

La energía oscura y el destino del Universo

E. Sánchez
CIEMAT

Índice

Introducción

Λ CDM, el Modelo Estándar de la cosmología

Métodos observacionales

Evidencia observacional de la energía oscura

La energía oscura

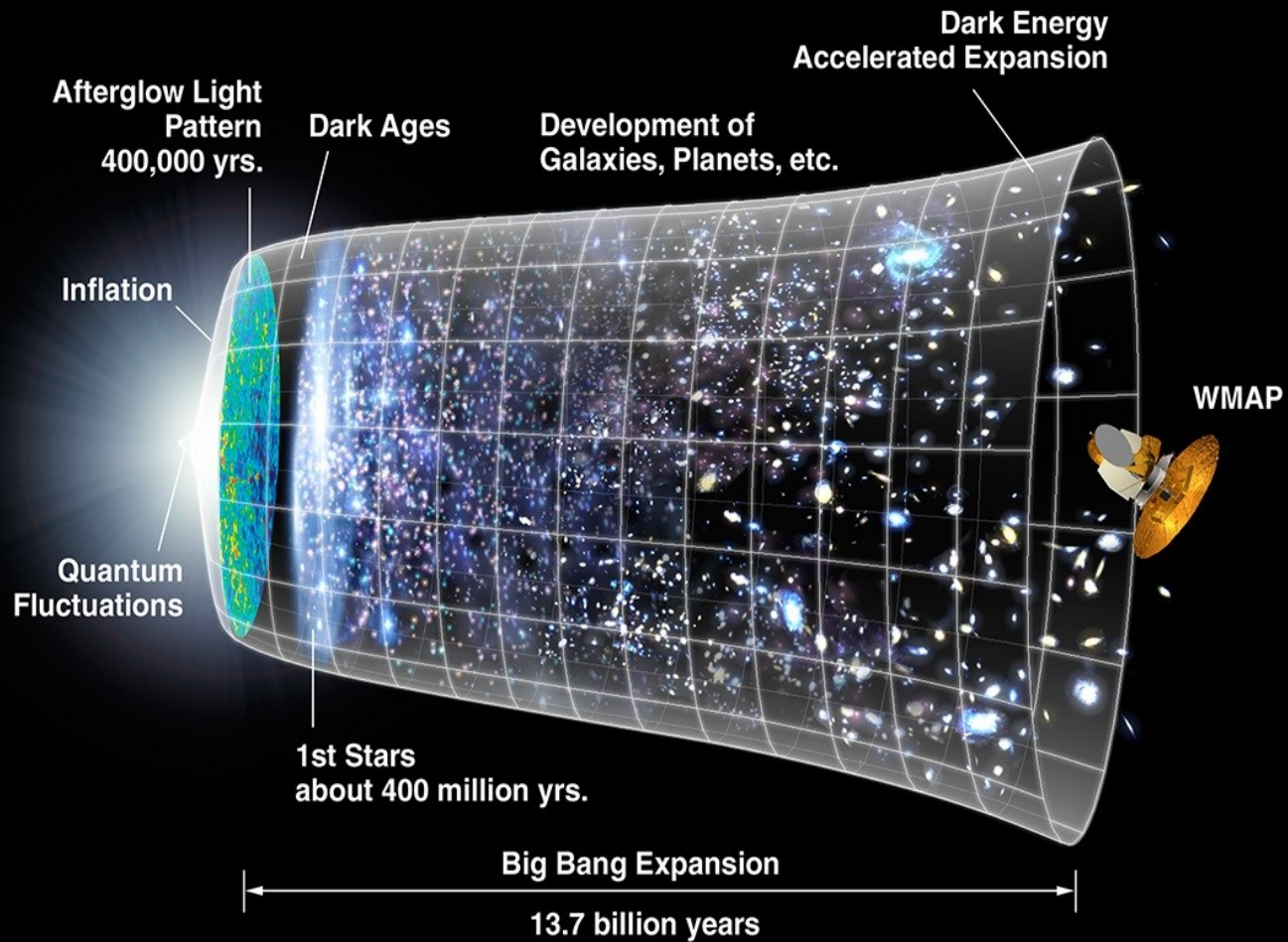
Qué sabemos de la energía oscura

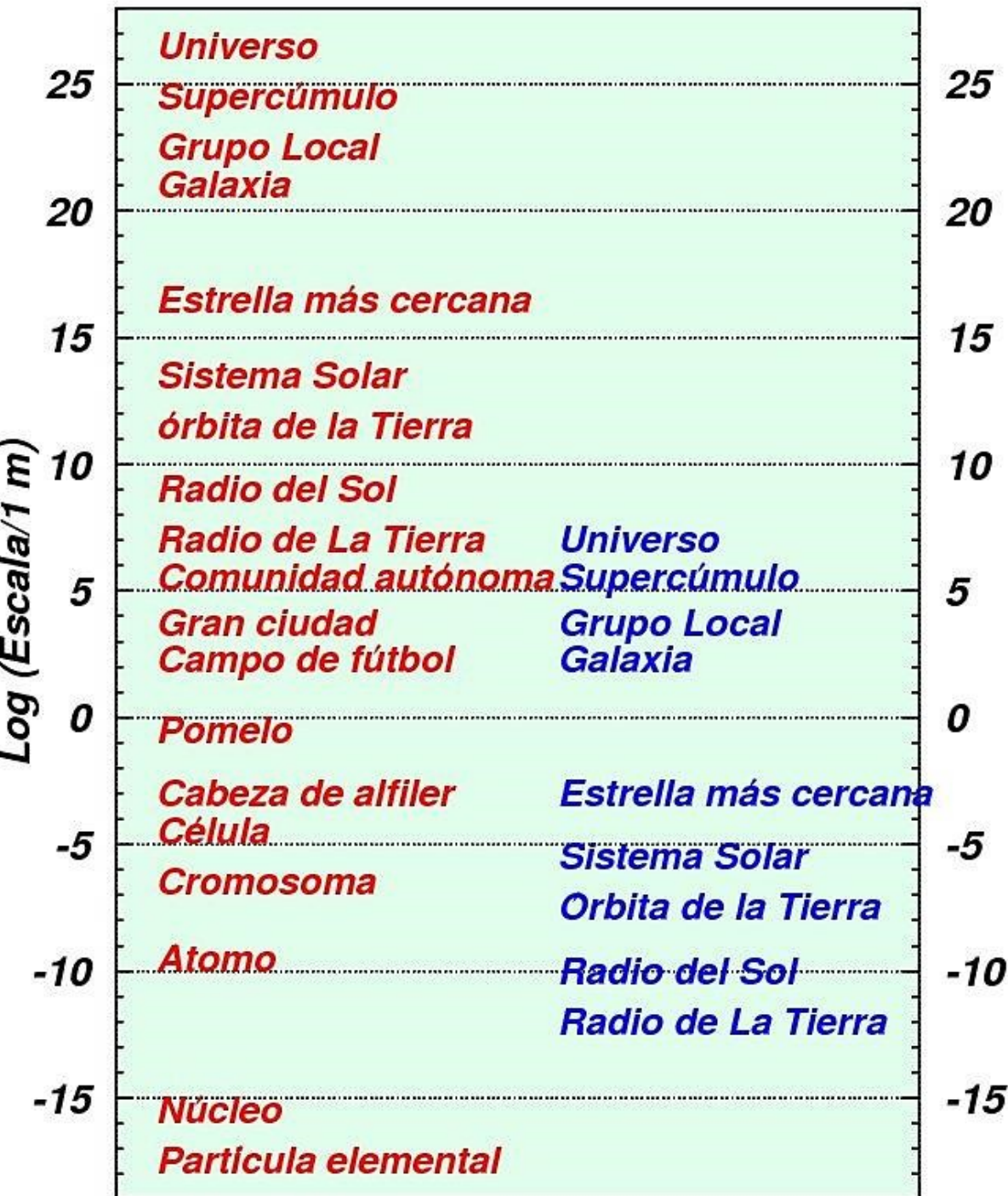
Situación actual

La energía oscura y el futuro del universo

Conclusiones

COSMOLOGÍA: LA CIENCIA DEL UNIVERSO





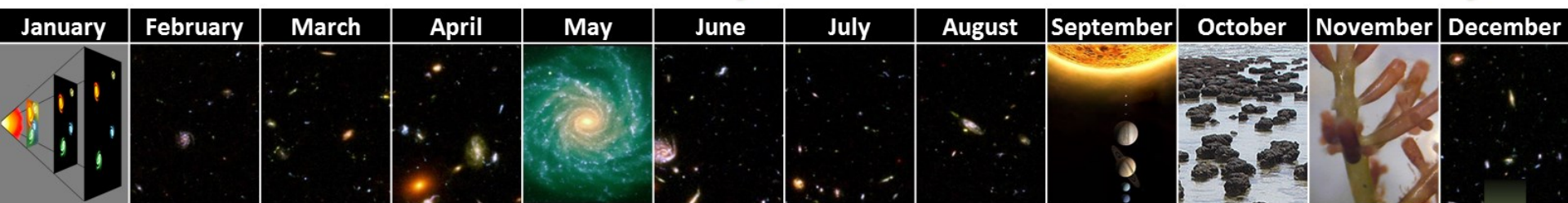
La cosmología trata de las escalas espaciales más grandes, el universo visible completo

El universo contiene estructuras ordenadas jerárquicamente

Observar a estas enormes distancias es también observar a tiempos remotos por la velocidad finita de la luz

Known from telescopes looking back in time, physical models

Geologic record, fossils, genetic drift



The Big Bang **Calendario cósmico a la Carl Sagan, de wikipedia**

December 1st	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14 Sponges
15	16	17 Fish	18	19	20 Land plants	21 Insects
22	23 Reptiles	24	25 Dinosaurs	26 Mammals	27 Pangaea splits	28 Birds, flowers
29 Dinosaurs at top of food chain	30 Dinosaurs go extinct, mammals diversify and return to the sea	31	Human evolution 10:15 AM Ape / gibbon divergence 8:10 PM Human / chimpanzee divergence 10:48 PM <i>Homo erectus</i> evolves 11:54 PM Anatomically modern humans evolve 11:58 PM Modern humans migrate out of Africa 11:59 PM Neanderthals die out, megafauna stressed			

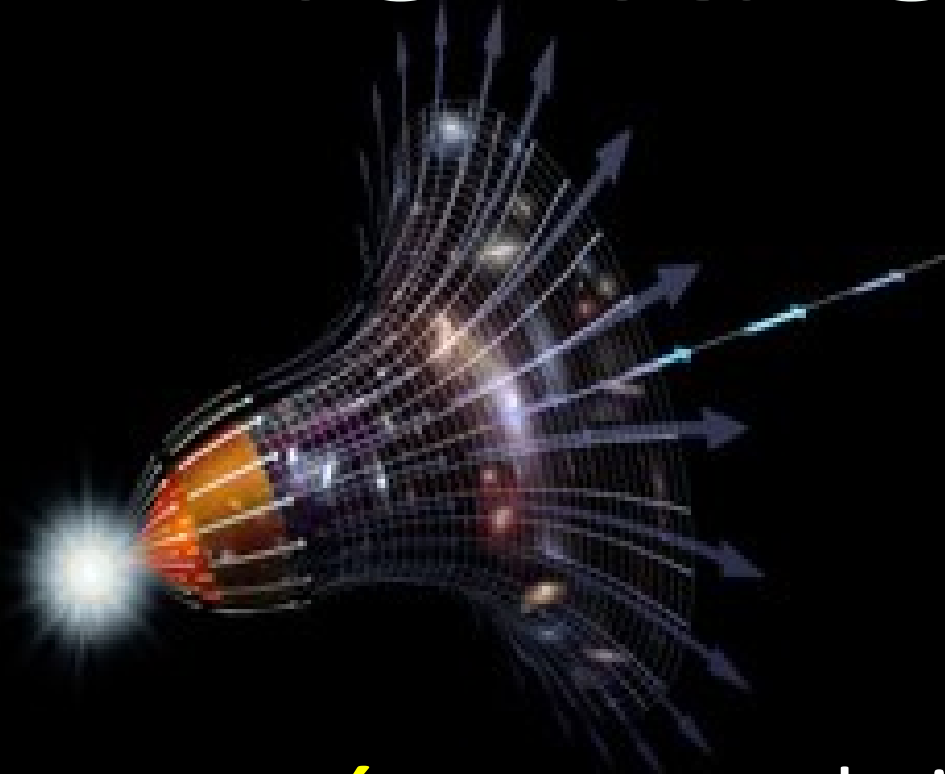
Known from radiocarbon dating, DNA extraction from remains

Written record



IDEA FUNDAMENTAL:

EL BIG BANG



El universo comenzó en un estado inicial muy denso y muy caliente y desde entonces se está expandiendo y enfriando

Bases de la cosmología

Λ CDM

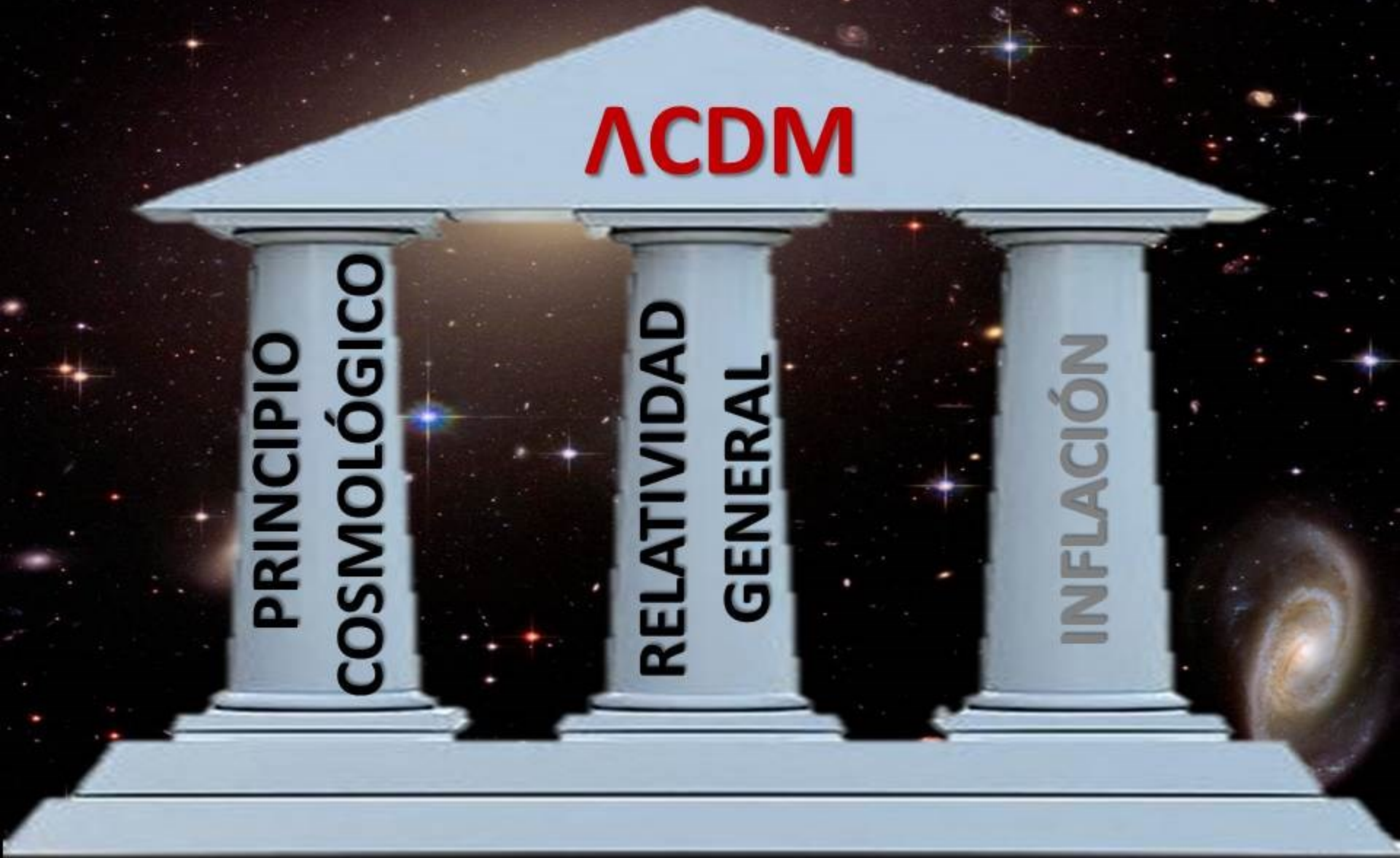
PRINCIPIO

COSMOLÓGICO

RELATIVIDAD

GENERAL

INFLACIÓN

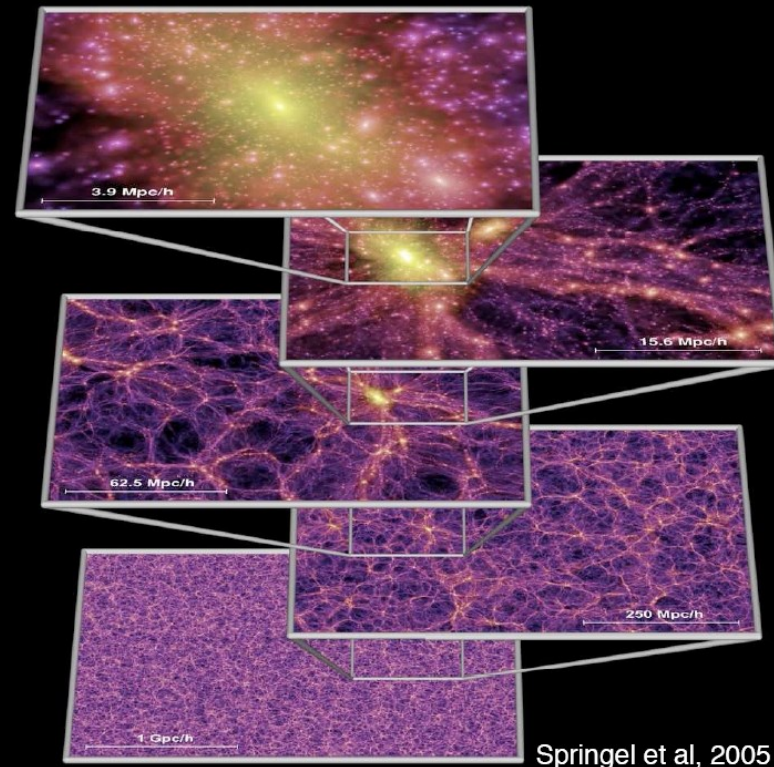


El principio cosmológico

El universo es homogéneo e isótropo

Es decir, las propiedades del universo son las mismas independientemente del punto donde las midamos y de la dirección en la que miremos.

Solamente se cumple cuando tomamos regiones de un tamaño de alrededor de 100 Mpc o mayores,

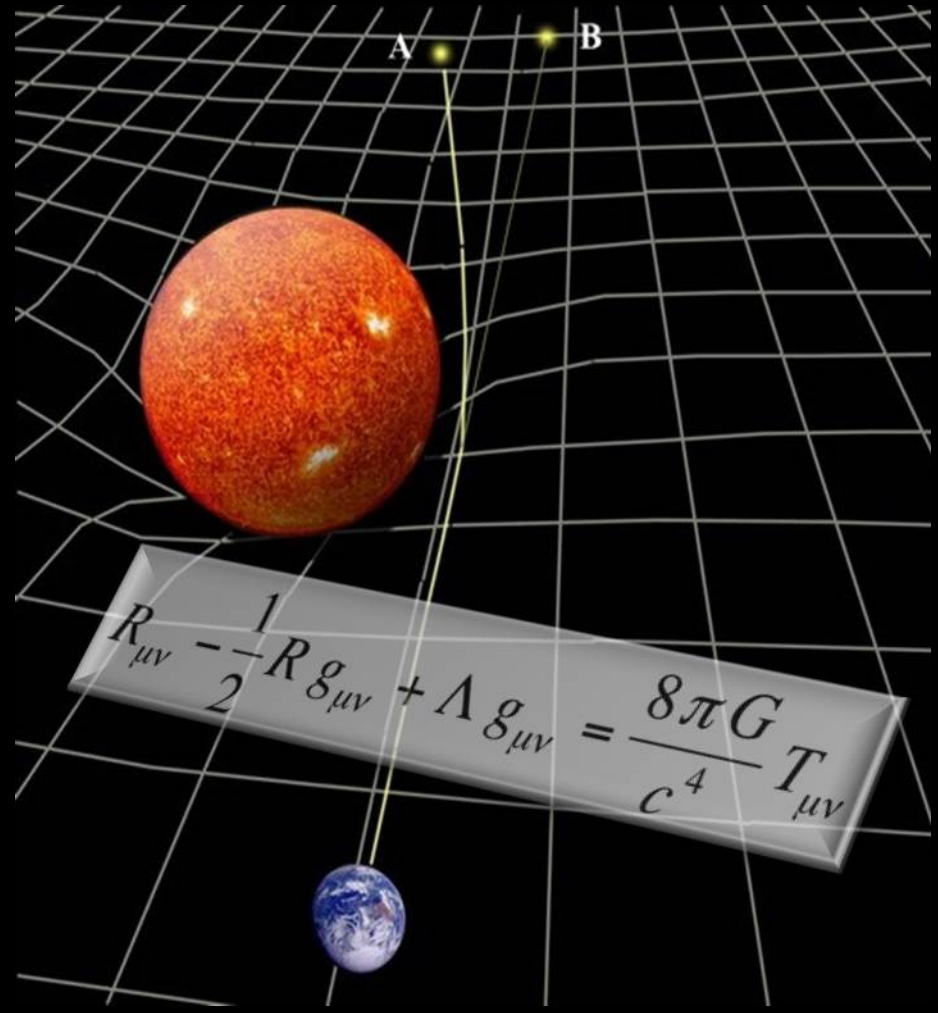
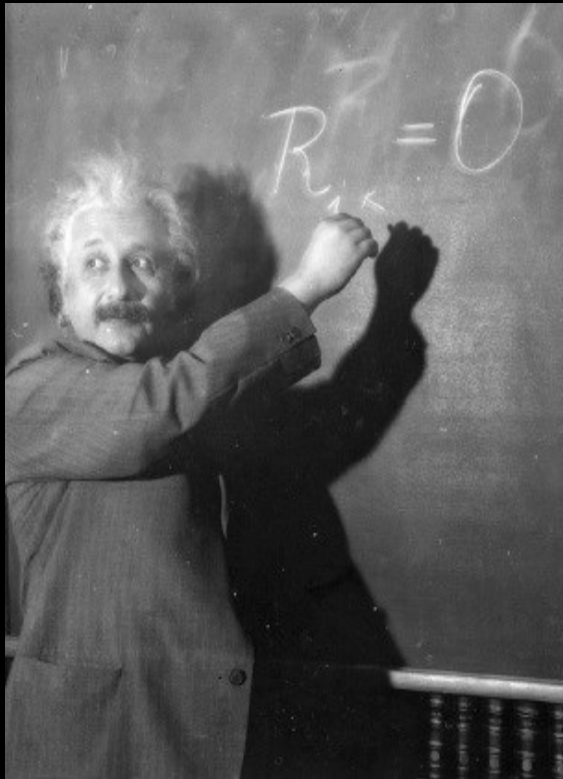


La teoría del Big Bang es capaz de explicar por qué ocurre esto. Describe cómo se forman las estructuras que se observan en el universo.

