

INTERNATIONAL COSMIC DAY

Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Fisica

21/11/23



Università
degli Studi
di Ferrara



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

INTRODUZIONE AI RAGGI COSMICI

DENISE CASAZZA

Università di Ferrara, INFN Sezione di Ferrara

28/11/23



Università
degli Studi
di Ferrara



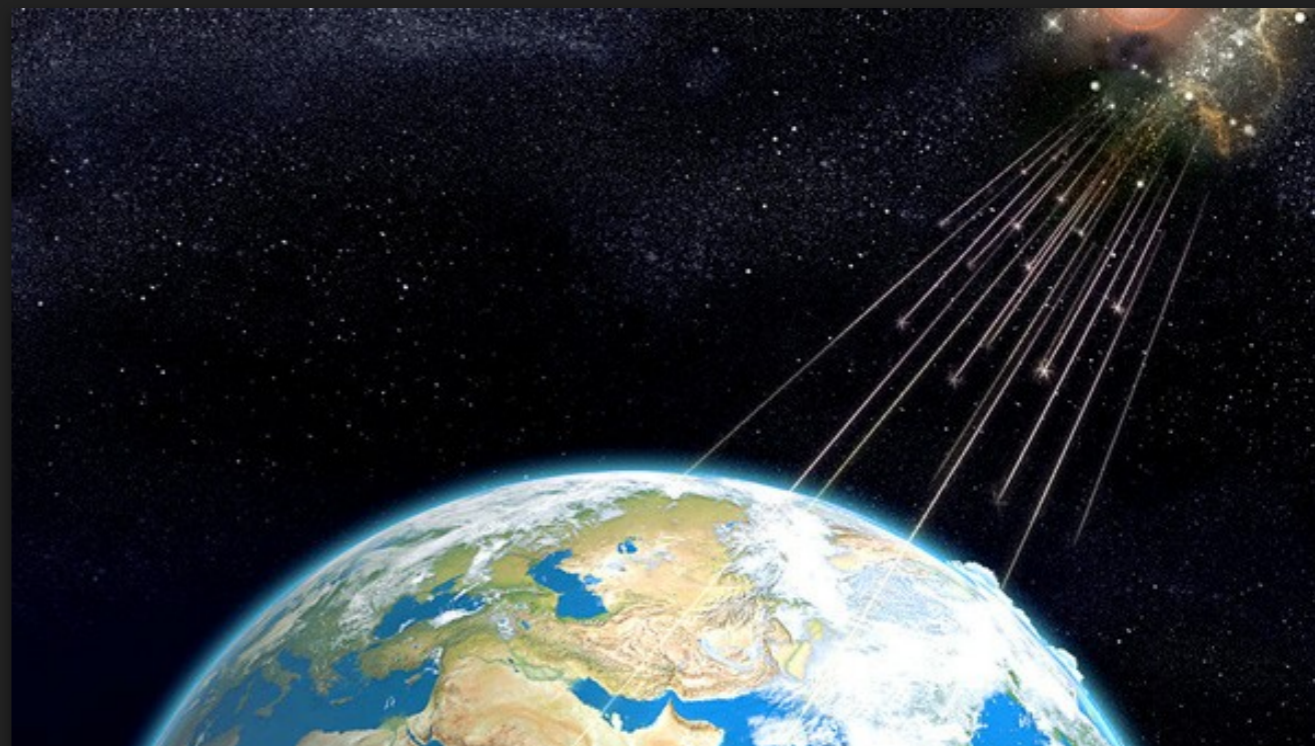
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

CHE COSA SONO I RAGGI COSMICI?

Particelle provenienti dallo spazio che raggiungono l'atmosfera terrestre.

PRIMARI

- ▶ **~99% nuclei**
 - ▶ **~89% protoni**
 - ▶ **~10% nuclei di He** (particelle α)
 - ▶ **~1% nuclei pesanti** (C, O, Fe, Be, B)
- ▶ **~1% e^-**
- ▶ **Piccola frazione di antimateria \bar{p}, e^+**



Un campione di materia galattica!

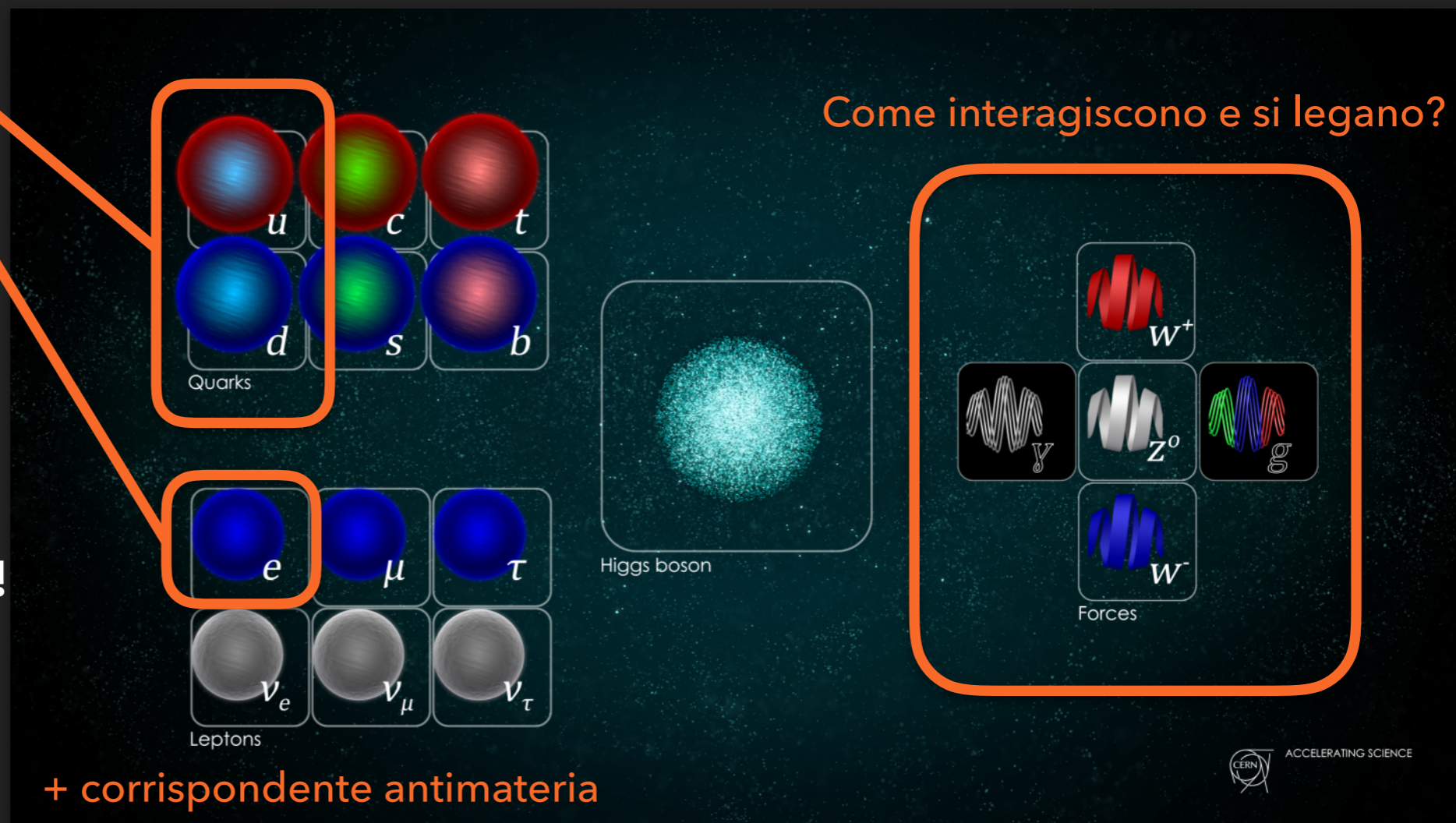
PICCOLA DIGRESSIONE: IL MODELLO STANDARD

Mattoni fondamentali che compongono **tutto** quello che ci circonda dall'infinitamente piccolo all'infinitamente grande!

Materia ordinaria

Ma esiste molto altro!

