



GARRA Group



Instituto Argentino de
Radioastronomía



PROBLEMAS FILOSÓFICOS DE LA COSMOLOGÍA CONTEMPORÁNEA

Gustavo E. Romero

IAR-CONICET/FCAyG-UNLP, Argentina

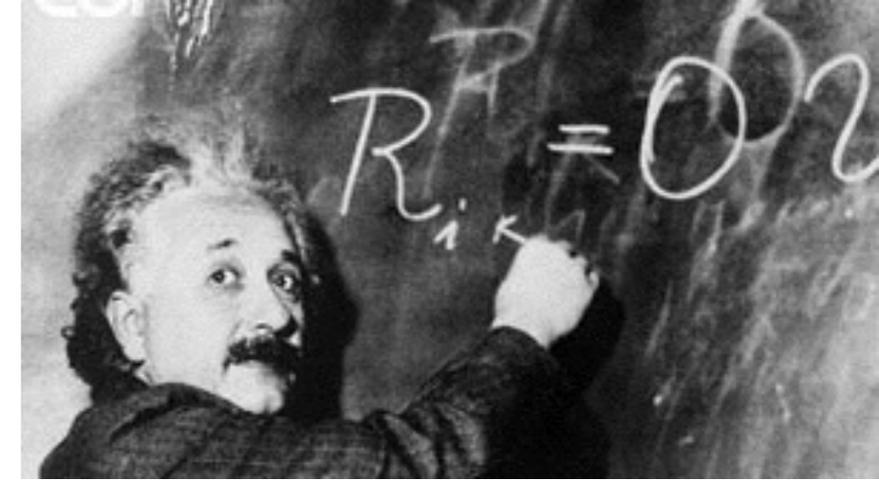
FCAyG, Planetario, UNLP,
noviembre de 2016

Ciclo de Filosofía Científica

¿Qué es la cosmología?

- ▶ La cosmología es la rama de la física que trata de modelar el universo y su evolución. Es la forma más extrema de macrofísica.
- ▶ El universo es el sistema de todas las cosas.
- ▶ La cosmogonía es el intento de explicar del origen del universo. En general la cosmogonía recurre al pensamiento mágico postulando la existencia de cosas fuera de la totalidad de las cosas...lo que es absurdo.

Cosmología relativista



- ▶ En 1915 Albert Einstein formula la teoría general de la relatividad: una teoría generalmente covariante del campo gravitacional.
- ▶ La teoría describe la gravitación como efecto de la curvatura del espacio-tiempo, cuya geometría es pseudo-Riemanniana.
- ▶ La curvatura, en última instancia, es determinada por el contenido de energía de los objetos cuyos cambios forman el espacio-tiempo

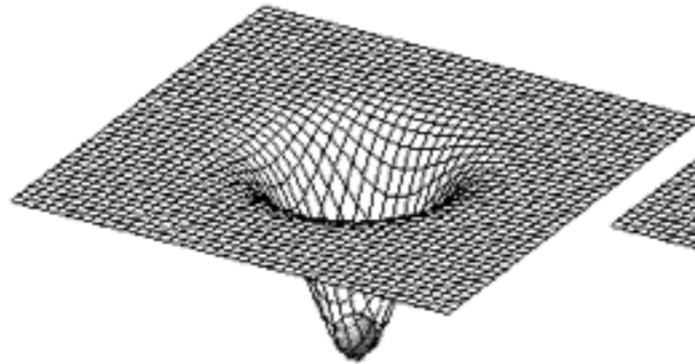
Cosmología relativista

Ecuaciones de Einstein:

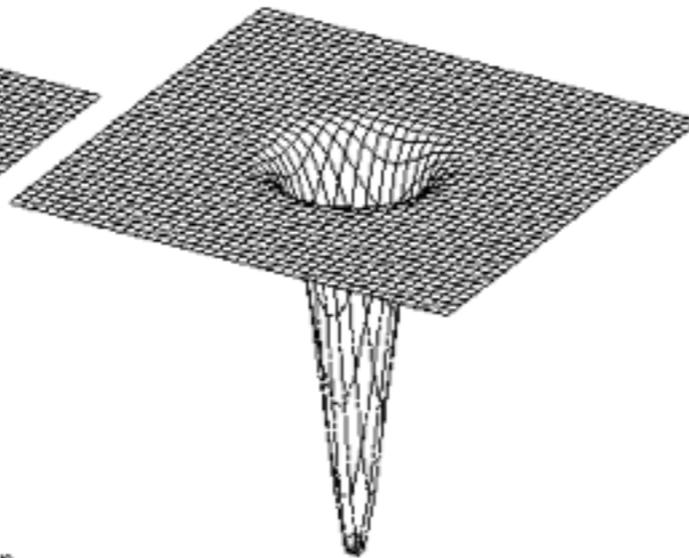
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = -(8\pi G/c^4)T_{\mu\nu}.$$

Geomertía del e-t

materia



Usual star

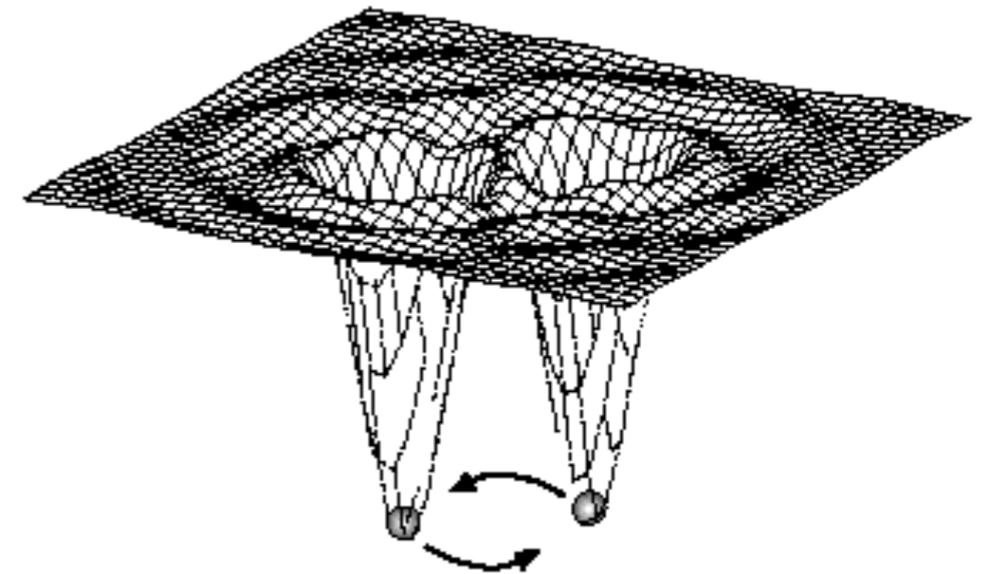


Neutron star

General Relativity :

Einstein describes gravity as a deformation of space-time around a massive object.

numiano



A binary system of compact massive objects rapidly orbiting each other produces ripples in spacetime.

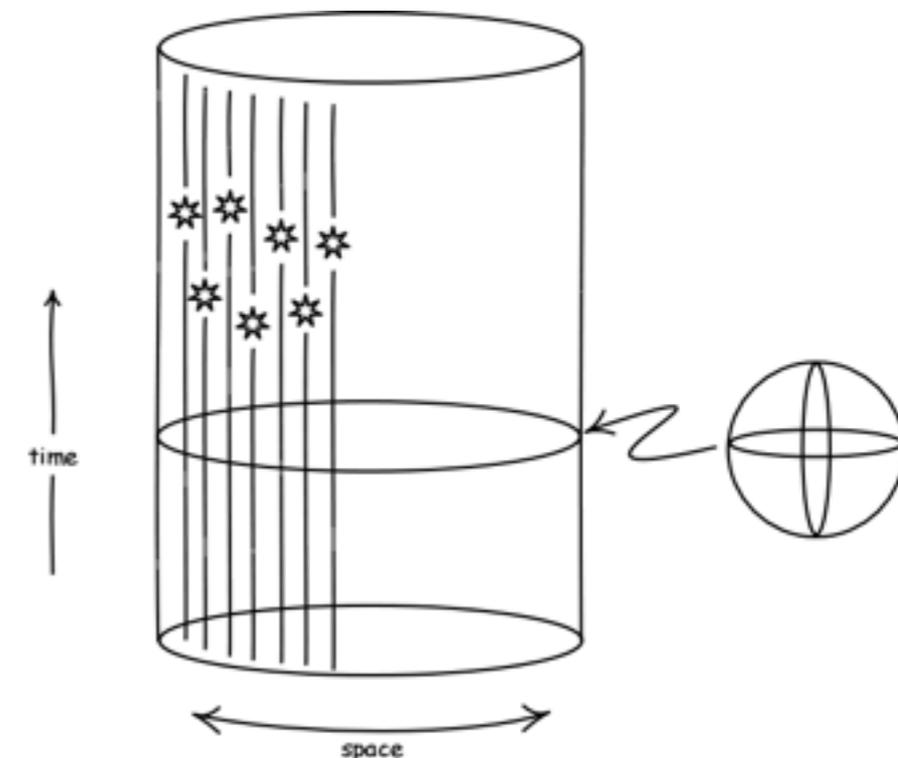


Cosmología relativista

- Einstein fue el primero en aplicar su teoría de la gravitación al Universo, en 1917.
- Consideró un Universo homogéneo, isótropo, e inmutable, de acuerdo con lo conocido en su época.
- Llegó a la conclusión que tal Universo no sería estable sino que debería estar en un estado dinámico y modificó sus ecuaciones para incluir repulsión gravitacional:

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

Λ = constante cosmológica.



Cosmología relativista

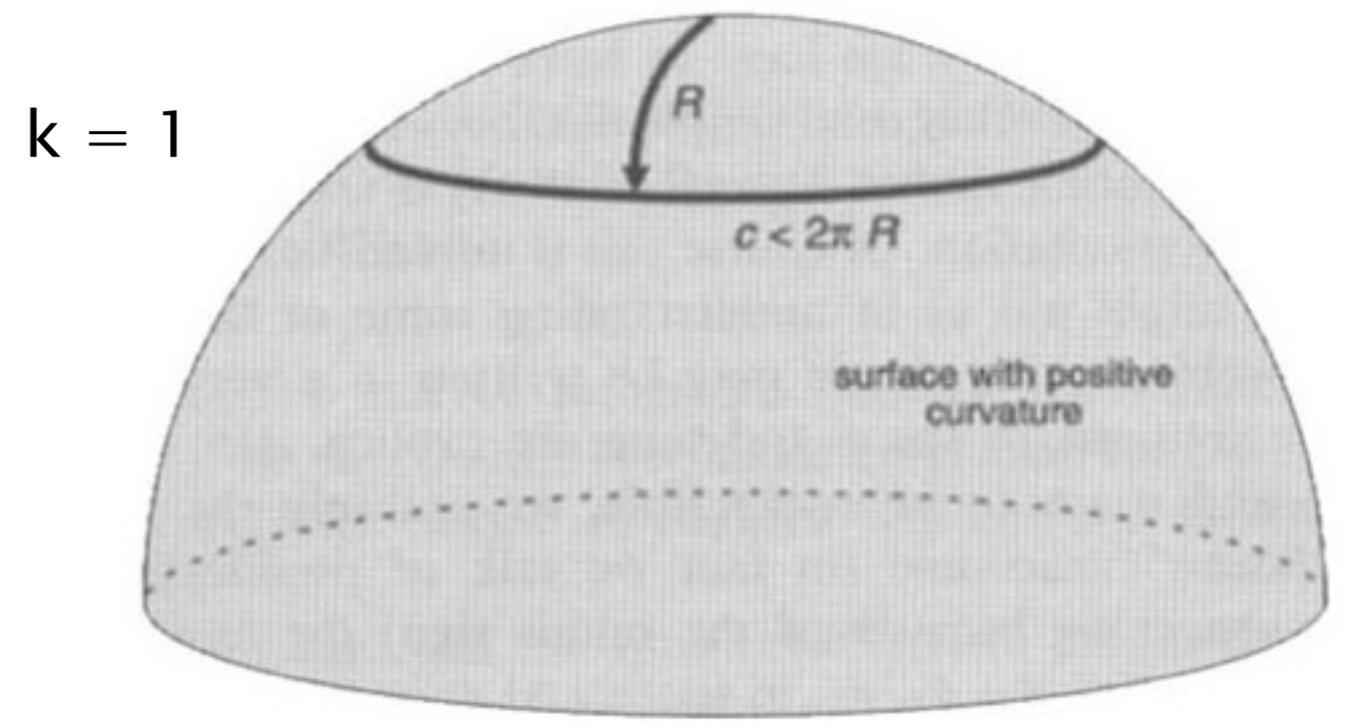
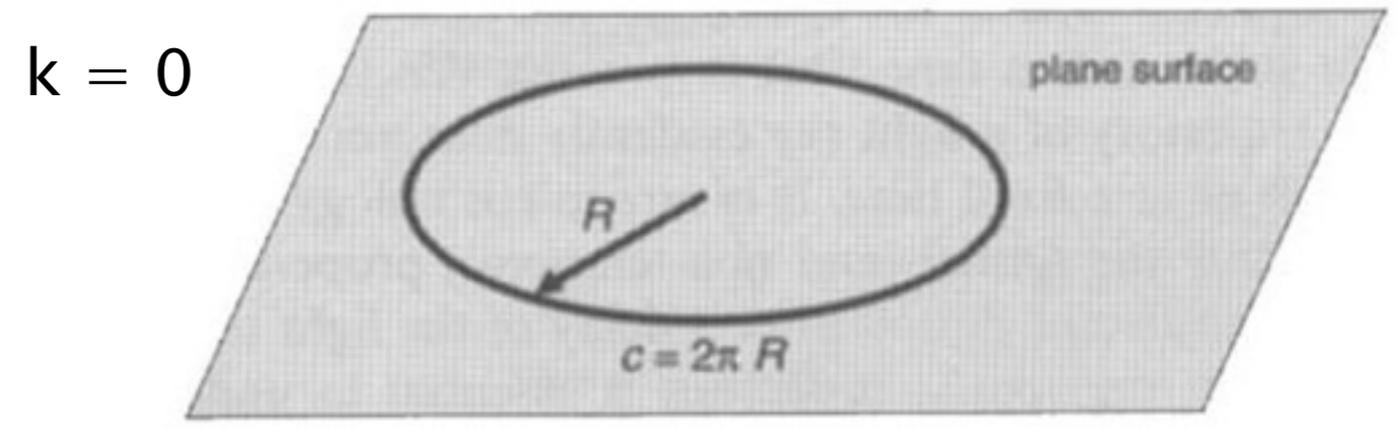
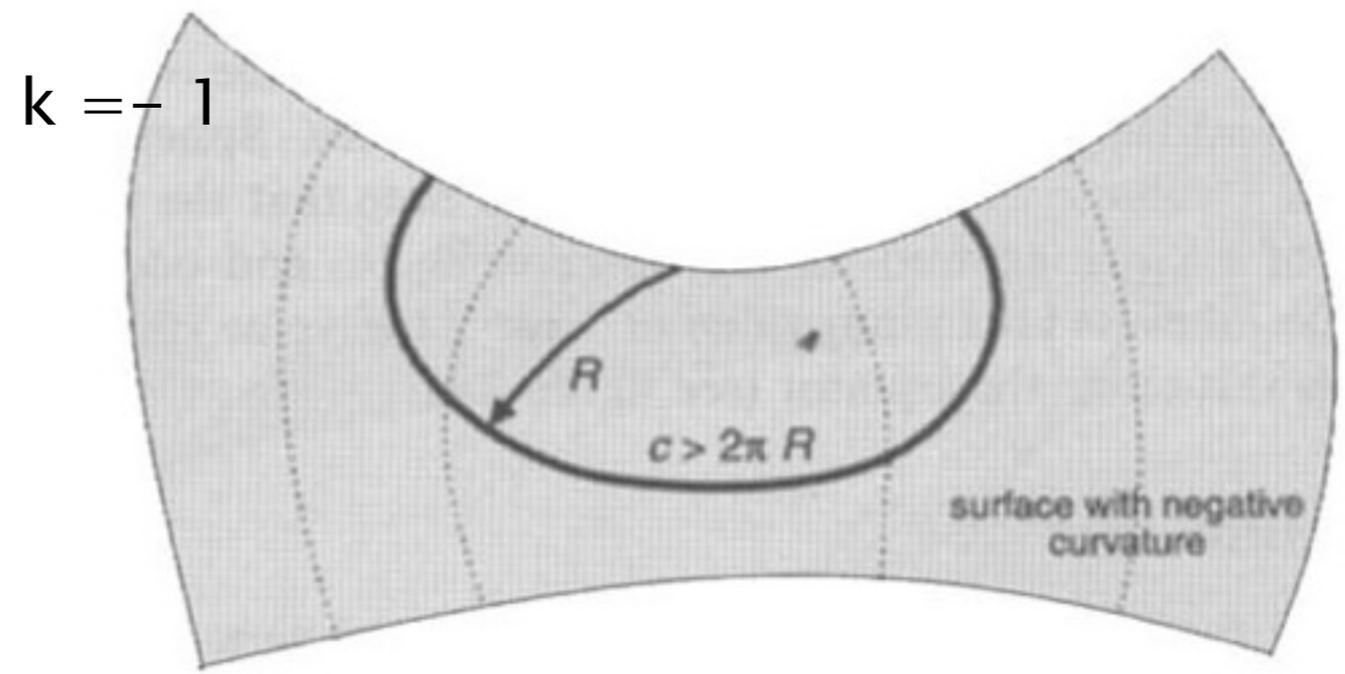
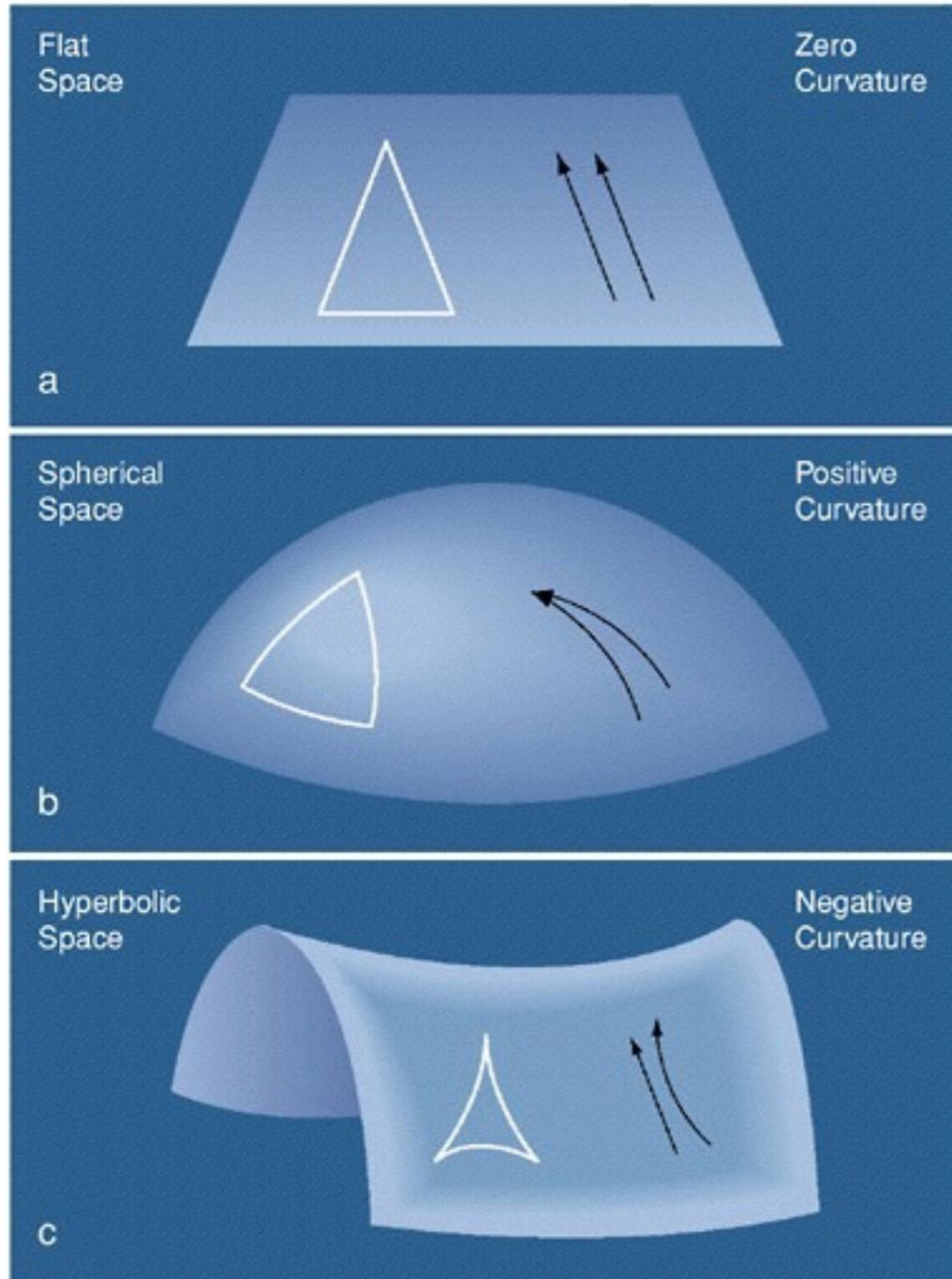
- Alexander Friedman supuso que el universo podía ser descrito por un gas dinámico, homogéneo e isotrópico.
- Obtuvo modelos dinámicos de universos, que podían estar en expansión o contracción de acuerdo con las condiciones iniciales.
- Métrica de FRWL:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - a^2(t) \left[\frac{dr^2}{1 - kr^2} + r^2 (d\theta)^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2 \right].$$

a(t)=factor de escala del Universo



La curvatura del espacio



Ecuación de Friedmann

para la tasa de expansión

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

H – “constante” de Hubble

R - Factor de escala

ρ - densidad del Universo

G, c - constantes

k - constante de curvatura (1,0,-1)

