

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

Programa español para profesores
24 de junio de 2024

Índice

La Teoría del Big Bang

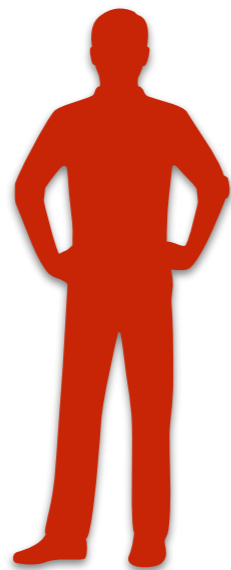
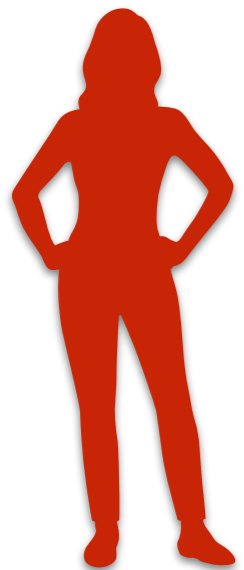
- **El Universo en expansión**
- **Composición Química del Universo**
- **El Fondo Cósmico de Microondas**
- **Inflación**

Problemas abiertos en cosmología

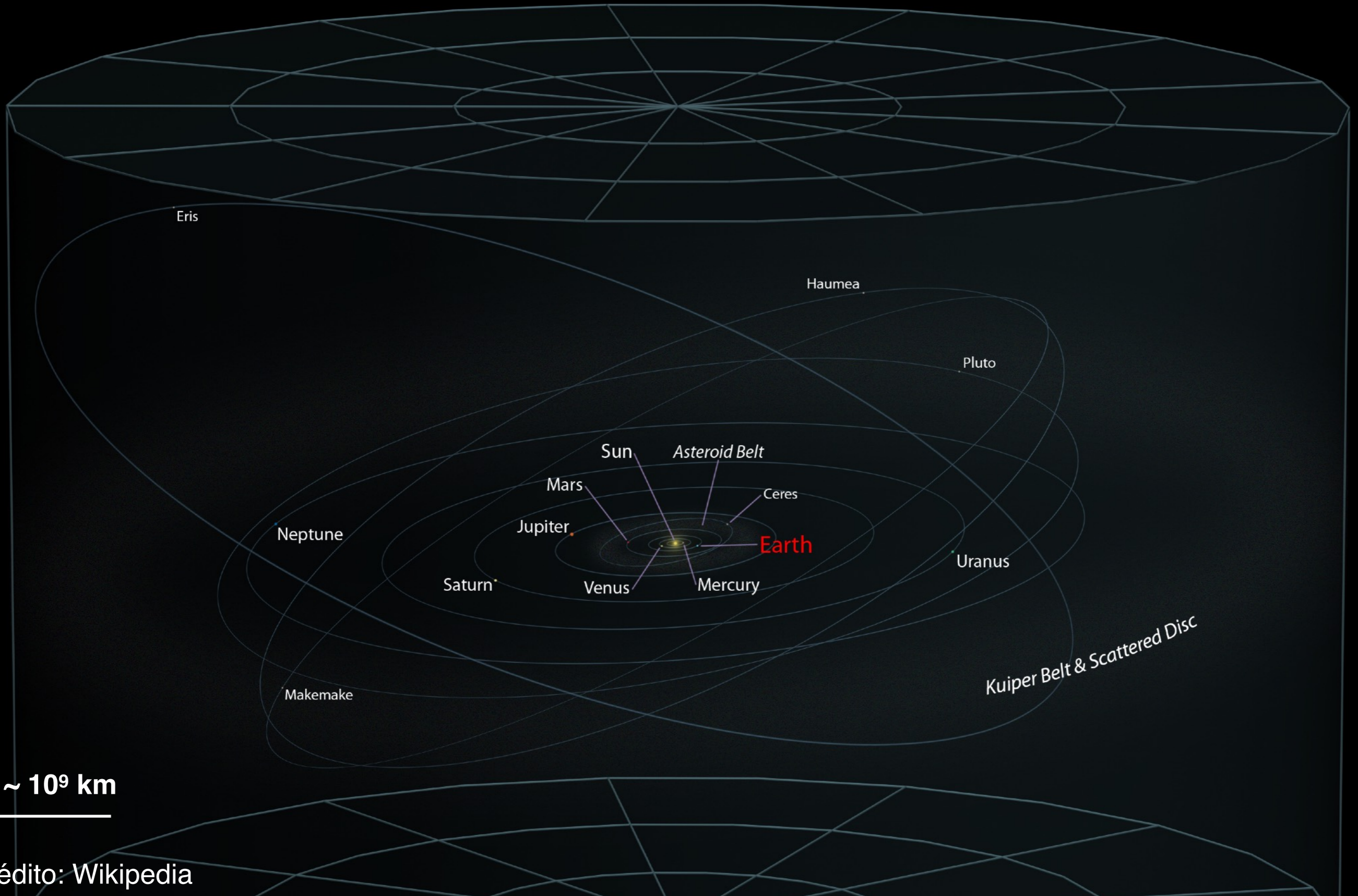
- **Antimateria**
- **Materia Oscura**
- **Energía Oscura**