- ▶ Mesoni, coppie $q-\bar{q}$
- ▶ Barioni, terne di quarks



...O quasi...

E UNA VOLTA RAGGIUNTA L'ATMOSFERA?

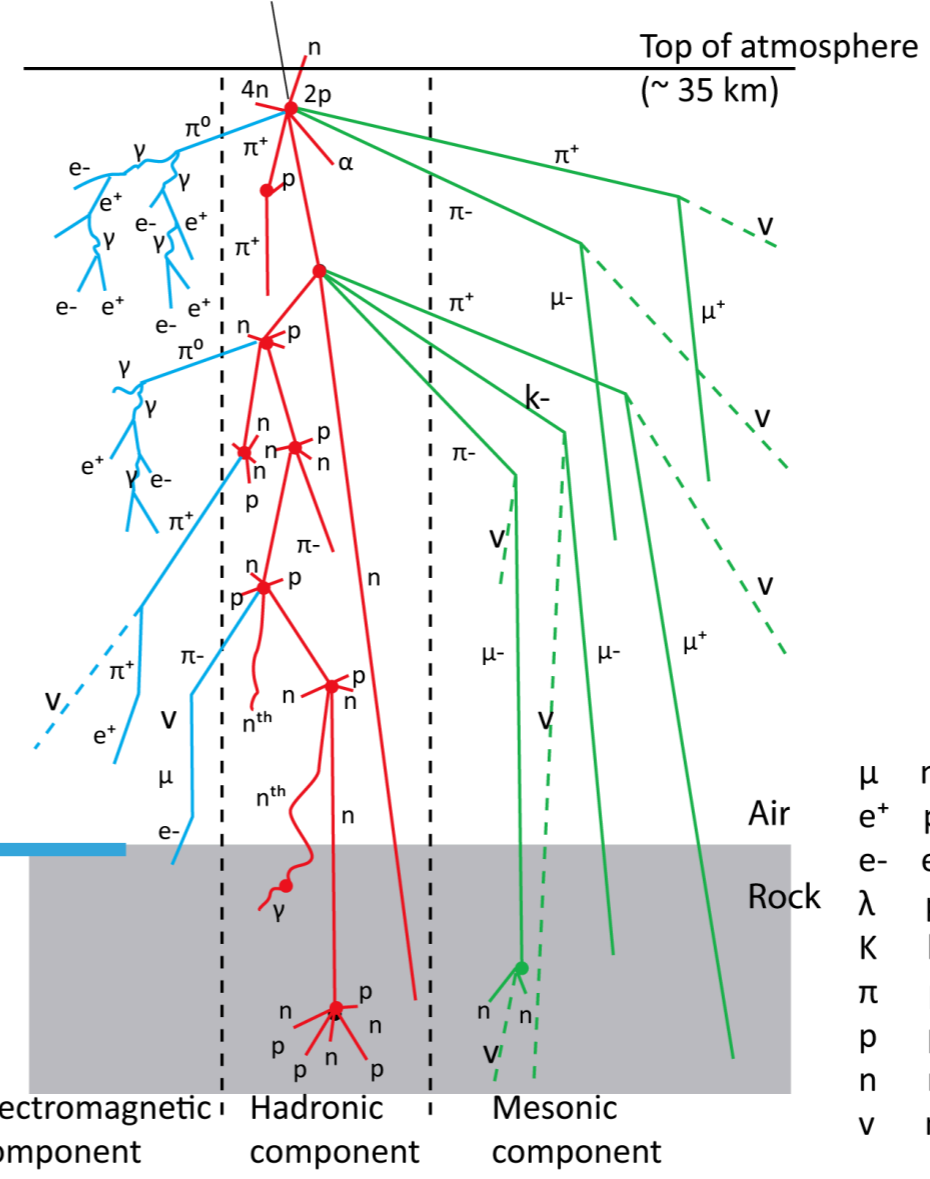
SECONDARI

▶ $p, n, K^\pm, \pi^\pm, K^0, \pi^0$

che interagiscono generando

▶ $e^\pm, \mu^\pm, \gamma, \nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$

Secondary particle production in atmosphere and rock
After Gosse and Phillips, 2001



- μ muons
- e^+ positron
- e^- electron
- λ photons (gamma rays)
- K kaons
- π pions
- p protons
- n neutrons
- ν neutrino

