



ASTRONOMÍA Y CIENCIA DE DATOS: DE LAS ESTRELLAS A LOS NÚMEROS

Clase 6: Galaxias y Cosmología

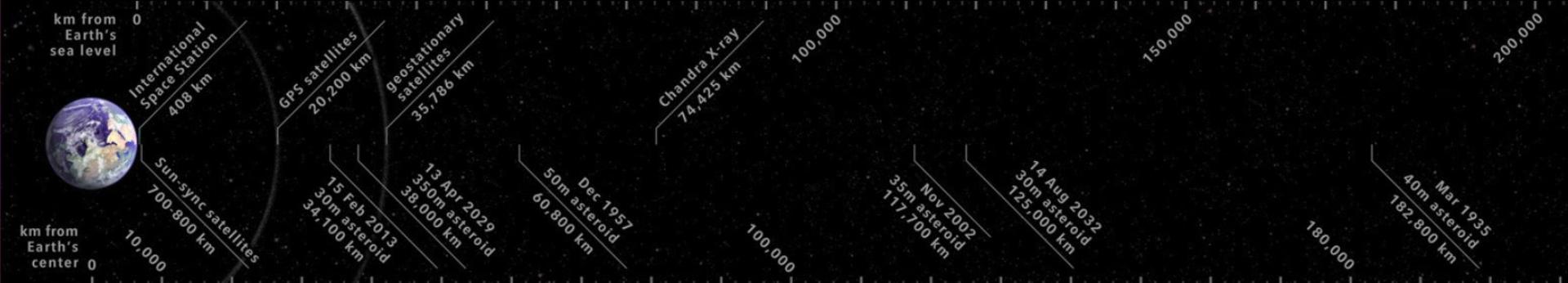


¿Que tan grande es el sistema solar?



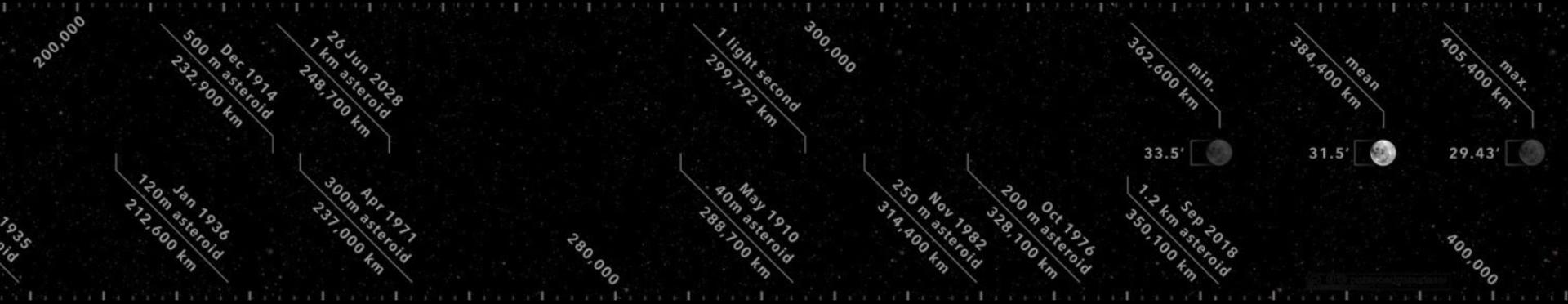
¿Es China un lugar distante?

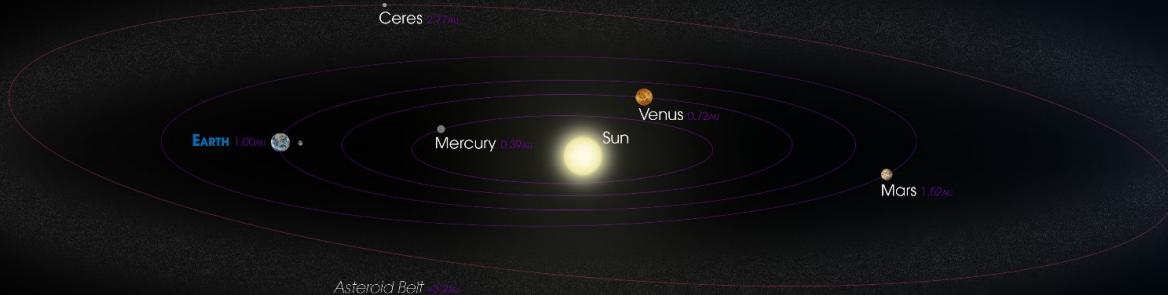
... Spoiler, 19.640 km, 33 horas



La luna y su distancia “real” respecto de la tierra

Introduciendo unidades: $1ls \sim 300.000km$





Sistema solar interno y sistema solar externo



La vía láctea

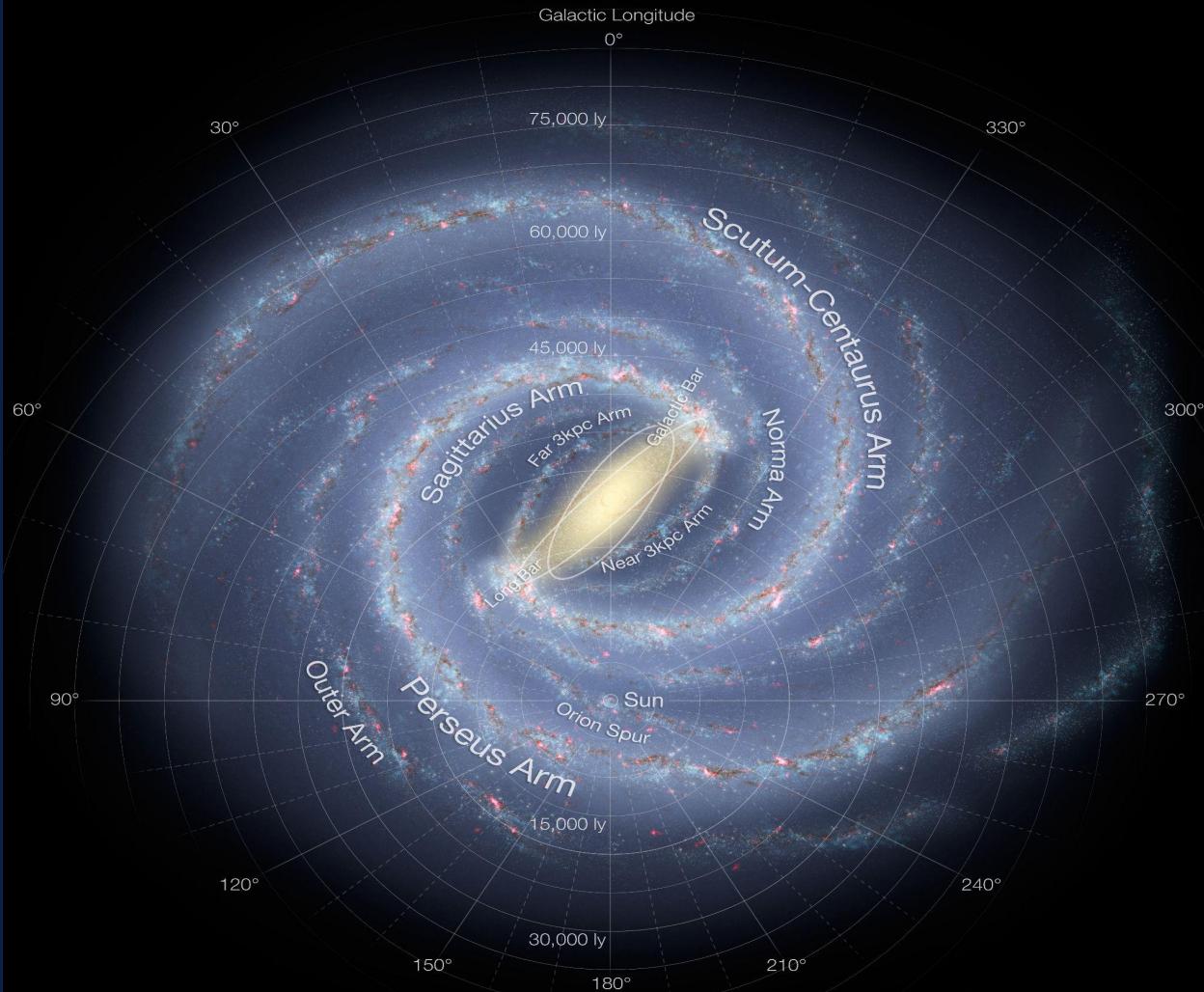
Nos quedamos cortos!

$$1pc \sim 3.26ly$$

Características principales:

- Galaxia espiral
- 100-400 mil millones de estrellas
- Diámetro $\sim 26.8 \pm 1kpc$
- $\sim 90\%$ materia oscura

Coordenadas galácticas



¿Qué es una galaxia?



- Sistema compuesto por estrellas, planetas, gas, materia oscura ligada gravitacionalmente (¿que significa?)
- Globalmente estable
- Procesos de formación estelar
- Distintas estructuras
- Presencia de SMBH o GC

Clasificación de galaxias

Las galaxias poseen 4 elementos estructurales principalmente: Esferoide, disco, barra y brazos



Messier 87

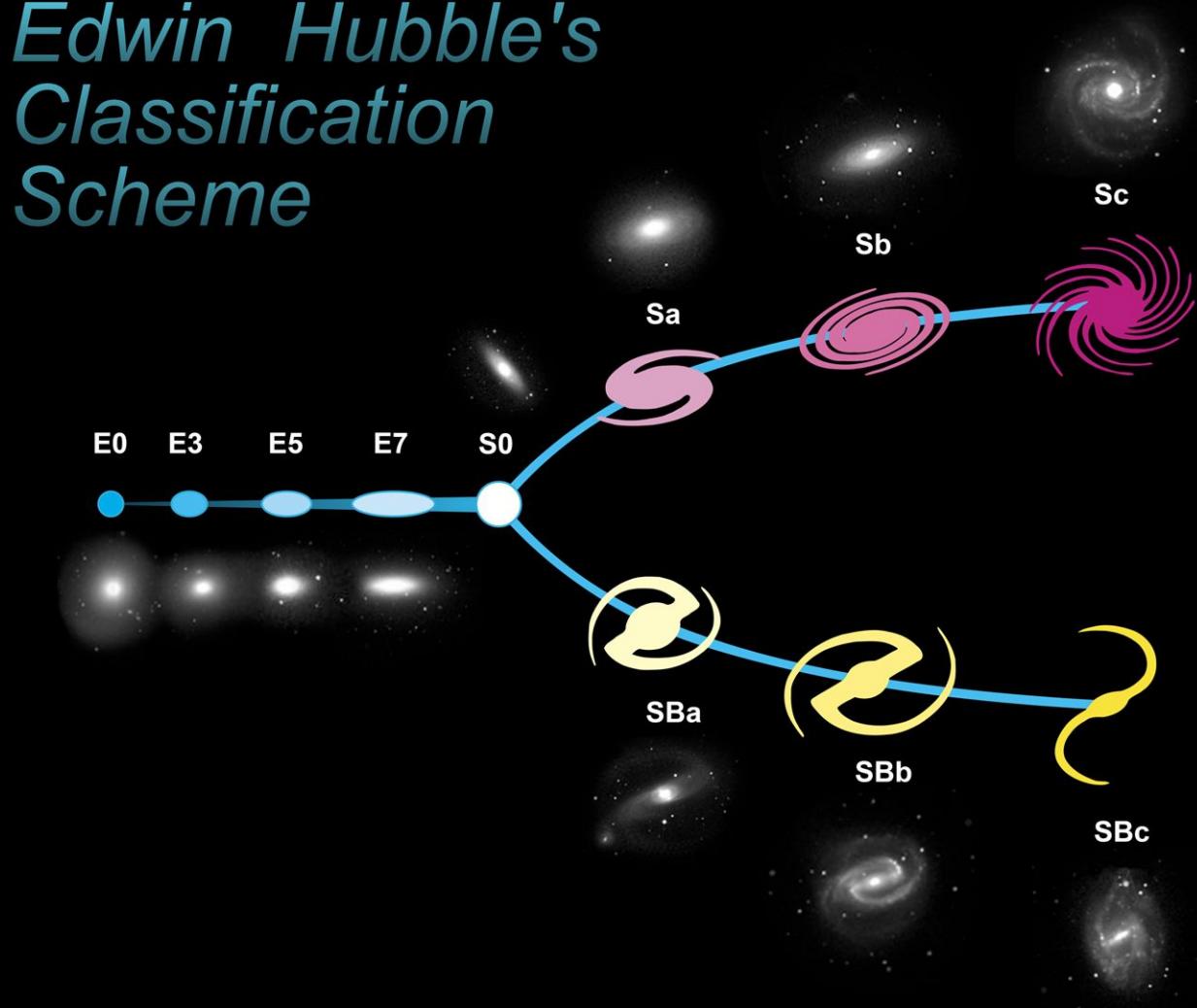
NGC 2787

M81

NGC 1300



Edwin Hubble's Classification Scheme





Early type galaxies (galaxias elípticas)

