

TURISMO ASTRONÓMICO

CURSO DE ASTRONOMÍA

(NIVEL AVANZADO)

PARTICIPACIÓN CIUDADANA | JUVENTUD
AYUNTAMIENTO PRIEGO DE CÓRDOBA

PROGRAMA

- 1.- Exoplanetas
- 2.- Formación y evolución estelar
- 3.- Cosmología
- 4.- Manejo y observación con telescopios (práctica)
- 5.- Astrofotografía de gran campo y cielo profundo (práctica)



QR Inscripción

Sábado 10:00 - 13:30 h. (Teoría) y 18:00 - 22:00 h. (Práctica)

Domingo 10:00 h. - 11:30 h. (Teoría) / 12:00 - 13:30 (Obs. solar)
18:00 h. - 22:00 h. (Práctica)

Plazas limitadas. Inscripción gratuita.

Dr. Rafael Luque - Instituto de Astrofísica de Andalucía



Programación

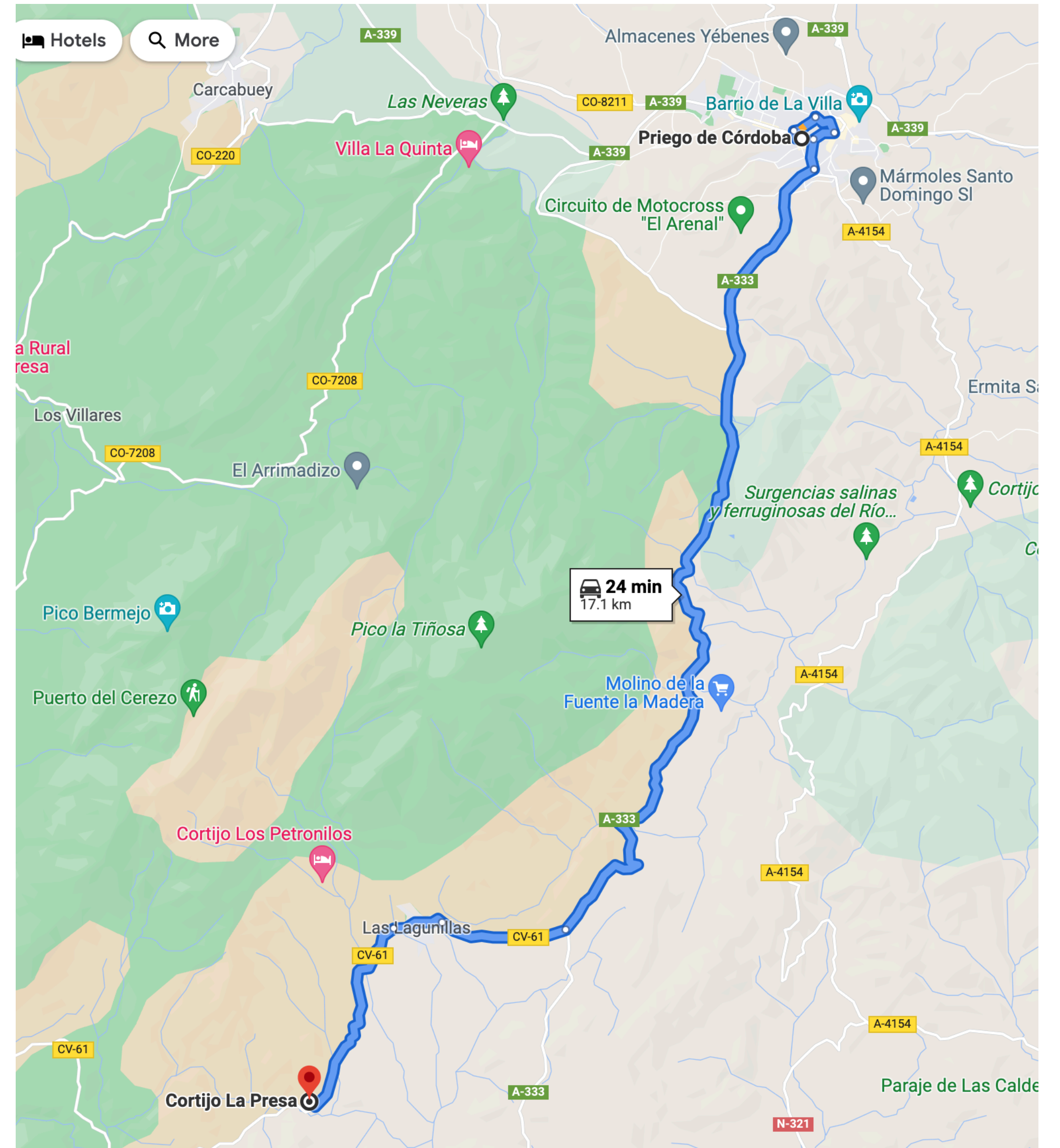
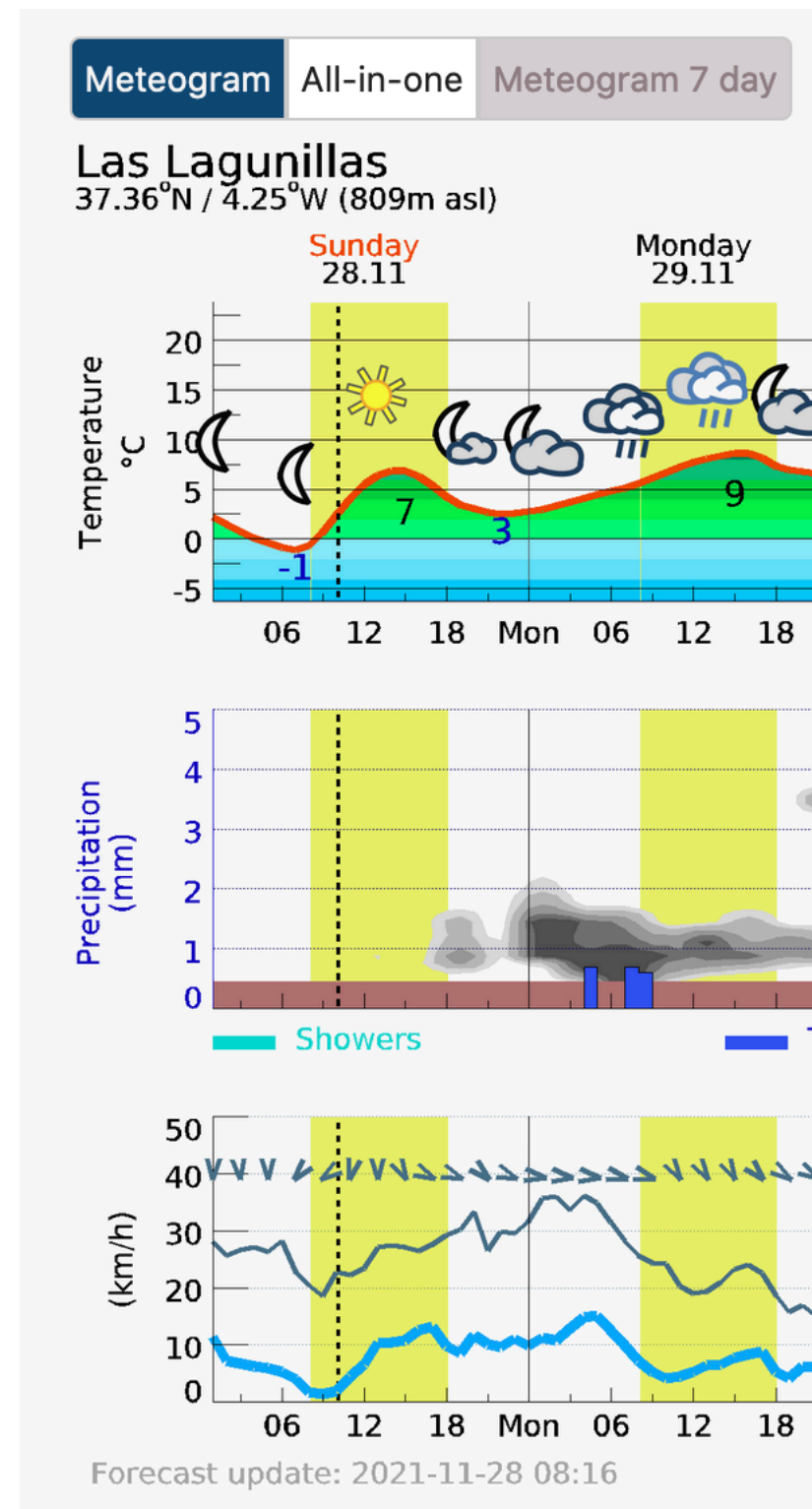
- ▶ Sábado, 27 de noviembre
 - ▶ S1: Exoplanetas (10:00 - 11:30)
 - ▶ S2: Formación y evolución estelar (12:00 - 13:30)
- ▶ Domingo, 28 de noviembre
 - ▶ S3: Cosmología (10:00 - 11:30)
- ▶ Sesiones prácticas
 - ▶ Observación nocturna: ~~Sábado (18:00 - 22:00)~~ y domingo (**18:30 - 22:00**)
 - ▶ Observación solar: Domingo (12:00 - 13:30)

Preparativos

- ▶ Observaciones nocturnas
 - ▶ ROPA DE ABRIGO (pero mucho abrigo, nunca sobran capas)
 - ▶ Luz blanca Y ROJA (hay apps para el teléfono o con papel celofán rojo en linterna normal)
 - ▶ Comida/bebida (aunque en el alojamiento se podrán comprar bocadillos y bebida)
 - ▶ Bonus: Termo con bebida caliente, silla plegable
 - ▶ **MÁS ROPA DE ABRIGO Y CALZADO APROPIADO**

Preparativos

- Observaciones nocturnas
 - **Cortijo La Presa:** Carretera Rute - Las Lagunillas Km . 4, 6, 14817 Las Lagunillas, Córdoba



INICIACIÓN A LA ASTRONOMÍA II

SESIÓN 3: Cosmología

Dr. Rafael Luque - Instituto de Astrofísica de Andalucía



¿Qué es la cosmología?