www.AntarcticGlaciers.org



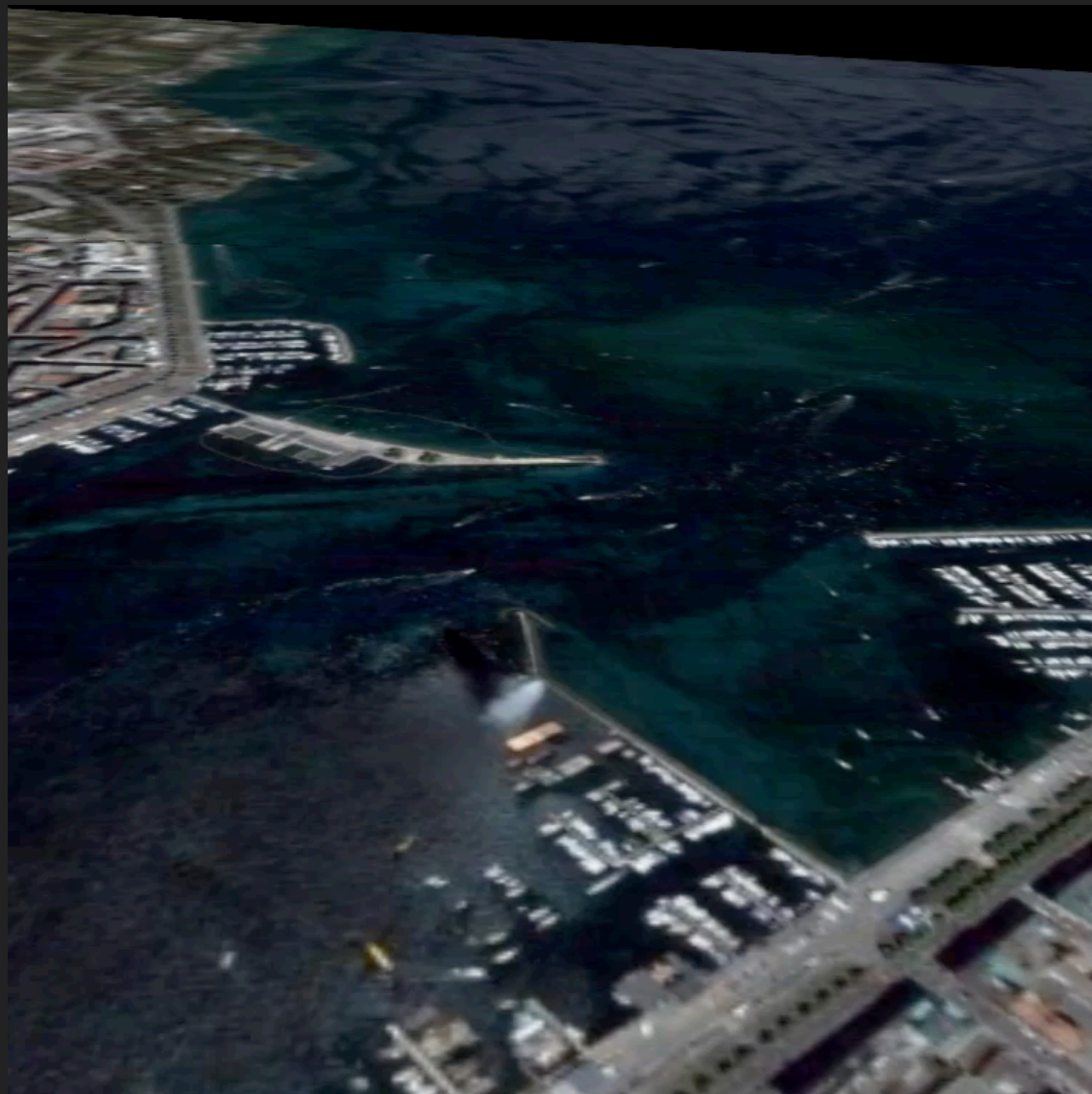
Università degli Studi di Ferrara



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

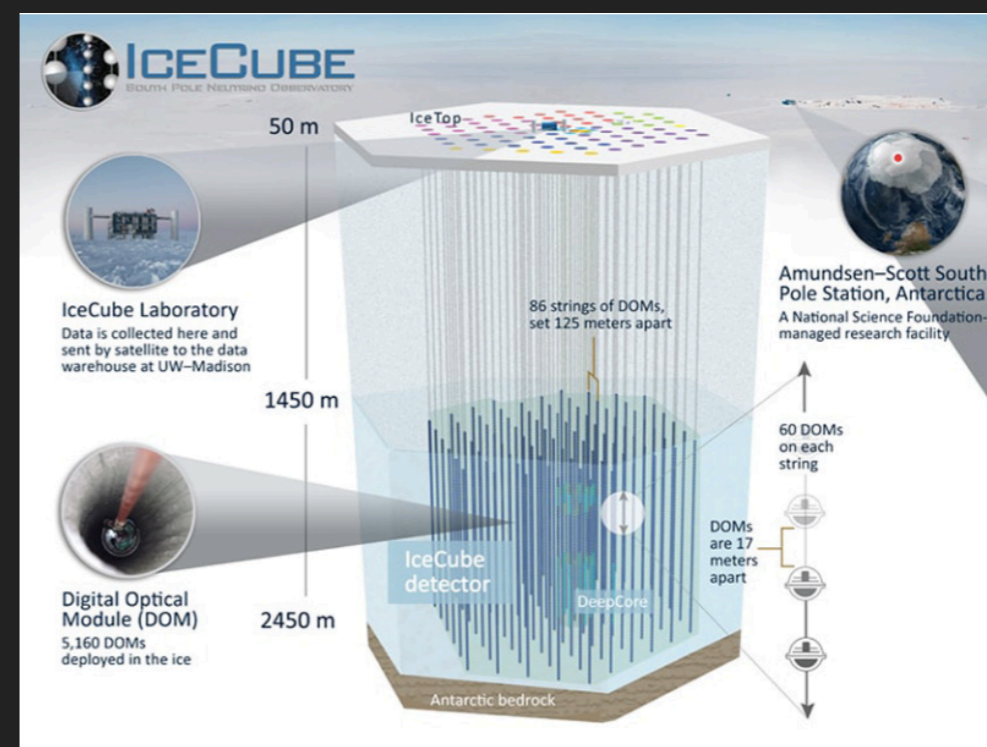
L'ARRIVO IN SUPERFICIE

Simulazione di 1 protone da Eev ($10^{18} eV$) che interagisce nell'atmosfera sopra Ginevra



Quando si supera una certa soglia di energia il flusso diminuisce, si misurano in maniera **indiretta** i cosmici grazie alle loro **showers**, con grandi rivelatori!

IceTop



FLUSSO ED ENERGIA

Per avere un'idea

1 eV energia cinetica acquisita da un elettrone sottoposto ad una differenza di potenziale di 1V.

$$1eV = 1.6 \cdot 10^{-19}J$$

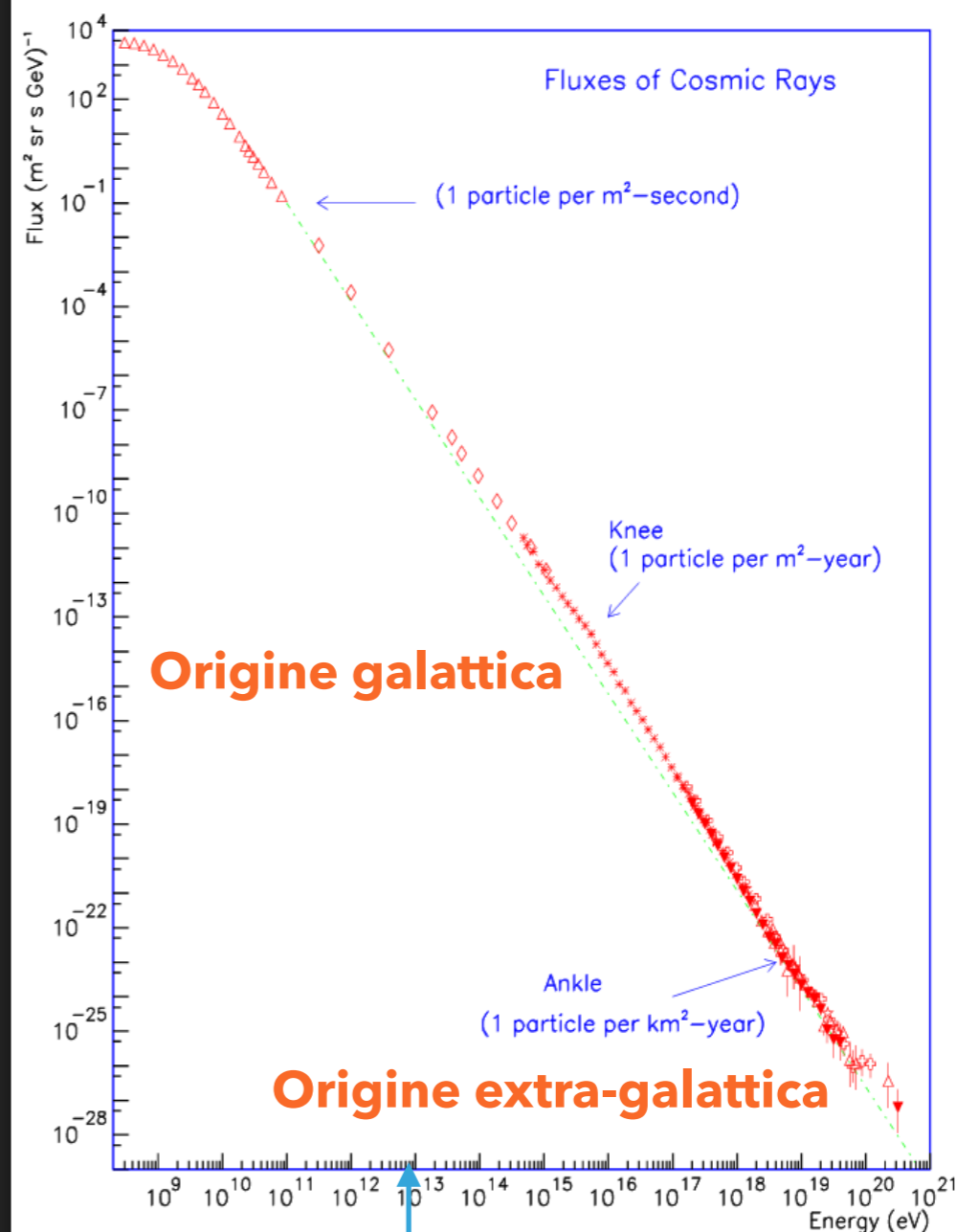
1 J energia cinetica acquisita da una mela che cade da un metro di altezza.

$10^{21}eV$ energia cinetica di una pallina da tennis ben lanciata! $\left(K = \frac{1}{2}mv^2\right)$

LHC accelera protoni fino a $7 \cdot 10^{12}eV = 1.12 \cdot 10^{-6}J!$

Acceleratori cosmici di particelle!

