

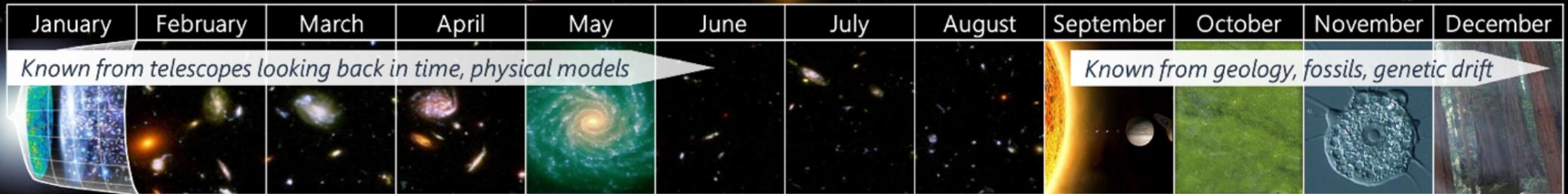


I tempi incredibilmente lunghi dell'astrofisica

Mario Zannoni
Dipartimento di Fisica
Università Bicocca

The Cosmic Calendar

The 13.8 billion year history of the universe scaled down to a single year, where the Big Bang is January 1st at midnight, and right now is midnight 1 year later



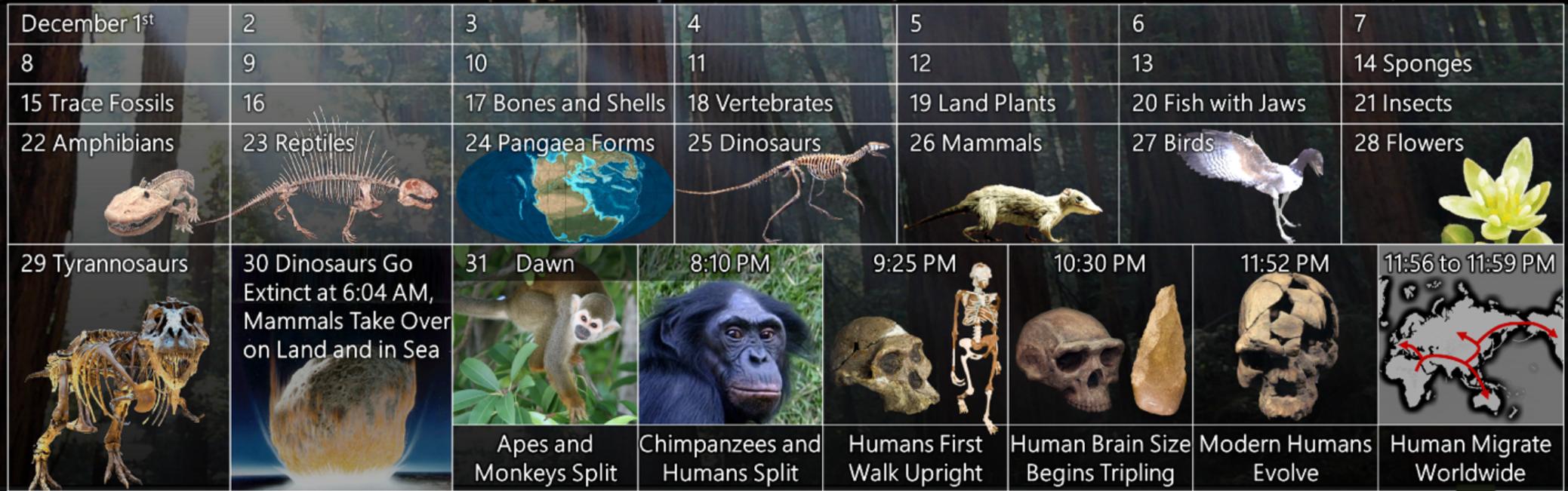
The Big Bang, Stars Begin Fusing Elements

The Milky Way Thin Disk Forms

The Solar System, Life

Photo-synthesis

Eukaryotic Cells

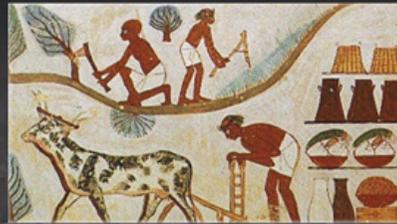


The Final Minute

A Human Life Lasts for the Blink of an Eye: $100 \text{ Years} * 365 * 24 * 60 * 60 / 13,800,000,000 = 0.23 \text{ Cosmic Seconds}$



End of Last Ice Age, Sea Level 400 Feet Lower Than Now



Agriculture, Permanent Settlements

Columbus Arrives in America (1.2 Seconds Ago)

Dynastic China Begins

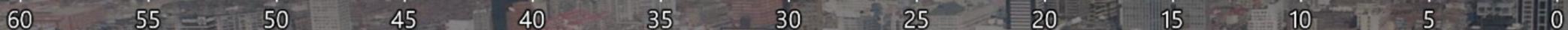
Christ Born

Mohammed Born

Old Testament, Buddha

Known from artifacts, radiocarbon dating, DNA extraction from remains

Written records





Vedremo un modo in cui si stima l'età dell'Universo

Vedremo la nascita (lenta!) e la morte (rapida!) di alcune stelle

Fino a non troppo tempo, fa che l'universo avesse un'età ben definibile o esistesse immutabile nel tempo, non costituiva un oggetto di particolare dibattito.

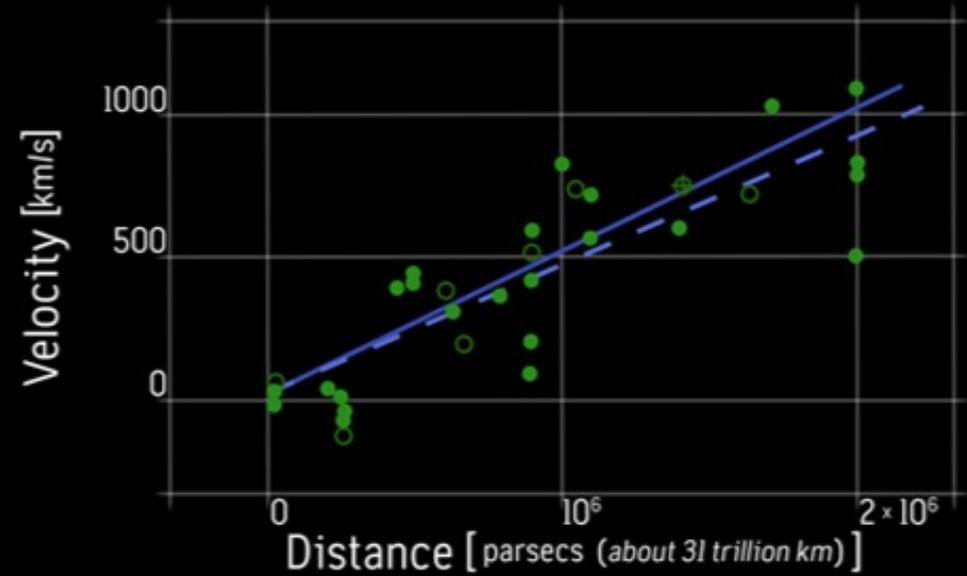
All'epoca della pubblicazione della RG (1915), il modello di Universo accreditato era costituito da una **visione statica della nostra galassia**.

Le altre galassie erano nebulose facenti parte della Via Lattea.

Einstein introduce la Costante Cosmologica Λ nelle equazioni di campo allo scopo di avere una soluzione **STATICA**

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

Nel 1929 Edwin Hubble
scopre la recessione
delle galassie
(UNIVERSO
IN ESPANSIONE)



Einstein considera Λ il suo
più clamoroso errore.

