

Tracce dall'Universo Oscuro

Massimo Pietroni
INFN-Padova

Padova, 27 novembre 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

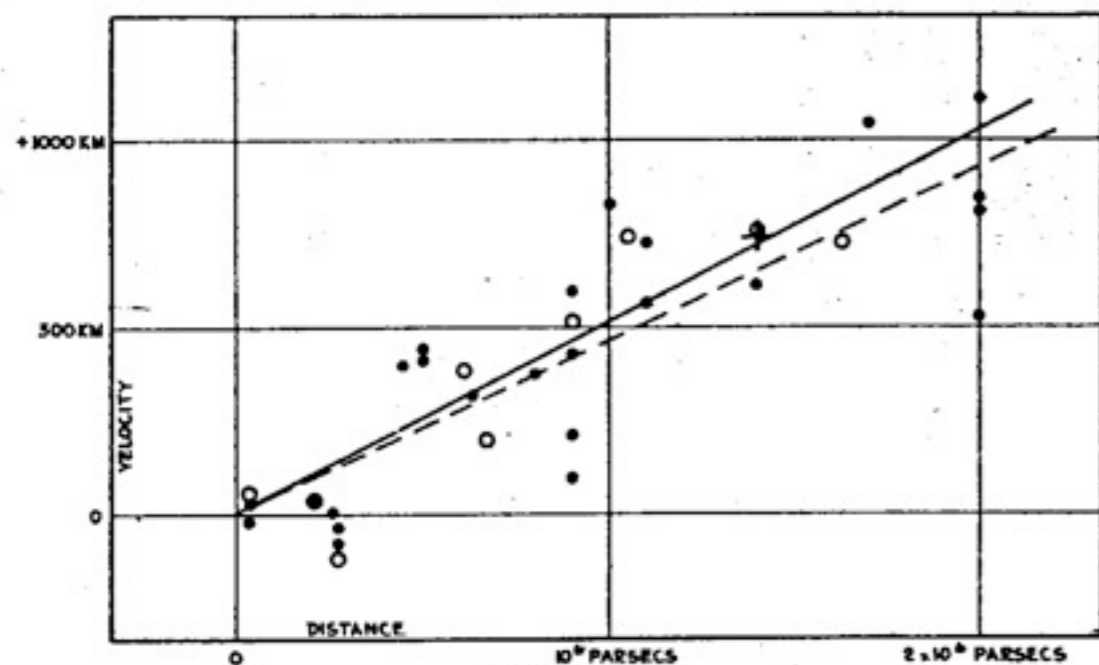
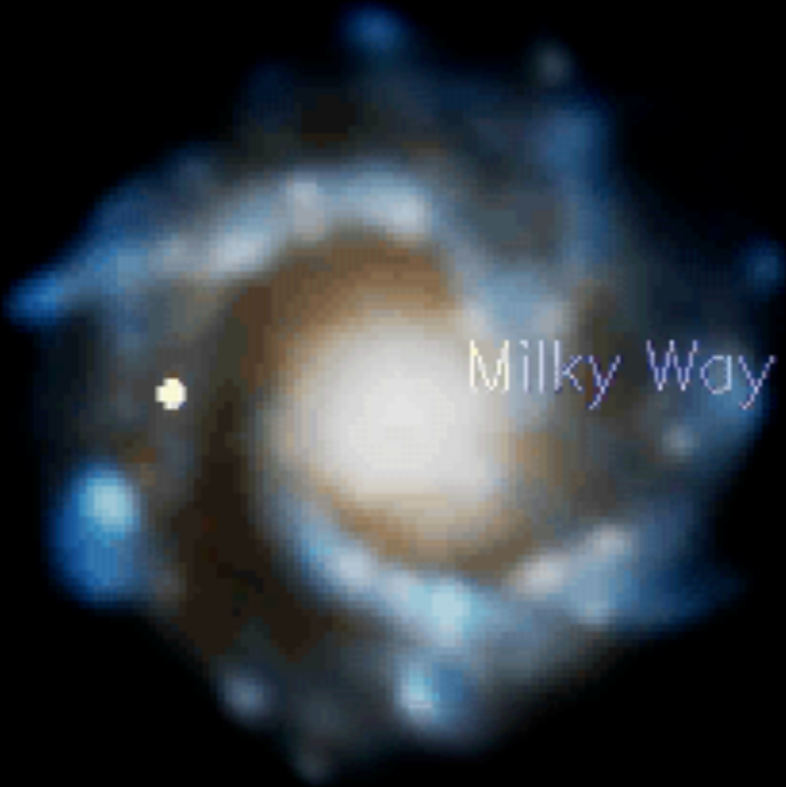


FIGURE 1



Milky Way



LMC

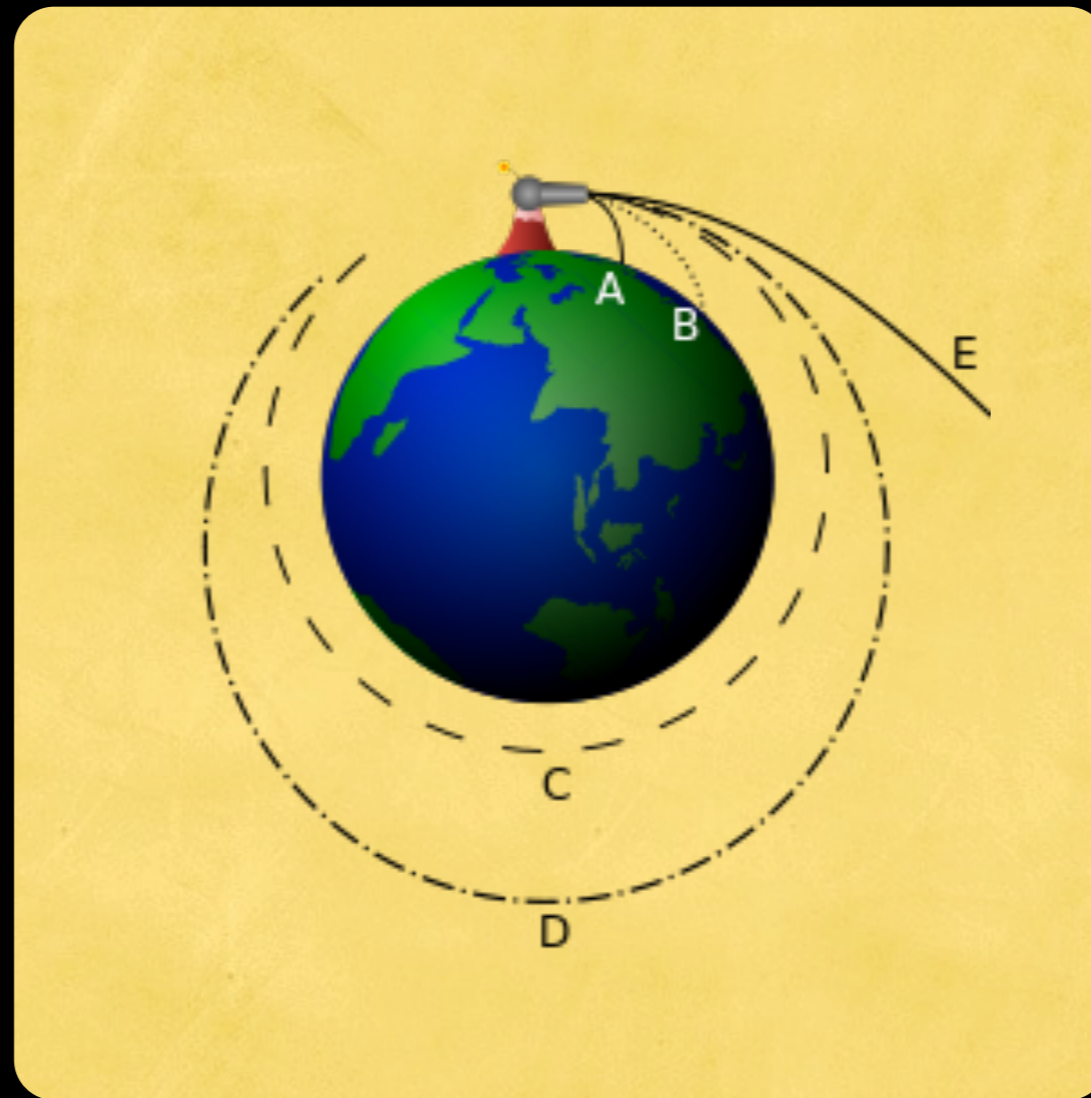
google: “SDSS Movie”

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

Le prime tracce

Velocità contro Gravità

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



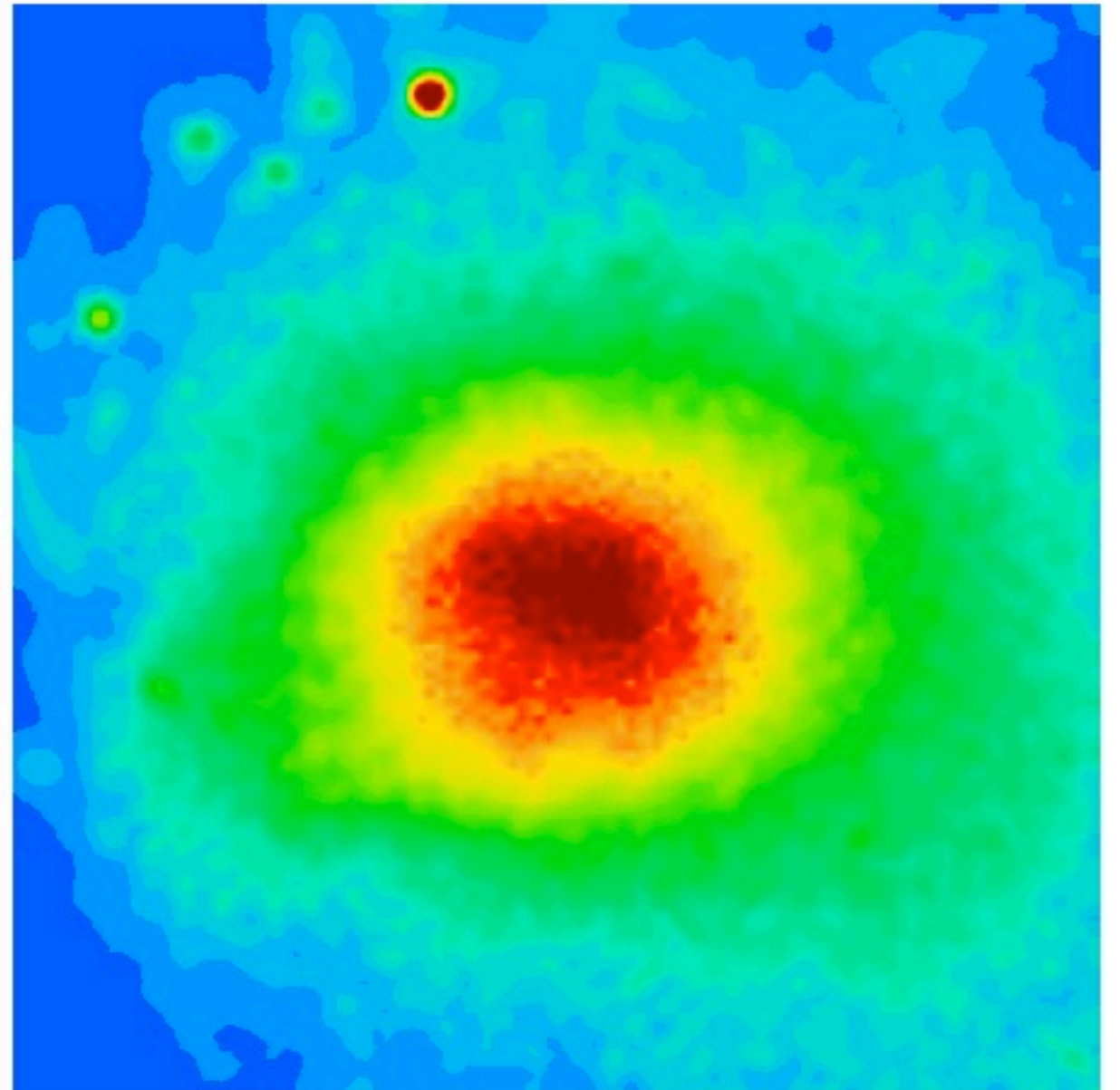
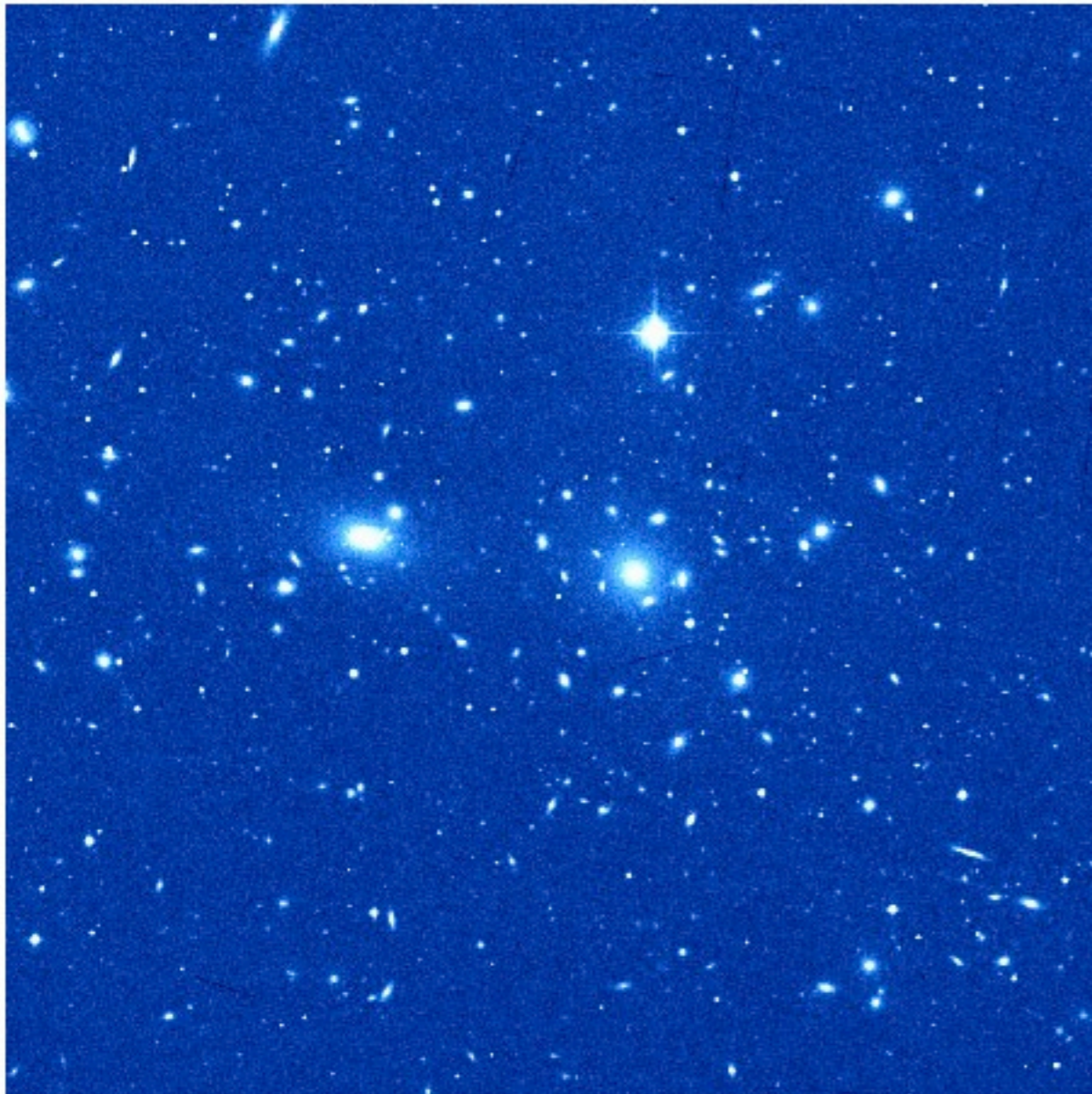
$$M = \frac{R v^2}{G}$$

