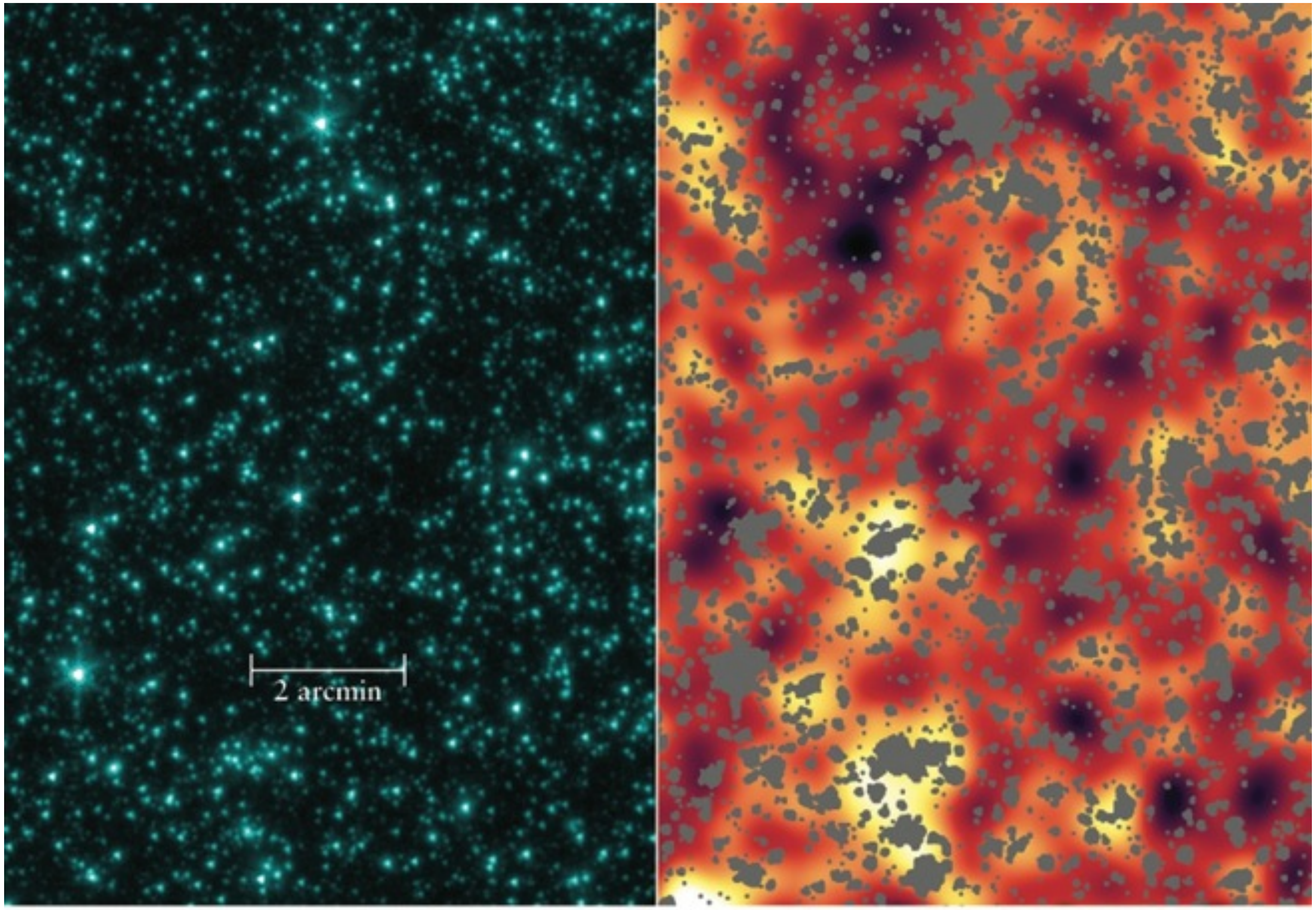
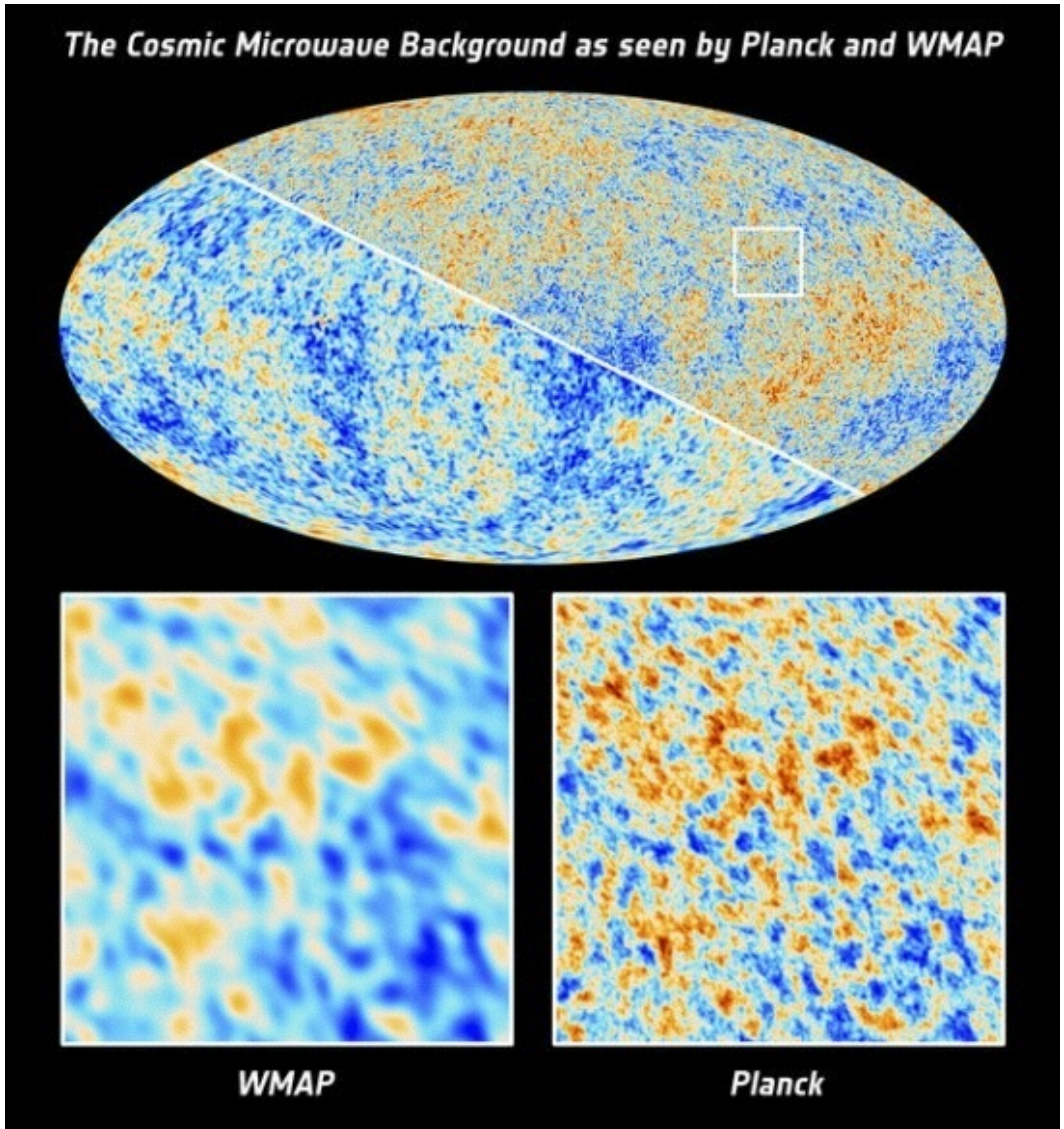
Esplorare l'universo primordiale