Early type galaxies (galaxias elípticas)



- Distribución de luz suave, sin disco ni estructura visible
- Notación E_m , donde $m = 10(1 - b/a)$
- Baja formación estelar, población de estrellas viejas
- Movimientos keplerianos, baja rotación.
- Se les conoce como “red and dead”.

Early type galaxies (galaxias elípticas)



- Lo anterior se refleja en sus espectros.
 - Suma de estrellas “viejas” y “rojas”.
 - Principalmente líneas de absorción.

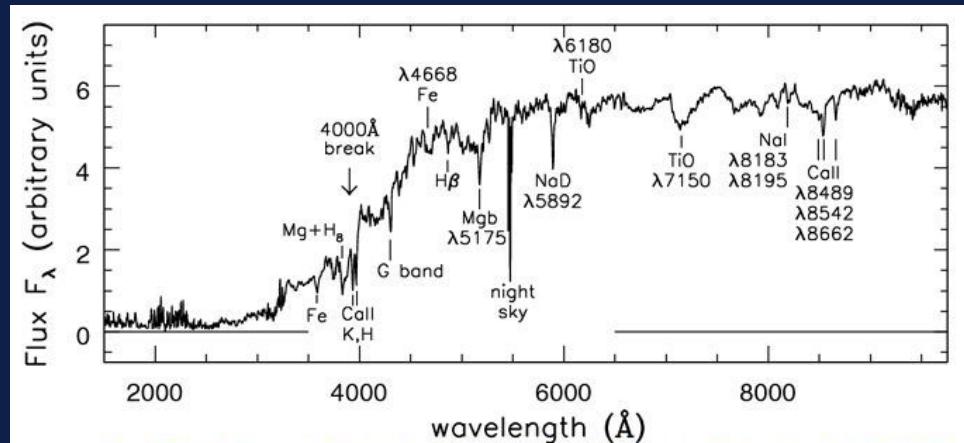
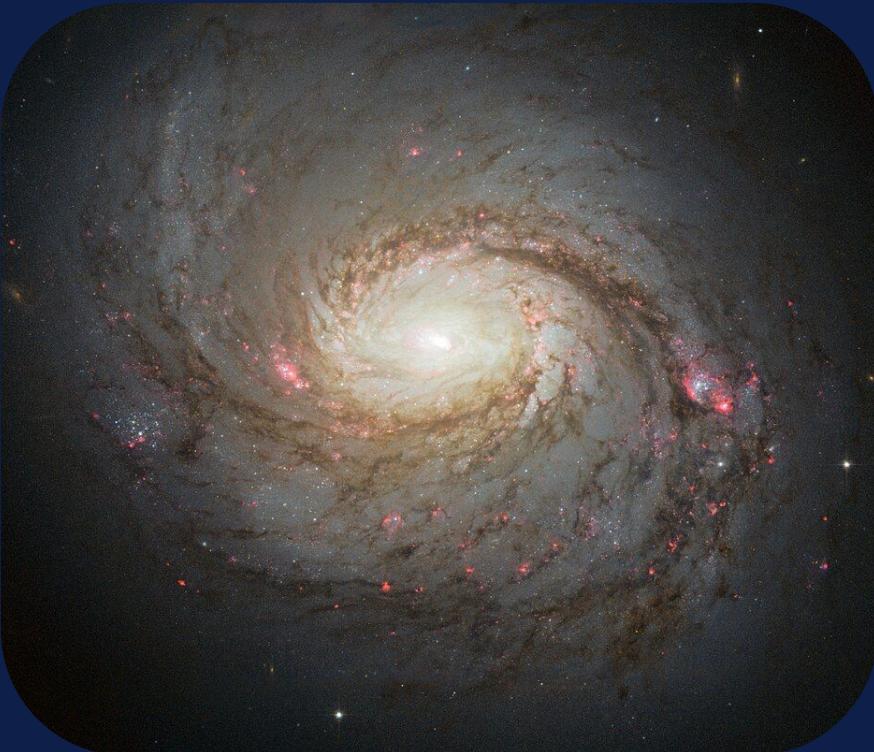


Fig 6.17 (A. Kinney) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007



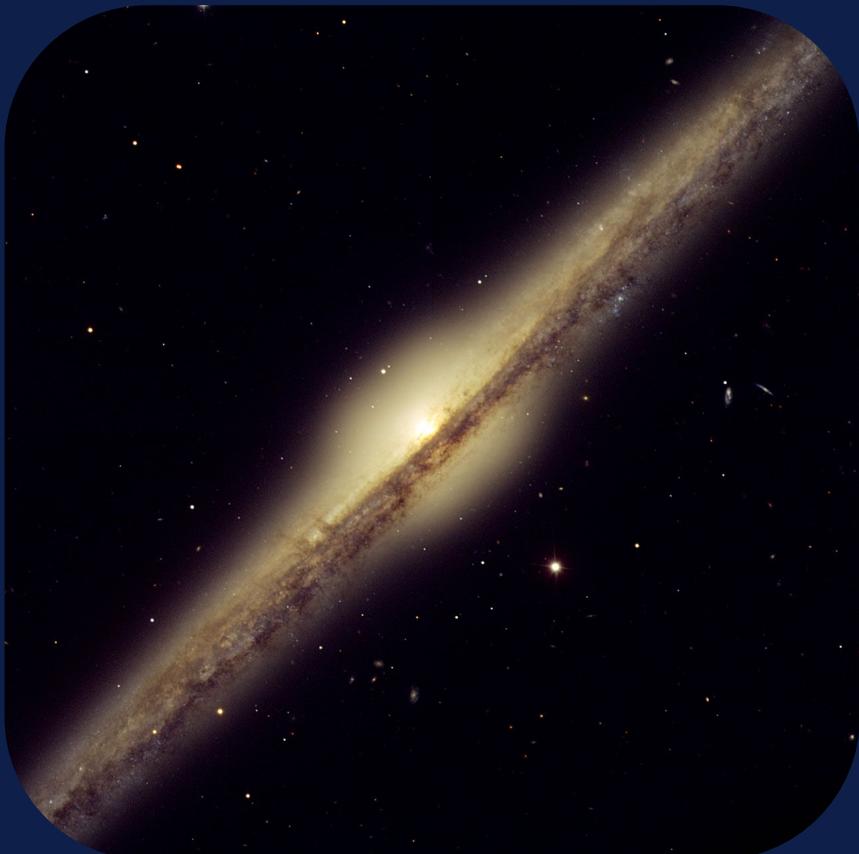
Late type galaxies (galaxias espirales)

Late type galaxies (galaxias espirales)

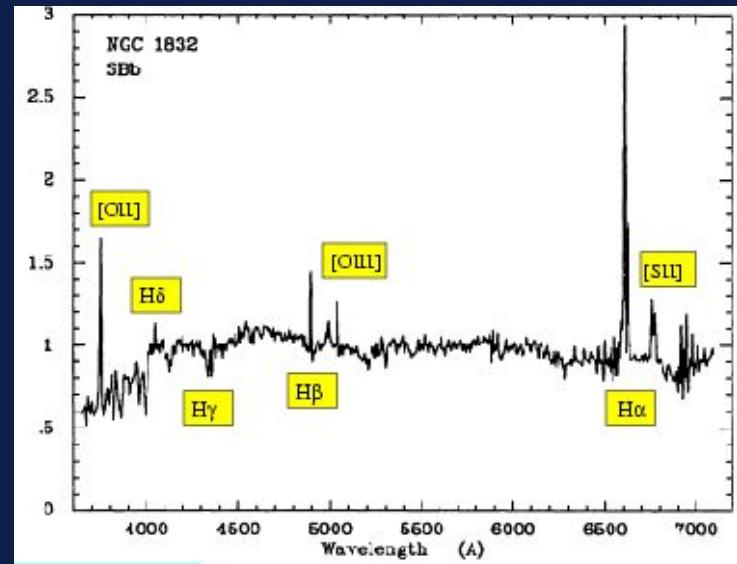


- Estructura de disco con brazos, bulbo en el centro
- Brazos muestran formación estelar.
- Disco plano en rotación.
- Barradas (SB) y no barradas (SA), brazos abiertos (c) o cerrados(a)
- Población de estrellas más jóvenes que en elípticas.

Late type galaxies (galaxias espirales)