- ▶ La cosmología es una rama de la astronomía que trata de estudiar el Universo como un todo, especialmente su origen, evolución, destino y las leyes físicas que gobiernan estos procesos
- ▶ La cosmología es quizás la más antigua de las ciencias, ya que tratar de comprender el origen y estructura del Universo se hace desde tiempos inmemoriales
- ▶ Hinduismo, babilonios, griegos (Anaxágoras/Epicuro, Pitágoras, Aristóteles, Ptolomeo), cristianismo, islam, Copérnico, Bruno, Brahe, Kepler, Newton, Descartes, Kant, Einstein, De Sitter, Friedmann, Lemaitre, ...
- ▶ La cosmología ha pasado de ser un campo de la filosofía al de la astronomía observaciones

La paradoja de Olbers

¿Por qué el cielo se ve
oscuro de noche?

La paradoja de Olbers

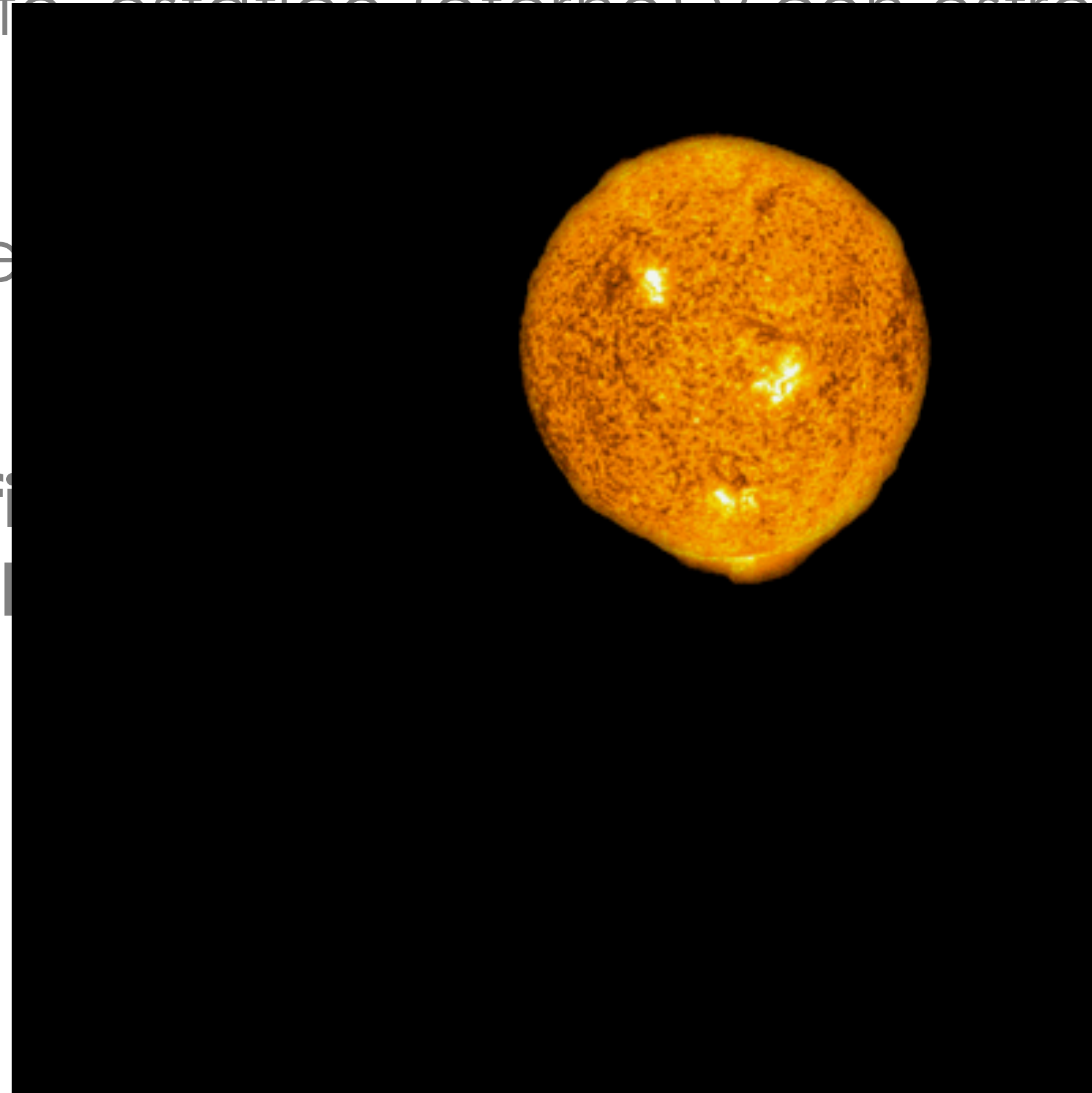
- ▶ Propuesta en el s. XIX
- ▶ El modelo cosmológico predominante era el de Newton
- ▶ Para ello el Universo debería tener un tamaño infinito y lleno de estrellas distribuidas de forma homogénea. Si hubiese un número *finito* de estrellas entonces el Universo acabaría colapsando debido a la gravedad entre ellas
- ▶ PERO...

La paradoja de Olbers

- ▶ Si el Universo es infinito, estático (eterno) y con estrellas uniformemente distribuidas...
- ▶ En cualquier zona del cielo donde miremos encontraremos la superficie de una estrella
- ▶ **Como el brillo superficial no depende de la distancia a la estrella, el cielo durante la noche debería ser tan brillante como la superficie del Sol**

La paradoja de Olbers

- ▶ Si el Universo es infinito, estático (eterno) y con estrellas uniformemente distribuidas...
- ▶ En cualquier zona de cielo veremos la superficie de una estrella
- ▶ Como el brillo superficial de una estrella es igual al de la estrella, el cielo durante la noche delimitada por el horizonte será tan brillante como la superficie del Sol



La paradoja de Olbers

- ▶ Se podría argumentar que el medio interestelar oscurece la luz de las estrellas más lejanas. PERO, en un tiempo infinito, ese gas se calentaría lo suficiente para emitir radiación
- ▶ POR TANTO, ALGUNA DE LAS HIPÓTESIS DEBE SER INCORRECTA
- ▶ El Universo puede no ser
 - ▶ Infinito
 - ▶ Estático
 - ▶ Lleno de estrellas distribuidas de forma homogénea

La paradoja de Olbers

- ▶ Se podría argumentar que el medio interestelar oscurece la luz de las estrellas más lejanas. PERO, en un tiempo infinito, ese gas se calentaría lo suficiente para emitir radiación
- ▶ POR TANTO, ALGUNA DE LAS HIPÓTESIS DEBE SER INCORRECTA
- ▶ El Universo puede no ser
 - ▶ Infinito
 - ▶ Estático
 - ▶ Lleno de estrellas distribuidas de forma homogénea

Hubble y la expansión del Universo

- ▶ En los años 1910-1920, Slipher observó que la mayoría de los espectros de las galaxias estaban desplazados hacia el rojo y, a veces, hacia el azul

Hubble y la expansión del Universo

► En los
las gal

tros de
azul



Hubble y la expansión del Universo

- ▶ En los años 1910-1920, Slipher observó que la mayoría de los espectros de las galaxias estaban desplazados hacia el rojo y, a veces, hacia el azul
- ▶ A medida que se fueron observando más galaxias cada vez más lejanas se vio que todas ellas tenían corrimiento al rojo. Esto implicaría que el sistema solar se aleja de todas las galaxias, lo cual no tiene mucho sentido
- ▶ Hubble demostró en 1929 que todas las galaxias (excepto las del Grupo Local) muestran desplazamiento al rojo y que ese corrimiento al rojo es proporcional a su distancia a nosotros

Hubble y la expansión del Universo

- ▶ En los años 1910-1920, se descubrió que las galaxias estaban alejándose de nosotros.
- ▶ A medida que se veían galaxias cada vez más lejanas, se vio que todas ellas se alejaban del sistema solar se alejaban.
- ▶ Hubble demostró que las galaxias (excepto las del Grupo Local) muestran una velocidad de recesión proporcional a su distancia.

