

# El modelo estándar Cosmológico: La Teoría del Big Bang y misterios aún por resolver



Miguel Escudero Abenza  
Theoretical Physics Department, CERN  
[miguel.escudero@cern.ch](mailto:miguel.escudero@cern.ch)

Programa español para profesores  
24 de junio de 2024

# Índice

---

## La Teoría del Big Bang

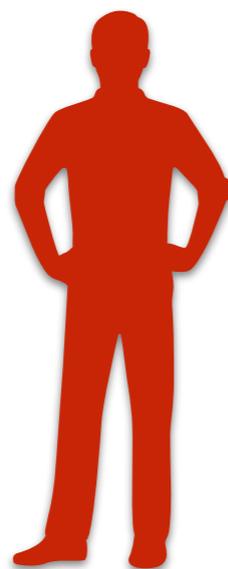
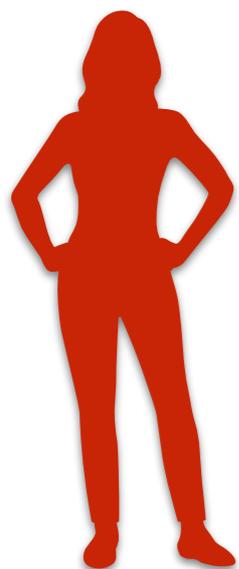
- **El Universo en expansión**
- **Composición Química del Universo**
- **El Fondo Cósmico de Microondas**
- **Inflación**

## Problemas abiertos en cosmología

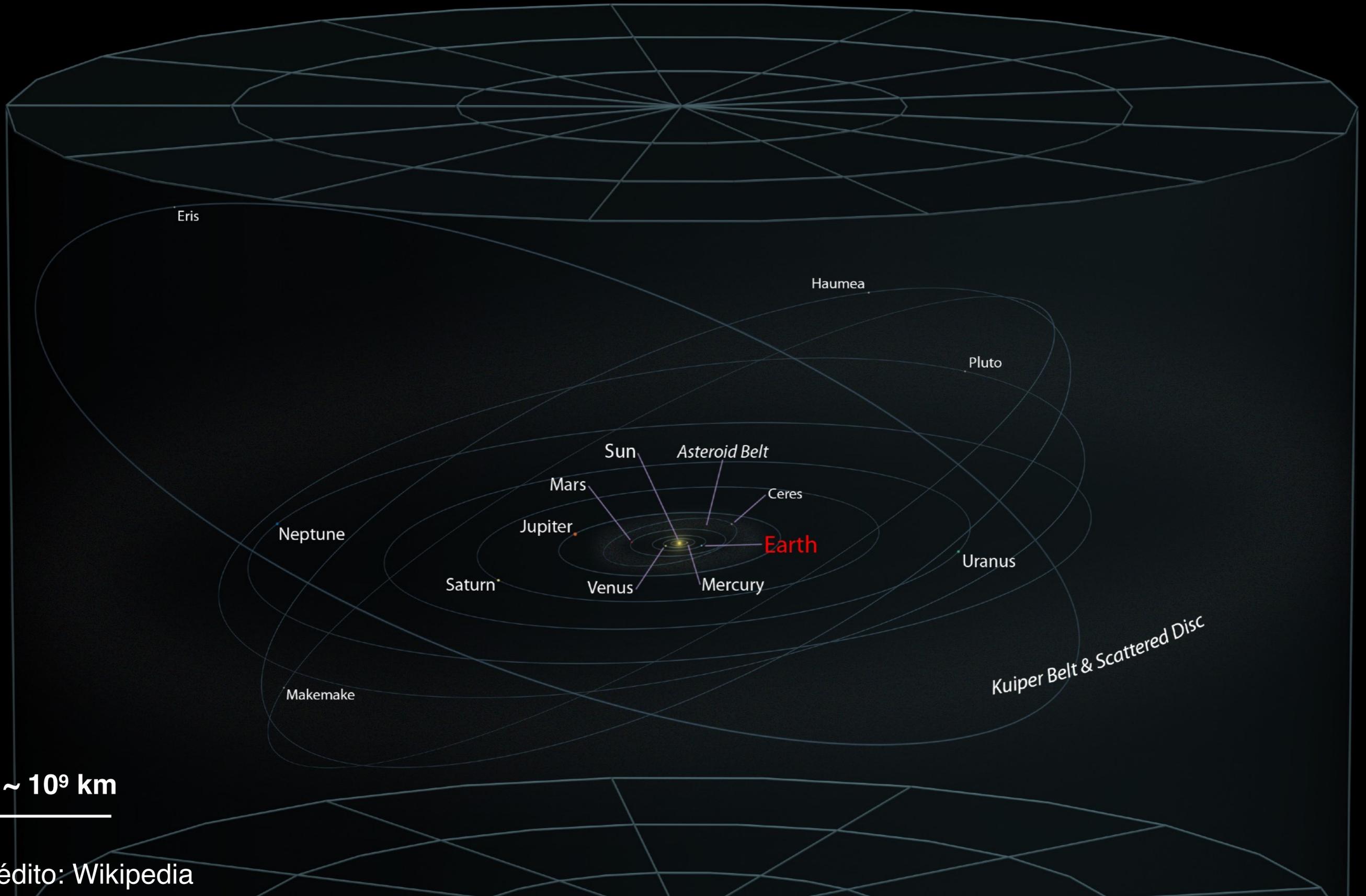
- **Antimateria**
- **Materia Oscura**
- **Energía Oscura**

**¡Las preguntas son muy  
bienvenidas!**

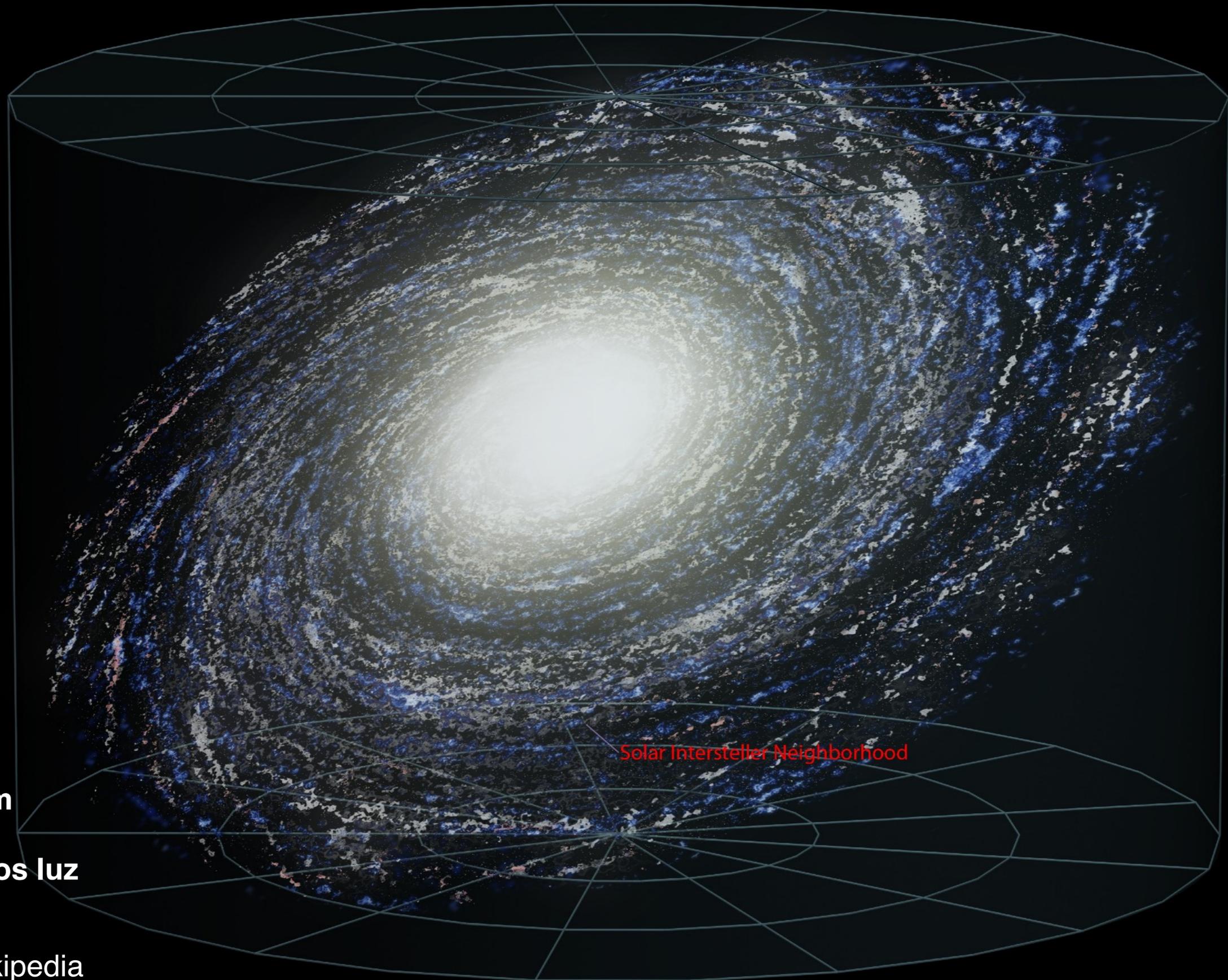
**Por favor: interrumpidme y  
haced preguntas en cualquier  
momento de la charla 😊**