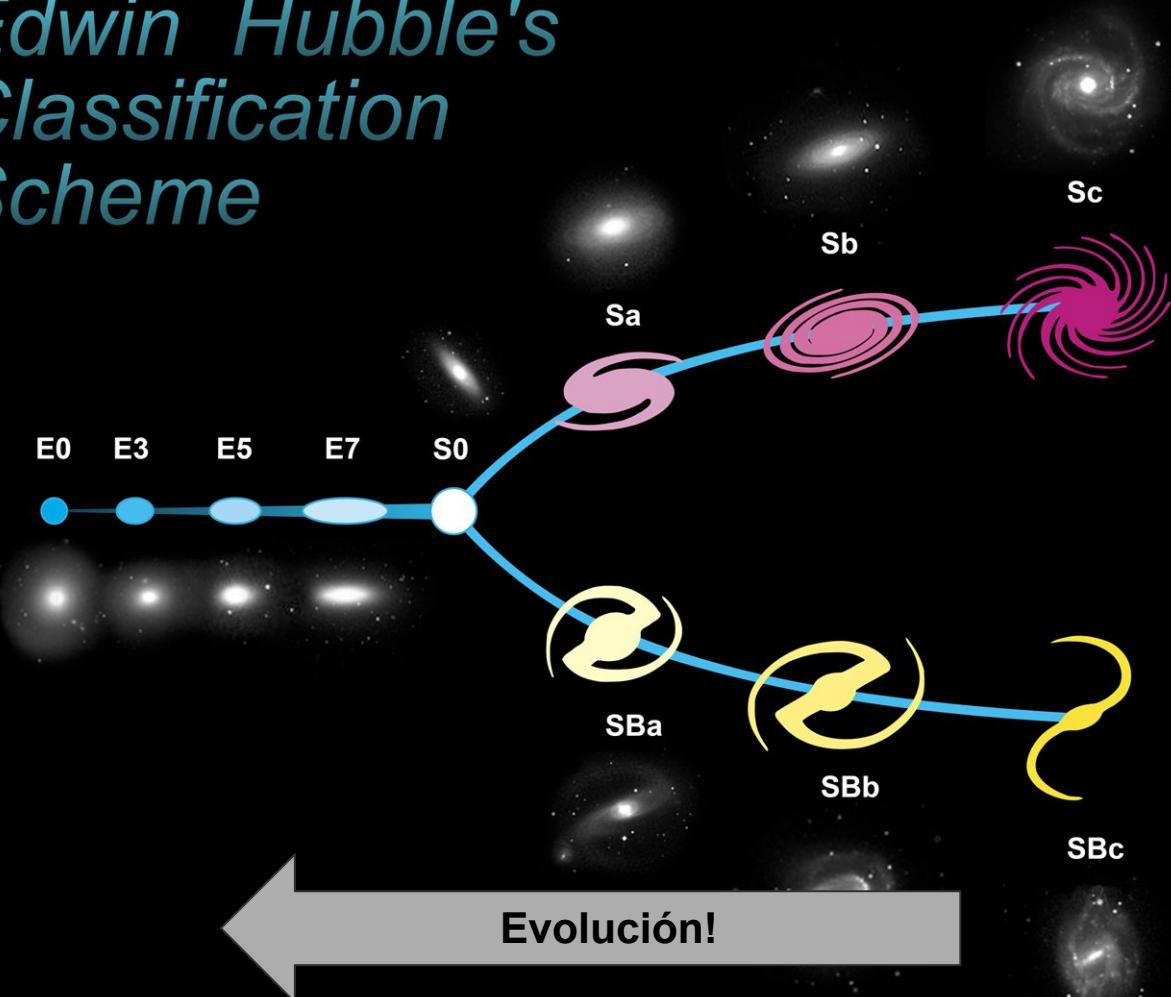


- Lo anterior se refleja en sus espectros.
 - Líneas de emisión producto de la formación activa de estrellas!
 - Emisión importante en el azul.





Edwin Hubble's Classification Scheme



Galaxy in a nutshell

Existen 2 posibles escenarios de formación



Colapso monolítico

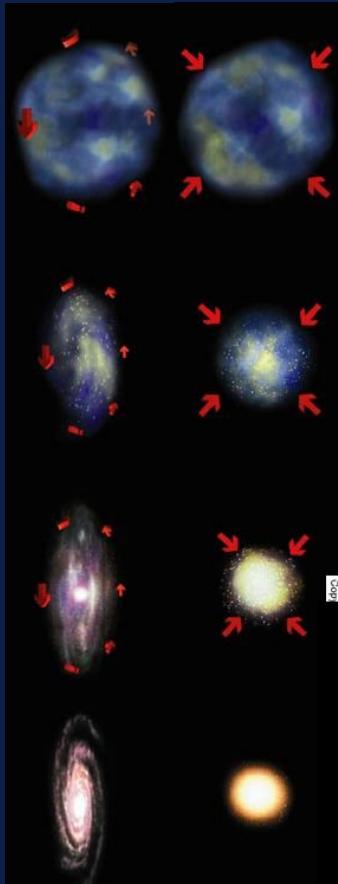


Crecimiento jerárquico

Colapso monolítico

Galaxias espirales

- Alto momentum angular de nube de gas
- Nube proto galáctica de baja densidad
- Disco se genera antes de una formación estelar importante



Galaxias elípticas

- Bajo momentum angular de nube de gas
- Nube proto galáctica de alta densidad
- Un número importante de estrellas se forman antes que estructuras de disco

Crecimiento jerárquico

Se forman estructuras menores
(cúmulos y galaxias enanas)



Continuo merger (fusión) de estas
estructuras

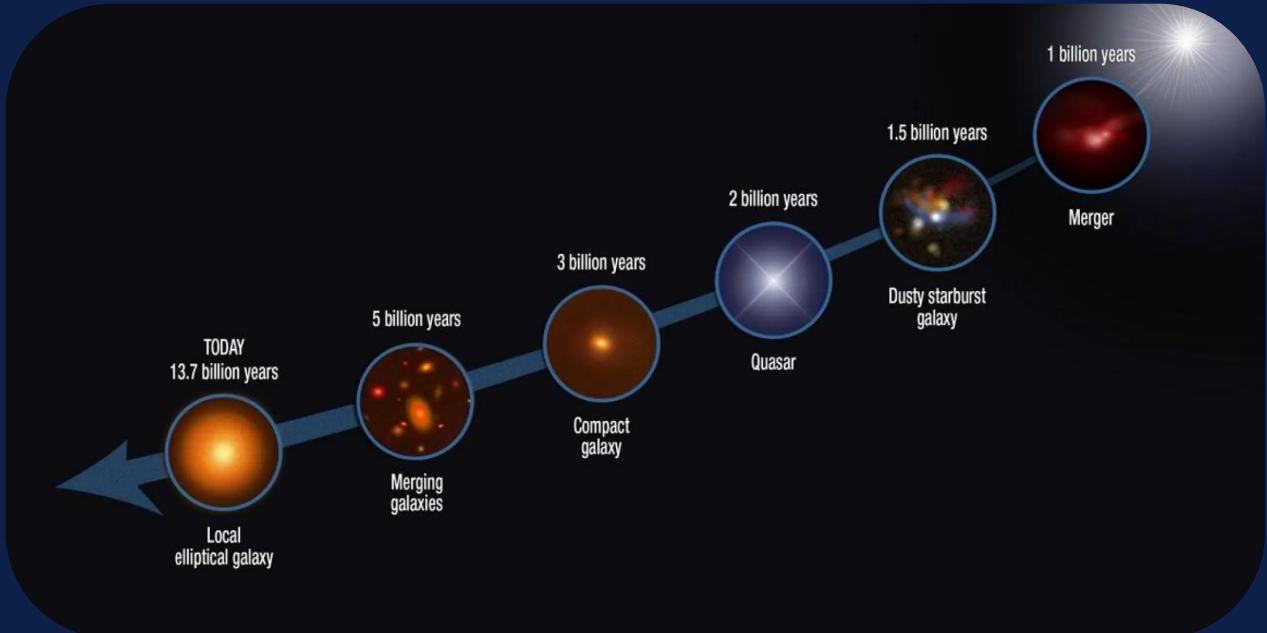


Gigantes galaxias con estructuras
complejas



Evolución

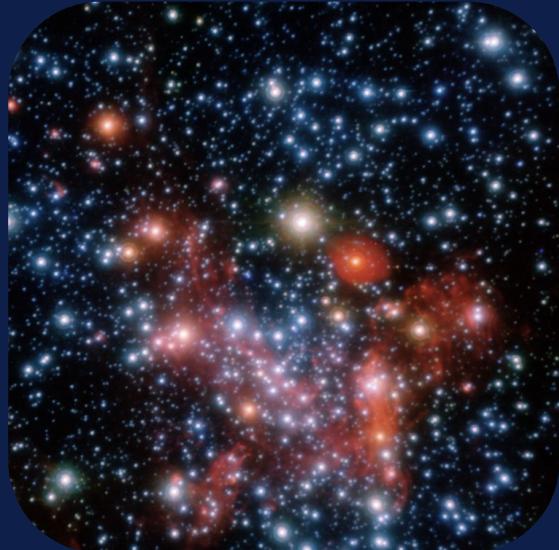
El principal mecanismo de evolución de galaxias es el choque de las mismas.



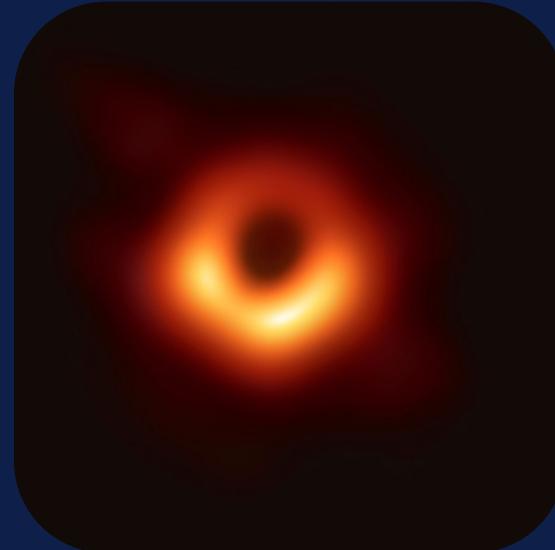
¿Qué hay en los centros de las galaxias?

Central Massive Object (CMO), depende de la masa de la galaxia!

Galaxias de baja masa:
Nuclear star cluster

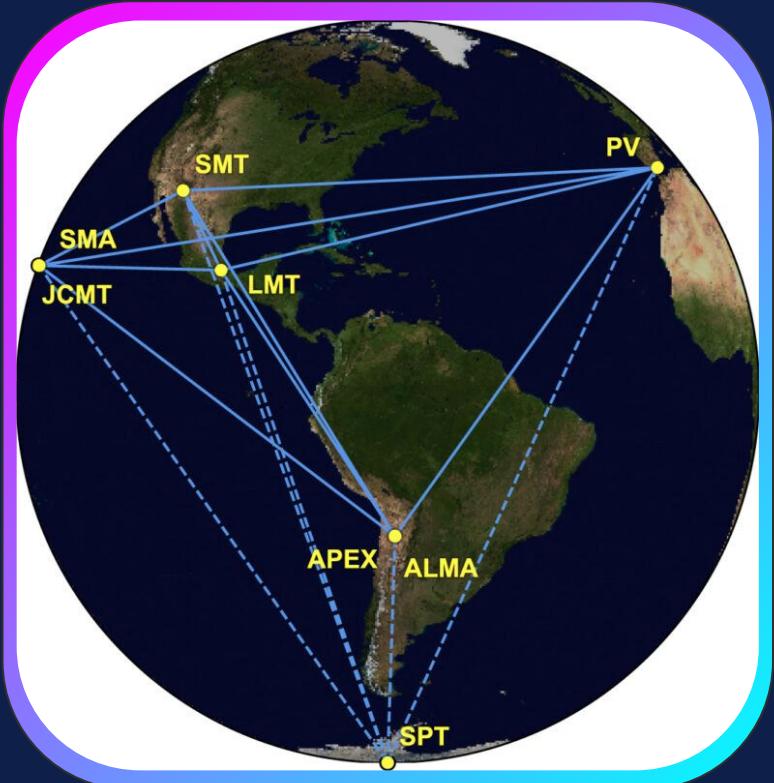


Galaxias masivas:
Super massive Black Hole



EHT y Sagitario A

El 12 de mayo de 2022, el Event Horizon telescope nos revela una imagen de Sagitario A



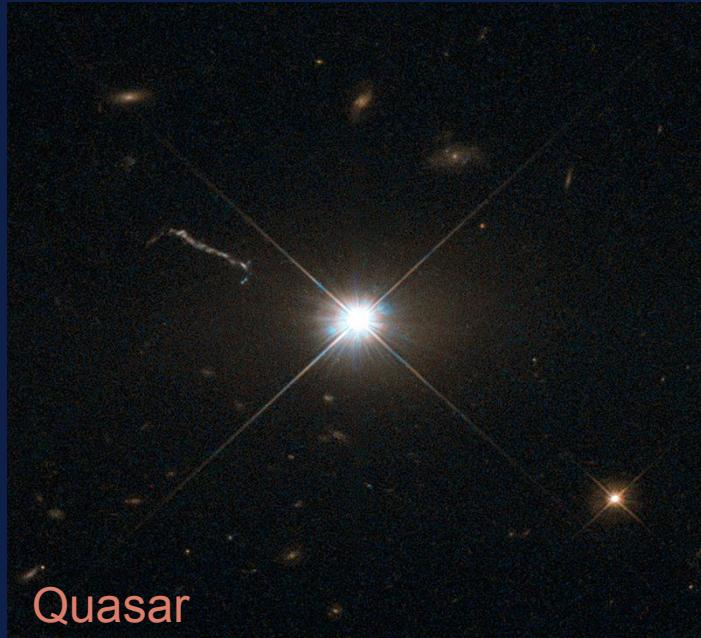
La clave está en la interferometría!!

