



I RAGGI COSMICI

Caterina Trimarelli
Gran Sasso Science Institute & LNGS



I RAGGI COSMICI

WHAT?

I raggi cosmici sono particelle subatomiche che bombardano la terra! (atomi ionizzati: per la maggior parte, protoni)

WHY?

Possono avere energie non raggiungibili sulla Terra

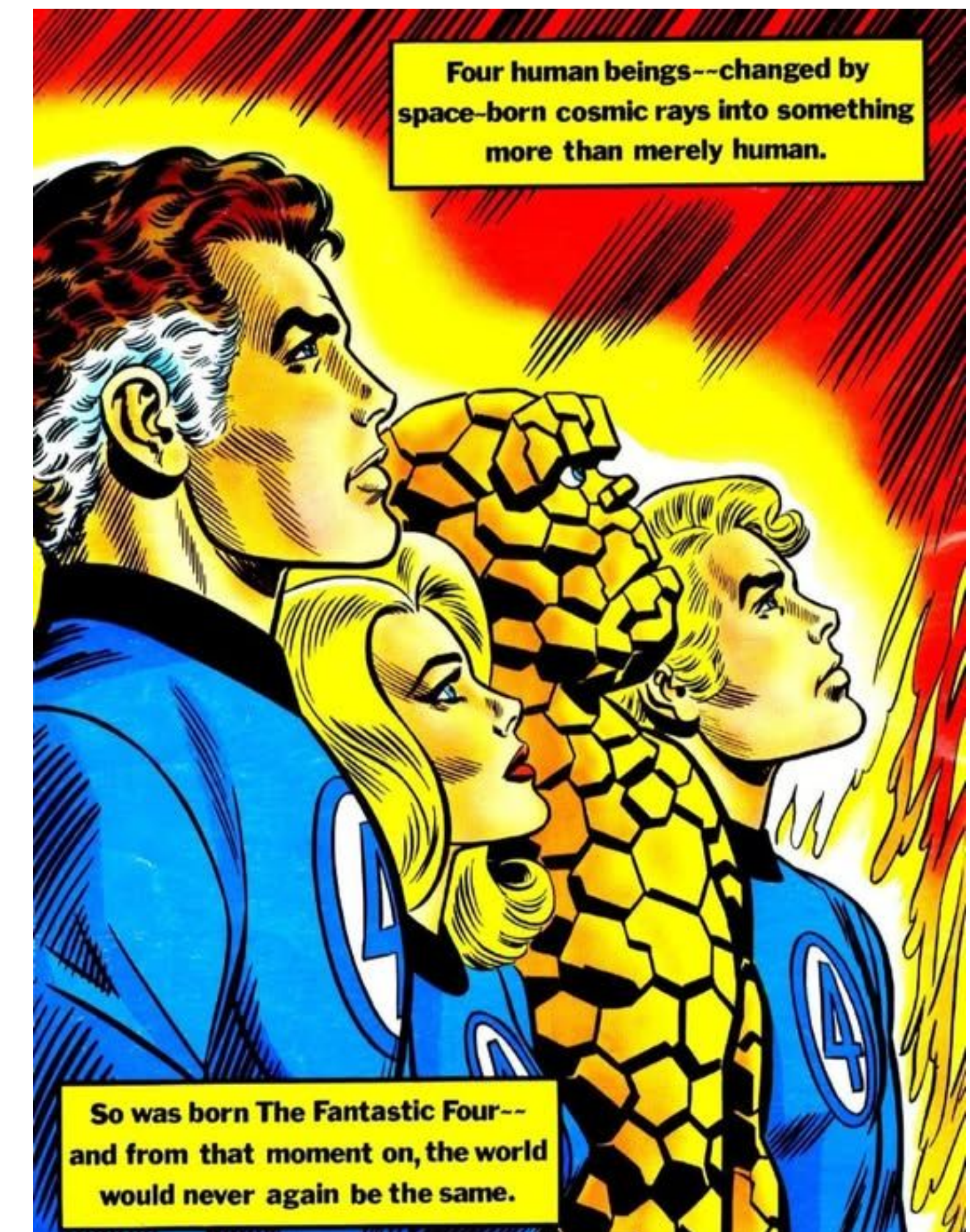
Costituiscono un modo complementare per studiare fenomeni fisici/astrofisici (sorgenti, spazio interstellare e intergalattico, interazioni)

Devono essere schermati per permettere lo studio di eventi rari (neutrini, materia oscura)

I Raggi Cosmici causano errori nell'elettronica. I computer tipicamente sono soggetti a 1 errore per 256 MB di RAM al mese a causa dei Raggi Cosmici (IBM)

Hanno implicazioni non banali sulla nostra vita (e.g. viaggio nello spazio)

Fantastic Four , Nov. 1961

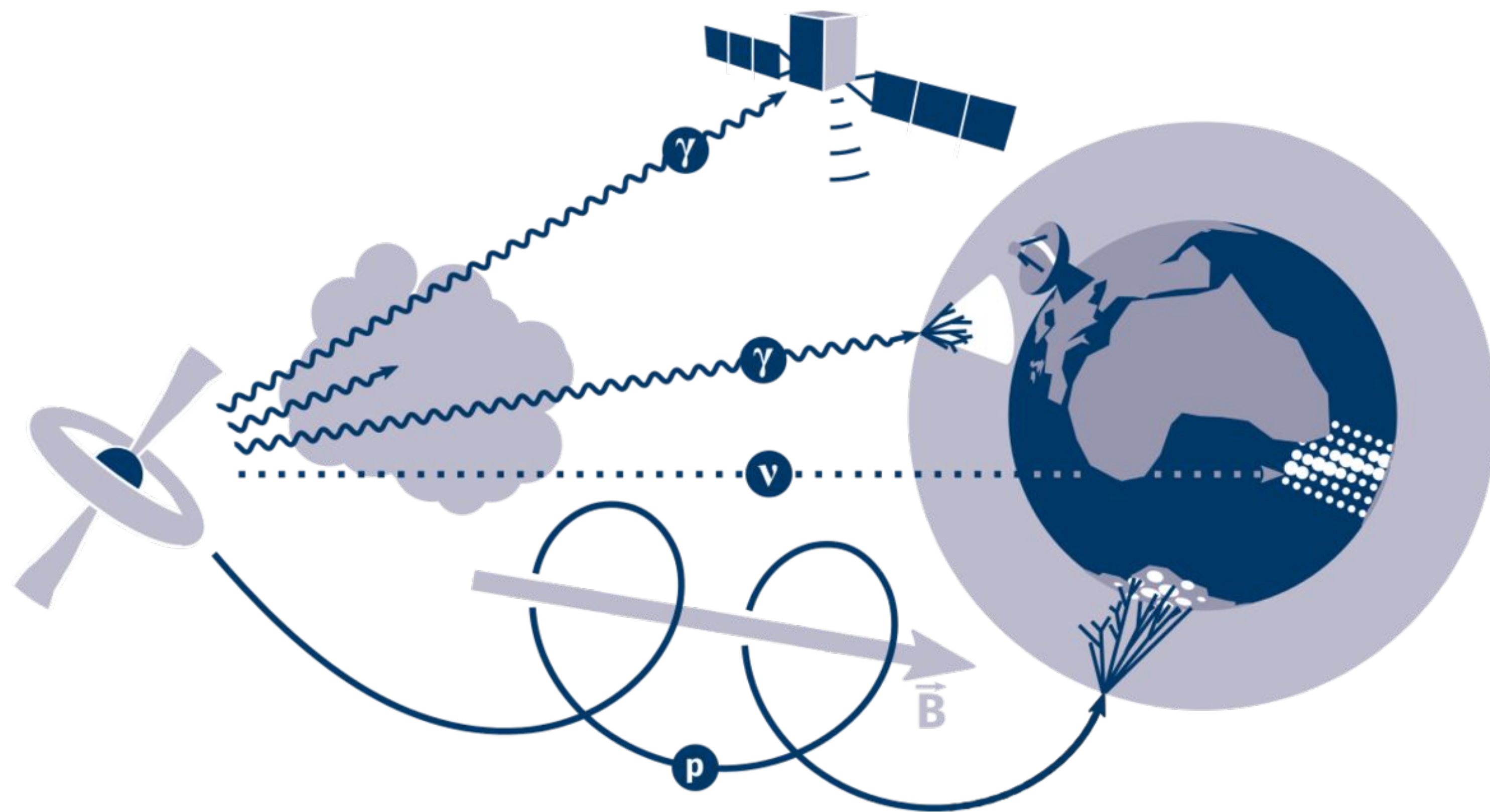


Cosmic ray messengers



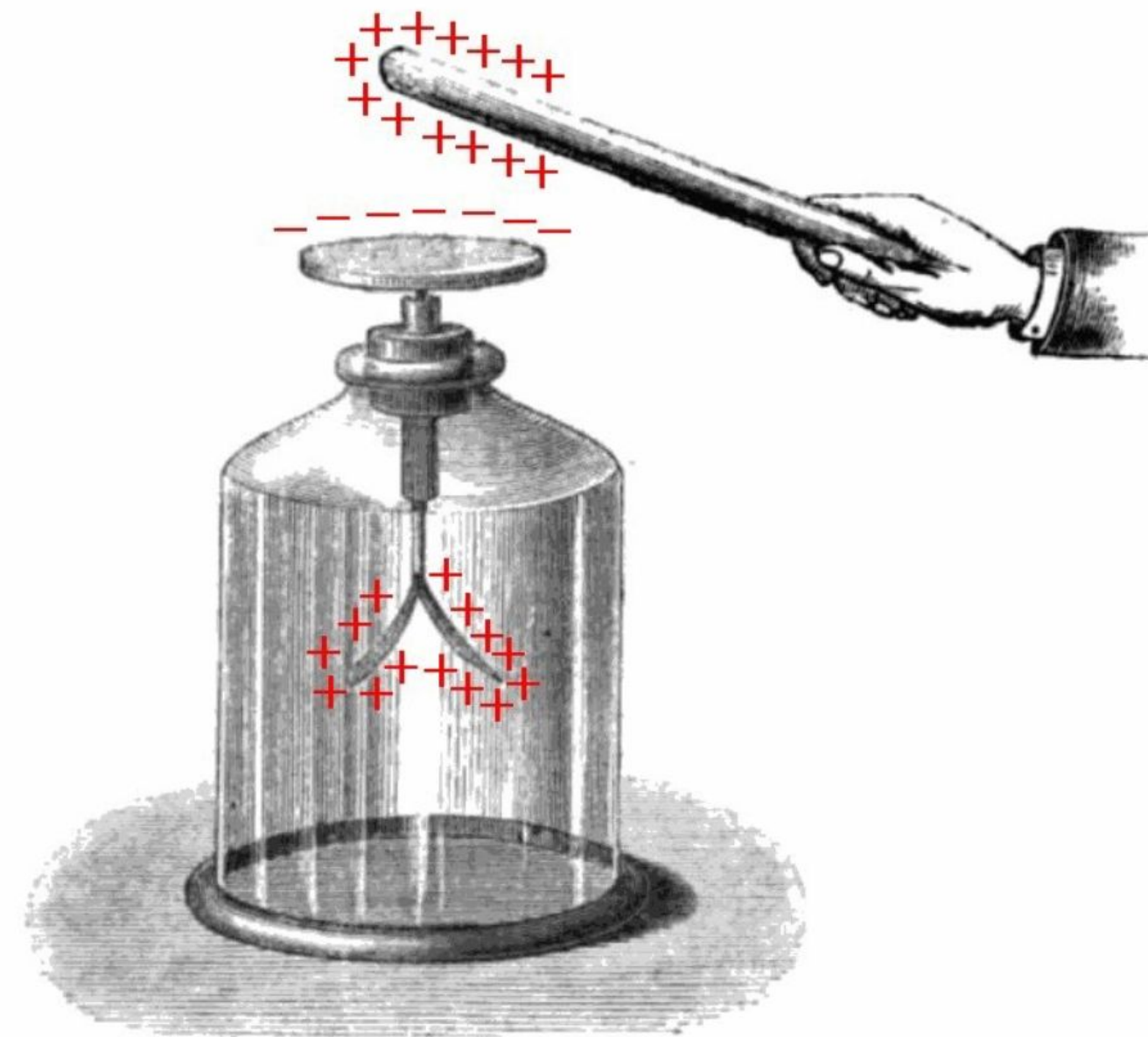
INTRODUZIONE

UN PO' DI STORIA



EVIDENZE OSSERVATE

Lo strumento della scoperta: l'elettroscopio a foglie



L'elettroscopio carico e isolato si scarica dopo un certo tempo senza apparente ragione.