# SOLAR SYSTEM



# MILKY WAY GALAXY

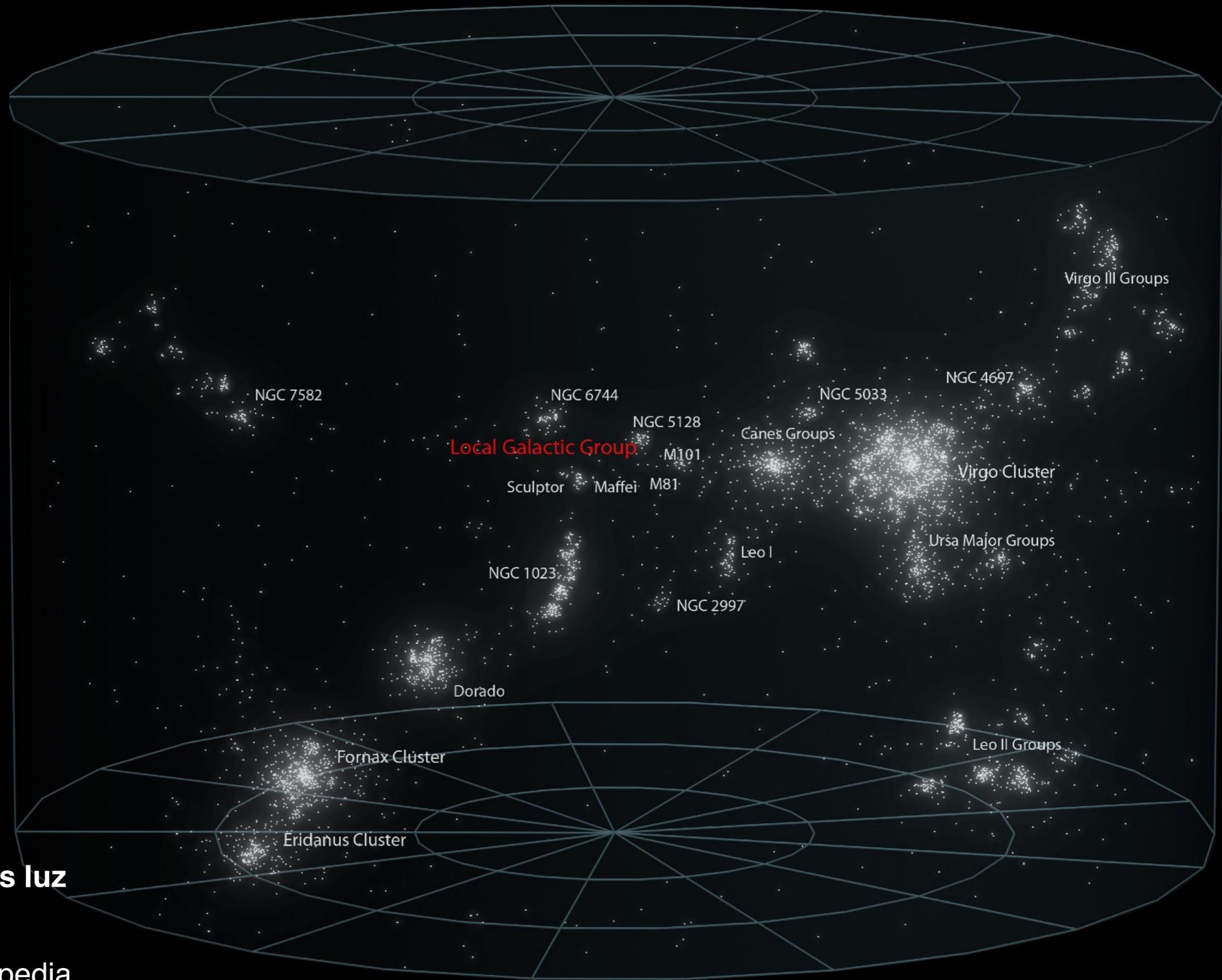


Solar Interstellar Neighborhood

$L \sim 10^{17}$  km

$L \sim 10^4$  años luz

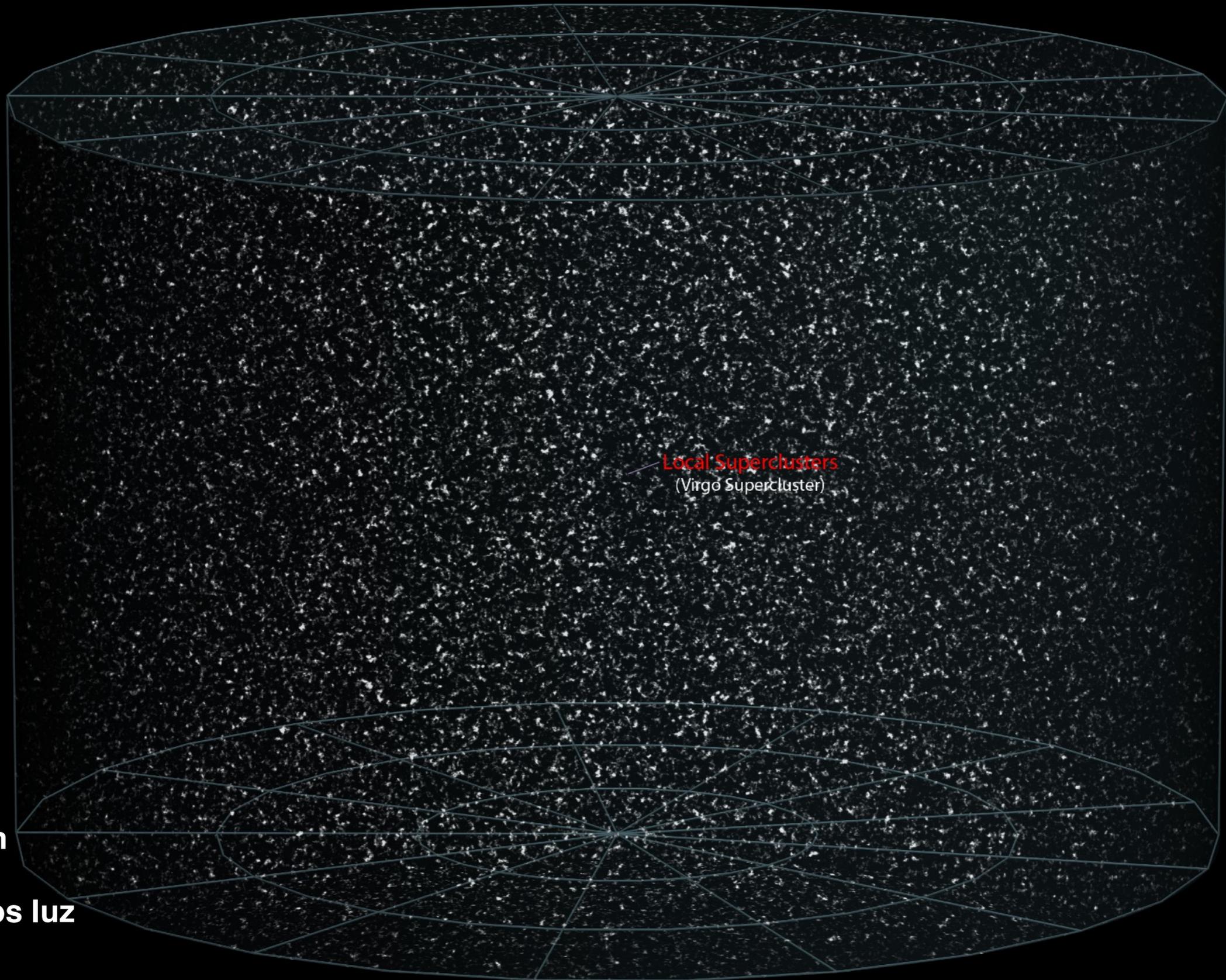
# VIRGO SUPERCLUSTER



**L ~ 10<sup>20</sup> km**

**L ~ 10<sup>7</sup> años luz**

# OBSERVABLE UNIVERSE

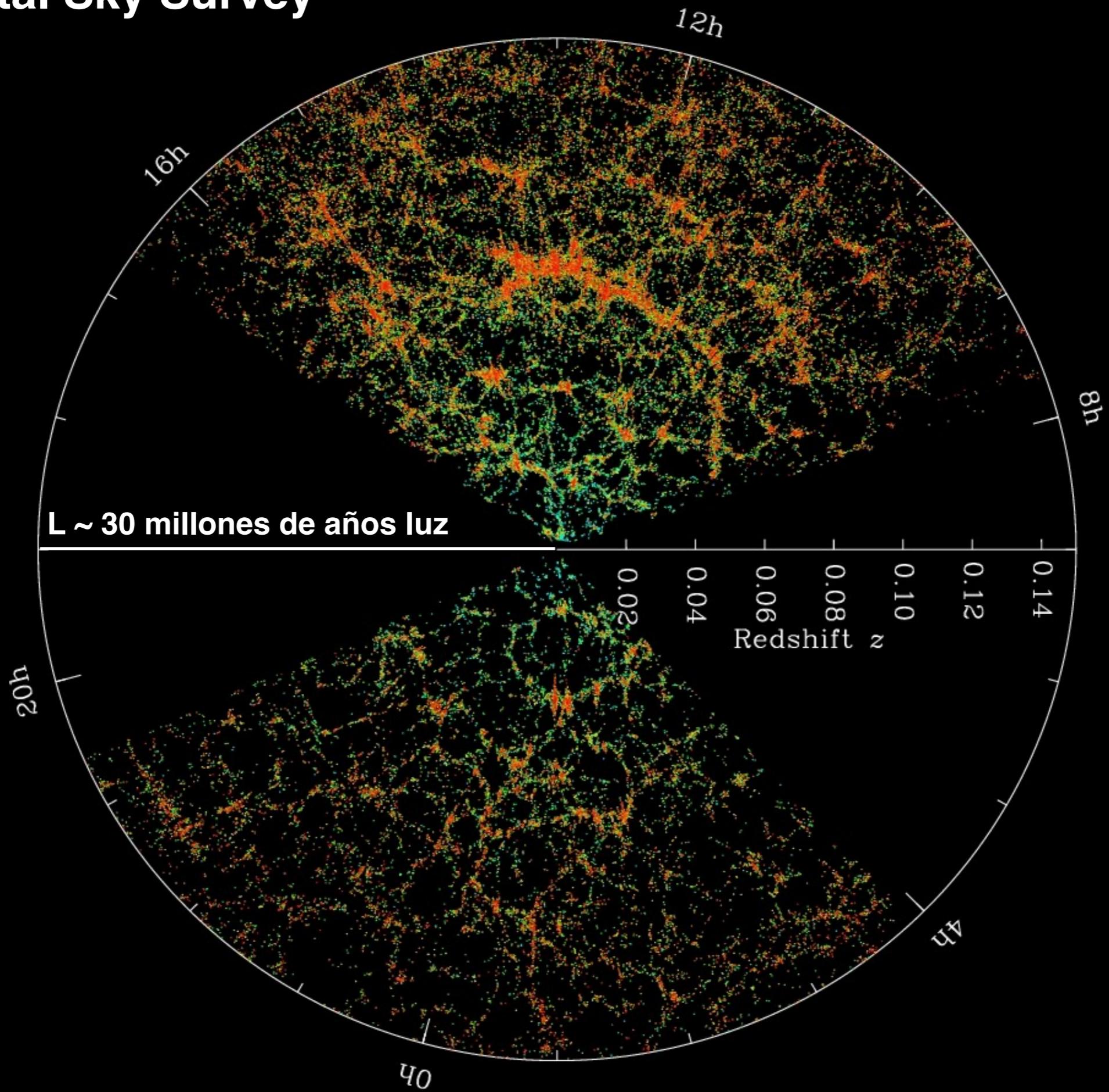


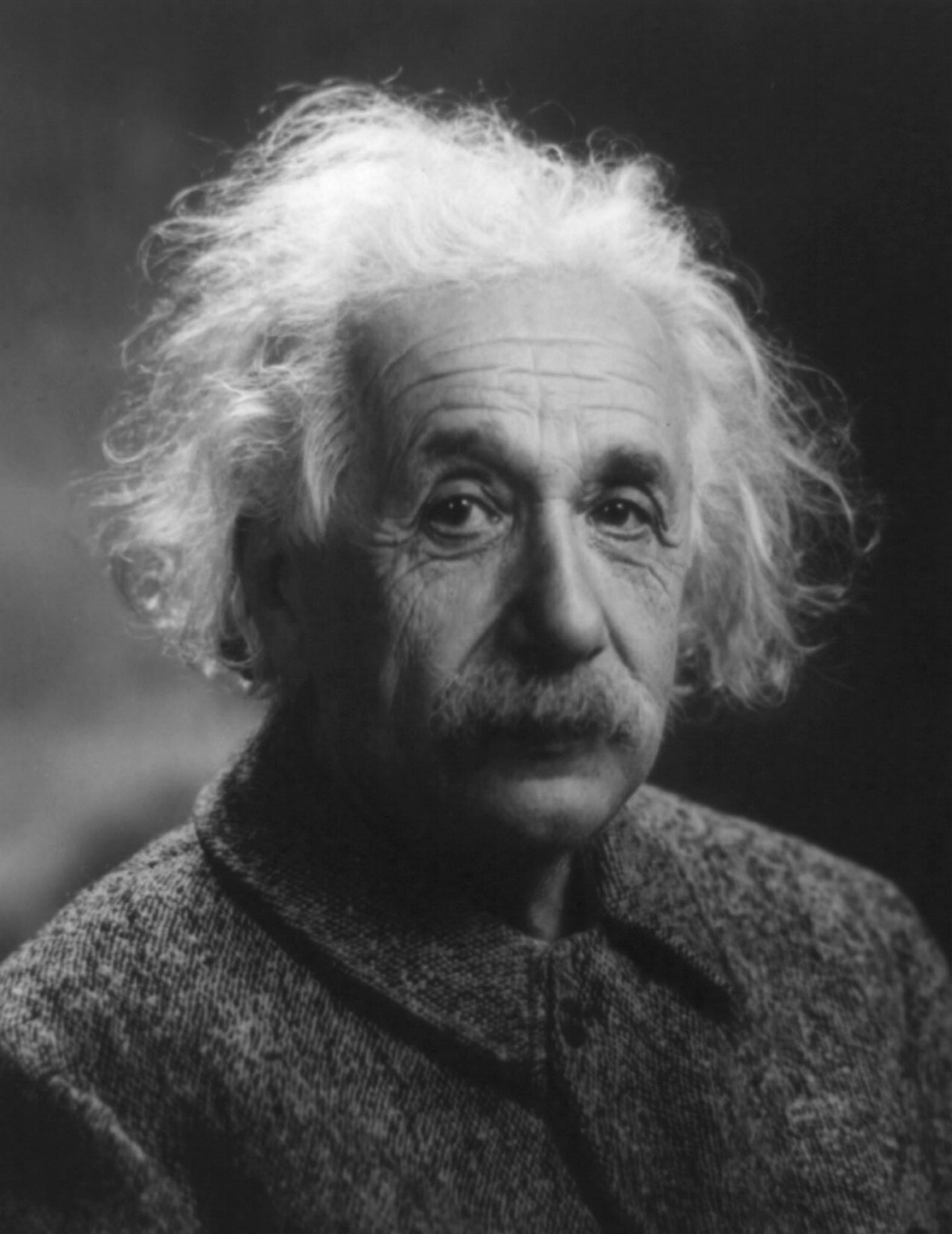
Local Superclusters  
(Virgo Supercluster)