Una storia antica



Fritz Zwicky 1933

Ammasso di galassie della Chioma

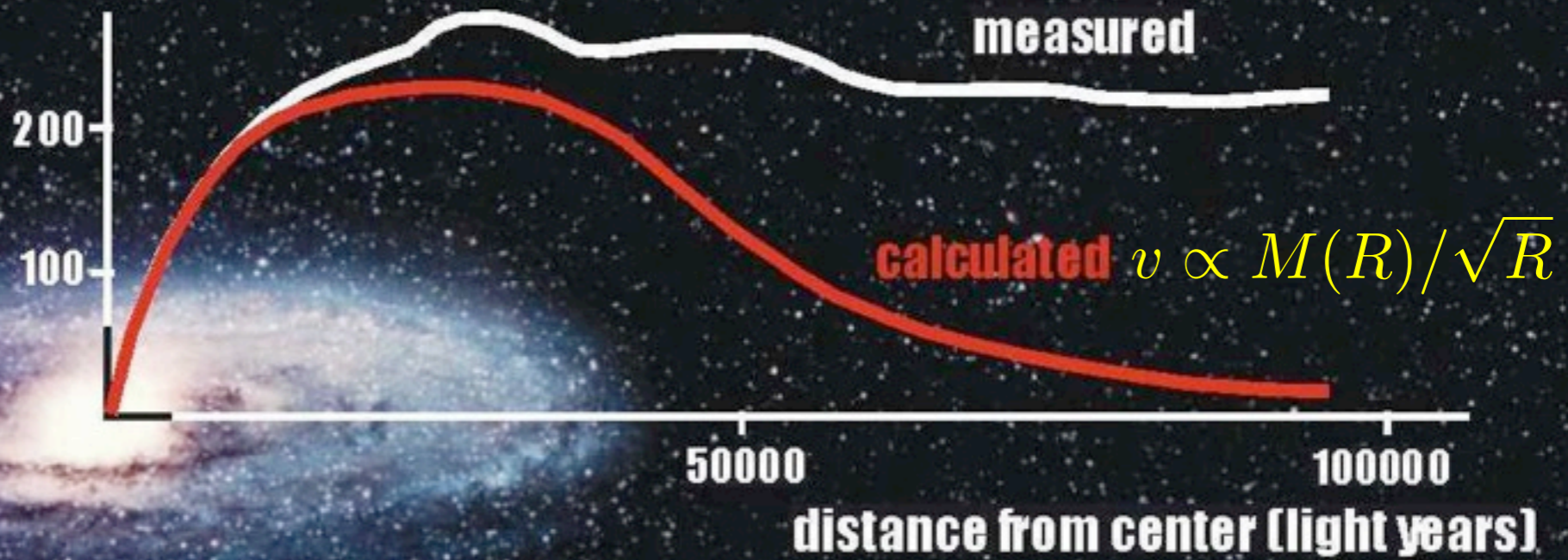




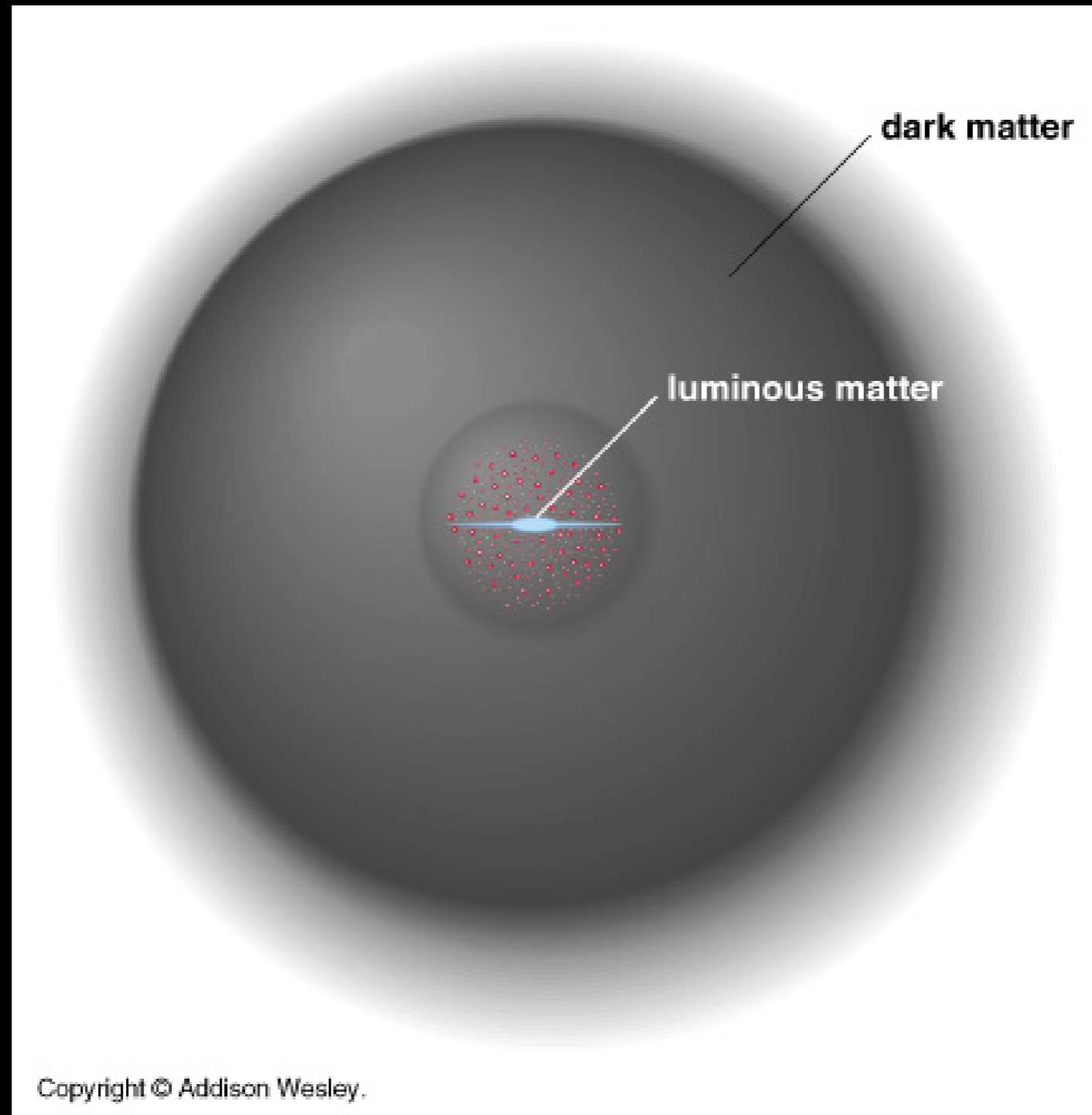
Vera Rubin ~ 1970



rotational velocity
[km/s]

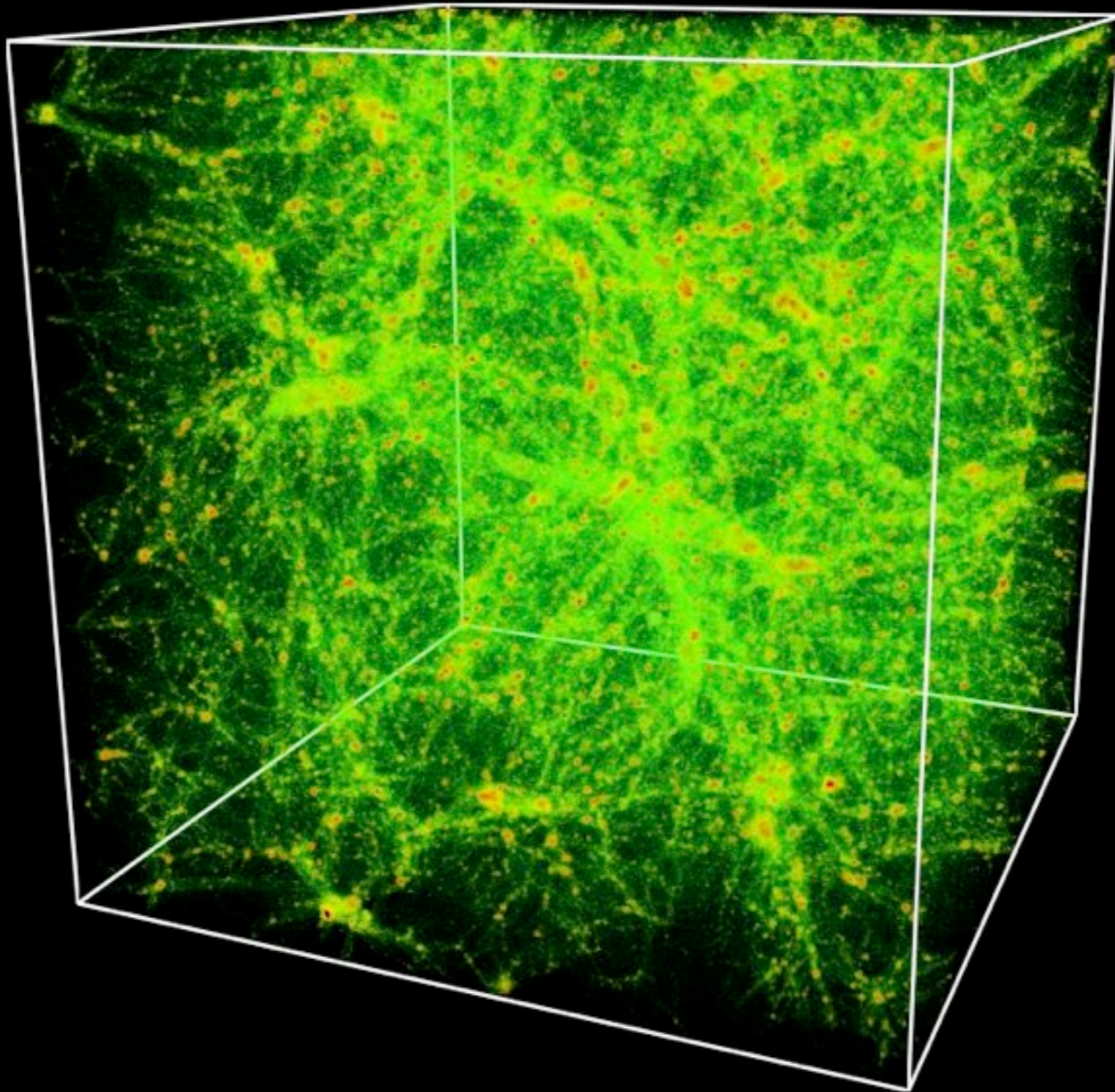


Aloni di materia oscura



non solo attorno alle galassie...

La materia oscura è lo
'scheletro' dell'Universo

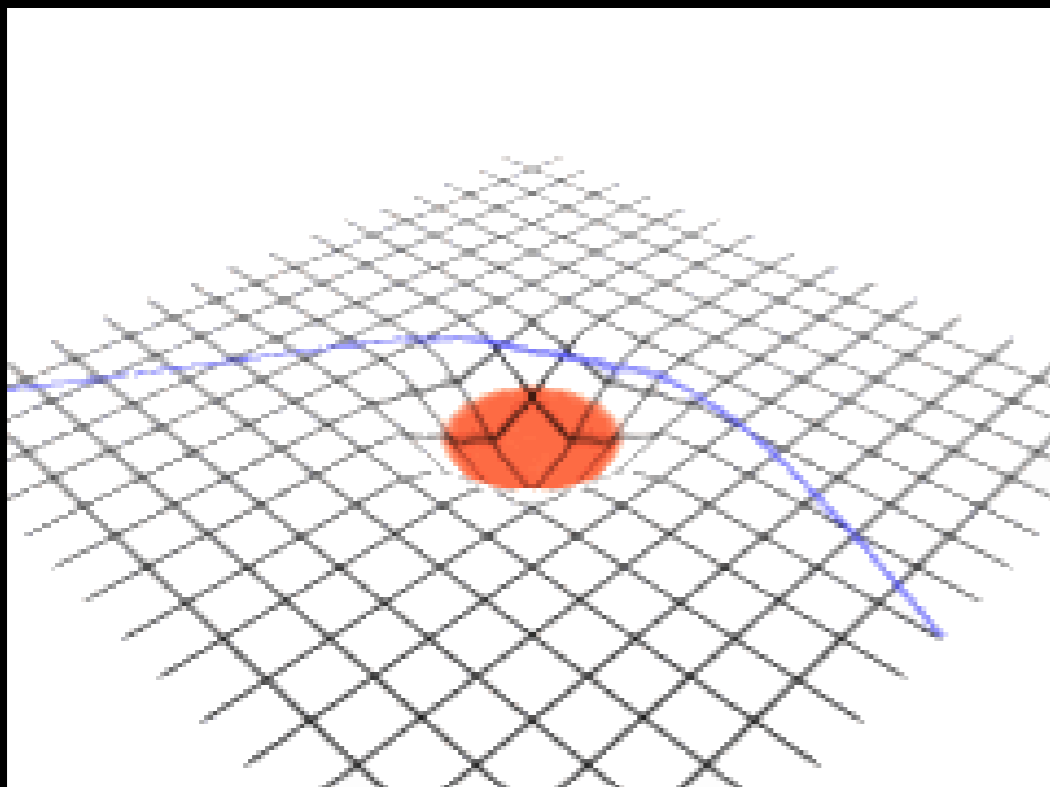
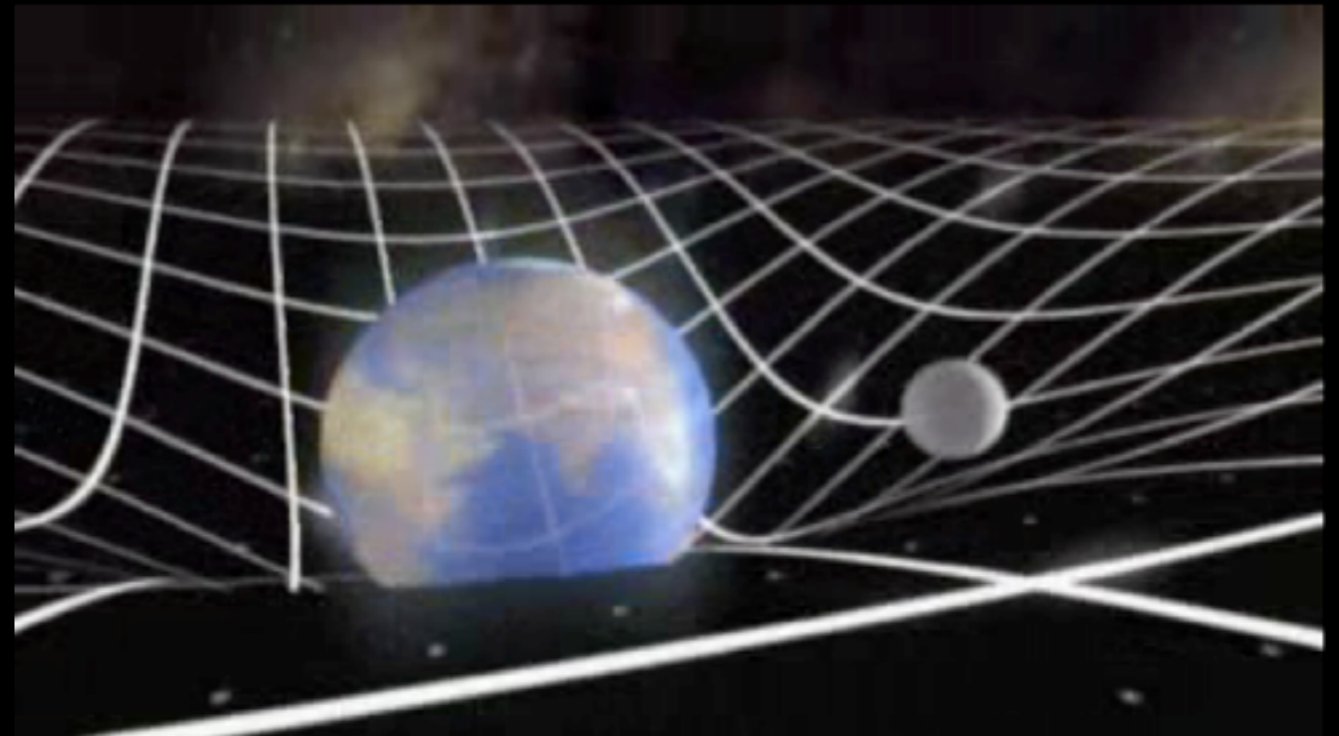


Tracce più recenti

Gravità = Geometria

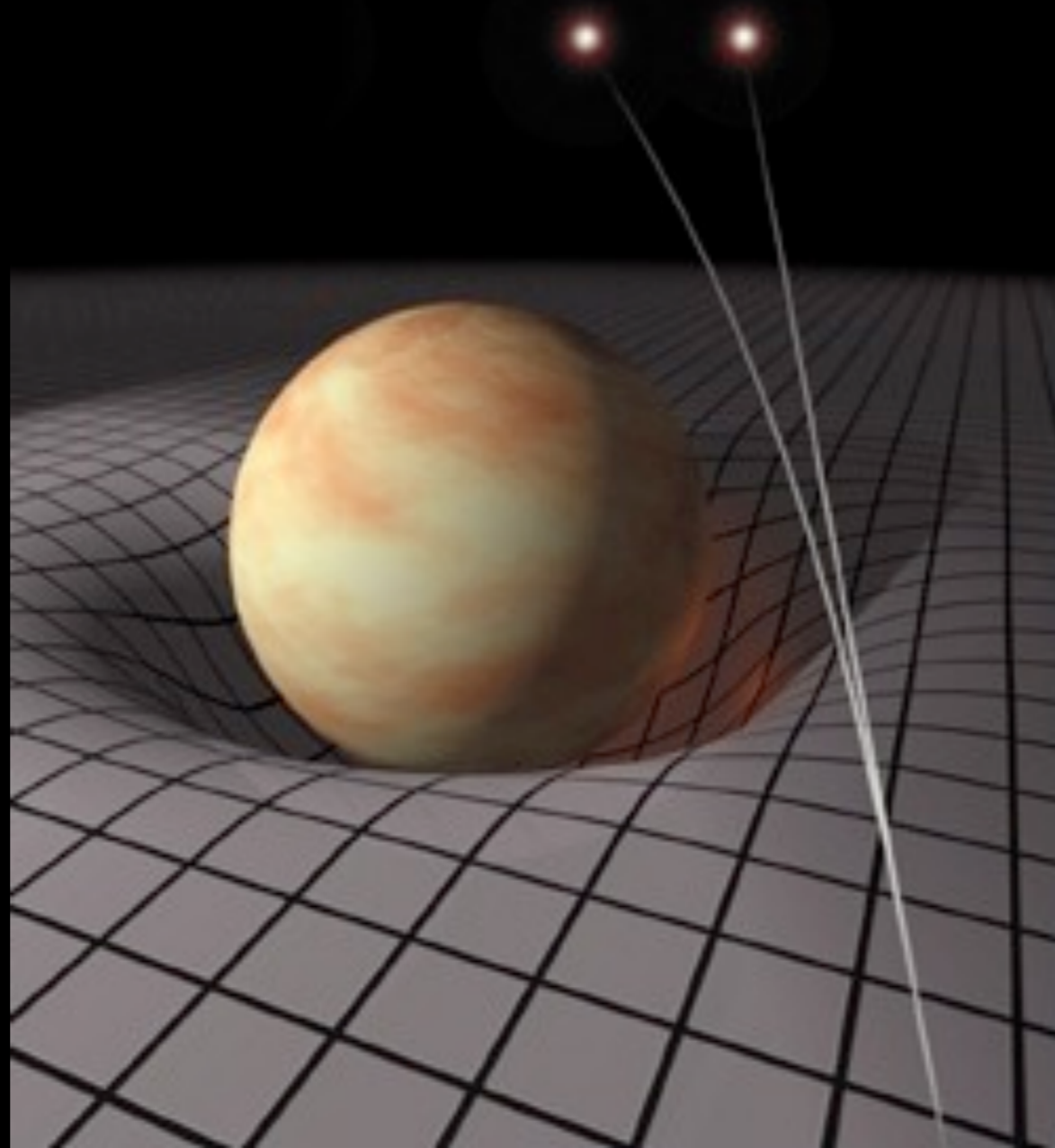
(A. Einstein)