Luce antica infrarossa

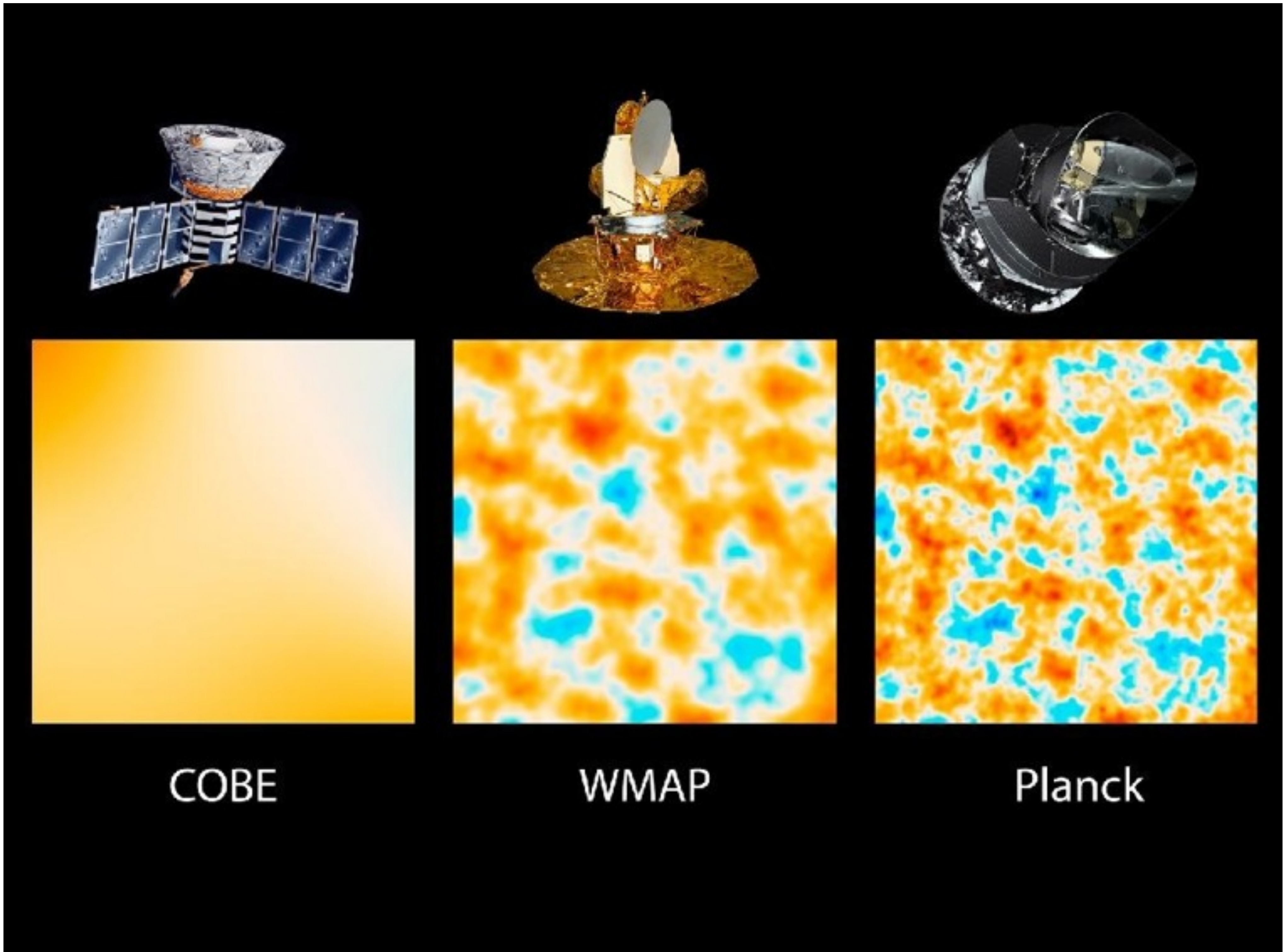


Nearby stars | Infrared light from very distant, primordial stars

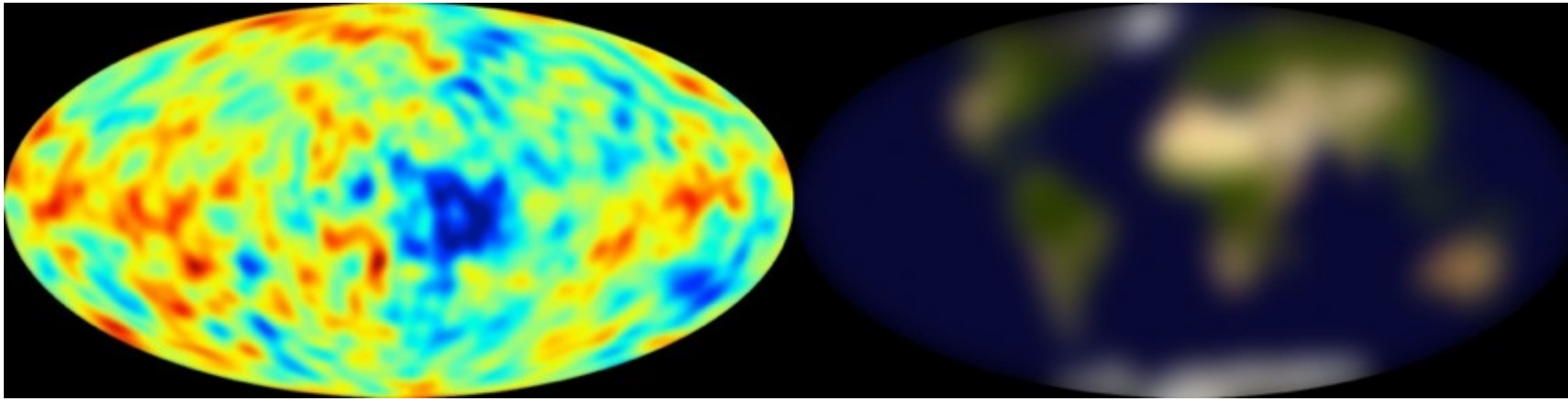
Luce antica: CMB



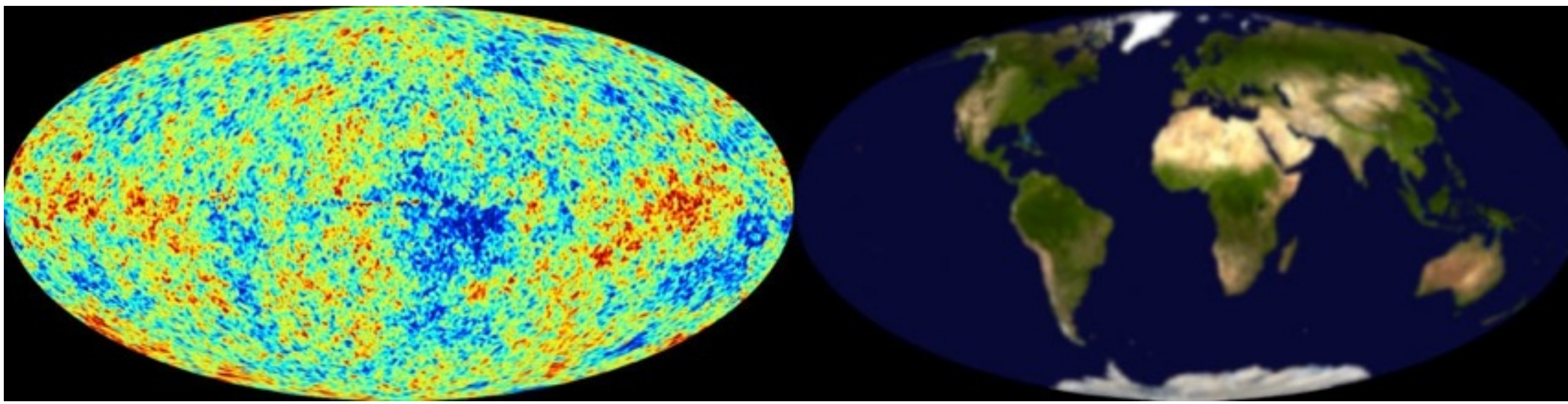
Luce antica: CMB



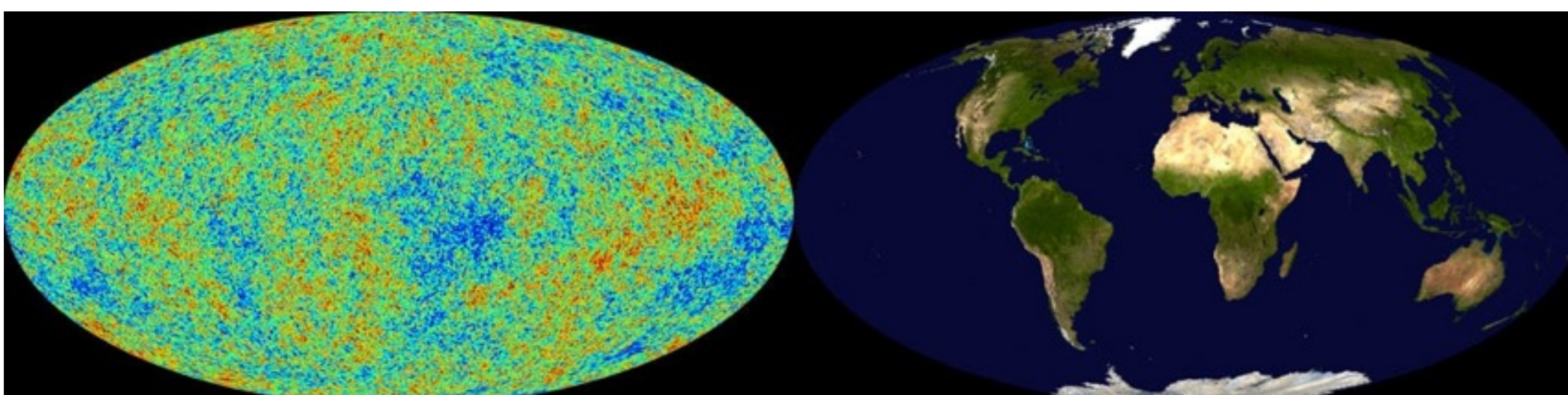
COBE - 1992



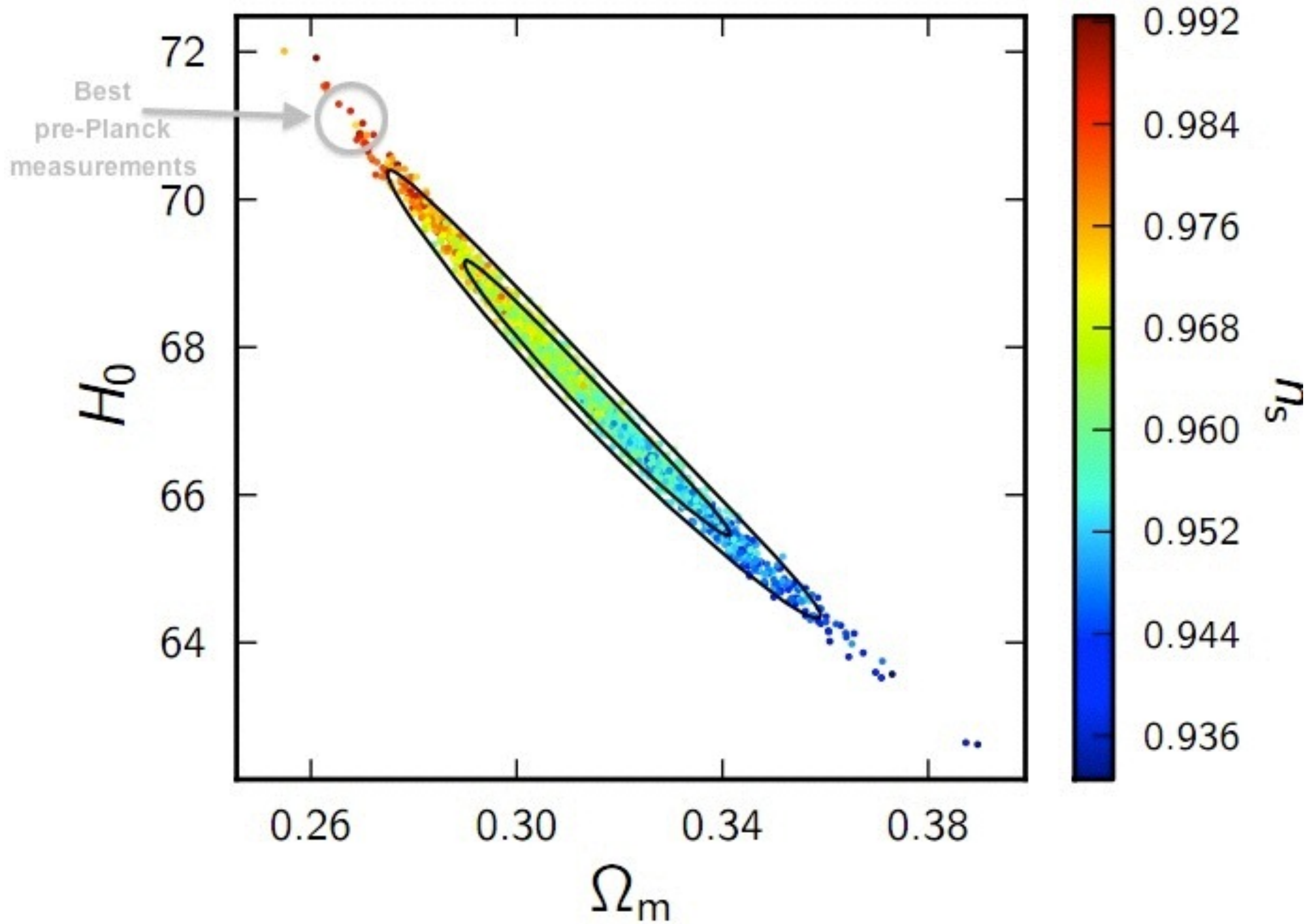