La Teoría de la Relatividad General

La fuerza de la gravedad es la curvatura del espacio-tiempo

“El espacio le dice a la materia cómo moverse, la materia le dice al espacio cómo curvarse.”, *J. A. Wheeler*



Al aplicar el principio cosmológico a las ecuaciones de Einstein:

$$ds^2 = dt^2 - a^2(t) \left[dr^2 + S_k^2(r) (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2) \right]$$

$$S_{+1}(r) = R \sin(r/R)$$

$$S_0(r) = r$$

$$S_{-1}(r) = R \sinh(r/R)$$

a: scale factor of the universe

*R: Radius of curvature
(constant)*

t: proper time

r: comoving distance

Métrica de FLRW
Friedmann-Lemaitre-
Robertson-Walker

La teoría de la relatividad general predice un universo en expansión (o contracción)

3 posibles geometrías:

$\rho < \rho_c \rightarrow$ abierto
(hiperbólico)

$\rho = \rho_c \rightarrow$ plano (euclídeo)

$\rho > \rho_c \rightarrow$ cerrado (elíptico)

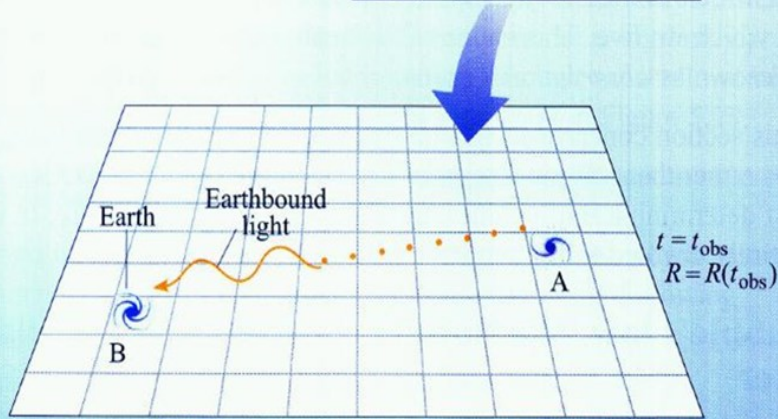
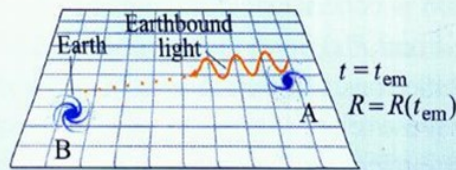
Factor de escala: Cómo se expanden las distancias con el tiempo

Tiempo cósmico: El que mide un observador que ve el universo en expansión uniforme

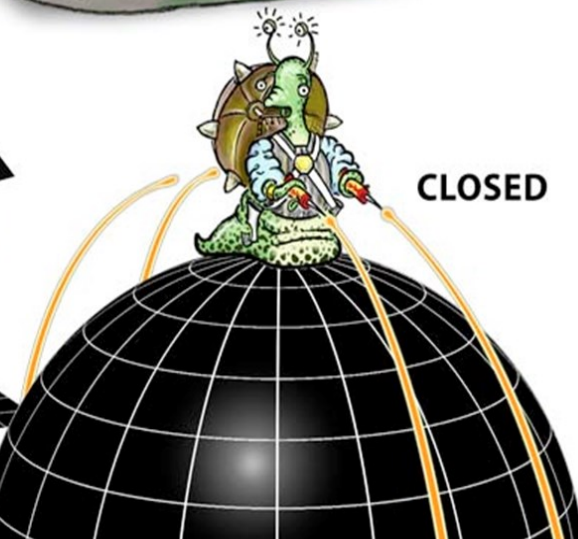
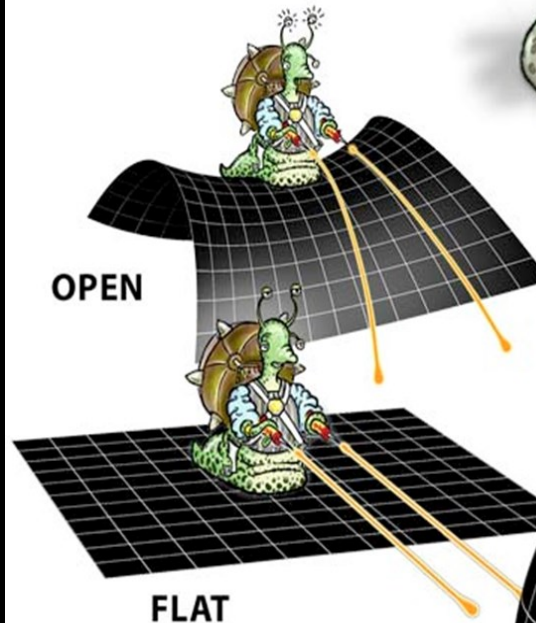
Coordenadas comóviles:

Permanecen constantes en una expansión homogénea e isotrópica

3 posibles geometrías



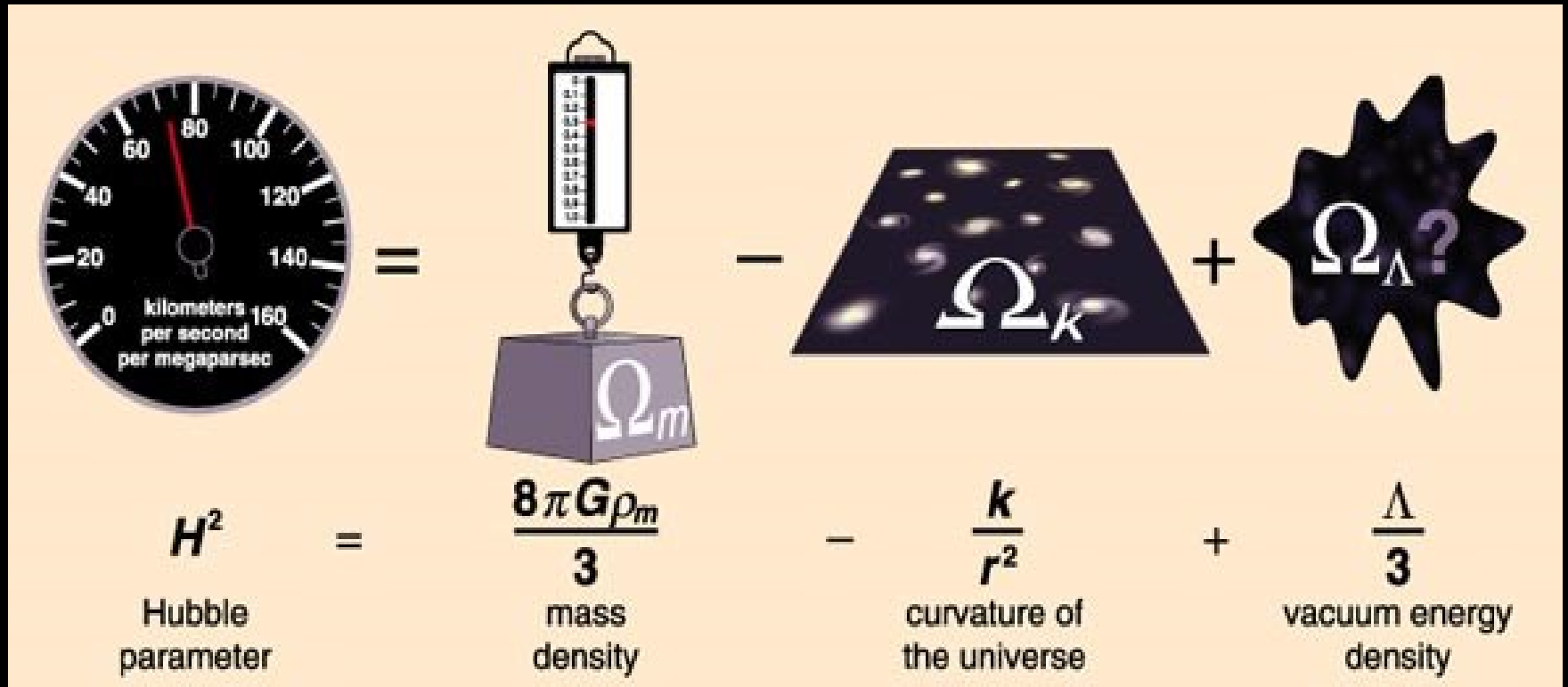
Las
coordenadas
comóviles se
expanden con
el universo



Parámetro de Hubble H y densidad crítica ρ_c

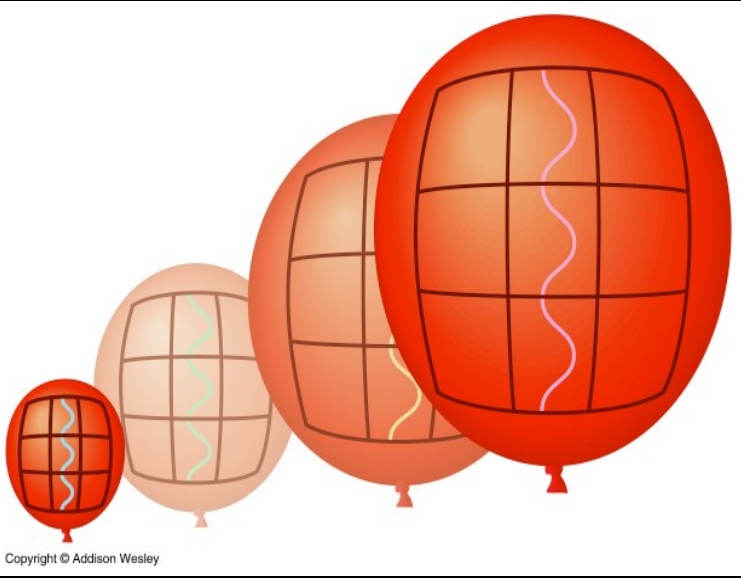
$$H = \dot{a} / a$$

$$\rho_c = 3H_0^2 / 8\pi G$$



La tasa de expansión del universo está relacionada con las densidades y el factor de escala

La luz de las galaxias se observa desplazada al rojo porque el universo se expande



La expansión del espacio
arrastra a la luz y
aumenta su longitud de
onda → Desplazamiento
al rojo

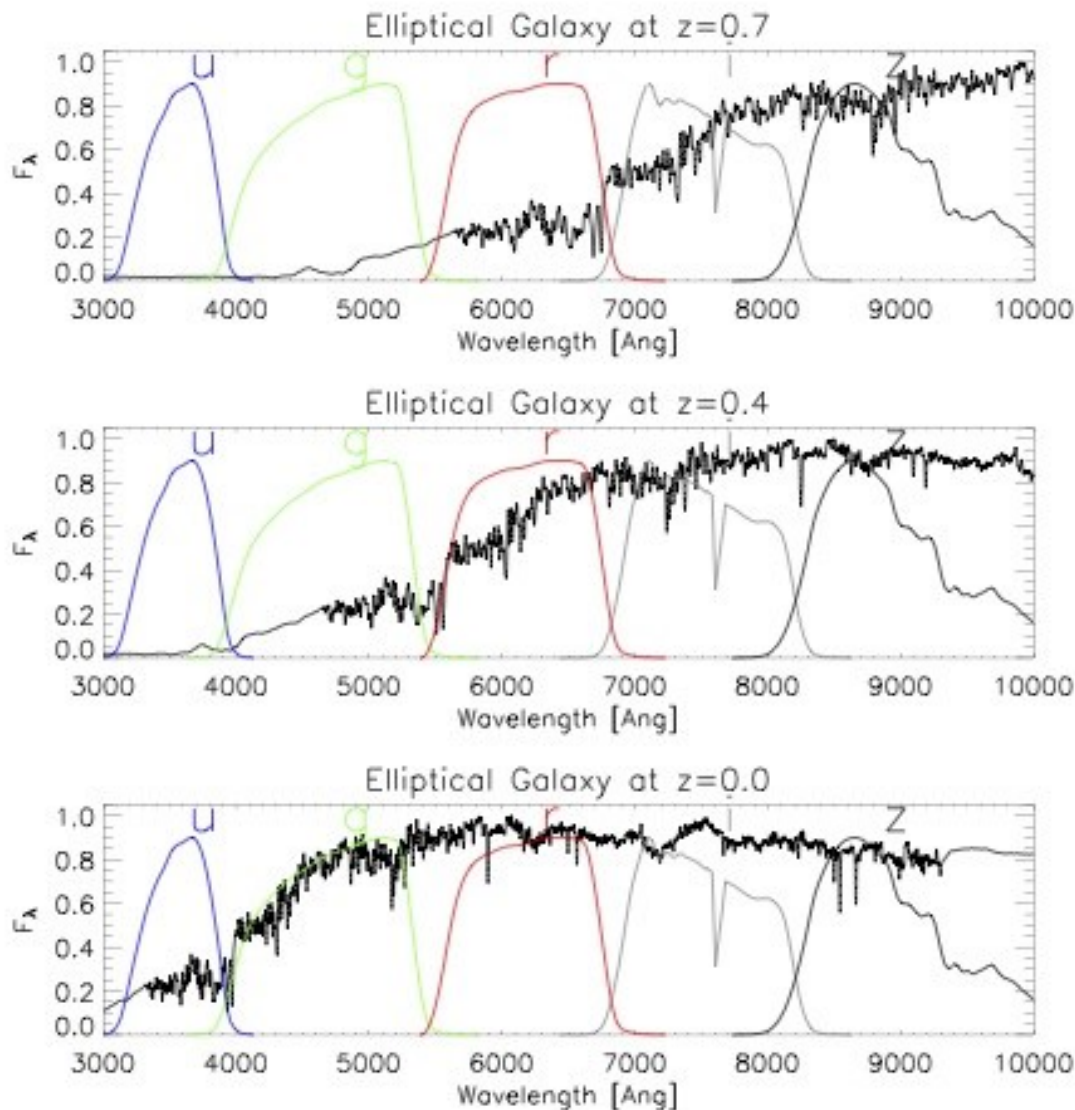
El desplazamiento al rojo es una medida de la escala del universo en el momento en el que se emitió la luz

$$\frac{\lambda_e}{a(t_e)} = \frac{\lambda_o}{a(t_0)}$$

$$a(t_e) = 1 / (1 + z)$$

El Desplazamiento al rojo, z

Las líneas espectrales de los cuerpos celestes se ven desplazadas respecto a su posición medida en el laboratorio.

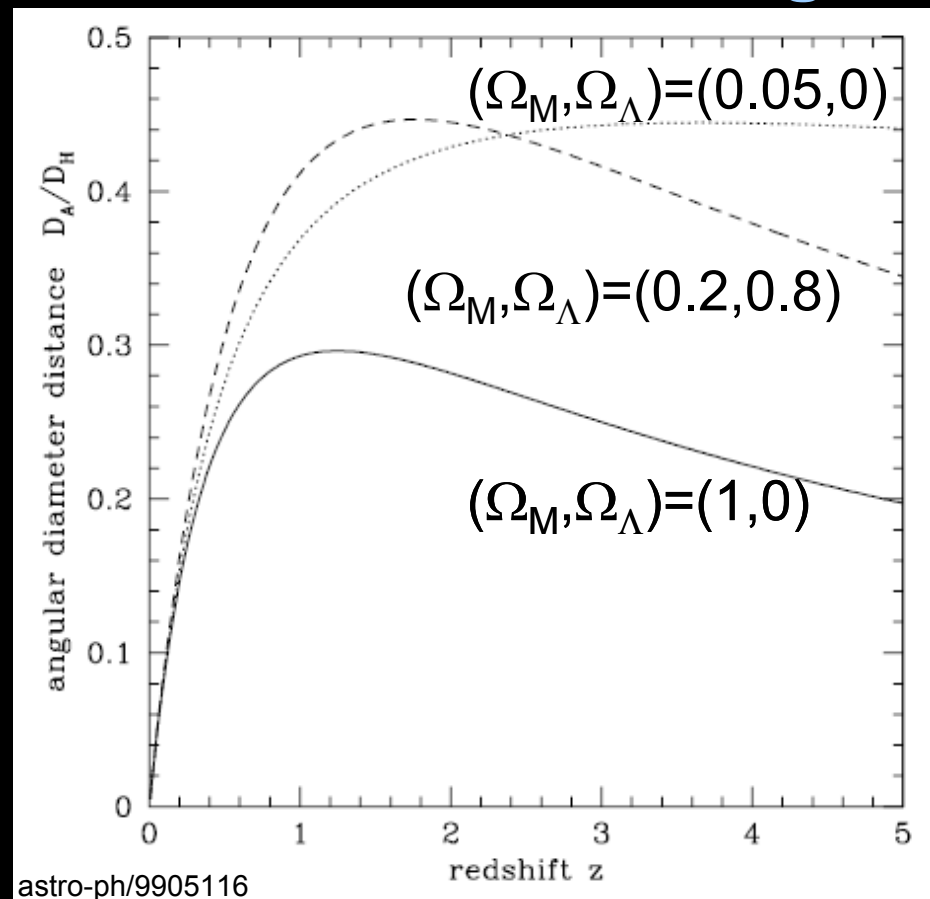


$$z = (\lambda_o - \lambda_e) / \lambda_e$$

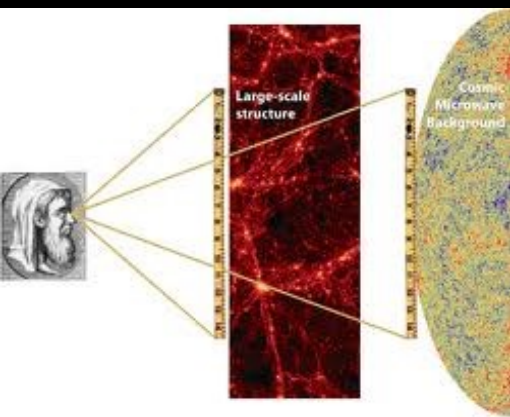
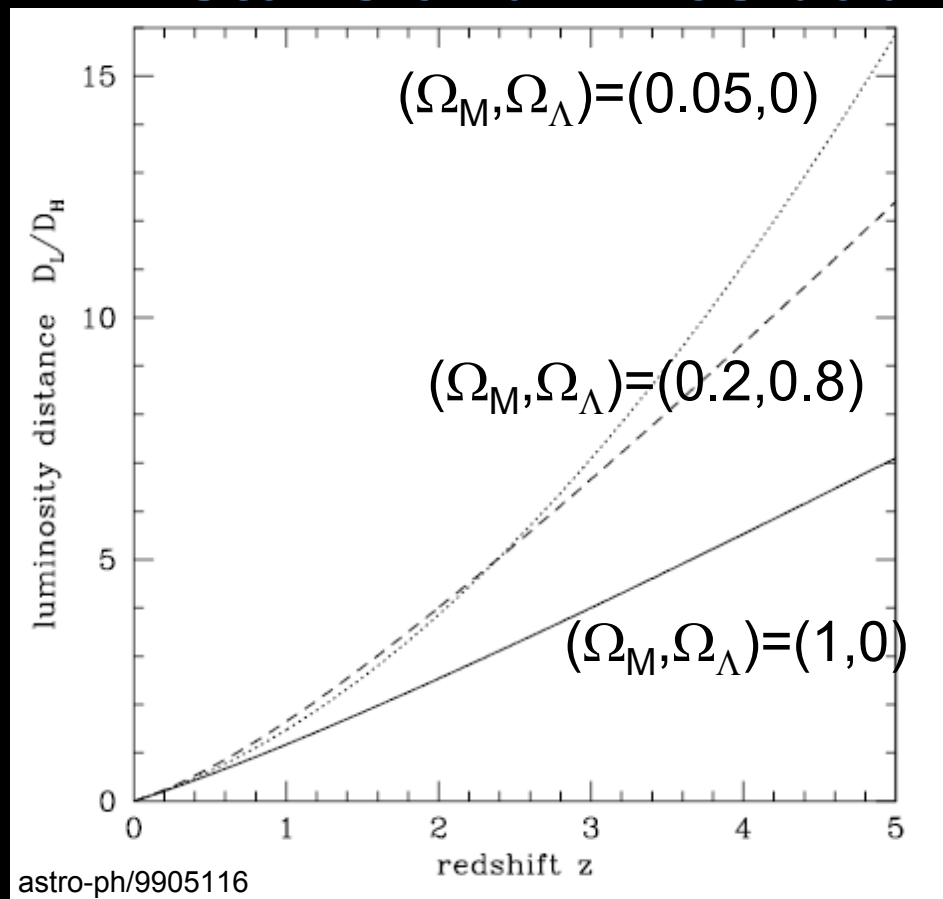
Las líneas de todas las galaxias lejanas se ven desplazadas al rojo. Las galaxias se alejan.

**Cosmología:
Distancia . vs. z**

Distancia diámetro angular



Distancia luminosidad



**REGLAS
ESTÁNDAR**



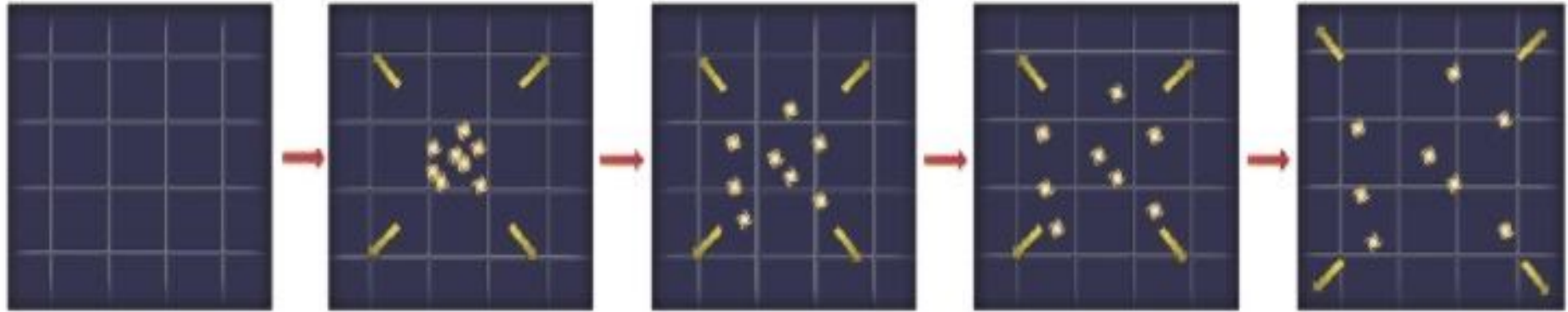
**CANDELAS
ESTÁNDAR**



WHAT KIND OF EXPLOSION WAS THE BIG BANG?

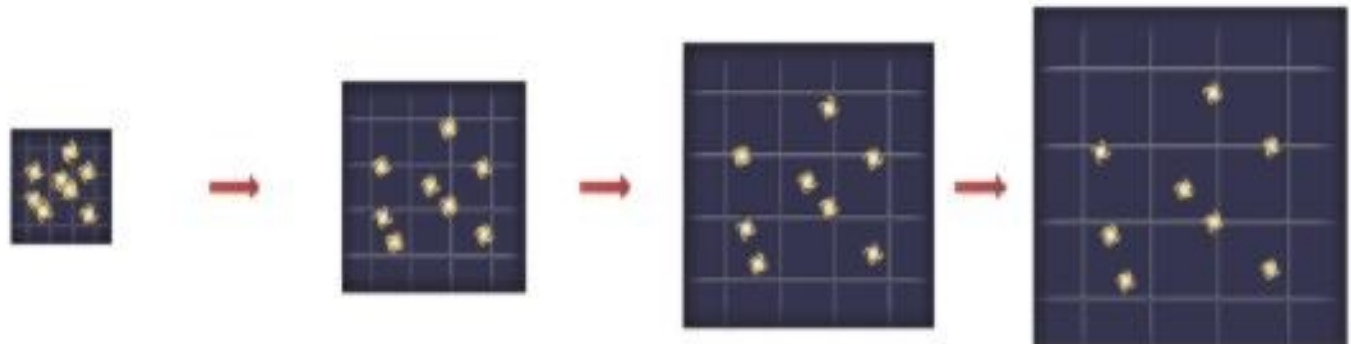
WRONG: The big bang was like a bomb going off at a certain location in previously empty space.

In this view, the universe came into existence when matter exploded out from some particular location. The pressure was highest at the center and lowest in the surrounding void; this pressure difference pushed material outward.



RIGHT: It was an explosion of space itself.

The space we inhabit is itself expanding. There was no center to this explosion; it happened everywhere. The density and pressure were the same everywhere, so there was no pressure difference to drive a conventional explosion.



From Scientific American

ALFRED T. KAMAJIAN

El modelo estándar de la cosmología: El Big Bang

Los objetos se alejan porque el espacio se expande, pero los objetos no se hacen más grandes

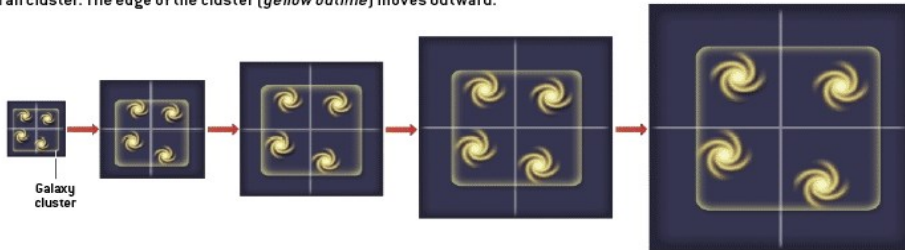
La expansión es consecuencia del Big Bang

La velocidad de expansión depende del contenido en materia-energía del universo

DO OBJECTS INSIDE THE UNIVERSE EXPAND, TOO?

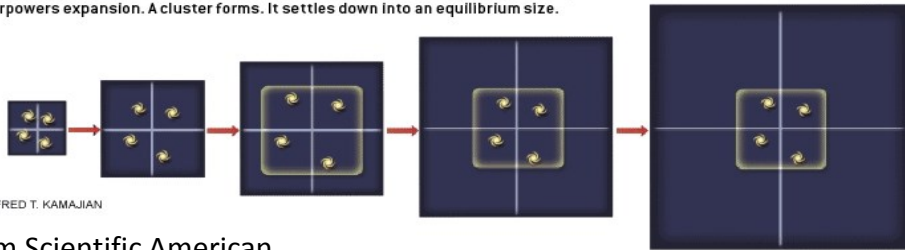
WRONG: Yes. Expansion causes the universe and everything in it to grow.