La legge di Hubble

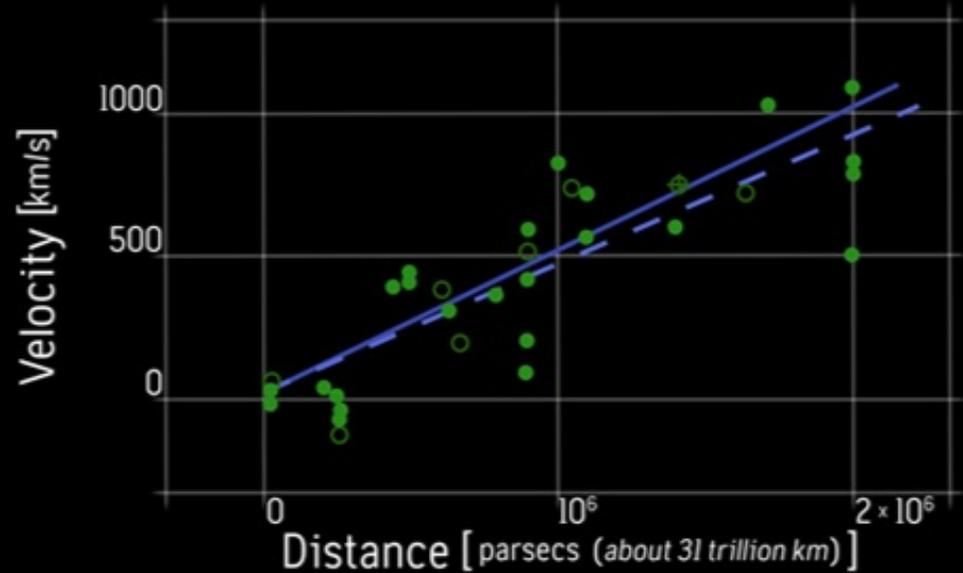
$$v = H_0 \cdot d$$

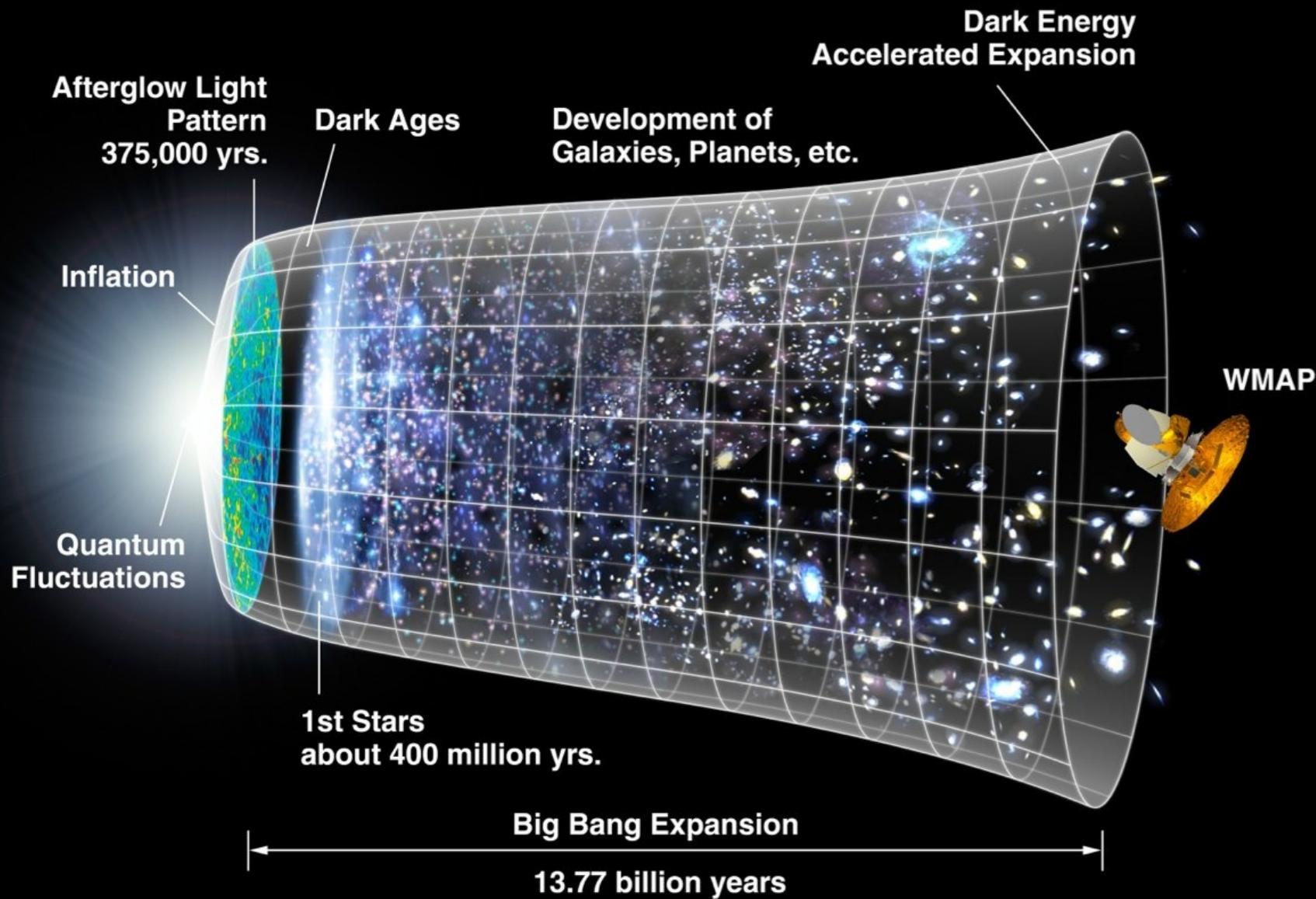
Ci permette di stimare
l'età dell'Universo

$$H_0 = 71.9 \pm 2.7 \text{ km / s / Mpc}$$

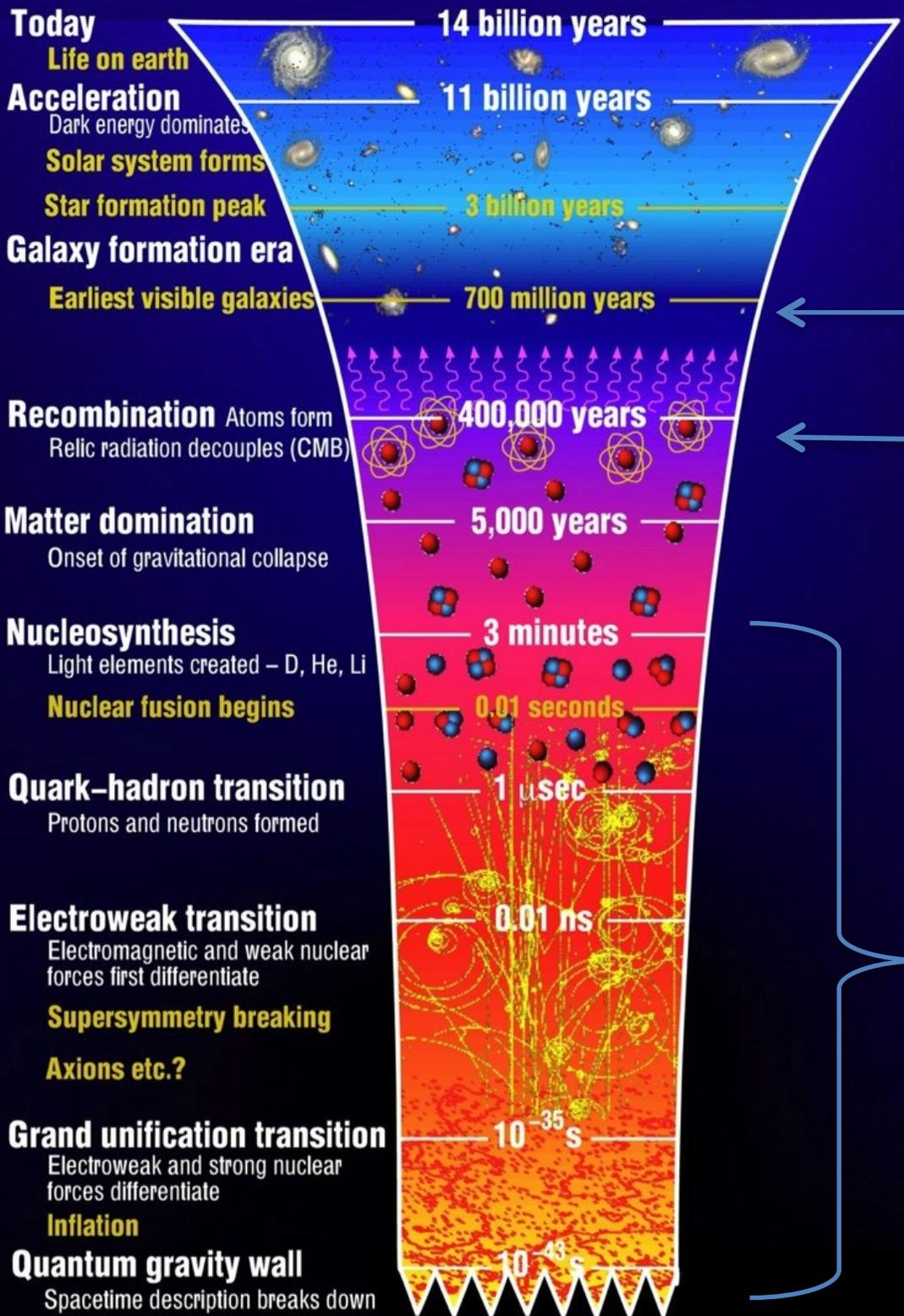
$$1 \text{ pc} = 3.1 \times 10^{18} \text{ cm}$$

$$\text{Età Universo} \simeq \frac{1}{H_0} = \frac{3.1 \times 10^{24} \text{ cm}}{71.9 \times 10^5 \text{ cm}} \text{ s} = \frac{4.3 \times 10^{17} \text{ s}}{3.1 \times 10^7 \text{ s}} \text{ yr} = 13.9 \text{ Gyr}$$





