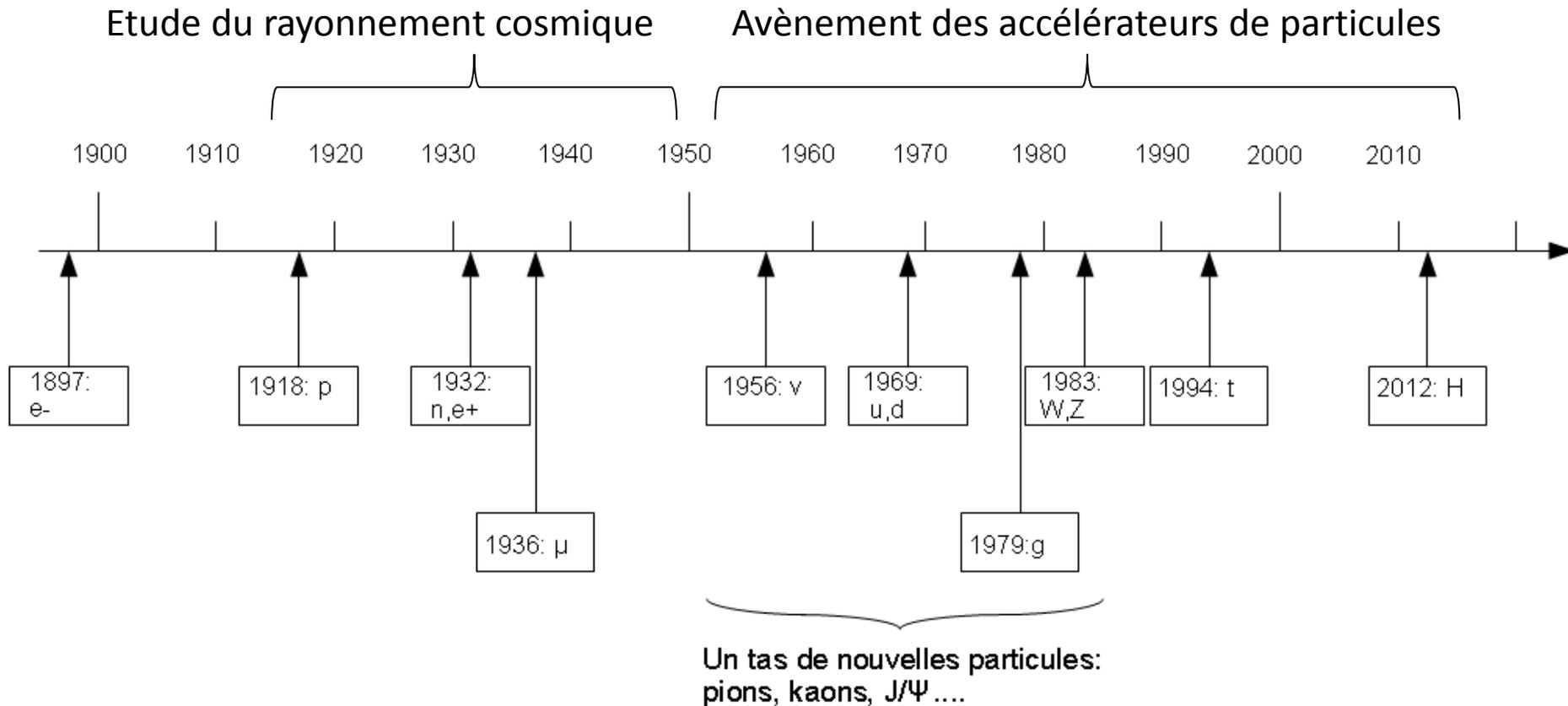
...qui se désintègre à son tour en deux autres particules.



Un proton de haute énergie qui interagit avec une plaque de plomb ici...

...pour donner une véritable gerbe de particules secondaires ensuite.

Le muon est le premier représentant d'une zoologie véritablement inattendue... et problématique! Jusqu'à la découverte des quarks en 1969.