Consider galaxies in a cluster. As the universe gets bigger, so do the galaxies and the overall cluster. The edge of the cluster (yellow outline) moves outward.



RIGHT: No. The universe grows, but coherent objects inside it do not.

Neighboring galaxies initially get pulled apart, but eventually their mutual gravity overpowers expansion. A cluster forms. It settles down into an equilibrium size.



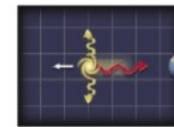
ALFRED T. KAMAJIAN

From Scientific American

WHY IS THERE A COSMIC REDSHIFT?

WRONG: Because receding galaxies are moving through space and exhibit a Doppler shift.

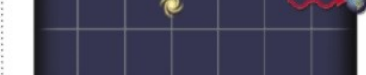
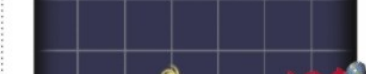
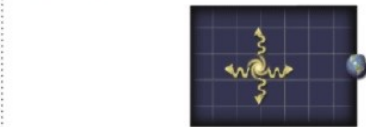
In the Doppler effect, a galaxy's movement away from the observer stretches the light waves, making them redder (top). The wavelength of light then stays the same during its journey through space (middle). The observer detects the light, measures its Doppler redshift and computes the galaxy velocity (bottom).



ALFRED T. KAMAJIAN

RIGHT: Because expanding space stretches all light waves as they propagate.

Galaxies hardly move through space, so they emit light with nearly the same wavelength in all directions (top). The wavelength gets longer during the journey, because space is expanding. Thus, the light gradually reddens (middle and bottom). The amount of redshift differs from what a Doppler shift would produce.



From
Scientific
American

La cosmología moderna es una ciencia basada en la observación

Potentes telescopios tanto en tierra como en el espacio

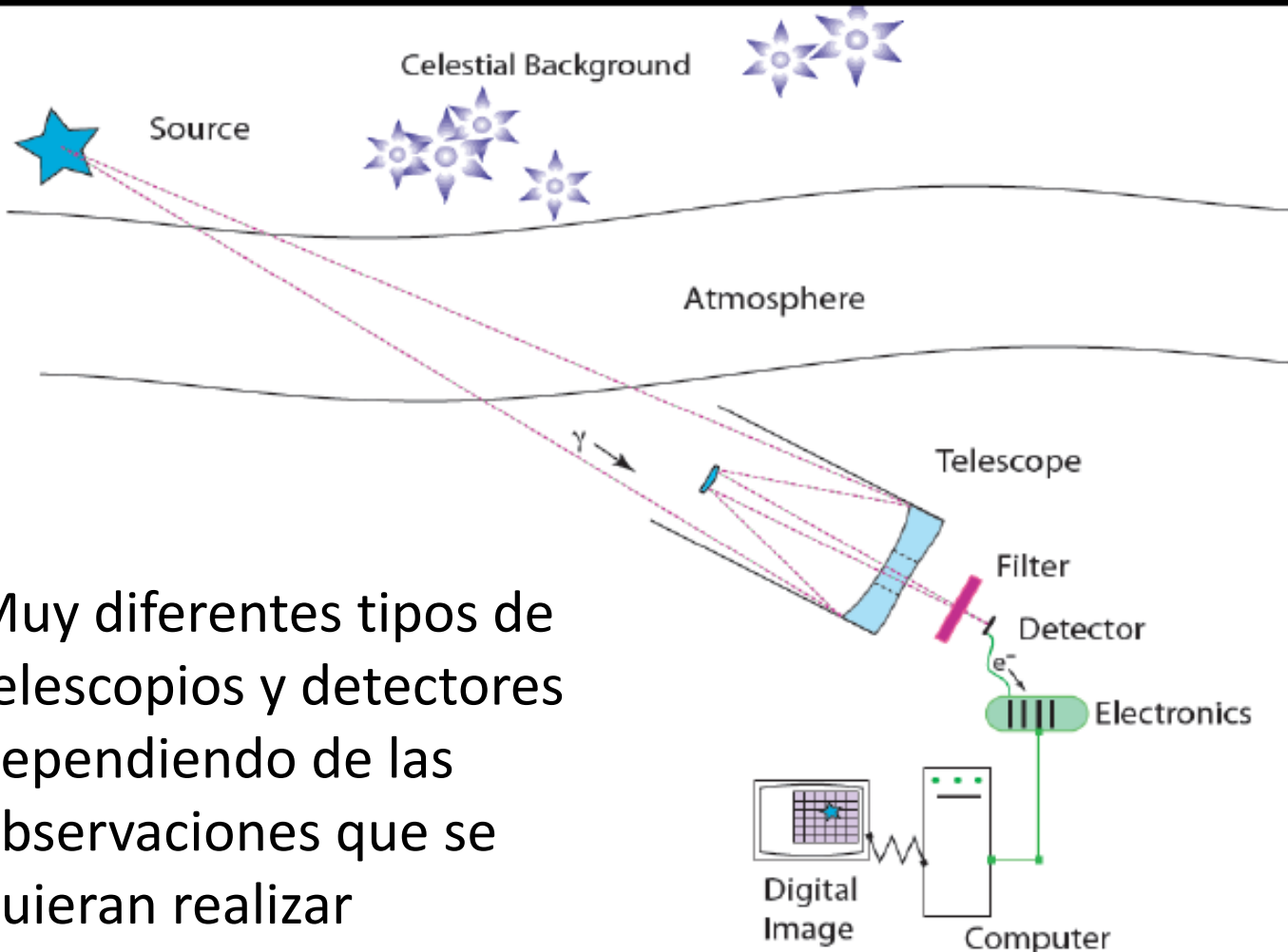
En muy diferentes longitudes de onda (no solamente luz visible)

También se observan otras partículas que vienen del espacio (rayos cósmicos, neutrinos...)



Cómo realizar estas observaciones

Multitud de efectos observacionales influyen en la medida



La fuente de luz

La atmósfera

Telescopio y
óptica

Cámara

Electrónica+DaQ

Procesado y
calibración de los
datos

Análisis científico

Muy diferentes tipos de
telescopios y detectores
dependiendo de las
observaciones que se
quieran realizar

Tipos de observaciones

La información que recibimos del universo llega en forma de partículas: Fotones, rayos cósmicos, neutrinos (...y materia oscura, ondas gravitacionales, ¿algo más?)

La inmensa mayoría de las observaciones cosmológicas utilizan fotones (visible o NIR)

Observables principales: Número de fotones en función de la energía, posición, polarización ...

Señal en el detector → Propiedades de los fotones → Propiedades de las fuentes → Parámetros cosmológicos

Ejemplo de telescopio

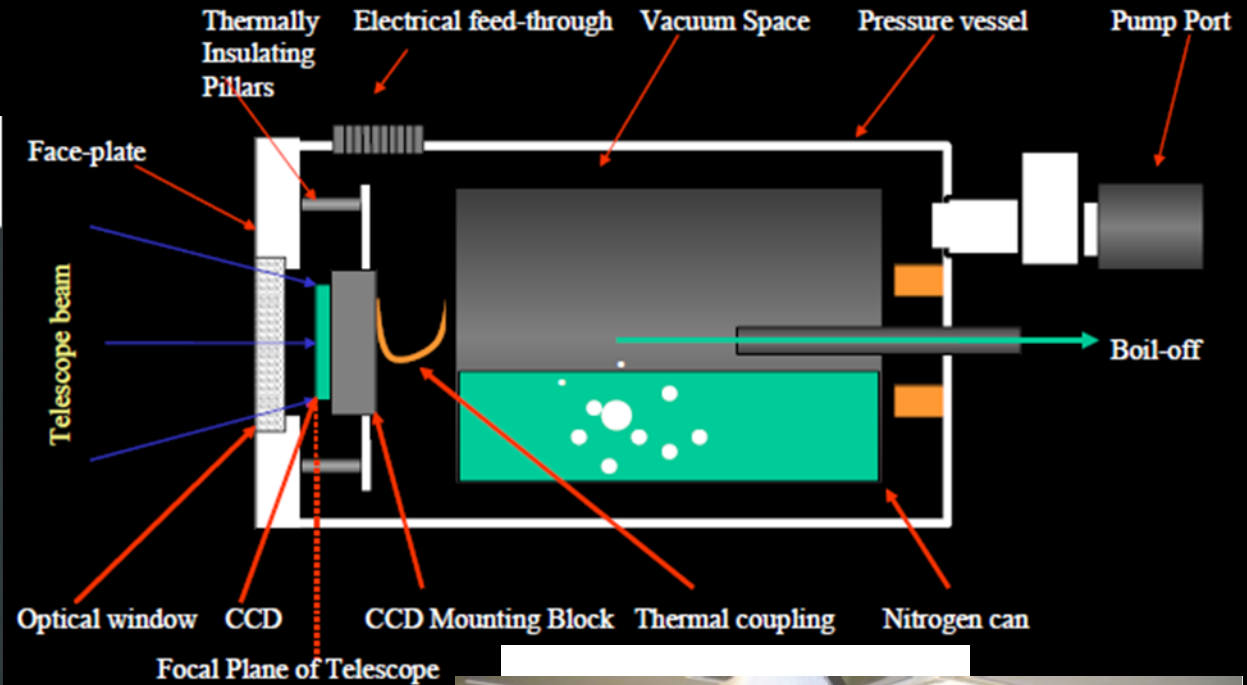
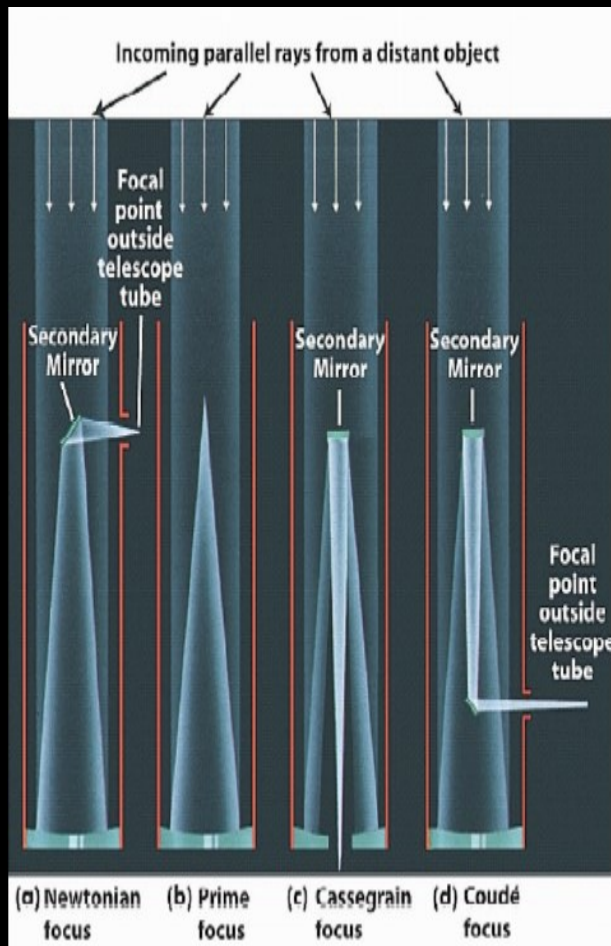
Se sitúan en los lugares donde se dan las mejores condiciones para observar el cielo

Telescopio Blanco (4 m) en Cerro Tololo (Chile)

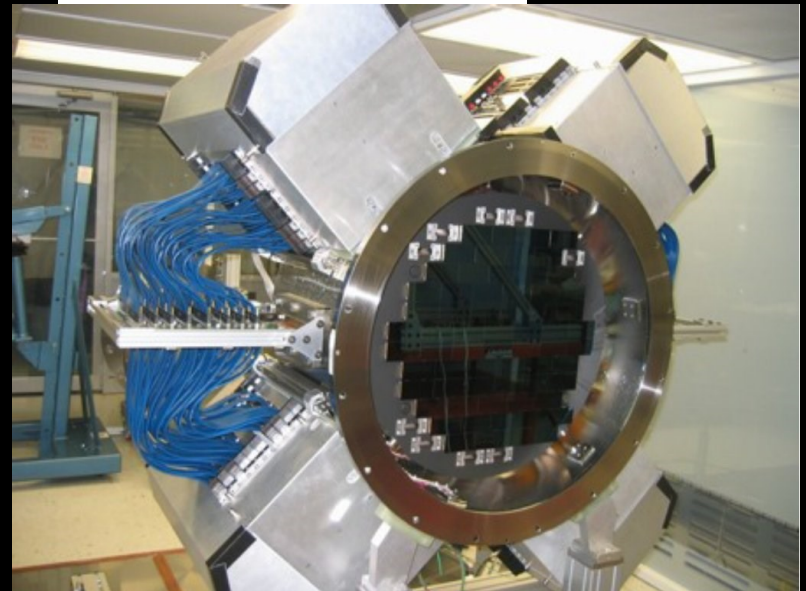




Cámaras para imágenes astronómicas



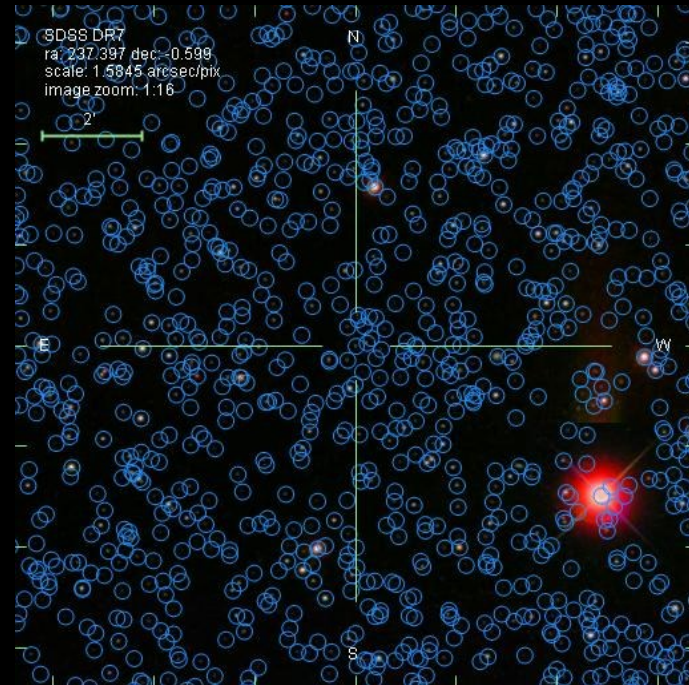
Ejemplo: Dark Energy Camera (DECam) @ Blanco Telescope



De las imágenes a los resultados

Espectrometría: grandes telescopios y mucho tiempo, y es para objetos preseleccionados

Imágenes: Todos los objetos, pero menos información



Para obtener cosmología:

- Medir la posición de los objetos en el cielo: imágenes
- Clasificar objetos: espectrometría: factible; imágenes: difícil
- Medir el *redshift*: espectrometría: factible; imágenes: difícil

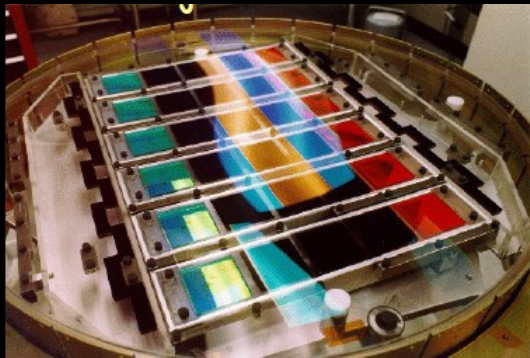
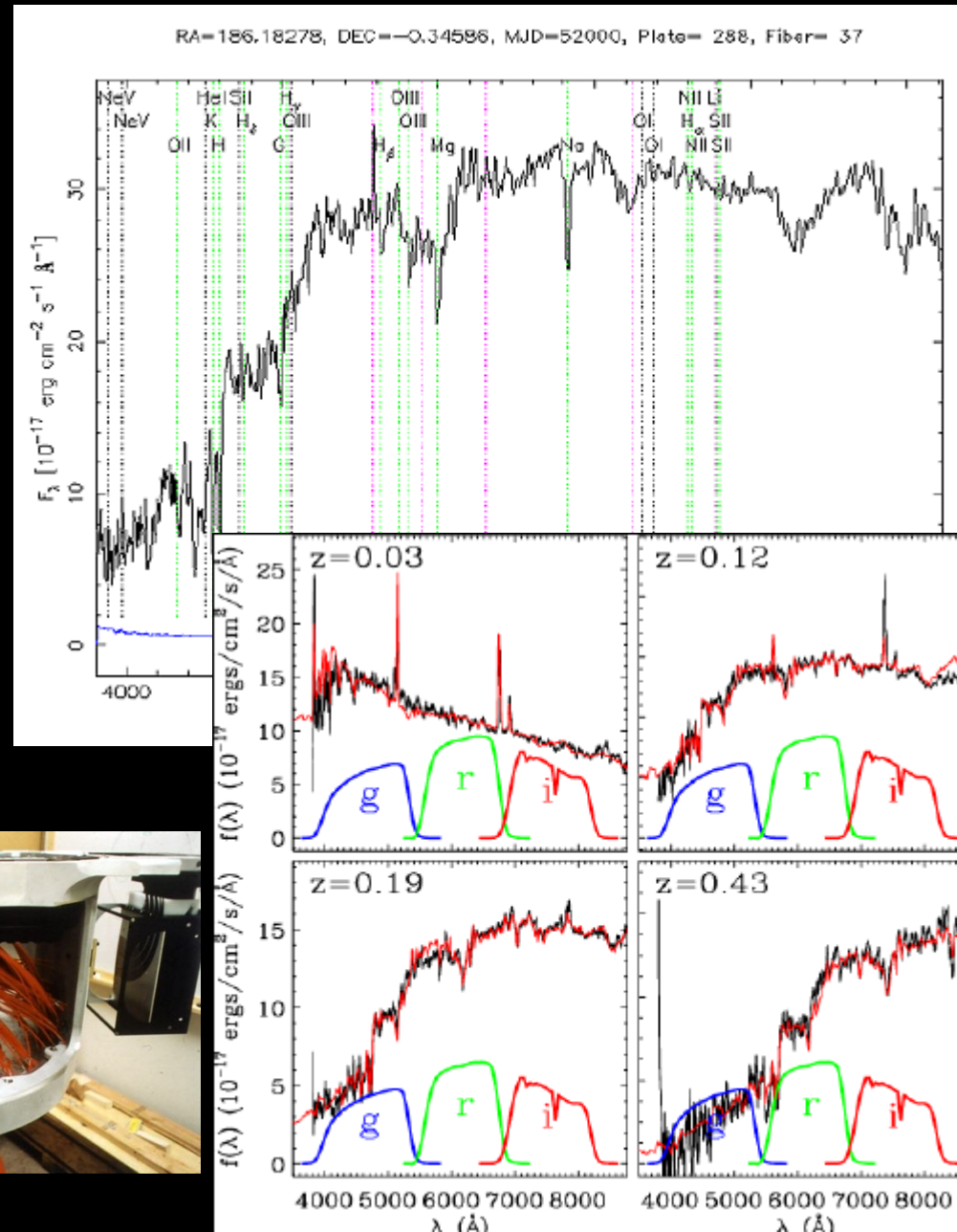
Medida del *redshift*

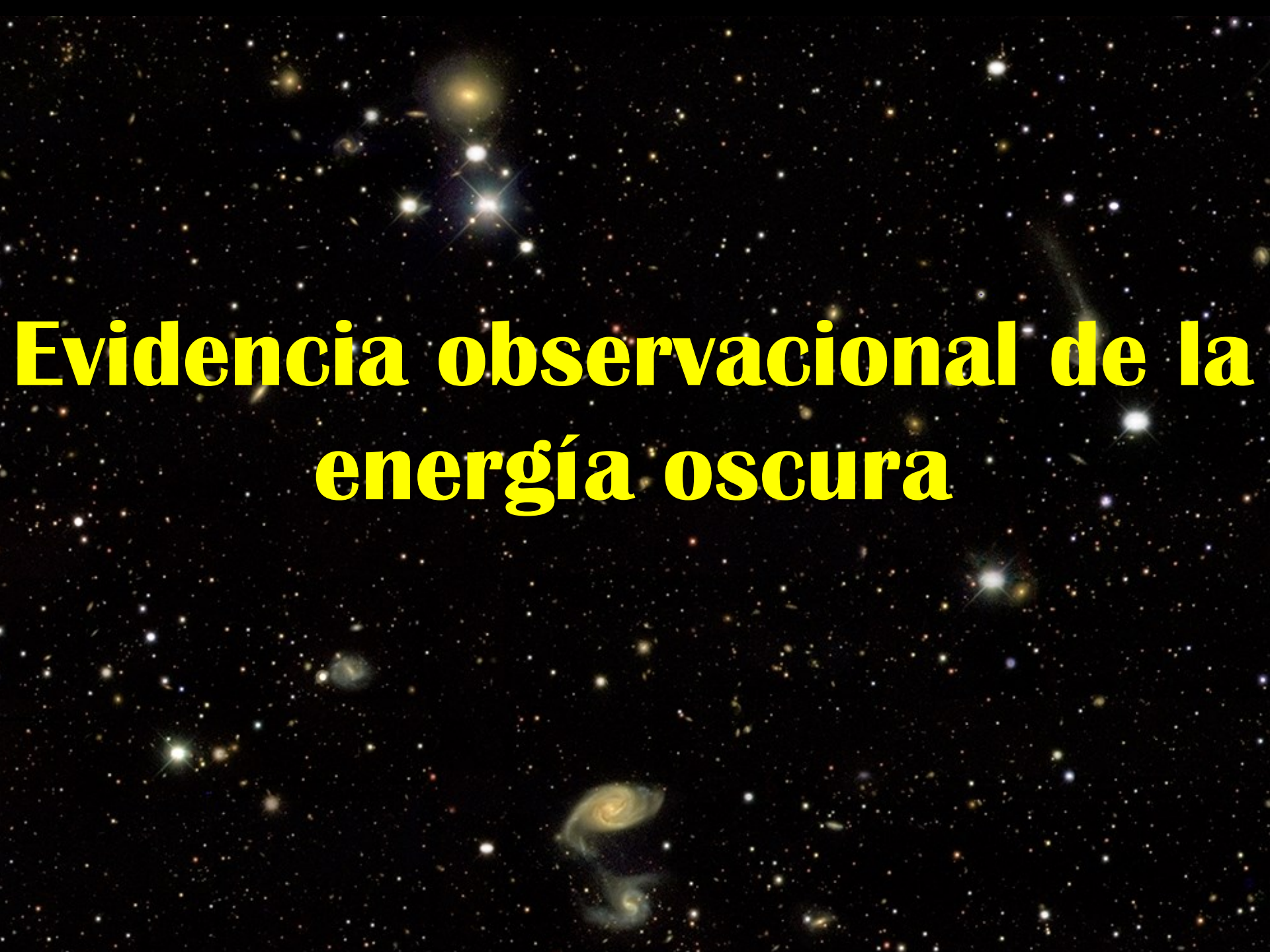
Redshift espectroscópico:

- Muy preciso: identificación de líneas
- Extremadamente costoso >45 minutos por objeto (se hacen muchos en paralelo)

Redshift fotométrico:

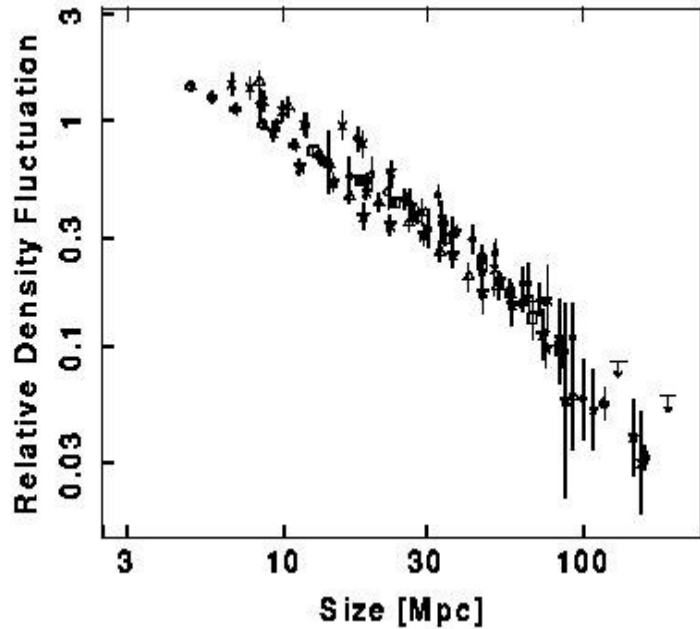
- Menos preciso: flujo en cada filtro
- Factible para todos los objetos . La medida de los flujos se puede hacer muy rápido.