WMAP - 2003



PLANCK - 2013

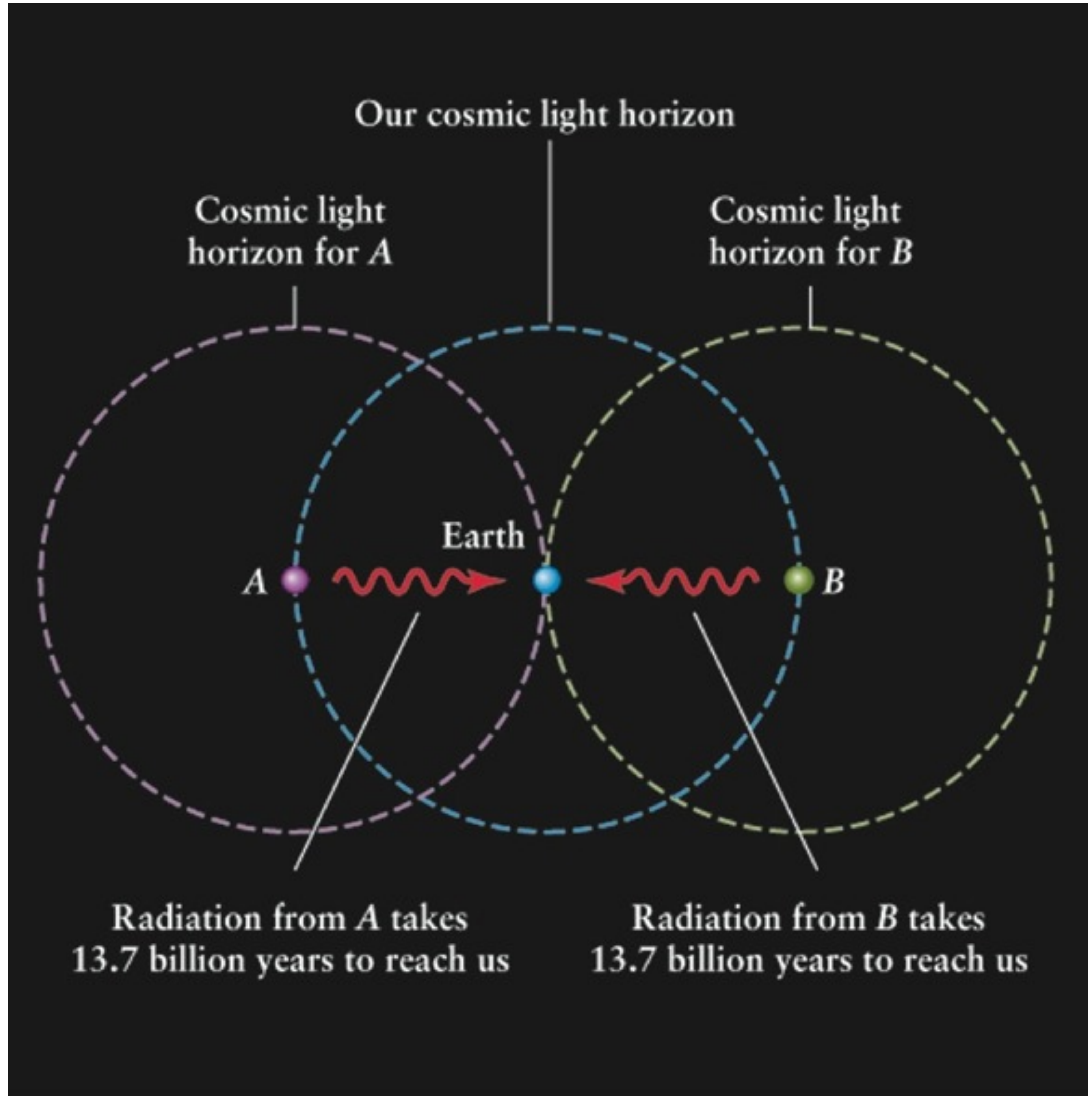


Risultati di Planck



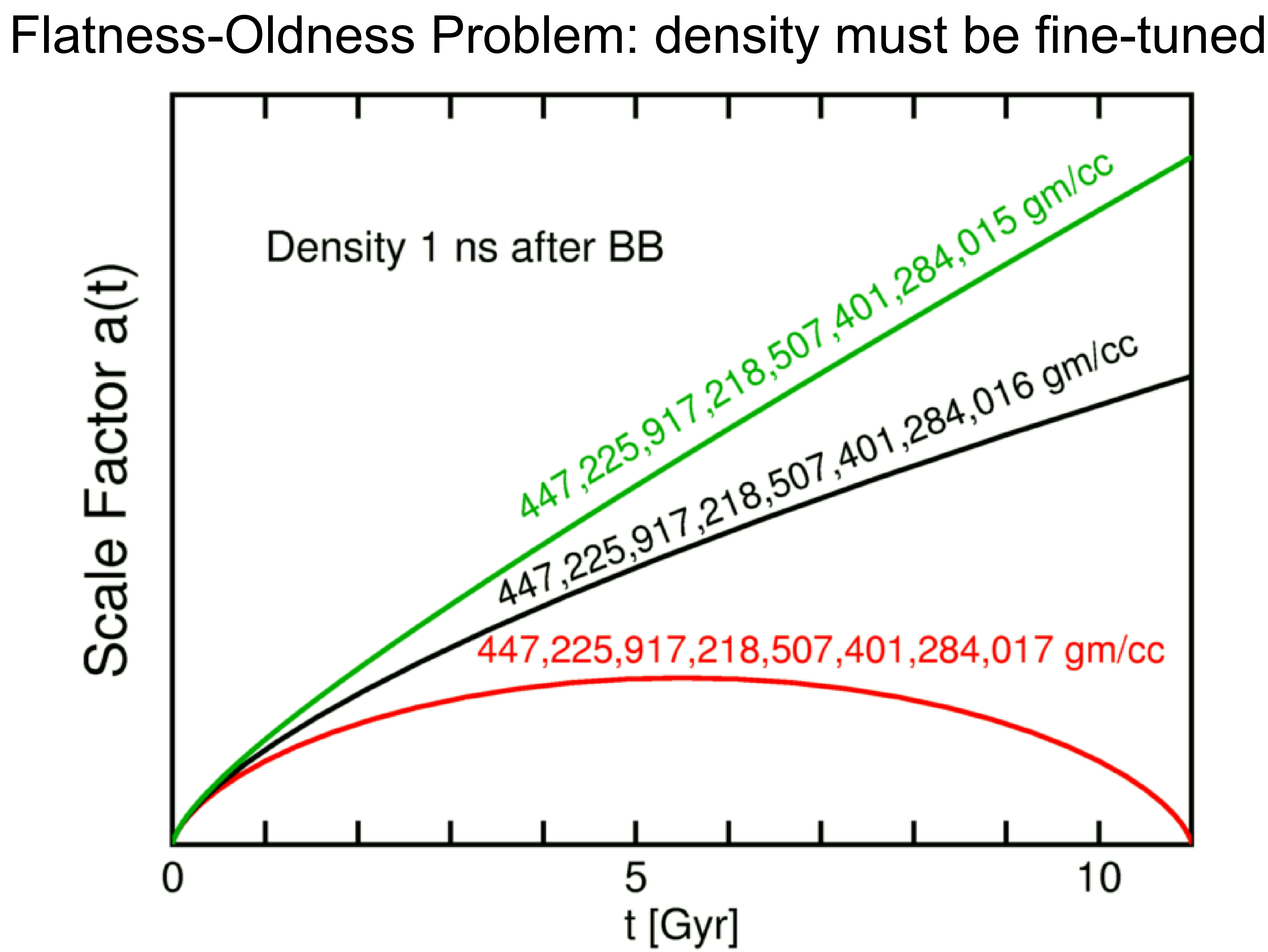
Problema dell'isotropia

Orizzonte cosmico di luce

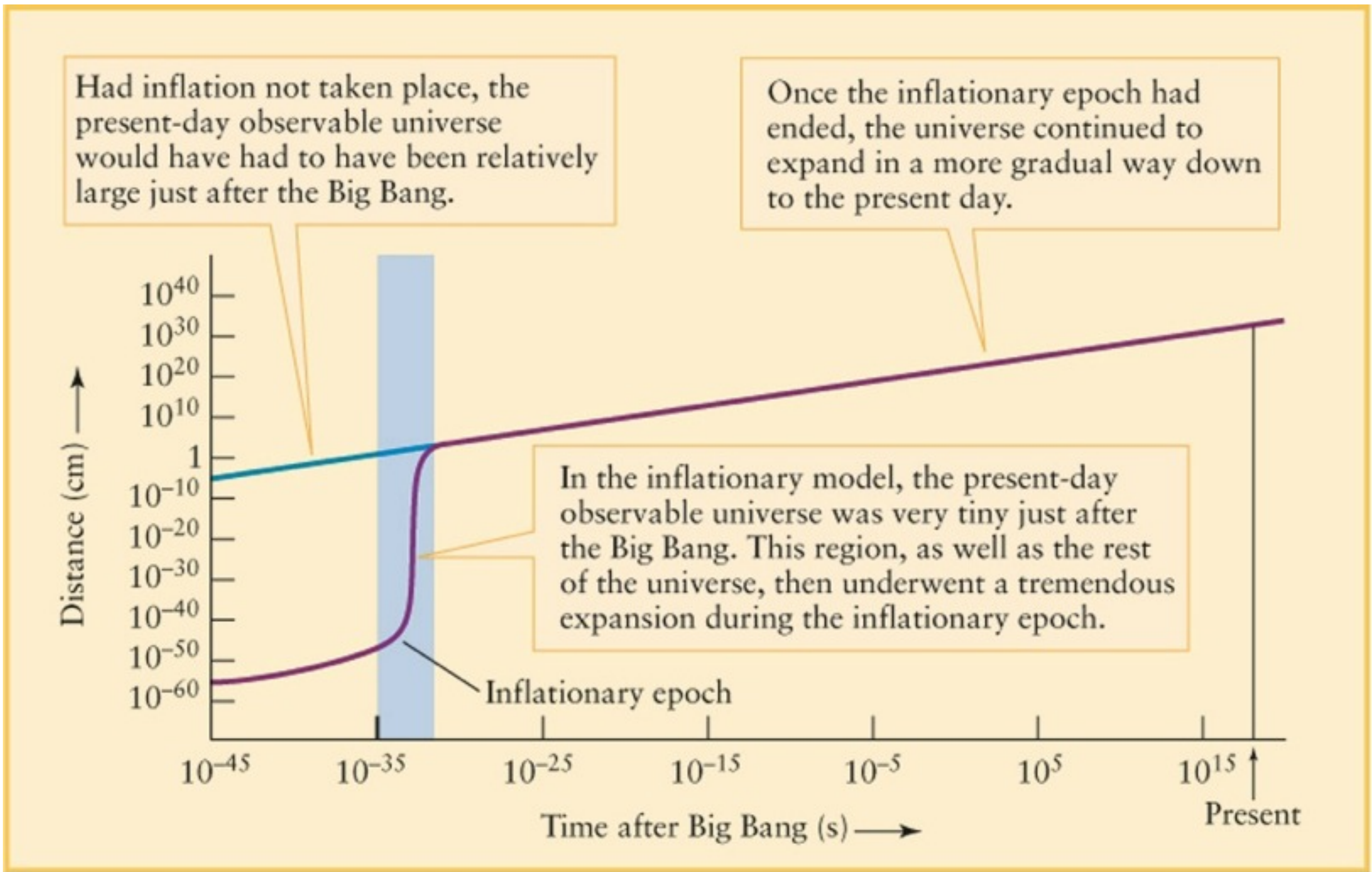


Problema della “piattezza”

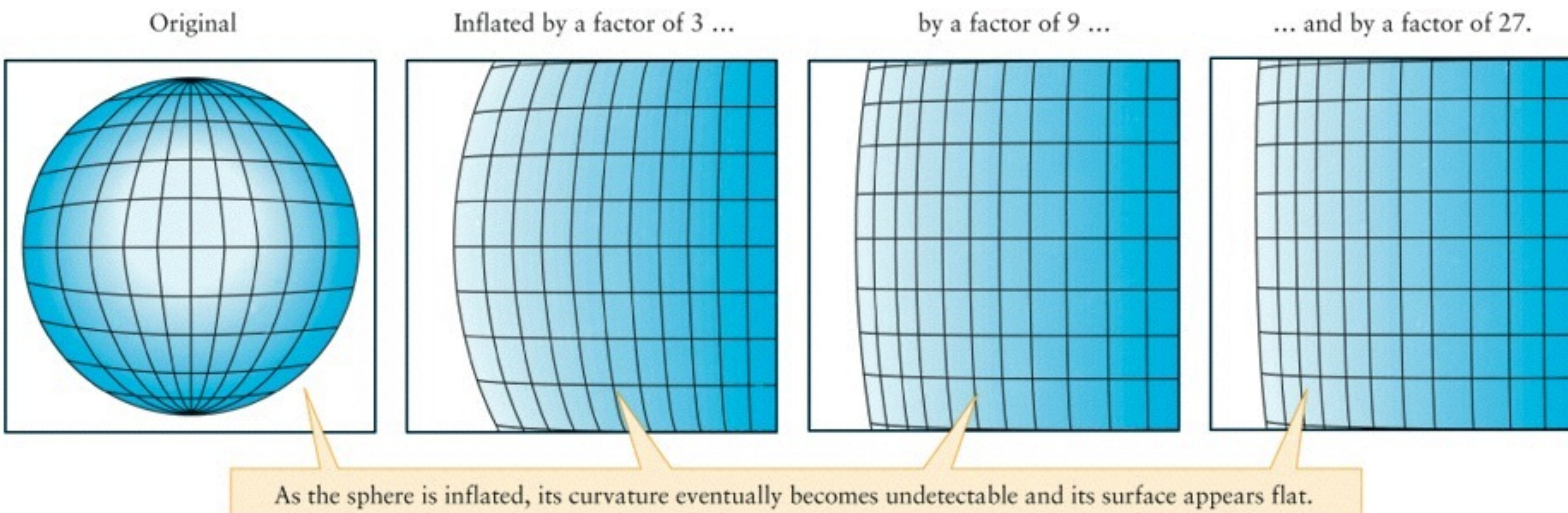