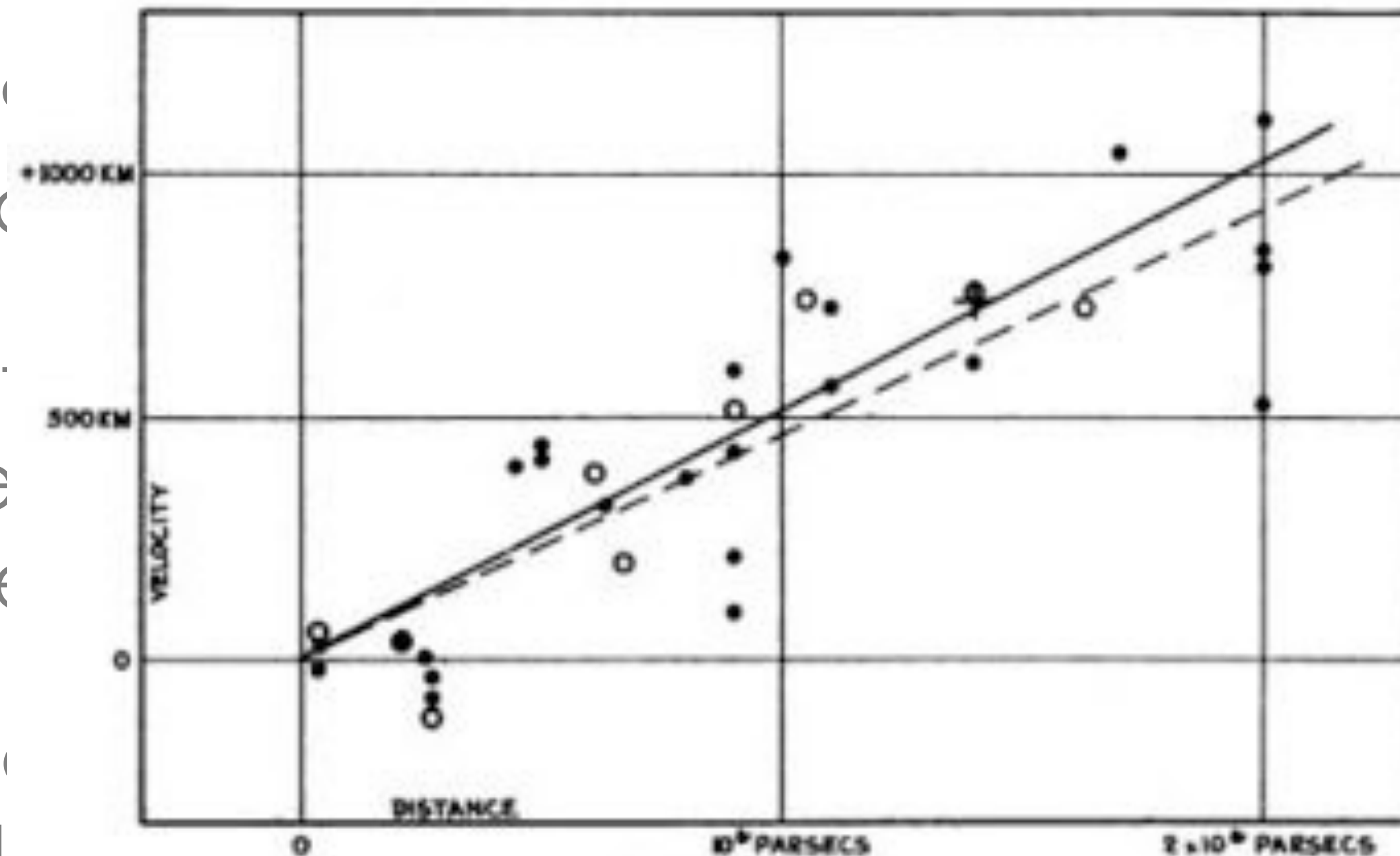


FIGURE 1

Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.

Radial velocities, corrected for solar motion, are plotted against distances estimated from involved stars and mean luminosities of nebulae in a cluster. The black discs and full line represent the solution for solar motion using the nebulae individually; the circles and broken line represent the solution combining the nebulae into groups; the cross represents the mean velocity corresponding to the mean distance of 22 nebulae whose distances could not be estimated individually.

de los espectros de las galaxias, hacia el azul

la vez más lejanas, se vio que todas ellas se alejaban del sistema solar se alejaban. Esto tiene mucho sentido

pto las del Grupo Local, el movimiento al rojo es

Hubble y la expansión del Universo

- ▶ En los años 1910-1920, el análisis de los espectros de las galaxias estaban dando lugar a conclusiones contradictorias. Algunas veces, hacia el azul
- ▶ A medida que se fueron descubriendo galaxias cada vez más lejanas se vio que todas ellas tenían un corrimiento al rojo. Esto implicaría que el sistema solar se aleja de ellas. Pero esto no tiene mucho sentido
- ▶ Hubble demostró en 1929 que las galaxias (excepto las del Grupo Local) muestran desplazamiento al rojo proporcional a su distancia.

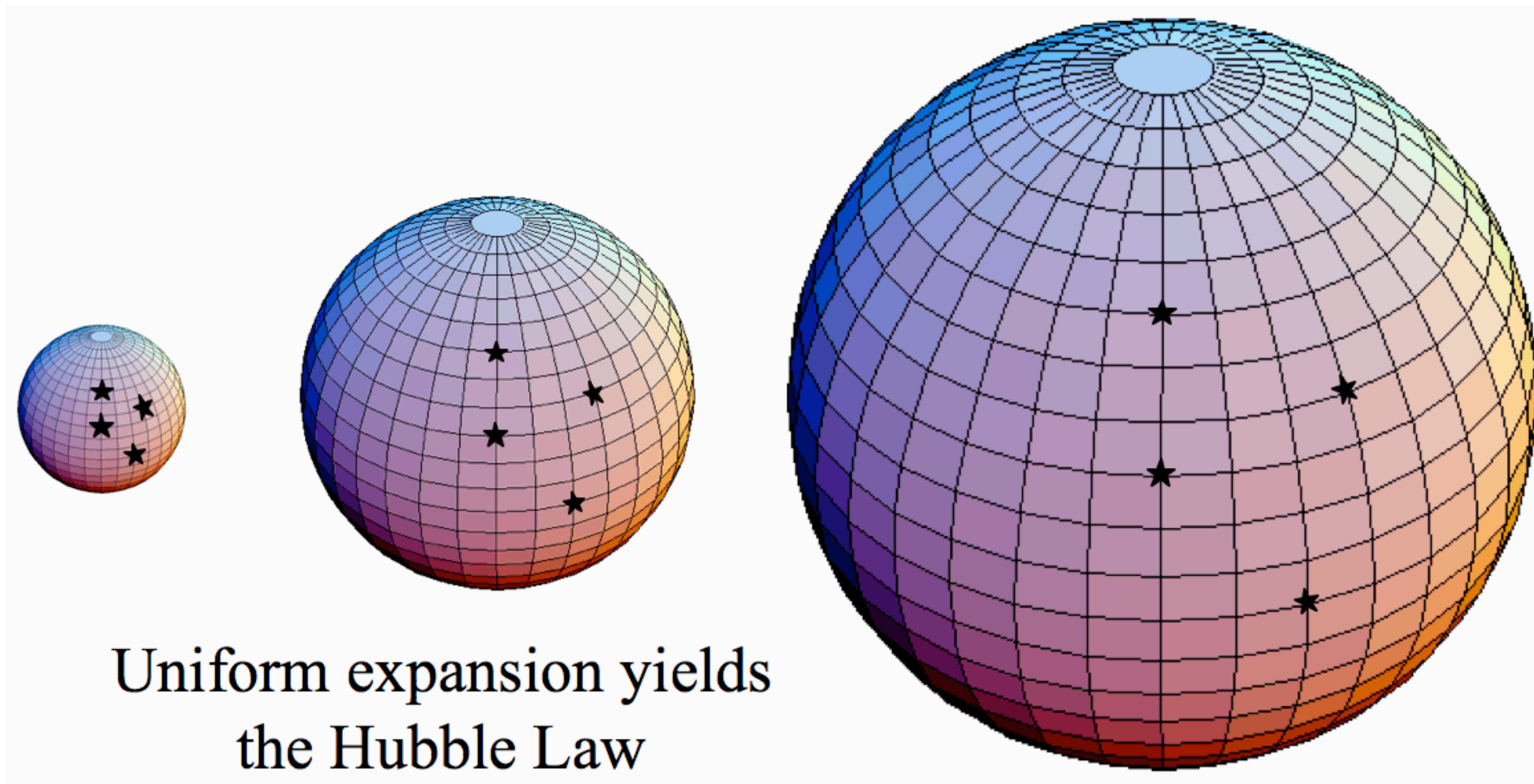


La expansión del Universo

- ▶ Podríamos pensar que si todas las galaxias se alejan de nosotros, entonces estamos situados en el centro del Universo... POR FIN!
- ▶ PERO...

La expansión del Universo

- Podríamos pensar que si todas las galaxias se alejan de nosotros, entonces estamos situados en el centro del Universo... POR FIN!
- PERO...