<https://map.gsfc.nasa.gov>



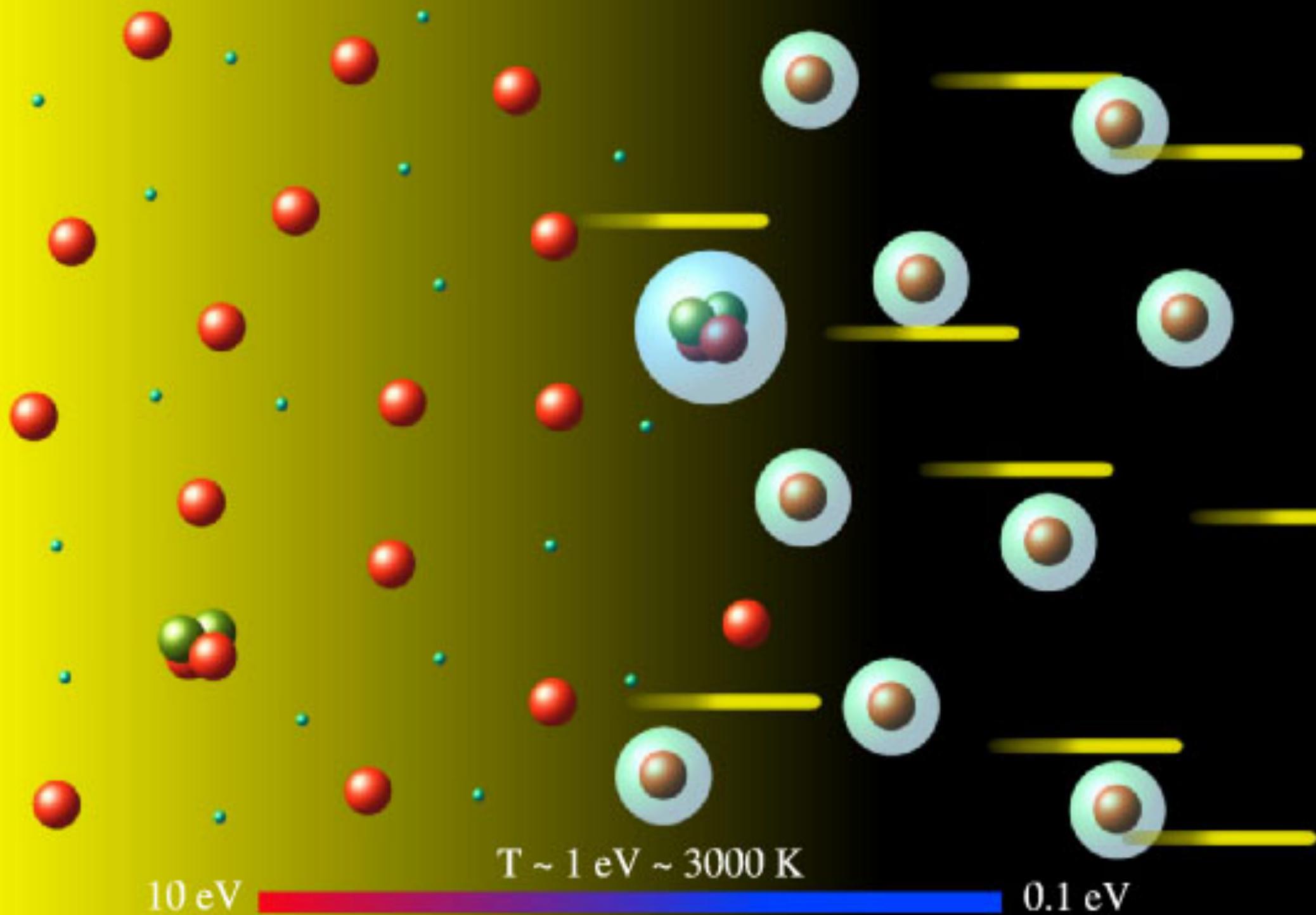
Noi siamo qui

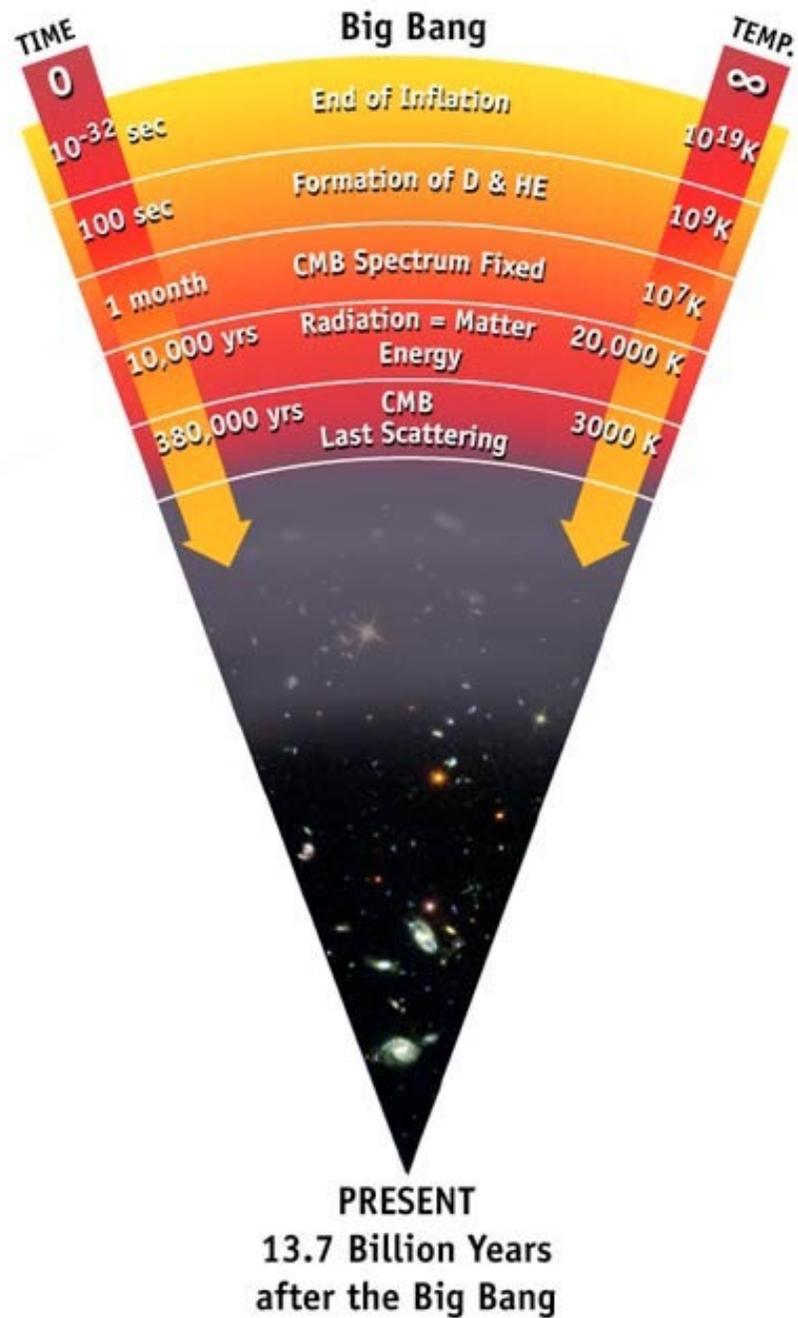
Le prime stelle si formano qui

Qui succede una cosa fondamentale

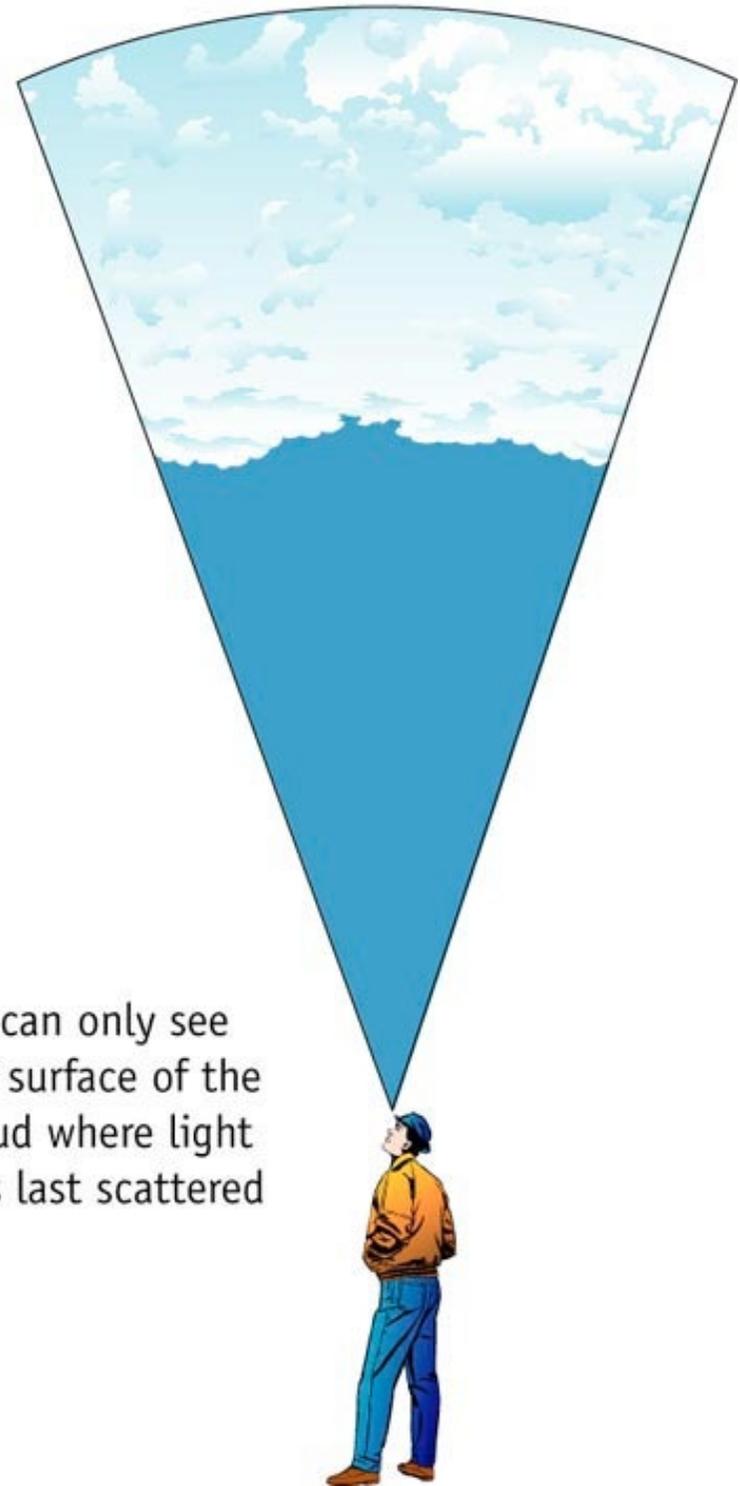
Nella sua esuberante lentezza, l'Universo fa tutto quello che i fisici delle particelle rincorrono da 50 anni in meno di un ns. E in 3 minuti costruisce gli tutti gli elementi chimici che è in grado di produrre. Poi si riposa per 300000 anni.

Recombination



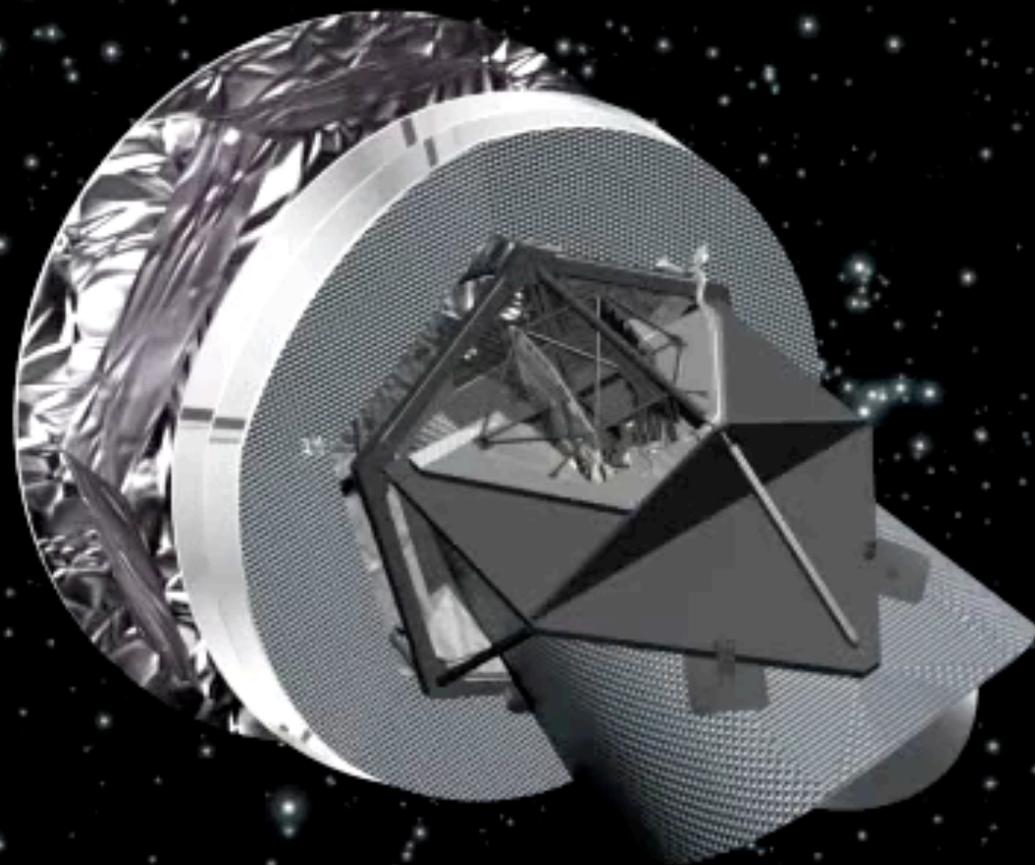