Λ - Constante cosmológica

q - parámetro de desaceleración

para la desaceleración

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

Universo dominado por la materia en el presente

ρ_{crit} – densidad crítica

$$\rho_{crit} = \frac{3H^2}{8\pi G} = 1.96 \times 10^{-29} h^2 [g / cm^3]$$

h – “constante” de Hubble normalizada

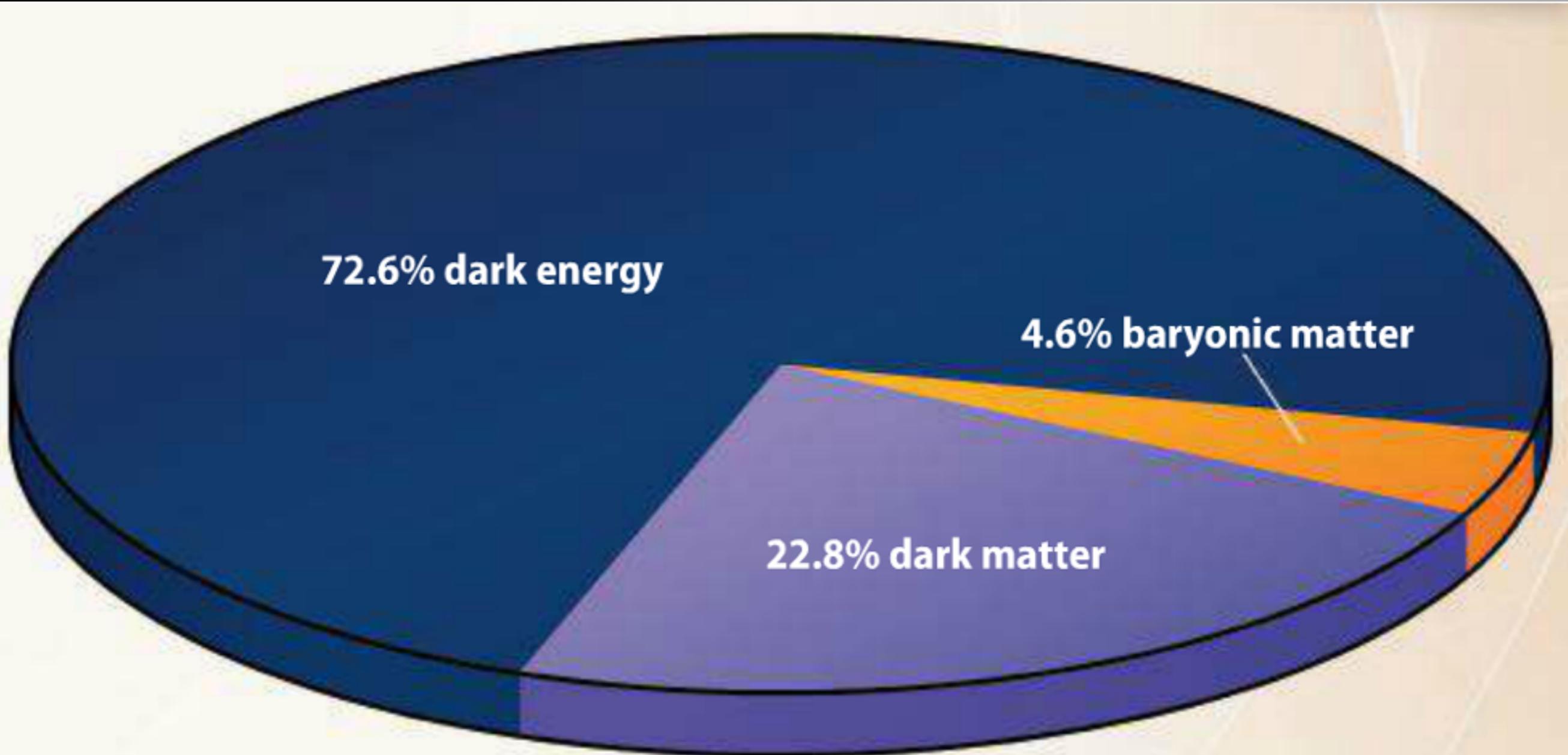
$$h = \frac{H_0}{100 [km / s / Mpc]} = 0.67$$

$$\Omega = \frac{\rho}{\rho_{crit}}$$

¿Cuanto vale Ω ?

$$\Omega = \Omega_M + \Omega_\Lambda$$

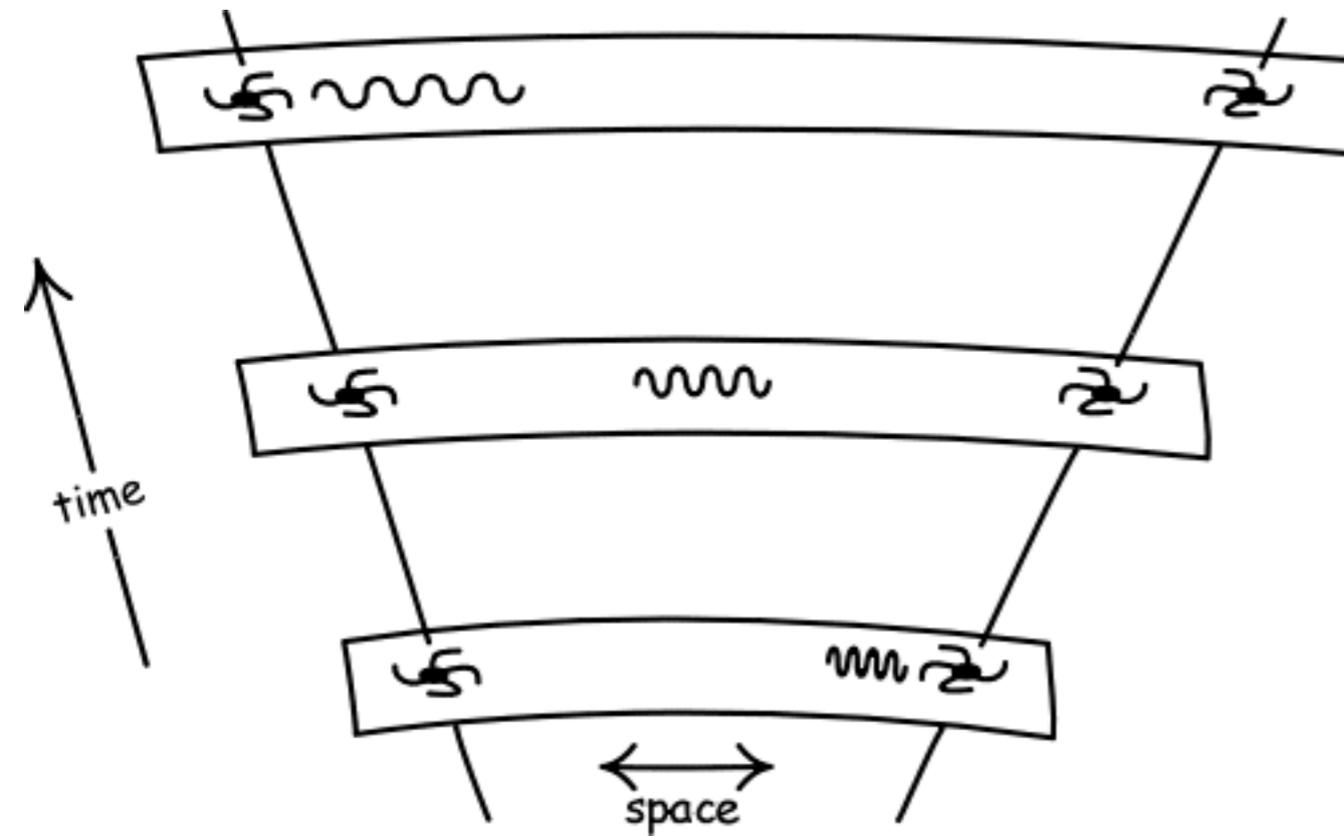
$$\Omega_{Materia} = \Omega_{Barionica} + \Omega_{Oscura}$$



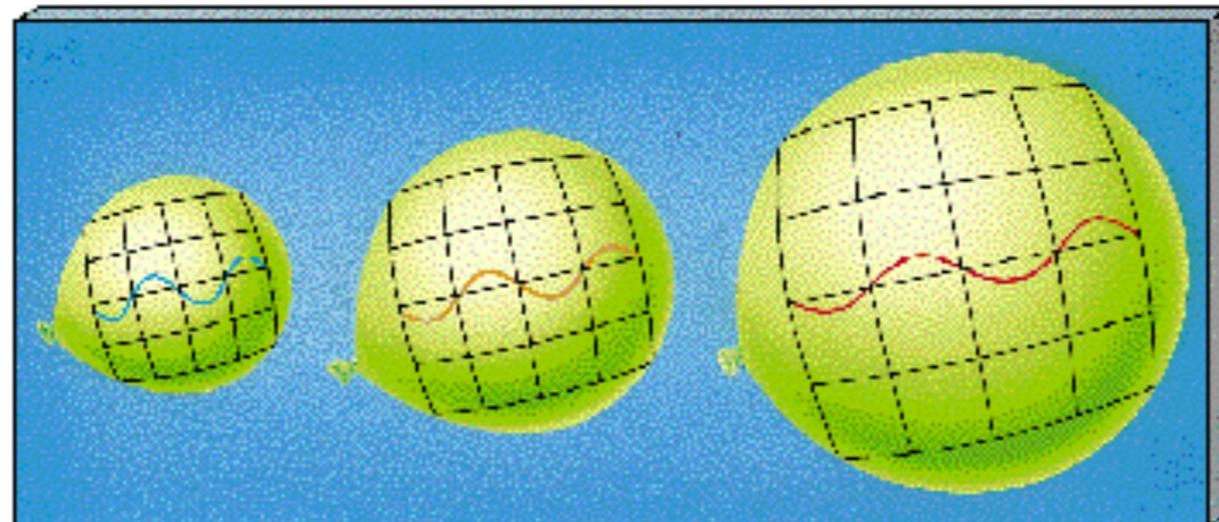
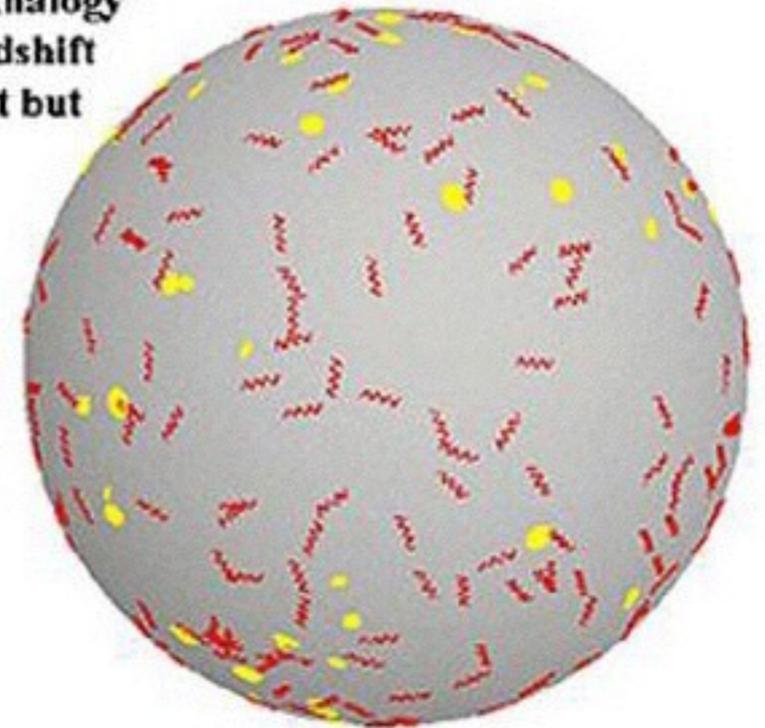
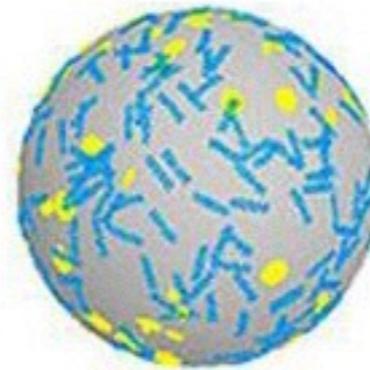
Corrimiento al rojo

El corrimiento al rojo z se define como:

$$\frac{\lambda_{rec} - \lambda_{em}}{\lambda_{em}} = \frac{\lambda_{rec}}{\lambda_{em}} - 1 = z$$

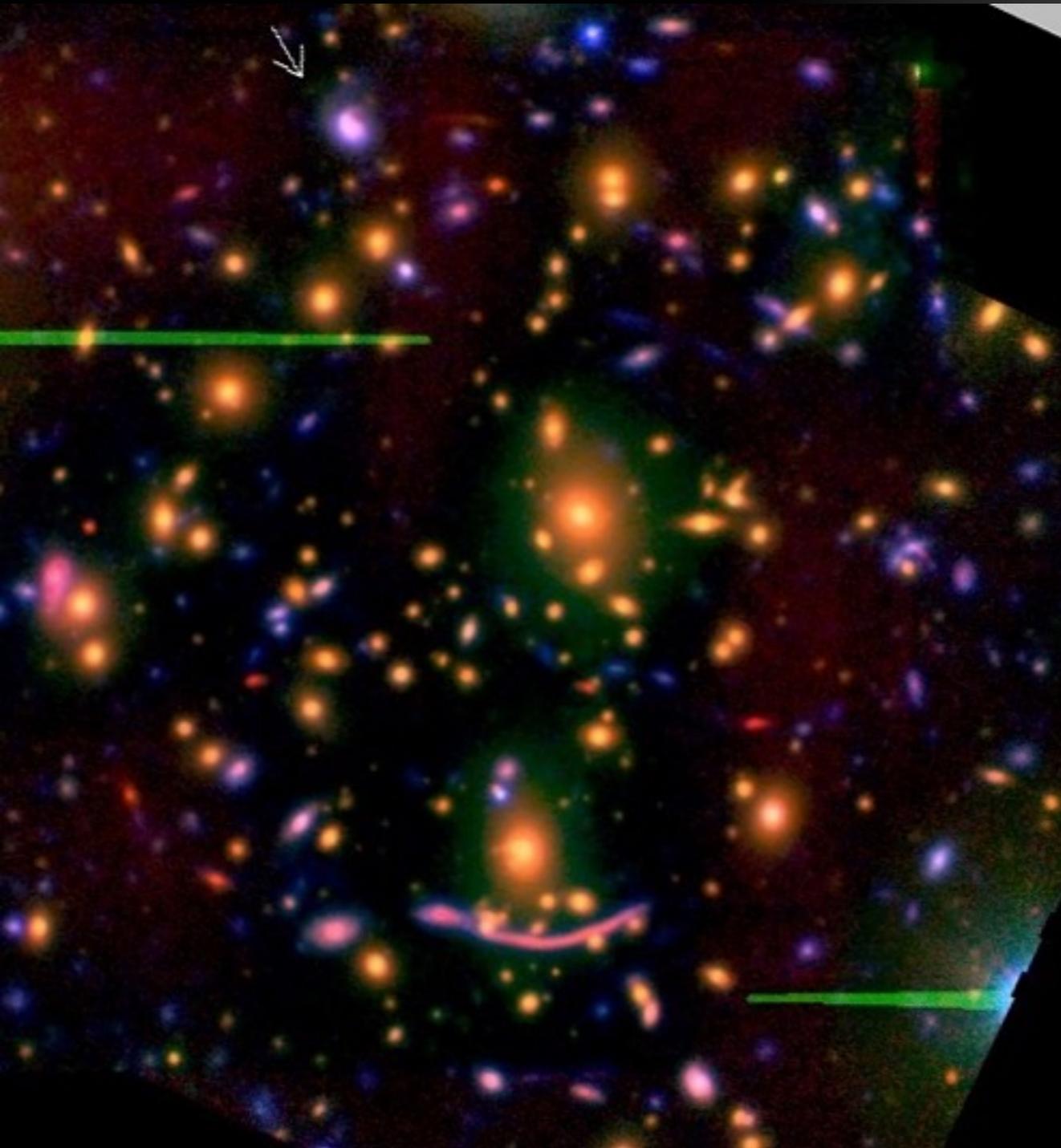


Expanding Balloon Analogy
Photons move and redshift
Galaxies spread apart but stay the same size