Galaxias activas

Presentan fuertes fuentes de emisión distintas a estrellas. Poseen un núcleo activo (AGN)

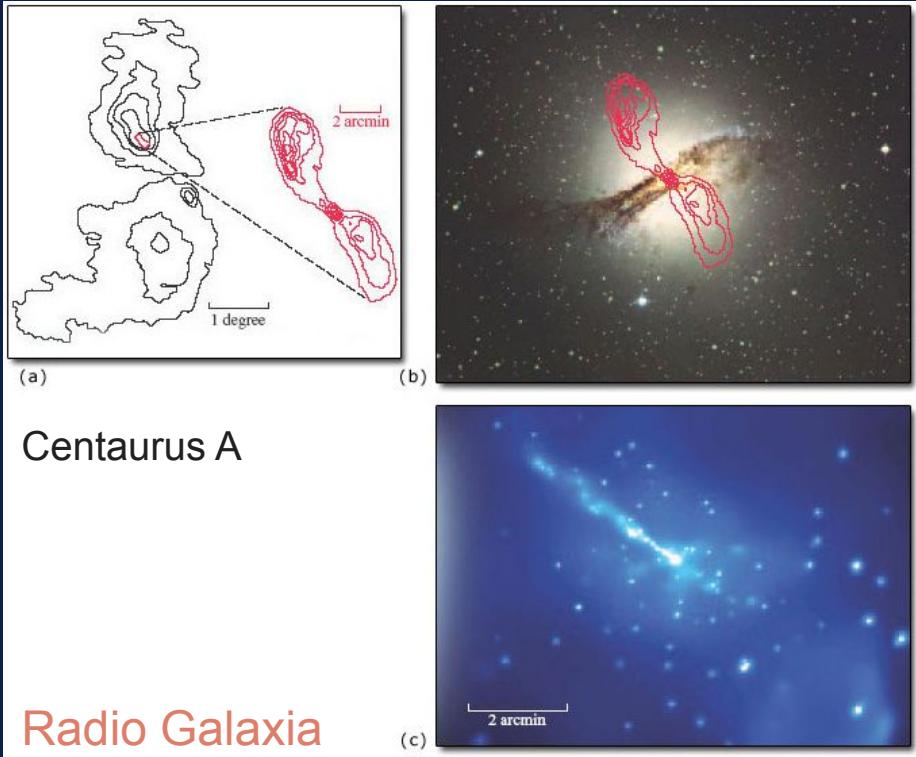


Galaxias Seyfert

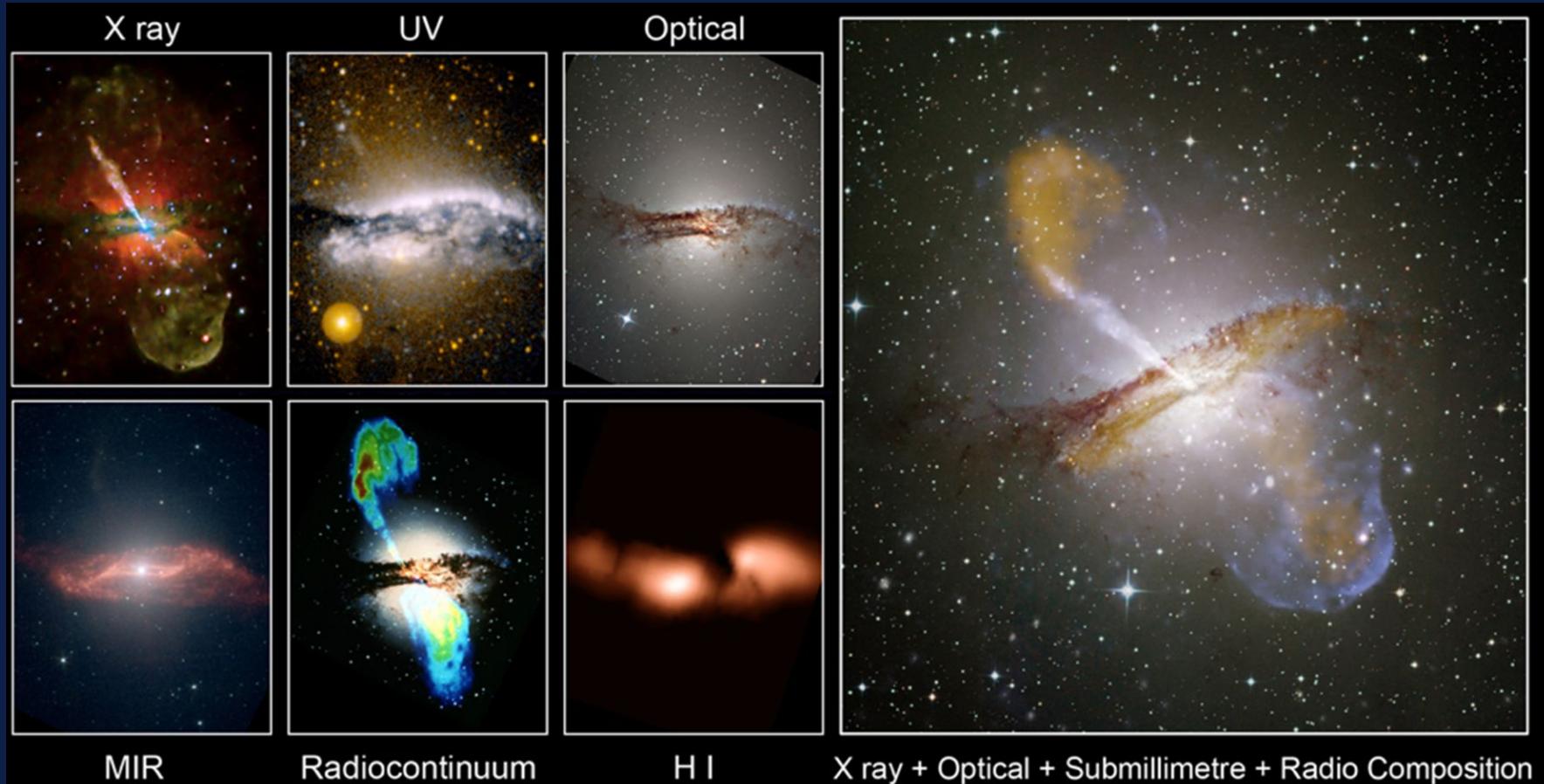


Quasar

Galaxias activas



Necesitamos distintos “ojos” para estudiarlas!

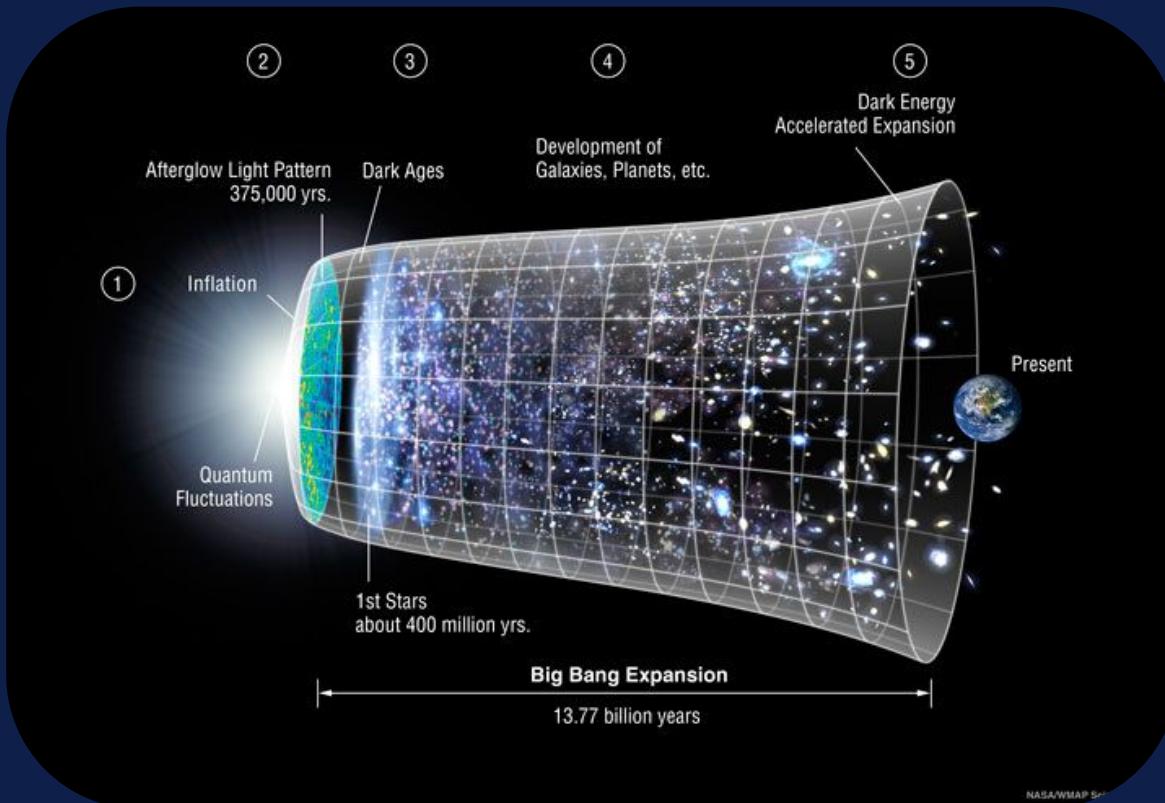


Cosmología!

¿Qué es la cosmología?

Rama de la física que trata de entender el universo a **grandes escalas!**

Aquí converge desde la física de partículas hasta la astronomía :)





Hubble deep field images!

El telescopio tardó 10 días en tomar estas imágenes!



¿Por qué el cielo nocturno no es infinitamente brillante?



- A El universo no es transparente.
- B El universo no es infinitamente largo.
- C El universo no ha existido desde “siempre”.
- D El brillo superficial de las estrellas depende de la distancia.