Origine solare

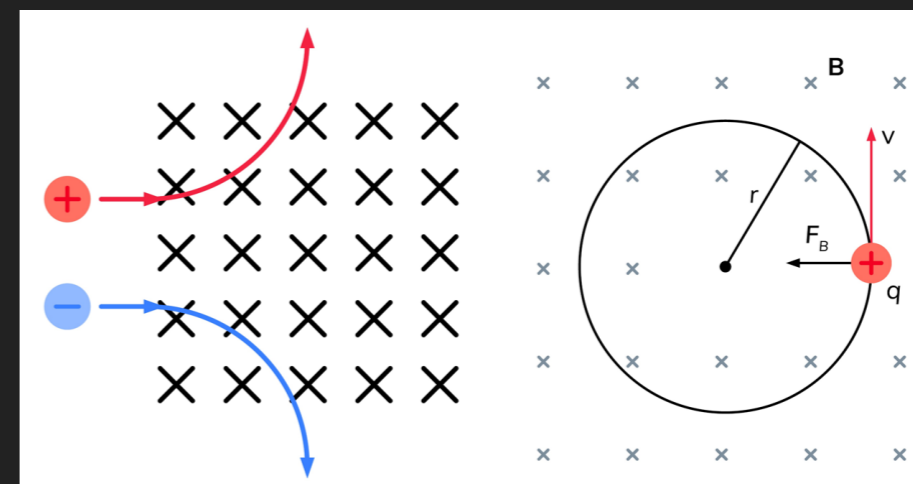


LHC

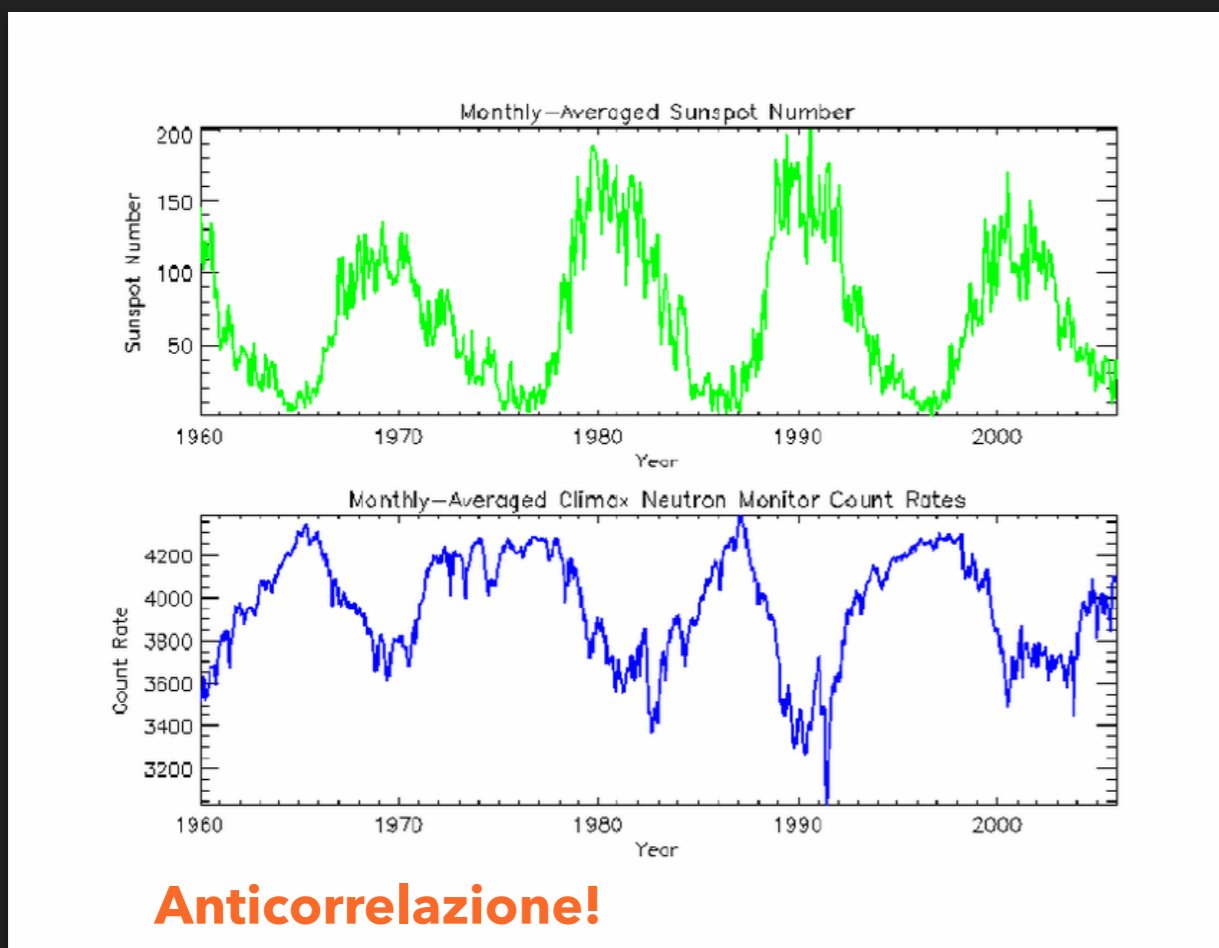
UN FATICOSO VIAGGIO

Le particelle generate fuori dal sistema solare, interagiscono con il **vento solare** che modula il flusso, decelerando e deviando le particelle di bassa energia.

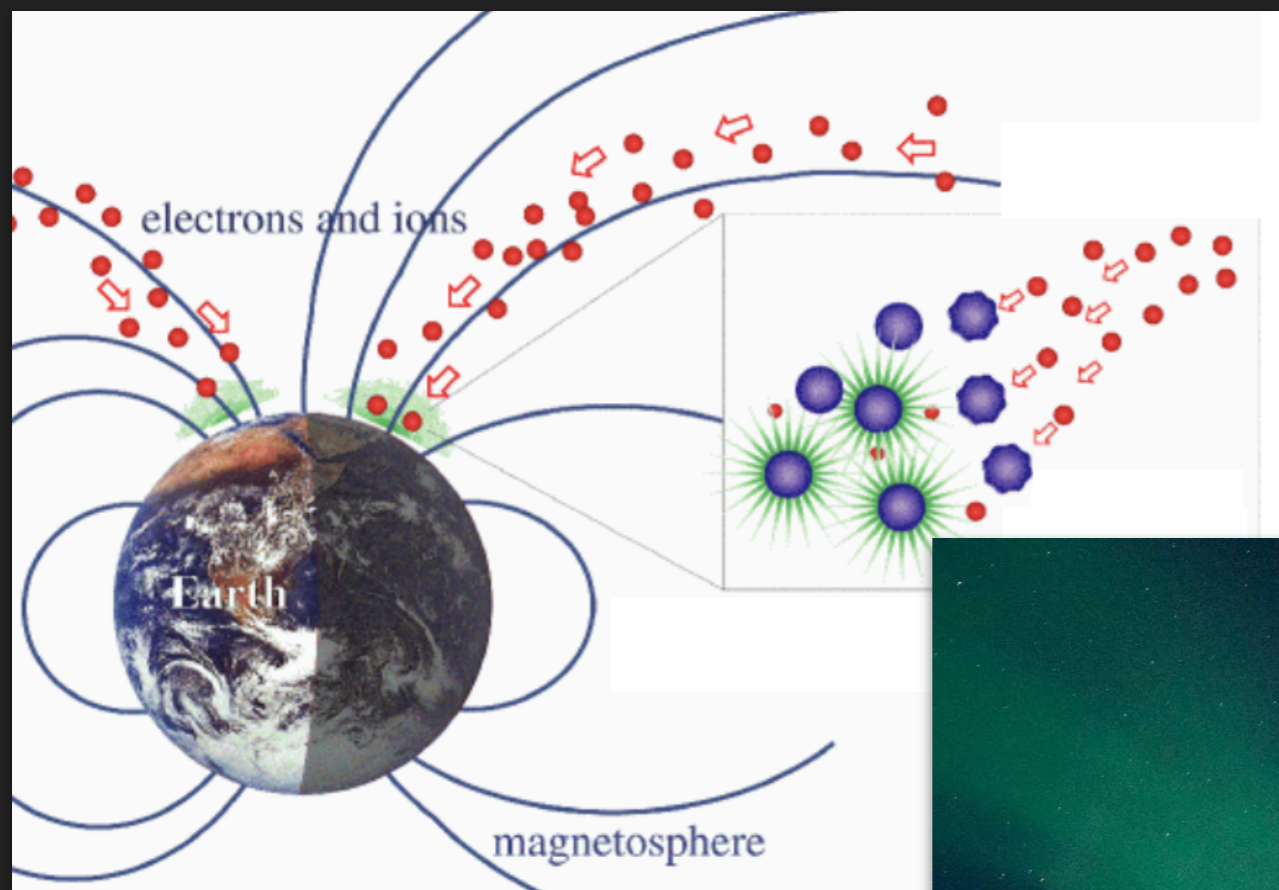
$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$



Interazione con il **campo magnetico terrestre** devia la traiettoria, le particelle devono avere un momento minimo per arrivare in una zona della Terra: cutoff.