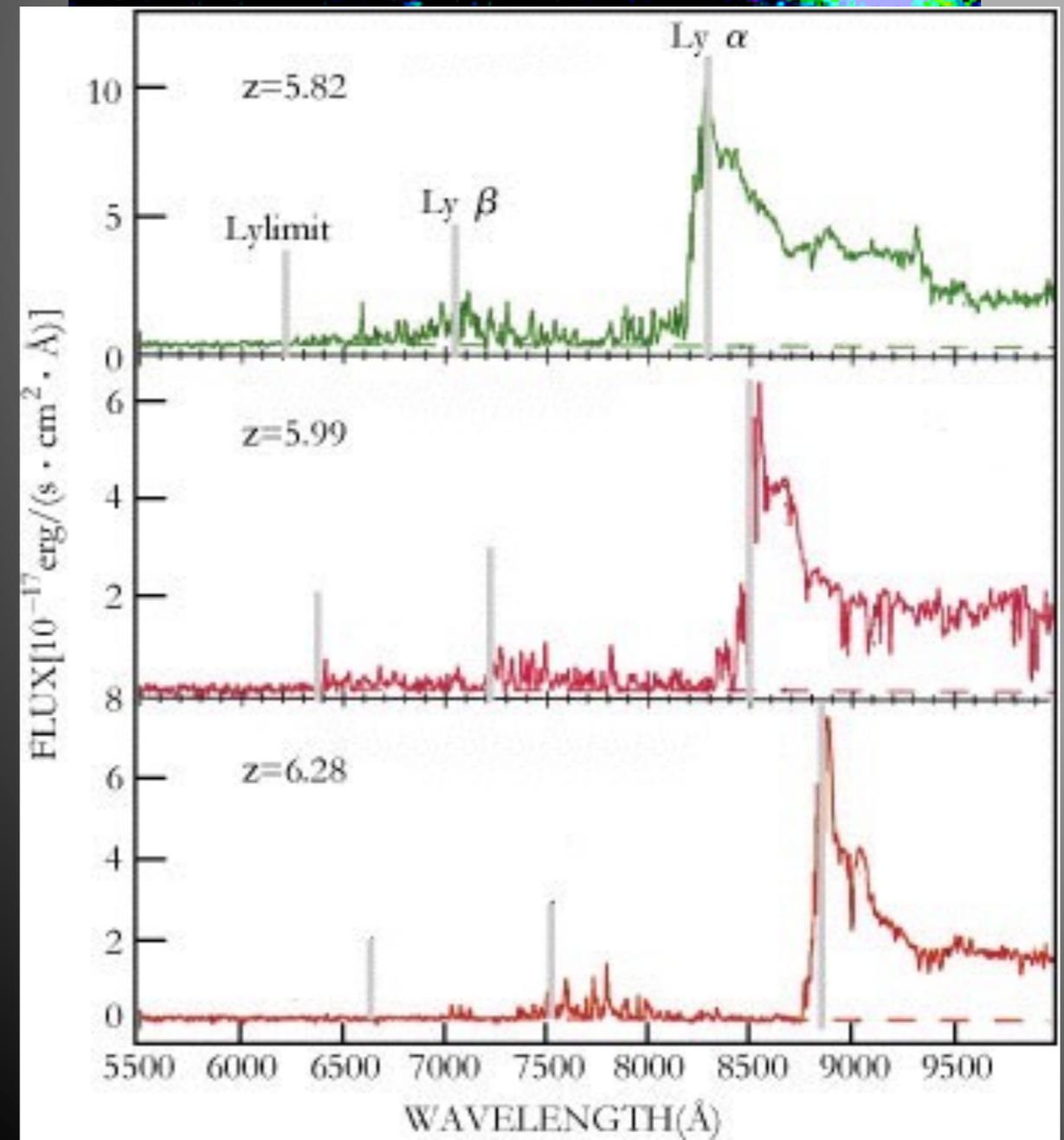
Record en distancias

Quasar más distante $z=6.4$



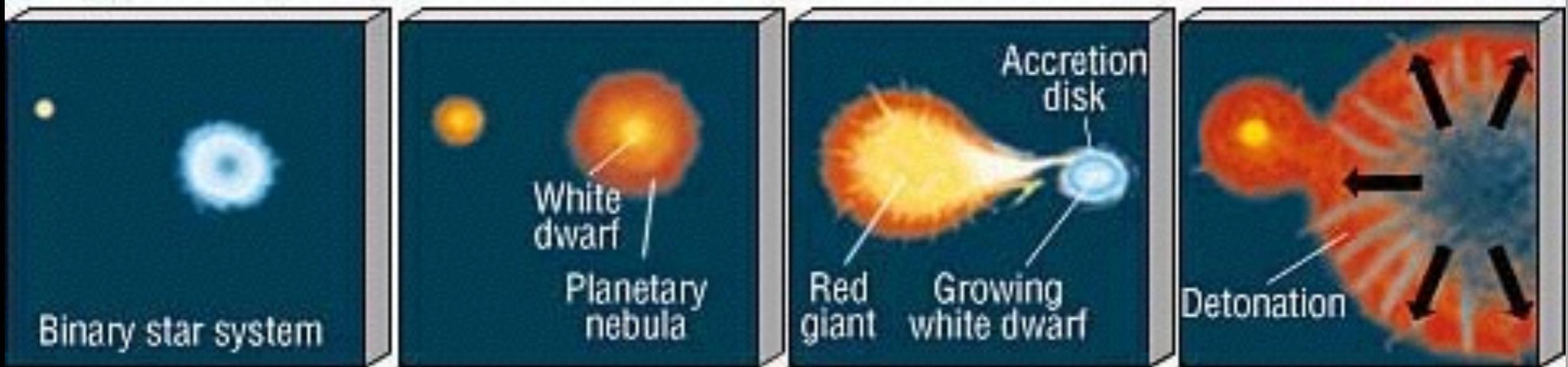
Galaxia más distante $z=6.56$

Lyman α en reposo $\lambda=1216$

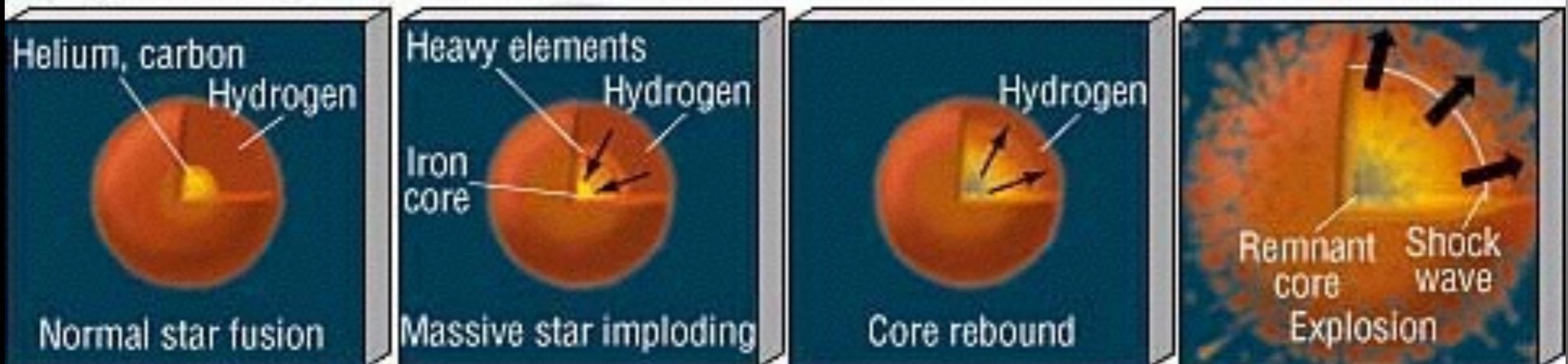


Tipos de SN

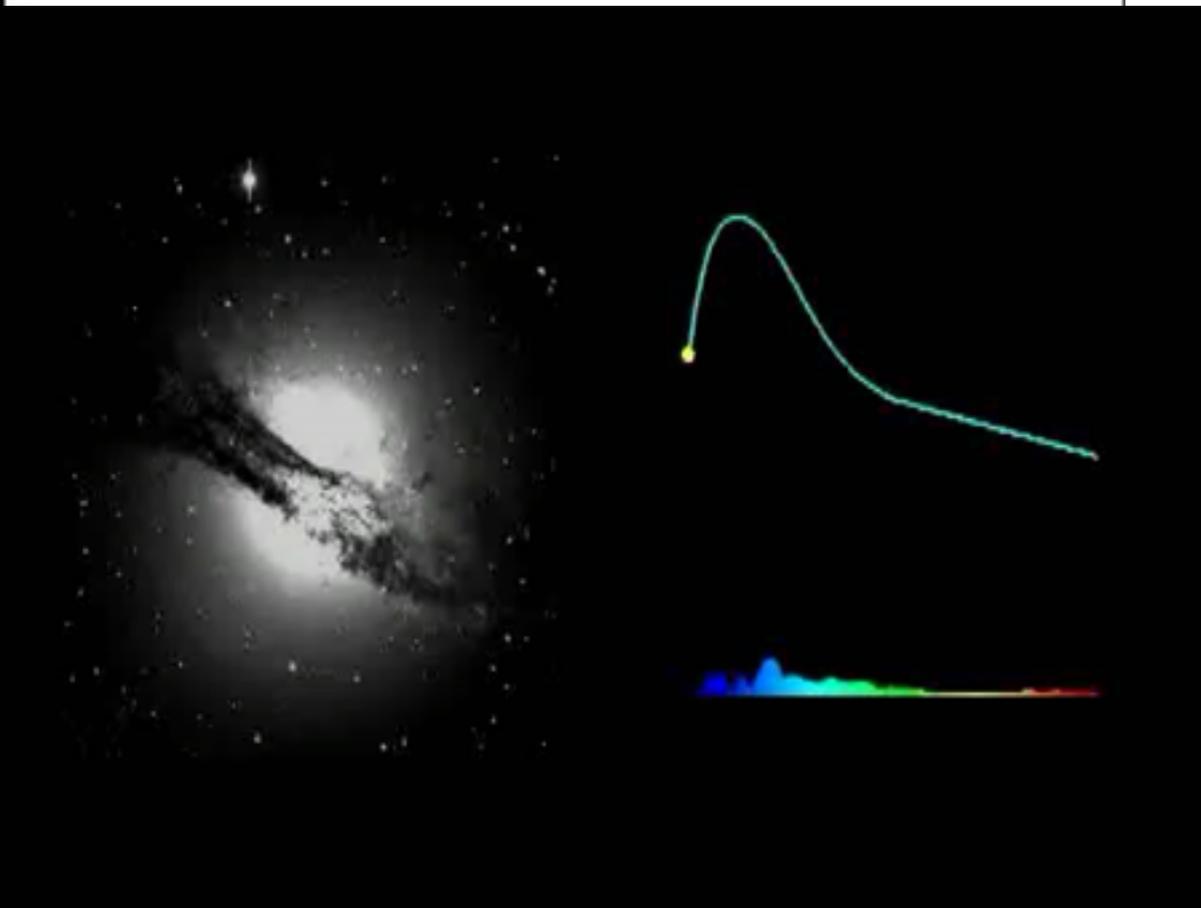
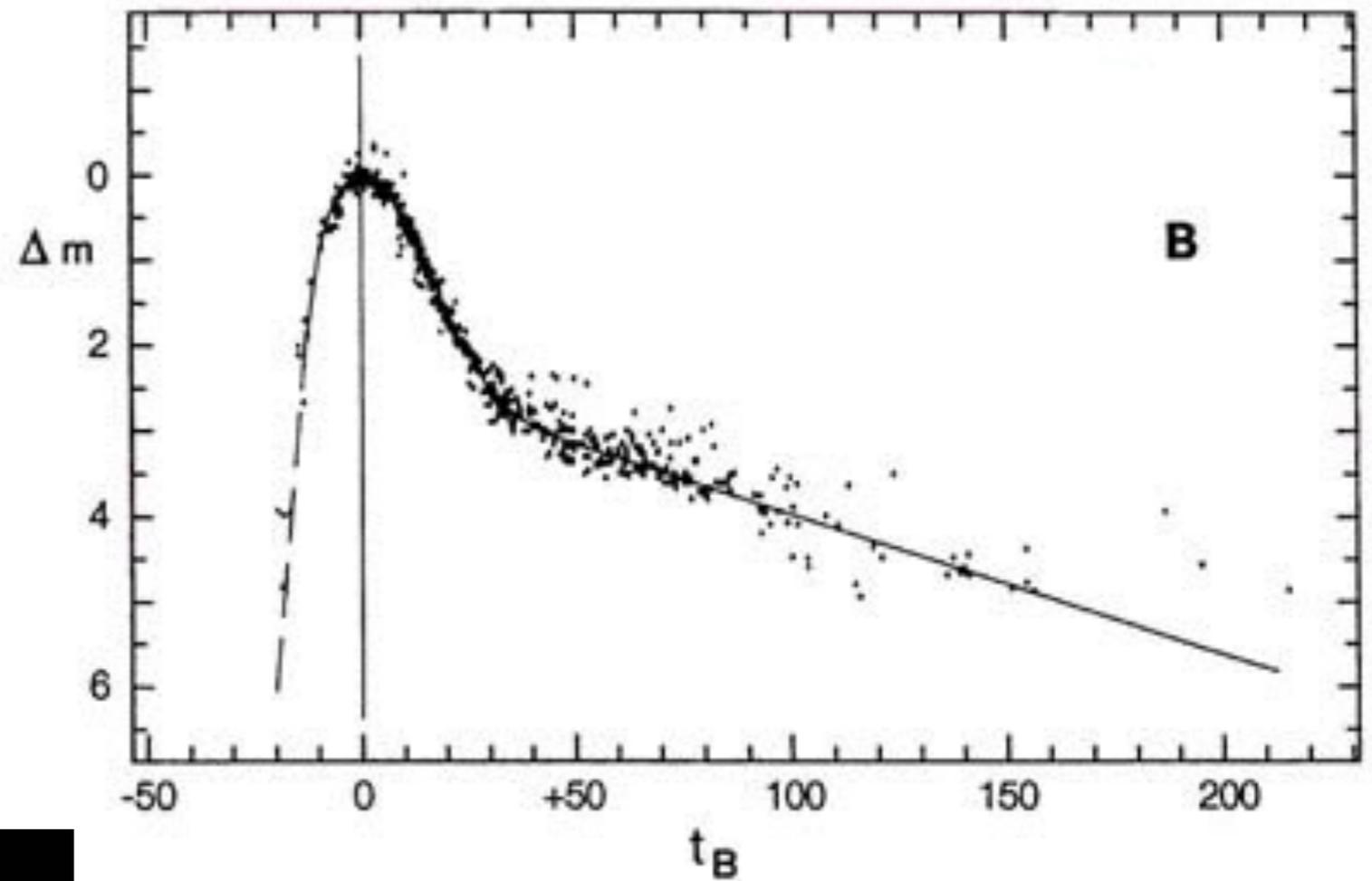
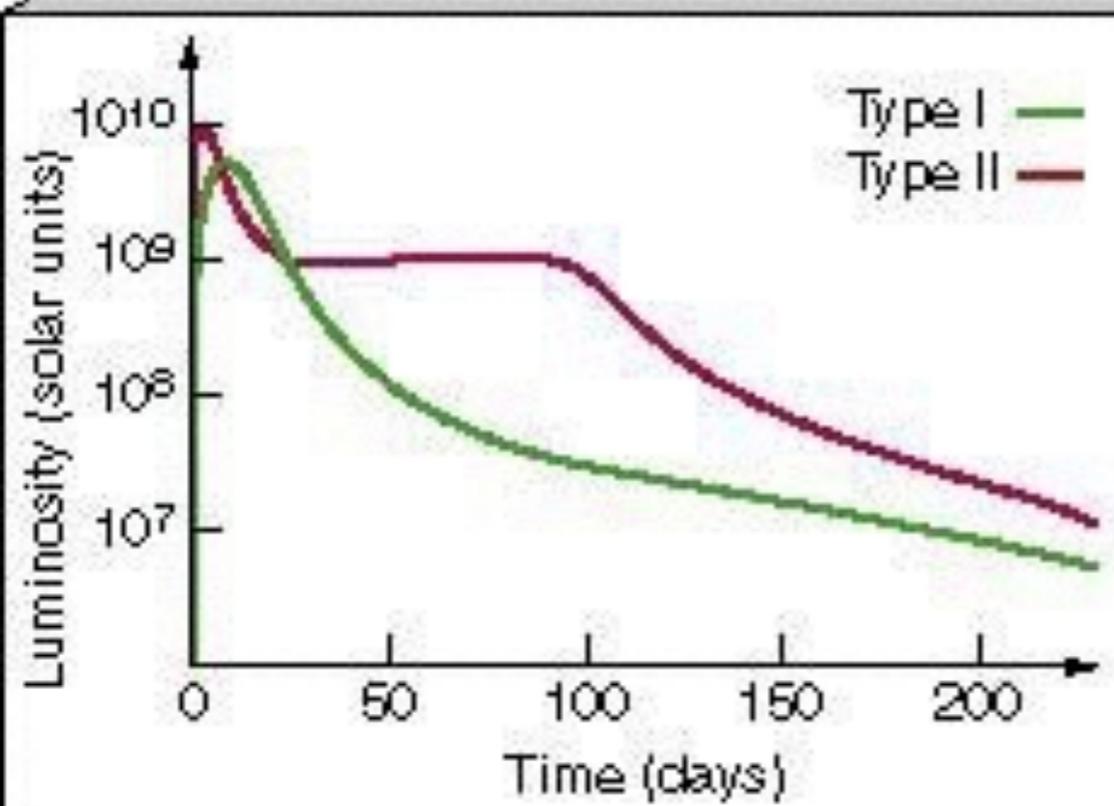
(a) Type- I Supernova