El universo es isotrópico y uniforme a grandes escalas

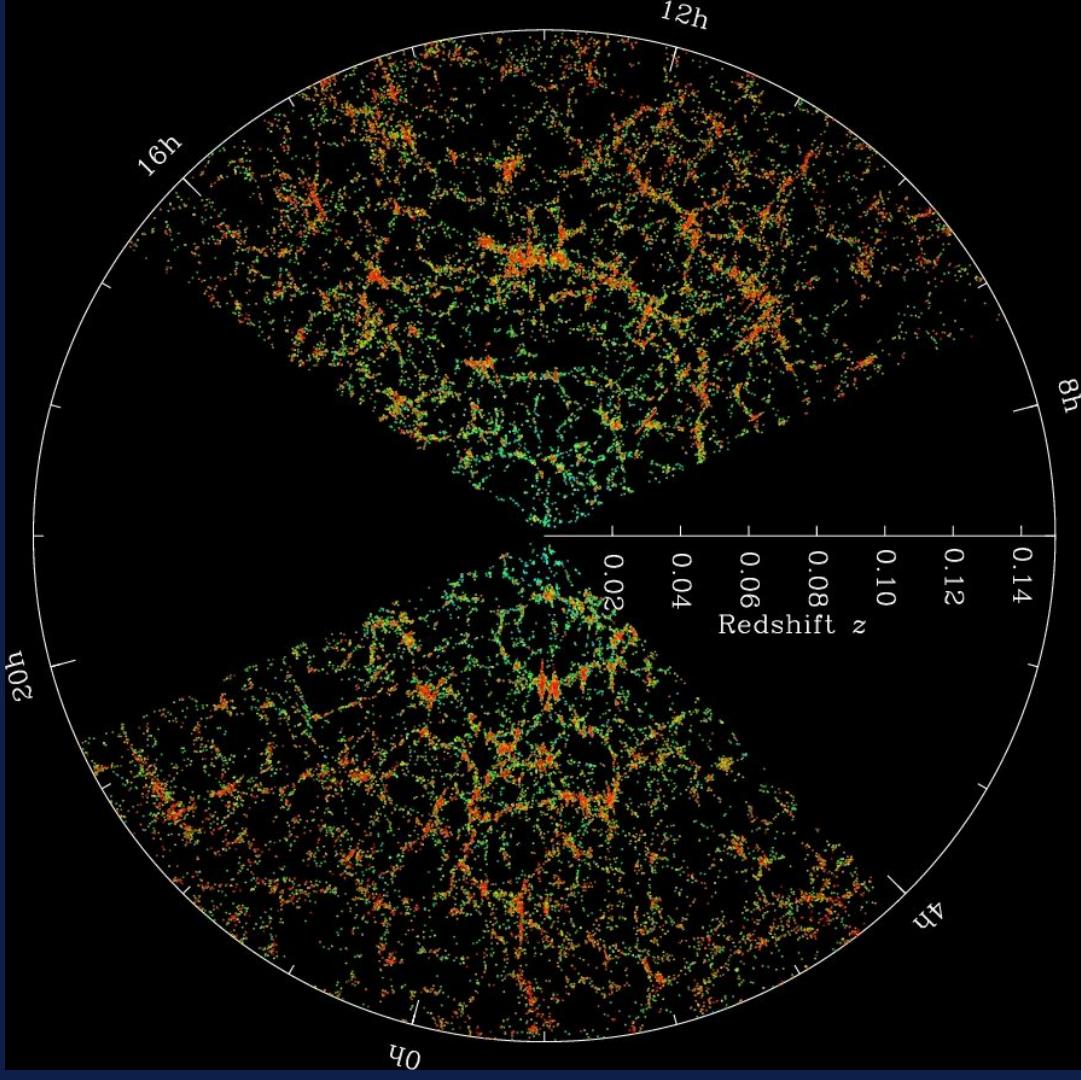
Patrón **uniforme**, pero
no isotrópico.



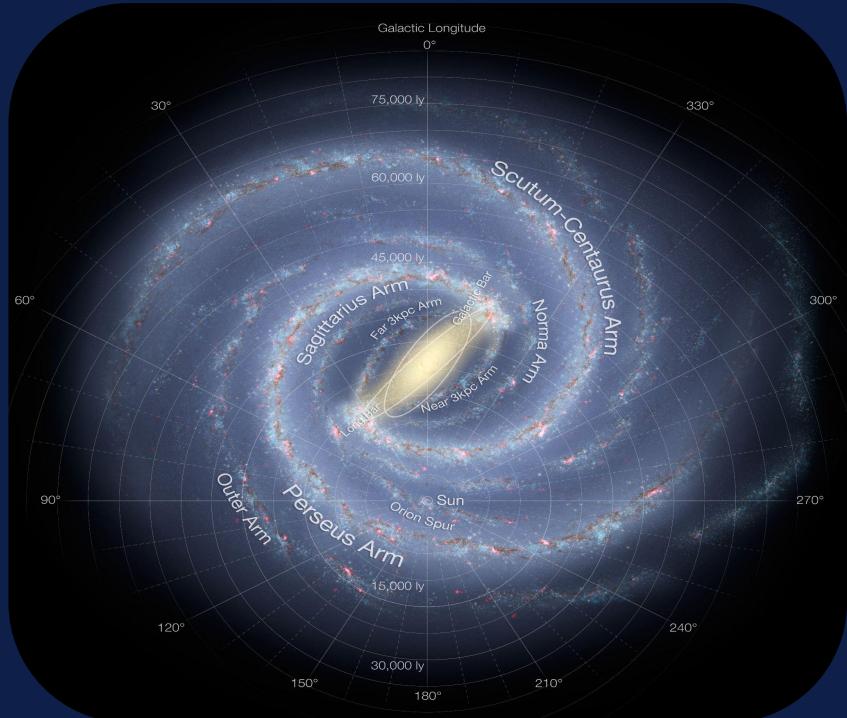
Patrón **isotrópico**,
pero **no uniforme**.



El universo es isotrópico y uniforme a grandes escalas



Cosmología: ¿qué significa “grandes escalas”?



¿A ~~escalas de la~~
~~víñete~~?

Más lejos!

Cosmología: ¿qué significa “grandes escalas”?

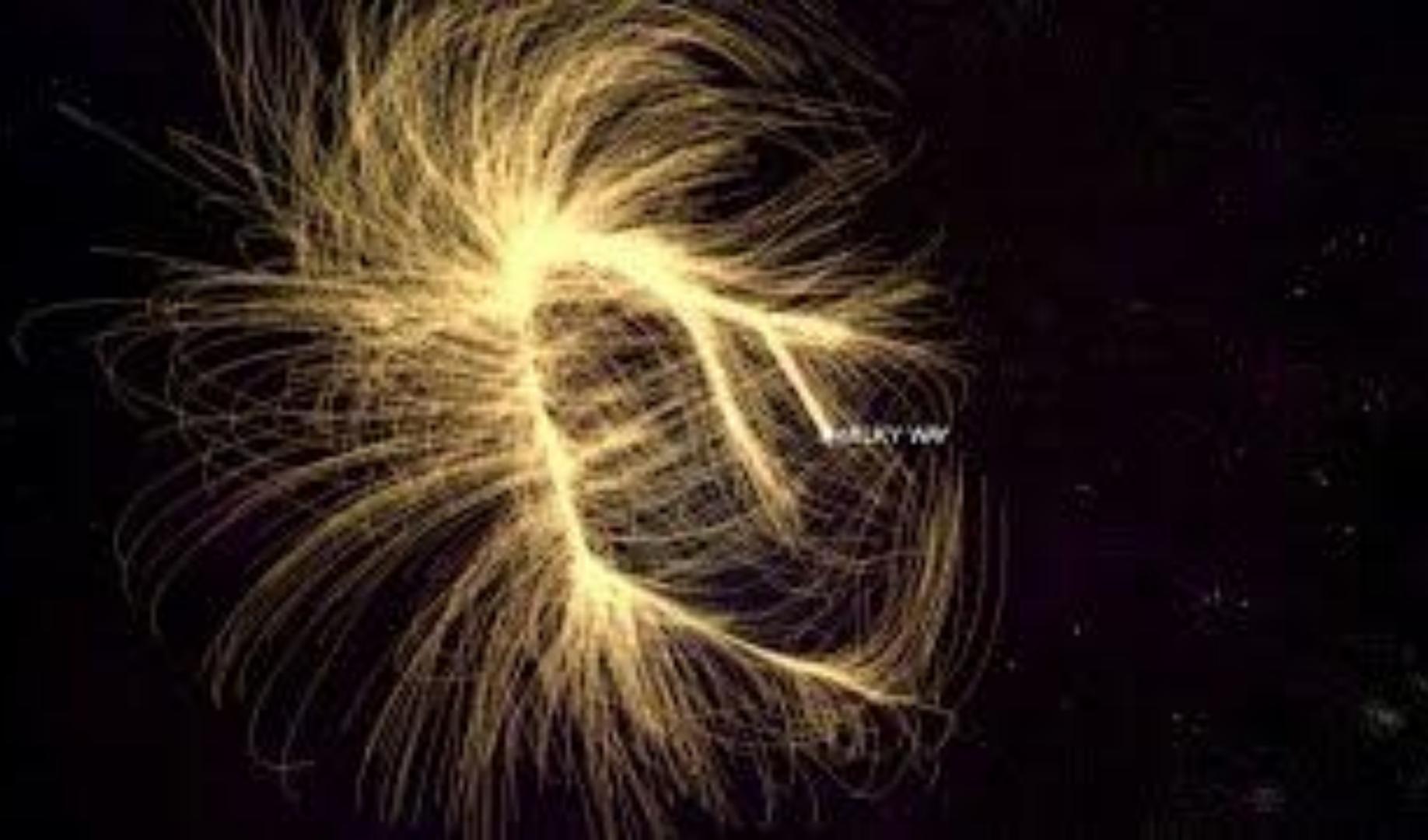


¿A escalas del
supercluster de Virgo?
(300 Mpc) (1000
galaxias)
Más lejos!

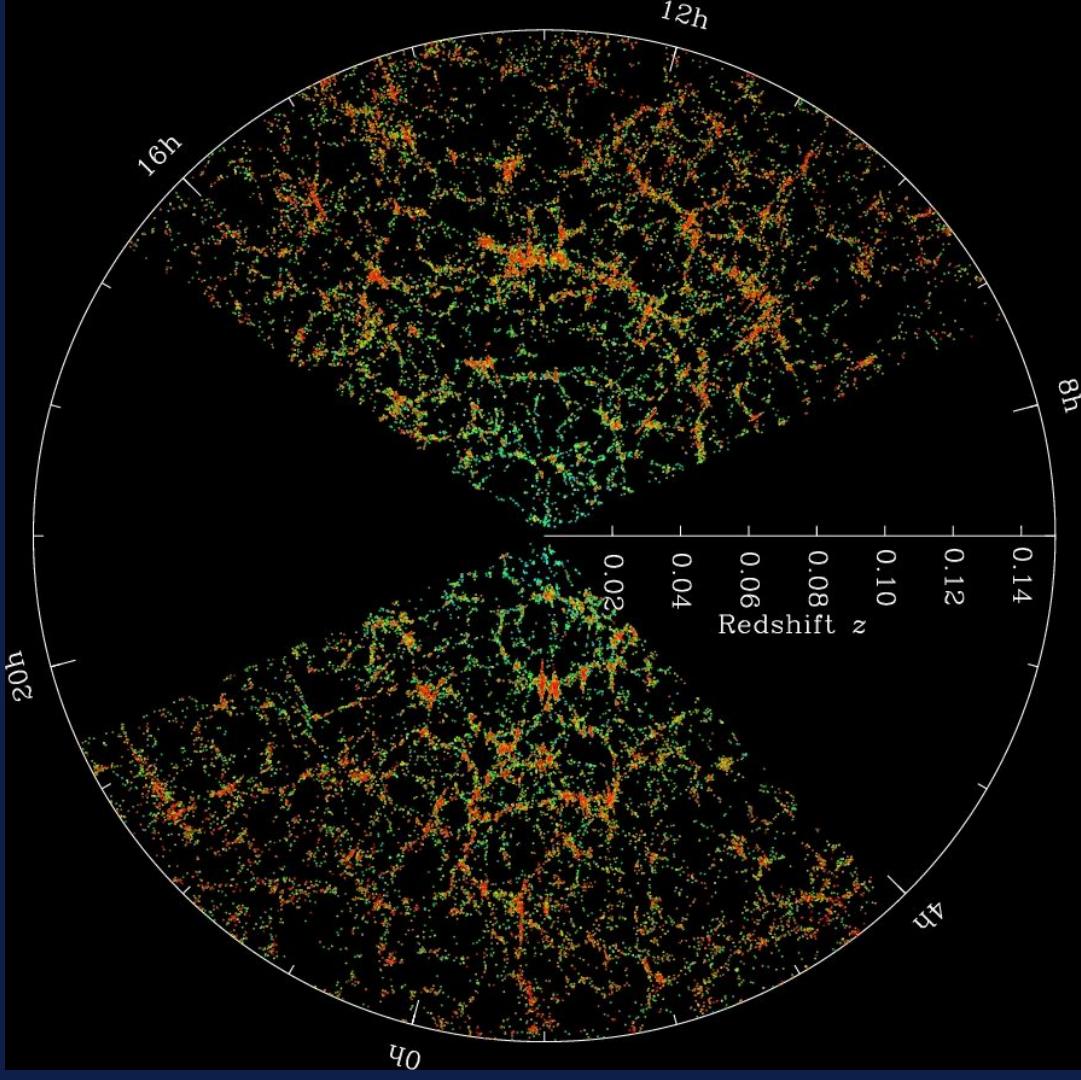
Cosmología: ¿qué significa “grandes escalas”?