Effetto noto già ai tempi di Coulomb cioè alla fine del 1700

POSSIBILE SPIEGAZIONE

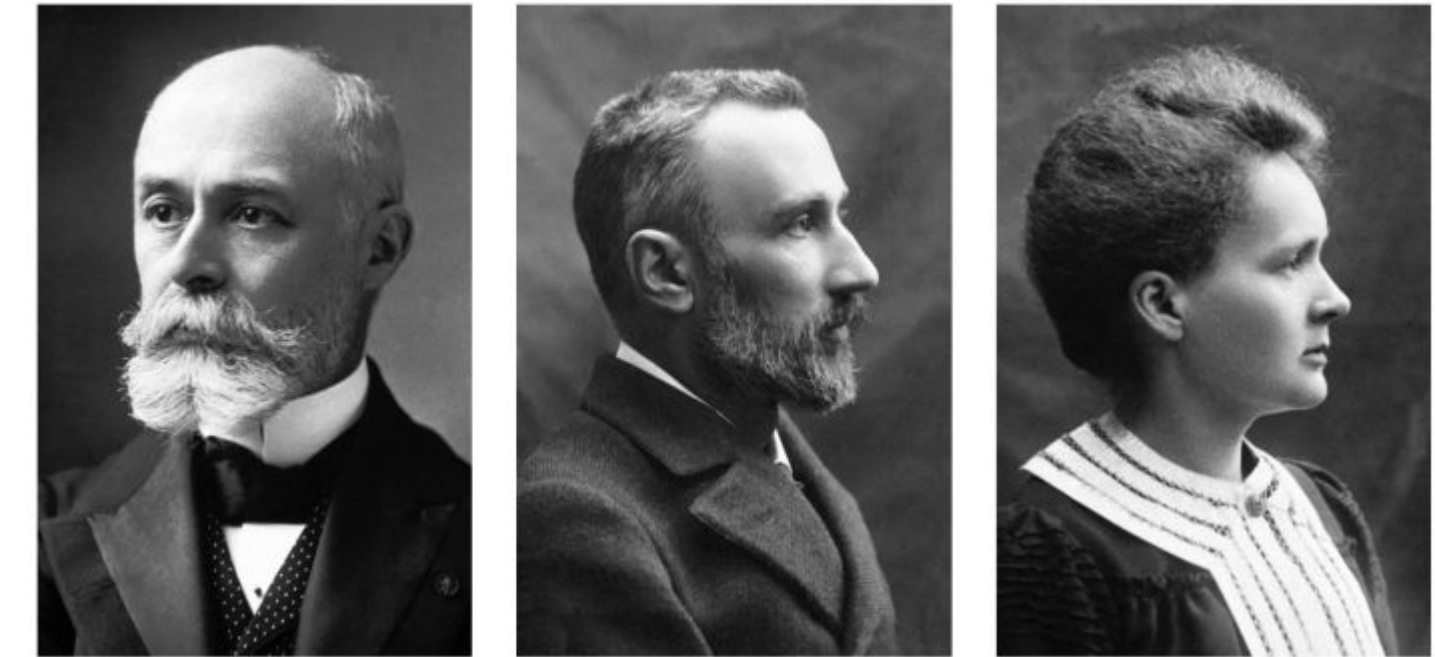
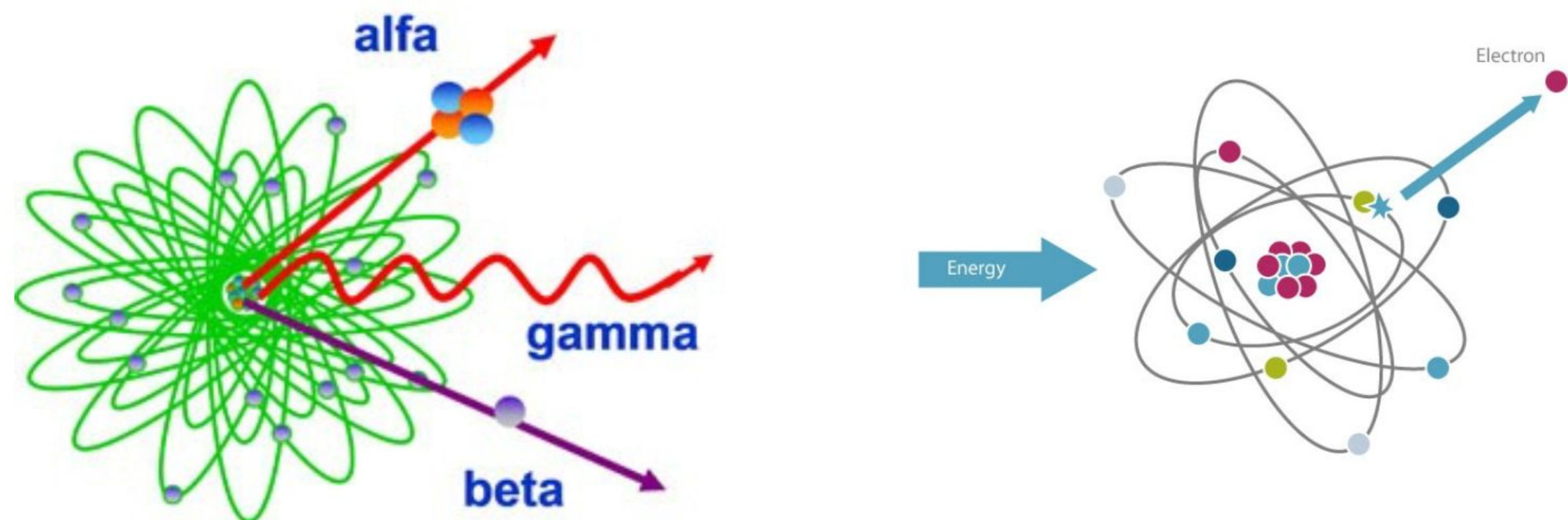
La radioattività naturale (1896) ambientale è responsabile della scarica degli elettroscopi.

Ogni materiale contiene nuclei radioattivi (H. Bequerel)

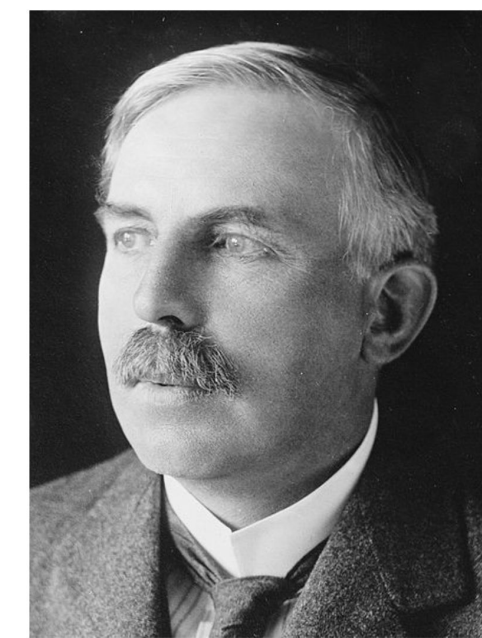
I nuclei radioattivi emettono particelle cariche (alfa e beta) e neutre (gamma)

Le particelle cariche attraversando la materia strappano gli elettroni atomici esterni: ionizzazione

Nell'elettroscopio le cariche + (ioni) o – (elettroni) sono attratte dalle foglie dell'elettroscopio e azzerano la carica.



Henri Bequerel - Pierre Curie - Marie Curie
Nobel 1903

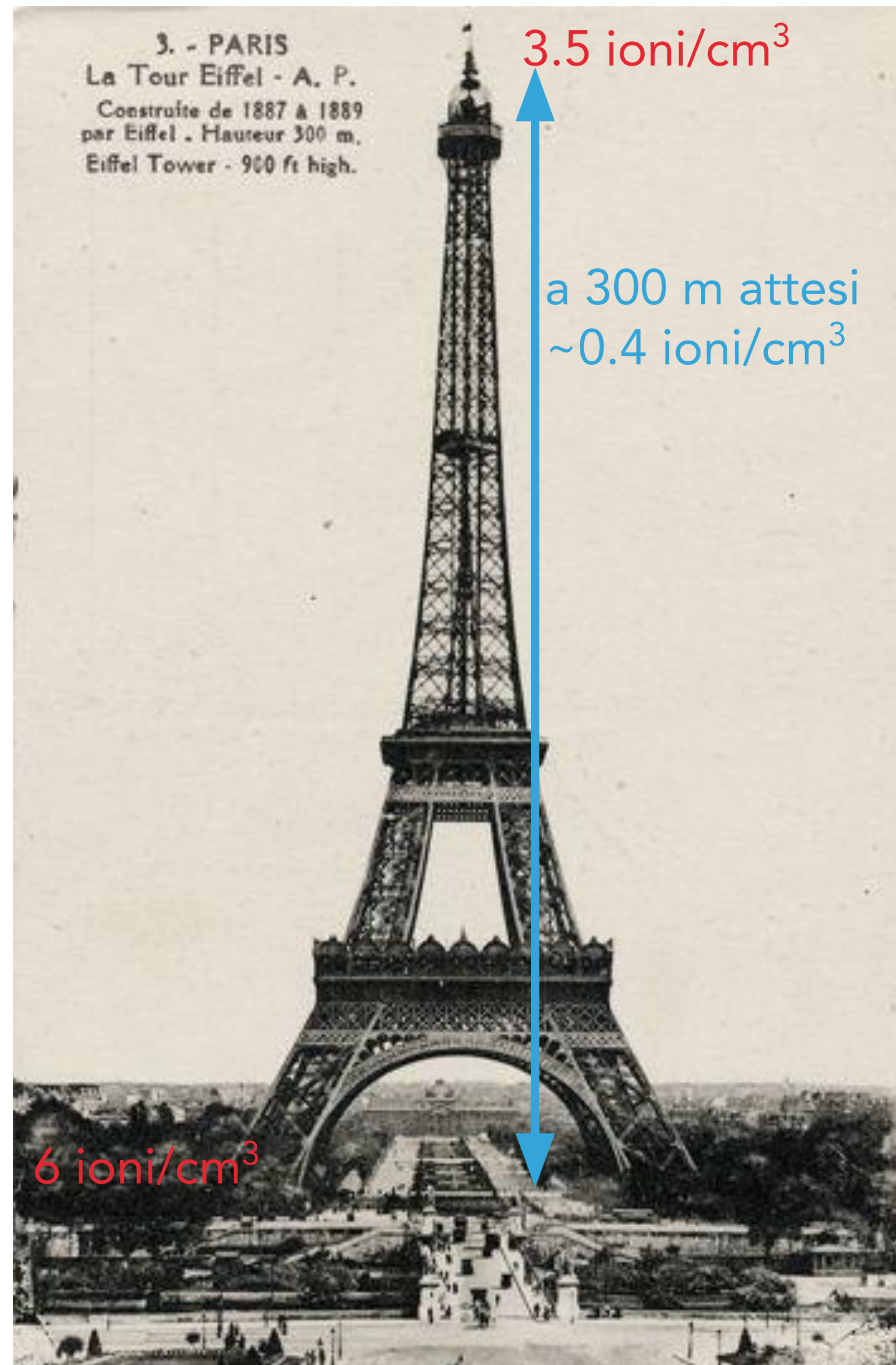


Lord Rutherford

VERIFICHE SPERIMENTALI



Theodor Wulf
1868 - 1946

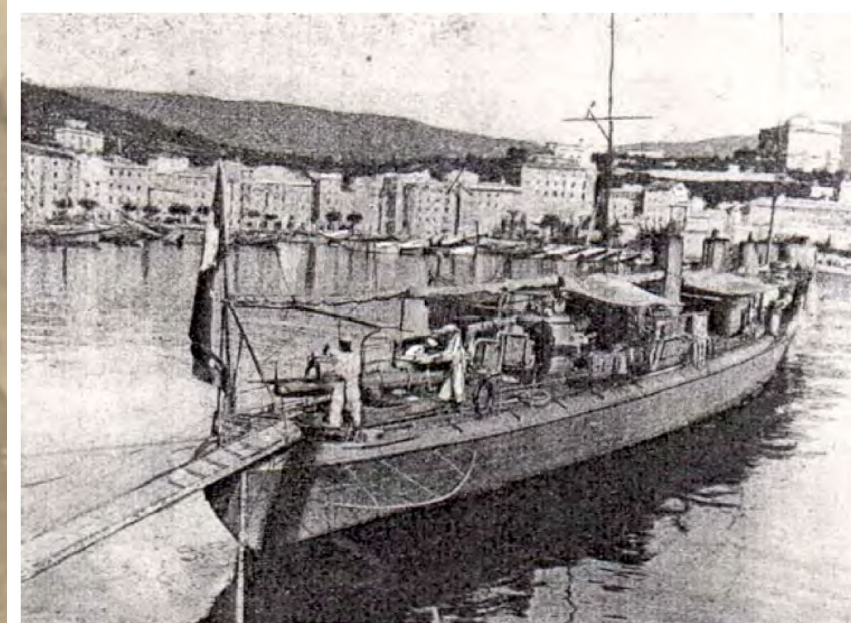


Ionizzazione specifica = Numero coppie e-ione / Volume
Maggiore la ionizzazione specifica $\Rightarrow$ più veloce è la scarica dell'elettroscopio.

- Nel 1909 porta un suo elettroscopio in cima alla Tour Eiffel.
- La radiazione più penetrante (gamma) si riduce a $\sim 1/3$ dopo 80 m, a 310 m si aspetta che la ionizzazione specifica sia quasi nulla.
- Trova invece che la ionizzazione si riduce (circa $1/2$) ma molto meno del previsto!
- *Ci sono particelle ionizzanti che non vengono dalla Terra ??*

VERIFICHE SPERIMENTALI

- Misure di ionizzazione specifica con un elettroscopio
~ 3m sotto il livello del mare (Livorno) e successivamente del lago (Bracciano).
- Trova che è minore di quella alla superficie e dunque *"viene da sopra!"*
- La ionizzazione non può essere solo dovuta alla radioattività terrestre.
- Ipotizza una radiazione di origine extraterrestre.