The background of the slide is a high-resolution astronomical image. It features a dense field of stars of various magnitudes, some appearing as bright, multi-pointed diffraction patterns. Scattered throughout the field are numerous galaxies, including several prominent spiral galaxies with distinct arms and bright central bulges. The overall color palette is dominated by the black of space, with highlights in white, yellow, and orange from the stars and galaxies.

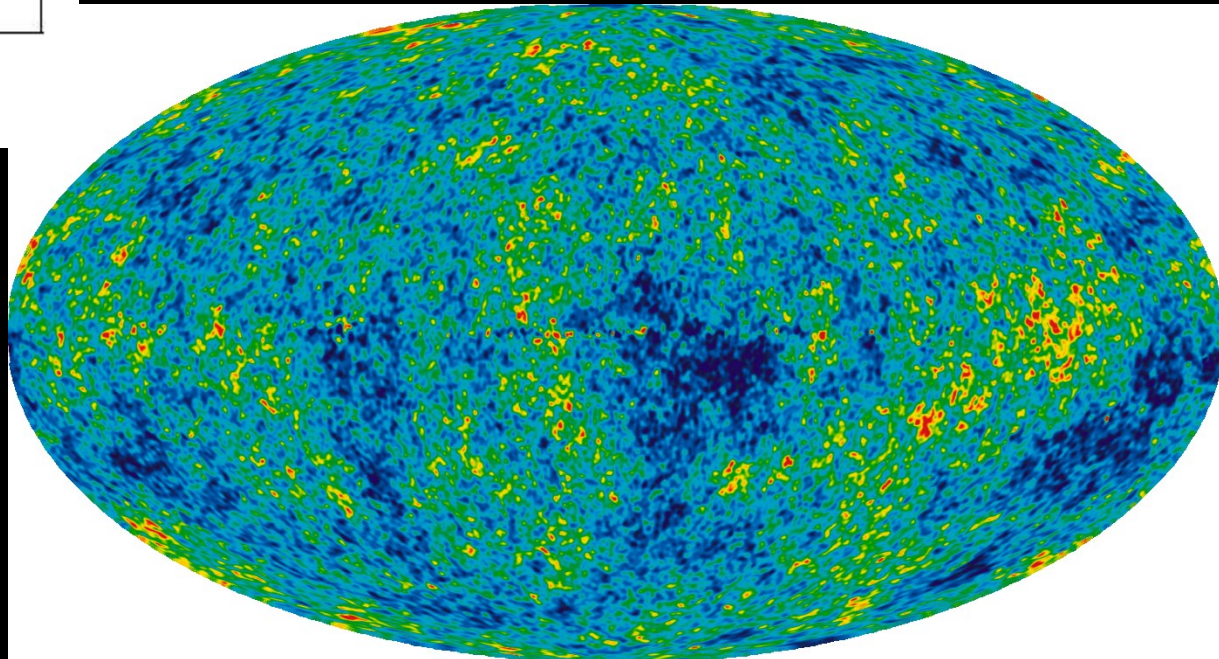
Evidencia observacional de la energía oscura

Verificación observacional del principio cosmológico



Homogeneidad: Difícil de observar. Comprobado que la distribución de galaxias se hace uniforme con una precisión de unos pocos por ciento a partir de distancias del orden de 100 Mpc

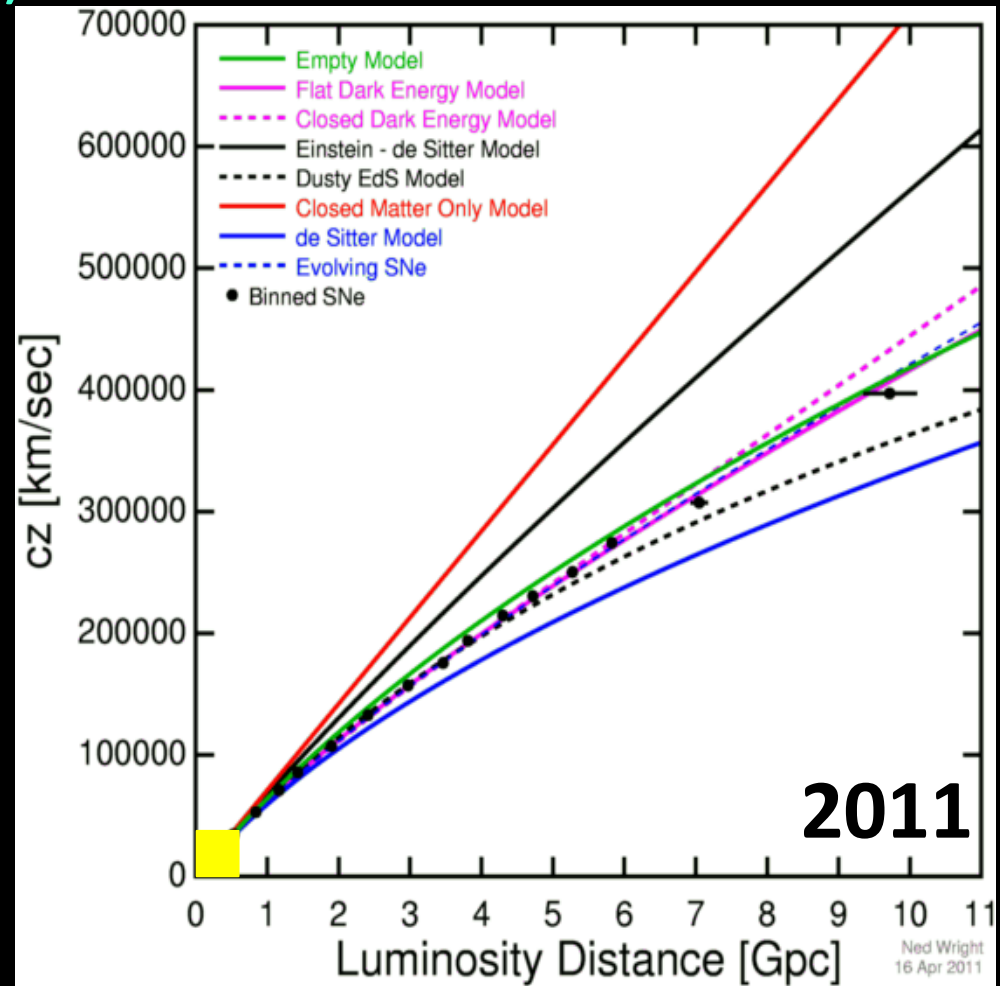
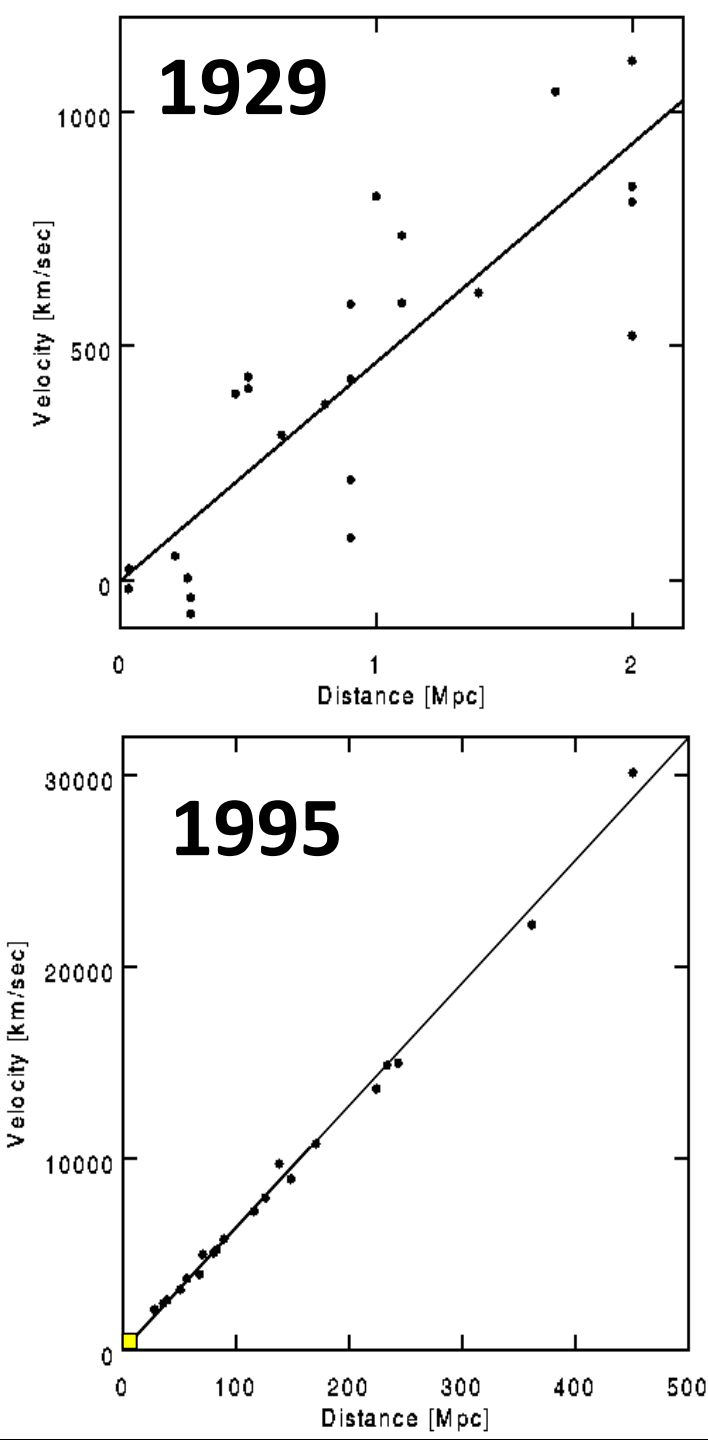
Isotropía: Comprobada con una precisión de 1 parte en 100000 gracias a la radiación de fondo



Expansión: La ley de Hubble

La constante de Hubble nos da la velocidad de expansión del universo. El mejor valor actual es:

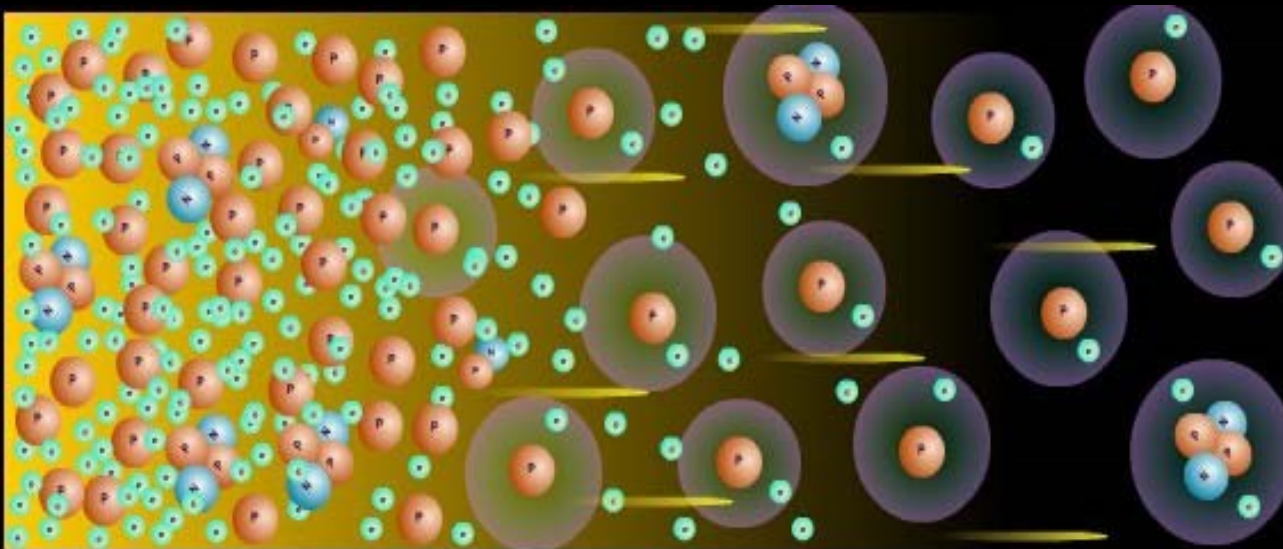
$$H_0 = 69.6 \pm 0.7 \text{ km/s/Mpc (C. L. Bennet et al., 2014)}$$



LA RADIACIÓN DE FONDO DE MICROONDAS

Una de las predicciones decisivas del Big Bang

Procede del desacoplo materia-radiación, **cuando el universo tenía 380000 años. Es decir, de hace unos...¡¡¡ 13800 millones de años!!! (Si el universo fuera una persona de 80 años, la CMB sería una foto de cuando tenía ¡13 meses!)**

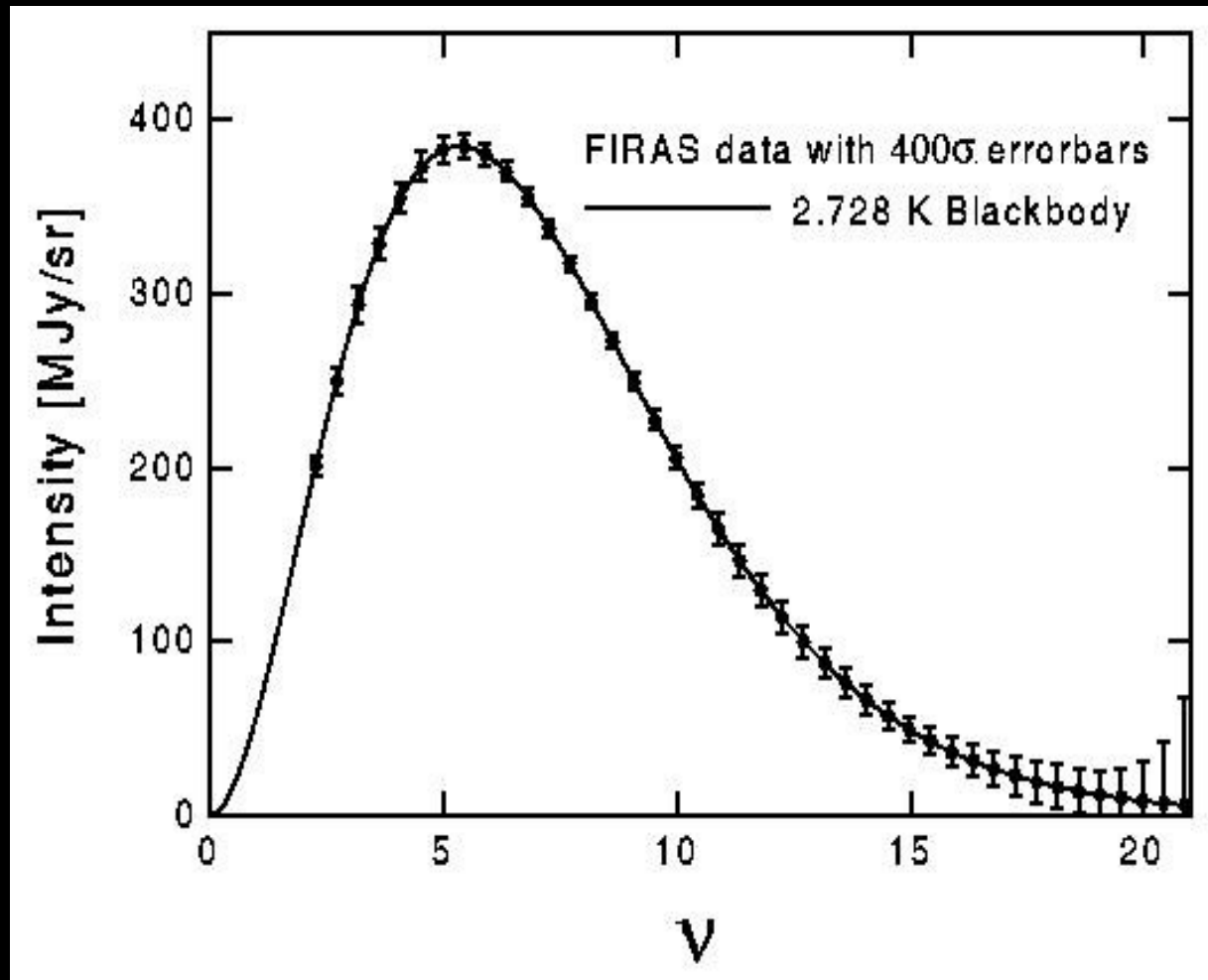


Se confirmó que no era completamente uniforme en 1992. Sus pequeñas anisotropías son la huella del origen de todas las estructuras que vemos ahora (cúmulos, galaxias, estrellas,...)

La radiación de fondo de microondas (CMB)

Se produjo a una temperatura de 3000 K, cuando el universo era suficientemente frío como para que se formasen átomos, y se ha ido enfriando desde entonces debido a la expansión

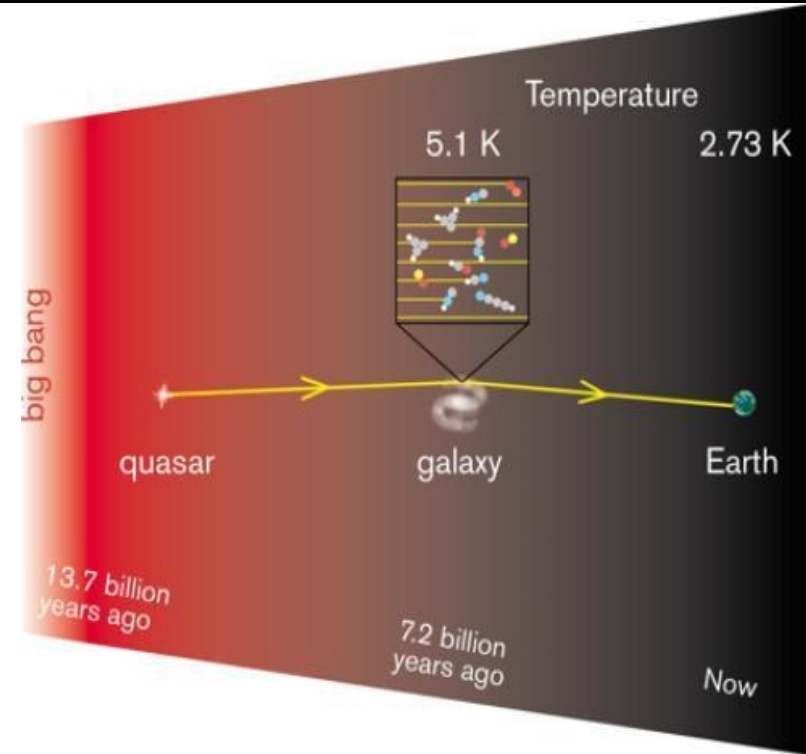
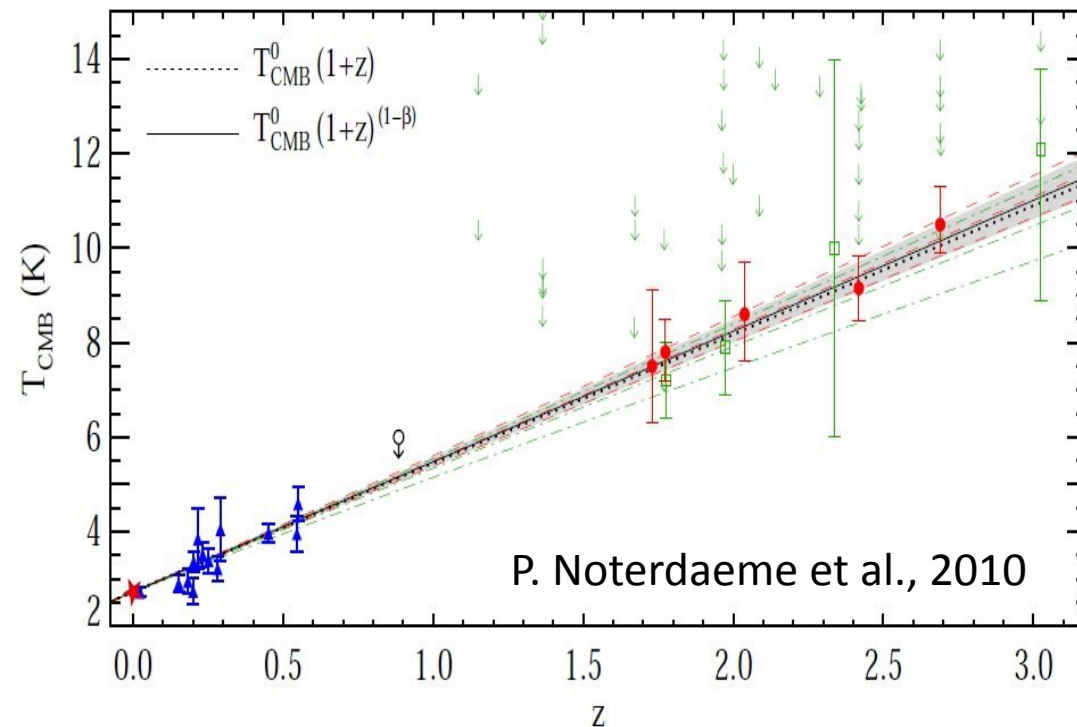
Espectro de cuerpo negro a 2.72548 ± 0.00057 K



La radiación de fondo de microondas (CMB)

El universo era más caliente en el pasado

El ritmo de enfriamiento es exactamente el predicho por la teoría del Big Bang



La radiación de fondo de microondas (CMB)