¿A escalas de los super
clusters? (~200 Mpc)
(100.000 veces la masa
de nuestra galaxía)

Sí!



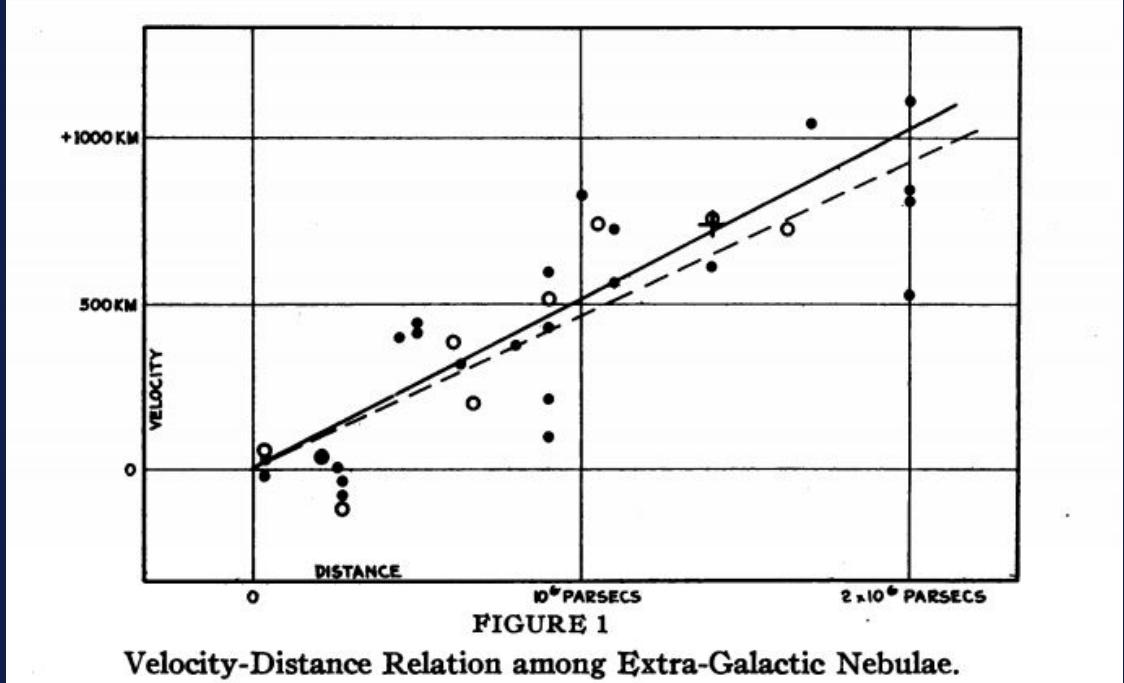
El universo es isotrópico y uniforme a grandes escalas





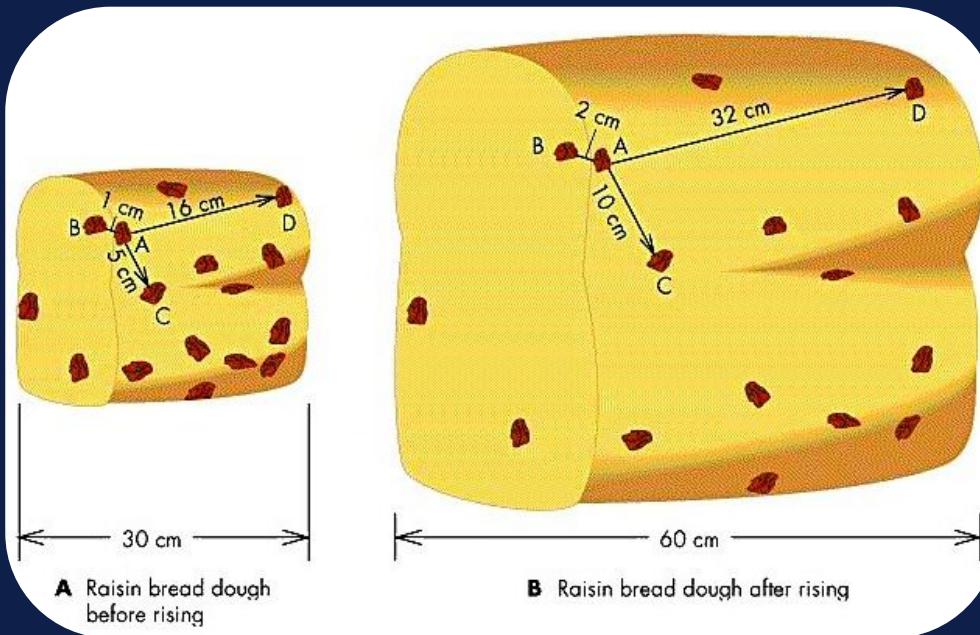
Todo parece
alejarse de
nosotros...

El universo se está expandiendo!



El universo se está expandiendo!

Da igual donde te pares, siempre verás que todo se aleja de ti!



El universo se está expandiendo!

Da igual donde te pares, siempre verás que todo se aleja de ti!



Algo está mal en esta figura...

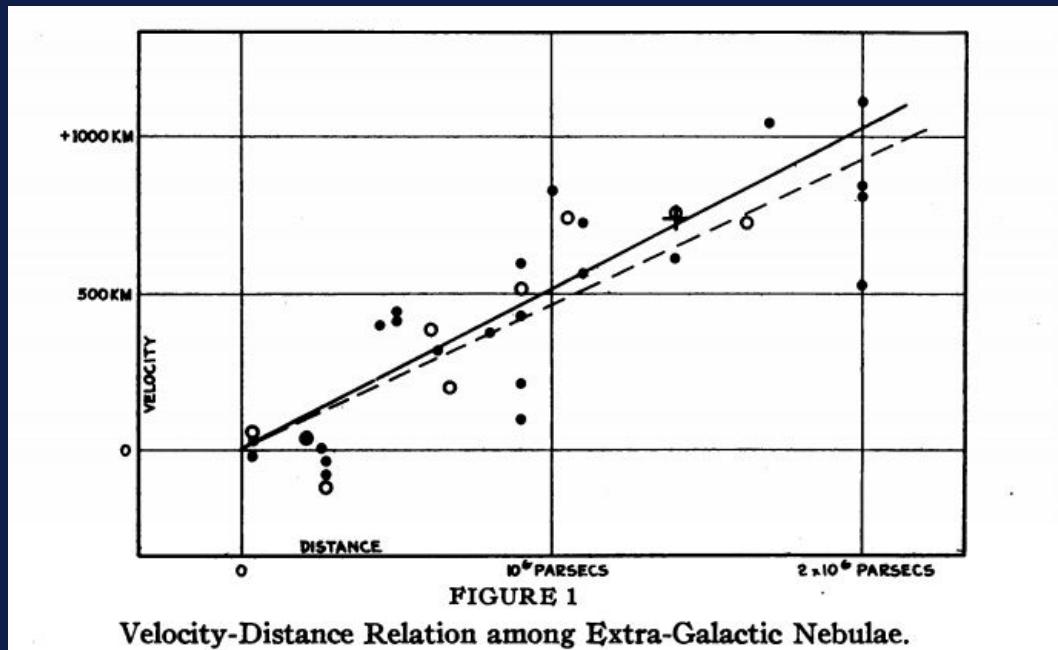
Hubble definió la ley:

$$v = H_0 d = d/t_0$$

¿A qué tiempo corresponde?

Es la edad del universo!

$$t_0 \approx 1/H_0$$



$$H_0 \approx 500 \text{ km/s/Mpc} \Rightarrow t_0 \approx 2000 \text{ Myr}$$



Midió la **velocidad** y
distancia a varias
galaxias

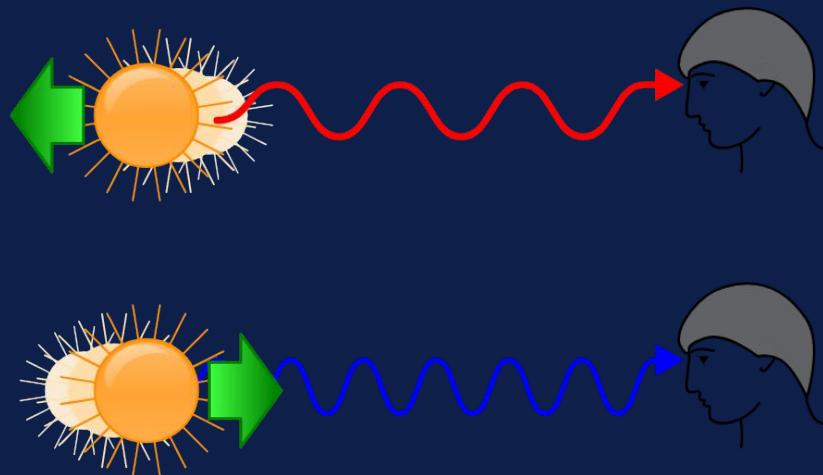
¿Cómo medir la velocidad
de un objeto astronómico
con su espectro?



El redshift cosmológico

Utilizamos efecto Doppler!

$$\frac{\lambda_{obs} - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{\Delta v}{c}$$



El redshift cosmológico

Utilizamos efecto Doppler!

