



Instituto de Física
UNAM

Introducción a la cosmología.

Alvaro Pratts.
Instituto de Física, UNAM.

TAACO 2024, Guatemala

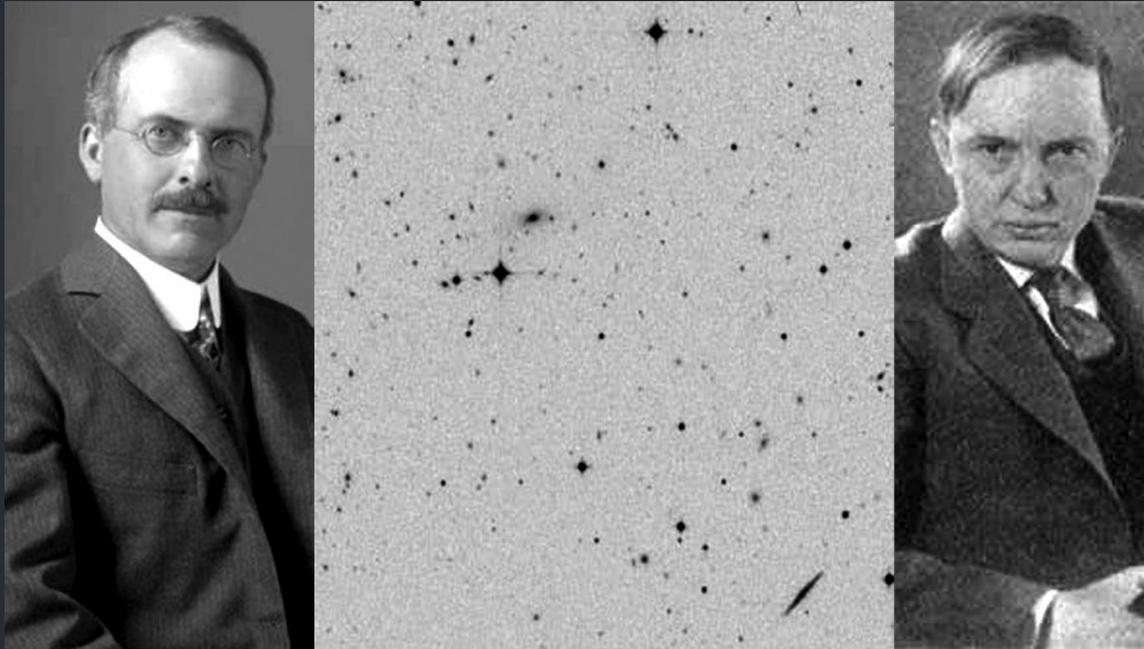


¿Qué es la cosmología?

- Estudio del Universo **como sistema.**
 - Origen, evolución, final
- Medios de estudio: Teórico
 - Relatividad General
 - Modelo estándar
- Observacional
 - Campo profundo, supernovas.

Un poco de historia

Shapley vs Curtis: El tamaño del universo

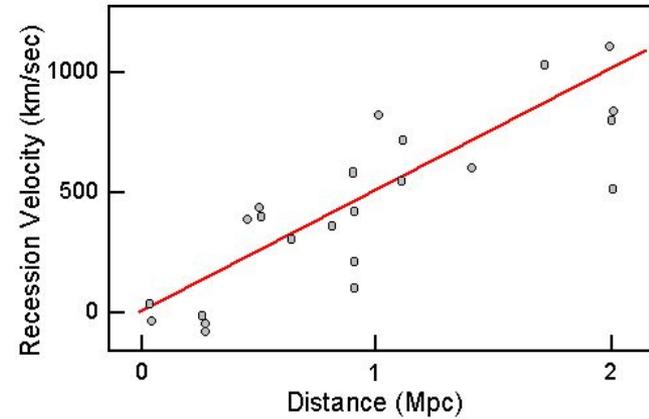


Hubble y la expansión del universo

Ajuste? De Hubble



Hubble's Data (1929)