The cosmic microwave background Radiation's "surface of last scatterer" is analogous to the light coming through the clouds to our eye on a cloudy day.



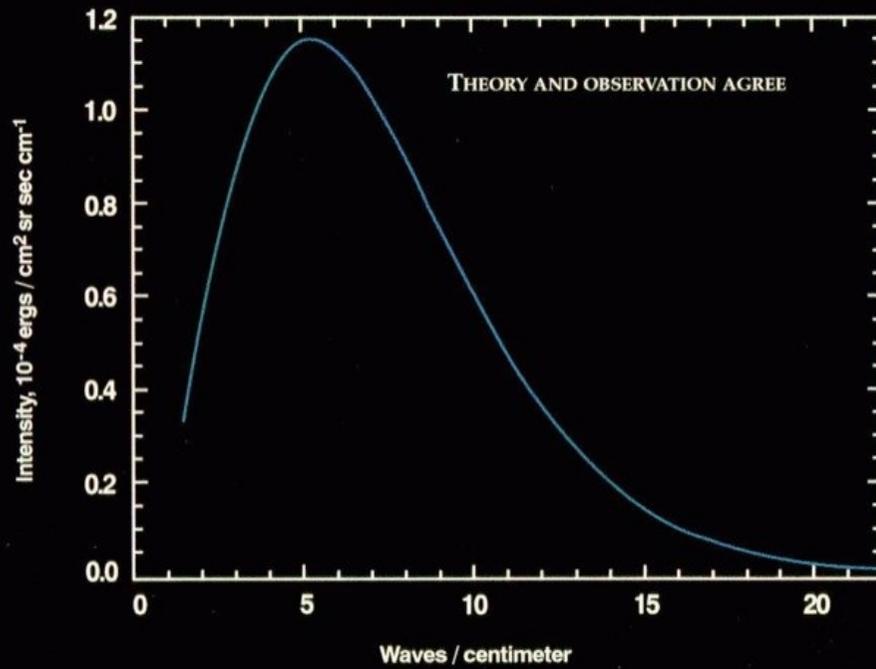
We can only see the surface of the cloud where light was last scattered





<http://sci.esa.int/planck/>

COSMIC MICROWAVE BACKGROUND SPECTRUM FROM COBE



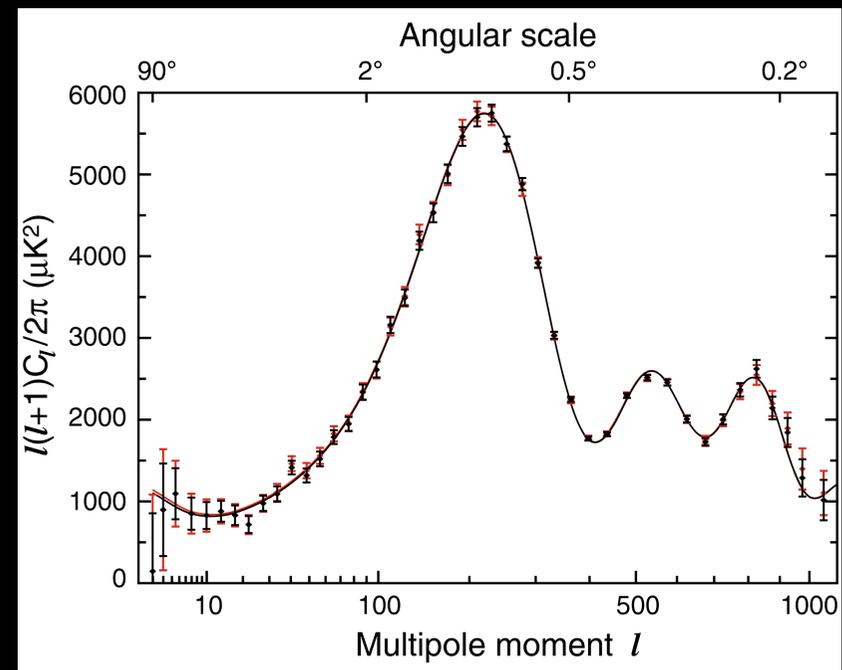
Il fondo di microonde ha uno spettro di corpo nero con $T=2.725\text{K}$

Le deviazioni (non ancora osservate) dal corpo nero testimoniano i fenomeni fisici accaduti nell'universo.