**¡Las preguntas son muy
bienvenidas!**

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

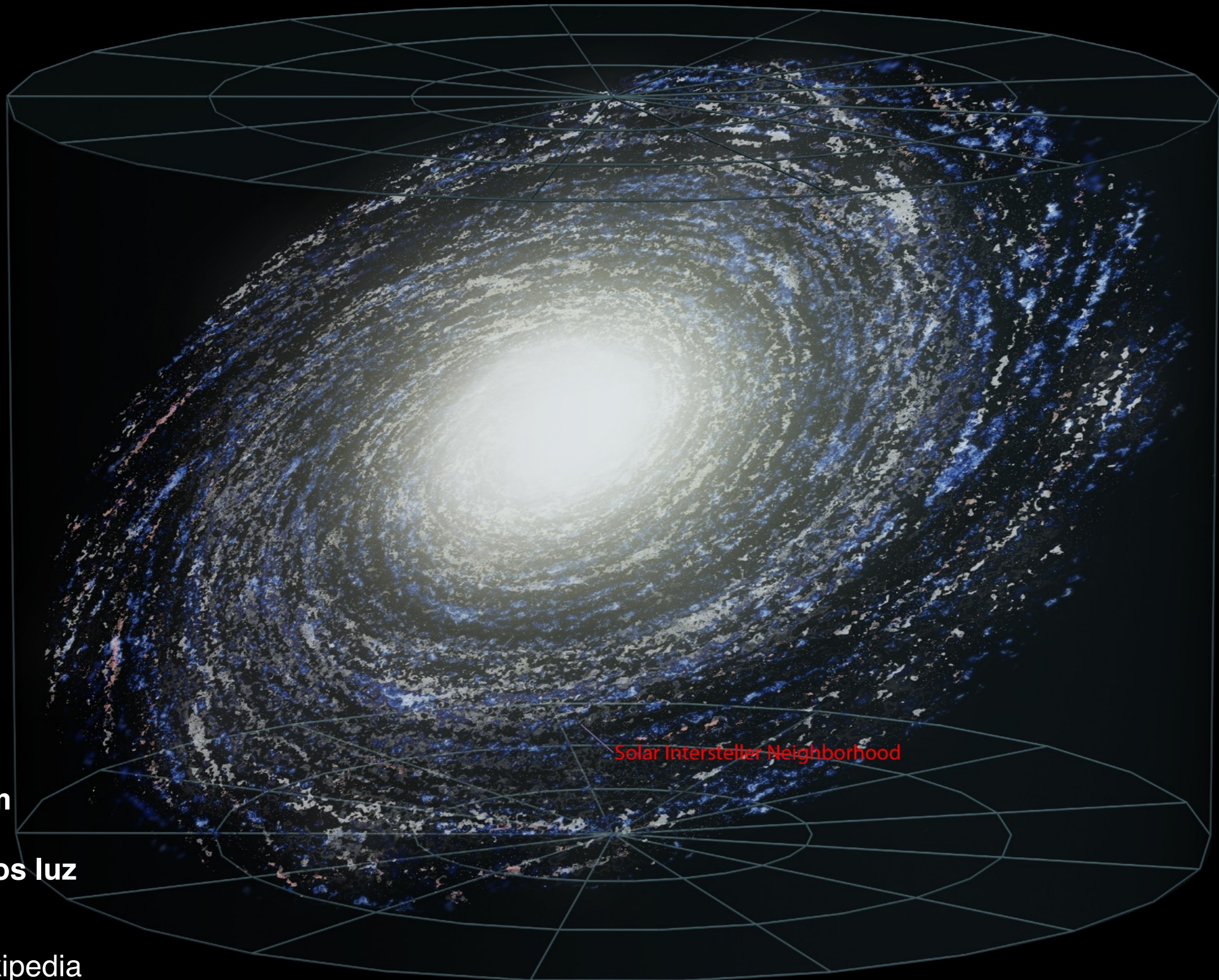


SOLAR SYSTEM



L ~ 10⁹ km

MILKY WAY GALAXY

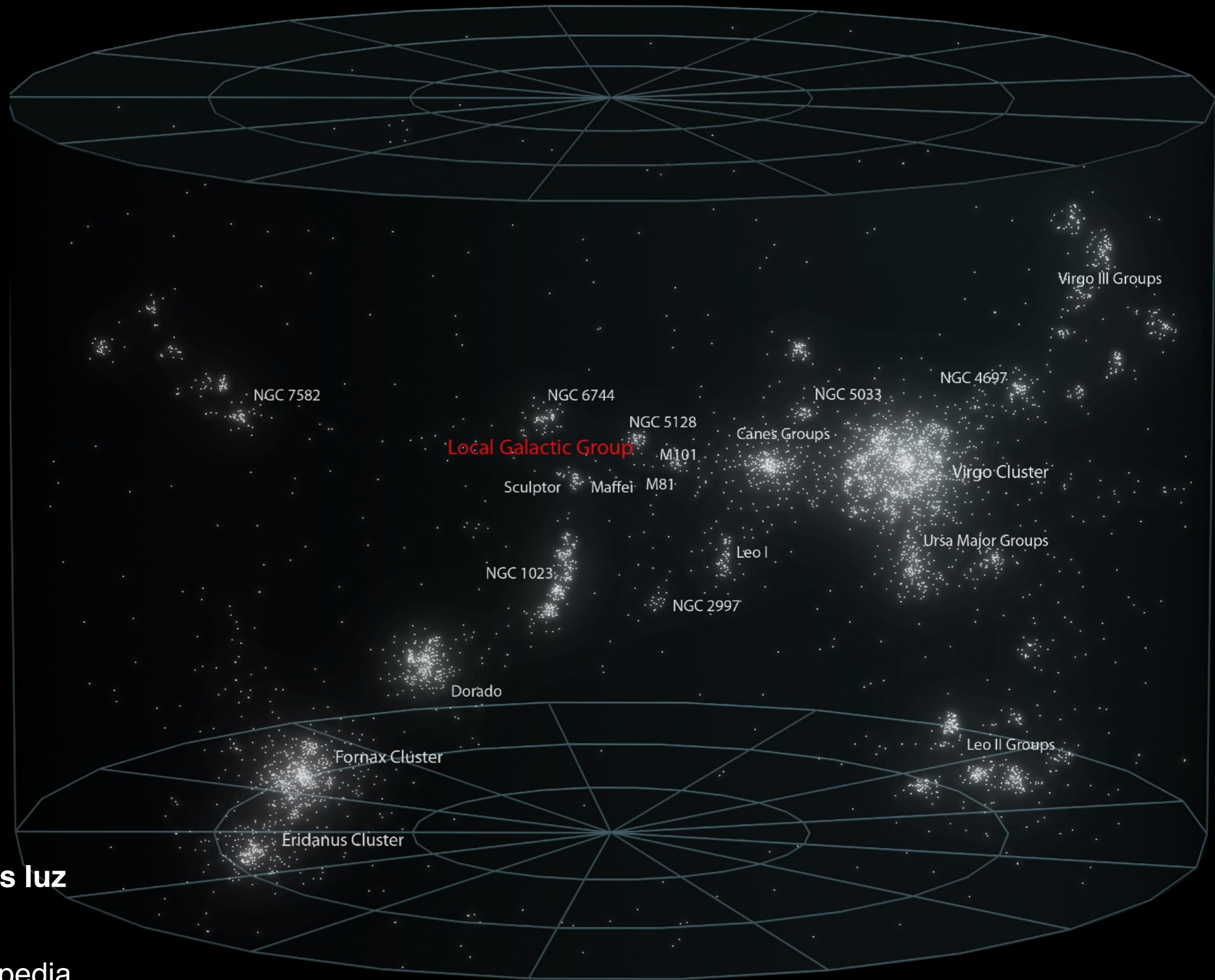


Solar Interstellar Neighborhood

L ~ 10^{17} km

L ~ 10^4 años luz

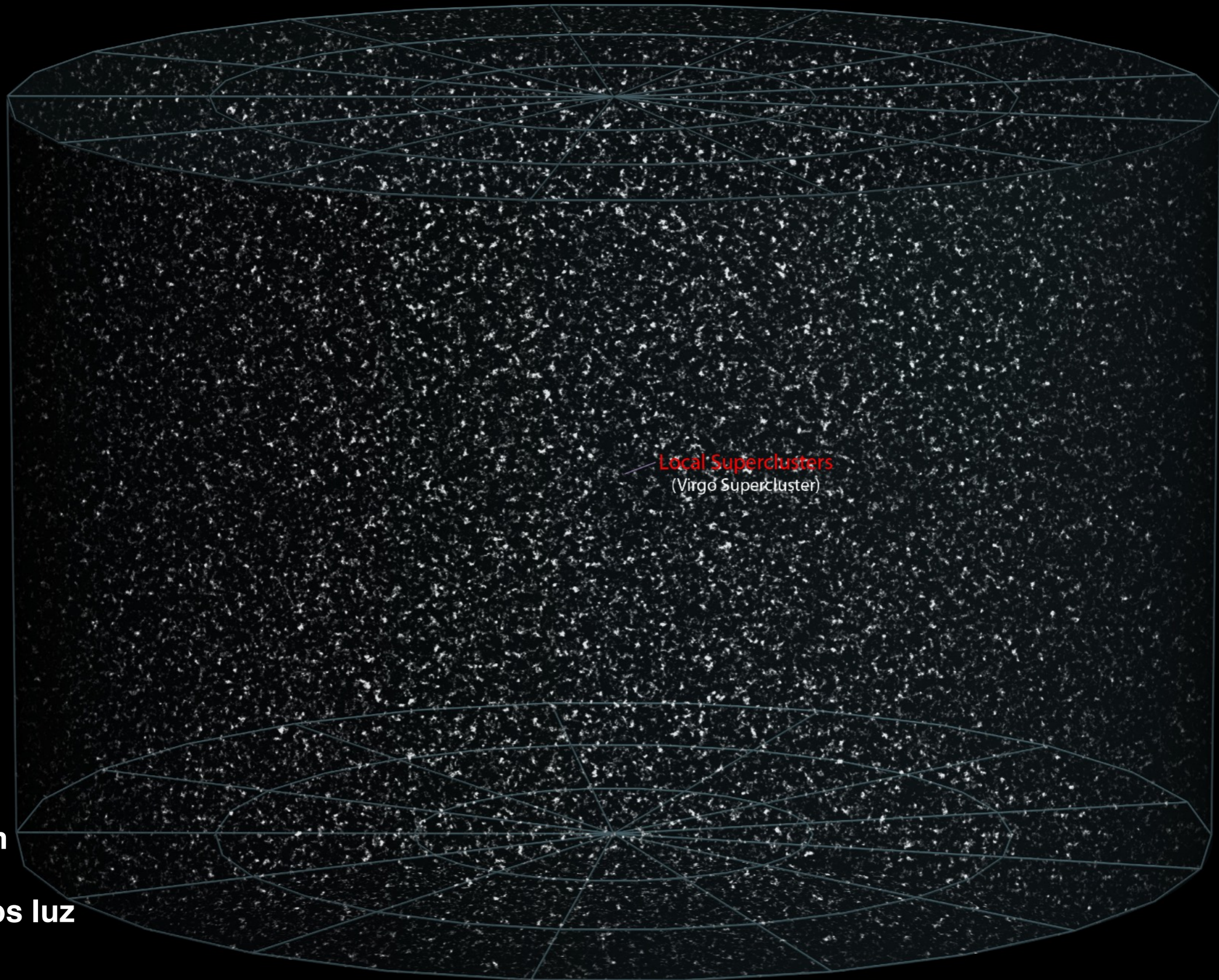
VIRGO SUPERCLUSTER



L ~ 10²⁰ km

L ~ 10⁷ años luz

OBSERVABLE UNIVERSE

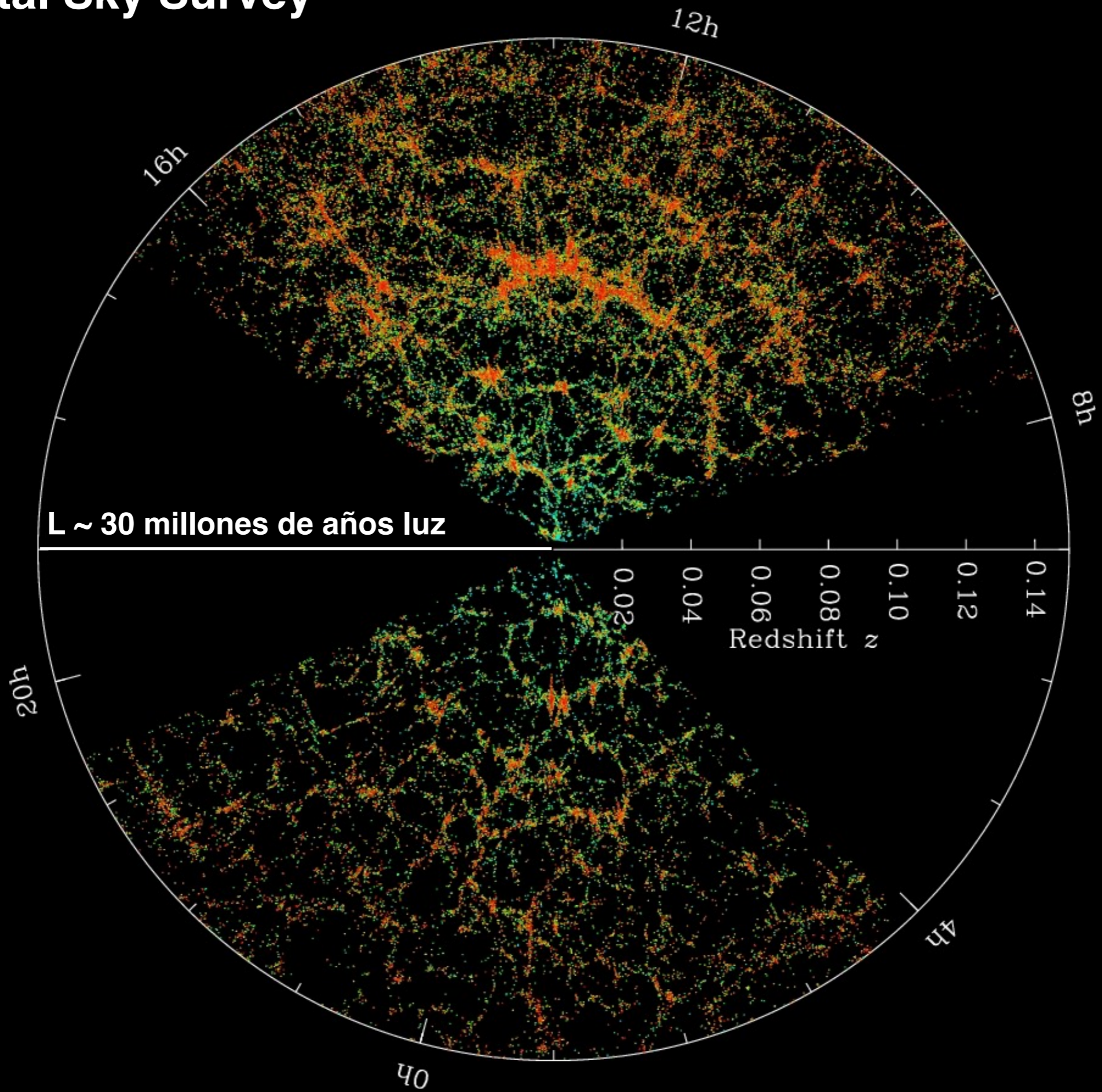


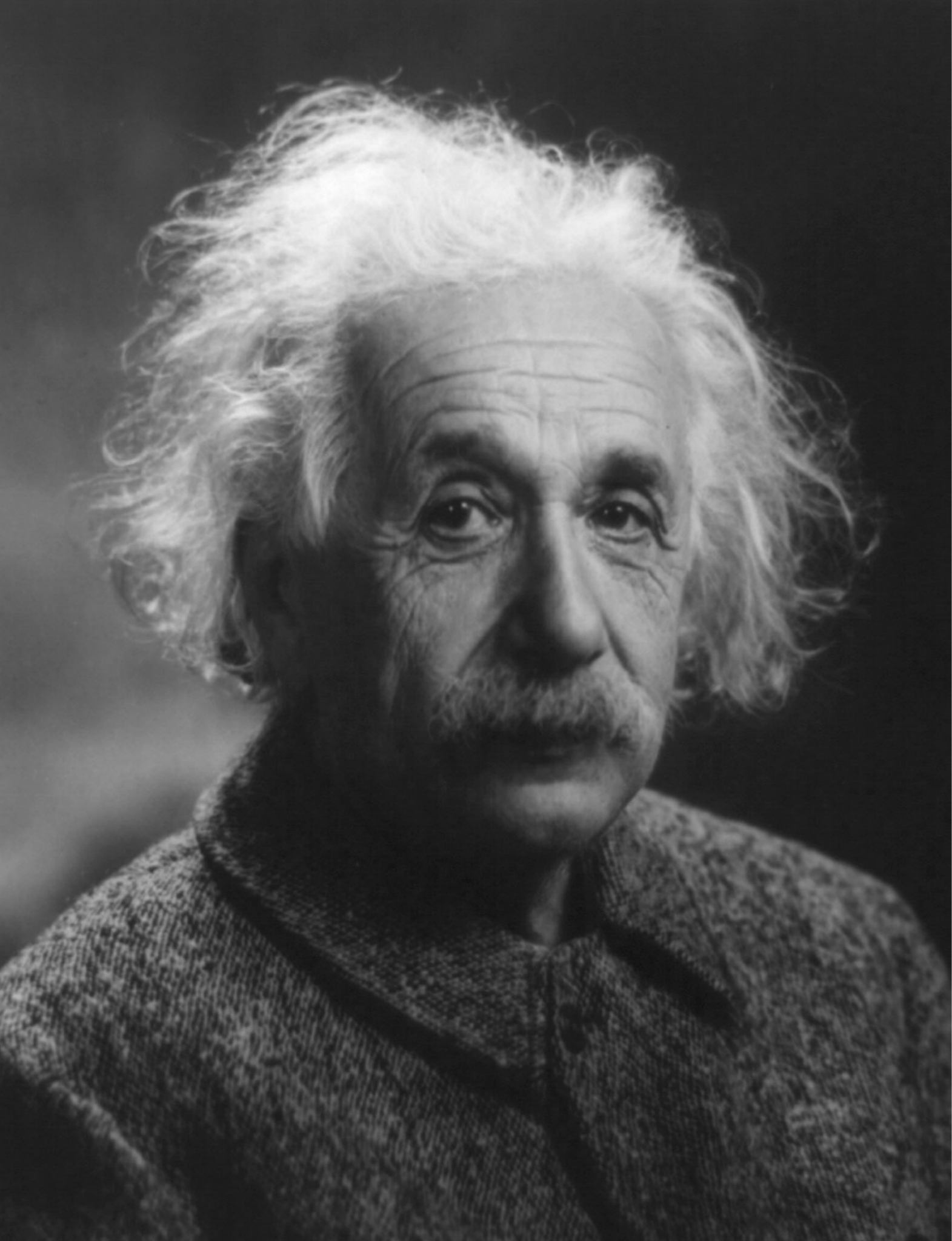
Local Superclusters
(Virgo Supercluster)

L ~ 10²² km

L ~ 10⁹ años luz

Sloan Digital Sky Survey





Ecuaciones de Einstein

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

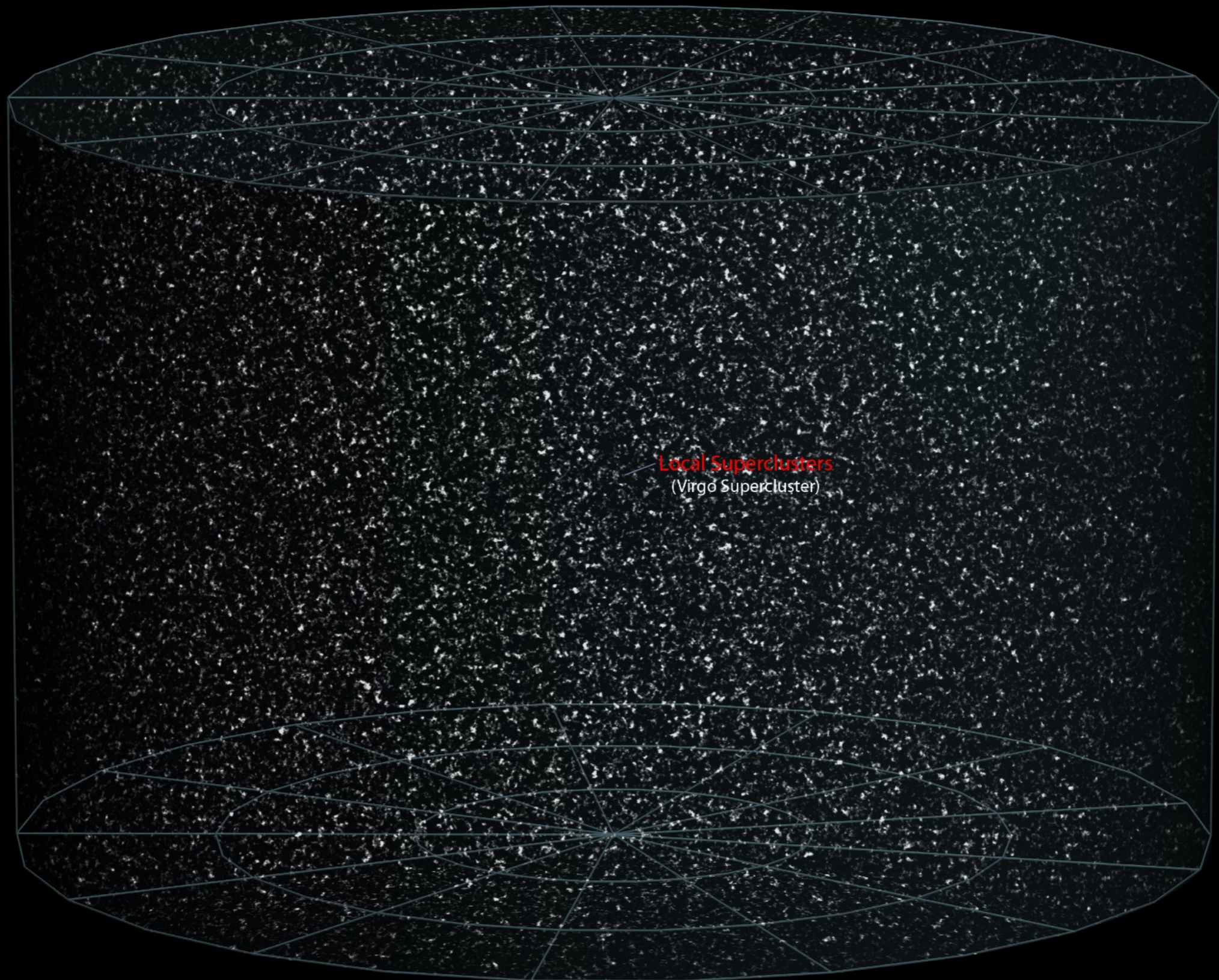
Materia:

$T_{\mu\nu}$

Geometría del espacio-tiempo:

$G_{\mu\nu}$

Universo Homogêneo e Isótropo



¡Expansión!

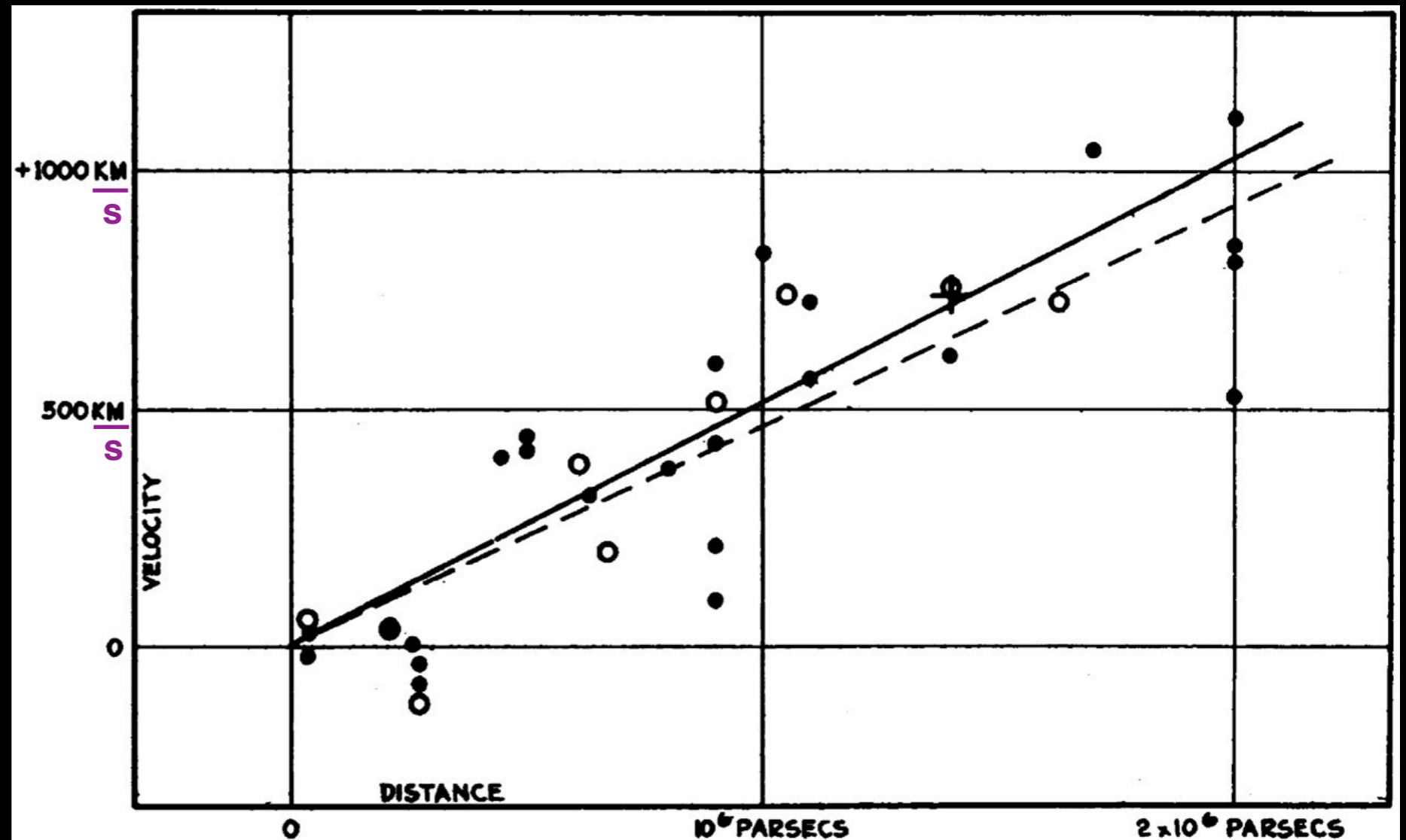
The image features a dynamic radial blur effect. Numerous thin, light-colored lines radiate from a central dark point, spreading outwards to the edges of the frame. The lines vary in length and brightness, creating a sense of depth and movement, similar to a starburst or a high-speed camera capturing a point 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

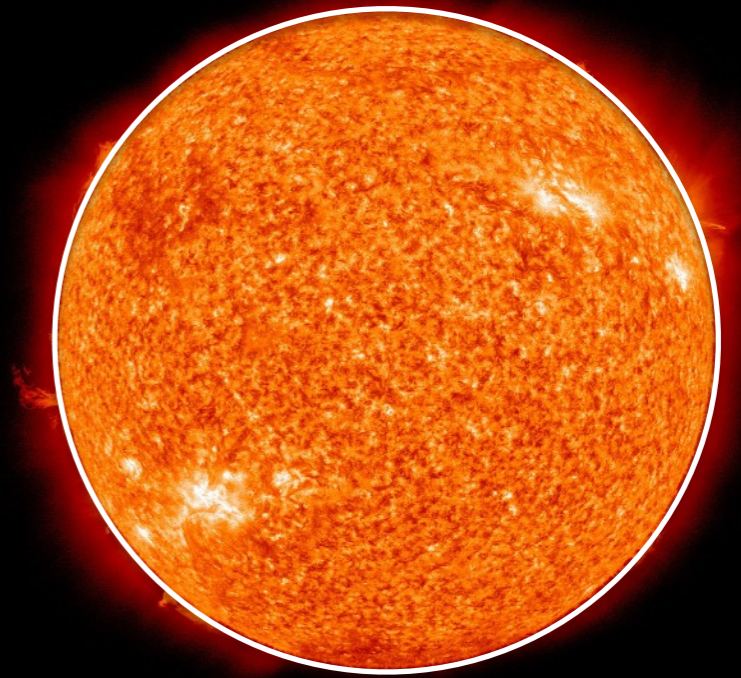
Galaxia Típica



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

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

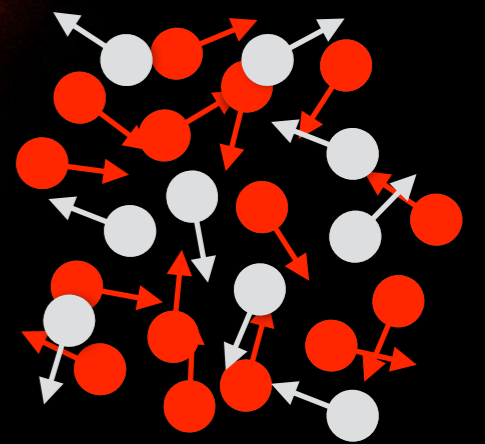
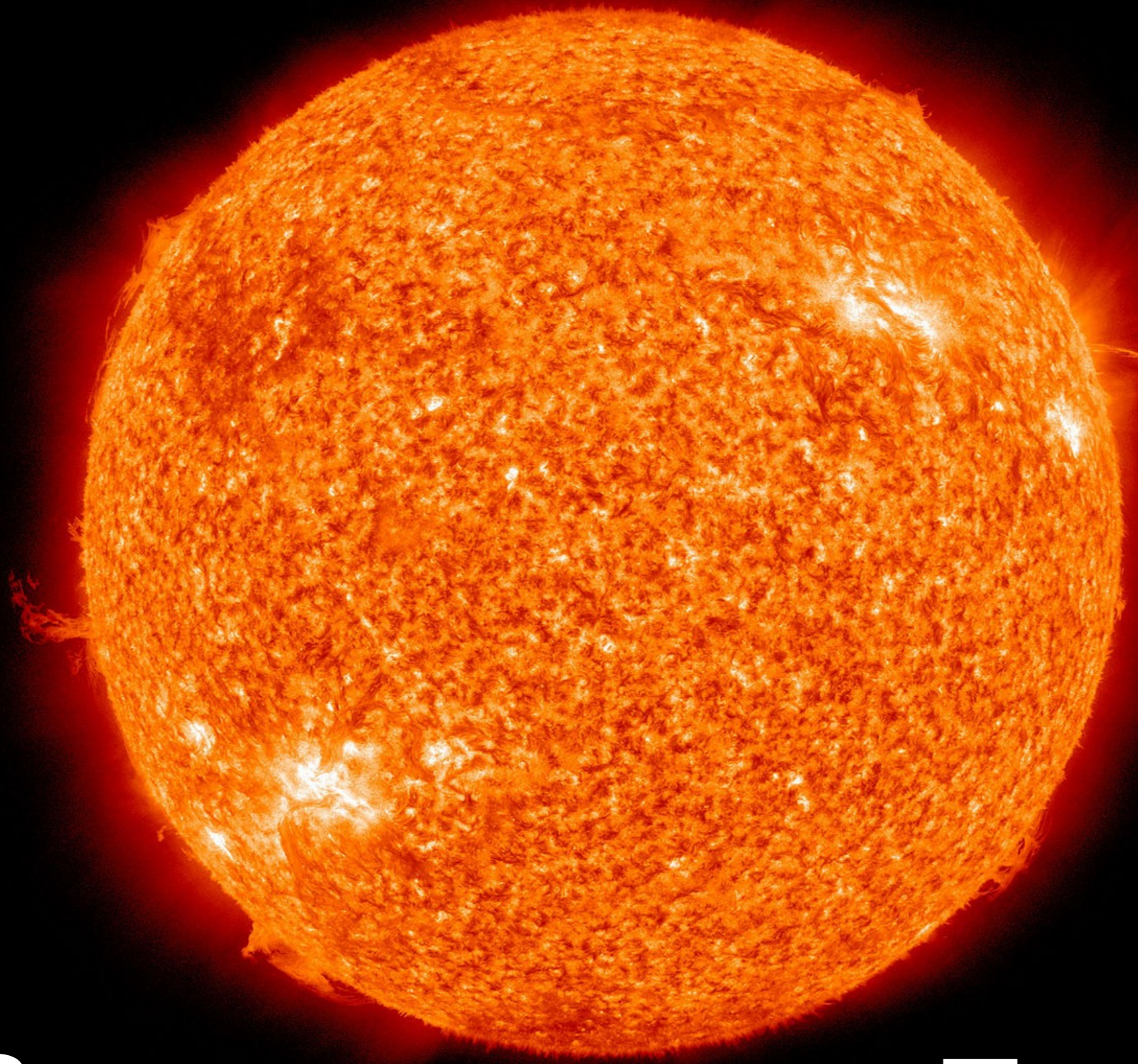
Universo Primitivo



