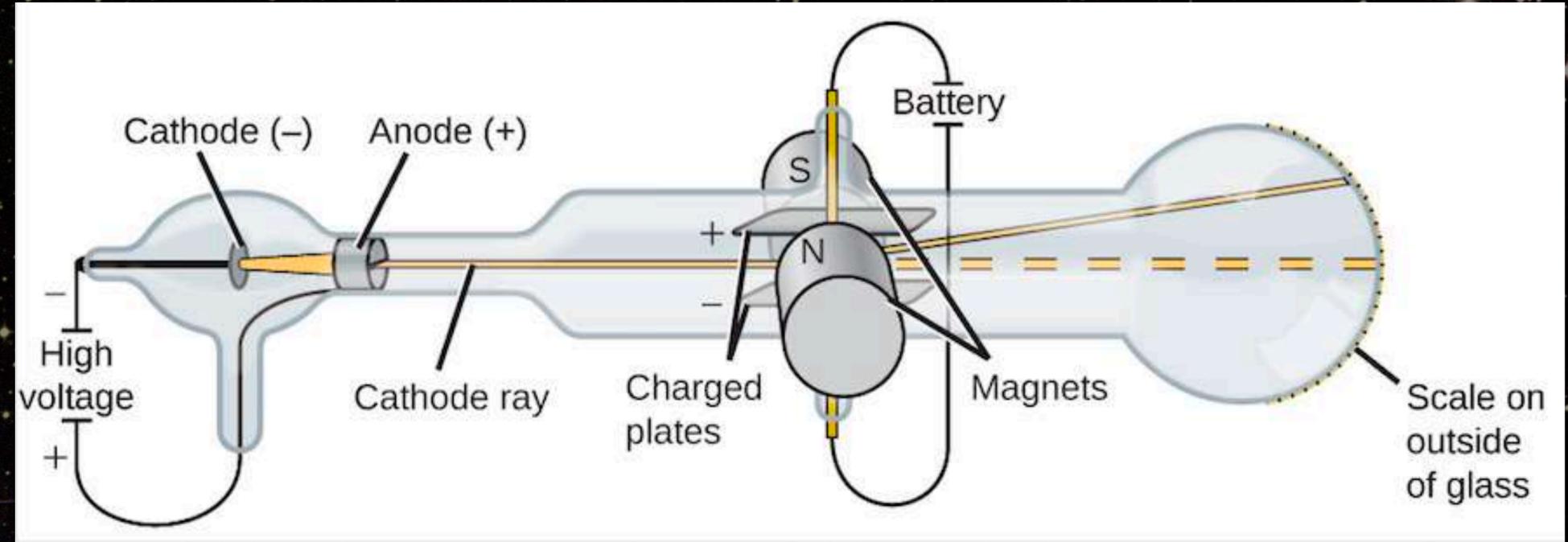


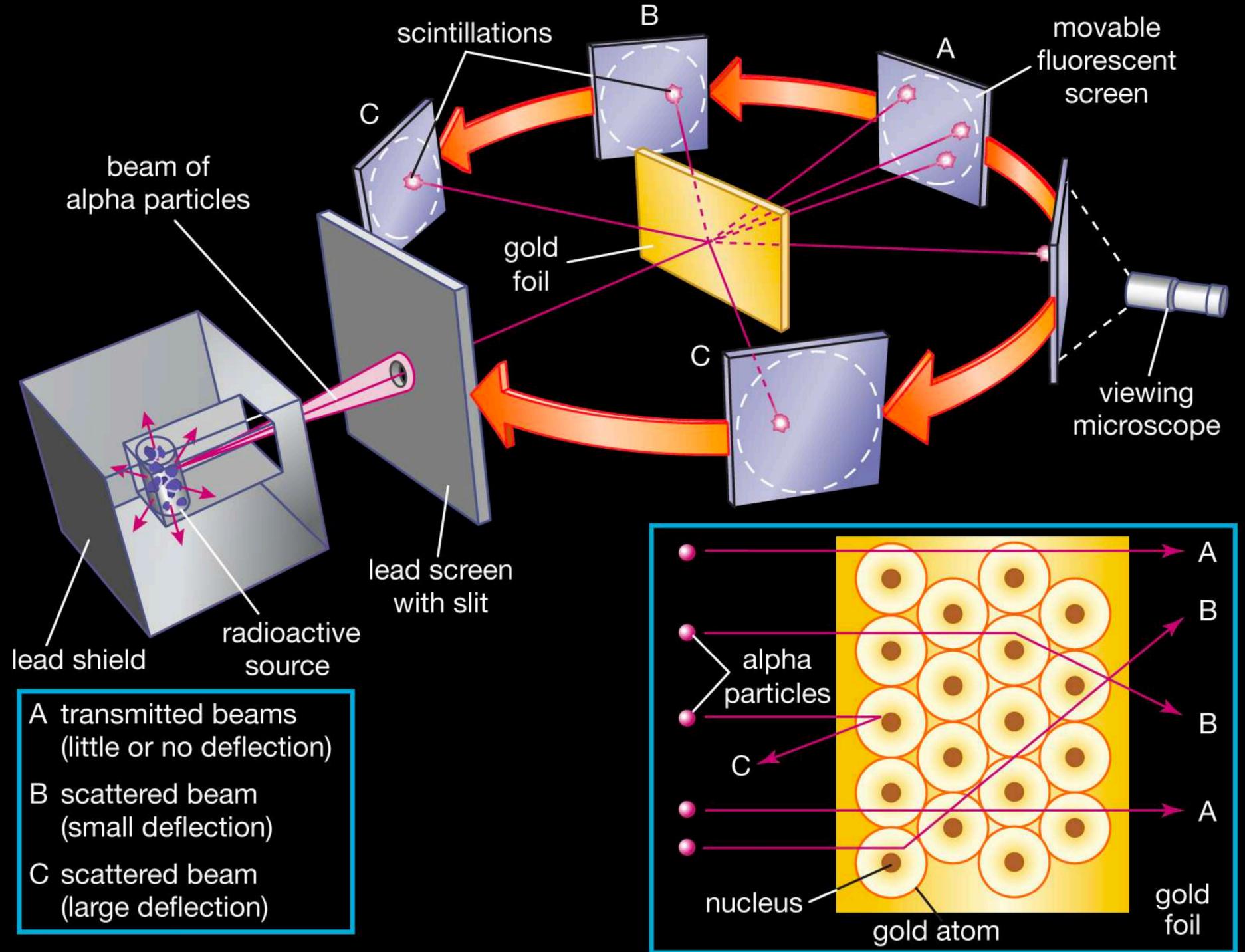
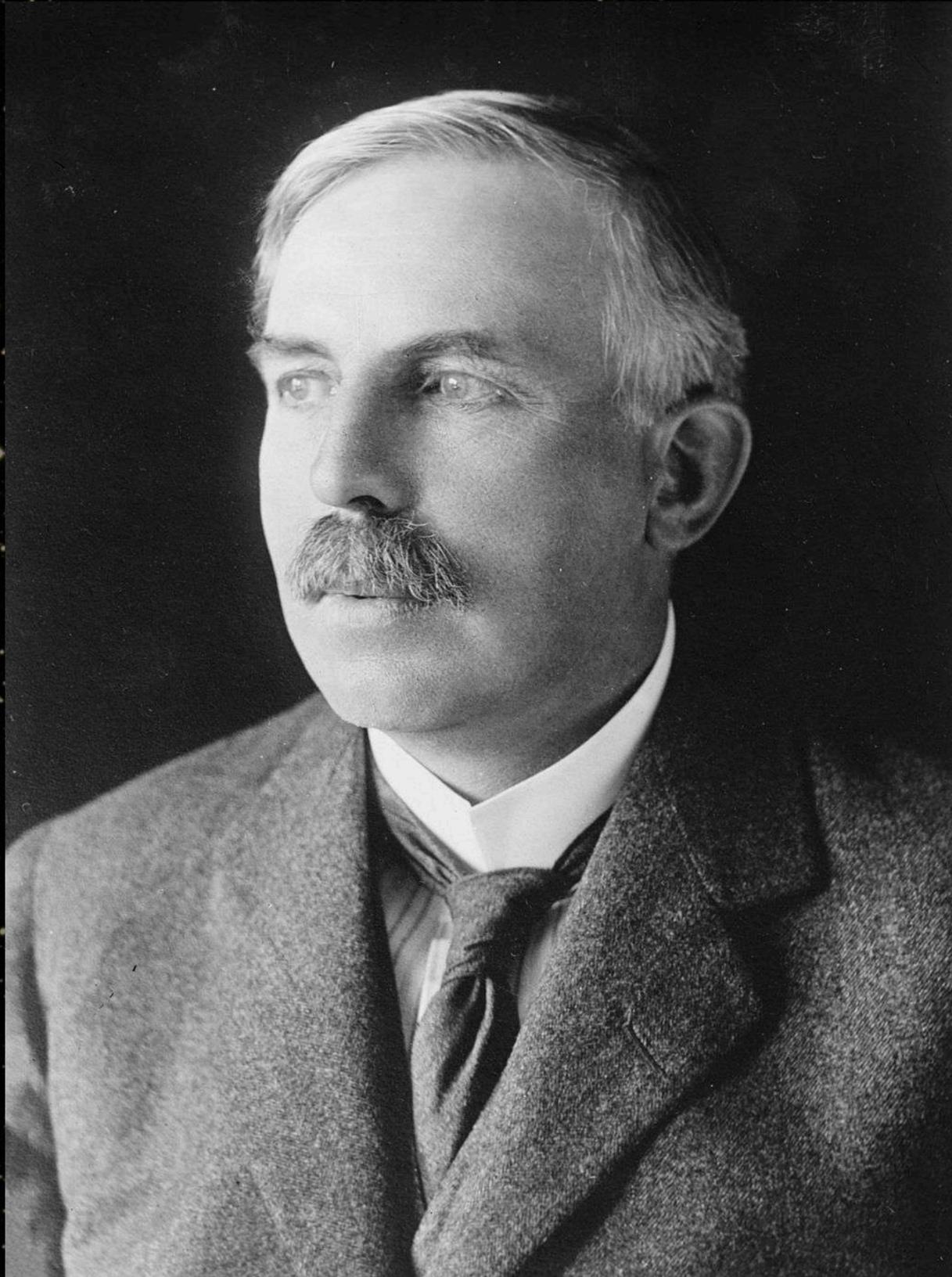
La fisica delle particelle e le missioni spaziali

Valerio Formato - valerio.formato@roma2.infn.it

J. J. Thomson: scoperta dell'elettrone



Ernest Rutherford: scoperta del protone, formulazione del modello atomico orbitale



© 2012 Encyclopædia Britannica, Inc.

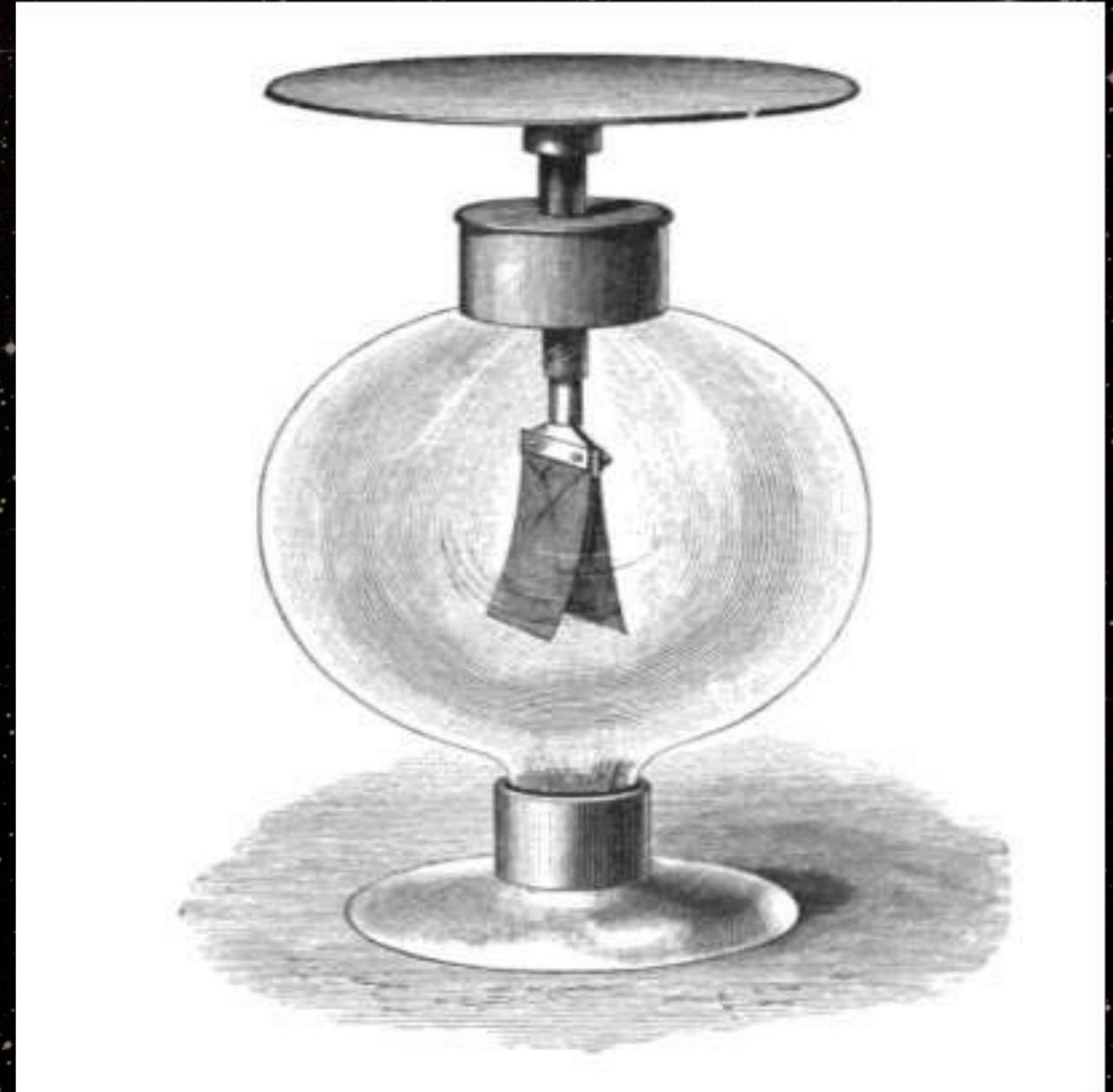
La scoperta dei raggi cosmici

- scarica spontanea elettroscopi
- agente che ionizza l'aria
- radiattività naturale crosta terrestre?

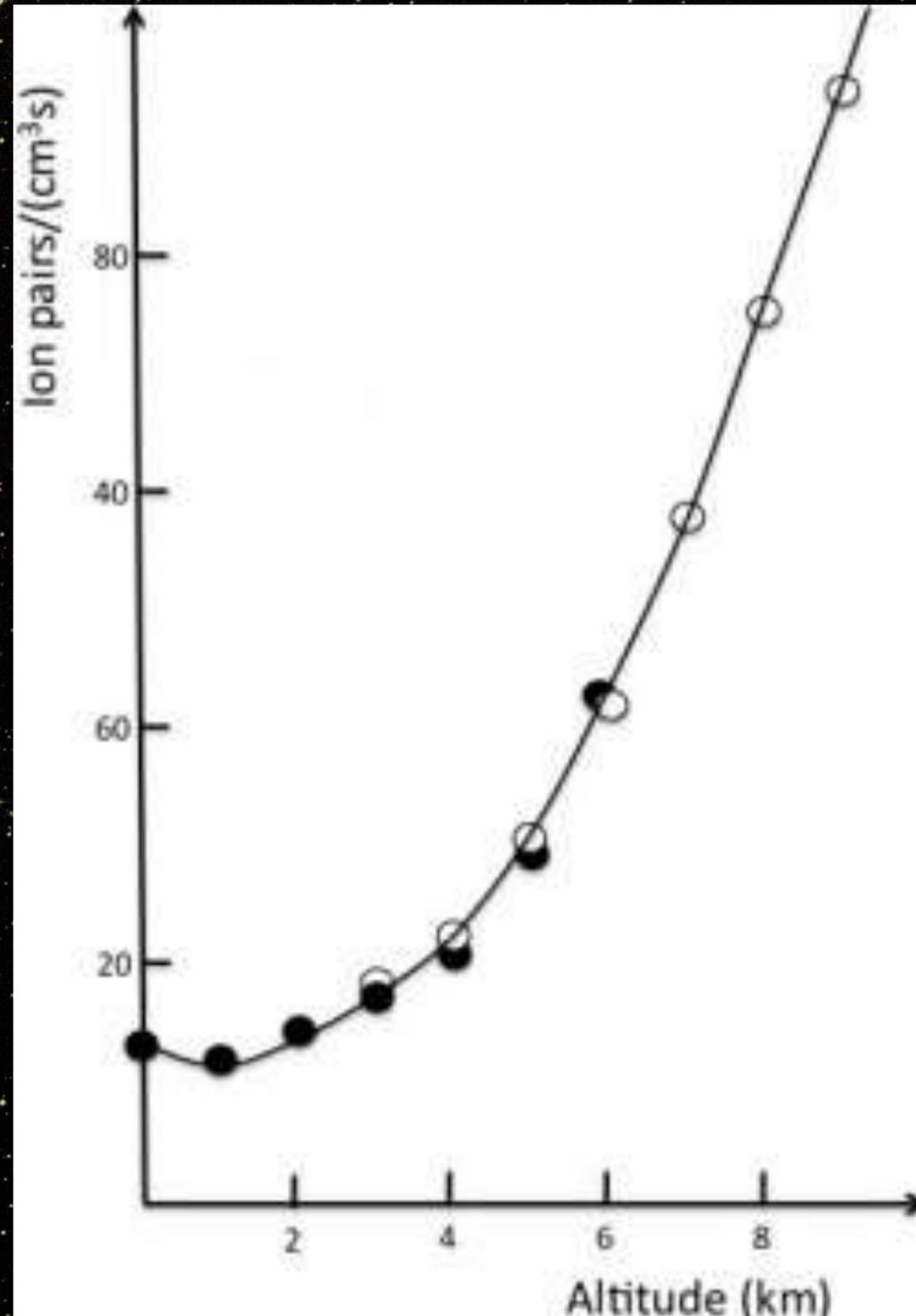
scarica elettroscopi a diverse altitudini...

Padre Theodor Wulf (1910) Tour Eiffel (300 m)

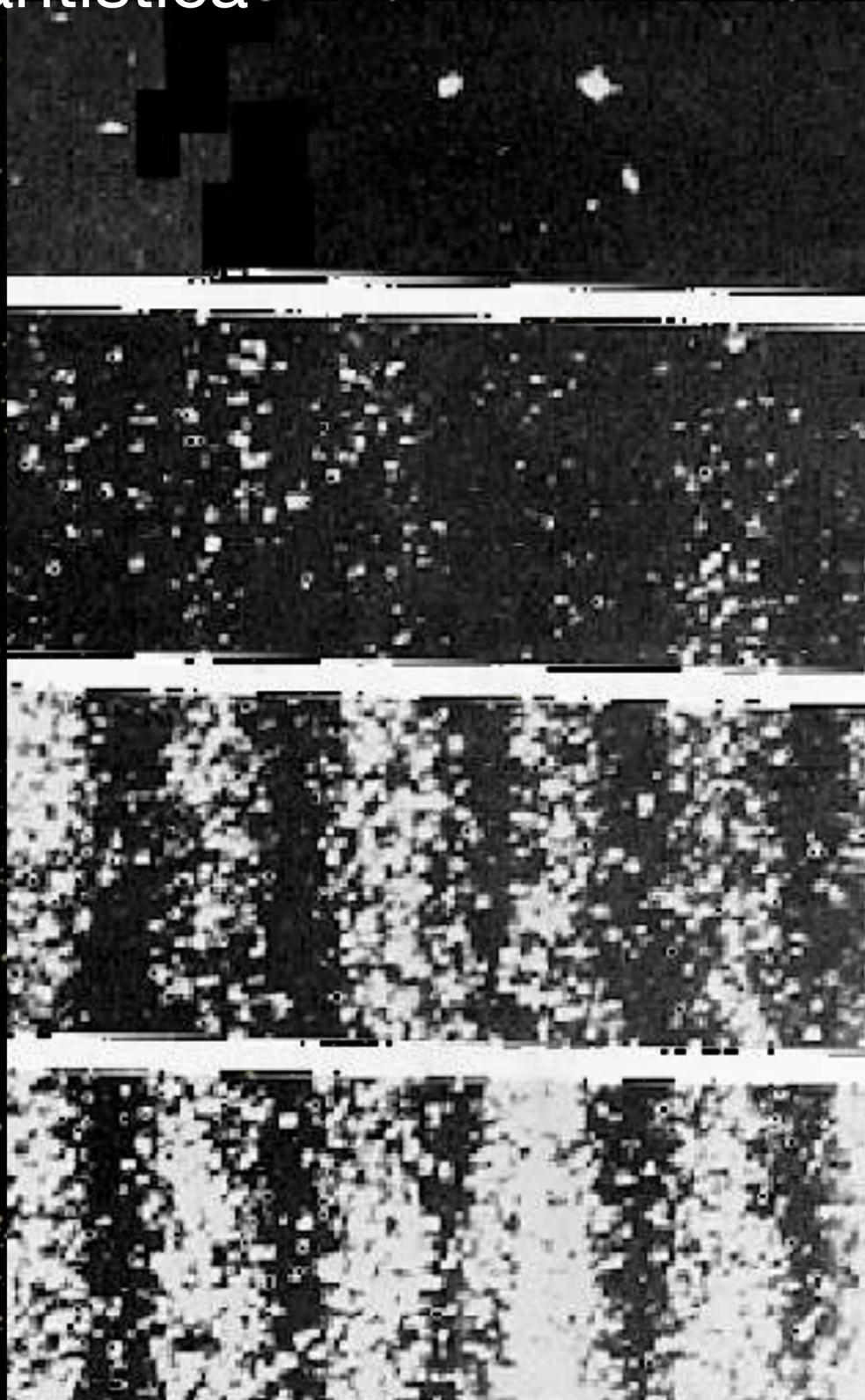
Pacini 1911 sott'acqua...



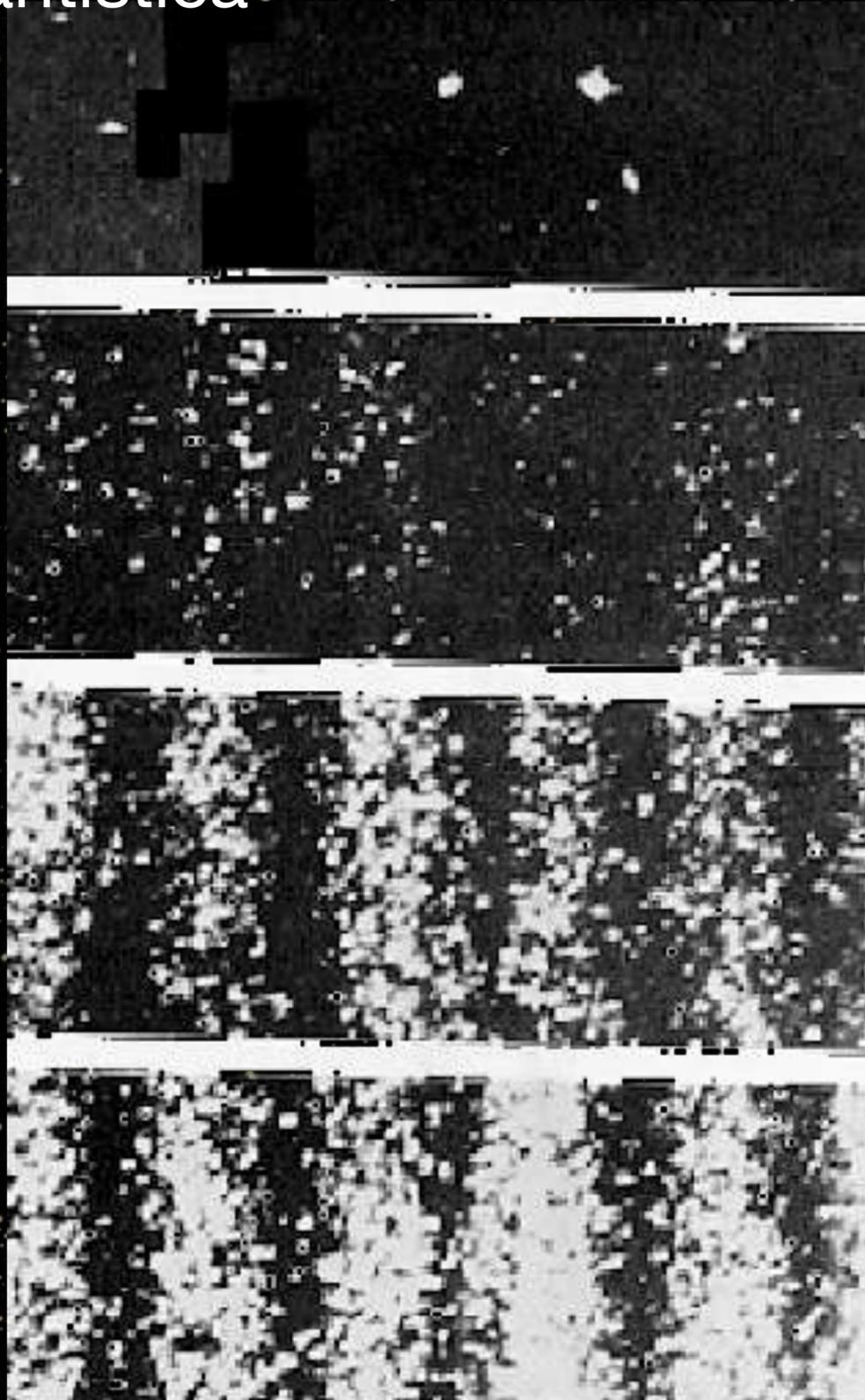
Pacini-Hess: Scoperta dei raggi cosmici



Schroedinger-Heisenberg:
Formulazione della meccanica
quantistica



Schroedinger-Heisenberg:
Formulazione della meccanica
quantistica



Say my name...





Paul Dirac: predice l'esistenza del positrone

Dirac Equation : spin 1/2

$$i\hbar\gamma^\mu\partial_\mu\psi - mc\psi = 0$$

$$\gamma^0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}, \quad \gamma^j = \begin{pmatrix} 0 & \sigma^j \\ -\sigma^j & 0 \end{pmatrix}$$

Electrons

$$\psi(x) = ae^{-(i/\hbar)p \cdot x} u^{(s)}(p)$$

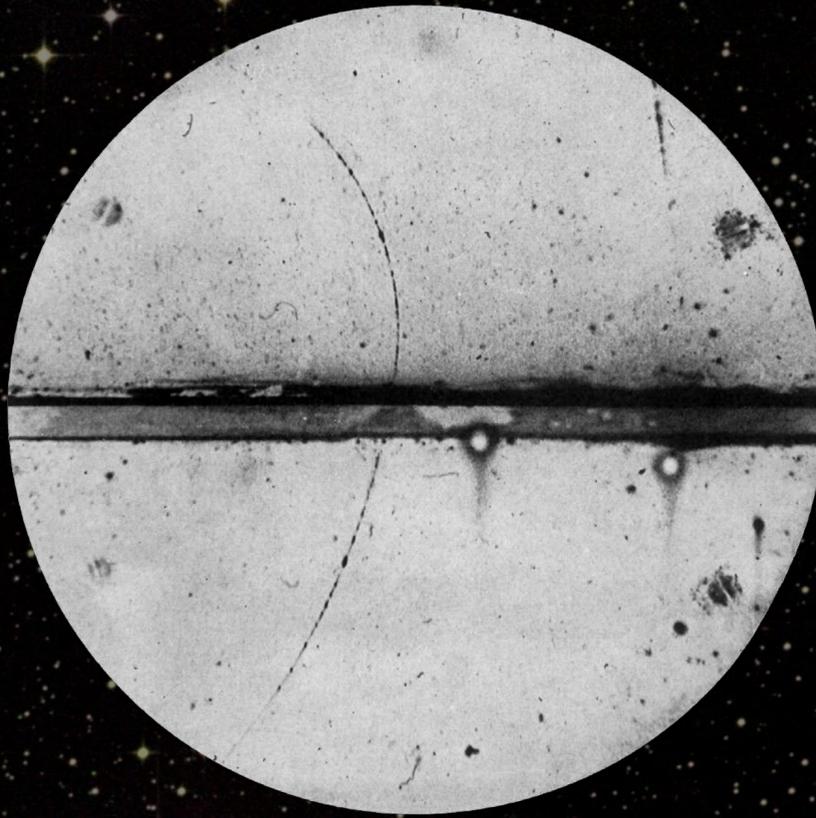
$$(\gamma^\mu p_\mu - mc)u = 0$$

Positrons

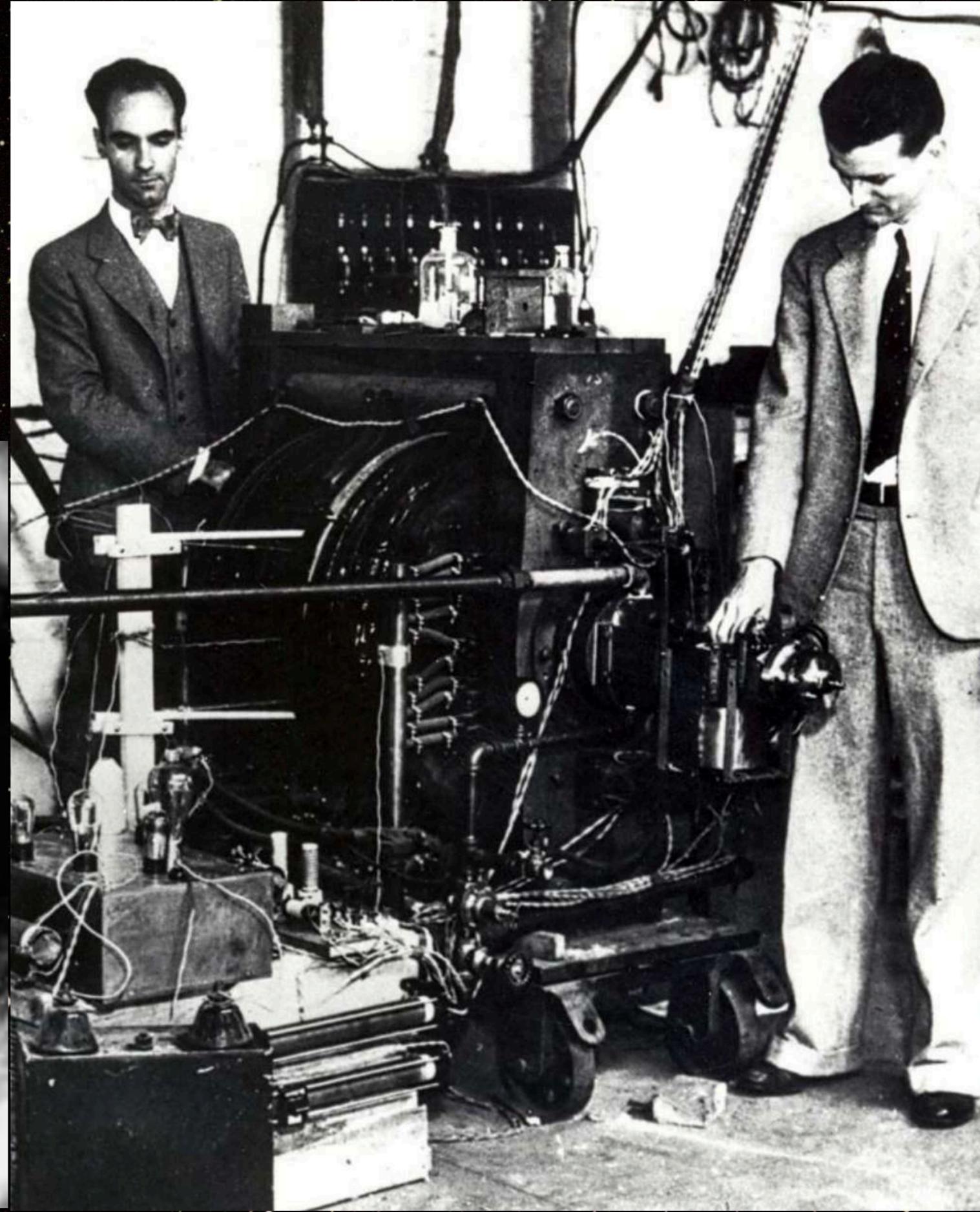
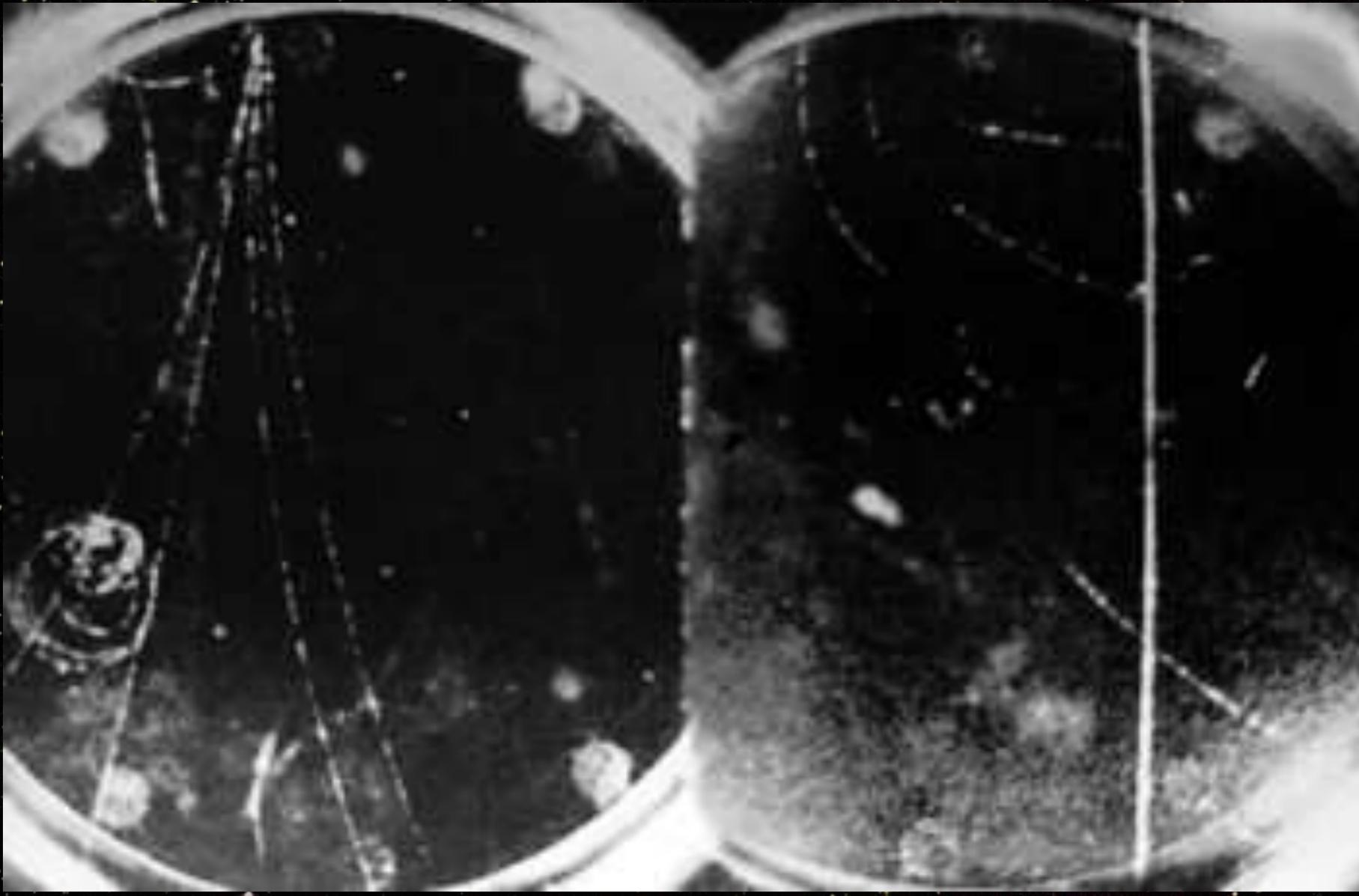
$$\psi(x) = ae^{(i/\hbar)p \cdot x} v^{(s)}(p)$$

$$(\gamma^\mu p_\mu + mc)v = 0$$

Carl Anderson: scoperta del positrone



**Seth Neddermeyer (+Anderson):
scoperta del muone**



Cecil Powel, Giuseppe Occhialini: scoperta del pione



E la lista continua...

Particle	Year	Discoverer (Nobel Prize)	Method
e^+	1897	J.J. Thomson (1906)	Discharges in gases
p	1919	E. Rutherford	Natural radioactivity
n	1932	J. Chadwick (1935)	Natural radioactivity
e^+	1933	C.D. Anderson (1936)	Cosmic Rays
μ^\pm	1937	S. Neddermeyer	Cosmic Rays
π^\pm	1947	C.F. Powell (1950)	Cosmic Rays
K^\pm	1949	C.F. Powell (1950)	Cosmic Rays
π^0	1949	R. Bjorklund	Accelerator
K^0	1951	R. Armenteros	Cosmic Rays
Λ^0	1951	R. Armenteros	Cosmic Rays
Δ	1952	C.D. Anderson (1936)	Cosmic Rays
Θ^-	1952	R. Armenteros	Cosmic Rays
Σ^\pm	1953	A. Bonetti	Cosmic Rays
p^-	1955	O. Chamberlain (1959) E. Segré (1959)	Accelerators
anything else	> 1955	various groups	Accelerators
ν oscillations	1998	SuperKamiokande	Cosmic Rays

Negli anni '50, con
l'avvento degli acceleratori
di particelle, le due
comunita' si separano...



Raggi cosmici

Fisica delle particelle

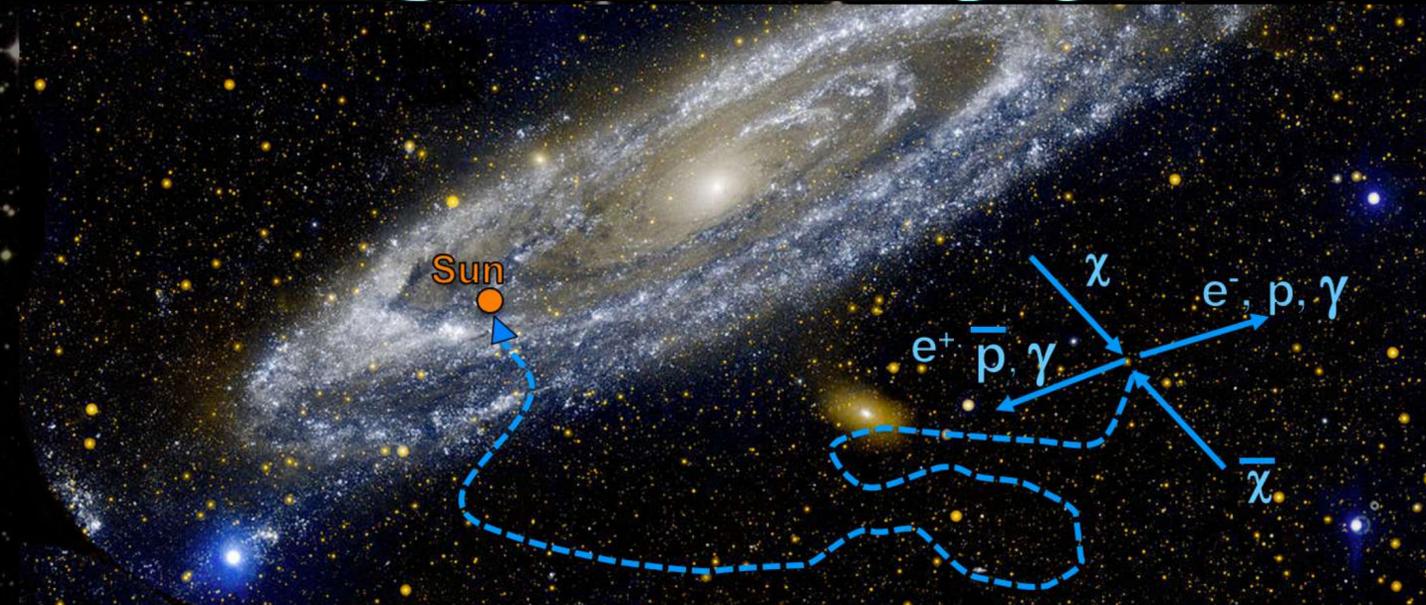
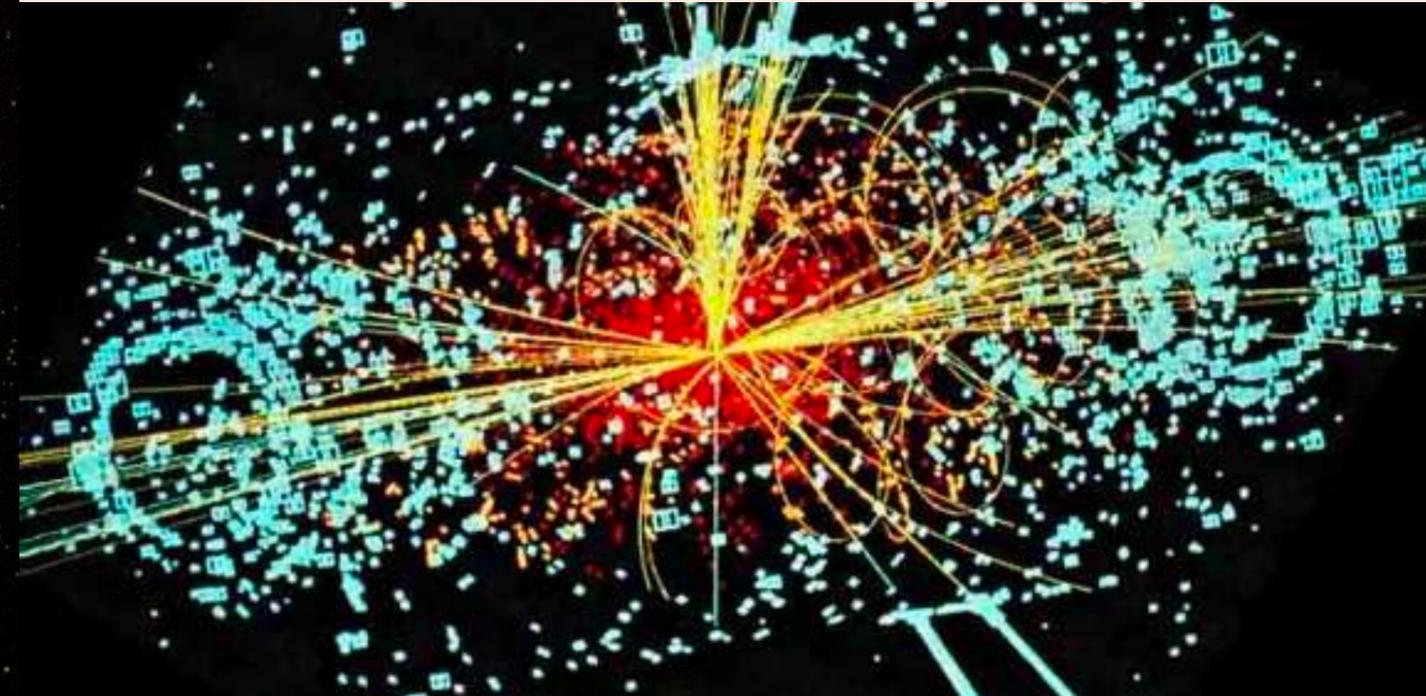
Si inizia quindi a diffondere l'idea che il modo migliore di investigare la struttura interna di atomi e nuclei è quella di sparare particelle sonda e osservare come vengono deflesse.

Un po' come un meccanico che vuole studiare com'è fatto il motore di una macchina facendola scontrare con un'altra macchina e guardando i pezzi volar via dallo scontro.



Si inizia quindi a diffondere l'idea che il modo migliore di investigare la struttura interna di atomi e nuclei è quella di sparare particelle sonda e osservare come vengono deflesse.

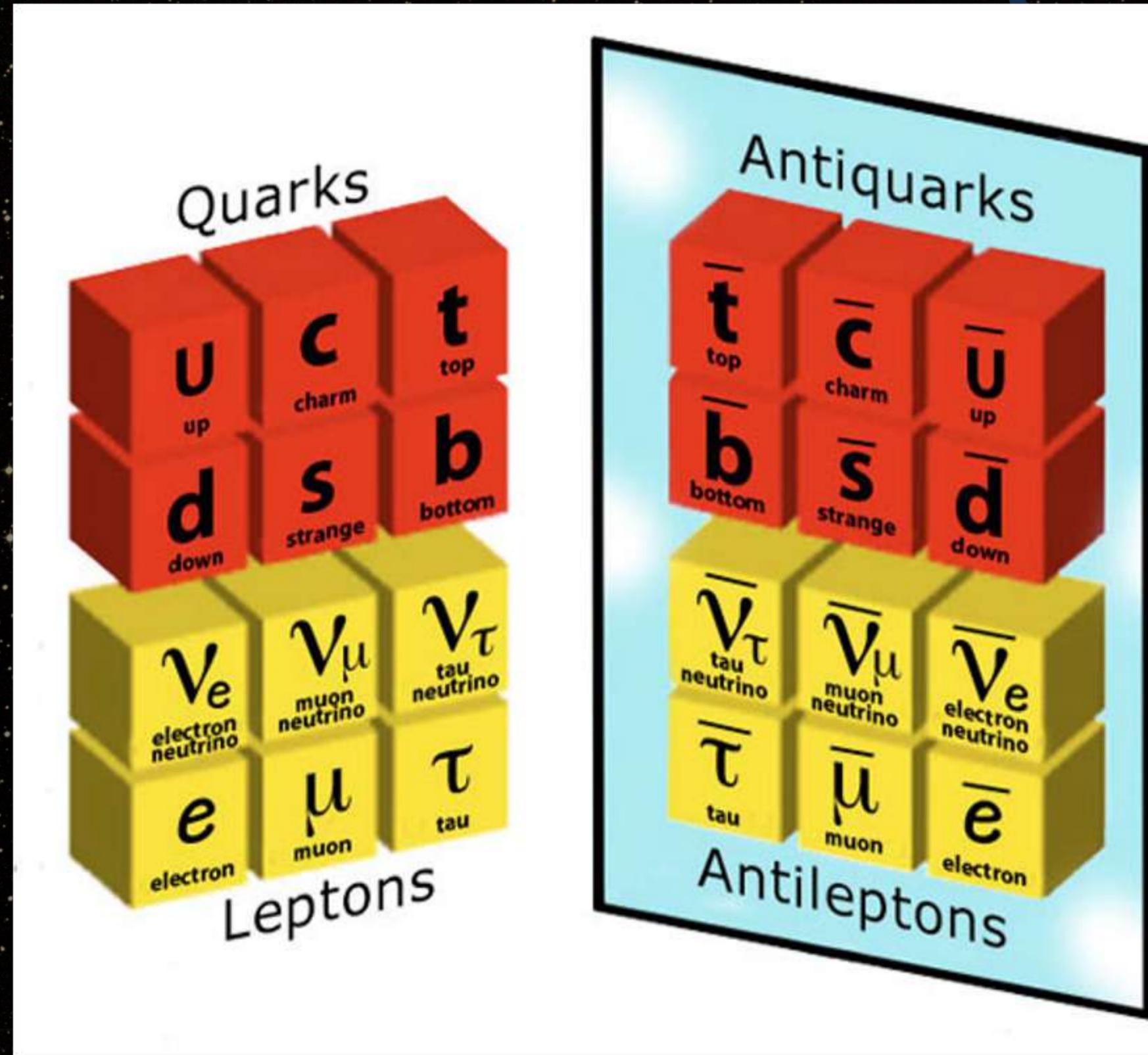
Un po' come un meccanico che vuole studiare com'è fatto il motore di una macchina facendola scontrare con un'altra macchina e guardando i pezzi volar via dallo scontro.



Il modello standard

Questi mattoni fondamentali costituiscono tutta la materia che vediamo intorno a noi e che riusciamo a “sintetizzare” agli acceleratori

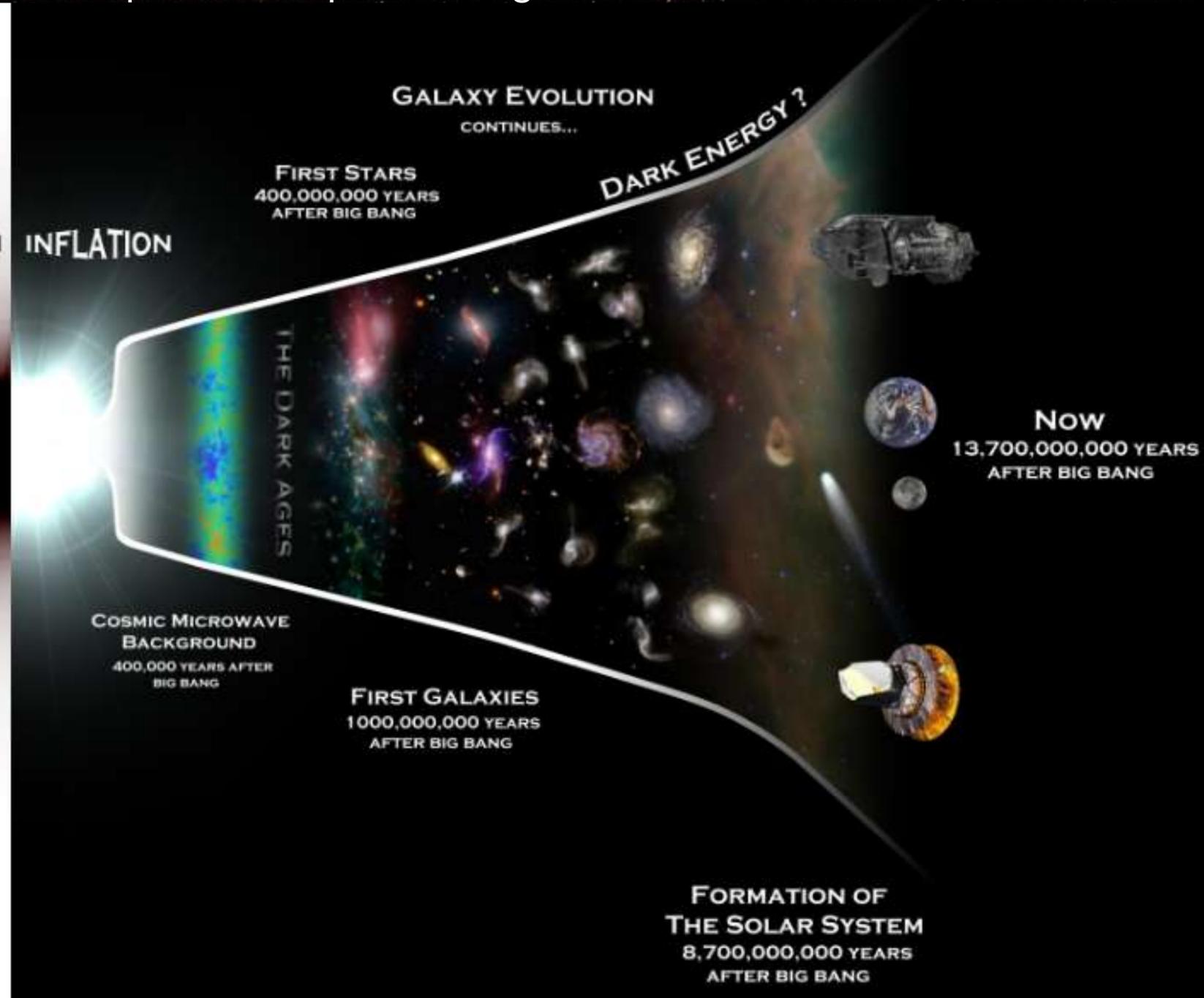
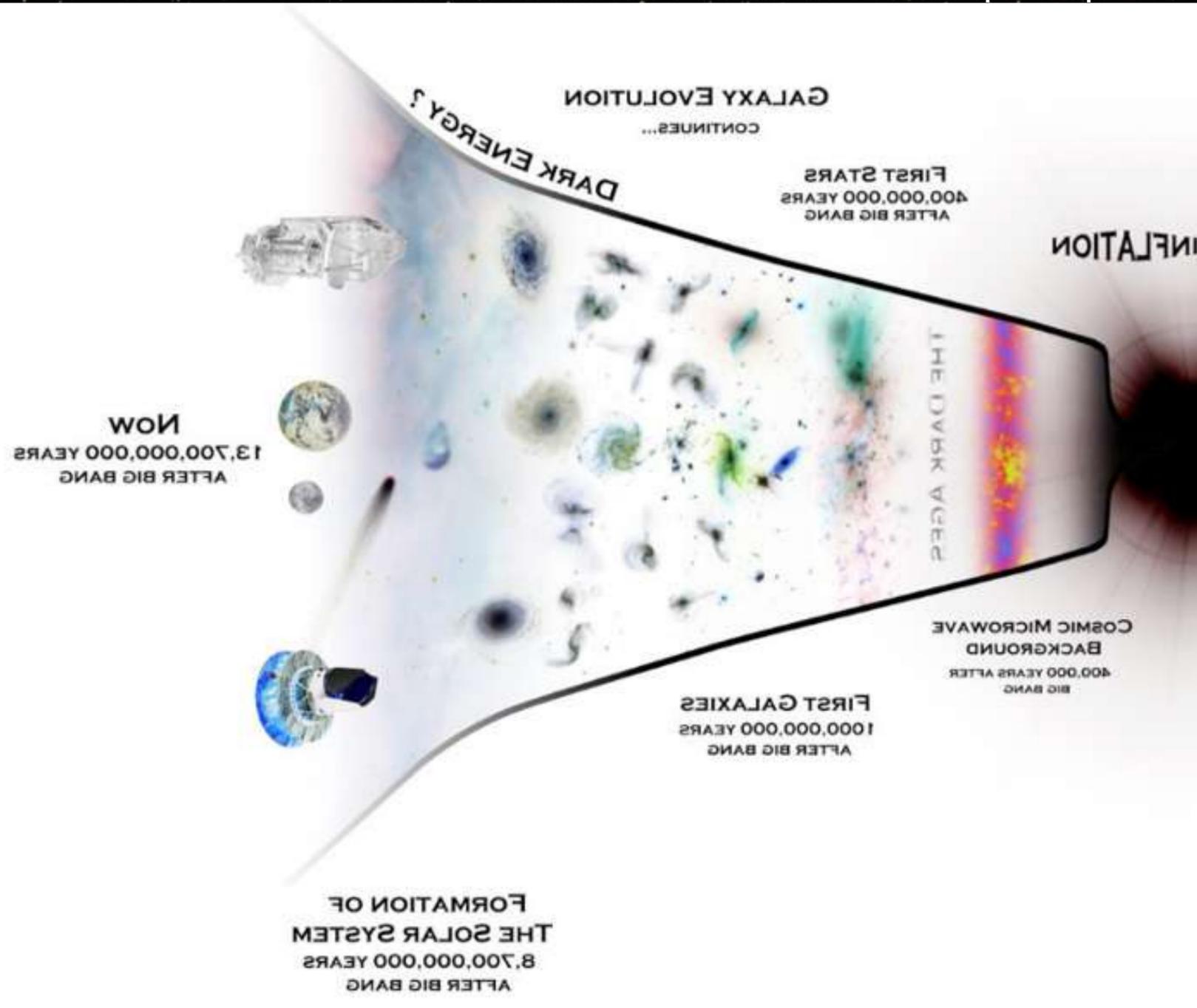
Oltre a protoni, elettroni, neutroni, ... esistono tutte le loro “controparti” di antimateria: antiprotoni, positroni, ...



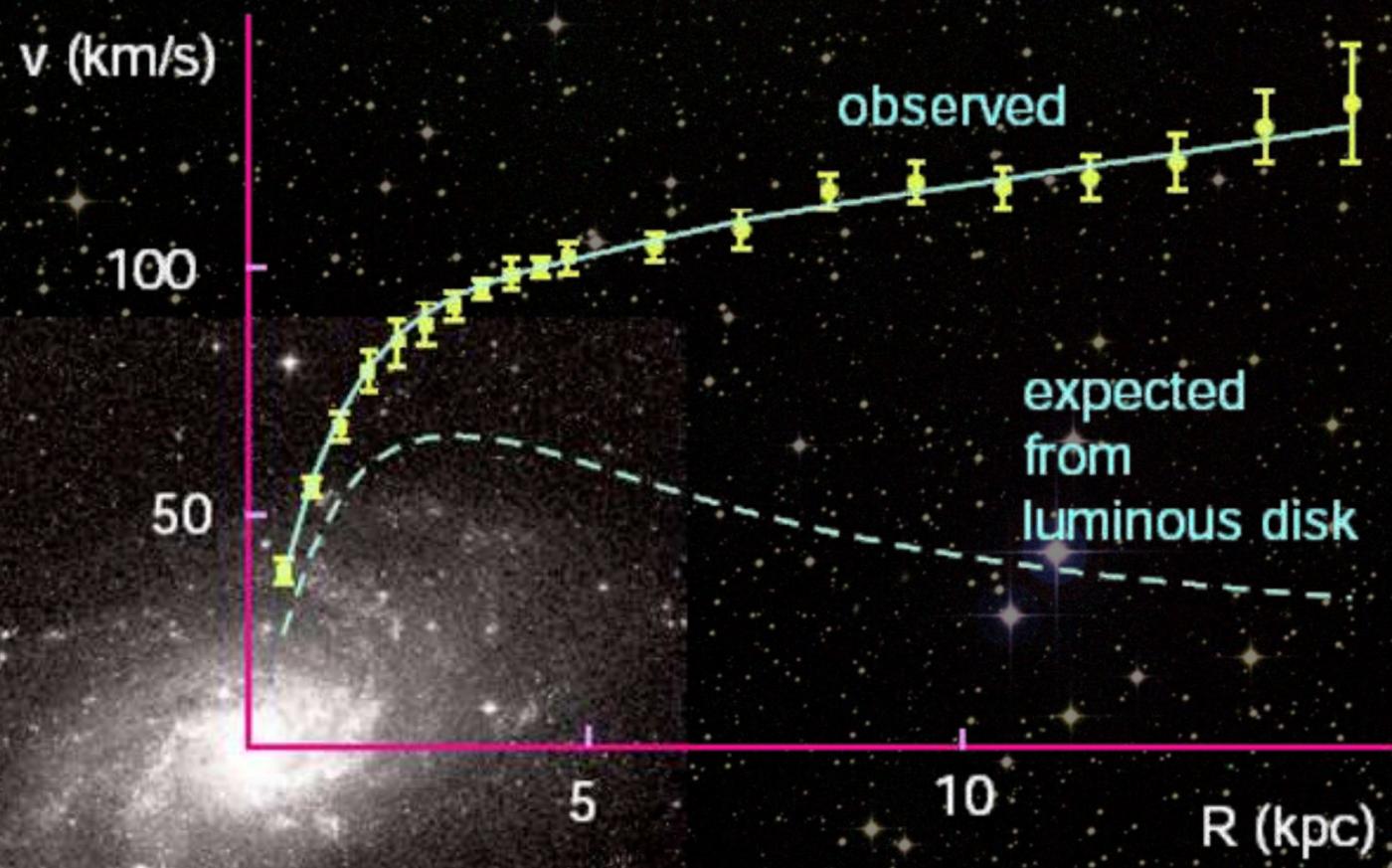
Dov'è finita l'antimateria???

Paul Dirac, discorso in occasione del conferimento del premio Nobel, 12/12/1933

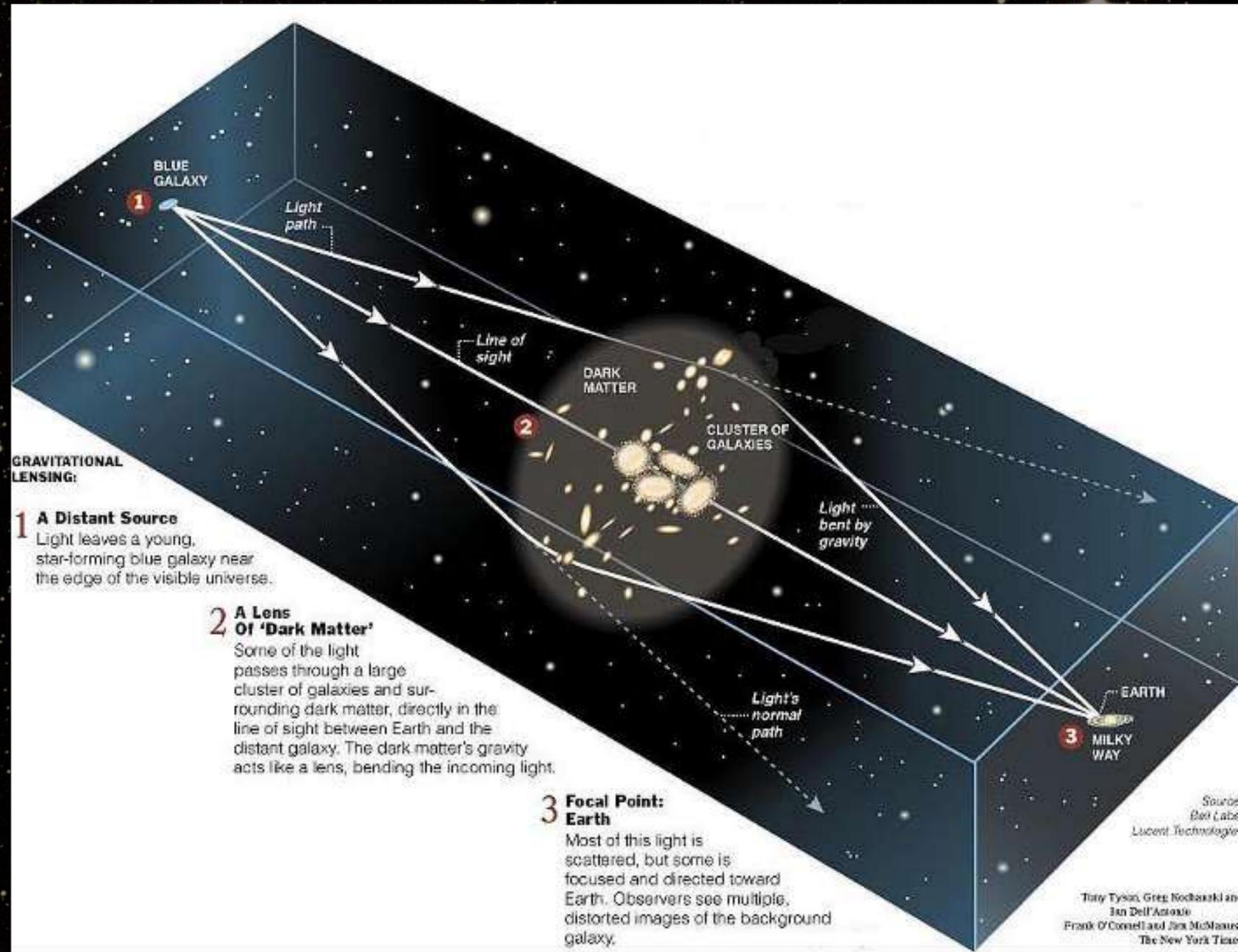
“[...] dobbiamo considerare un puro caso, che la Terra (e presumibilmente l'intero sistema solare) contenga una preponderanza di elettroni negativi e di protoni positivi. Tuttavia, è possibile che per alcune stelle valga il contrario, ossia che esse siano costituite principalmente da positroni e protoni negativi...”



Materia oscura



M33 rotation curve
(fig. 1)



La velocità di rotazione degli “oggetti” nelle galassie è in contraddizione con quella prevista assumendo come massa della galassia solo quella visibile

Un “agglomerato”, invisibile, di materia oscura può agire come “lente gravitazionale” e deformare l’immagine “apparente” di una sorgente luminosa



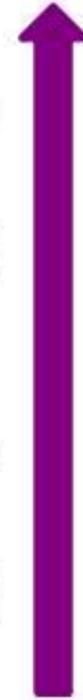
Annichilazione

$$\chi + \chi \rightarrow p, \bar{p}, e^-, e^+, \gamma$$



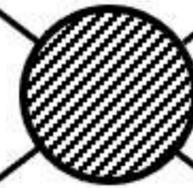
Scattering

$$\chi + p \rightarrow \chi + p$$



χ

χ



$p, \bar{p}, e^-, e^+, \gamma$

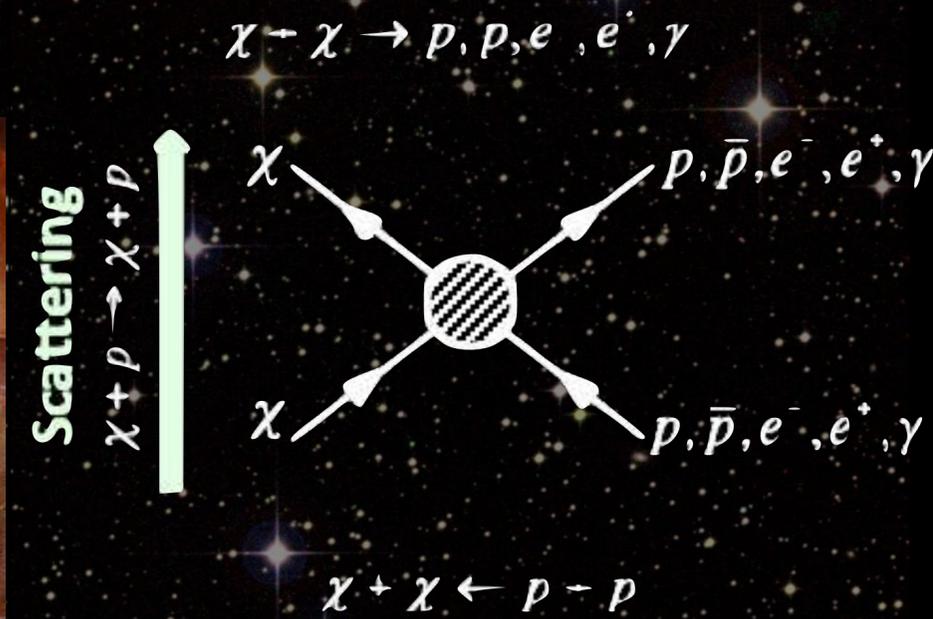
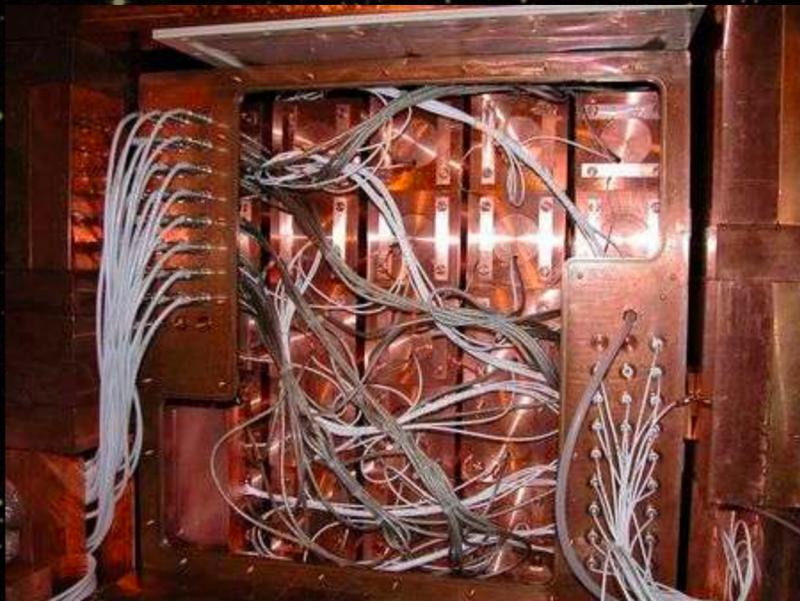
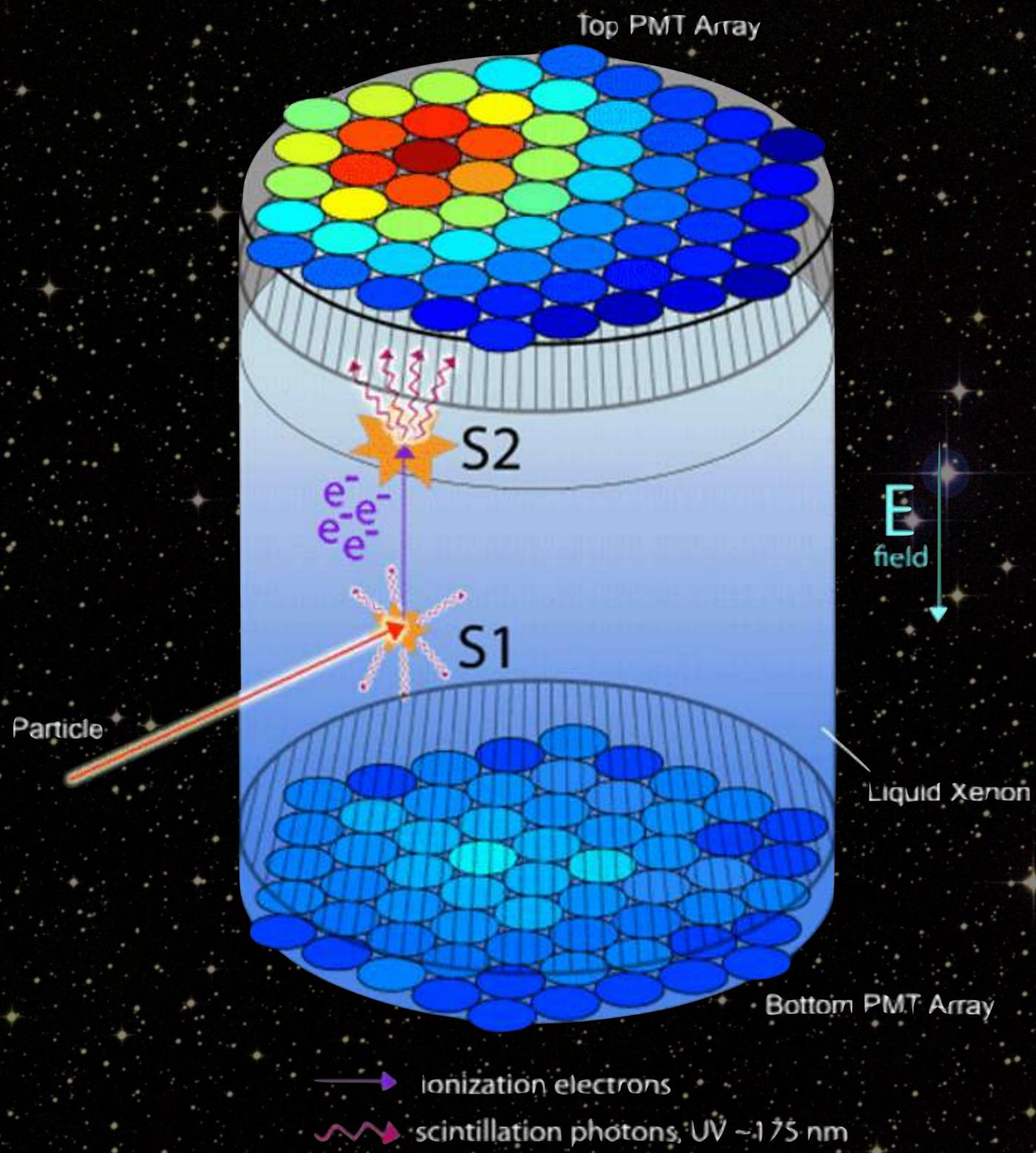
$p, \bar{p}, e^-, e^+, \gamma$



$$\chi + \chi \leftarrow p + p$$

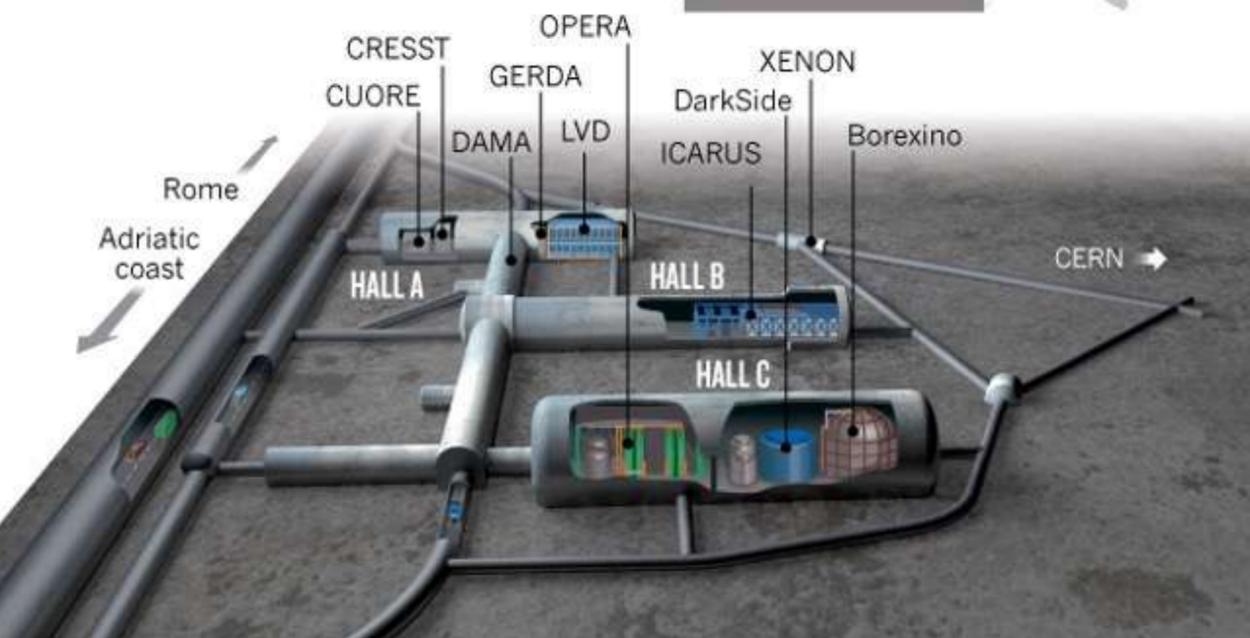
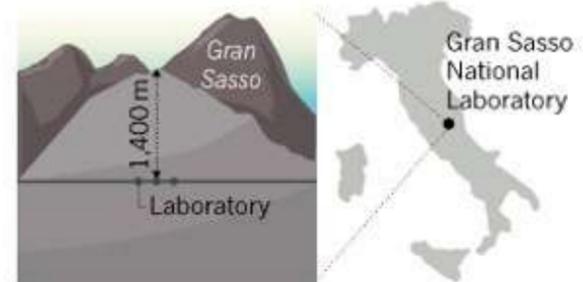
Produzione

Rivelazione diretta

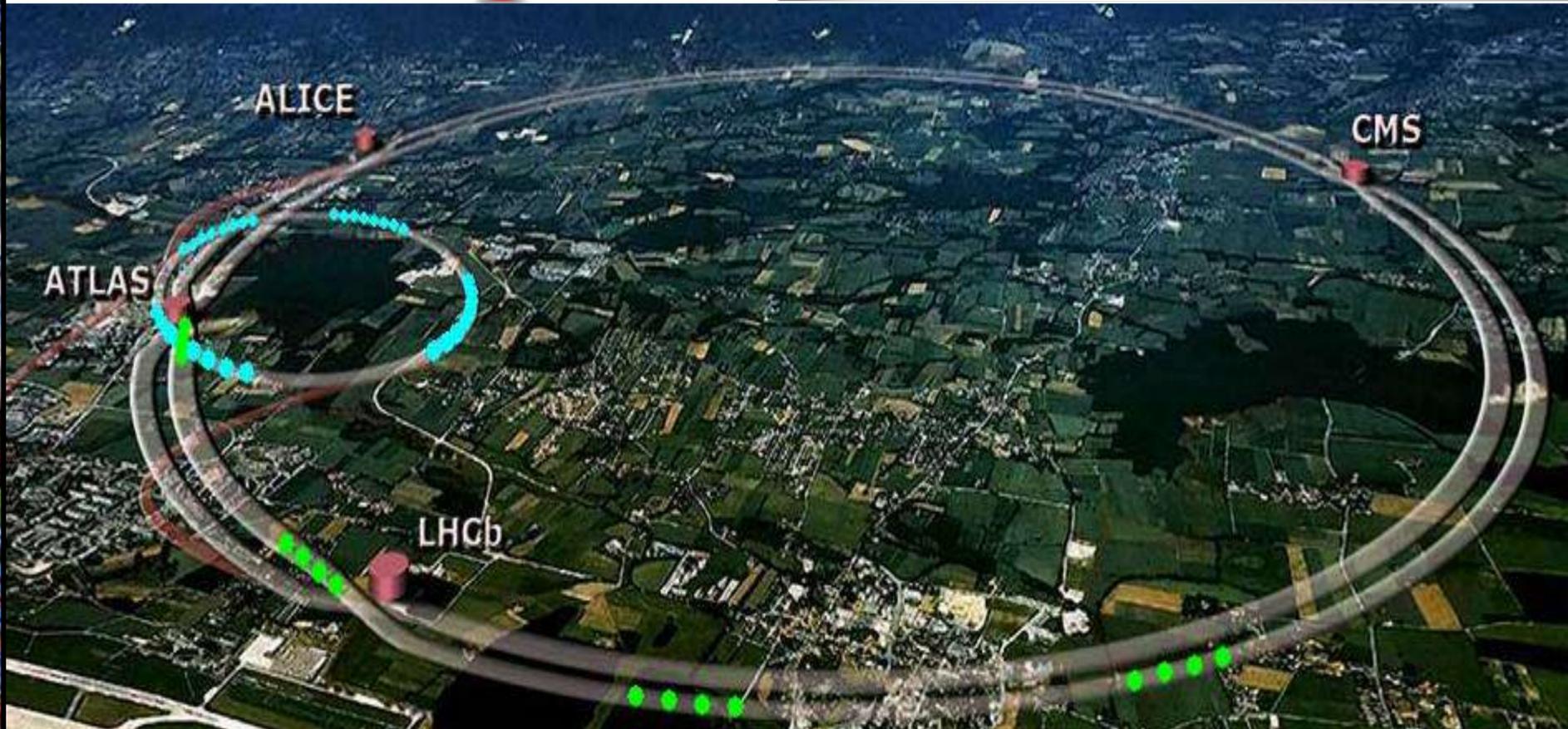
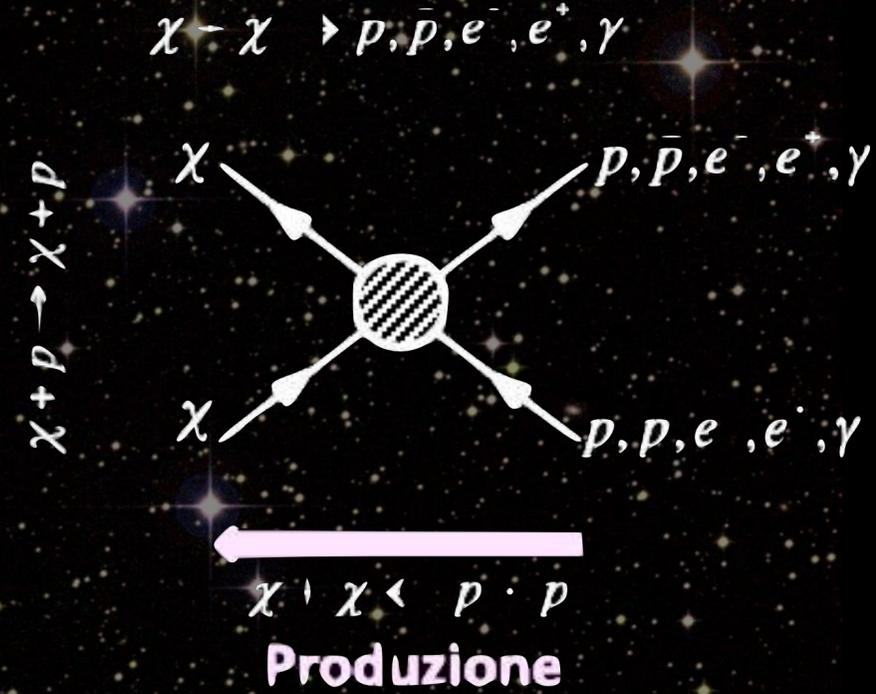
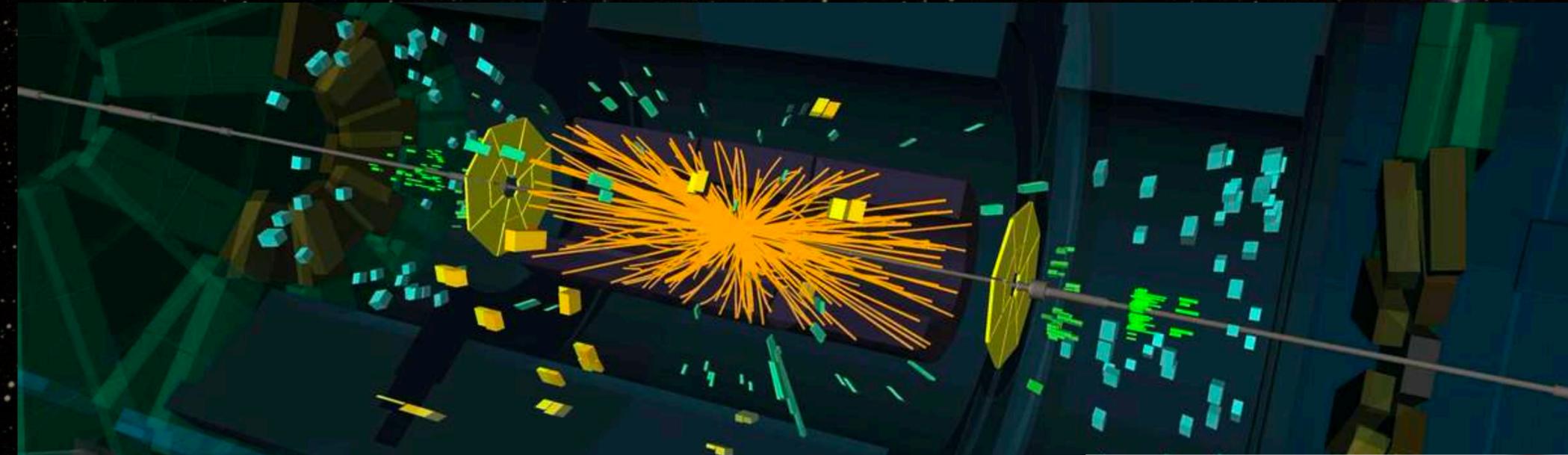


THE A, B AND C OF GRAN SASSO

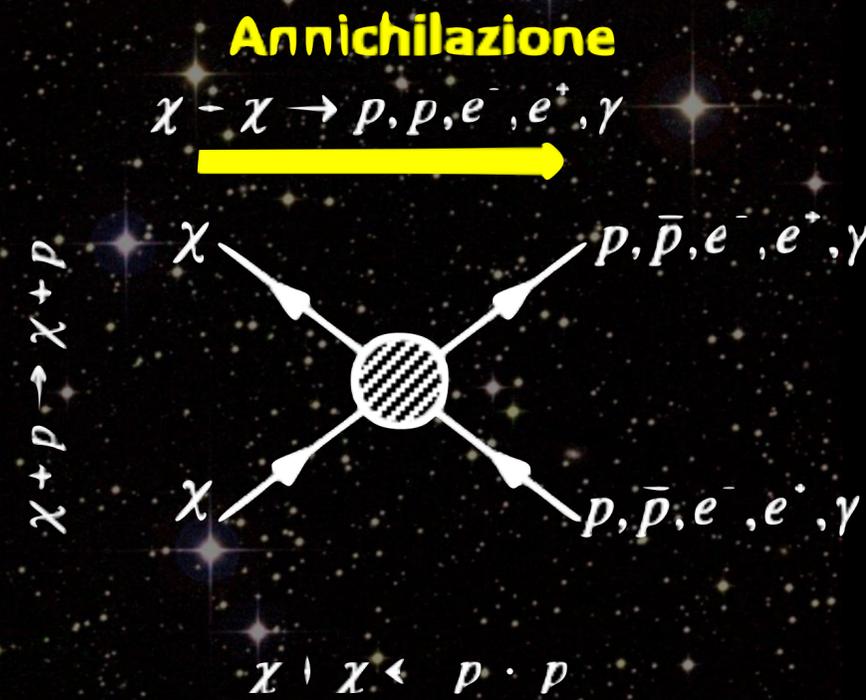
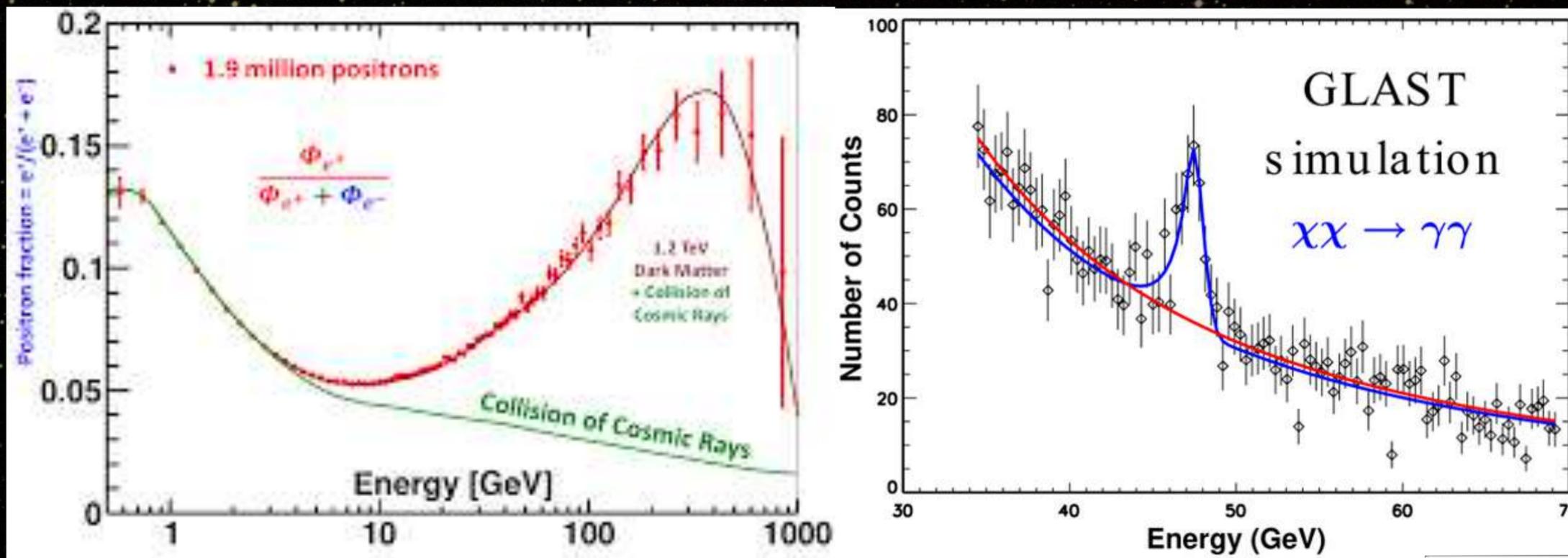
Experiments at the Gran Sasso National Laboratory are housed in and around three huge halls carved deep inside the mountain, where they are shielded from cosmic rays by 1,400 metres of rock.



Produzione



Rivelazione indiretta



dark matter particle

dark matter particle

Mass-Energy = Mc^2
 Motion-Energy = 0

Mass-Energy = Mc^2
 Motion-Energy = 0



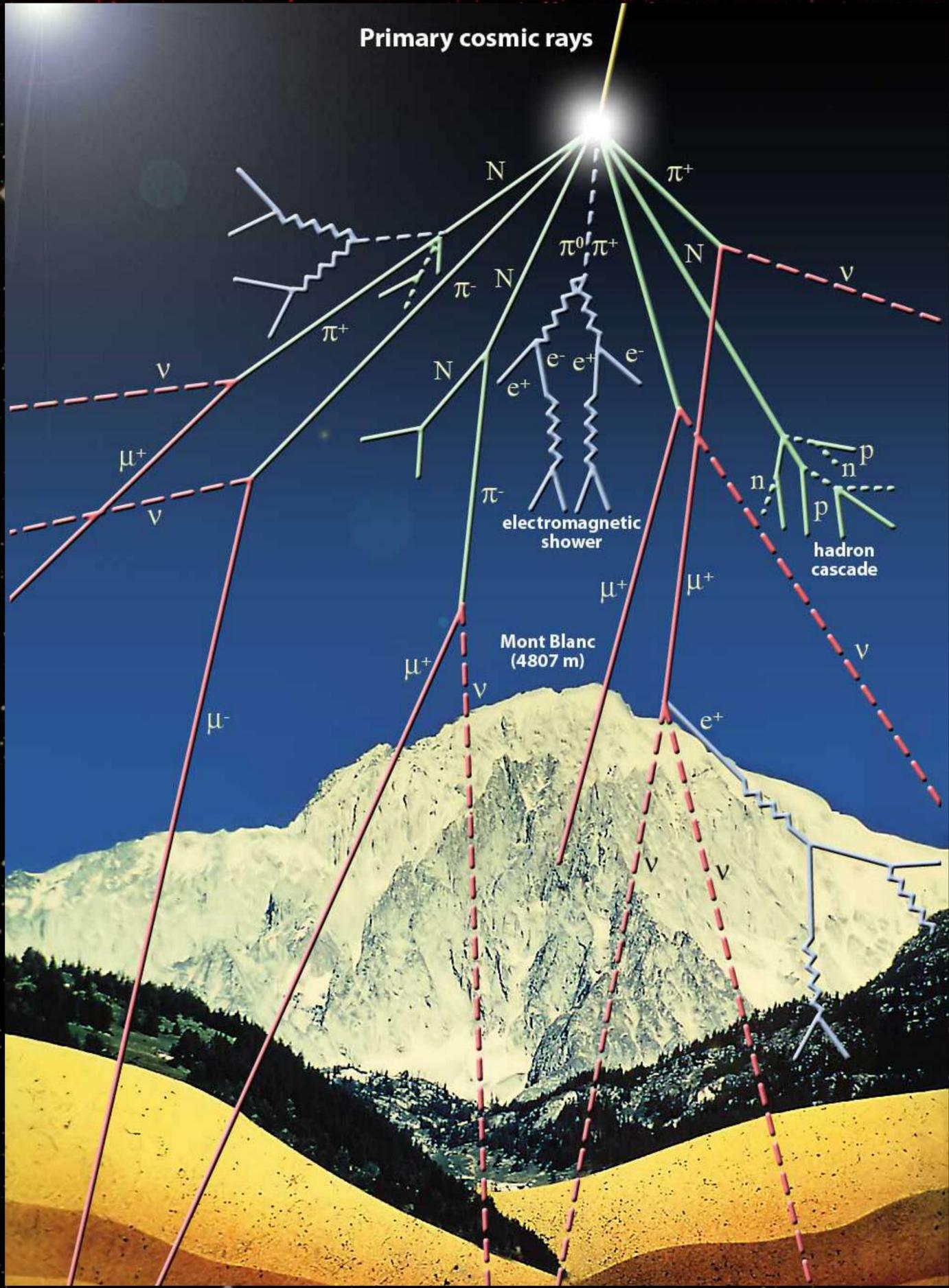
Mass-Energy = 0
 Motion-Energy = Mc^2

photon

photon

Mass-Energy = 0
 Motion-Energy = Mc^2

M. Strassler 2012



La maggior parte dei CR non raggiunge terra per via dell'interazione con l'atmosfera



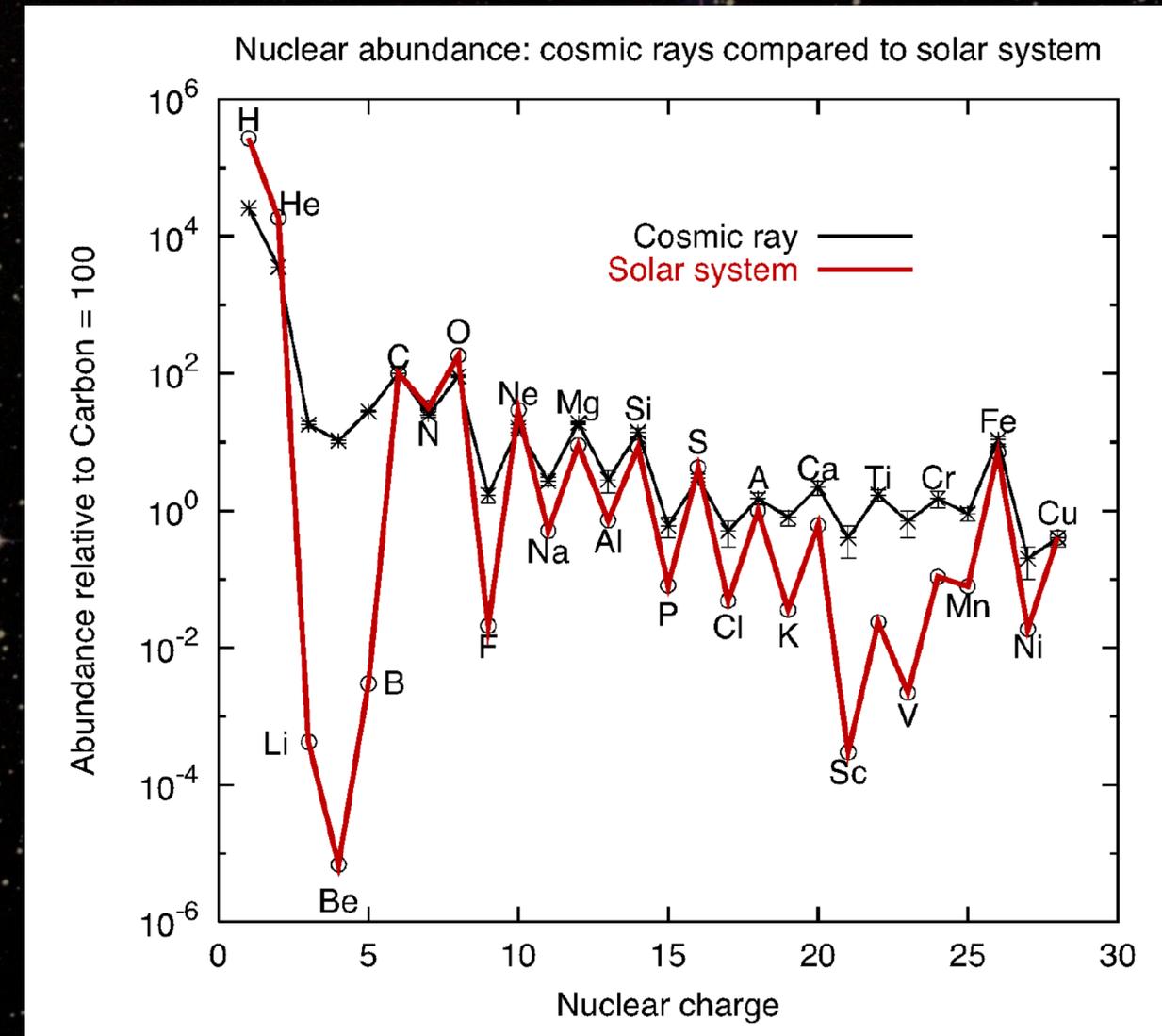
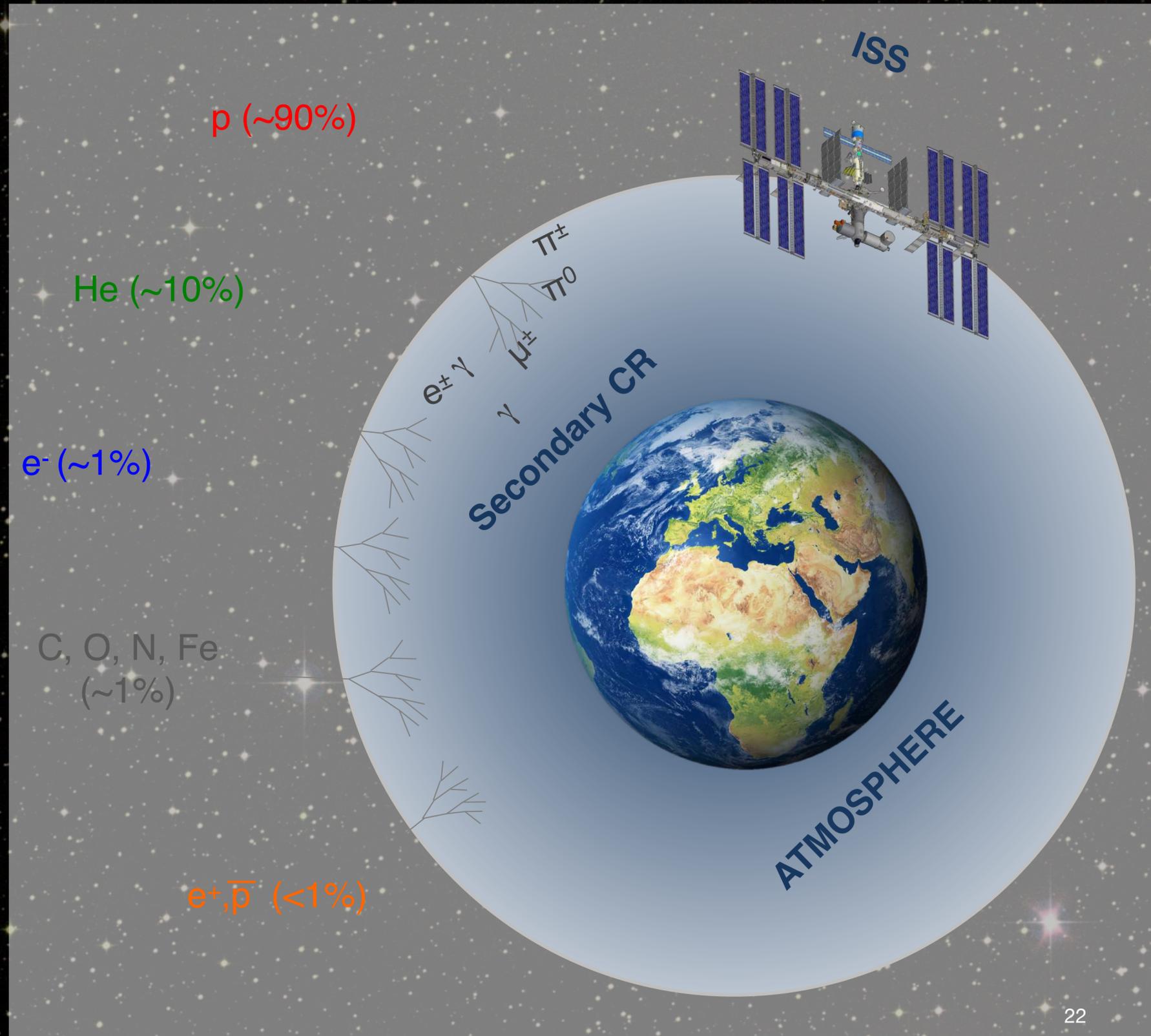
Andiamo sopra l'atmosfera (almeno sopra la troposfera, nella stratosfera, raggiungibile anche via pallone)!



Fisica delle Particelle nello spazio!

Composizione dei raggi cosmici

- **Protoni ~90%**
- **nuclei di He ~10 %**
- **~1% nuclei pesanti (principalmente C e O)**
- **~1% elettroni**
- **< 1% raggi γ (fotoni di alta energia), neutrini**
- **anti-p e e^+**

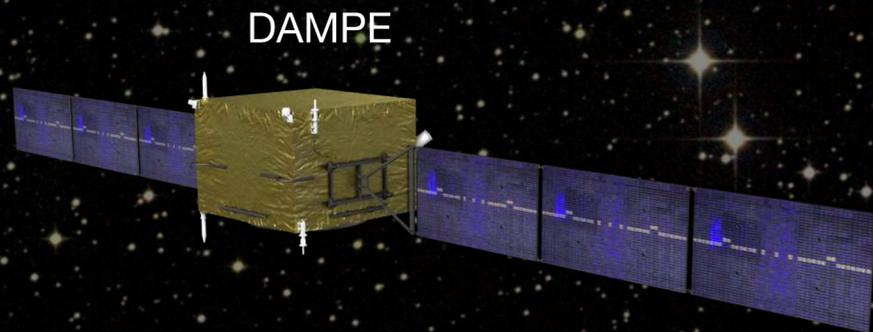


Missioni nello spazio



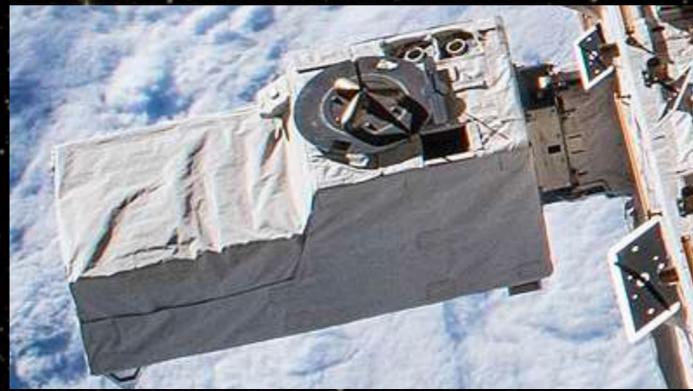
FERMI

AMS-02

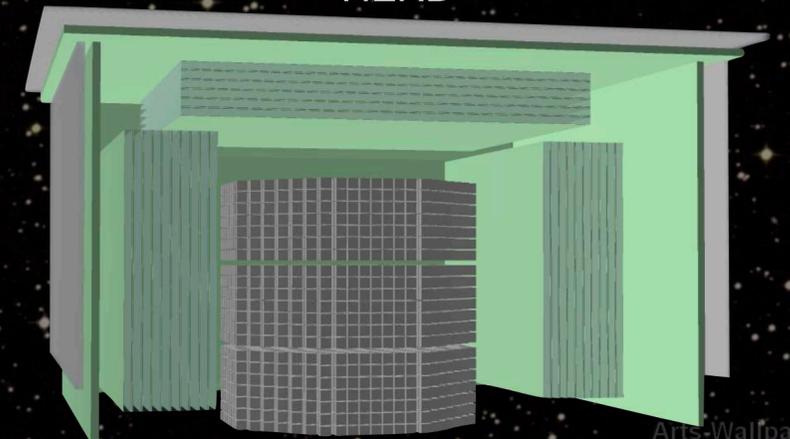


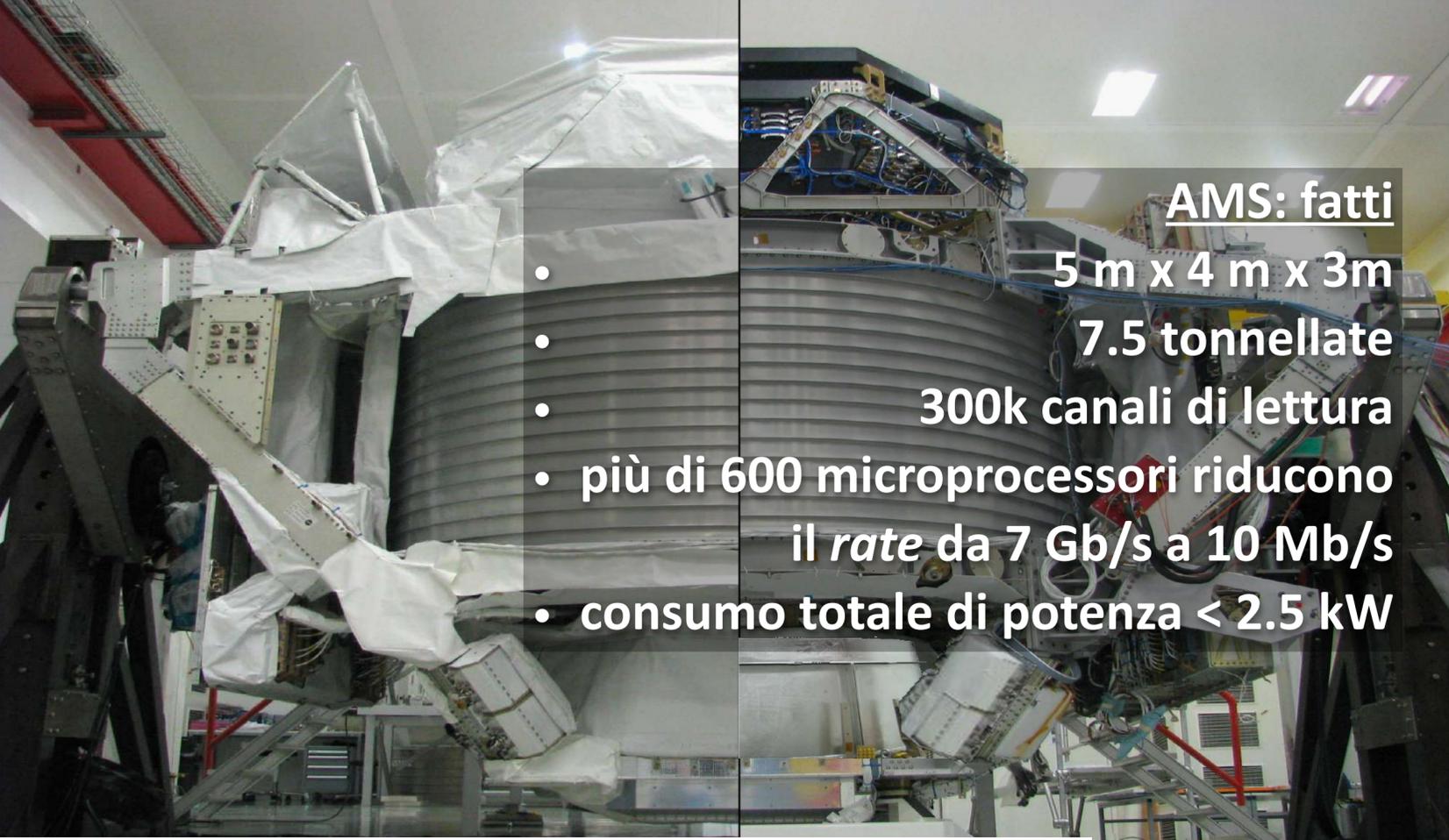
DAMPE

CALET



HERD

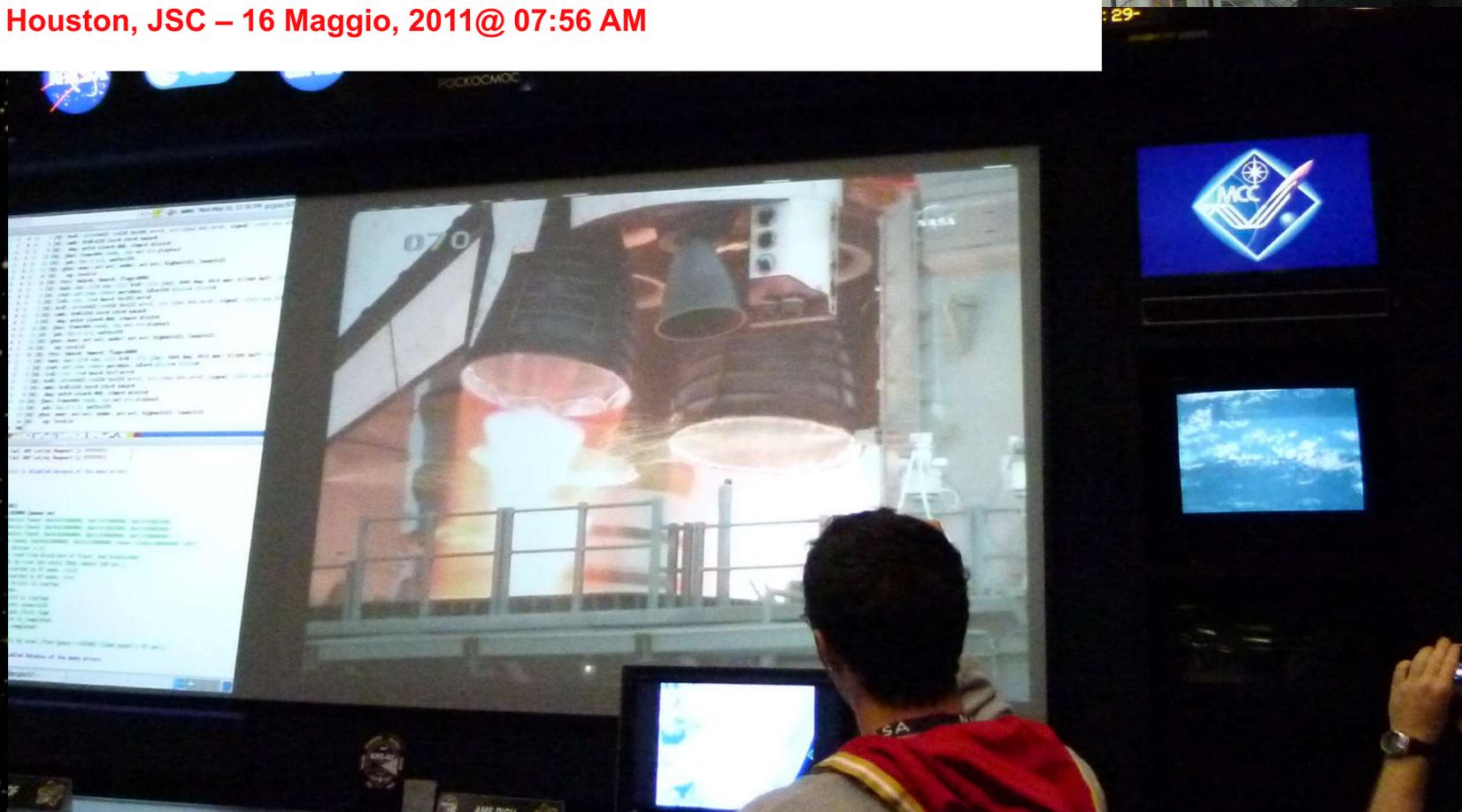




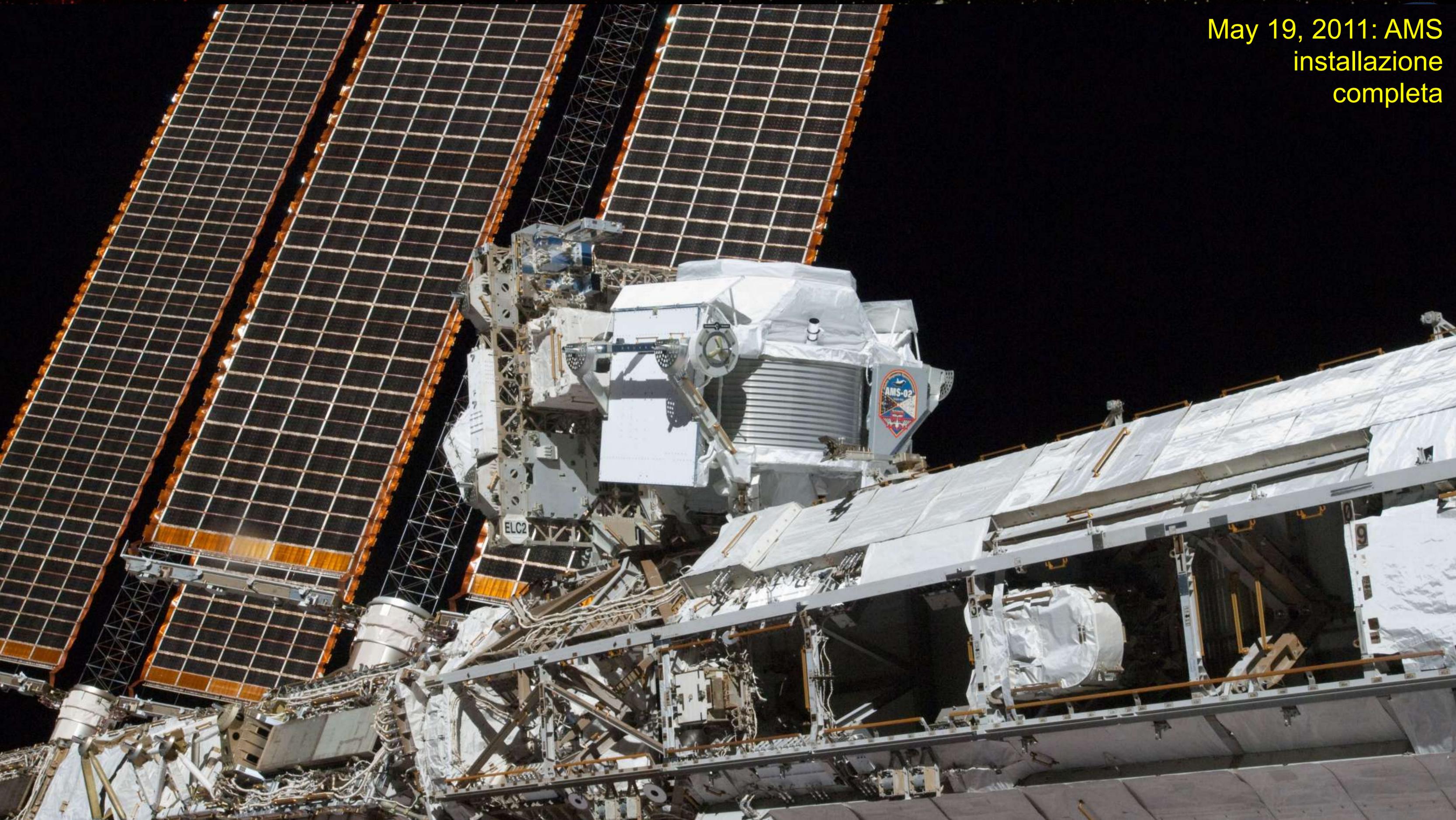
- AMS: fatti
- 5 m x 4 m x 3m
 - 7.5 tonnellate
 - 300k canali di lettura
 - più di 600 microprocessori riducono il *rate* da 7 Gb/s a 10 Mb/s
 - consumo totale di potenza < 2.5 kW



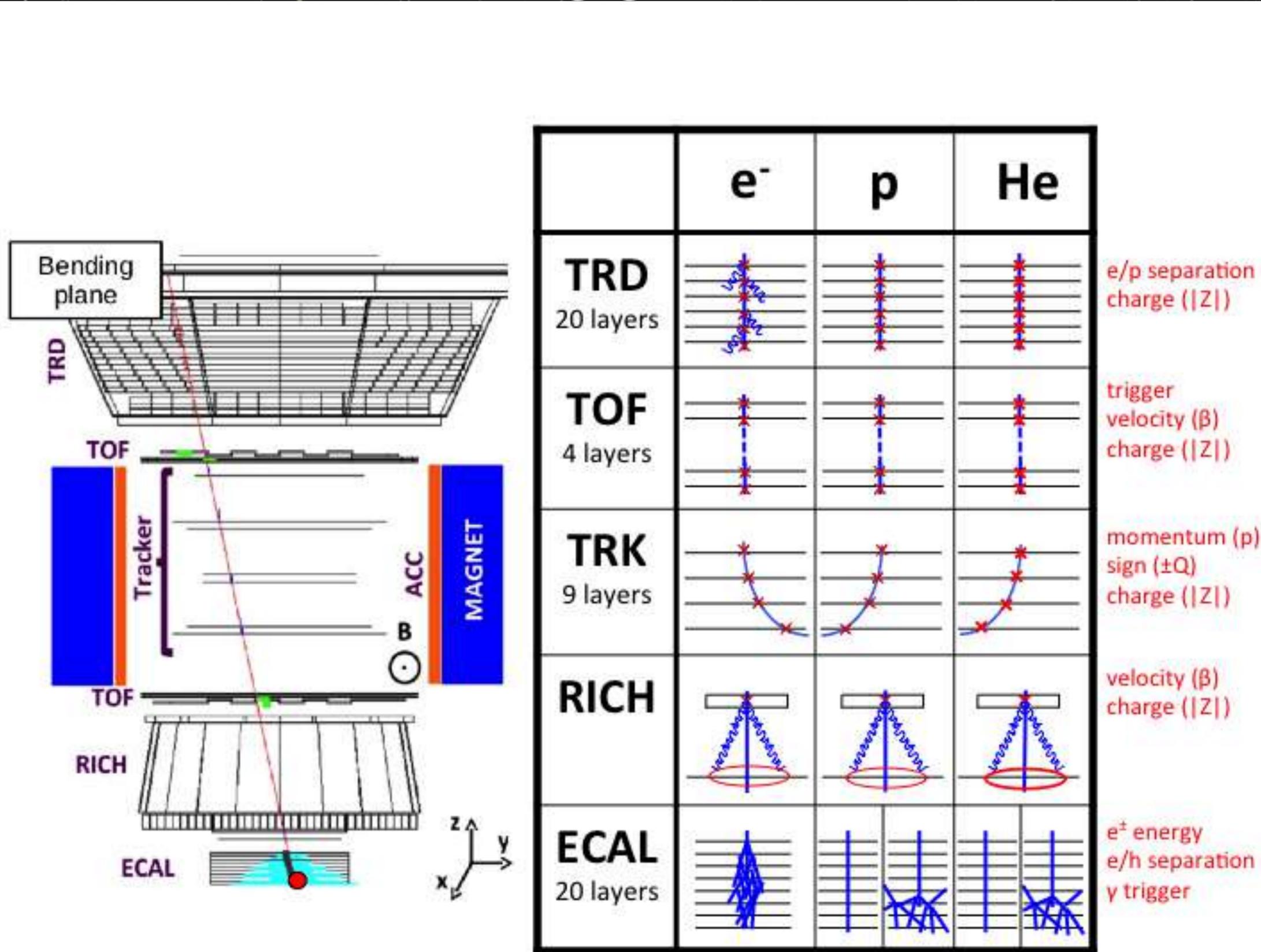
Houston, JSC – 16 Maggio, 2011@ 07:56 AM



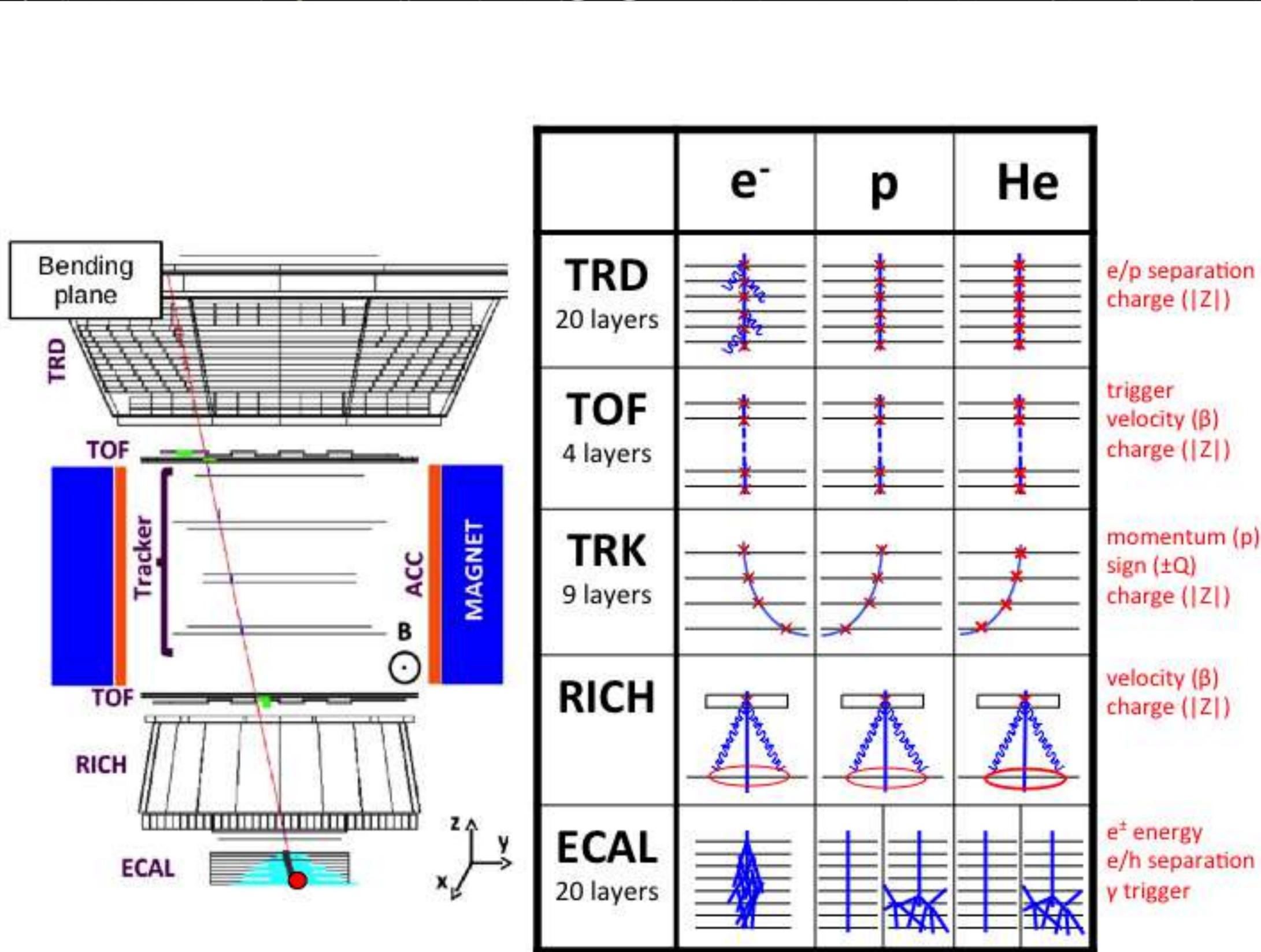
May 19, 2011: AMS
installazione
completa



Come si misura un raggio cosmico?



Come si misura un raggio cosmico?



Lancio dello Shuttle

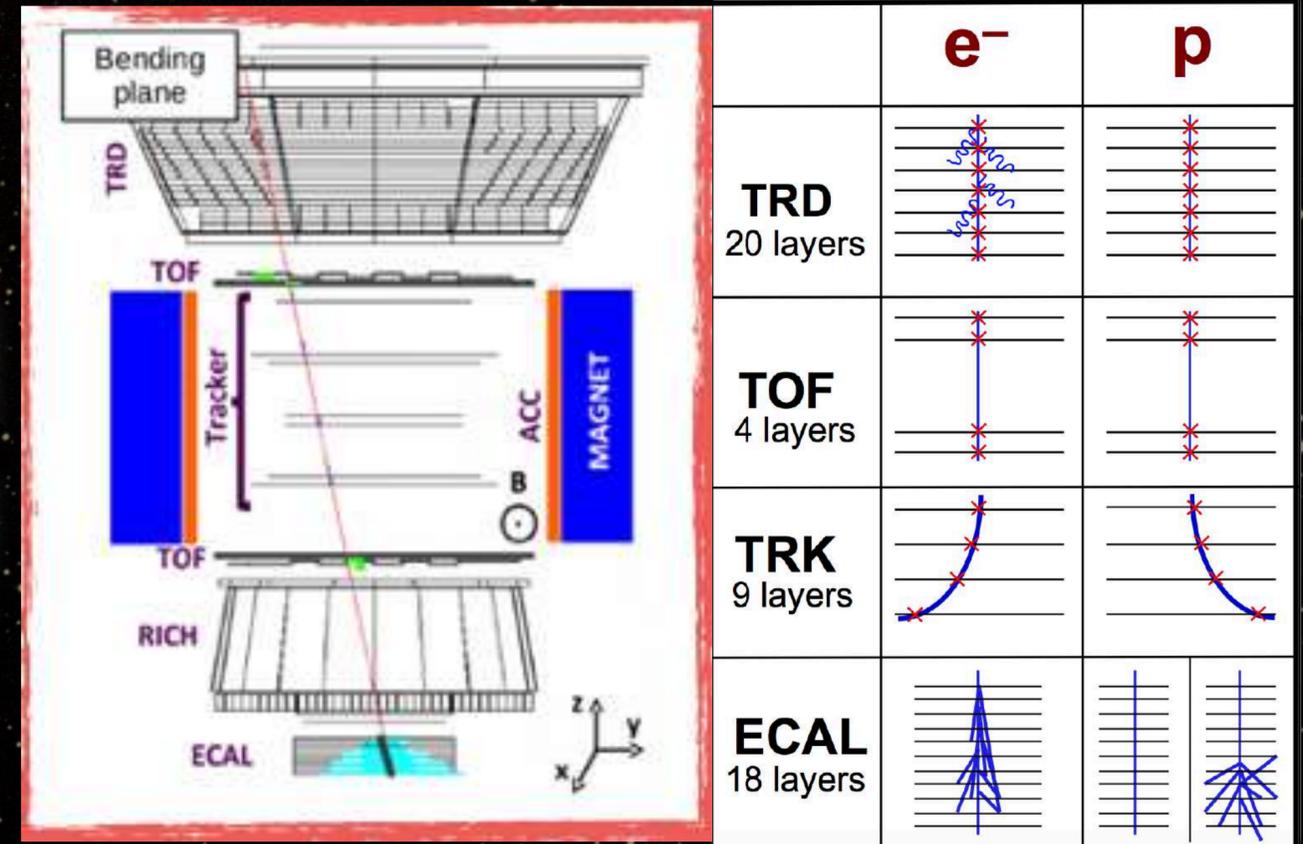
2011



AMS sulla ISS



99.99999% velocità

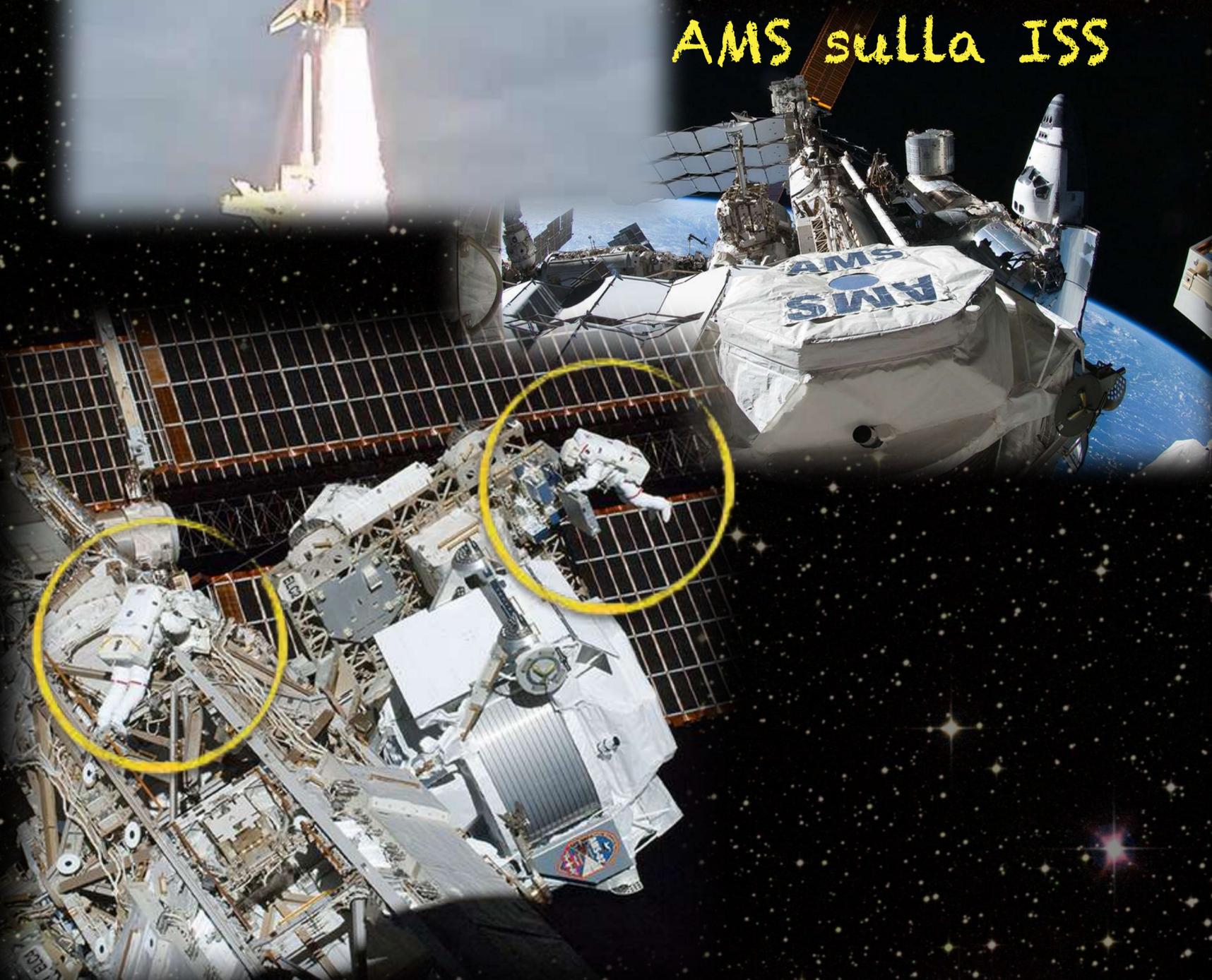


Lancio dello Shuttle

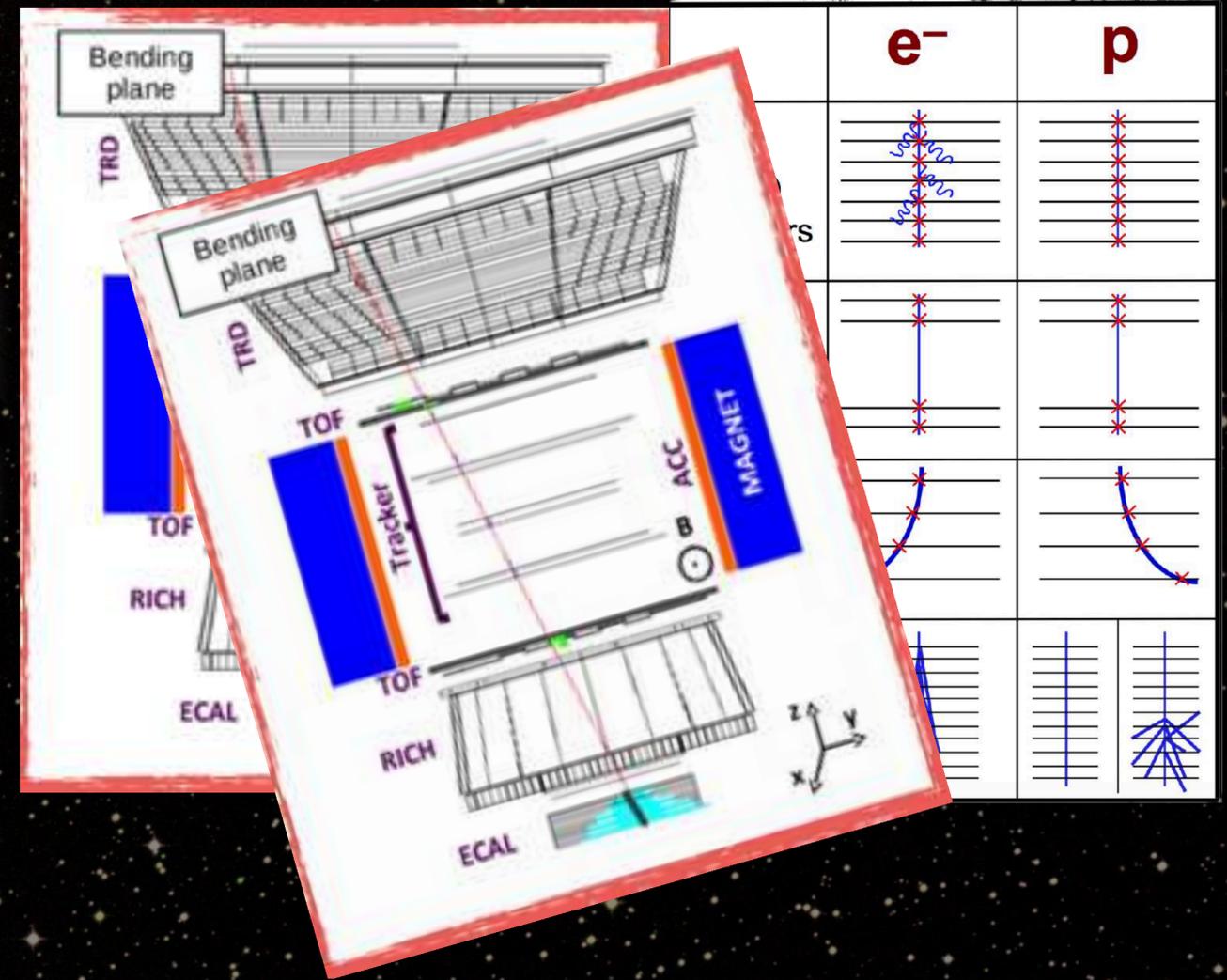
2011



AMS sulla ISS



99.99999% velocità

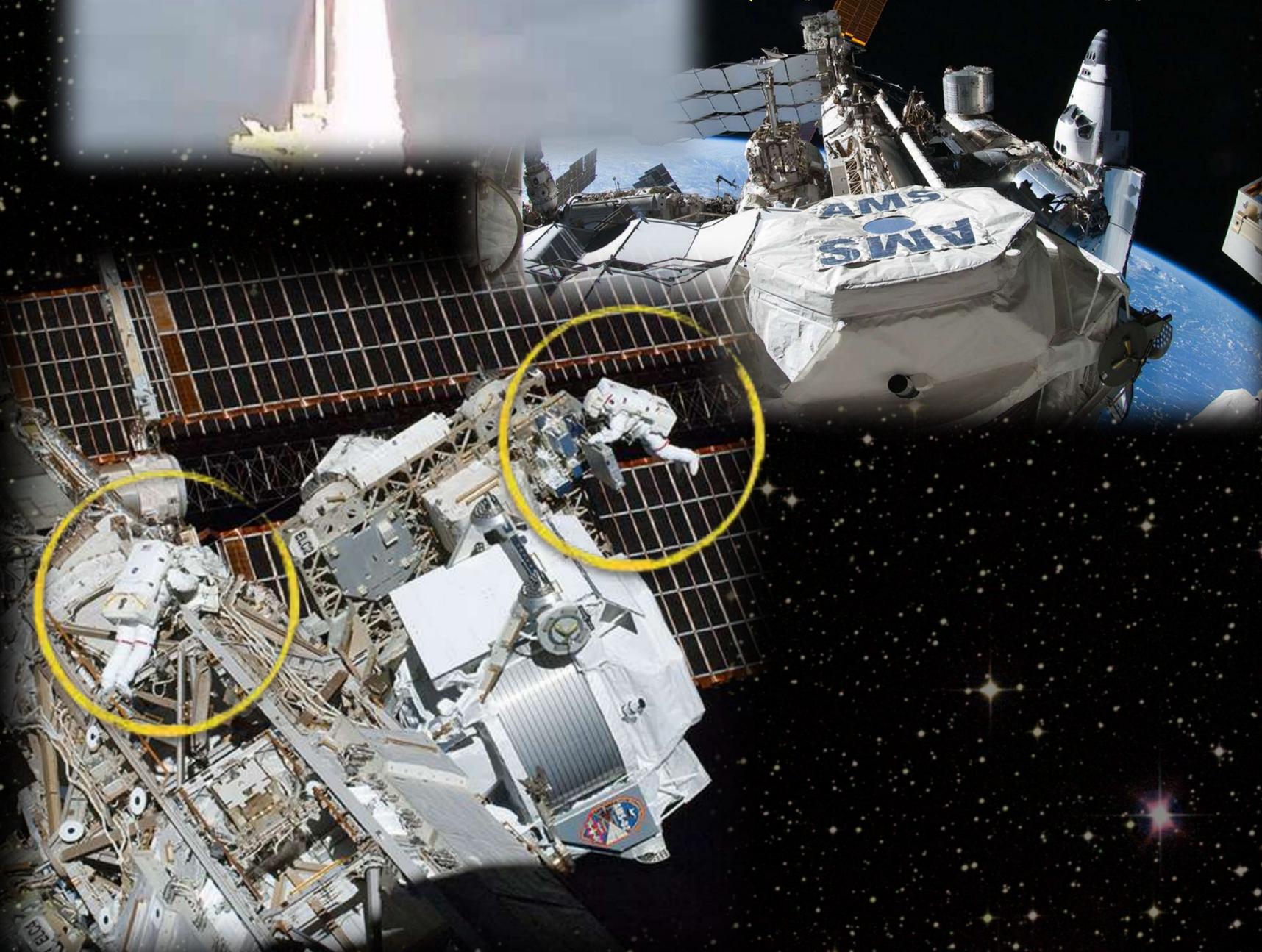


Lancio dello Shuttle

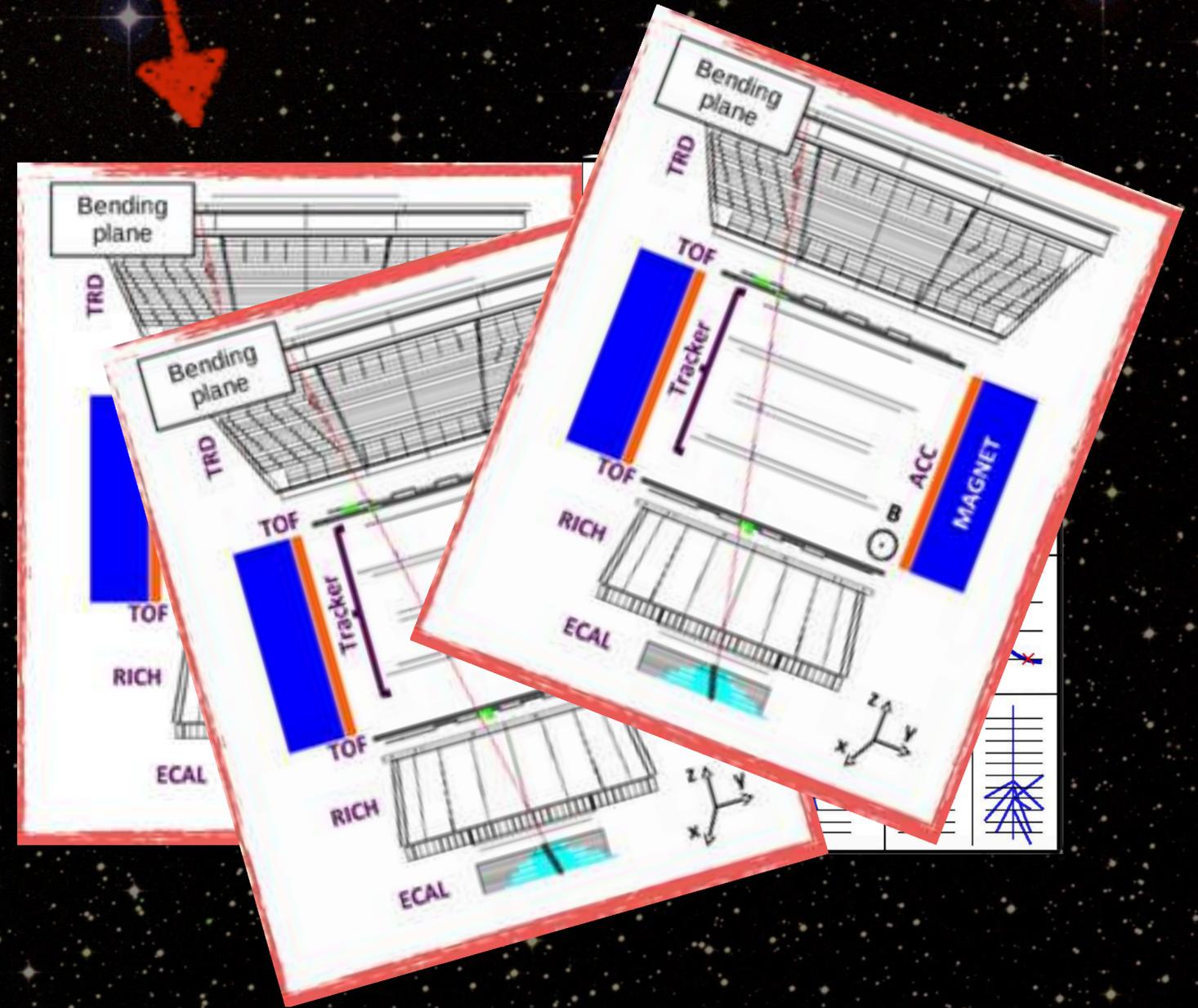
2011



AMS sulla ISS



99.99999% velocità

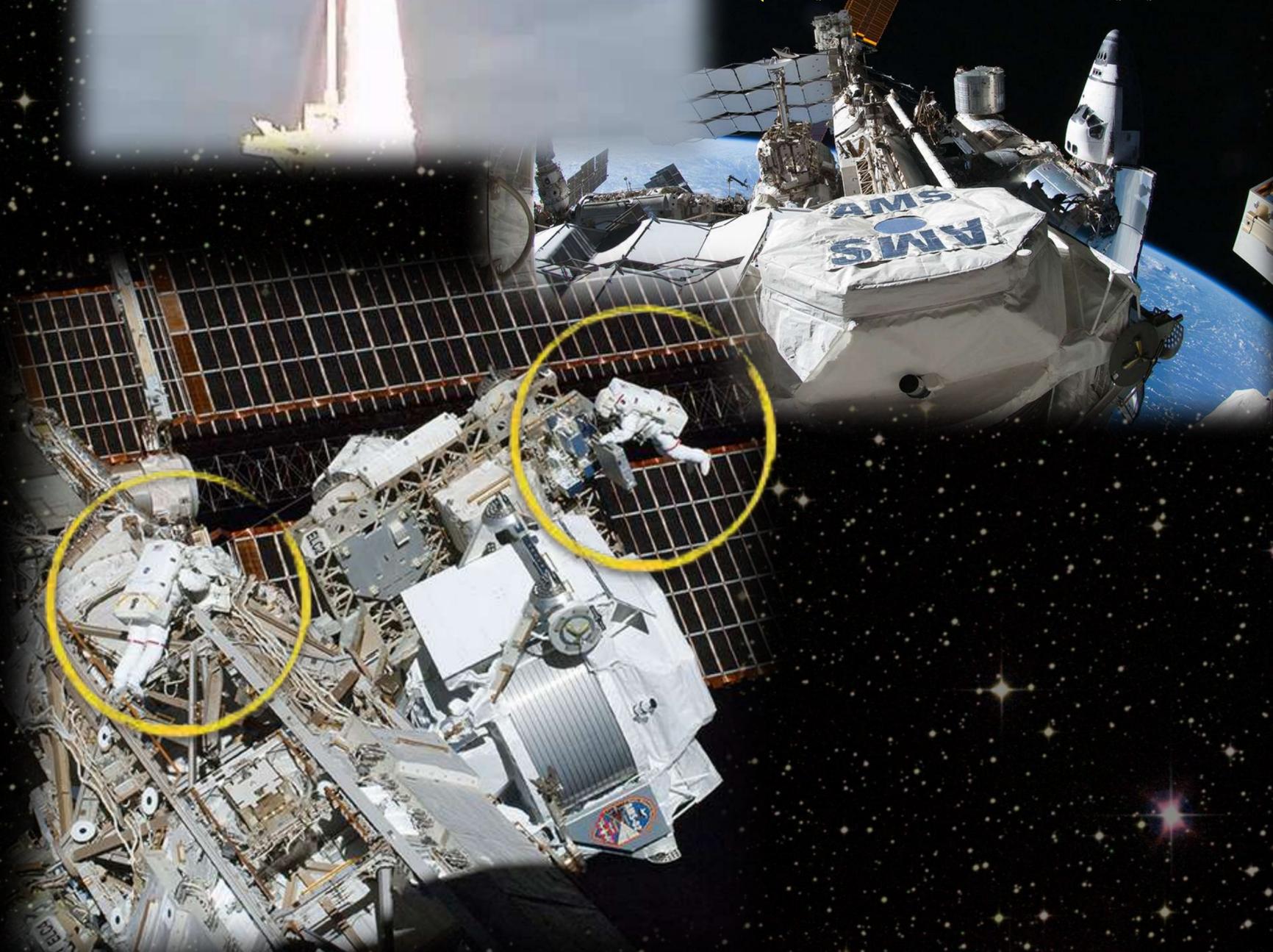


Lancio dello Shuttle

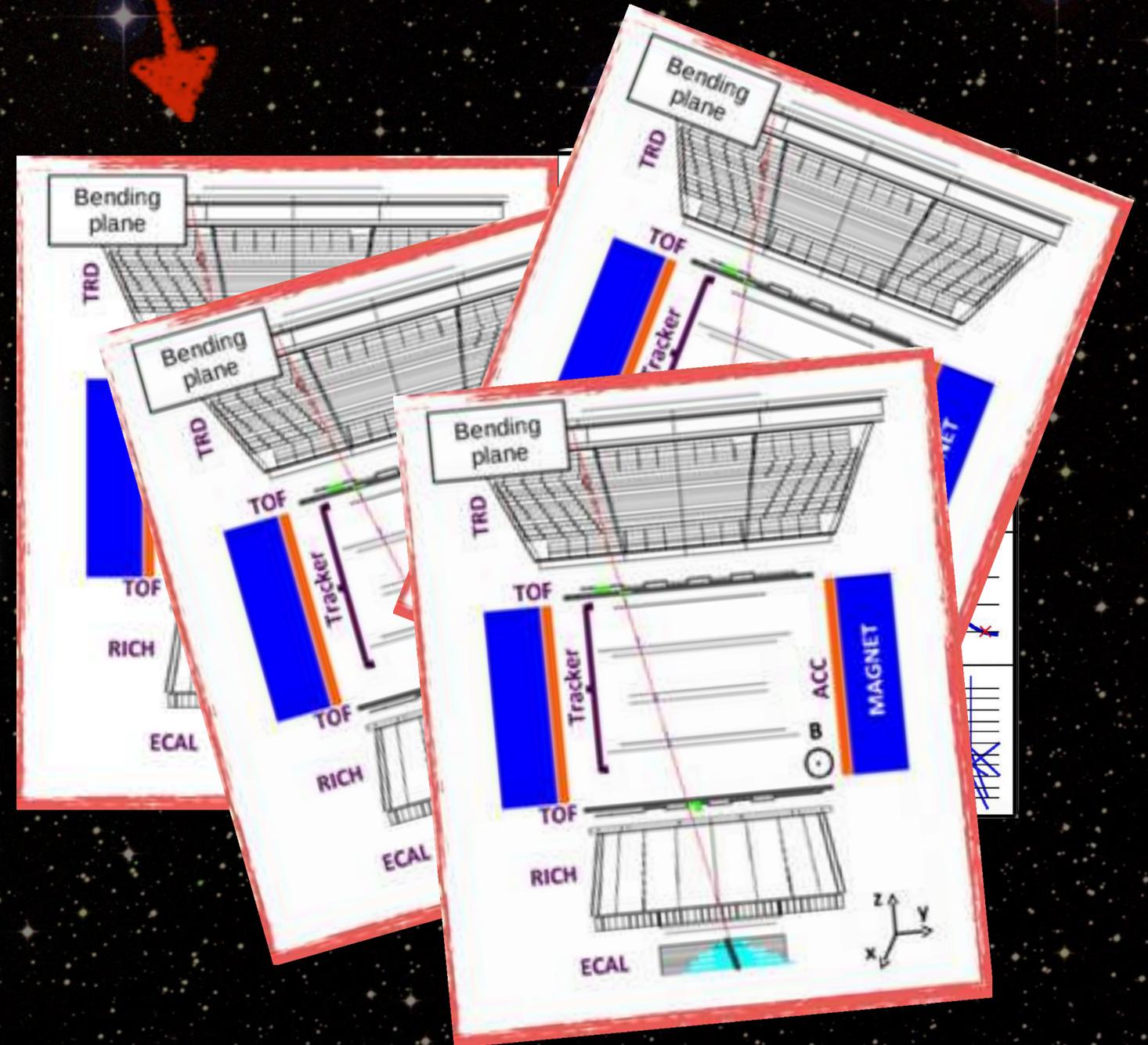
2011



AMS sulla ISS



99.99999% velocità



Lancio dello Shuttle

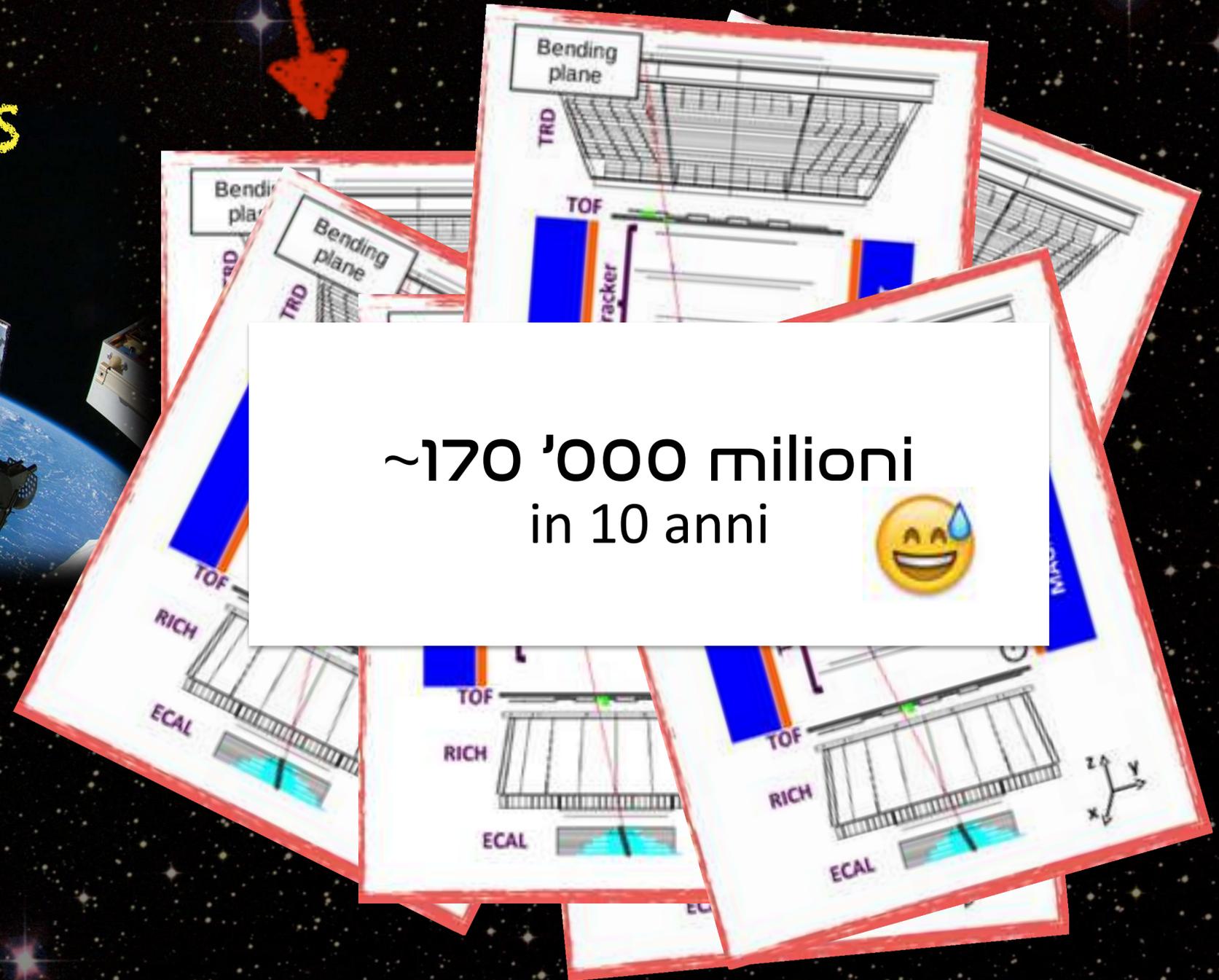
2011



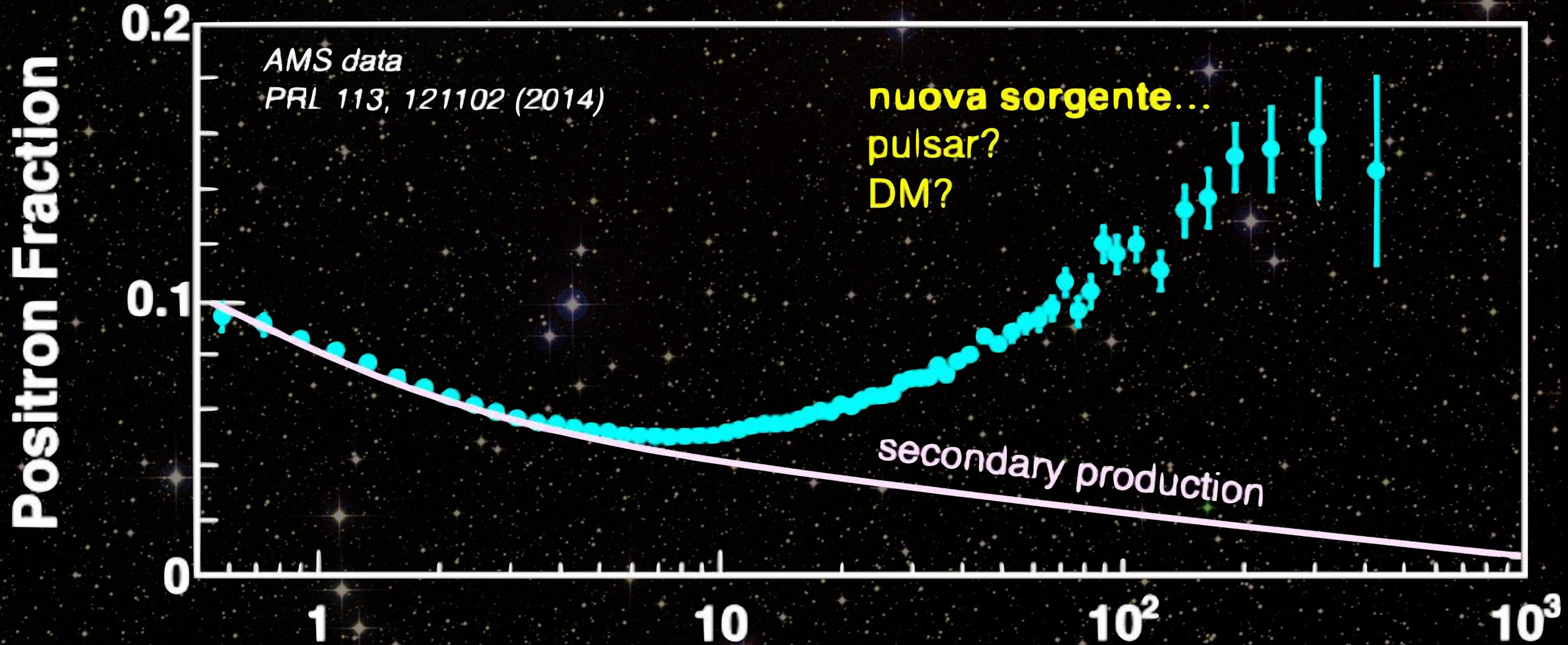
AMS sulla ISS



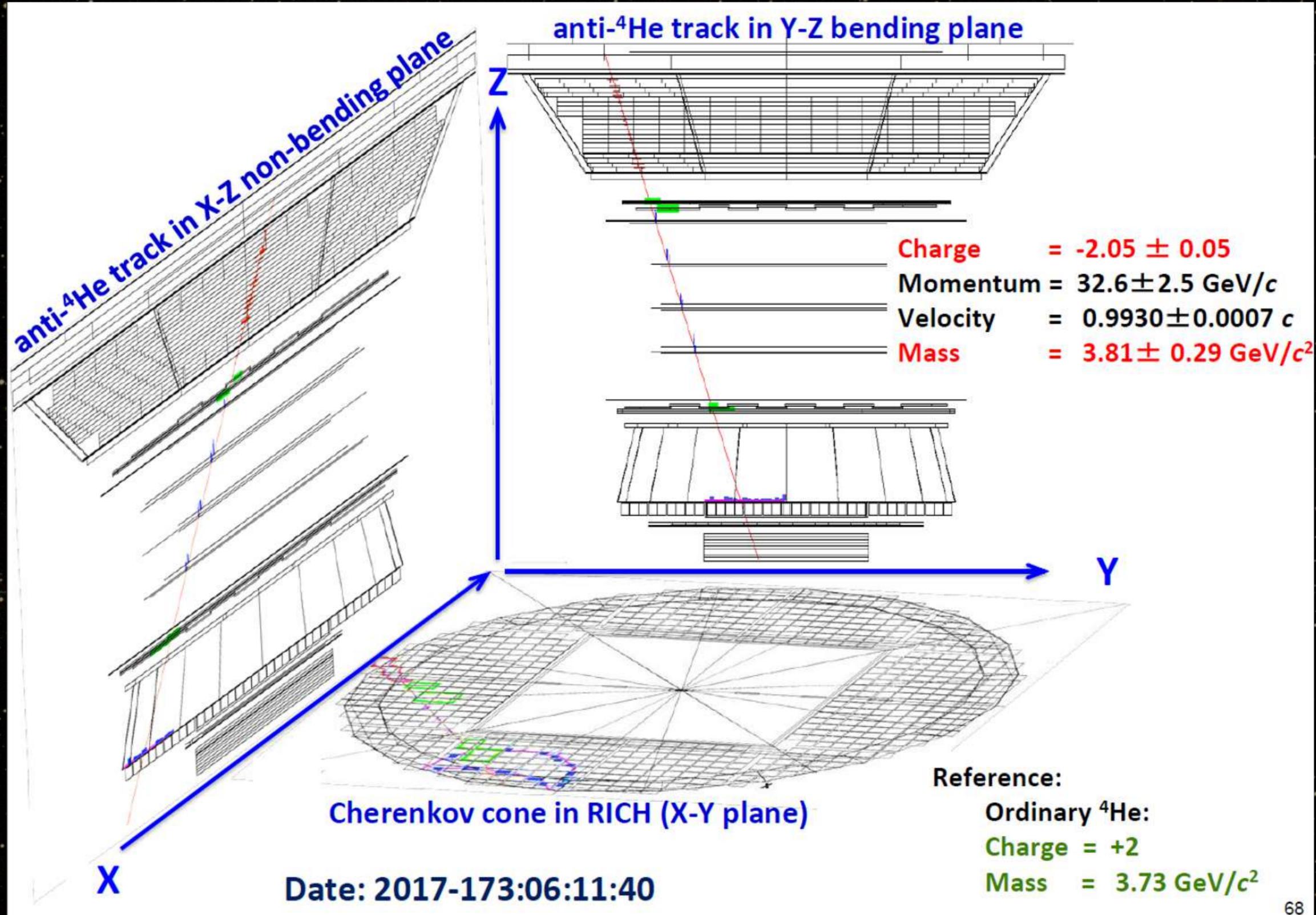
99.99999% velocità



Alcune sorprese



Alcune sorprese



Approfondimenti

In realta' questa e' solo la punta dell'iceberg!

Link utili:

- [AMS-02](#), [FERMI](#)
- [CRISP](#), [ICD \(International cosmic day\)](#)
- Per qualsiasi curiosita' o domanda potete scrivermi all'indirizzo valerio.formato@roma2.infn.it