(b) Type- II Supernova



La curva de luz de las SN

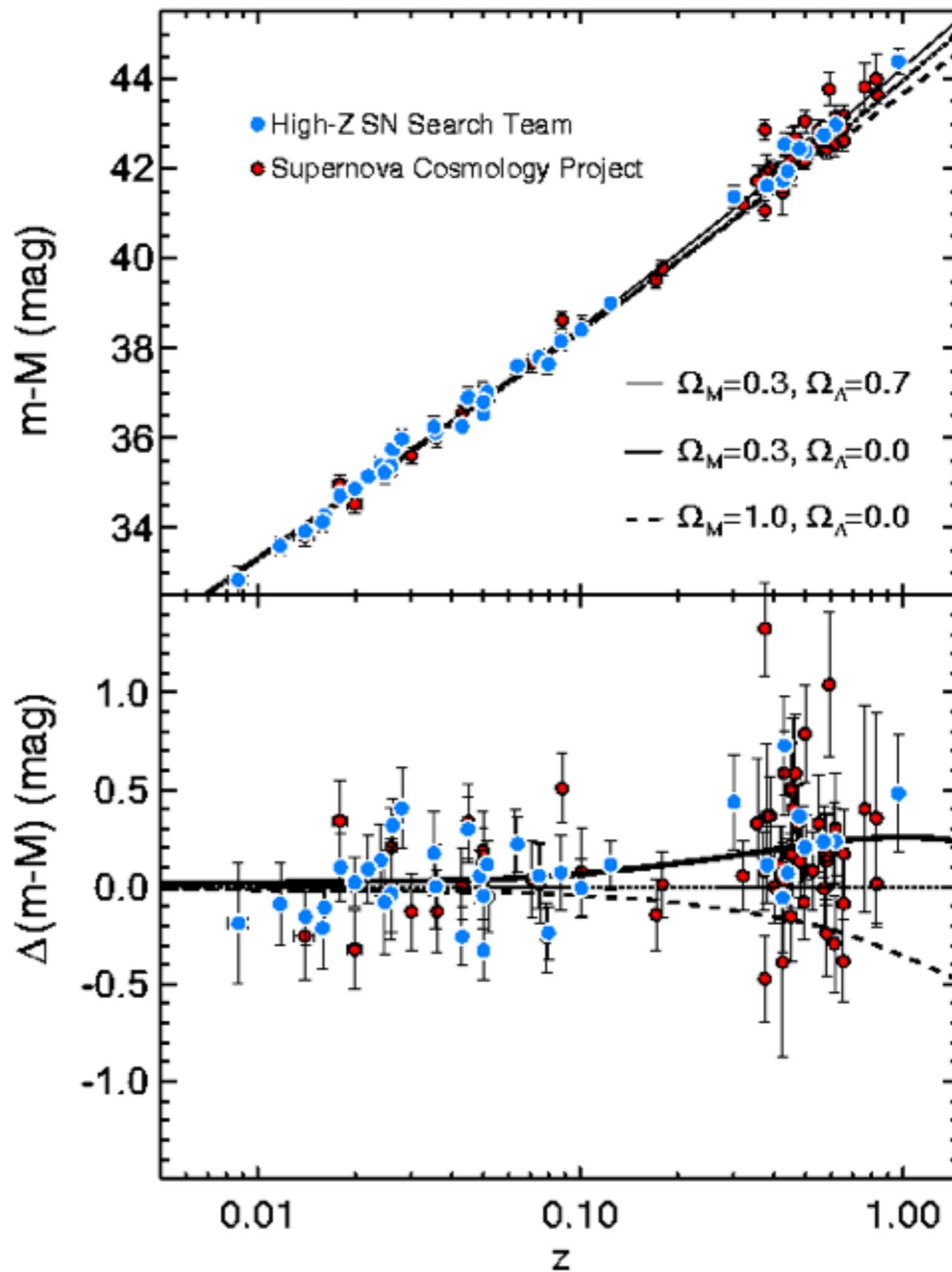
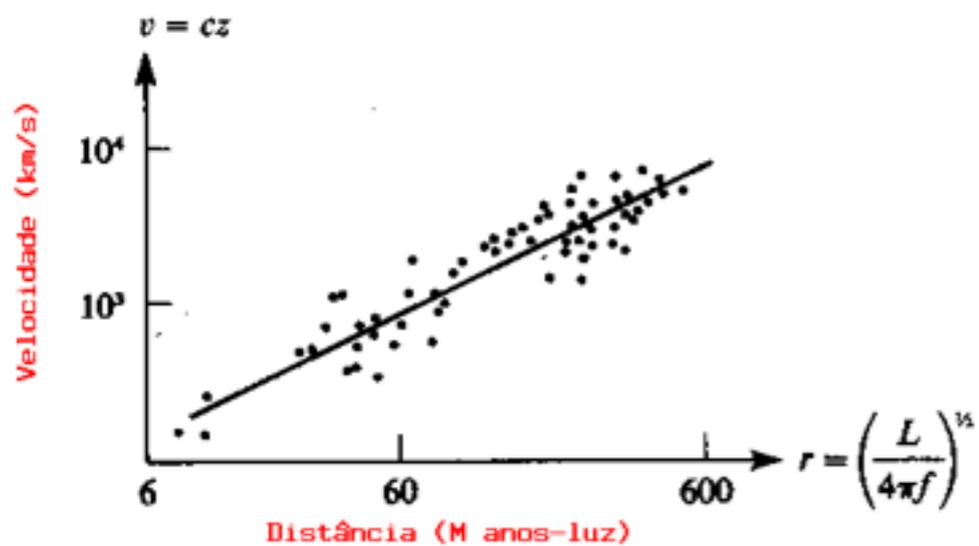


Superposición de la curva de luz de 22 SN

Expansión

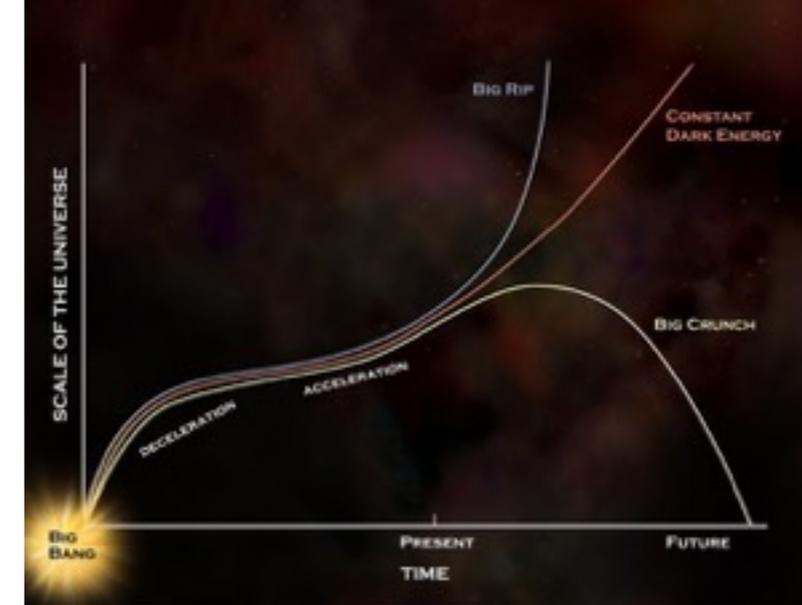


Hubble, 1929



Expansión acelerada

- ▶ Constante cosmológica $\Lambda \neq 0$
- ▶ Campo escalar con ecuación de estado extraña.



$$\frac{\ddot{a}}{a} = - \frac{4\pi G}{3} (\rho + 3p) + \frac{\Lambda}{3}$$

acceleration

gravity

cosmological constant

slows down expansion

speeds up expansion

The Equation of State of Dark Energy

Equation of state: pressure = w x density.

Ordinary matter: $w = 0$ ($\rho \sim 1/V \sim a^{-3}$)

Relativistic matter: $w = 1/3$ ($\rho \sim a^{-4}$)

Possibilities for Dark Energy:

- **Cosmological constant:** constant pressure ($w = -1$)
- **Quintessence:** a relaxing quantum field ($-1/3 > w > -1$)
- **Exotic solid matter:** strings and walls ($w = -1/3, -2/3$)
- **Phantom energy:** repulsive gravity ($w < -1$)

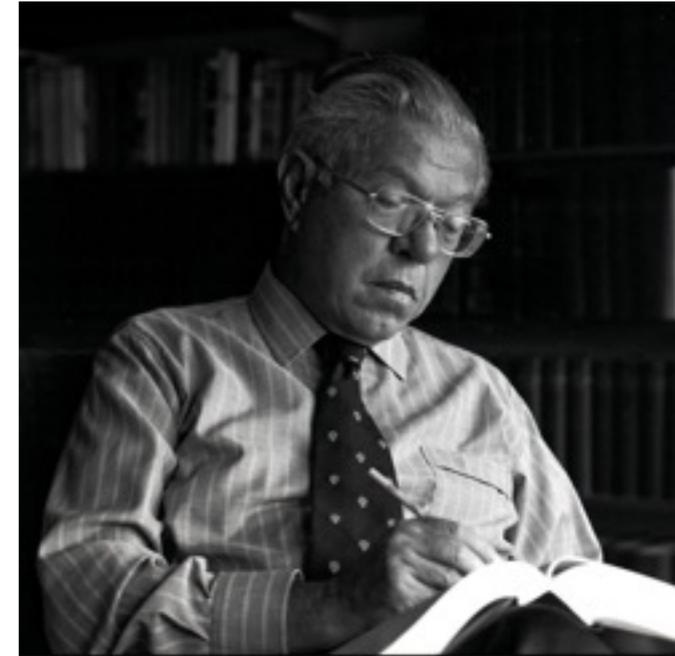
- ▶ Otras teorías de la gravitación: $f(R)$, $f(T)$, STVG.

Volveremos sobre esto, ya que hay hipótesis teóricas implícitas. La aceleración no es un observable.

El retorno de la creatio ex-nihilo: estado estacionario

(Bondi & Gold 1948, Hoyle 1949).

- ▶ Principio Cosmológico Perfecto: el universo es isótropo y homogéneo en el espacio y el tiempo.
- ▶ La expansión observada requiere modificar la ley de la gravitación.
- ▶ Para mantener la homogeneidad temporal se reintroduce la creatio ex-nihilo.

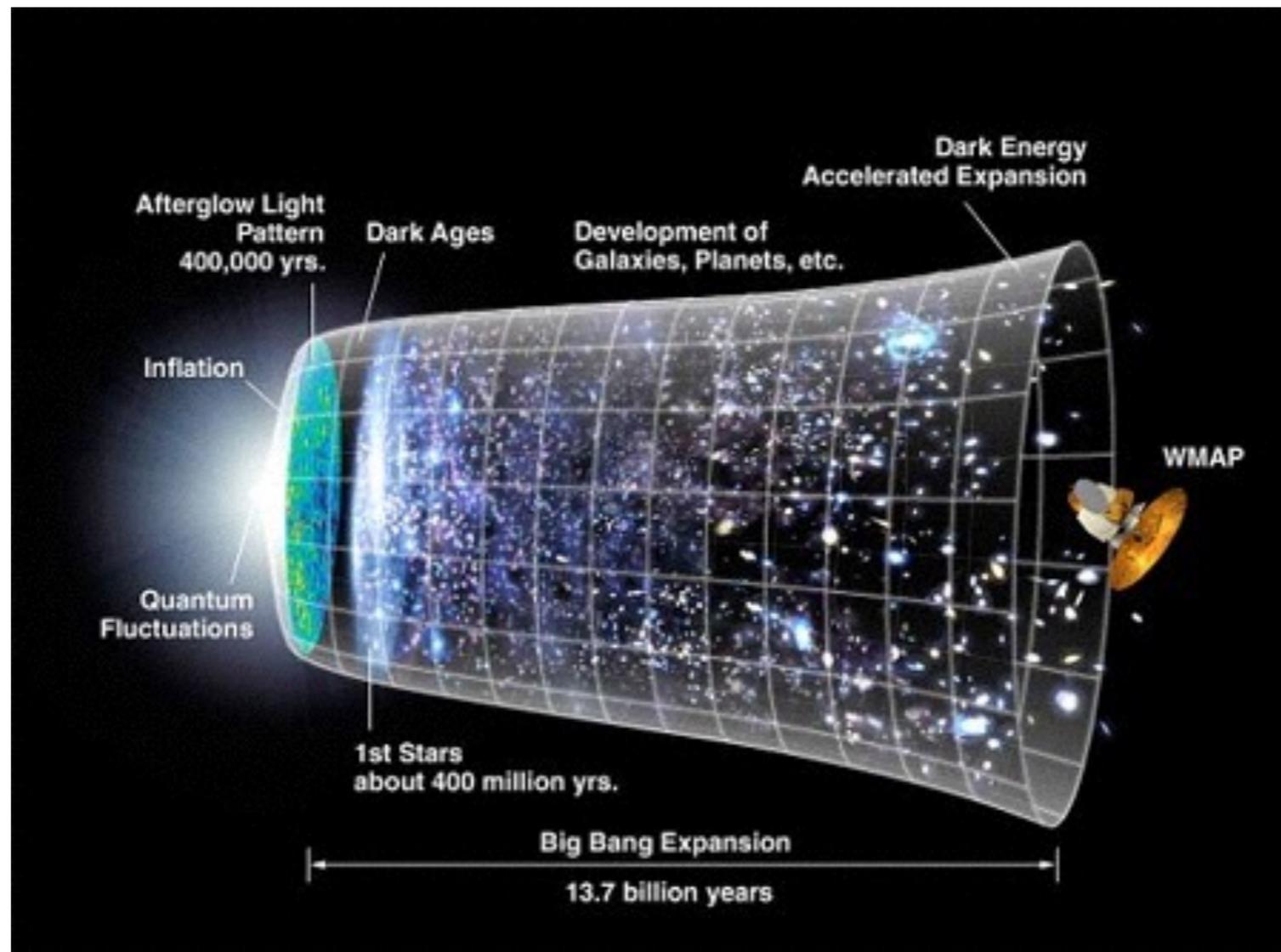


Fred Hoyle

Para una crítica filosófica ver Bunge (1962, *The Monist*).

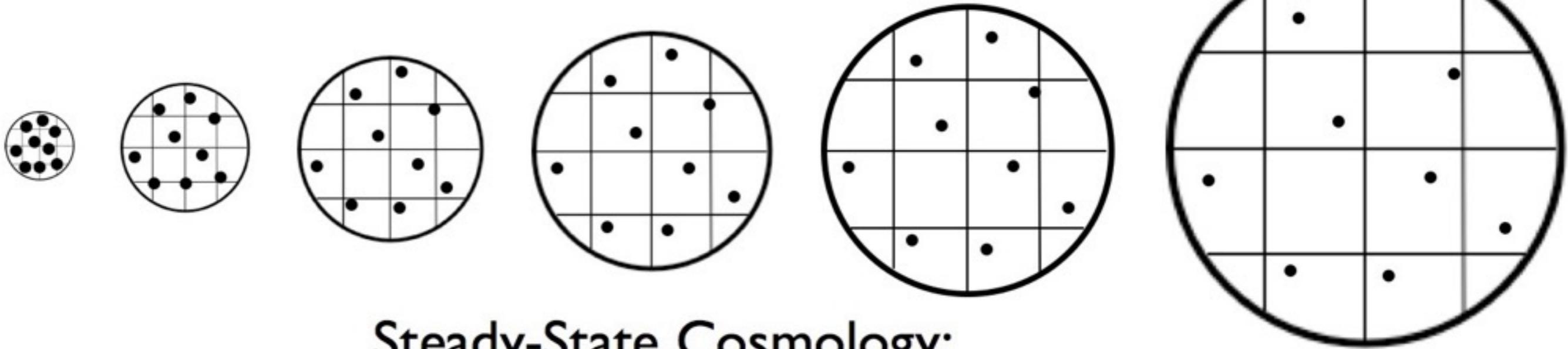
La teoría del Big Bang

- ▶ El Universo en el pasado fue más caliente y denso. Por tanto, no satisface el Principio Cosmológico Perfecto.



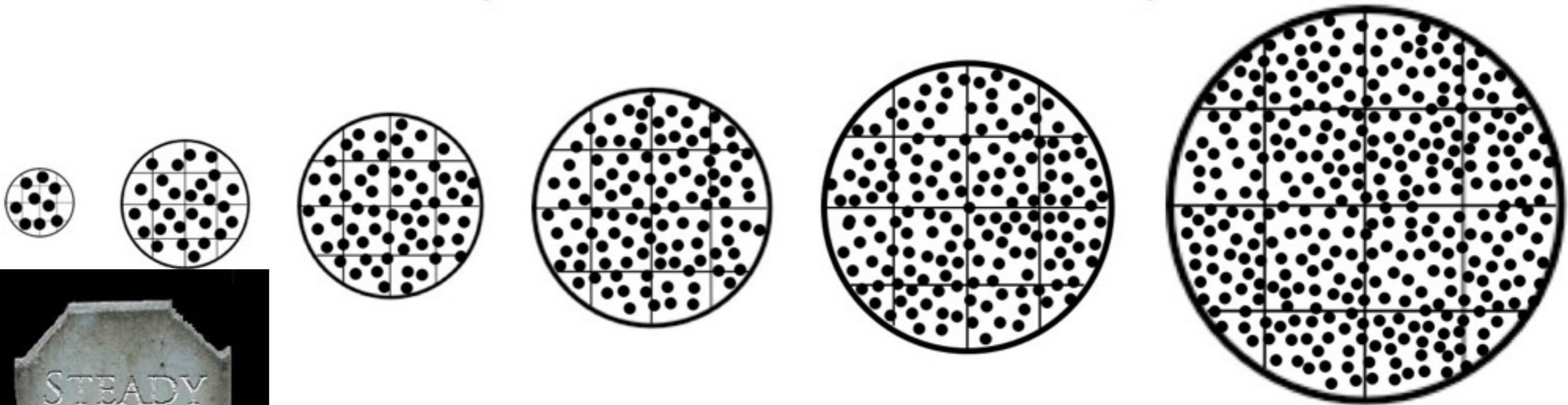
Big Bang Cosmology

Matter dilutes as the Universe expands



Steady-State Cosmology:

Matter is constantly created as the Universe expands

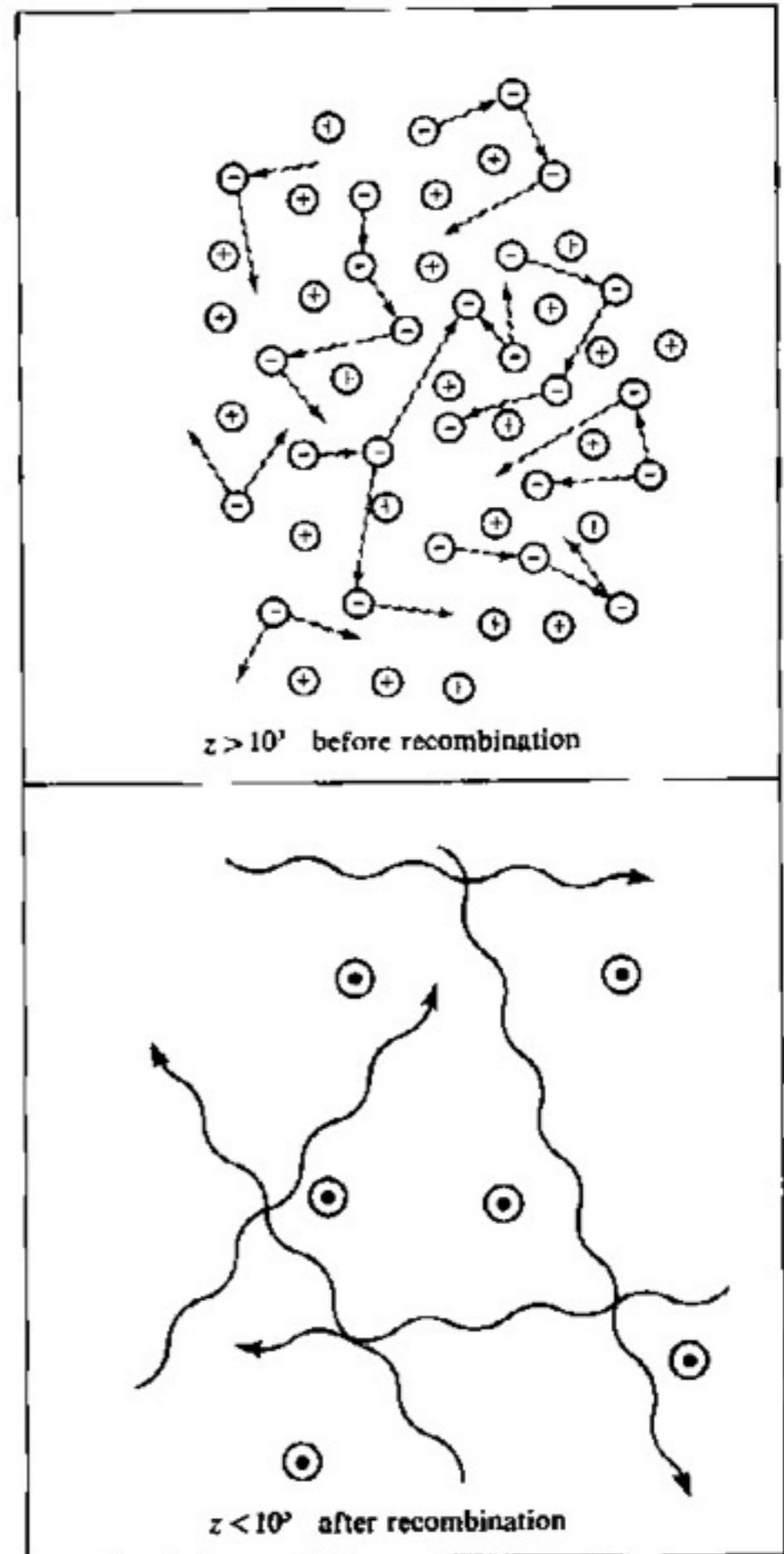


Epóca dominada por la radiación
Acoplamiento materia – radiación

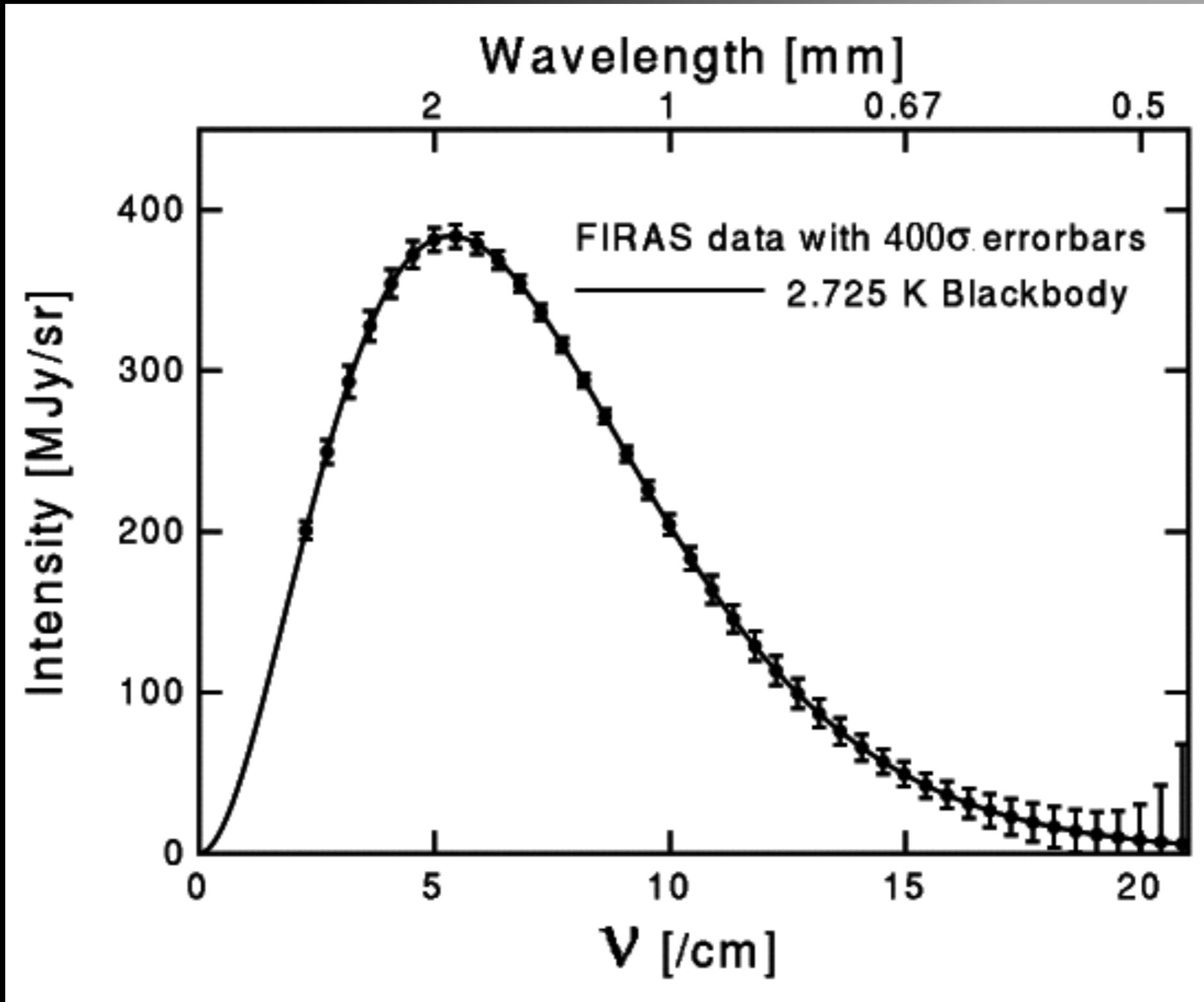
“Recombinación” y
desacople materia – radiación



Debería existir una radiación universal
de fondo, con un espectro de cuerpo
negro



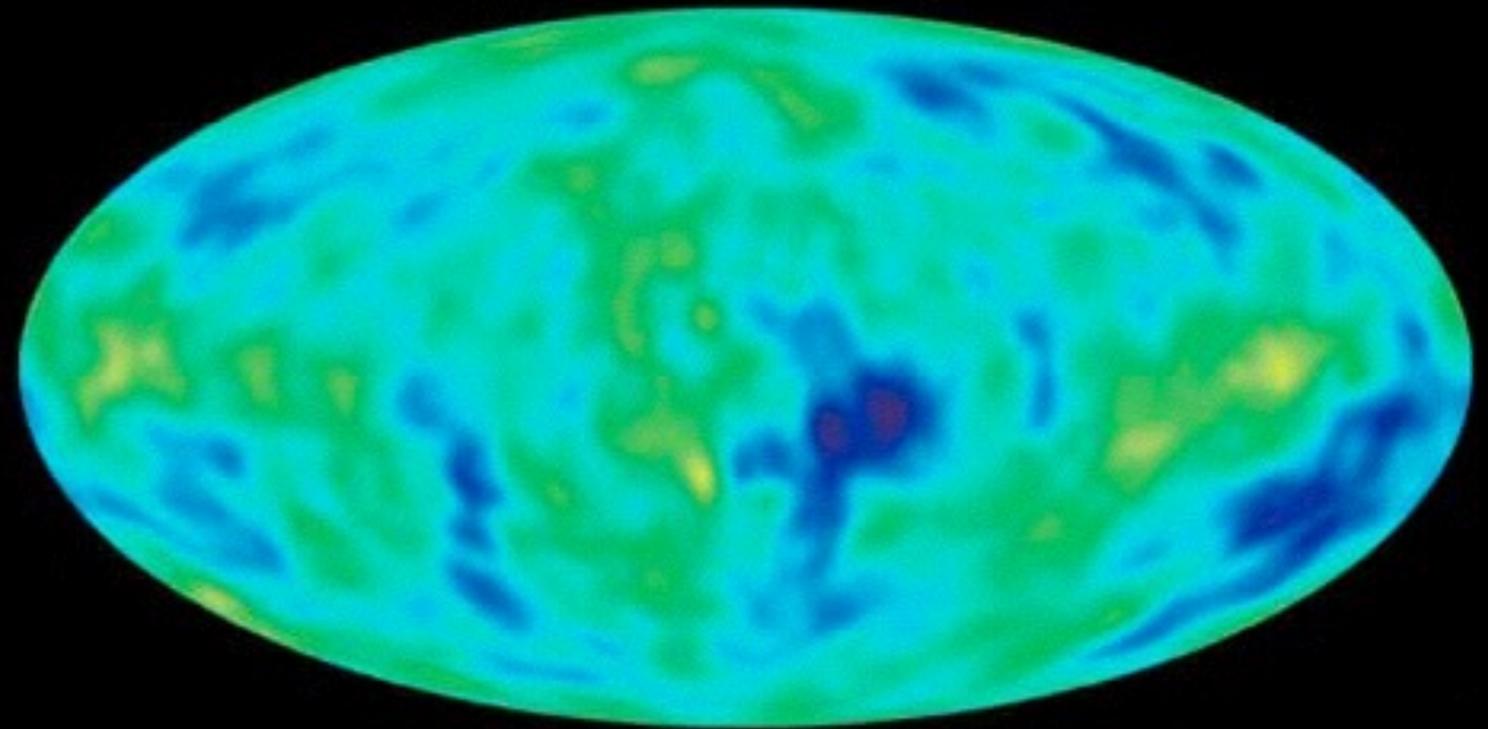
La radiación cósmica de fondo



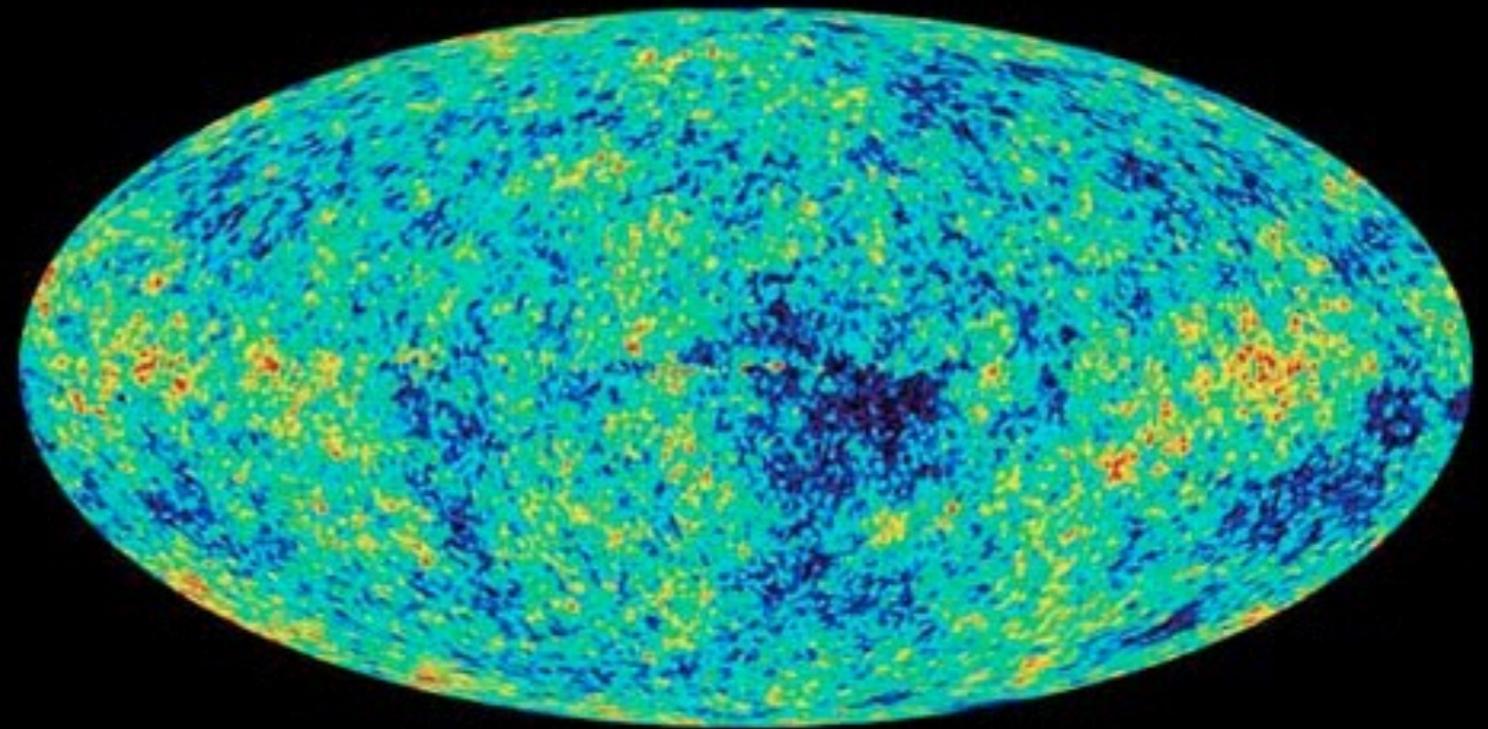
Comparación de los mapas elaborados con datos de COBE y WMAP

Resultados del WMAP

- Las primeras estrellas se formaron 200 millones de años luego del Big Bang.
- La radiación cósmica de fondo se originó 379,000 años después del Big Bang.
- $H_0 = 71 \pm 4 \text{ km/sec/Mpc}$