La expansión del Universo

- ▶ La ley de Hubble no significa que las galaxias se alejen de nosotros a velocidades vertiginosas, no es un efecto Doppler “al uso”
- ▶ Este corrimiento al rojo es debido a la propia expansión del Universo.
- ▶ Cuando un fotón emitido por una galaxia lejana se acerca a nosotros el espacio se expande y la longitud de onda asociada al fotón aumenta en la misma proporción
- ▶ Las galaxias están en realidad “en reposo”, pero ubicadas en un Universo que se expande como un todo

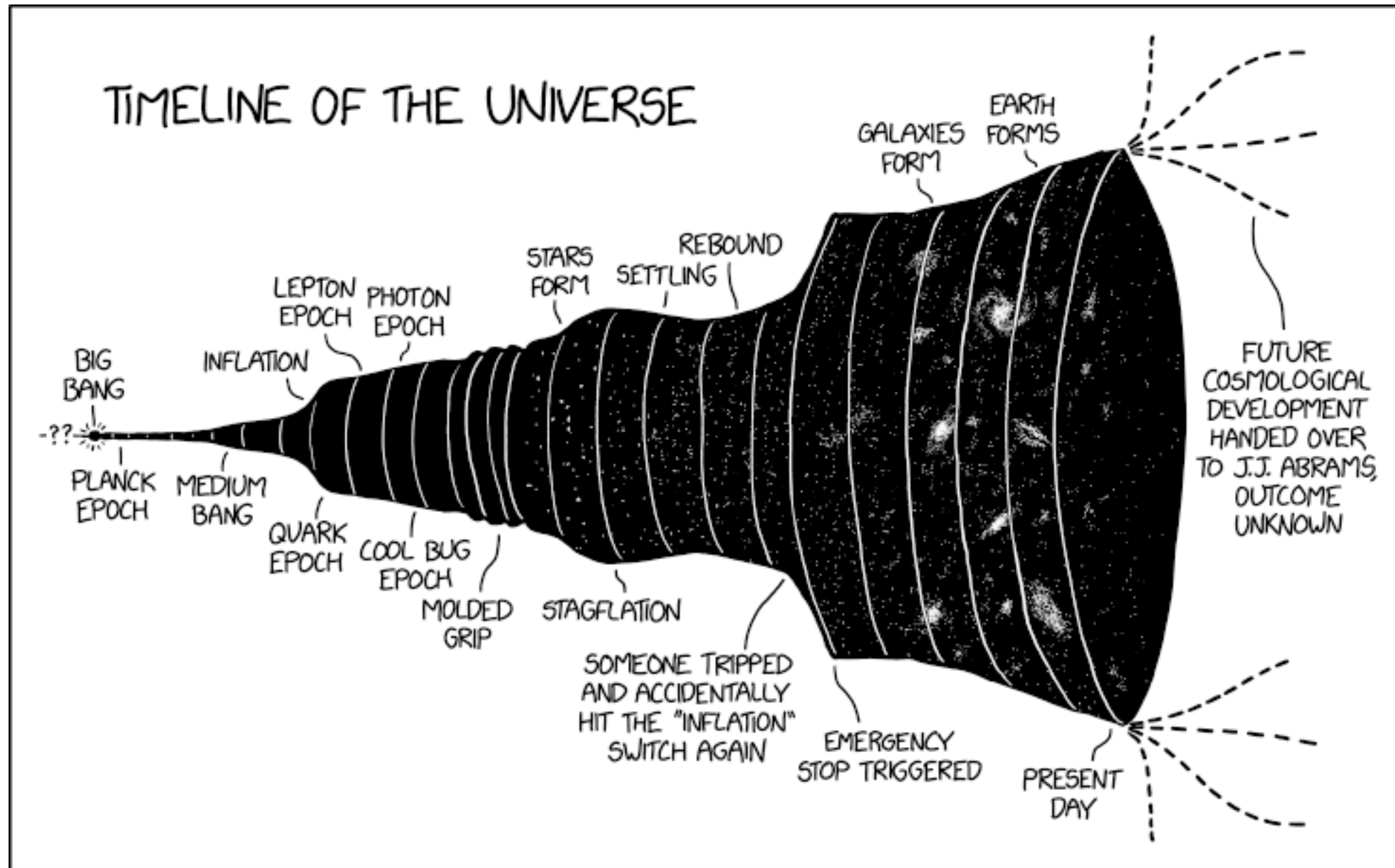
La expansión del Universo

- ▶ Si el Universo está en expansión entonces debe haber un momento en el pasado en el que todo estaba muy cerca
- ▶ Este momento en el espacio-tiempo donde todas las galaxias convergerían en un mismo punto se llama Big Bang
- ▶ Sabiendo el ritmo de expansión del Universo podemos conocer cuándo las galaxias estaban todas concentradas en un punto, lo que determina la edad del Universo (tiempo de Hubble)
- ▶ **Nuestra mejor estimación a día de hoy dice que el Universo tiene una edad de 13.600 millones de años**

La teoría del Big Bang

- ▶ Es el modelo cosmológico más aceptado en la actualidad
- ▶ Este modelo es capaz de predecir una gran variedad de medidas observacionales como la abundancia de los elementos químicos más ligeros (H, He y Li), la radiación de fondo cósmico de microondas y la estructura a gran escala del Universo
- ▶ La teoría tiene únicamente dos suposiciones:
 - ▶ **Las leyes físicas son universales**
 - ▶ **El Universo es homogéneo e isótropo a gran escala**
- ▶ Las leyes físicas son las de la teoría de la relatividad general y la física cuántica

Evolución del Universo



Tiempo de Planck

- ▶ Todo comienza con el Big Bang

Tiempo de Planck

- ▶ Todo comienza con el Big Bang
- ▶ Con todo me refiero a todo

Tiempo de Planck

- ▶ Todo comienza con el Big Bang
- ▶ Con todo me refiero a todo
- ▶ TODO

Tiempo de Planck

- ▶ Todo comienza con el Big Bang
- ▶ Con todo me refiero a todo
- ▶ TODO
- ▶ T O D O

Tiempo de Planck

- ▶ Todo comienza con el Big Bang
- ▶ Un instante después el espacio y el tiempo empezaron a comportarse tal y como conocemos a día de hoy
- ▶ Este instante de tiempo se llama tiempo de Planck y corresponde a 1.35×10^{-43} s
- ▶ Antes de este tiempo las leyes de la relatividad general no son aplicables
- ▶ Simplemente no sabemos qué pasó. No tenemos las herramientas matemáticas para conocer el origen del Universo, qué paso en la singularidad de la que se originó todo

Tiempo de Planck

- ▶ Tras el tiempo de Planck, la temperatura y la densidad es tan alta que se pueden crear todas las partículas imaginables
- ▶ Sin embargo, de alguna forma que no conocemos, la simetría entre materia y antimateria se rompió
- ▶ El número de partículas de materia debió superar al de partículas de antimateria por un factor 1.000000001
- ▶ Tras aniquilarse casi todas las partículas con sus antipartículas, quedaron un pequeño porcentaje (0.00000001%) de hadrones (protones, neutrones y mesones) que formaron todo lo que conocemos (galaxias, estrellas, ...)
- ▶ Esta ruptura de la simetría debió ocurrir 10^{-35} s tras el Big Bang

Inflación

- ▶ La ruptura de la simetría dio lugar a la inflación del Universo
- ▶ Una expansión rapidísima, pero rapidísima. Propuesta por Guth en los 80s.
- ▶ La inflación duro únicamente 10^{-24} segundos, pero el Universo creció en un factor 10^{50}
- ▶ La inflación es un mecanismo teórico que es capaz de explicar la tremenda homogeneidad e isotropía del fondo cósmico de microondas aunque es imposible de testear experimentalmente

Era hadrónica

- ▶ La temperatura es tan elevada que la colisión de fotones da lugar a nuevas partículas (como en el LHC del CERN en Ginebra)
- ▶ El tipo de partícula que se forma depende de la temperatura
- ▶ Para formar electrones (y positrones) se necesitan temperaturas de 6×10^9 grados
- ▶ Para los hadrones (protones, neutrones, ...) son temperaturas de $10^{12} \text{ }^\circ\text{C}$
- ▶ Esto ocurrió entre los 10^{-8} y 10^{-4} segundos tras el Big Bang, una era muy corta pero que creó los ladrillos de los que está compuesto el Universo

Era leptónica

- ▶ Tras la era hadrónica, la temperatura decrece lo suficiente para formar leptones
- ▶ Esto ocurre entre 10^{-4} y 1 segundo tras el Big Bang
- ▶ Aquí se crean los electrones y positrones, y también los neutrinos
- ▶ Los neutrinos, que apenas interaccionan con nada son capaces de propagarse por el espacio libremente
- ▶ Si tuviésemos la tecnología necesaria podríamos estudiar este fondo cósmico de neutrinos, que sería nuestra evidencia observaciones más cercana al Big Bang (sólo 1 segundo después)

Era de la radiación

- ▶ Esta era dura alrededor de 1 millón de años
- ▶ A una temperatura de 10^{10} °C, los neutrones son mucho más inestables que los protones, por tanto la proporción de estos iba decreciendo
- ▶ Un segundo después, a una temperatura de 10^9 °C se puede formar el deuterio. De esta forma todos los neutrones pasaron a formar parte del deuterio, los que no se combinaron en deuterio decayeron rápidamente
- ▶ Estos núcleos son los que posteriormente dan lugar al helio primordial. La cantidad de helio primordial (algo que puede medirse observacionalmente) nos dice la proporción de protones y neutrones en el momento de la producción de deuterio
- ▶ Nuestras medidas dicen que había 14 protones por cada 2 neutrones, lo que da lugar a un 25% de helio primordial