Potremmo osservare fenomeni accaduto solo 10000 anni dopo il Big Bang

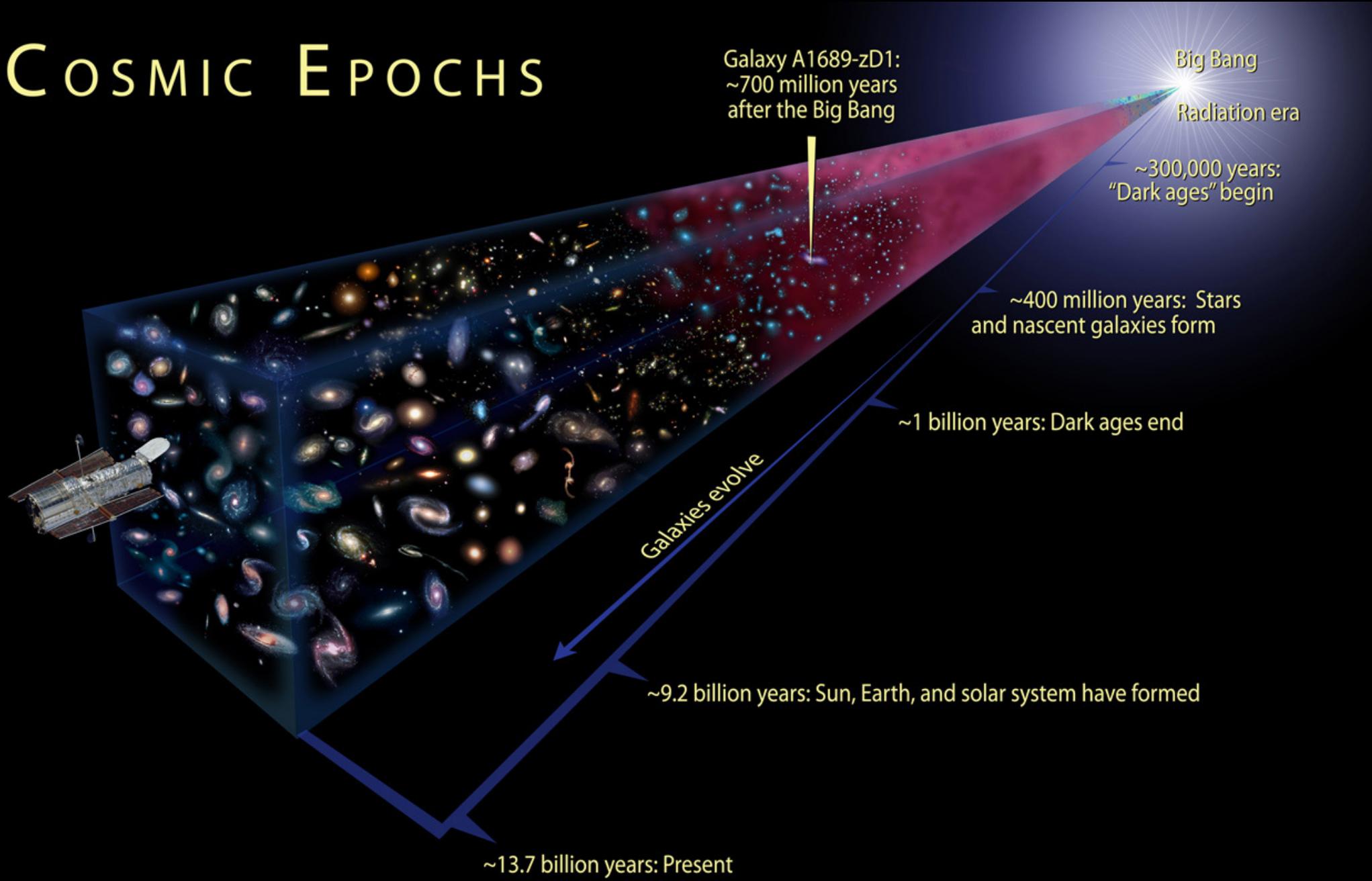
Dallo spettro angolare delle variazioni di intensità (anisotropie) si possono dedurre:

- geometria dell'universo
- età
- contenuto di materia ordinaria
- numero di famiglie di neutrini
- \vdots



<https://map.gsfc.nasa.gov>

COSMIC EPOCHS



Ma veniamo ad un altro esempio di orologio cosmico: le Stelle

Le stelle si formano nelle nubi molecolari giganti seguendo una legge di distribuzione abbastanza precisa

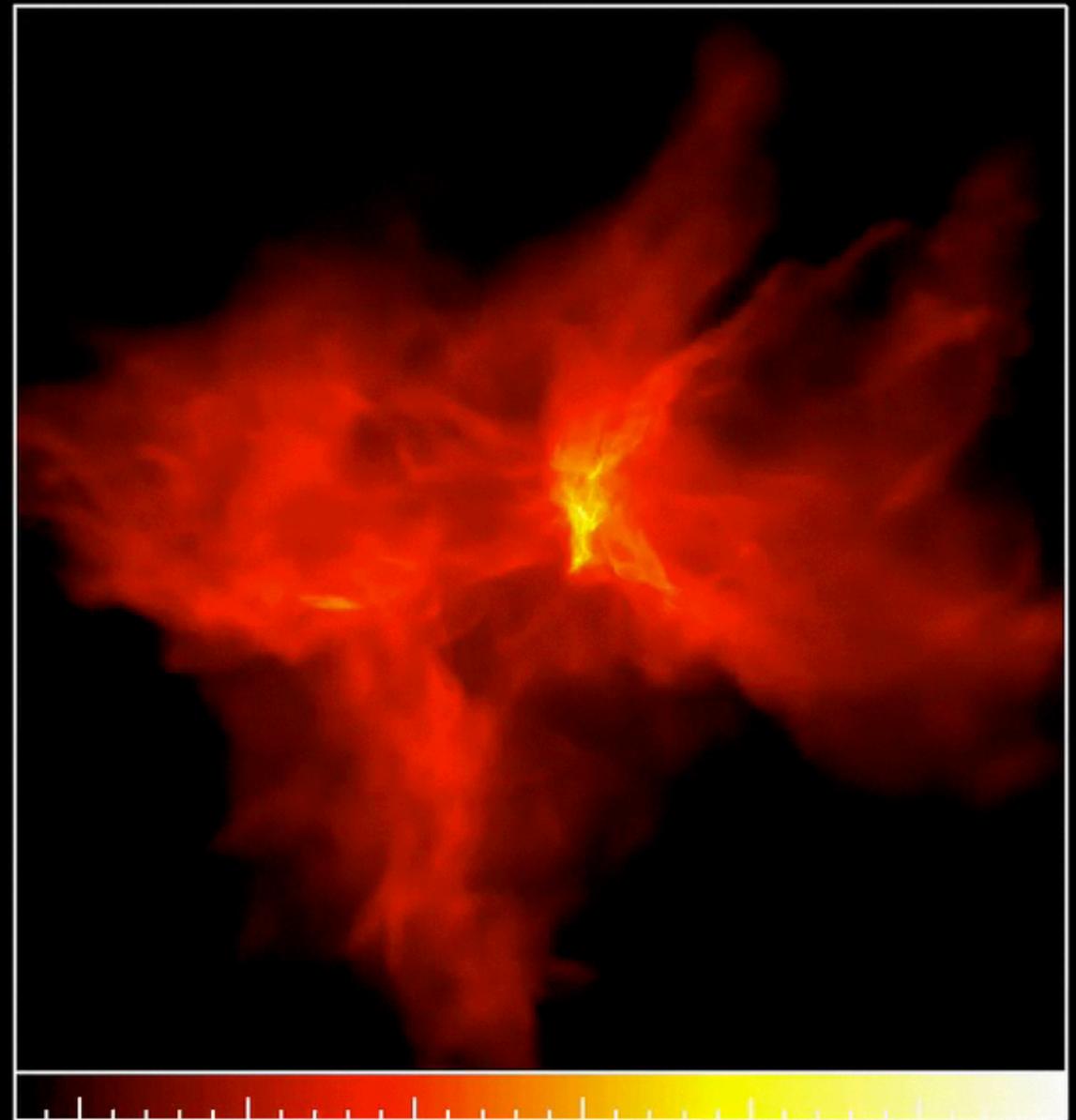
$$\frac{dN}{dm} \propto m^{-2.35}$$

Simulation Matthew Bate, University of Exeter
Visualisation Richard West, UKAFF.