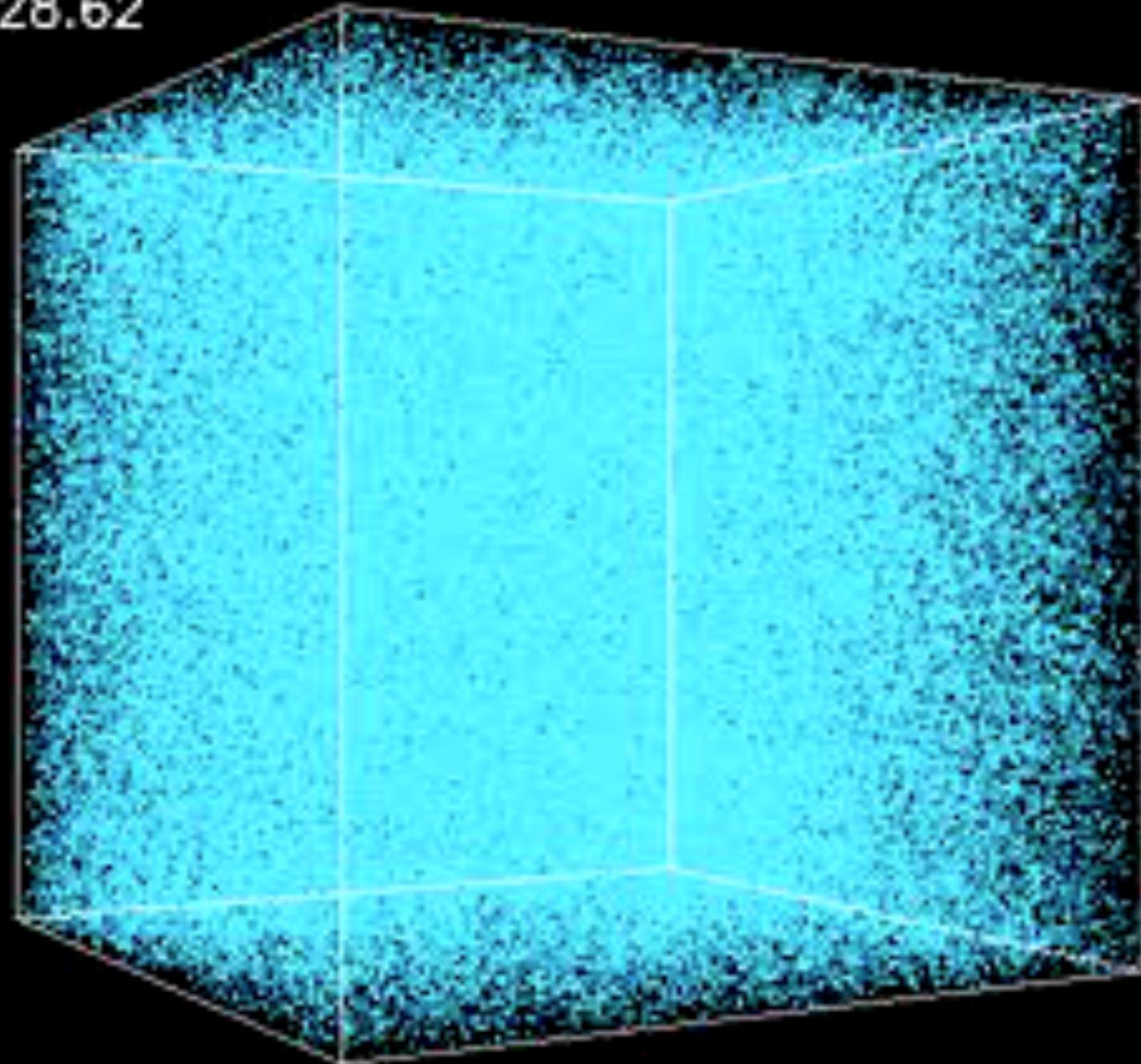
COBE



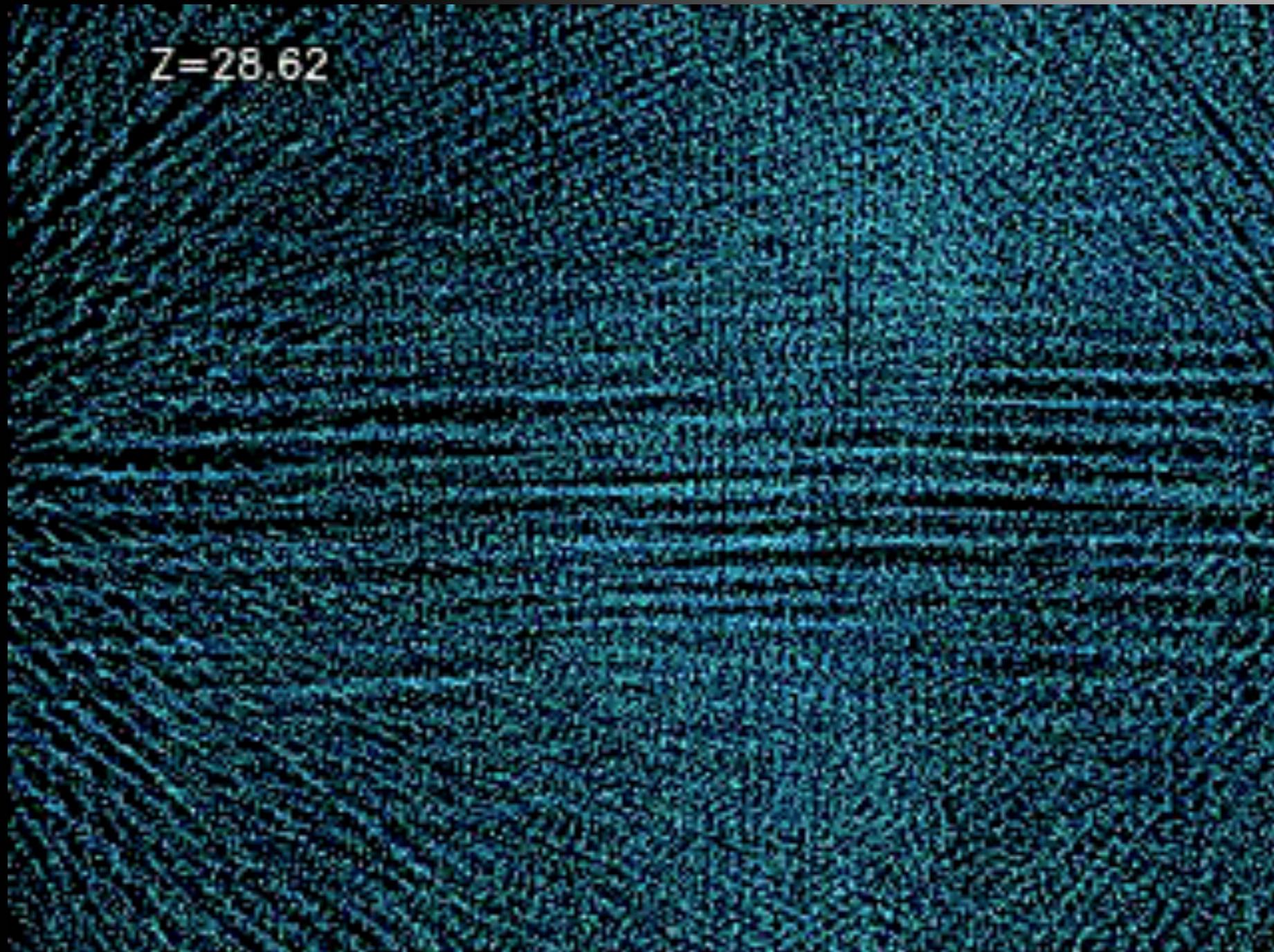
MAP

Formación de estructuras

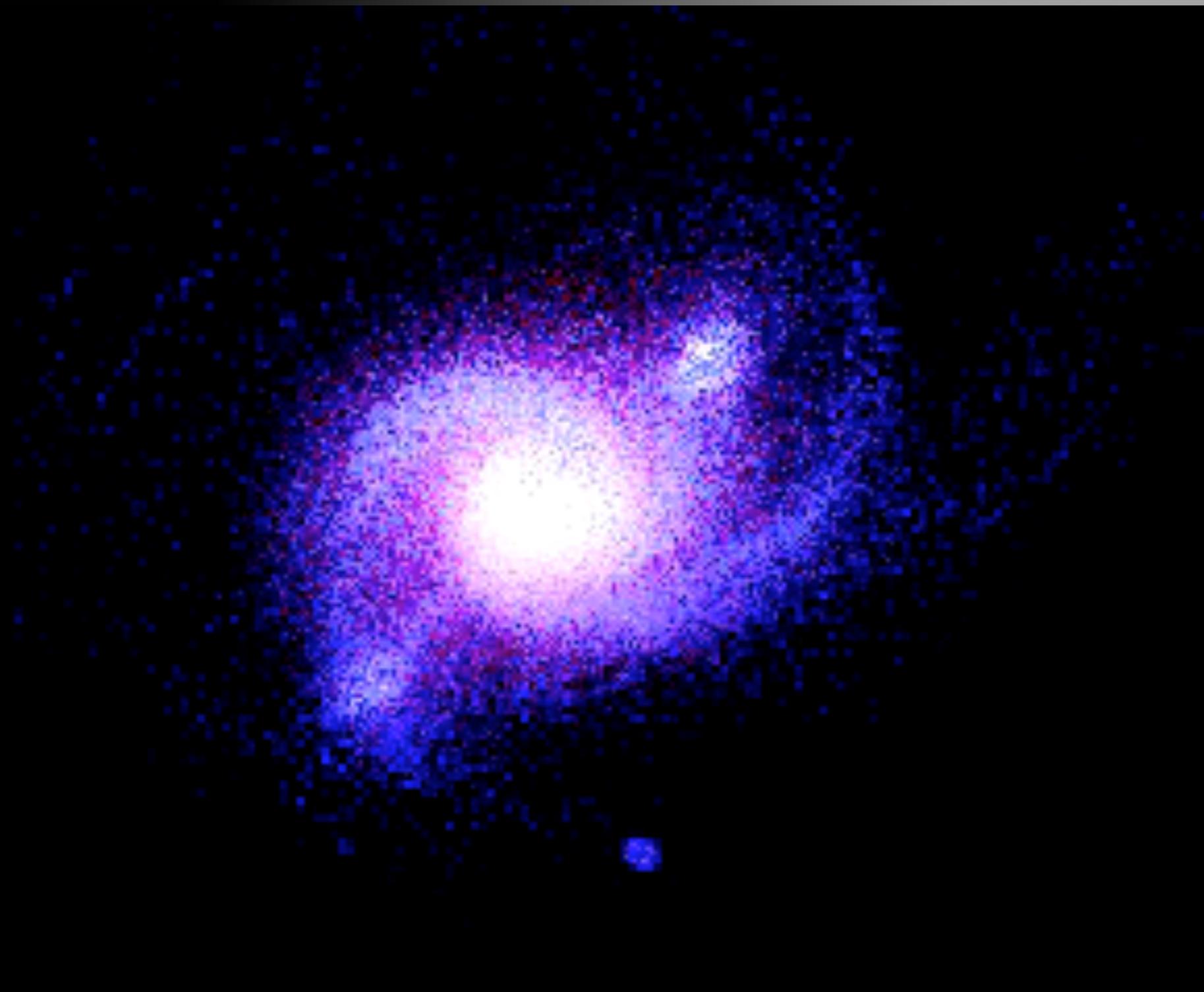
$Z=28.62$



Formación de estructuras



Formación de estructuras



Creacionismo:

la vuelta del argumento cosmológico

- ▶ 1. Todo lo que comienza a existir tiene una causa.
- ▶ 2. El universo comenzó a existir.
- ▶ Por lo tanto el universo debe tener una causa.

(Versión de W. L. Craig)

Problemas

- La premisa 1 es falsa: la causalidad es una relación entre eventos, no cosas. Si se reinterpreta como que todo evento tiene una causa, es falsa también. Hay evento no causales, como el decaimiento de un muon, la des-excitación de una átomo, etc.
- La premisa 2 no es apoyada por evidencia alguna. En particular, no es apoyada por la teoría del Big Bang.

Luego, la conclusión es falsa. De hecho si uno entiendo por “universo” la totalidad de los eventos, entonces la conclusión es una contradicción semántica, ya que implica la existencia de un evento fuera de la totalidad de los eventos.

Adversus singularitate

- ▶ Un modelo de espacio-tiempo se dice singular si contiene al menos una curva que es geodésicamente inextendible.
- ▶ Los modelos de FRWL son singulares bajo ciertas condiciones.
- ▶ Ello no significa que existan objetos no-causales llamados “singularidades”, sino que los modelos son incompletos.

Los llamados **teoremas de singularidades** (e.g. Hawking & Penrose 1971) no son teoremas que impliquen la existencia física de “singularidades”.

La existencia material no puede ser implicada formalmente.

Los teoremas de existencia implican que bajo ciertas suposiciones hay funciones que satisfacen ciertas ecuaciones, o que ciertos conceptos pueden ser formados bajo ciertas reglas.

Los teoremas de este tipo afirman ciertas propiedades de algún sistema formal de lenguaje. Esas posibilidades, aunque no obvias en muchos casos, son siempre implicadas por las suposiciones del sistema.

En el caso de los teoremas de singularidades de teorías de campo clásicas como la RG, lo que se implica es que bajo ciertas hipótesis las soluciones de las ecuaciones de Einstein son defectuosas más allá de cualquier posibilidad de reparación.

La correcta interpretación de estos teoremas es que señalan la incompletitud de la teoría:

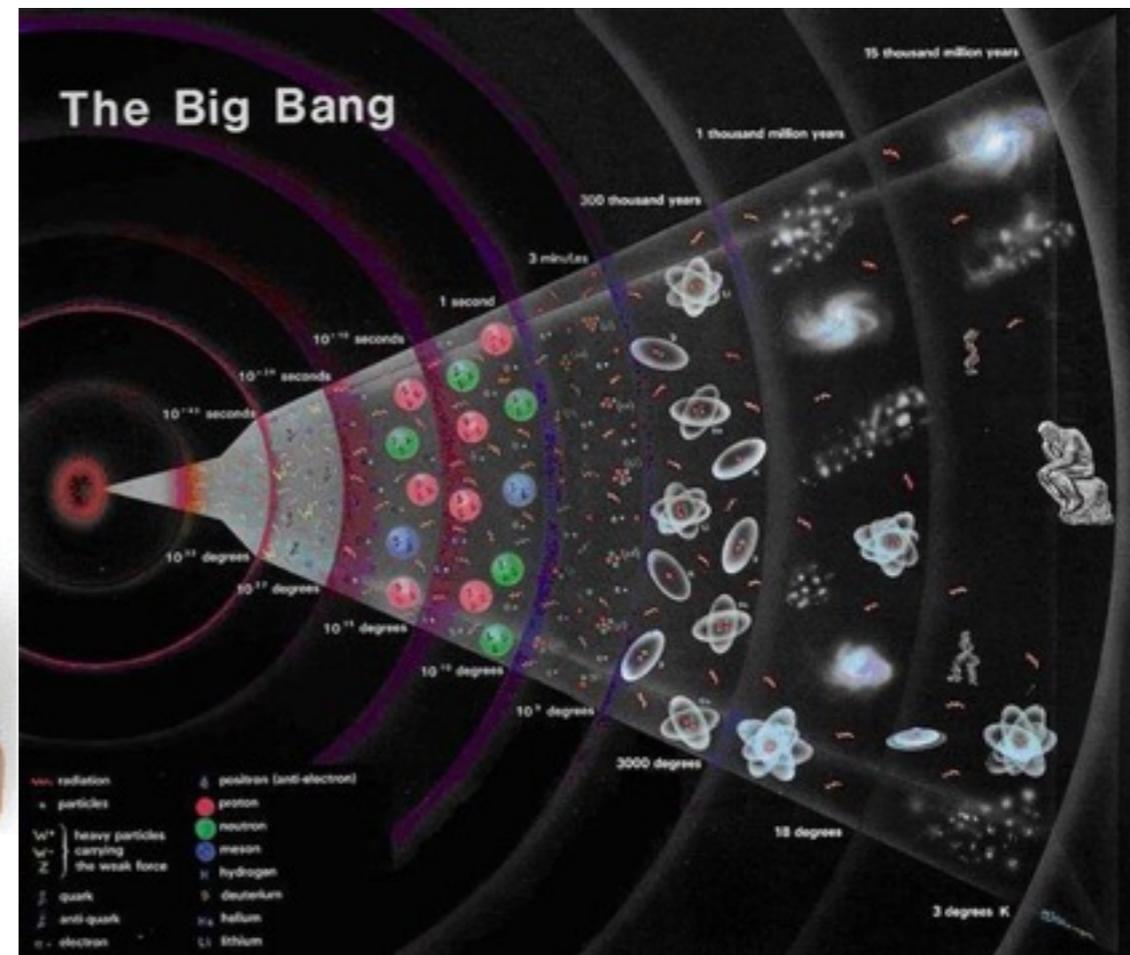
Hay enunciados que no pueden hacerse dentro de la teoría, bajo ciertas condiciones.

En este sentido, y sólo en él, los teoremas se asemejan a los teoremas de incompletitud de Gödel.

El Argumento Antrópico

(nueva versión del Argumento de Diseño)

El universo y la vida son demasiado improbables como para ser un evento puramente natural. Si las constantes de la naturaleza fueran ligeramente diferentes, la vida no sería posible. La vida es posible, luego algún “ajuste fino” debió actuar para generar el universo.



Problemas

¿Cuán probable es la vida en un universo arbitrario?

Cálculo empírico:

Número de universos observado = $NO = 1$

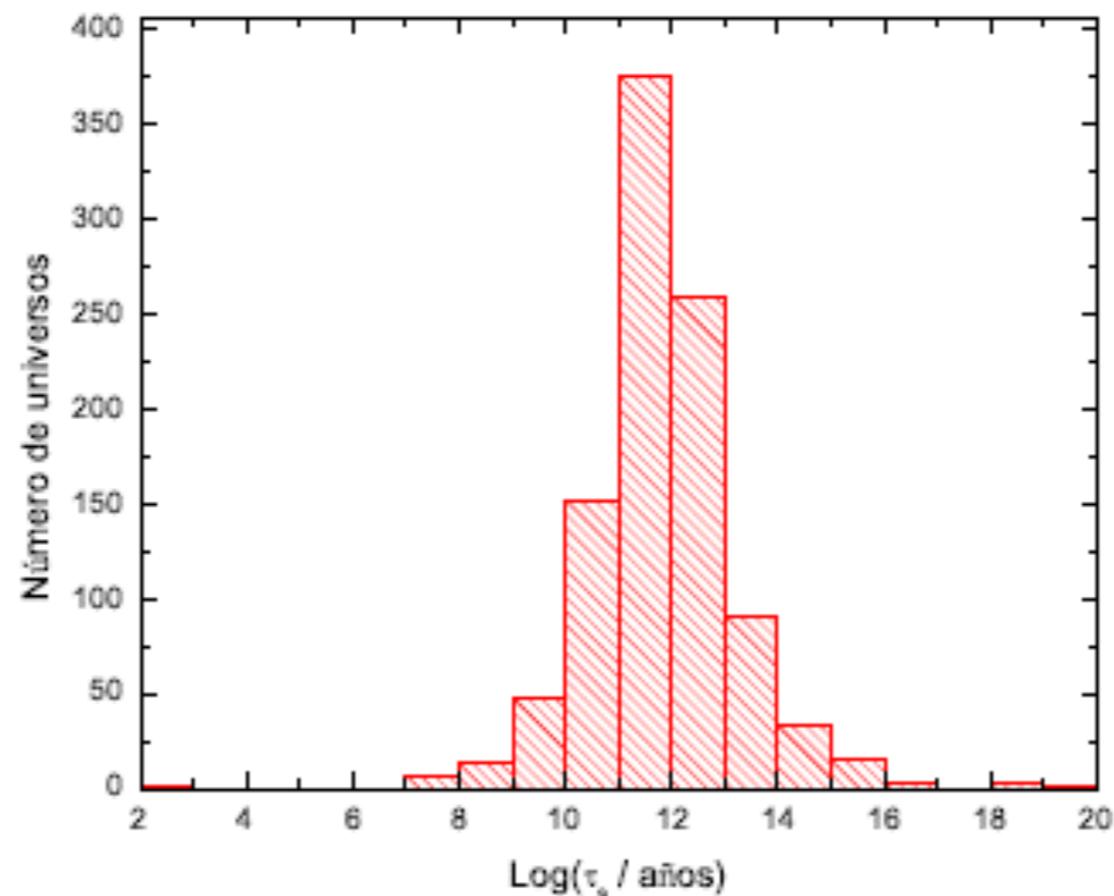
Número de universos con vida = $NL = 1$

**Probabilidad de que un universo cualquiera tenga vida
= $NL / NO = 1 = 100\%$**

... Pero el error estadístico es grande!.

Problemas

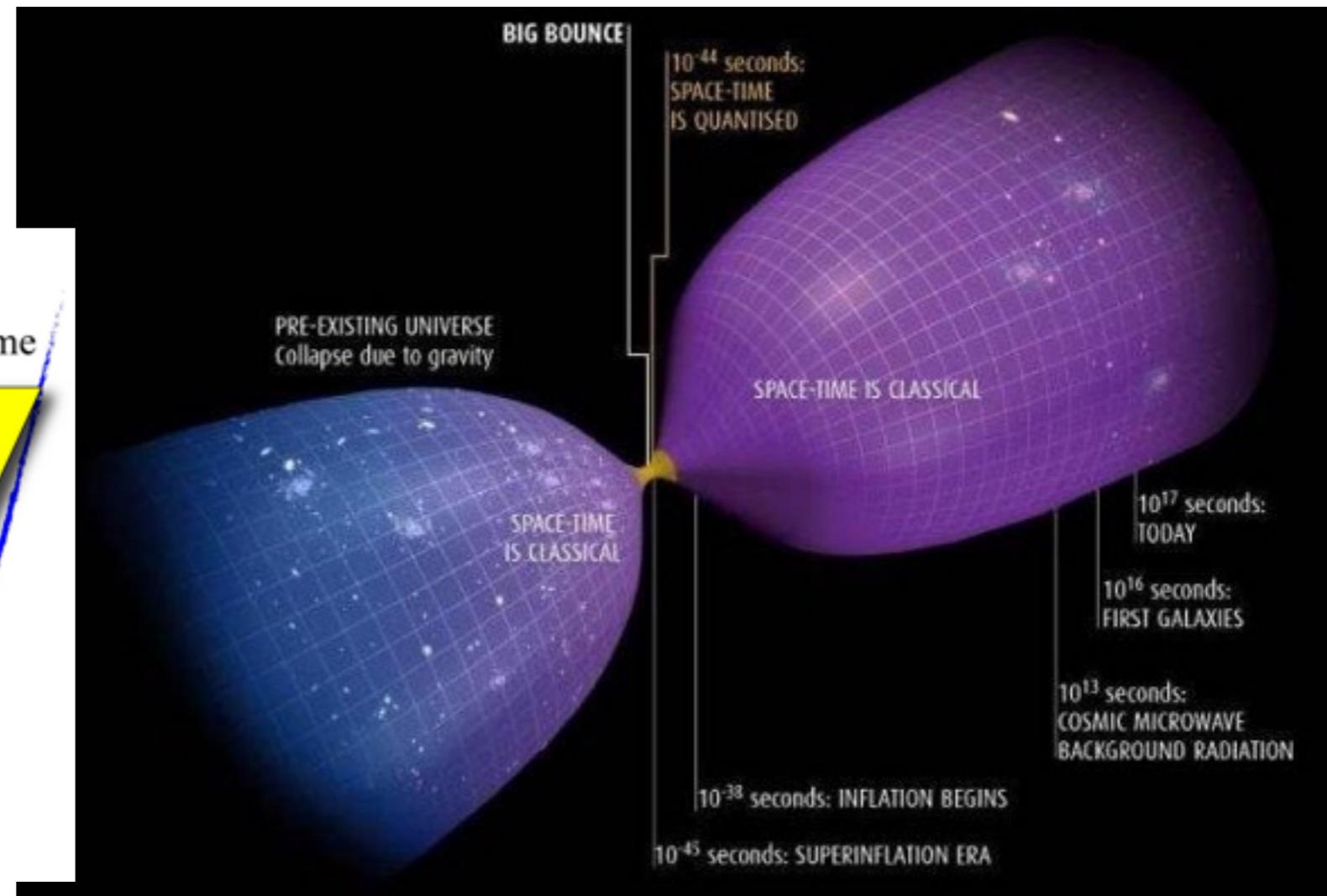
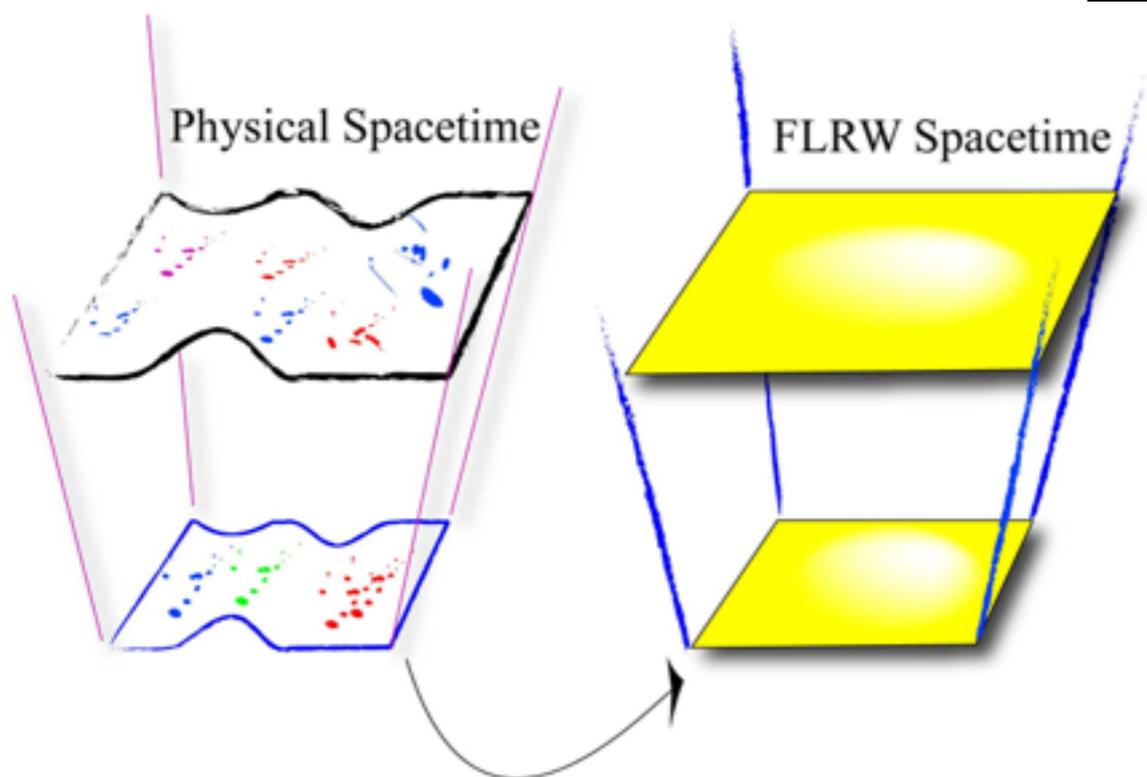
Consideremos 1000 universos generados al azar, variando un juego de constantes fundamentales: la constante de estructura fina, la constante de interacción fuerte, G , y las masas del proton y el electron. Las leyes de la física son las mismas. Calculemos la vida media de las estrellas de secuencia principal en esos universos (Daniela Pérez 2009)