Domenico Pacini
1878 - 1934

VERIFICHE SPERIMENTALI

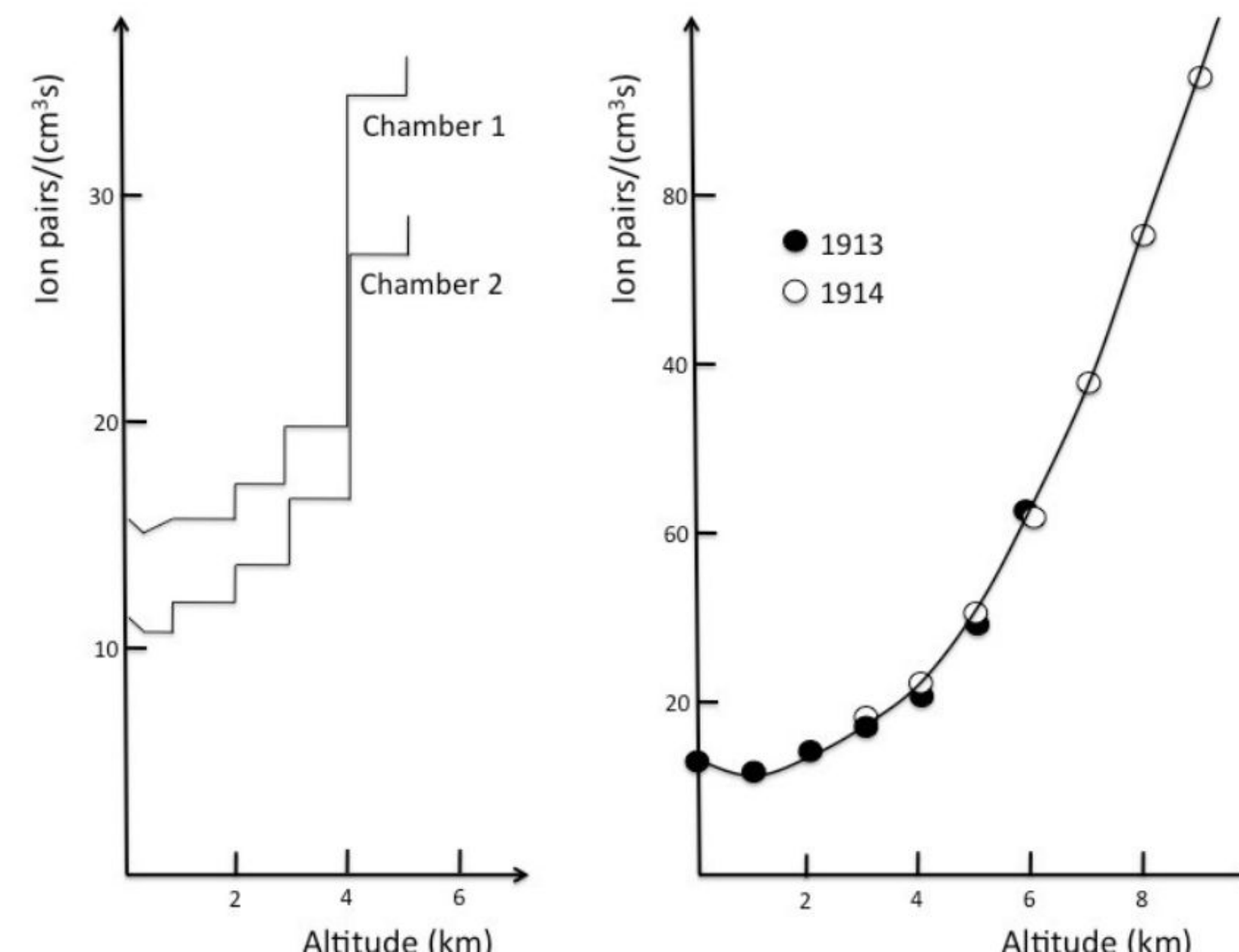


Victor Hess
1883 - 1964
Nobel 1936

Hess raggiunge i 5200 metri a bordo della mongolfiera "Böhmen" (Boemia).

Stabilisce che sopra al suolo la radiazione totale diminuisce leggermente; dopo i 1000 e i 2000 metri la radiazione cresce.

- Nel 1913–1914, Werner Kolhörster conferma i risultati estendendo la misura a 9 km (!)
- Hess conclude che l'aumento della ionizzazione con l'altezza deve dipendere dal fatto che la radiazione proviene dall'alto, che questa radiazione fosse di origine extraterrestre.

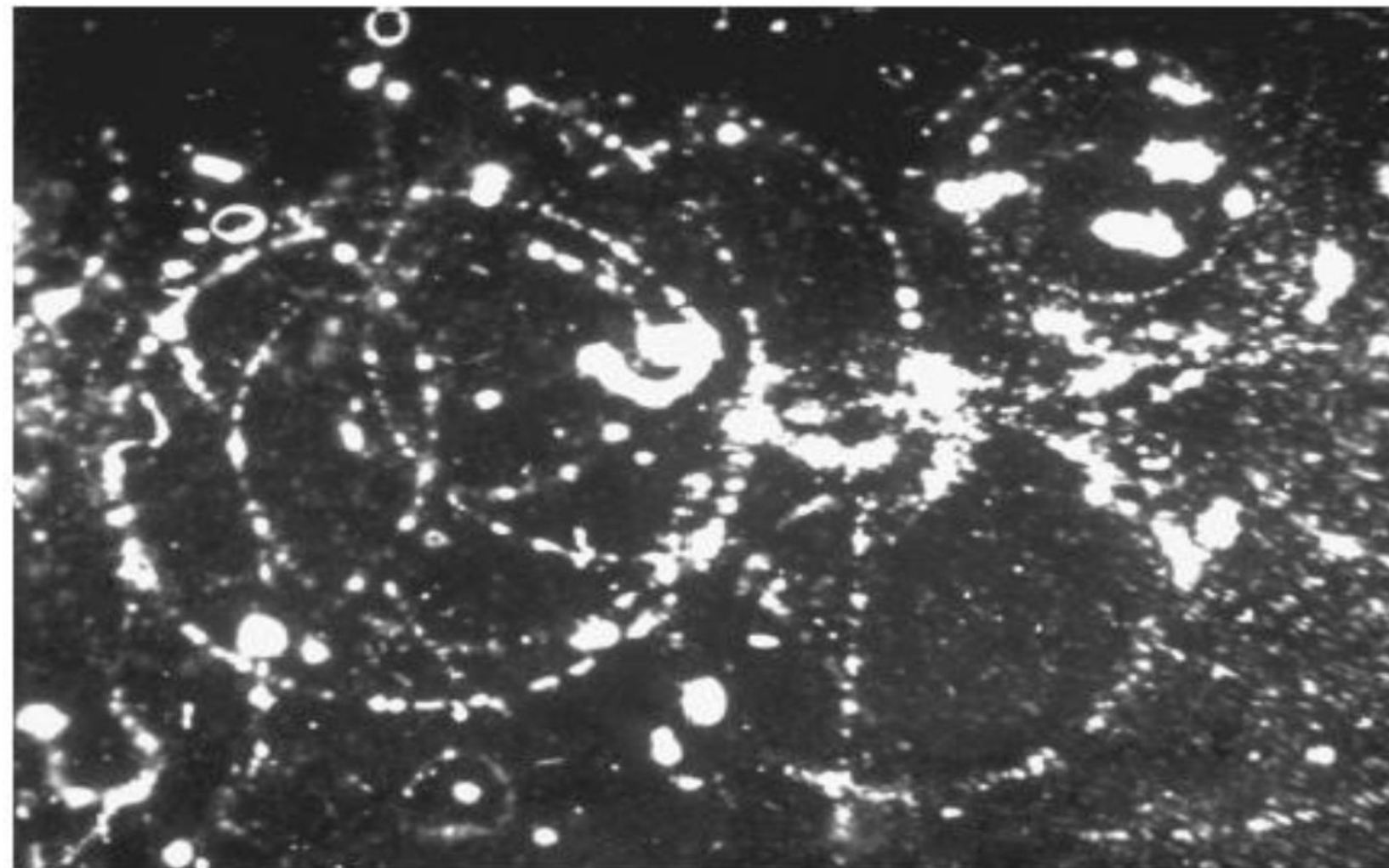


RADIAZIONE O PARTICELLE?

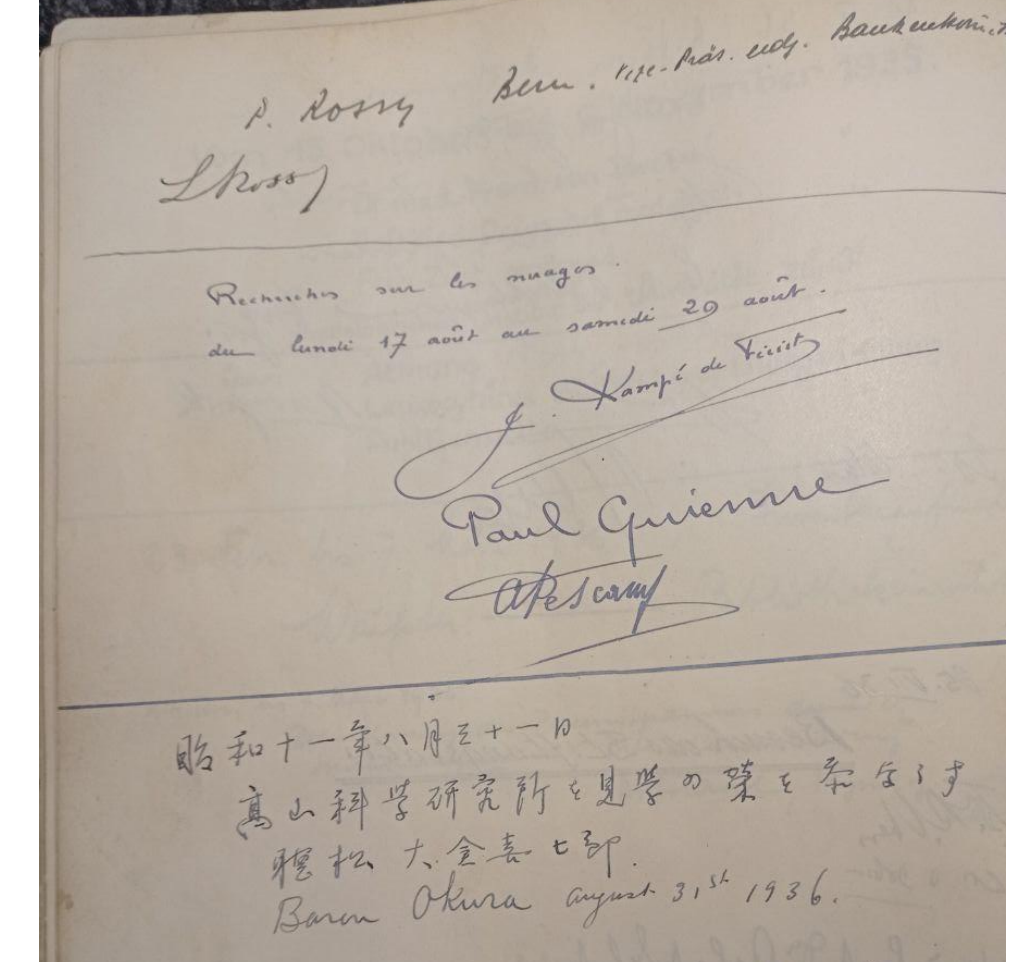
Fantastic Four , Nov. 1961



- 1930, B. Rossi ipotizza l'esistenza di un effetto est-ovest dovuto al campo geomagnetico terrestre, qualora si tratti di particelle cariche
- 1932 controversia tra Millikan (ipotizza che si tratti di fotoni) e Compton (ipotizza che si tratti di particelle cariche)
- 1932 primi esperimenti con contatori Geiger-Mueller usati in coincidenza



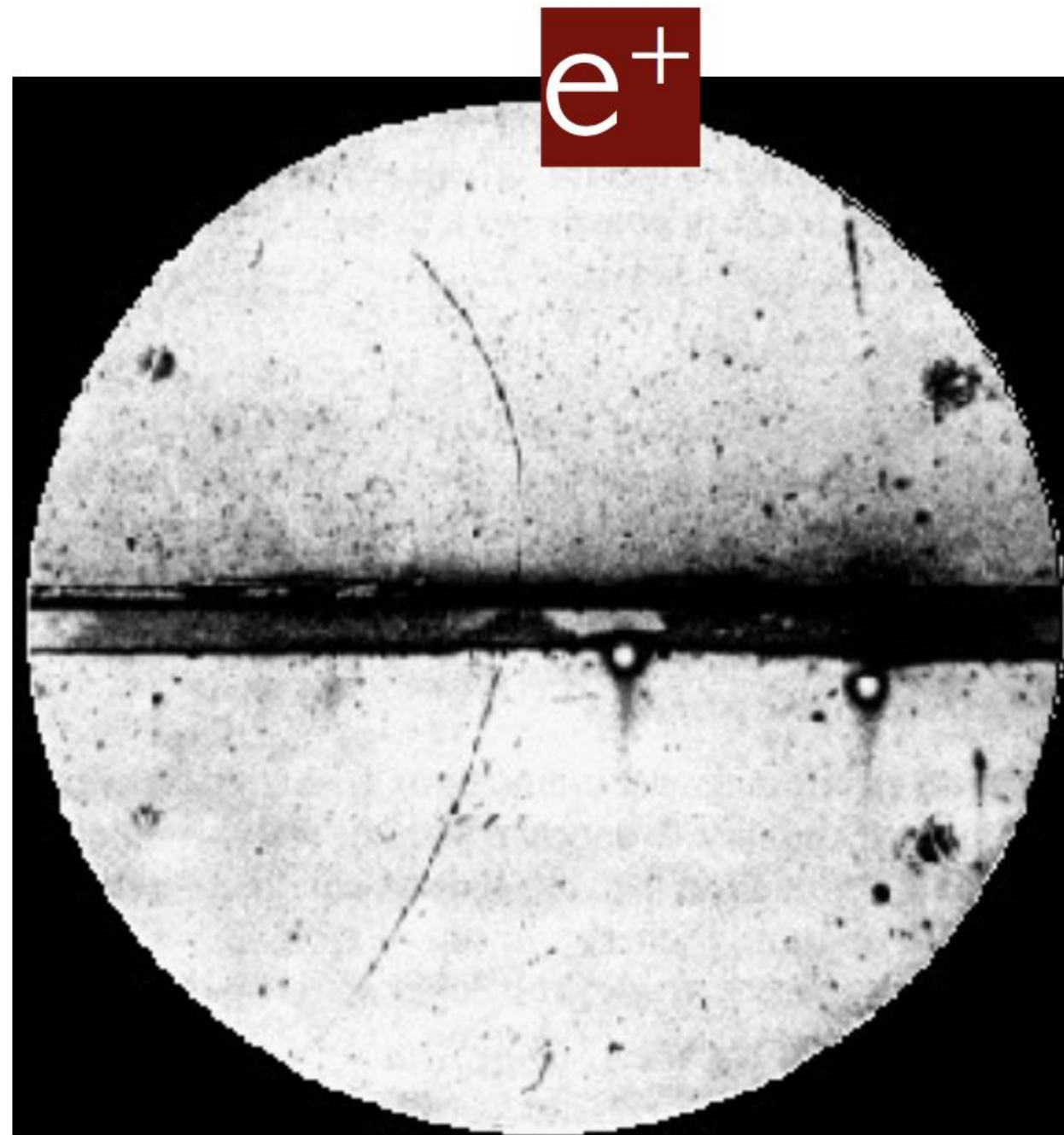
D. Skobeltsyn, evento da Raggi Cosmici in camera a bolle 1927