Era de la radiación

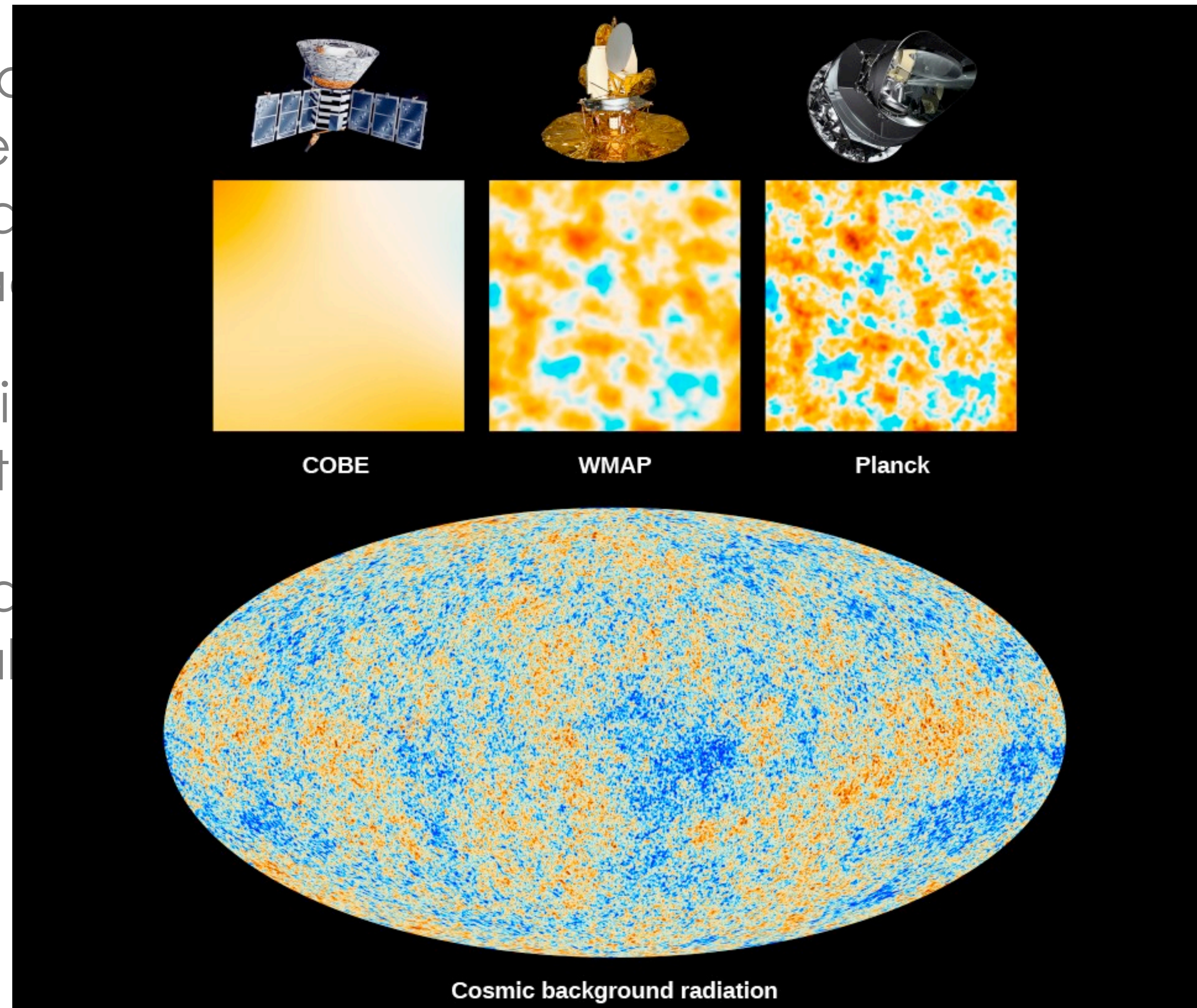
- ▶ En esta era prácticamente toda la energía está en los fotones, pero todo está tan comprimido que los fotones son rápidamente absorbidos o dispersados por electrones u otras partículas
- ▶ Cuando el Universo siguió enfriándose hasta una temperatura de 3000°C entonces se pudieron formar átomos por primera vez, principalmente hidrógeno
- ▶ Esto hizo que el Universo de repente fuese “transparente” a los fotones, que pudieron propagarse libremente por primera vez
- ▶ Estos fotones que pudieron escapar por primera vez hace 380.000 años son lo que conocemos como el fondo cósmico de microondas

Fondo cósmico de microondas

- ▶ Estos fotones aunque tenían una energía correspondiente a 3000°C (correspondiente al color rojo aproximadamente) los vemos en radiación de microondas debido a la expansión del Universo y el larguísimo tiempo que han viajado para llegar a nosotros
- ▶ Con nuestros instrumentos esta radiación que medimos se corresponde a una temperatura de -270°C en la actualidad
- ▶ Las medidas del fondo cósmico de microondas son una evidencia observacional de la teoría del Big Bang

Fondo cósmico de microondas

- ▶ Estos fotones γ (correspondientes a una longitud de onda de microondas) que han viajado desde el momento en que se crearon.
- ▶ Con nuestros instrumentos se ha medido una temperatura de 2.725 ± 0.001 K.
- ▶ Las medidas de la anisotropía de la radiación de fondo de microondas han permitido determinar la edad del universo.



a 3000°C
os en radiación
guísimo tiempo

corresponde a

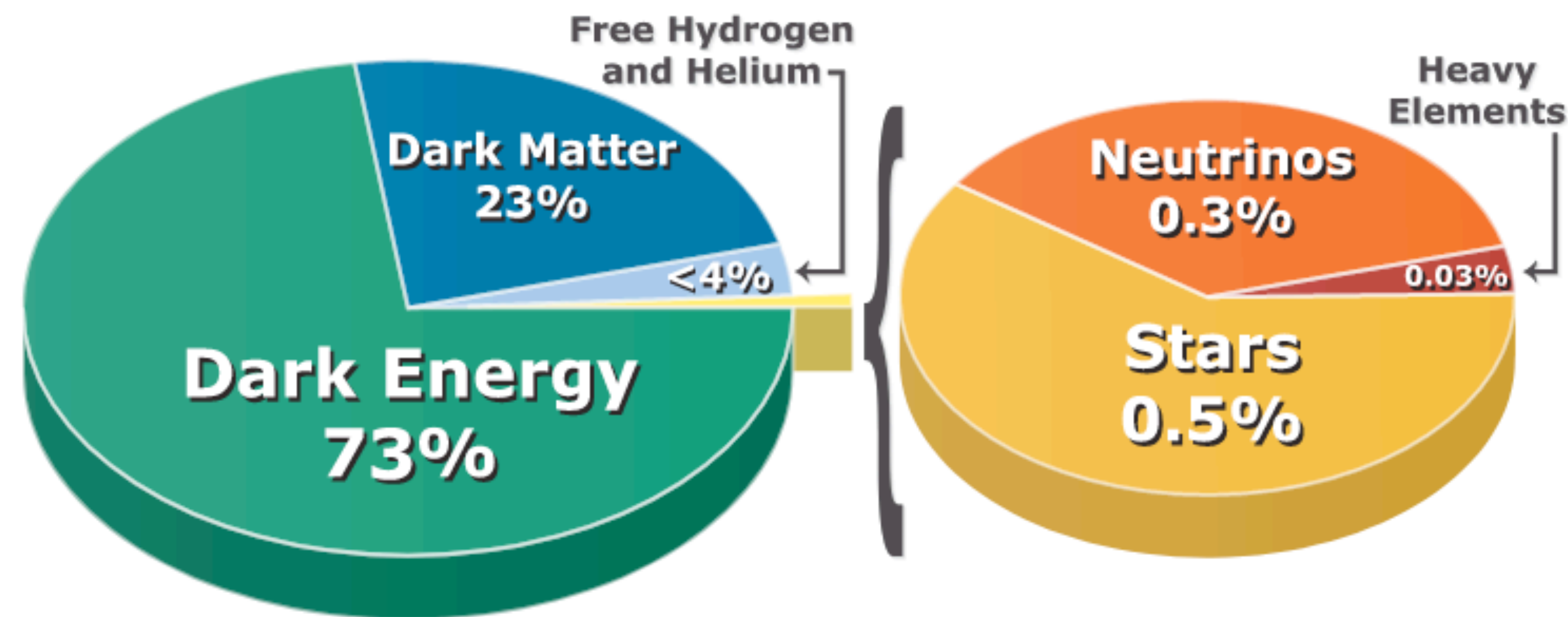
videncia

Era de la materia

- ▶ A medida que los fotones se propagan, la materia adquiere más importancia
- ▶ Cuando la densidad de materia supera a la densidad de radiación comienza la era de materia
- ▶ Aquí se forman las estrellas, galaxias, planetas y nosotros mismos
- ▶ Es la era en la que nos encontramos actualmente

La composición del Universo

- ▶ Las medidas del satélite Planck además confirmar las propiedades del fondo cósmico de microondas también permiten constreñir los modelos cosmológicos
- ▶ Las medidas indican que el Universo está compuesto de materia ordinaria, materia oscura y energía oscura