Perché Ω_0 = 1.000000000000000000000000 ?



Soluzione: Inflazione



Problema della “piattezza”

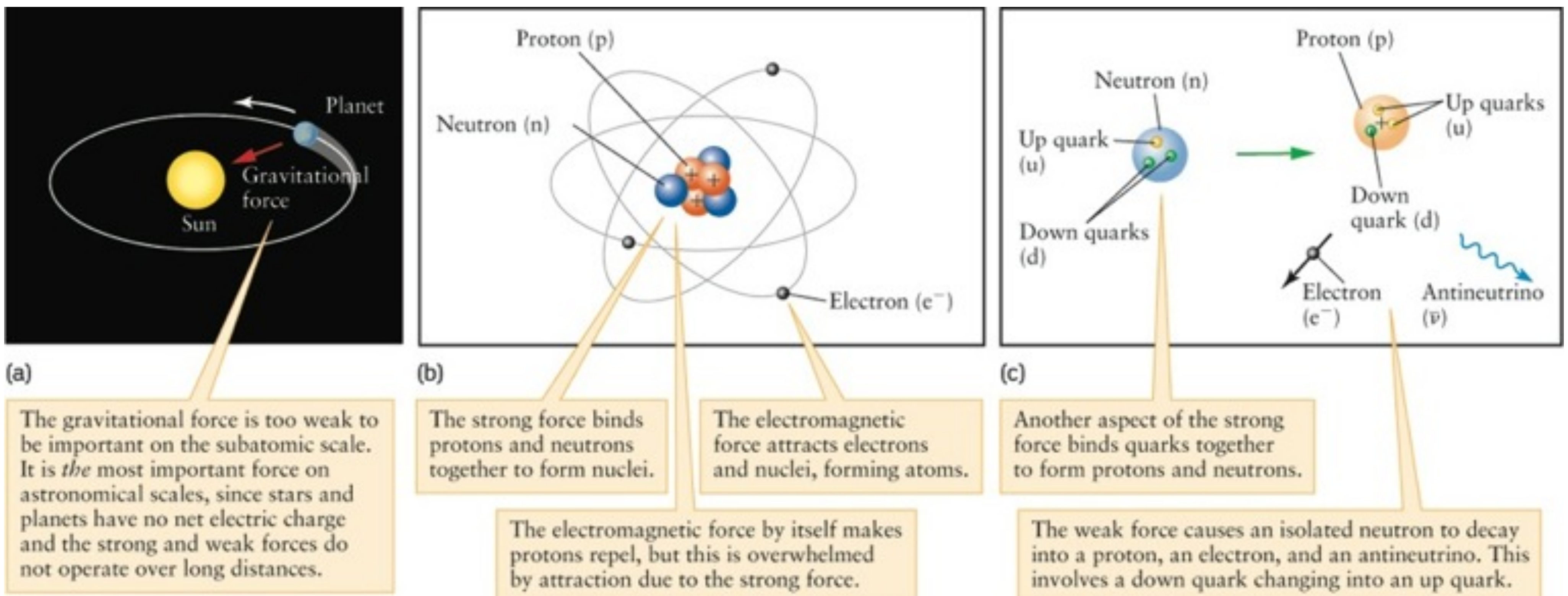


Inflazione

- Chi l’ha provocata ?
- È solo **uno** dei cambiamenti profondi nei primi 10^{-12} secondi.
- In ognuno, c’è una trasformazione fondamentale.
- Capire come interagiscono le particelle ad alta E.