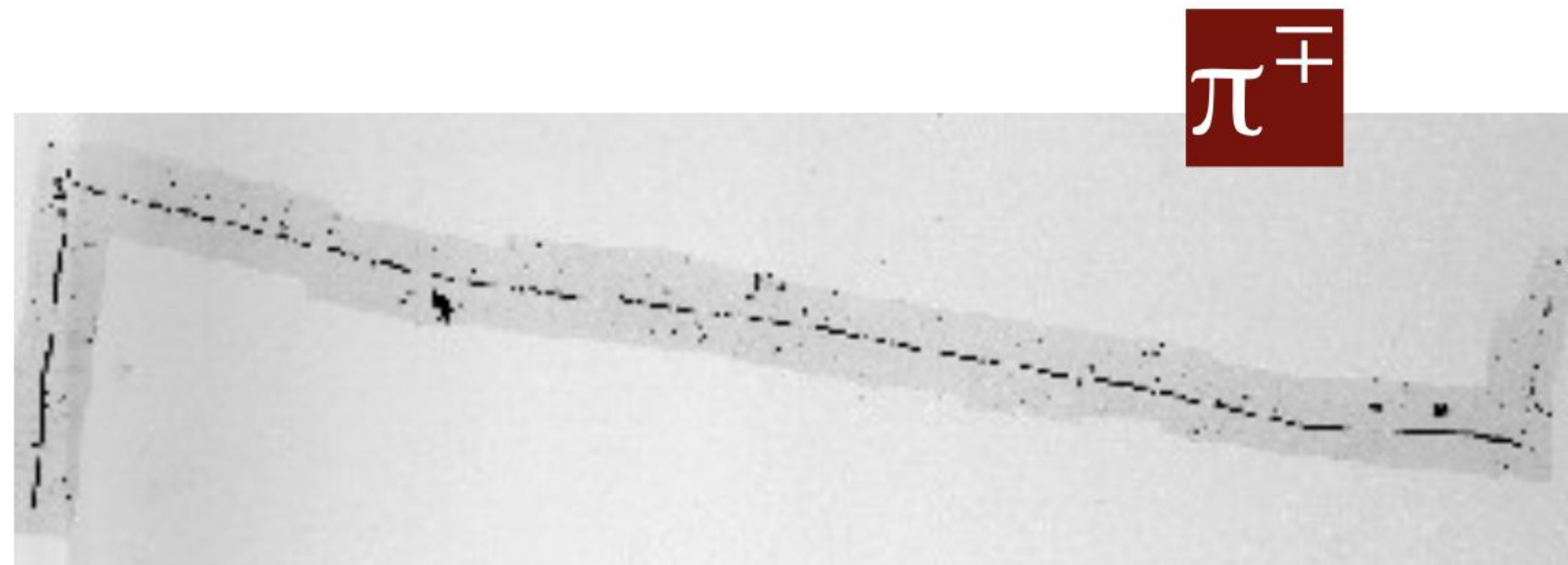
Millikan e i Fantastici 4 avevano torto:

I Raggi Cosmici sono composti da Particelle Cariche

Quali particelle? NUOVE SCOPERTE



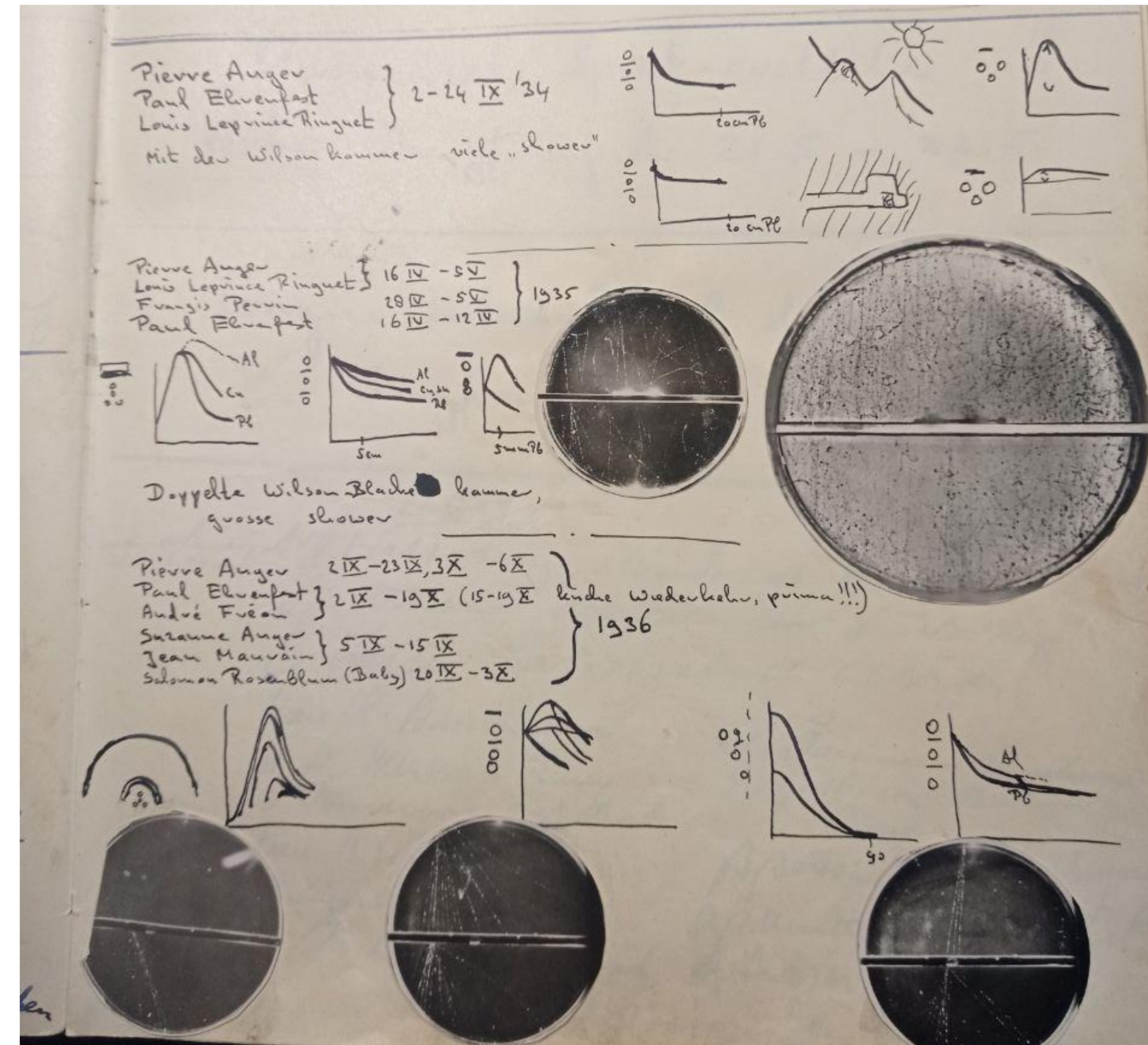
- 1932: Carl Anderson scopre il positrone nei RC
- 1934: Bruno Rossi misura particelle in coincidenza temporale a grandi distanze (~centinaia di metri), prima traccia di uno sciame atmosferico esteso
- 1937: Neddermeyer and Anderson scoprono il muone
- prima degli anni '50, : costituiscono il principale strumento di studio della Fisica delle Particelle



Quali particelle? NUOVE SCOPERTE

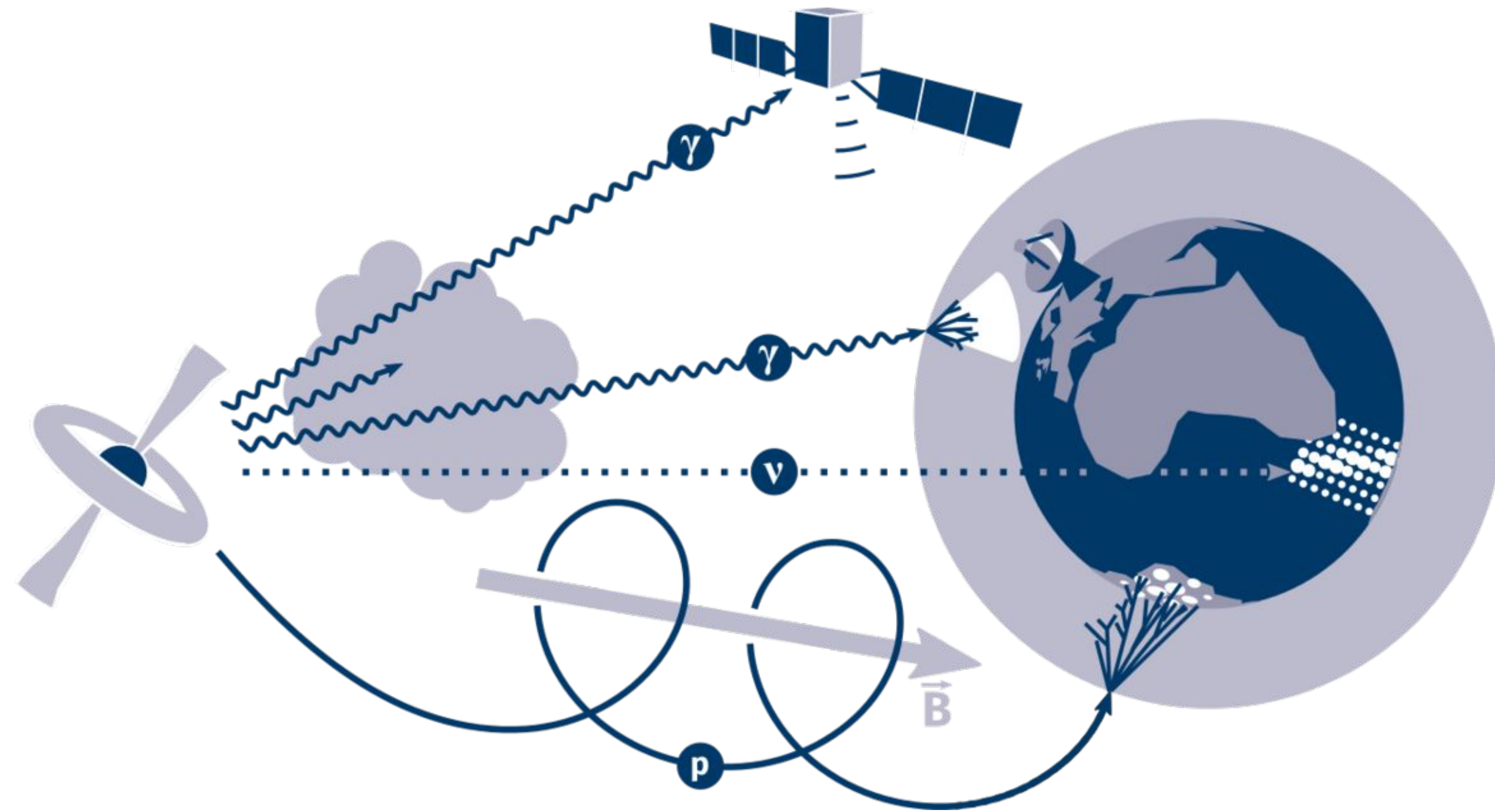


- 1934: Bruno Rossi misura particelle in coincidenza temporale a grandi distanze (~centinaia di metri): prima evidenza di uno sciame atmosferico esteso
- 1938-39: Pierre Auger osserva per la prima volta uno sciame atmosferico esteso di energia 10^{13} - 10^{14} eV
- 1962: Linsley e Scarsi osservano i raggi cosmici a energie ultra-alte



I RAGGI COSMICI MISURE E TEORIA

I RAGGI COSMICI sono particelle elementari.
Si utilizzano rivelatori di particelle.



COSA SI MISURA?