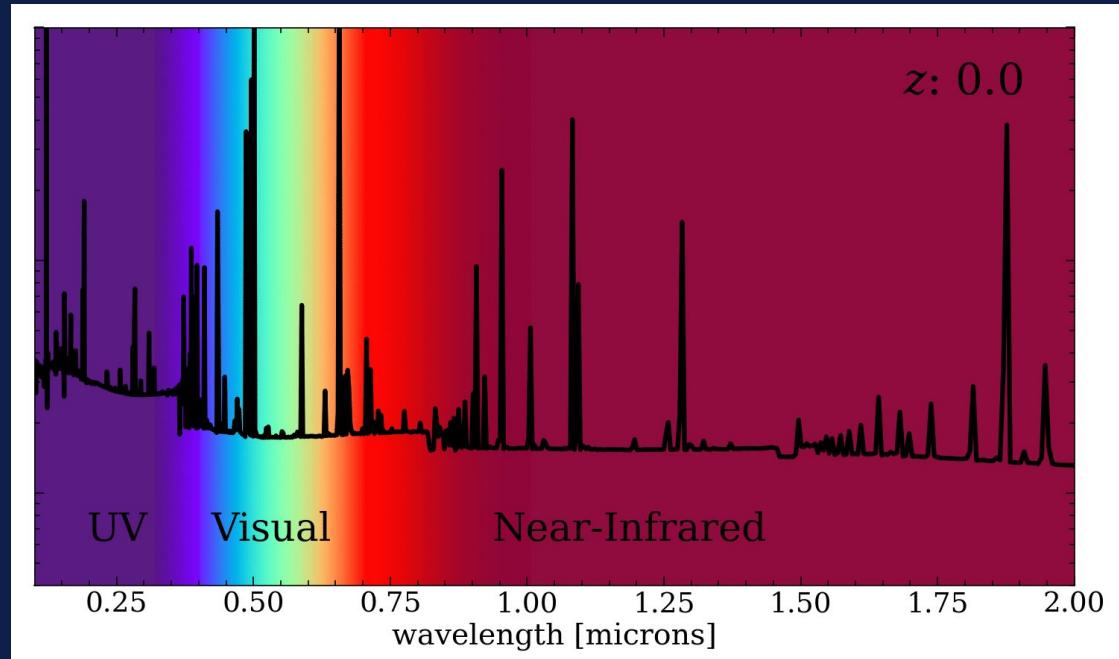
$$\frac{\lambda_{obs} - \lambda_0}{\lambda_0} = z \Rightarrow \lambda_{obs} = (1 + z)\lambda_0$$

El redshift cosmológico **NO** tiene que ver con el movimiento propio de las galaxias!

El redshift cosmológico

$$\frac{\lambda_{obs} - \lambda_0}{\lambda_0} = z \Rightarrow \lambda_{obs} = (1 + z)\lambda_0$$

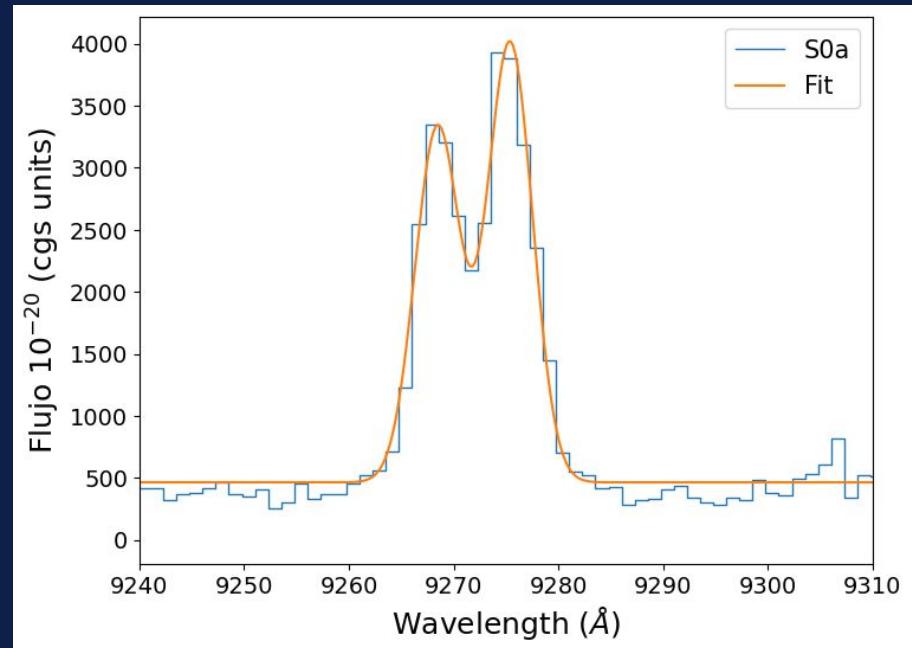
Este fenómeno afecta todo el espectro de las galaxias!



El redshift cosmológico

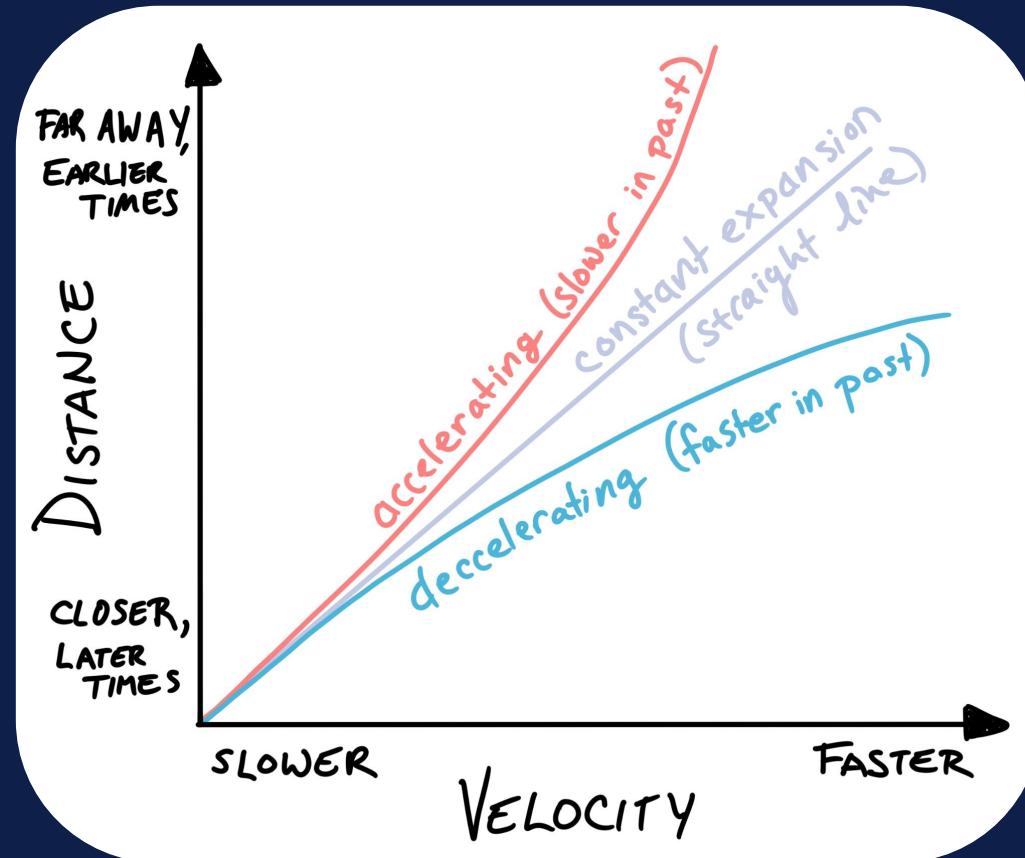
$$\frac{\lambda_{obs} - \lambda_0}{\lambda_0} = z \Rightarrow \lambda_{obs} = (1 + z)\lambda_0$$

Ejemplo de la tarea, si la longitud de onda de la línea más hacia el azul es $\sim 3727 \text{ \AA}$, calcule el redshift de esta galaxia!



¿Qué podemos inferir de un diagrama de Hubble?

Con suficientes datos podemos inferir “cómo” ha evolucionado la expansión del universo!



Un diagrama de Hubble más moderno...

¿Qué es el eje y? Recordemos...

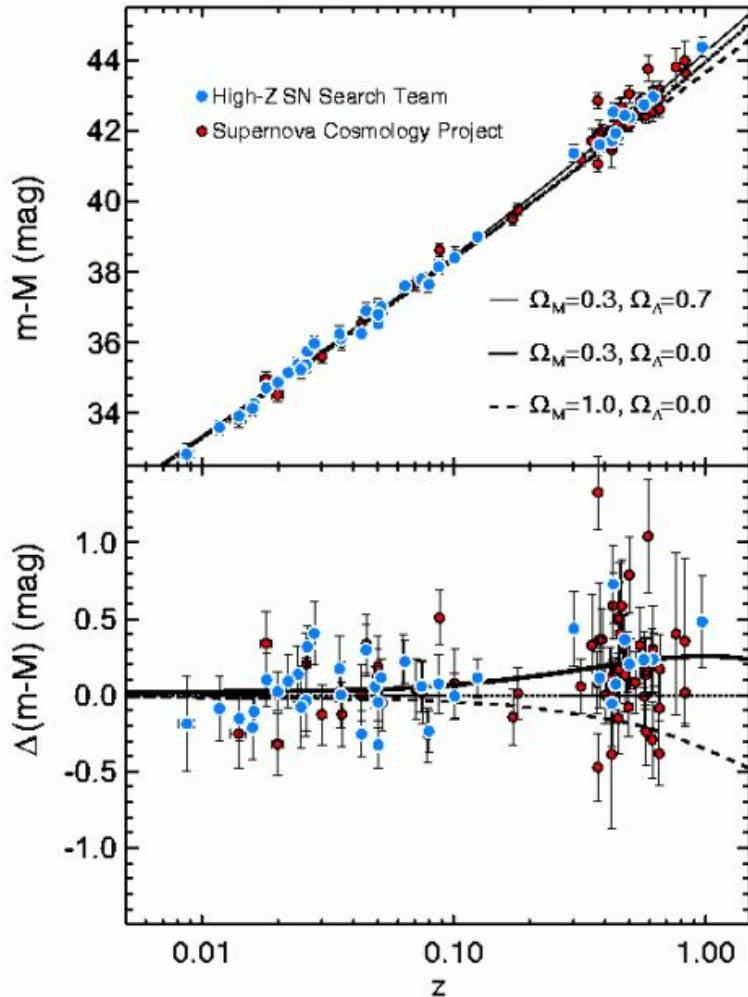
$$F = \frac{L}{4\pi d^2}$$

$$m_\lambda = -2.5 \log_{10}(F_\lambda) = -2.5 \log_{10} \left(\frac{L}{4\pi d^2} \right)$$

$$M_\lambda = -2.5 \log_{10} \left(\frac{L}{4\pi (10pc)^2} \right)$$



$$m_\lambda - M_\lambda = 5 \log_{10} \left(\frac{d}{10pc} \right)$$

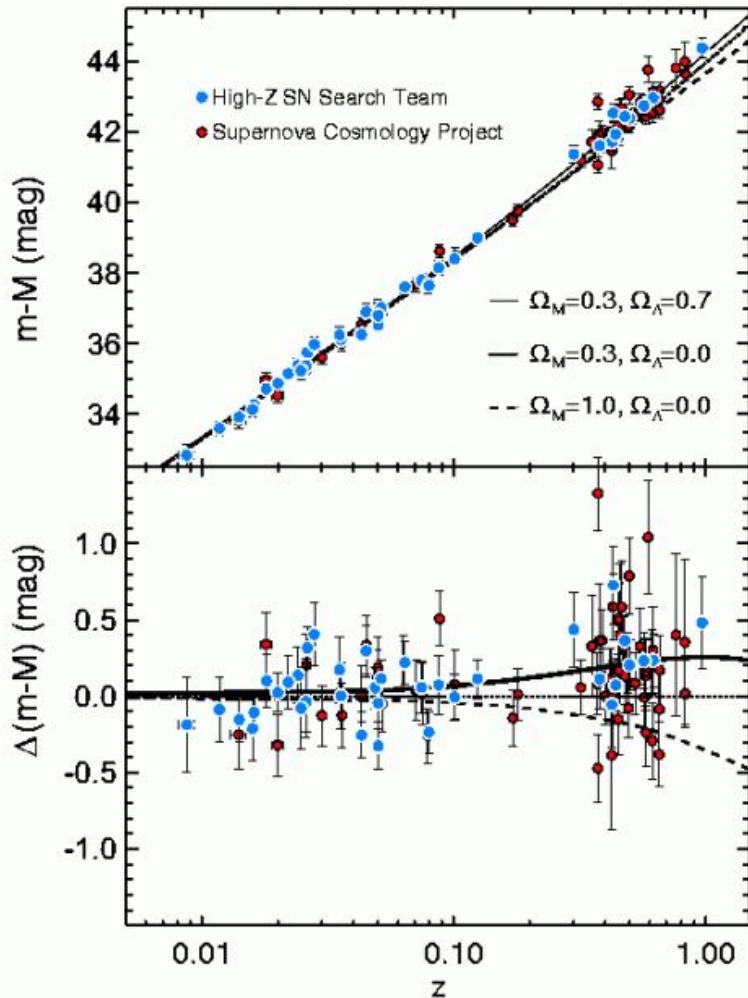


Un diagrama de Hubble más moderno...