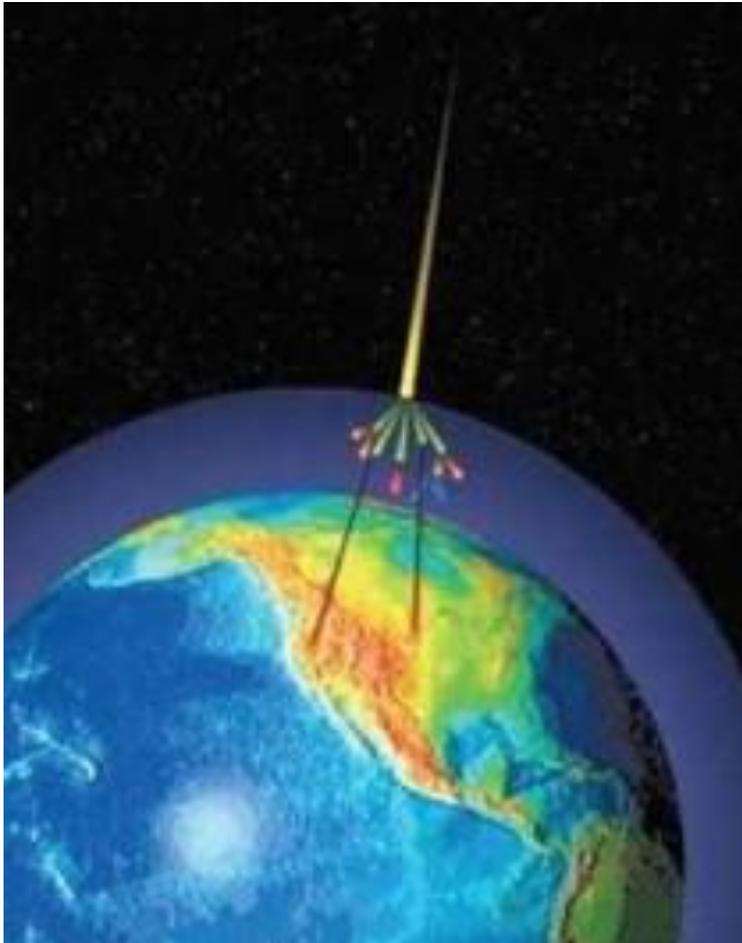


Le rayonnement cosmique primaire

Dans l'Univers, des particules cosmiques primaires stables voyagent à des vitesses très proches de la lumière.

- majoritairement des protons (87 %)
- des noyaux atomiques plus lourds (12%)
- des électrons (1%)

Le rayonnement cosmique secondaire



Une particule primaire frappe les molécules de la haute atmosphère, et produit de nombreuses particules secondaires selon la valeur de son énergie initiale.