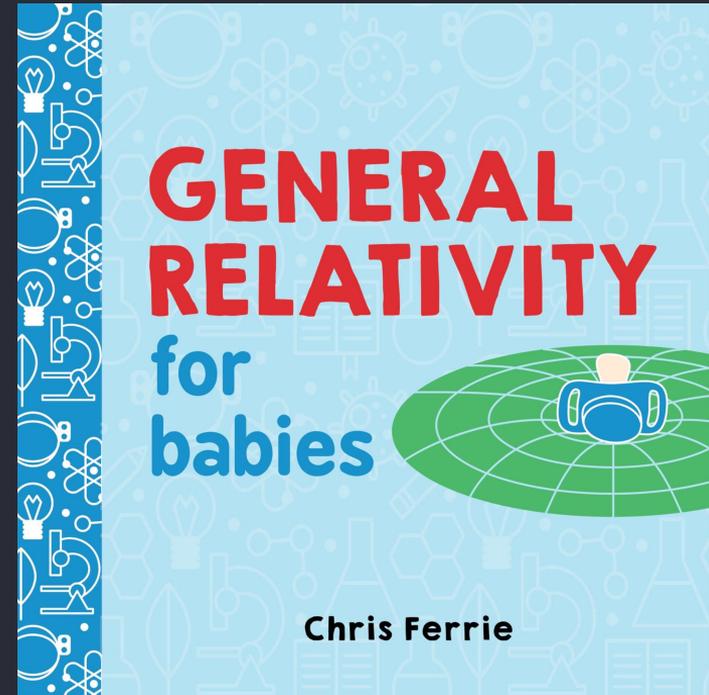


Relatividad general para Dummies

Ecuaciones de campo de Einstein.

Factor de escala, distancia comóvil

Ecuaciones de Friedmann

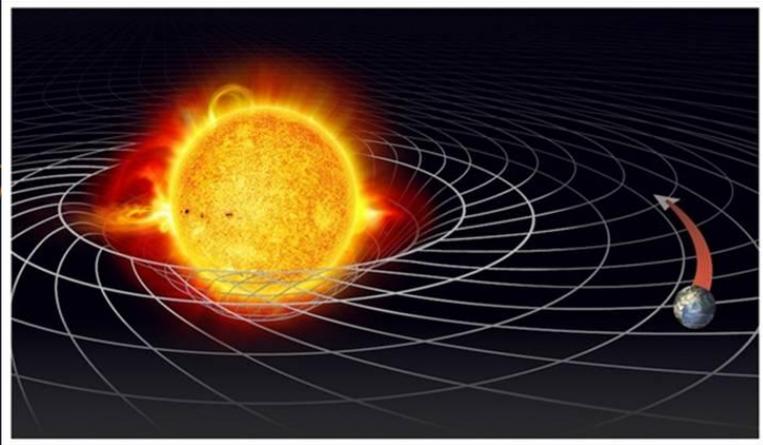


Ecuaciones de Einstein

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



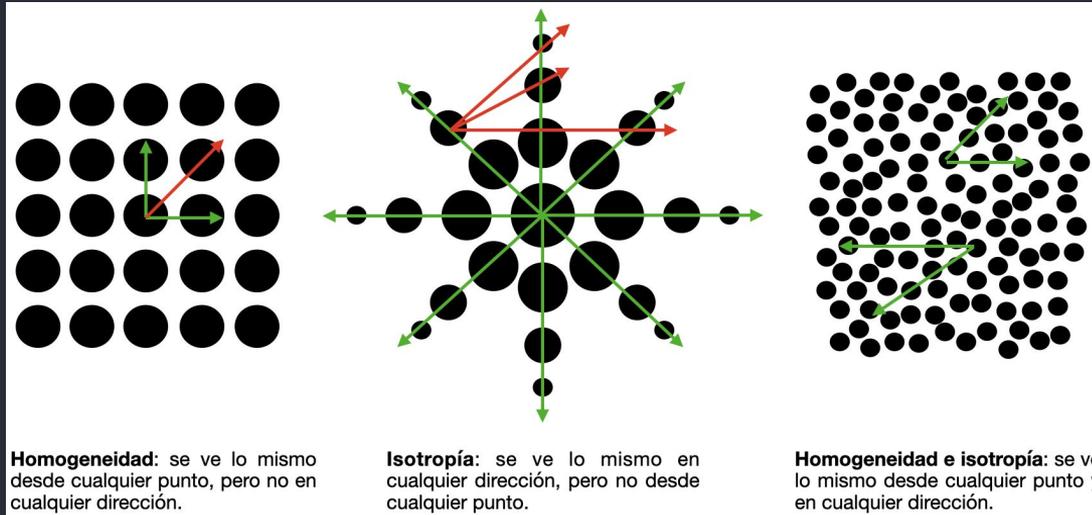
“El mayor error
de Einstein”



¿Cómo aplicarlas al universo?