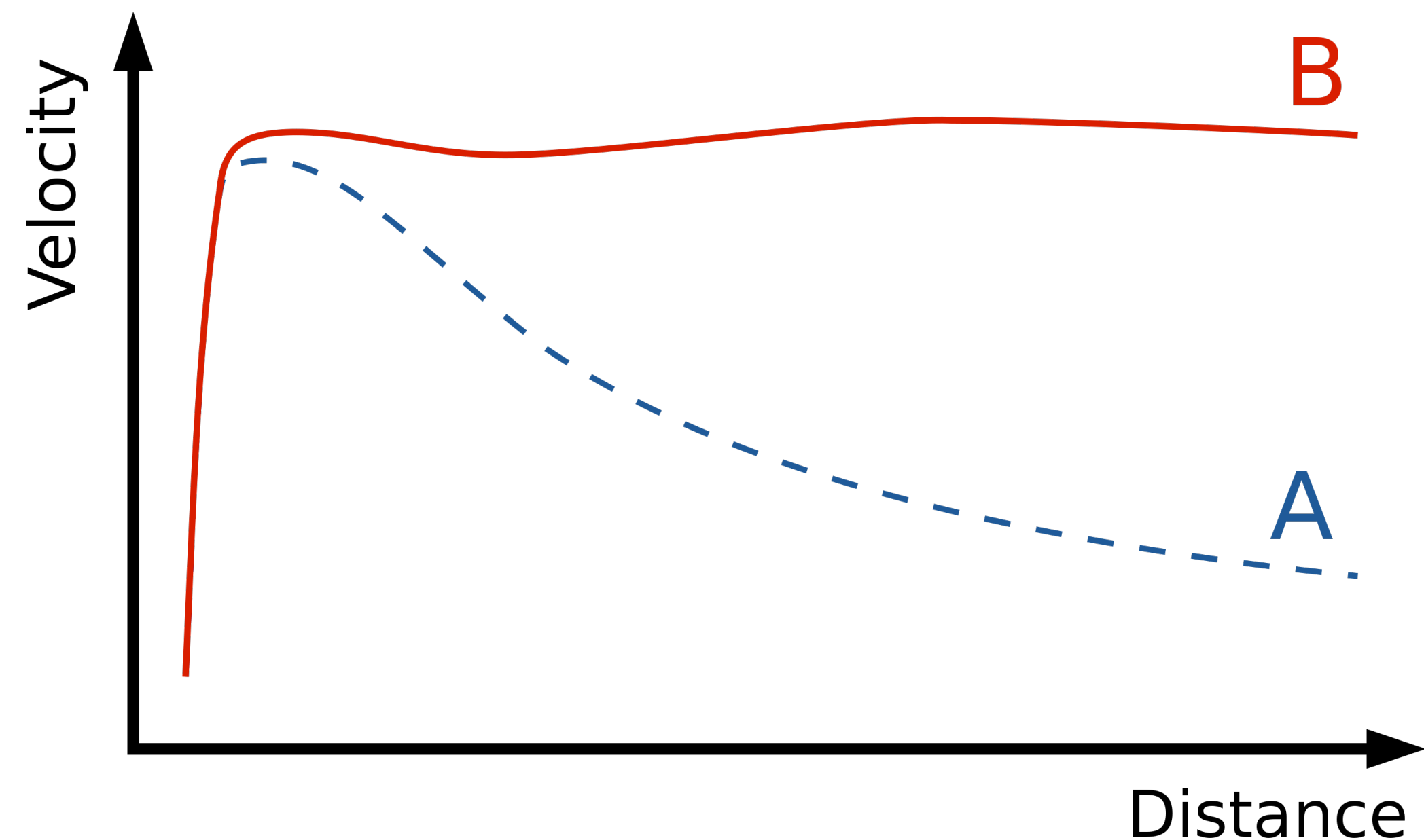


Materia oscura

- ▶ Estas proporciones van cambiando a lo largo de la historia del Universo
- ▶ Actualmente la materia oscura es un 85% de toda la materia del Universo y no tenemos ni idea de qué está hecha
- ▶ Su existencia se deduce indirectamente a través de muchísimas observaciones astronómicas:
 - ▶ las curvas de rotación de galaxias,
 - ▶ la masa de los cúmulos de galaxias,
 - ▶ lentes gravitacionales,
 - ▶ fondo cósmico de microondas,
 - ▶ distancia de supernovas tipo Ia,
 - ▶ el bosque de Ly-alpha,
 - ▶ oscilaciones acústicas bariónicas, etc.

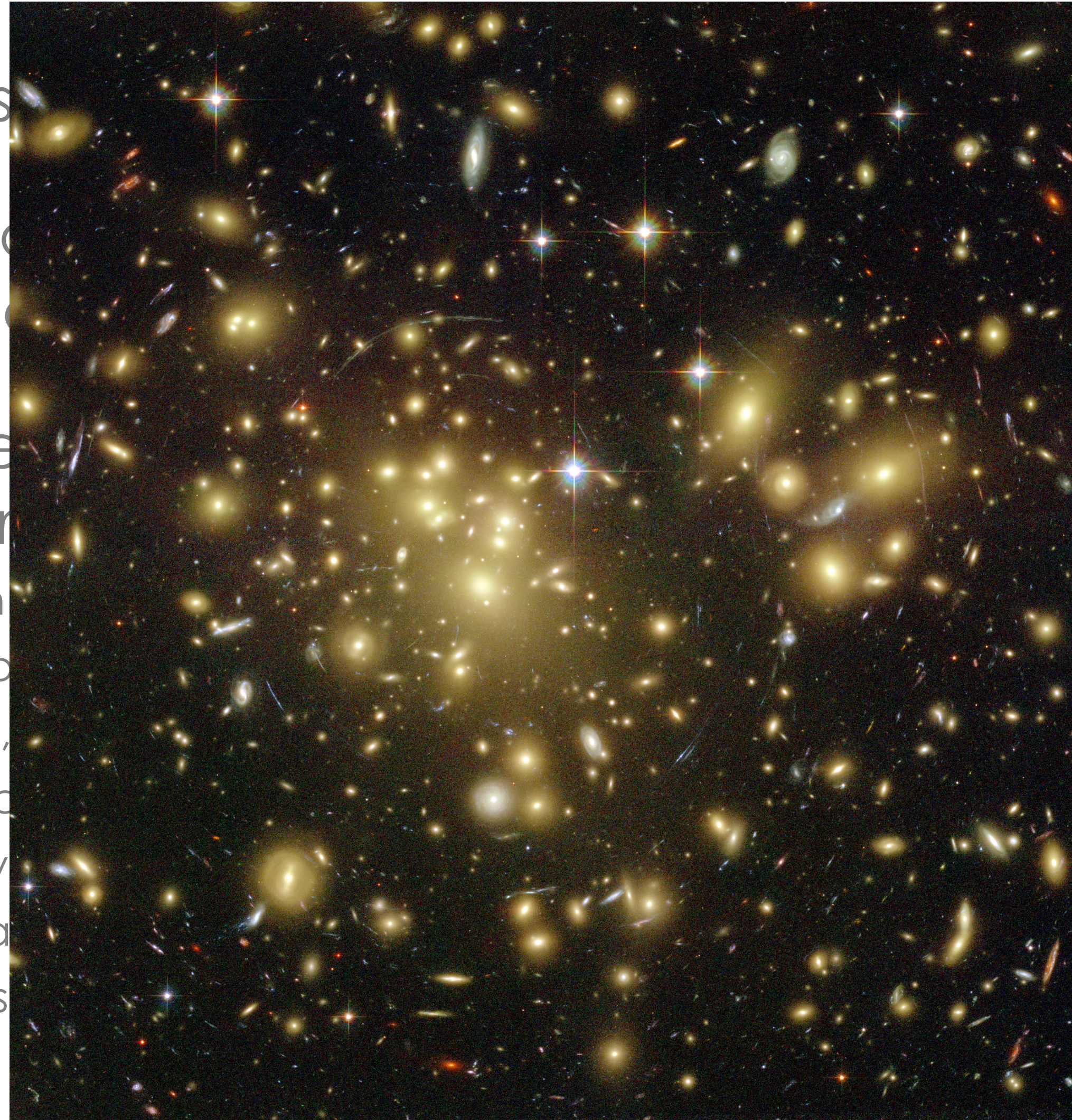
Materia oscura

- ▶ Estas proporciones van cambiando a lo largo de la historia del Universo
- ▶ Actualmente la materia oscura es un 85% de toda la materia del Universo y no tenemos ni idea de qué está hecha
- ▶ Su existencia se deduce indirectamente a través de muchísimas observaciones astronómicas:
 - ▶ las curvas de rotación de galaxias,
 - ▶ la masa de los cúmulos de galaxias,
 - ▶ lentes gravitacionales,
 - ▶ fondo cósmico de microondas,
 - ▶ distancia de supernovas tipo Ia,
 - ▶ el bosque de Ly-alpha,
 - ▶ oscilaciones acústicas bariónicas, etc.



Materia oscura

- ▶ Estas proporciones
- ▶ Actualmente la m
y no tenemos ni id
- ▶ Su existencia se de
observaciones astr
 - ▶ las curvas de rotación
 - ▶ la masa de los cúmulos
 - ▶ lentes gravitacionales,
 - ▶ fondo cósmico de mic
 - ▶ distancia de supernov
 - ▶ el bosque de Ly-alpha
 - ▶ oscilaciones acústicas