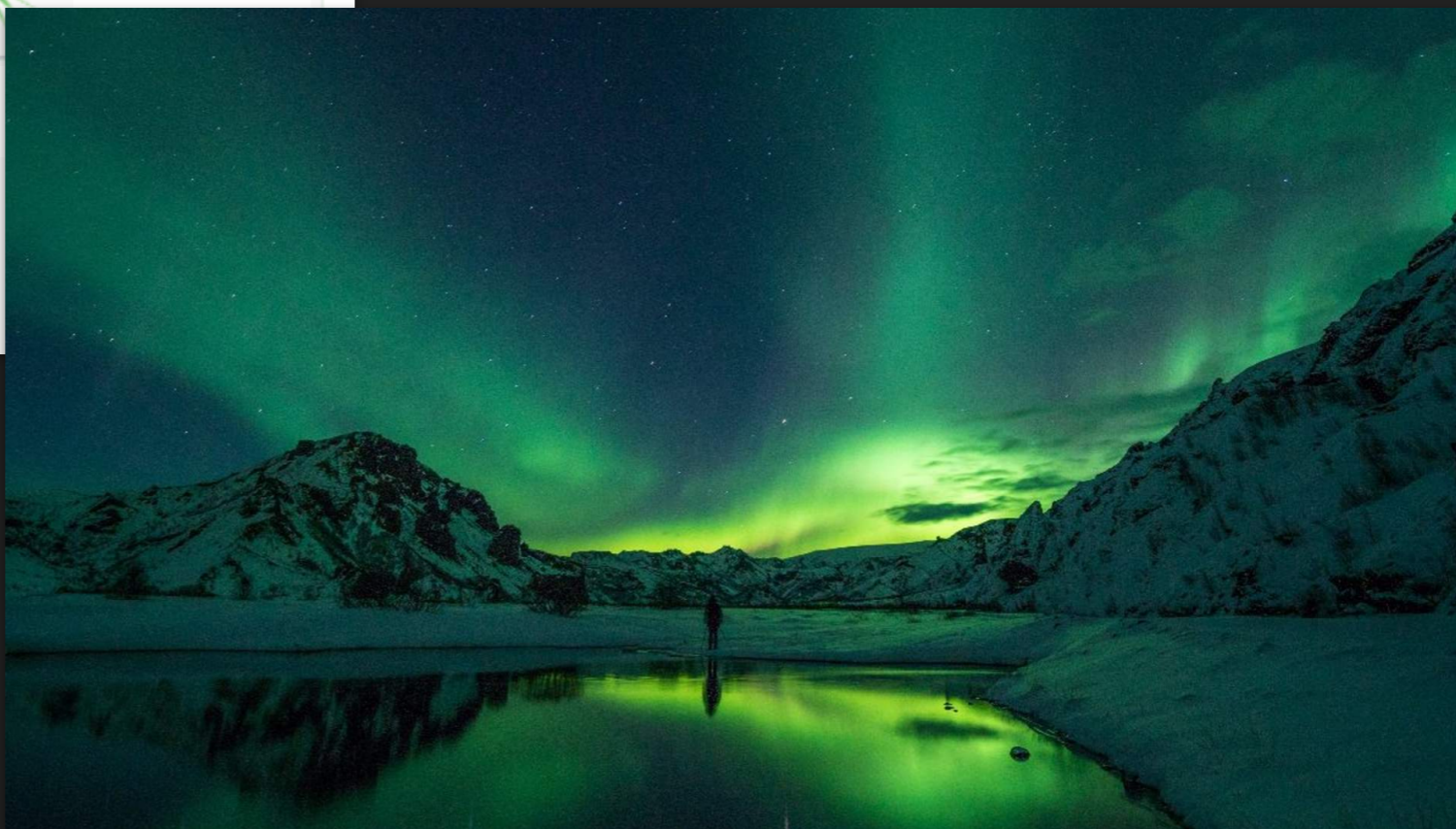


UN FATICOSO VIAGGIO

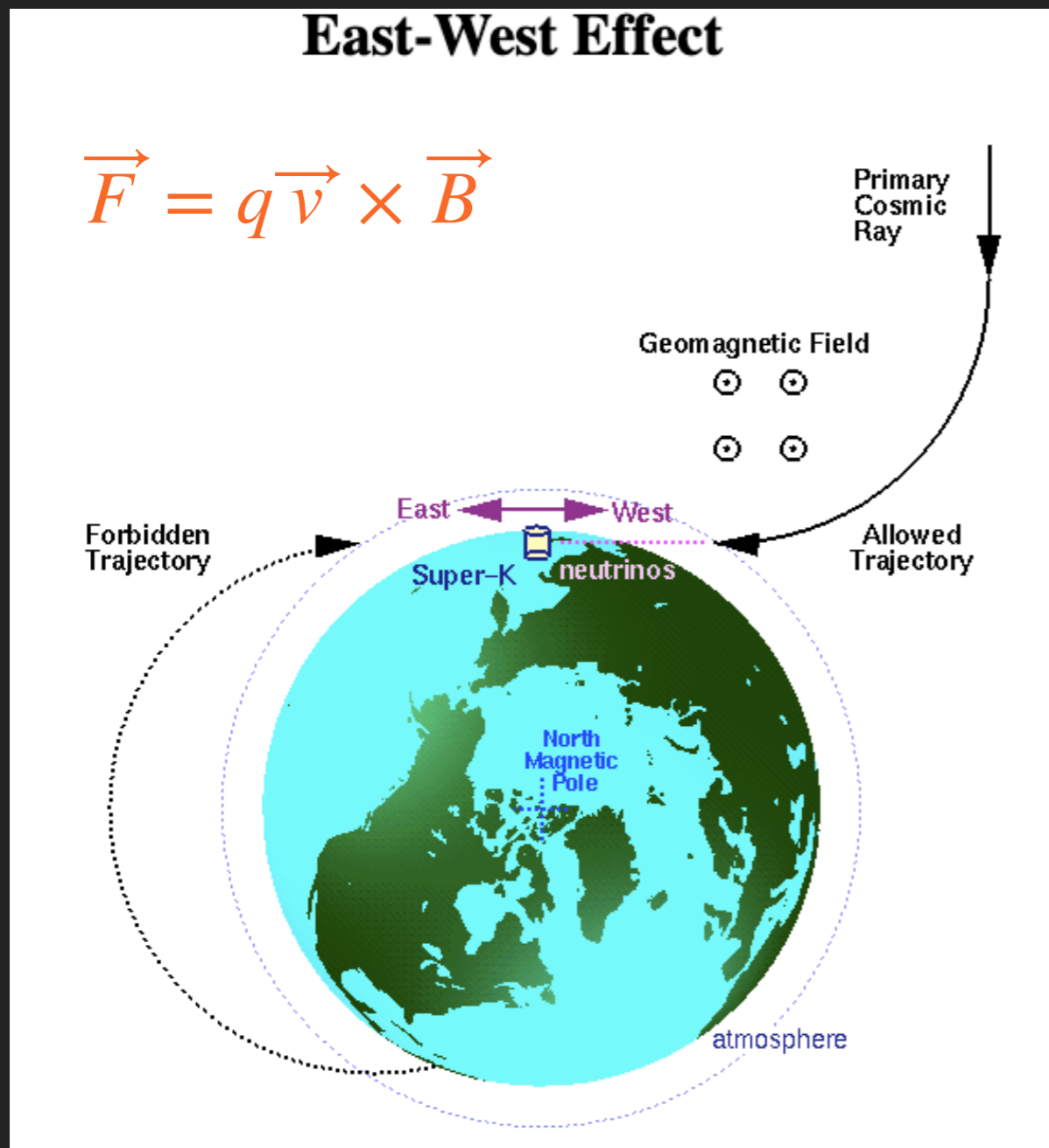


Elettroni colpiscono le molecole presenti
in atmosfera...

... che emettono **luce** quando si diseccitano!



EFFETTO EST-OVEST



Idea di Bruno Rossi: sfruttare il campo magnetico terrestre per misurare se le particelle dei cosmici siano in prevalenza positive o negative.