<http://www.ukaff.ac.uk/starcluster/>

Dimensions: 82500. AU

Time: 197220. yr



-1.5 -1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0

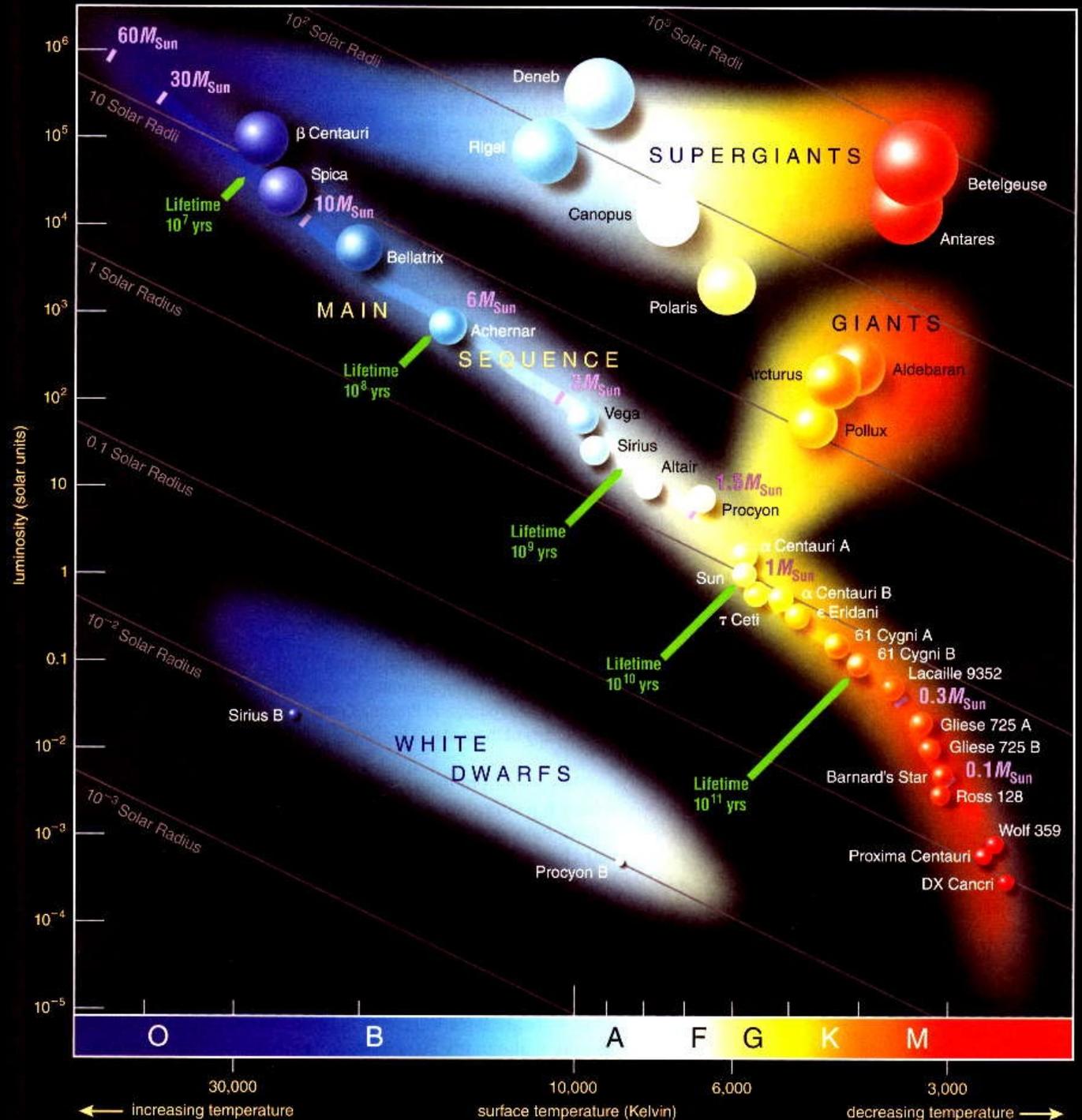
Log Column Density [g/cm²]

Matthew Bate

Le stelle, più sono massive, più bruciano in fretta

Il tempo di vita sulla sequenza principale scala come

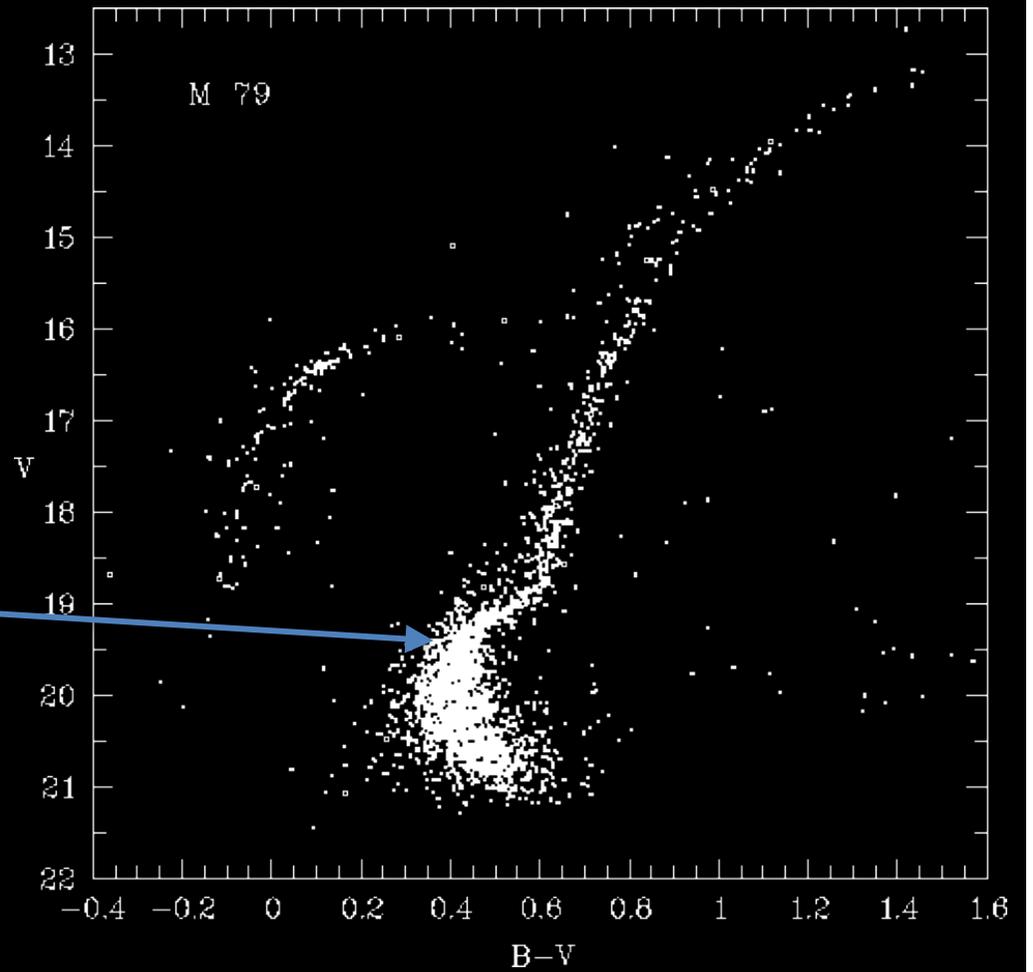
$$t_{MS} \approx 10^{10} \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right)^{2.5} \text{ yr}$$



M79 h un'età stimata di

11.7 Gyr

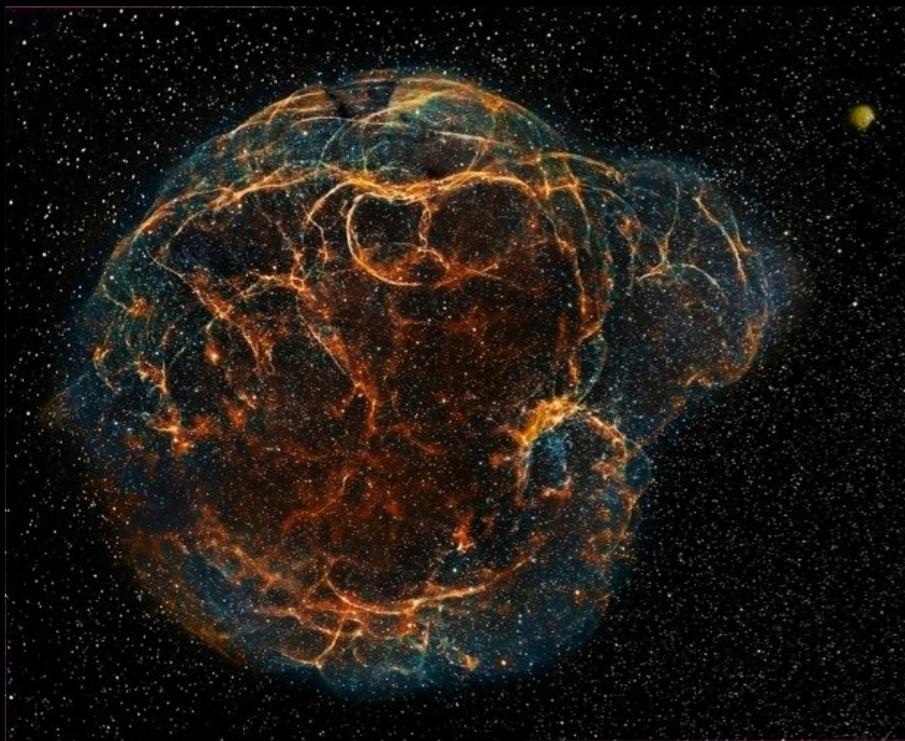
Punto di Svolta
(turn off)



