

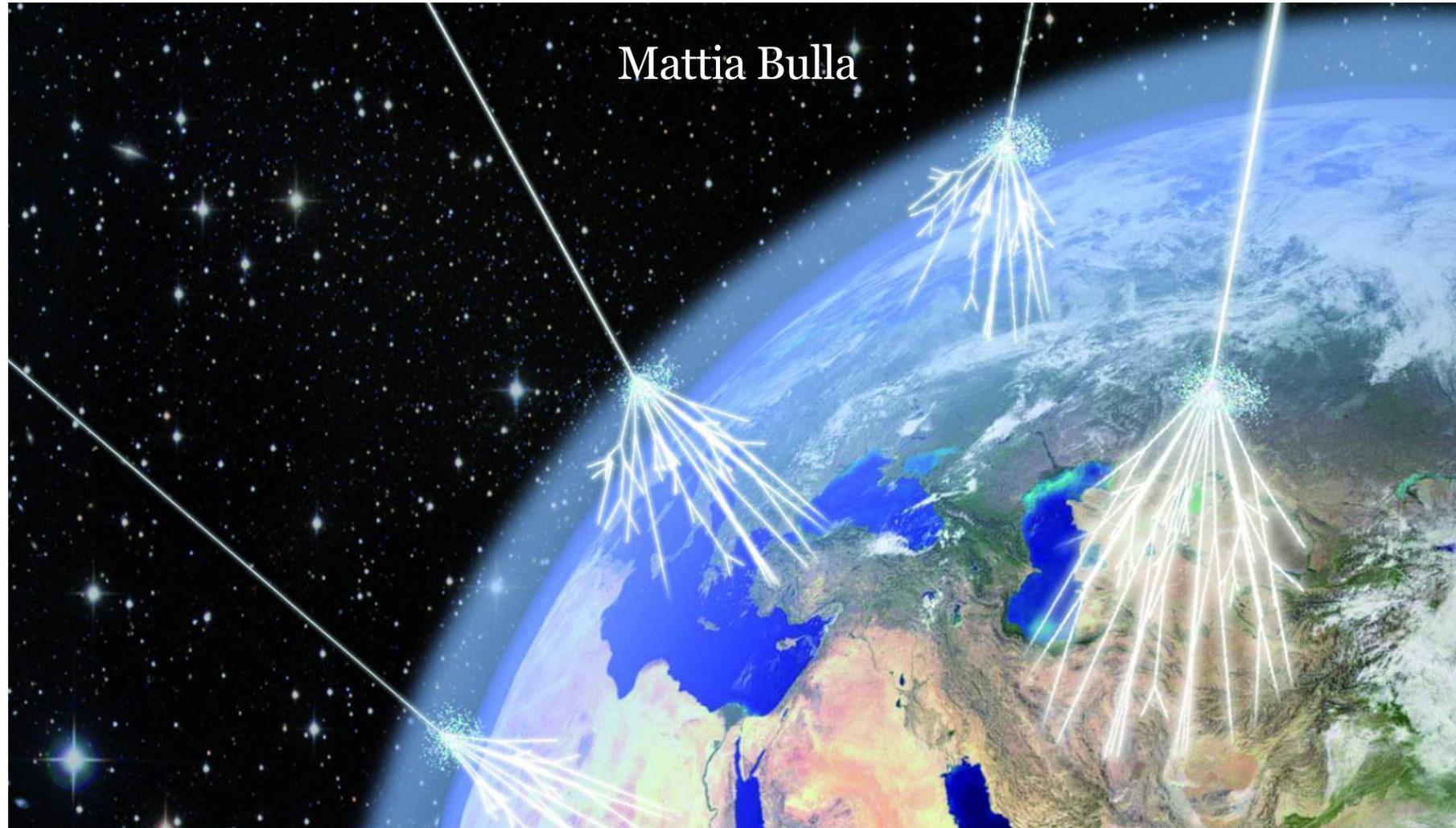


Università  
degli Studi  
di Ferrara

# INTERNATIONAL COSMIC DAY

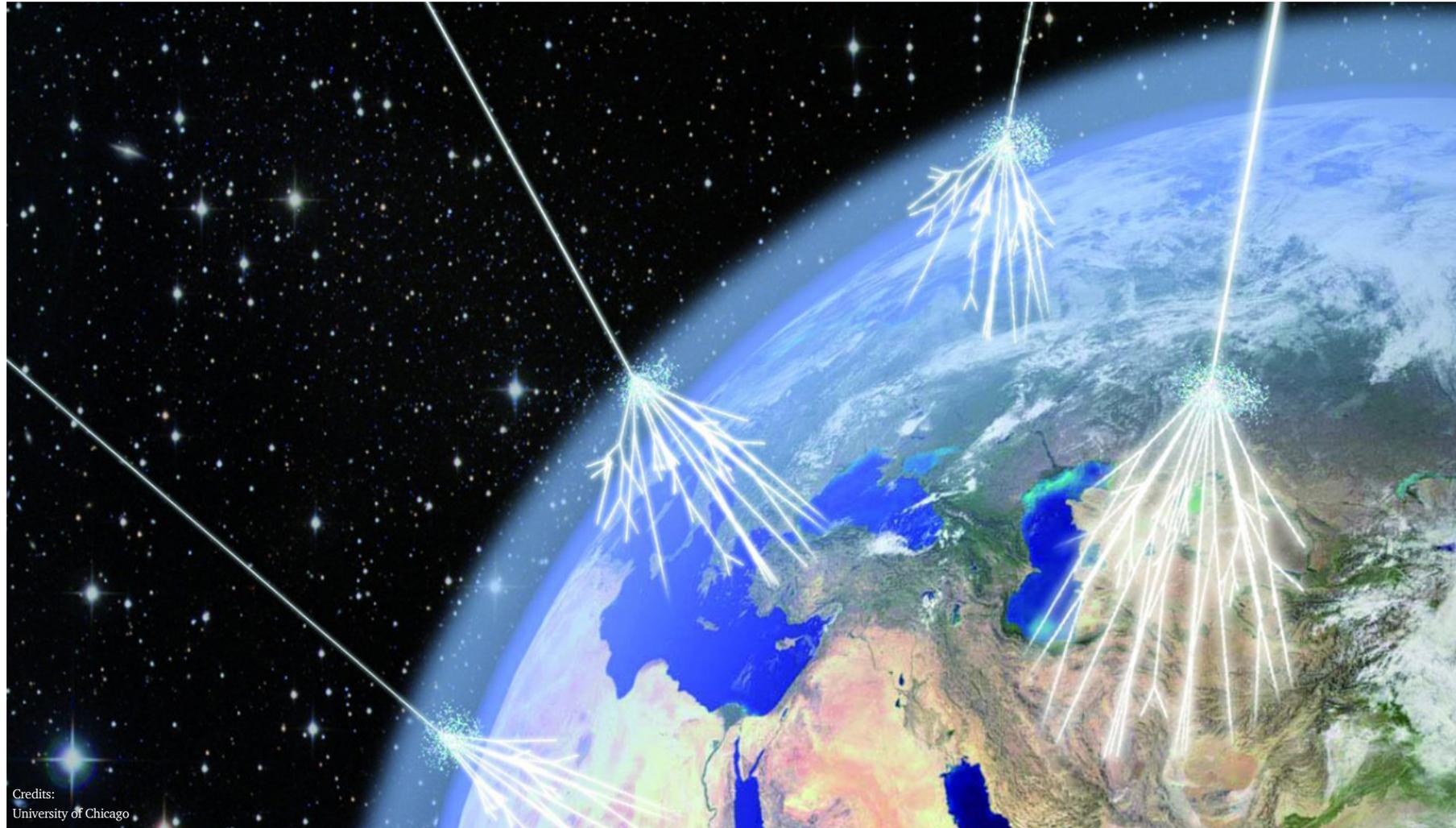


## Origine e scoperta dei raggi cosmici



# Raggi cosmici: cosa sono?

Particelle elementari provenienti dallo spazio che colpiscono l'atmosfera della Terra

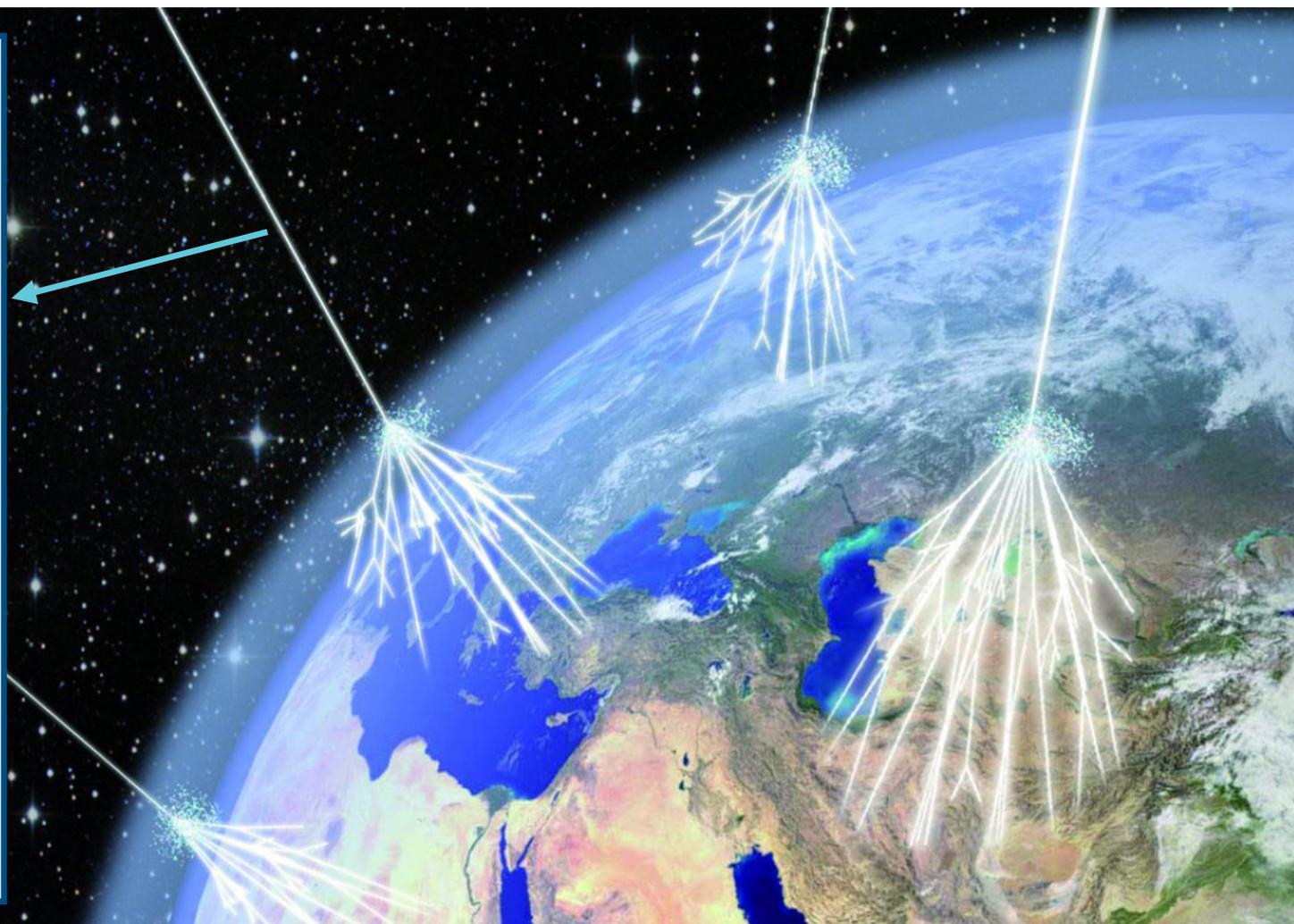


Credits:  
University of Chicago

Particelle elementari provenienti dallo spazio che colpiscono l'atmosfera della Terra

## Primari

- ~99% nuclei
  - ~89% protoni  $\oplus$
  - ~10% nuclei di He (particelle  $\alpha$ )  $\oplus\oplus$
  - ~1% nuclei pesanti (C, O, Fe, Be, B)  $\oplus\oplus\oplus\oplus$
- 1% elettroni  $\ominus$
- Piccole frazioni di antimateria ( $e^+$ ,  $\bar{p}$ )



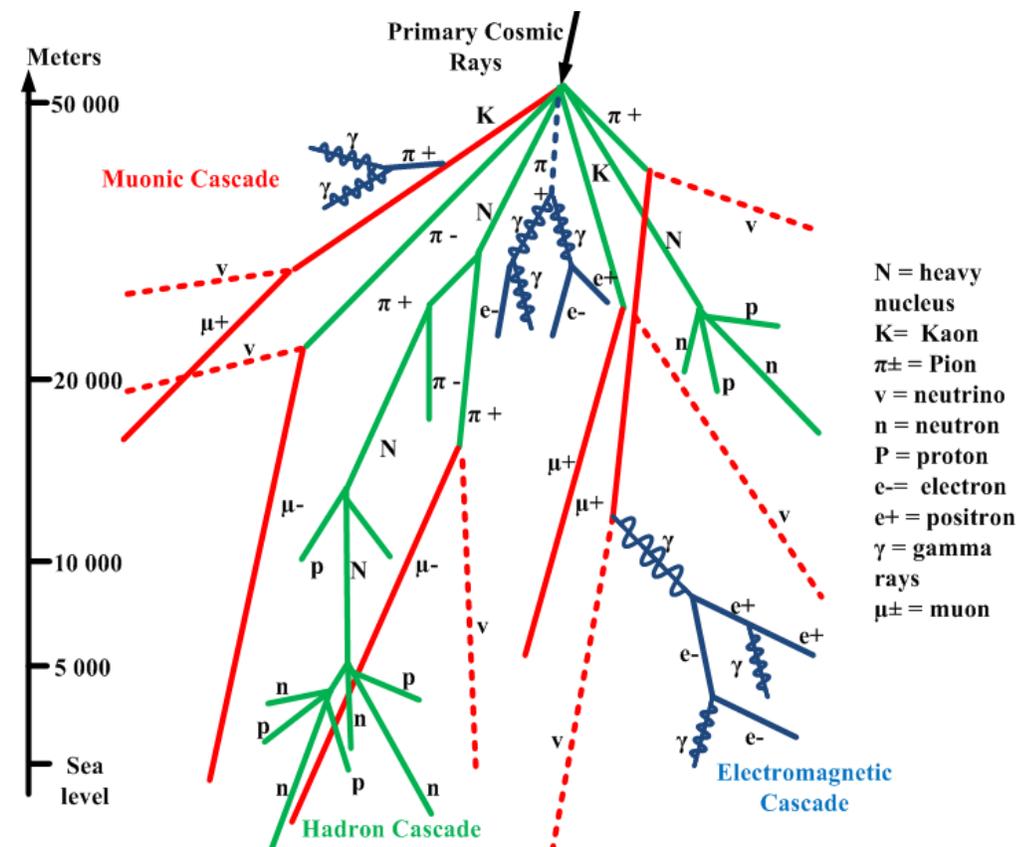
Particelle elementari provenienti dallo spazio che colpiscono l'atmosfera della Terra

## Primari

- ~99% nuclei
  - ~89% protoni  $\oplus$
  - ~10% nuclei di He (particelle  $\alpha$ )  $\oplus\oplus$
  - ~1% nuclei pesanti (C, O, Fe, Be, B)  $\oplus\oplus\oplus\oplus$
- 1% elettroni  $\ominus$
- Piccole frazioni di antimateria ( $e^+$ ,  $\bar{p}$ )



## Secondari



Particelle **cariche** le cui traiettorie vengono deviate dai **campi magnetici**

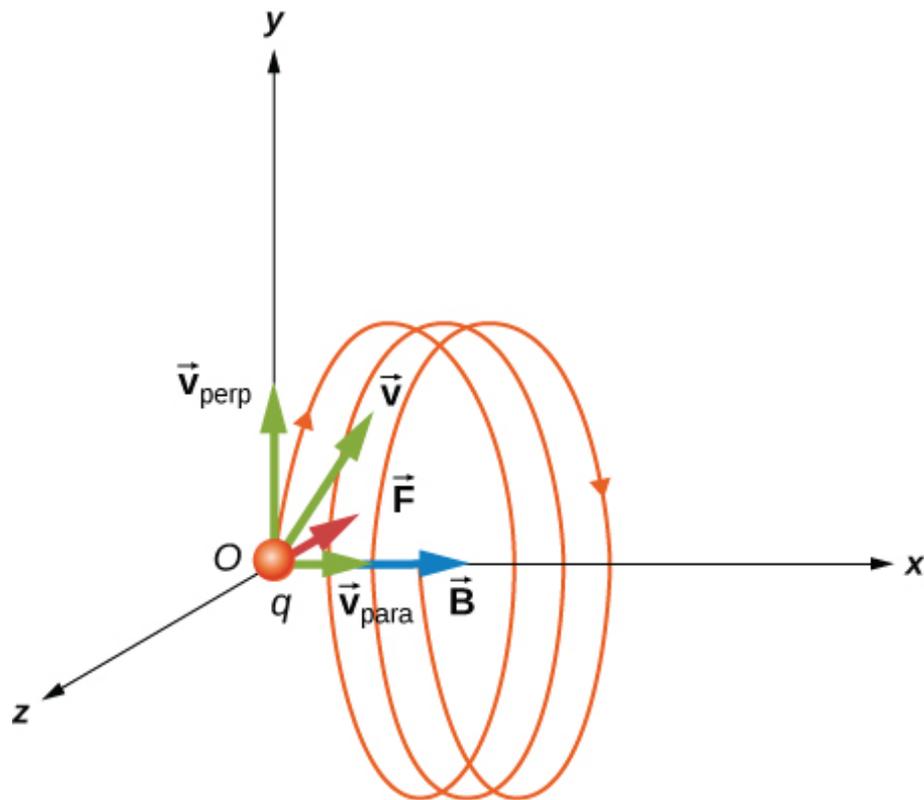
Forza subita dalla particella

Carica della particella

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

Velocità della particella

Intensità del campo magnetico



Componente parallela  $\vec{v}_{\text{para}}$  responsabile del moto rettilineo lungo le linee di campo magnetico