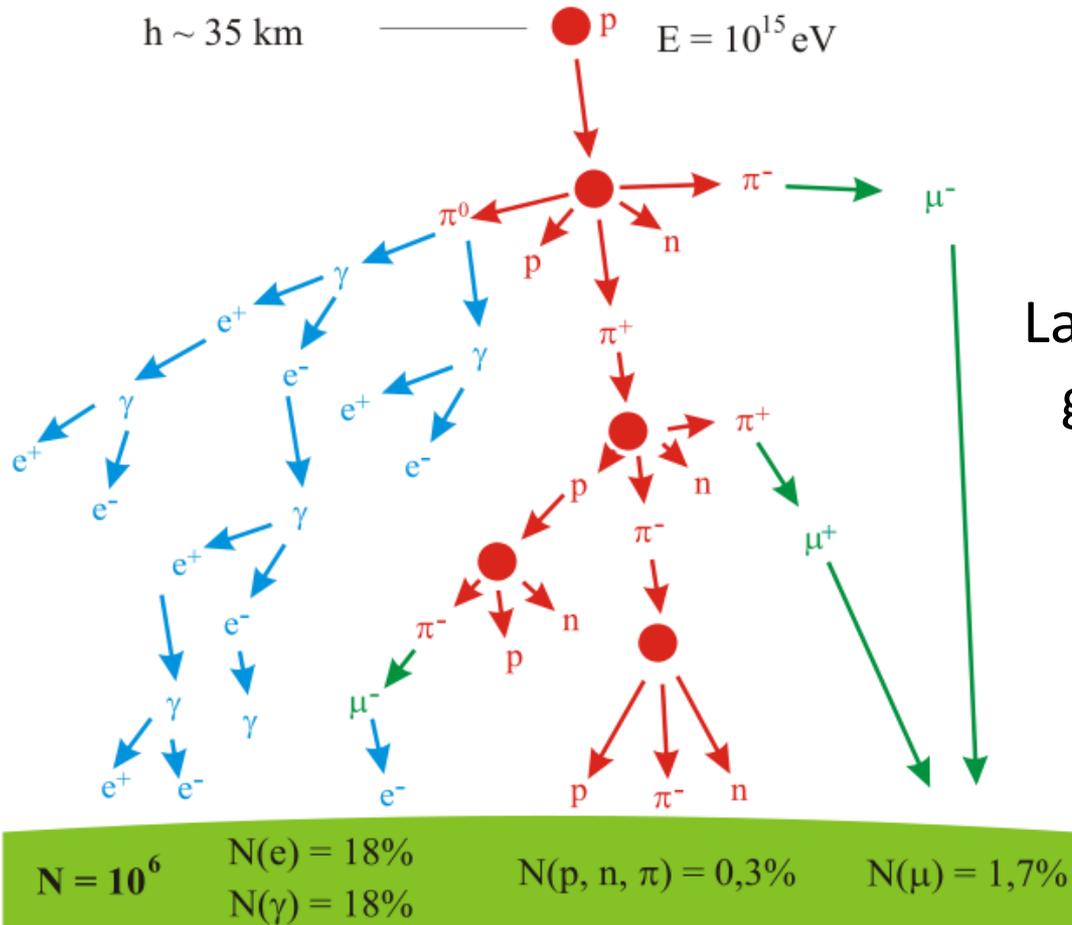
Exemple: proton $E=10^6$ GeV

L'énergie de masse du proton est $E_0=1$ GeV.

Or $E = \gamma E_0$ avec $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

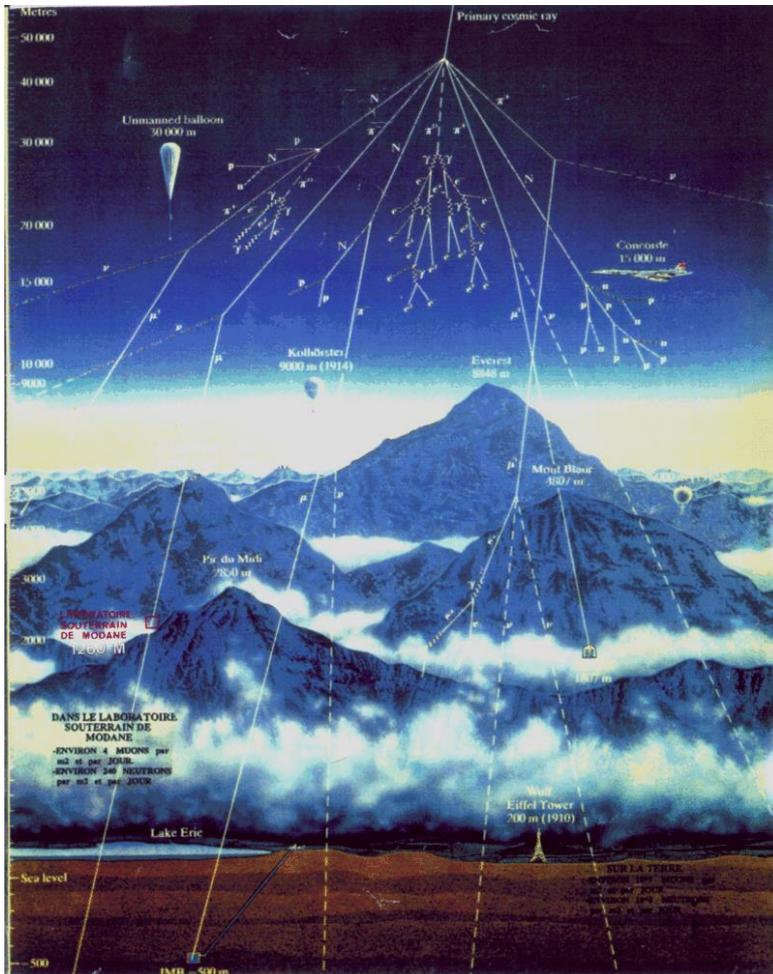
La collision peut donc créer beaucoup de particules secondaires!