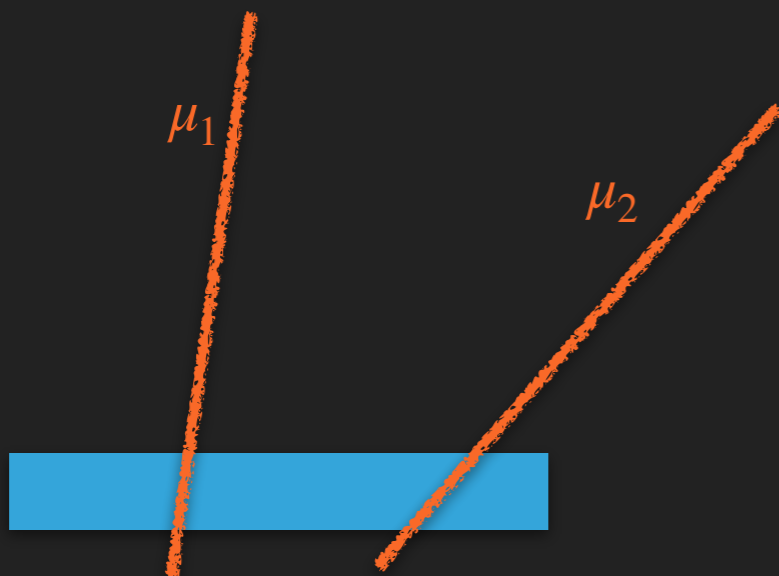
Effetto maggiore all'equatore!

Il suo esperimento nel 1930 conferma che la carica dei cosmici è in prevalenza **positiva**.

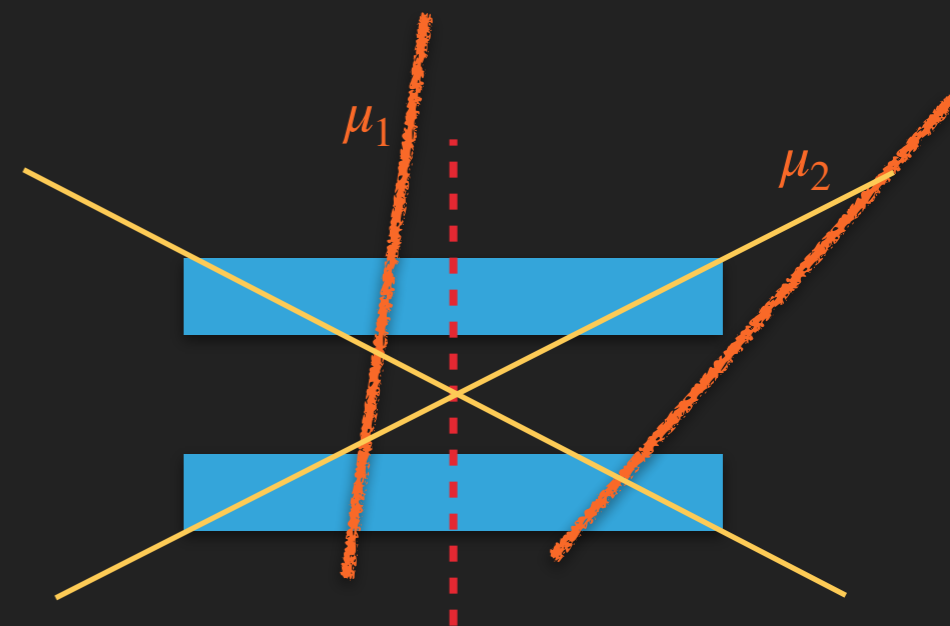
Durante i test per l'esperimento vennero osservati segnali simultanei di due contatori rivelatori posti orizzontalmente alla stessa altezza ma molto distanti tra loro.. **showers!**

"TELESCOPIO PER RAGGI COSMICI"

I conteggi in un **singolo rivelatore** possono essere dovuti ad eventi non collegati ad un singolo evento di passaggio di raggio cosmico!



Durante le misure venne sviluppata la tecnica di coincidenza con i rivelatori in **configurazione telescopica**, cioè allineati lungo l'asse passante per il loro centro .

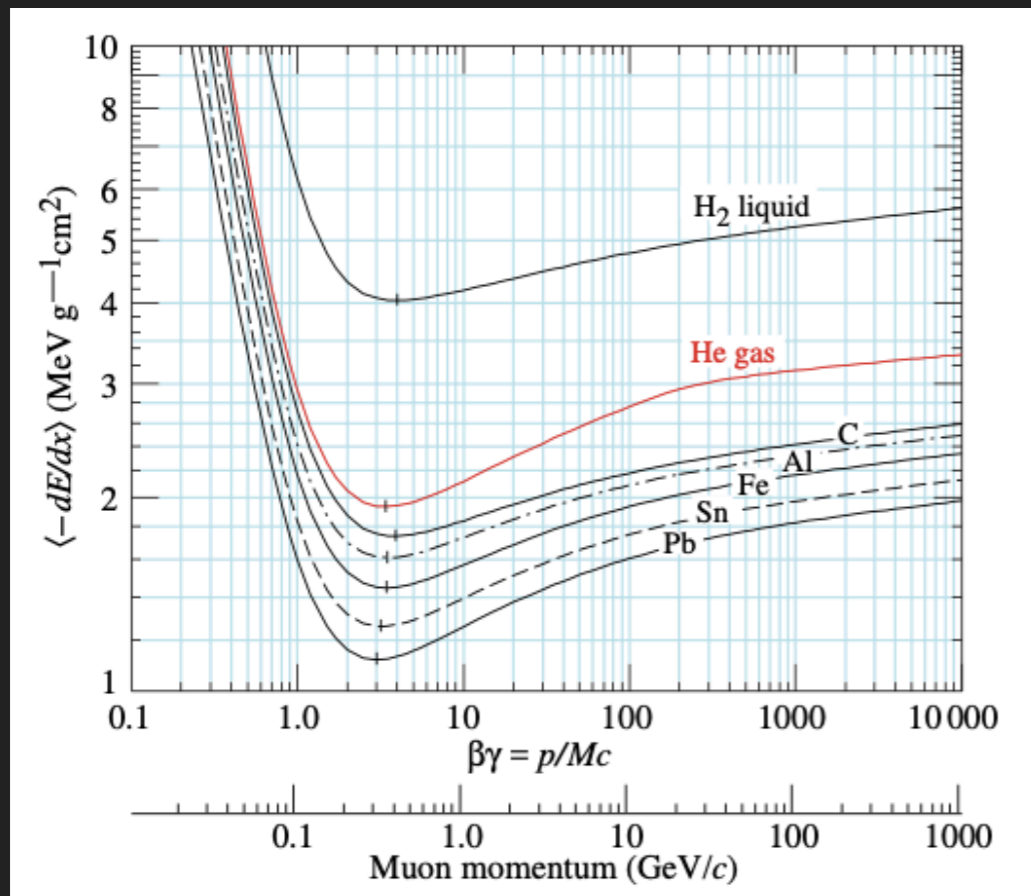


- ▶ Seleziona un insieme di direzioni di provenienza all'interno dell'angolo solido sotteso.
- ▶ Seleziona il tipo di particella in funzione del numero di piani di contatori.
- ▶ Se viene ricostruito il punto di impatto si può ricostruire la direzione della particella incidente.

COME LI OSSERVIAMO?