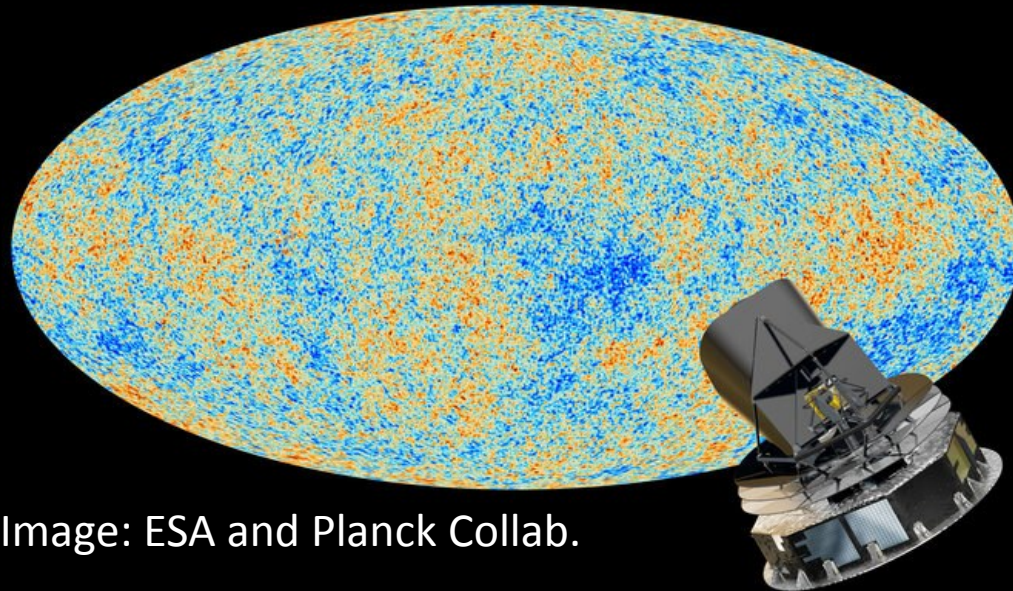
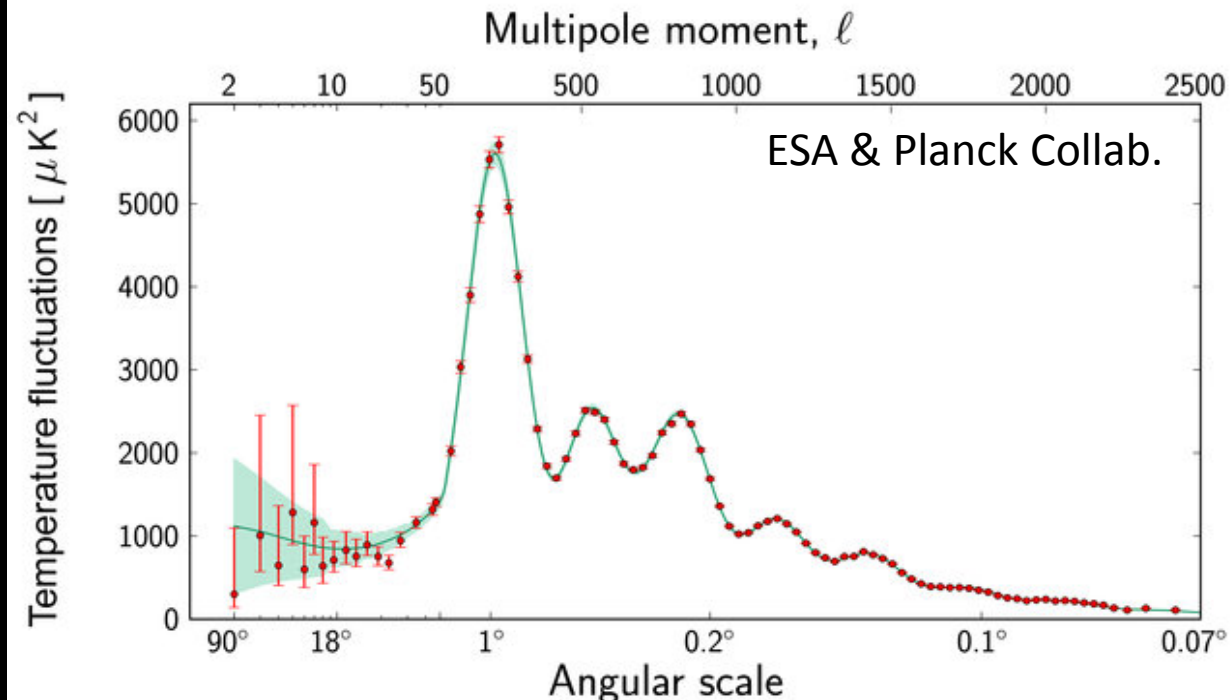
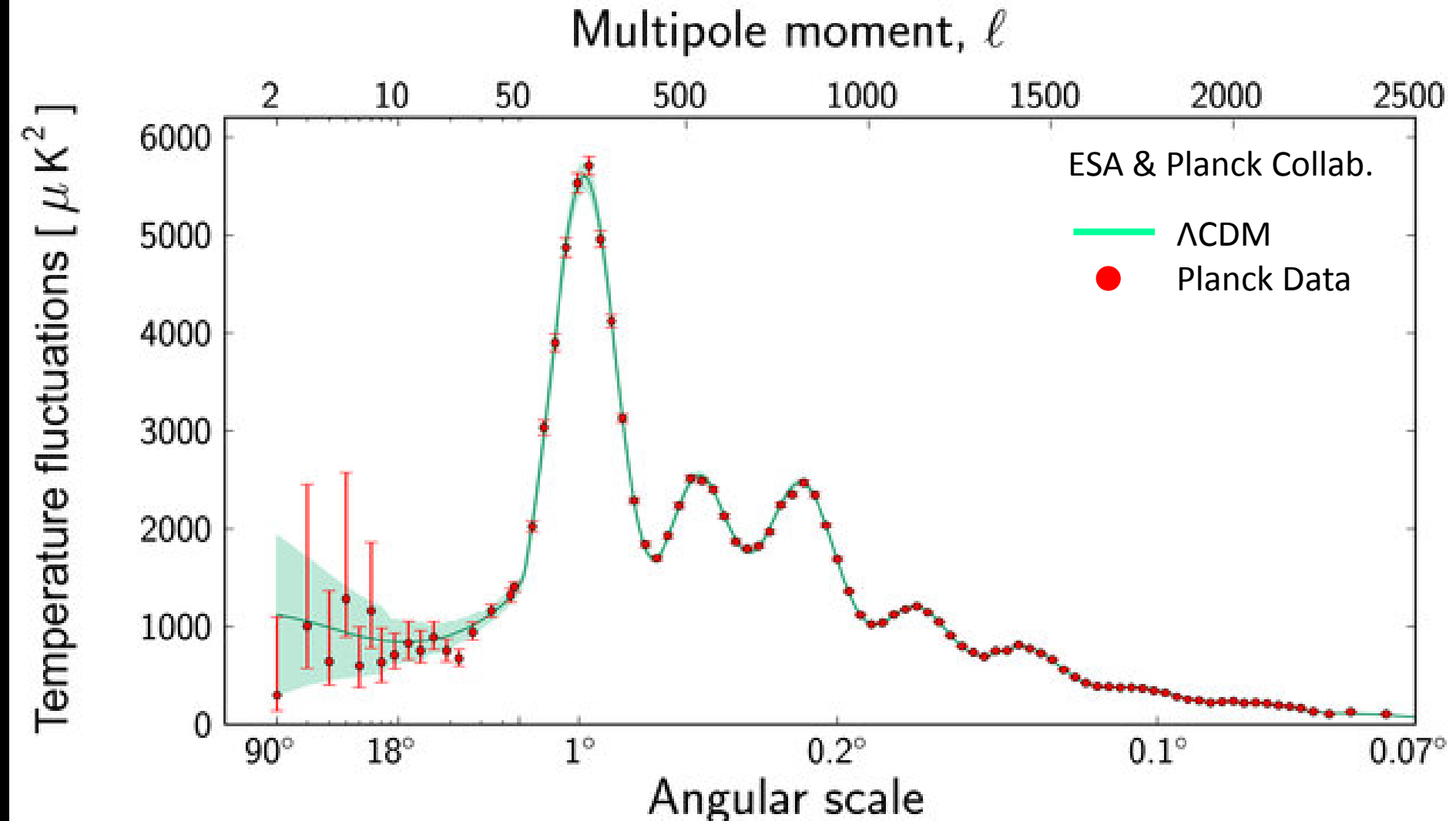


Image: ESA and Planck Collab.

LA GEOMETRÍA
DEL UNIVERSO
ES EUCLÍDEA



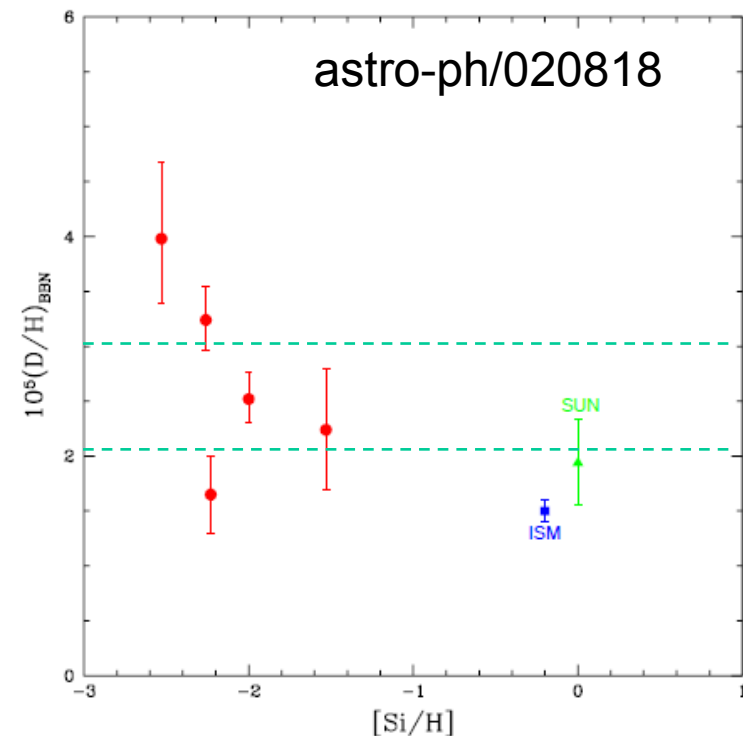
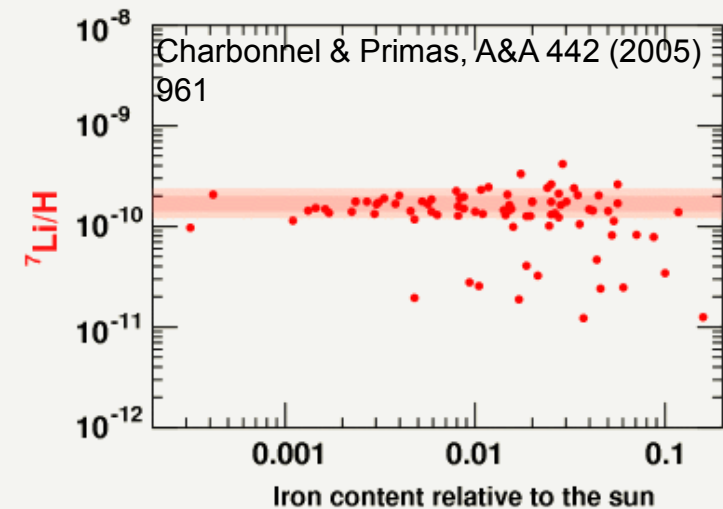
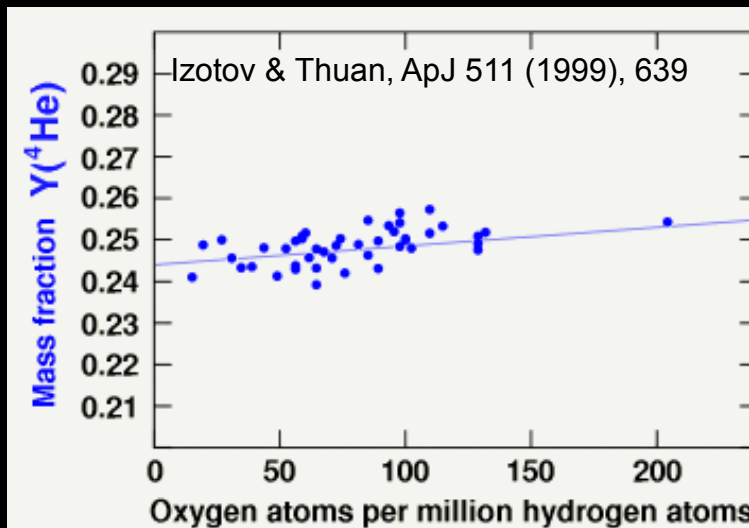
La radiación de fondo de microondas (CMB)



El acuerdo entre ΛCDM y los datos es extraordinario

La nucleosíntesis primordial

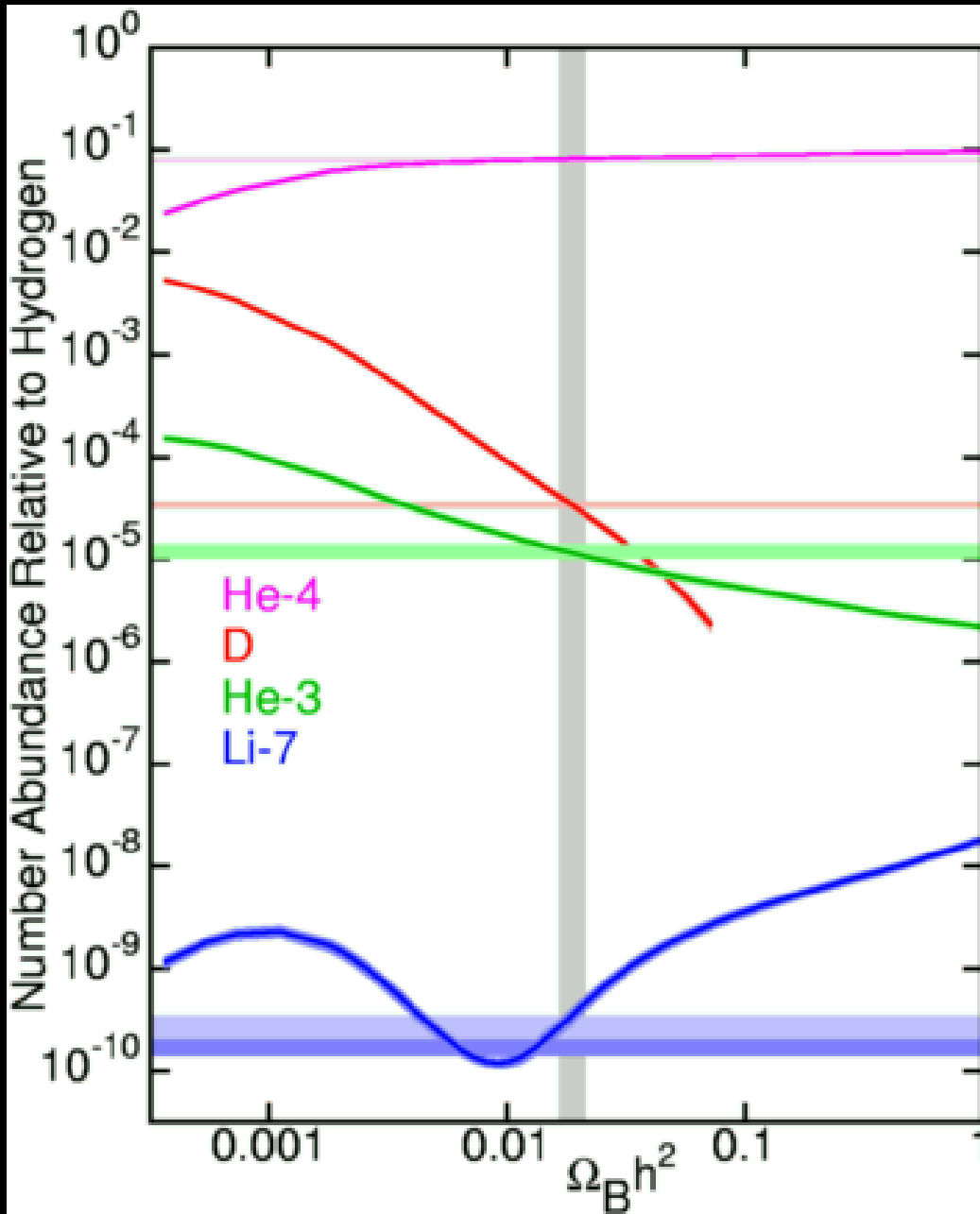
Los núcleos atómicos más ligeros se formaron en el primer cuarto de hora del (desde ~ 3 minutos a ~ 20 minutos tras el BB)



Medir sus abundancias:

D $\rightarrow$ Líneas de absorción en QSOs
 ^4He $\rightarrow$ Regiones HII extragalácticas de baja metalicidad (O/H).
 ^7Li $\rightarrow$ Estrellas enanas del halo galáctico. Errores sistemáticos grandes.

Nucleosíntesis: Materia oscura no bariónica



Las abundancias miden el número de bariones (protones y neutrones, es decir, materia normal)

Es una física bien conocida (átomos)

Número de fotones por barión de la CMB. ¡En perfecto acuerdo con las abundancias!

¡HAY MATERIA OSCURA NO BARIÓNICA!

Las supernovas Ia: energía oscura

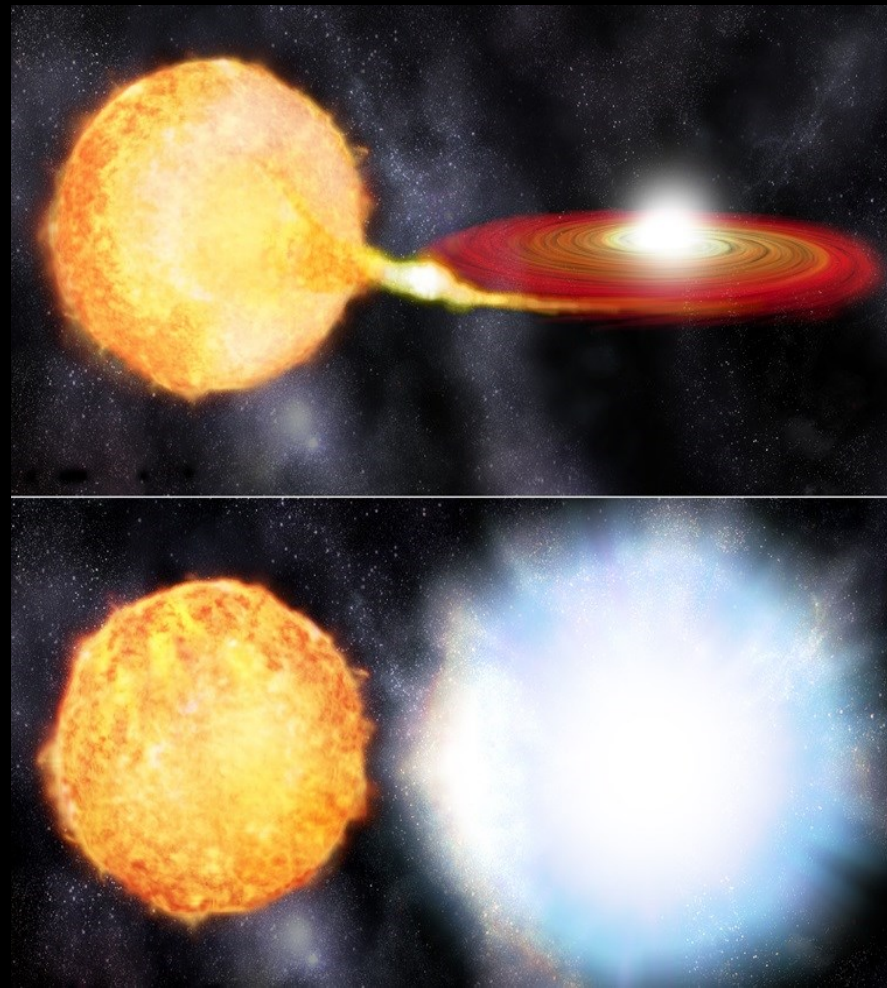
Las supernovas son el resultado de la muerte violenta de estrellas muy masivas. Son extraordinariamente brillantes, por eso se pueden ver a enormes distancias

S_{nIa}

En sistemas binarios gigante roja-enana blanca

La enana blanca obtiene masa a costa de la gigante

Al llegar al límite de Chandrasekar explota. Todas son iguales, explotan al alcanzar ese límite (amnesia estelar)



SN 1998aq

NGC 3982
A. Riess (STScI)

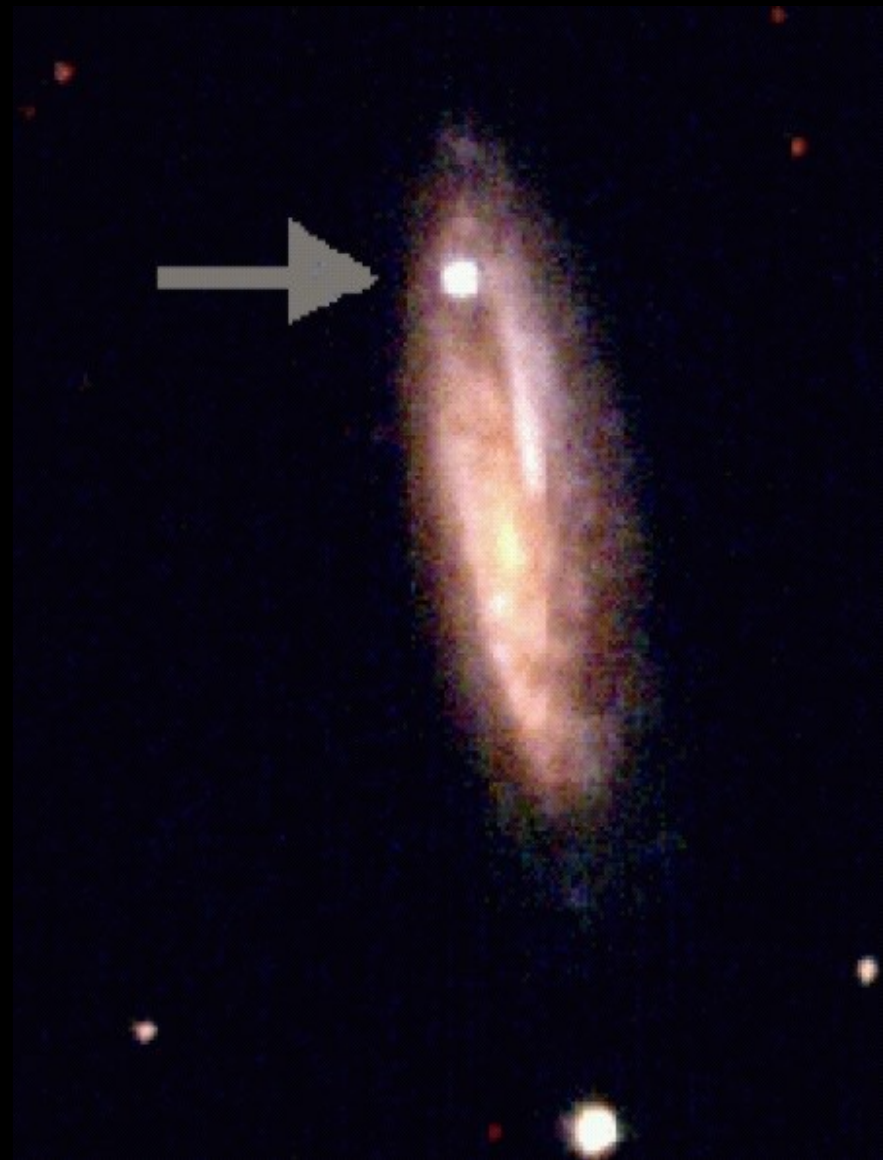
SN1998aq

Ground

HST WFPC2

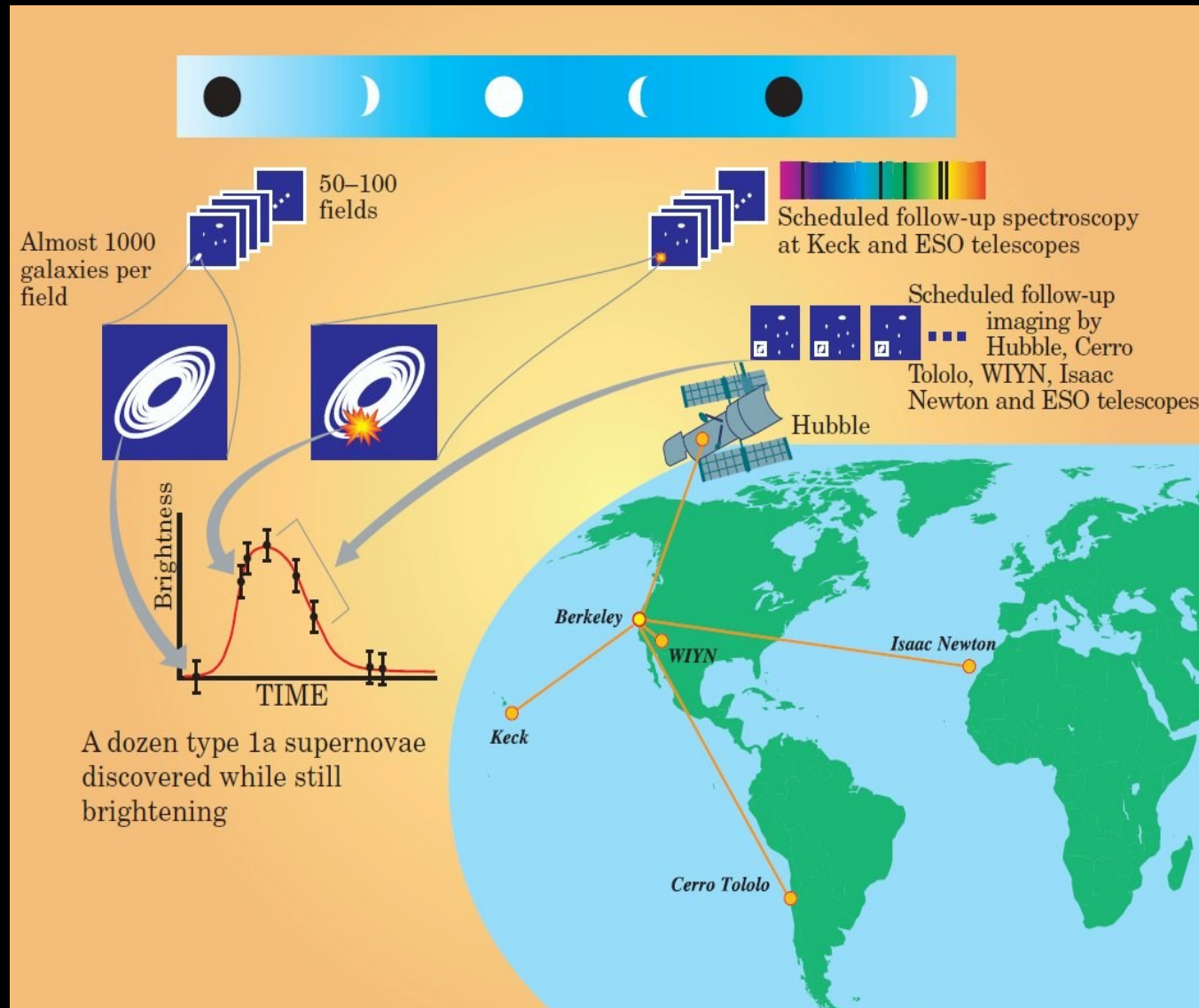


SN 1998dh



Las supernovas Ia: energía oscura

Las supernovas Ia son buenos indicadores de distancia (candelas estandarizables) por ser iguales