Universo iniziale: interazione di particelle ad alta E

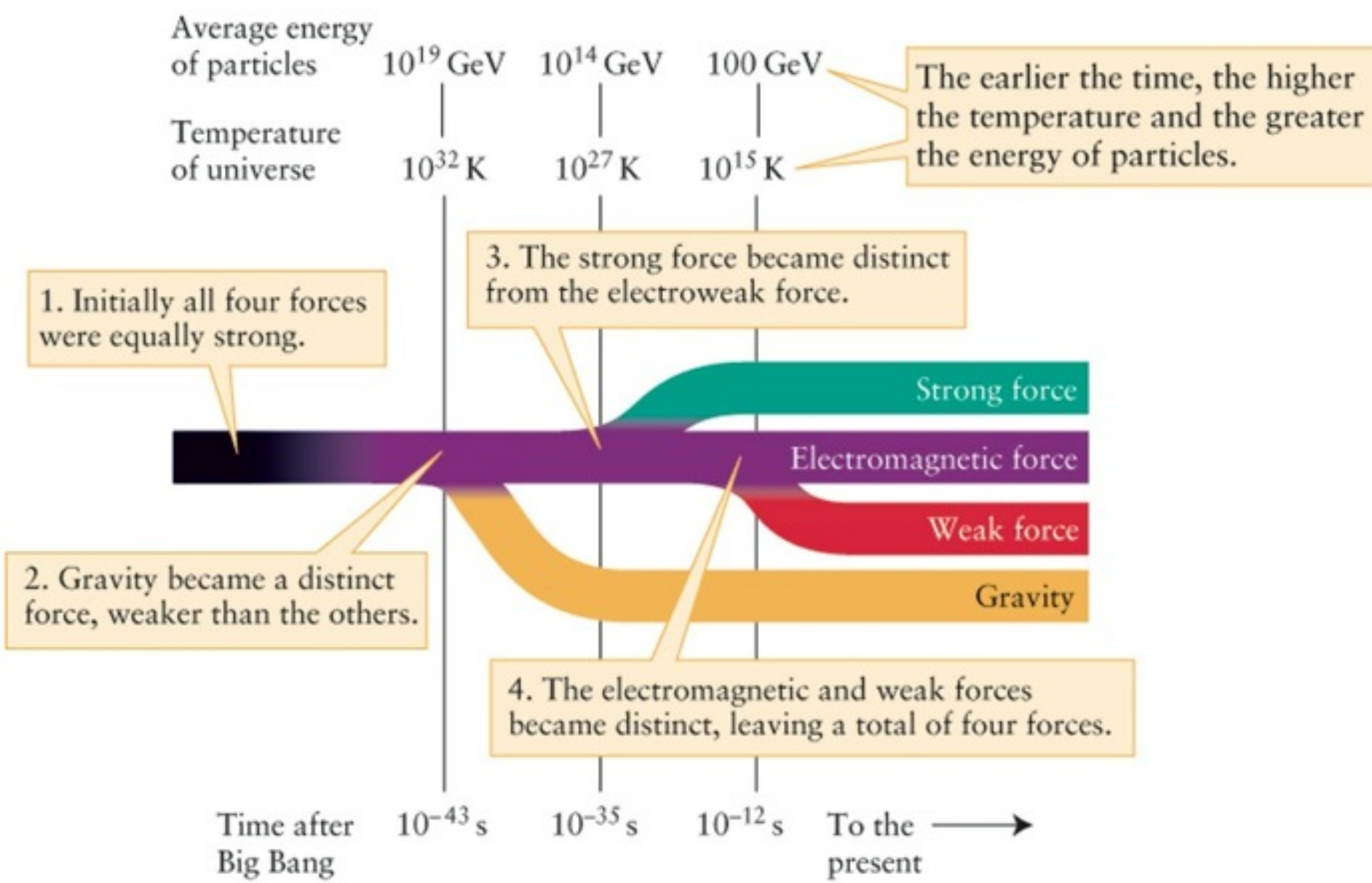
Forze fondamentali della natura



Force	Relative strength	Particles exchanged	Particles on which the force can act	Range	Example
Strong	1	gluons	quarks	10^{-15} m	holding protons, neutrons, and nuclei together
Electromagnetic	1/137	photons	charged particles	infinite	holding atoms together
Weak	10^{-4}	intermediate vector bosons	quarks, electrons, neutrinos	10^{-16} m	radioactive decay
Gravitational	6×10^{-39}	gravitons	everything	infinite	holding the solar system together

Universo iniziale: interazione di particelle ad alta E

Forze fondamentali della natura



(a) How the four forces behave at different energies and temperatures

Forze e particelle di scambio

- Elettrodinamica quantistica (QED) $\Longleftrightarrow$ fotoni

- Forza nucleare debole $\Longleftrightarrow$ Bosoni intermediari (W, Z), CERN (Rubbia)

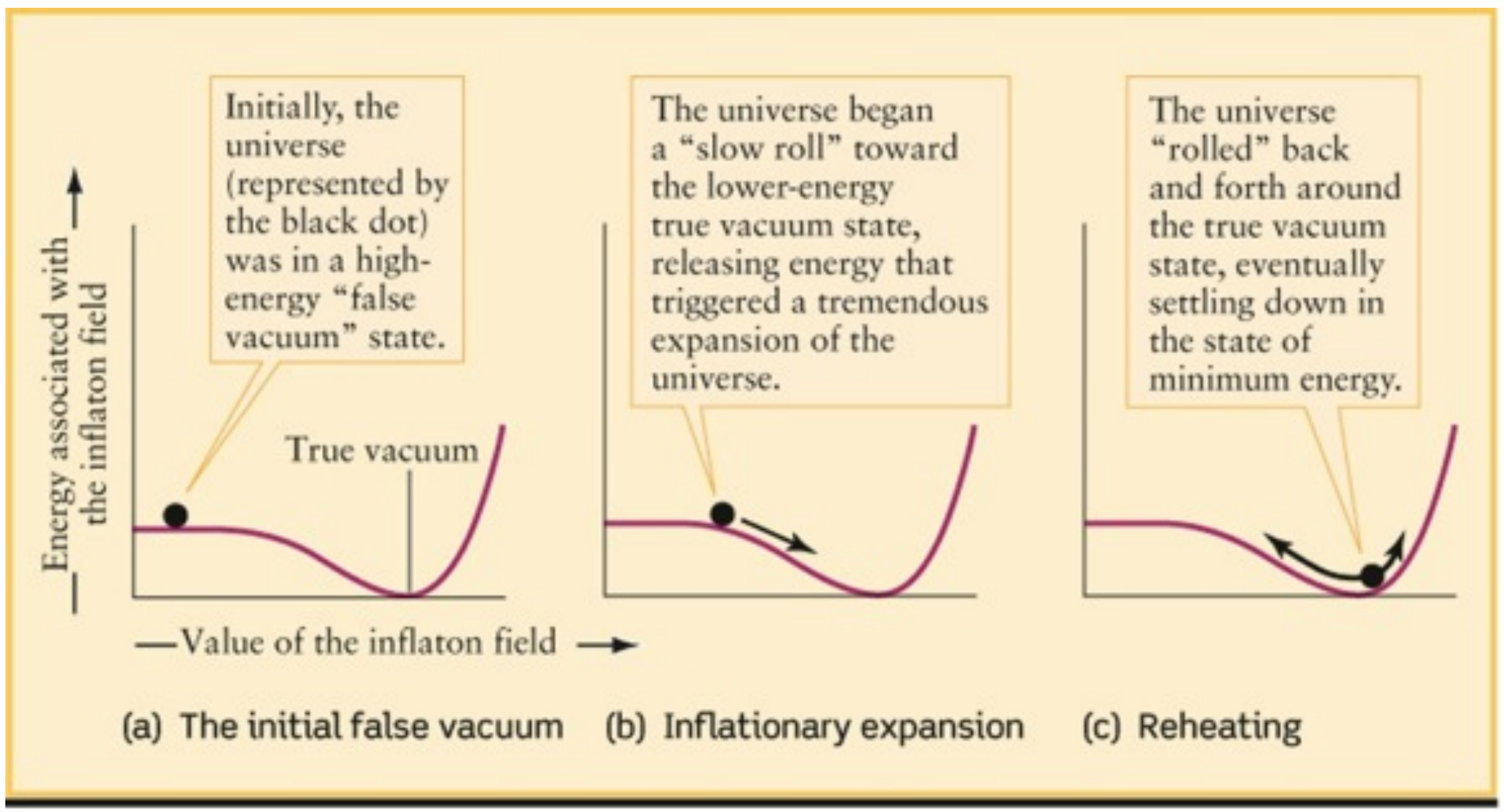
- Forza nuclear forte $\Longleftrightarrow$ Gluoni (non scoperti ancora)

- Gravitazione $\Longleftrightarrow$ Gravitoni (non scoperti ancora)

- Limite del LHC: 14 TeV = 1.4 10^4 GeV (10^{10} troppo piccolo per 10^{14} GeV)