Le masse curvano lo spazio-tempo



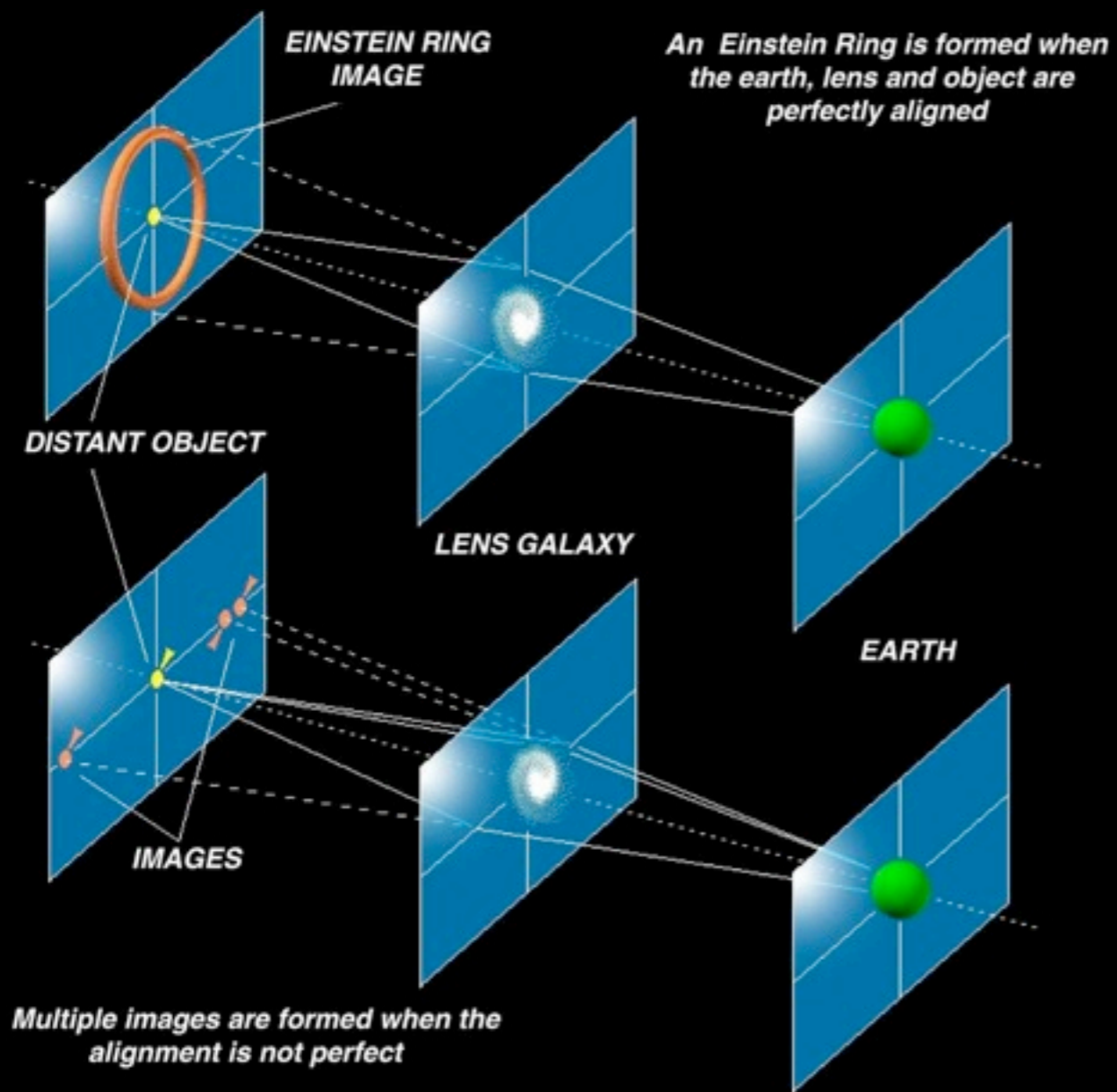
I corpi si muovono lungo le traiettorie più brevi nello spazio curvo

Anche la luce segue la geometria

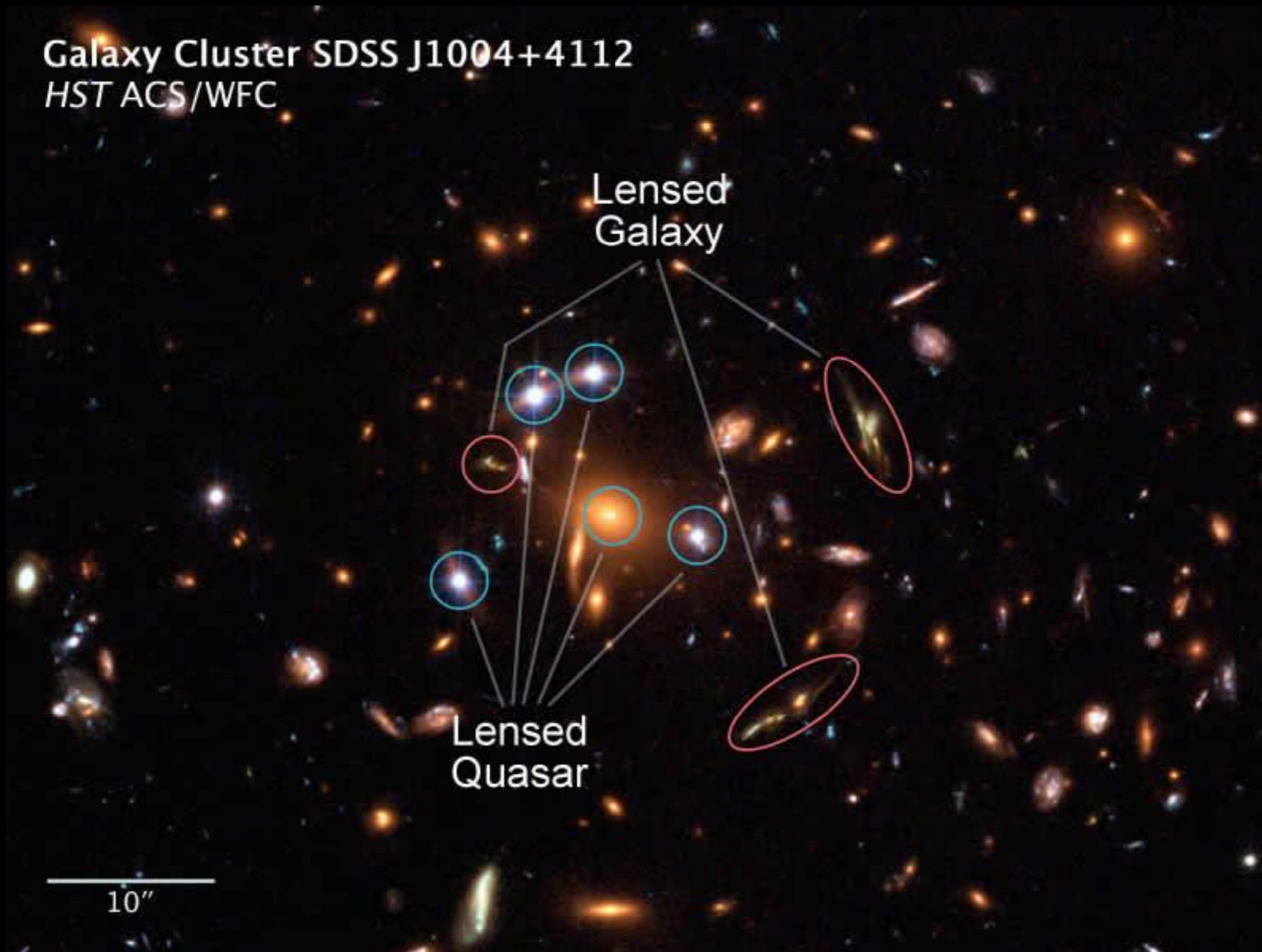


la luce può essere usata per 'pesare' la materia

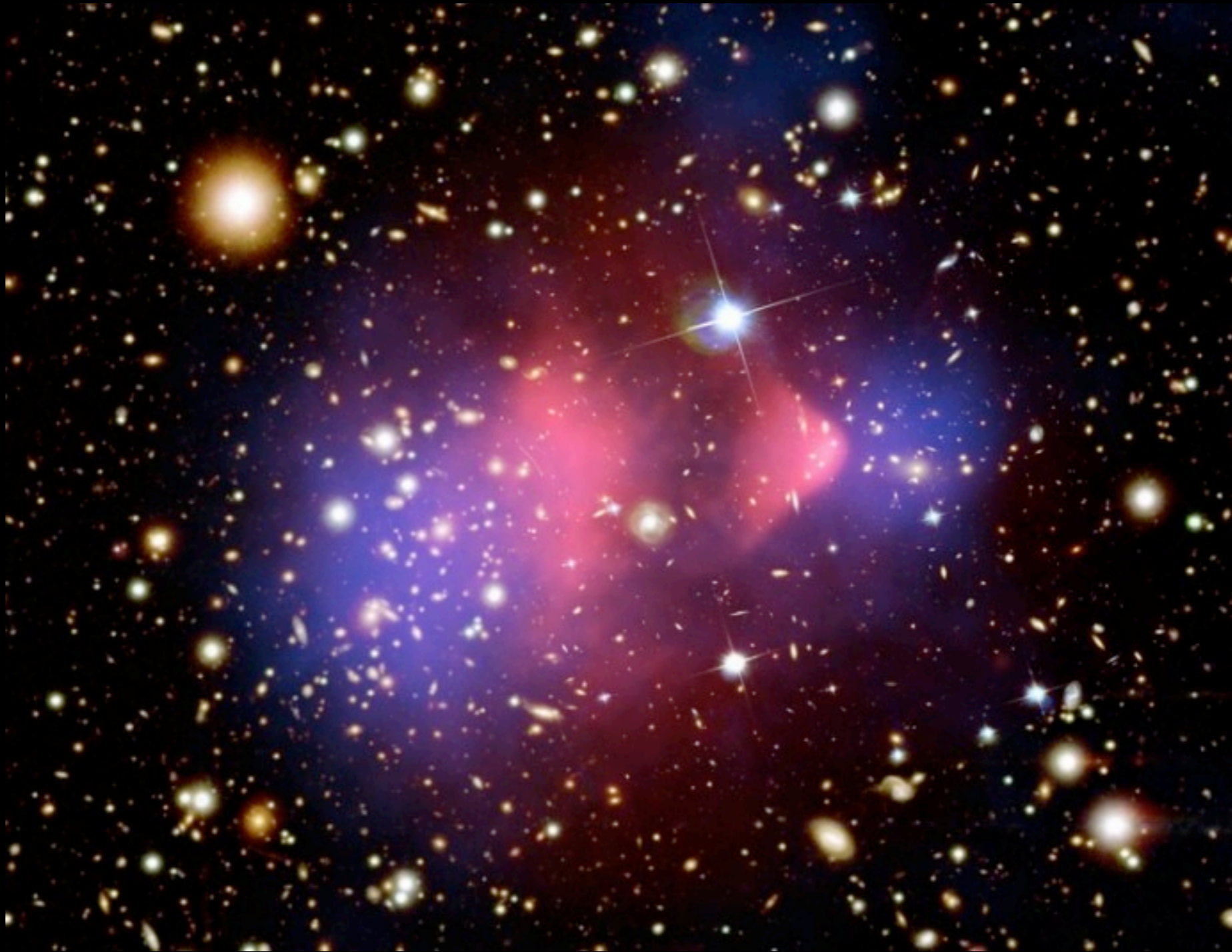
Lenti gravitazionali



Materia oscura manifesta

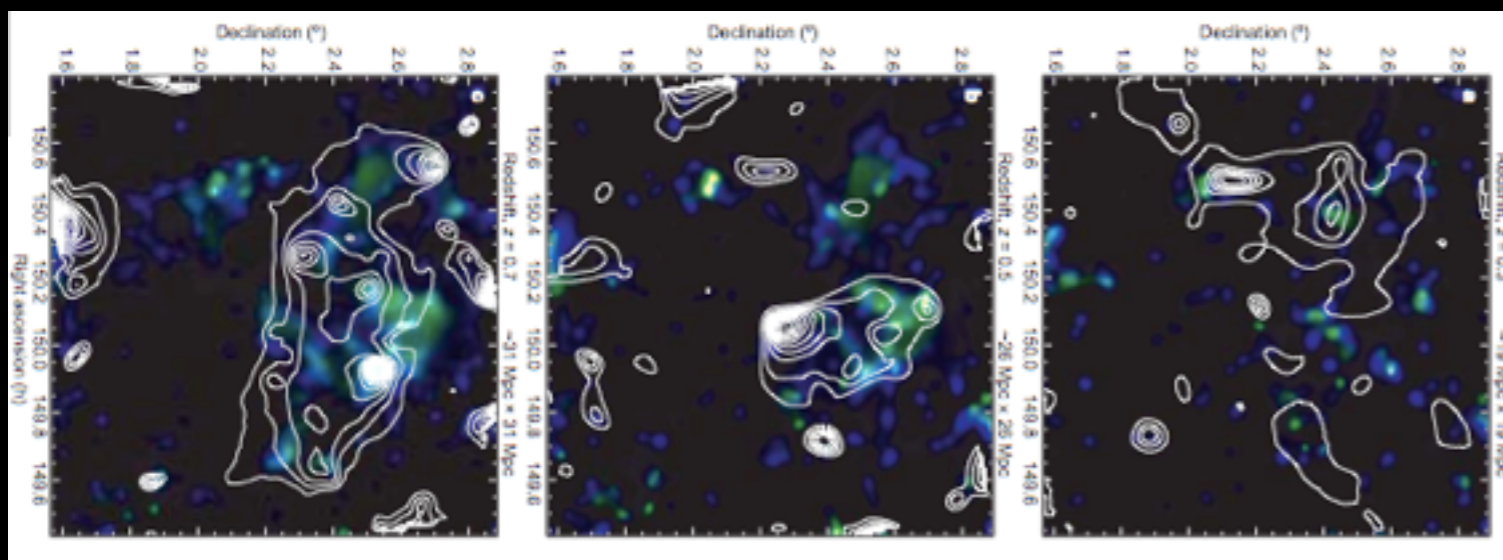
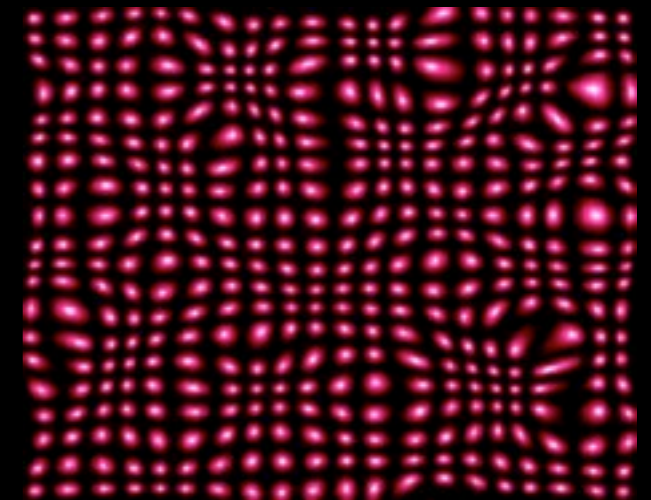
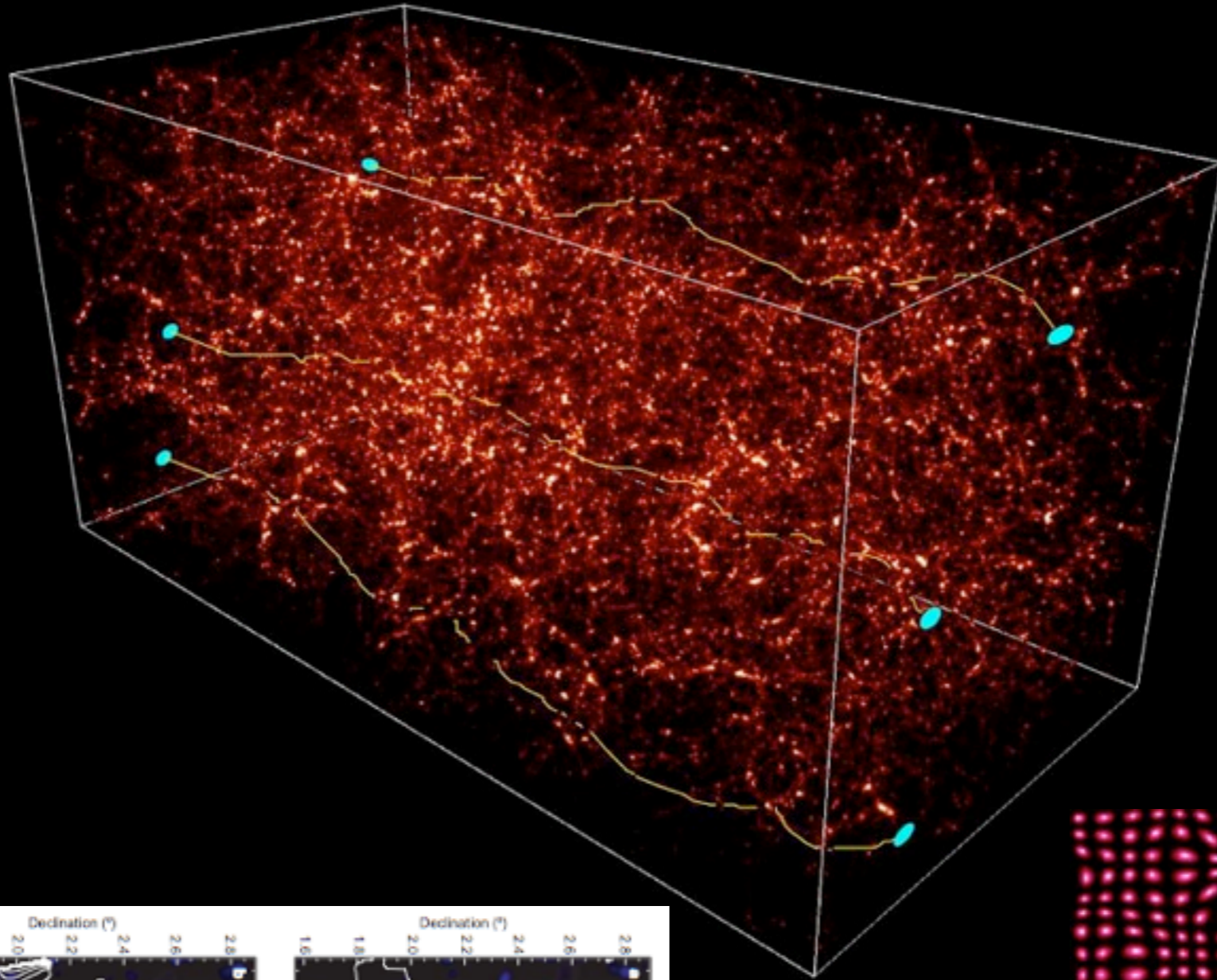
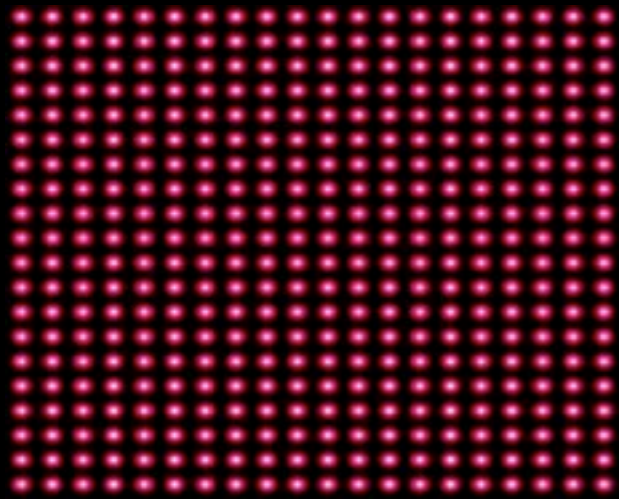