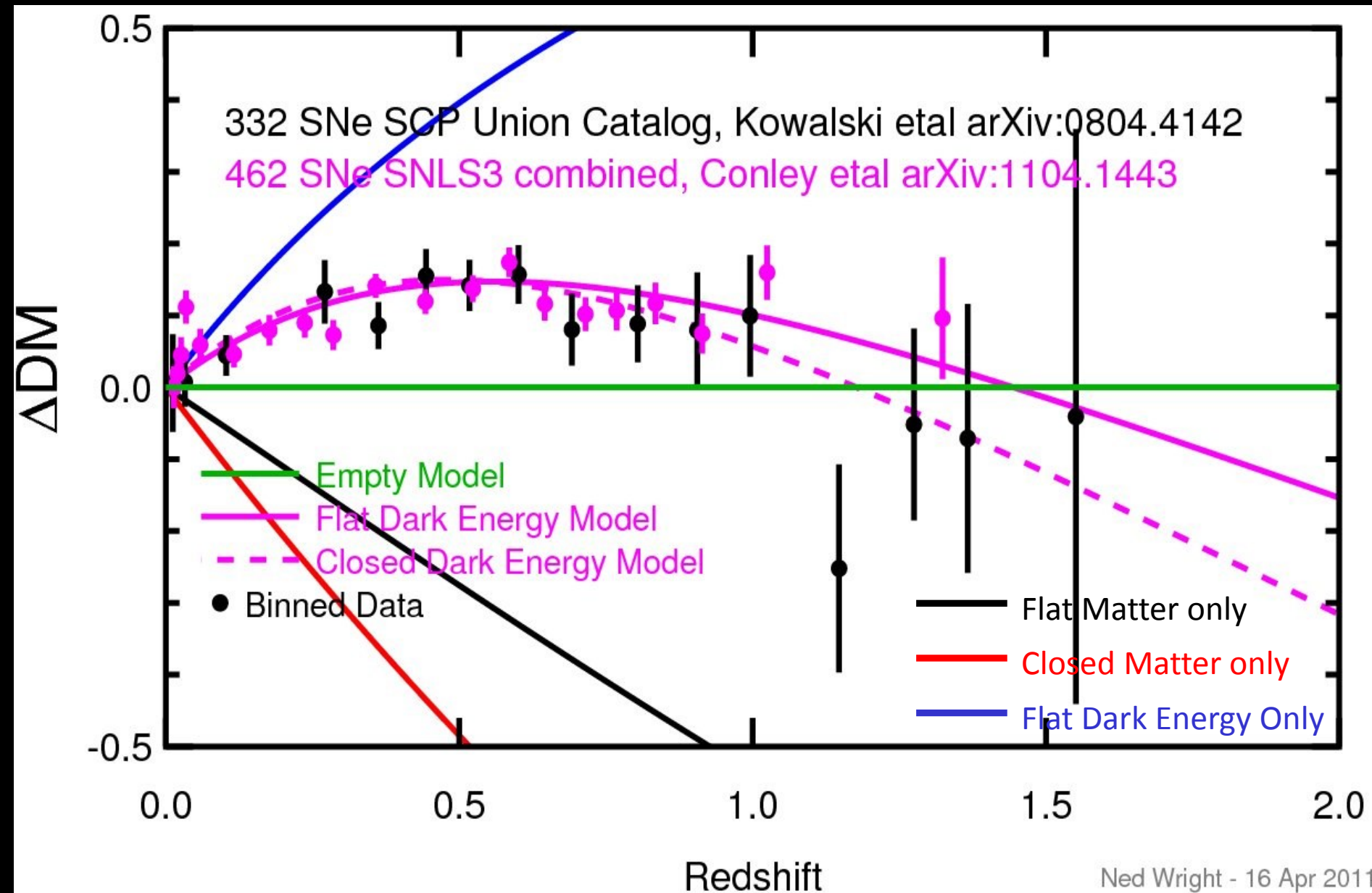
Estrategia de
búsqueda

Mirar
sistemáticamente
a la misma parte
del cielo

Obtener el
espectro y la
evolución del
brillo

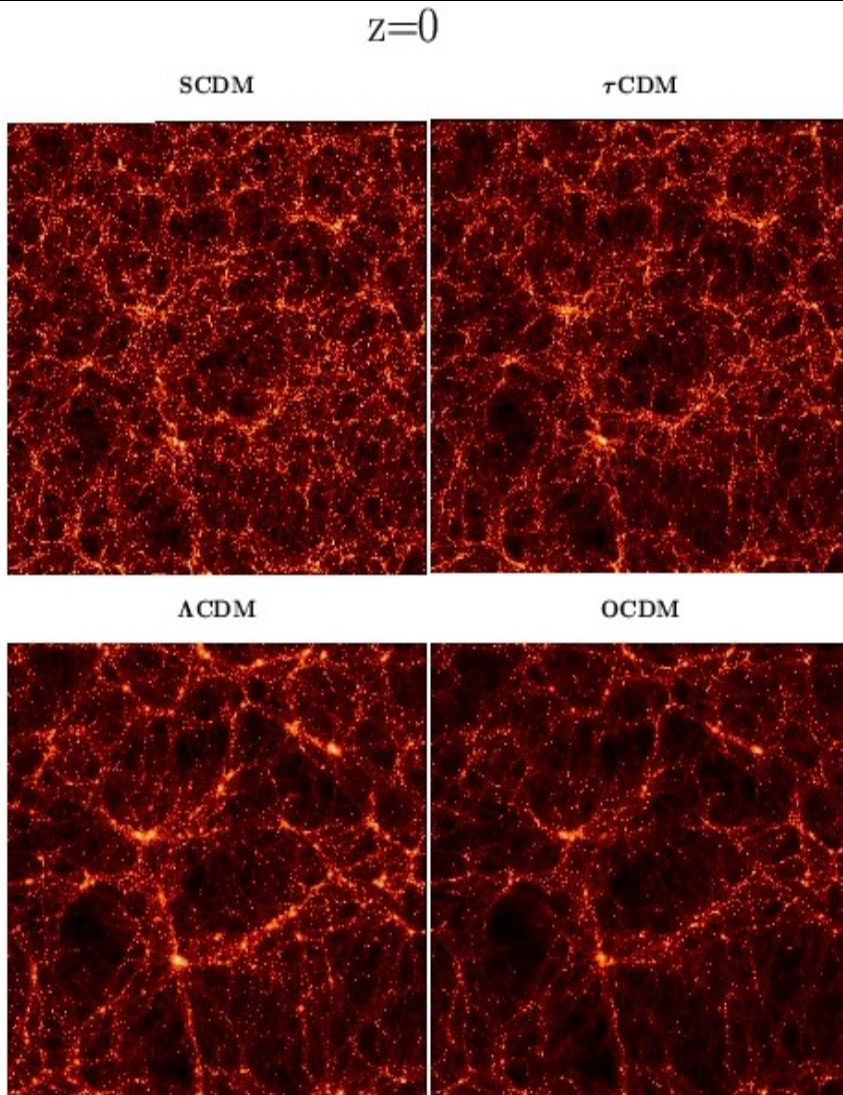
Las supernovas Ia: energía oscura

LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO SE ACELERA: ¡¡¡ENERGÍA OSCURA!!!

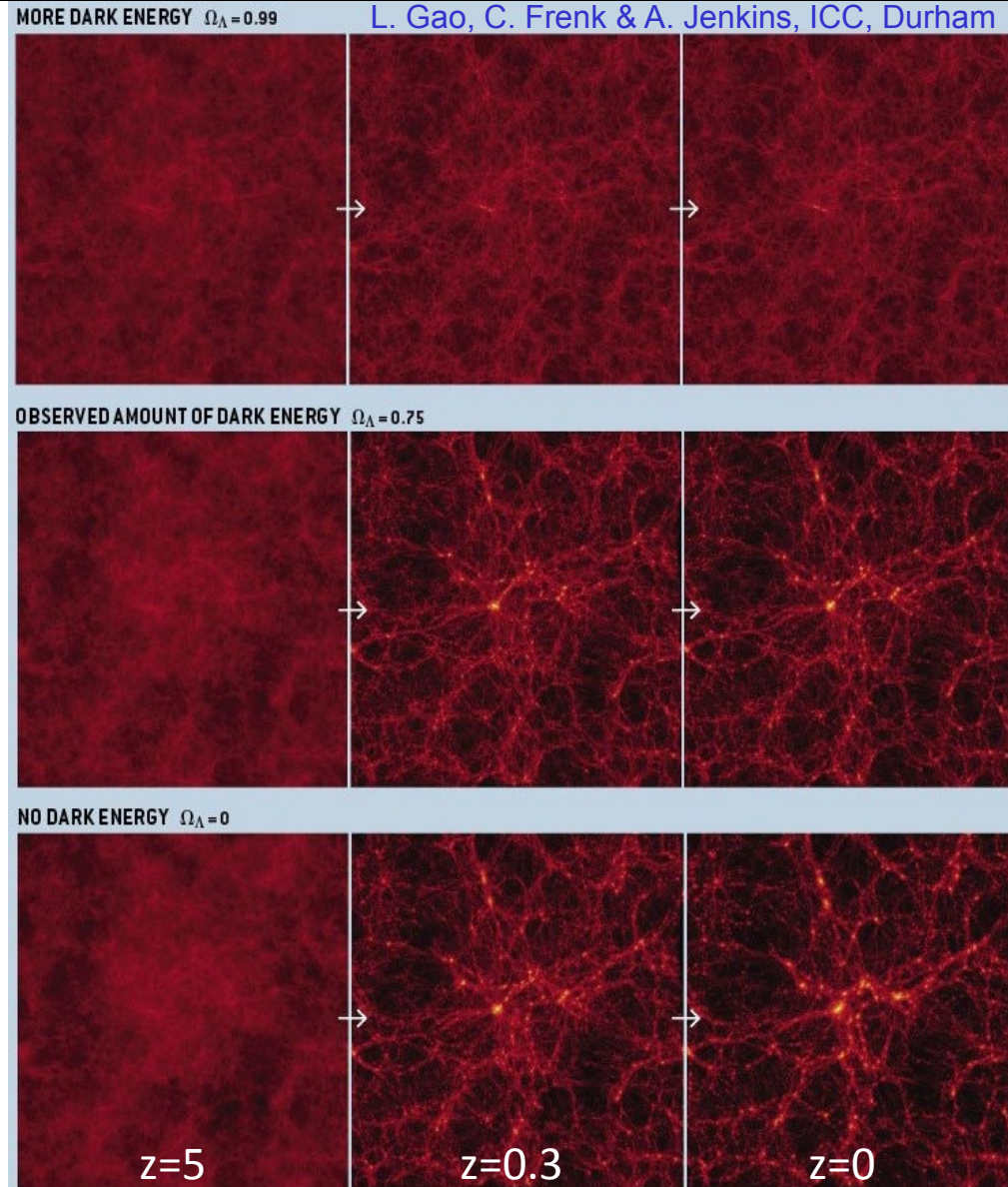


La estructura a gran escala (LSS) del universo

Diferentes contenidos de materia-energía del universo predicen diferentes niveles de estructura. **La estructura observada implica materia y energía oscuras**

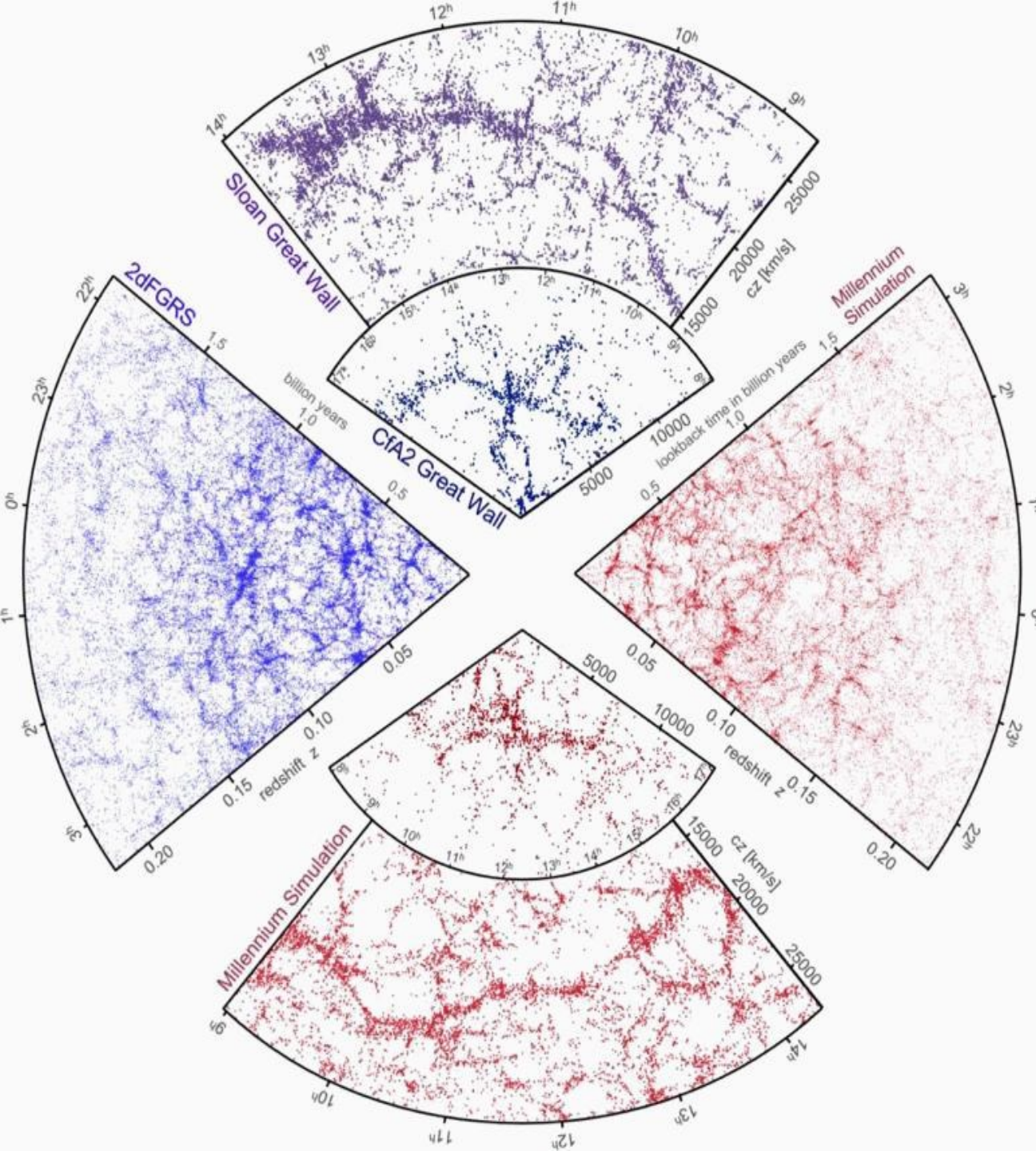


The VIRGO Collaboration 1996

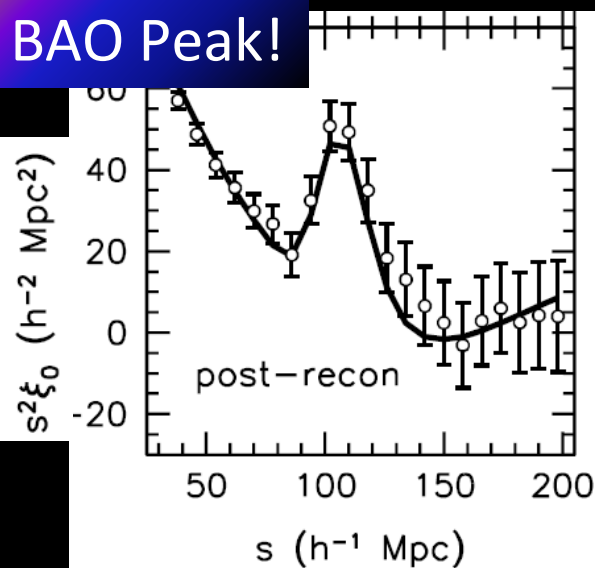


La estructura a gran escala (LSS) del universo

El Big Bang con un $\sim 70\%$ de energía oscura y un $\sim 30\%$ de materia total (normal y oscura), es capaz de describir la formación de estructuras en el universo



BAO Peak!

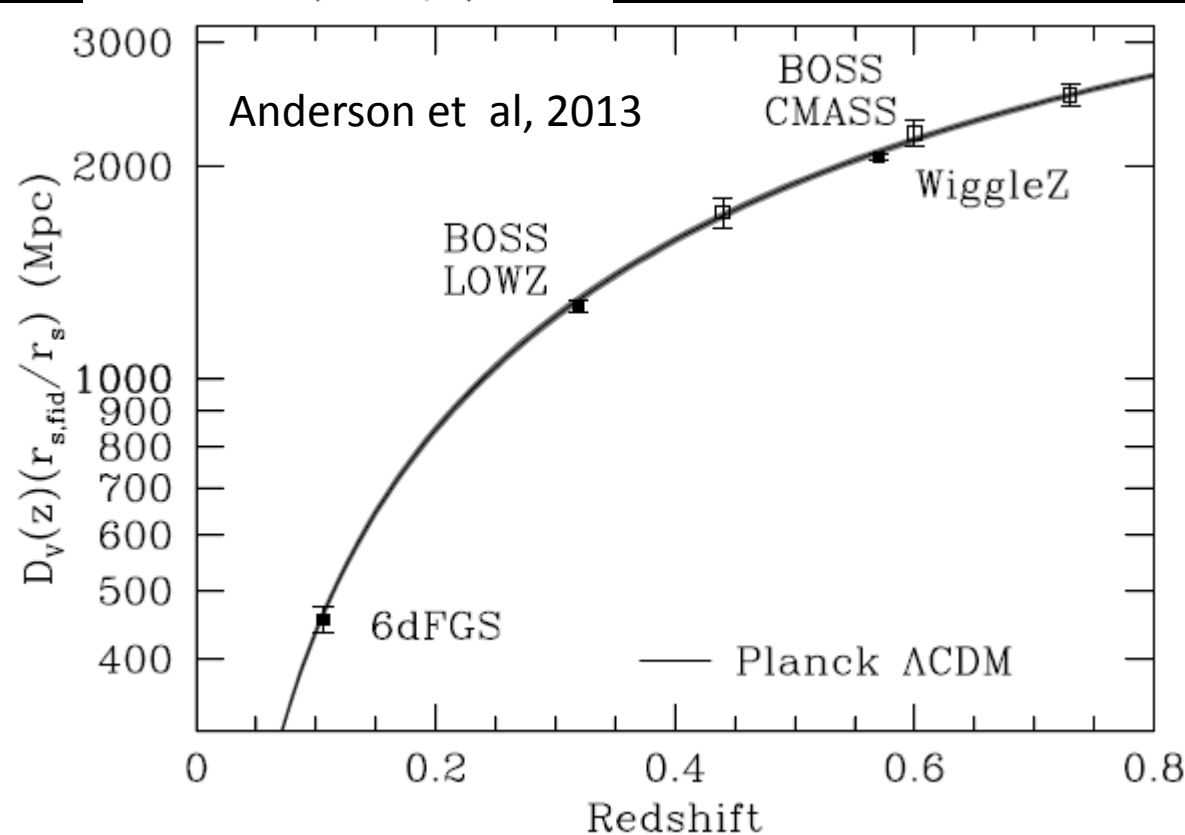


BAO: Oscilaciones Acústicas de los Bariones

Función de correlación: Distribución estadística de galaxias en el espacio

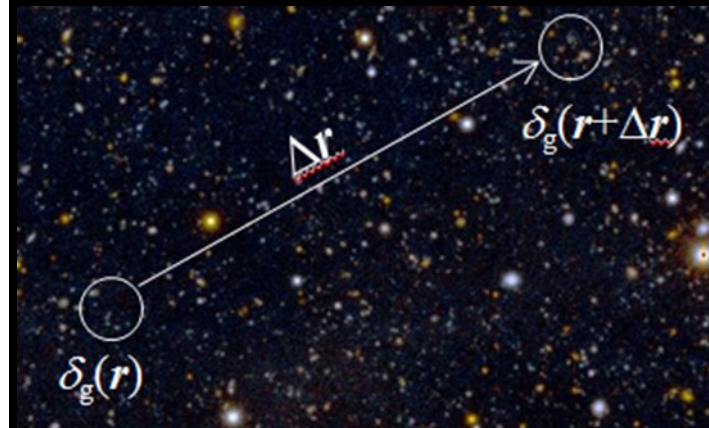
$$\delta_g(r) = n_g(r) / \bar{n}_g - 1$$

$$\xi(\Delta r) = \langle \delta_g(r) \delta_g(r + \Delta r) \rangle$$

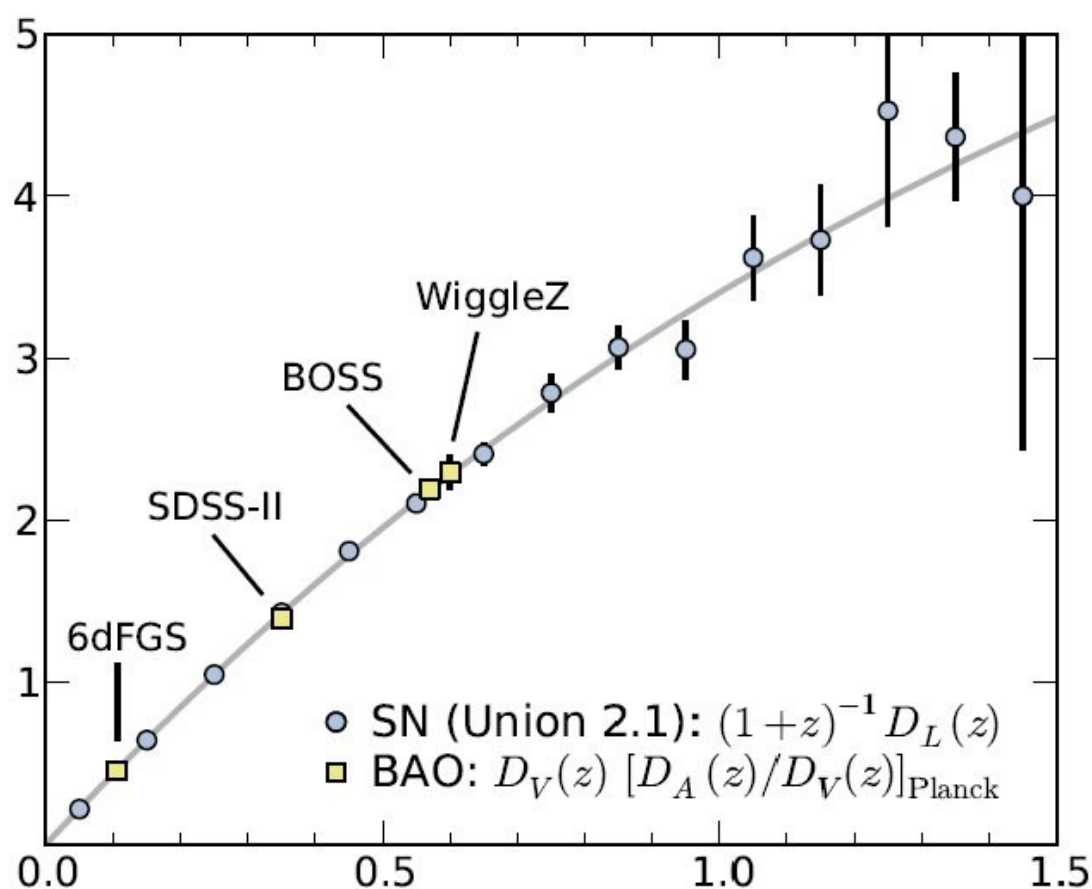


Espectro de potencias

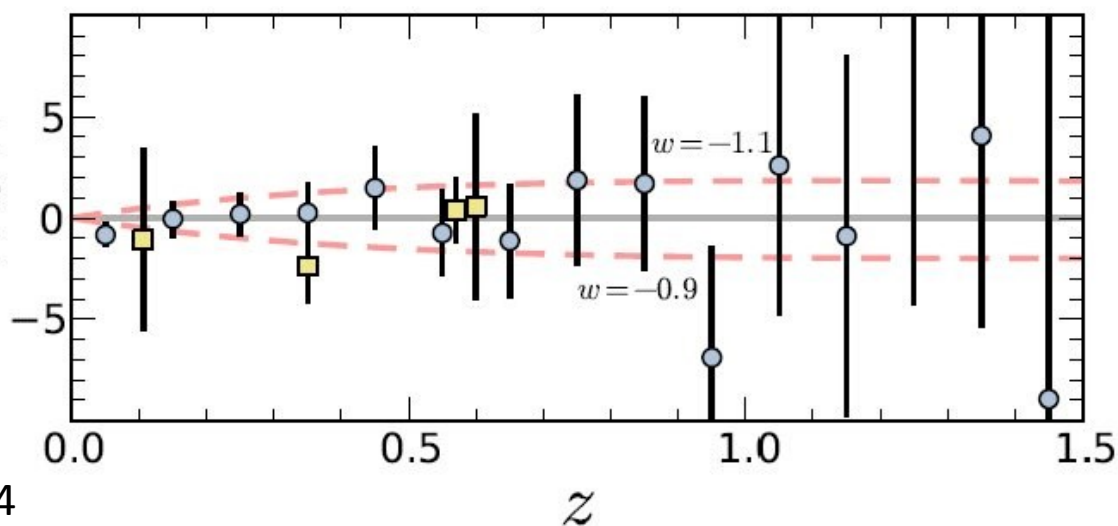
$$P(k) = \int d^3r e^{-ik \cdot r} \xi(|r|)$$