Le rayonnement cosmique secondaire



La collision primaire crée une gerbe de particules, qui se développe en cascade.

Le rayonnement cosmique secondaire

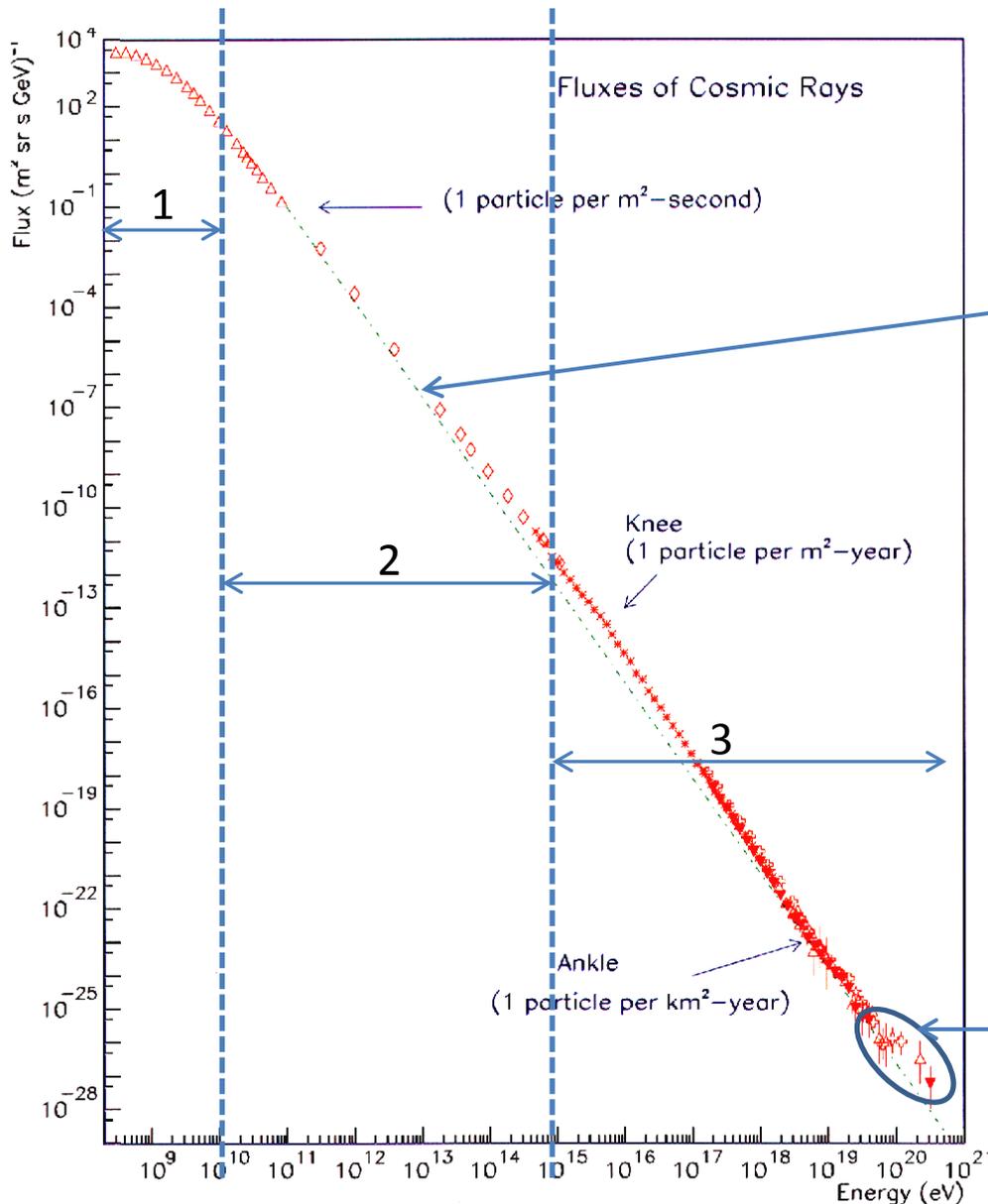


Les muons, les électrons et les photons sont les seuls représentants du phénomène qui parviennent jusqu'à nous.