L ~ 10<sup>22</sup> km

L ~ 10<sup>9</sup> años luz

# Sloan Digital Sky Survey





# Ecuaciones de Einstein

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

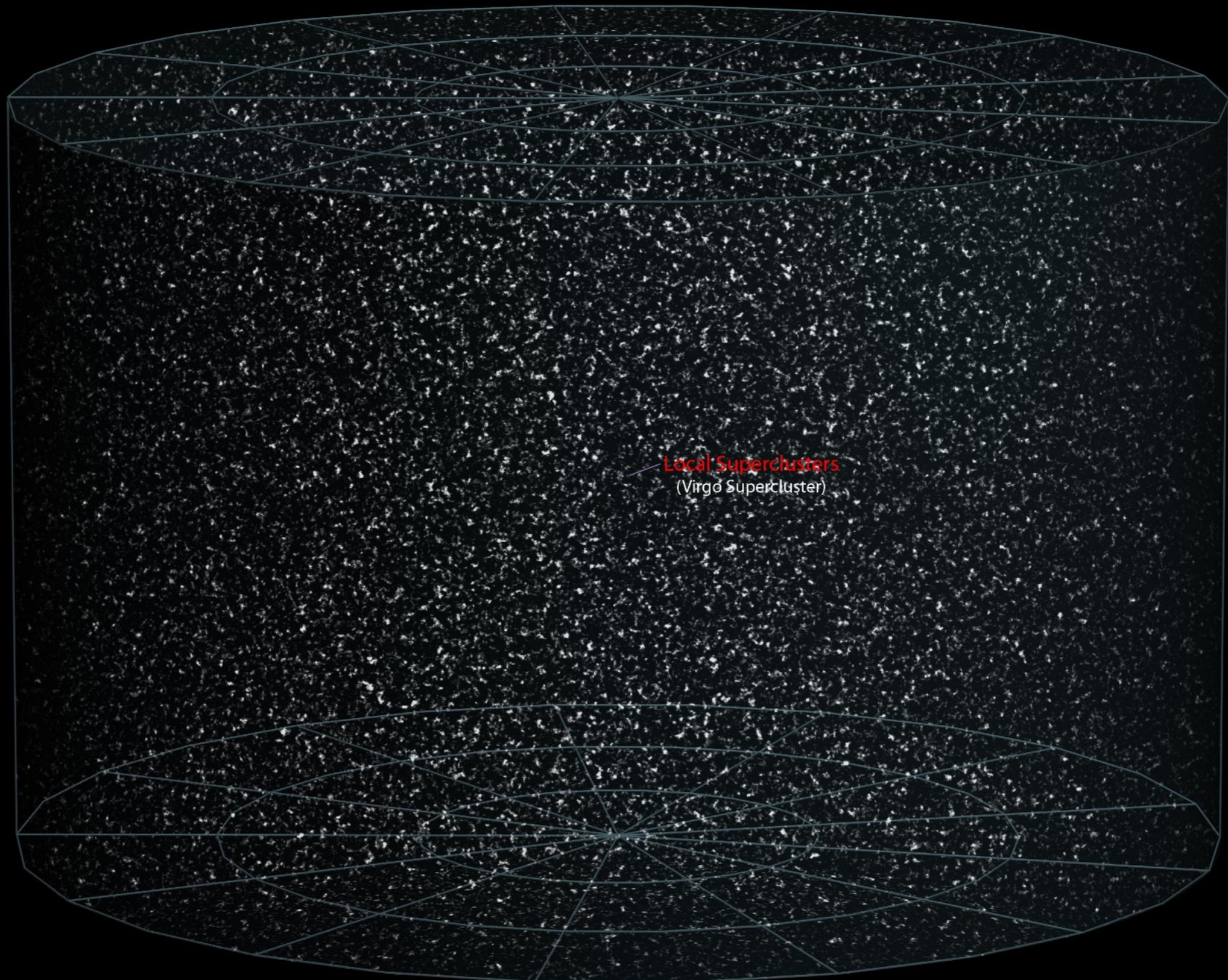
**Materia:**

$$T_{\mu\nu}$$

**Geometría del  
espacio-tiempo:**

$$G_{\mu\nu}$$

# Universo Homogêneo e Isótropo



**¡Expansión!**

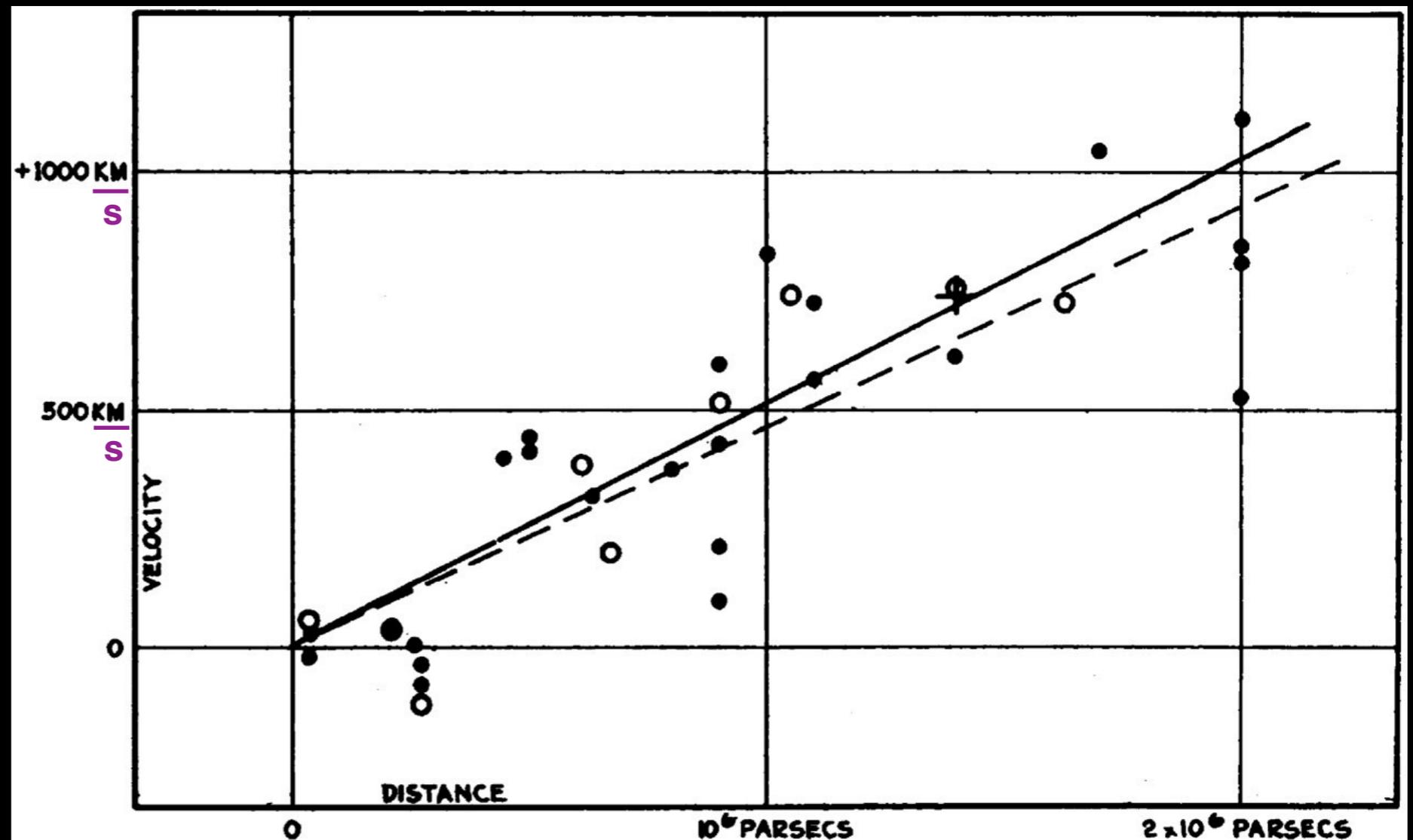
The image features a dynamic radial blur effect. Numerous thin, light-colored lines radiate from a central dark point, spreading outwards to the edges of the frame. The lines vary in length and brightness, creating a sense of depth and movement, similar to a starburst or a tunnel of light. The overall effect is one of rapid expansion and energy.

# En 1929, Hubble demostró que el Universo se expandía



# La ley de Hubble 1929

$$v = H_0 d$$



$\sim 10^8$  años luz

# Galaxia Típica

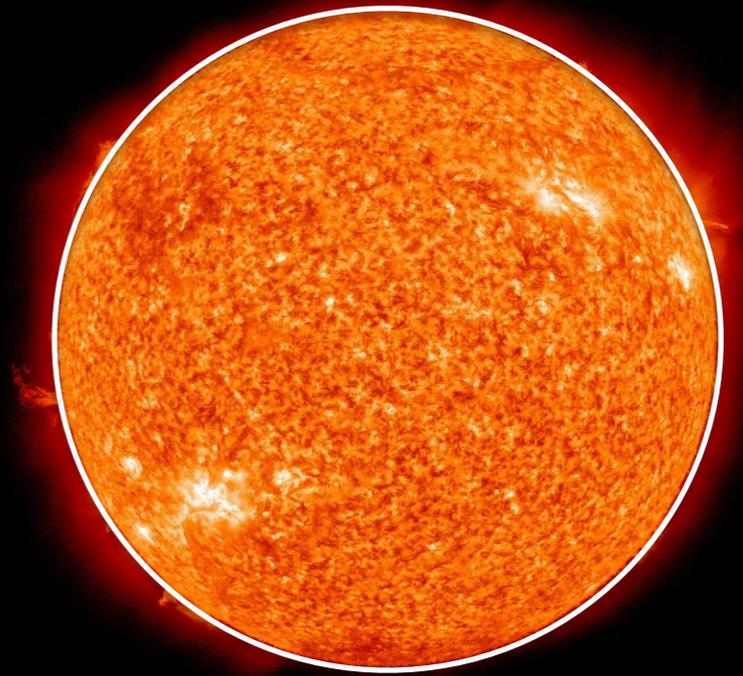


$M \sim 10^{12} M_{\text{sun}}$     $L \sim 10^{18} \text{ km}$     $\rho \sim 10^{-25} \text{ g/cm}^3$

---

$t \sim 13.8 \times 10^9 \text{ años}$

# Universo Primitivo

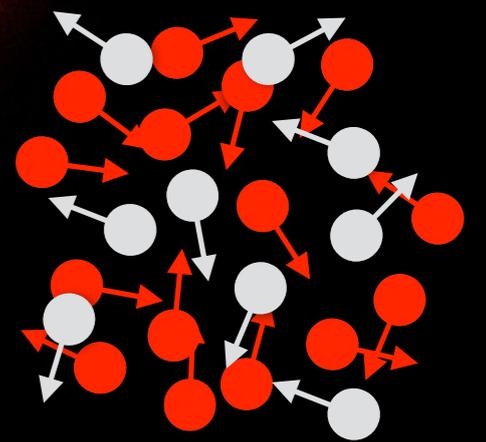
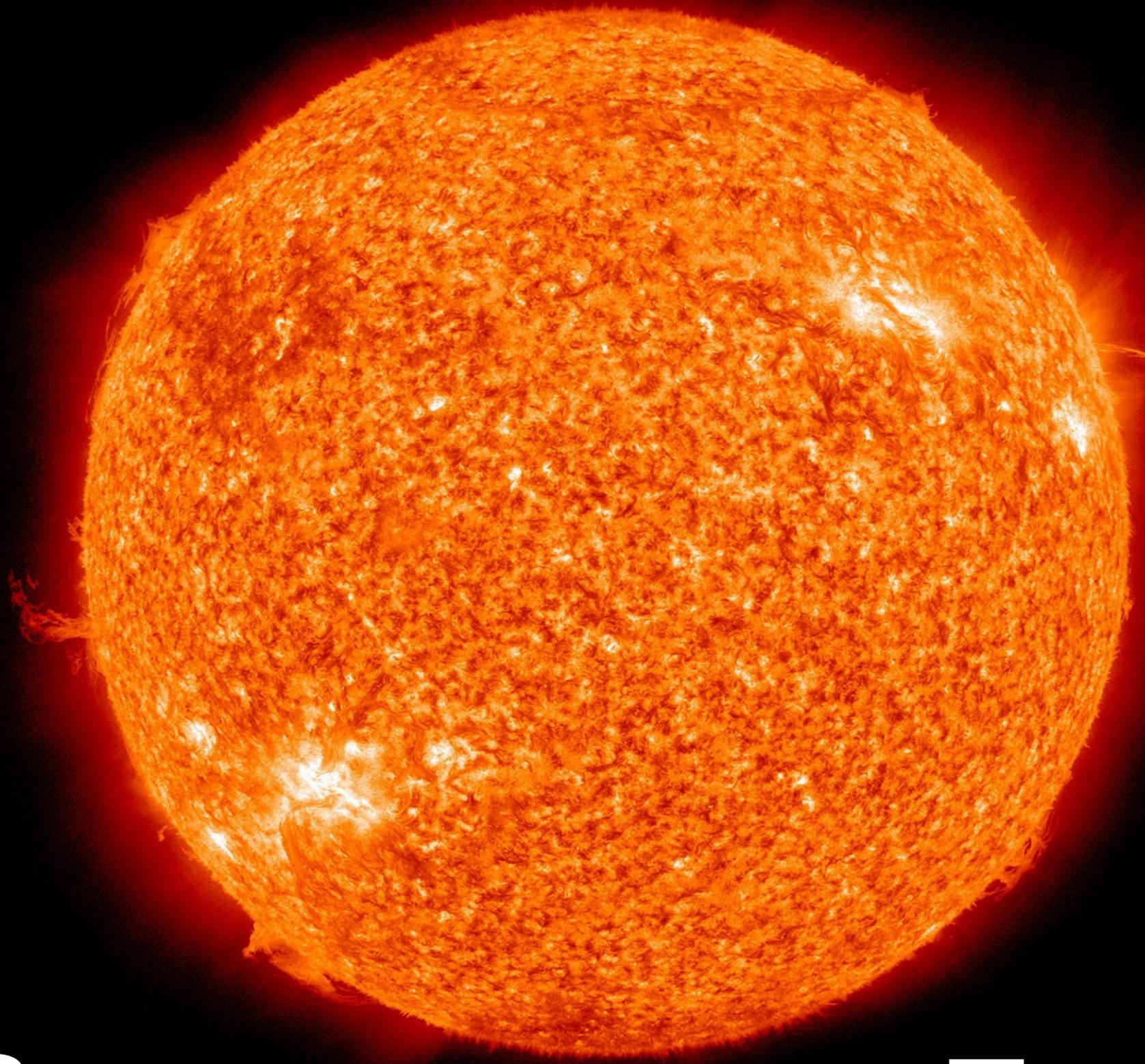