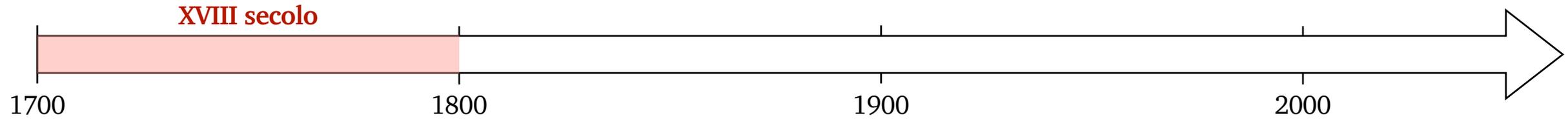
+

Componente perpendicolare  $\vec{v}_{\text{perp}}$  responsabile del moto circolare attorno alle linee di campo magnetico

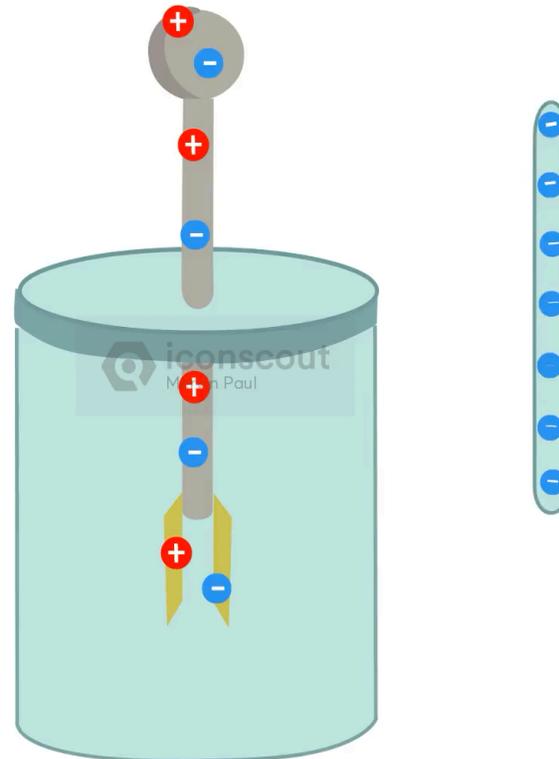
=

**Moto elicoidale** intorno alle linee di campo magnetico

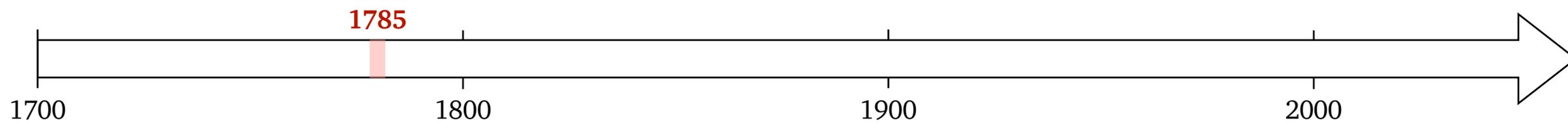
# Raggi cosmici: un po' di storia



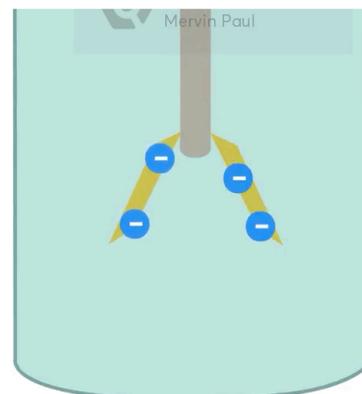
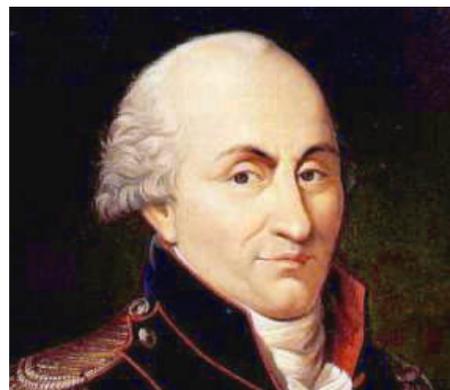
Primi studi di fenomeni elettrostatici



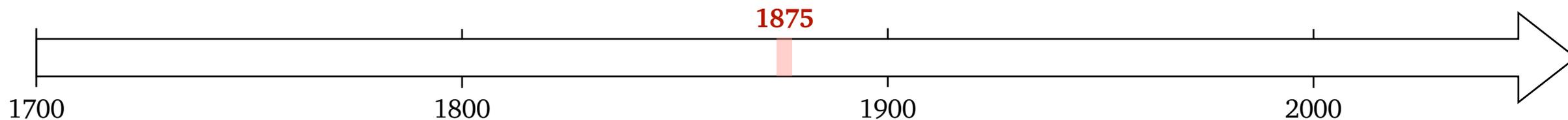
# Raggi cosmici: un po' di storia



**Charles Augustine de Coulomb:** elettroscopio si scarica anche se perfettamente isolato



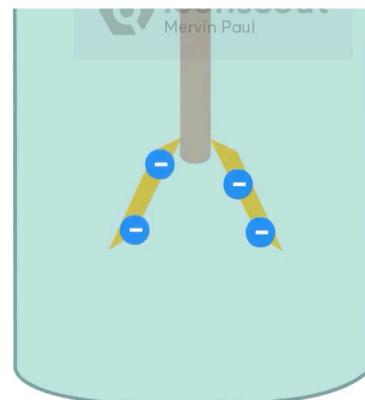
# Raggi cosmici: un po' di storia



**William Crookes:** la velocità di scarica diminuisce riducendo la pressione dell'aria nell'elettroscopio

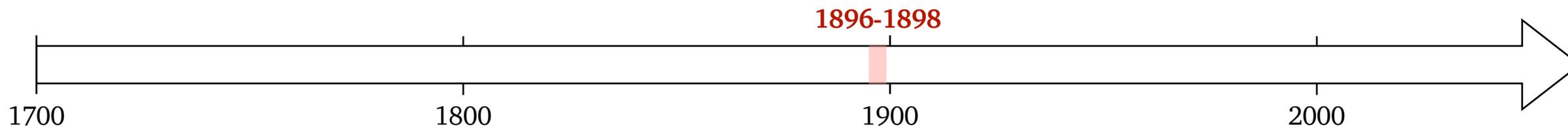


Esiste una radiazione che **ionizza l'aria** all'interno dell'elettroscopio e ne neutralizza la carica

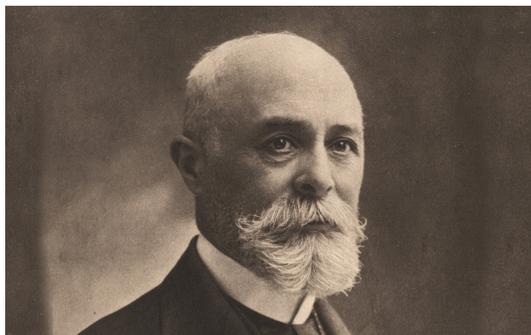
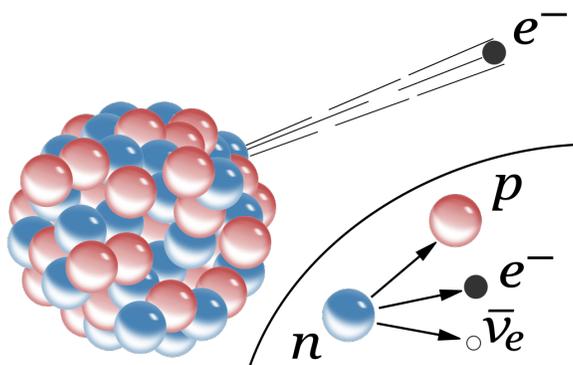


Di che natura è questa radiazione ionizzante?

- Terrestre?
- Extra-terrestre?



Antoine H. Becquerel (1896) and Marie & Pierre Curie (1898): scoperta della radioattività

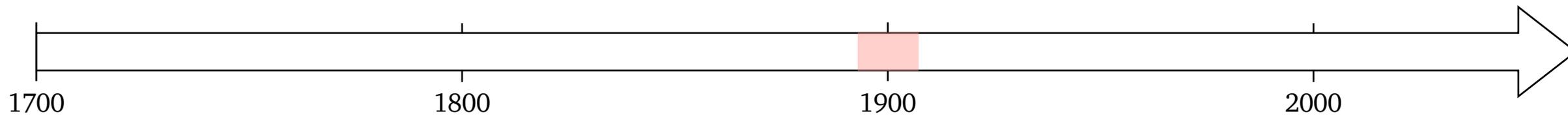


Decadimenti radioattivi di  
elementi nel suolo responsabili  
della ionizzazione dell'aria?

Di che natura è questa  
radiazione ionizzante?

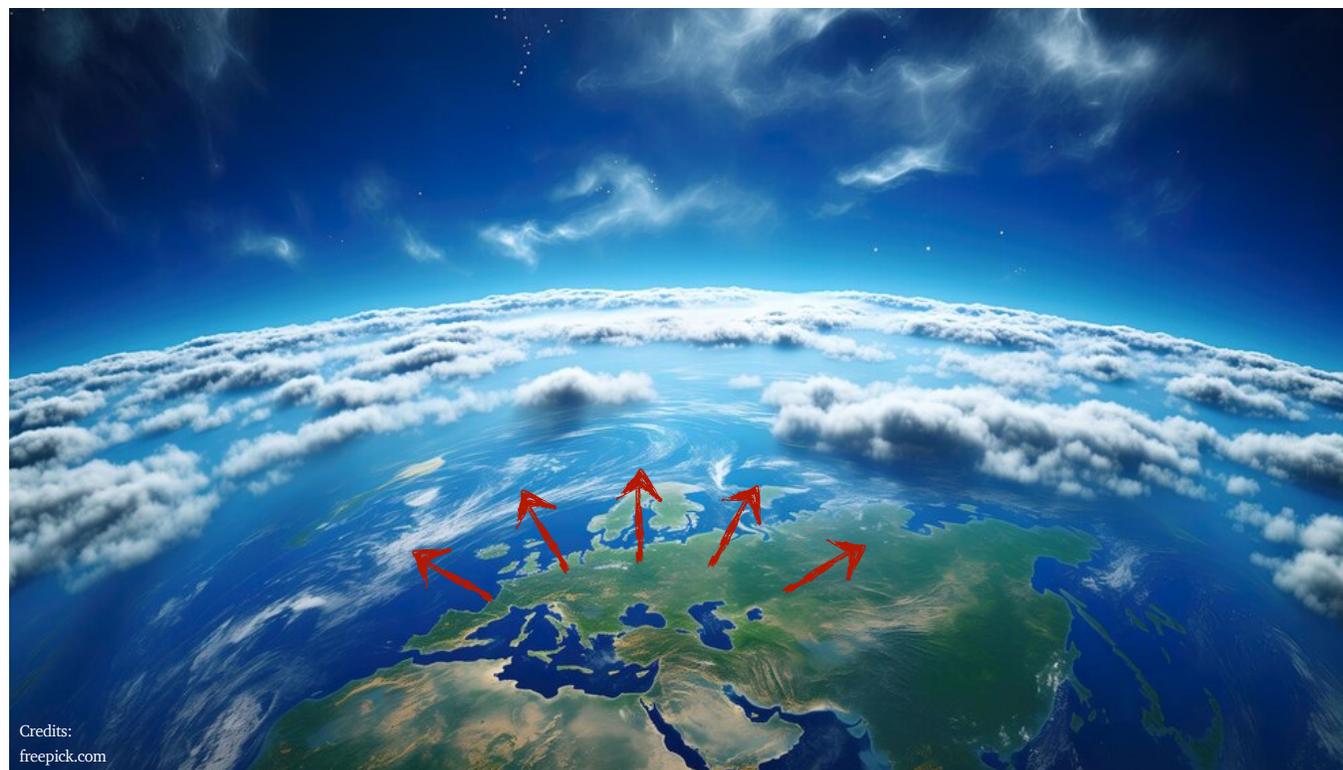
- **Terrestre?** ←
- Extra-terrestre?

# Raggi cosmici: un po' di storia

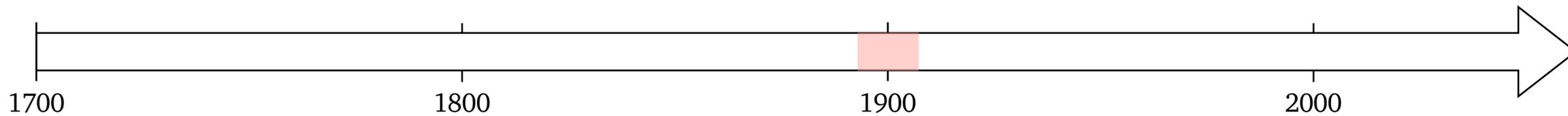


Un “semplice” test?

**Origine terrestre:** ionizzazione [aumenta/diminuisce?] allontanandosi dalla superficie



# Raggi cosmici: un po' di storia

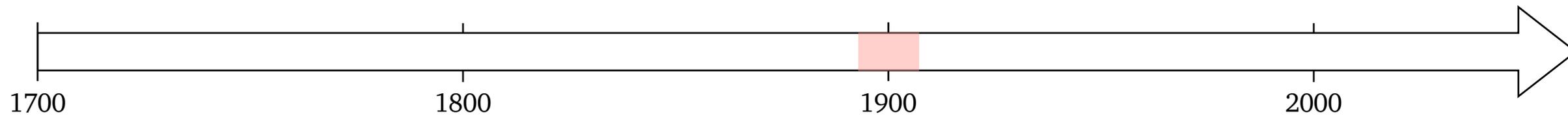


Un “semplice” test?

**Origine terrestre:** ionizzazione ~~[aumenta/~~**diminuisce?**] allontanandosi dalla superficie



# Raggi cosmici: un po' di storia

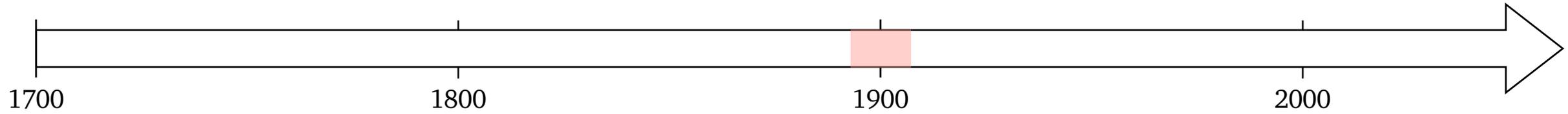


Un “semplice” test?

**Origine extra-terrestre:** ionizzazione [aumenta/diminuisce?] allontanandosi dalla superficie



# Raggi cosmici: un po' di storia

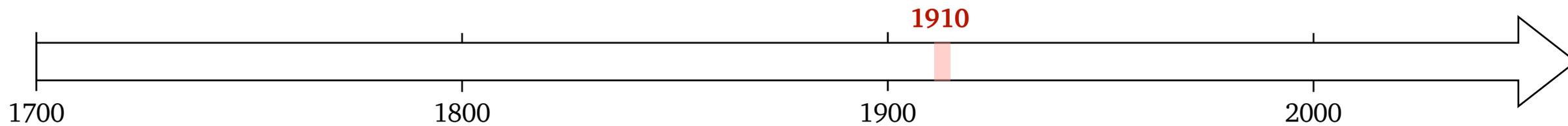


Un “semplice” test?