Le stelle molto massive
($M > 8 M_{\text{sole}}$) vivono poco
da 10 a 100 milioni di anni.
Poi esplodono come
Supernovae quando il nucleo
collassa a formare una
Stella di Neutroni

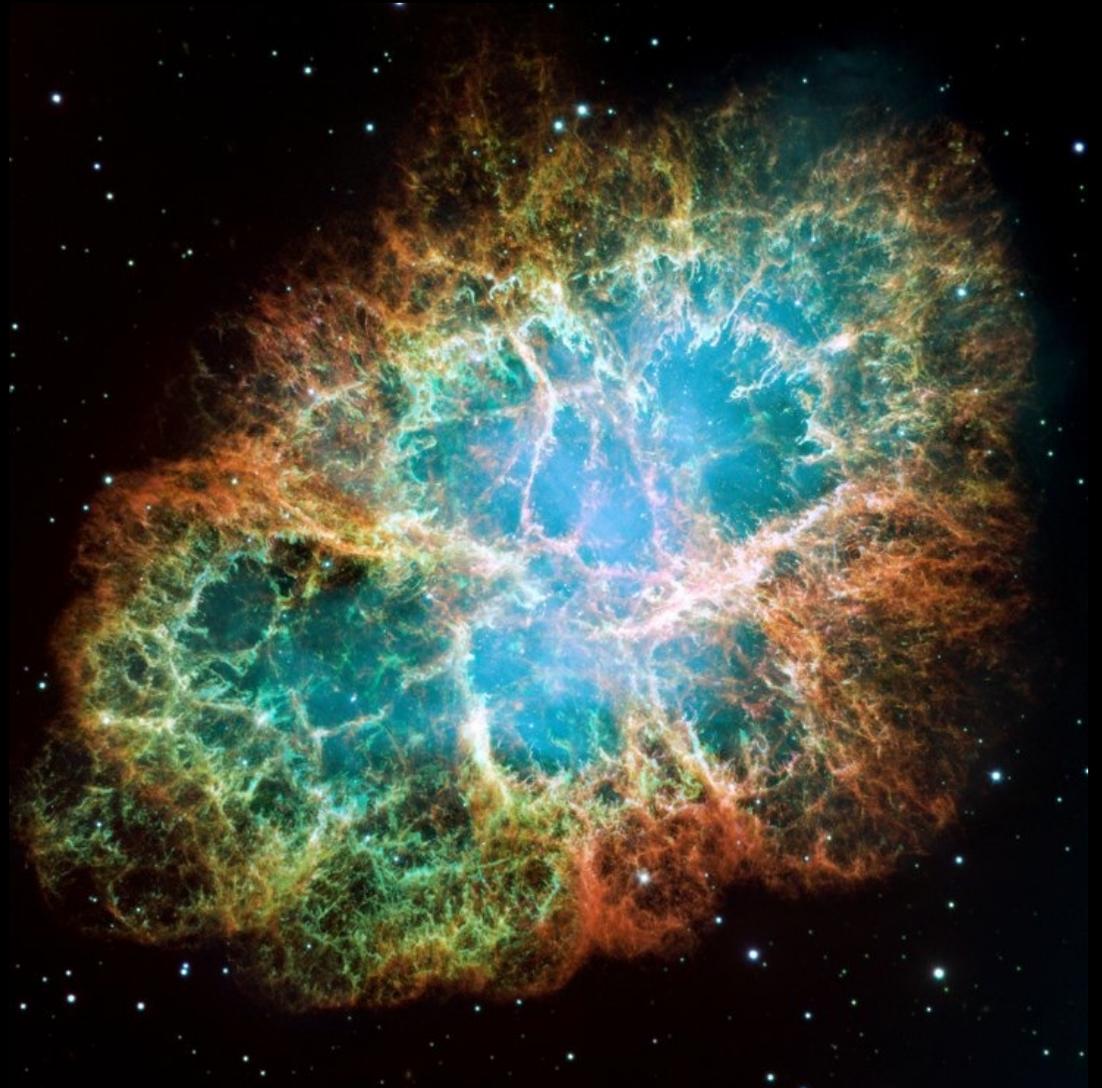
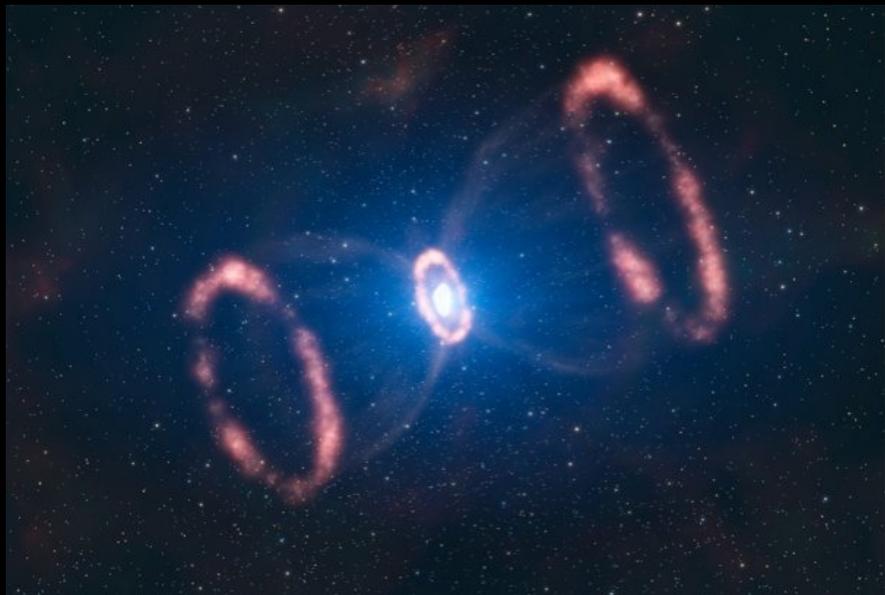
-1.64 ms