Materia oscura manifesta



bullet cluster

Futuro: TAC dell'Universo oscuro



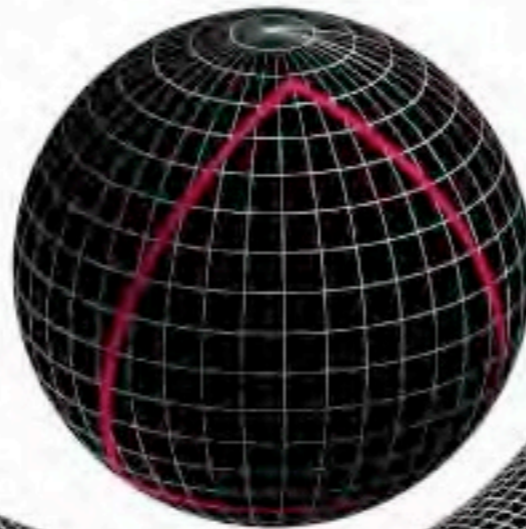
Quanta materia oscura?

Quanta massa in totale?

La geometria dell'Universo dipende dalla sua massa totale

chiuso

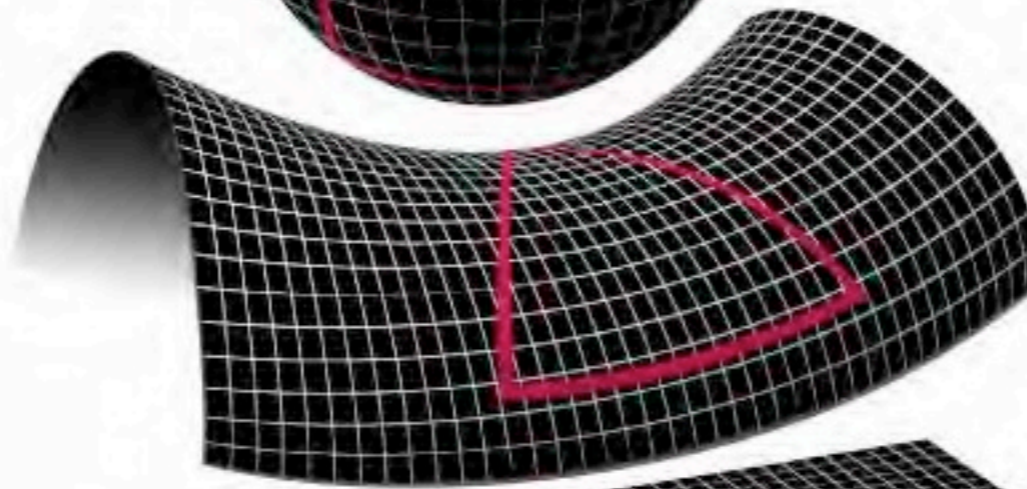
$$\Omega_0 > 1$$



$$\rho > \rho_c$$

aperto

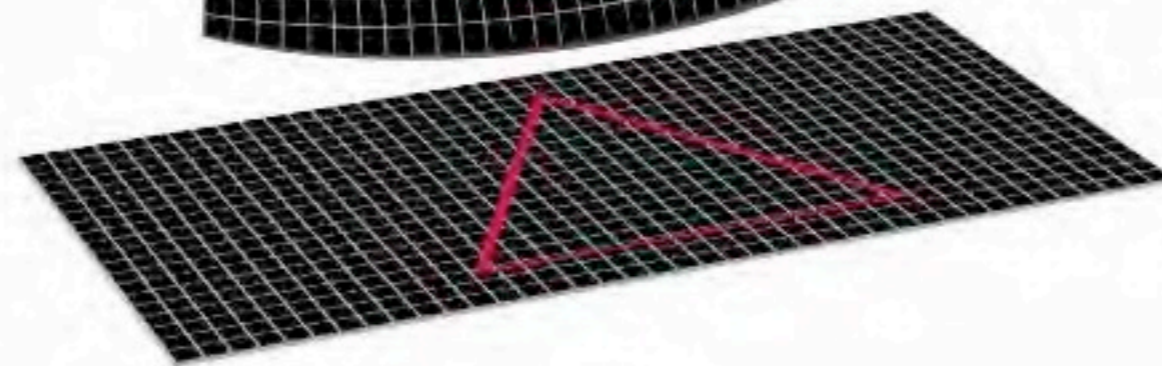
$$\Omega_0 < 1$$



$$\rho < \rho_c$$

piatto

$$\Omega_0 = 1$$

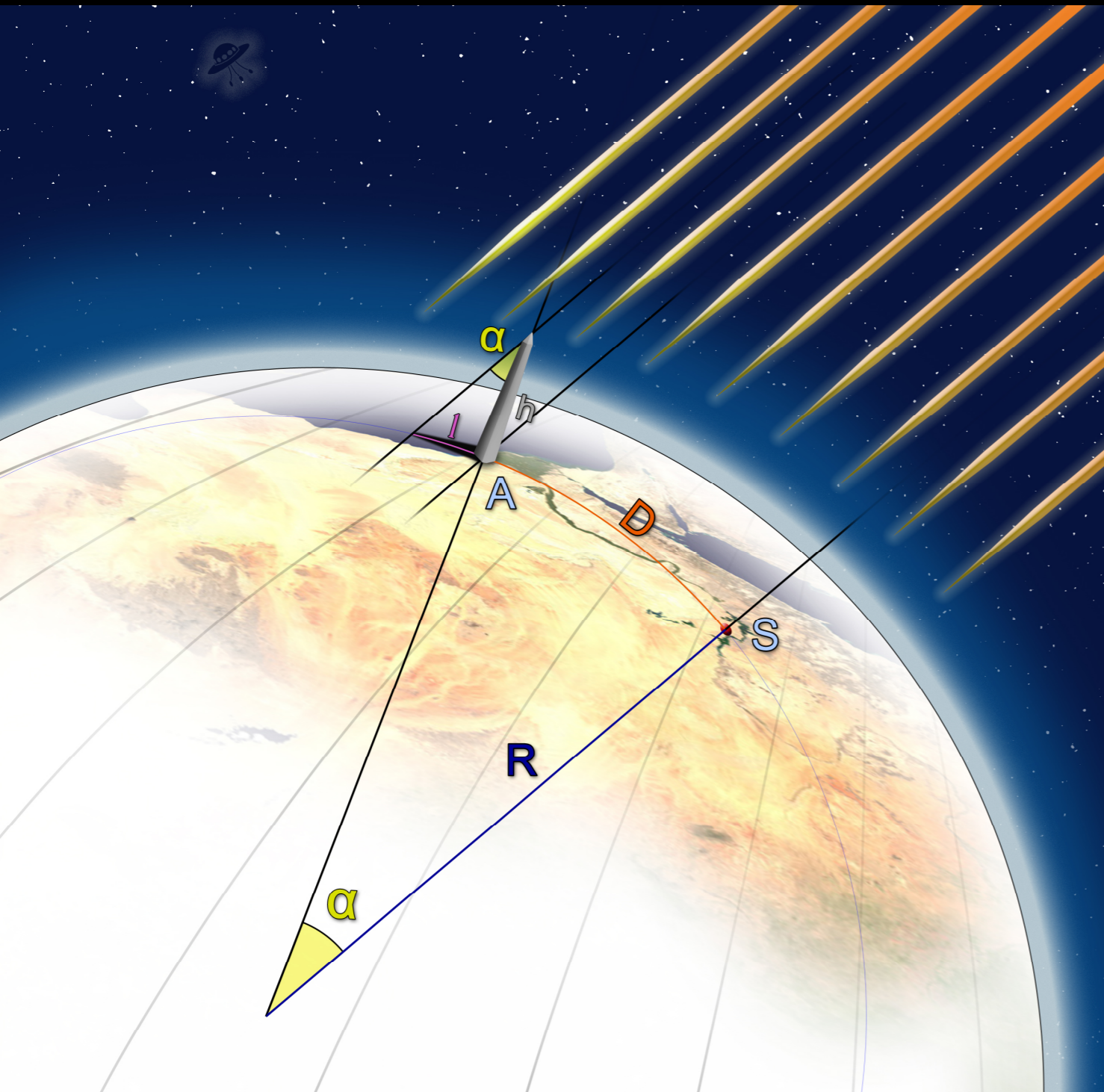
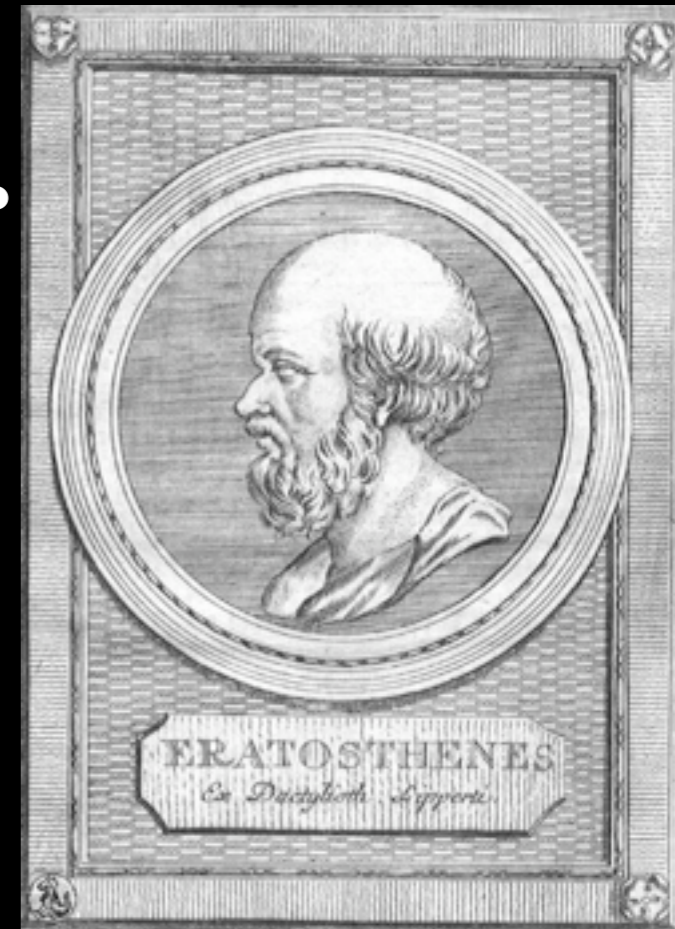


$$\rho = \rho_c$$

MAP990006

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

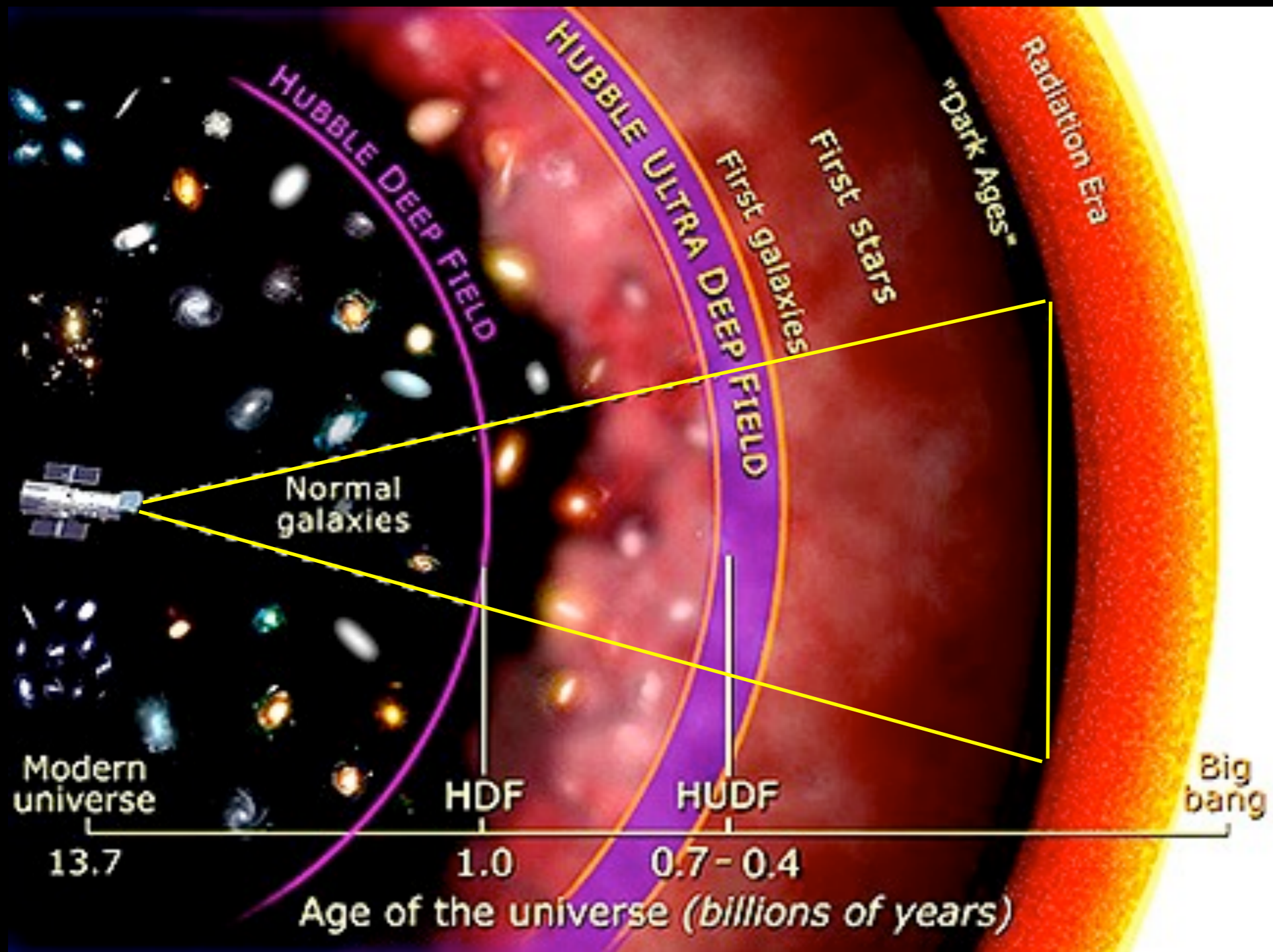
Eratostene 230 A.C.