Inflazione

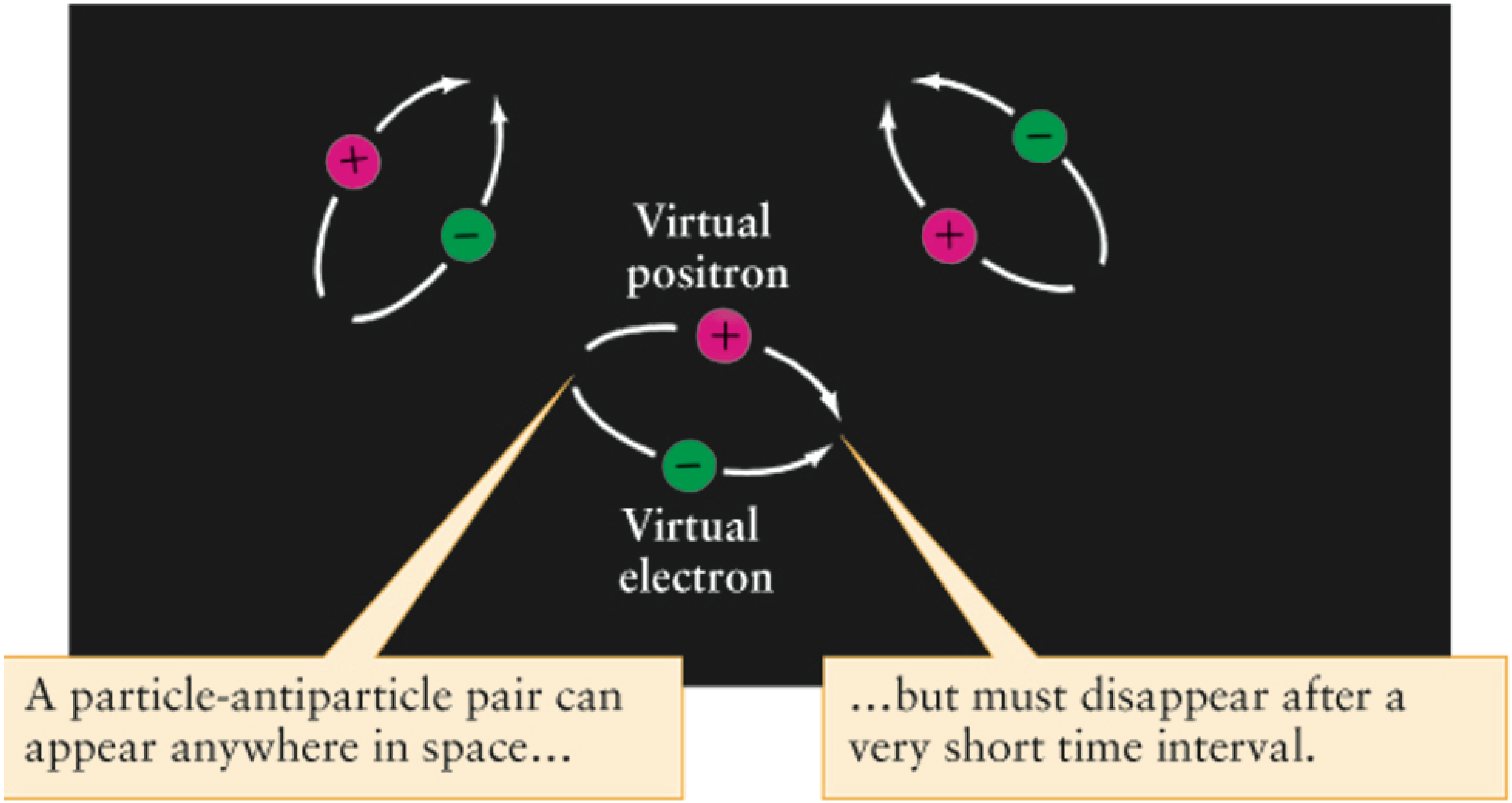
- a t = 10^{-35} secondi, inizia l'inflazione e a t = 10^{-32} secondi, finisce.
- da un "falso vuoto" verso un "vero vuoto" $\Longrightarrow$ rilascio di E, espansione 10^{50}



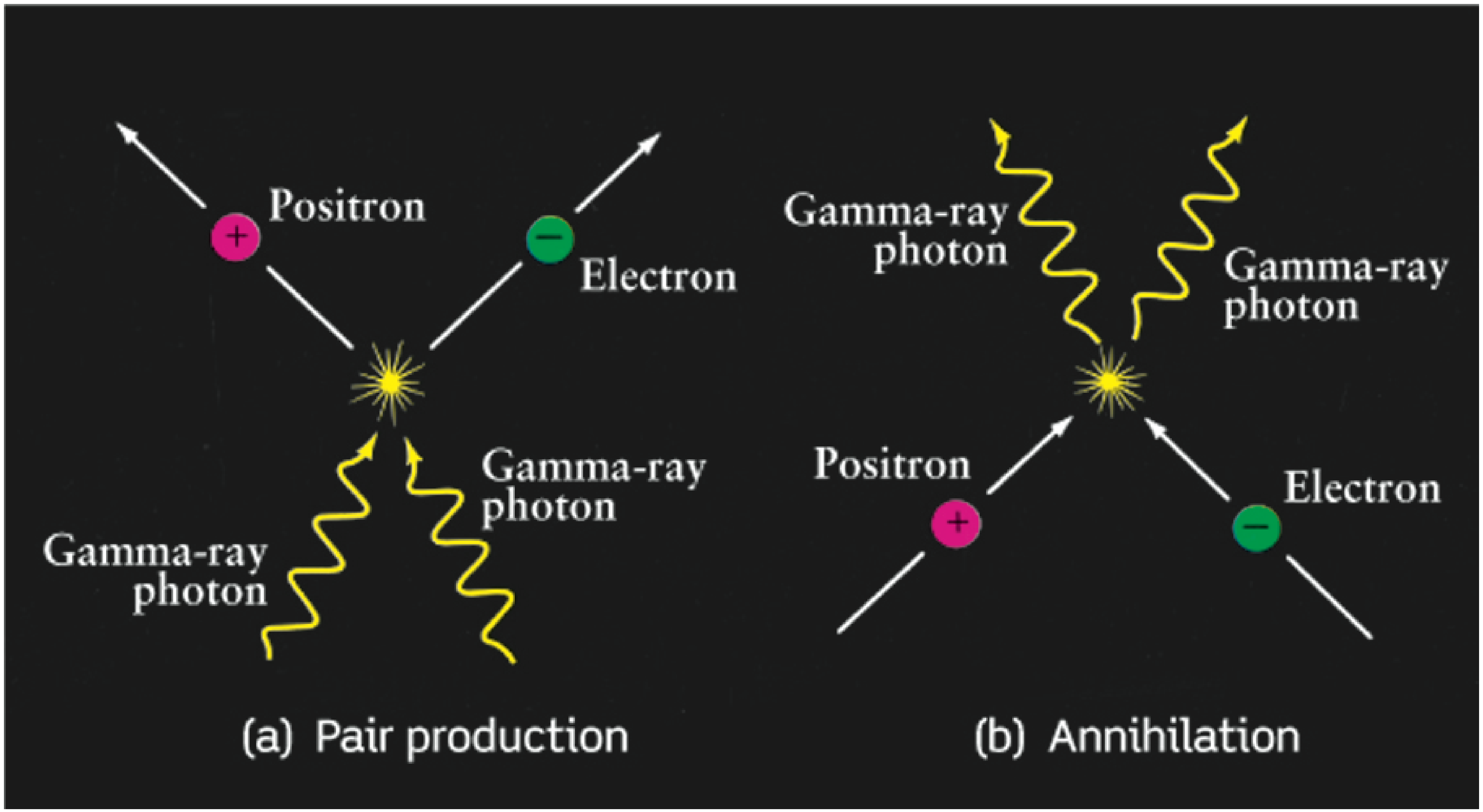
Principio di Heisenberg

- $\Delta x \cdot \Delta p \geqslant h/4\pi$ o $\Delta E \cdot \Delta t \geqslant h/2\pi$ (unità: $E_{cinetica} = 1/2\ mv^2$)
- con $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$ otteniamo il **principio di incertezza di Heisenberg**
- $\Delta m \cdot \Delta t \geqslant h / (2\pi c^2)$
- esempio: coppia elettrone - positrone, $\Delta m = 2 \cdot 9.11 \cdot 10^{-31}$ kg $\Longrightarrow$
  $\Delta t = h / \Delta m \cdot (2\pi c^2) = 6.43 \cdot 10^{-22}$ s

Coppie virtuali

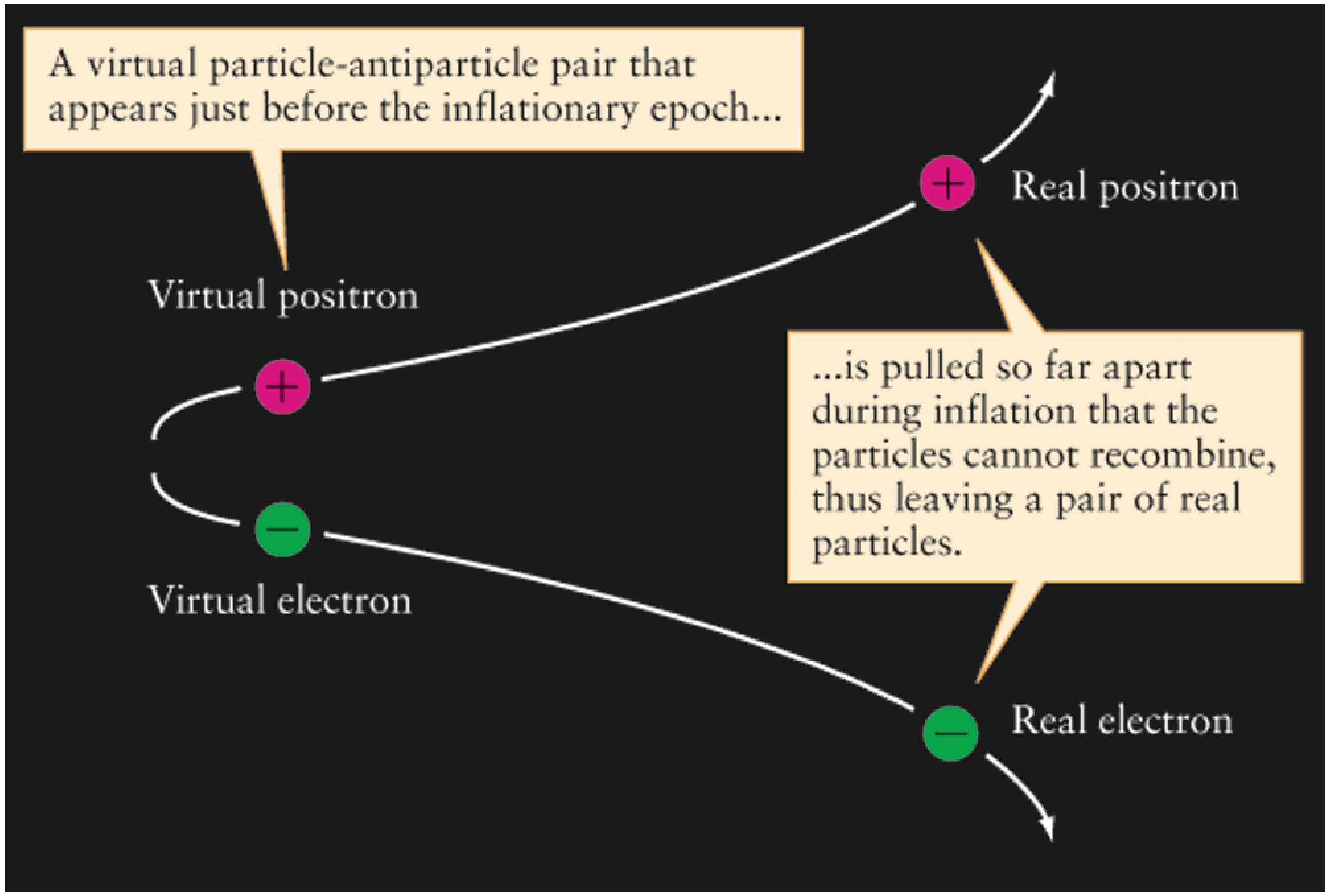


Produzione e anichilimento



Meanwhile during inflation…

- Grazie all'inflazione, l'universo è inondato da coppie particelle/antiparticelle
- Collisioni $\Longrightarrow$ raggi γ
- raggi γ $\Longrightarrow$ particelle/antiparticelle