$L \sim 10^8 \text{ km}$     $\rho \sim 10 \text{ g/cm}^3$

---

$t \sim 1 \text{ segundo}$

# El Universo Primitivo



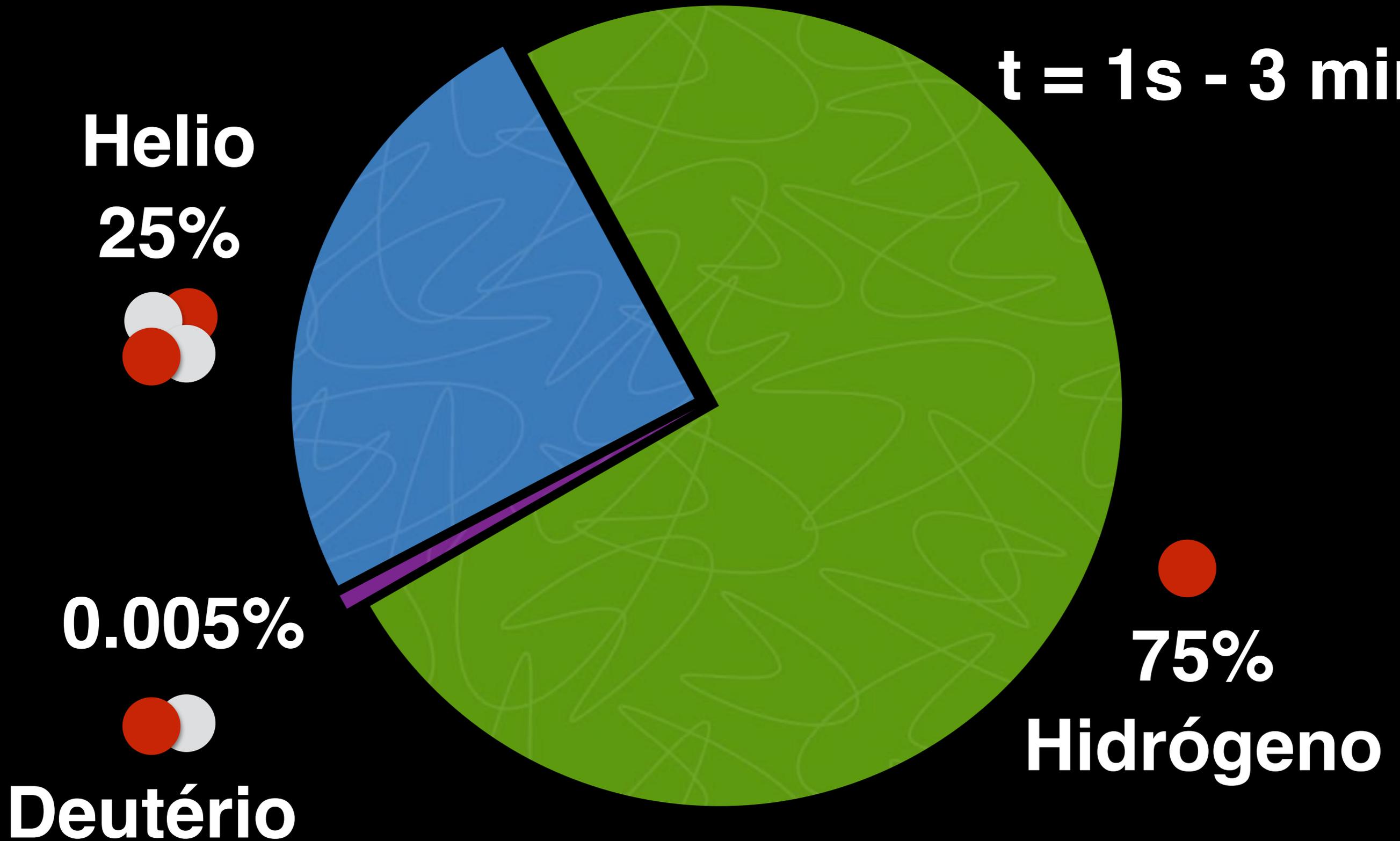
**$t = 1s$**

**$T = 10^{10} K$**

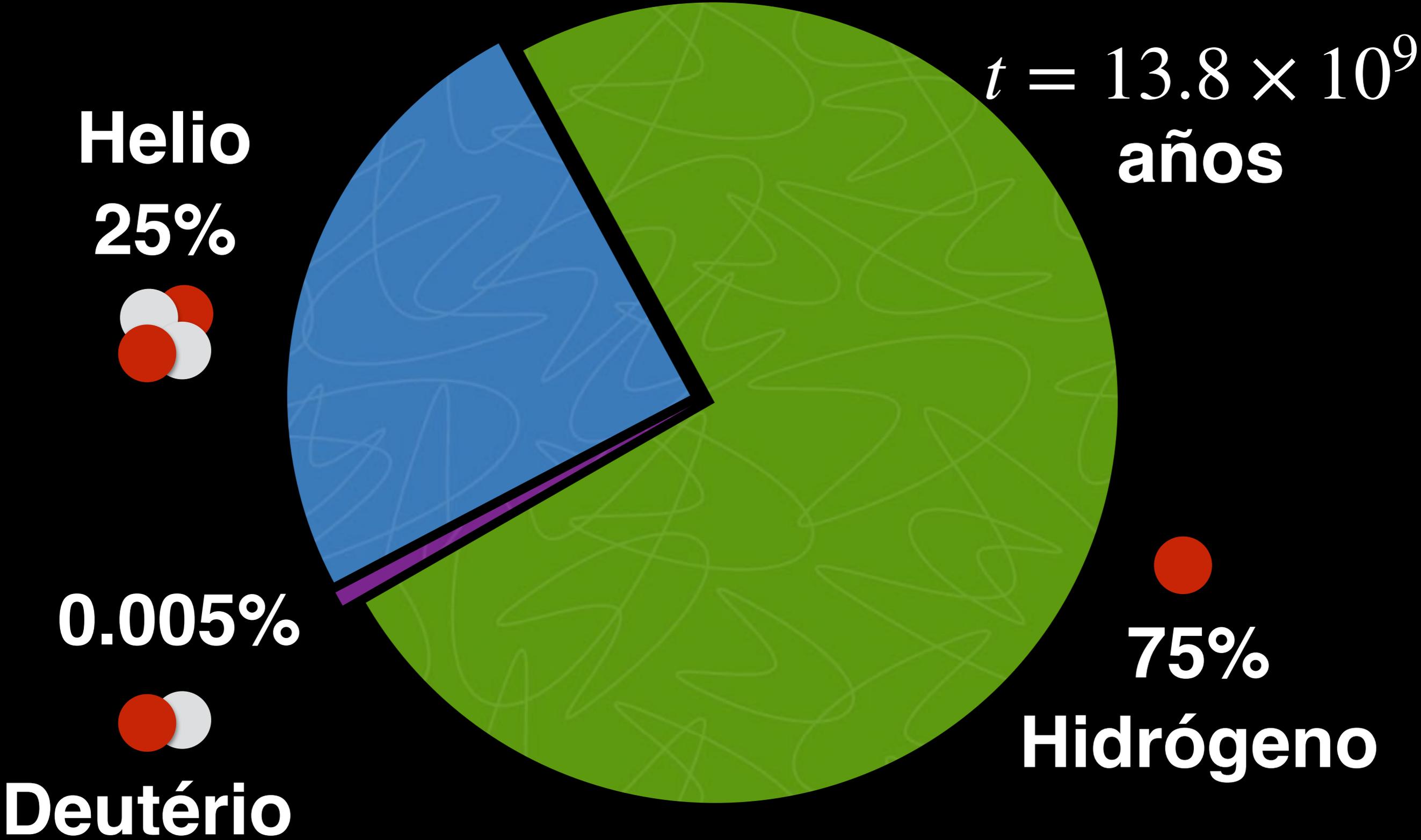
# Predicción:

Universo Homogéneo e Isótropo + Einstein + Física Nuclear =

$t = 1\text{s} - 3\text{ min}$



# Observación:



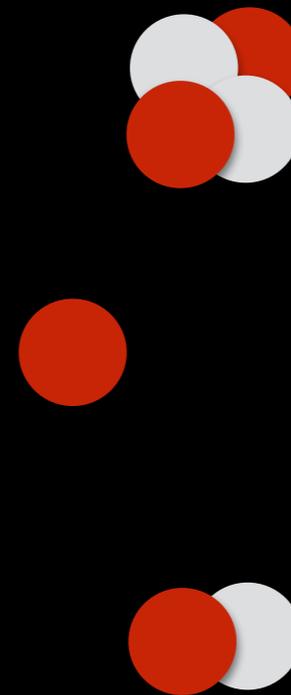
# Resumen:

Hoy

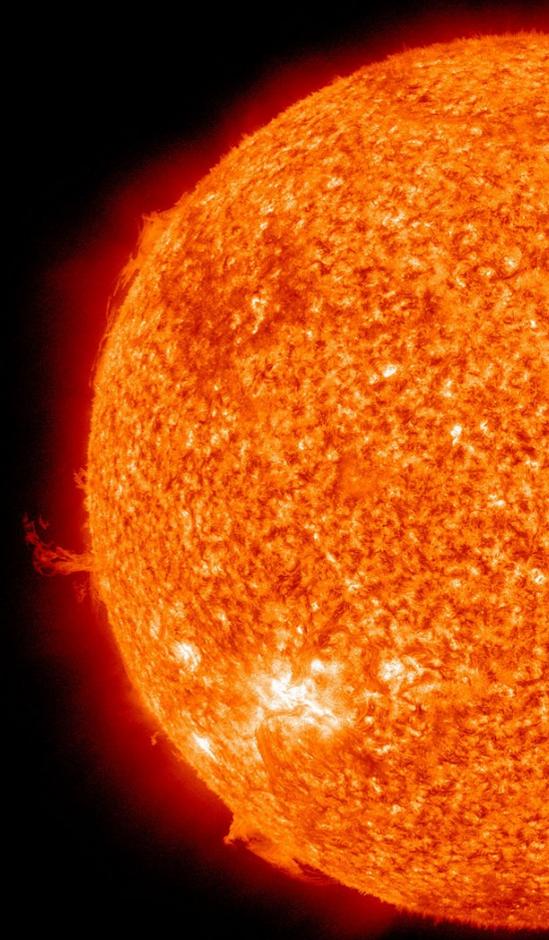


$t = 13.8$  mil millones de años

Big Bang

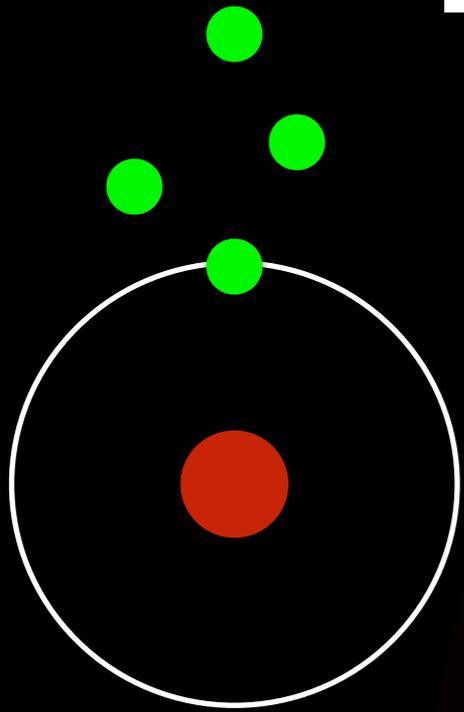


$t = 3$  minutos



La composición química observada en el universo concuerda con resultados predichos usando la Teoría de la Relatividad General de Einstein y la Física Nuclear conocida.