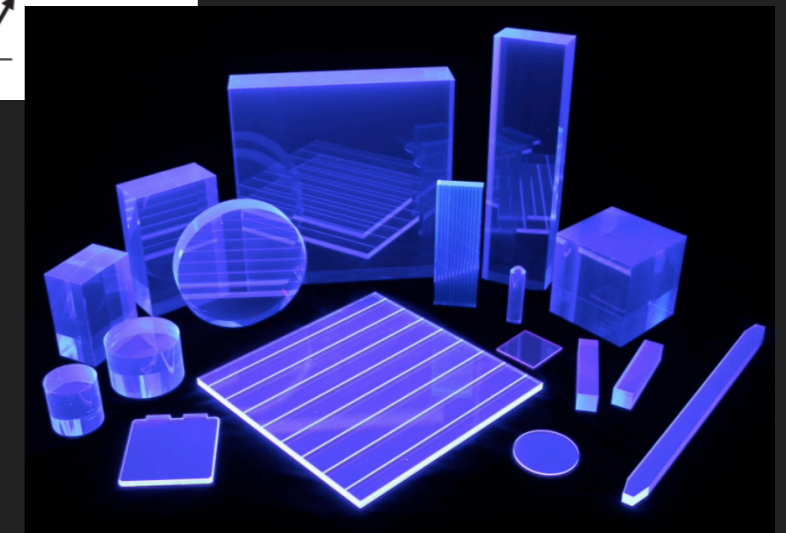
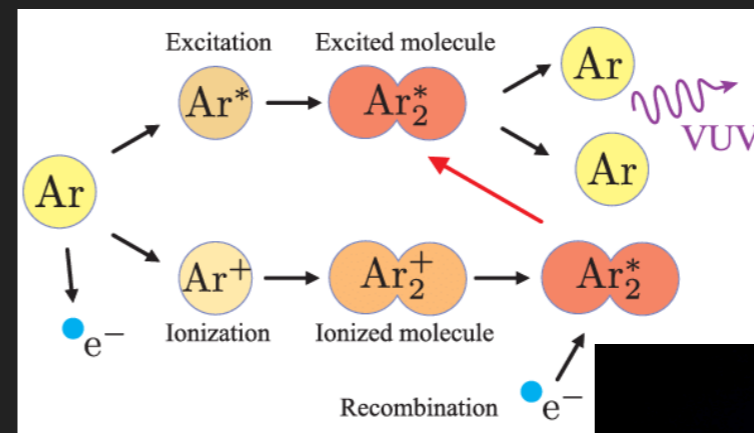
IONIZZAZIONE

Particella carica cede energia strappando elettroni all'atomo



SCINTILLAZIONE

Particella carica eccita gli elettroni del materiale scintillante che emette fotoni di diseccitazione

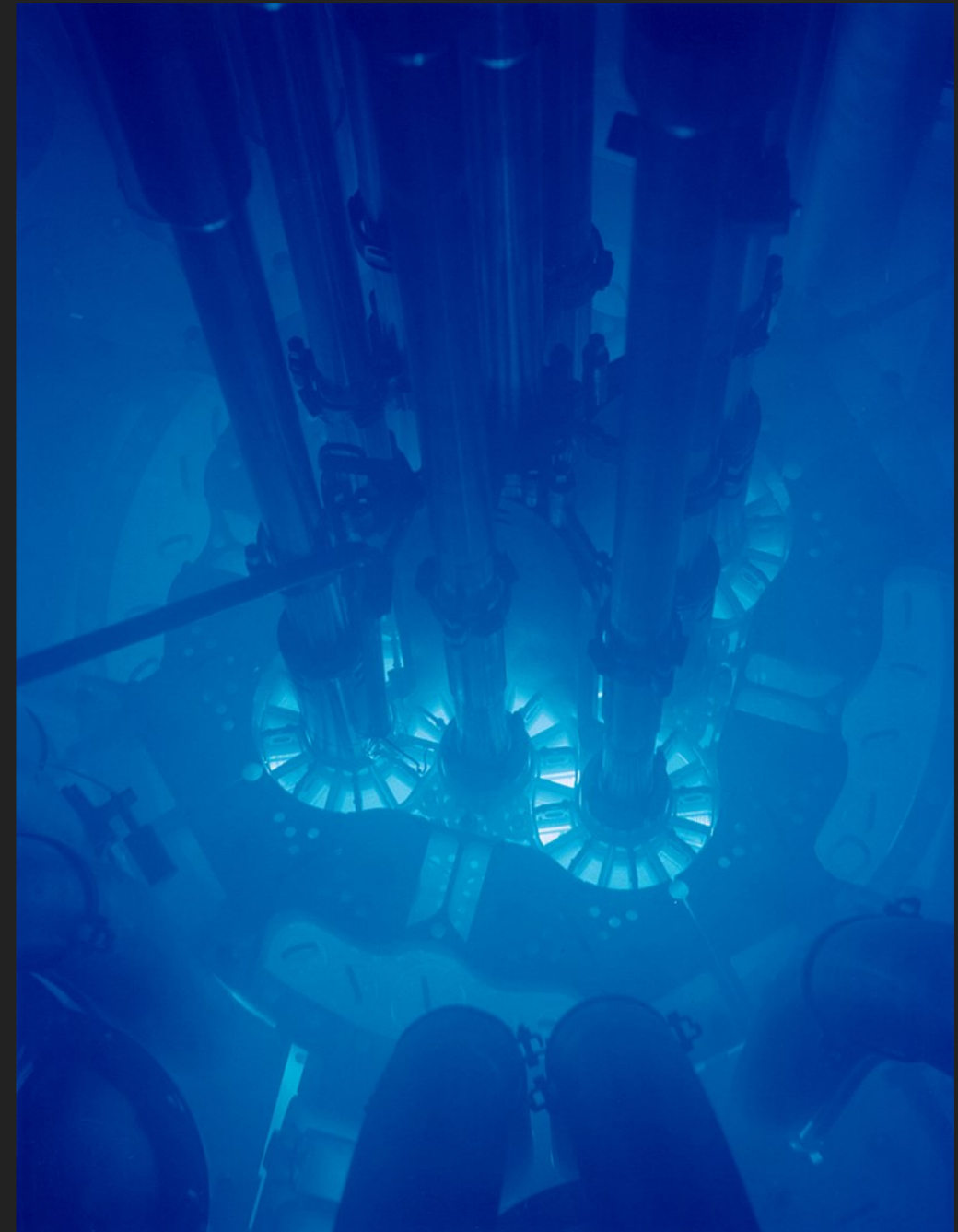
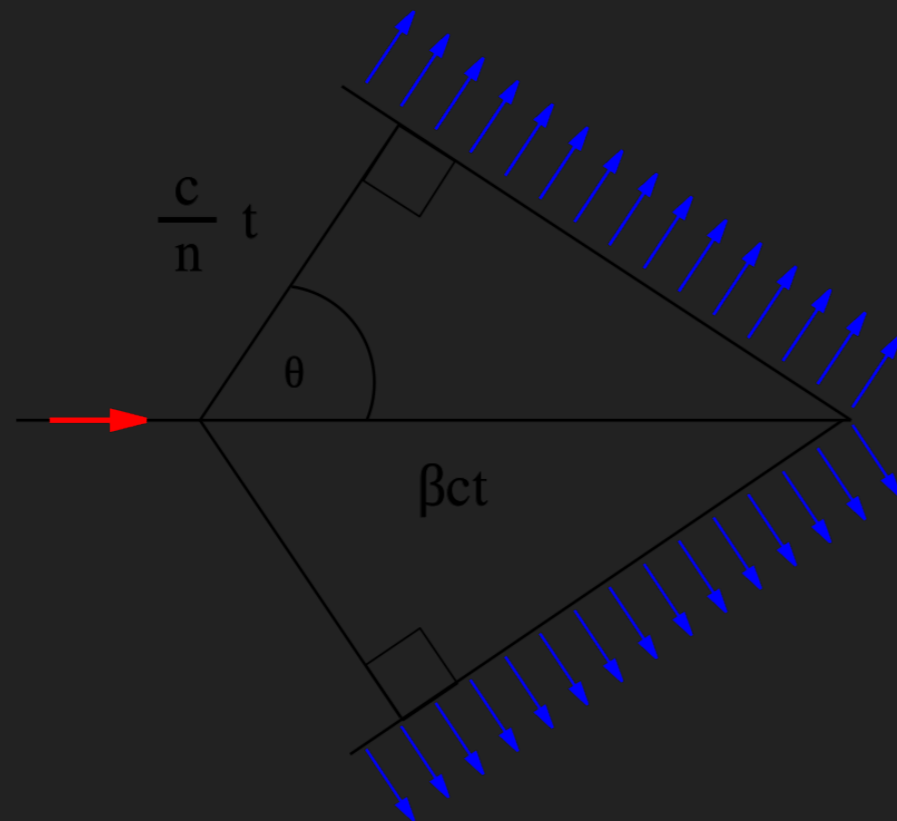