Dal collasso del core
all'esplosione passa
meno di un secondo



Simeis 147

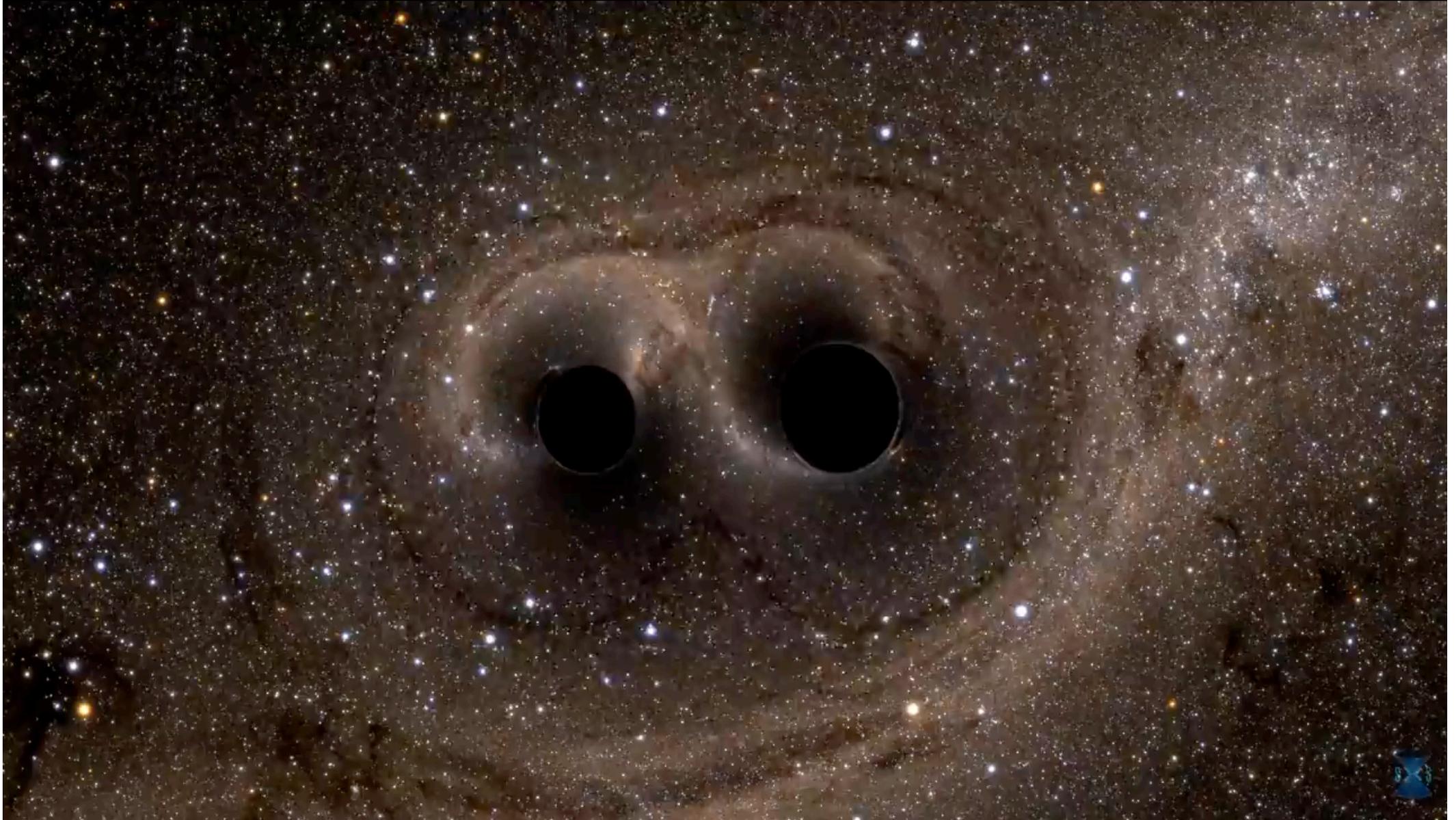
SN 1987A



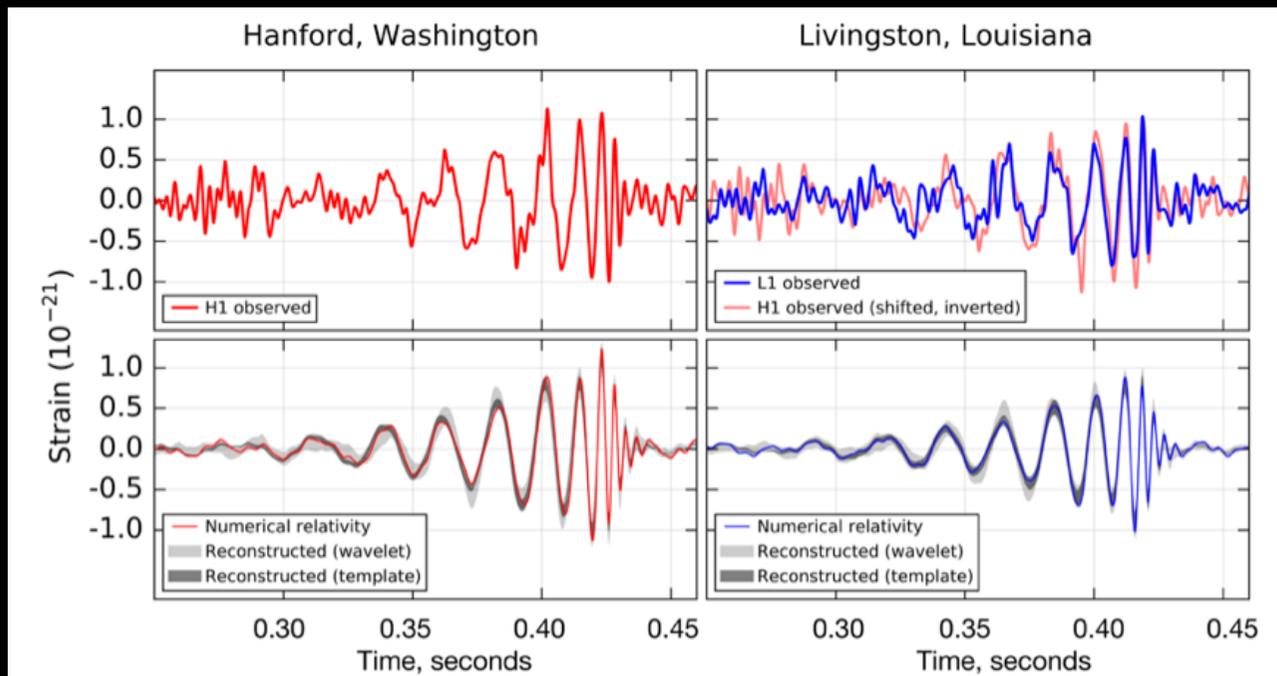
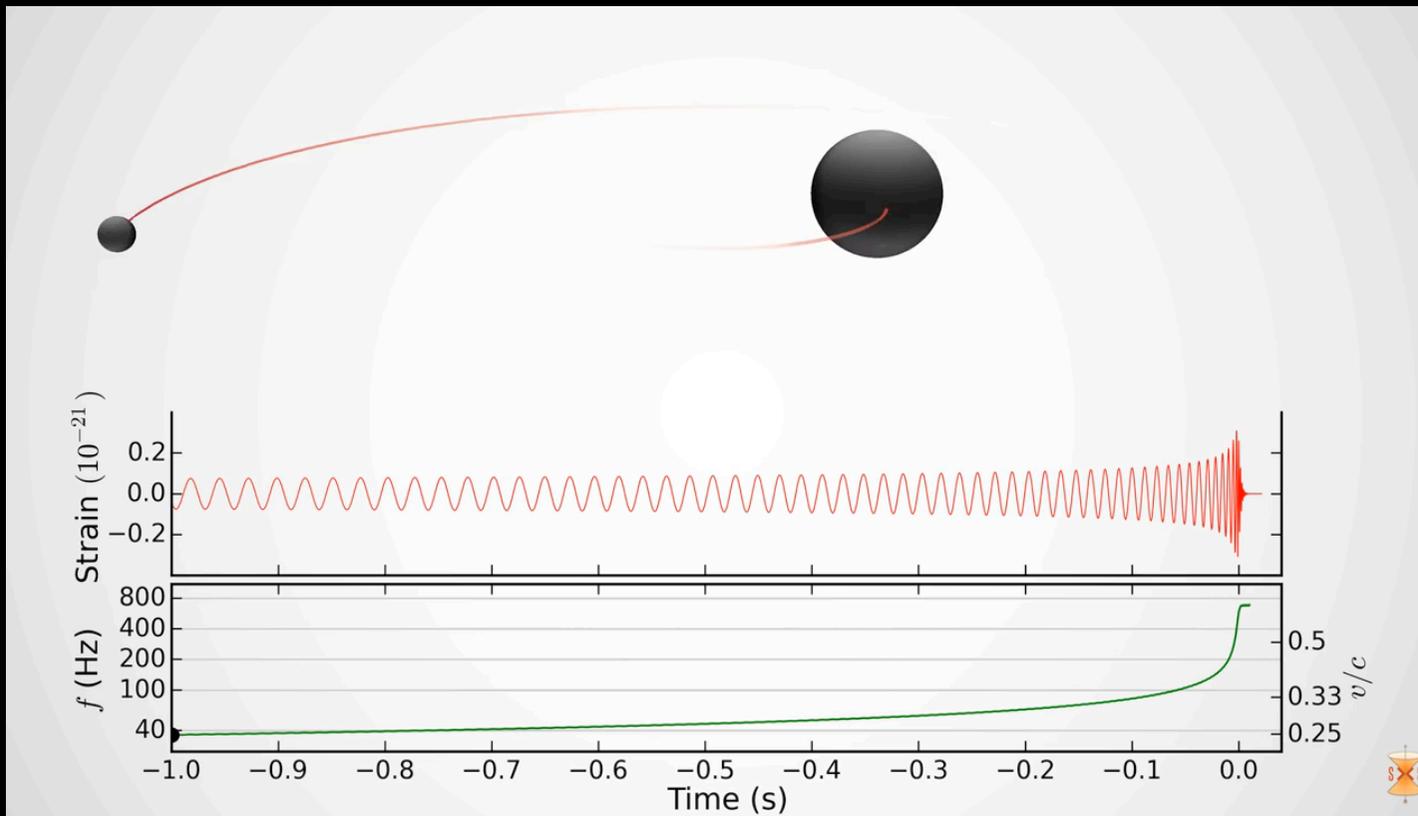
Crab

Lasciando nel cielo oggetti di una bellezza inaudita, fatti di quella polvere di cui siamo fatti anche noi

Quando collassano stelle ancora più massive, il relitto è un black hole anche di qualche decina di masse solari. Se ce ne sono due abbastanza vicini..



<https://www.black-holes.org>



-0.76s



3 masse solari sono convertite in energia emessa in onde gravitazionali in una frazione di secondo, con una potenza di picco pari a 3.6×10^{56} ergs/second (equivalente a 200 masse solari al secondo).

50 volte la potenza totale emessa da tutte le stelle nell'universo osservabile!

Ha senso cercare di osservare eventi che avvengono una volta nella vita dell'Universo?

Una stima un po' brutale ci porta a prevedere 10 eventi/anno/Gpc³

Il volume di universo osservabile è circa 10⁴ Gpc³

In un volume così sterminato anche gli eventi meno probabili si possono osservare con buona probabilità di successo.

La legge dei grandi numeri in Astrofisica fa da padrona!

A vast field of galaxies, likely from a deep space survey, showing a wide variety of colors (white, yellow, blue, red) and orientations (face-on, edge-on, tilted). The galaxies are scattered across the frame, with some appearing as bright, diffuse clouds and others as more compact, point-like sources. The background is a deep black, punctuated by the light of the galaxies.

Grazie dell'attenzione!