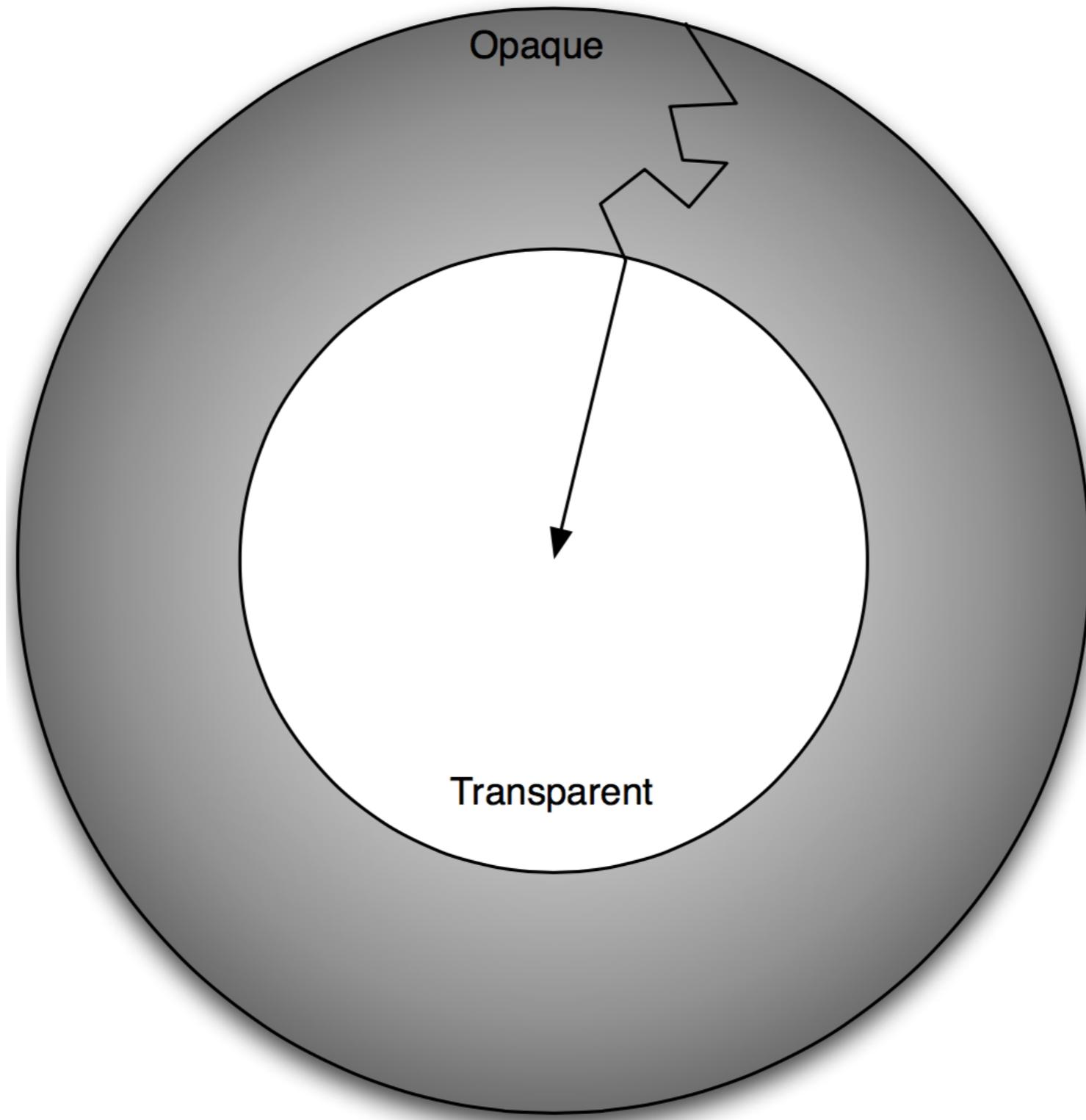
# El Universo Primitivo



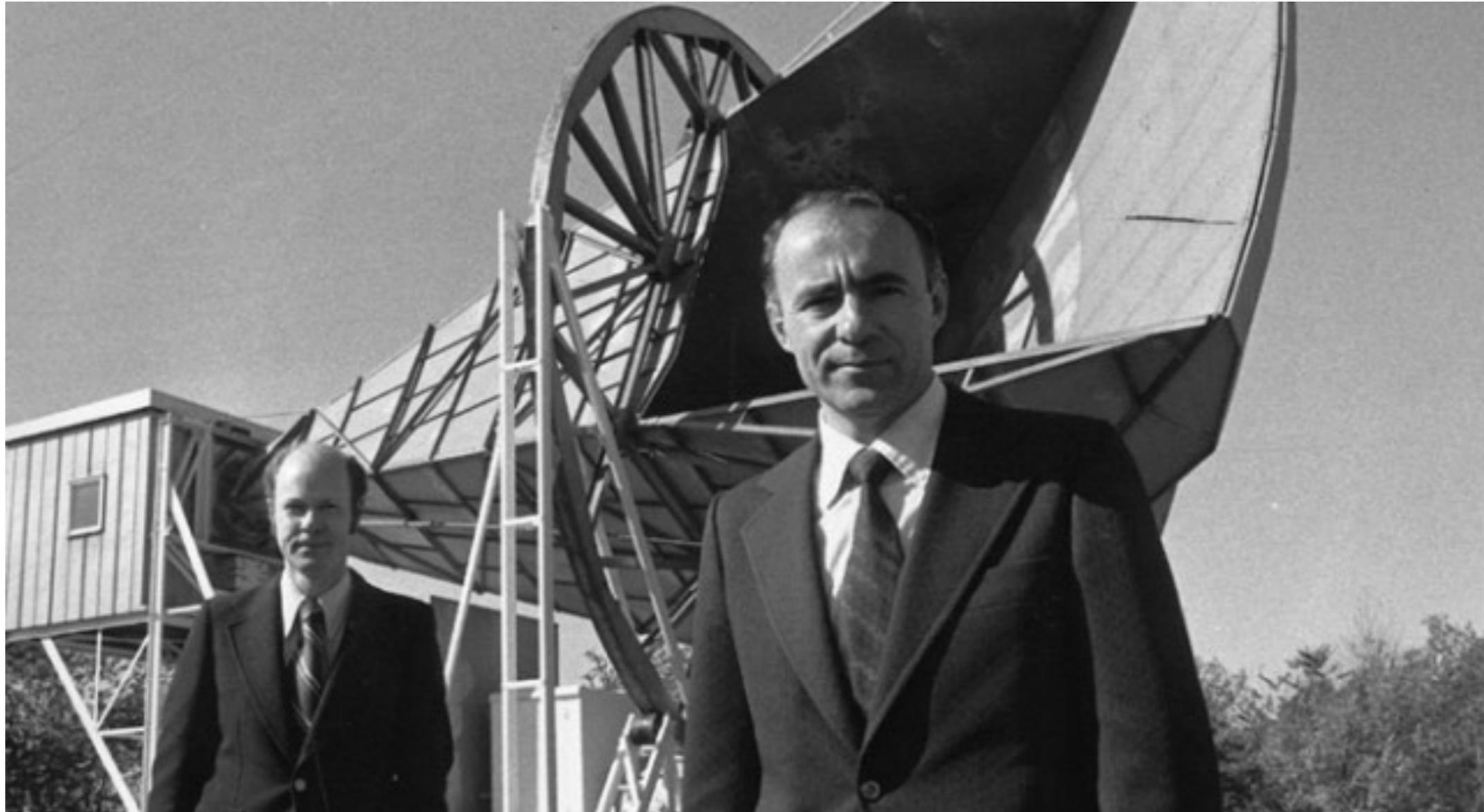
**$t = 400.000$  años**

**$T = 3000$  K**

# El Fondo Cósmico de Microondas



# El Fondo Cósmico de Microondas



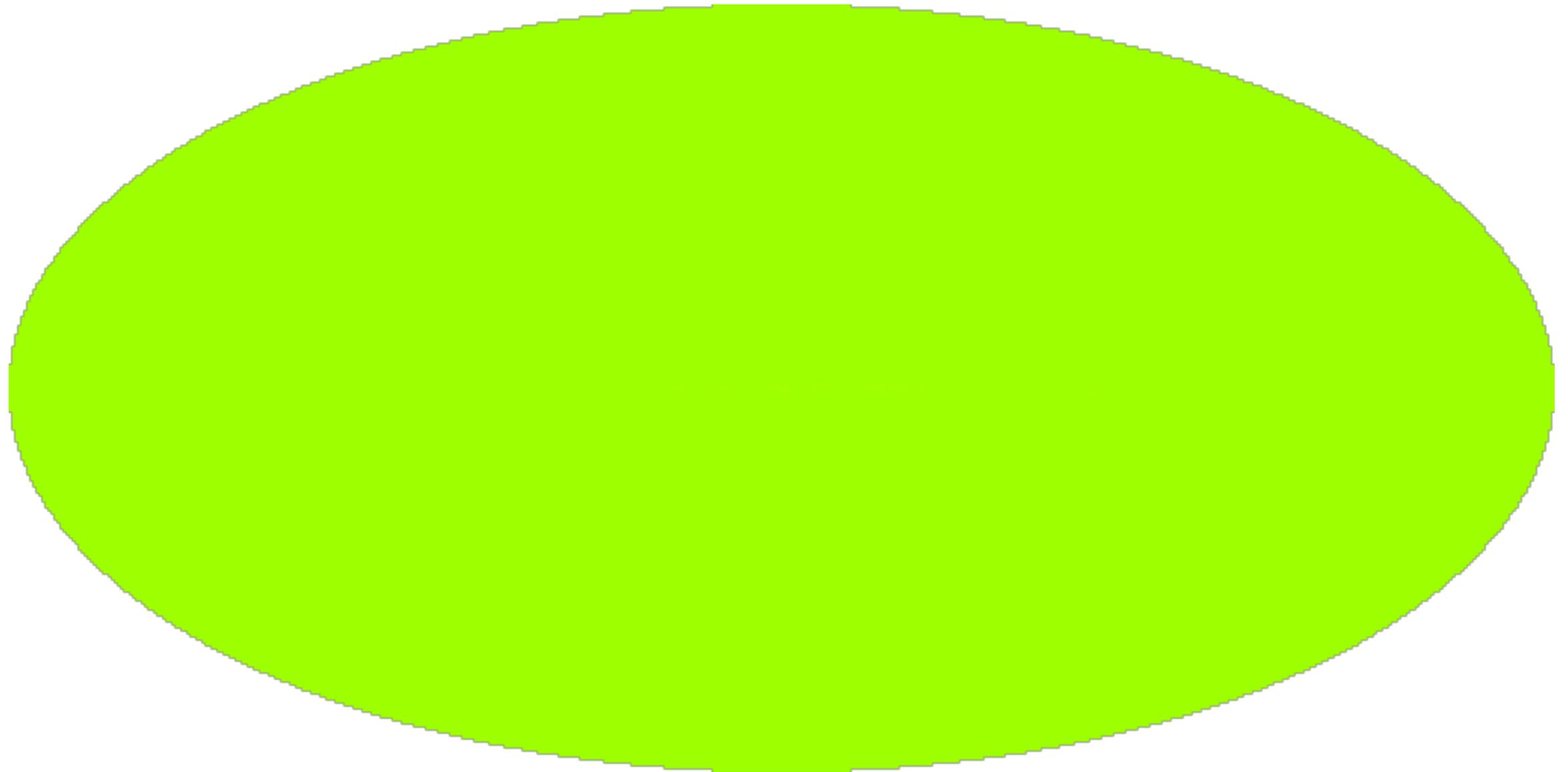
1964 Penzias & Wilson, 1978 

**Propiedades esperadas para un plasma**

**Temperatura: 2.7 Kelvin      400 fotones por  $\text{cm}^3$ !**

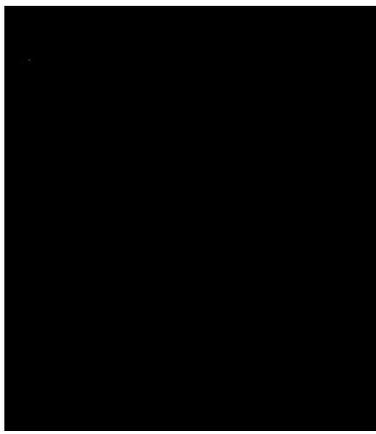
# Homogéneo e Isótropo

---



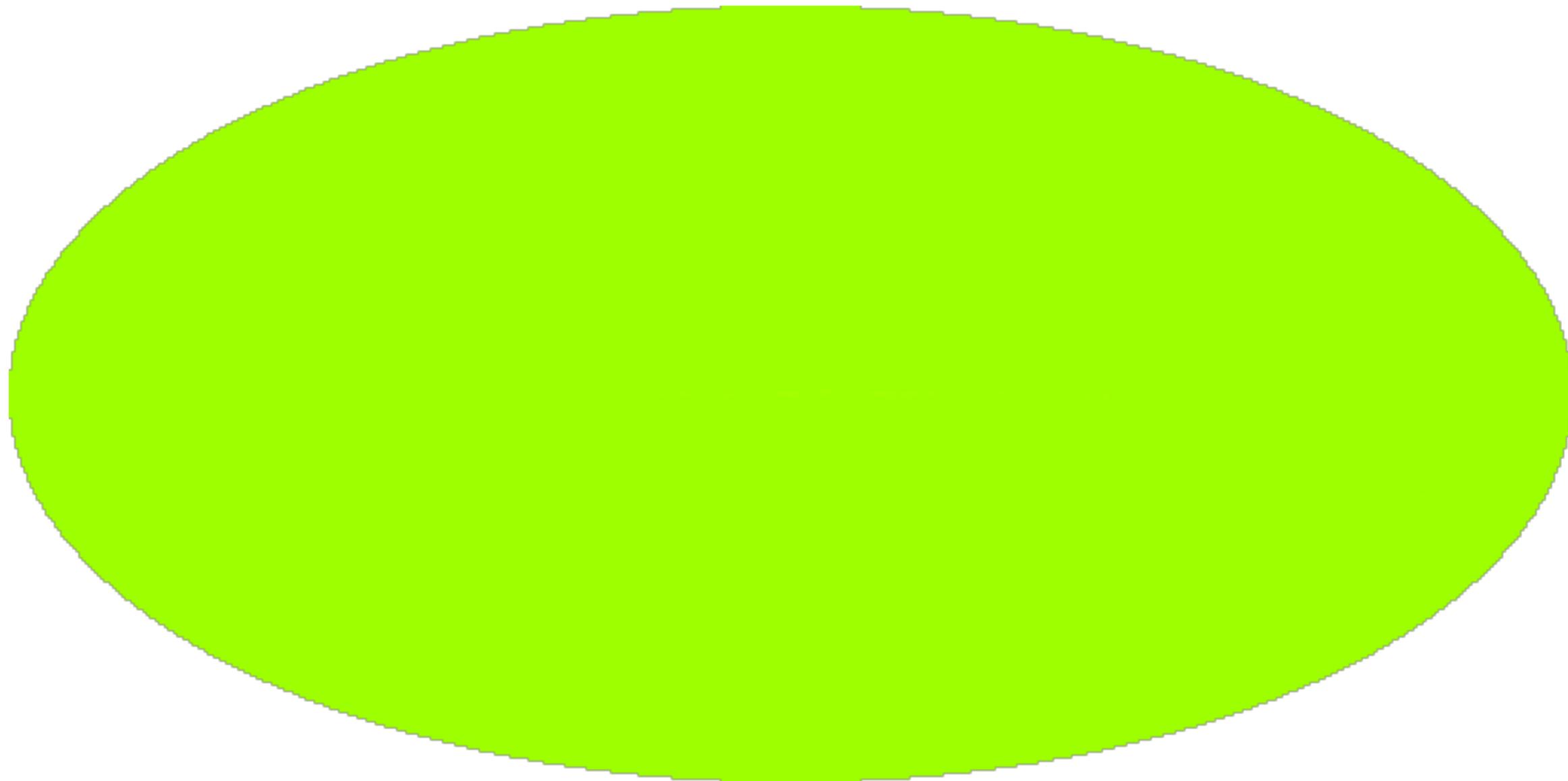
$$T = 3 \text{ K}$$

**Contraste:**



# Homogéneo e Isótropo

---



$T = 2.7 \text{ K}$

**Contraste:**

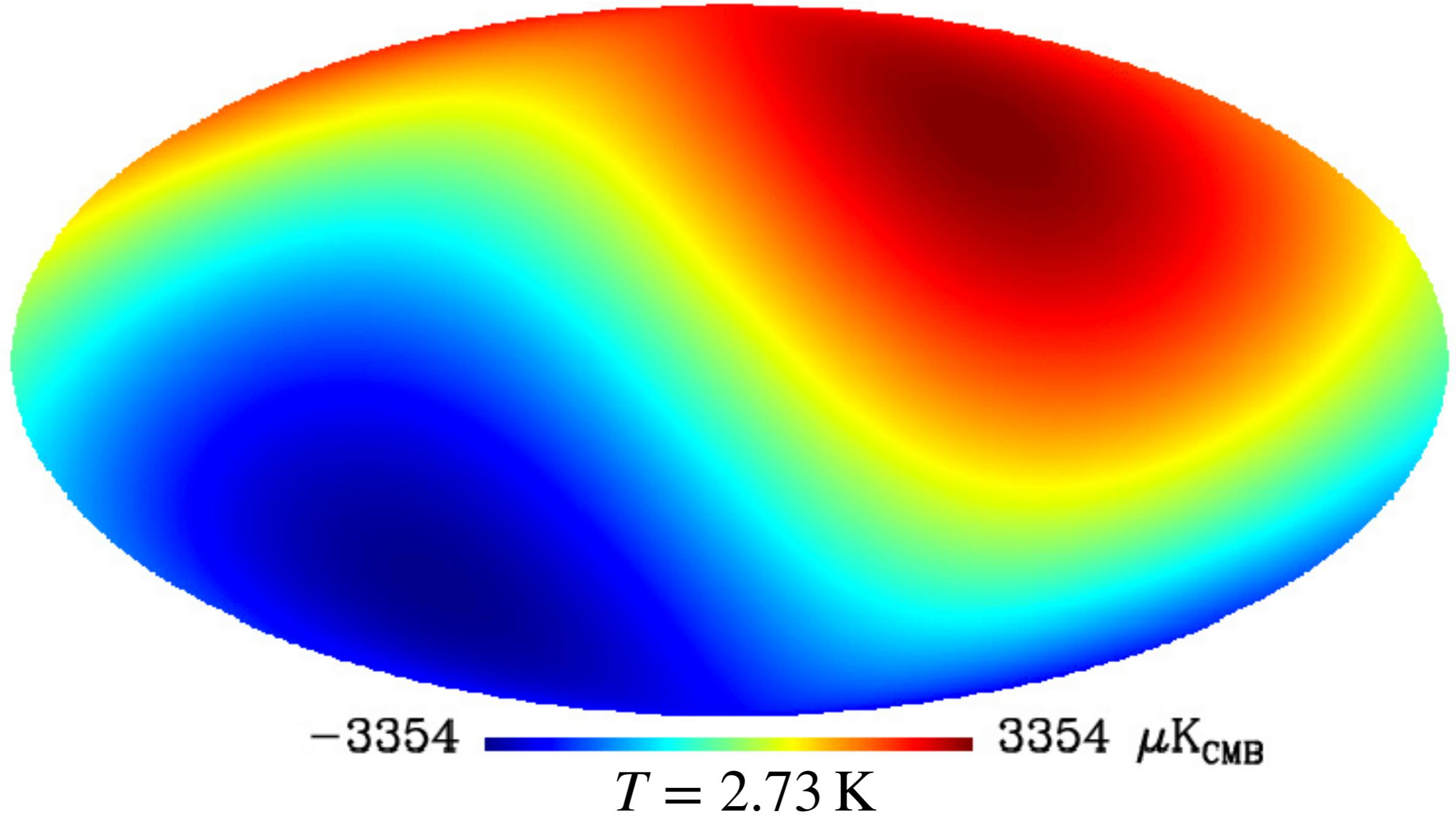