Necesitamos suposiciones básicas sobre el universo:

- Es homogéneo
- Es isótropo



Factor de escala y distancia comóvil

Se tiene que la distancia propia de objetos en el universo está dada por:

$$d(t) = a(t)d_0$$

Definiendo el factor de Hubble como $H(t) = \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)$

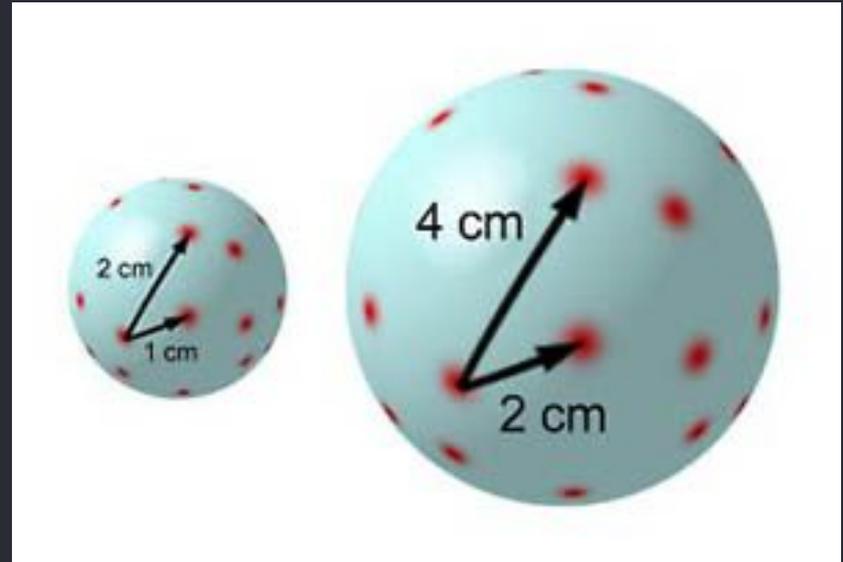
Podemos llegar a la ley de Hubble

Y más aún, podemos llegar a que :

$$a(t) = \frac{1}{1+z}$$

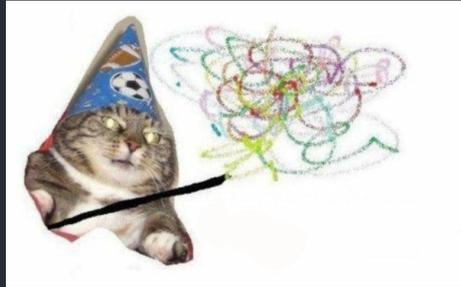
Entendiendo la expansión del universo

Conforme avanza el tiempo, las distancias se modifican no solo por el movimiento relativo de los cuerpos, sino por la expansión propia del universo: Se está creando espacio entre los objetos



Ecuaciones de Friedmann

Usando la metrica de FLRW

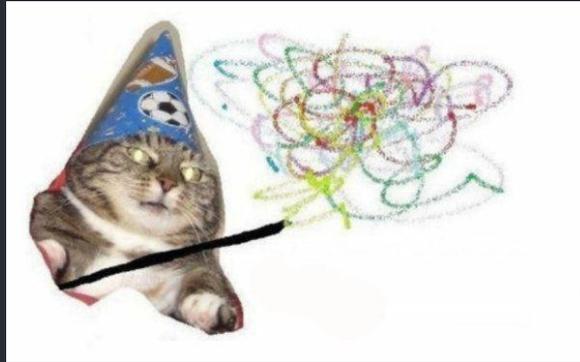


$$H^2 = \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G\rho + \Lambda c^2}{3} - K\frac{c^2}{a^2}$$

$$3\frac{\ddot{a}}{a} = \Lambda c^2 - 4\pi G\left(\rho + 3\frac{3p}{c^2}\right)$$