Les rayonnements cosmiques

Origine

Spectre en énergie du rayonnement primaire



Energies du CERN: limites actuelles en énergie

- 1: Origine solaire
- 2: Origine galactique
- 3: Origine extragalactique

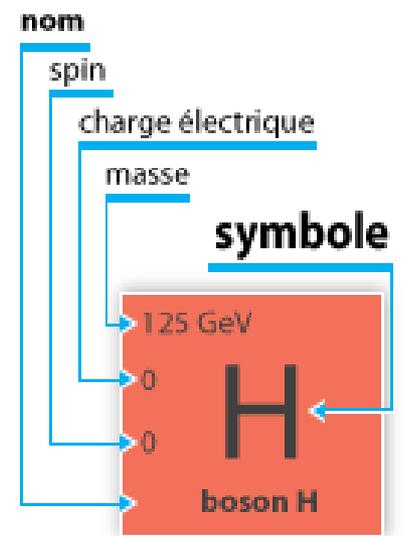
Zone Extrême! Des énergies macroscopiques de l'ordre du Joule dans une particule!

Les rayonnements cosmiques

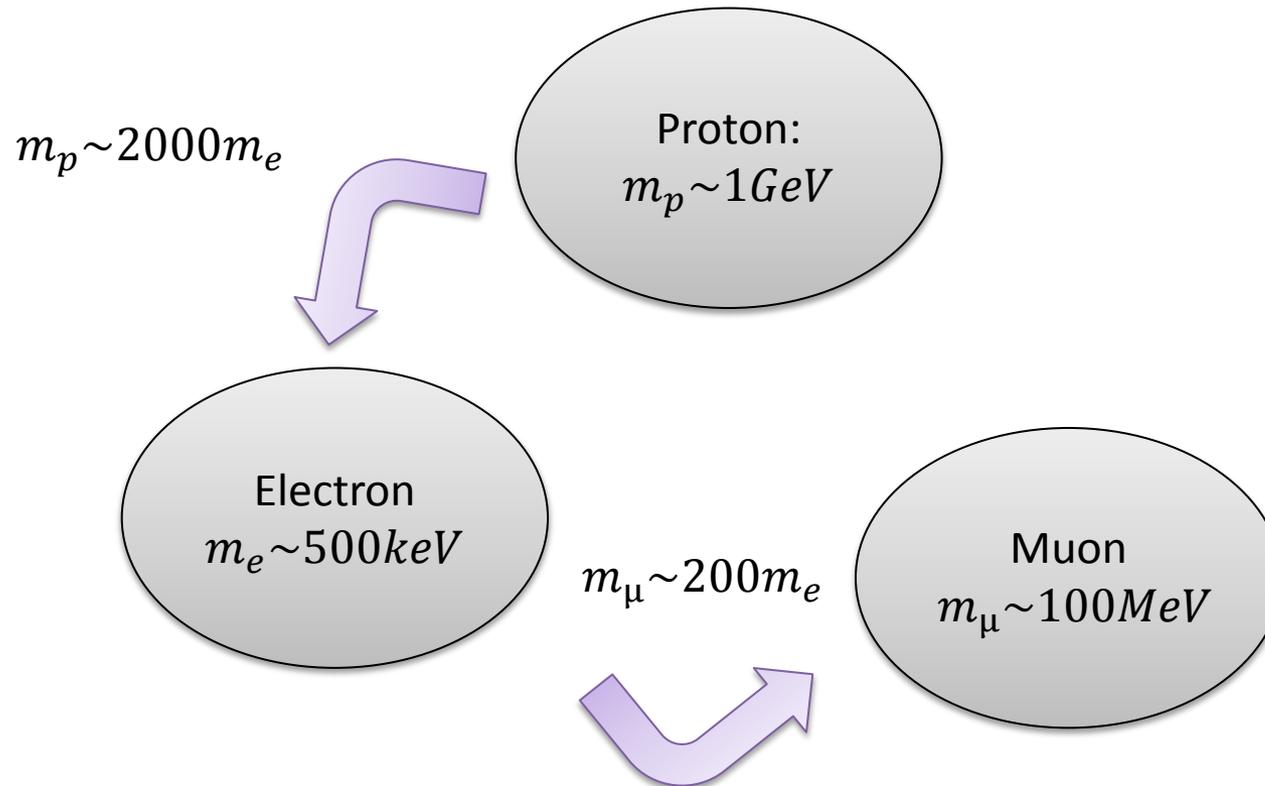
Les muons

| | Particules de matière (fermions) | | | Particules d'interactions | boson de masse |
|---------|--|--|---|---|---|
| | I | II | III | | |
| QUARKS | 2.4 MeV +2/3 1/2 u up | 1.27 GeV +2/3 1/2 c charm | 171.2 GeV +2/3 1/2 t top | 0 0 1 γ photon | 125 GeV 0 0 H boson de Higgs |