Espansione

- Espansione dell'universo $\Longrightarrow$ Fotoni γ sempre più redshiftati $\Longrightarrow$ T fondo cosmico diminuisce

- a $t = 10^{-6}$ sec, $T = 10^{13}$ K, E = 1 GeV, confinamento dei quark $\Longrightarrow$ primi protoni e neutroni

- niente più produzione di particelle (Energia dei fotoni γ troppo bassa), ma anilichimento continua. $\Longrightarrow$ il contenuto di materia $\searrow$, il contenuto di radiazione $\nearrow$

- La CMB che vediamo oggi = prodotto da un mare di particelle/antiparticelle

- simmetria materia / antimateria non perfetta: 10^9 fotoni (CMB) per ogni protone oggi: per ogni 10^9 antiprotoni, c'erano $(10^9 + 1)$ protoni

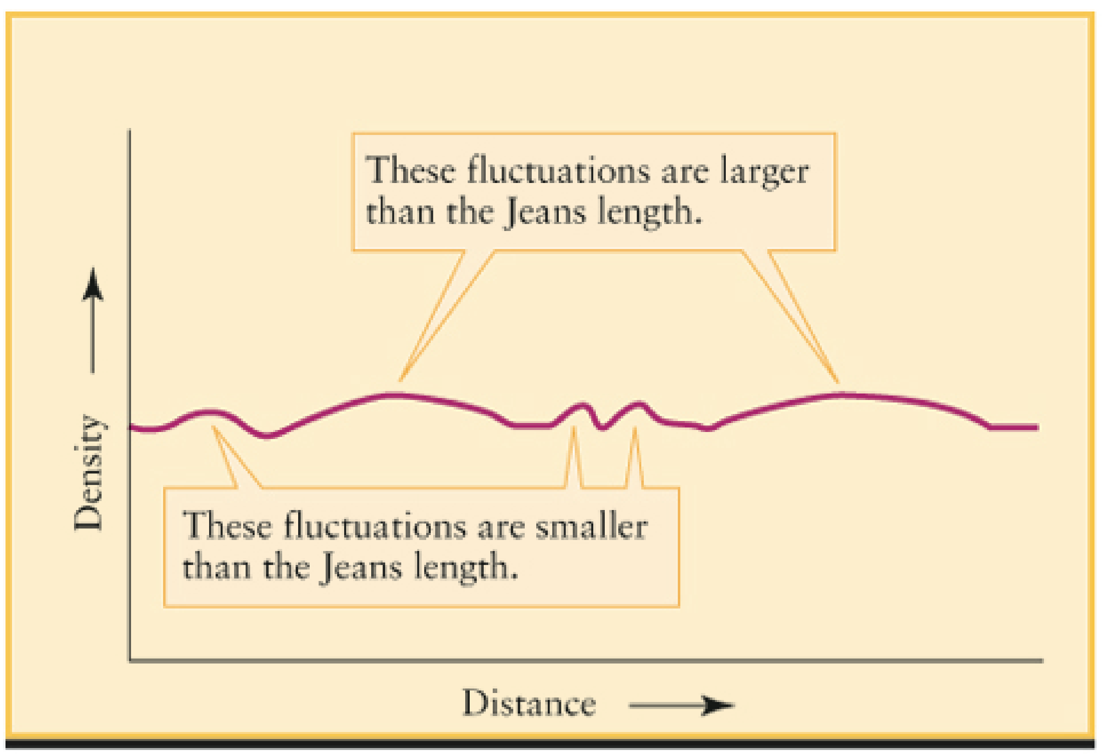
Universo primordiale

4.5 Elio e neutrini: relitti della palla di fuoco primordiale

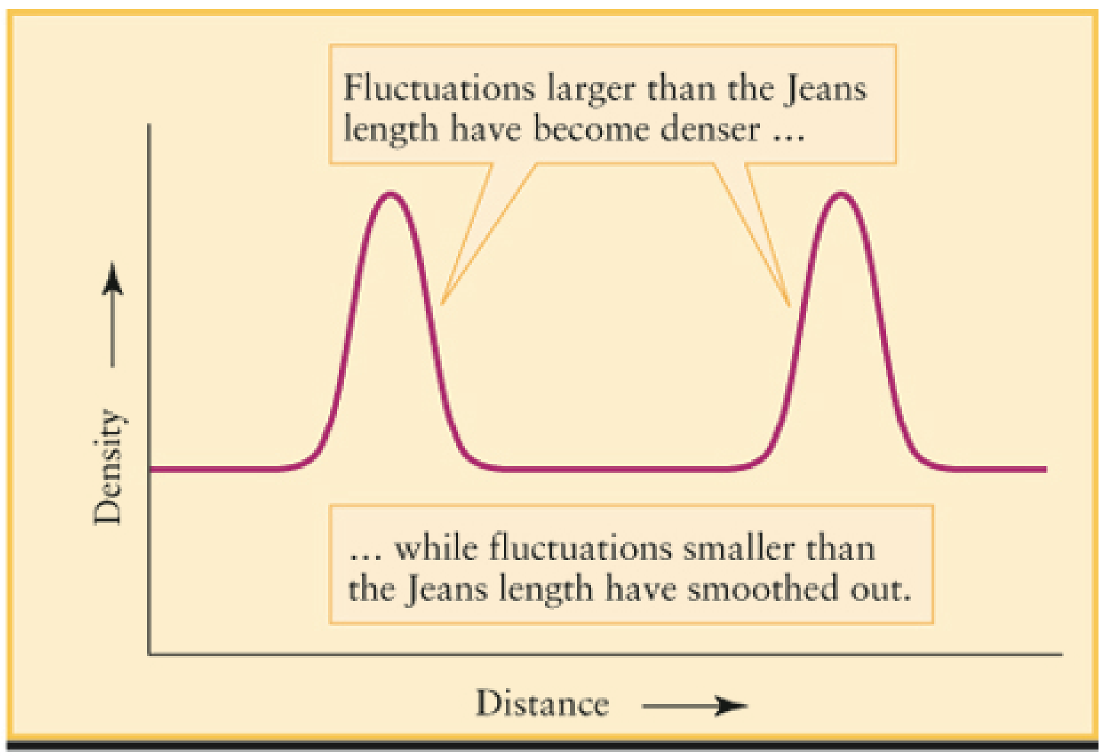
- nucleosintesi del Big Bang: He e altri
- collo di bottiglia del deuterio
- dove sono i neutrini oggi