Densidades de energía

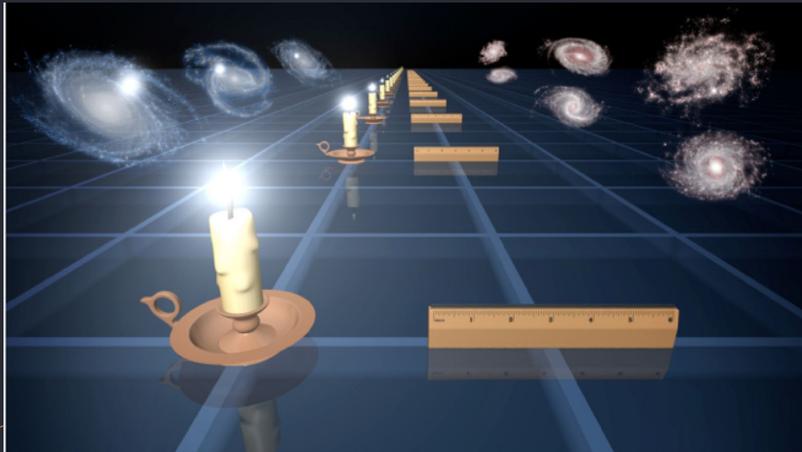
Tomando las ecuaciones de Friedmann **con $K=0$** y haciendo otro



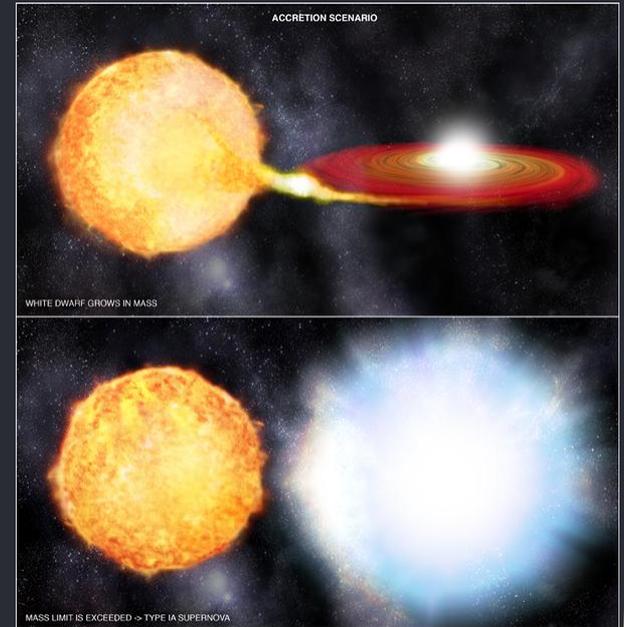
Se puede llegar a que:

$$H^2(a) = \frac{8\pi G}{3} (\rho_m a^{-3} + \rho_r a^{-4} + \rho_\Lambda)$$

Alguna evidencia observacional del universo FLWR

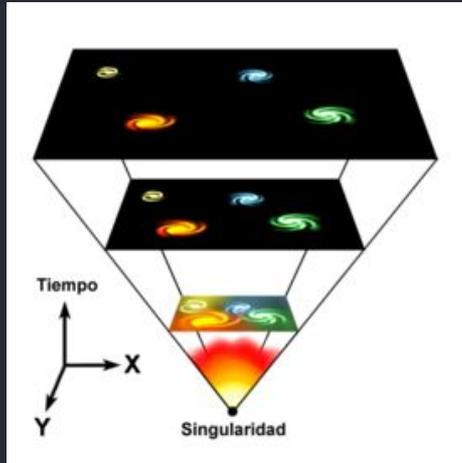


Cómo medir distancias?



Tenemos los ingredientes para postular un modelo del inicio del universo: Big Bang

El trabajo de Friedmann, entre otros y las observaciones de Hubble respaldaban un universo dinámico, en expansión (aunque Einstein no quisiera), por lo que era lógico tratar de Poner la película en reversa para averiguar cuál sería el inicio del Universo, a dicha teoría se le denomina **Teoría Big Bang**



Big Bang

- Toda la energía del universo originalmente se encontraba en un punto llamado singularidad que era infinitamente denso y caliente
- En el punto 0 del tiempo, la singularidad comienza a expandirse, con lo cual empieza a generarse el espacio y la materia y energía comienza a distribuirse durante el universo
- Conforme el universo va aumentando su tamaño se va enfriando lo que da lugar a que se empiecen a formar los primeros átomos y posteriormente estructuras de materia
- La física está dominada por las Ecuaciones de Einstein, consecuentemente por las ecuaciones de Friedmann