$\times 10$



# Homogéneo e Isótropo

---



**Contraste:**



$\times 10$

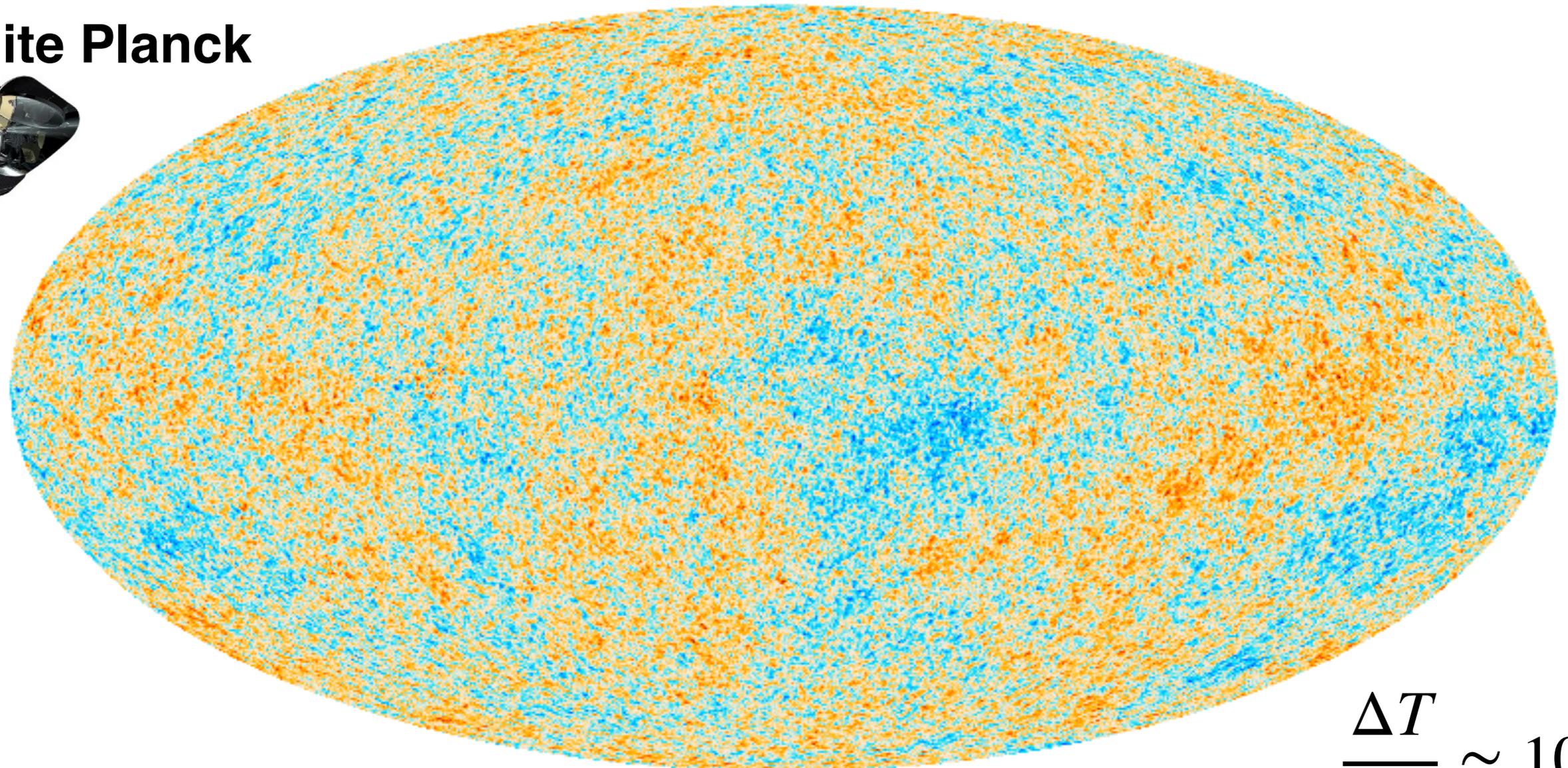
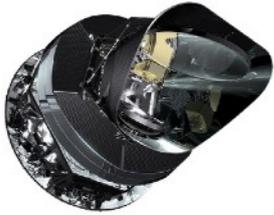


$\times 10$



# Homogéneo e Isótropo

Satélite Planck



-500  500  $\mu\text{K}_{\text{CMB}}$

$$T = 2.726 \pm 0.001 \text{ K}$$

$$\frac{\Delta T}{T} \simeq 10^{-4}$$

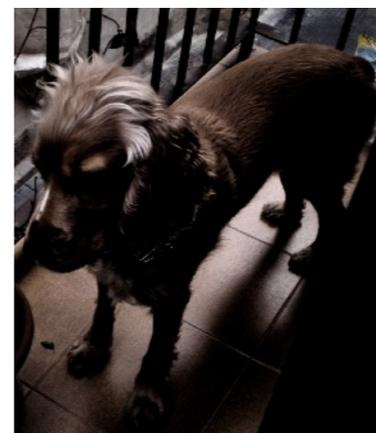
Contraste:



$\times 10$



$\times 10$



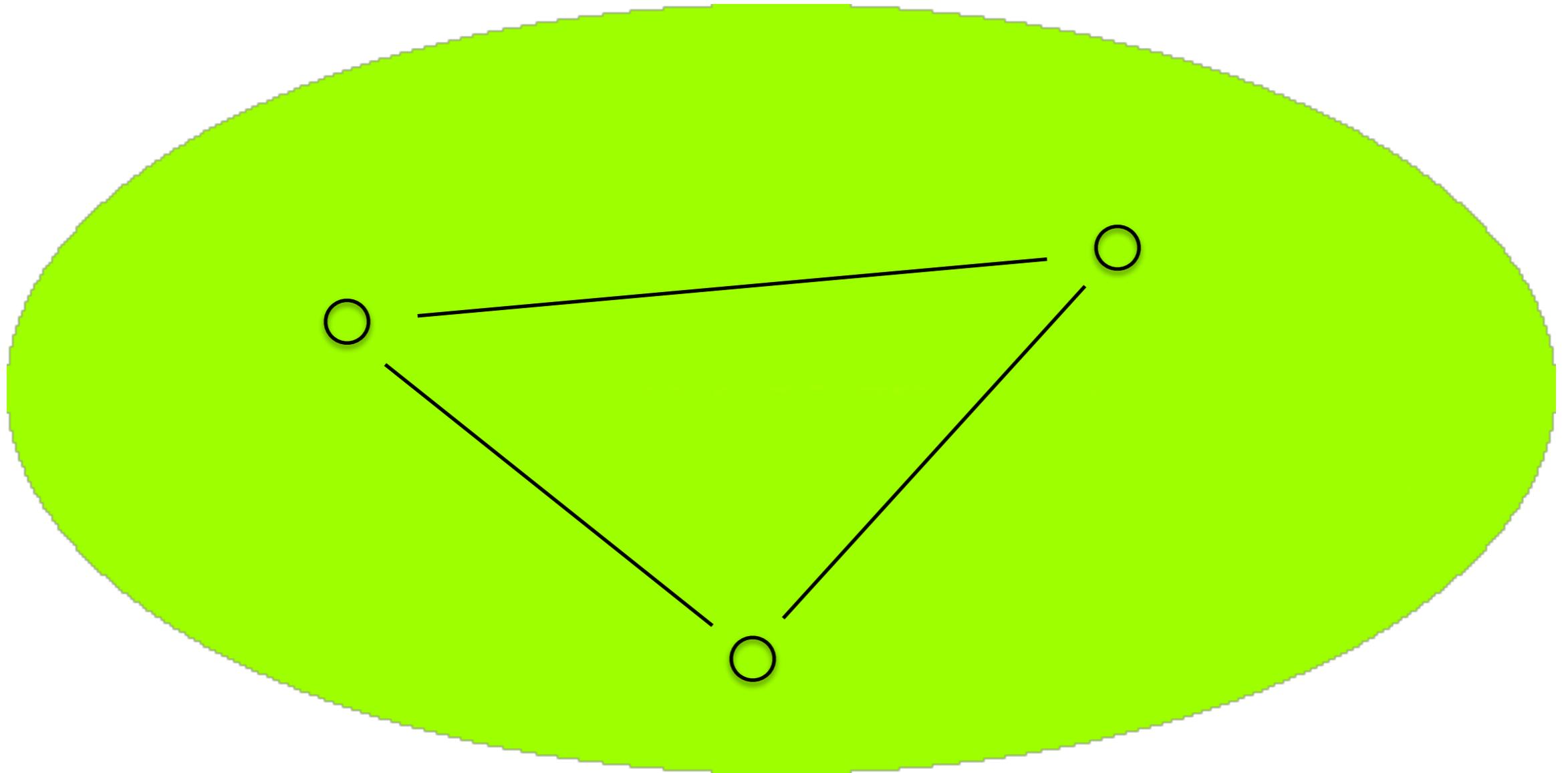
$\times 10$



# Problema

---

La teoría del Big Bang predice que en realidad debería haber temperaturas diferentes en varias localizaciones en el cielo