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

$t \sim 1 \text{ segundo}$

El Universo Primitivo



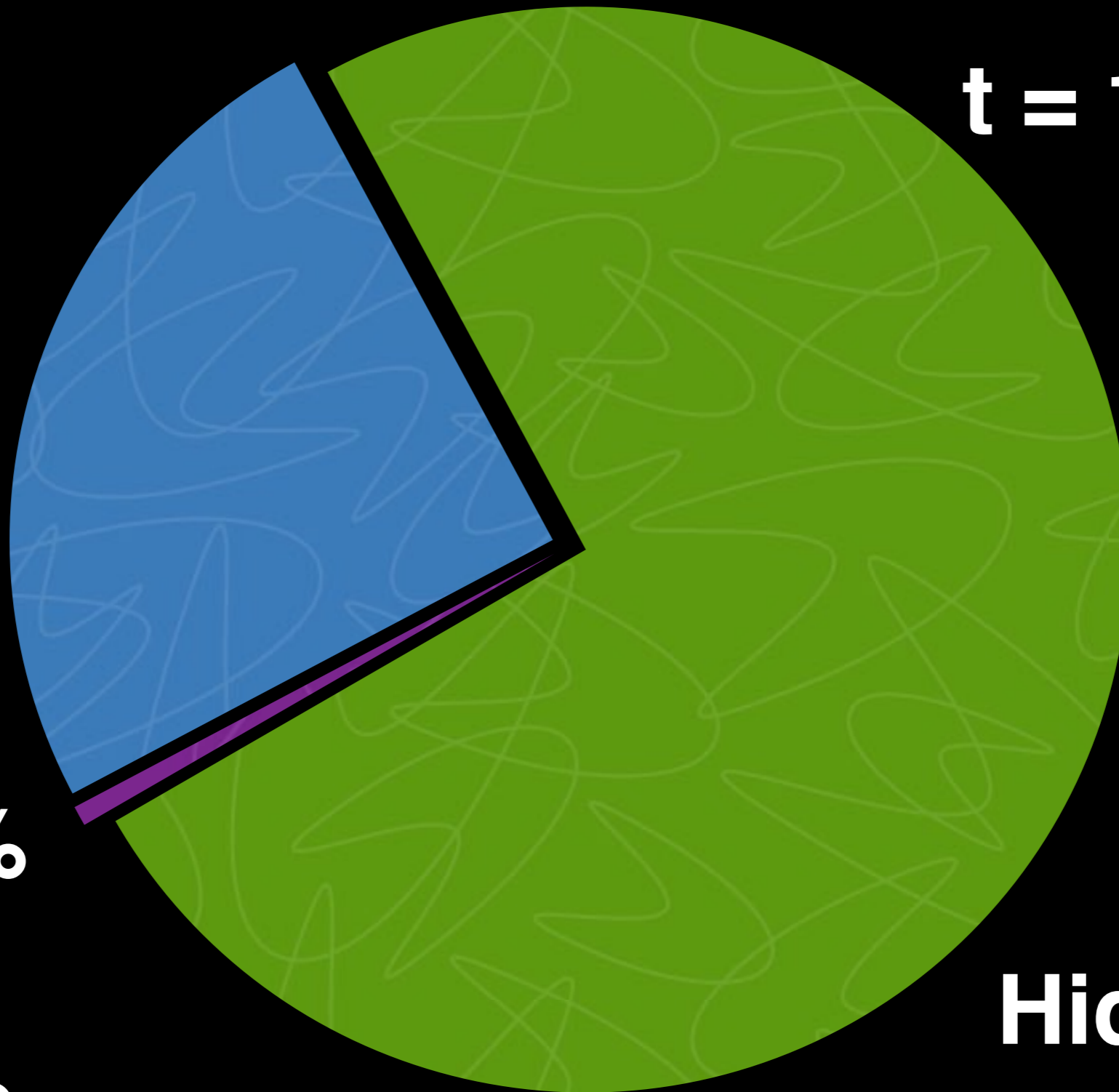
$t = 1s$

$T = 10^{10} K$

Predicción:

Universo Homogéneo e Isótropo + Einstein + Física Nuclear =

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



Helio

25%



0.005%



Deuterio

75%

Hidrógeno

Observación:

$t = 13.8 \times 10^9$
años

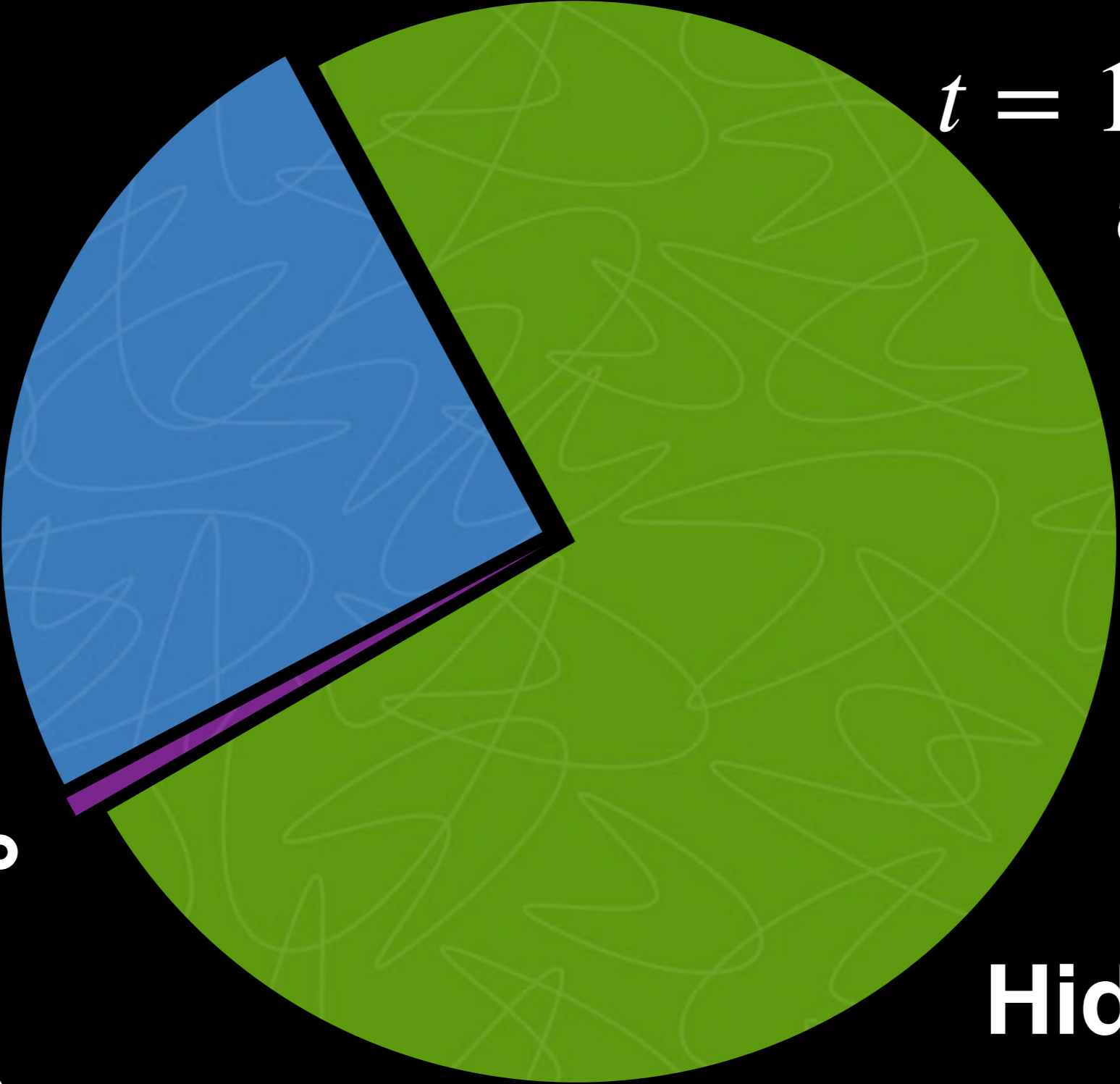
Helio
25%



0.005%



Deuterio



●
75%
Hidrógeno

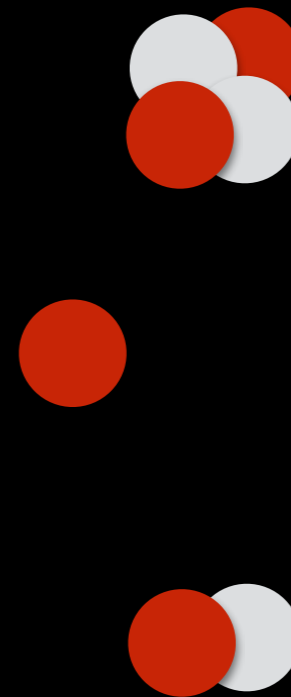
Resumen:

Hoy

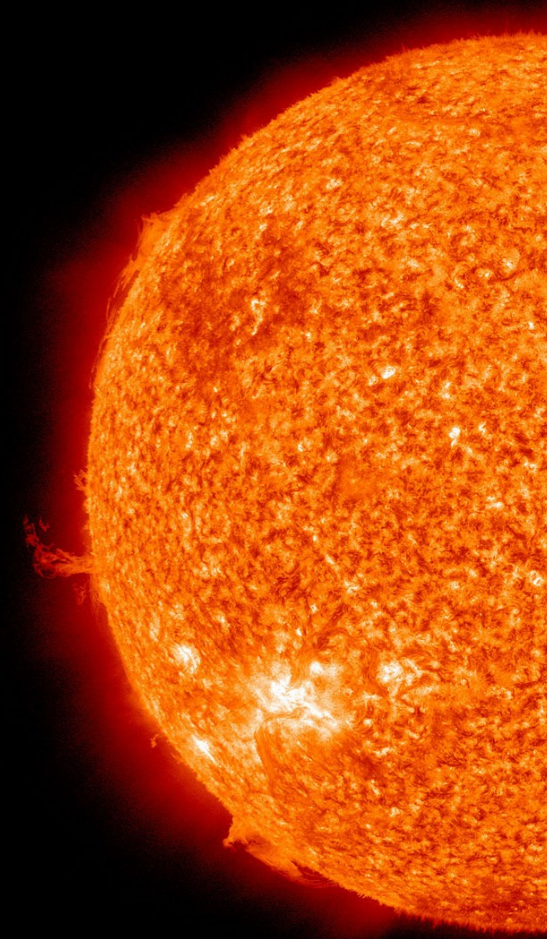


$t = 13.8$ mil millones de años

Big Bang

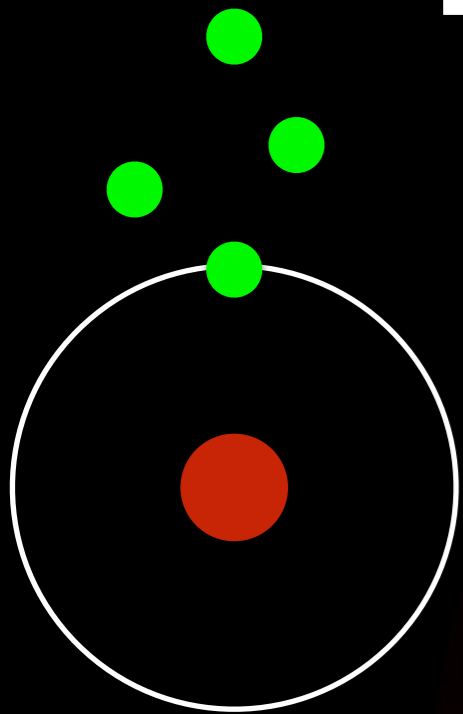


$t = 3$ minutos



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.