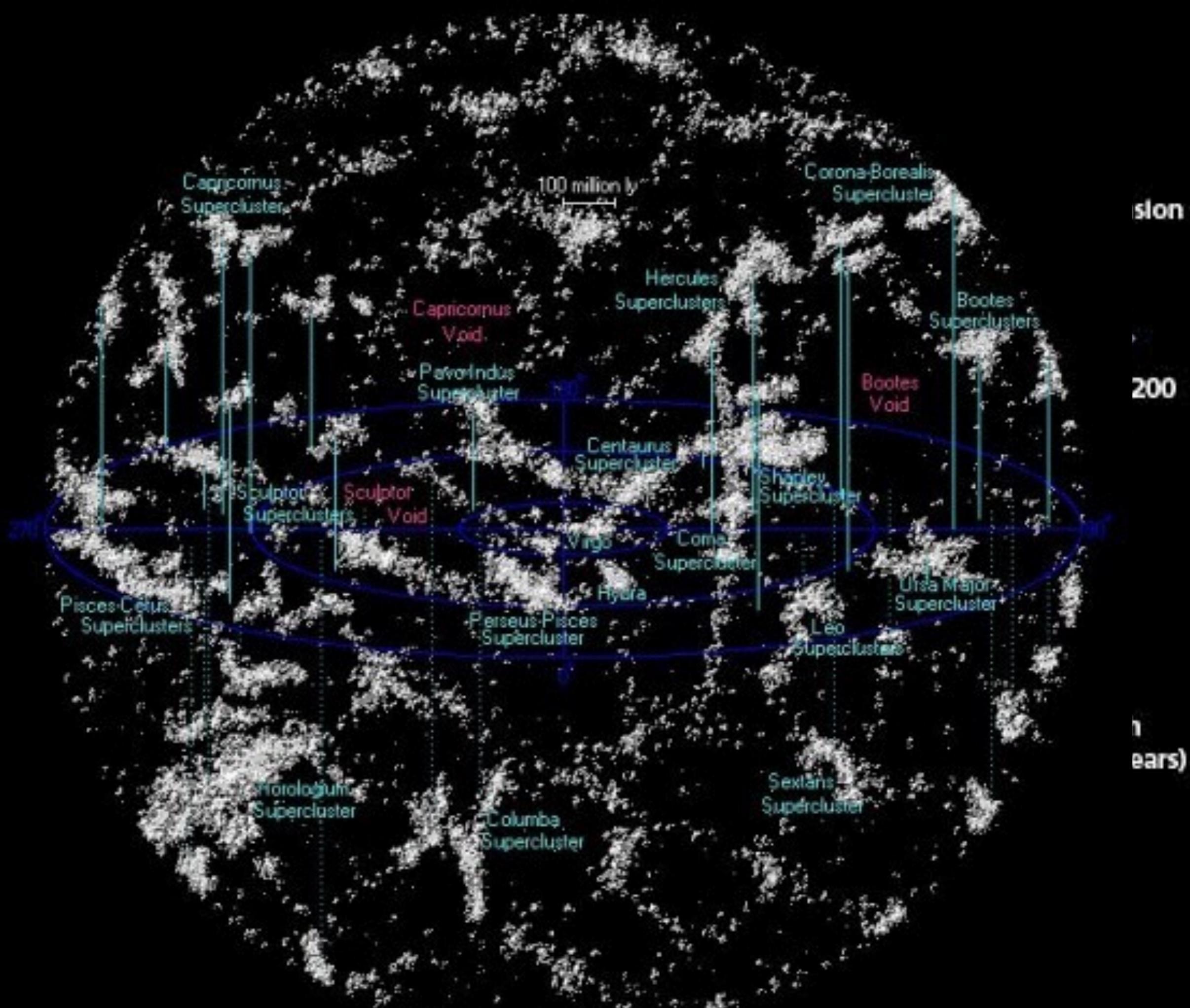
Cosmología sin aceleración ni singularidades

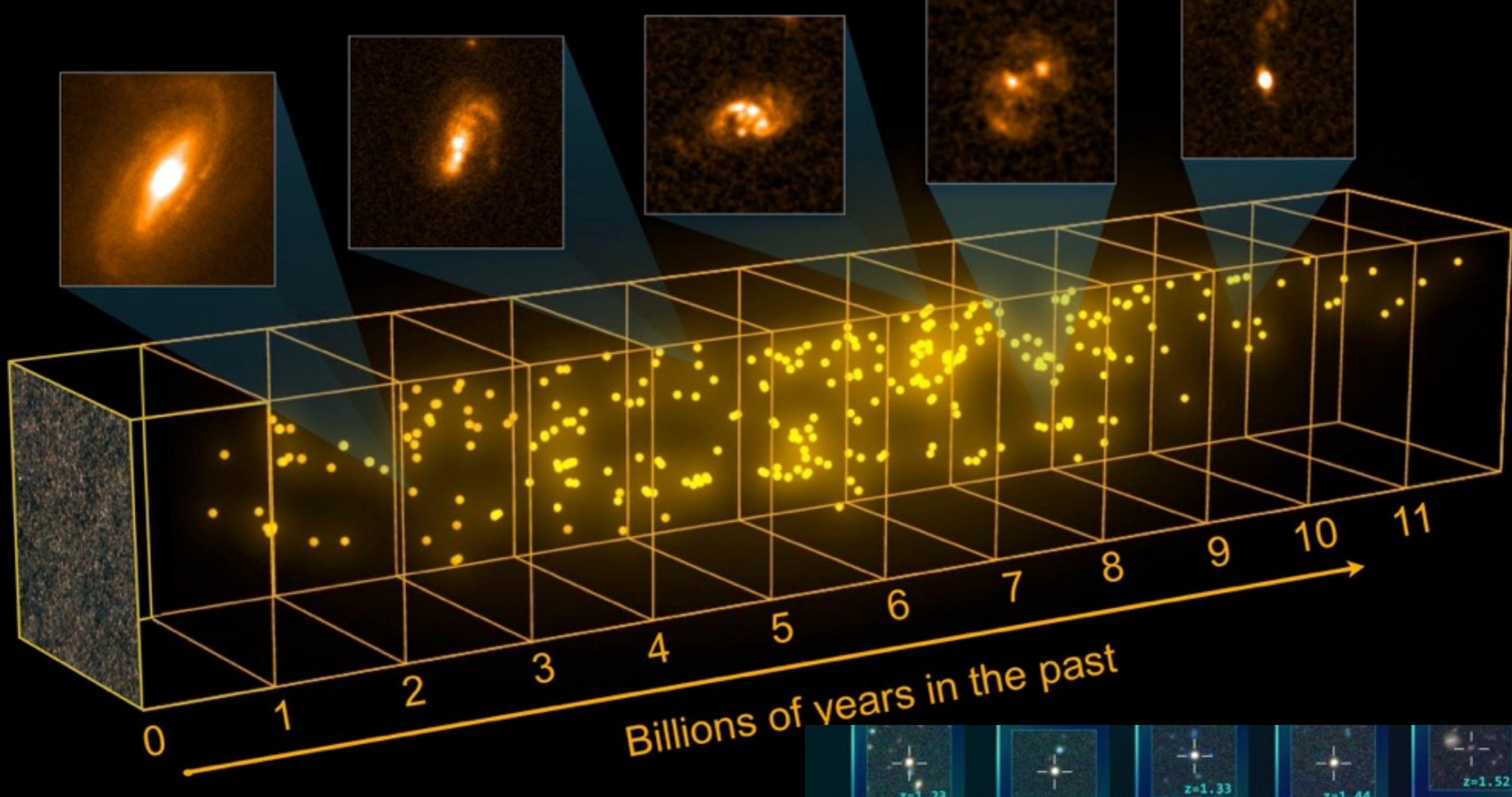
- ▶ El universo tiene estructura, por tanto, ¿hasta que punto es válida la suposición de que la métrica de FRWL es adecuada para medir distancias a las supernovas?
- ▶ Cosmologías con métricas inhomogéneas y promedio de los efectos de las inhomogeneidades en la métrica.

- ▶ “Big bounce”

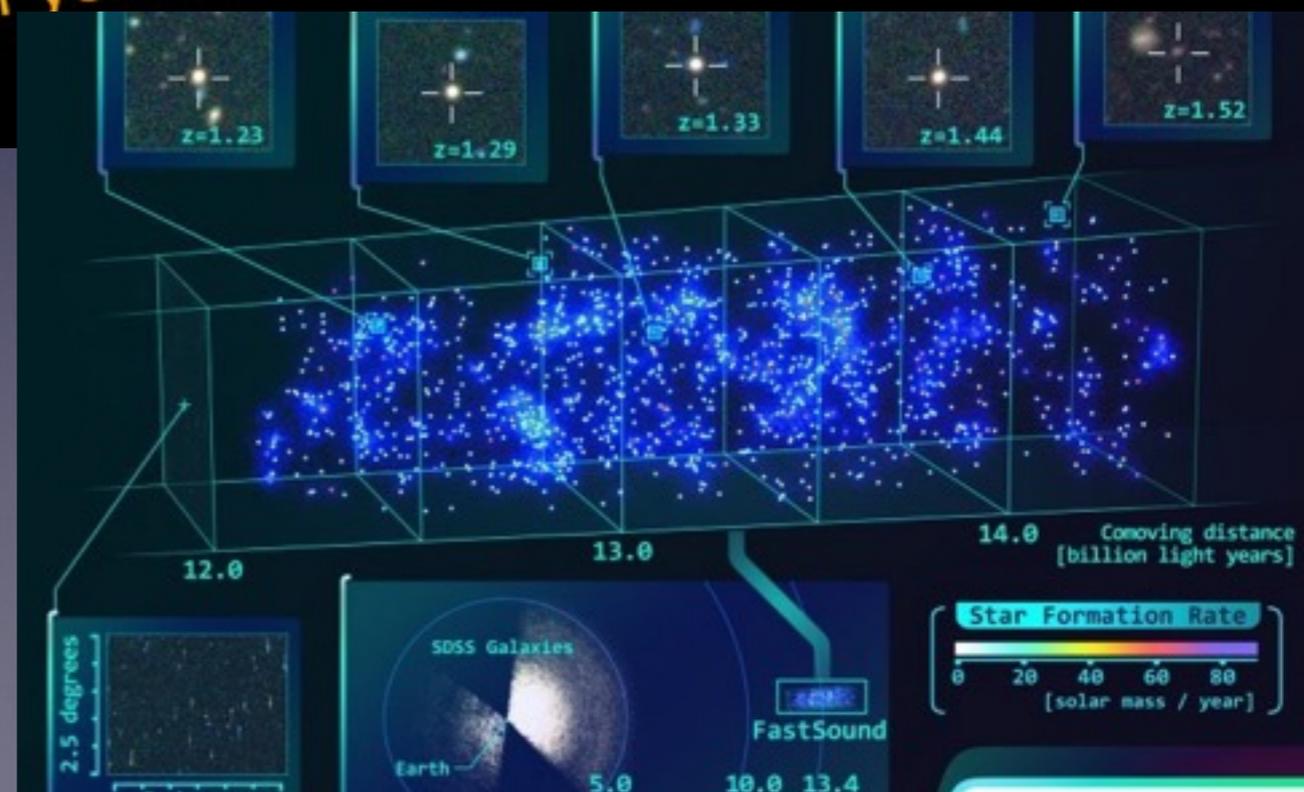


14^h

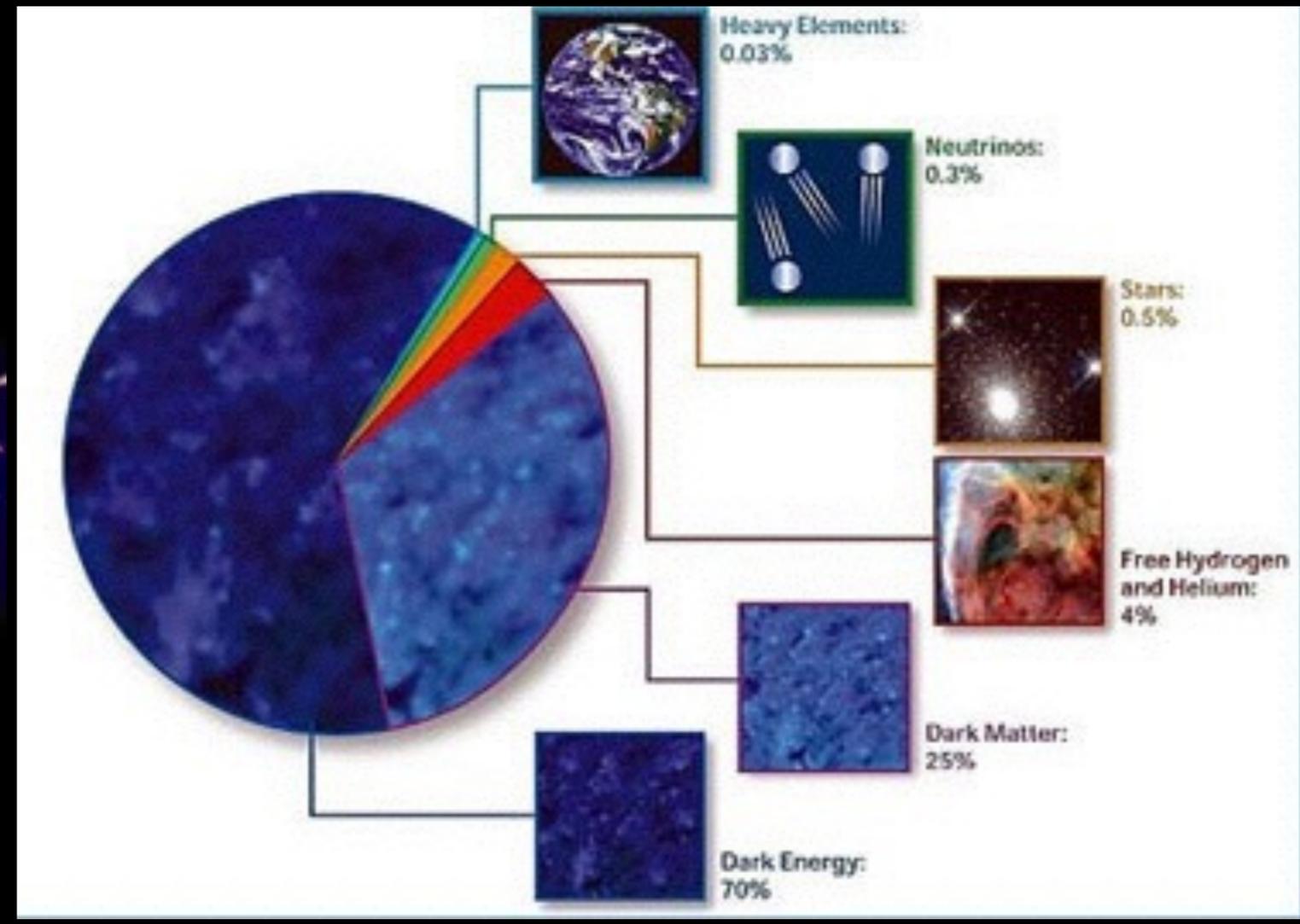
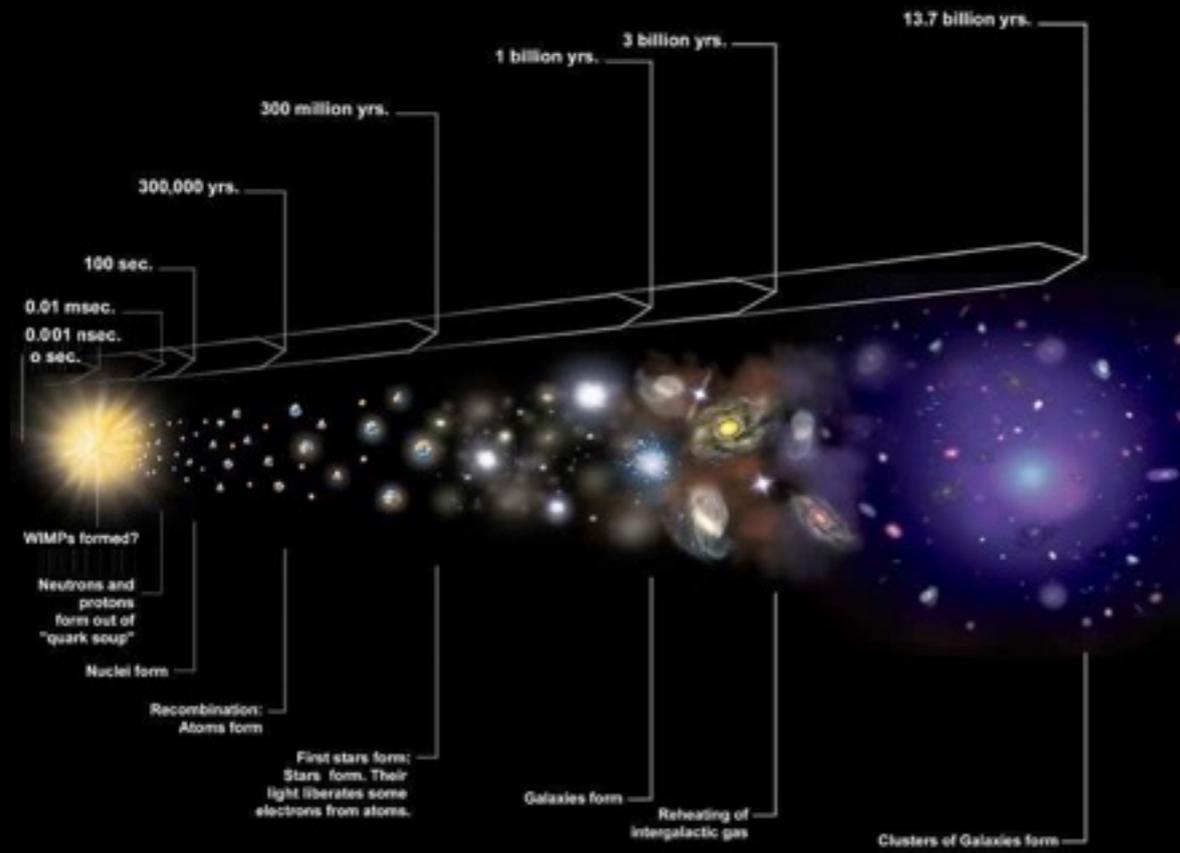




Subaru team: 3000 galaxies

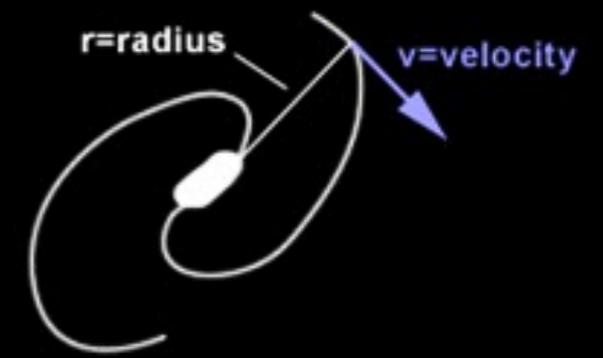


¿Materia Oscura?