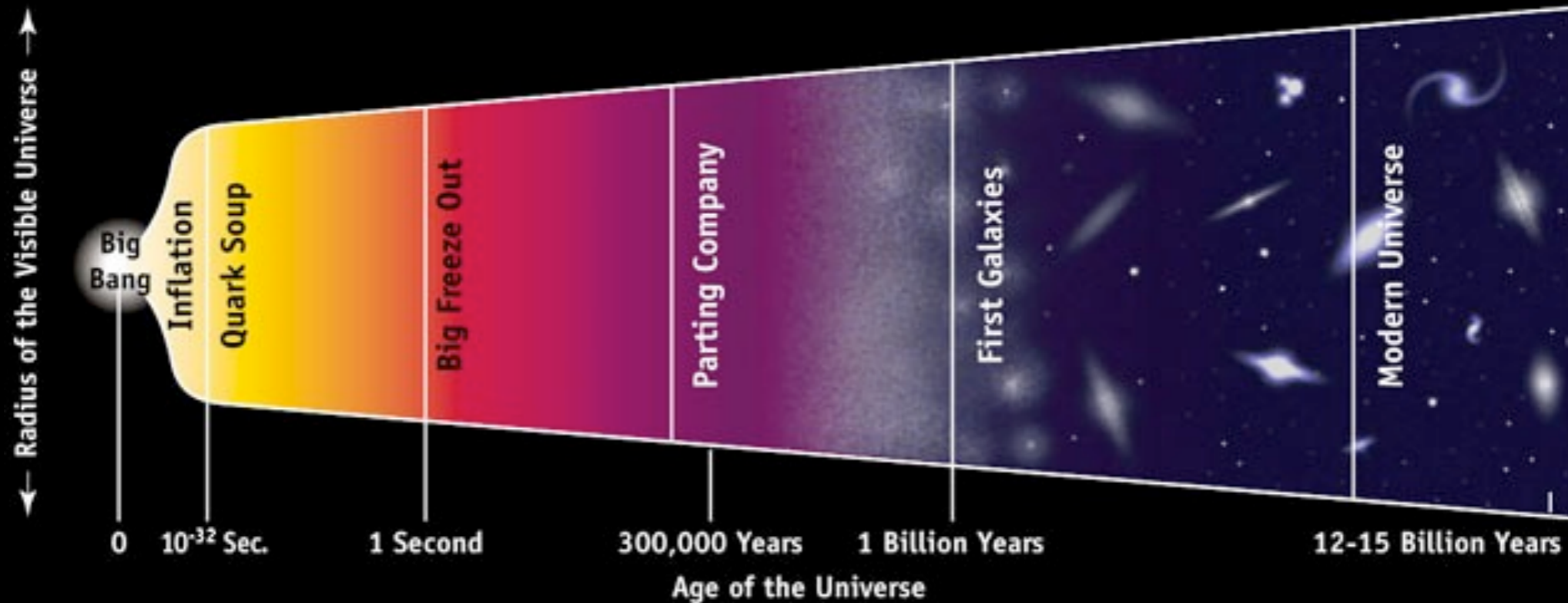
la Terra è rotonda
e il suo raggio è

$$R = h D / l$$

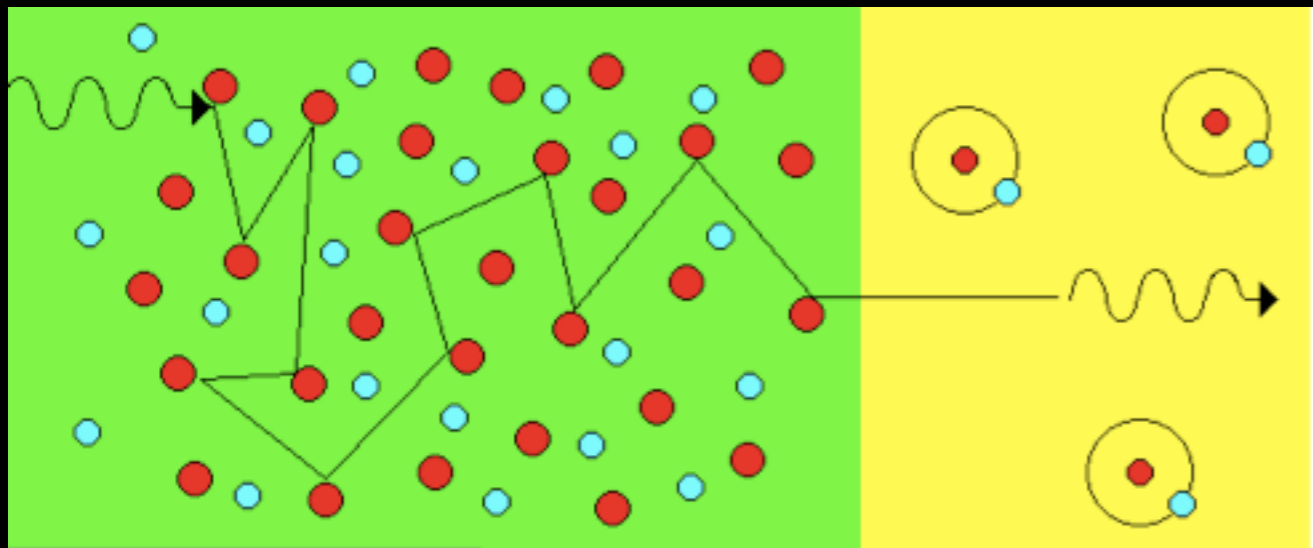
Triangolazioni cosmiche



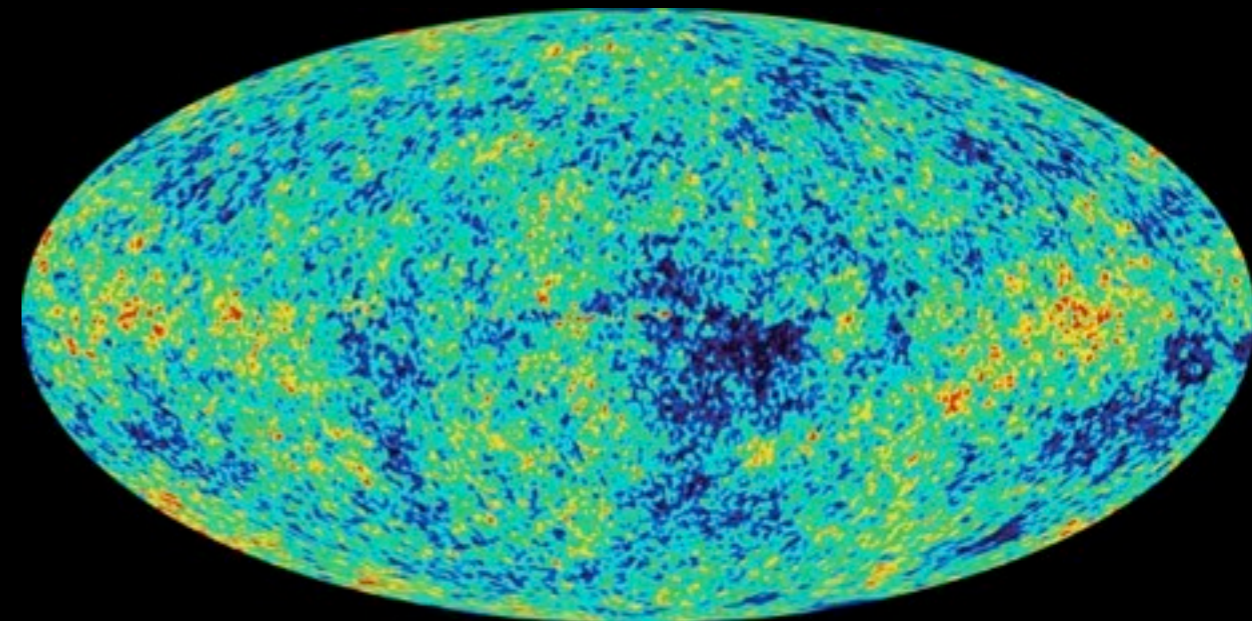
La radiazione cosmica di fondo



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

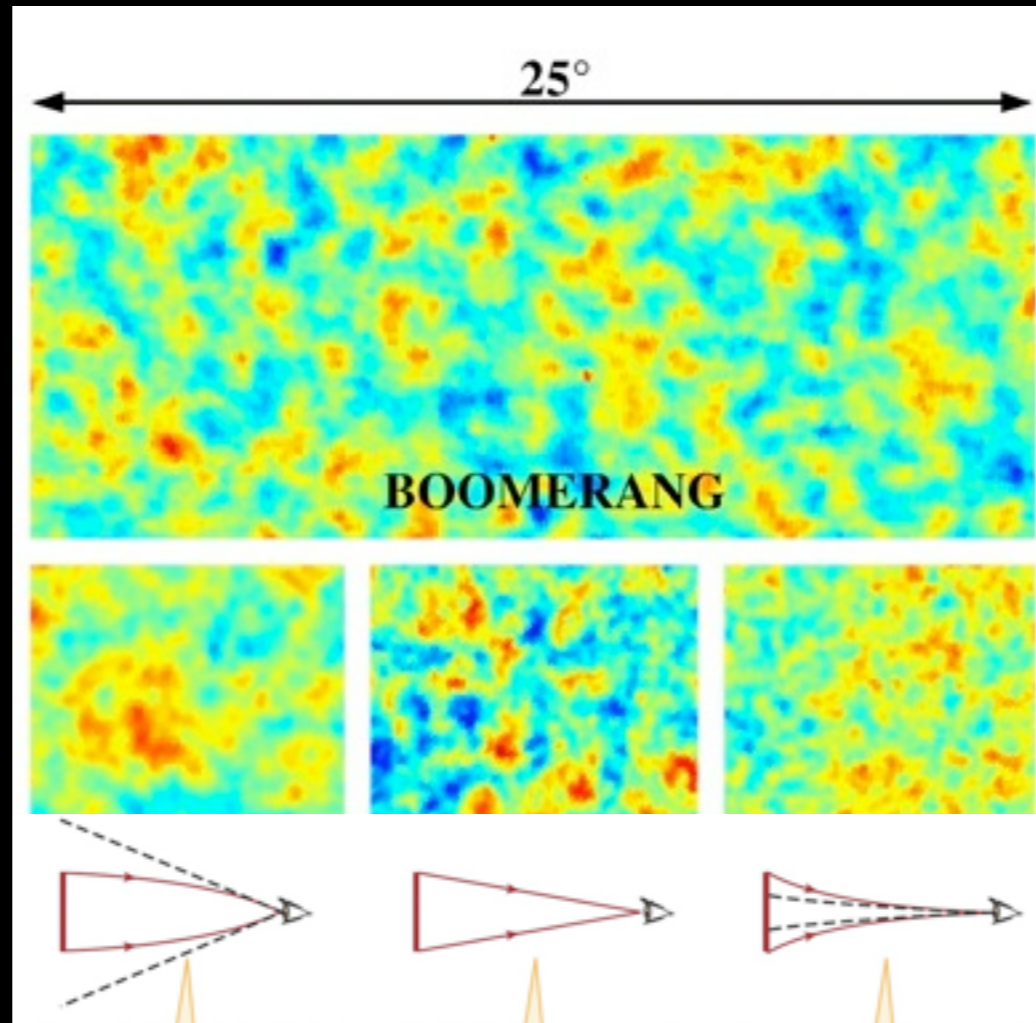
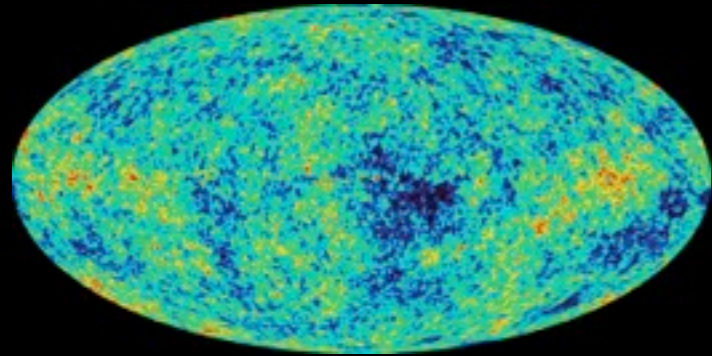


l'Universo diventa trasparente



radiazione 'fossile'

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



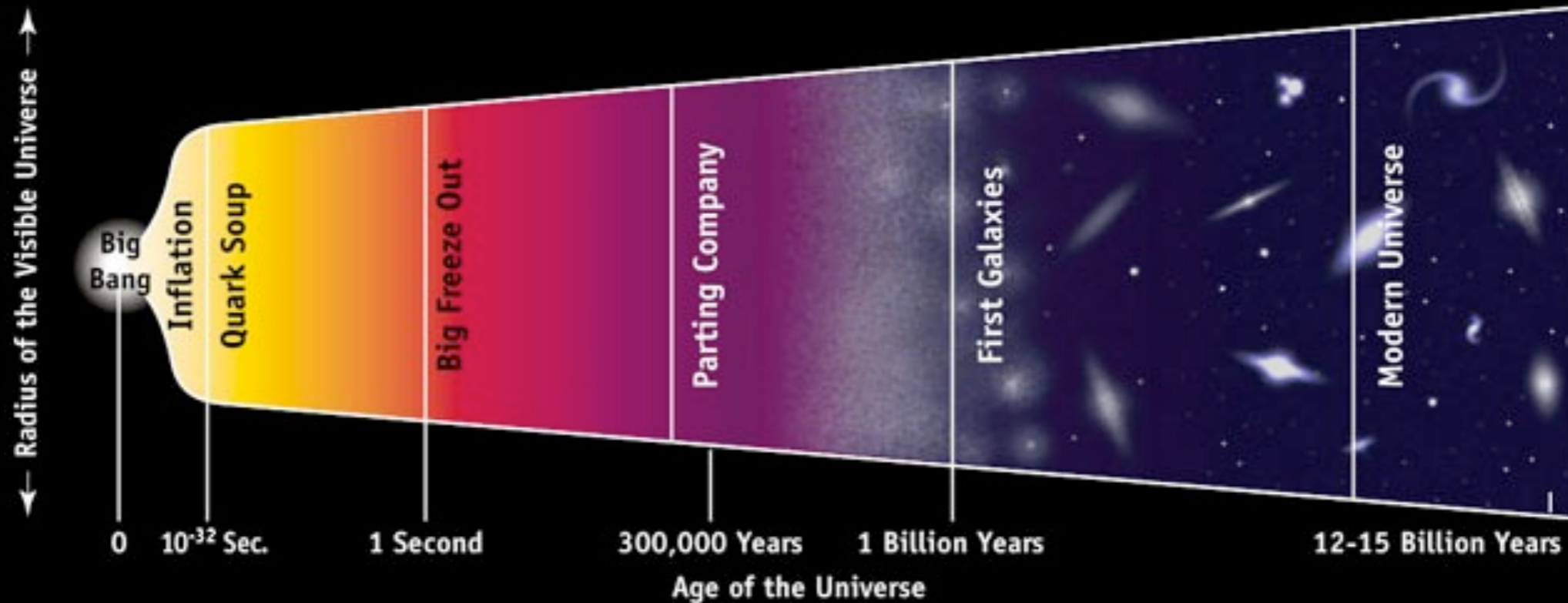
chiuso piatto aperto

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

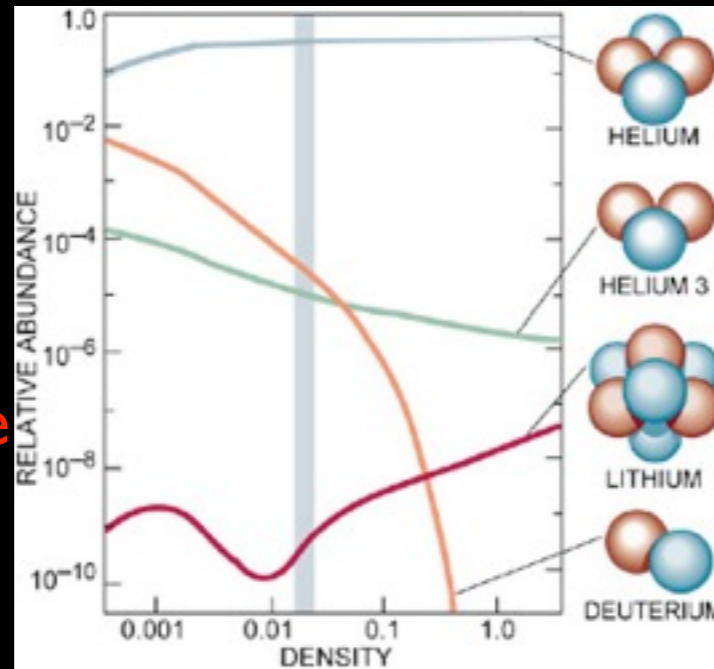
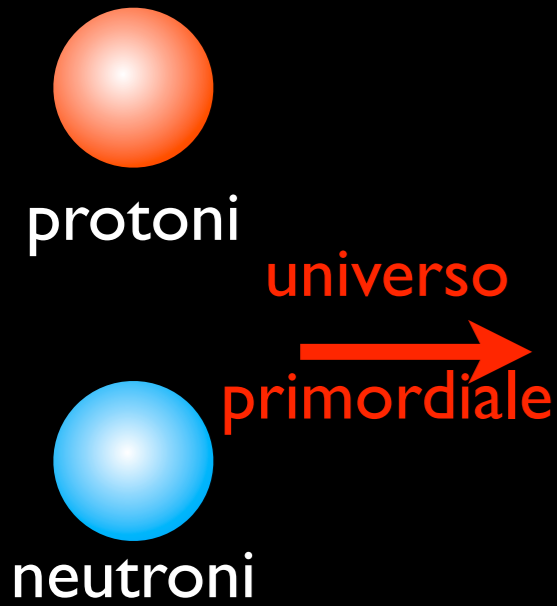


$T = 2.7 \cdot 10^9 \text{ }^\circ\text{C}$
 $t \sim 1 \text{ sec}$

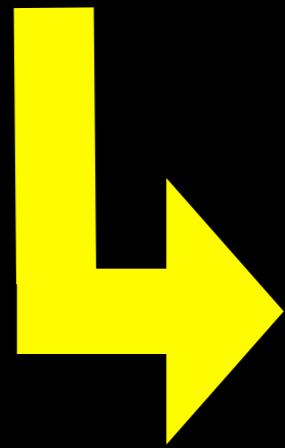


Si formano i
nuclei atomici più leggeri

La fornace primordiale



supernovae

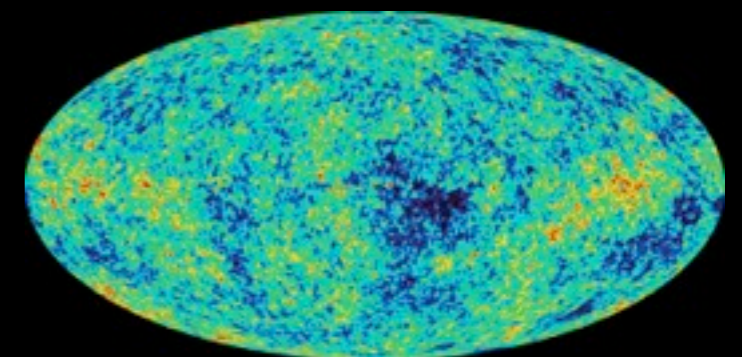
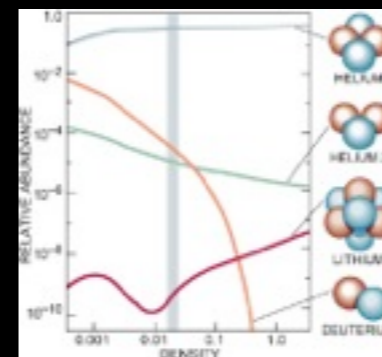


La materia “normale”, in qualunque forma, corrisponde al 4% del totale!!