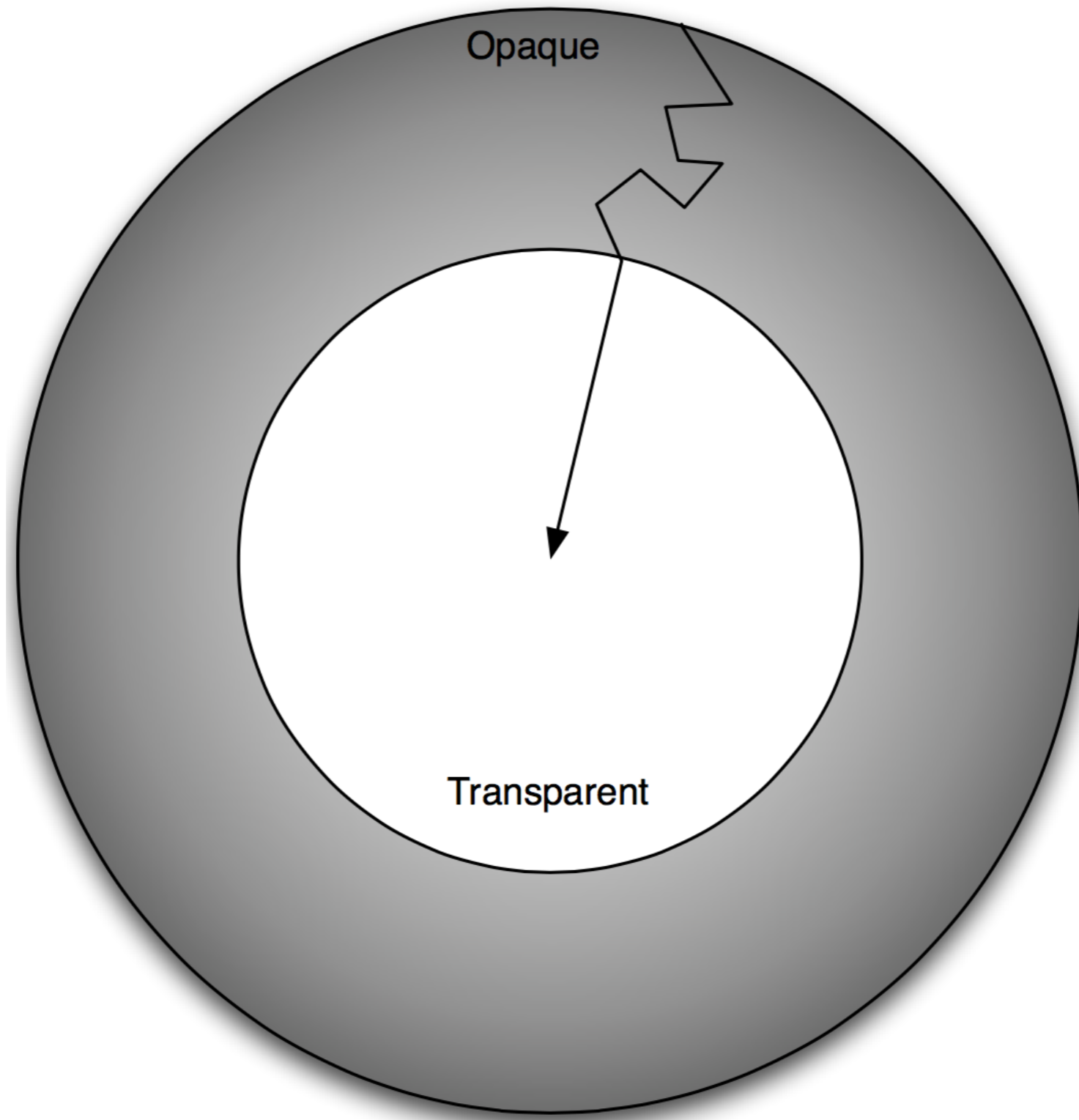
El Universo Primitivo



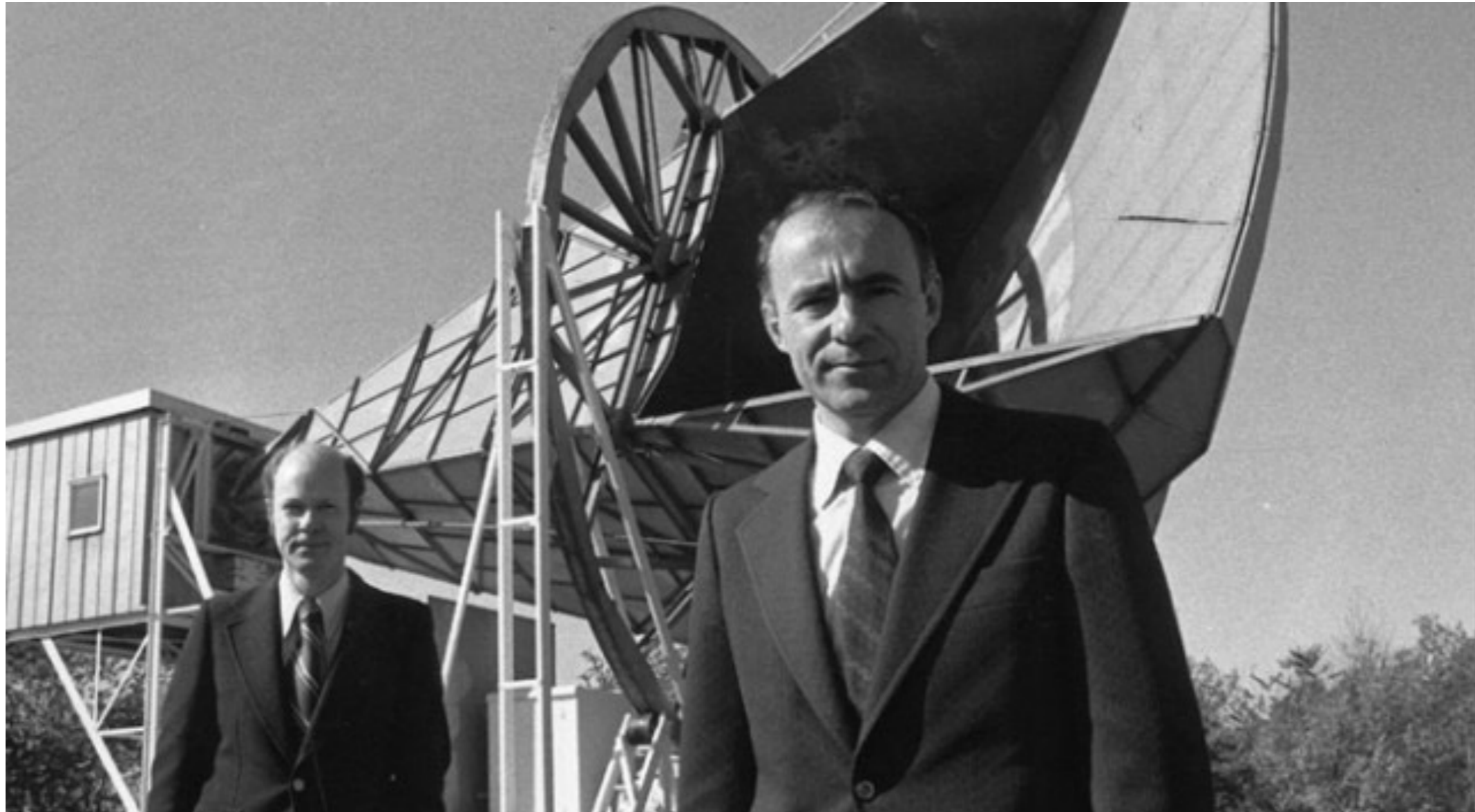
$t = 400.000$ años

$T = 3000$ K

El Fondo Cósmico de Microondas



El Fondo Cósmico de Microondas

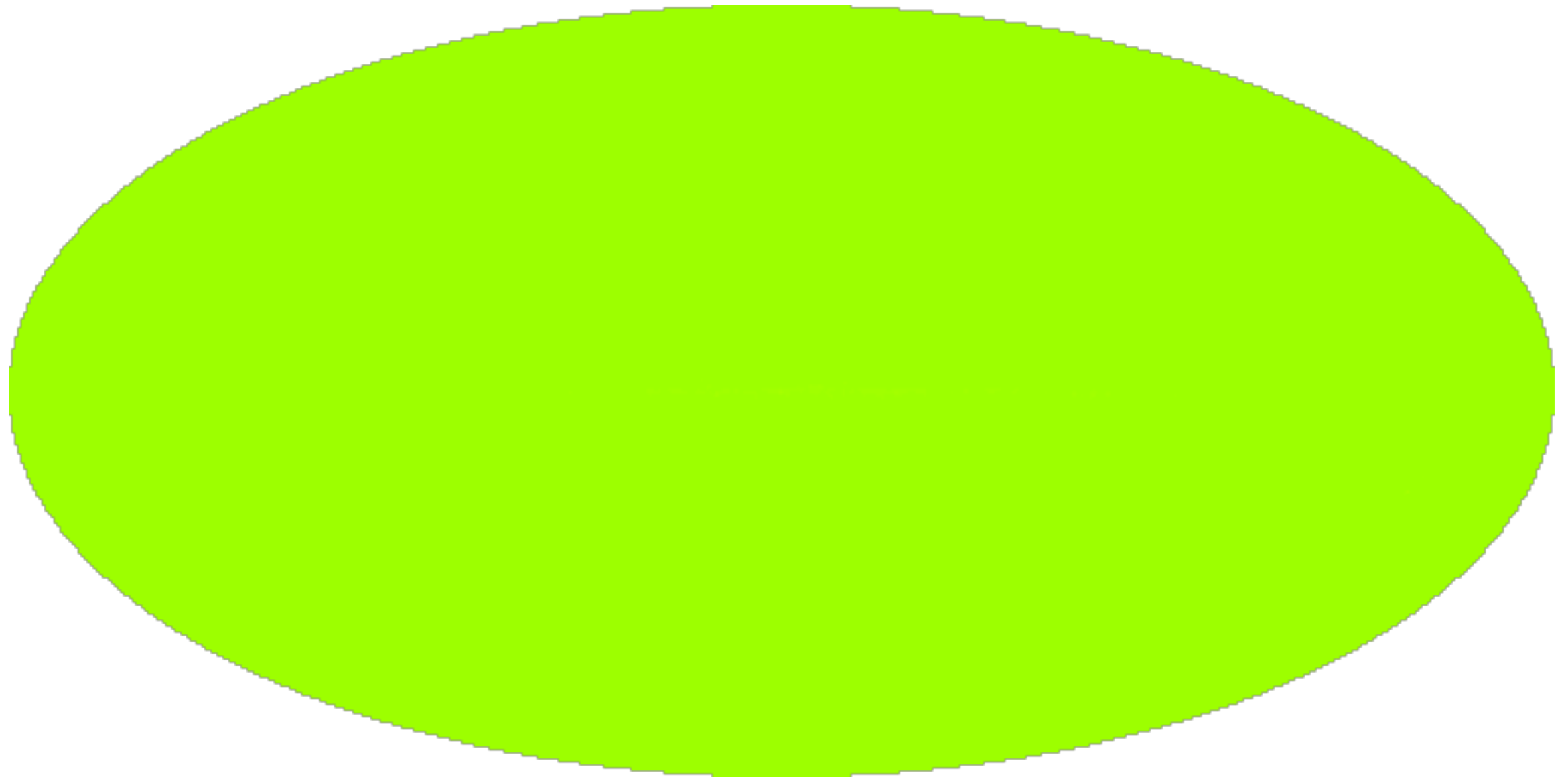


1964 Penzias & Wilson, 1978 

Propiedades esperadas para un plasma

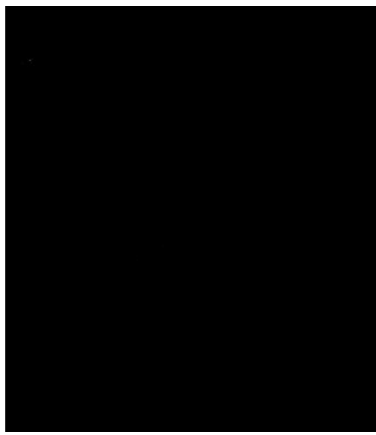
Temperatura: 2.7 Kelvin 400 fotones por cm^3 !

Homogéneo e Isótropo

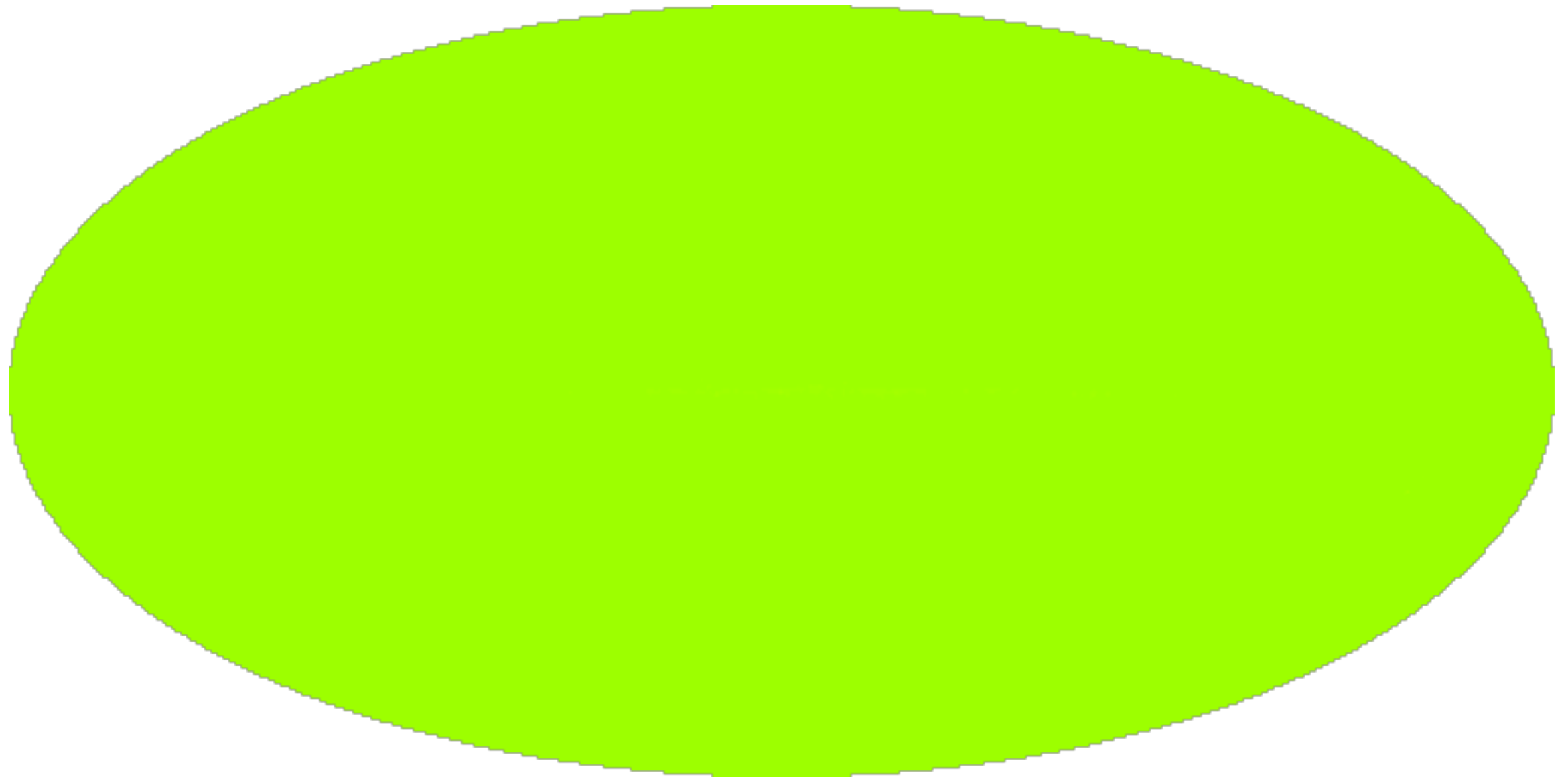


$$T = 3 \text{ K}$$

Contraste:

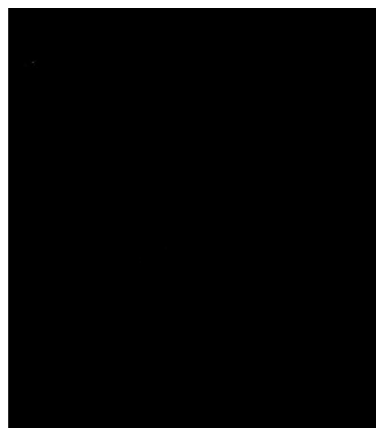


Homogéneo e Isótropo



$T = 2.7 \text{ K}$

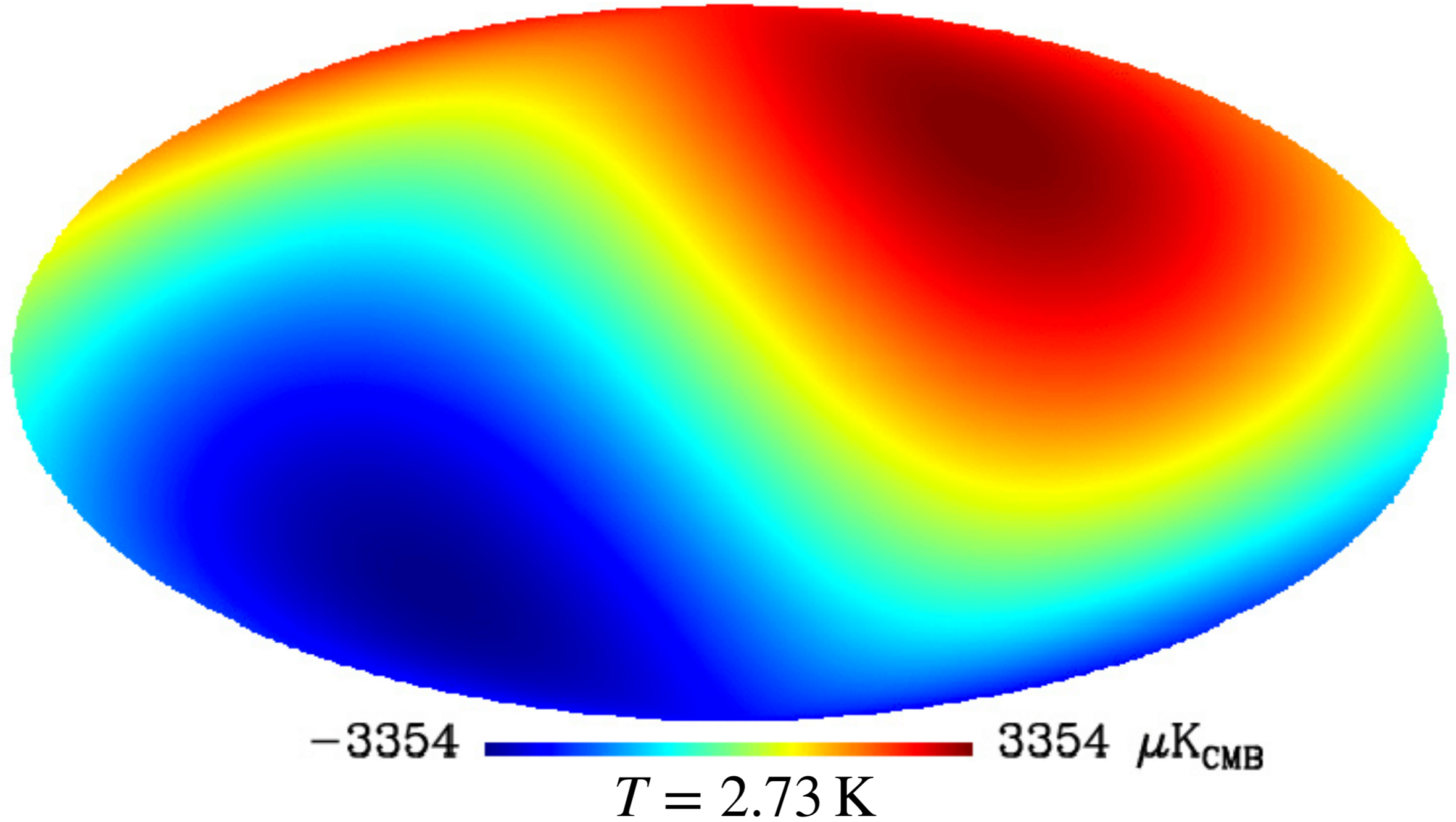
Contraste:



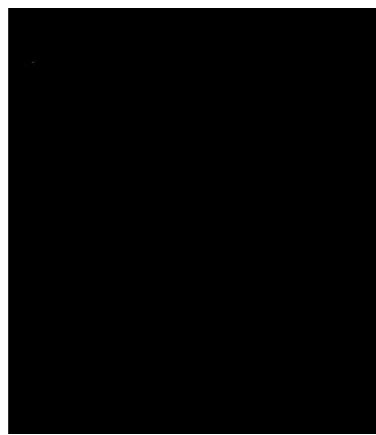
$\times 10$



Homogéneo e Isótropo



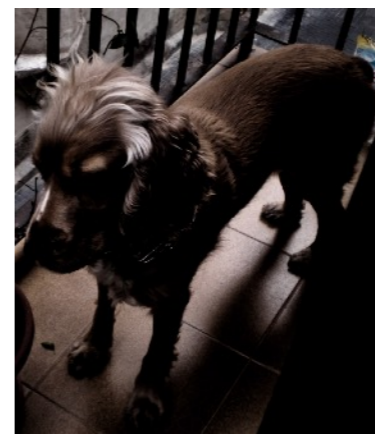
Contraste:



$\times 10$

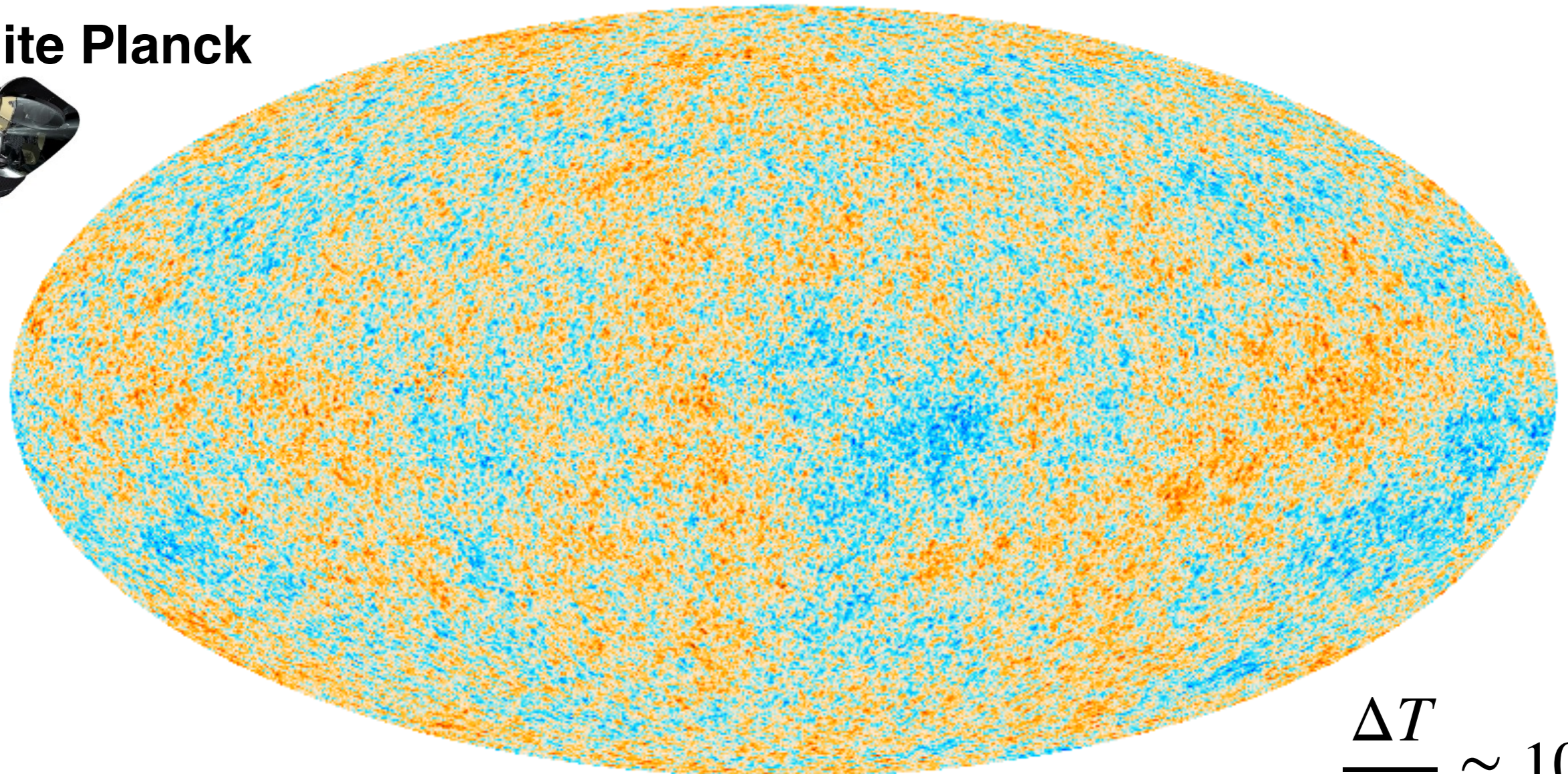
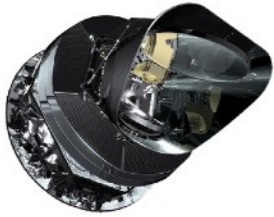


$\times 10$



Homogéneo e Isótropo

Satélite Planck

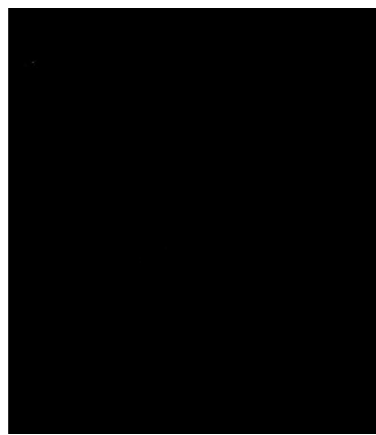


-500  500 μK_{CMB}

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

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

Contraste:



$\times 10$



$\times 10$

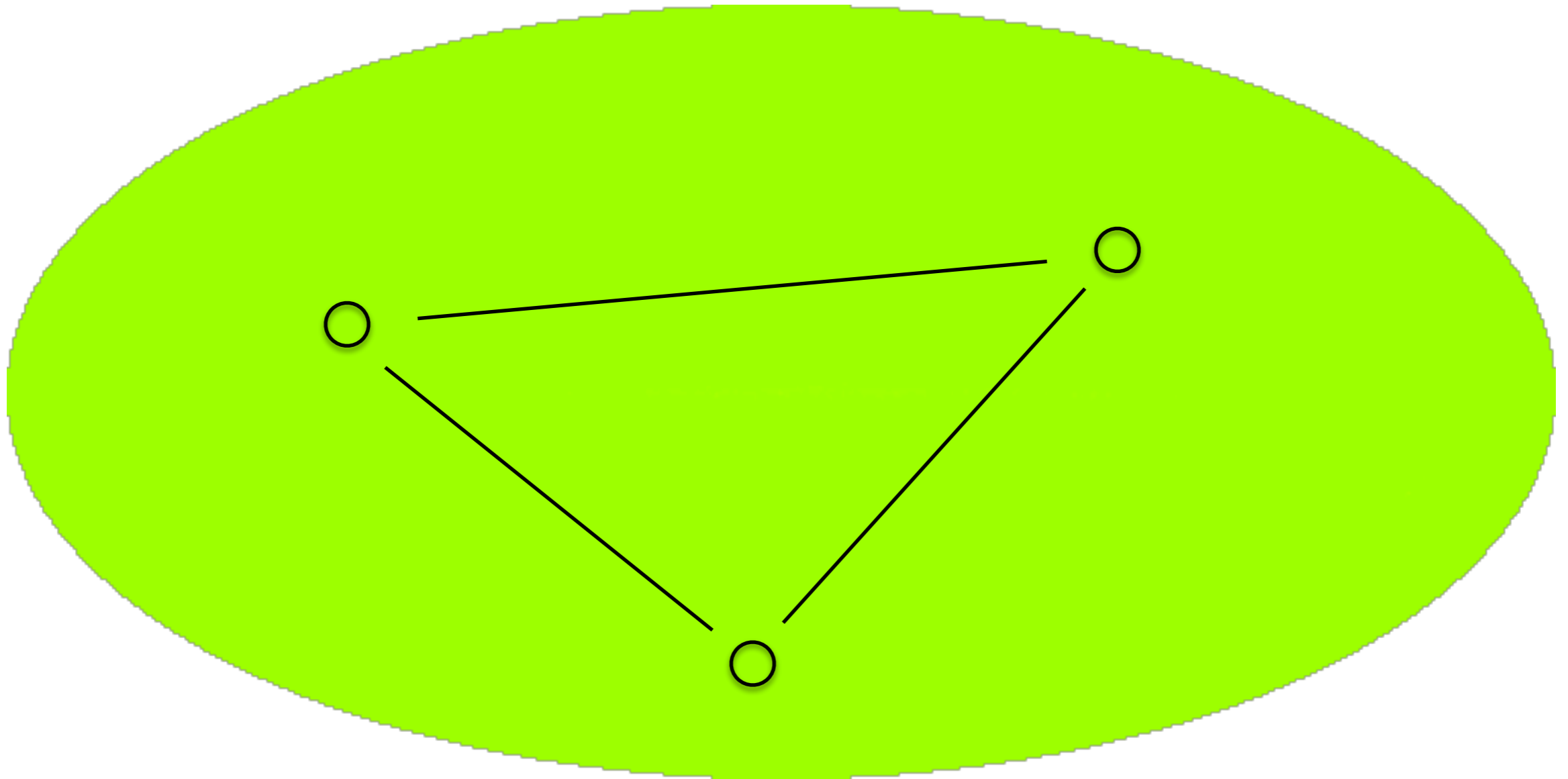


$\times 10$



Problema

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

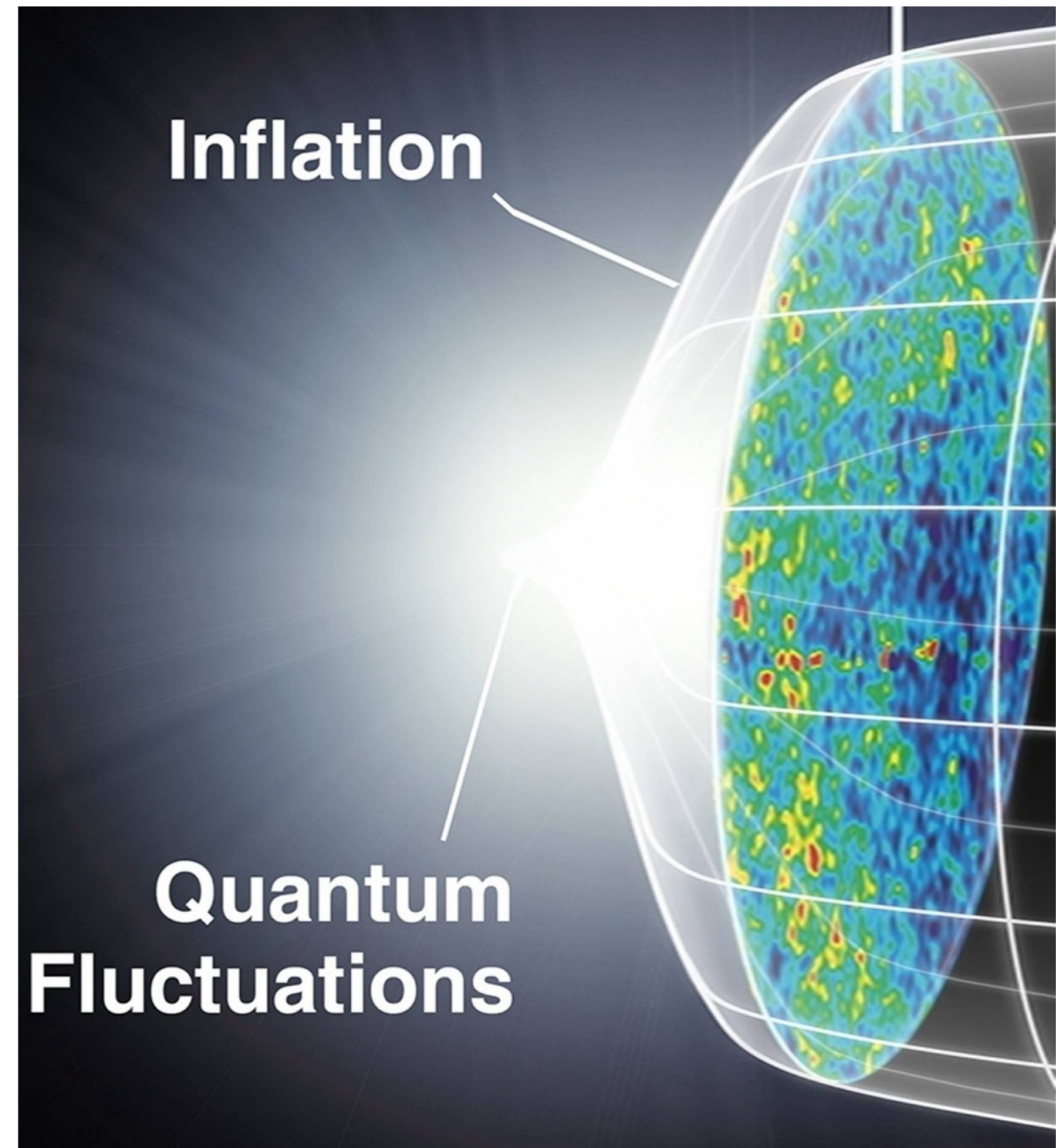


Solución: Inflación

**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



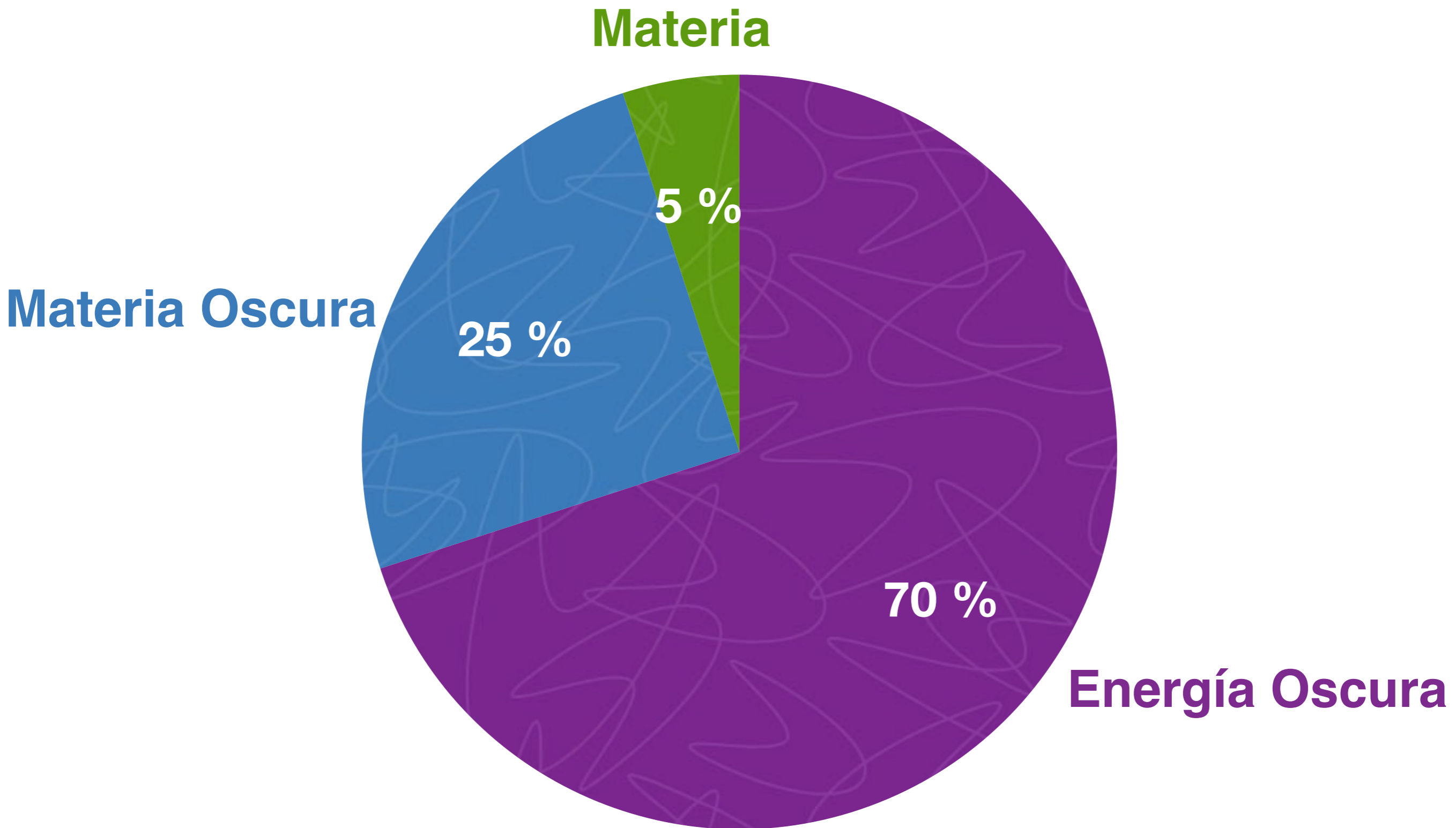
Premio Nobel de Física 2019



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

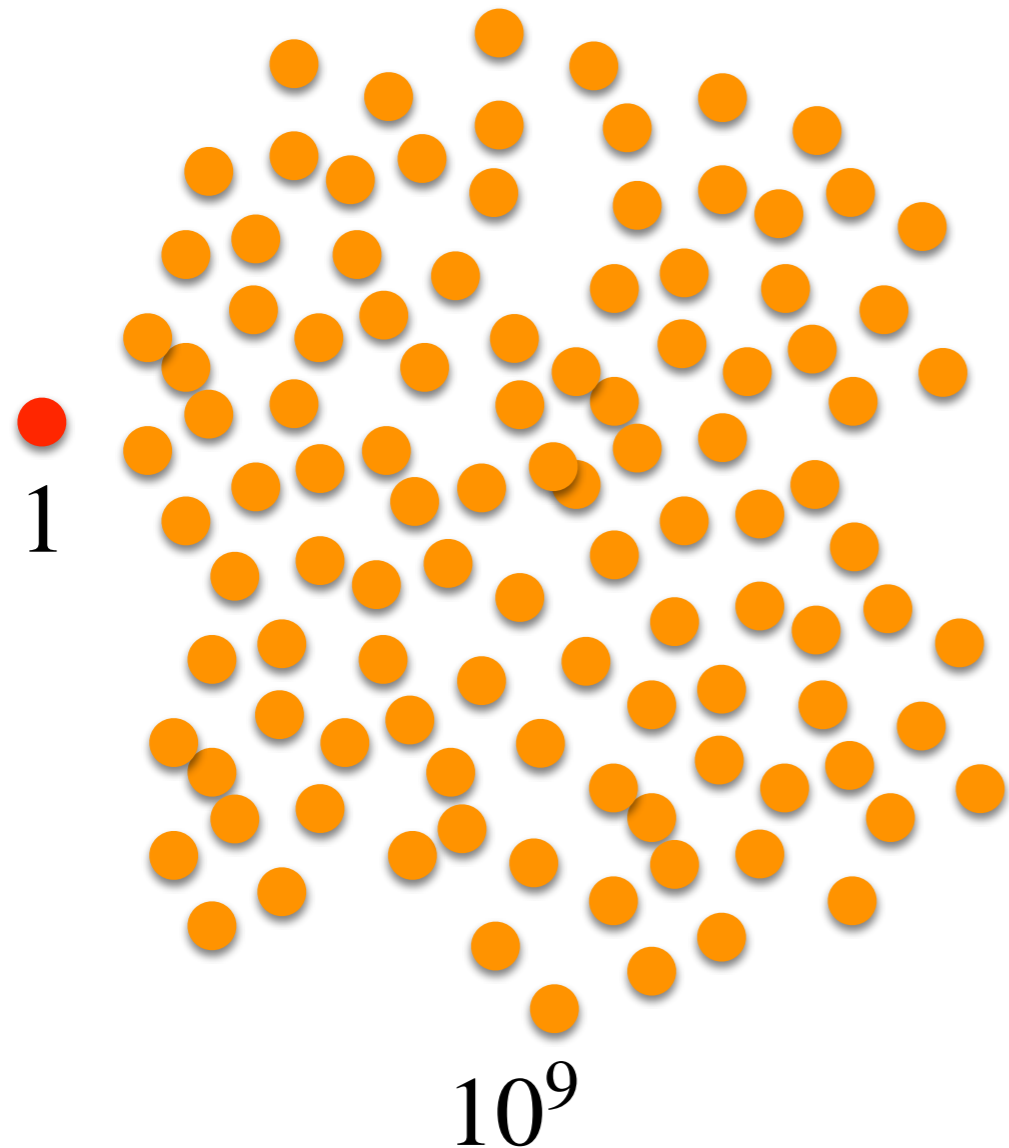
Speaker: Pablo Garcia Abia (CIEMAT)