| | 4.8 MeV -1/3 1/2 d down | 104 GeV -1/3 1/2 s strange | 4.2 GeV -1/3 1/2 b bottom | 0 0 1 g gluon | |
| LEPTONS | <2.2 eV 0 1/2 ν_e neutrino électronique | <0.17 MeV 0 1/2 ν_μ neutrino muonique | <15.5 MeV 0 1/2 ν_τ neutrino tauique | 91.2 GeV 0 1 Z⁰ boson Z | 80.4 GeV ±1 1 W[±] bosons W |
| | 511 KeV -1 1/2 e électron | 105.7 MeV -1 1/2 μ muon | 1.777 GeV -1 1/2 τ tau | 125 GeV 0 0 H boson H | |

BOSONS DE JAUGE



Propriété 1: Version 200 fois plus massive que son cousin l'électron:

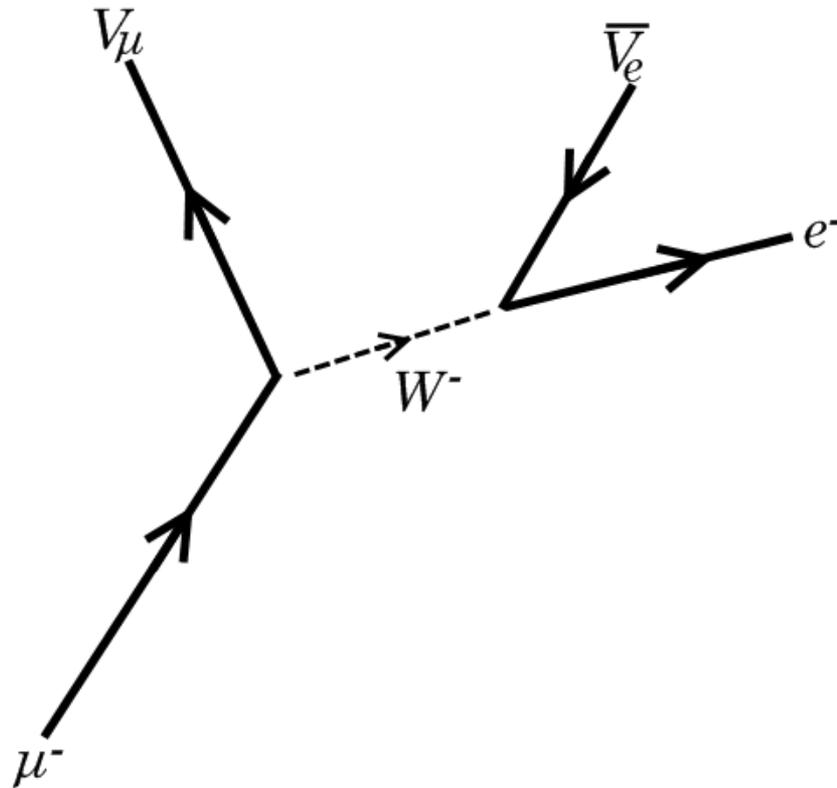


Les rayonnements cosmiques

Les muons

Propriété 2: Une particule instable

L'interaction faible gouverne la désintégration...