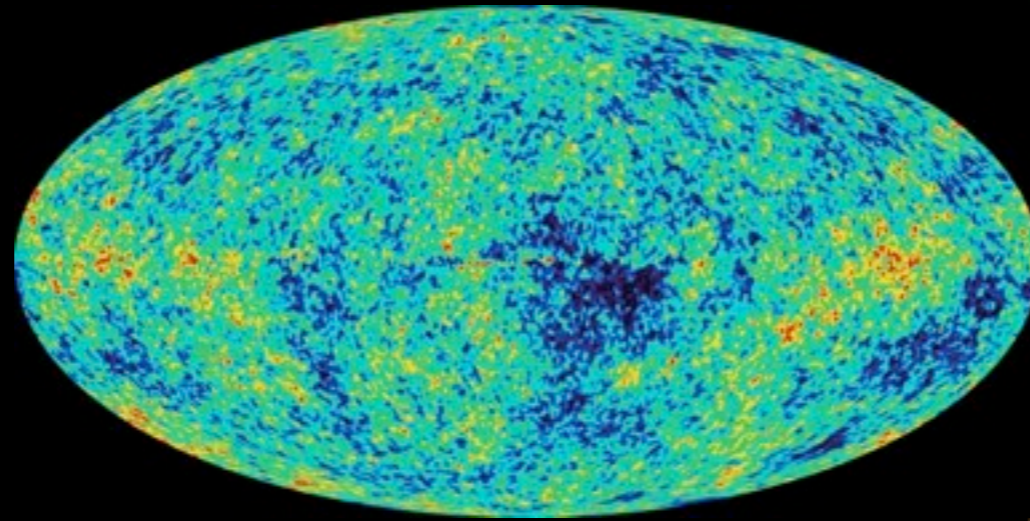
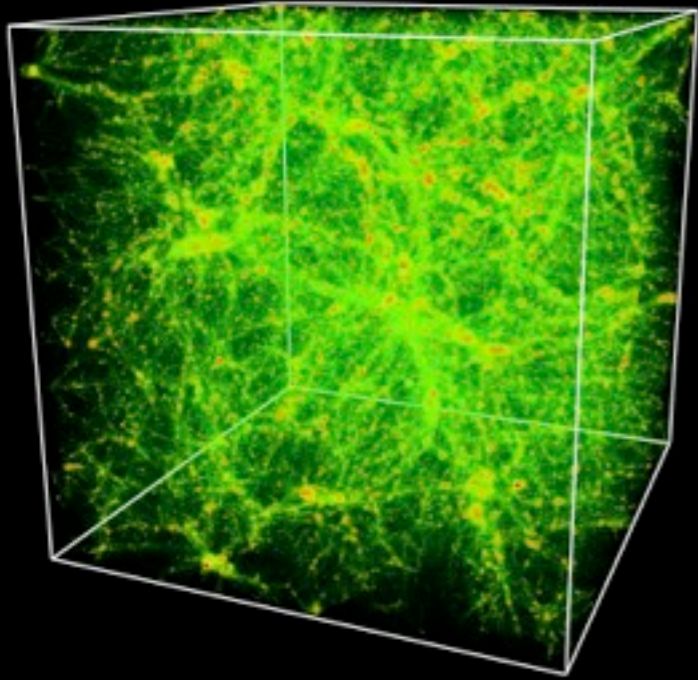
$$\rho_{n+p}/\rho_c \approx 0.04$$

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!



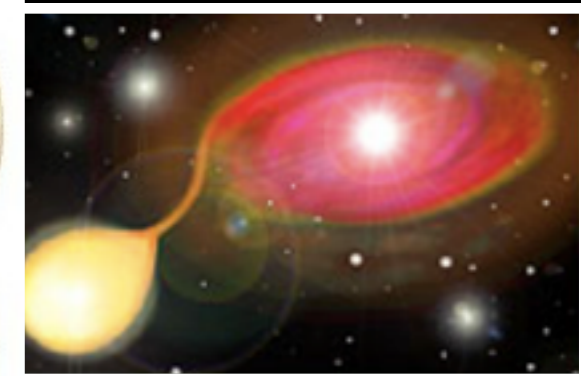
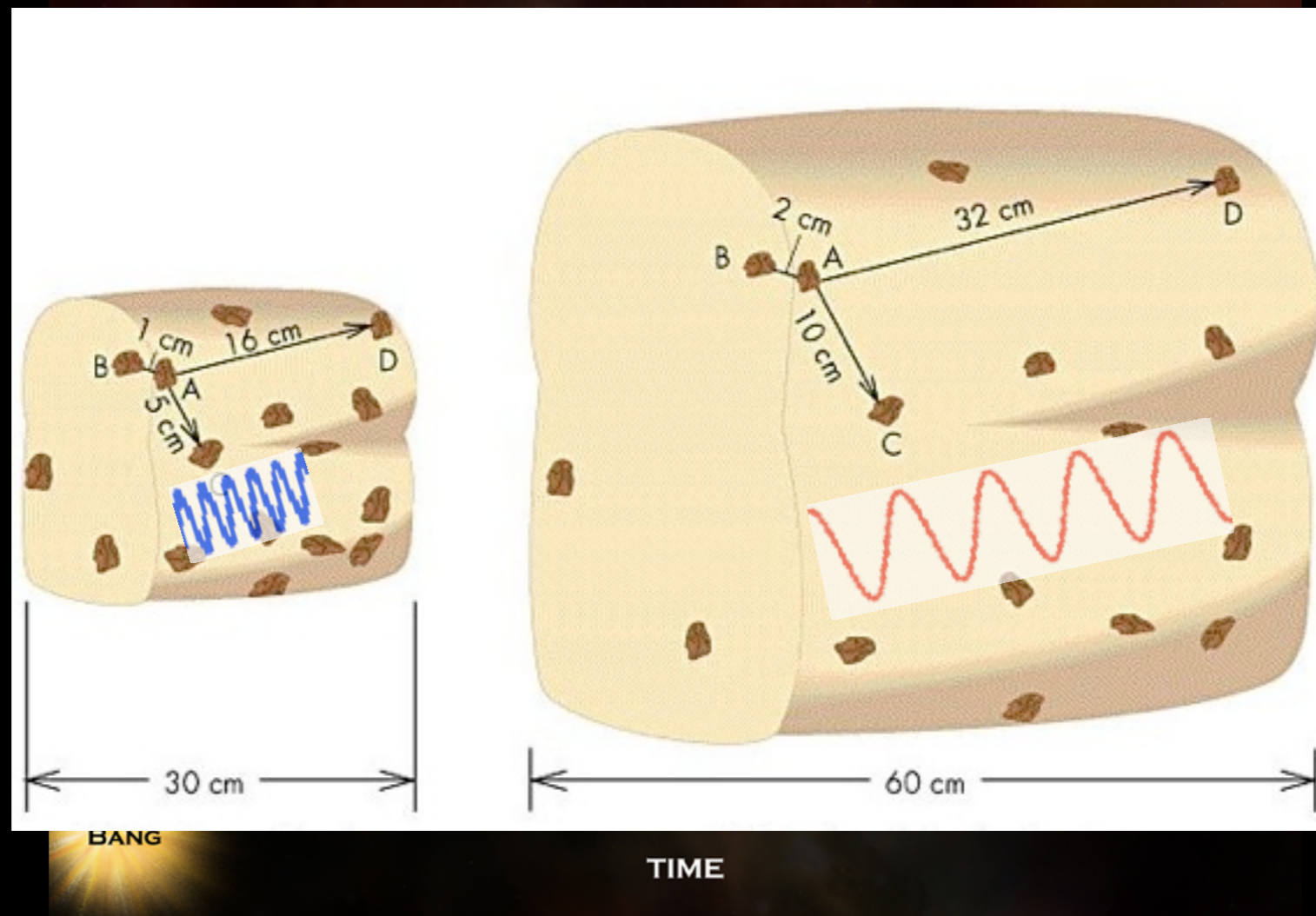
strutture cosmiche radiazione di fondo ammassi di galassie

materia oscura =
materia neutra e con gravità
'normale'



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

C'è dell'altro...

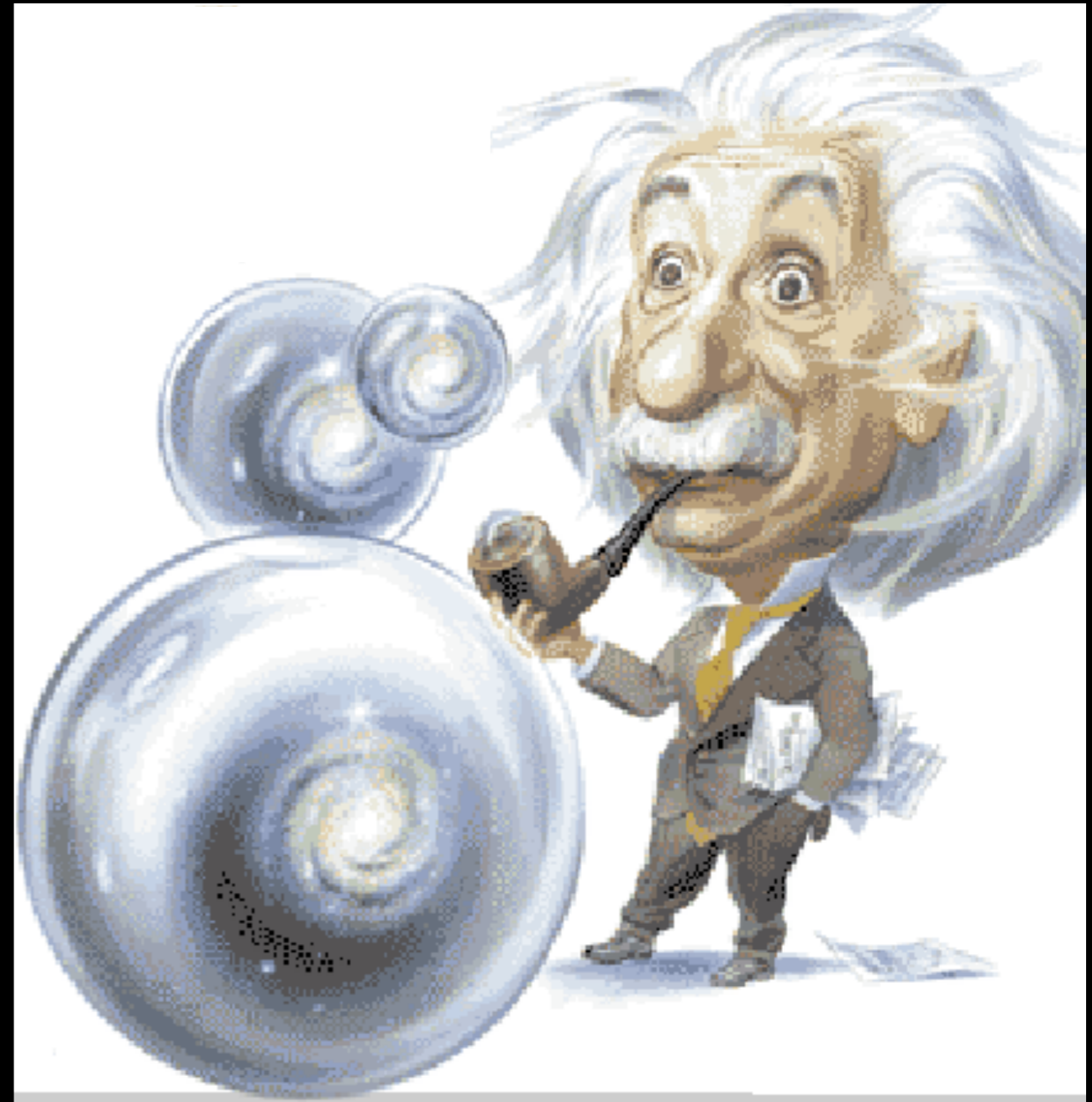


supernovae Ia

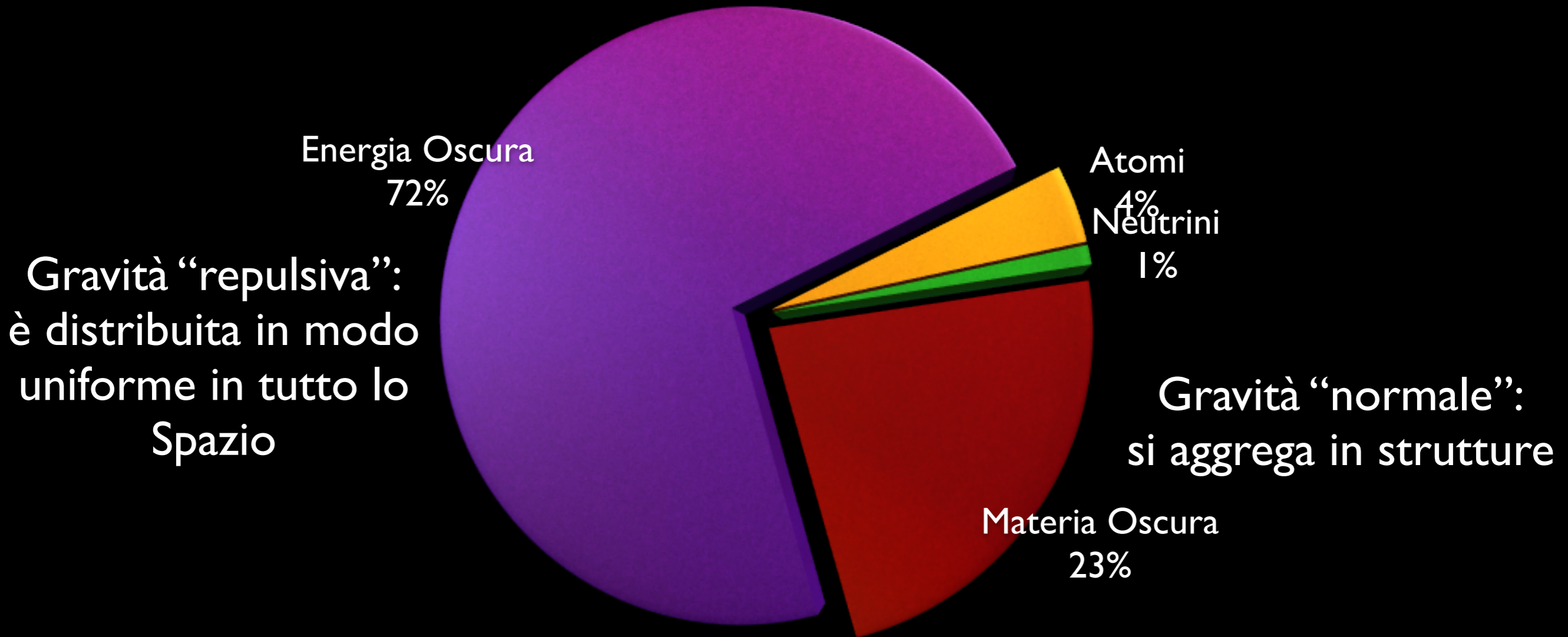
l'espansione sta accelerando
c'è energia oscura ("antigravità")

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

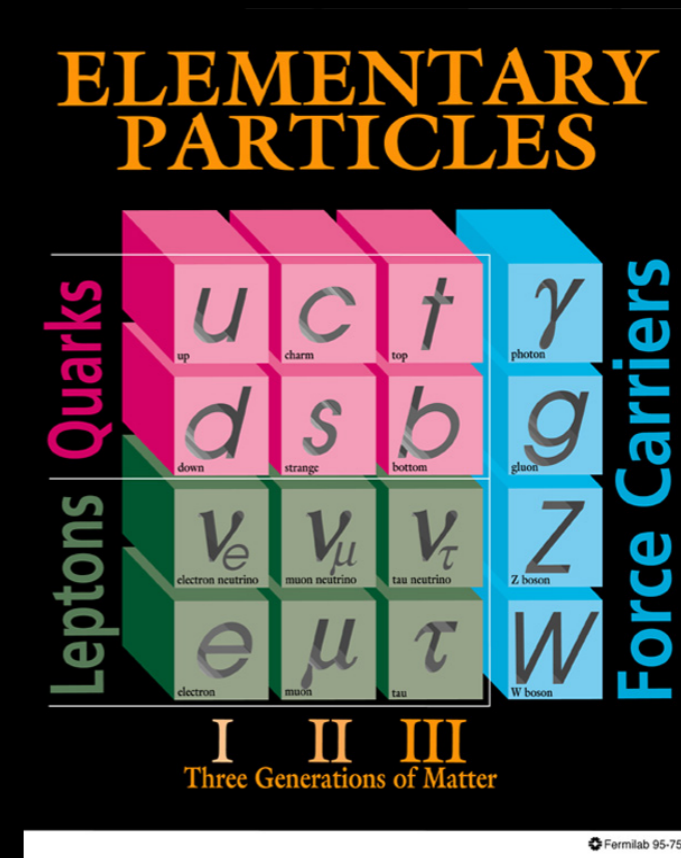


Quello che vorremmo sapere

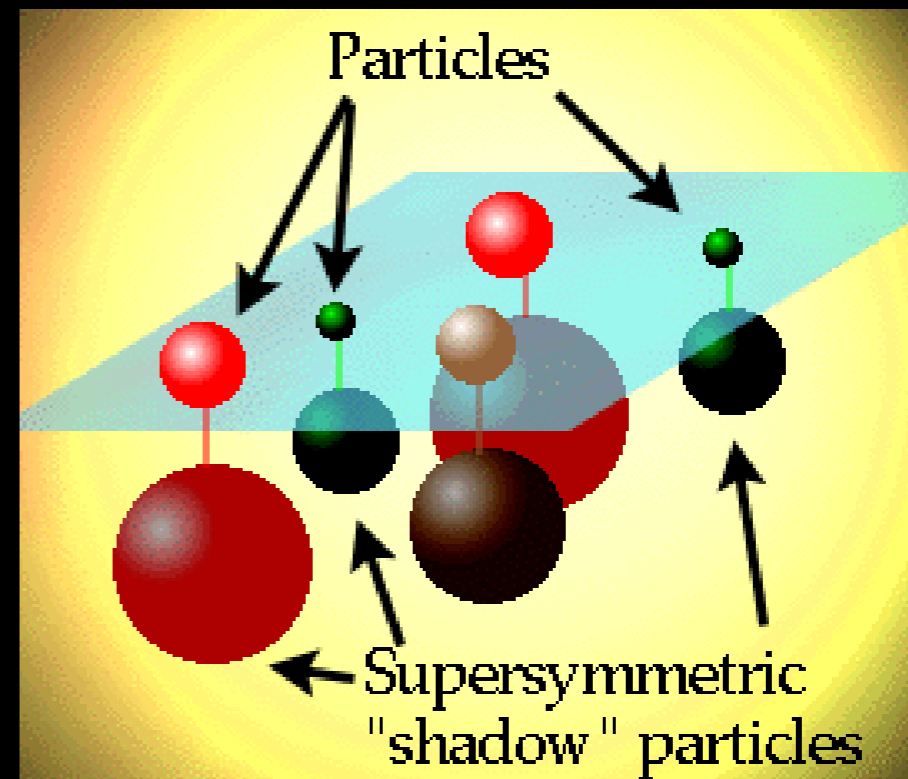
- La forza di gravità nel cosmo si comporta allo stesso modo che sulla Terra?
- Cos'è la materia oscura (?)
- Cos'è l'energia oscura (??)