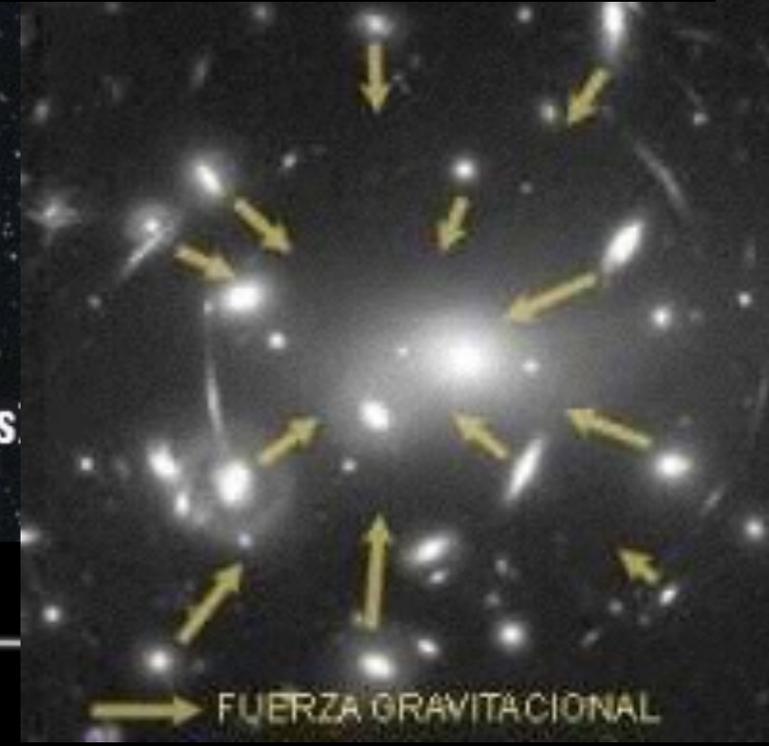
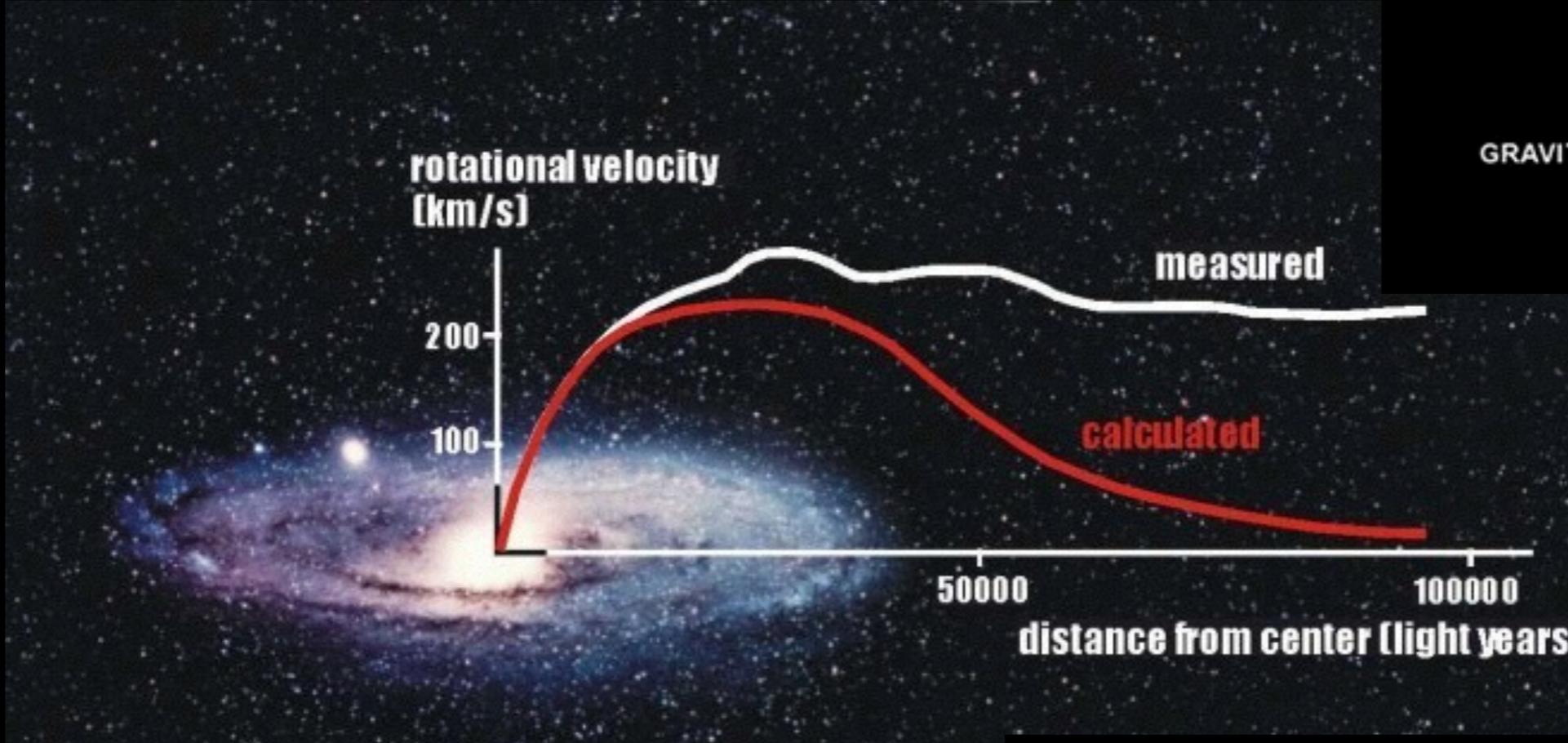
Modelo estándar de la cosmología: Lambda-CDM: relatividad general modificada con constante cosmológica más DM

Materia Oscura

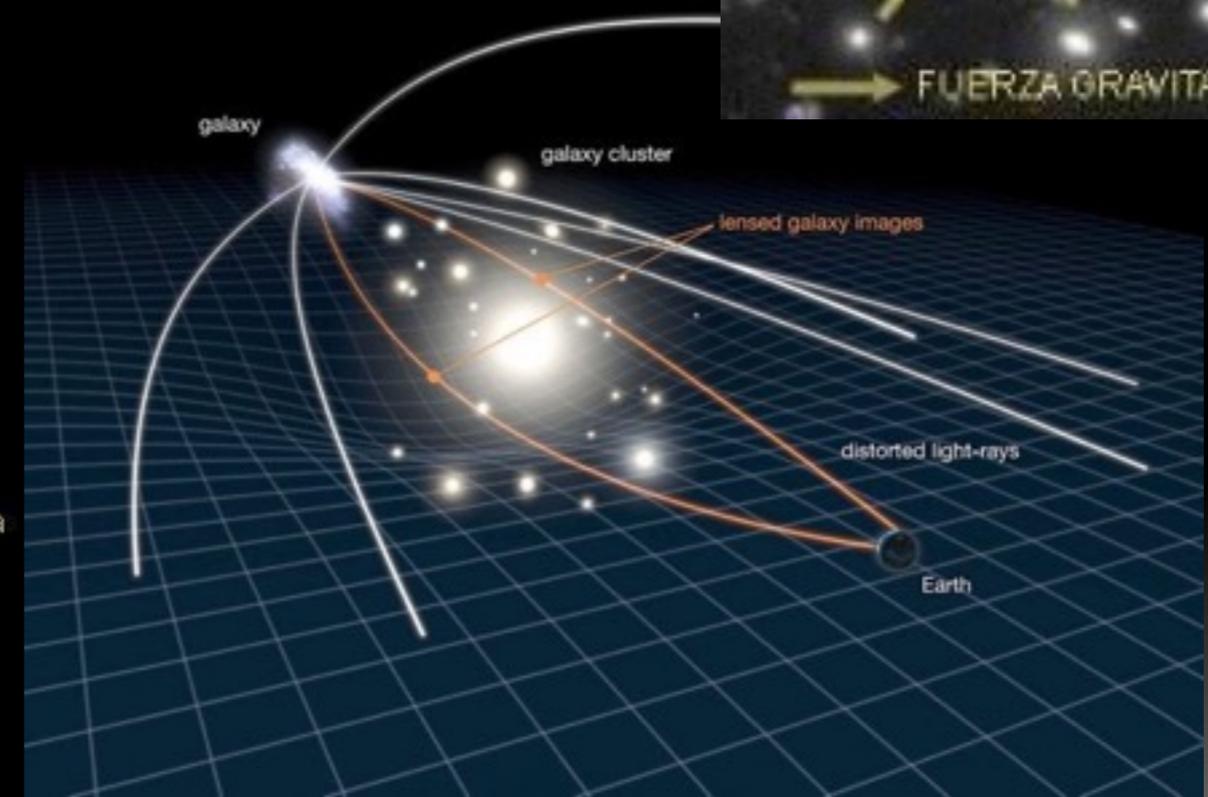


GRAVITY = CENTRIPETAL ACCELERATION

$$\frac{GM}{r^2} = \frac{v^2}{r}$$



FUERZA GRAVITACIONAL



¿Qué es la **Materia Oscura**?

Materia que no experimenta interacciones electromagnéticas ni nucleares. Sólo experimentaría interacciones débiles y gravitatorias.

¿**Neutrinos**? No, ya que la ecuación de estado debe ser no relativista.

Entonces, ¿**qué**? — Algo no contemplado por el modelo estándar.
WIMPs...

¿**Y por qué no la detectamos en la tierra**? — Serían partículas resultantes de la rotura de una nueva simetría: la supersimetría.

¿**Existe la supersimetría**? — Nadie lo sabe.



¿**Nueva teoría de la gravedad**?

Breve antología del disparate

- ▶ “Nada”=“vacío” – Falso.

La “nada” no es una cosa, y por tanto no tiene propiedades ni existe. El vacío es el estado fundamental de un campo. El vacío está regido por leyes, como la conservación de la energía. Si se extraen partículas del vacío, se generará en este una presión negativa (efecto Casimir).

- ▶ Universo=conjunto de todas las cosas – Falso

Un conjunto es un concepto. El universo es un sistema físico.

Breve antología del disparate

- ▶ El universo esta formado en gran parte por energía “oscura”. - Falso

La energía no es una cosa sino una propiedad. Es una propiedad que tienen todos los objetos no-conceptuales. Cuando se habla de “energía oscura”, la cosa es usualmente un campo escalar con densidad de energía negativa. Puede ser también la propia gravitación si las ecuaciones correctas de las mismas llevan el termino con Lambda.

- ▶ La radiación es una forma de energía – Falso

La radiación está formada por partículas con energía.

Breve antología del disparate

- ▶ Hay procesos físicos que liberan energía – Falso

La energía se conserva en toda interacción física. Por ejemplo, cuando una partícula y una antipartícula se “aniquilan” simplemente se transforman en otras partículas, conservándose la energía total en el proceso.

- ▶ $E=mc^2$ establece la equivalencia de la materia y la energía - Falso

La ecuación relaciona dos propiedades un mismo sistema físico: su masa y energía. La materia no es un propiedad, sino un concepto.

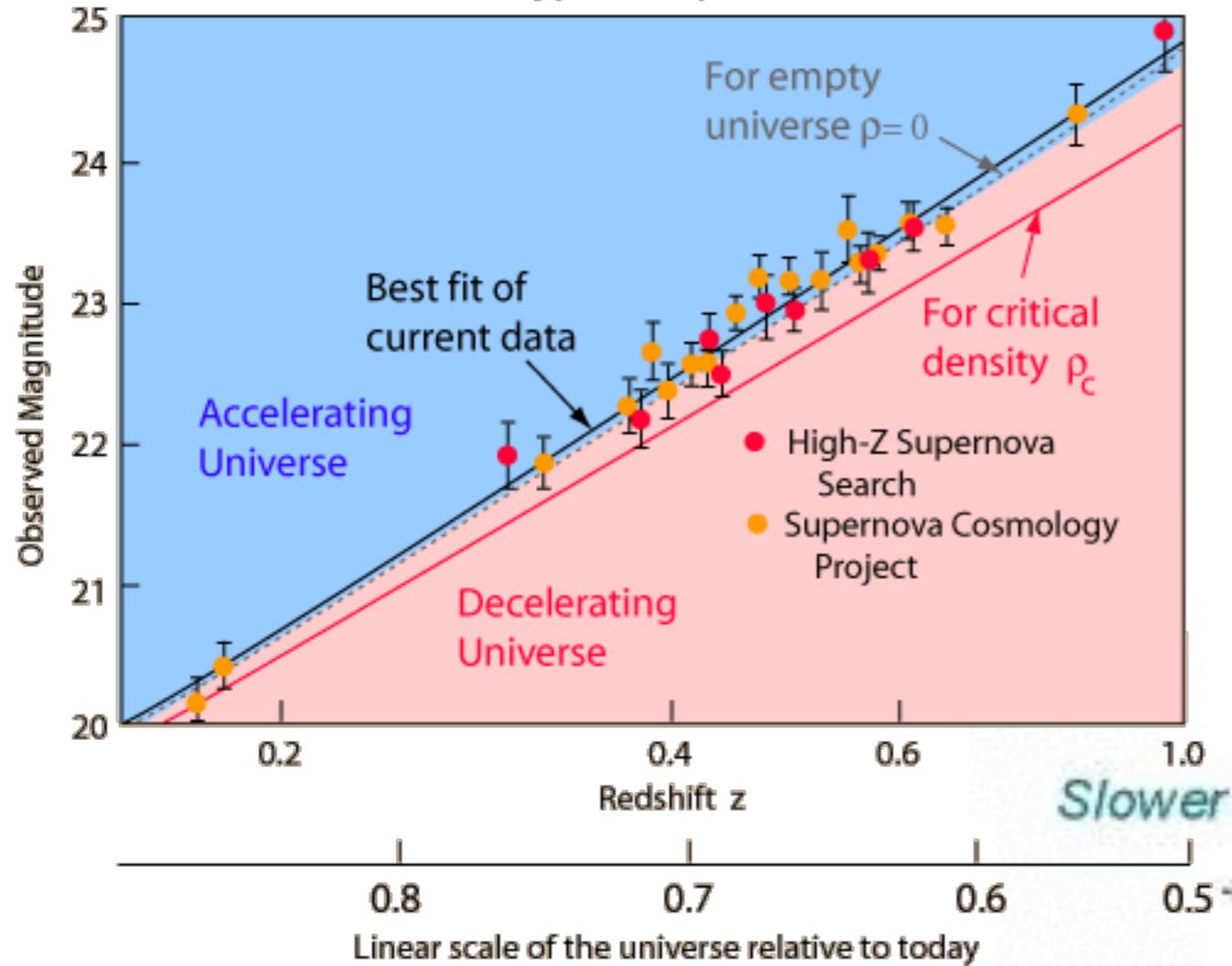
Conclusiones: la cosmología como ciencia

La cosmología debe mantenerse independiente de la cosmogonía. Si la cosmología ha de ser científica debe adoptar el método científico y aplicarlo a su objeto de estudio, el universo. En la medida en que esté apoyada en principios filosóficos claros podrá continuar contribuyendo a nuestro conocimiento del universo. Si, en cambio, se acerca a la cosmogonía, sólo servirá para alentar el pensamiento mágico y desenfrenado.

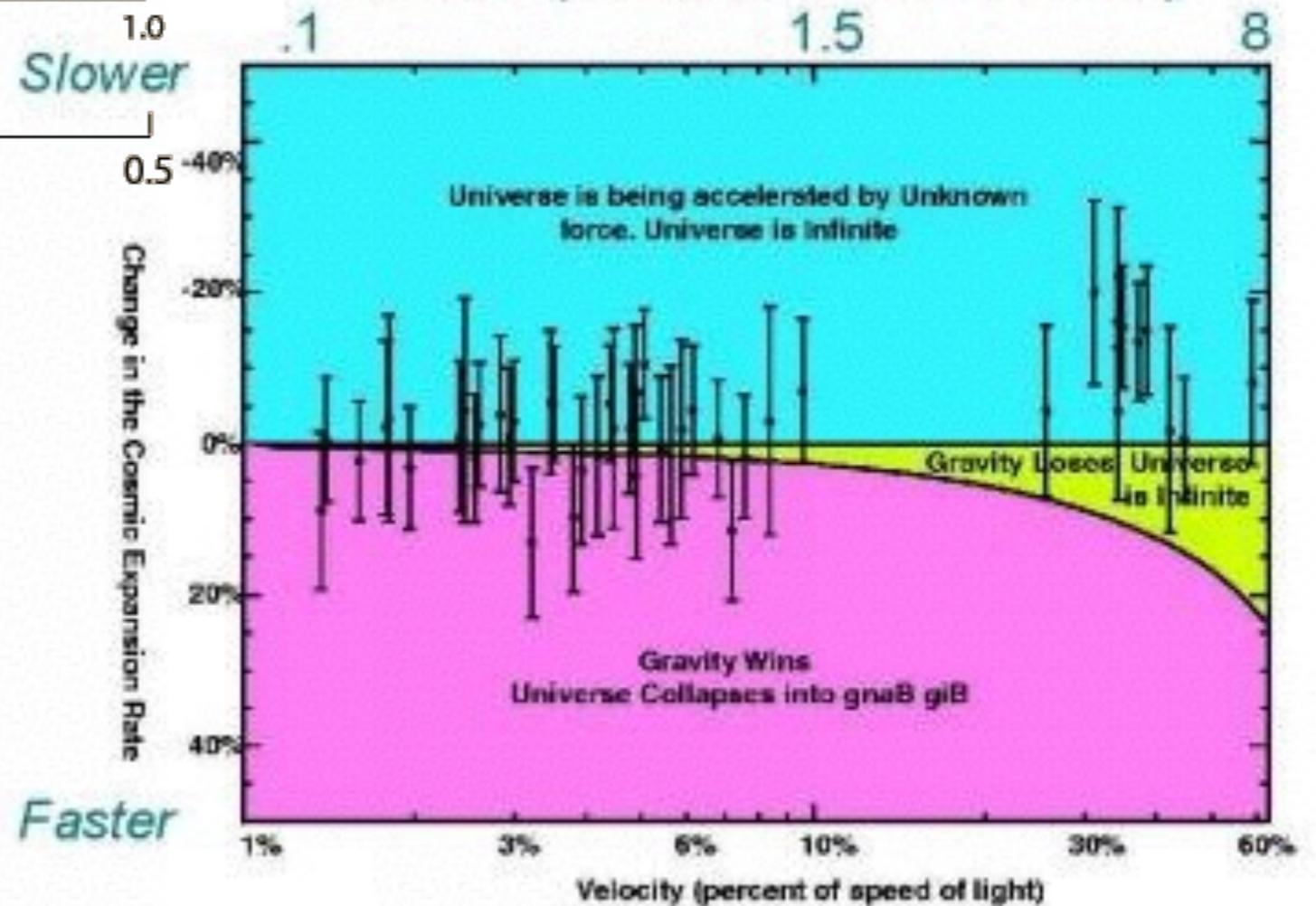


¡Gracias!

Distant Type Ia Supernovae



Time (Billions of Years)



Slower

Faster