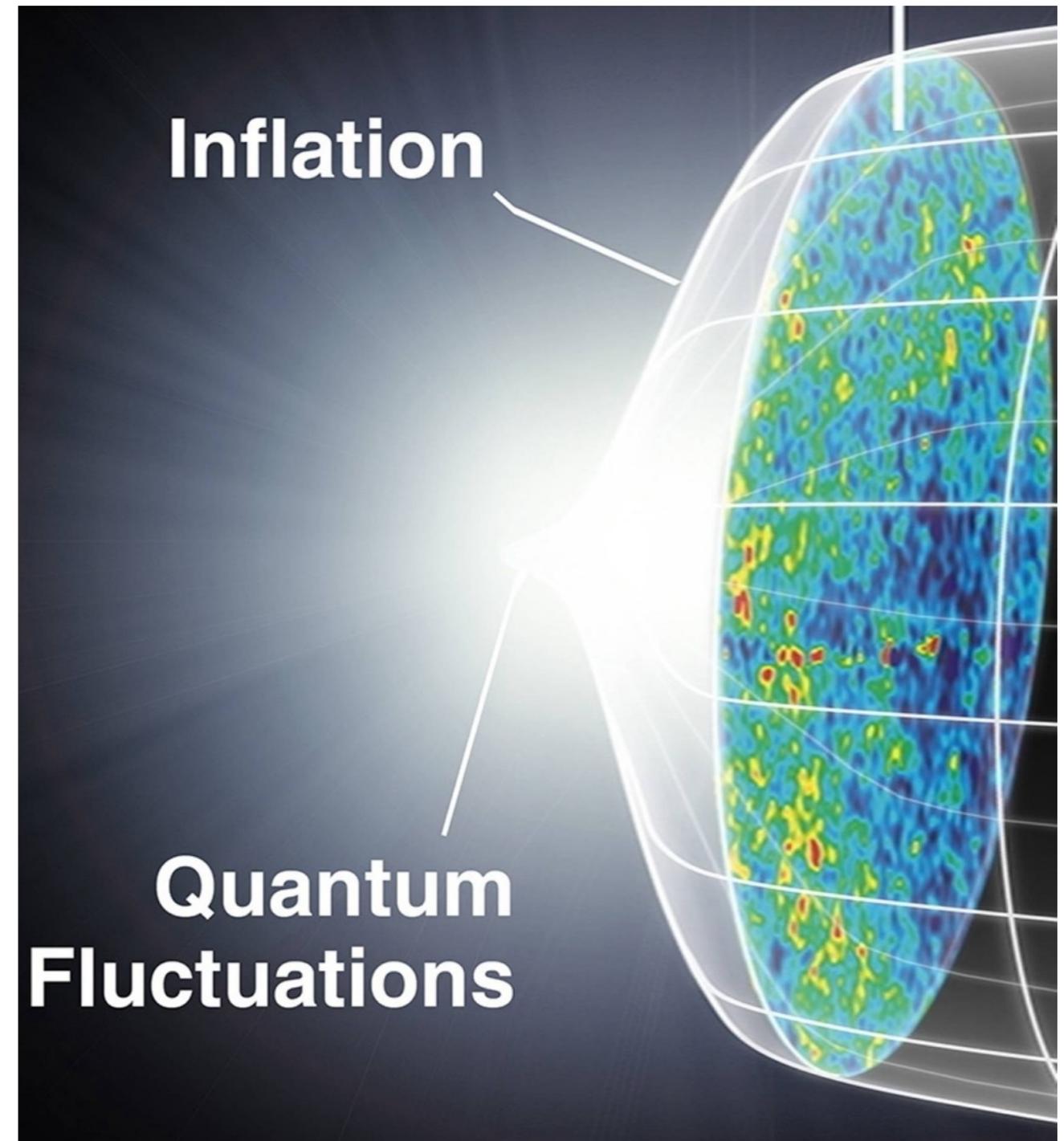
# Solución: Inflación

---

**Aceleración  
Exponencialmente  
Acelerada**

**Cuando el Universo sólo  
tenía  $t \sim 10^{-35}$  s de vida!**

**¡Diminutas fluctuaciones  
cuánticas son la fuente de  
las galaxias que vemos a día  
de hoy!**



# Índice

---

## La Teoría del Big Bang

- El Universo en expansión
- Composición Química del Universo
- El Fondo Cósmico de Microondas
- Inflación



## Premio Nobel de Física 2019

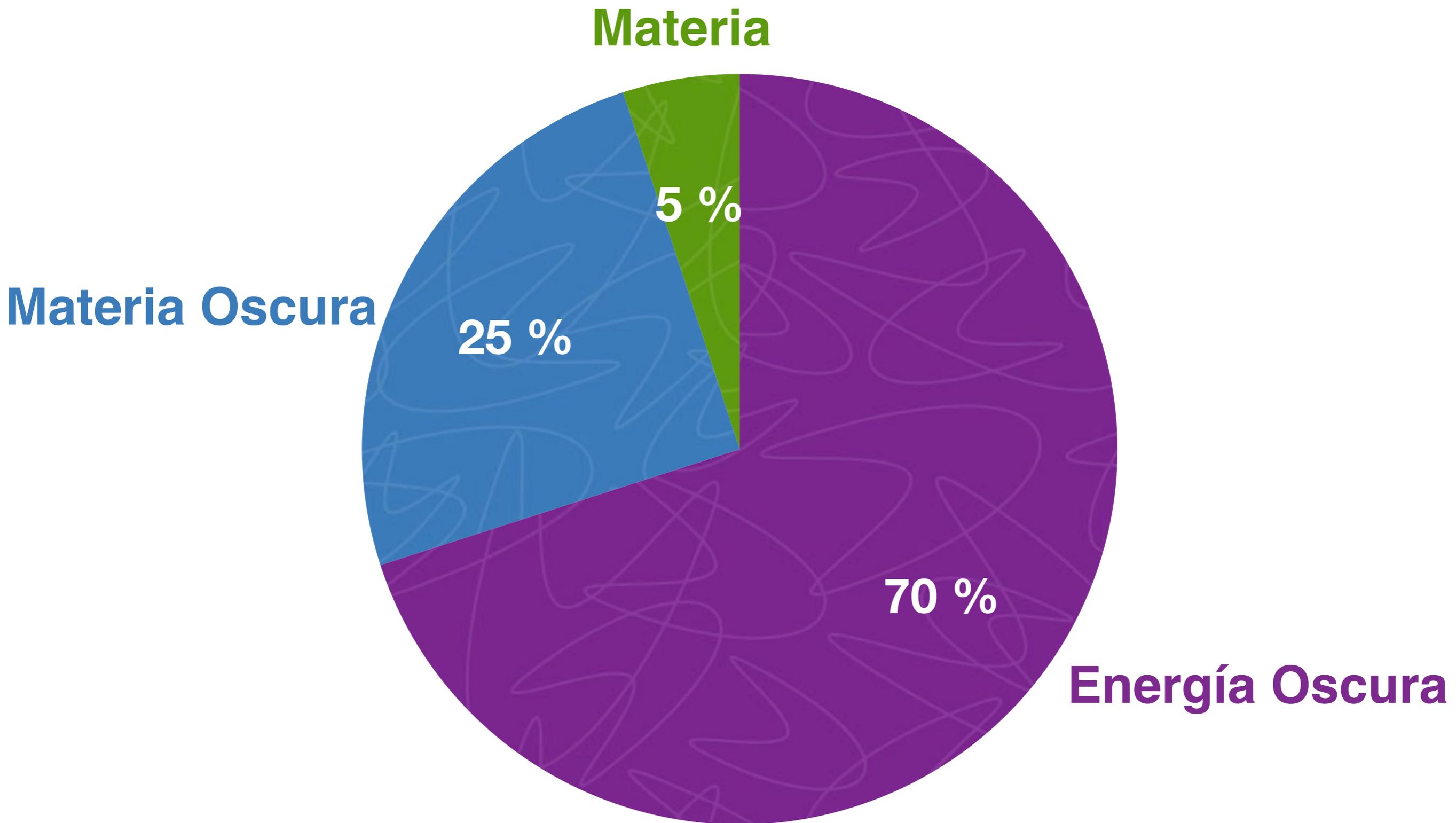


**Jim Peebles**



# La Energía en el Universo

---



# La Energía en el Universo

## Materia

5% del Universo

Protones y neutrones que forman núcleos

¿Pero por qué no hay antimateria?

12:05 PM

Physics Snacks: Antimateria

Speaker: Hector Garcia Morales

## Materia Oscura

25% del Universo

Materia que no interactúa con la luz

No sabemos lo que es

No sabemos de dónde viene ni cómo fue creada

## Energía Oscura

70% del Universo

Responsable de la expansión acelerada del universo

No tenemos ni idea de lo que es

9:30 AM

Observando el el lado oscuro del universo

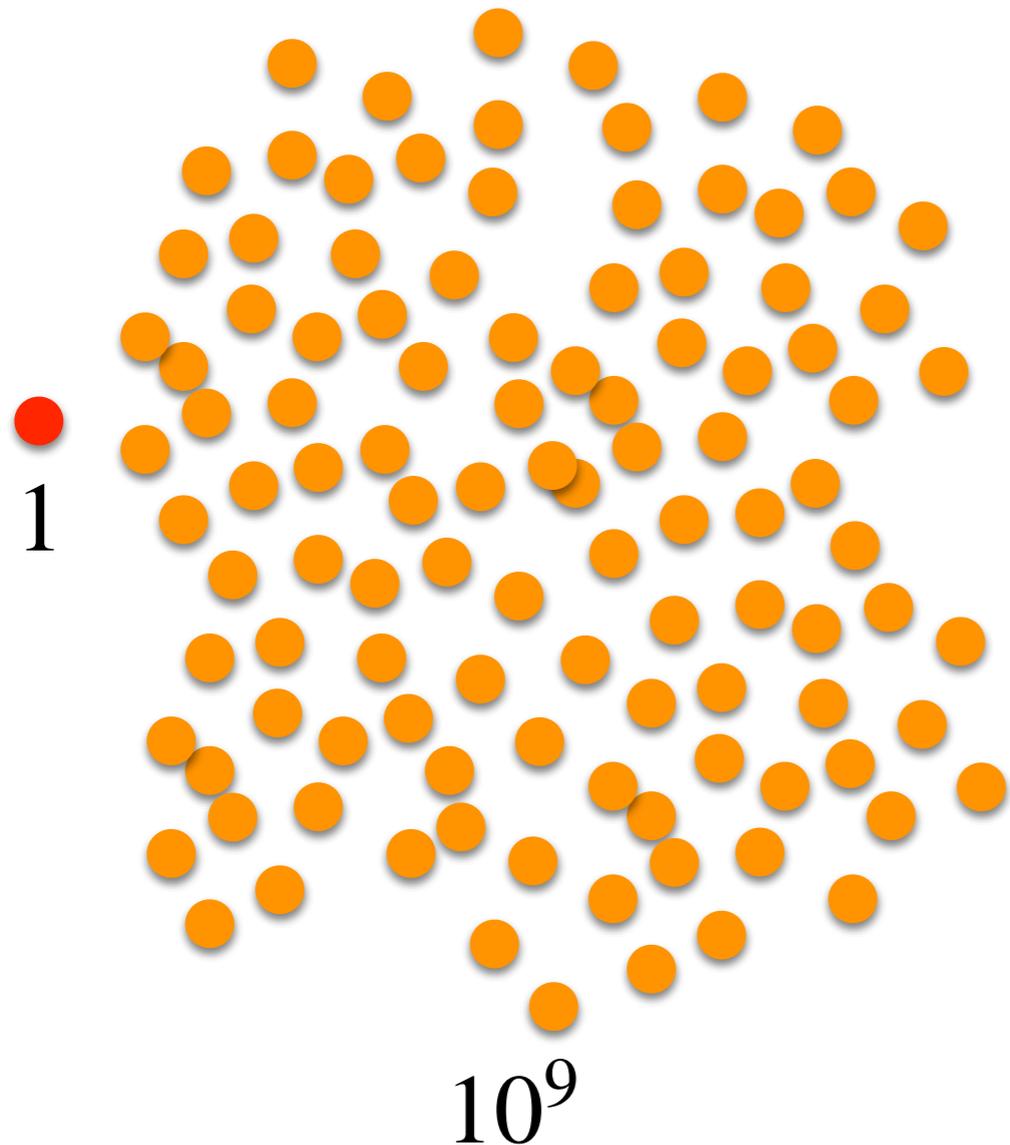
Speaker: Pablo Garcia Abia (CIEMAT)