Unità di misura in Fisica delle Particelle

Un elettronvolt (eV) è l'energia cinetica acquisita da un elettrone accelerato da un campo elettrico di un volt

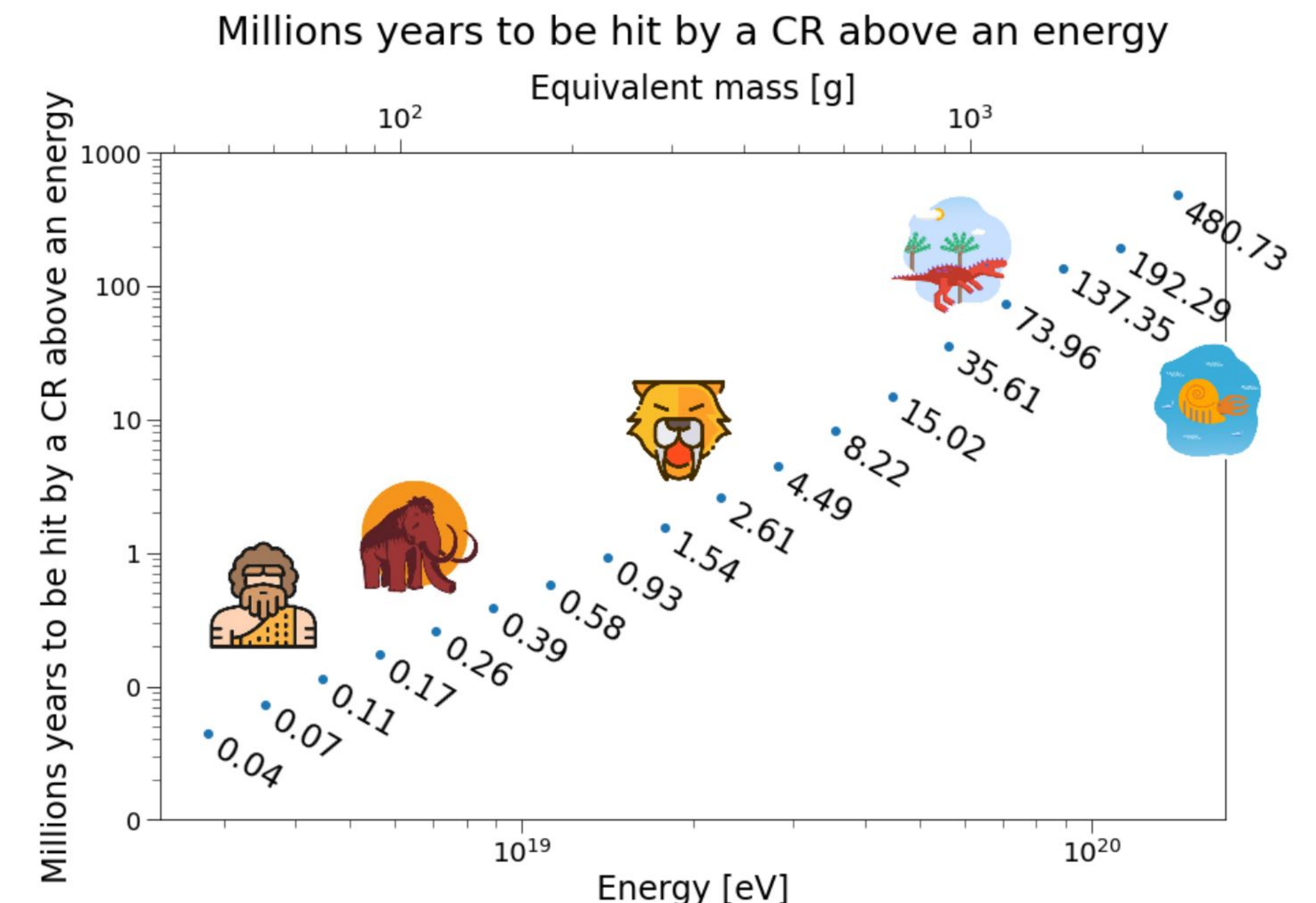
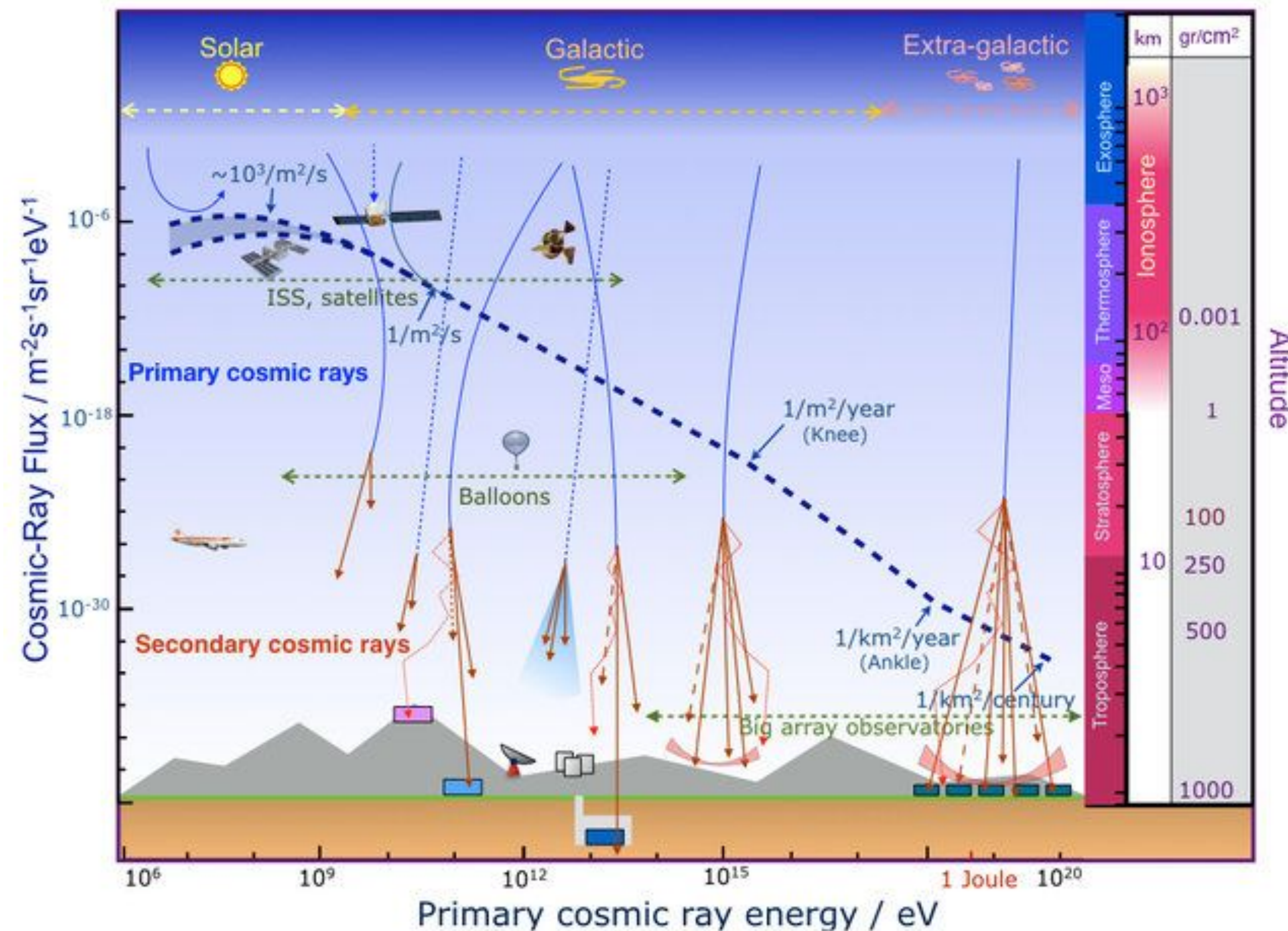
$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$$

$$1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$$

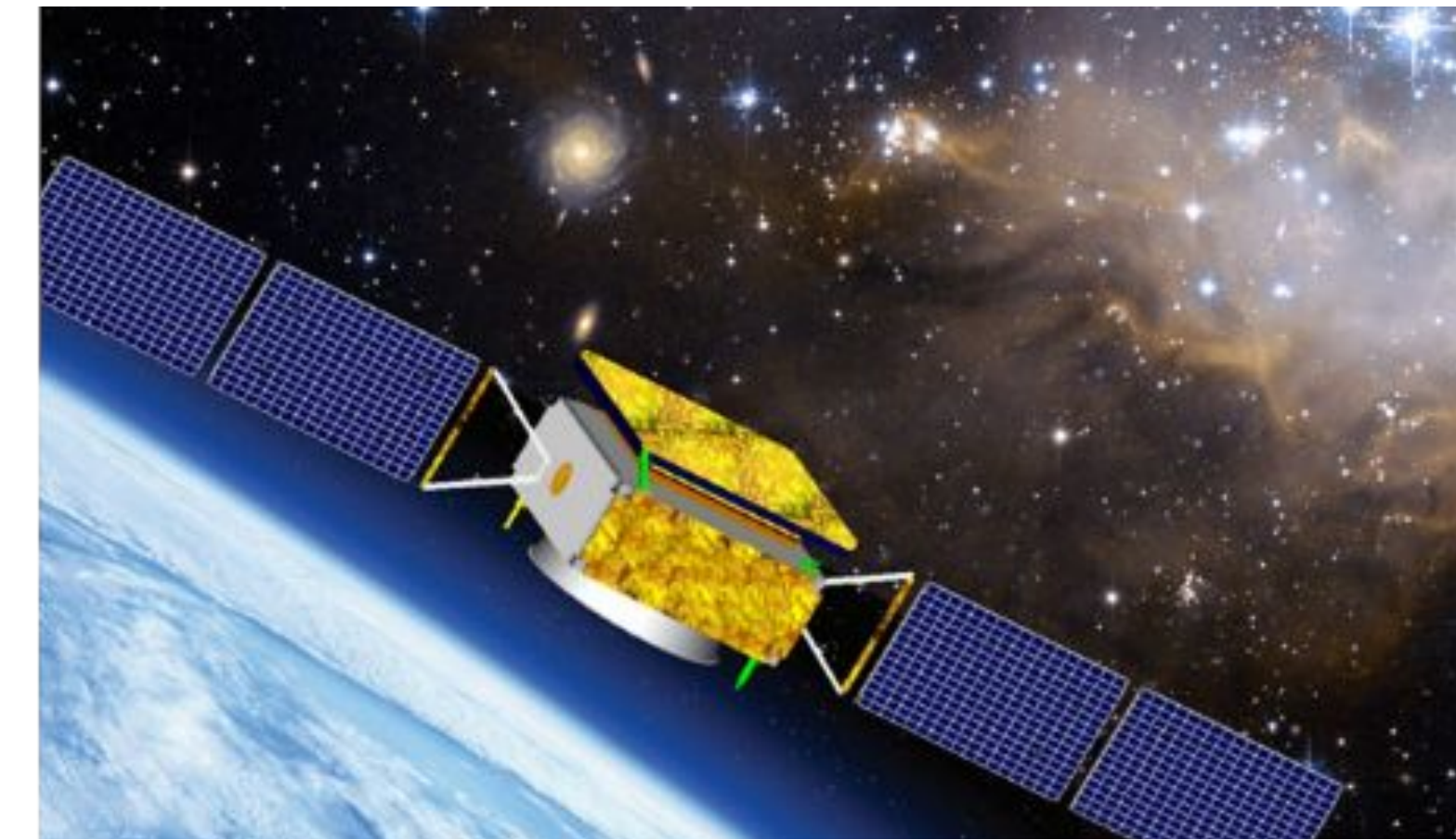
$$1 \text{ EeV} = 10^{18} \text{ eV}$$

Una zanzara ha una energia cinetica di $\sim 1 \text{ TeV}$



MISURA DIRETTA

La misura diretta dei raggi cosmici può essere fatta con dei rivelatori di particelle balloon-borne o a bordo di missioni spaziali situati sopra l'atmosfera permettendo l'identificazione individuale delle particelle e la loro carica, massa e energia con alta precisione!

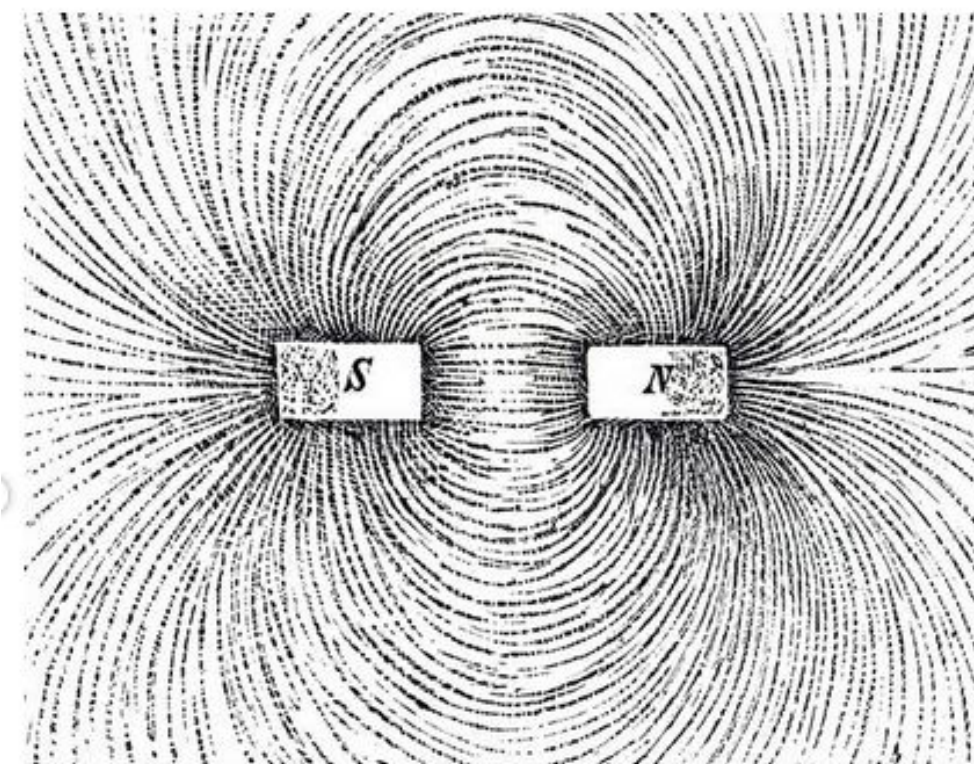


Sono in genere composti da:

Spettrometri di massa

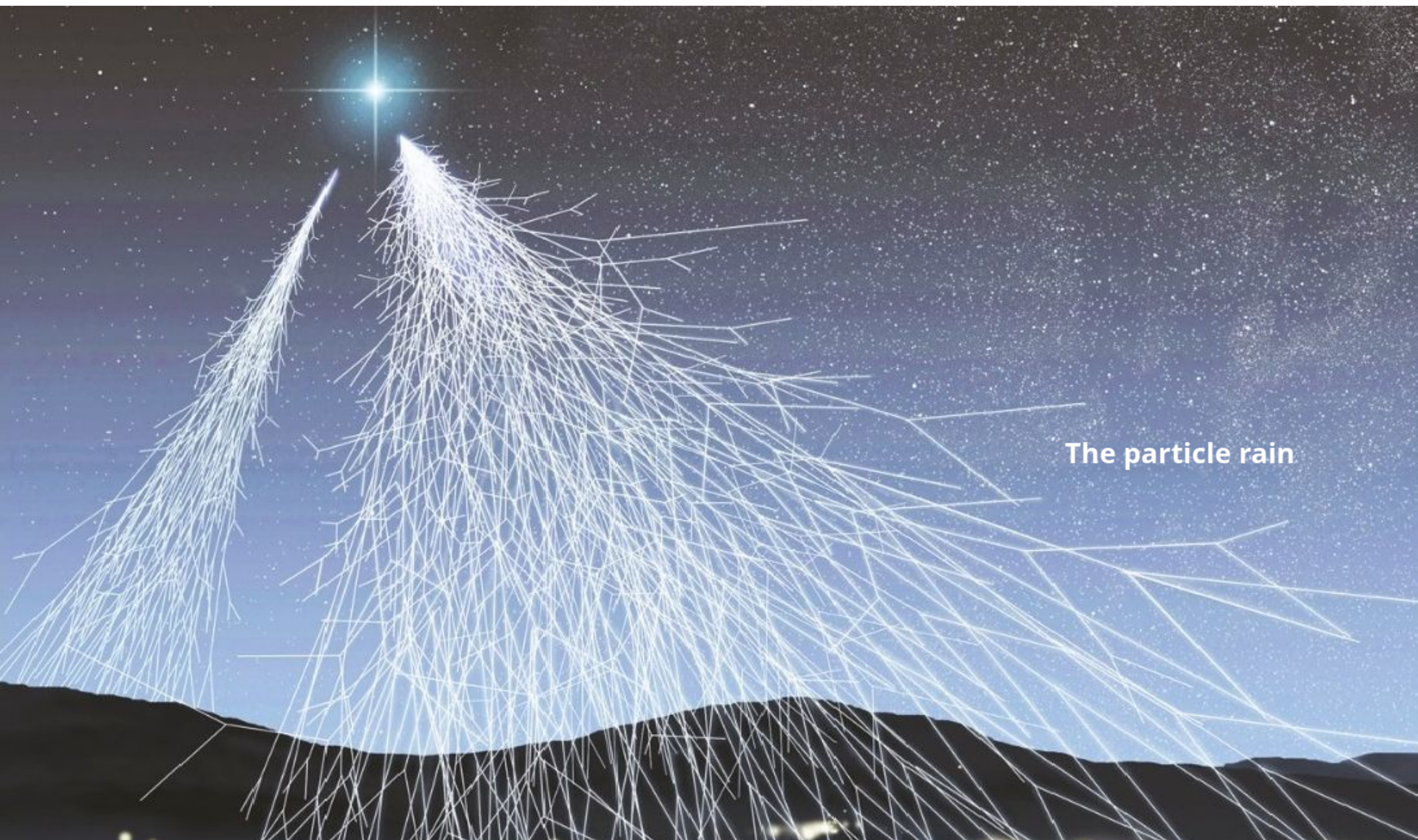
Tracciatori

Calorimetri



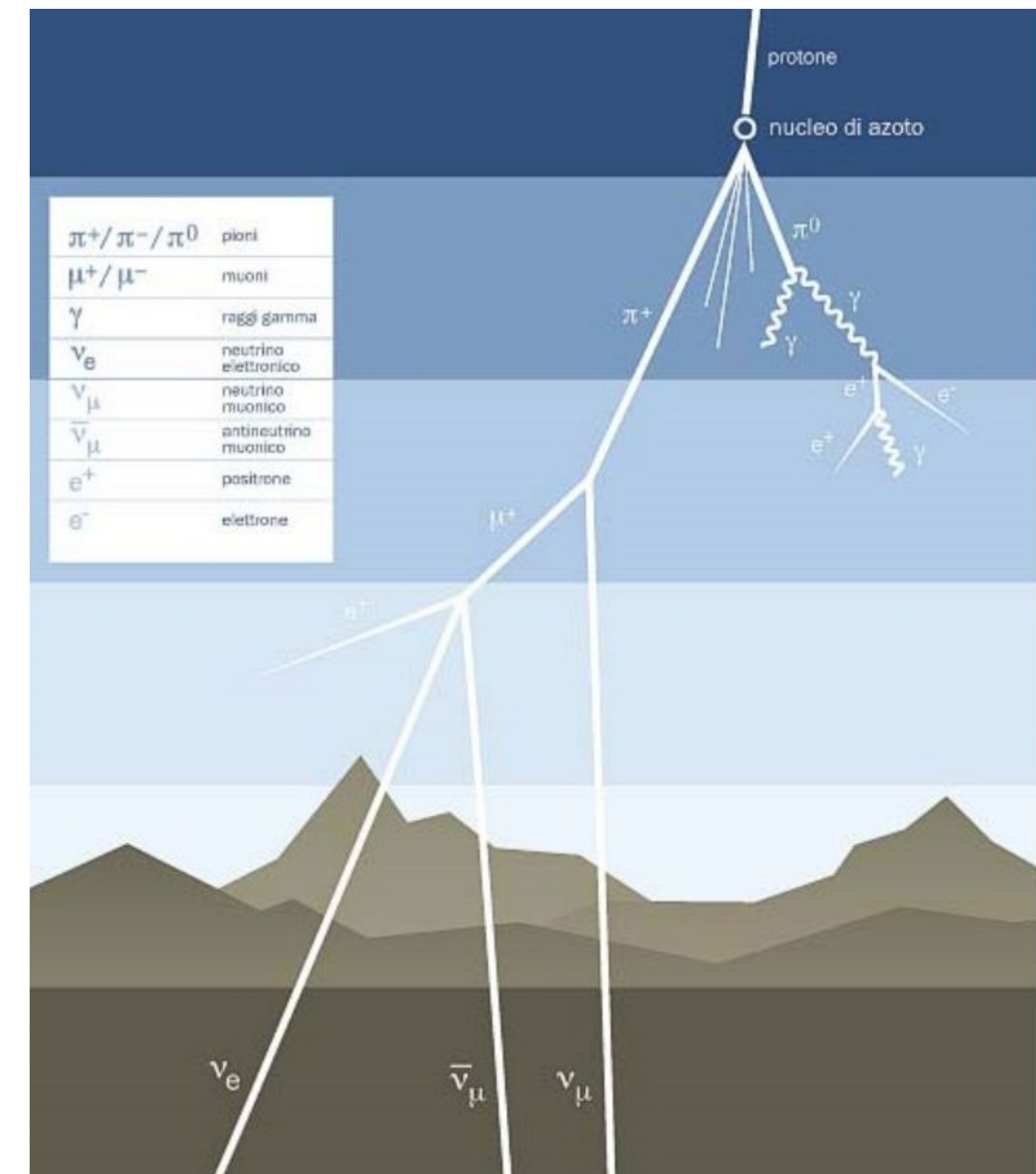
MISURA INDIRETTA

Che succede quando un raggio cosmico investe la terra?

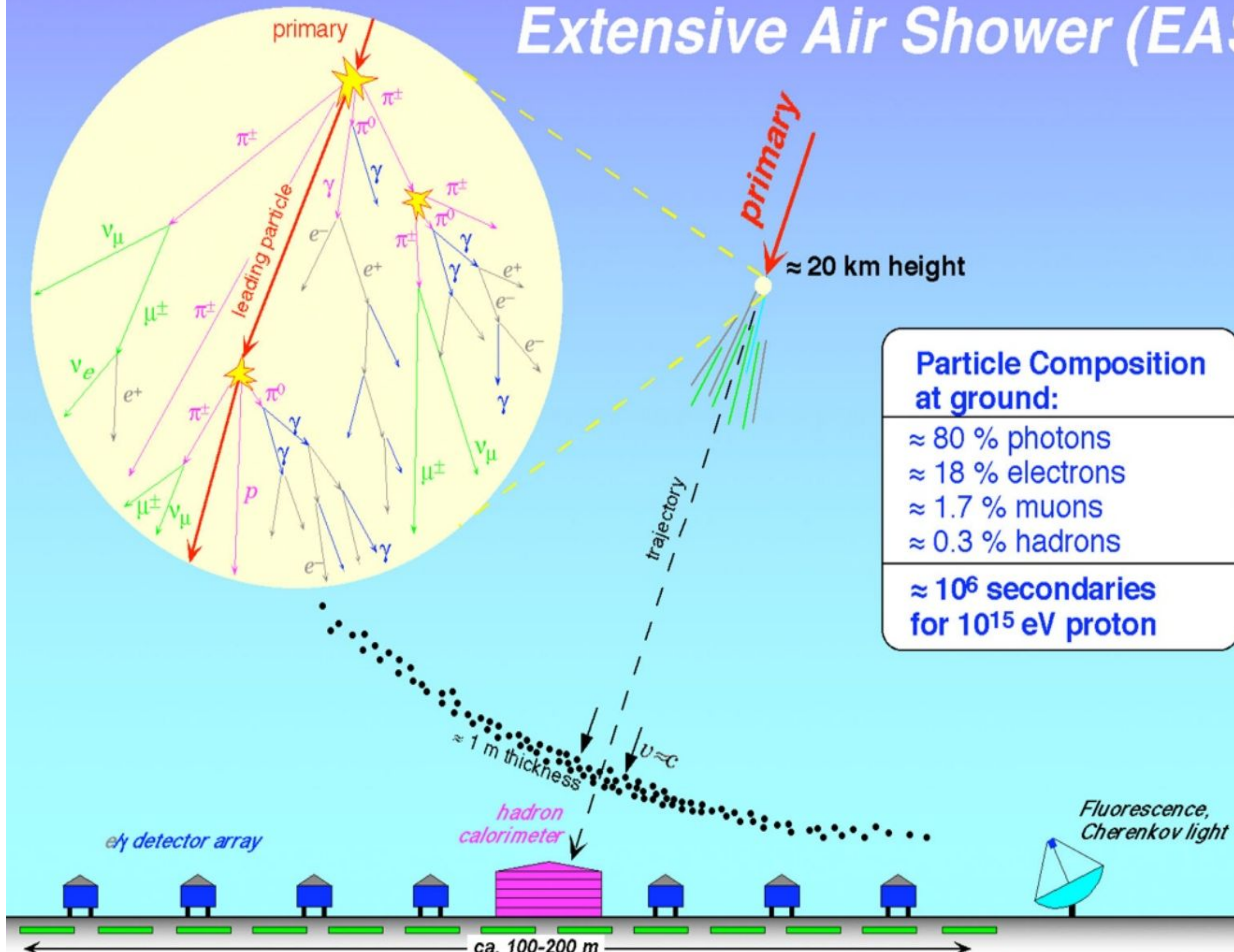


Quando una particella carica investe l'atmosfera terrestre, interagisce con i nuclei dell'aria e innesca una cascata di particelle che se adeguatamente energetica può raggiungere la superficie terrestre.

L'estensione laterale dello sciame è legata all'energia del primario interagente e può variare da decine di metri sino a svariati chilometri



Extensive Air Shower (EAS)



CHI PRODUCE I RAGGI COSMICI?

ACCELERATORI NATURALI DI PARTICELLE

Dec 4 1948 137

Theory of cosmic rays

a) Energy acquired in collisions against cosmic magnetic fields

Non relativistic case

MV^2

(M = mass of particle V = velocity of moving field)

(Proof: Head on collision gives energy gain

$$\frac{M}{2}(v+2V)^2 - \frac{Mv^2}{2} = \frac{M}{2}(4vV+4V^2) =$$

$$= M(2vV+2V^2) \quad \text{Prob} = \frac{v+V}{2v}$$

Running after collision (prob = $\frac{v-V}{2v}$) gives energy gain

$$M(-2vV+2V^2)$$

Average gain order

$$MV^2$$

Relativistic: order

$$w\beta^2$$

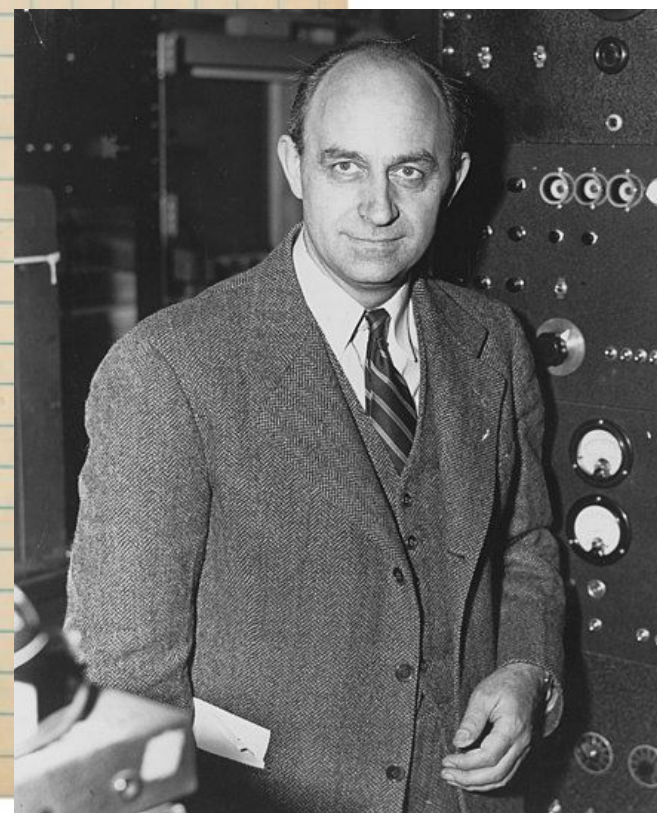
Il meccanismo proposto da Fermi nel 1949 resta tutt'ora il più attendibile.

Il meccanismo di accelerazione di Fermi fu pensato per spiegare i raggi cosmici galattici, ma in realtà ha avuto e ha tuttora un grande impatto anche per quanto riguarda l'accelerazione dei raggi cosmici extragalattici.

Fermi notò che il disco della nostra galassia è pervaso da un gas di bassa densità detto mezzo interstellare, e anche da un campo magnetico

I Raggi Cosmici sono accelerati in nubi di gas in rapida espansione attraverso un processo stocastico.