Cos' è la materia oscura?

nessuna particella nota può
essere
la materia oscura

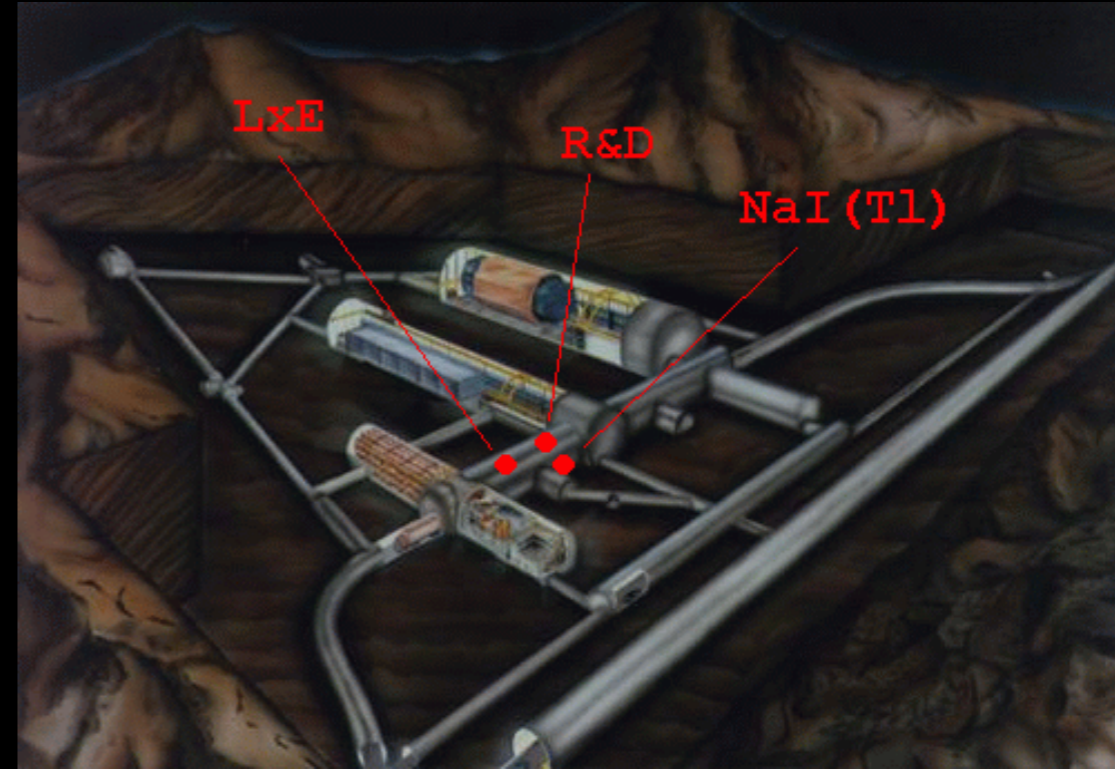


però esistono ragioni teoriche
per prevederne di nuove

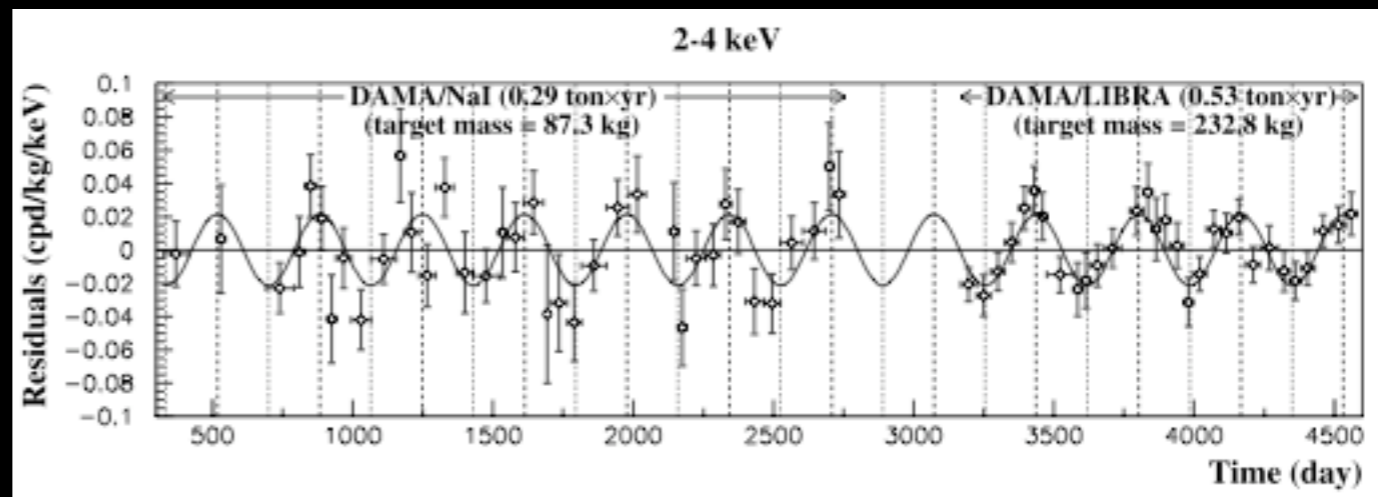
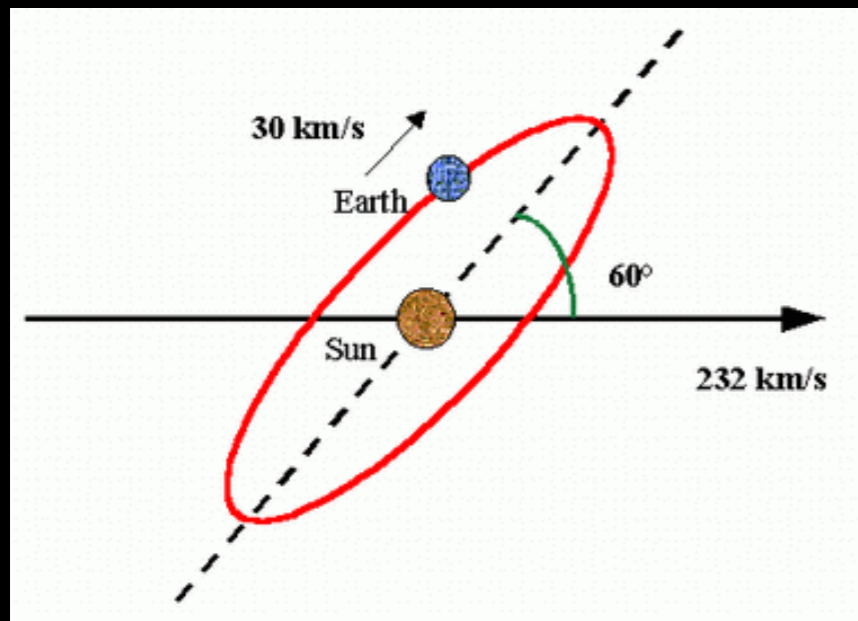


A caccia nelle caverne...

laboratori del Gran Sasso



Ha già lasciato tracce?



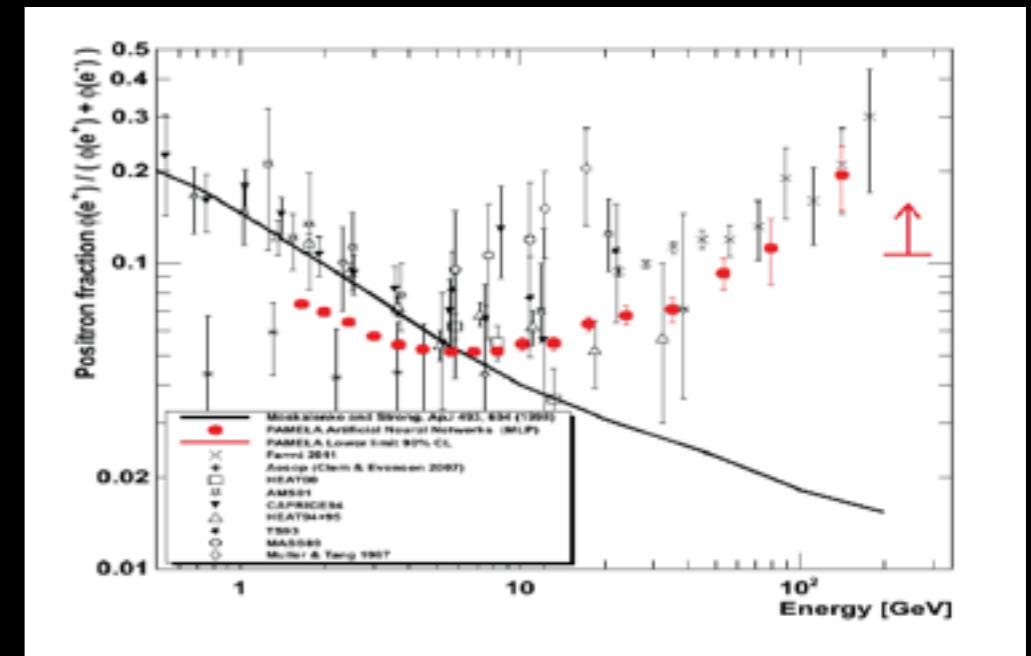
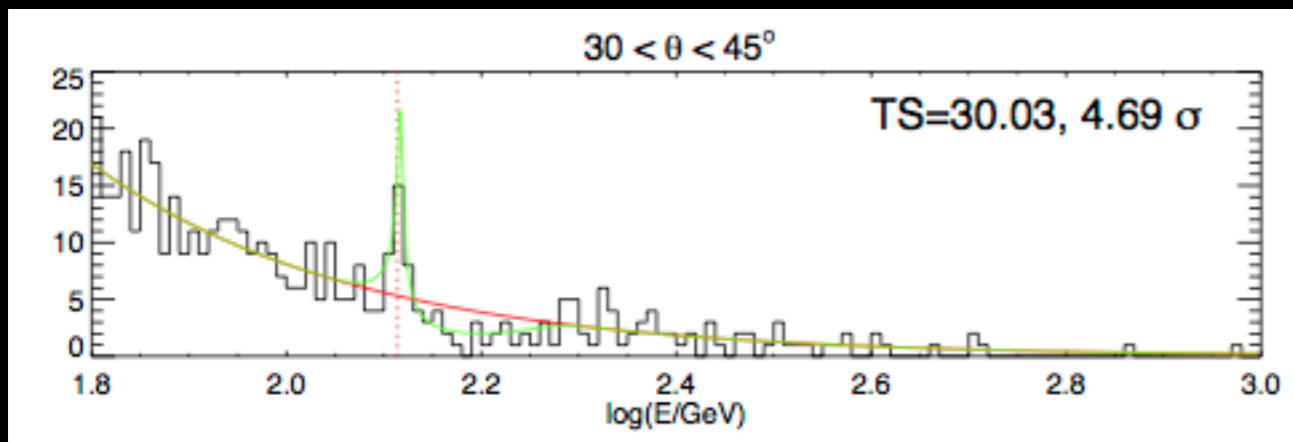
esperimento DAMA

A caccia nello spazio...

esperimento Fermi-LAT



esperimento Pamela



Ha già lasciato tracce?

A caccia nei posti più impensabili

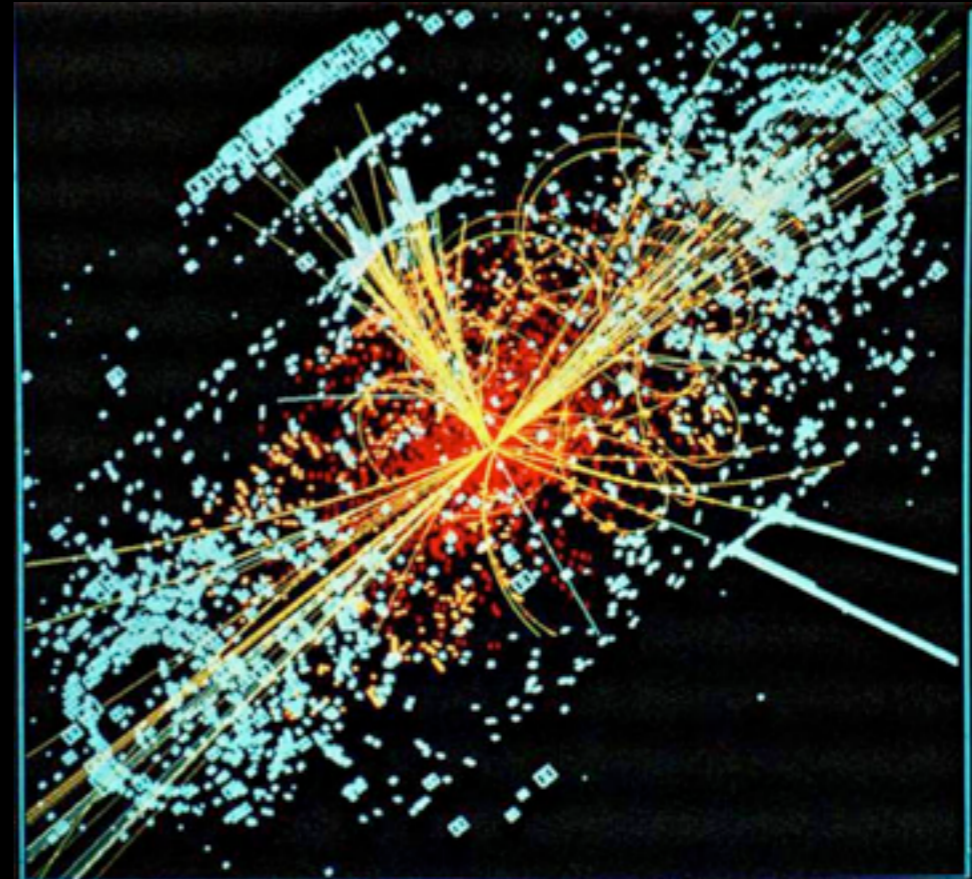
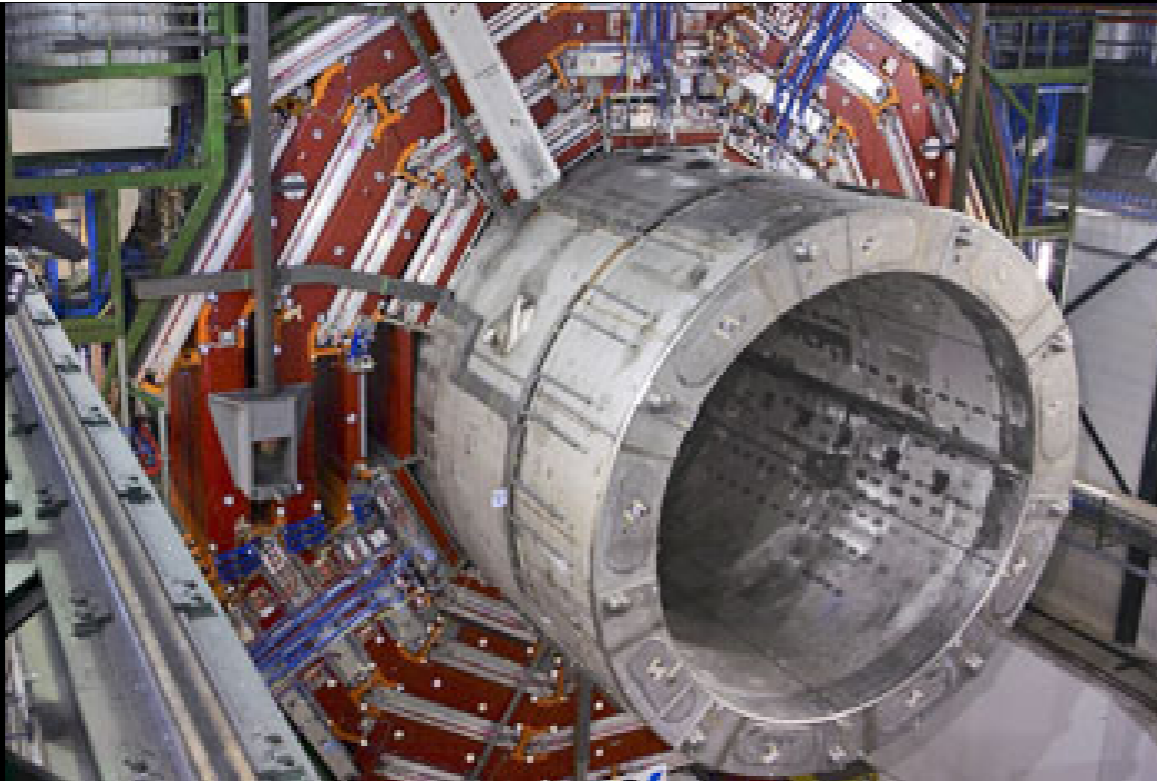
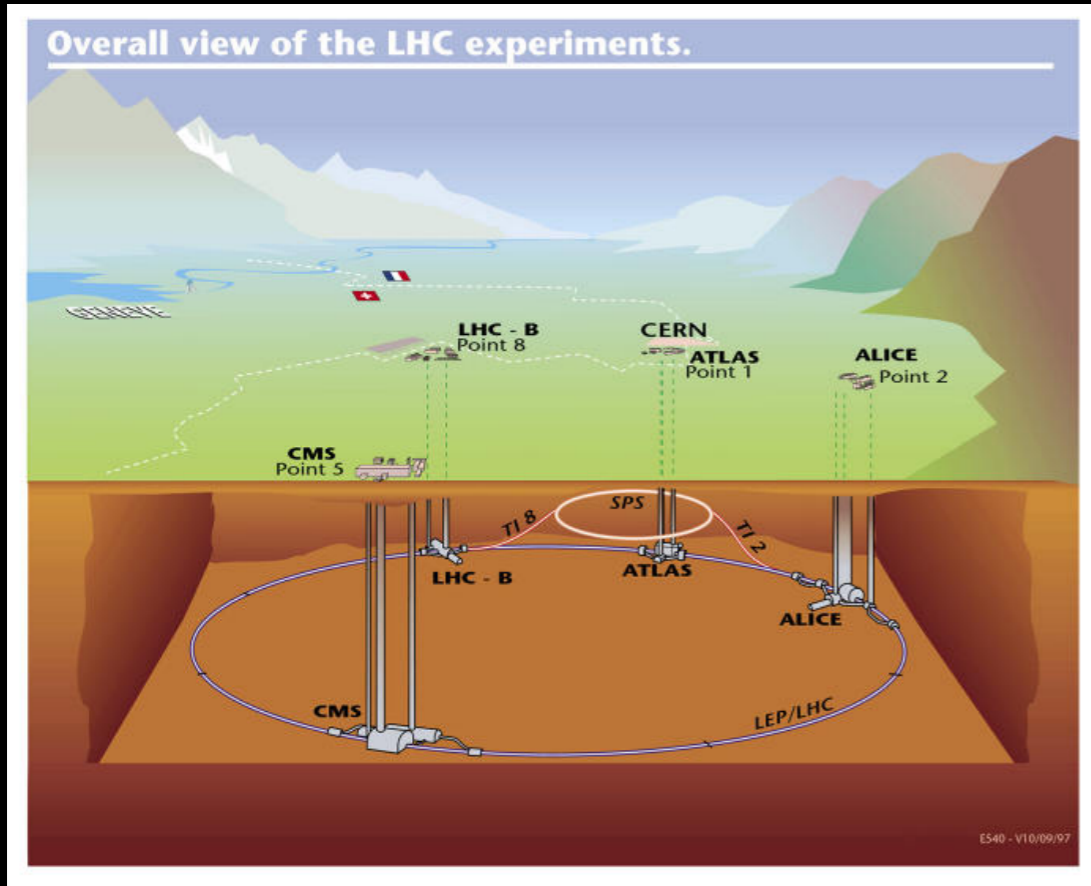