🕒 1h

# El problema

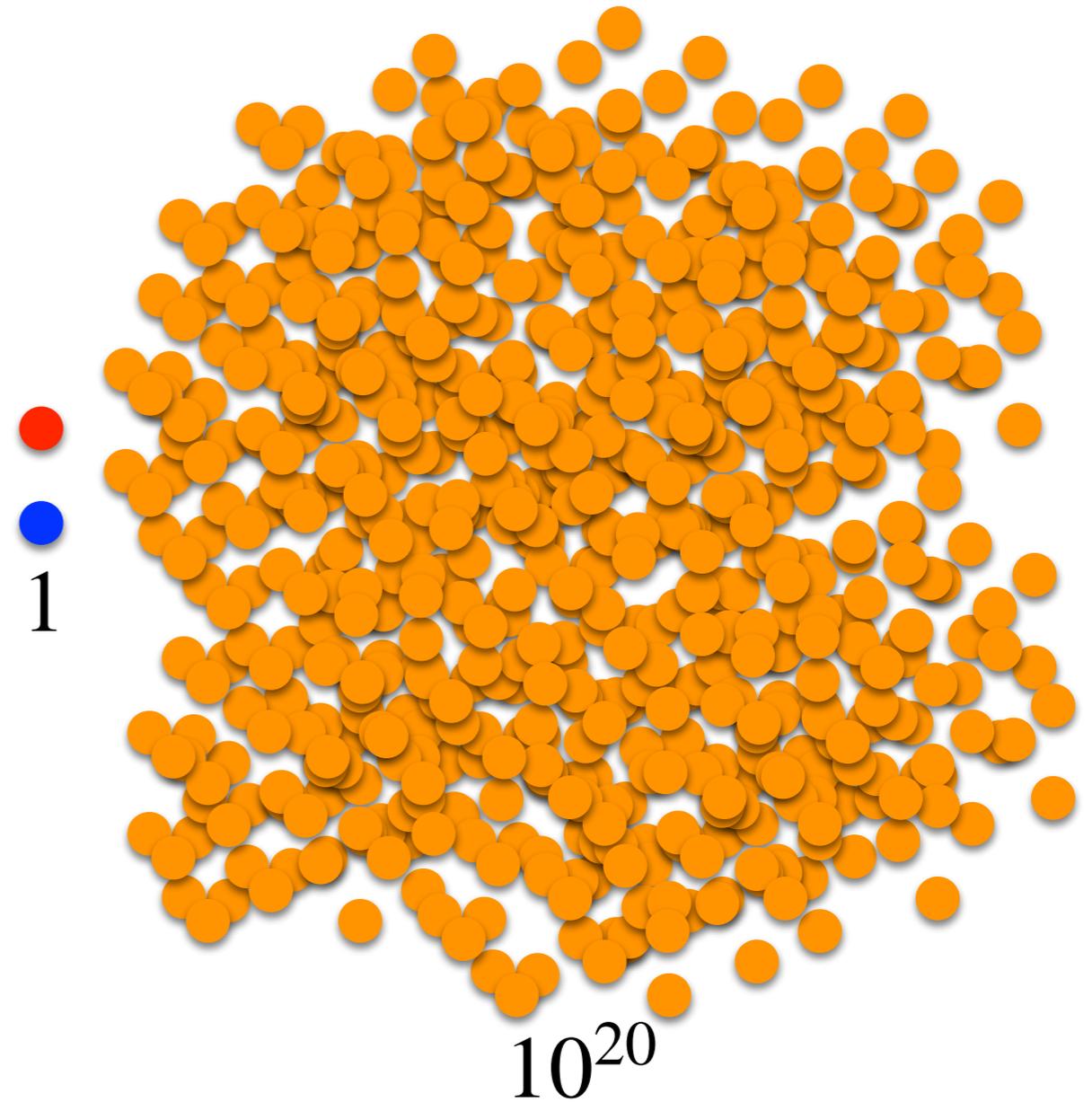
## Universo observado

● foton ● proton ● antiproton



Hay  $10^9$  fotones por cada núcleo atómico!

## Universo esperado según el modelo estándar



Misma cantidad de materia y antimateria



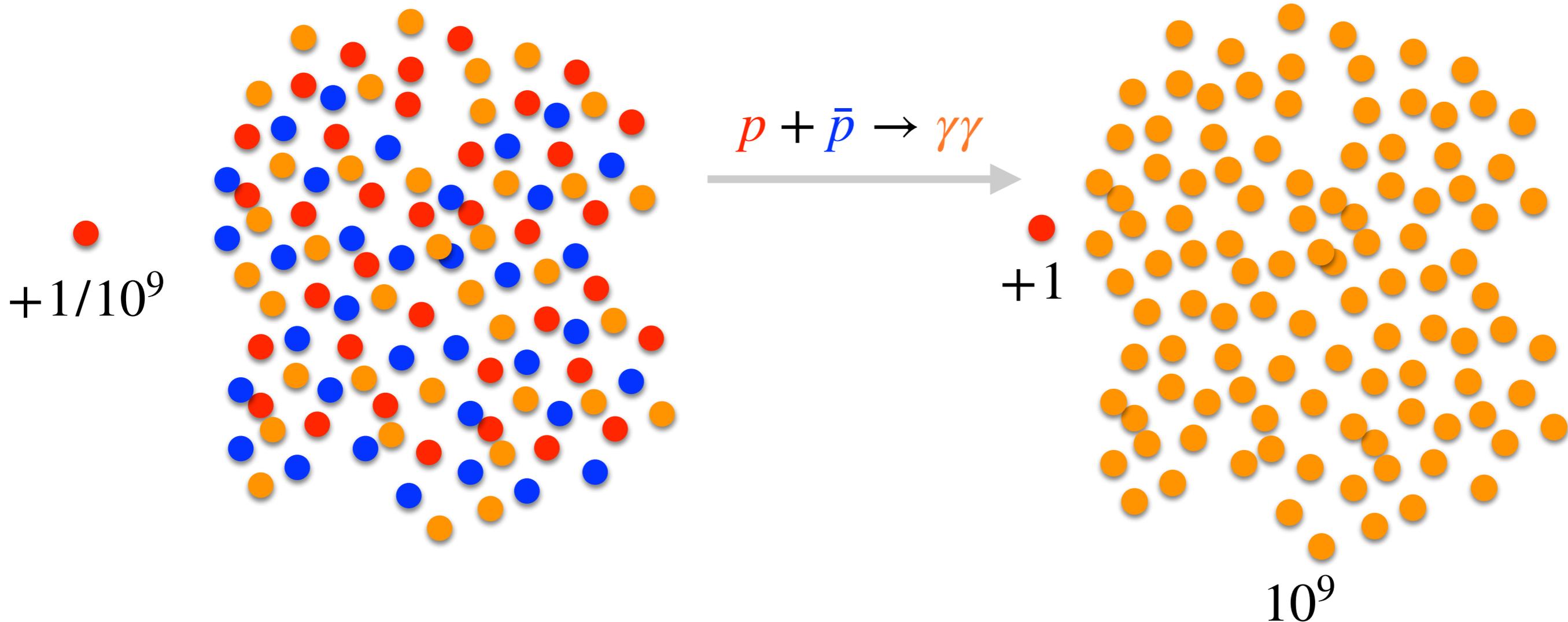
# Antimateria en el universo

La solución: en el universo primitivo debió de haber una pequeñísima diferencia entre la cantidad de **materia** y **antimateria**, al nivel del  $10^{-9}$

● foton      ● proton      ● antiproton

Universo Primitivo

Universo Hoy



# Asimetría entre la materia y la antimateria

---

**Asimetría observada:**  $10^{-9}$

**Modelo Estándar:**  $\ll 10^{-22}$  Gavela, Hernandez,  
Orloff & Pene '93-'94

Según el Modelo Estándar de Física de Partículas, la materia y la antimateria se comportan de casi la misma manera.

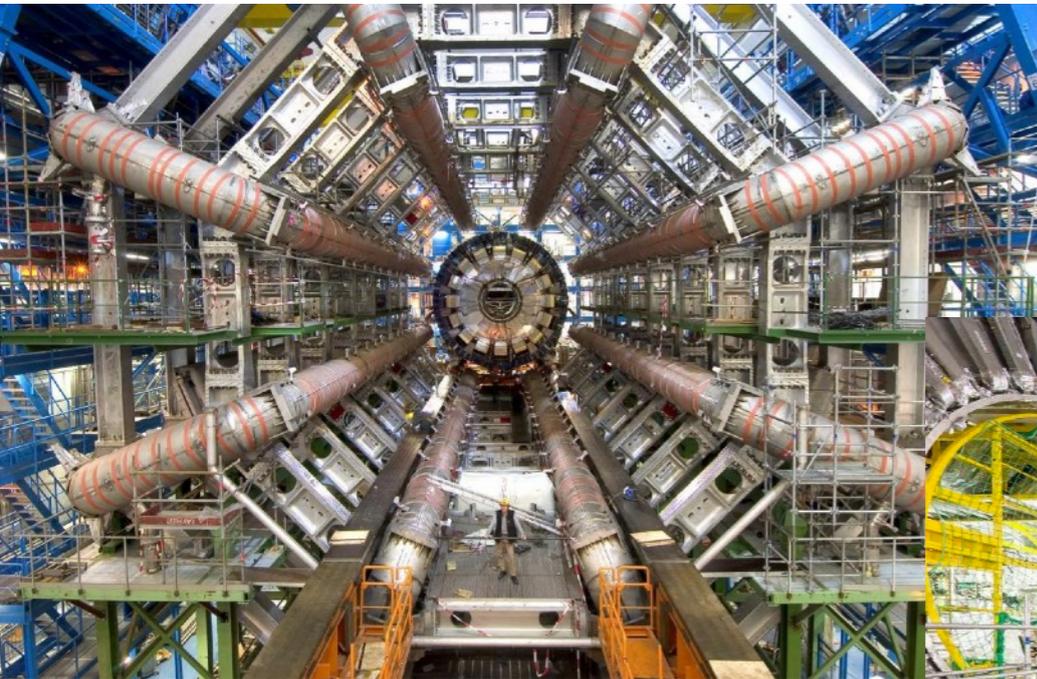
- **Se necesita física más allá del Modelo Estándar**
  - **Neutrinos**
  - **Higgs**
  - **Quarks**

# Asimetría entre la materia y la antimateria

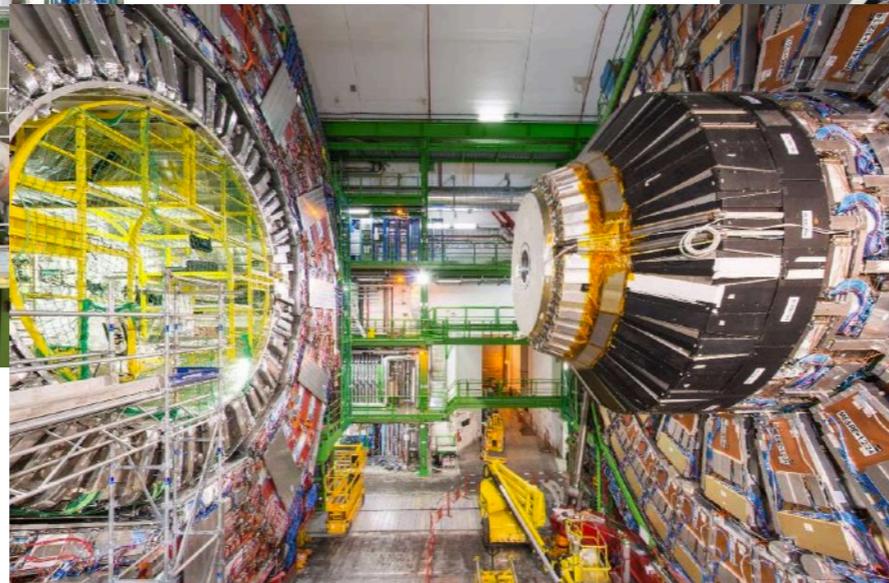
---

- 😊 Muchas extensiones del modelo estándar lo pueden explicar
- 😐 Sin embargo son teorías muy difíciles de corroborar
- 🤔 Uno de los mayores objetivos del LHC es el estudio de las diferencias entre materia y antimateria

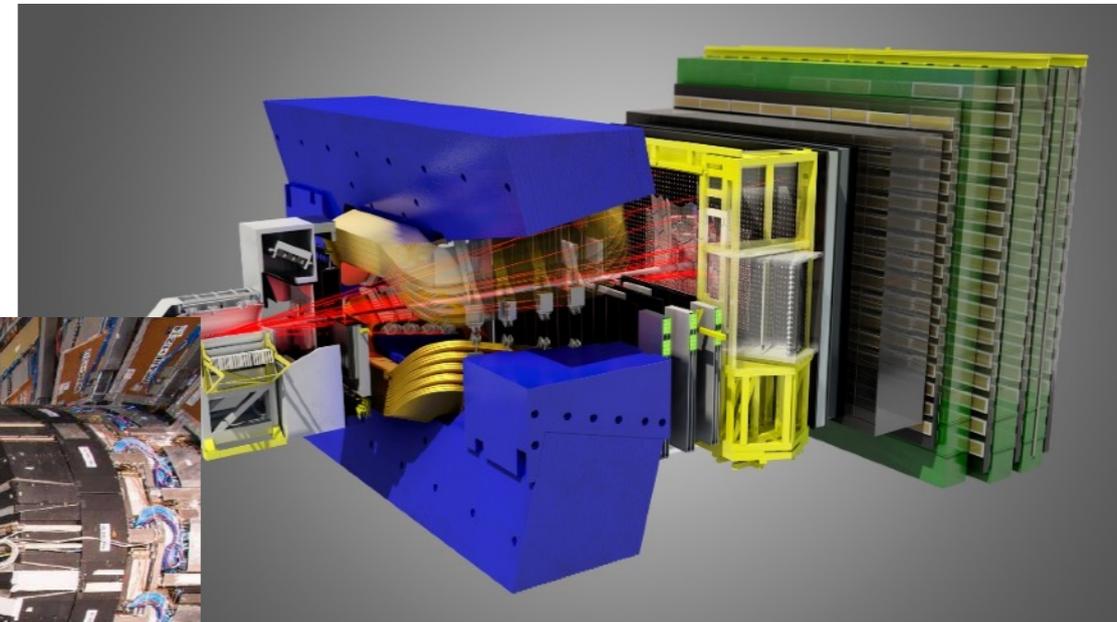
**ATLAS**



**CMS**



**LHCb**



# Conclusiones y Perspectivas

---

- **La teoría del Big Bang es una teoría realmente poderosa y está experimentalmente corroborada**

Nos permite entender la evolución del universo desde que tenía un segundo de vida, hasta hoy, 13.8 mil millones de años más tarde!
- **Hay muchas cosas que no entendemos del universo y el modelo cosmológico no es fundamental**
- **La cosmología nos plantea algunas de las preguntas más intrigantes para la física fundamental**

Algo tuvo que pasar justo después del Big Bang para que de alguna manera hubiera un poco más de materia que de antimateria y la materia ganara la batalla cósmica. El modelo estándar no lo puede explicar.
- **Esperamos eventualmente resolver estos problemas con nuevas y esclarecedoras teorías así como con nuevas búsquedas experimentales**

**¡Muchas gracias por la atención!**

[miguel.escudero@cern.ch](mailto:miguel.escudero@cern.ch)