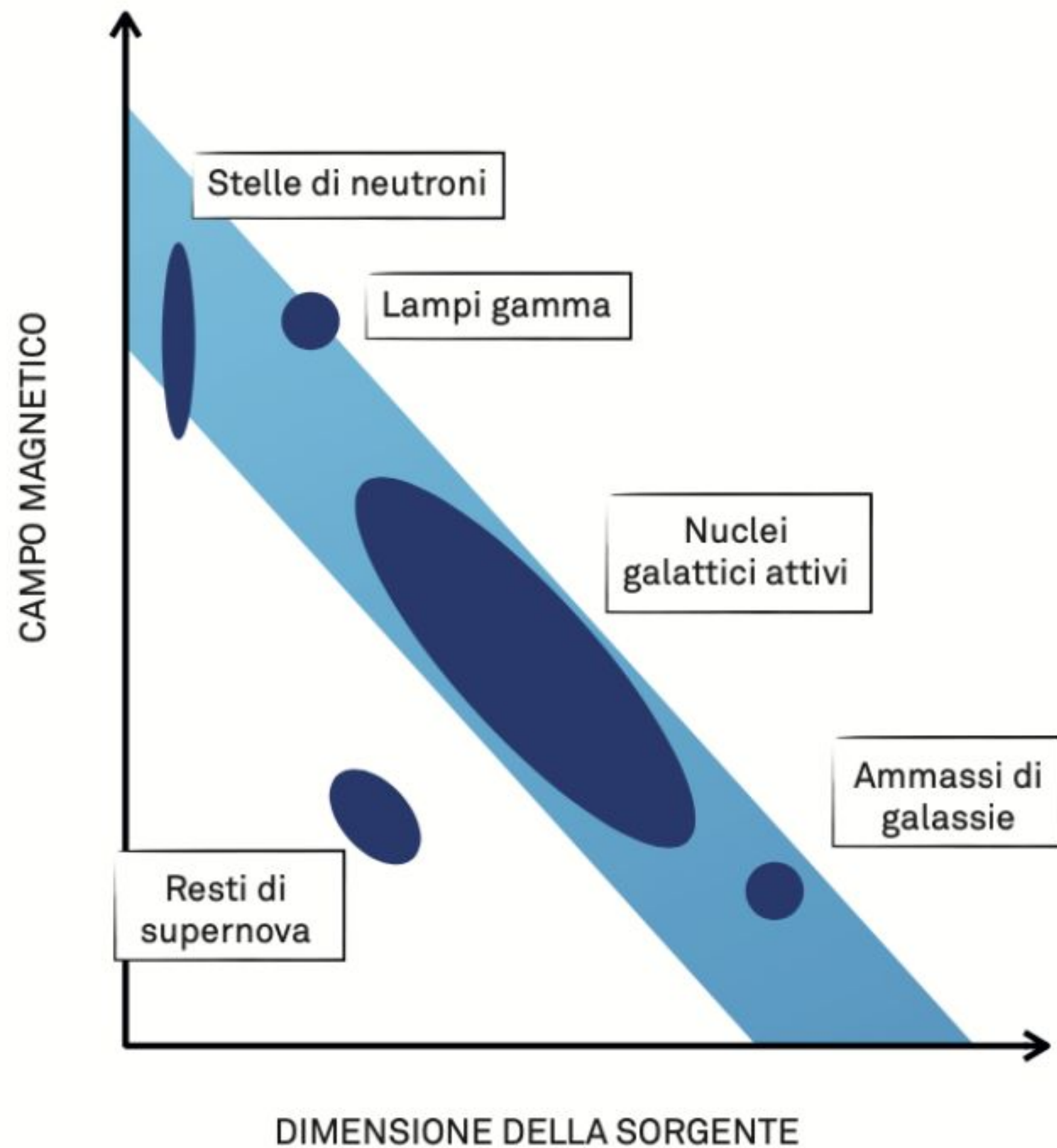
L'universo è violento e non mancano i fenomeni che innescano fronti di gas in rapida espansione.



Enrico Fermi
1901 - 1954
Nobel 1938

POSSIBILI SORGENTI

$$E_{\text{max}} \propto qBR$$



Circonferenza di LHC 27 km

Need accelerator of size of Mercury's orbit to reach 10^{20} eV with current technology

Large Hadron Collider (LHC),
27 km circumference,
superconducting magnets

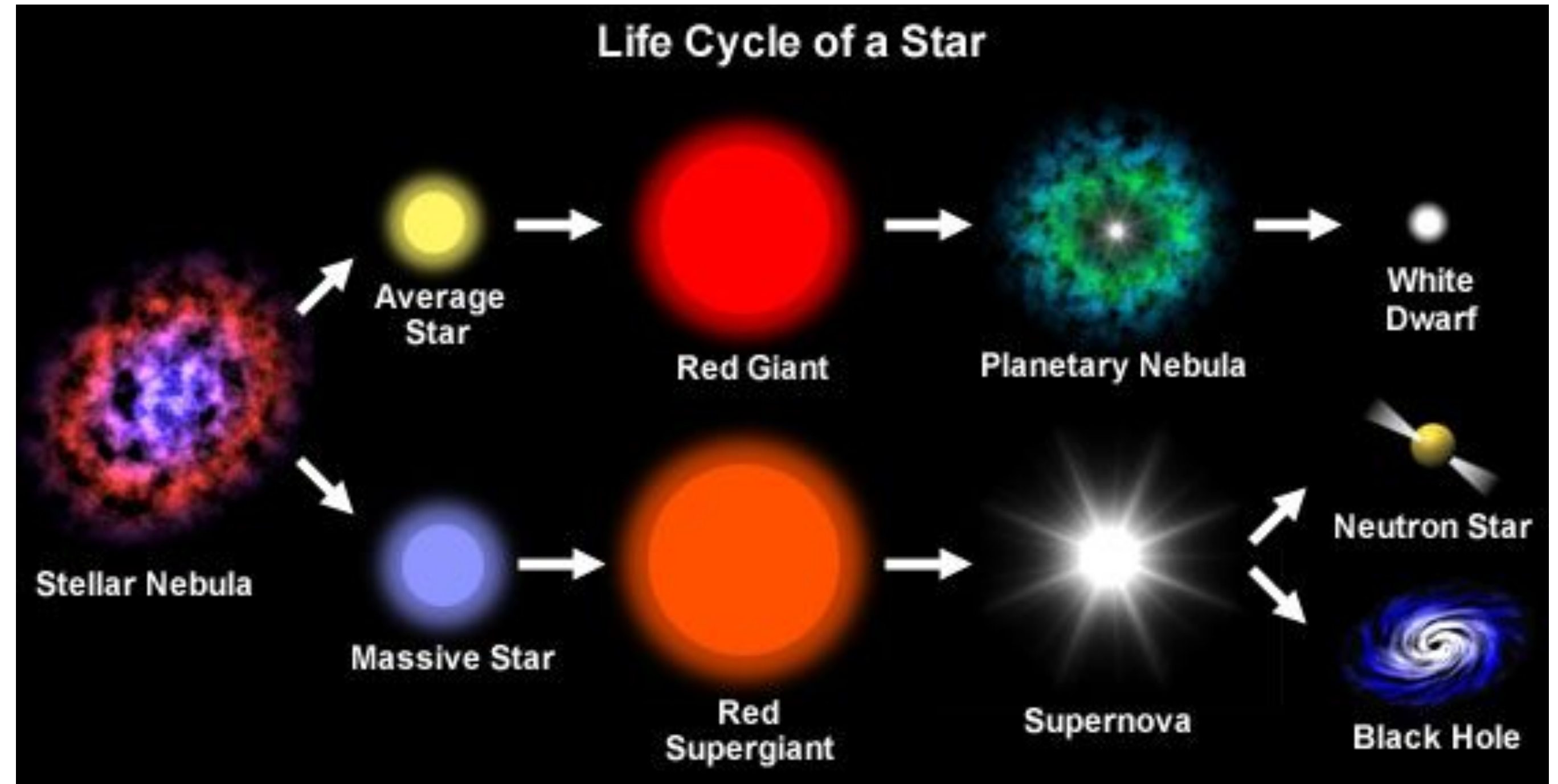
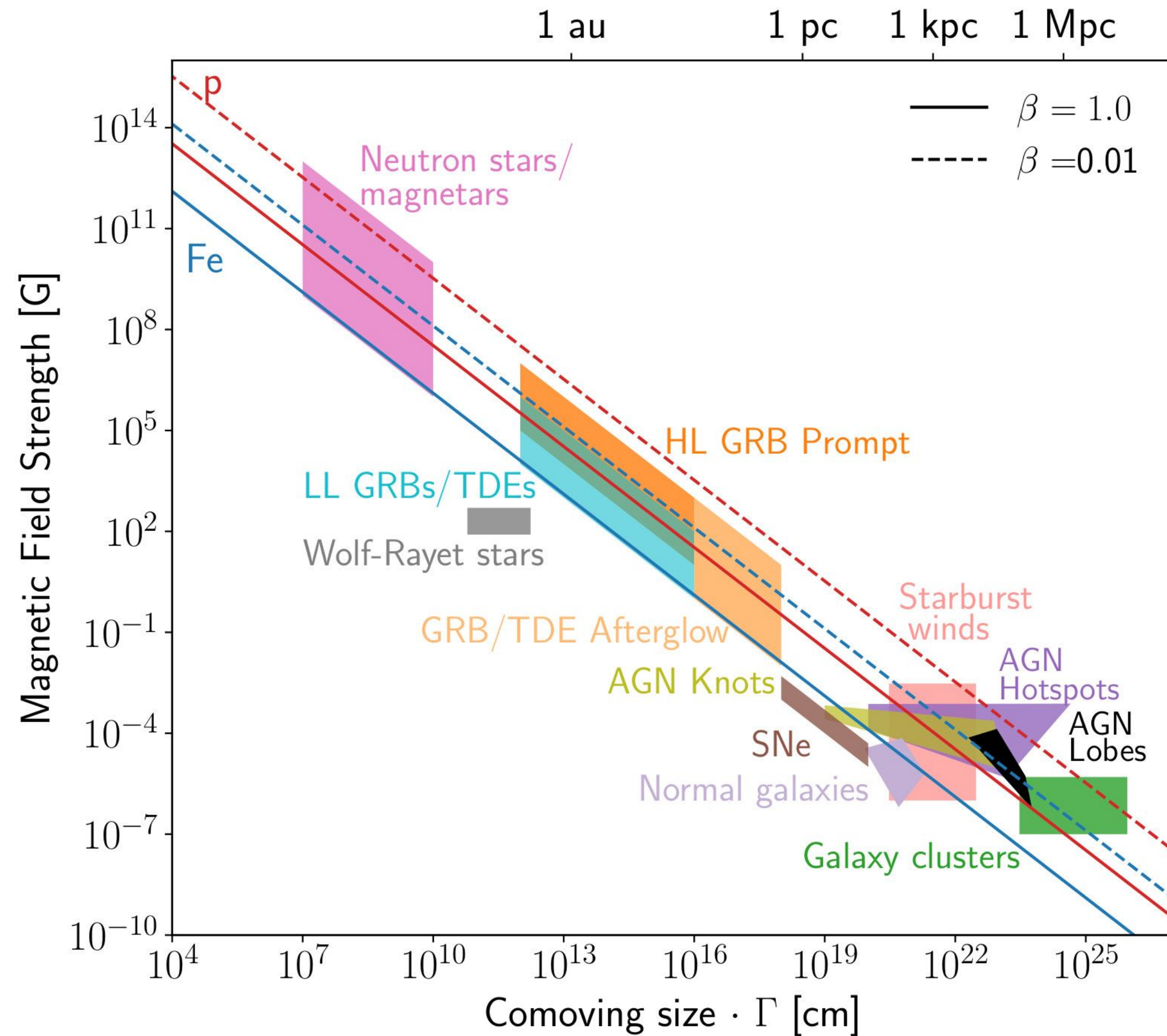


(M. Unger, 2006)