Evidencias del Big Bang

Nucleosíntesis Primordial: El big bang predice asombrosamente la abundancia de elementos ligeros:

Fracción de masa de ${}^1\text{H}$ $\approx 75\%$,

Fracción de masa de ${}^4\text{He}$ $\approx 25\%$,

Abundancia numérica de $\frac{\text{D}}{\text{H}}$ $\approx 0.001\%$ a 0.01% ,

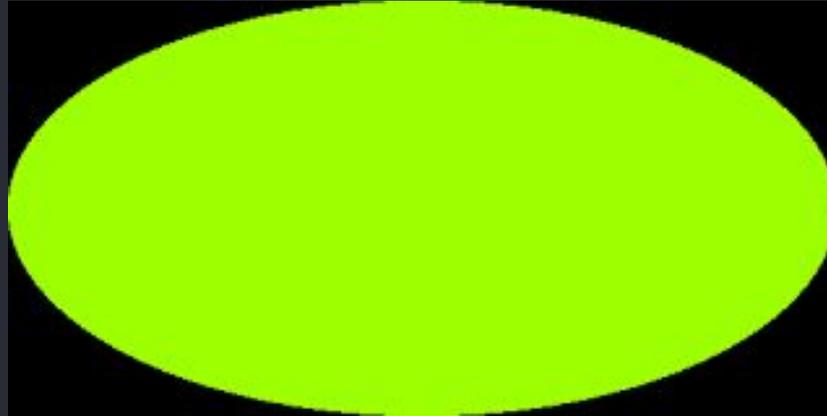
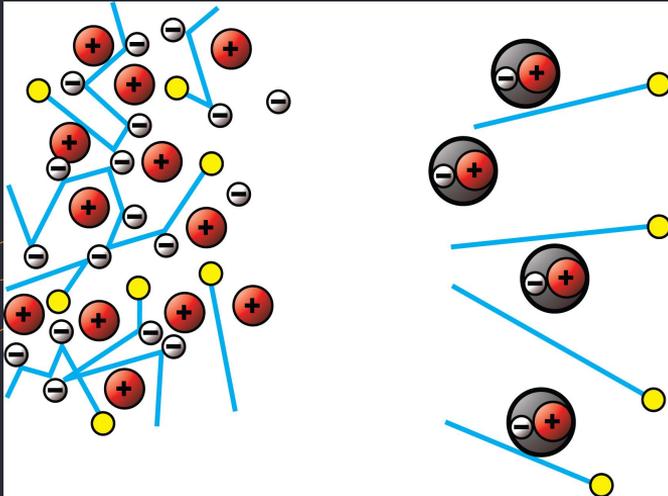
Abundancia numérica de $\frac{{}^3\text{He}}{\text{H}}$ $\approx 0.001\%$,

Abundancia numérica de $\frac{{}^7\text{Li}}{\text{H}}$ $\approx 0.00001\%$.