distance
in Gpc



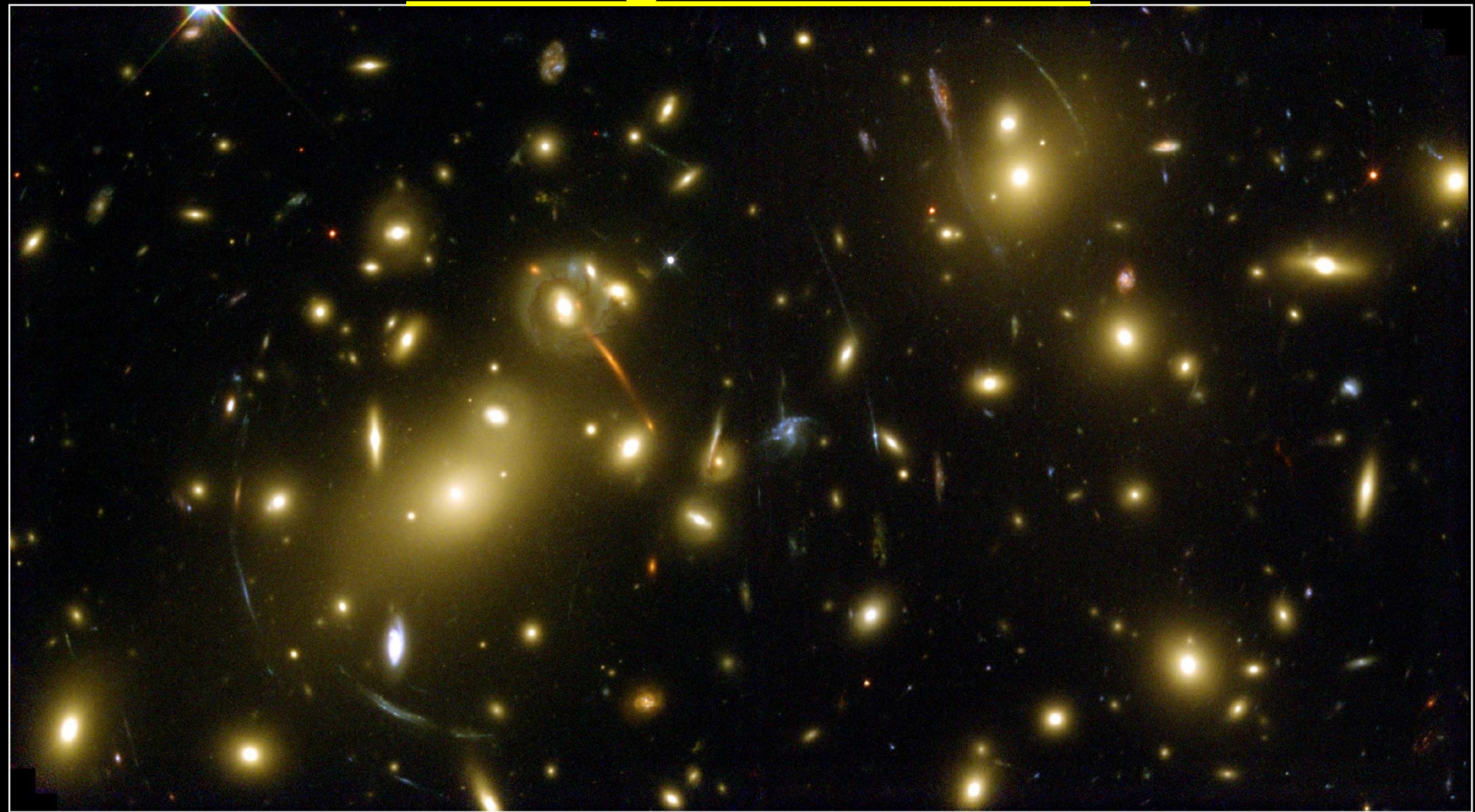
per cent
difference
from Planck
flat Λ CDM



**Diagrama
de Hubble
actual con
supernovas
y BAO**

**Los datos
están en
perfecto
acuerdo con
 Λ CDM**

Lentes gravitacionales

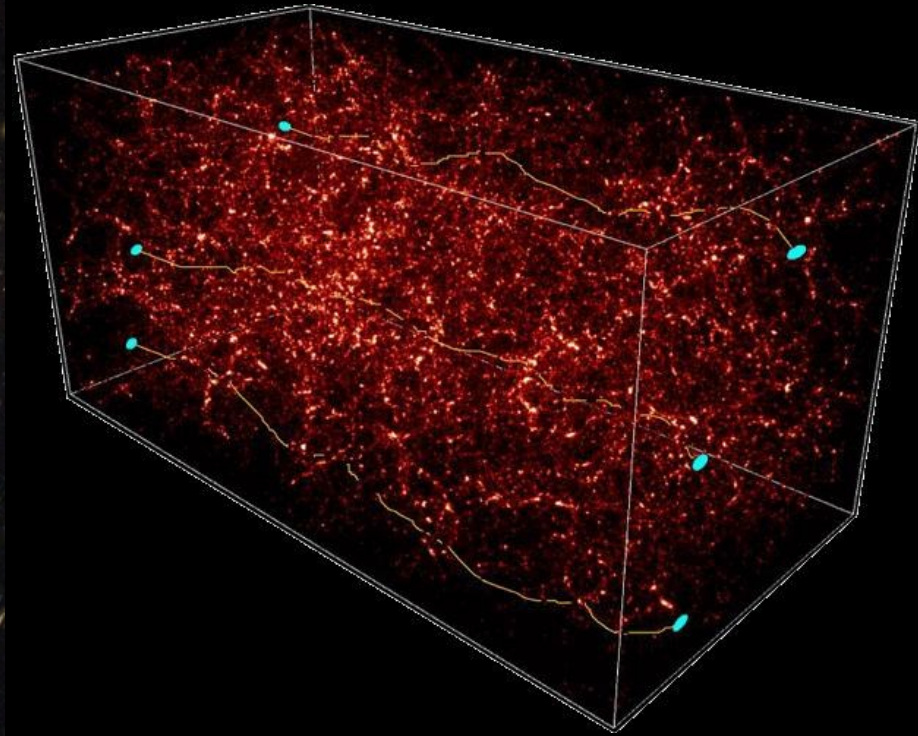


Galaxy Cluster Abell 2218
Hubble Space Telescope • WFPC2

Lentes gravitacionales

La deformación de las imágenes depende de la masa de los objetos que hacen de lente (incluida la materia oscura), que curvan el espacio a su alrededor

Método muy poderoso para observar la distribución de masa-energía en el universo
materia y energía oscuras



**¿Qué es lo que se deduce
de estas medidas?**



El Big Bang hoy: Λ CDM

No es especulación. Basado en una enorme cantidad de observaciones precisas

CMB $\rightarrow \Omega_{\text{TOT}} \sim 1$ (El Universo es **PLANO**)

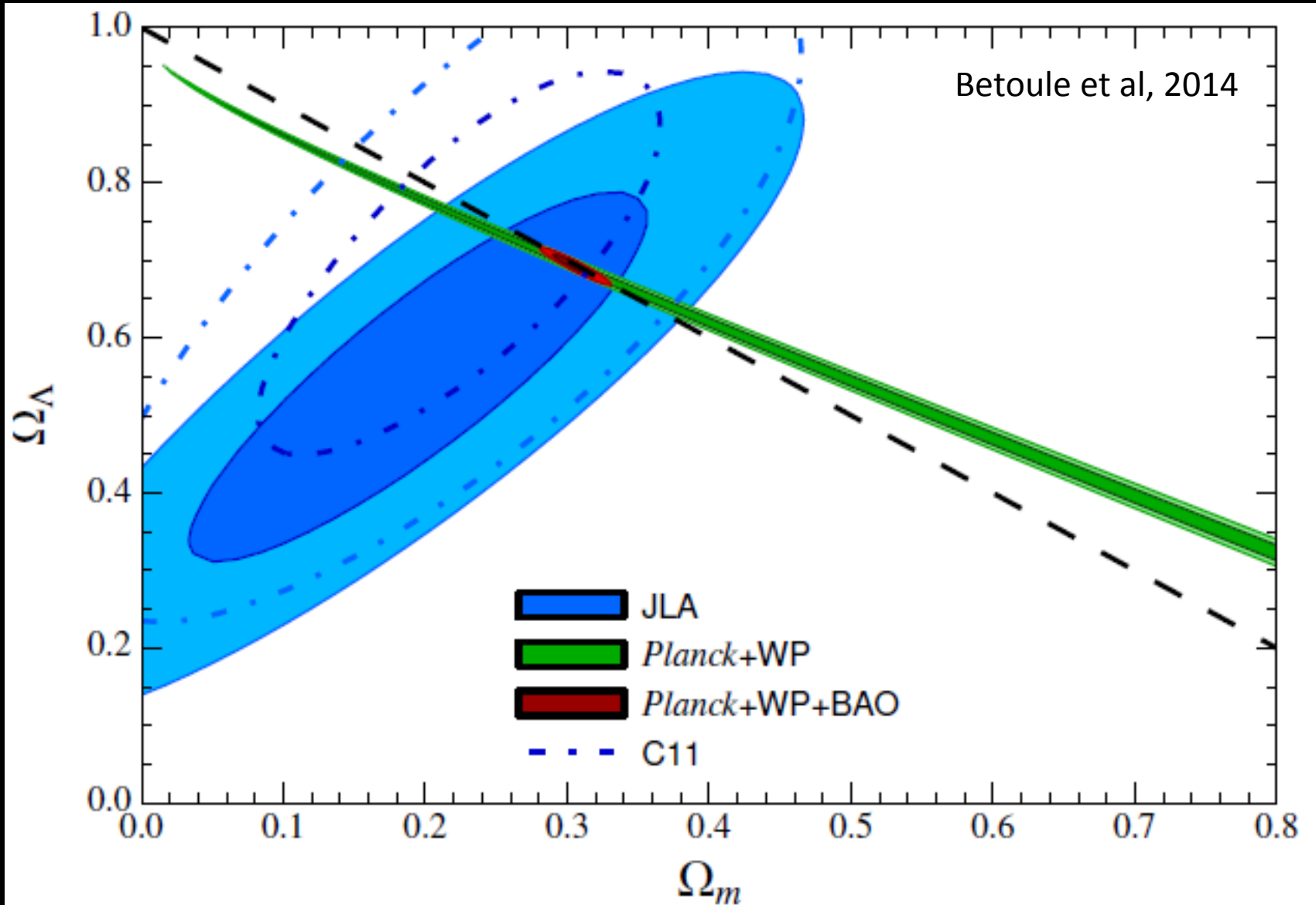
BBN+CMB $\rightarrow \Omega_{\text{B}} \sim 0.05 \rightarrow$ La mayor parte del universo es **no-bariónico**

LSS+DINÁMICA $\rightarrow$ **¡MATERIA OSCURA!** ; $\Omega_{\text{DM}} \sim 0.27$

Supernovae Ia+LSS+CMB $\rightarrow$ **¡ENERGÍA OSCURA!** ; $\Omega_{\text{DE}} \sim 0.68$

- Homogeneidad a gran escala
- Ley de Hubble
- Abundancias de elementos ligeros
- Existencia de la CMB
- Fluctuaciones de la CMB
- LSS
- Edades de las estrellas
- Evolución de las galaxias
- Dilatación temporal del brillo de SN
- Temperatura vs redshift (Tolman test)
- Efecto Sunyaev-Zel'dovich
- Efecto Sachs-Wolf integrado
- Galaxias (rotación/dispersión)
- Energía oscura (expansión acelerada)
- Lentes gravitacionales (débiles/fuertes)
- Consistencia de todas las observaciones

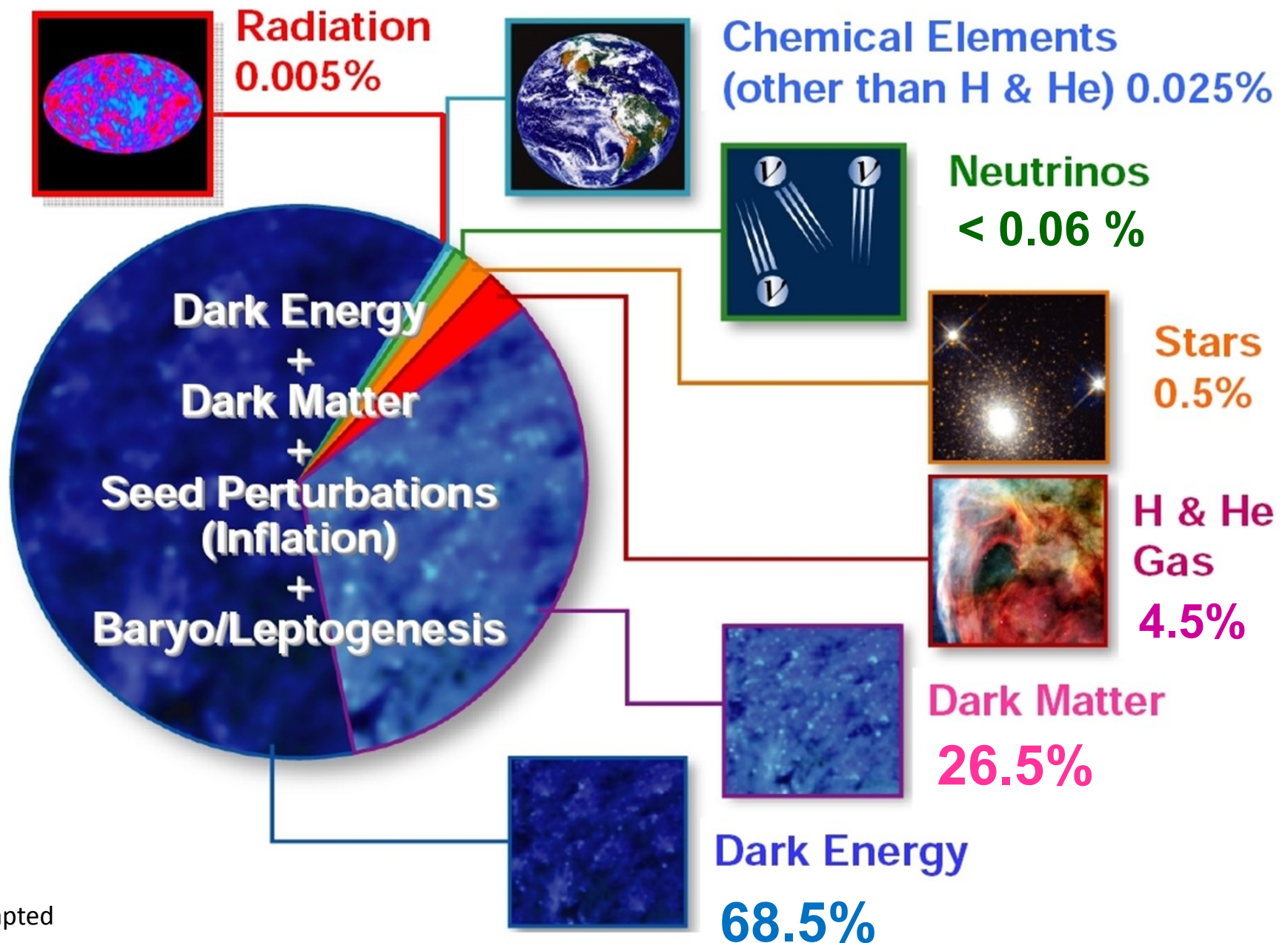
La existencia de la energía oscura y de la materia oscura está comprobada. Los esfuerzos actuales se centran en entender su naturaleza



El Big Bang hoy: Λ CDM

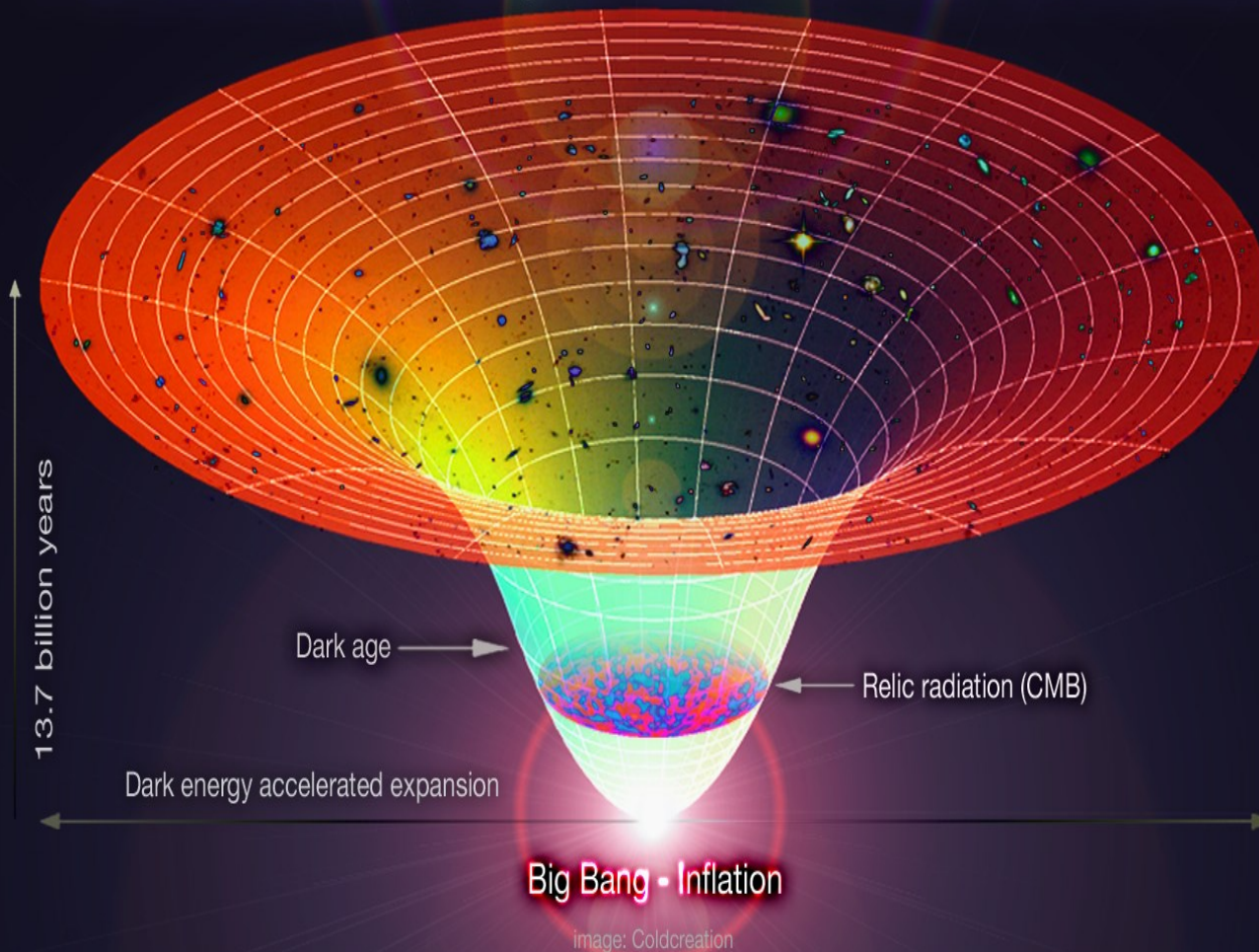
Parameter		Current Best Value
Hubble expansion rate	h	0.673(12) WMAP7
critical density	ρ_c	$1.053\,75(13) \times 10^{-5} h^2 \text{ (GeV/c}^2\text{) cm}^{-3}$
baryon density	Ω_b	0.0499(22)
pressureless matter density	Ω_M	0.315 ± 0.017
dark energy density (LCDM)	Ω_Λ	0.685 ± 0.017
dark energy EoS parameter	w	-1.10 ± 0.08 (Planck+WMAP+BAO+SN)
CMB radiation density	Ω_γ	$5.46(19) \times 10^{-5}$
neutrino density	Ω_ν	$\Omega_\nu < 0.0055$ (95% CL, CMB+BAO)
total energy density	Ω_{tot}	$1.000\,(7)$ (95% CL, CMB+BAO)
scalar spectral index	n_s	0.958(7)
age of the Universe	t_0	13.81 ± 0.05 Gyr

Numbers from PDG 2014



El Big Bang hoy: Λ CDM

Accelerated Expansion of the Universe

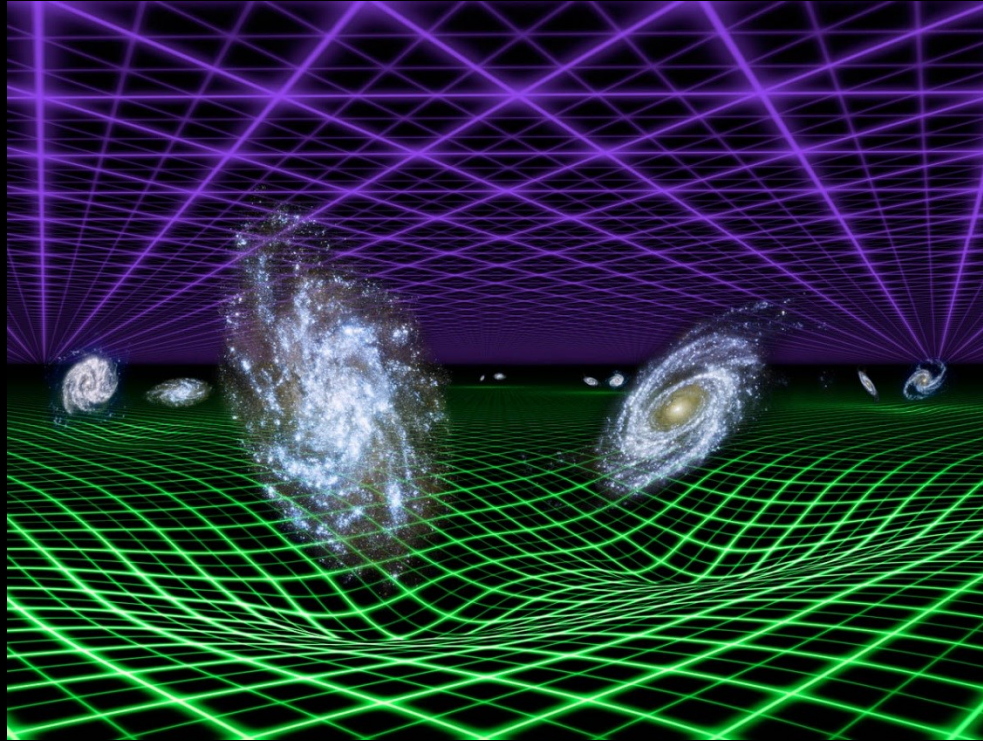


La teoría del Big Bang es un excelente descripción del universo observado

El 95% del contenido del universo es de naturaleza desconocida

La cosmología requiere física más allá del Modelo Estándar de las partículas

Materia oscura y energía oscura



Entender la naturaleza de la materia oscura y de la energía oscura es uno de los problemas fundamentales de la ciencia actual.

No solamente para la cosmología sino también para la física de partículas.



La estructura, evolución y destino del universo dependen críticamente de las propiedades del sector oscuro.

LA ENERGÍA OSCURA



¿Qué entendemos por energía oscura?

El descubrimiento de la expansión acelerada del universo (1998) fue una gigantesca sorpresa, ya que se esperaba justo lo contrario debido a la acción de la gravedad (atractiva y no repulsiva)

Sea cual sea el mecanismo que causa la aceleración, lo llamamos energía oscura:

La constante cosmológica de Einstein

Un nuevo campo de fuerza (“quintaesencia”)

Modificaciones a la Relatividad General

¿QUÉ SABEMOS SOBRE LA ENERGÍA OSCURA?

- 1) No emite ni absorbe radiación electromagnética
- 2) No se diluye con la expansión → Presión negativa
- 3) Su distribución espacial es homogénea. La energía oscura no se acumula de manera significativa, al menos en escalas como los cúmulos de galaxias

Muy diferente de la materia oscura. Su presión es comparable a su densidad de energía (es tipo energía) mientras que la materia se caracteriza por una presión despreciable.