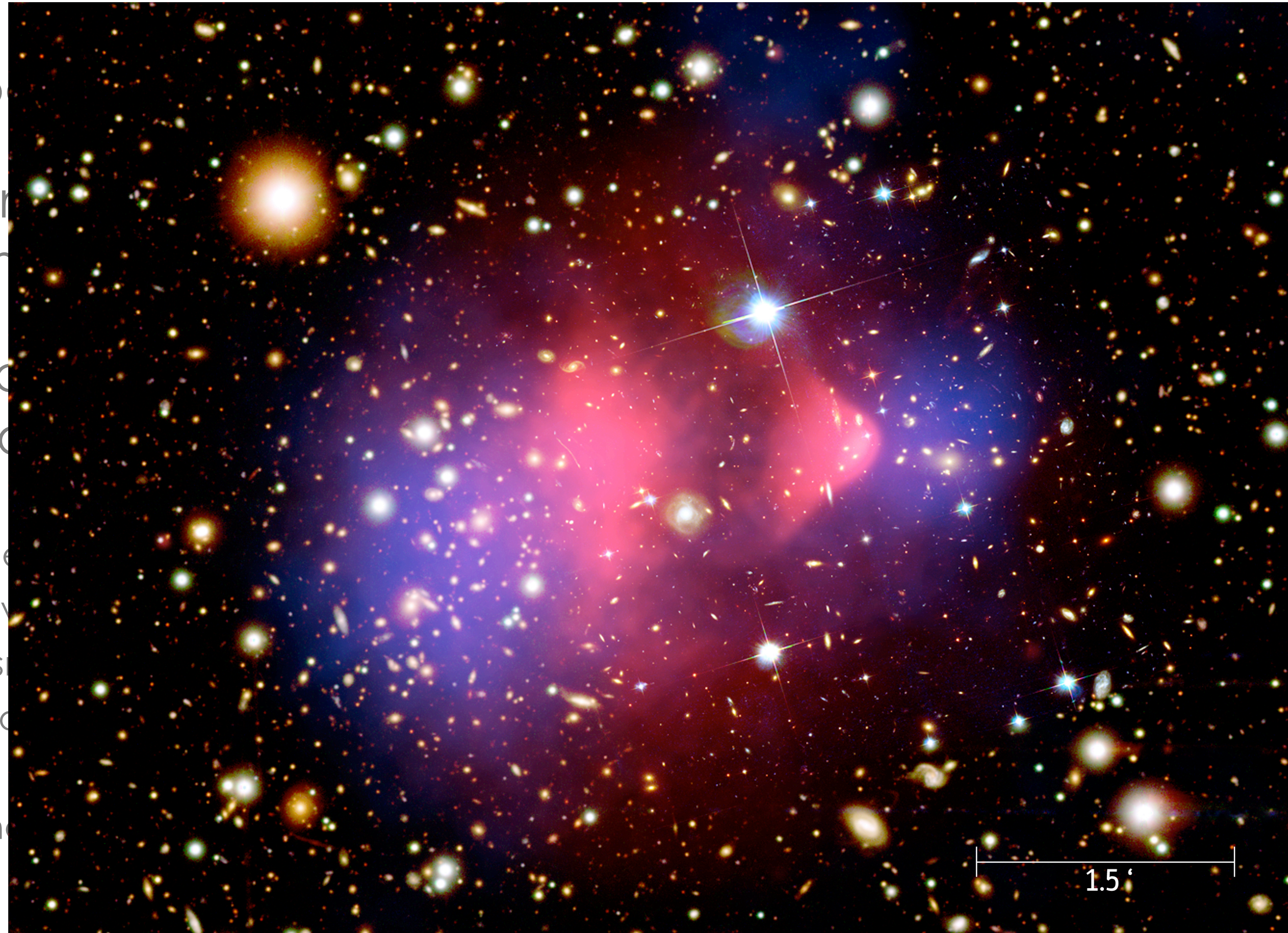
historia del Universo

materia del Universo

muchísimas

Materia oscura

- ▶ Estas propiedades
- ▶ Actualmente se sabe que existe y no tener
- ▶ Su existencia se deduce de observaciones:
 - ▶ las curvas de rotación
 - ▶ la masa de los cúmulos
 - ▶ lentes gravitacionales
 - ▶ fondo cósmico de microondas
 - ▶ distancia a las galaxias
 - ▶ el bosque de Lyman
 - ▶ oscilaciones acústicas



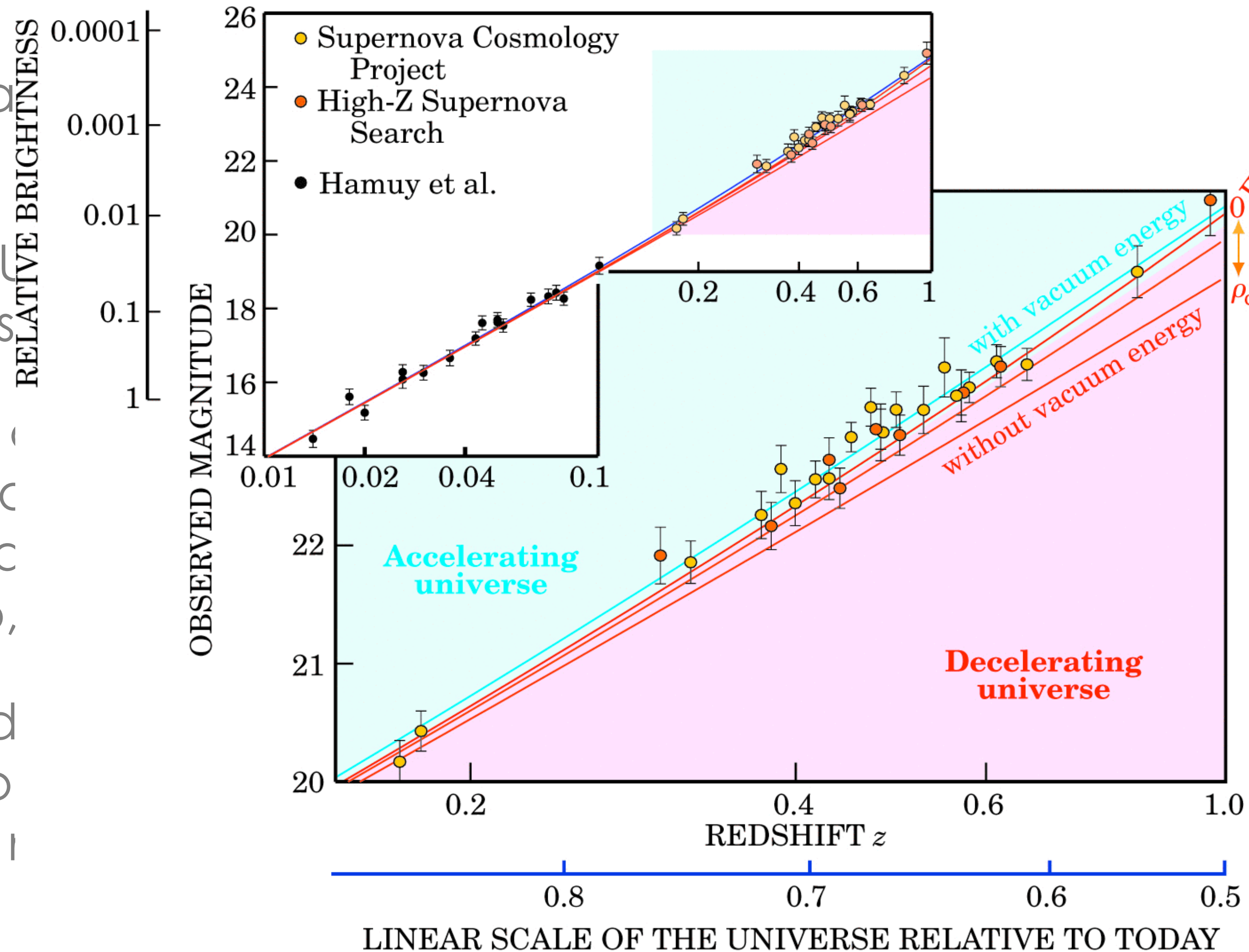
Universe
of the Universe
as

Energía oscura

- ▶ La energía oscura supone un total del 73% del contenido del Universo y, de nuevo, no tenemos ni idea de qué es
- ▶ Afecta al Universo a gran escala y actualmente provoca que la expansión del Universo esté ocurriendo de forma acelerada
- ▶ Evidencia observacional: corrimiento al rojo de las supernovas de tipo Ia (premio Nobel 2011 a Perlmutter, Schmidt y Reiss), fondo cósmico de microondas, observaciones del Universo a gran escala, efecto Sachs-Wolfe retardado, ...
- ▶ La relatividad general puede acomodar este efecto de aceleración (conocido como constante cosmológica), pero a nivel de física de partículas no se sabe qué es esta energía oscura