EFFETTO CHERENKOV

Effetto collettivo che coinvolge tutti gli atomi del mezzo attraversati da una particella carica

Il mezzo viene polarizzato dal campo elettrico della particella, cessato l'effetto del campo gli atomi tornano a riposo emettendo radiazione. I fronti d'onda sono emessi a cono.

$$\text{Se } v > \frac{c}{n}$$

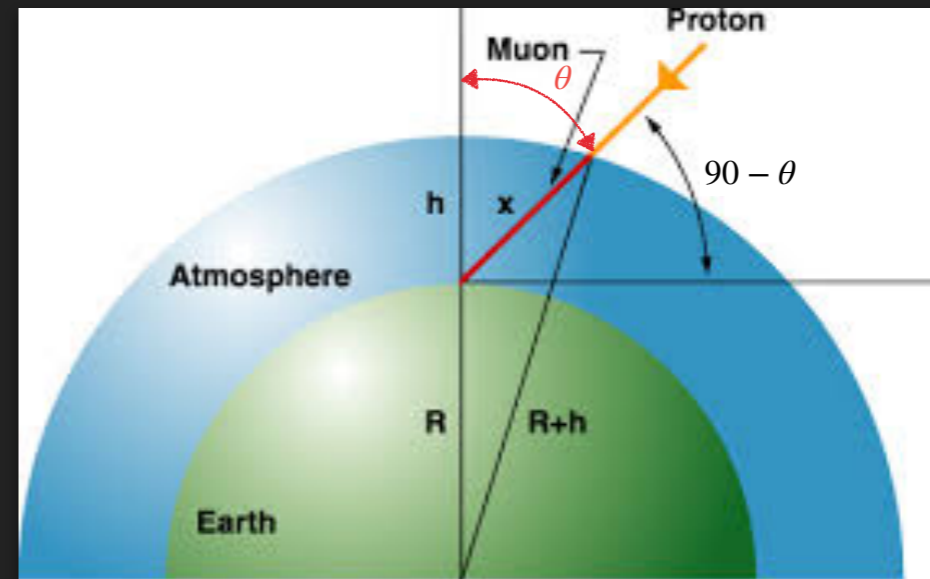
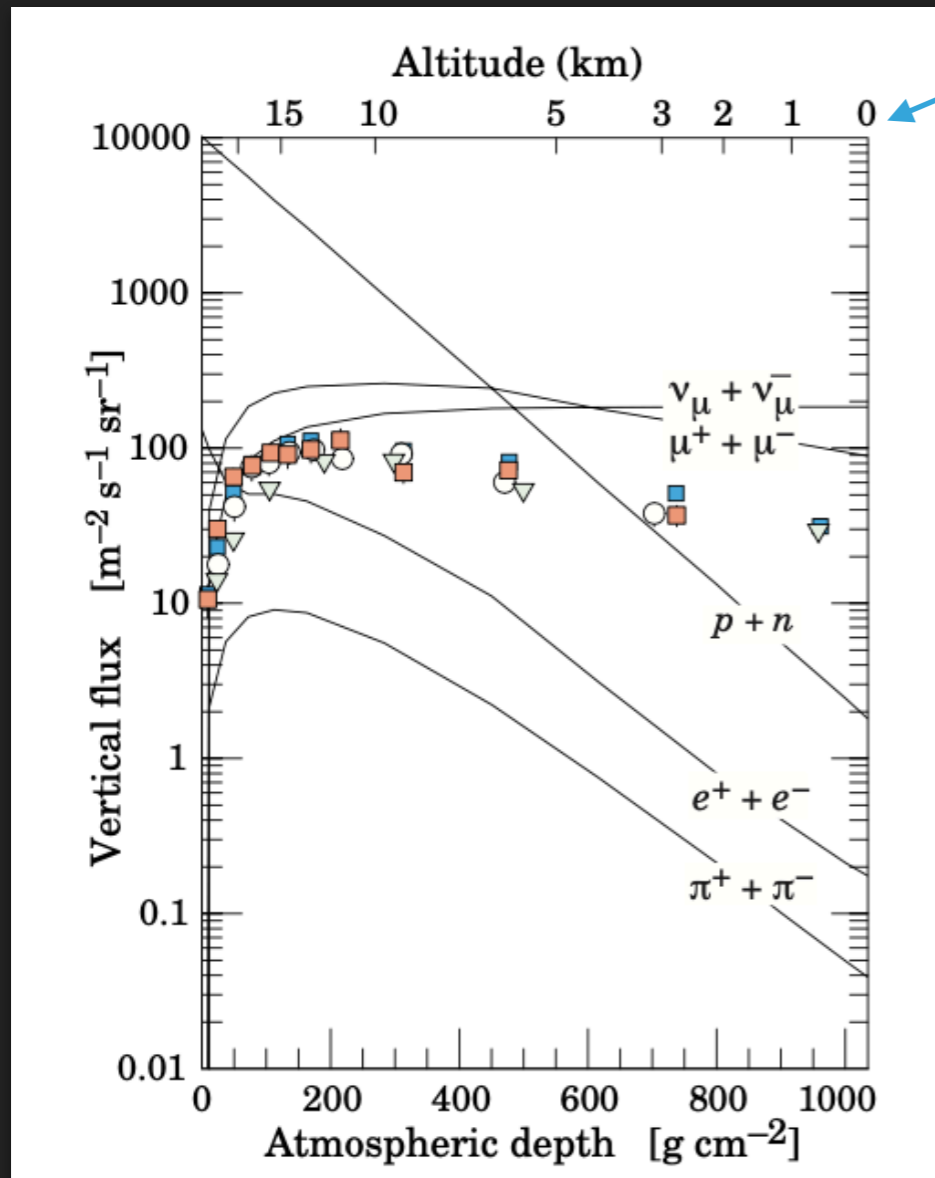


I PROTAGONISTI DI OGGI: I MUONI

I muoni sono le particelle cariche che arrivano in maggior numero al livello del mare.

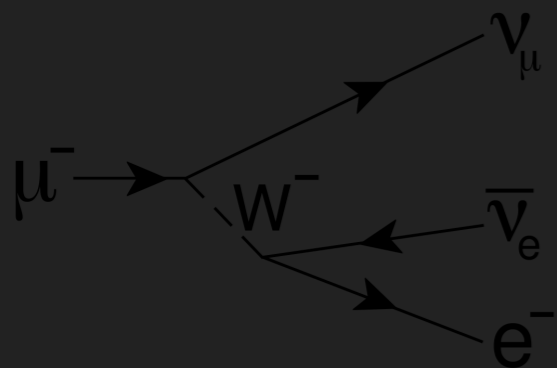
- ▶ Perdono circa 2 GeV in 15 km, energia media in superficie $E = 4\text{GeV}$
- ▶ $I \simeq 1.5\text{dm}^{-2}\text{s}^{-1}$ uno al secondo attraversa la vostra mano!

$$I(\theta) \propto \cos^2 \theta$$



I PROTAGONISTI DI OGGI: I MUONI

Particella instabile che decade in $\tau = 2.2\mu s$



Viaggiando a $v = 0.999 \cdot c$ ($2.9 \cdot 10^8 m/s$) lo spazio percorso in $\tau = 2.2\mu s$ è $d = 0.999 \cdot 2.9 \cdot 10^8 m/s \cdot 2.2 \cdot 10^{-6} s = 657 m = 0.67 km$.

Ma noi li misuriamo al suolo, per arrivare devono percorrere $10 km!$

Per spiegare il fenomeno dobbiamo ricorrere alla **relatività ristretta** per tenere conto della dilatazione dei tempi per oggetti che vanno a velocità prossime a quella della luce.

Per muoni relativistici, la vita media misurata dall'osservatore fermo al suolo deve essere moltiplicata

per un fattore detto di Lorentz $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}$.

Se $\gamma \sim 22$ e $\tau_{suolo} = \gamma\tau = 22\tau$ allora $d \simeq 14 km!$

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!



**Università
degli Studi
di Ferrara**



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare