

# Tracce dall'Universo Oscuro

Massimo Pietroni  
INFN-Padova

Frascati, 18 ottobre 2012

# L'Universo Visibile

# Padova, 1609



“Quanti e quali siano i vantaggi di un simile strumento, tanto per le osservazioni di terra che di mare, sarebbe del tutto superfluo dire...”



“... ma lasciate le terrestri, mi volsi alle speculazioni del cielo”

# Mt. Wilson, Usa, 1924-1929

■ esistono altre galassie oltre alla Via Lattea

■ le galassie si allontanano le une dalle altre



A. Einstein E. Hubble W. Adams

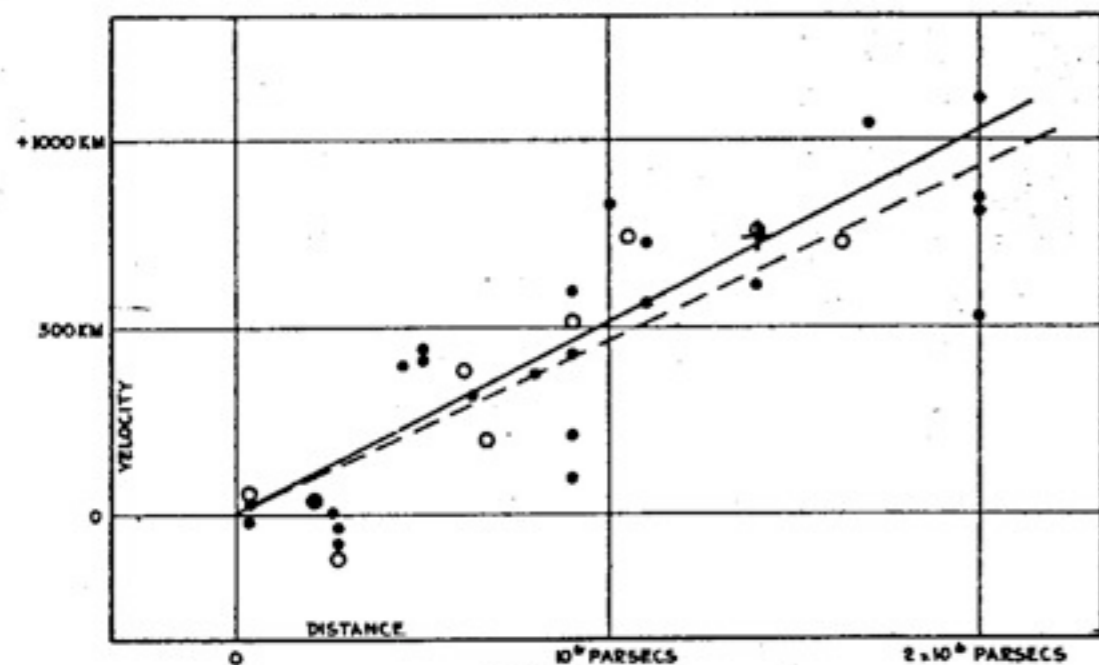
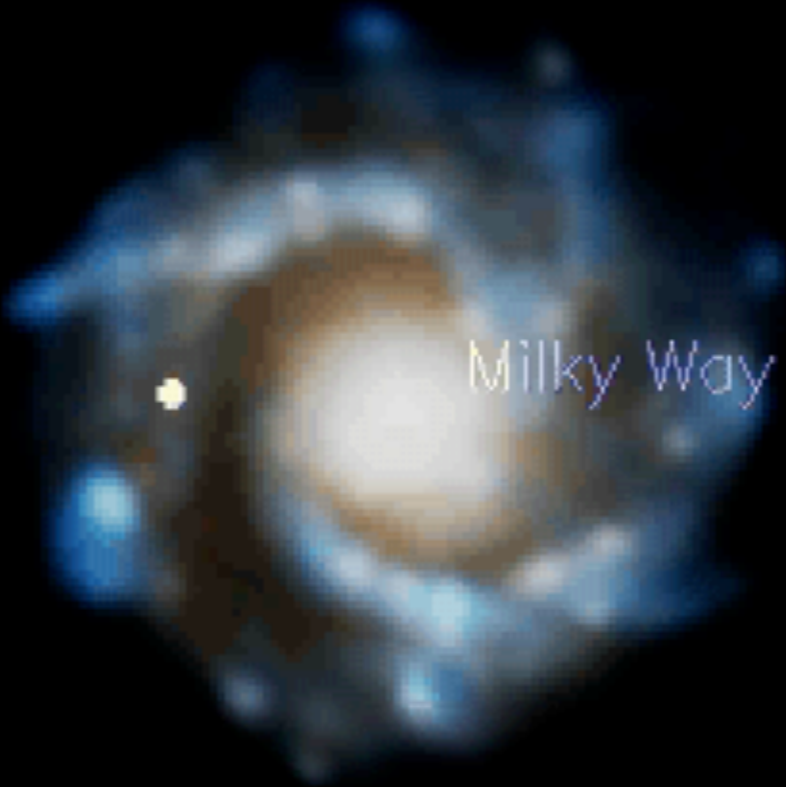


FIGURE 1



Milky Way



LMC

google: “SDSS Movie”

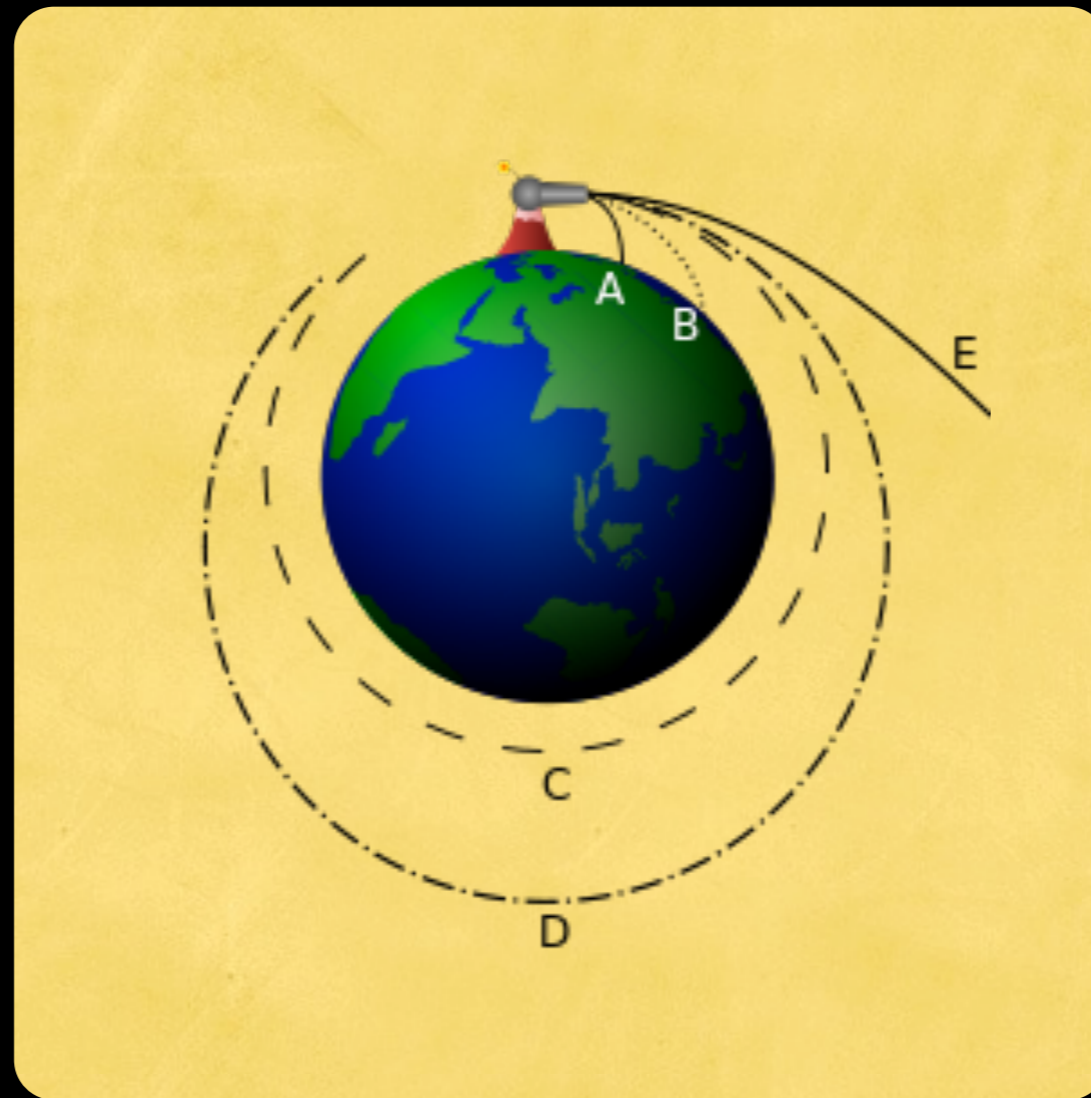
<http://astro.uchicago.edu/cosmus/projects/sloanmovie/>

# Le prime tracce



# Velocità contro Gravità

$$\frac{v^2}{R} = G \frac{M}{R^2}$$



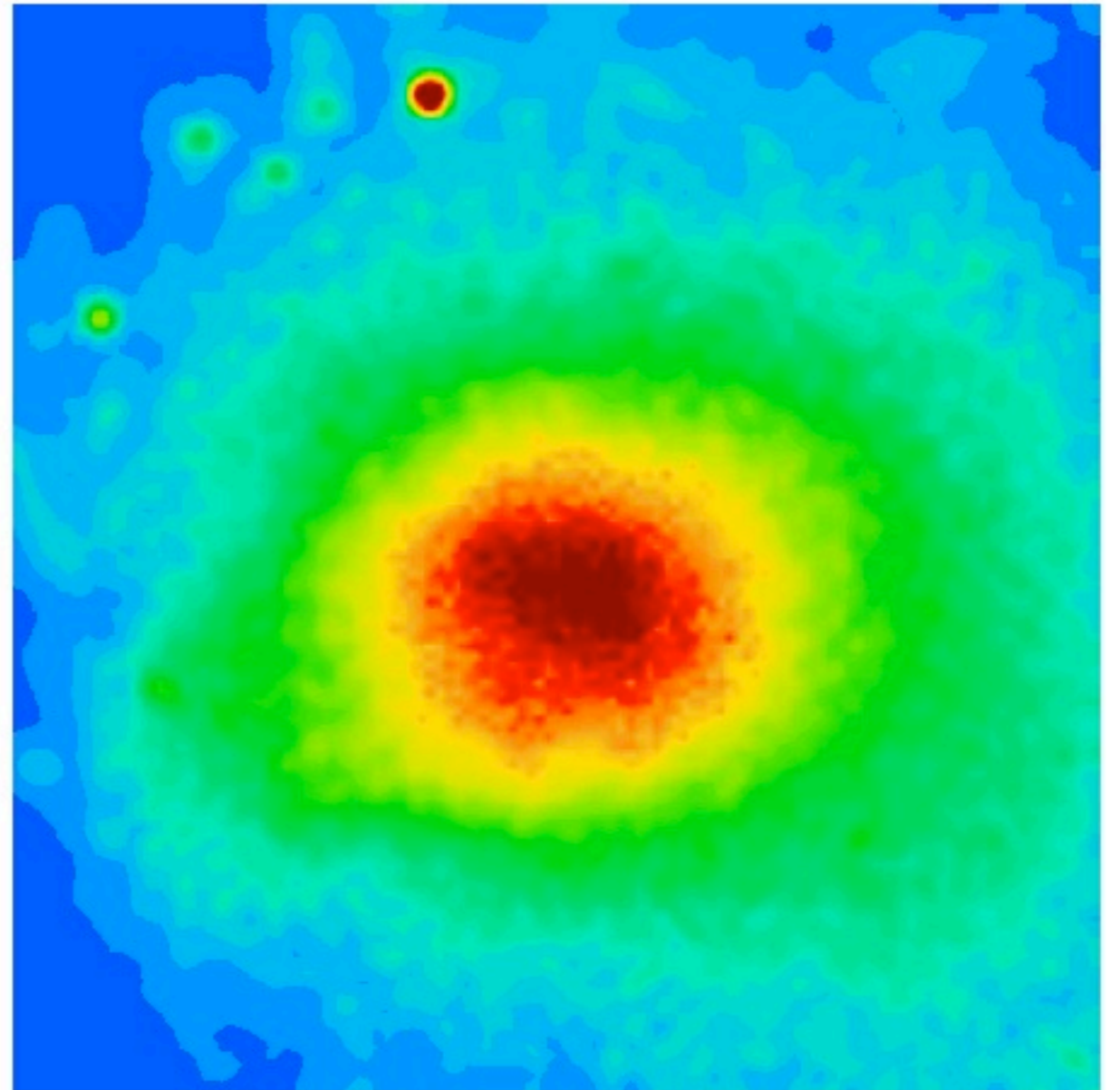
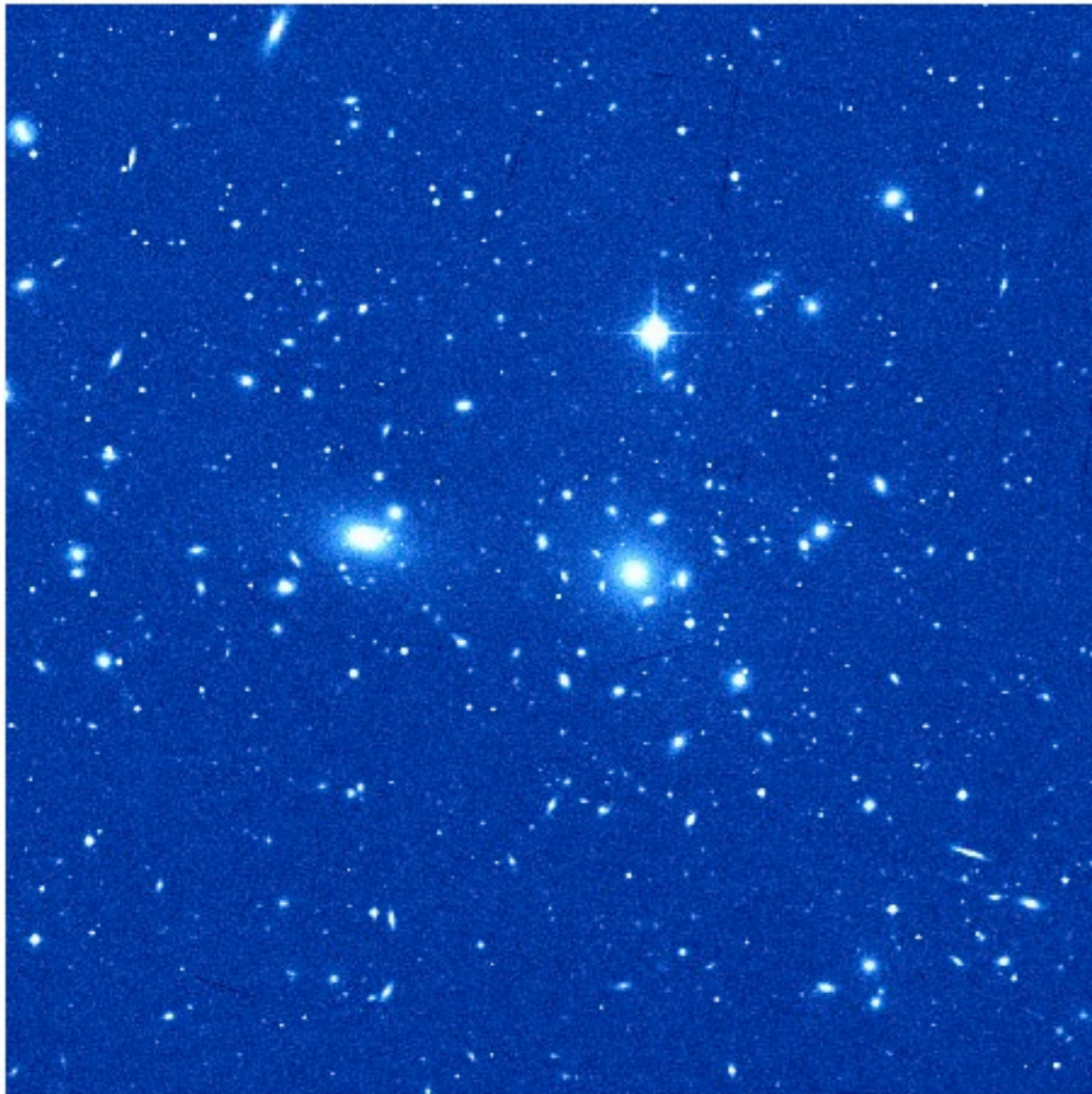
$$M = \frac{R v^2}{G}$$

# Una storia antica



Fritz Zwicky 1933

Ammasso di galassie della Chioma

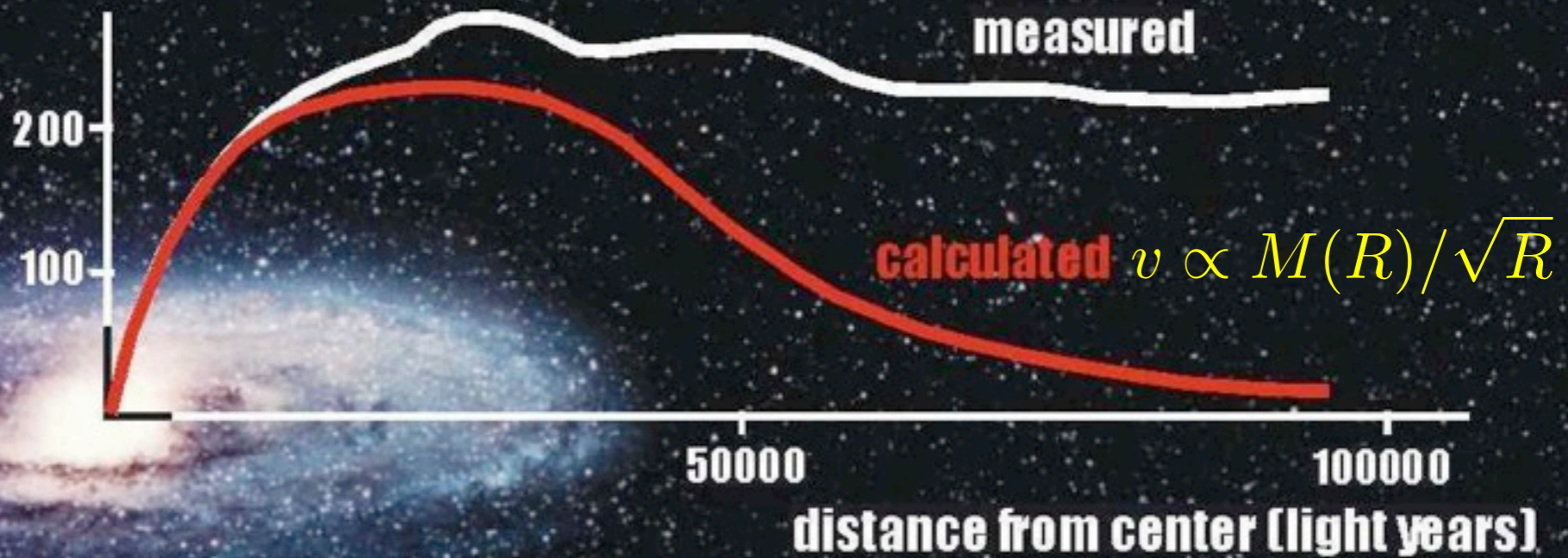




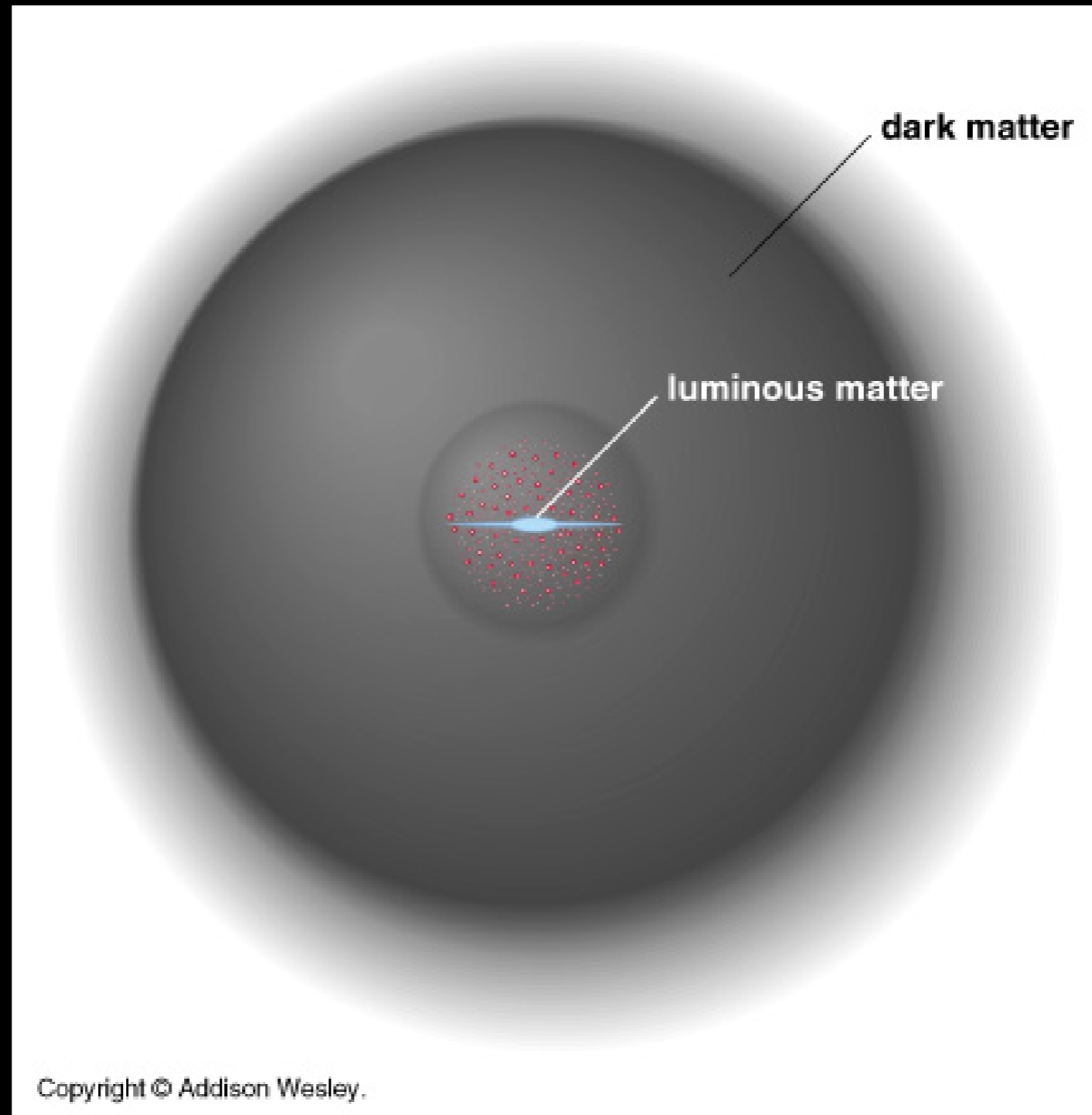
Vera Rubin ~ 1970



rotational velocity  
[km/s]

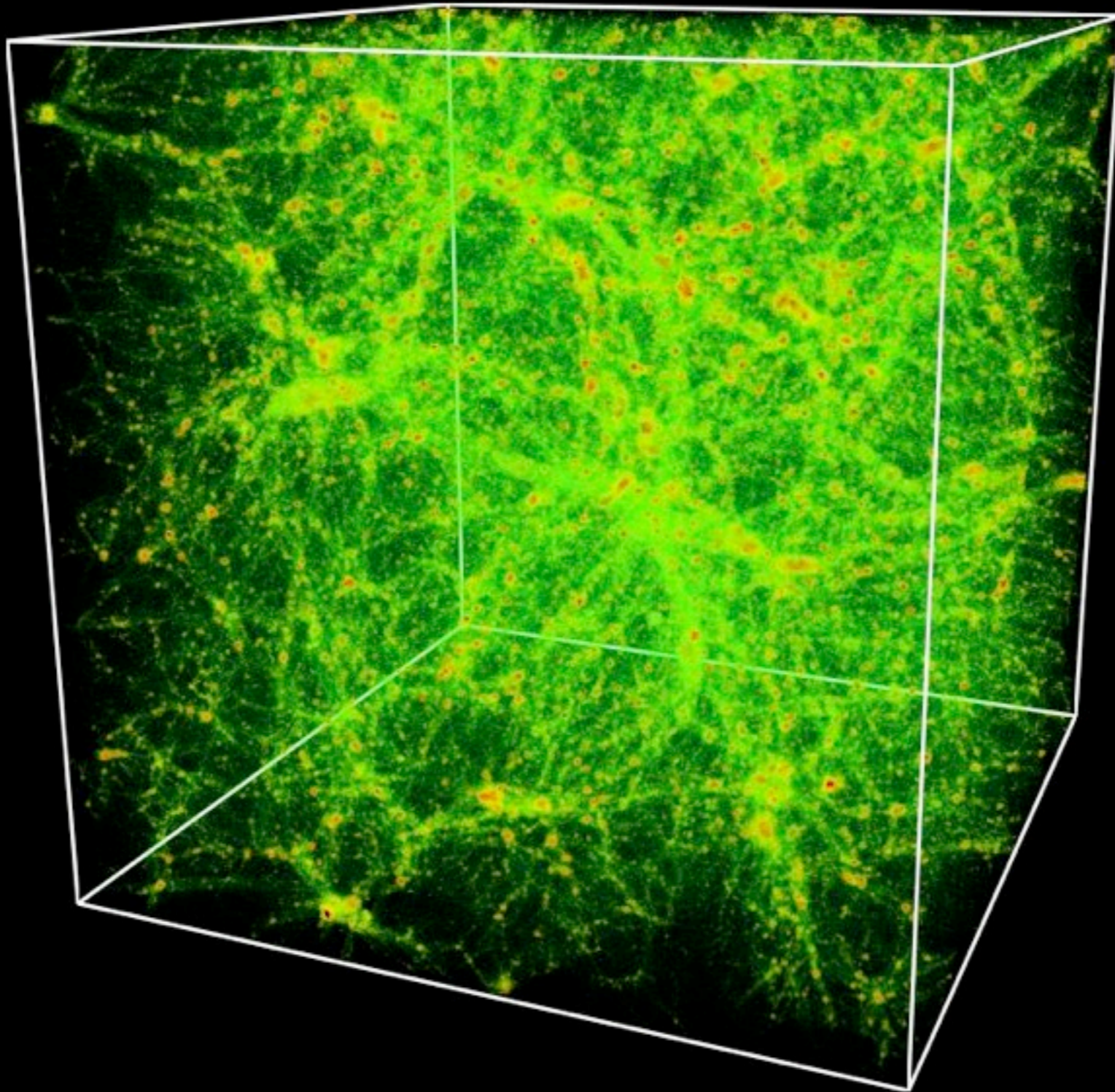


# Aloni di materia oscura



non solo attorno alle galassie...

La materia oscura è lo  
'scheletro' dell'Universo

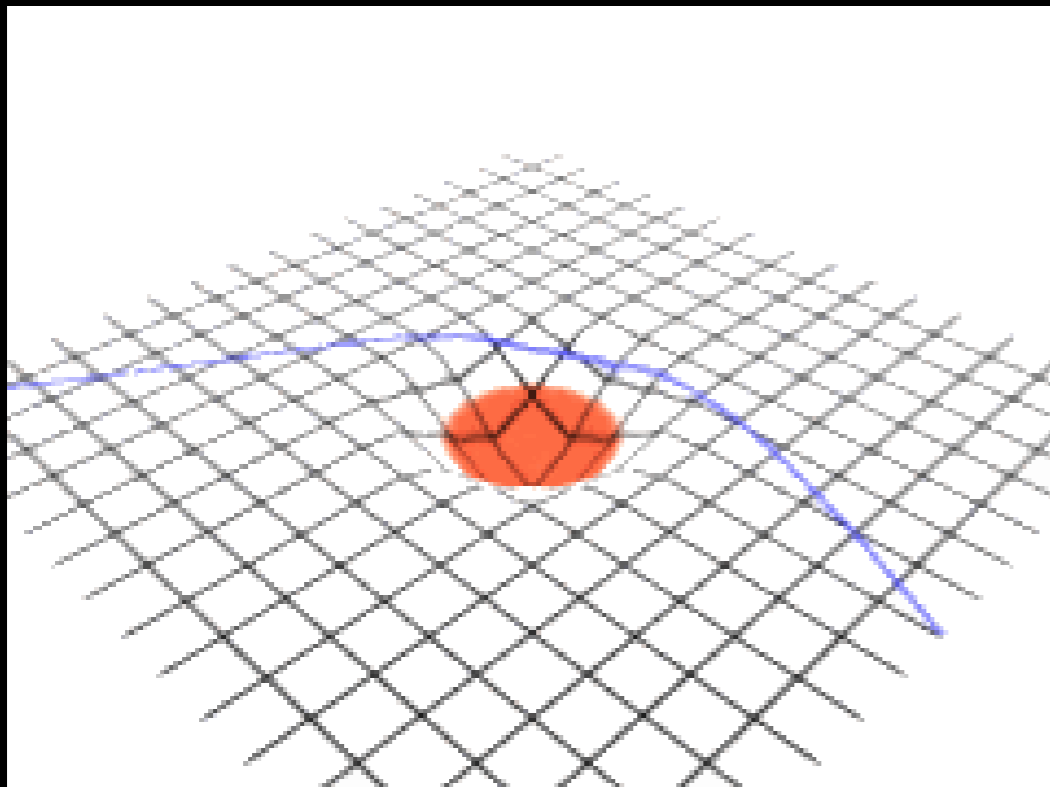
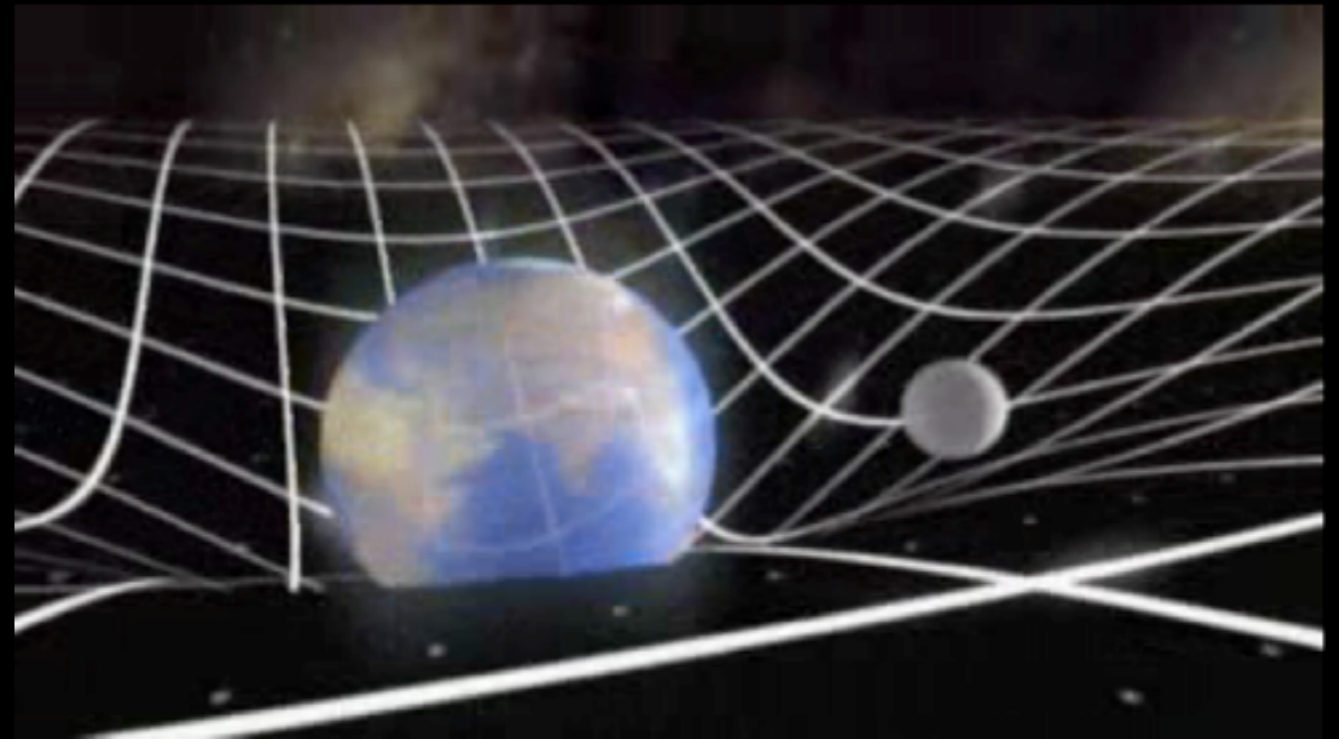


Tracce più recenti

# Gravità = Geometria

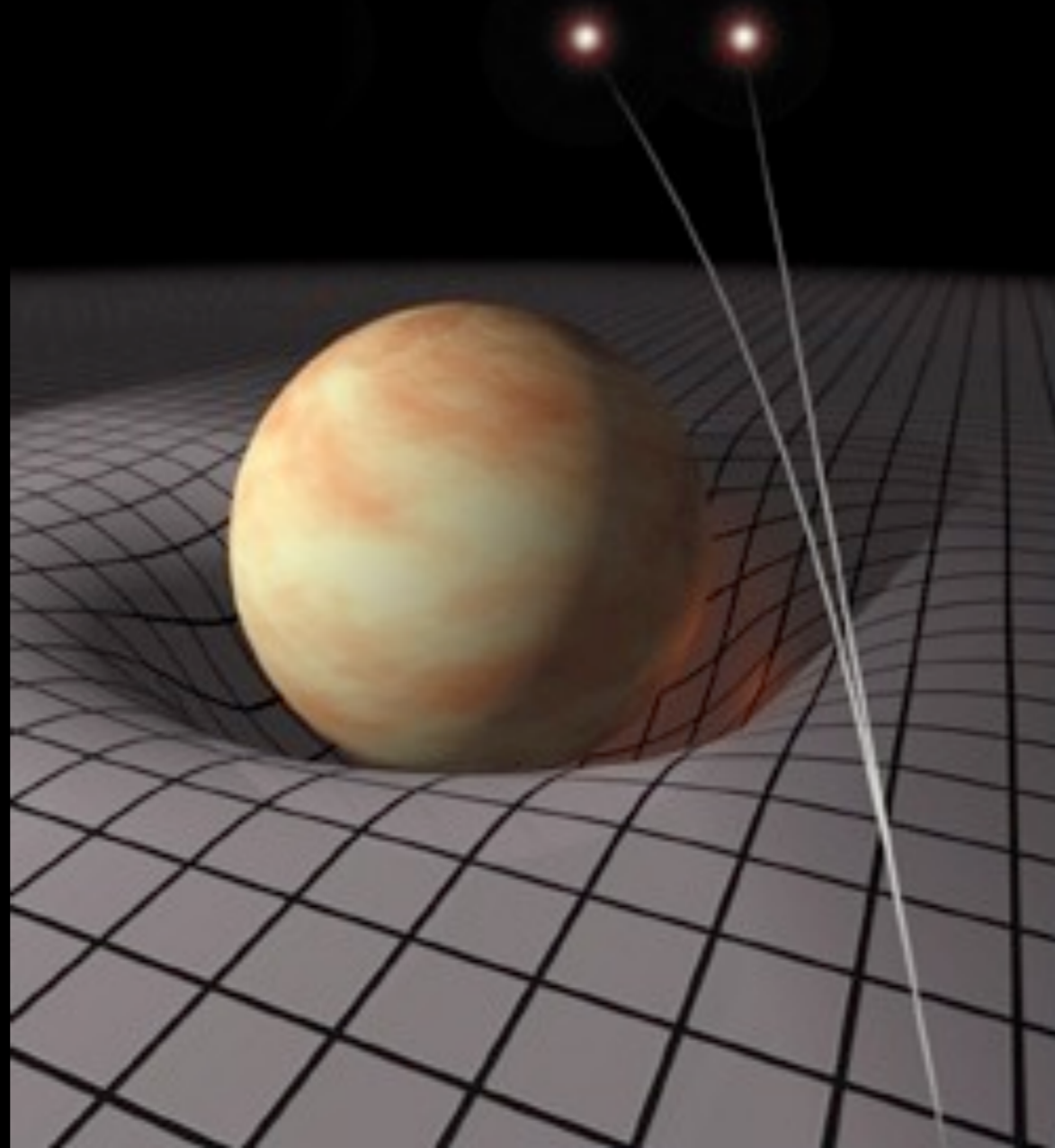
(A. Einstein)

Le masse curvano lo spazio-tempo



I corpi si muovono lungo le traiettorie più brevi nello spazio curvo

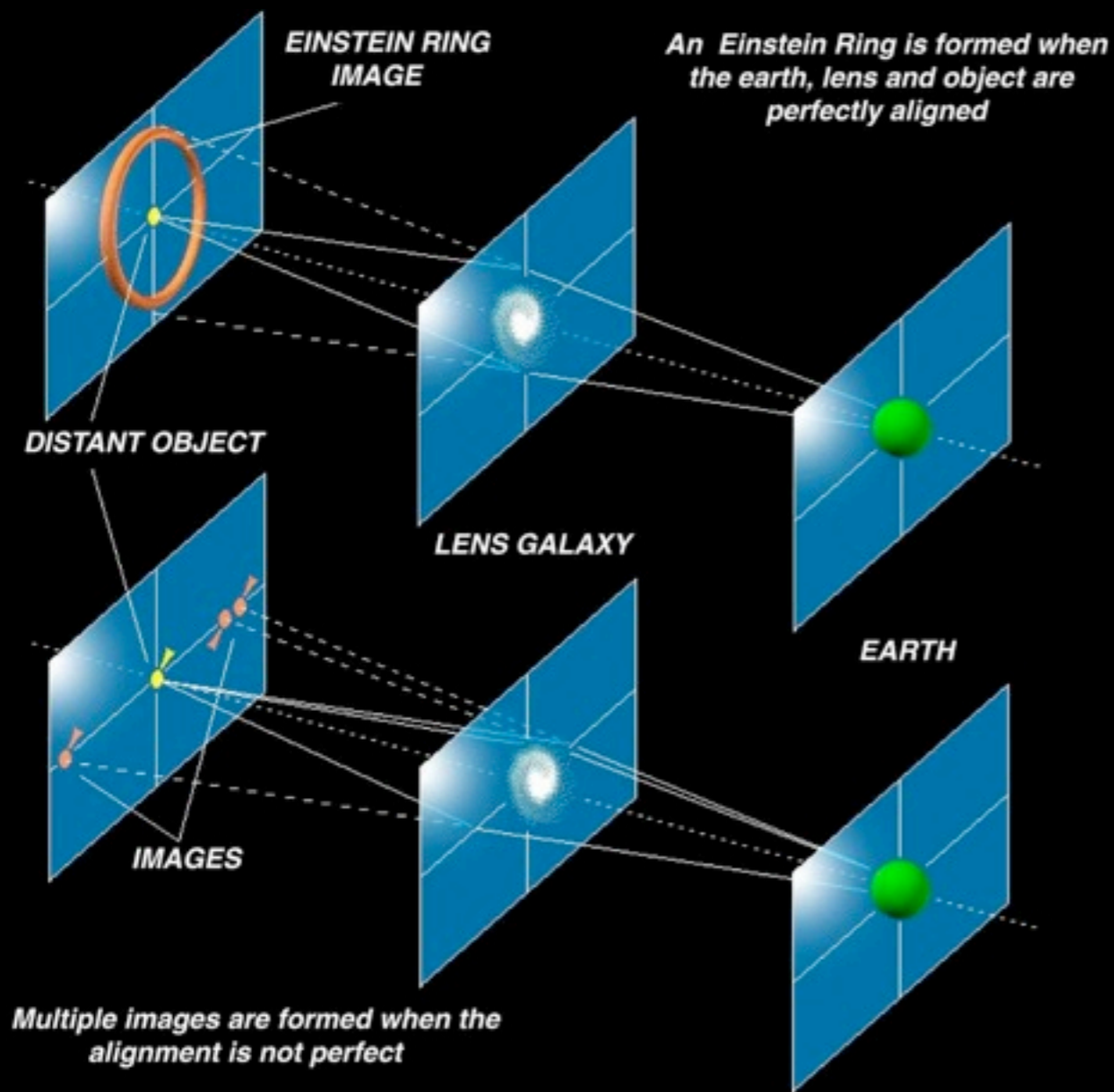
# Anche la luce segue la geometria



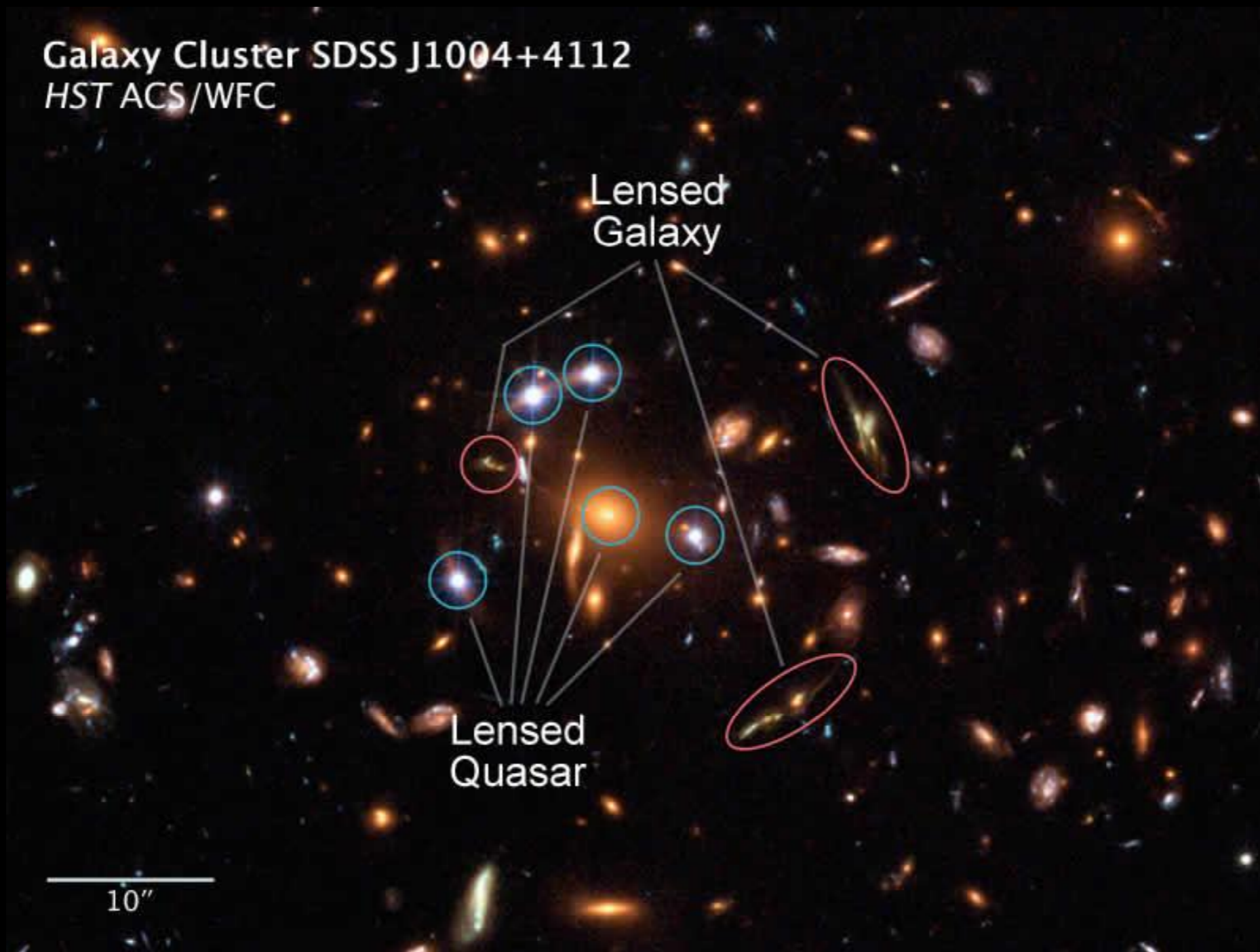
la luce può essere usata per 'pesare' la materia



# Lenti gravitazionali



# Materia oscura manifesta

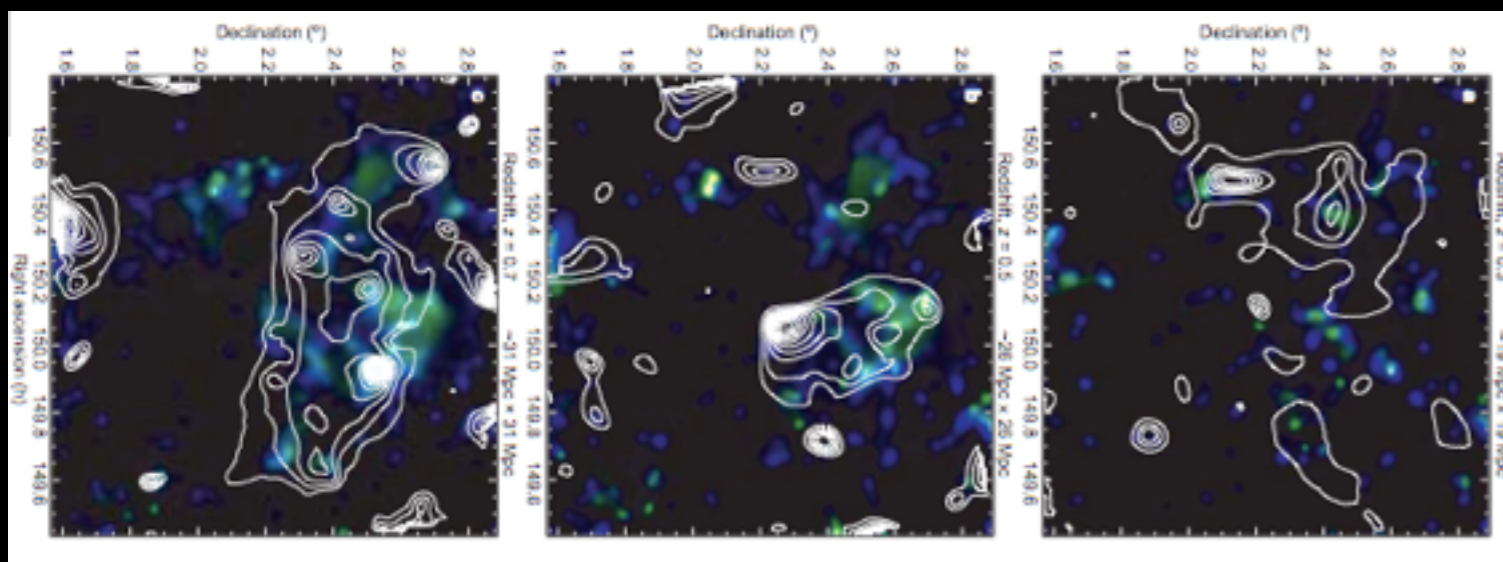
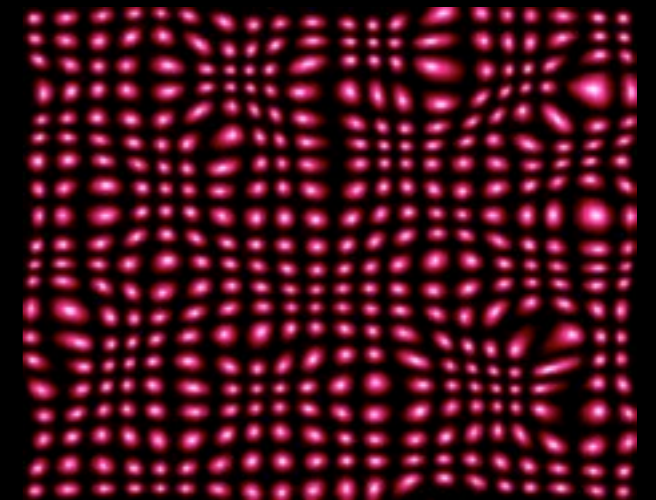
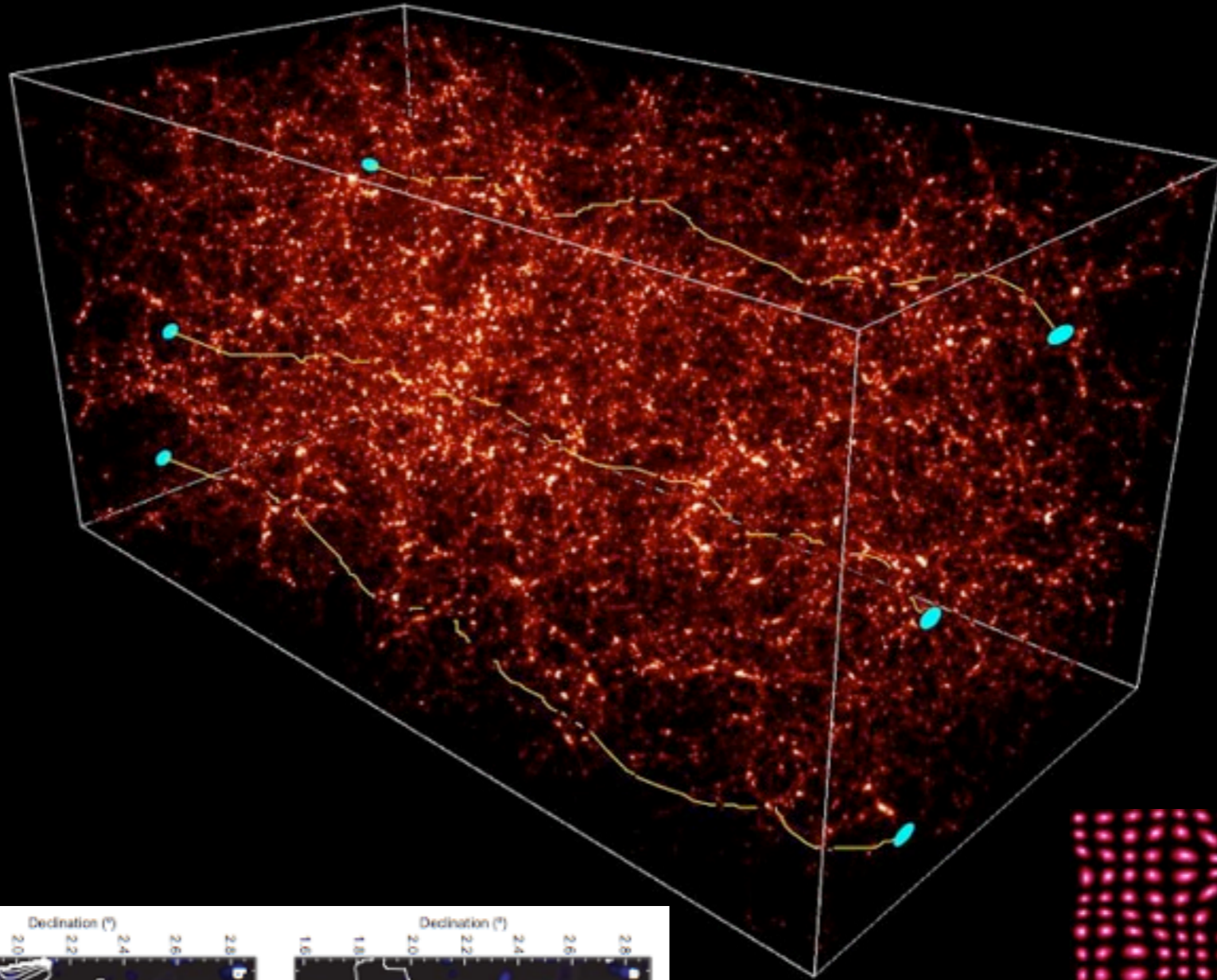
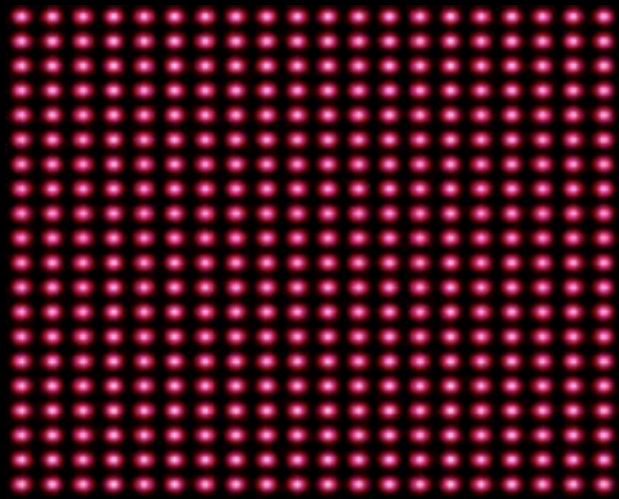


# Materia oscura manifesta



bullet cluster

# Futuro: TAC dell'Universo oscuro



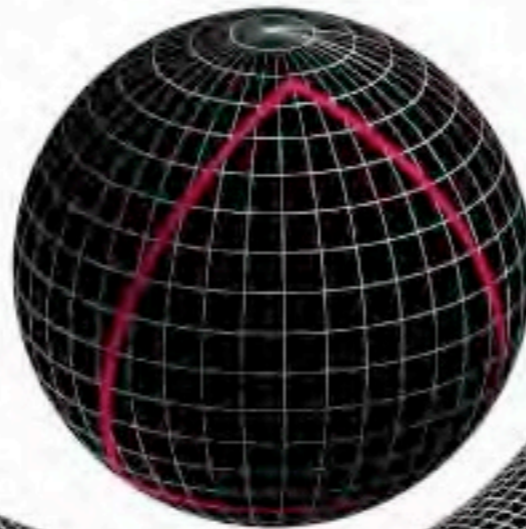
Quanta materia oscura?

Quanta massa in totale?

# La geometria dell'Universo dipende dalla sua massa totale

chiuso

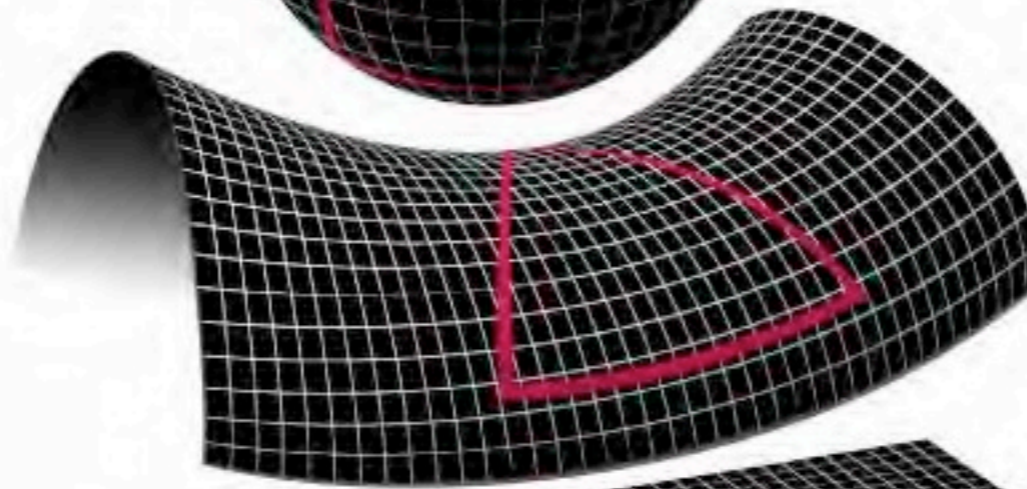
$$\Omega_0 > 1$$



$$\rho > \rho_c$$

aperto

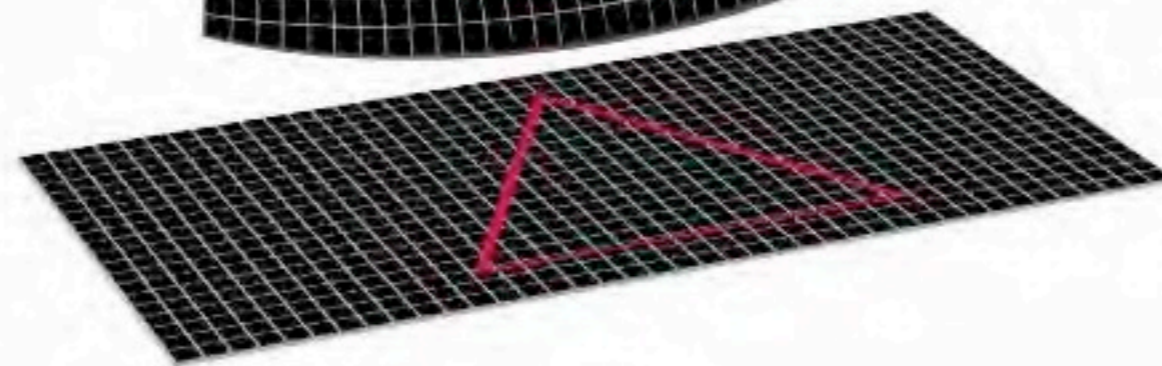
$$\Omega_0 < 1$$



$$\rho < \rho_c$$

piatto

$$\Omega_0 = 1$$

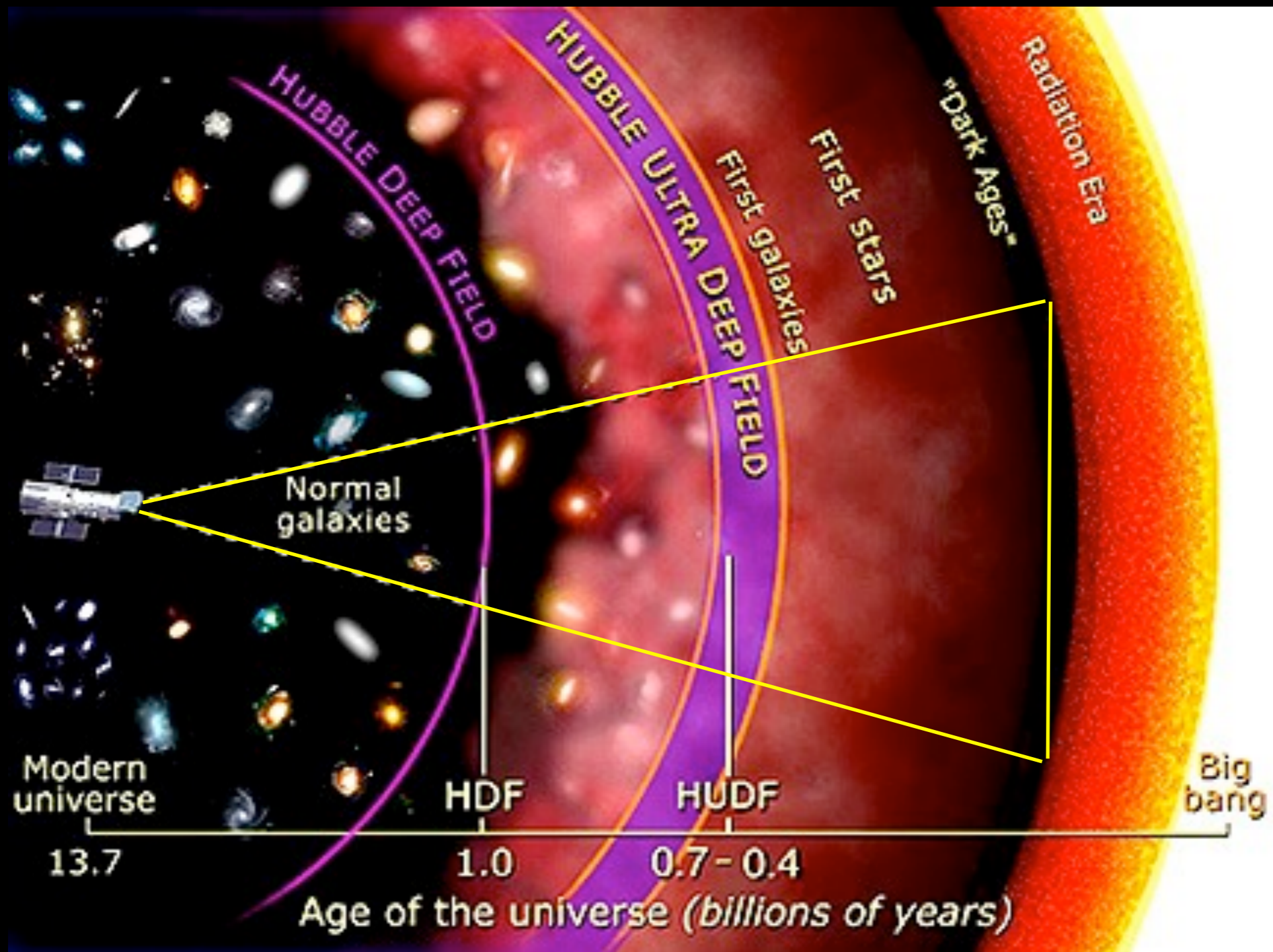


$$\rho = \rho_c$$

MAP990006

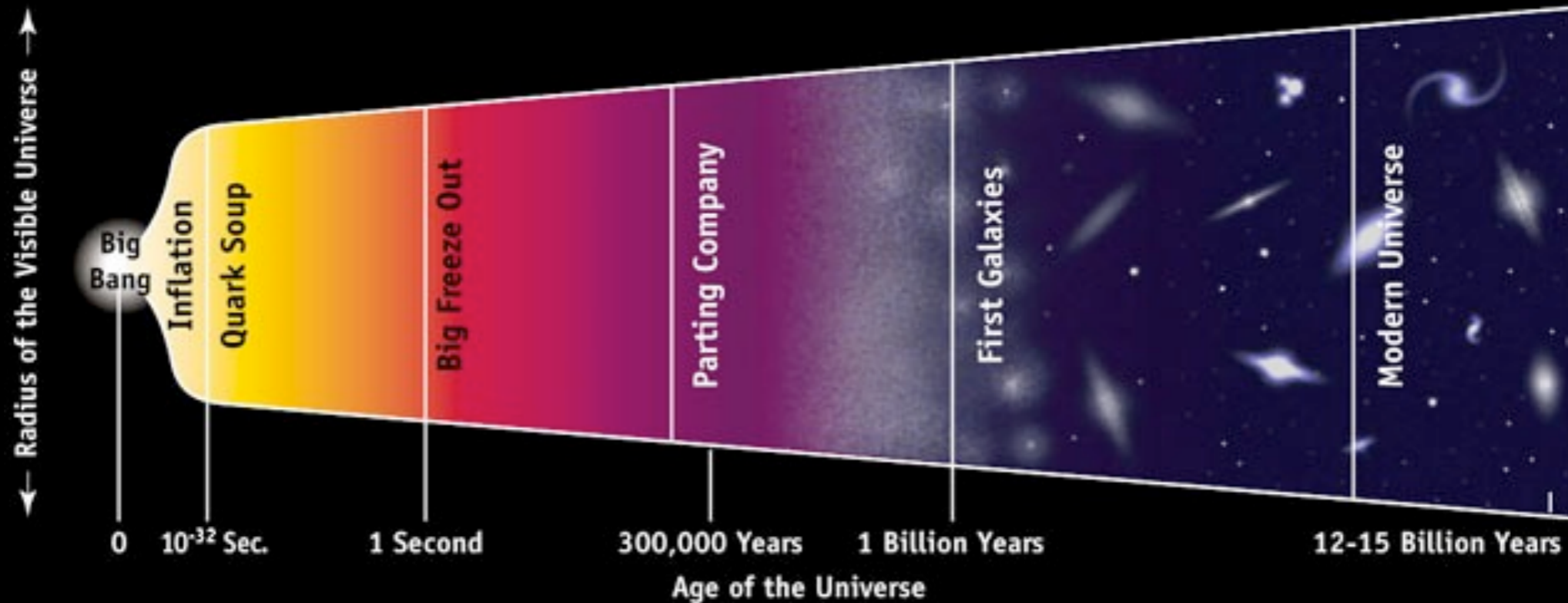
$$\rho_c = 8.8 \times 10^{-30} \text{ g/cm}^3$$

# Triangolazioni cosmiche

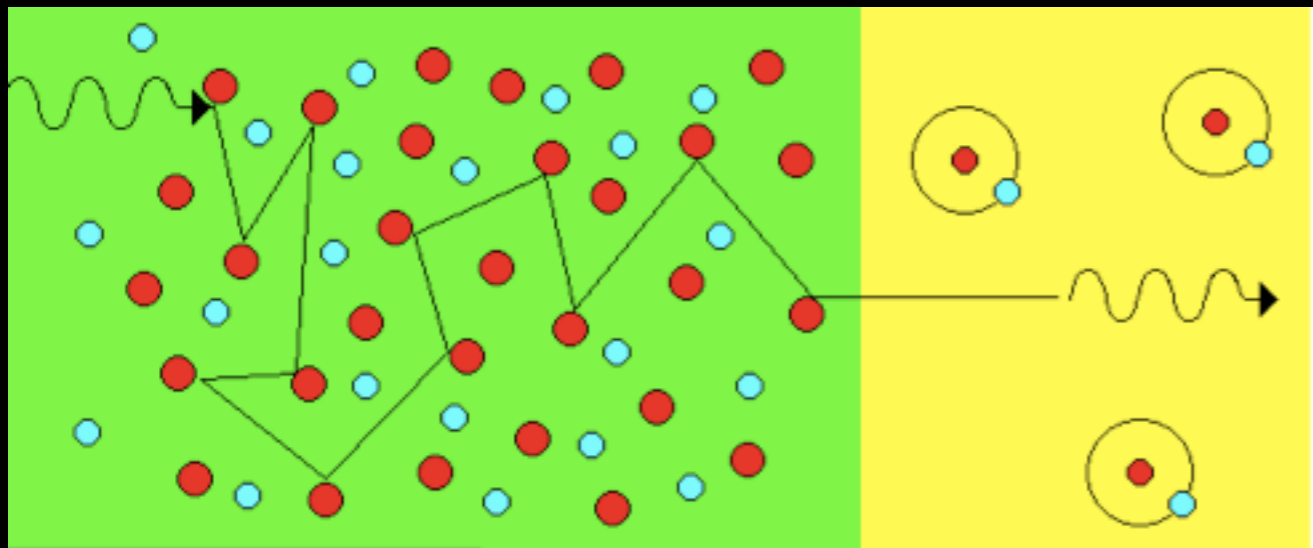




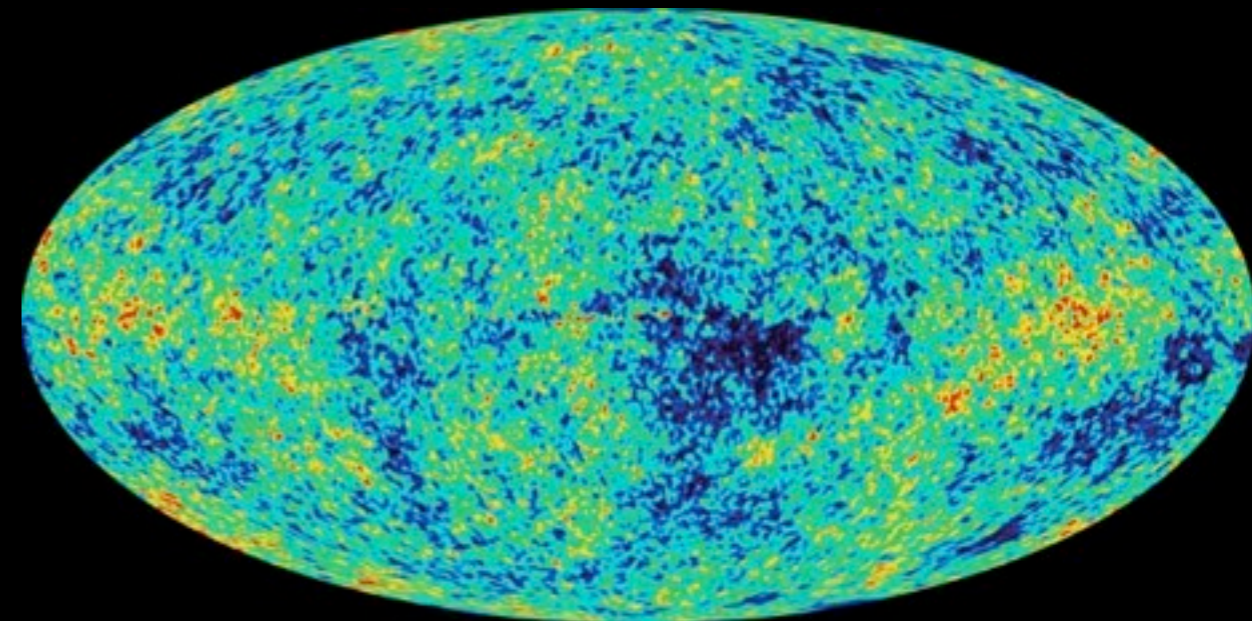
# La radiazione cosmica di fondo



$T=2500\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $t\sim 380000\text{ yrs}$

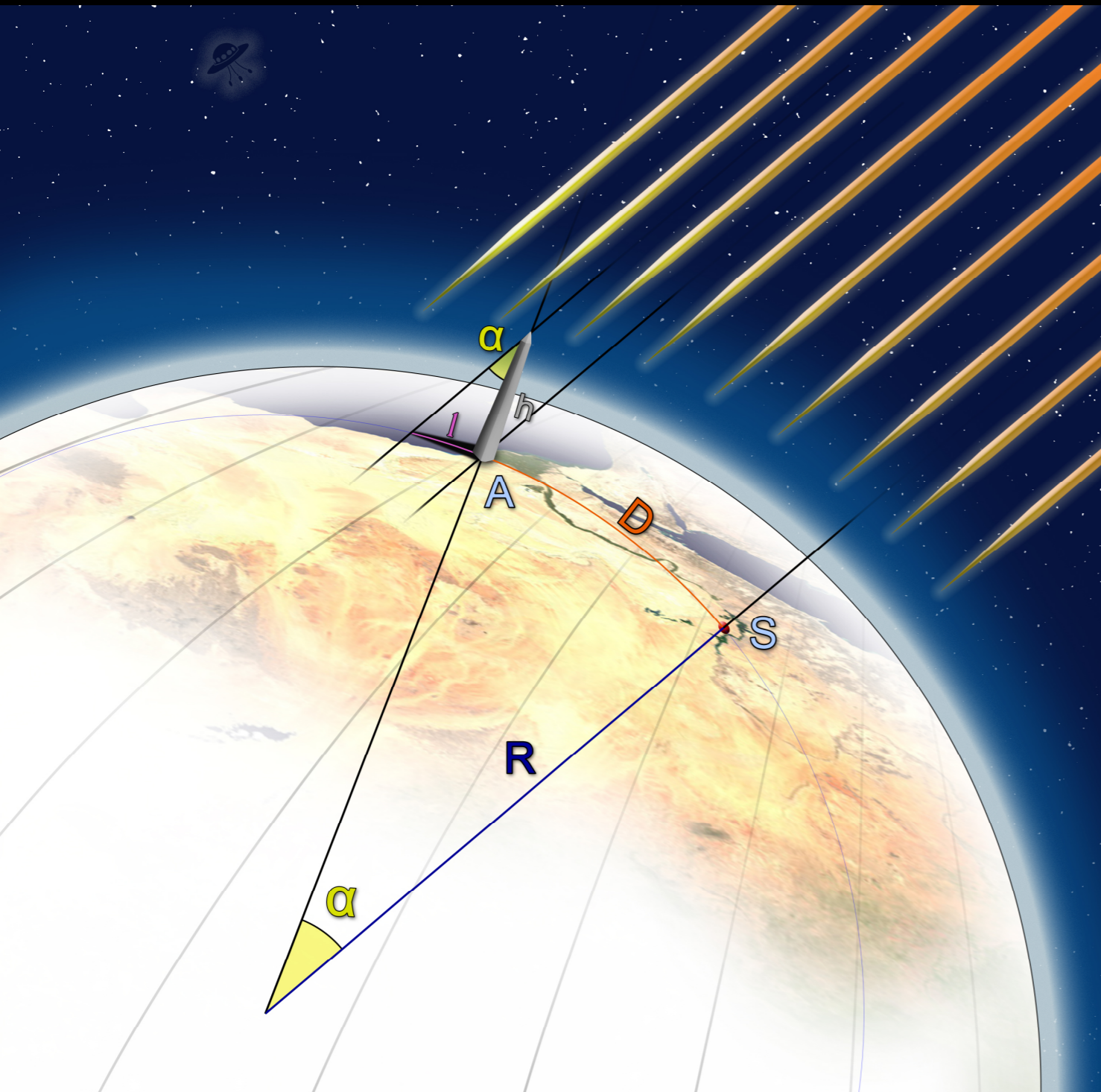
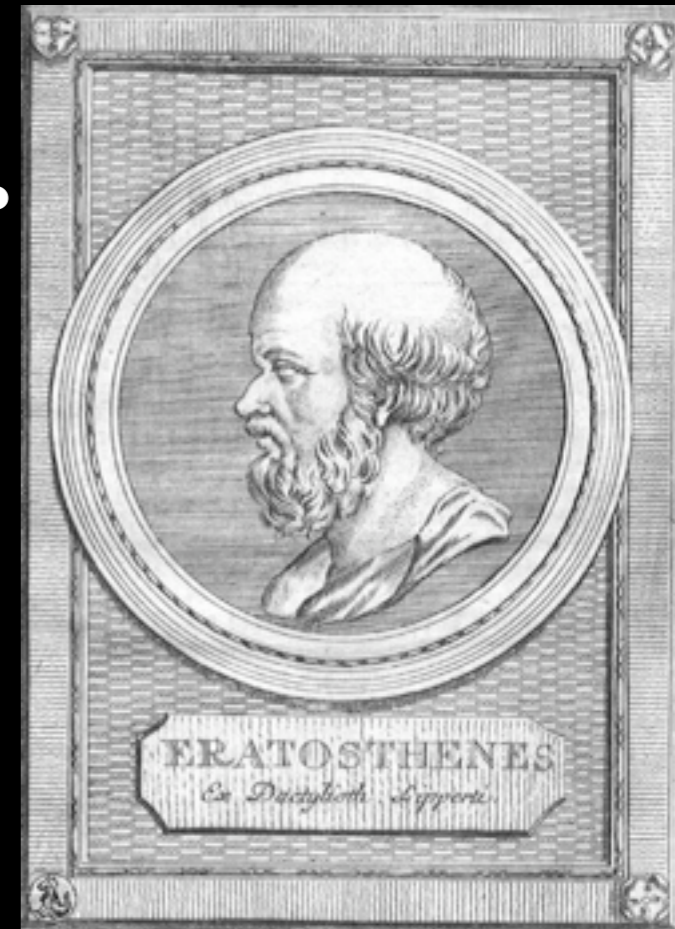


l'Universo diventa trasparente



radiazione 'fossile'

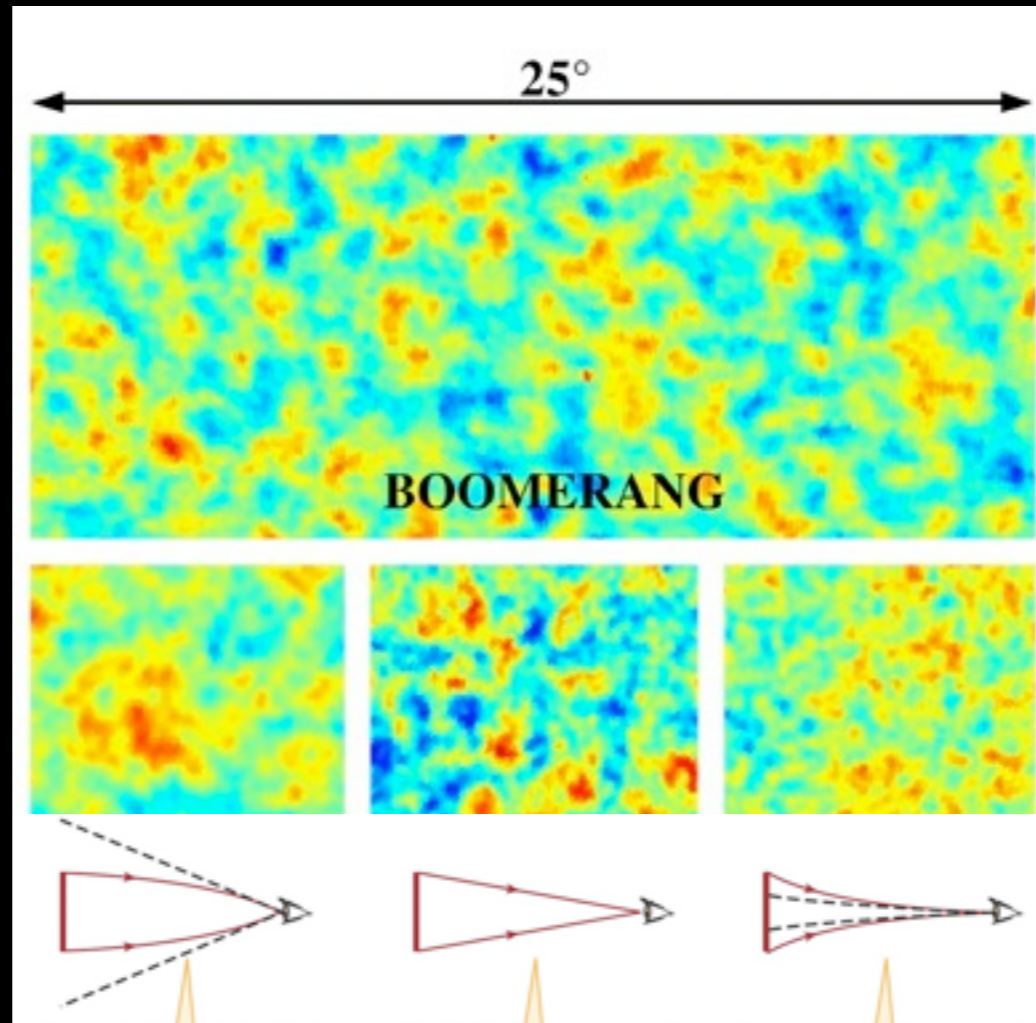
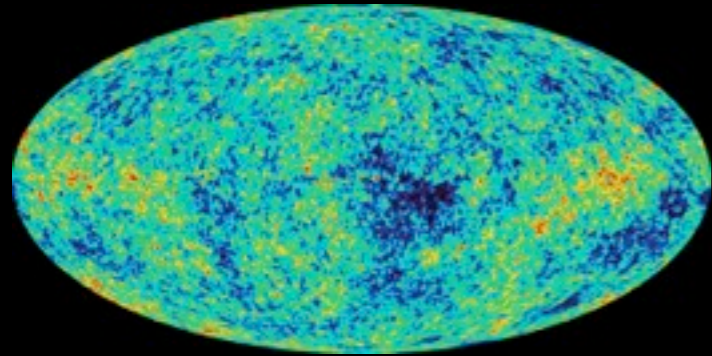
# Eratostene 230 A.C.



la Terra è rotonda  
e il suo raggio è

$$R = h D / \lambda$$

# Polo sud (e California-Roma...) 1998



chiuso

piatto

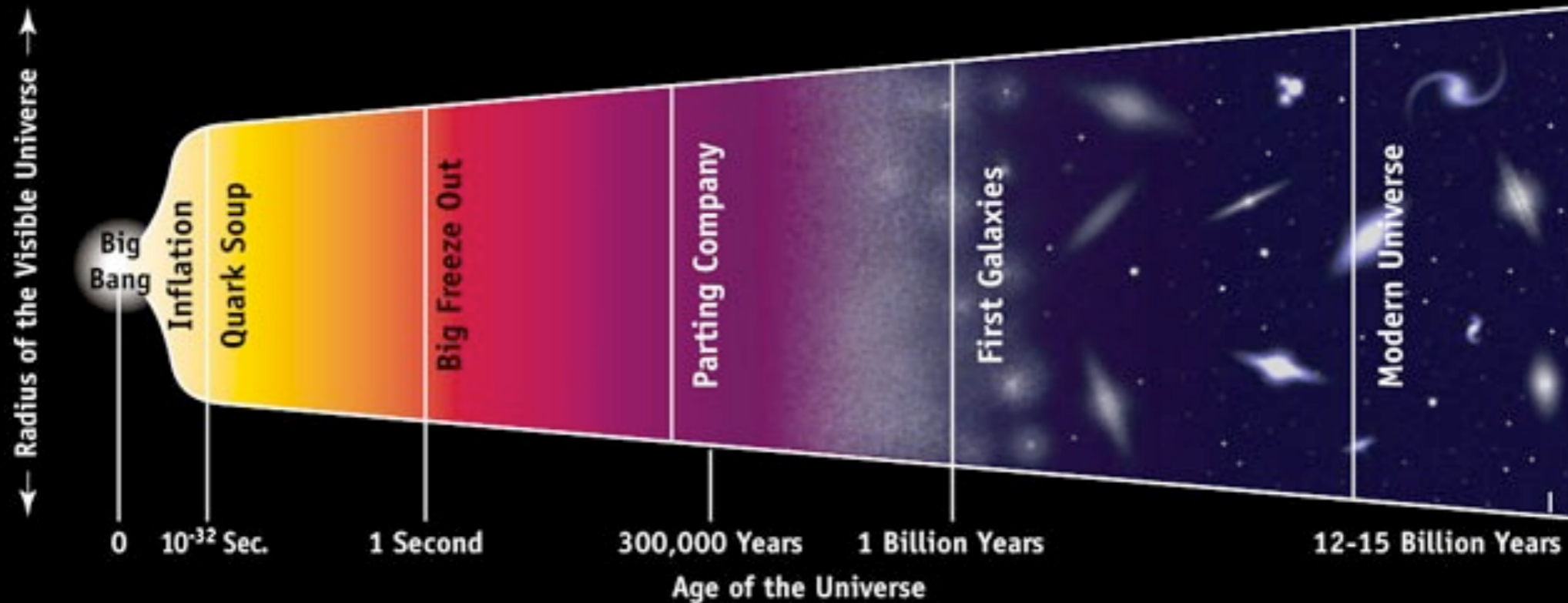
aperto

L'Universo è PIATTO

e la sua densità TOTALE è  $\rho_{\text{TOT}} = \rho_c = 8.8 \times 10^{-30} \text{ g/cm}^3$

Quanta materia “normale”?

# La nucleosintesi



$T = 2.7 \cdot 10^9 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $t \sim 1 \text{ sec}$

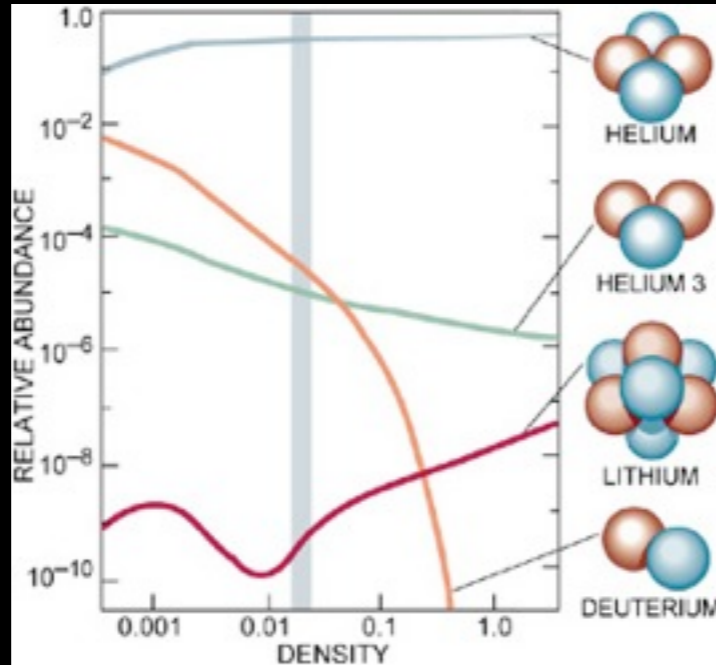


Si formano i  
nuclei atomici più leggeri

# La fornace primordiale

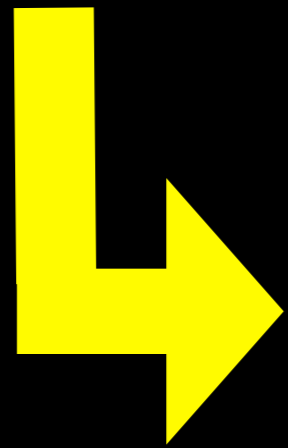


big bang  
→



supernovae  
→

A periodic table where elements are color-coded to show their origin: green for hydrogen and helium; red for lithium, beryllium, boron, calcium, strontium, rubidium, cesium, francium, and radium; yellow for elements from scandium to uranium; cyan for elements from gallium to lead; purple for elements from bismuth to polonium; and orange for elements from arsenic to astatine, plus neon, argon, krypton, xenon, and radon.

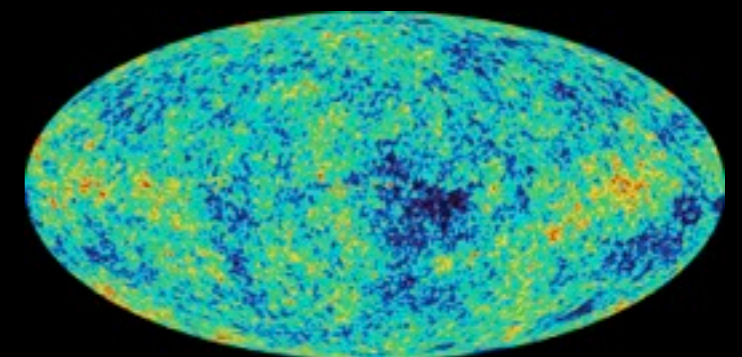
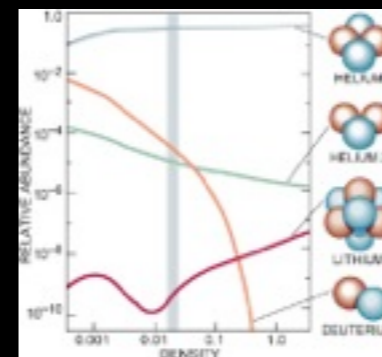


La materia “normale”, in qualunque forma, corrisponde al 4% del totale!!

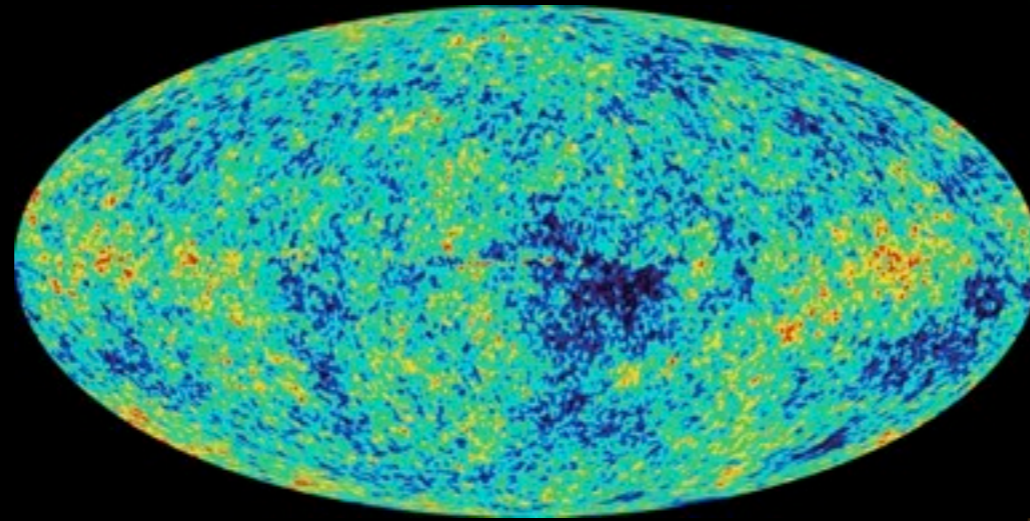
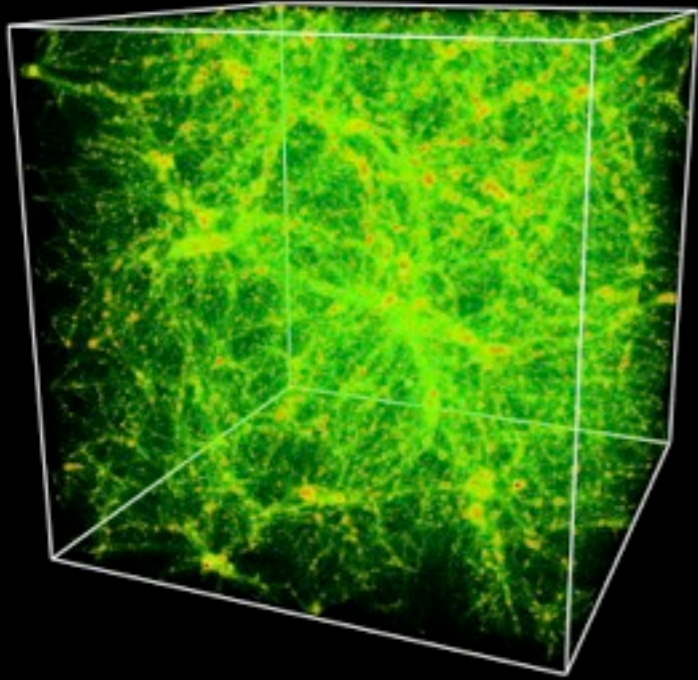
$$\rho_{n+p}/\rho_c \approx 0.04$$

# Ricapitolando:

- L'Universo si espande
- In passato era molto più caldo, denso, e uniforme
- A grandi distanze è piatto e la sua densità media è  $\rho_c = 8.8 \times 10^{-30} \text{ g/cm}^3$
- La materia 'normale' costituisce solo il 4% del totale



# Il resto non è solo Materia Oscura!



strutture cosmiche    radiazione di fondo    ammassi di galassie

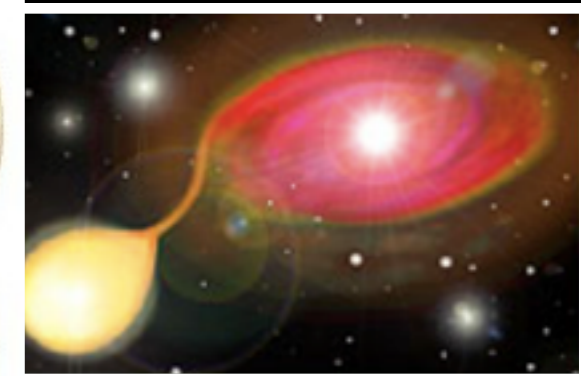
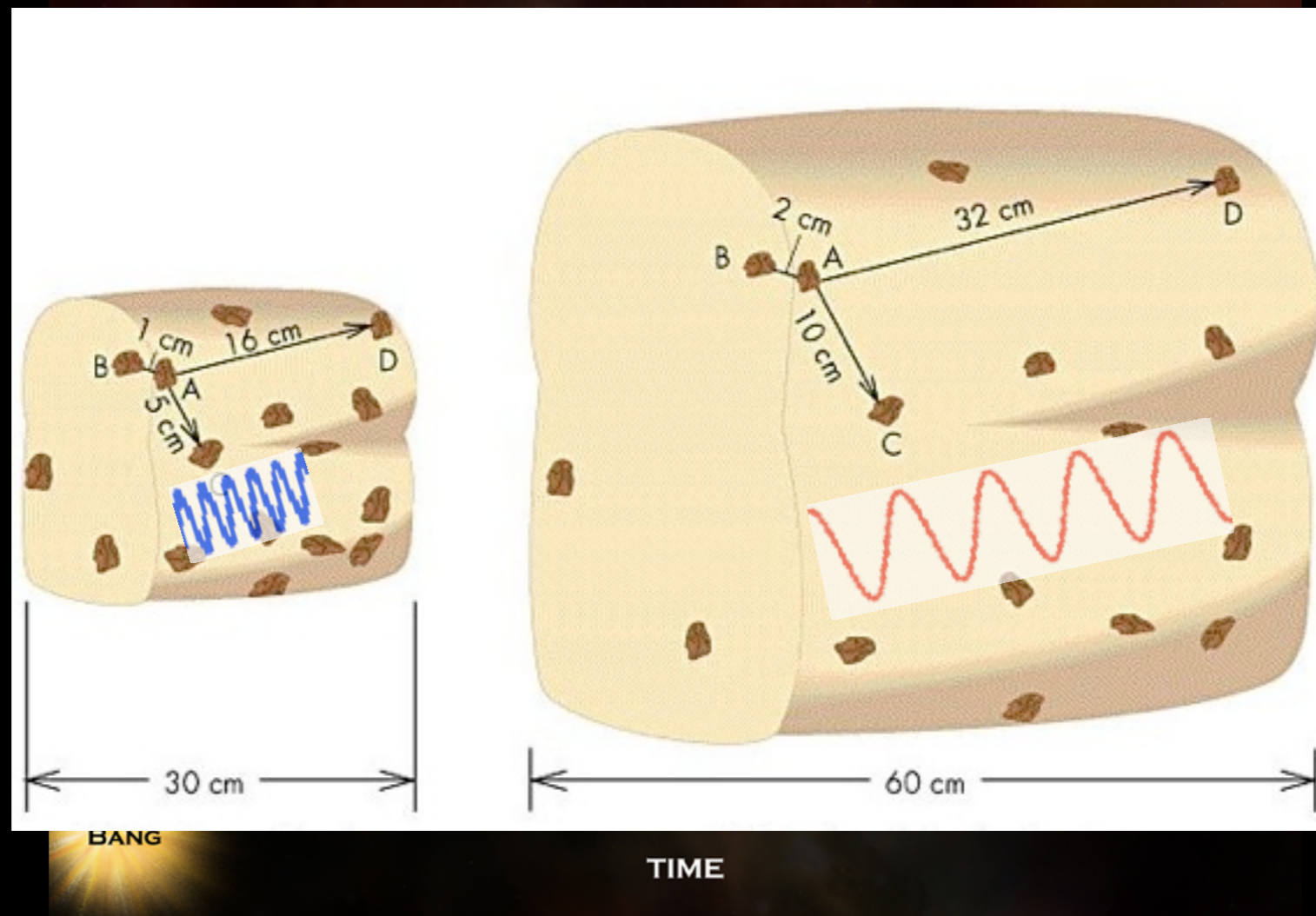
materia oscura =  
materia neutra e con gravità  
'normale'



$$\rho_{\text{DM}}/\rho_c \approx 0.23$$



# C'è dell'altro...

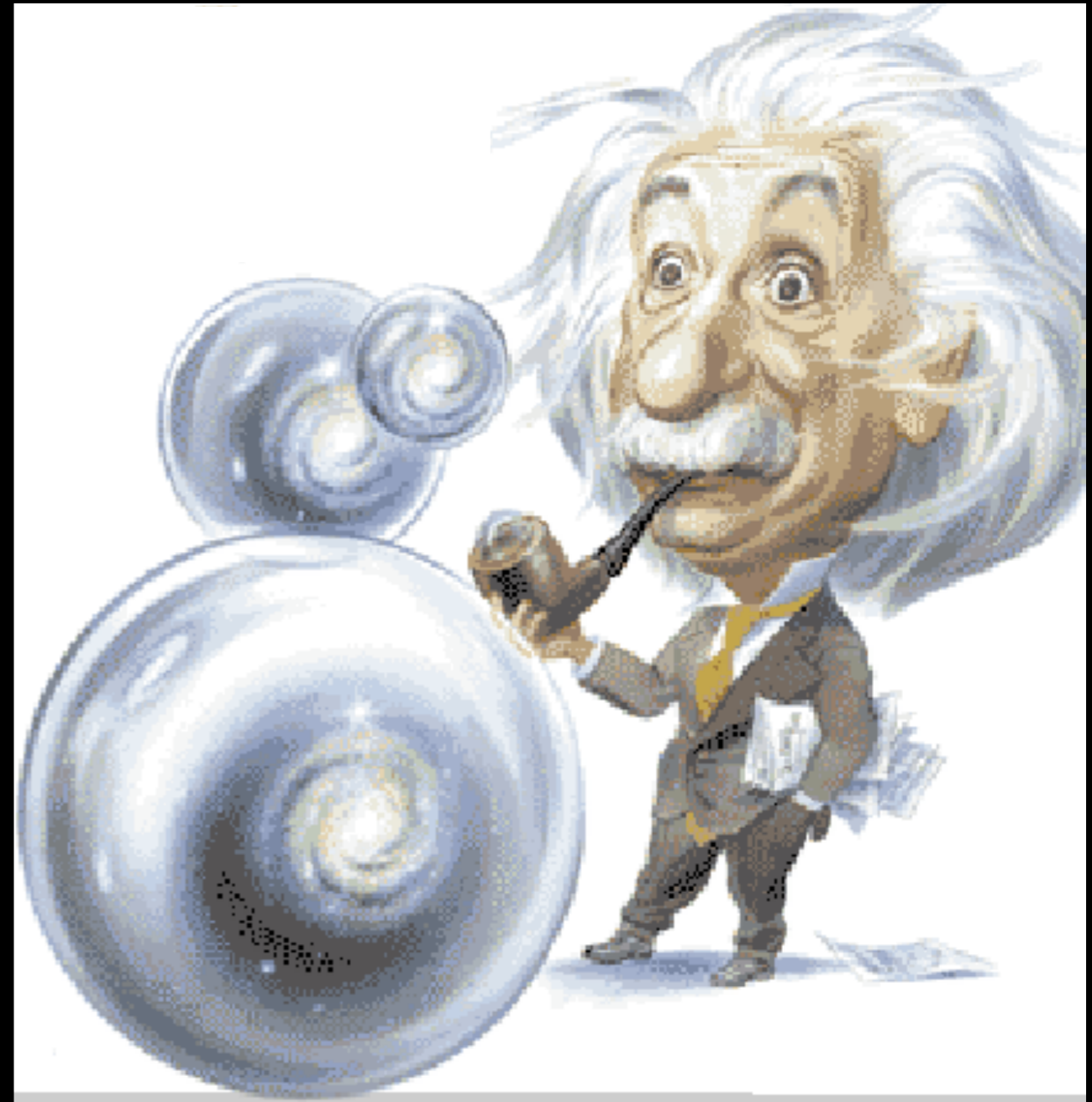


supernovae Ia

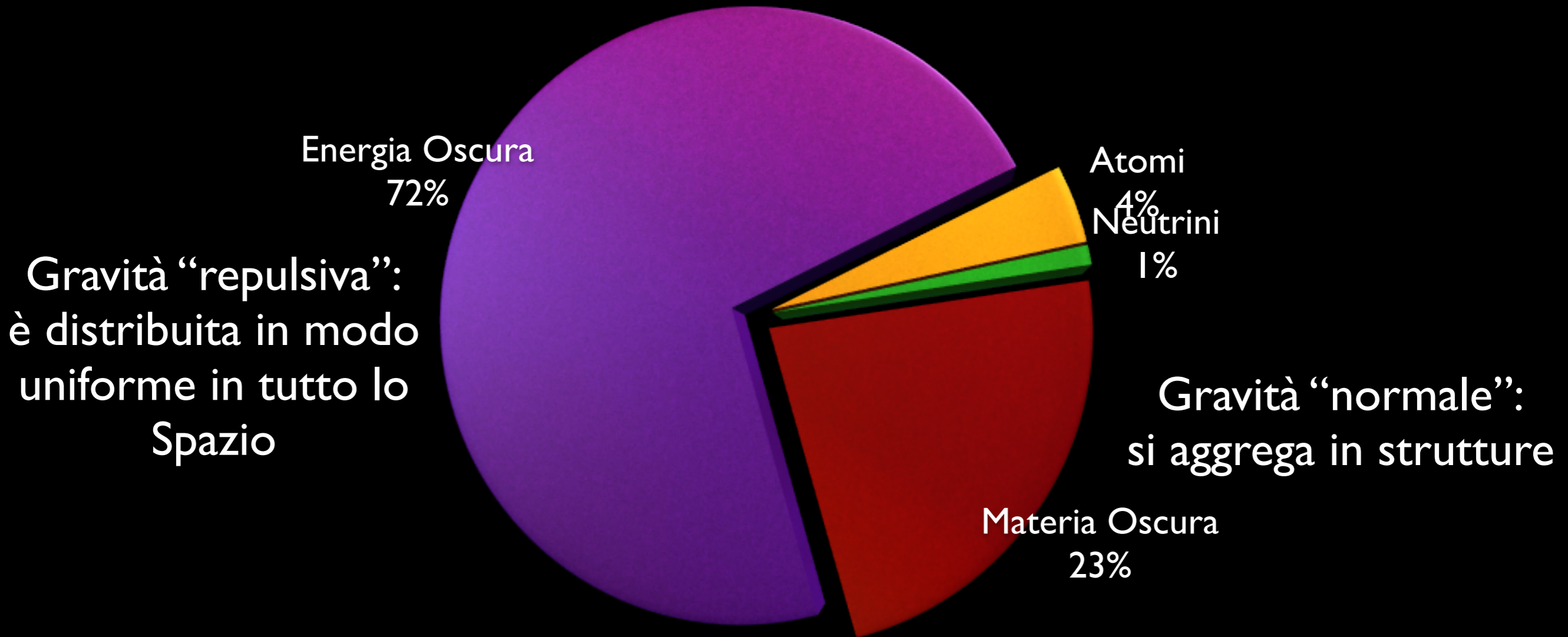
l'espansione sta accelerando  
c'è energia oscura ("antigravità")

# Il più grande errore di Einstein

- Può prevedere l'espansione già nel 1917
- Invece, per bloccare l'Universo, introduce la **'costante cosmologica'**
- La costante cosmologica può spiegare l'accelerazione dell'Universo!!



# Una torta con sorprese

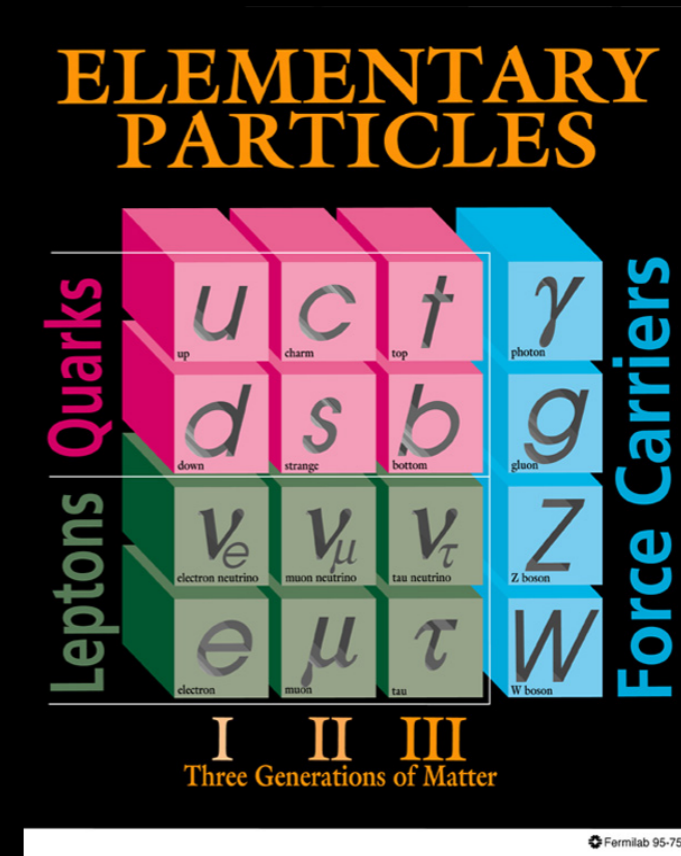


# Quello che vorremmo sapere

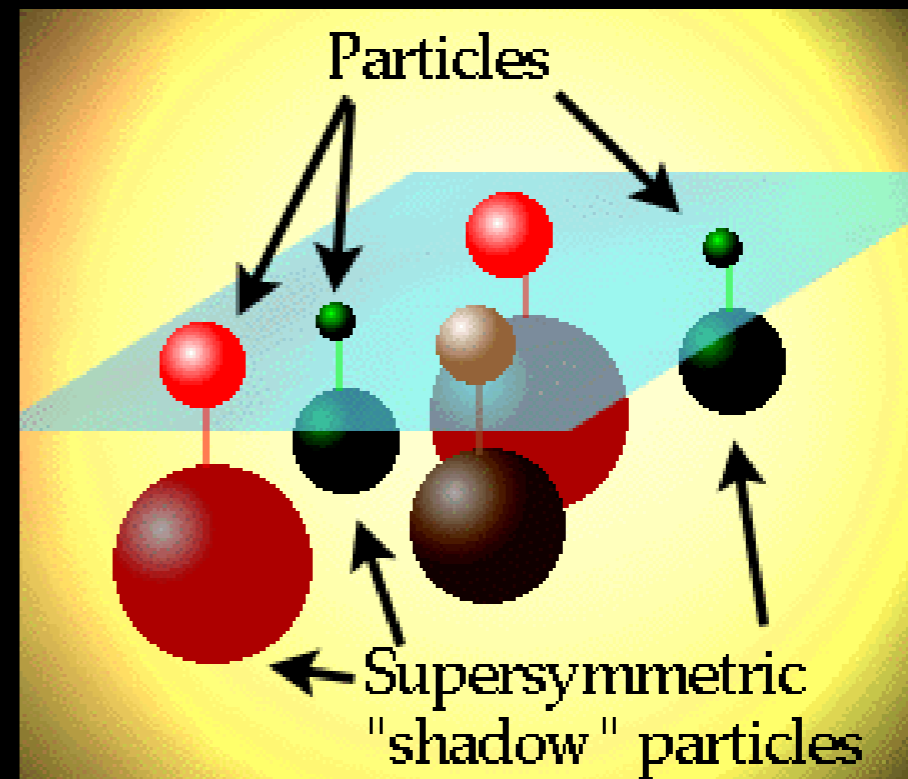
- La forza di gravità nel cosmo si comporta allo stesso modo che sulla Terra?
- Cos'è la materia oscura (?)
- Cos'è l'energia oscura (??)

# Cos' è la materia oscura?

nessuna particella nota può  
essere  
la materia oscura

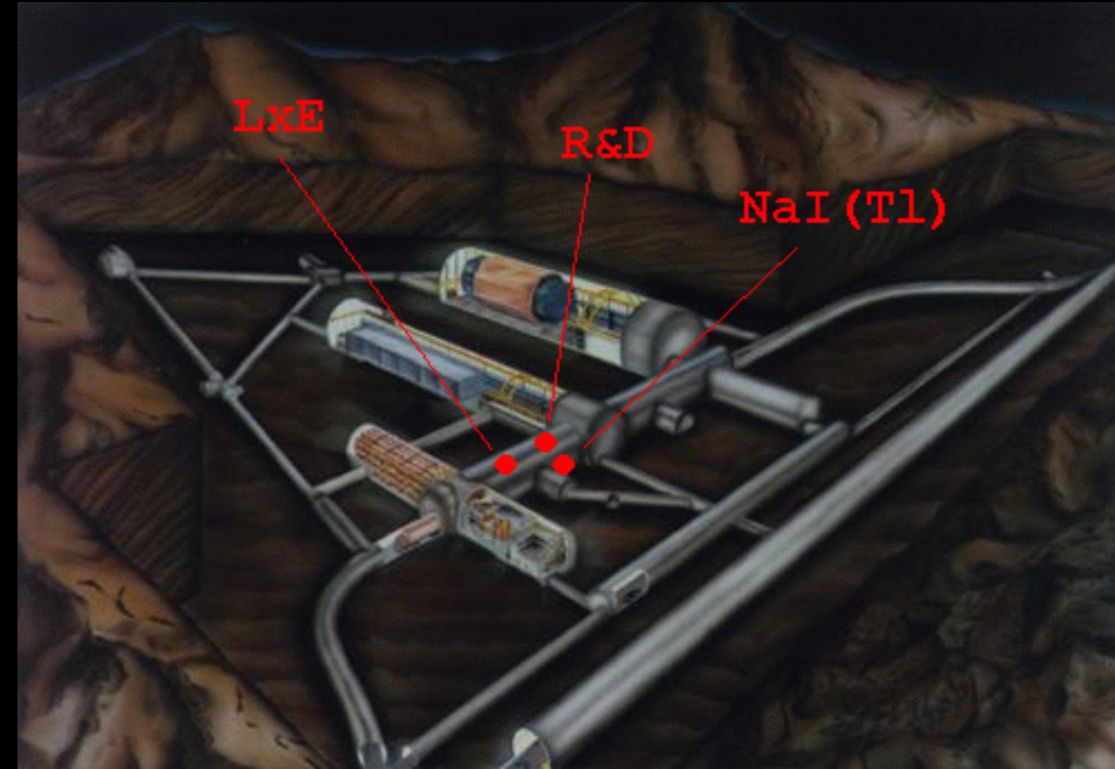


però esistono ragioni teoriche  
per prevederne di nuove

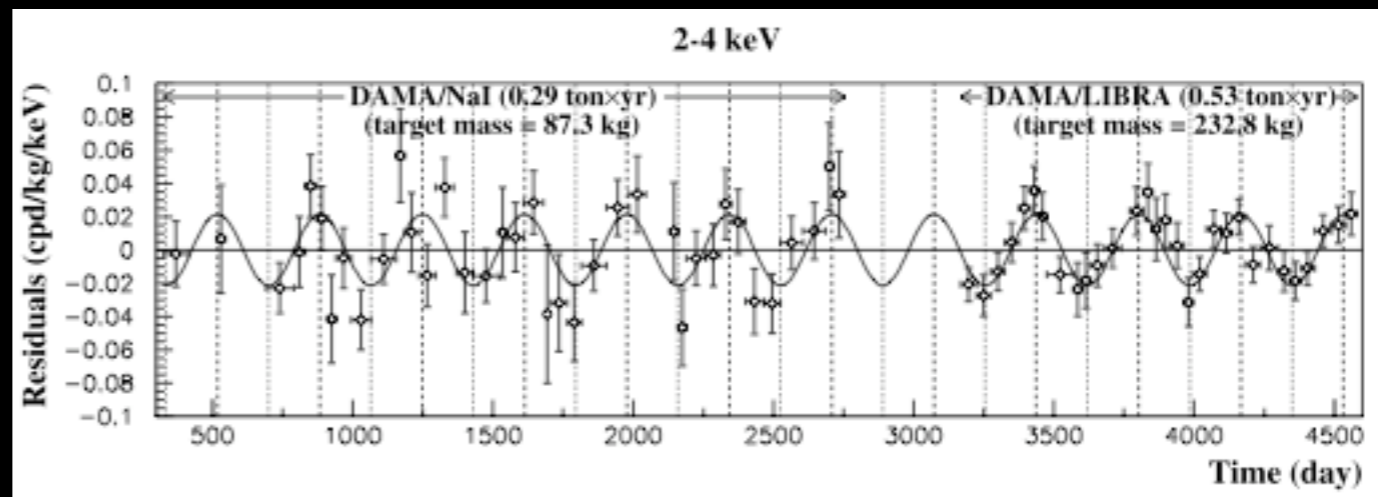
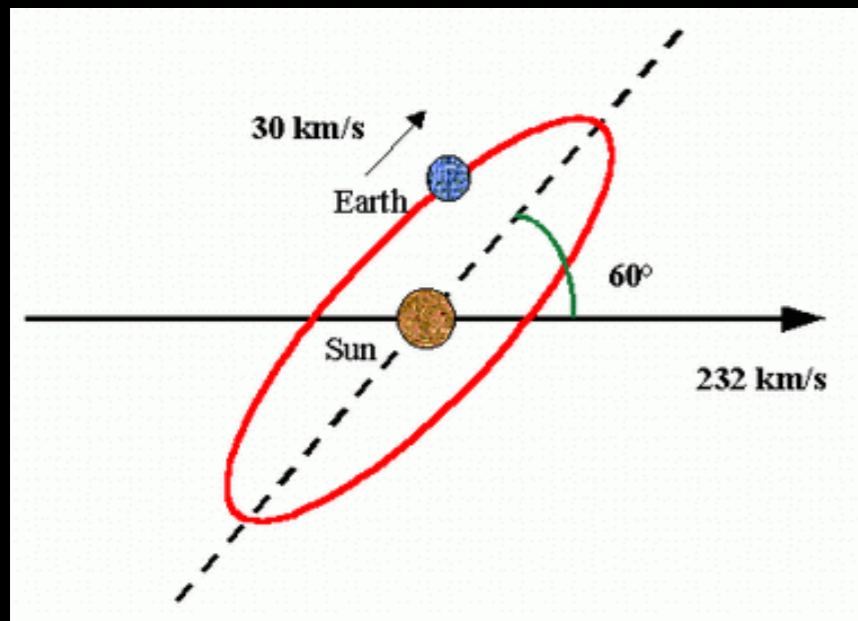


# A caccia nelle caverne...

laboratori del Gran Sasso



Ha già lasciato tracce?



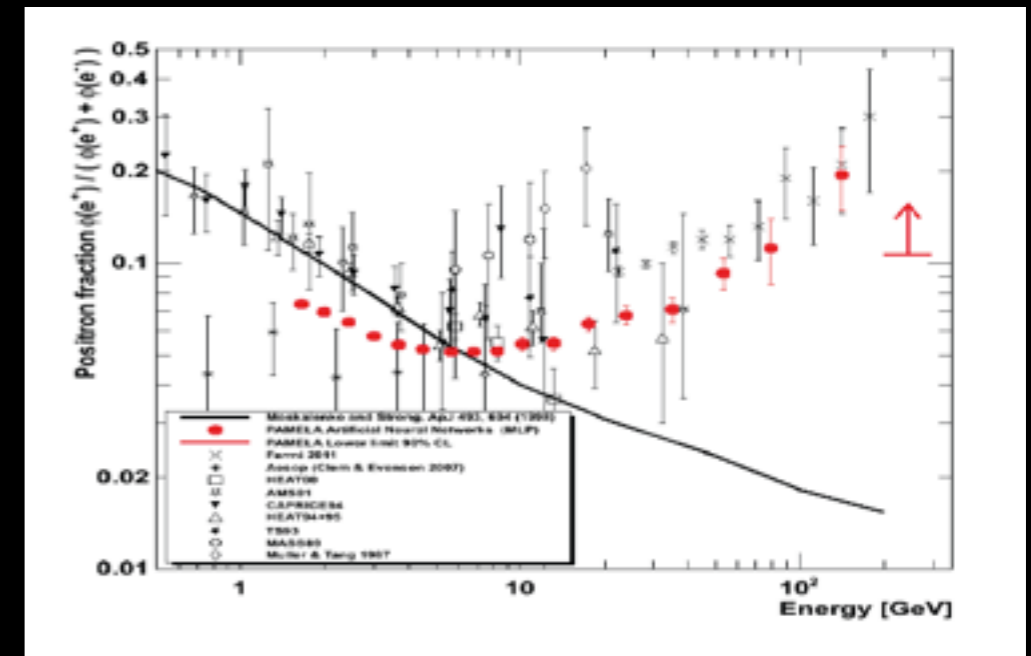
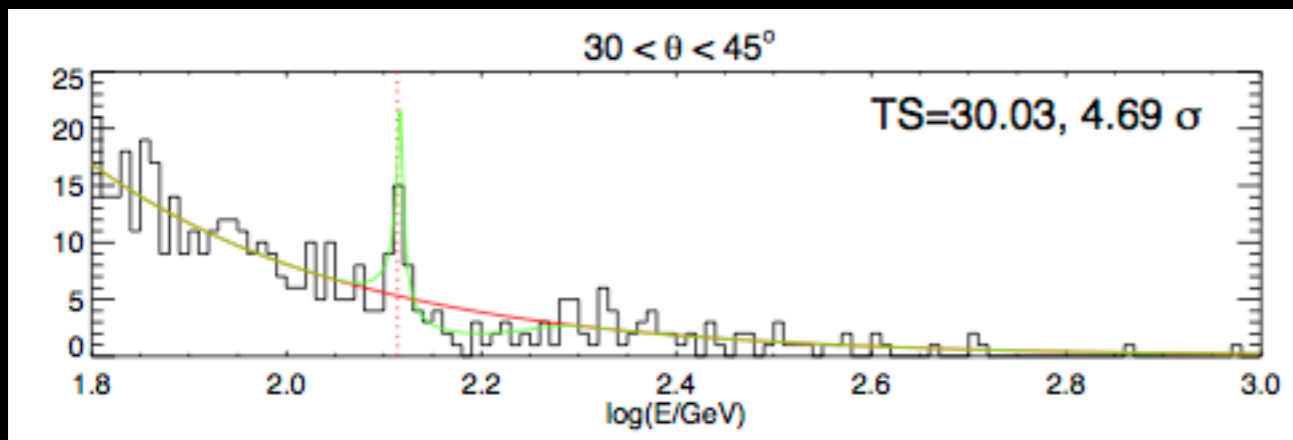
esperimento DAMA

# A caccia nello spazio...

esperimento Fermi-LAT



esperimento Pamela



Ha già lasciato tracce?

# A caccia nei posti più impensabili



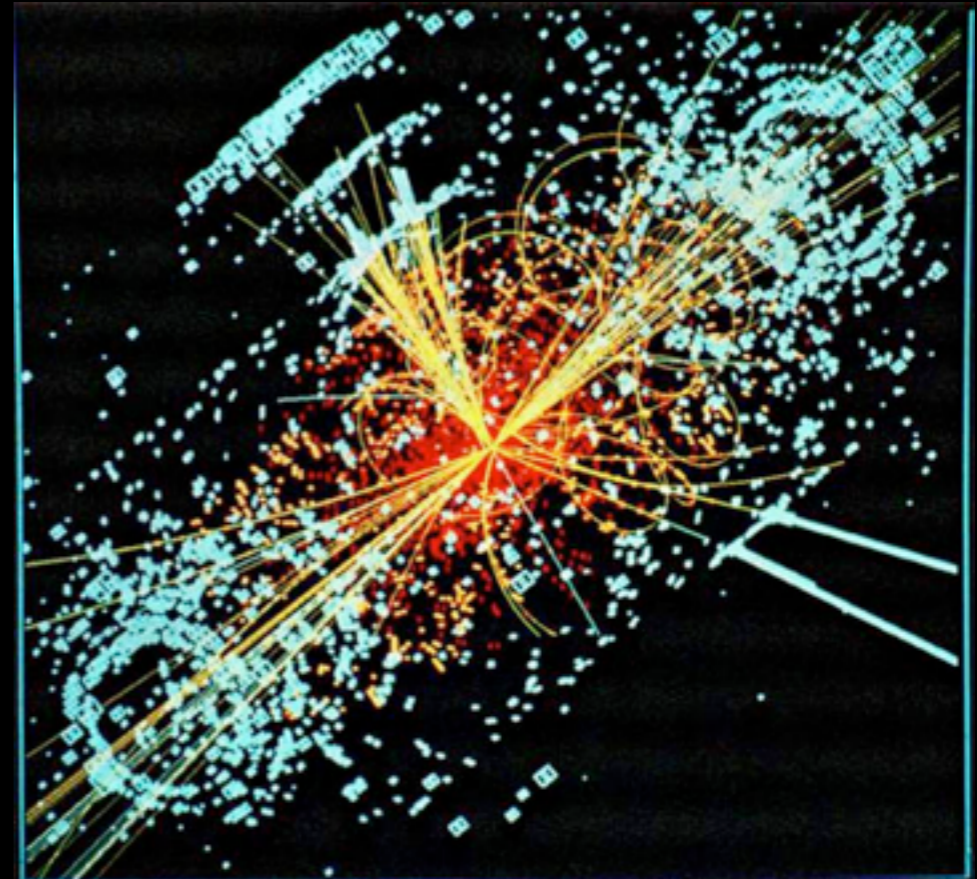
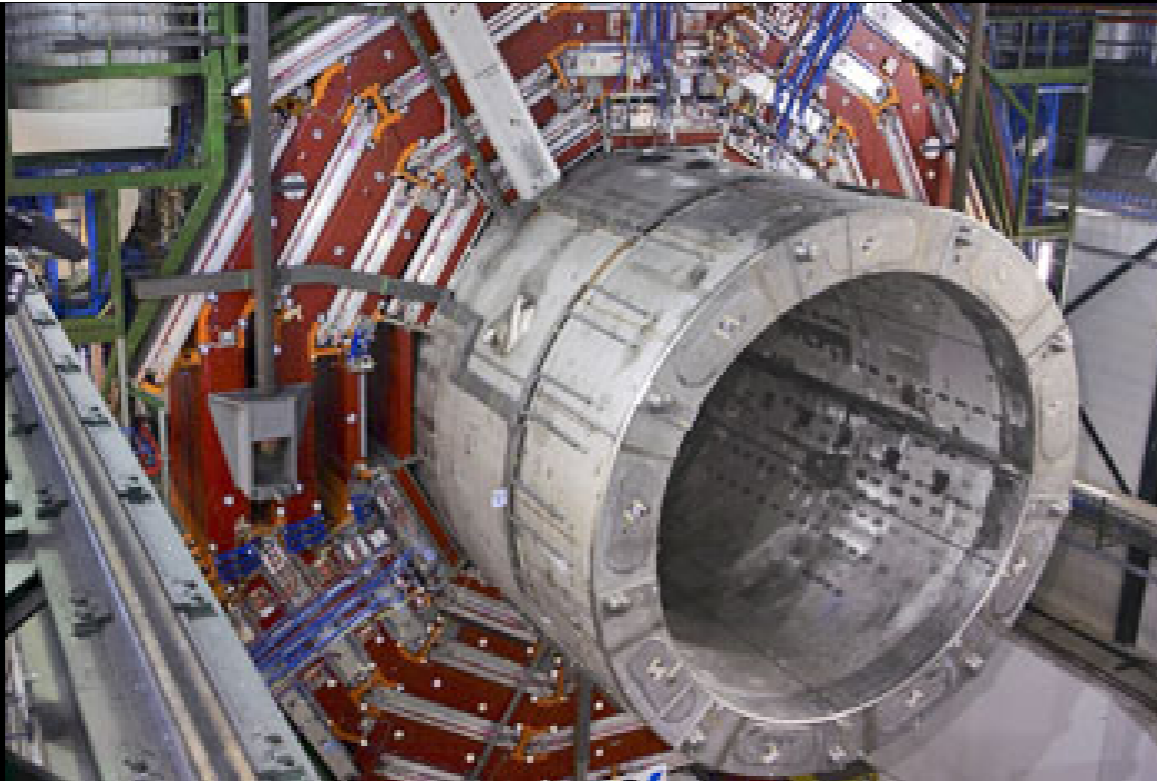
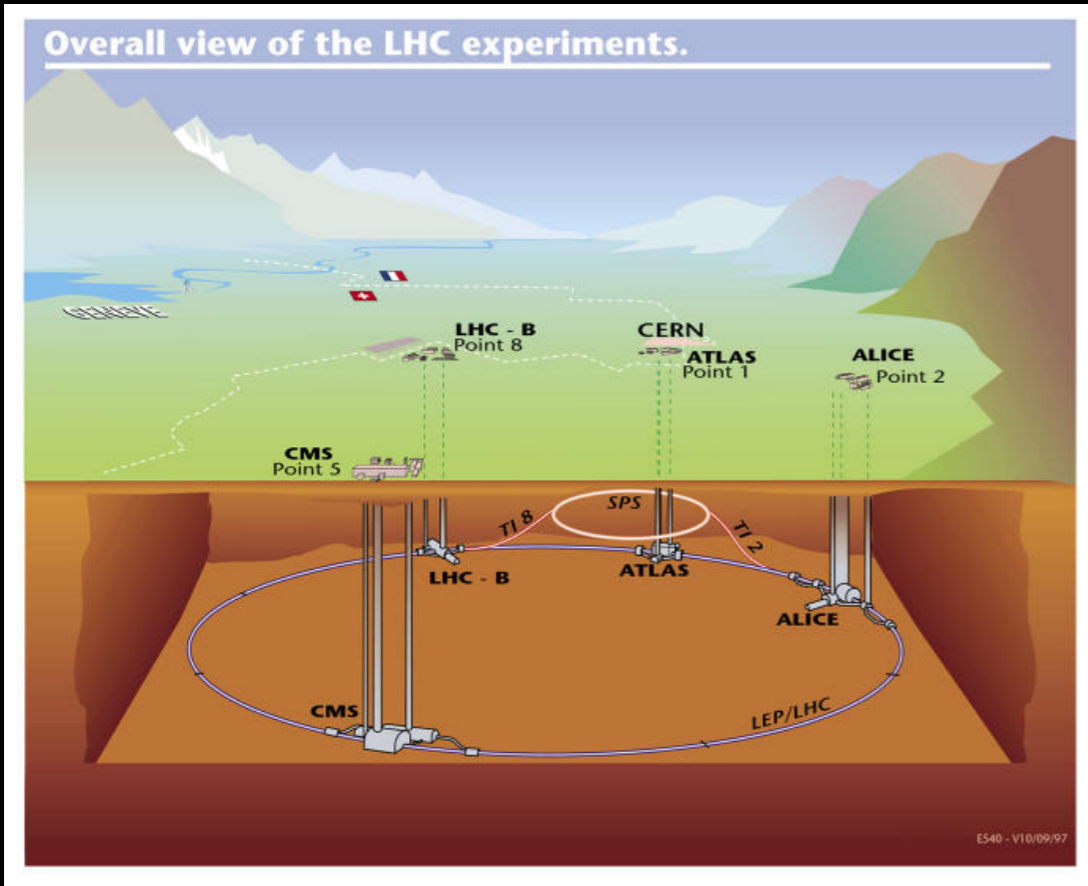
al Polo sud