El “mejor modelo” es uno que tiene 2 componentes, de parámetros:

$$\Omega_m = 0.3 \wedge \Omega_\Lambda = 0.7$$

Son fracciones de masa!



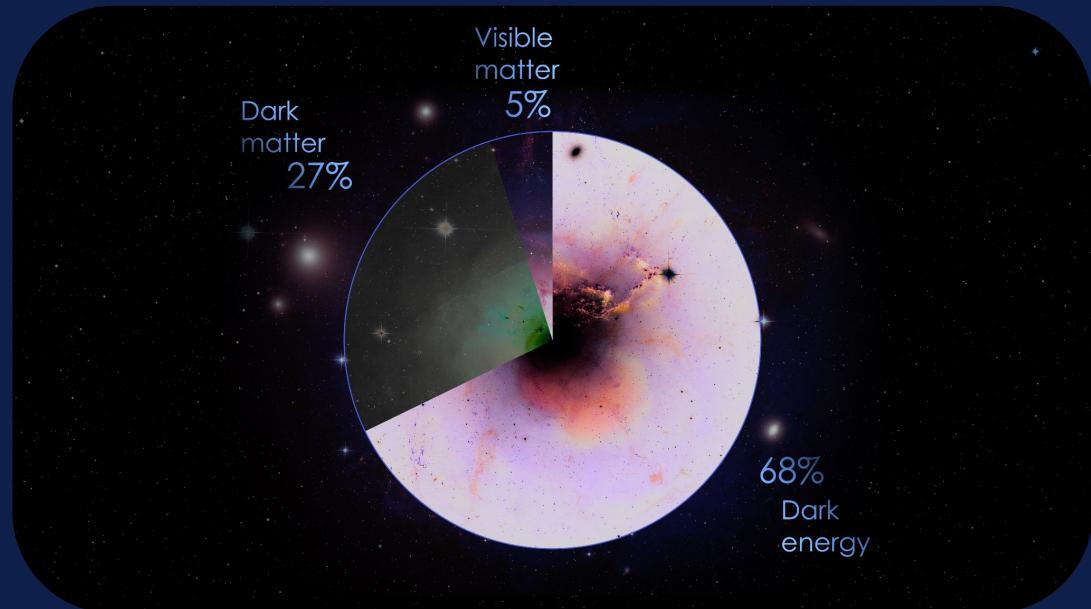
Un diagrama de Hubble más moderno...

$$\Omega_m = 0.3 \wedge \Omega_\Lambda = 0.7$$

Son fracciones de masa!

$$\Omega_\Lambda = 0.7$$

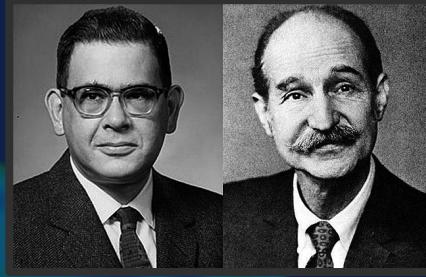
Se conoce como energía oscura, se opone a la gravedad (presión negativa!) y genera la expansión acelerada!

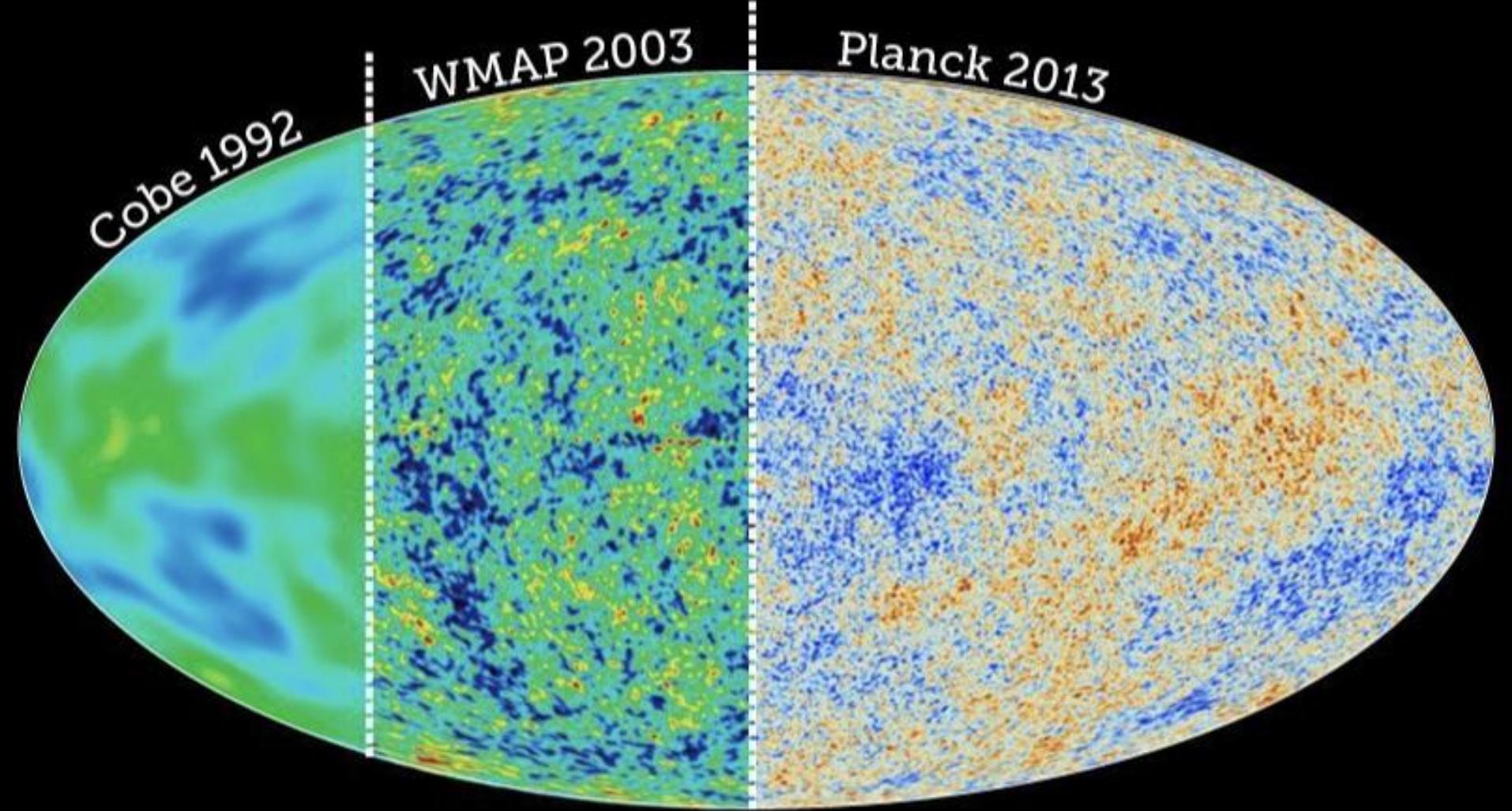


Así fueron los primeros 400.000 años...

Cronología del CMB

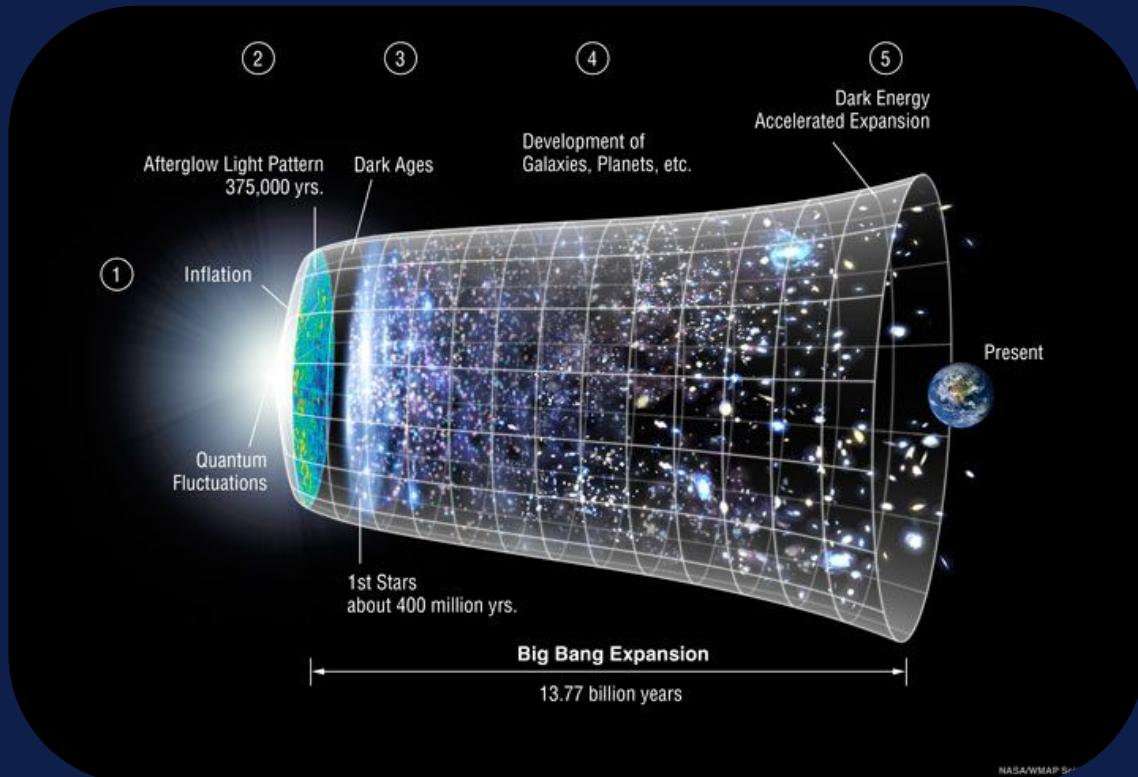
- Gamow, Alpher y Herman (1948)
- Wilkinson y Dicke (1964)
- Penzias y Wilson detectan el CMB por primera vez (1965)
- COBE (1992)





El modelo Λ -CDM

¿Qué ilustra
esta
imagen?



Λ -CDM

Admitimos un
componente de
energía oscura
que actúa de
forma contraria a
la gravedad

Λ -CDM

Admitimos un componente de energía oscura que actúa de forma contraria a la gravedad.

Λ -CDM

Necesitamos de un componente de materia oscura, la cual no interactúa con la luz y es “fría”.

Utiliza el principio cosmológico...

Admitimos un componente de energía oscura que actúa de forma contraria a la gravedad

Universo infinitamente plano...

Λ -CDM

Se asume correcta la relatividad general...

Incluye un período inflacionario...

Necesitamos de un componente de materia oscura, la cual no interactúa con la luz y es “fría”.

Λ -CDM

Modelo más simple capaz de explicar de forma consistente:

- 1 La existencia del fondo de radiación cósmica.
- 2 La estructura a grandes escalas del universo.
- 3 Las abundancias fundamentales de hidrógeno y helio.
- 4 La expansión acelerada del universo.



Λ -CDM