🕒 1h

El problema

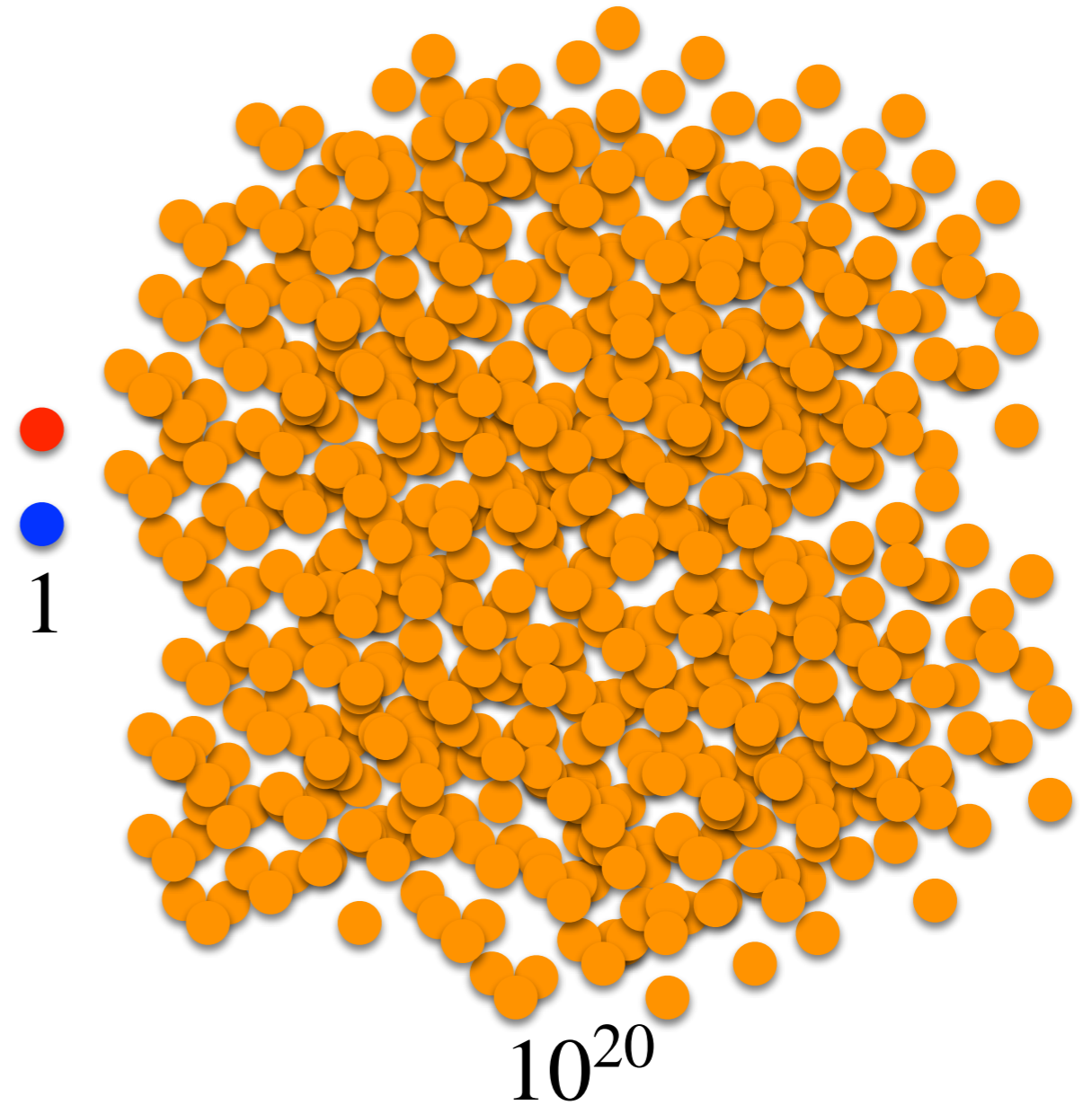
Universo observado

● foton ● proton ● antiproton



Hay 10^9 fotones por cada núcleo atómico!

Universo esperado según el modelo estándar



Misma cantidad de materia y antimateria



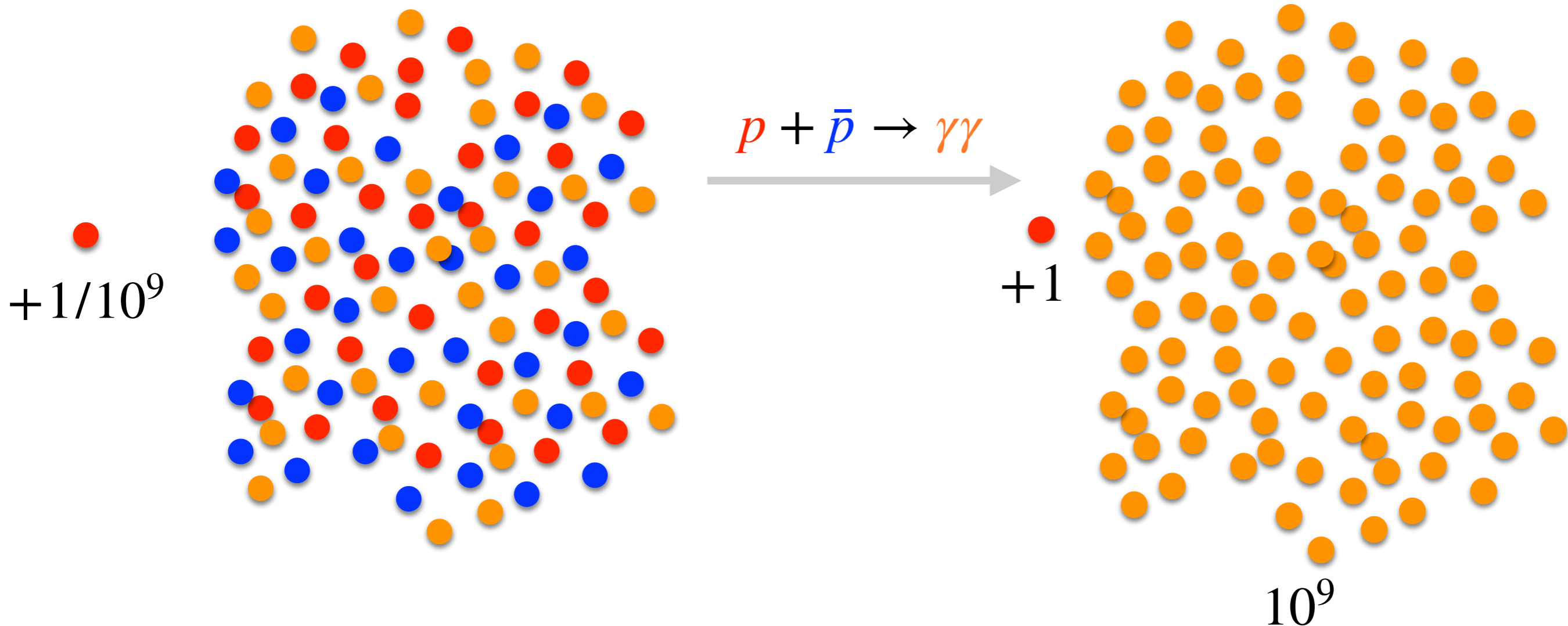
Antimateria en el universo

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

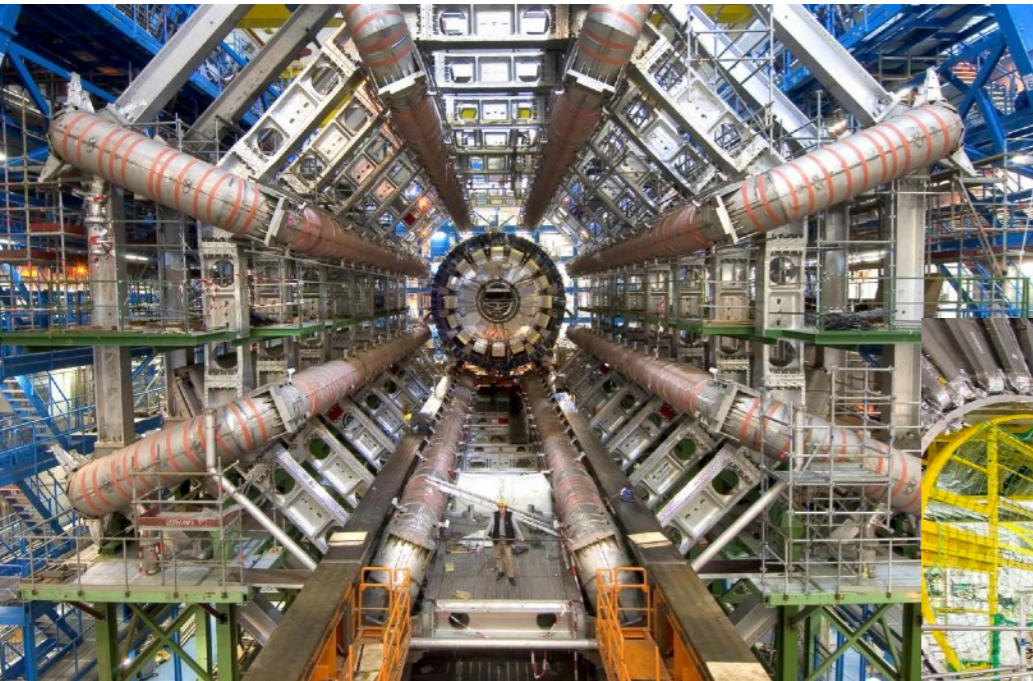
Según el Modelo Estándar de Física de Partículas, la materia y la antimateria se comportan de casi la misma manera.

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

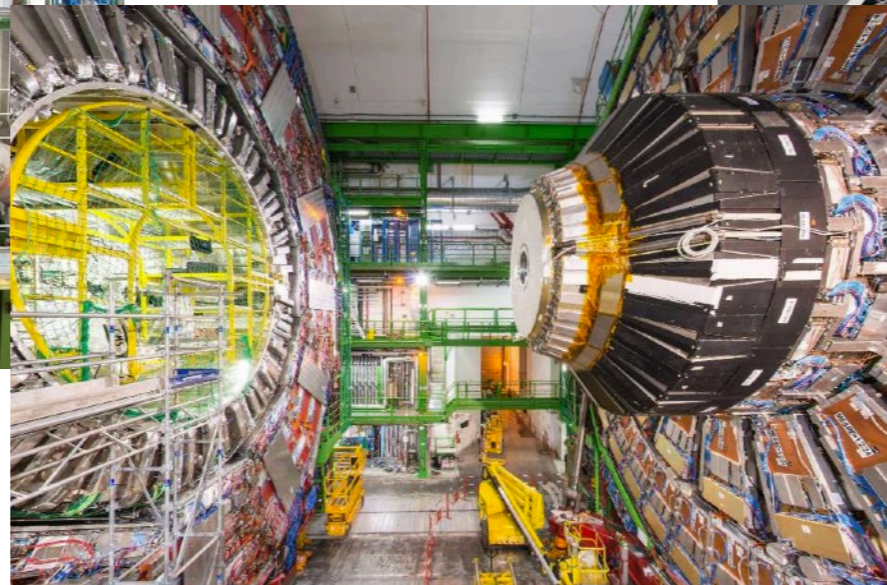
Asimetría entre la materia y la antimateria

- 😊 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

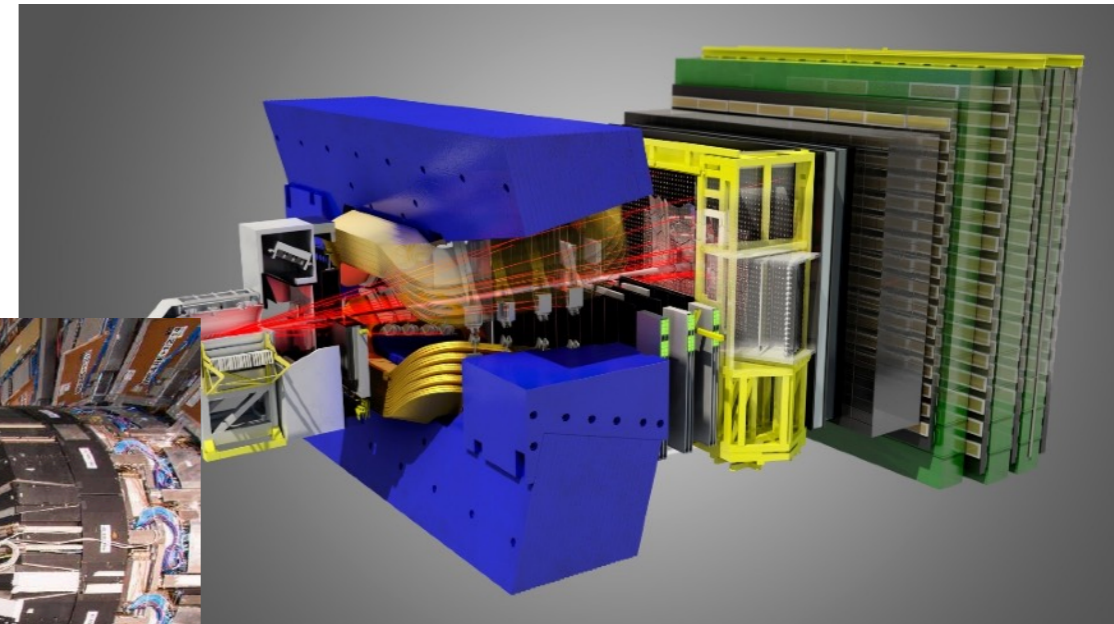
ATLAS



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