**Origine extra-terrestre:** ionizzazione [aumenta/diminuisce?] allontanandosi dalla superficie



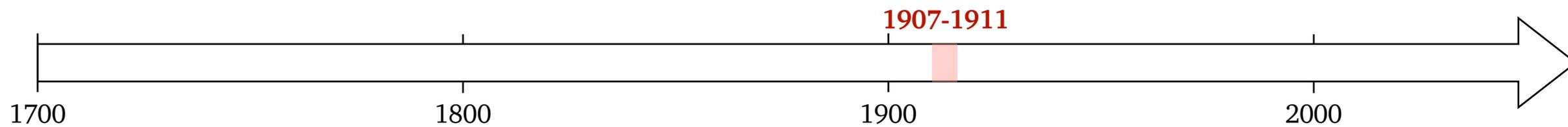
# Raggi cosmici: un po' di storia



**Theodor Wulf:** esperimenti sulla Torre Eiffel ( $\sim 300$  m) inconclusivi

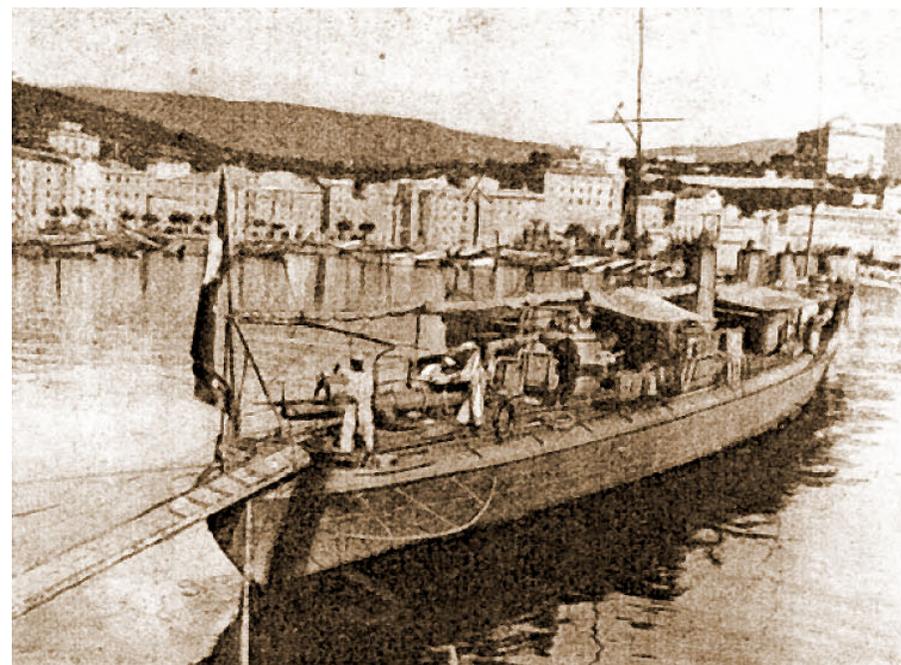


# Raggi cosmici: un po' di storia

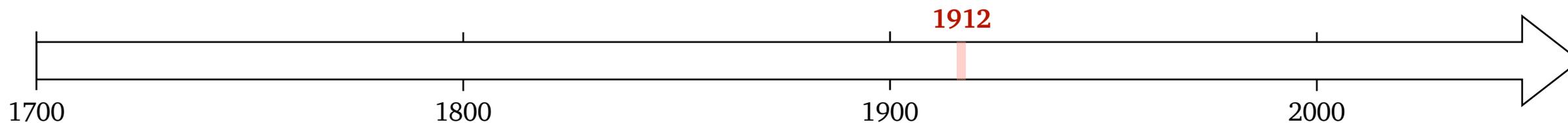


**Domenico Pacini:** ionizzazione **diminuiva** (3 metri) al di sotto del mare

Radiazioni ionizzanti **non** potevano venire dalla superficie terrestre



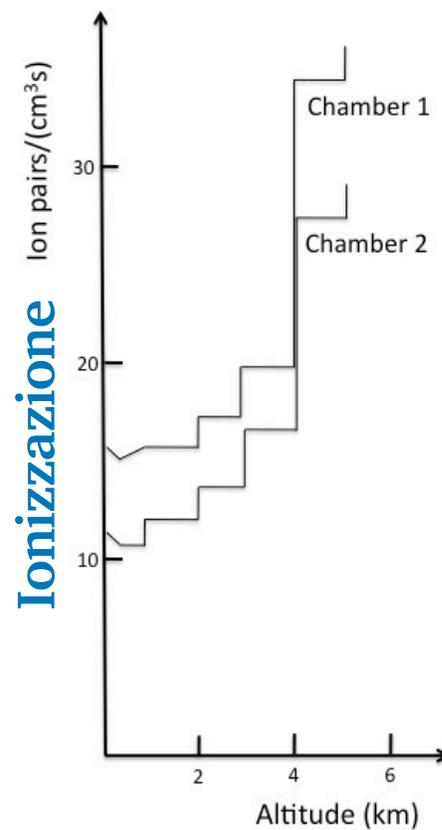
# Raggi cosmici: un po' di storia



**Viktor Franz Hess:** volo da Aussig (Rep. Ceca) a Berlino raggiungendo ~5000 m di altezza



Premio  
Nobel 1936

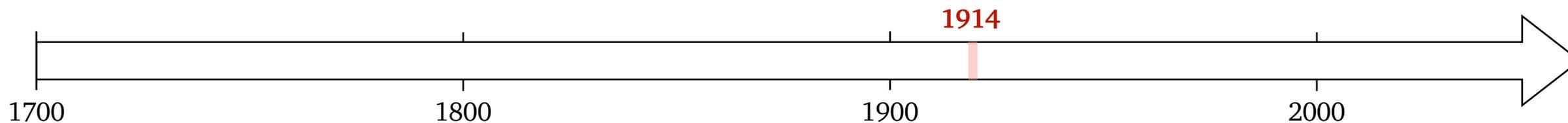


Le radiazioni ionizzanti  
**aumentavano** in maniera  
incontrovertibile  
allontanandosi dalla Terra

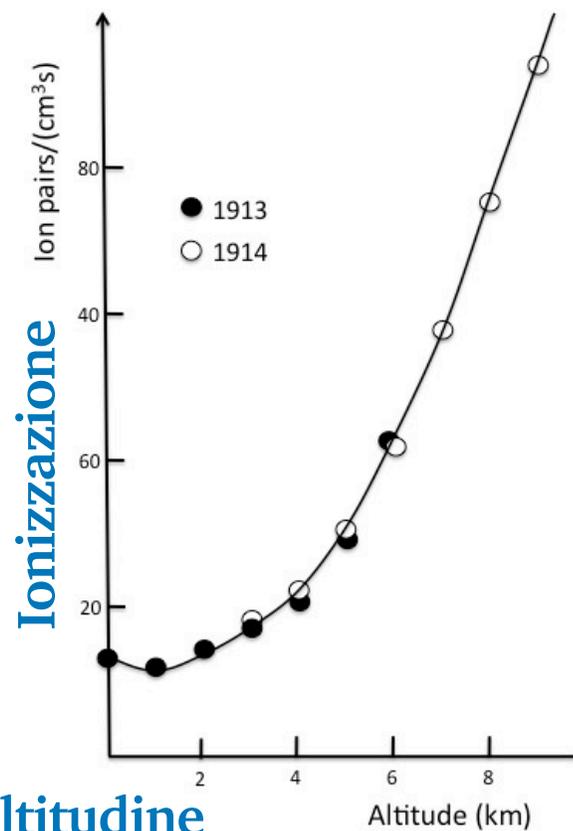
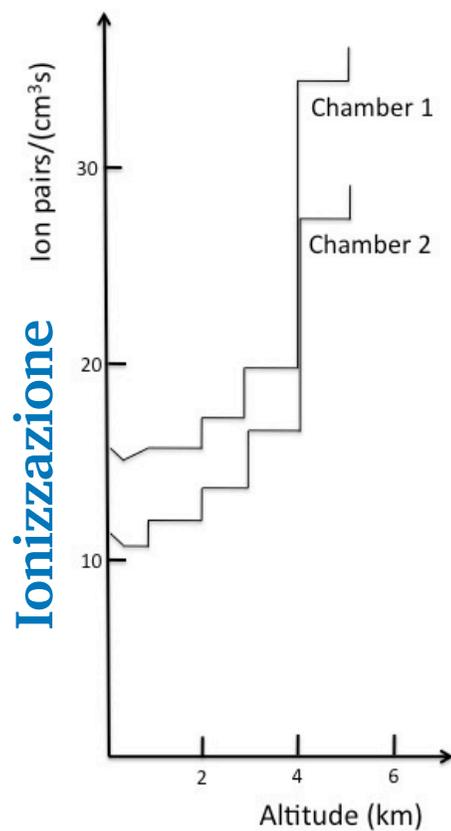
**Origine extra-terrestre**

Altitudine

# Raggi cosmici: un po' di storia

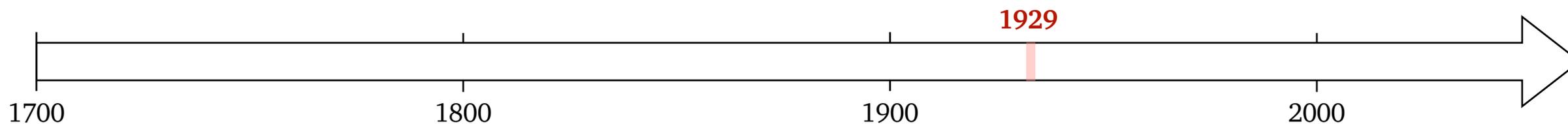


Werner Kolhörster: voli fino a ~9200 m

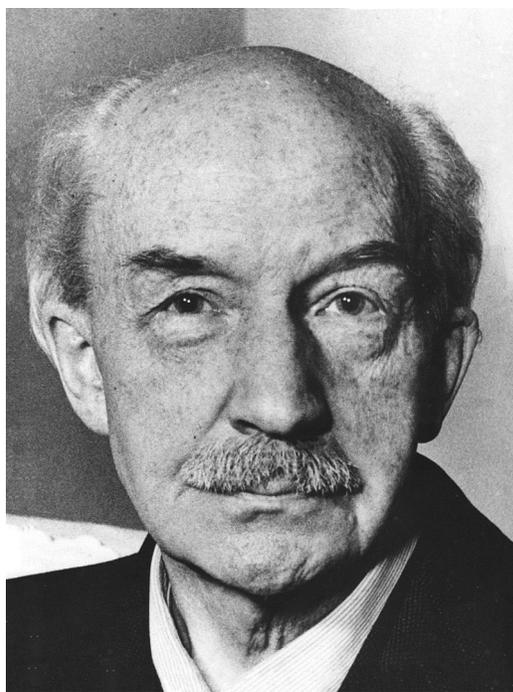


Le radiazioni ionizzanti  
**aumentavano** in maniera  
incontrovertibile  
allontanandosi dalla Terra

**Origine extra-terrestre**

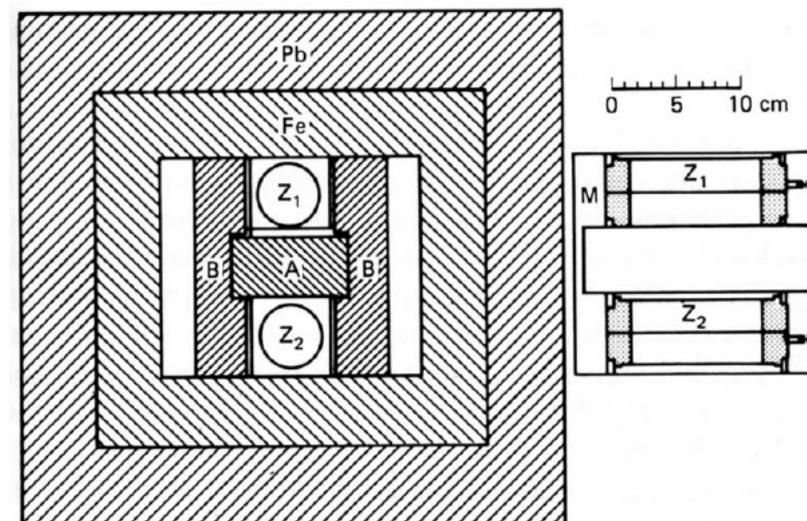


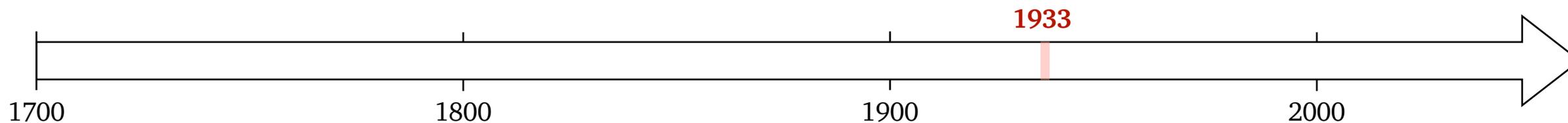
## Walter Bothe & Werner Kolhörster: natura corpuscolare dei raggi cosmici



## Contatore Geiger-Müller

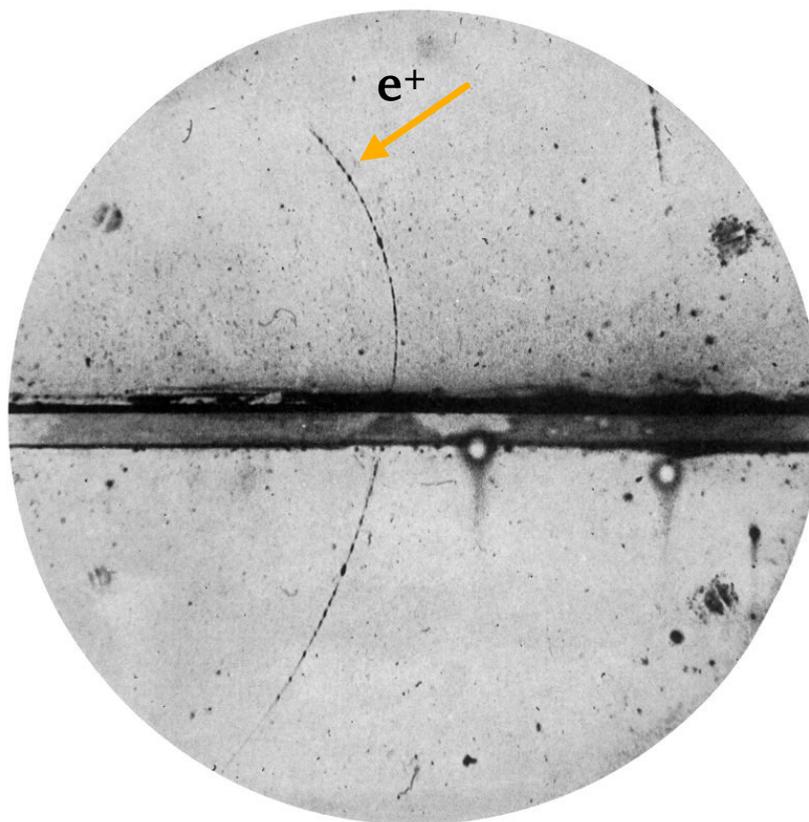
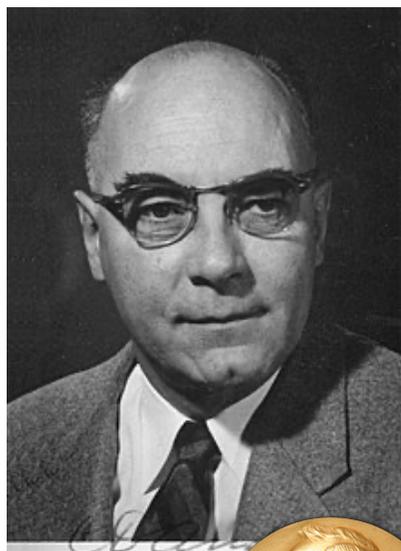
Strumento che permetteva di rilevare il passaggio di particelle singole



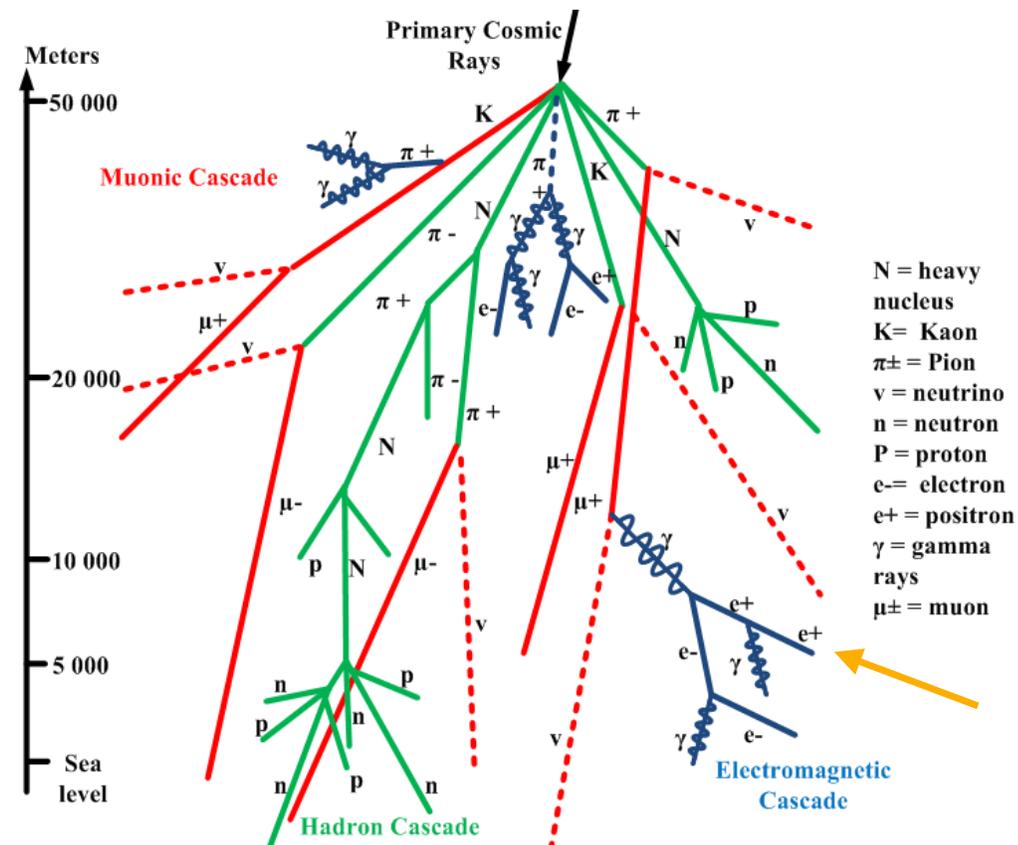


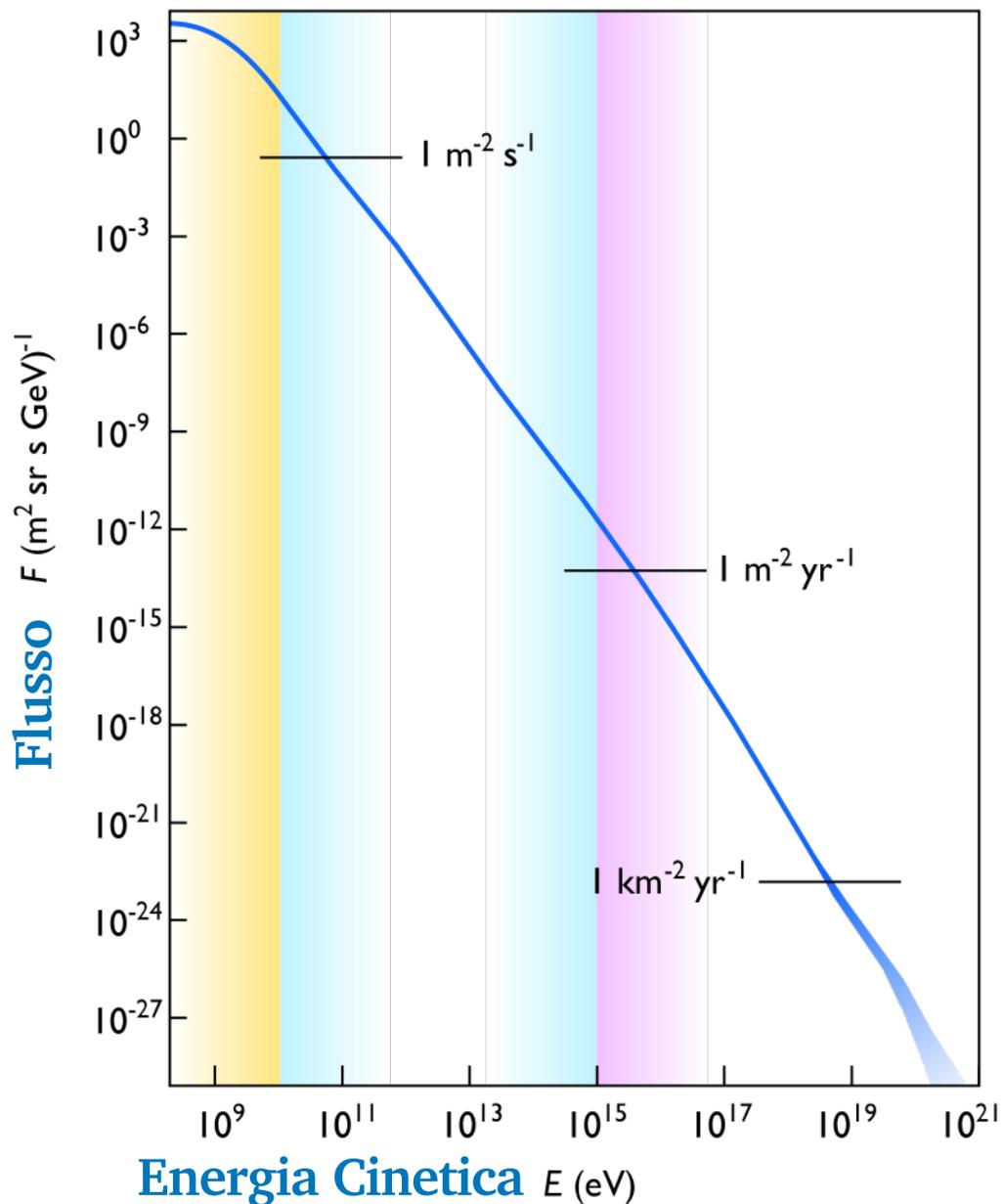
## Carl David Anderson: la scoperta dell'anti-elettrone (o positrone)

[Confermata un anno più tardi da Blackett e Occhialini]



Premio  
Nobel 1936





## Distribuzione di Energia

1 eV = energia cinetica guadagnata da un elettrone che si muove nel vuoto tra due punti con differenza di potenziale elettrostatico di 1 Volt

$$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J} \quad 1 \text{ J} = \frac{1}{1.602 \times 10^{-19}} \text{ eV} = 6.242 \times 10^{18} \text{ eV}$$



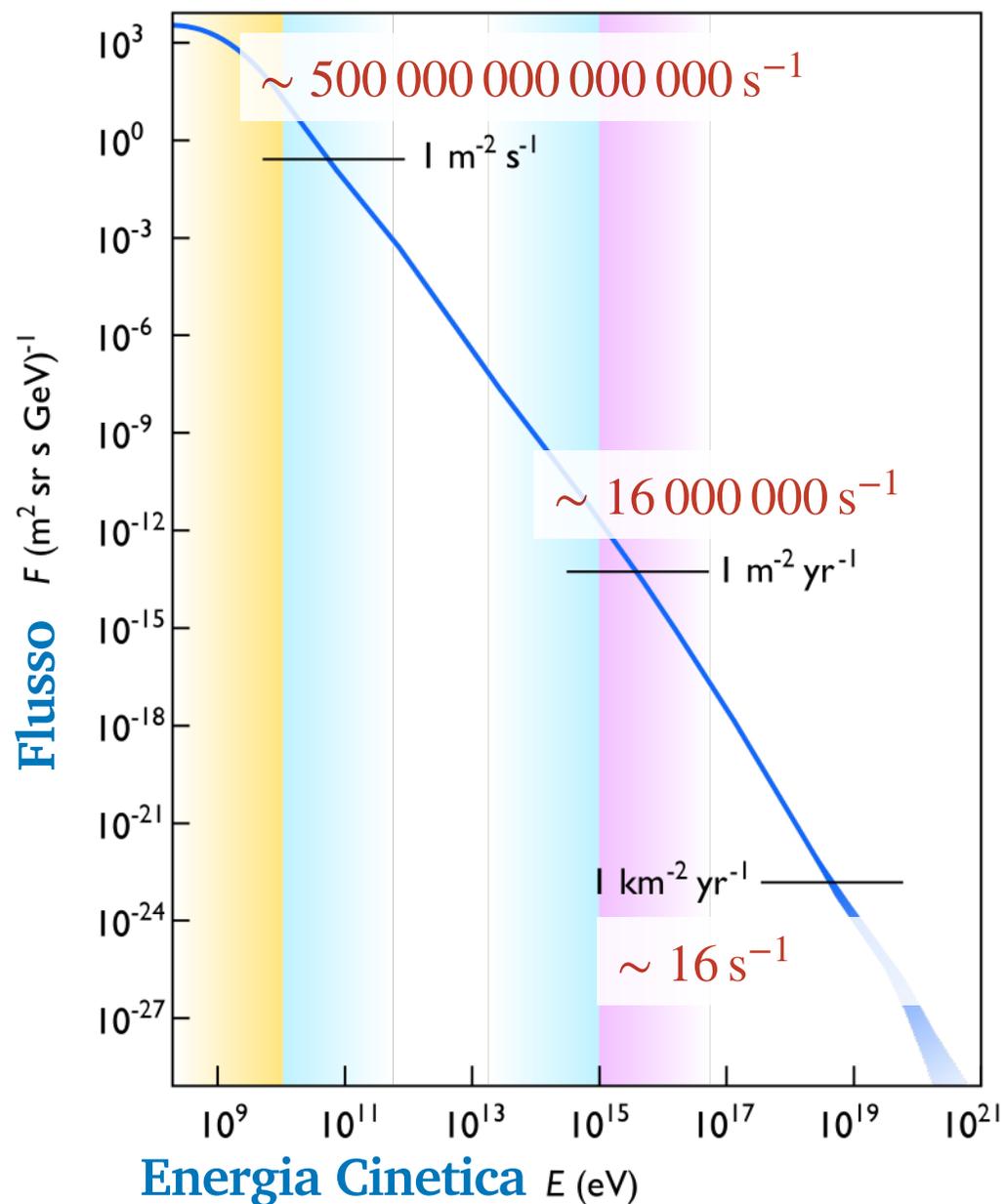
Energia cinetica di una pallina da tennis

$$E_{\text{cinetica}} = \frac{1}{2} M v^2$$

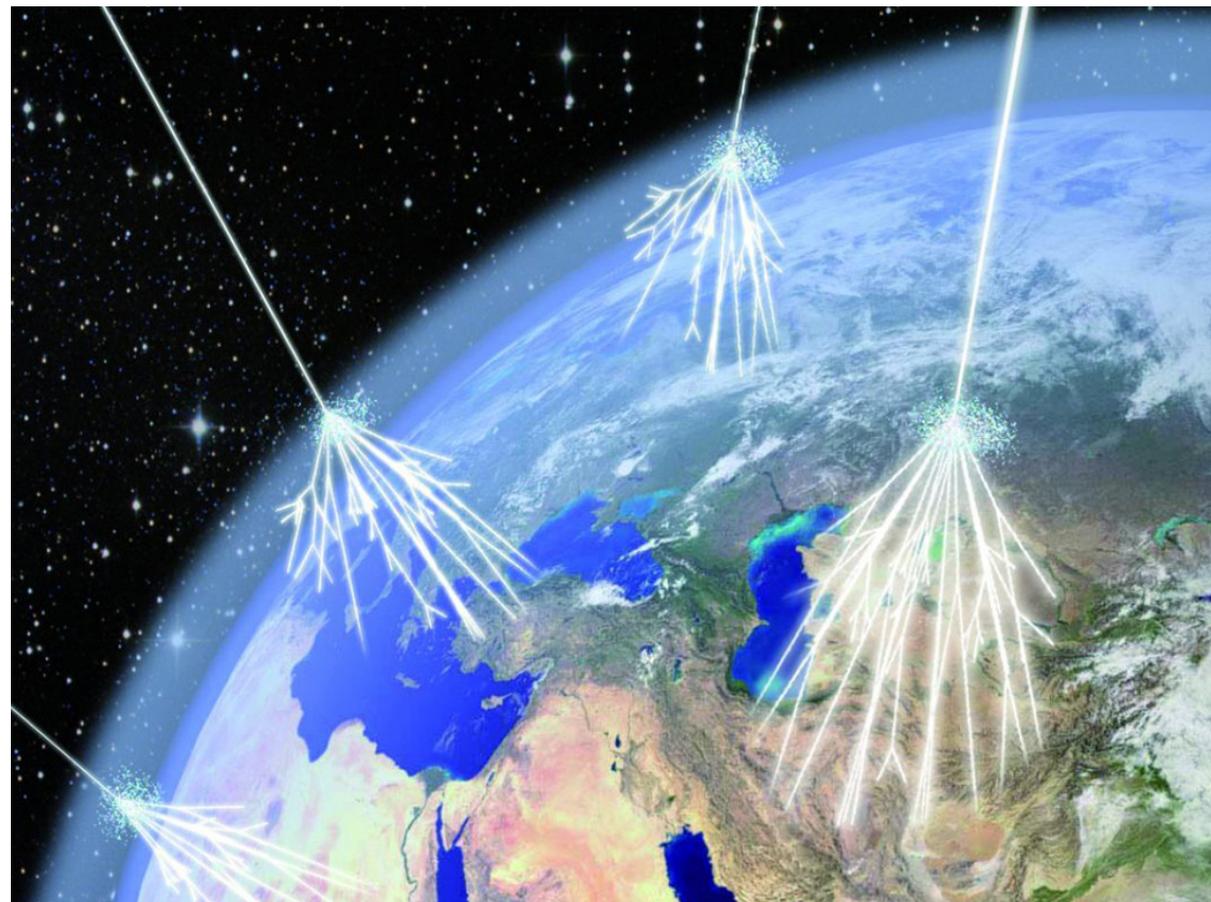
$$M = 60 \text{ g} \quad v = 220 \text{ km/h}$$

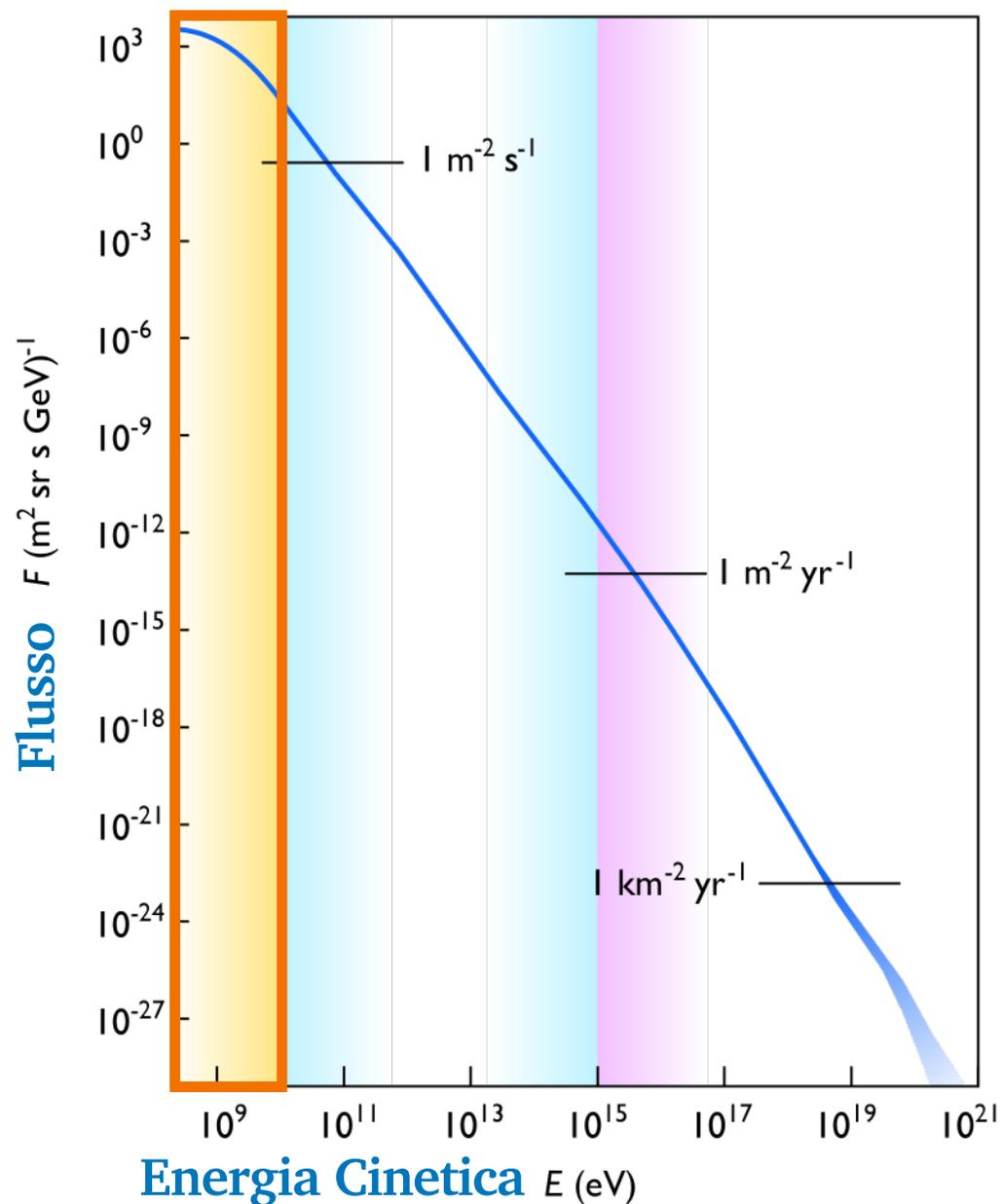
$$E_{\text{cinetica}} = \frac{1}{2} M v^2 = 112 \text{ J} = 7 \times 10^{20} \text{ eV}$$

# Raggi cosmici: proprietà

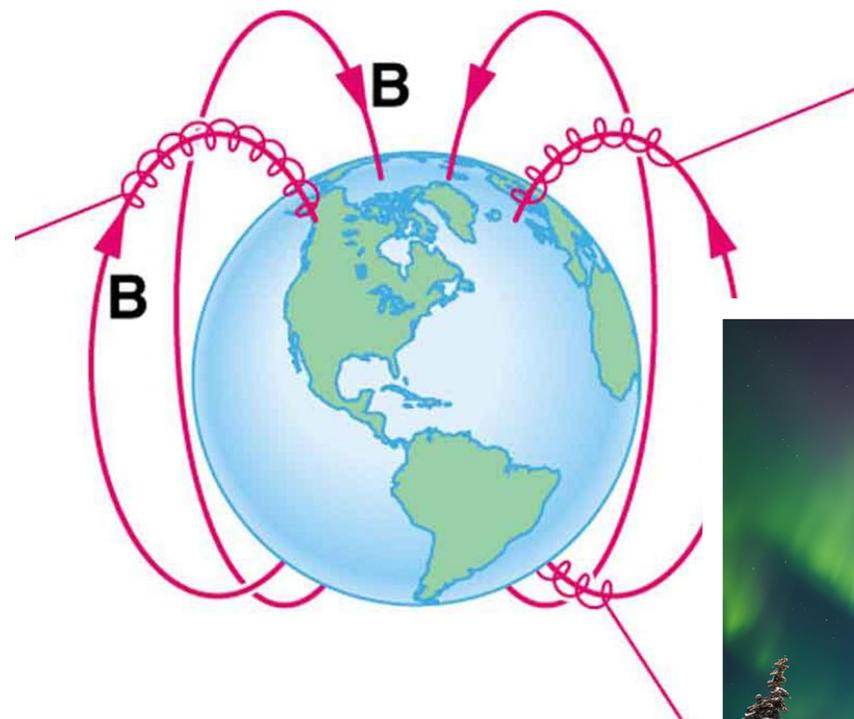


Quanti raggi cosmici colpiscono l'atmosfera terrestre ogni secondo?





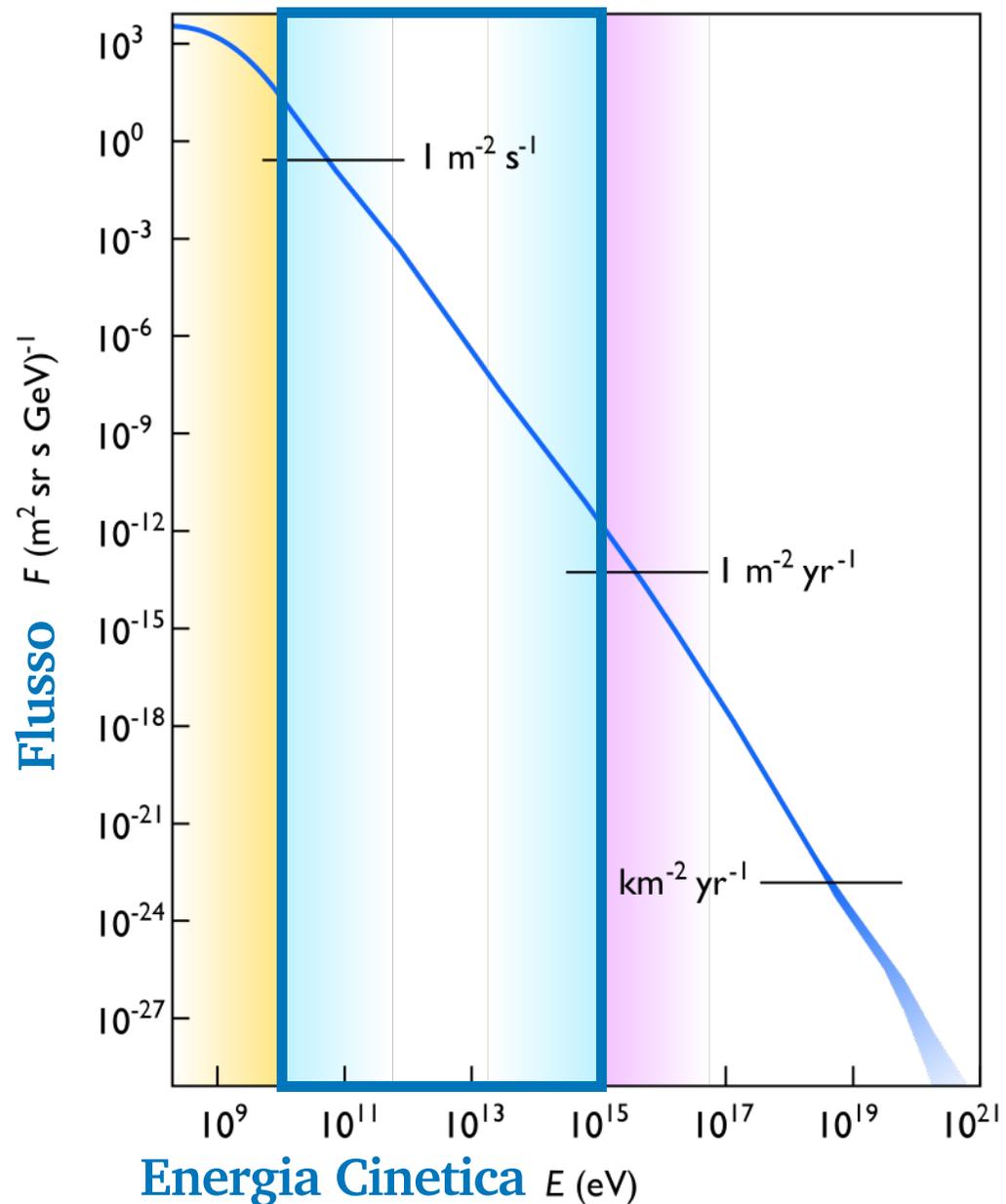
## Raggi cosmici solari



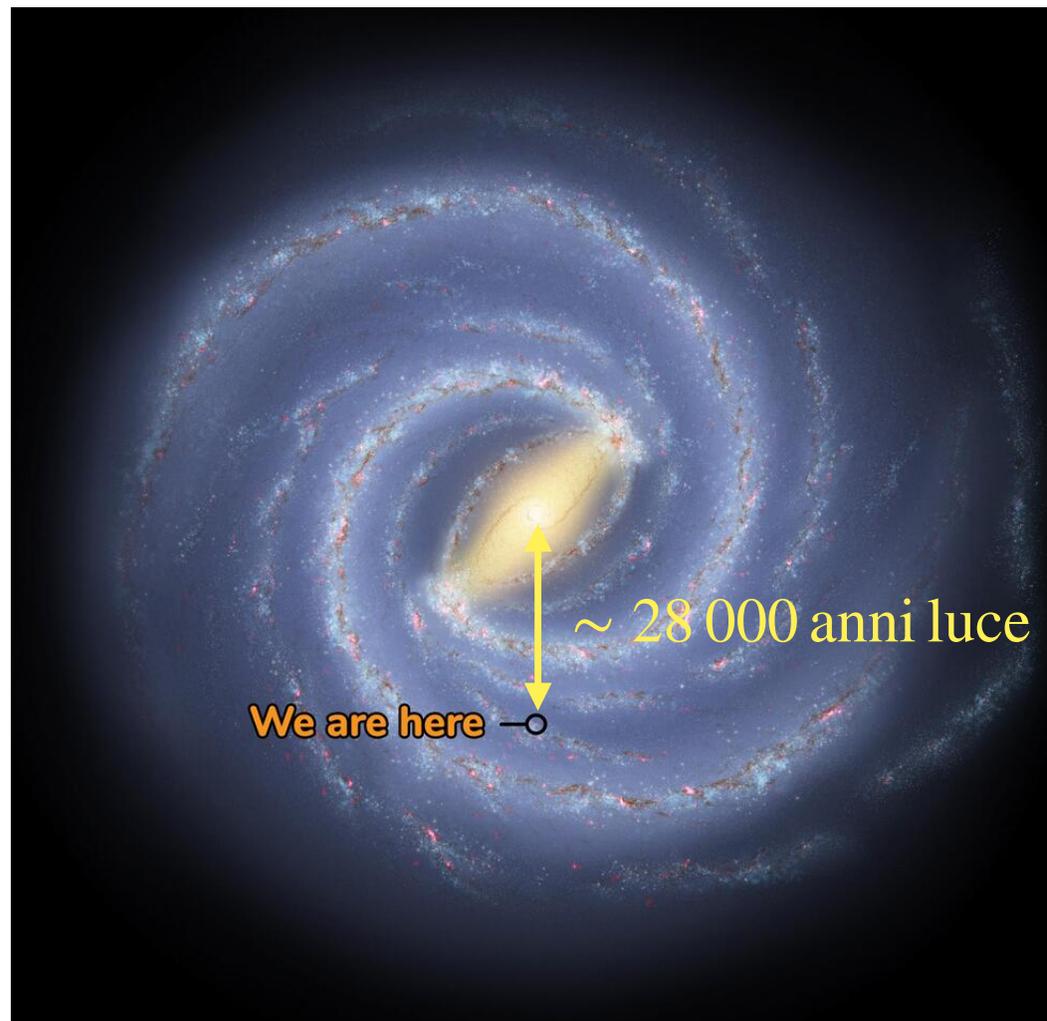
Particelle cariche  
(principalmente  
elettroni e protoni)  
provenienti dal Sole  
(‘vento solare’)

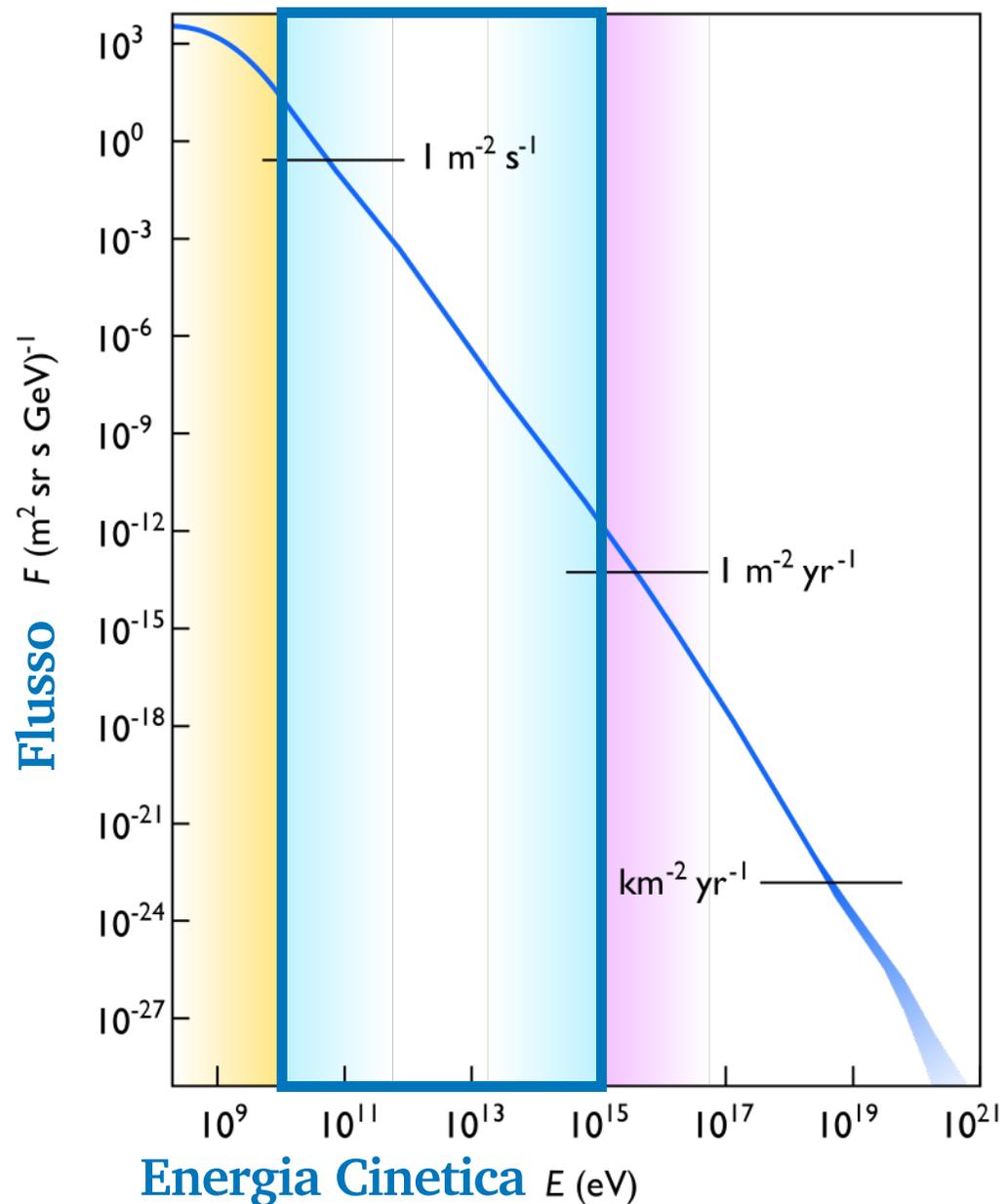
Eccitazione di molecole  
nell’atmosfera che,  
diseccitandosi, producono  
luce visibile: le **aurora!**





## Raggi cosmici Galattici



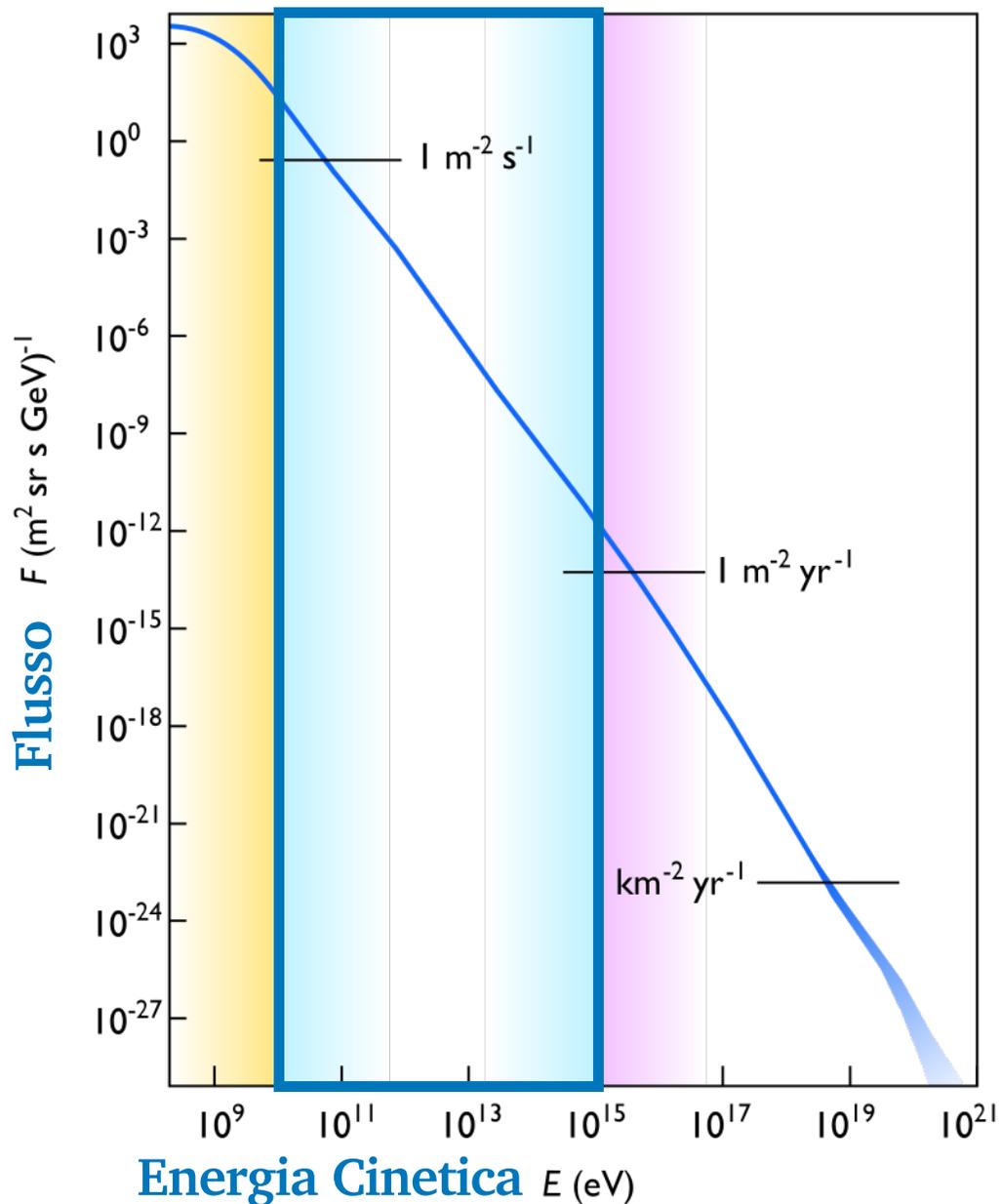


## Raggi cosmici Galattici

Come accelerare particelle ad alte energie? Esplosioni di **supernova!**



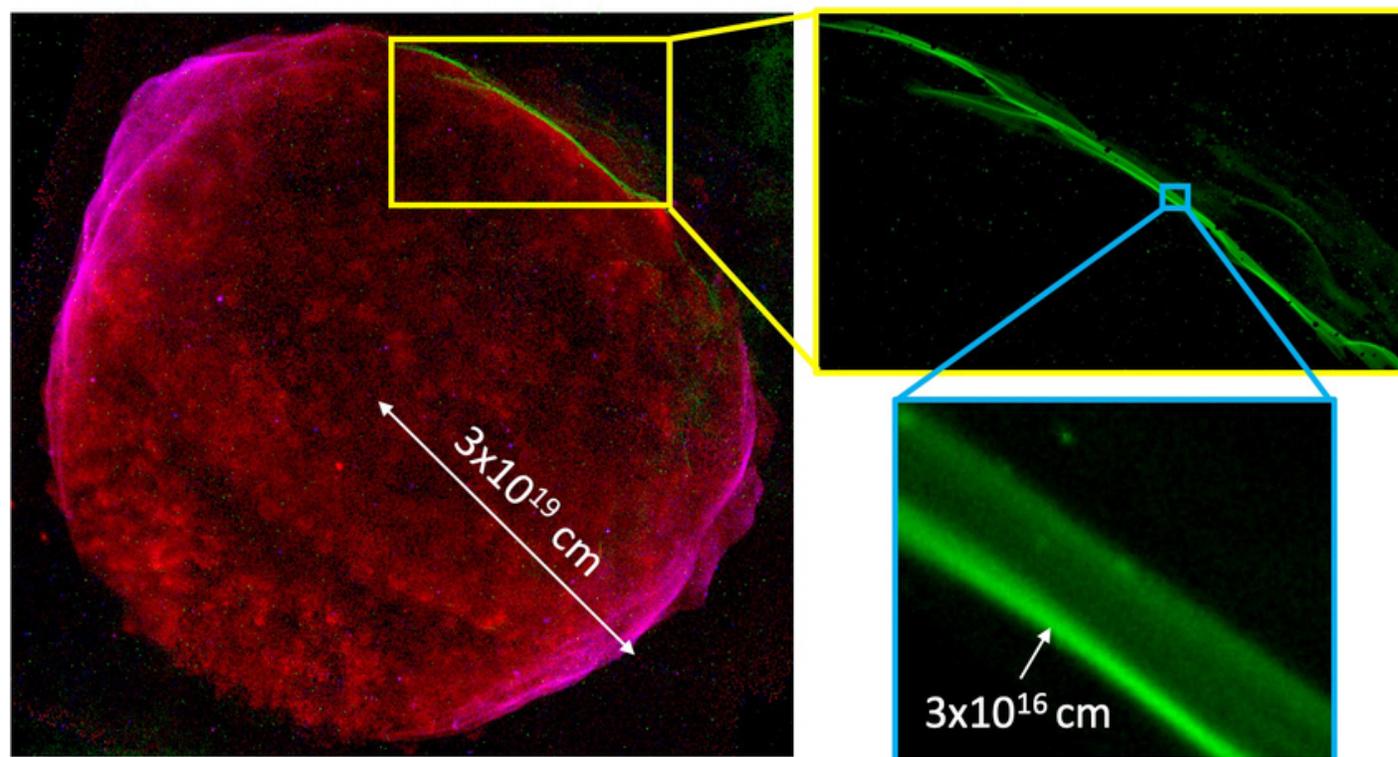
Credits: ESA/Hubble (M. Kornmesser & L. L. Christensen) / [Link a video](#)

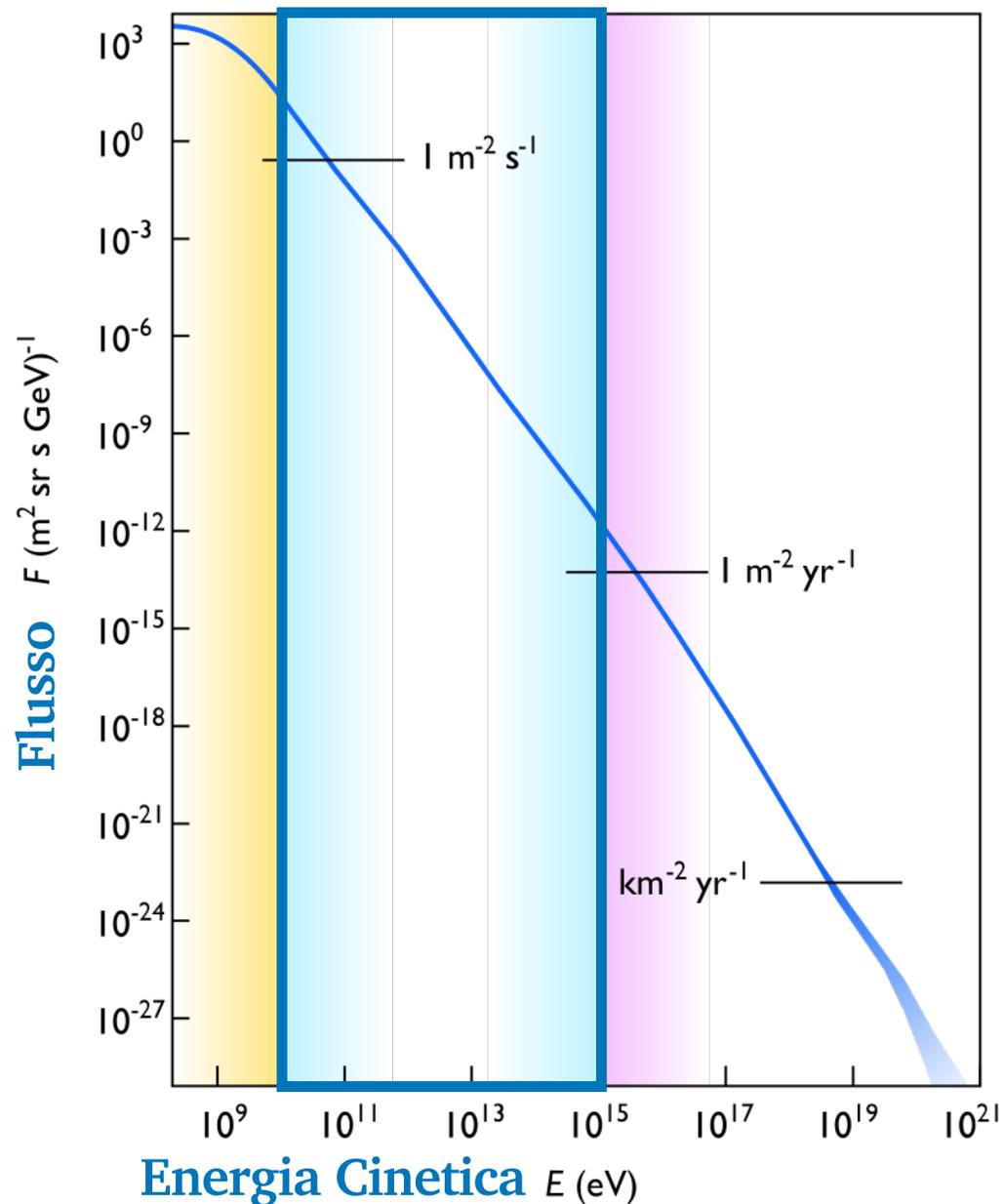


## Raggi cosmici Galattici

Come accelerare particelle ad alte energie? Esplosioni di **supernova!**

Il materiale espulso durante l'esplosione crea un onda d'urto che accelera le particelle tramite un meccanismo detto 'di Fermi del prim'ordine'

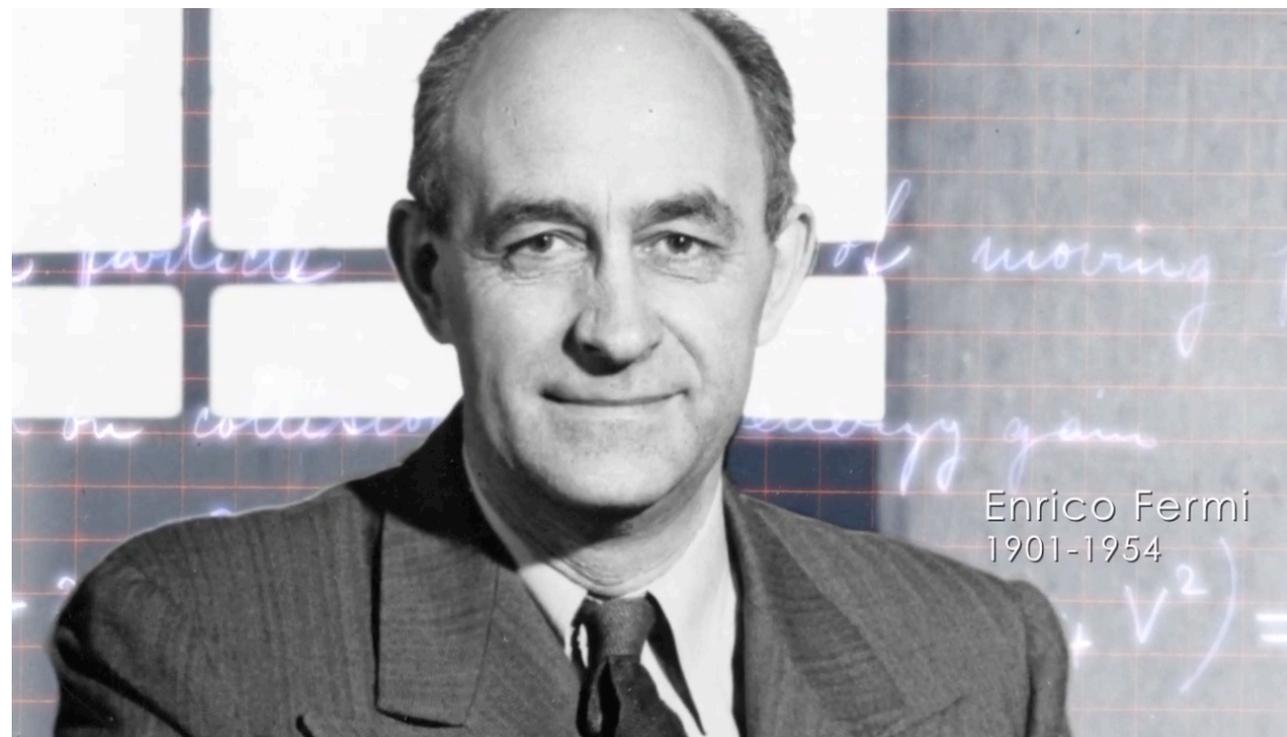


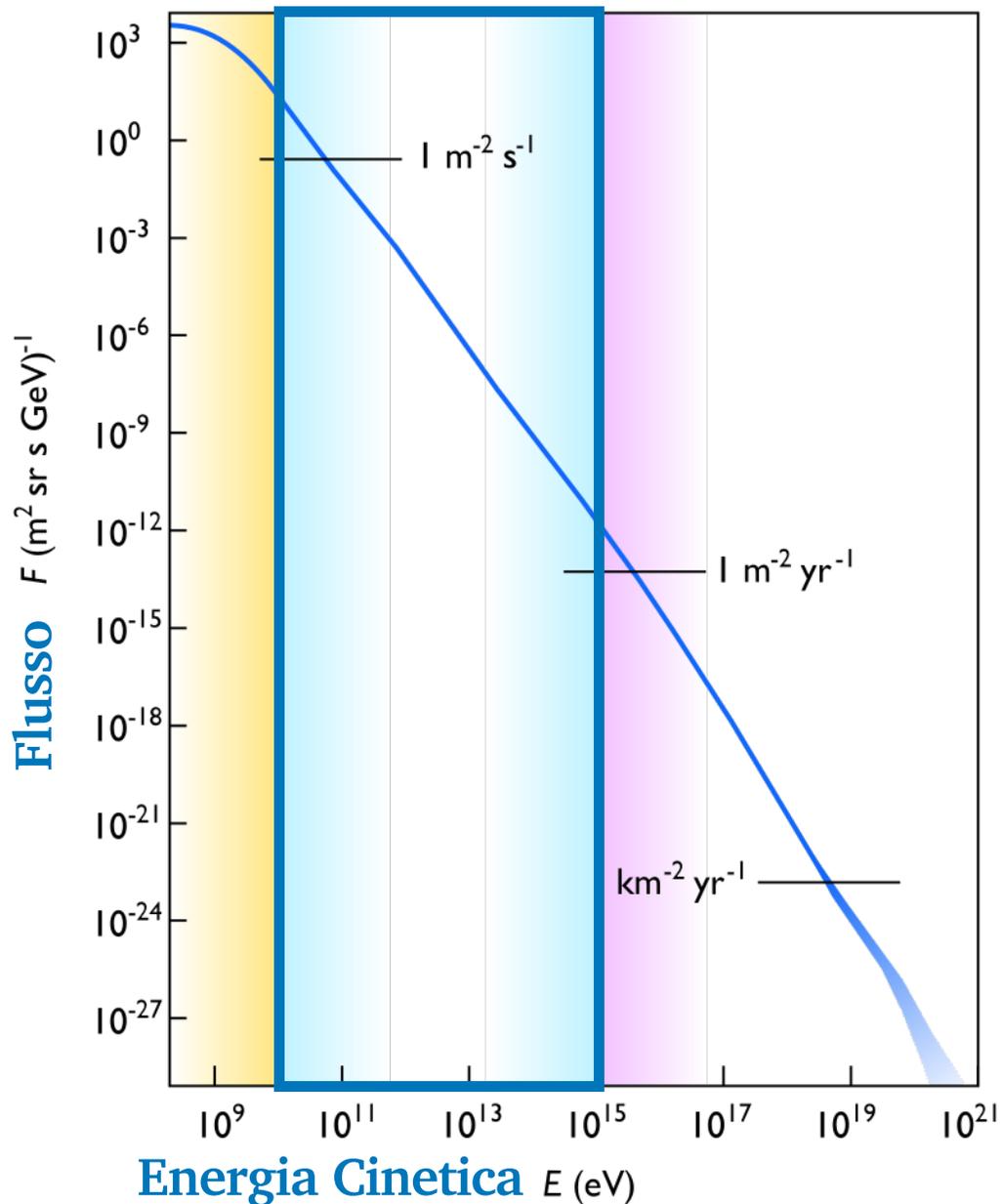


## Raggi cosmici Galattici

Come accelerare particelle ad alte energie? Esplosioni di **supernova!**

Il materiale espulso durante l'esplosione crea un onda d'urto che accelera le particelle tramite un meccanismo detto 'di Fermi del prim'ordine'

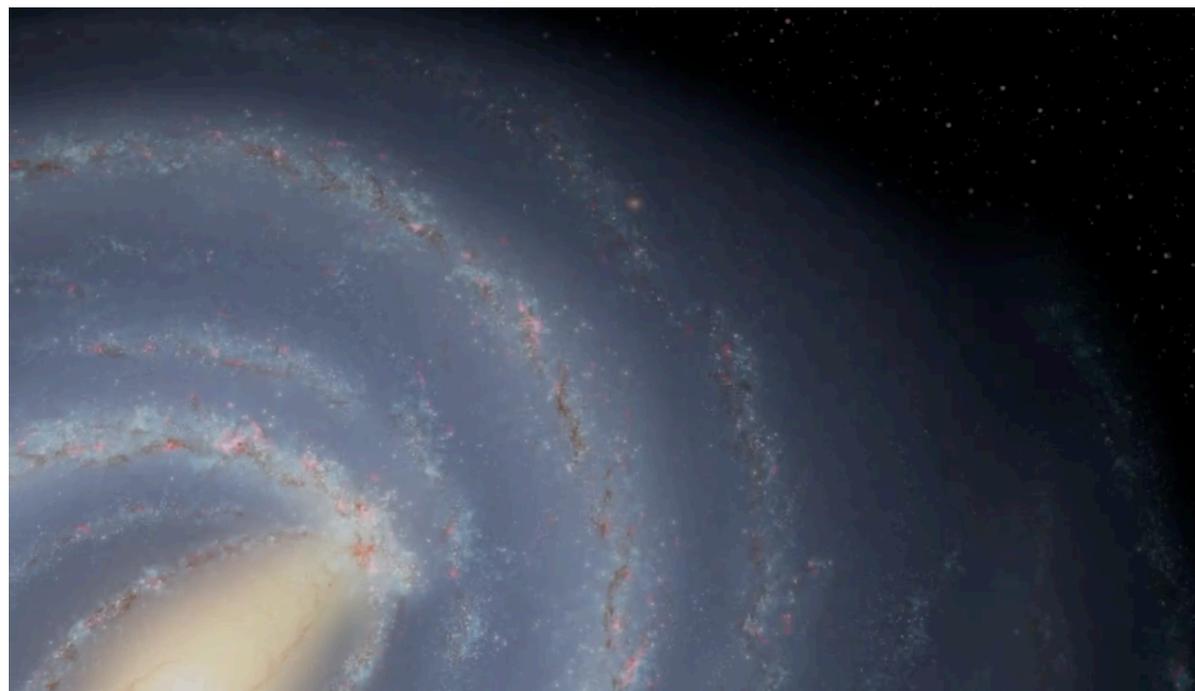


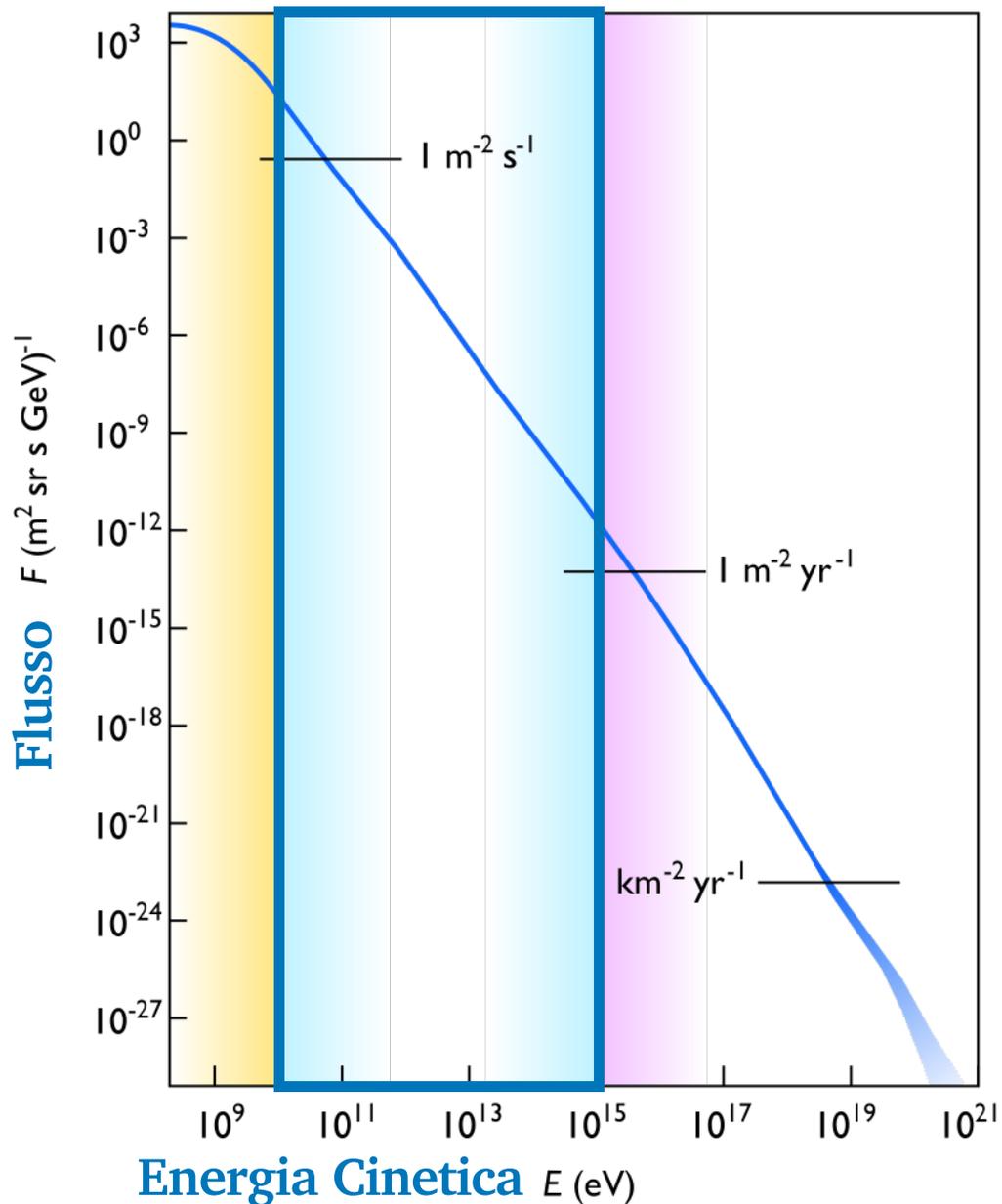


## Raggi cosmici Galattici

Come rintracciare la sorgente di raggi cosmici?

I raggi cosmici prodotti dall'esplosione di supernova interagiscono con il campo magnetico Galattico, ma particelle neutre (ad esempio **fotoni**) create dai raggi cosmici arrivano direttamente a Terra

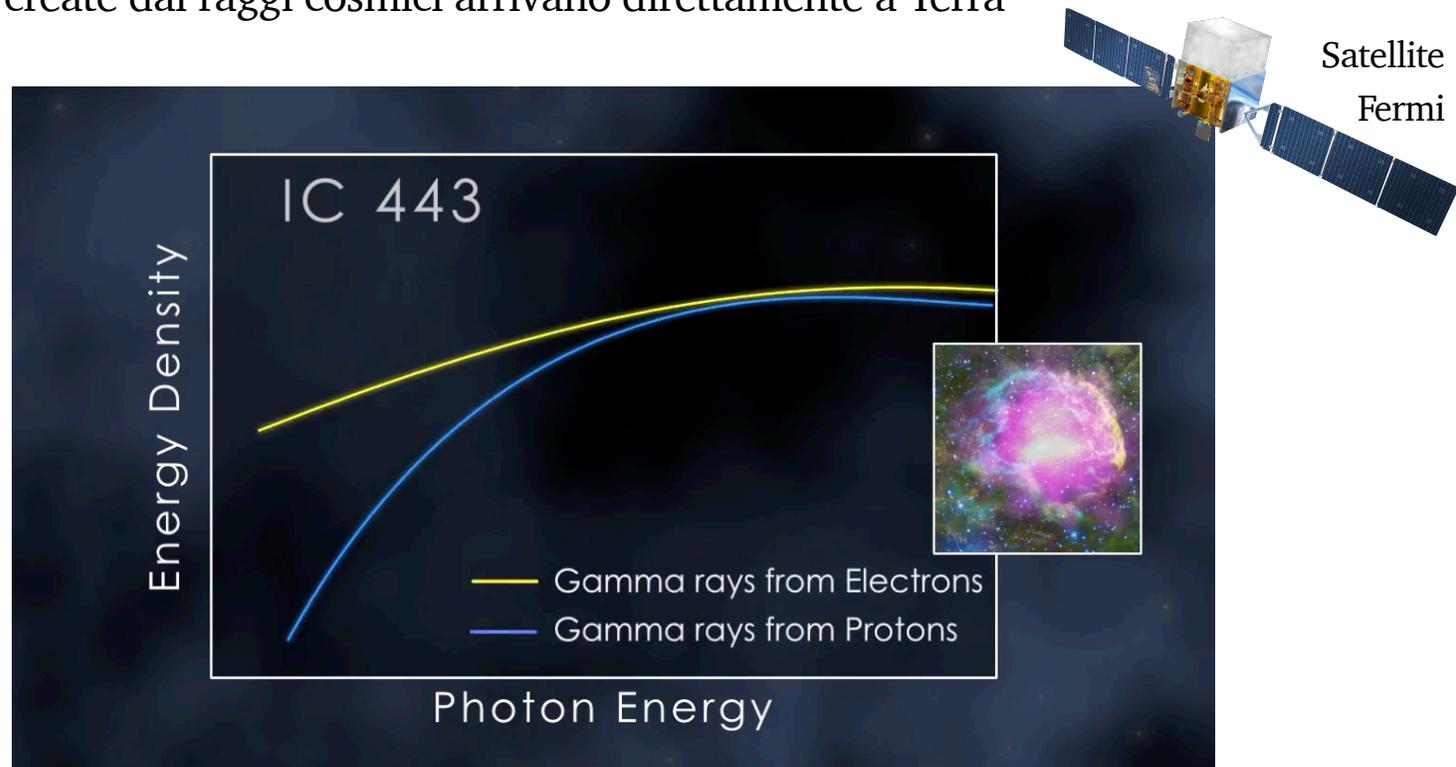


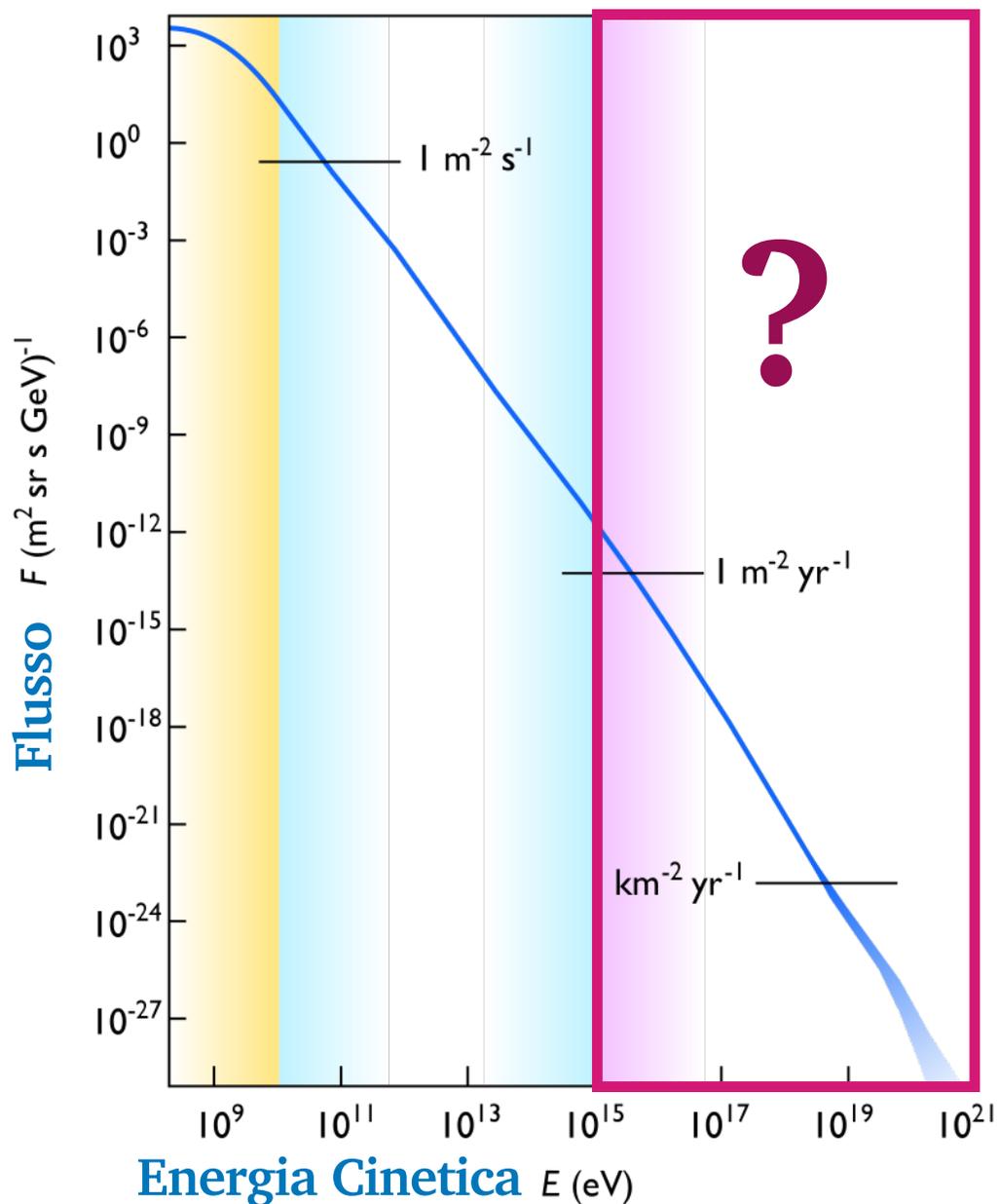


## Raggi cosmici Galattici

Come rintracciare la sorgente di raggi cosmici?

I raggi cosmici prodotti dall'esplosione di supernova interagiscono con il campo magnetico Galattico, ma particelle neutre (ad esempio **fotoni**) create dai raggi cosmici arrivano direttamente a Terra