nei fondali marini





# A caccia nella Svizzera francese

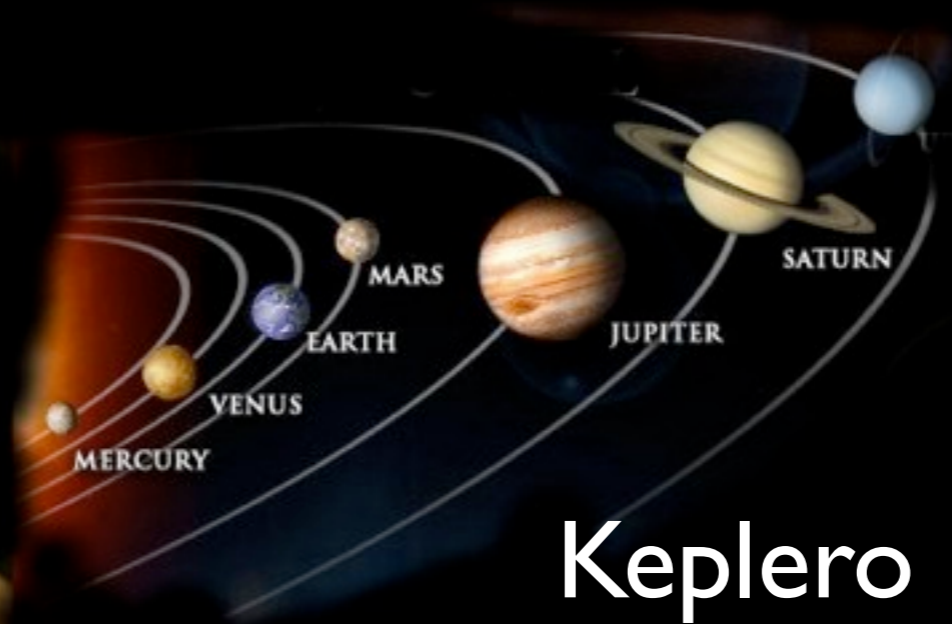


LHC al CERN

# Domande ai confini della scienza

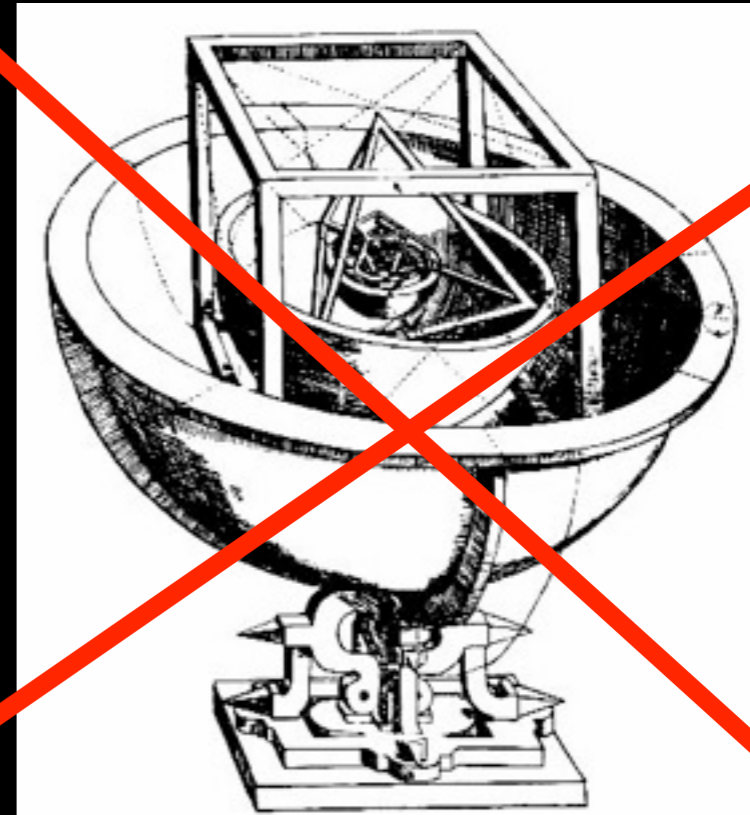
■ Viviamo nell'unico Universo possibile (???)

# Un problema antico

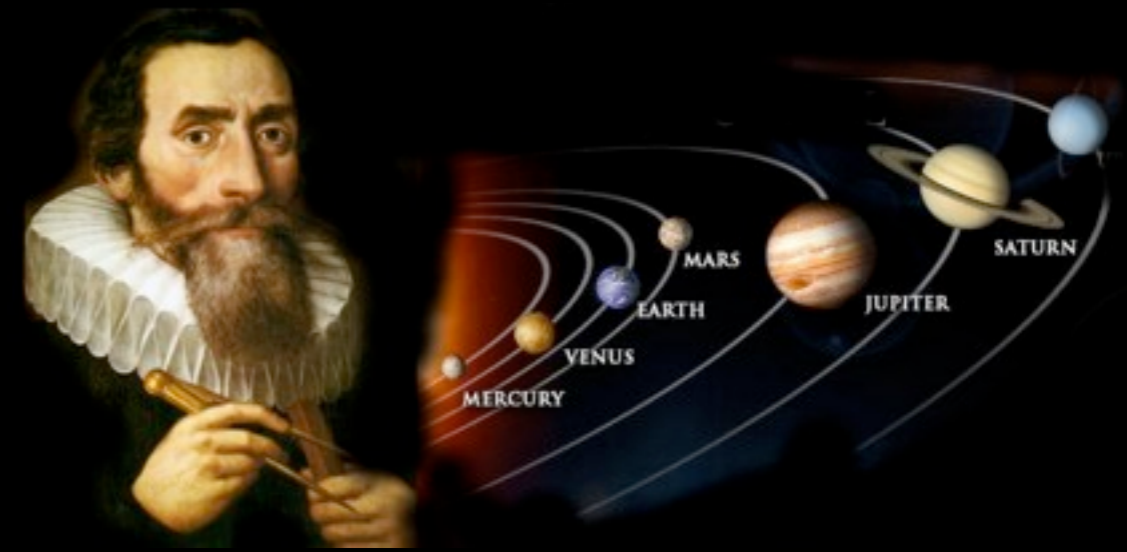


Keplero

Le distanze tra il Sole e i pianeti  
sono **accidentali**



... ma il fatto che  $T^2/R^3$  sia uguale per tutti i pianeti è **universale!**



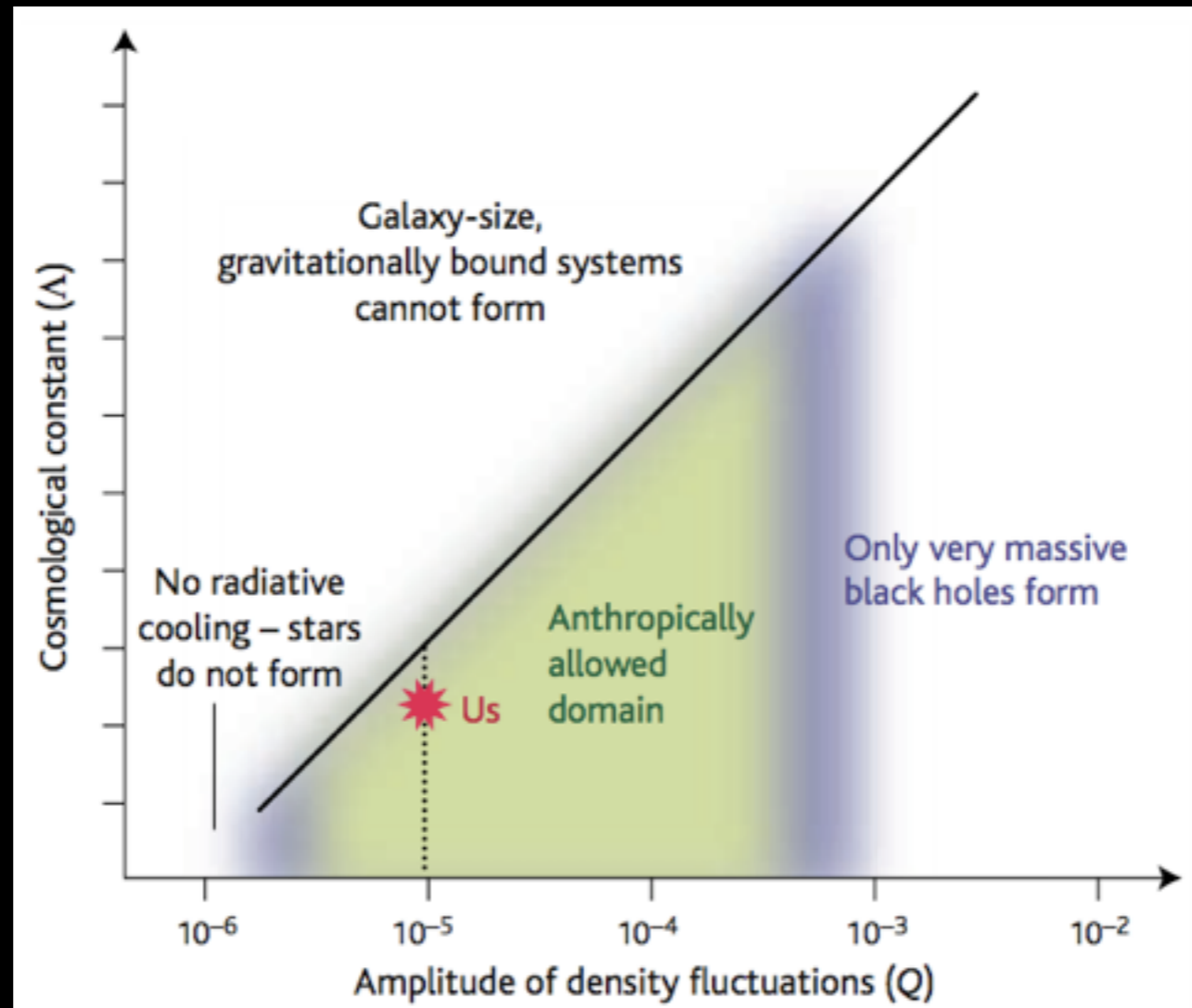
È una conseguenza della legge di gravitazione (universale) di Newton:

$$F = G m M / R^2$$

$$G M / R^2 = v^2 / R = (2 \pi R / T)^2 / R \dots$$



# La fortuna di avere poca energia (oscura)



Una costante cosmologica poco più grande,  
e niente galassie, niente Sole, niente Terra ...

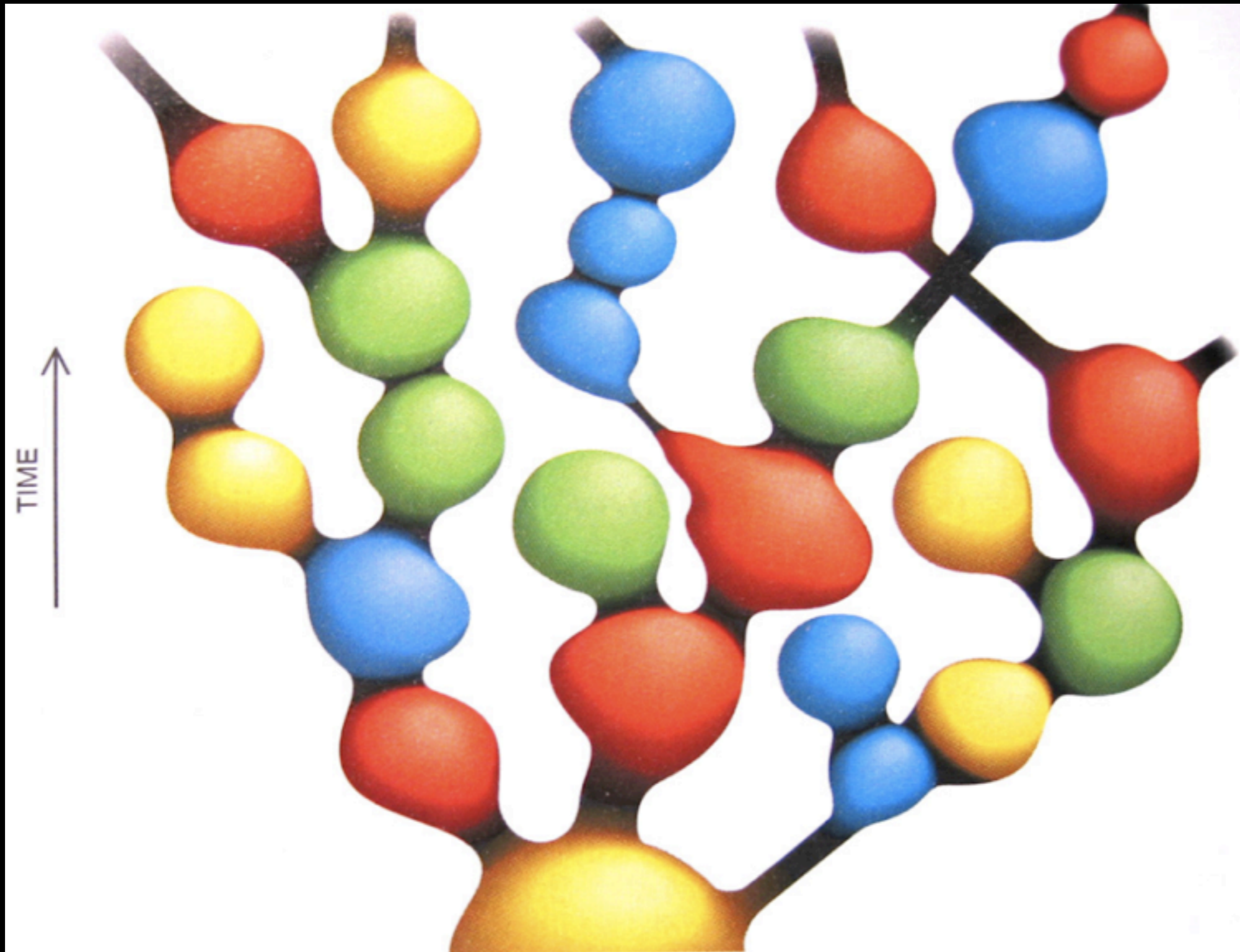
universale o accidentale?

# Multiversi



$10^{500}$  universi possibili

# Un Big Bang tira l'altro

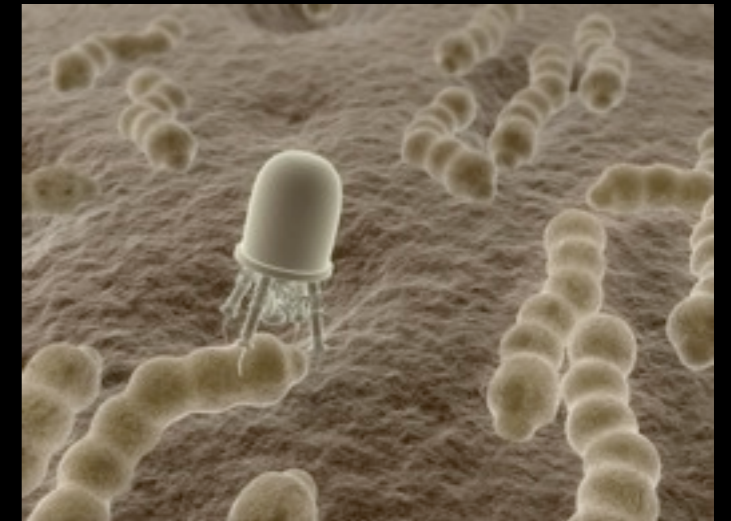


Andrei Linde, 1994

# Materia ed Energia Oscura: Esistono o sono solo teoria?

“Gli atomi sono entità teoriche, non verificabili  
fisicamente” (E. Mach, 1900)

Oggi si possono manipolare uno a uno:  
**NANOTECNOLOGIE**



Forse, nel 2100 saremo nell'era delle  
**TECNOLOGIE OSCURE**