al Polo sud

nei fondali marini



A caccia nella Svizzera francese

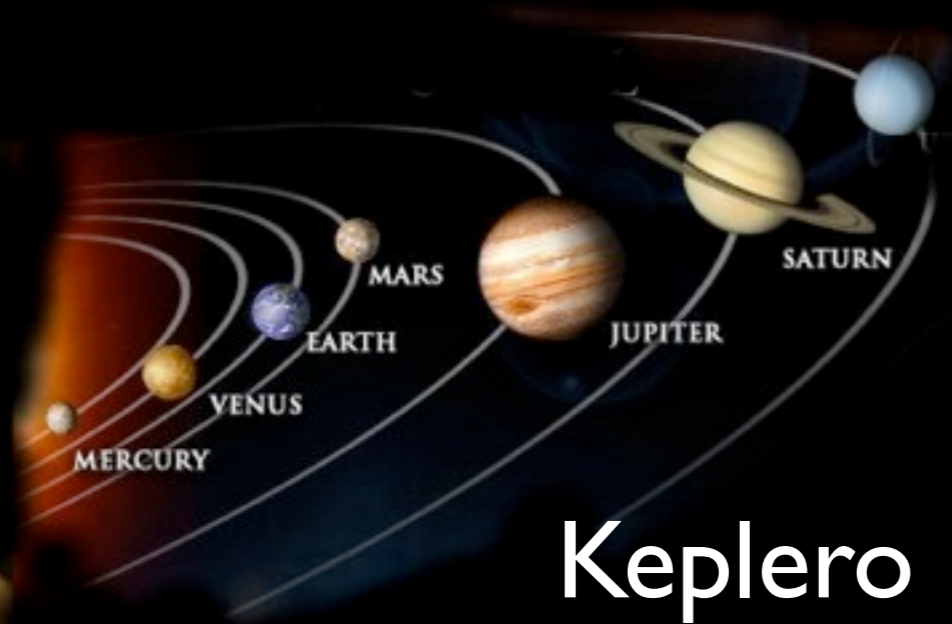


LHC al CERN

Domande ai confini della scienza

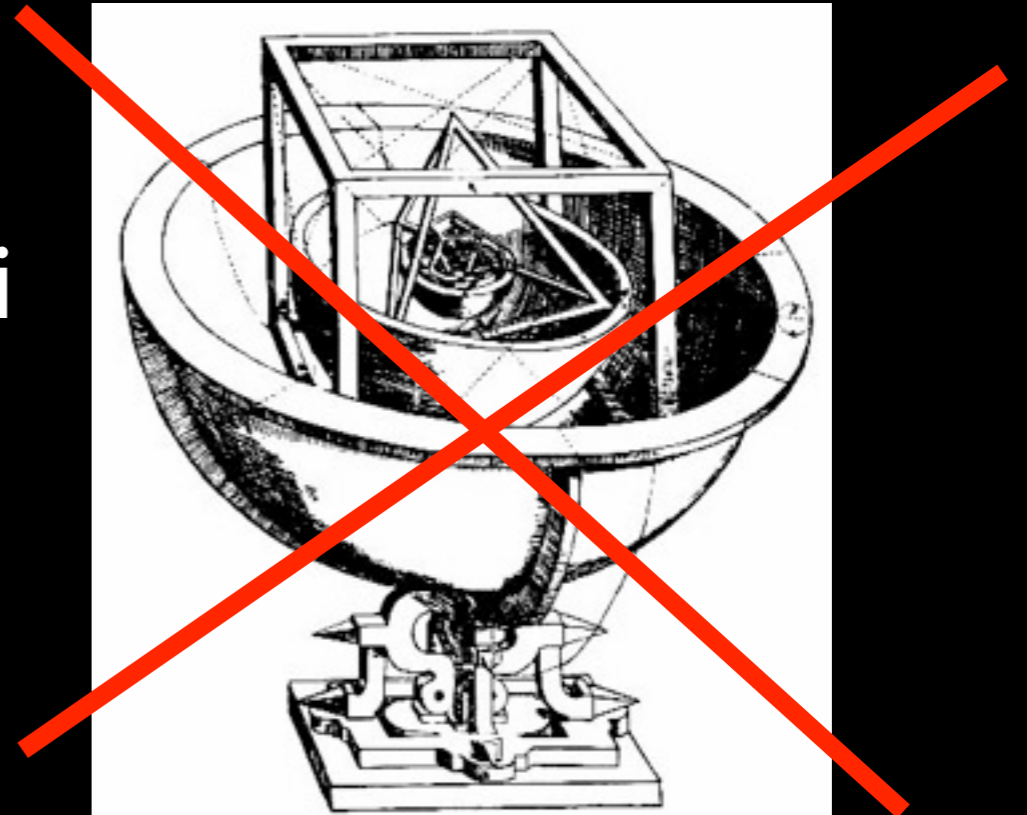
■ Viviamo nell'unico Universo possibile (???)

Un problema antico

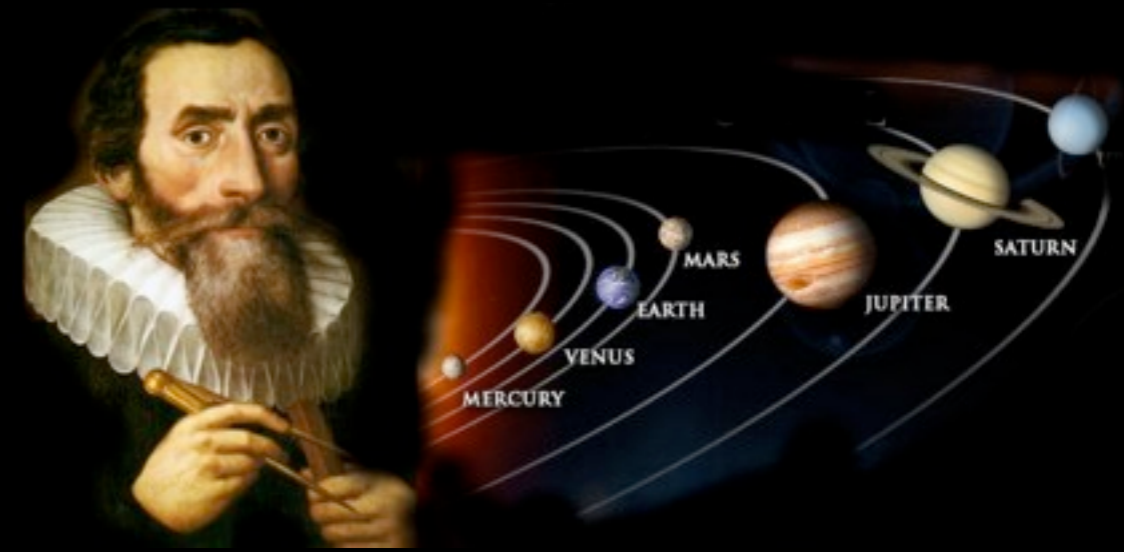


Keplero

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!**



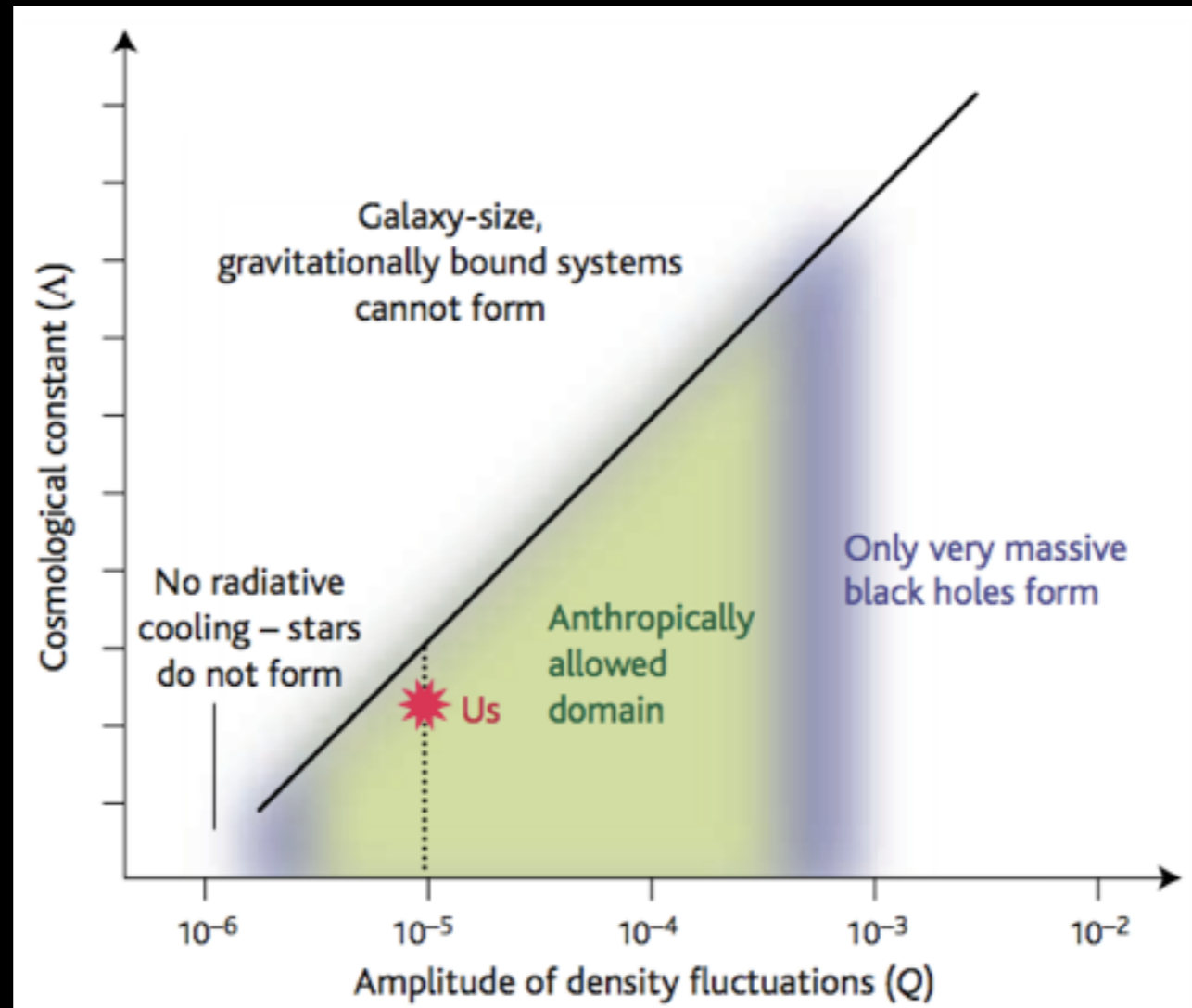
È una conseguenza della legge di gravitazione (universale) di Newton:

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

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



La fortuna di avere poca energia (oscura)



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

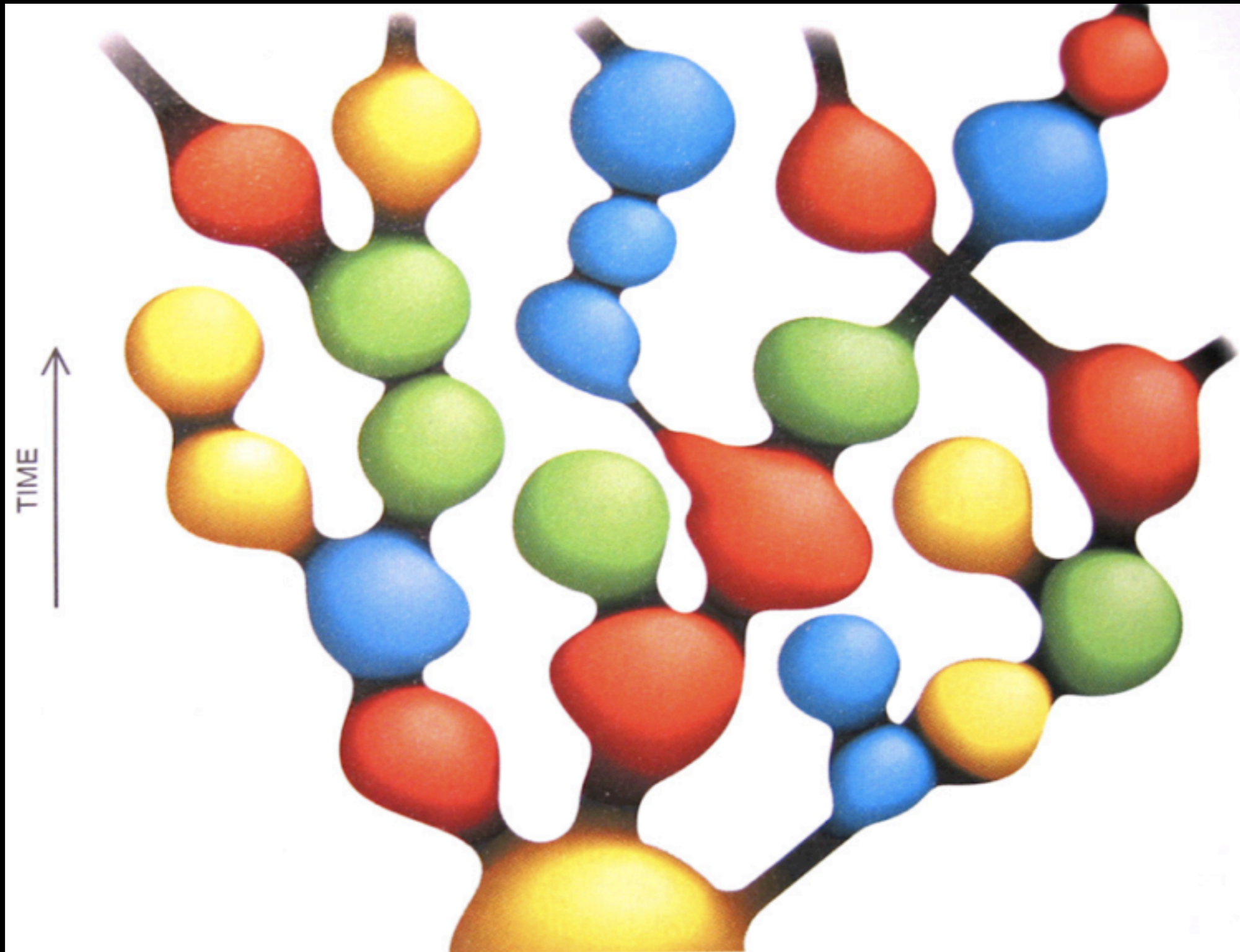
universale o accidentale?

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