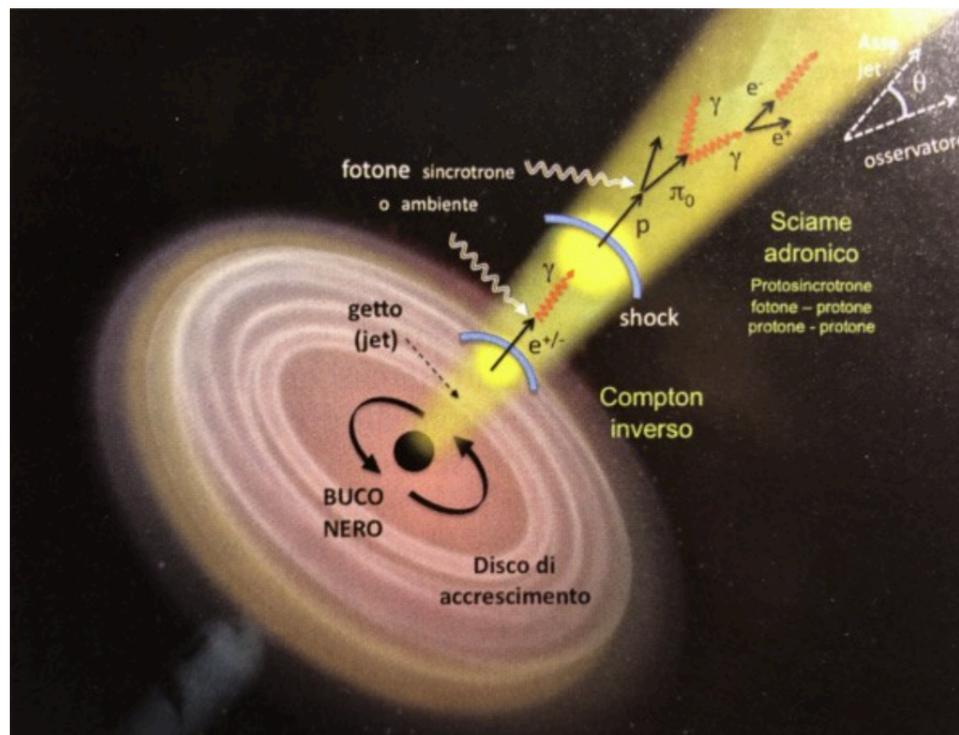


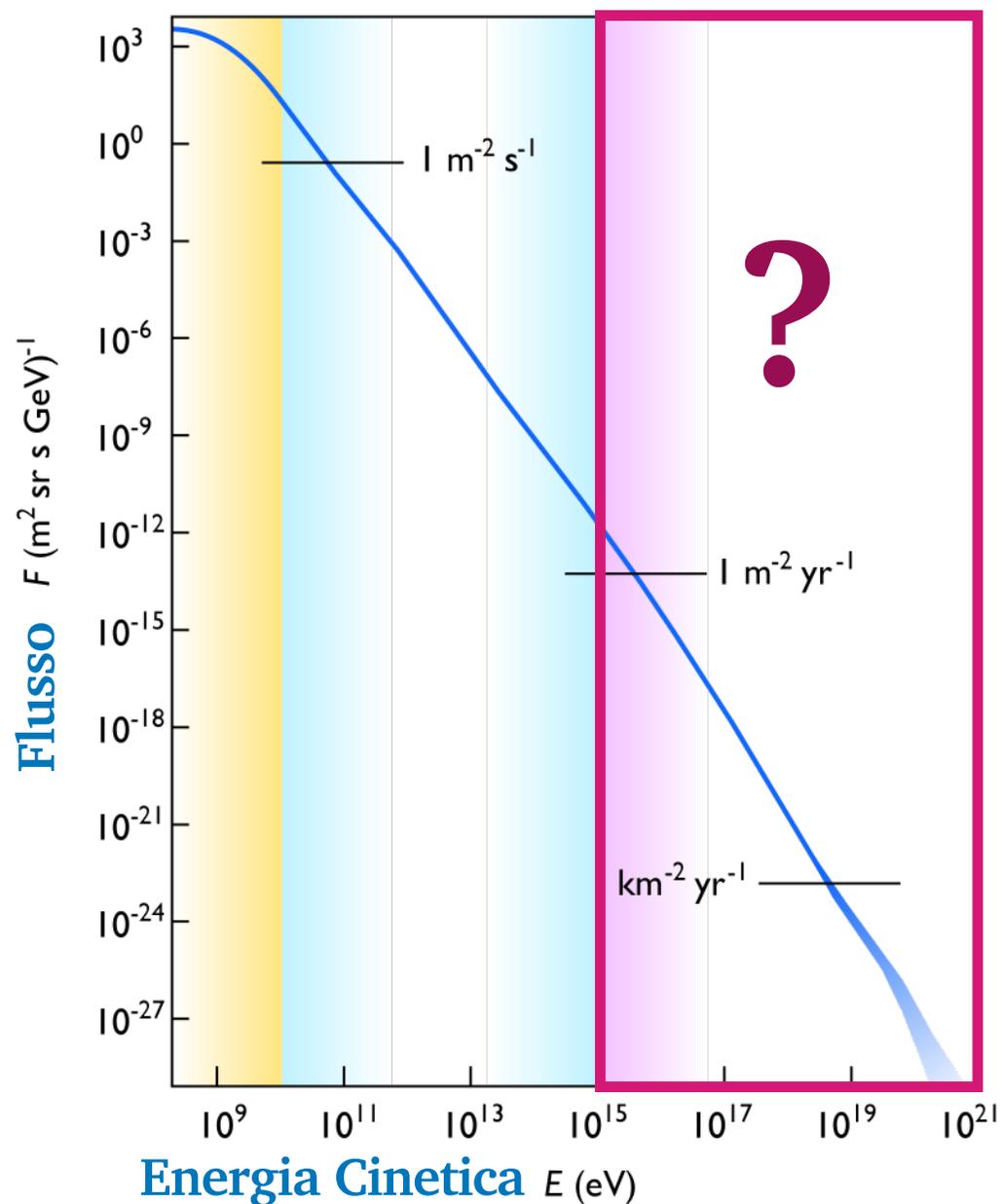


## Raggi cosmici extra-Galattici

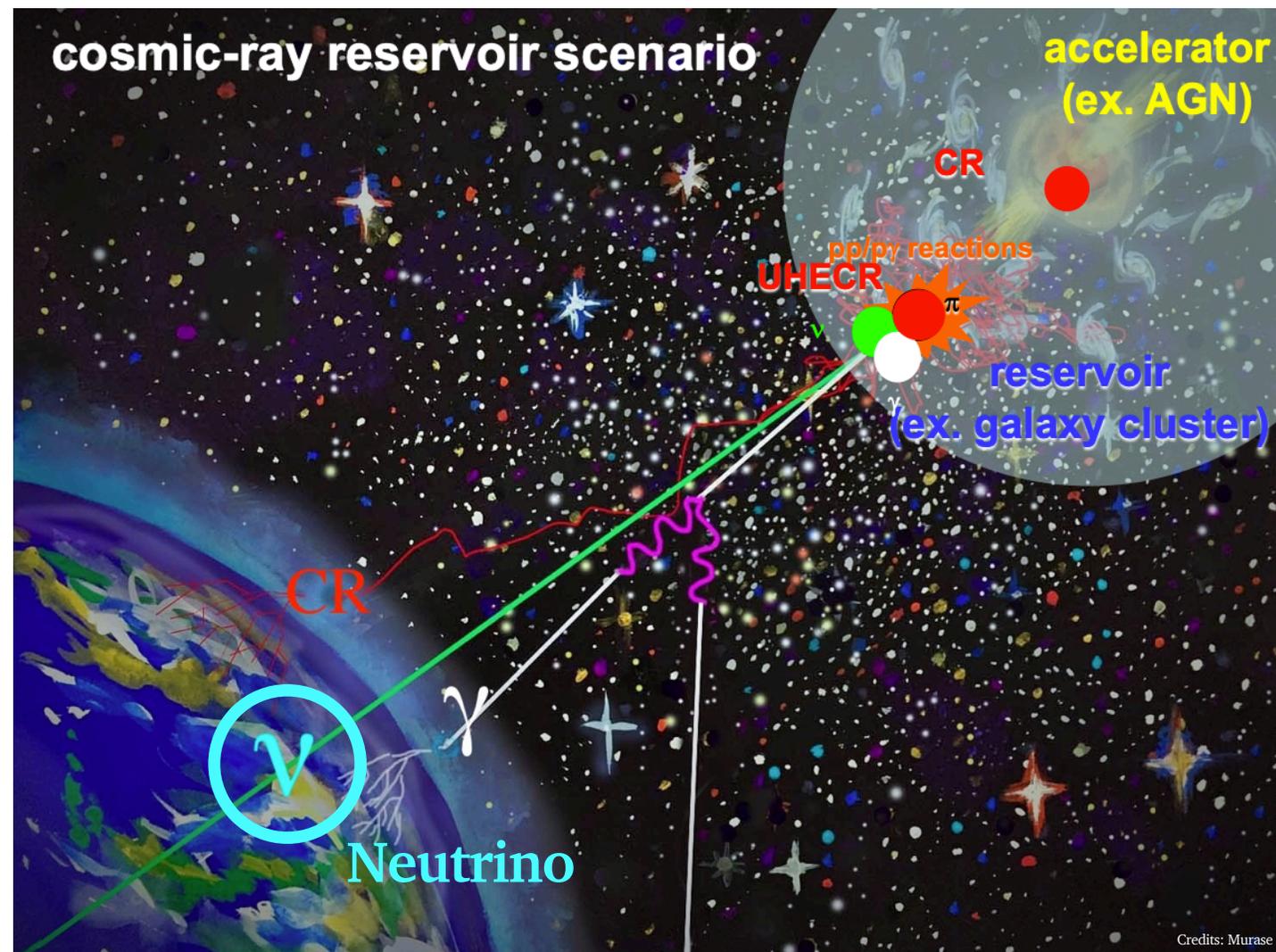
Come accelerare particelle ad altissime energie?

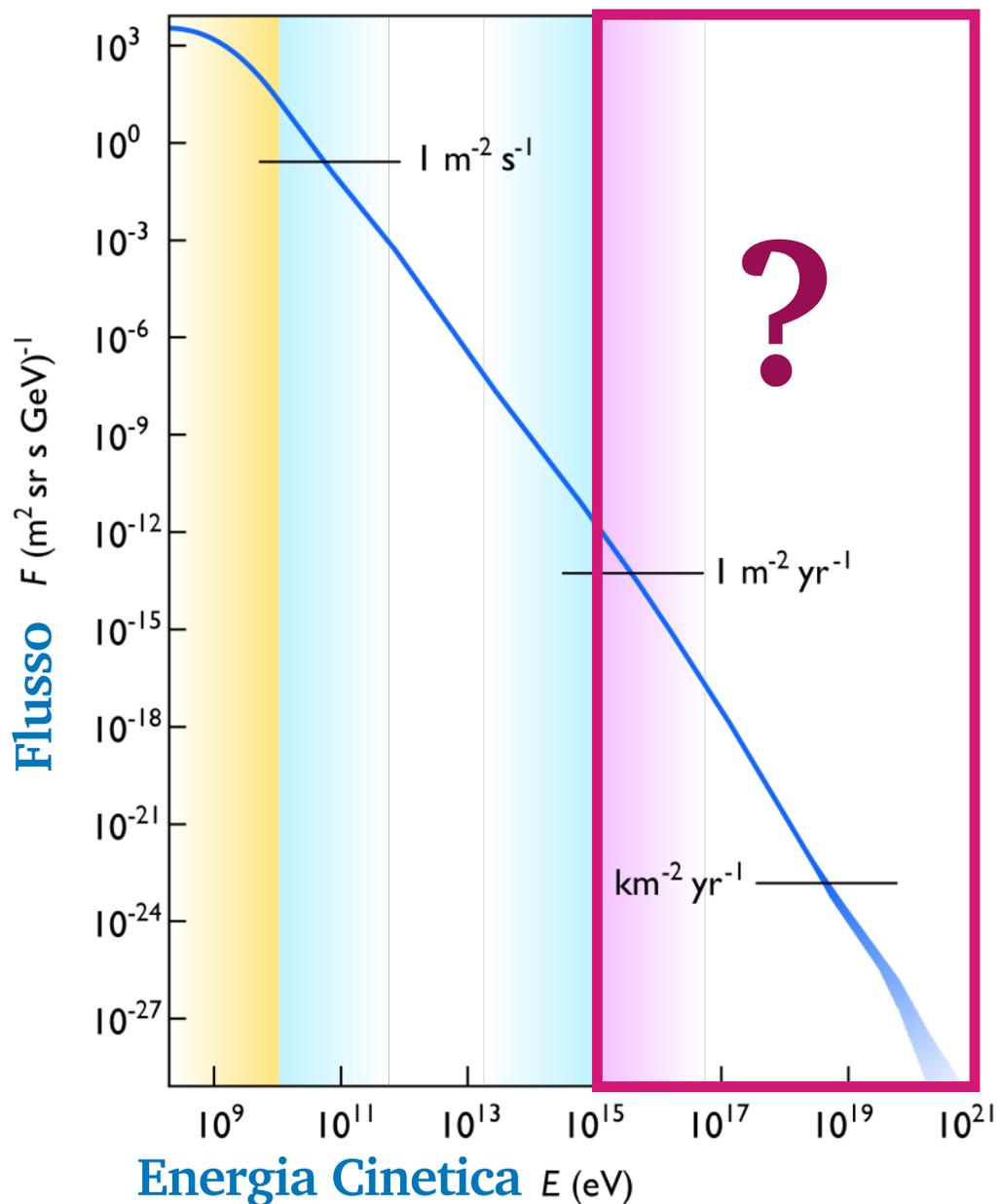
Probabilmente attraverso potenti **getti relativistici** lanciati da **buchi neri super-massicci** che abitano al centro di remote galassie e accrescono gas a ritmi furiosi



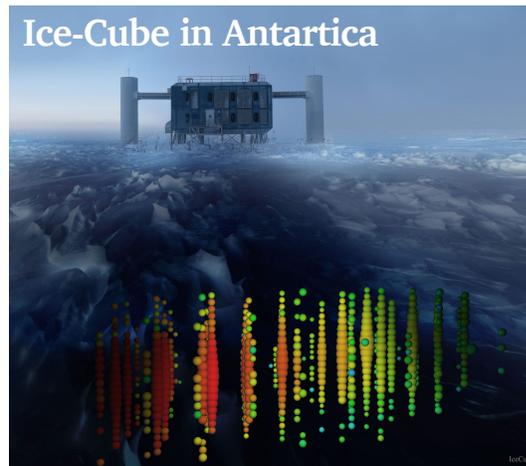


## Raggi cosmici extra-Galattici





## IC-170922A: neutrino energetico da un blazar attivo!



Science

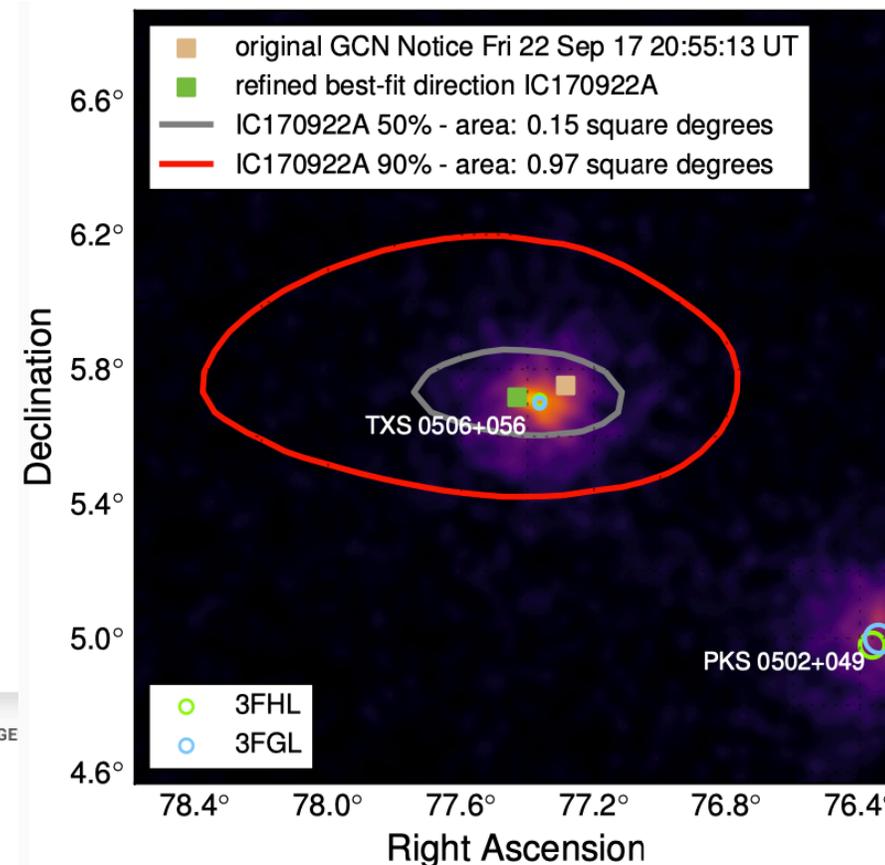
HOME > SCIENCE > VOL. 361, NO. 6398 > MULTIMESSENGER

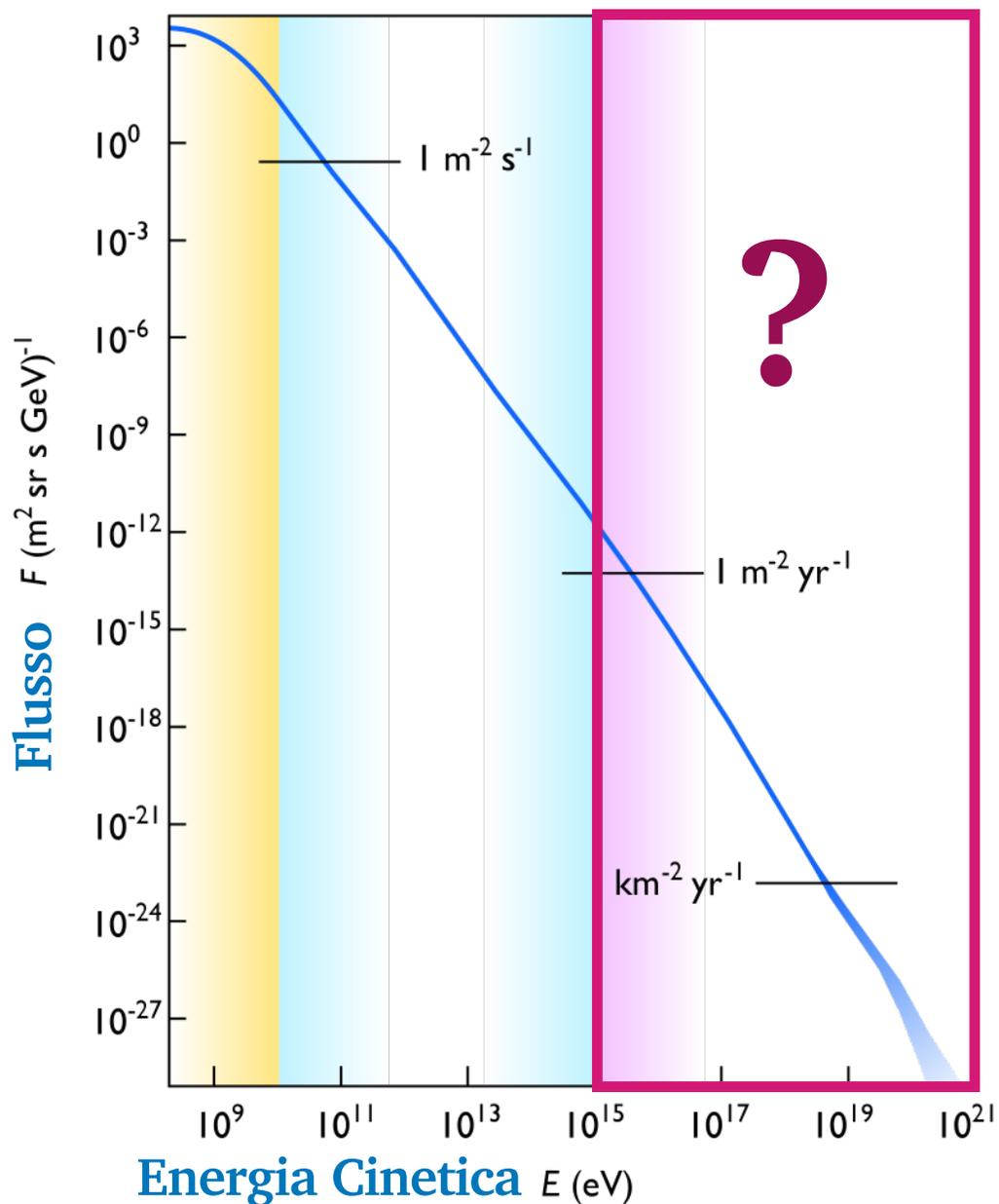
RESEARCH ARTICLE

## Multimessenger observations of a flaring blazar coincident with high-energy neutrino IceCube-170922A

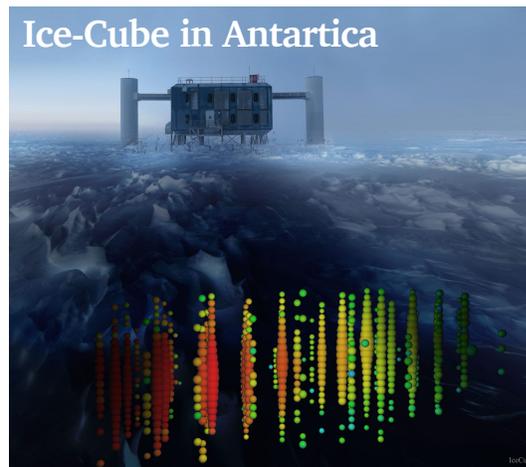
THE ICECUBE COLLABORATION, FERMI-LAT, MAGIC, AGILE, ASAS-SN, HAWC, H.E.S.S., INTEGRAL, KANATA, [...], AND GREGORY SIVAKOFF

+991 authors [Authors Info &](#)





Neutrino energetico dal buco nero super-massiccio al centro della galassia NGC 1068 ( $\sim 50$  milioni di anni luce da noi)!



Science

HOME > SCIENCE > VOL. 378, NO. 6619 > EVIDENCE FOR NEUTRINO

RESEARCH ARTICLE | NEUTRINO ASTROPHYSICS

f X in

## Evidence for neutrino emission from the nearby active galaxy NGC 1068

ICECUBE COLLABORATION, R. ABBASI, M. ACKERMANN, J. ADAMS, J. A. AGUILAR, M. AHLERS, M. AHRENS, J. M. ALAMEDDINE, C. ALISPACH, [...], AND P. ZHELNIN

Grazie per  
l'attenzione!