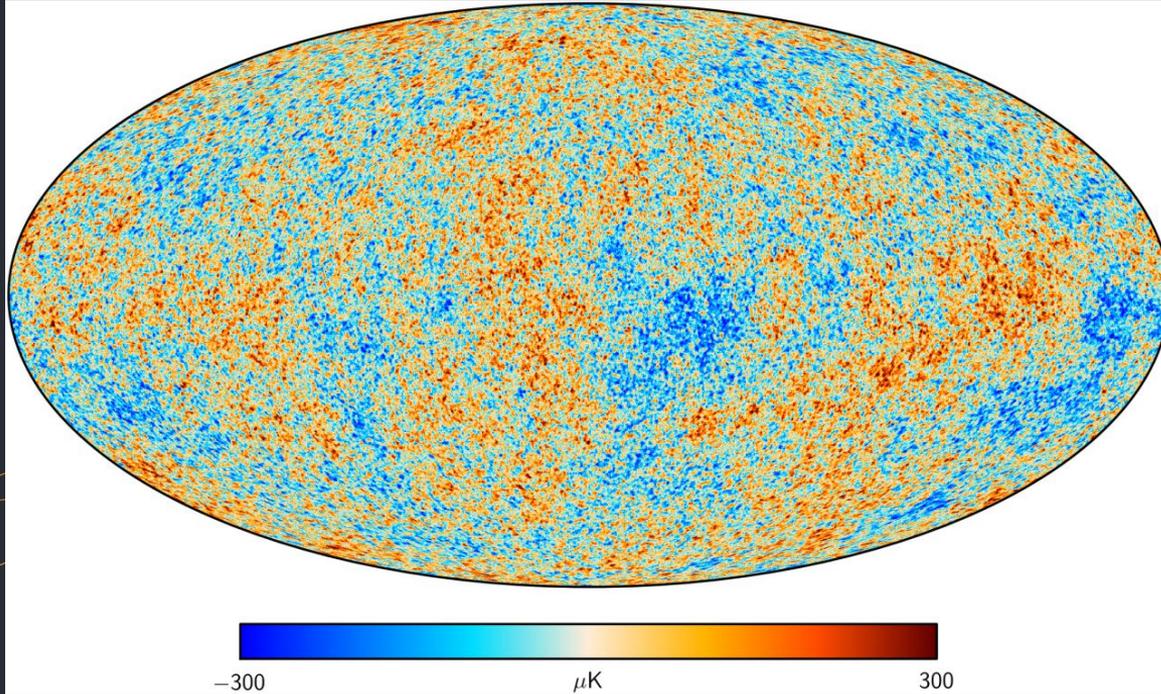
CMB

Radiación de fondo de microondas. Es la “primera luz” en viajar libremente en el universo.