Orbita di Mercurio 360 000 00 km

POSSIBILI SORGENTI

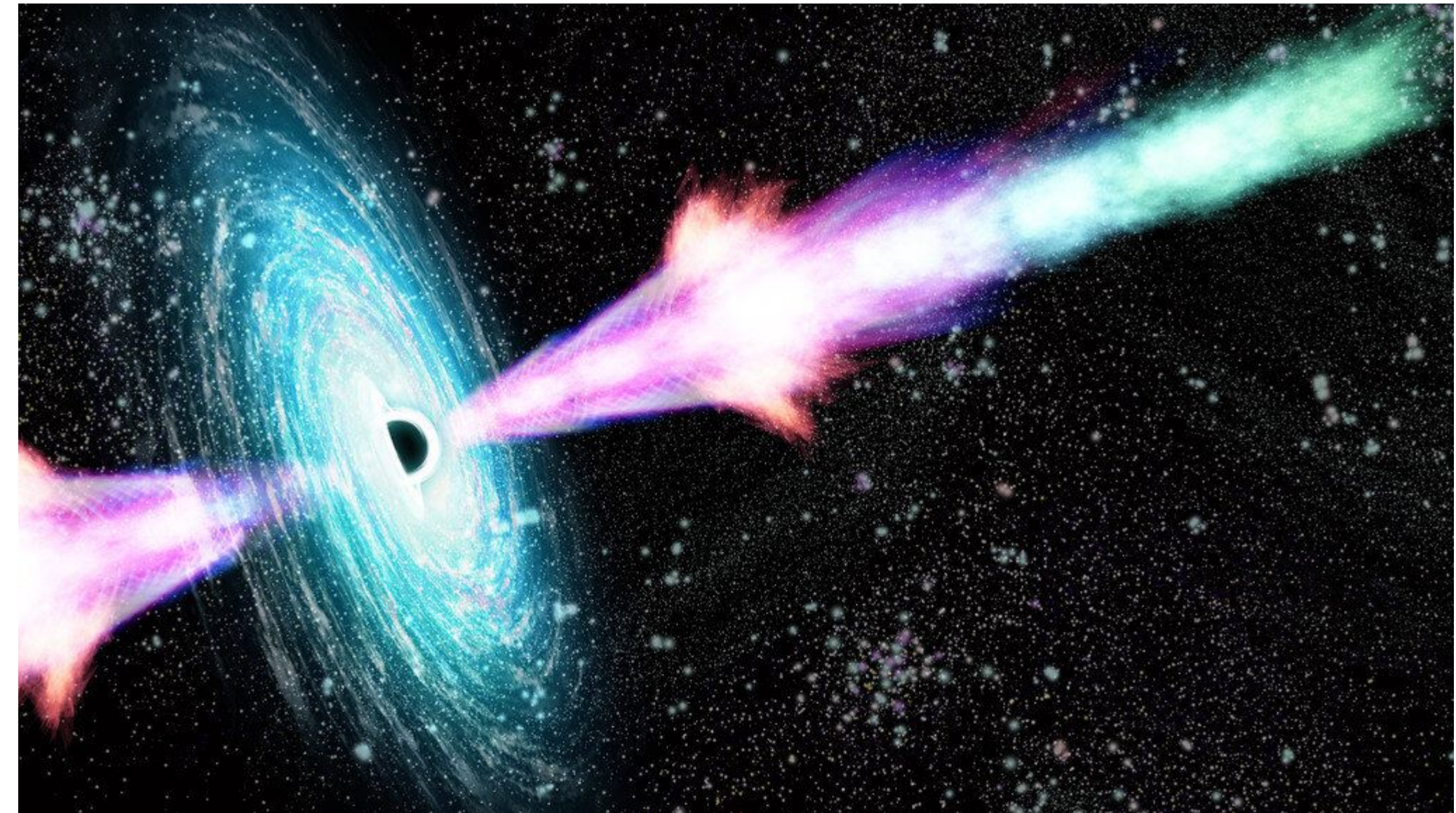
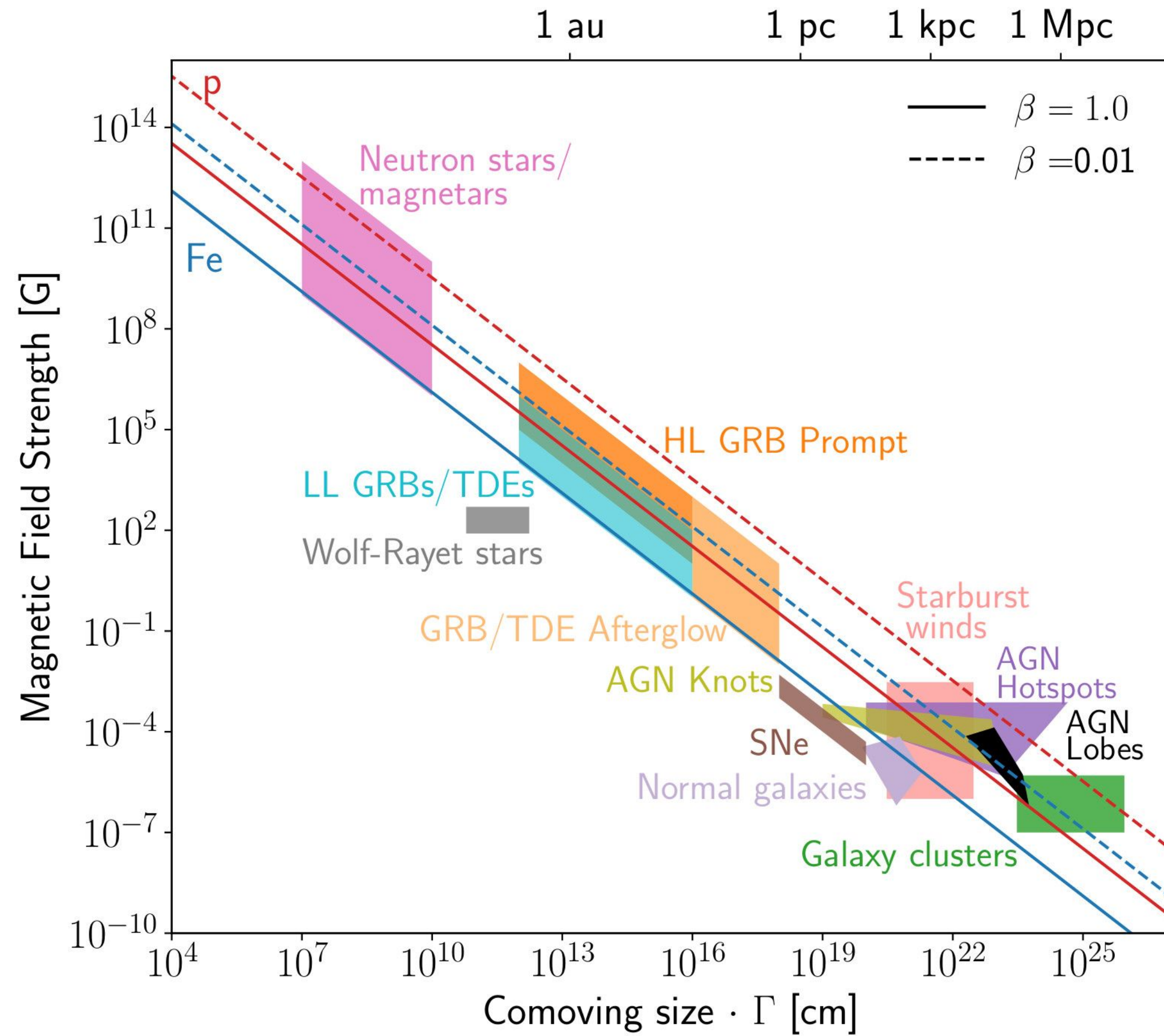
$$E_{\text{max}} \propto qBR$$



Resti di Supernovae

POSSIBILI SORGENTI

$$E_{\text{max}} \propto qBR$$



Nuclei Galattici Attivi

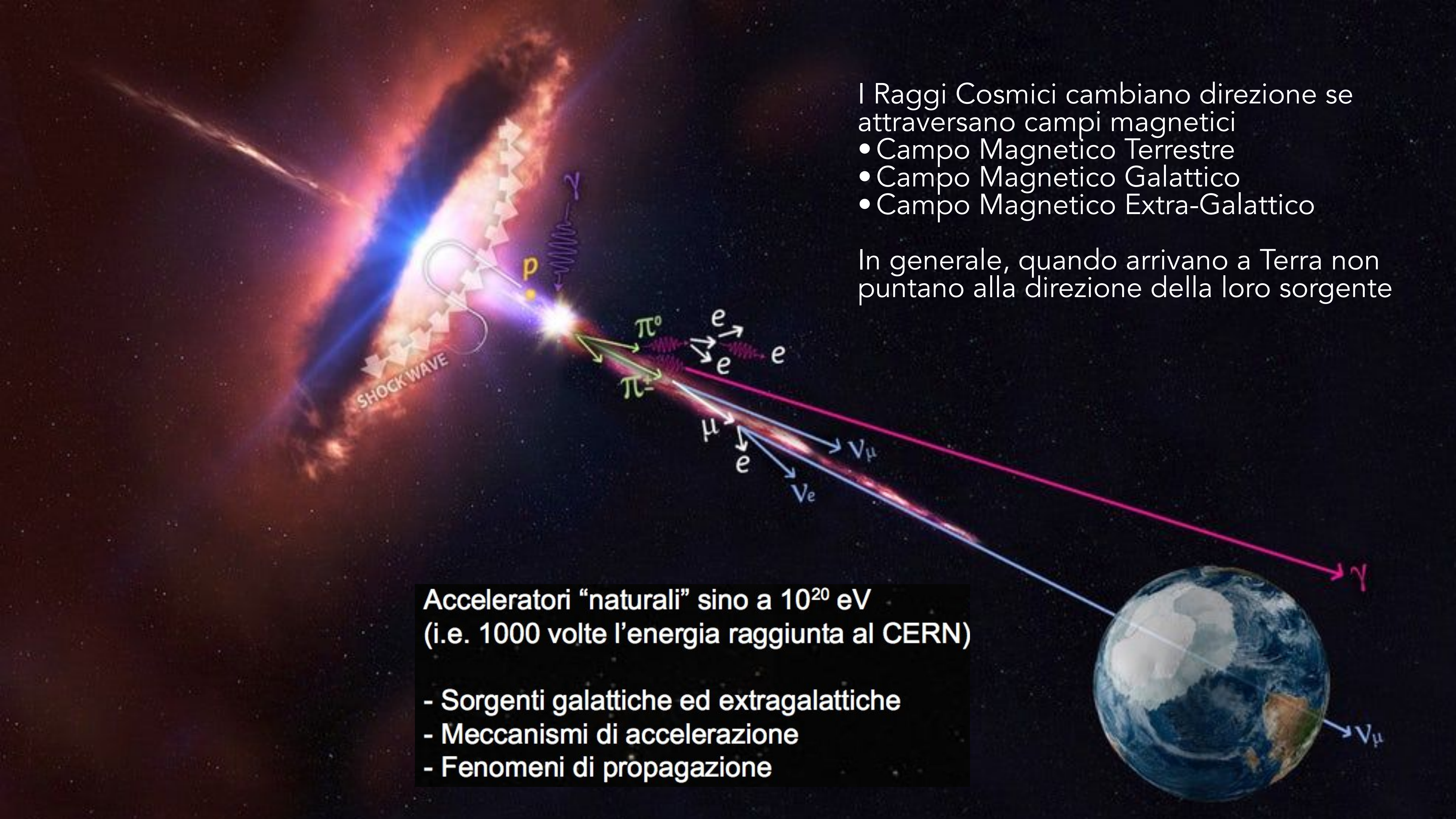
I Raggi Cosmici cambiano direzione se attraversano campi magnetici

- Campo Magnetico Terrestre
- Campo Magnetico Galattico
- Campo Magnetico Extra-Galattico

In generale, quando arrivano a Terra non puntano alla direzione della loro sorgente

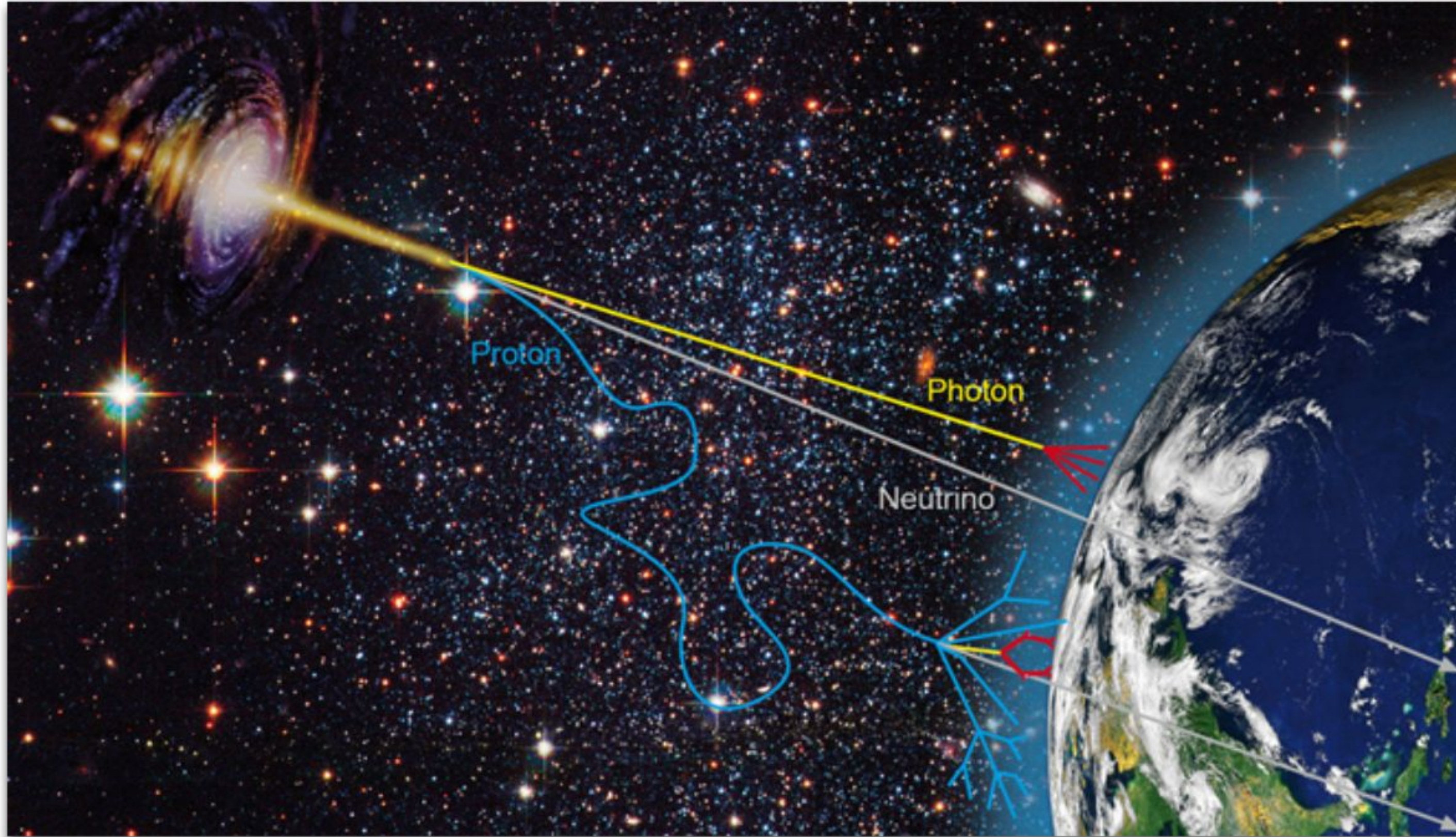
Acceleratori "natural" sino a 10^{20} eV
(i.e. 1000 volte l'energia raggiunta al CERN)

- Sorgenti galattiche ed extragalattiche
- Meccanismi di accelerazione
- Fenomeni di propagazione



GRAZIE PER L'ATTENZIONE!

COSA VOGLIAMO MISURARE ?



- Energia
- Direzione di arrivo
- Specie nucleare