Universo primordiale

- Fluttuazioni di densità



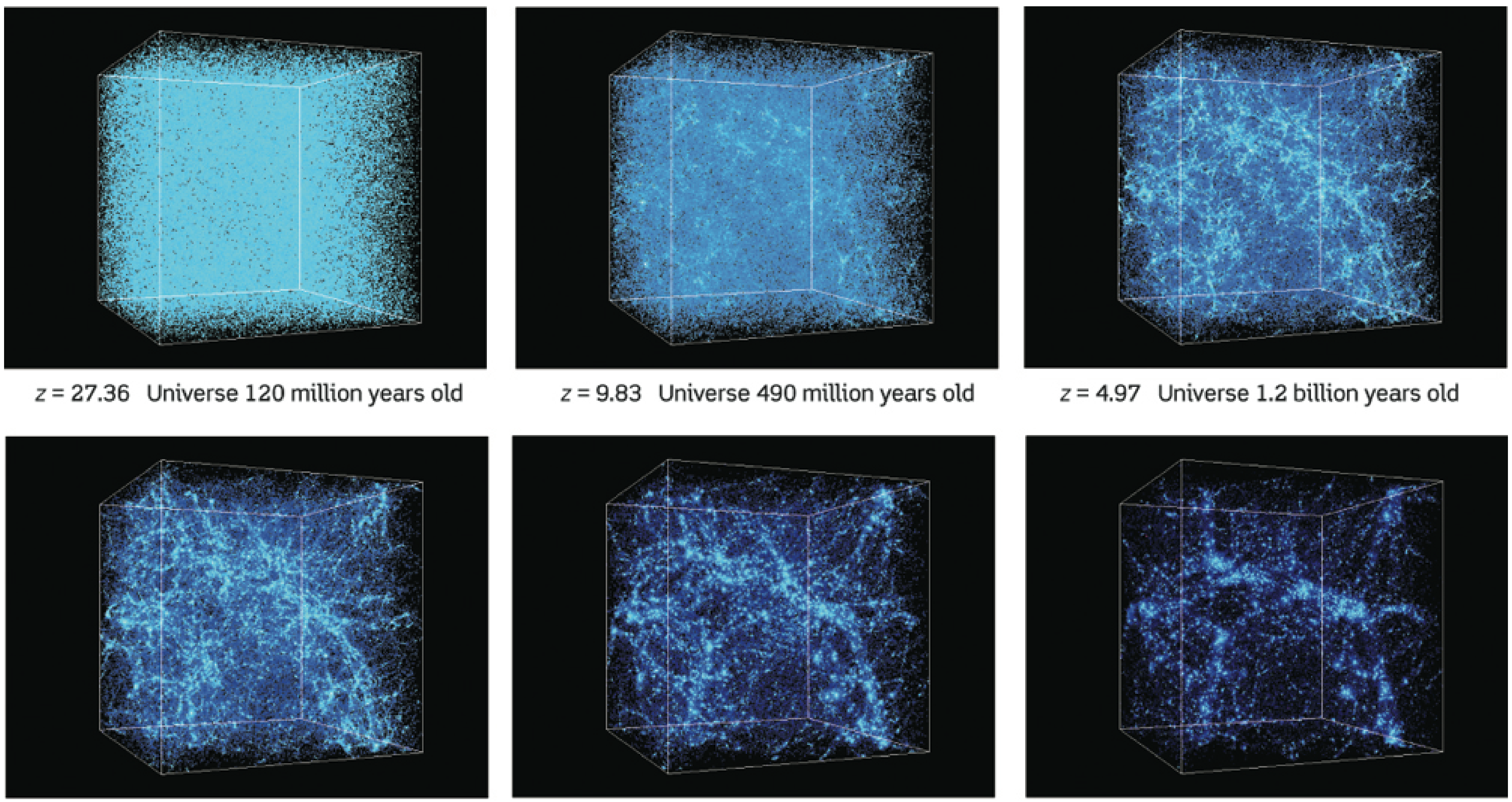
(a) At an early time



(b) At a later time

Universo primordiale

- Simulazioni N-body



$z = 27.36$ Universe 120 million years old

$z = 9.83$ Universe 490 million years old

$z = 4.97$ Universe 1.2 billion years old

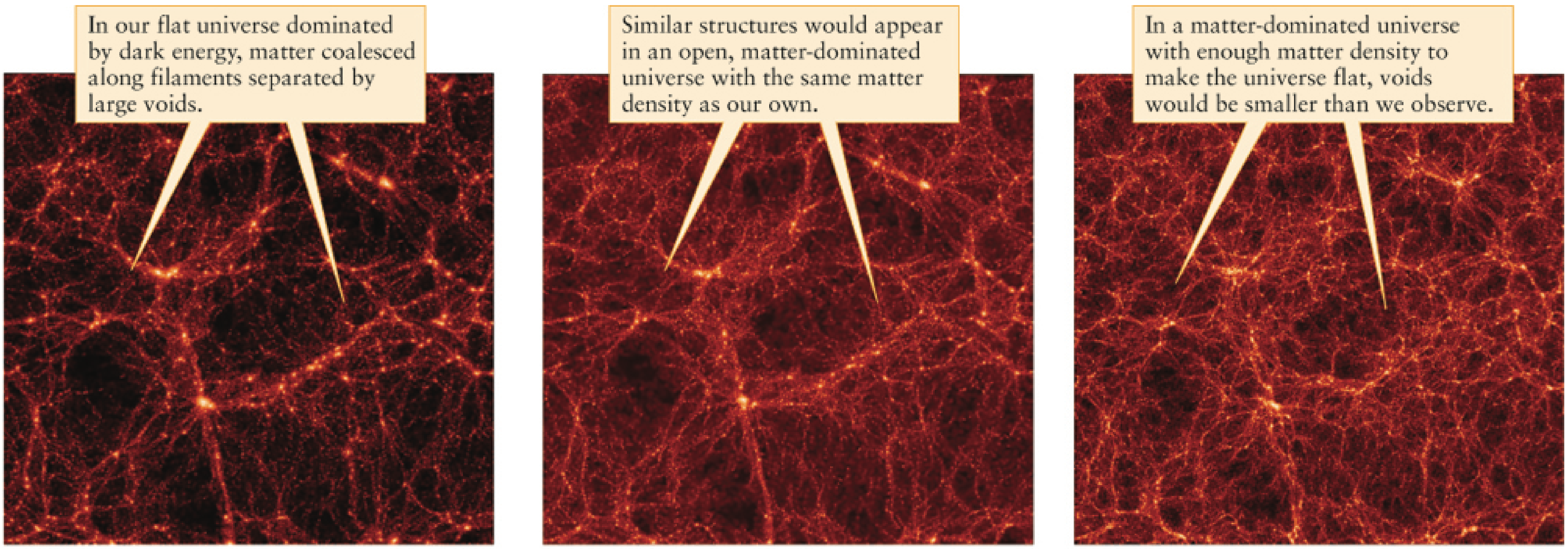
$z = 2.97$ Universe 2.2 billion years old

$z = 0.99$ Universe 6.0 billion years old

$z = 0.00$ Universe 13.7 billion years old

Universo primordiale

- Simulazioni N-body



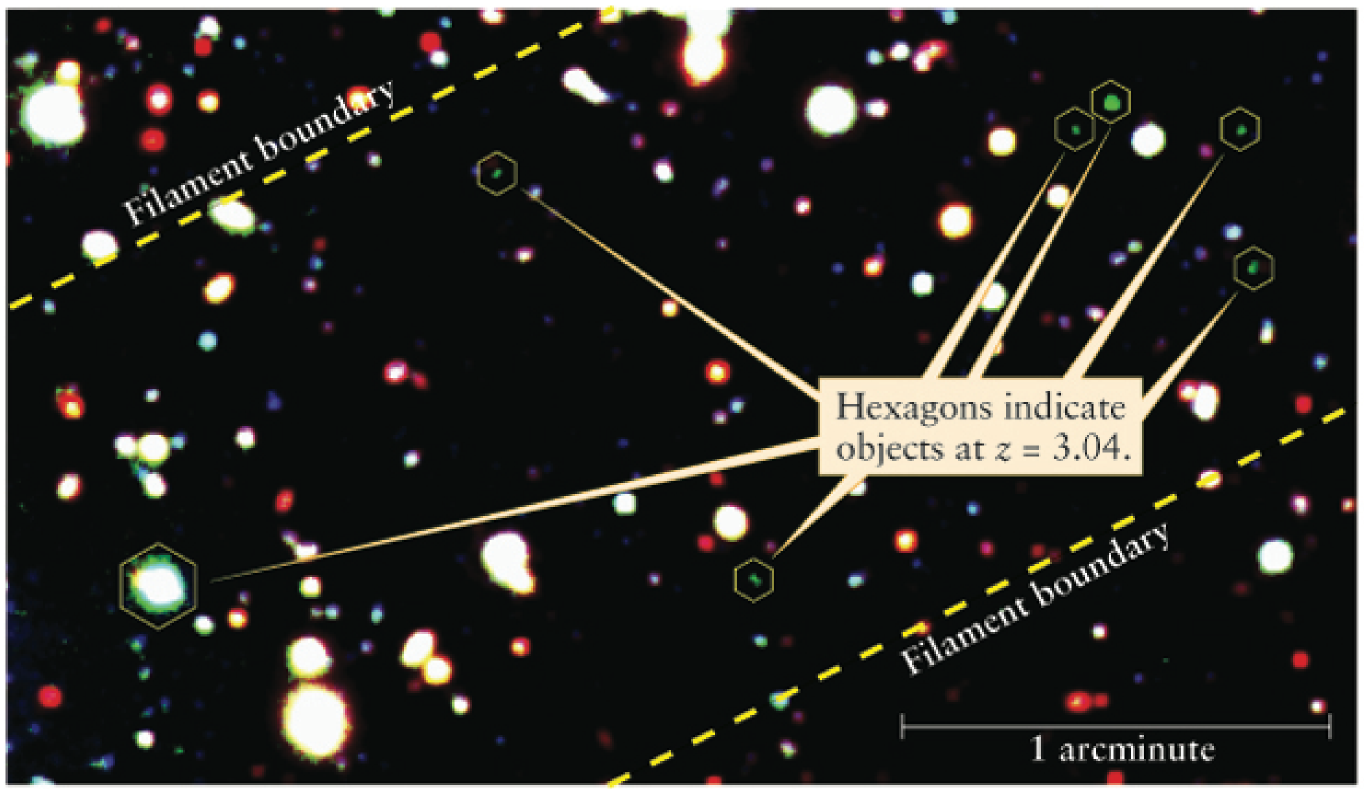
(a) A flat universe with dark energy: $\Omega_m = 0.3, \Omega_\Lambda = 0.7$

(b) A open universe without dark energy: $\Omega_m = 0.3, \Omega_\Lambda = 0$

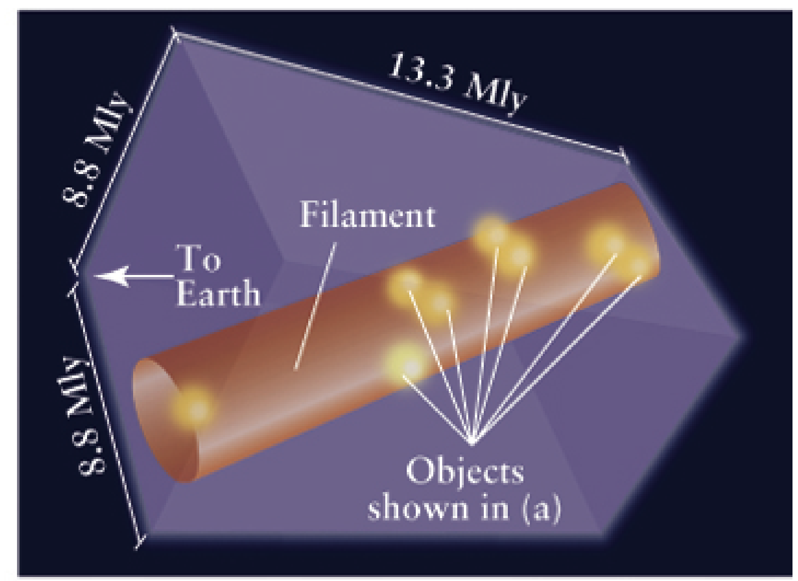
(c) A flat universe without dark energy: $\Omega_m = 1.0, \Omega_\Lambda = 0$

Universo primordiale

- Filamenti osservati



(a) High-redshift objects that lie within a filament



(b) Illustration of the filament