Verdadera foto del CMB, todo a aprox 2.7k



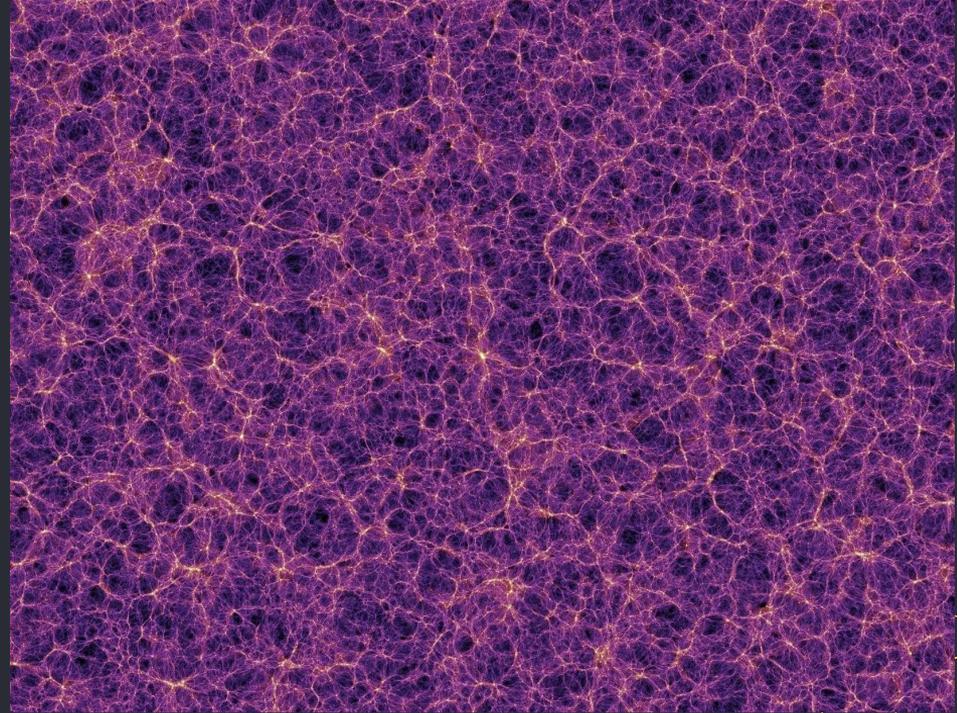
Anisotropías del CMB



Pequeñas
fluctuaciones en
temperatura del
universo

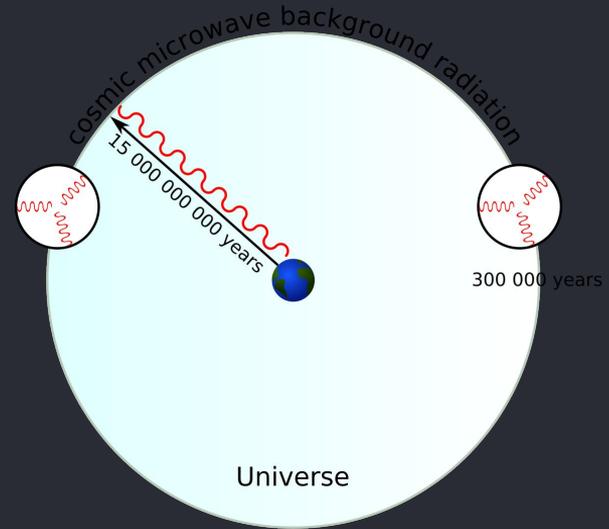
El universo a gran escala

Las simulaciones y observaciones del universo a gran escala dan cuenta de que presenta una estructura “uniforme”



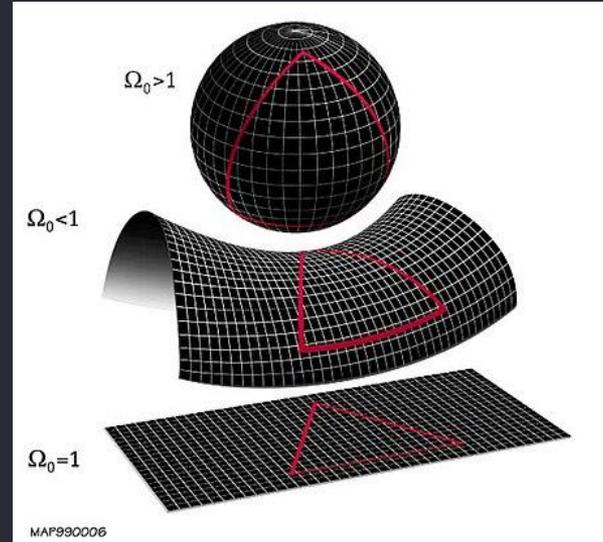
Problemas que surgen del modelo

- Problema del horizonte: Cómo es posible que regiones separadas del universo tengan la misma temperatura?



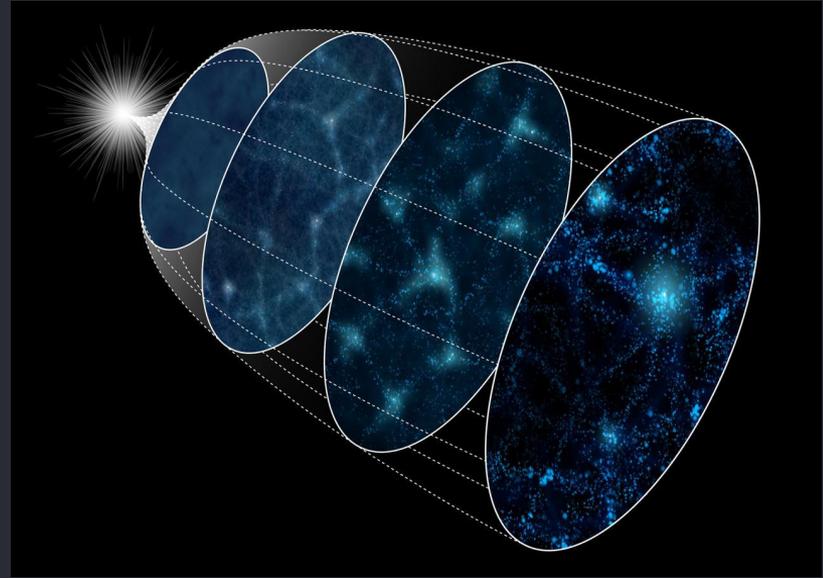
Problema de la planitud

¿Cómo es que el universo es tan plano,? Esto implica que al inicio tuvo que ser aún más plano, es decir $k=0$



Soluciones propuestas

Inflación cósmica: Al inicio del universo hubo una expansión gigantesca, pasando del tamaño de un átomo de hidrógeno a 10 veces el tamaño del sistema solar



Otras cuestiones sin resolver

- Bariogénesis
- Materia Oscura
- Energía Oscura
- Posible final del universo

Se verán en las siguientes sesiones :)