La energía oscura es un fenómeno difuso, que interacciona de manera extremadamente débil con la materia y de muy baja energía. Por lo tanto será muy difícil producirla en aceleradores. Puesto que no se acumula, el universo en su totalidad es la manera natural (quizá la única) de estudiarla.

Muy probablemente el avance vendrá a través de la mejora en las observaciones

La Constante Cosmológica

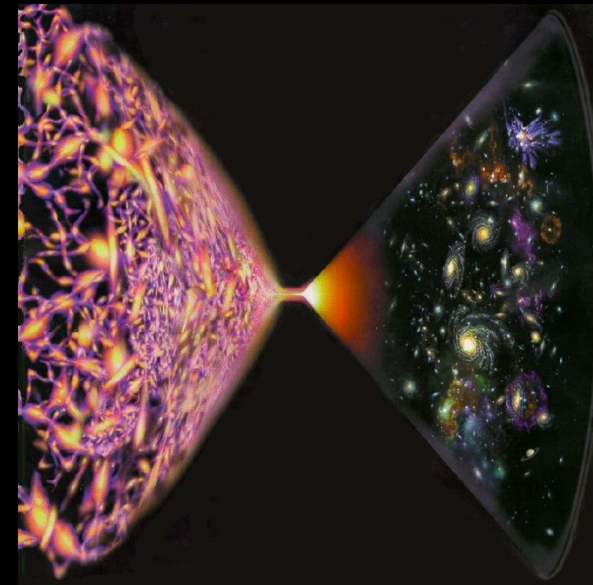
Todas las observaciones actuales son compatibles con que la energía oscura sea la constante cosmológica. Es el candidato más natural, pero también el más misterioso y chocante

Constante cosmológica: Su densidad es constante en el tiempo y obedece una ecuación de estado $p=-\rho$

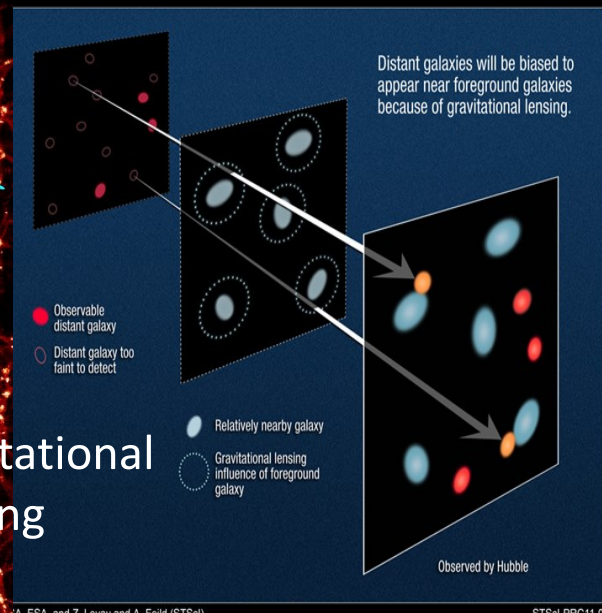
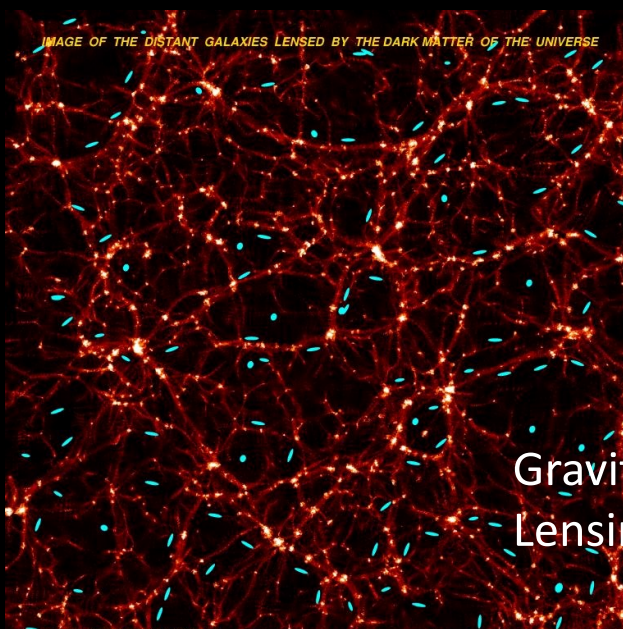
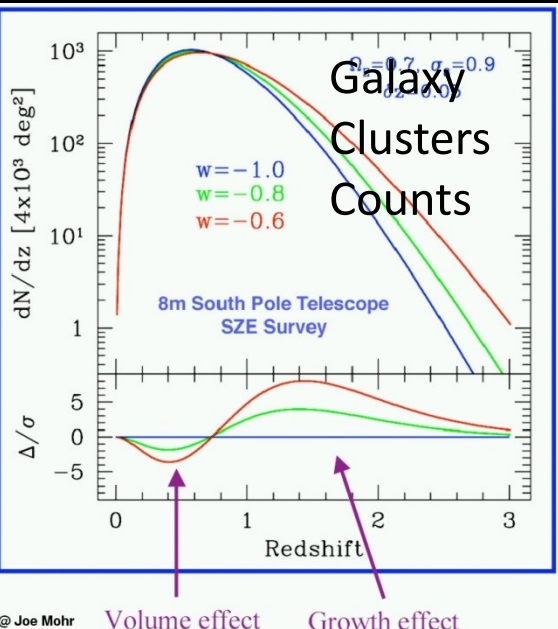
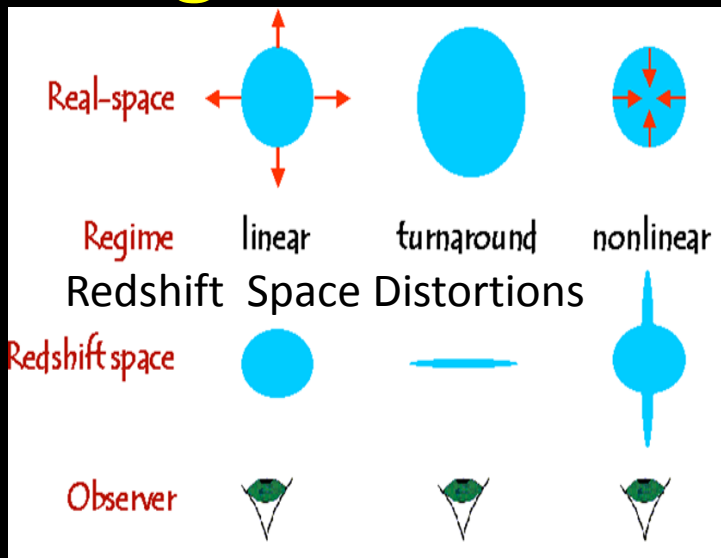
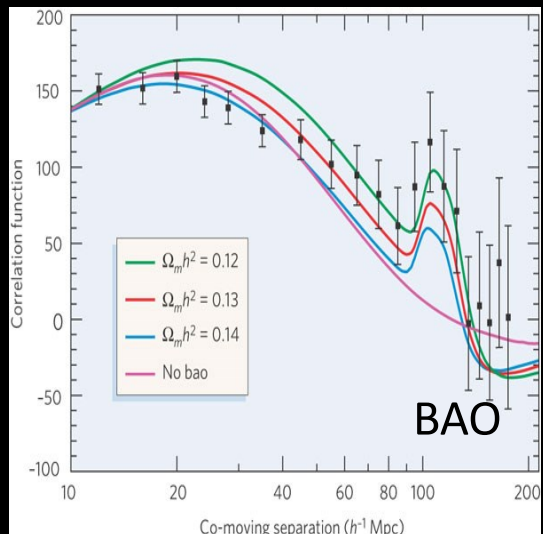
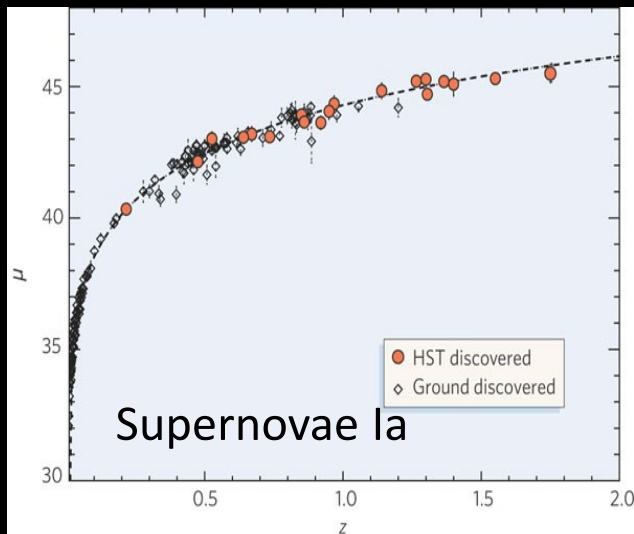
No hay una explicación para Λ a partir de la física de partículas. Si es la energía del vacío:

$$\Omega_{\Lambda} \sim 0.7 \longrightarrow \rho_{\Lambda} \sim (10 \text{ meV})^4$$

Una estimación teórica sencilla da $\rho_{\Lambda} \sim M_{\text{Planck}}^4 \sim \mathbf{10^{120}} \times (10 \text{ meV})^4$

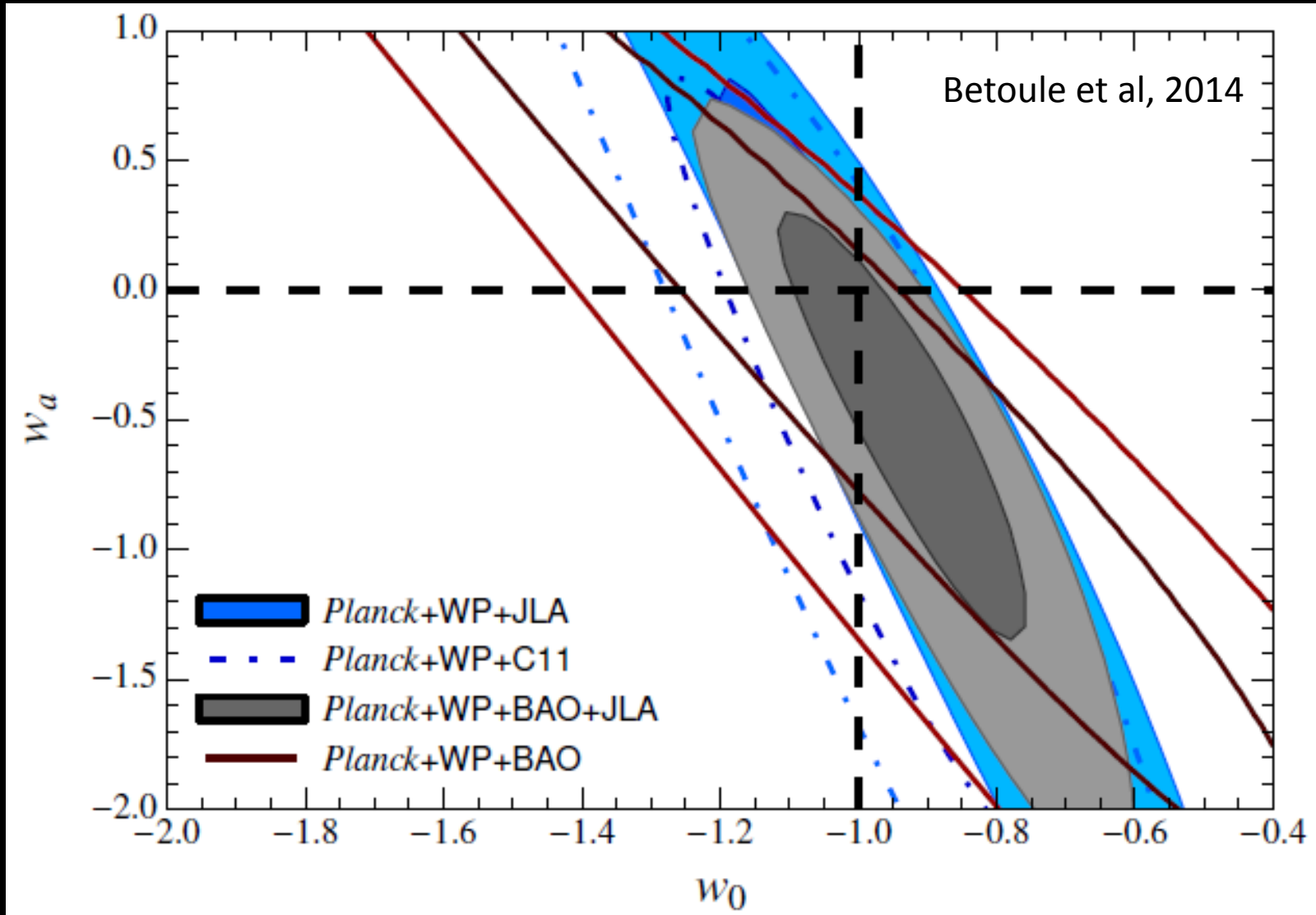


Métodos de estudio de la energía oscura



Situación actual

Todas las observaciones son compatibles con que la energía oscura es la constante cosmológica de Einstein, es decir, la energía del vacío



SITUACIÓN ACTUAL

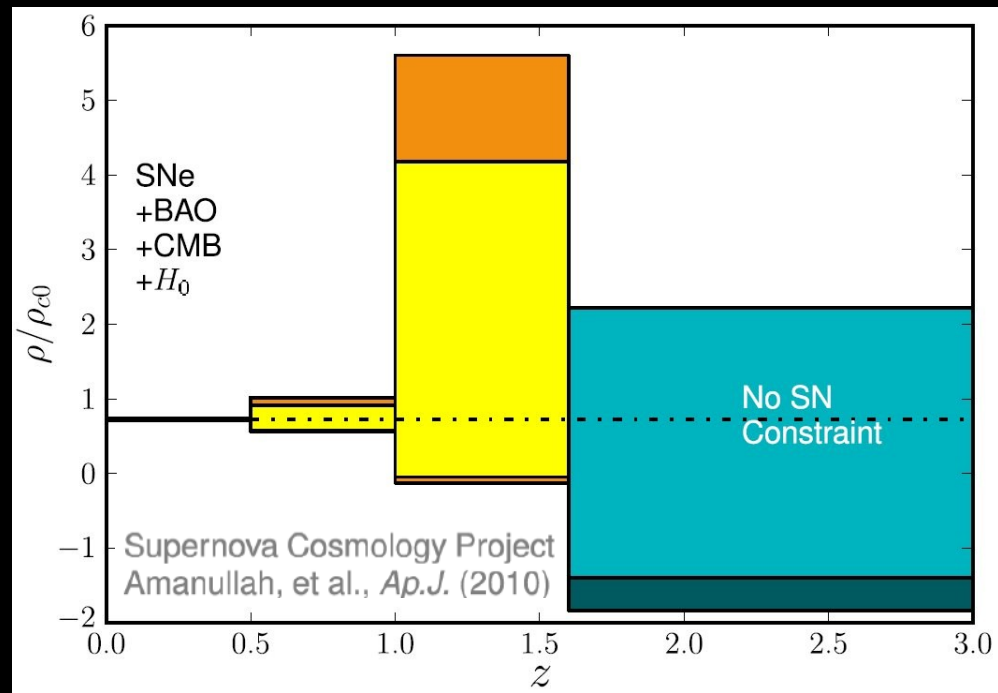
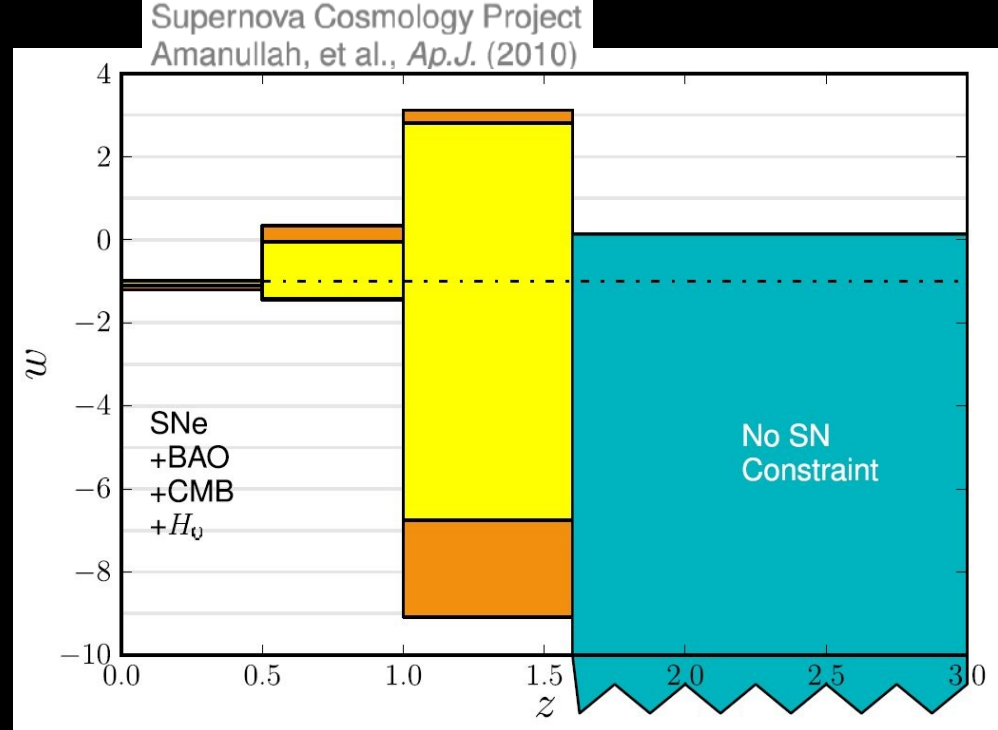
La energía oscura se ha detectado inequívocamente para $z < 1$

Los datos actuales no son sensibles a $z > 1$

Λ CDM es una excelente descripción de todos los datos.

Hay todavía mucho trabajo por delante para estudiar la evolución con el desplazamiento al rojo

SE NECESITAN DATOS NUEVOS Y MÁS PRECISOS: GRANDES CARTOGRAFIADOS DE GALAXIAS



Observaciones para estudiar la energía oscura

Distancias vs redshift: CMB acoustic peaks, SNIa, BAO, SZ+X-ray+Optical clusters, strong lensing statistics, Ly-alpha forest correlations, Alcock-Pazynski test, galaxy counts...

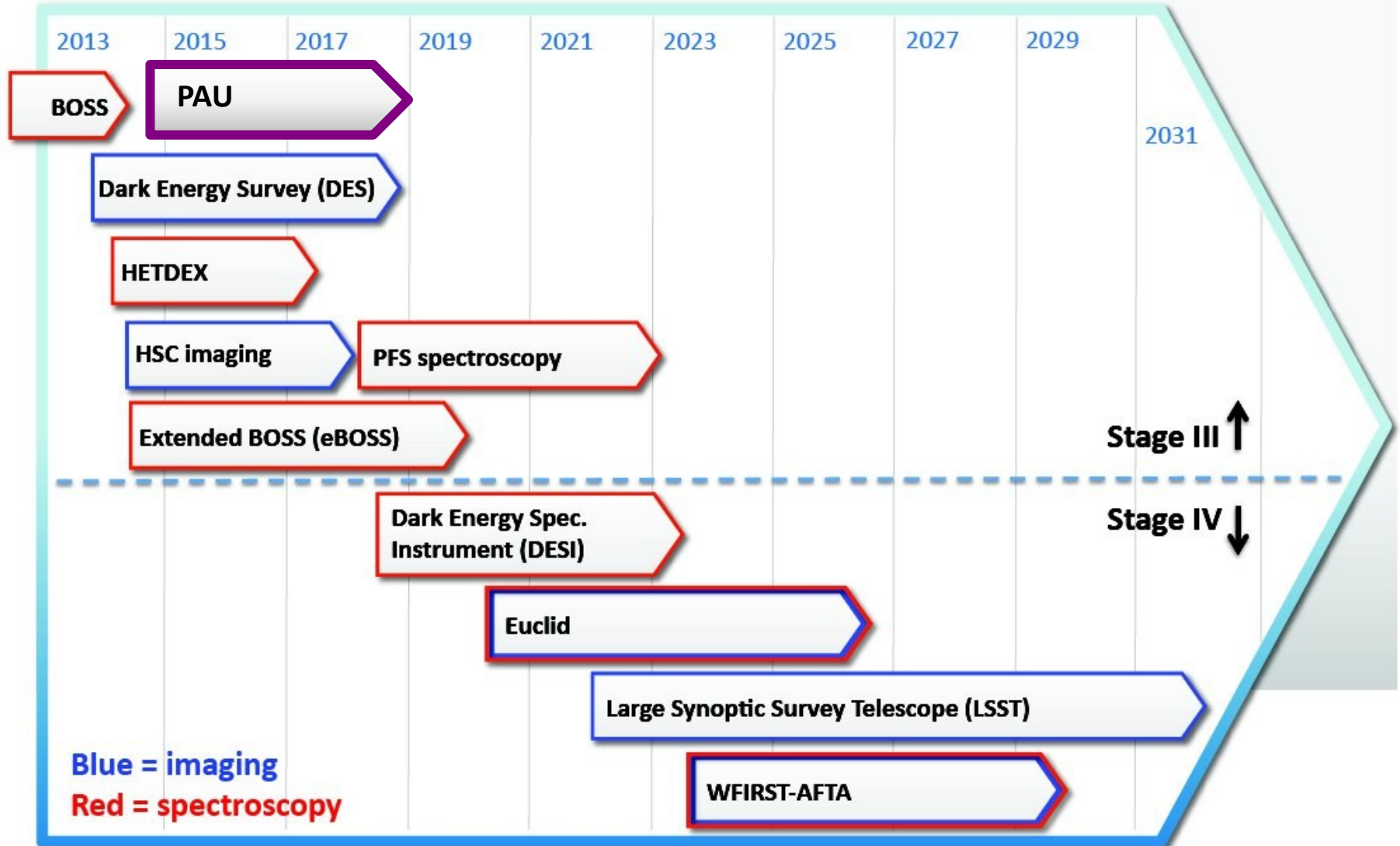
Crecimiento de estructura: CMB, weak lensing, galaxy clusters, Ly-alpha forest, ISW effect, ...

No hay ningún método individual que sea suficientemente potente para como para mejorar los resultados actuales un orden de magnitud (objetivo actual). Mucha más potencia estadística, mayor capacidad de discriminación entre teorías y mayor robustez ante efectos sistemáticos.

Proyectos actuales y futuros sobre energía oscura

Dark Energy Experiments: 2013 - 2031

arXiv:1401.6085



Destino del Universo

Antes de 1998 se vinculaba la geometría con el destino del universo
Al descubrirse la energía oscura, deja de ser así.
La energía oscura es el factor dominante. El futuro va ligado a su EdE

Λ CDM:

Expansión acelerada (exponencial) para siempre
Fuga de galaxias por el horizonte de sucesos (hoy a 4.7 Gpc, $z \sim 1.7$)
En 100 Ga toda galaxia a más de 10 Mpc será invisible
Big Freeze: Muerte térmica

Otras posibilidades:

Si $w < -1 \rightarrow$ Big Rip!!
Big Crunch
Big slurp $\rightarrow$ ¿Es estable el vacío?
Nuevos descubrimientos y sorpresas!

Destino del Universo: Λ CDM

FADE TO BLACK

L. Krauss, Scientific American , march 2008

The night sky on Earth (assuming it survives) will change dramatically as our Milky Way galaxy merges with its neighbors and distant galaxies recede beyond view.



DIFFUSE BAND stretching across the sky is the disk of the Milky Way. A few nearby galaxies, such as Andromeda and the Magellanic Clouds, are visible to the naked eye. Telescopes reveal billions more.



ANDROMEDA has been moving toward us and now nearly fills the sky. The sun swells to red giant size and subsequently burns out, consigning Earth to a bleak existence.

Destino del Universo: Λ CDM

L. Krauss, Scientific American , march 2008

100 BILLION YEARS FROM NOW



SUCCESSOR to the Milky Way is a ball-like supergalaxy, and Earth may float forlornly through its distant outskirts. Other galaxies have disappeared from view.

100 TRILLION YEARS FROM NOW



LIGHTS OUT: The last stars burn out. Apart from dimly glowing black holes and any artificial lighting that civilizations have rigged up, the universe goes black. The galaxy later collapses into a black hole.

Λ CDM, la teoría del Big Bang actual, está confirmada por una enorme cantidad de observaciones. Se basa en:

La Relatividad General

El Principio Cosmológico

La Inflación Cósmica

Exige nueva física. El 95% del contenido del universo son entes exóticos y desconocidos

Energía oscura (68%)

Materia oscura (27%)

El mecanismo de la inflación y el origen del universo

El destino final del universo depende de las propiedades de la energía oscura

Hay un enorme esfuerzo internacional para avanzar en la comprensión de estas cuestiones