...d'un muon: $\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e$

...d'un antimuon: $\mu^+ \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_\mu + \nu_e$

Durée de vie moyenne:

$$\tau = 2,2 \mu\text{s}$$

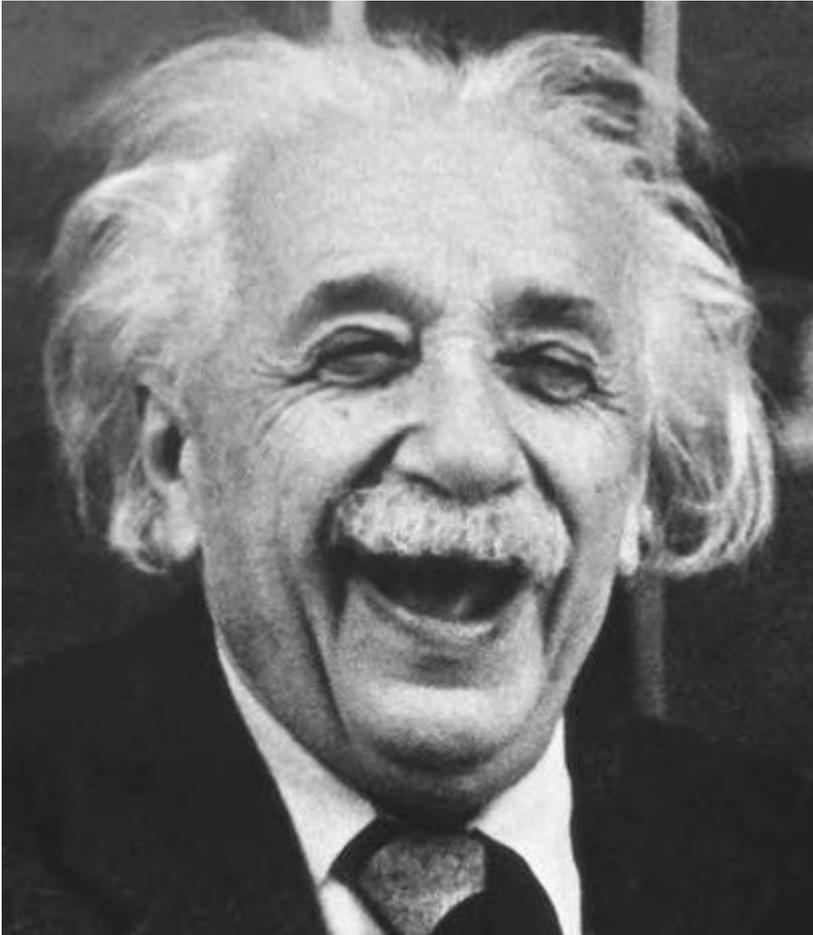
A relier à la constante de couplage de Fermi G_F :

$$\tau = \frac{192\pi^3 \hbar^7}{G_F^2 m^5 c^4}$$

Problème: Les muons sont produits à 15km d'altitude, et se déplacent à la vitesse de la lumière.

Avec une durée de vie moyenne de $2,2\mu\text{s}$, ils devraient parcourir en moyenne 660m seulement. On ne devrait pas les détecter au niveau de la mer. Pourtant on détecte environ $1\mu \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$!

La solution:



$$E = \gamma E_0 = \gamma mc^2$$

Or l'énergie moyenne

$$\overline{E}_\mu = 4\text{GeV} = 40 \times E_{\mu,0}$$

D'où un facteur $\overline{\gamma} = 40$

Et une durée de vie mesurée

$$\tau' = 40\tau = 88 \mu\text{s}$$

Distance moyenne
parcourue : 26 km

Encore un succès expérimental
de la relativité restreinte!