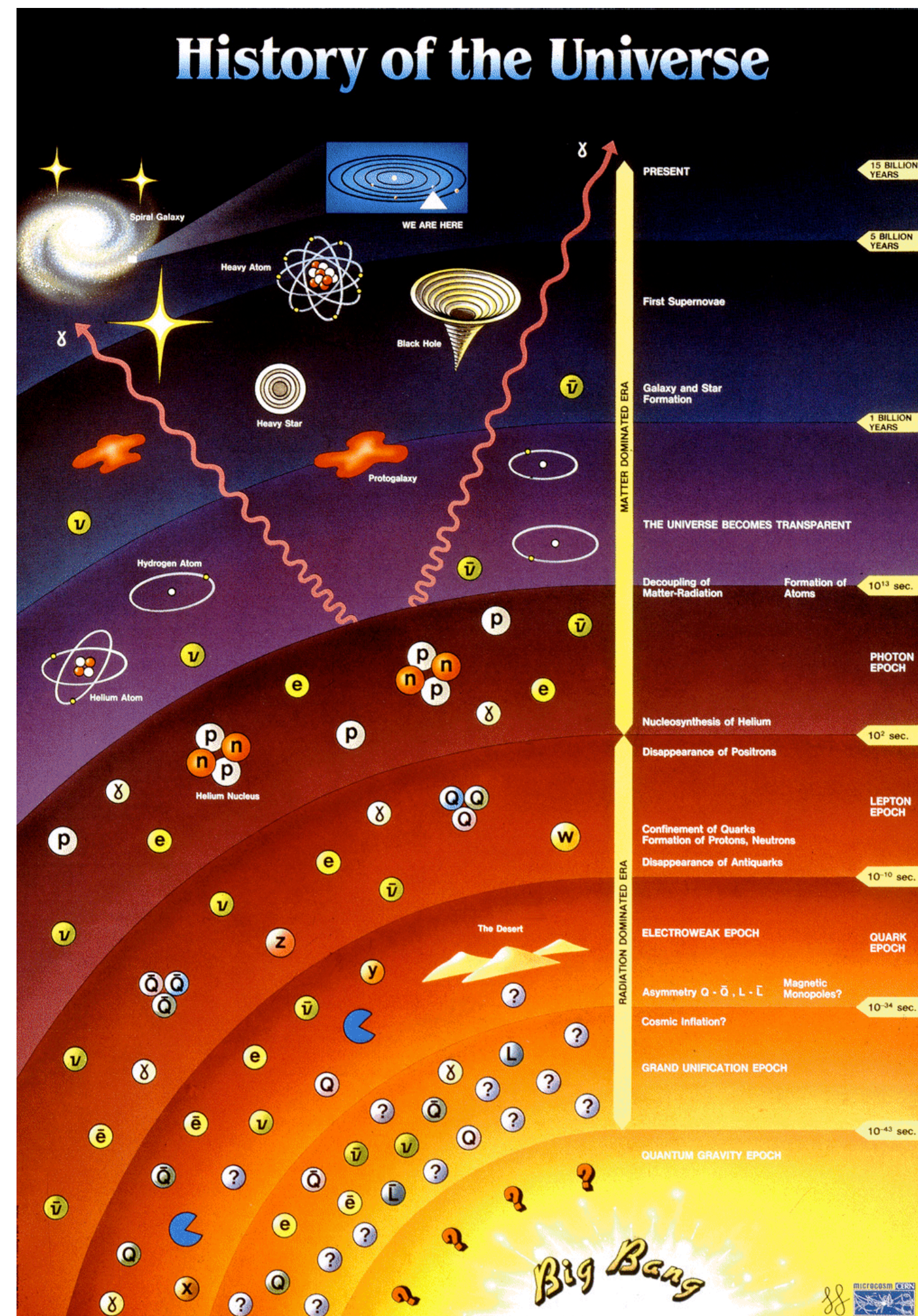
Energía oscura

- La energía oscura es un tipo nuevo, no conocido anteriormente
- Afecta al universo y, de hecho, a la expansión del Universo
- Evidencia de su existencia (premio Nobel de Física 2011, microondas de fondo, supernovas de tipo Ia)
- La relatividad general (conocido como la teoría de partículas)

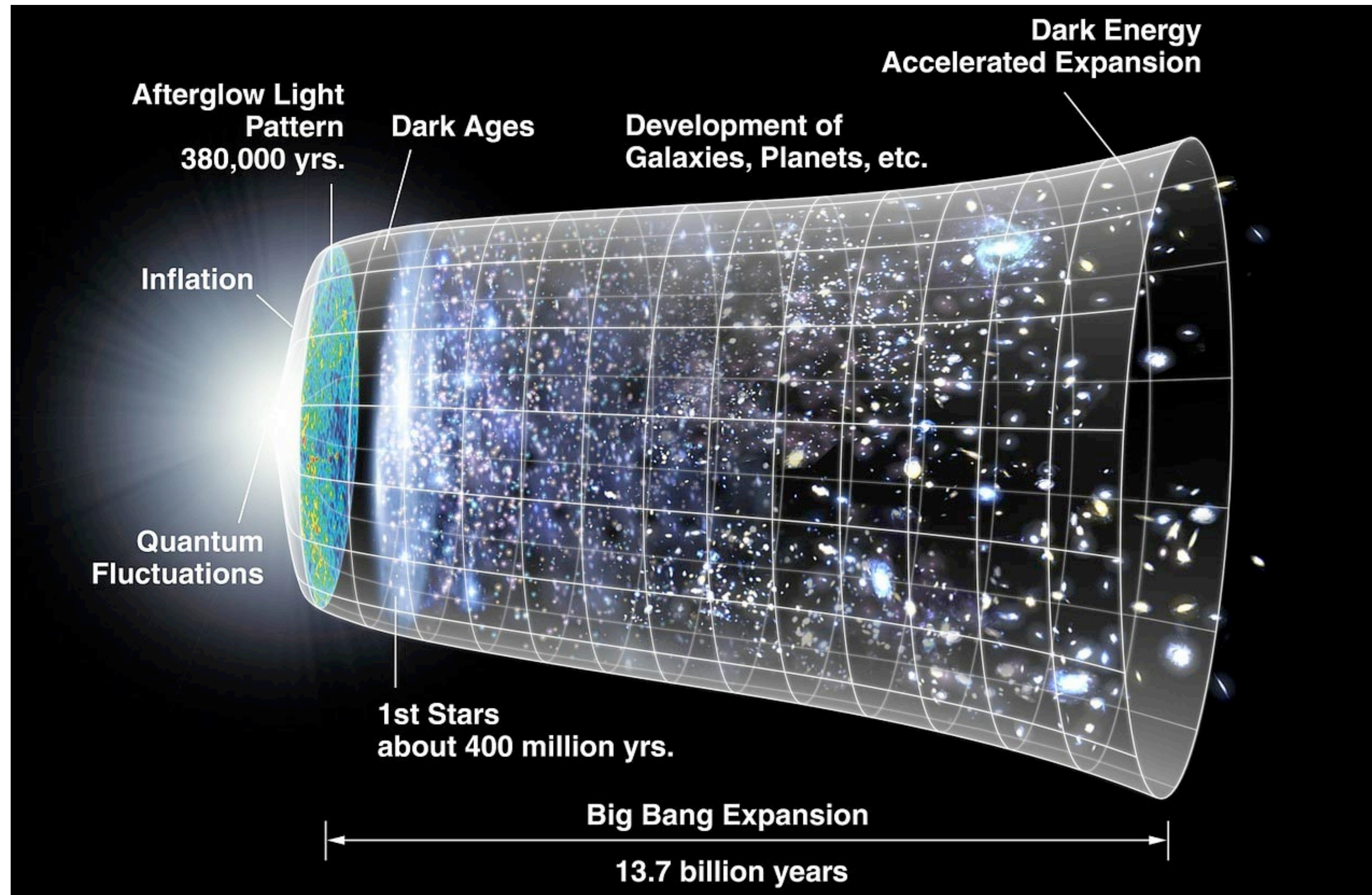


universo y, de
expansión
de tipo Ia
o de
Iachs-Wolfe
acción
de

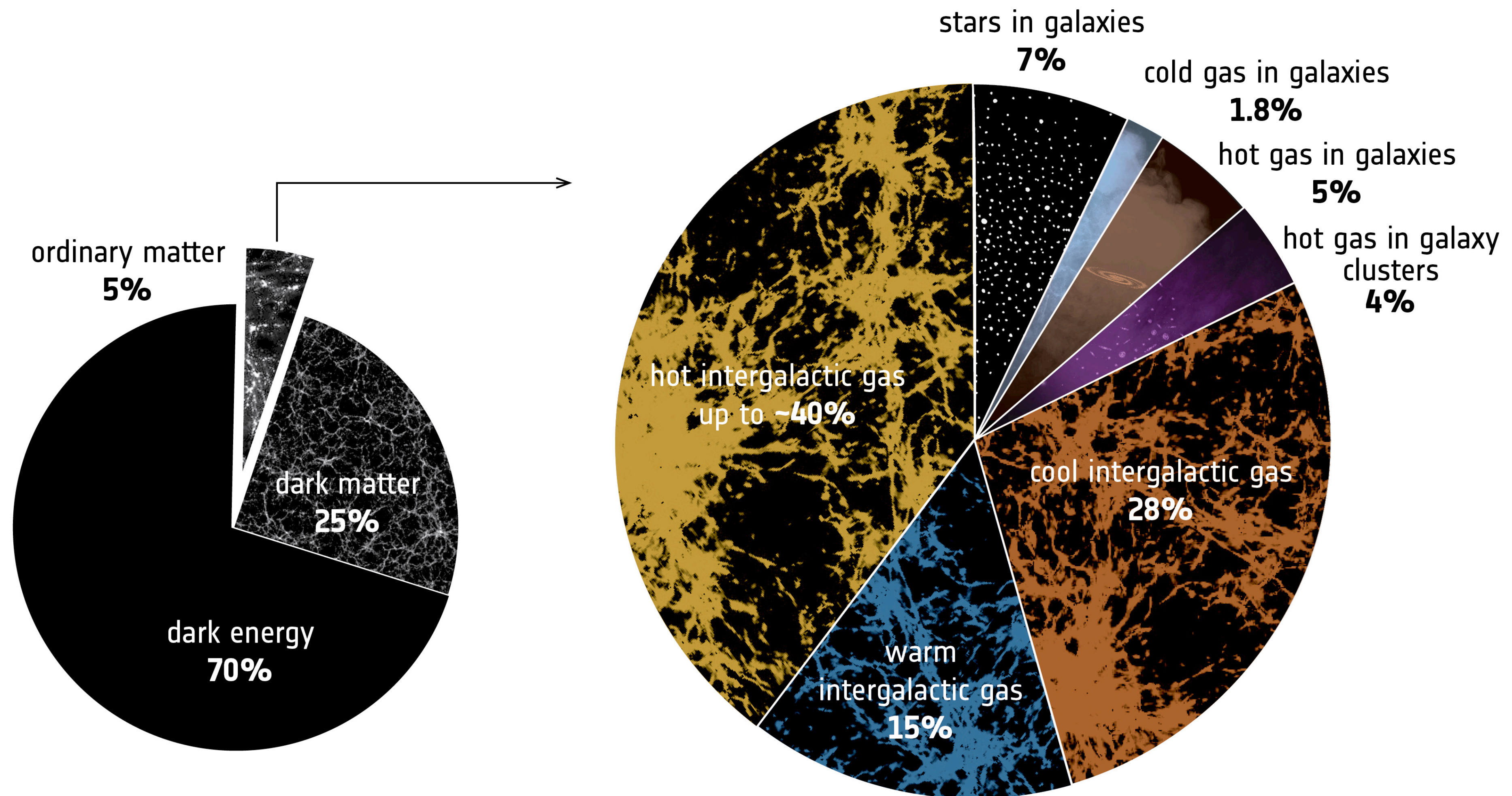
Take home diagrams



Take home diagrams



Take home diagrams



Take home diagrams

