

# Tema 12:

# Medidas sobre la

# Cosmología del Universo

Consultar: "An Introduction to Modern Cosmology", Liddle, libro entero

"Galaxies and Cosmology", Jones & Lambourne, 2007, Cambridge, temas 5-7 (J&L07).

NASA Extragalactic Database (NED) Level 5: <http://ned.ipac.caltech.edu>.

Ned Wright's Cosmology web pages: <http://www.astro.ucla.edu/~wright/cosmolog.htm>.



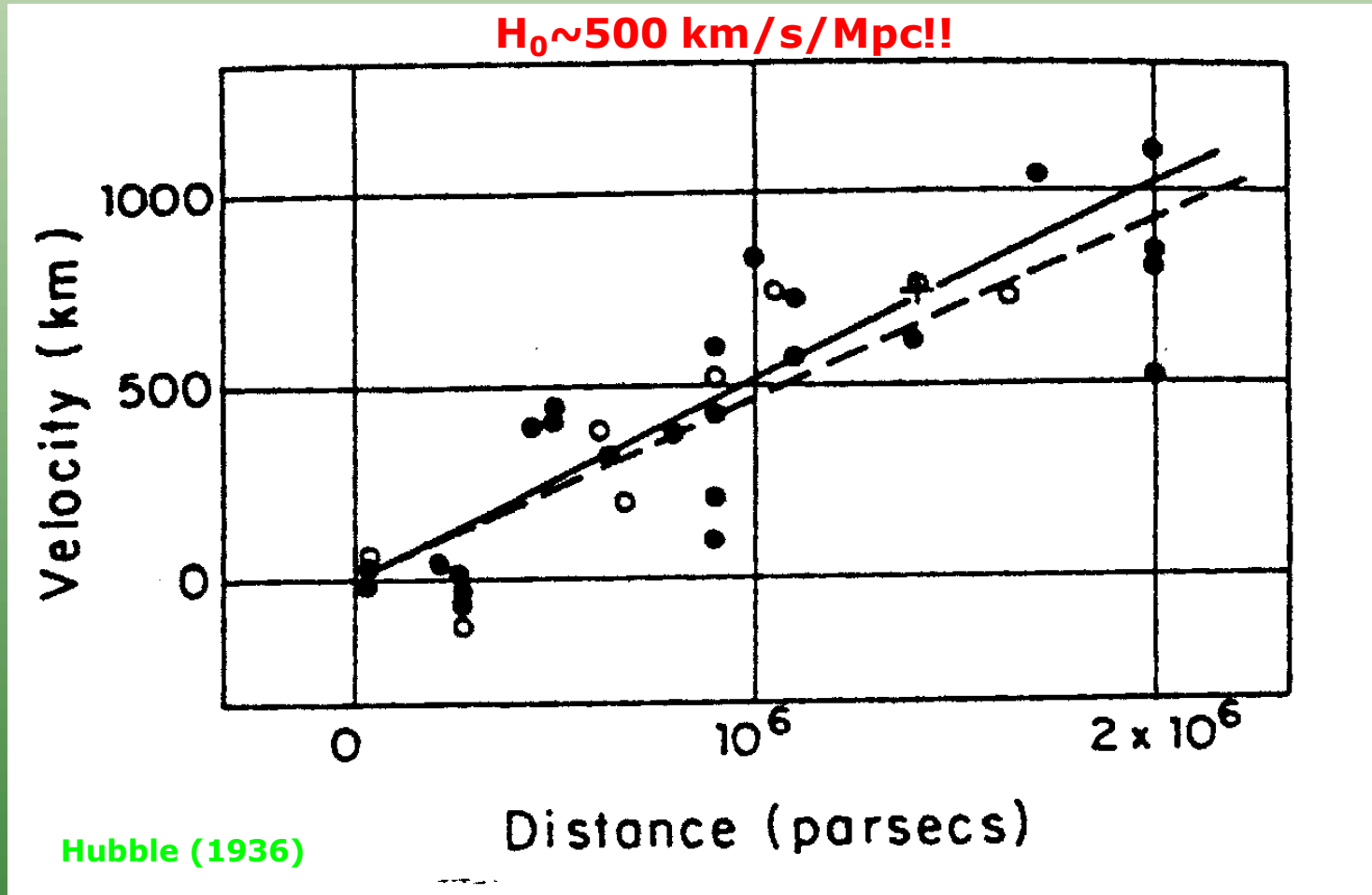
# Objetivos del tema

- **Presentar las medidas actuales sobre los parámetros cosmológicos básicos y sus implicaciones.**
  - ◆ **¿Cómo se miden los parámetros cosmológicos que se discutieron en capítulos anteriores?**
  - ◆ **¿Cuál es la “Cosmología real del Universo”?**



# 12.1. Medidas de la constante de Hubble $H_0$

La constante de Hubble actual fue el primer parámetro cosmológico ampliamente discutido por la comunidad, pues entra en la determinación de la distancia.



# 12.1. Medidas de la constante de Hubble $H_0$

La constante de Hubble calculada por Hubble se basaba en la fórmula.

$$z = \frac{H_0}{c} d = \frac{d}{D_H}$$

Hubble utilizó los redshifts medidos por Vesto Slipher (1875-1969) de los espectros y determinó la distancia a un par de decenas de galaxias basándose en cefeidas y otros métodos de determinación de distancias.

El redshift se determinó como:

$$V = CZ$$

Esta ecuación asume que el redshift es fruto de un efecto Doppler simple, lo que no es cierto. El concepto de redshift es cosmológico y debido a la expansión del Universo, por lo que se suele hablar de **redshift cosmológico** para distinguirlo de un desplazamiento al rojo debido a un efecto Doppler simple, y al efecto Doppler debido a una velocidad peculiar de una galaxia, no ligada a la expansión cosmológica.



# 12.1. Medidas de la constante de Hubble $H_0$

## Lemaître (1927 vs.1931)

Therefore

$$\frac{v}{c} = \frac{\delta t_2}{\delta t_1} - 1 = \frac{R_2}{R_1} - 1 \quad (22)$$

is the apparent Doppler effect due to the variation of the radius of the universe. *It equals the ratio of the radii of the universe at the instants of observation and emission, diminished by unity.*

$v$  is that velocity of the observer which would produce the same effect. When the light source is near enough, we have the approximate formulæ

$$\frac{v}{c} = \frac{R_2 - R_1}{R_1} = \frac{dR}{R} = \frac{R'}{R} dt = \frac{R'}{R} r$$

where  $r$  is the distance of the source. We have therefore

$$\frac{R'}{R} = \frac{v}{cr} \quad (23)$$

From a discussion of available data, we adopt

$$\frac{R'}{R} = 0.68 \times 10^{-27} \text{ cm.}^{-1} \quad (24)$$

Utilisant les 42 nébuleuses figurant dans les listes de Hubble et de Strömberg <sup>(1)</sup>, et tenant compte de la vitesse propre du soleil (300 Km. dans la direction  $\alpha = 315^\circ$ ,  $\delta = 62^\circ$ ), on trouve une distance moyenne de 0,95 millions de parsecs et une vitesse radiale de 600 Km./sec, soit 625 Km./sec à  $10^6$  parsecs <sup>(2)</sup>.

Nous adopterons donc

$$\frac{R'}{R} = \frac{v}{rc} = \frac{625 \times 10^5}{10^6 \times 3,08 \times 10^{18} \times 3 \times 10^{10}} = 0,68 \times 10^{-27} \text{ cm.}^{-1} \quad (24)$$

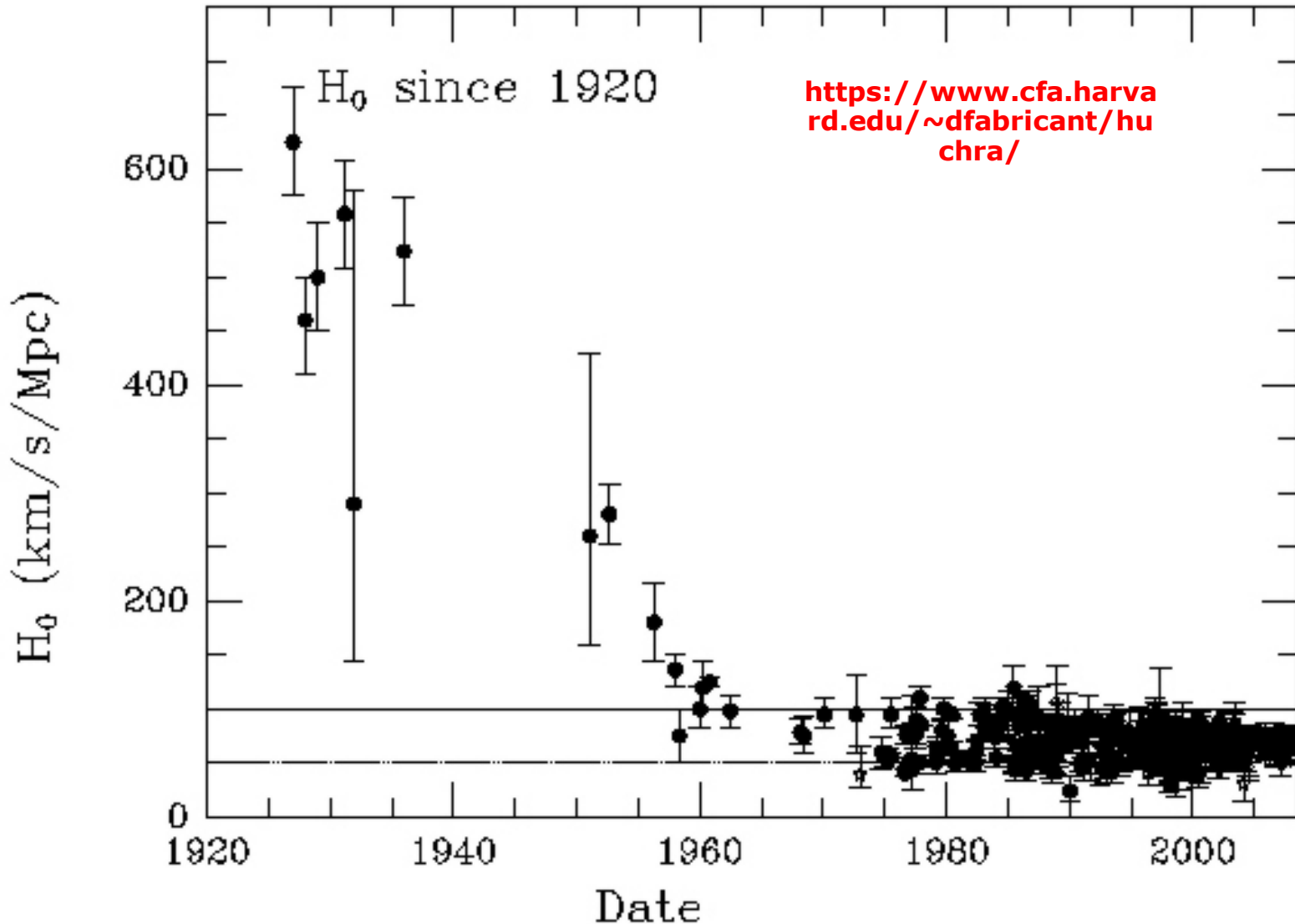
Text translated  
by Eddington

$H_0 = 625 \text{ km/s/Mpc!!}$

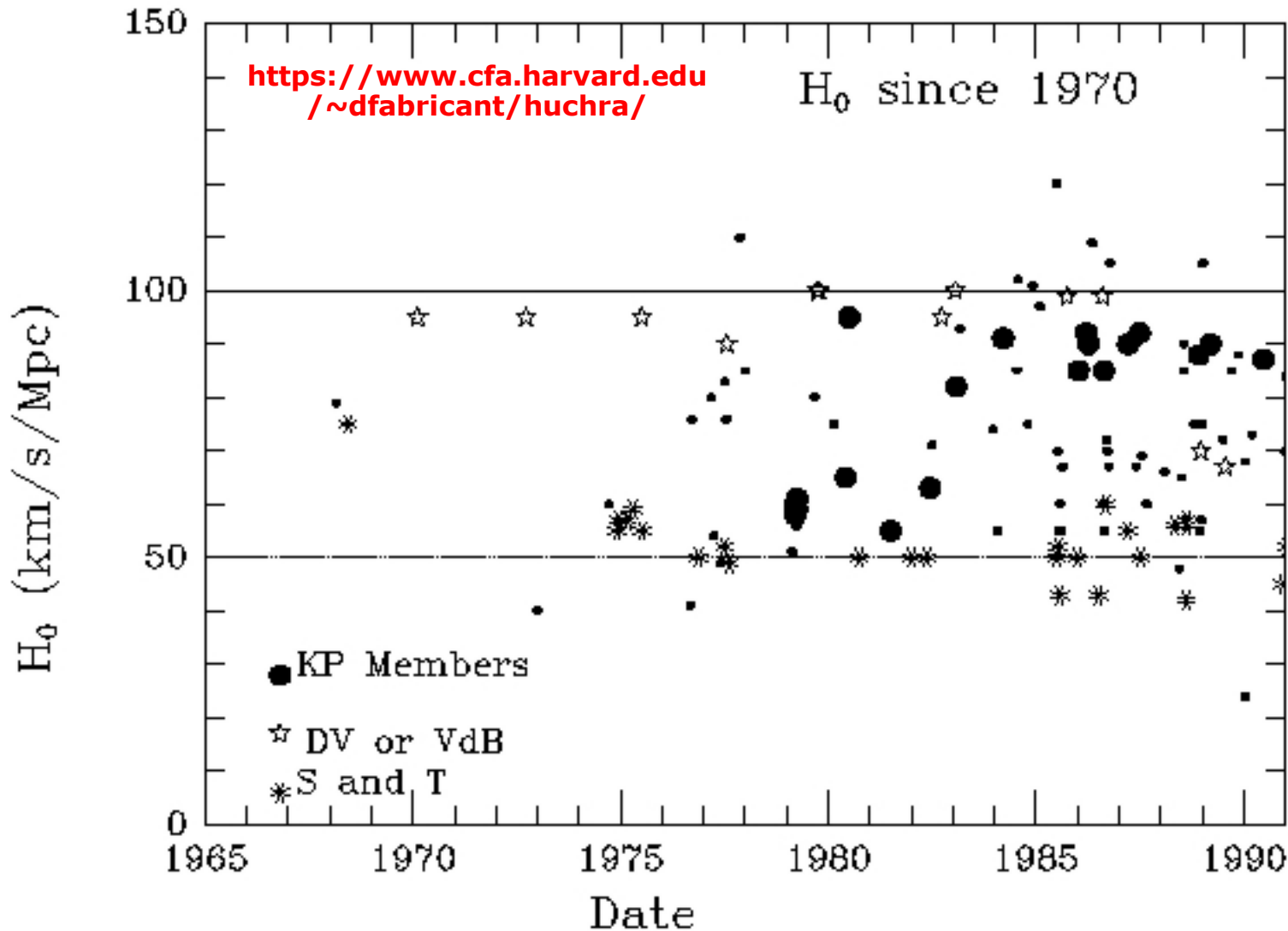
original ...



# 12.1. Medidas de la constante de Hubble $H_0$



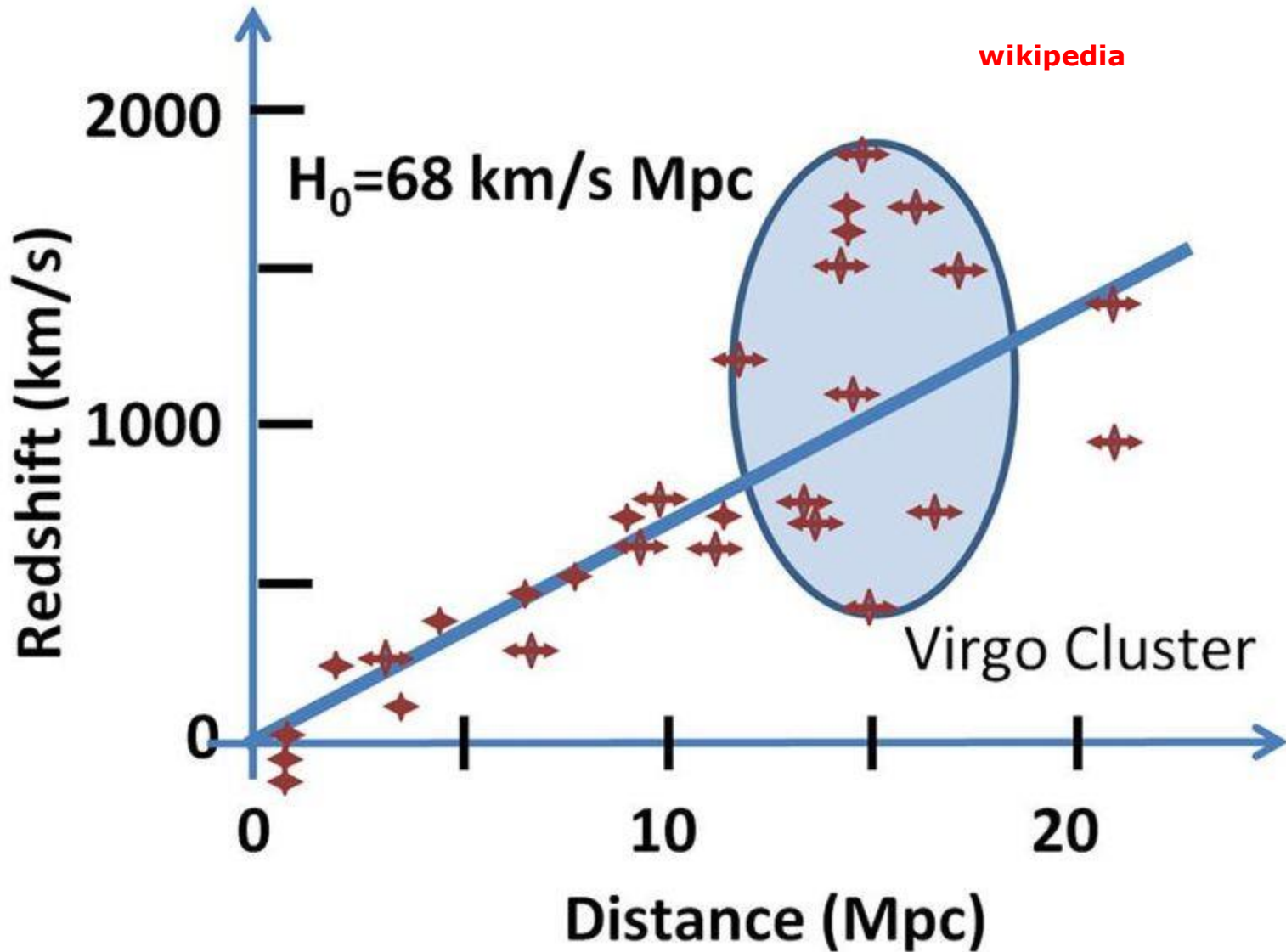
# 12.1. Medidas de la constante de Hubble $H_0$



Copyright J. Huchra 2008

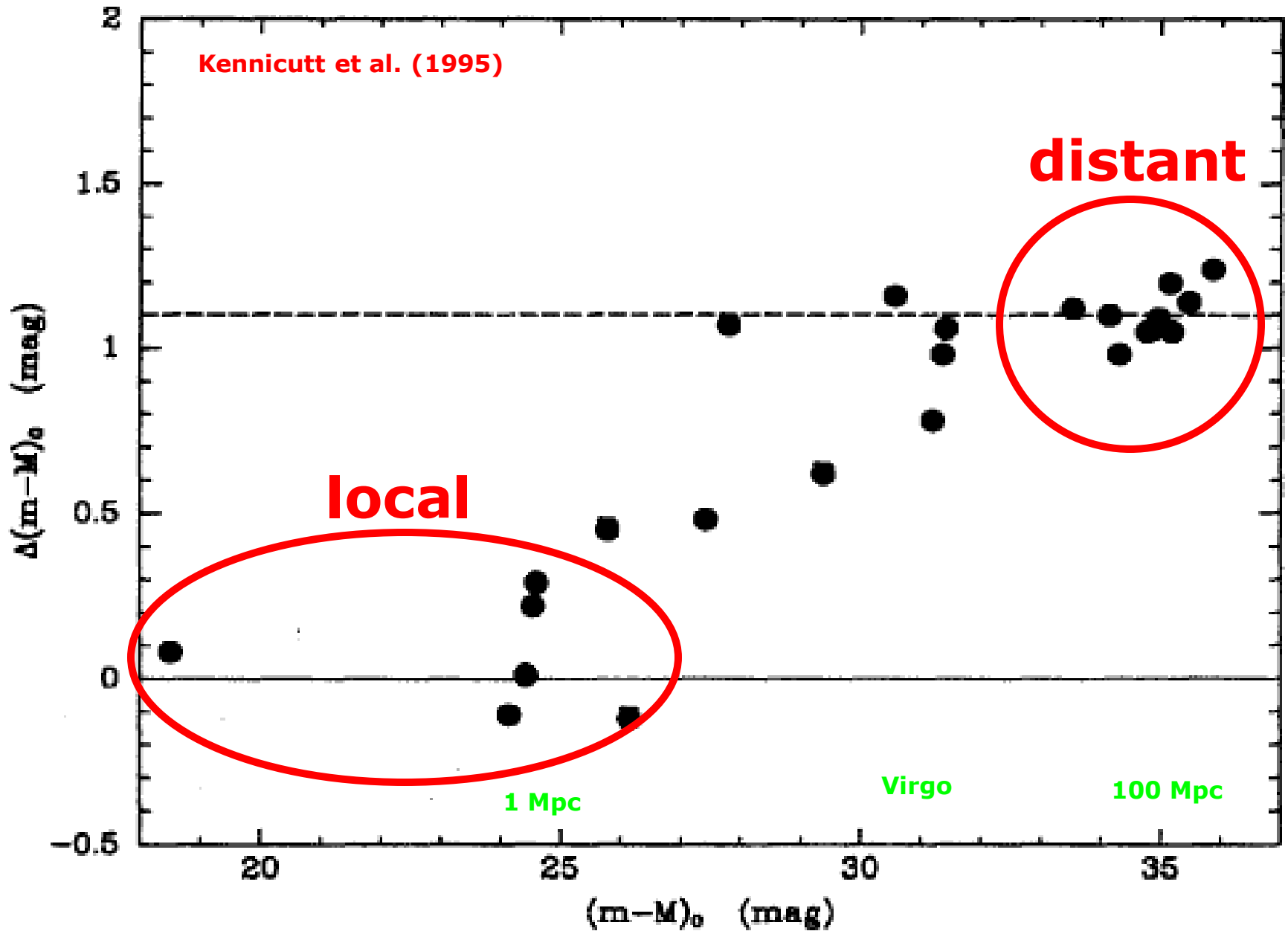


# 12.1. Medidas de la constante de Hubble $H_0$

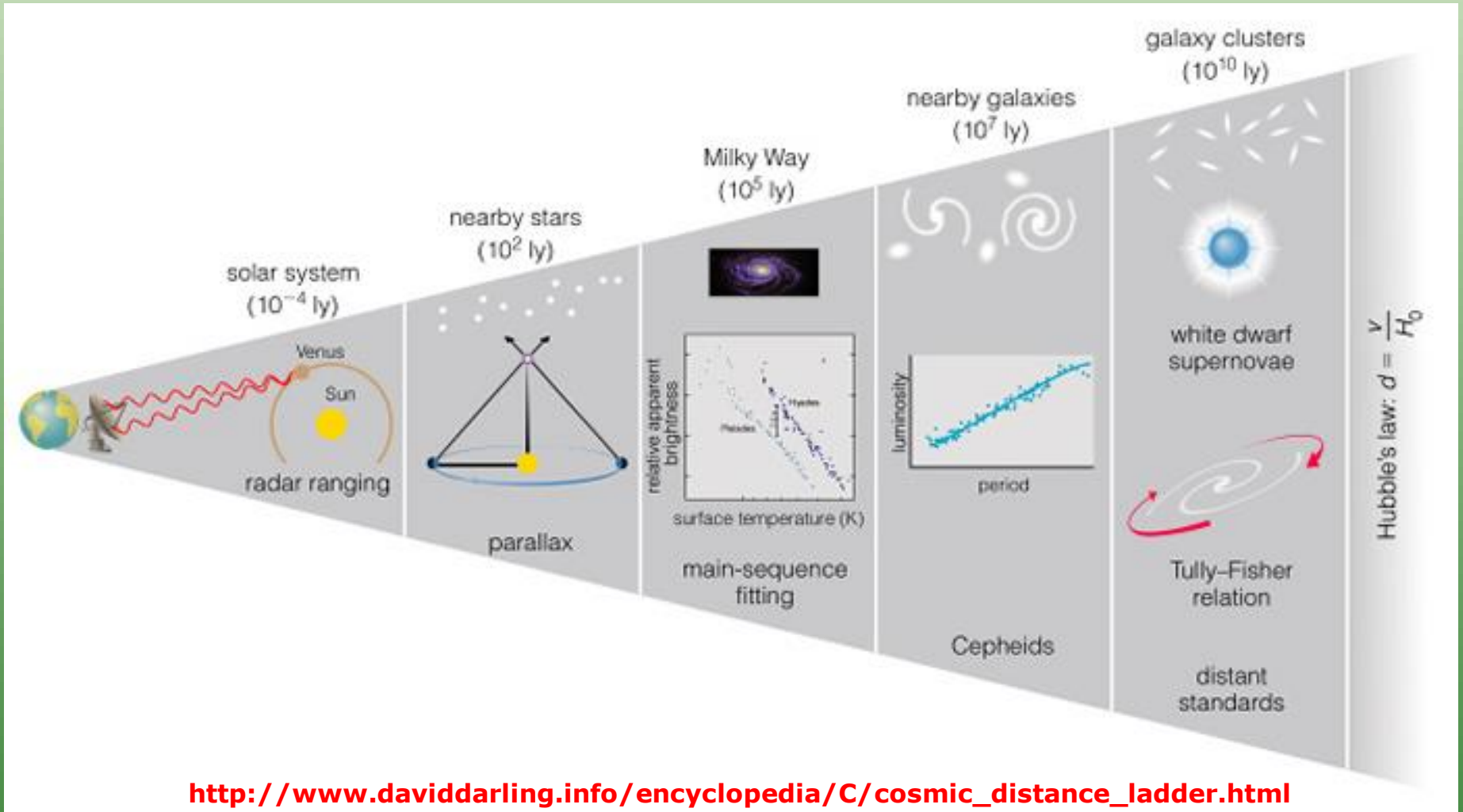




# 12.1. Medidas de la constante de Hubble $H_0$



# 12.1. La escala (escalera) de distancias

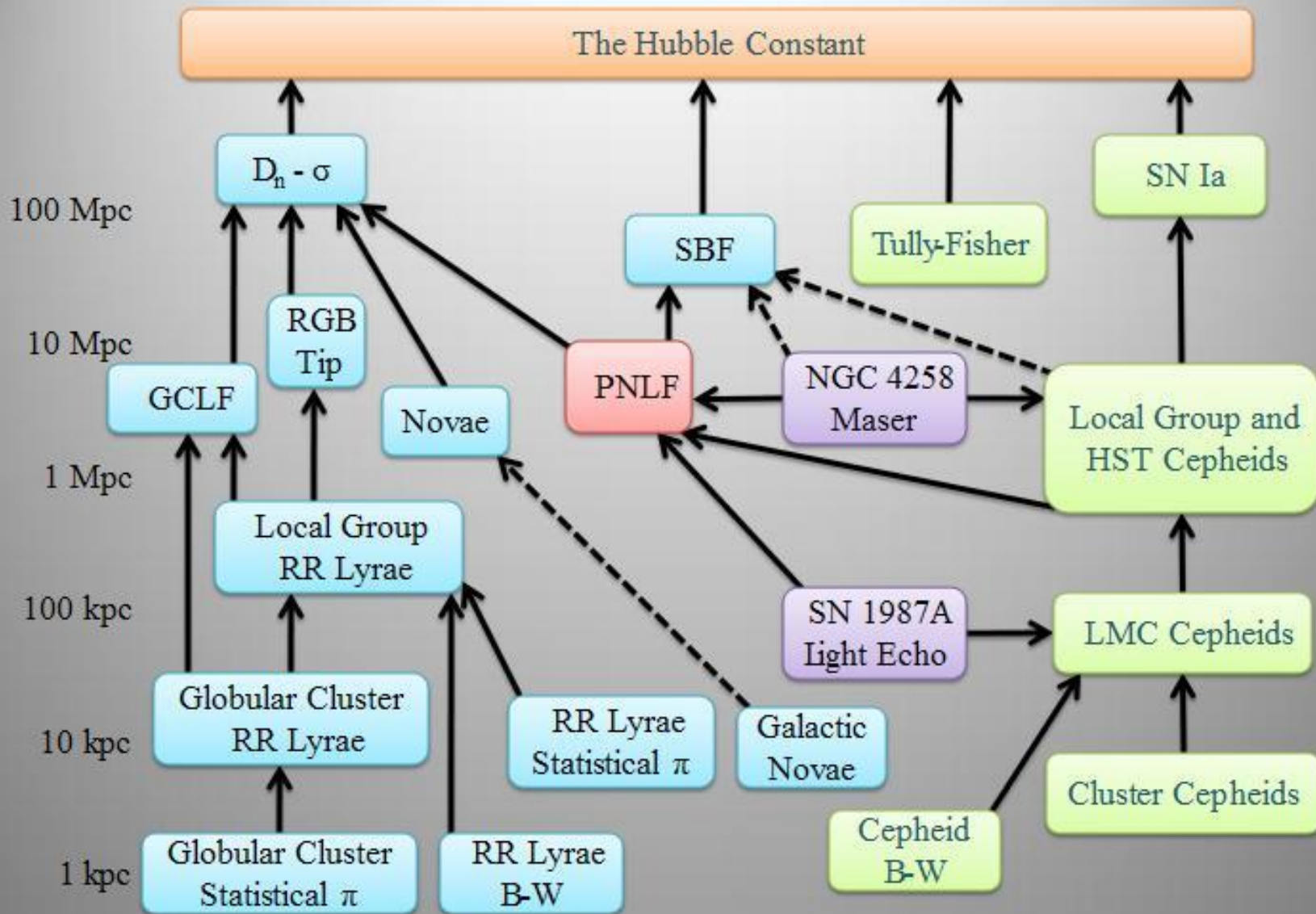


[http://www.daviddarling.info/encyclopedia/C/cosmic\\_distance\\_ladder.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/C/cosmic_distance_ladder.html)



# 12.1. La escala (escalera) de distancias

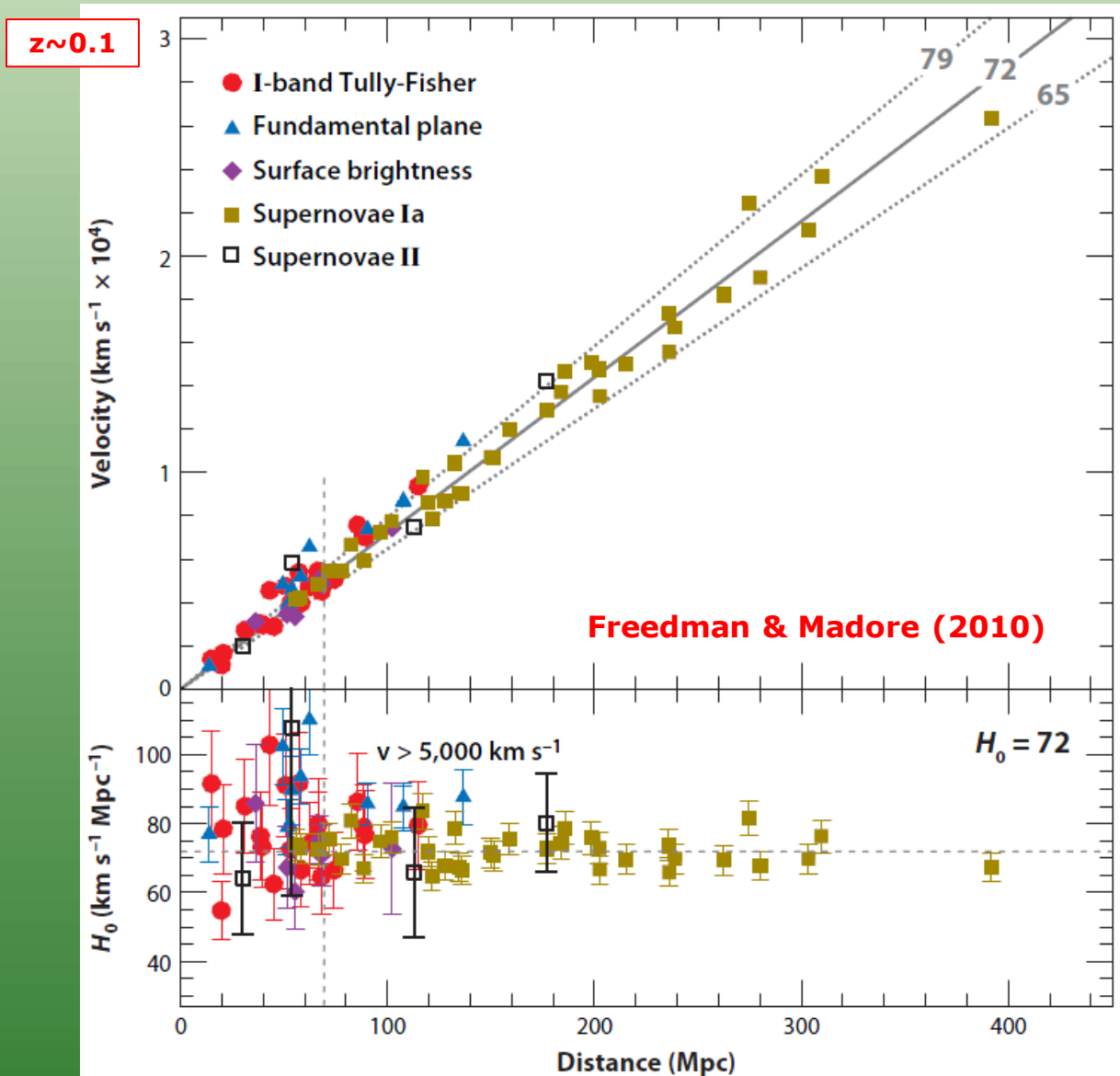
## Extragalactic Distance Ladder



Wikipedia

# 12.1. Medidas de la constante de Hubble $H_0$

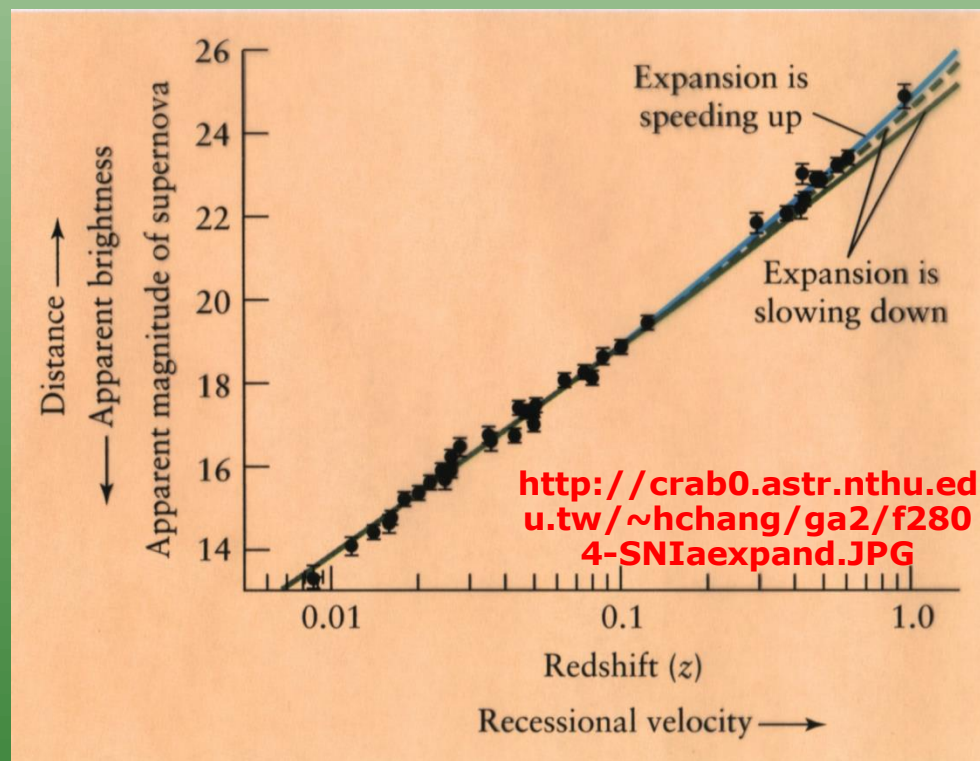
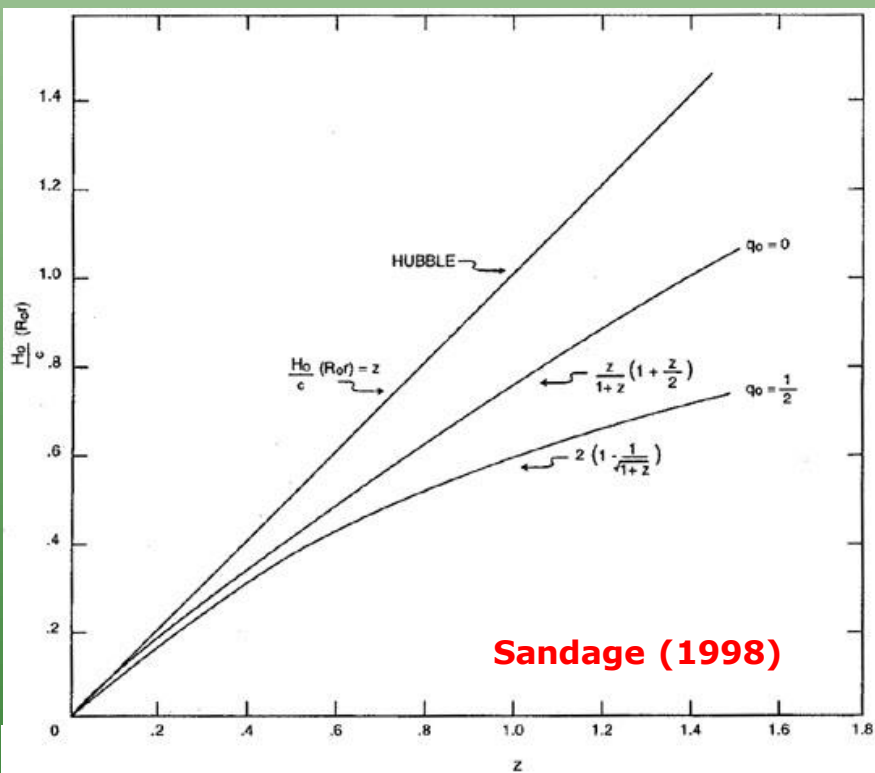
El "Key Project" de HST liderado por Freedman llegó a un valor de  $H_0 = 72 \pm 7 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ . Este es el mejor valor obtenido localmente.



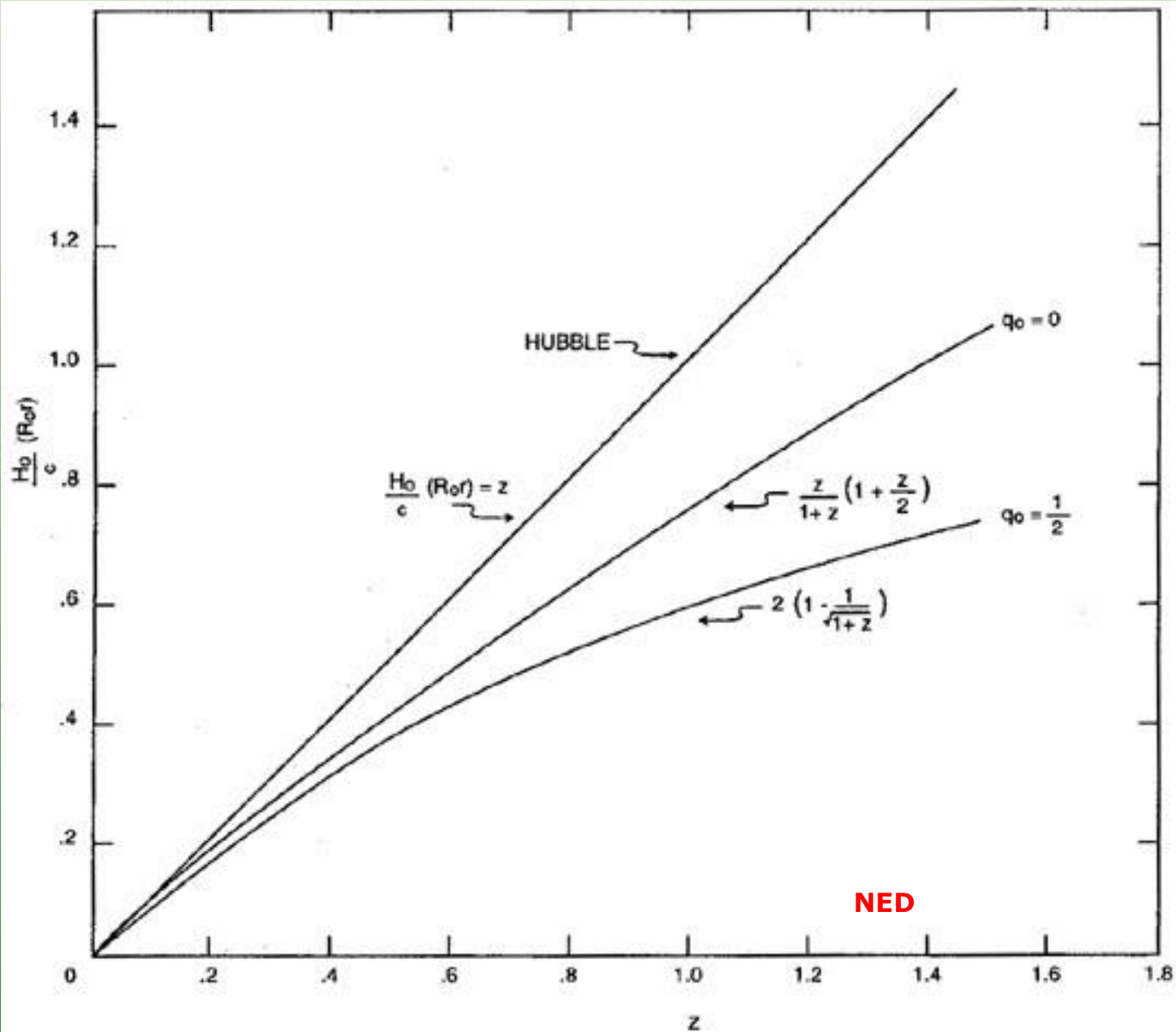
# 12.2. Medidas del parámetro de desaceleración

La constante de Hubble  $H_0$  mide el ritmo de expansión del Universo en la actualidad. Sin embargo este ritmo puede haber cambiado, y la constante de Hubble no es tal, sino que se debe hablar del parámetro de Hubble  $H(t)$ . Vimos que la expresión del parámetro de Hubble es:

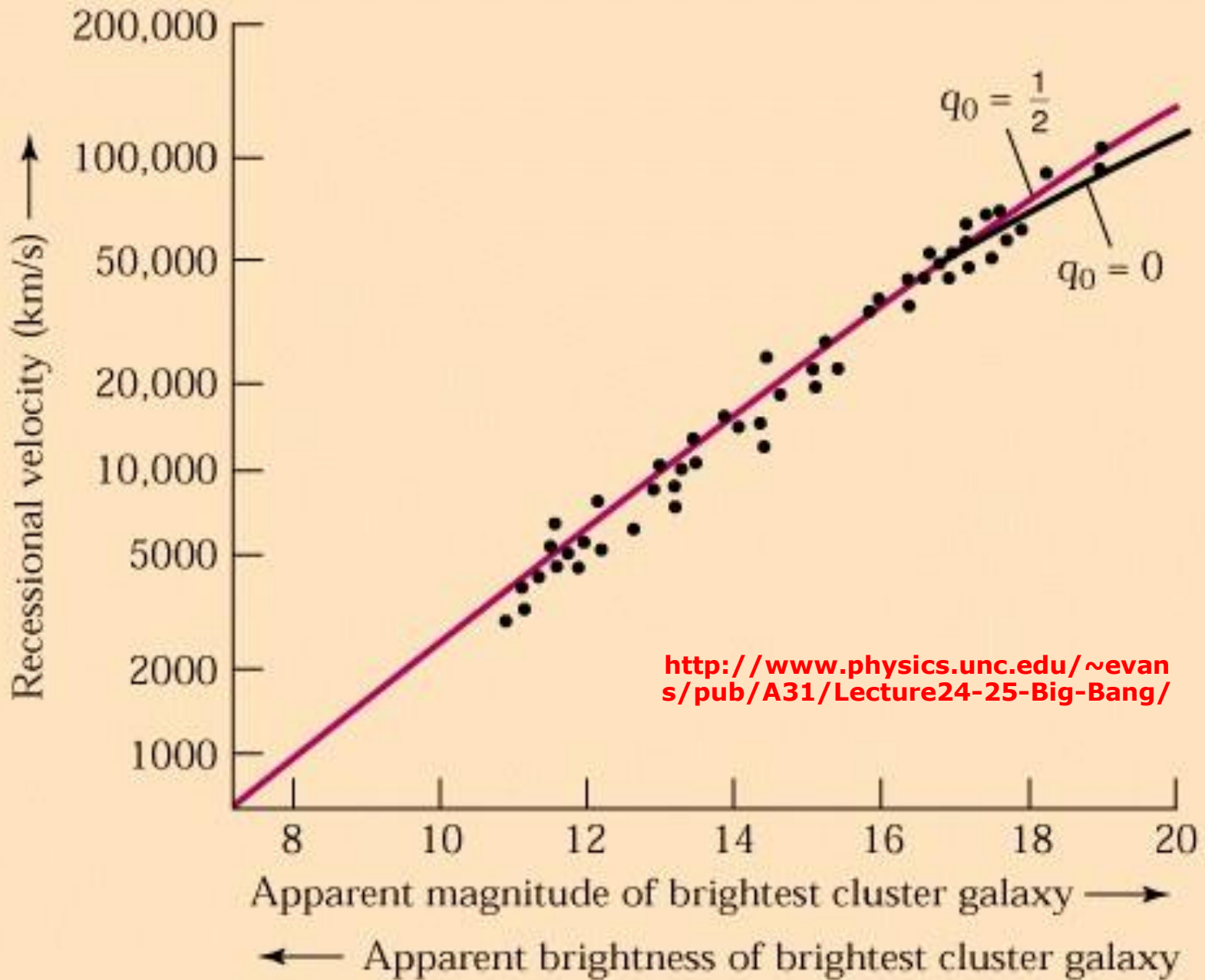
$$d = \frac{cz}{H_0} \left[ 1 + \frac{1}{2} (1 - q_0) z \right]$$



# 12.2. Medidas del parámetro de desaceleración



# 12.2. Medidas del parámetro de desaceleración



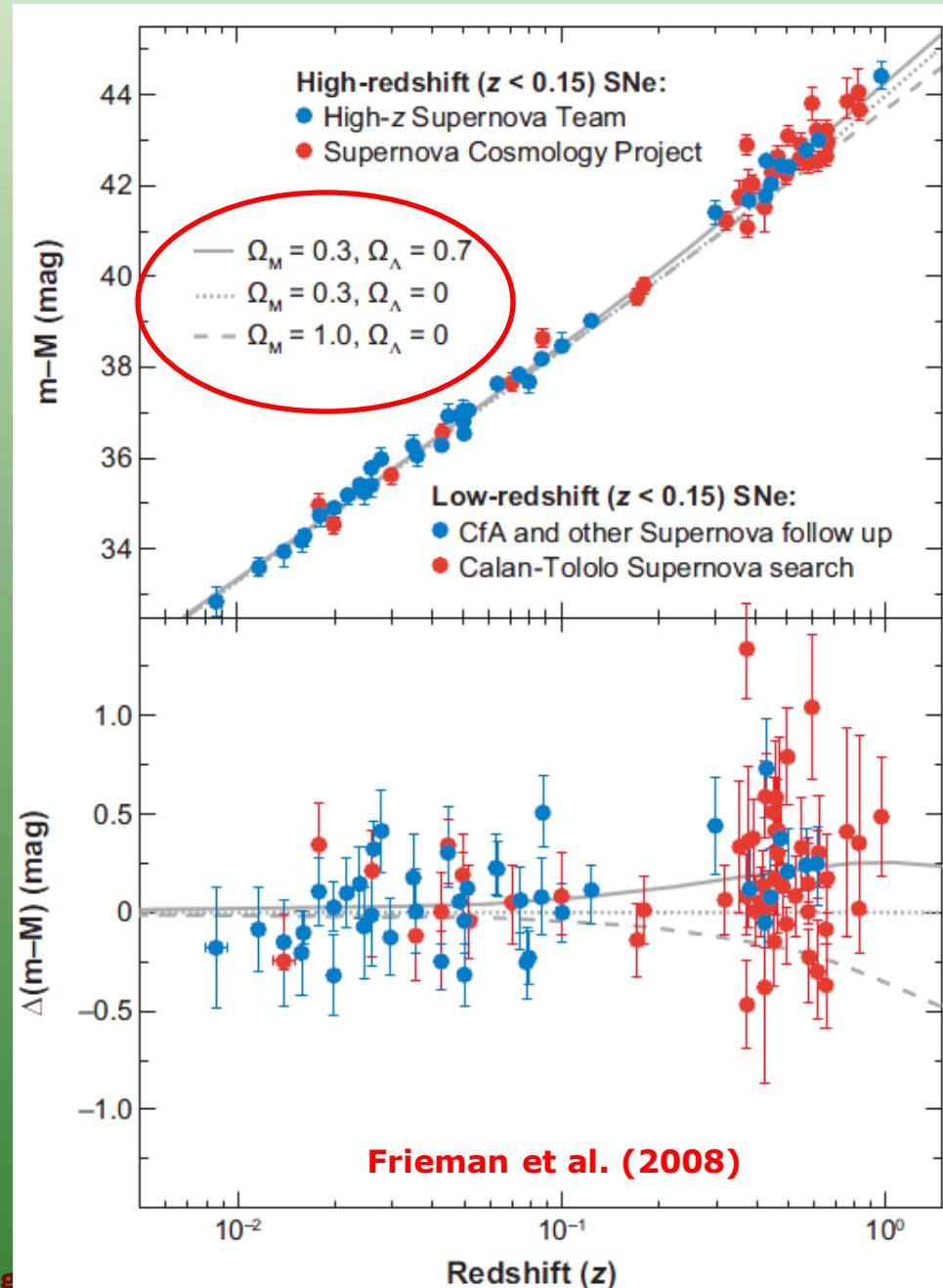
## 12.3. Medidas de las densidades

El parámetro de desaceleración se puede escribir en función de los parámetros de densidad  $\Omega$  (sin densidad de radiación):

$$q(t) = \frac{\Omega_m(t)}{2} - \Omega_\Lambda(t) \Rightarrow$$
$$q_0 = \frac{\Omega_{m,0}}{2} - \Omega_{\Lambda,0}$$

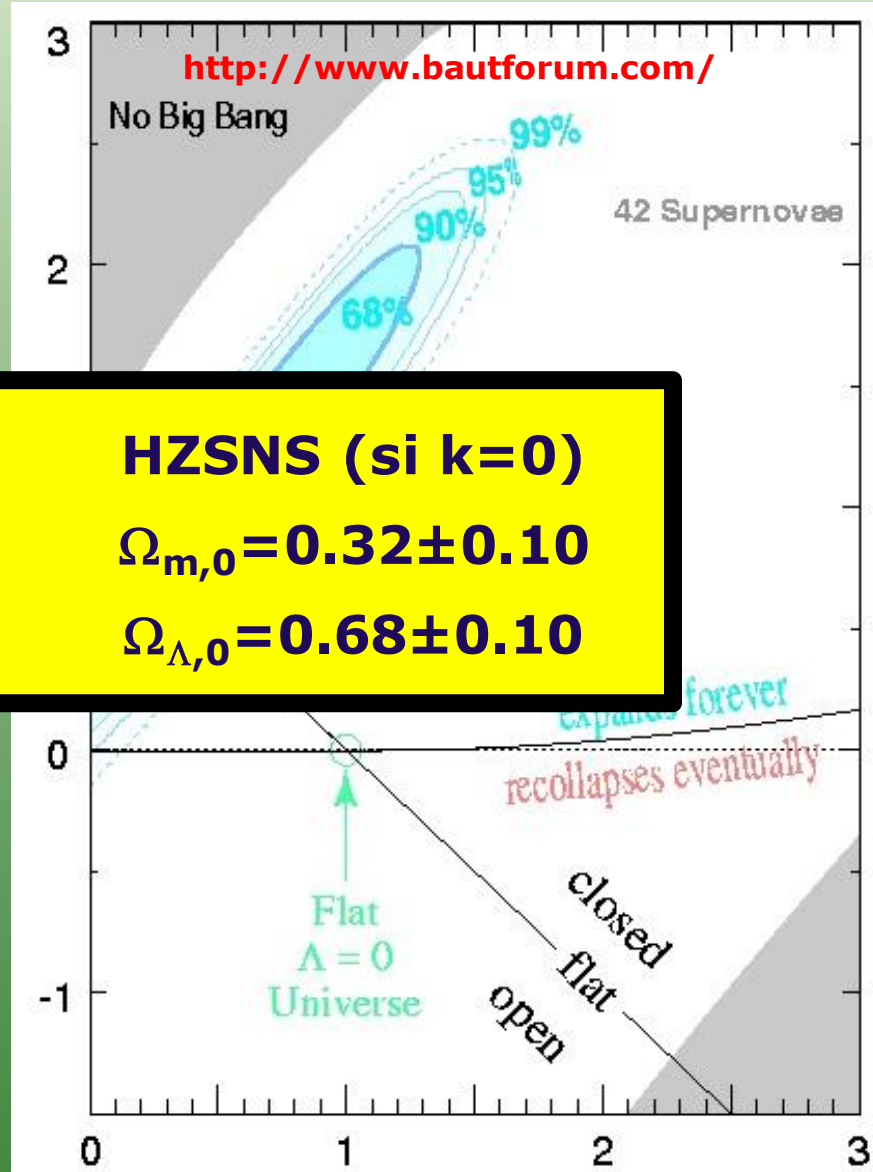
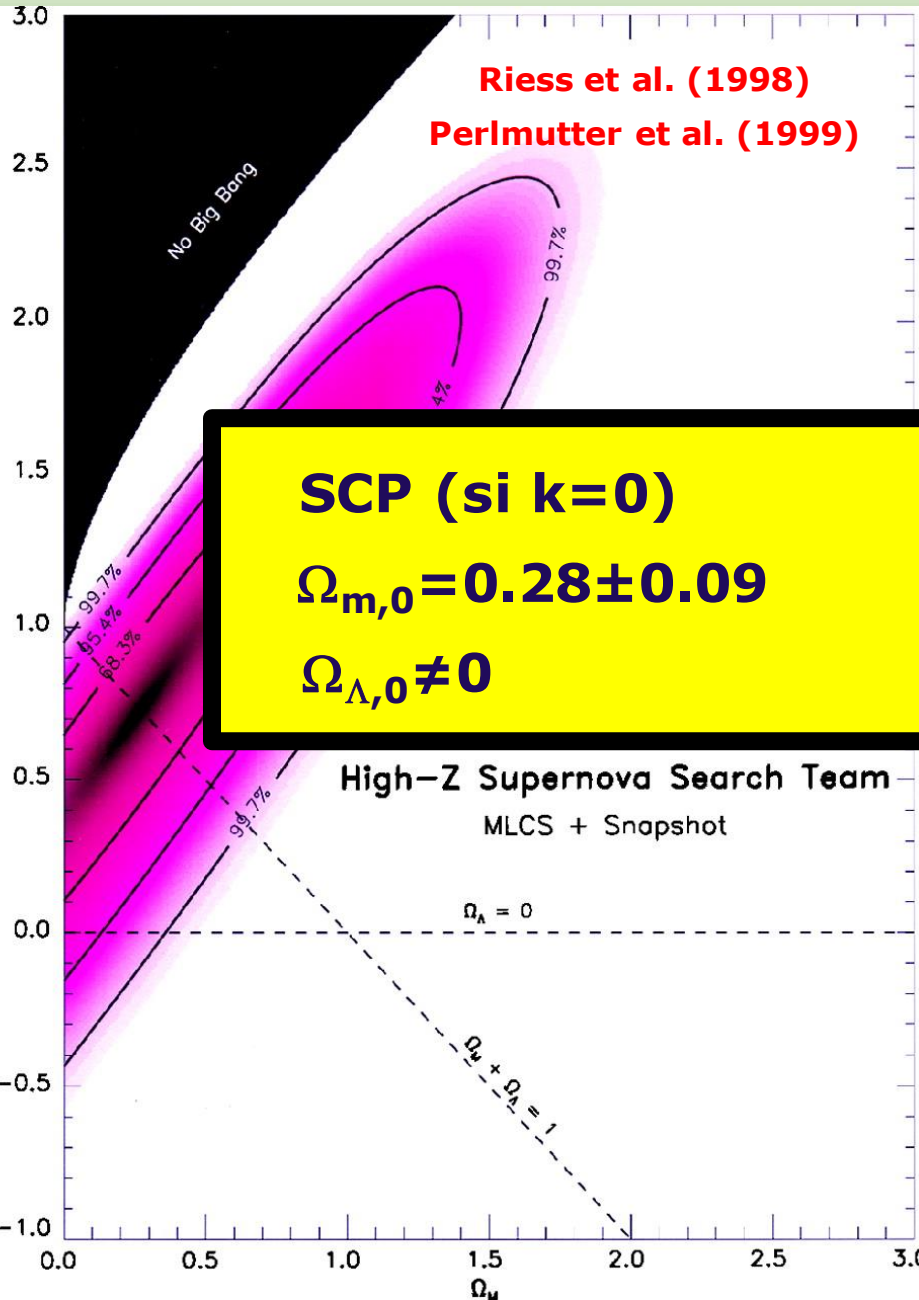
Este parámetro ha sido medido por dos proyectos: Supernova Cosmology Project (SCP, Perlmutter et al. 1999) y el High-z Supernova Survey (HZSNS, Riess et al. 1998).

¿Cómo? Se miden distancias a SNIa. En un universo acelerado la distancia medida debe ser mayor (y el DM) que si la aceleración fuera 0, y viceversa.



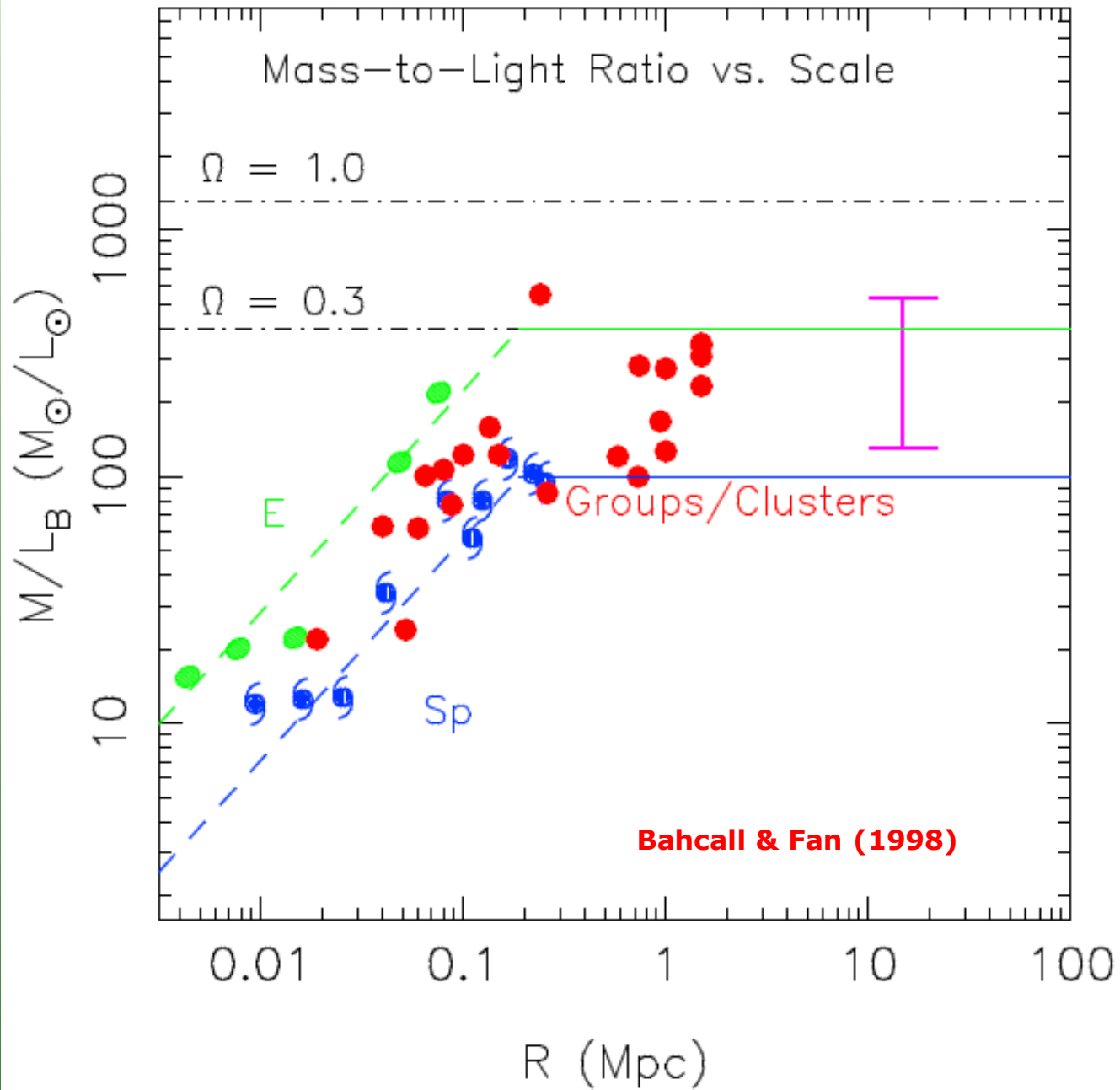


# 12.3. Medidas de las densidades



<p><b>SCP (si <math>k=0</math>)</b></p> <p><math>\Omega_{m,0} = 0.28 \pm 0.09</math></p> <p><math>\Omega_{\Lambda,0} \neq 0</math></p>	<p><b>HZSNS (si <math>k=0</math>)</b></p> <p><math>\Omega_{m,0} = 0.32 \pm 0.10</math></p> <p><math>\Omega_{\Lambda,0} = 0.68 \pm 0.10</math></p>
--	---

# 12.3. Medidas de las densidades: $\Omega_m$



# 12.3. Medidas de las densidades: $\Omega_b$

THE BARYON BUDGET

Component	Central	Maximum	Minimum	Grade <sup>a</sup>
Observed at $z \approx 0$				
1. Stars in spheroids .....	0.0026 $h_{70}^{-1}$	0.0043 $h_{70}^{-1}$	0.0014 $h_{70}^{-1}$	A
2. Stars in disks .....	0.00086 $h_{70}^{-1}$	0.00129 $h_{70}^{-1}$	0.00051 $h_{70}^{-1}$	A-
3. Stars in irregulars .....	0.000069 $h_{70}^{-1}$	0.000116 $h_{70}^{-1}$	0.000033 $h_{70}^{-1}$	B
4. Neutral atomic gas .....	0.00033 $h_{70}^{-1}$	0.00041 $h_{70}^{-1}$	0.00025 $h_{70}^{-1}$	A
5. Molecular gas .....	0.00030 $h_{70}^{-1}$	0.00037 $h_{70}^{-1}$	0.00023 $h_{70}^{-1}$	A-
6. Plasma in clusters .....	0.0026 $h_{70}^{-1.5}$	0.0044 $h_{70}^{-1.5}$	0.0014 $h_{70}^{-1.5}$	A
7a. Warm plasma in groups .....	0.0056 $h_{70}^{-1.5}$	0.0115 $h_{70}^{-1.5}$	0.0029 $h_{70}^{-1.5}$	B
7b. Cool plasma .....	0.002 $h_{70}^{-1}$	0.003 $h_{70}^{-1}$	0.0007 $h_{70}^{-1}$	C
7'. Plasma in groups .....	0.014 $h_{70}^{-1}$	0.030 $h_{70}^{-1}$	0.0072 $h_{70}^{-1}$	B
8. Sum (at $h = 70$ and $z \simeq 0$ ) .....	0.021	0.041	0.007	...
Gas components at $z \approx 3$				
9. Damped absorbers .....	0.0015 $h_{70}^{-1}$	0.0027 $h_{70}^{-1}$	0.0007 $h_{70}^{-1}$	A-
10. Ly $\alpha$ forest clouds .....	0.04 $h_{70}^{-1.5}$	0.05 $h_{70}^{-1.5}$	0.01 $h_{70}^{-1.5}$	B
11. Intercloud gas (He II) .....	...	0.01 $h_{70}^{-1.5}$	0.0001 $h_{70}^{-1}$	B
Abundances of:				
12. Deuterium .....	0.04 $h_{70}^{-2}$	0.054 $h_{70}^{-2}$	0.013 $h_{70}^{-2}$	A
13. Helium .....	0.010 $h_{70}^{-2}$	0.027 $h_{70}^{-2}$	...	A
14. Nucleosynthesis .....	0.020 $h_{70}^{-2}$	0.027 $h_{70}^{-2}$	0.013 $h_{70}^{-2}$	...

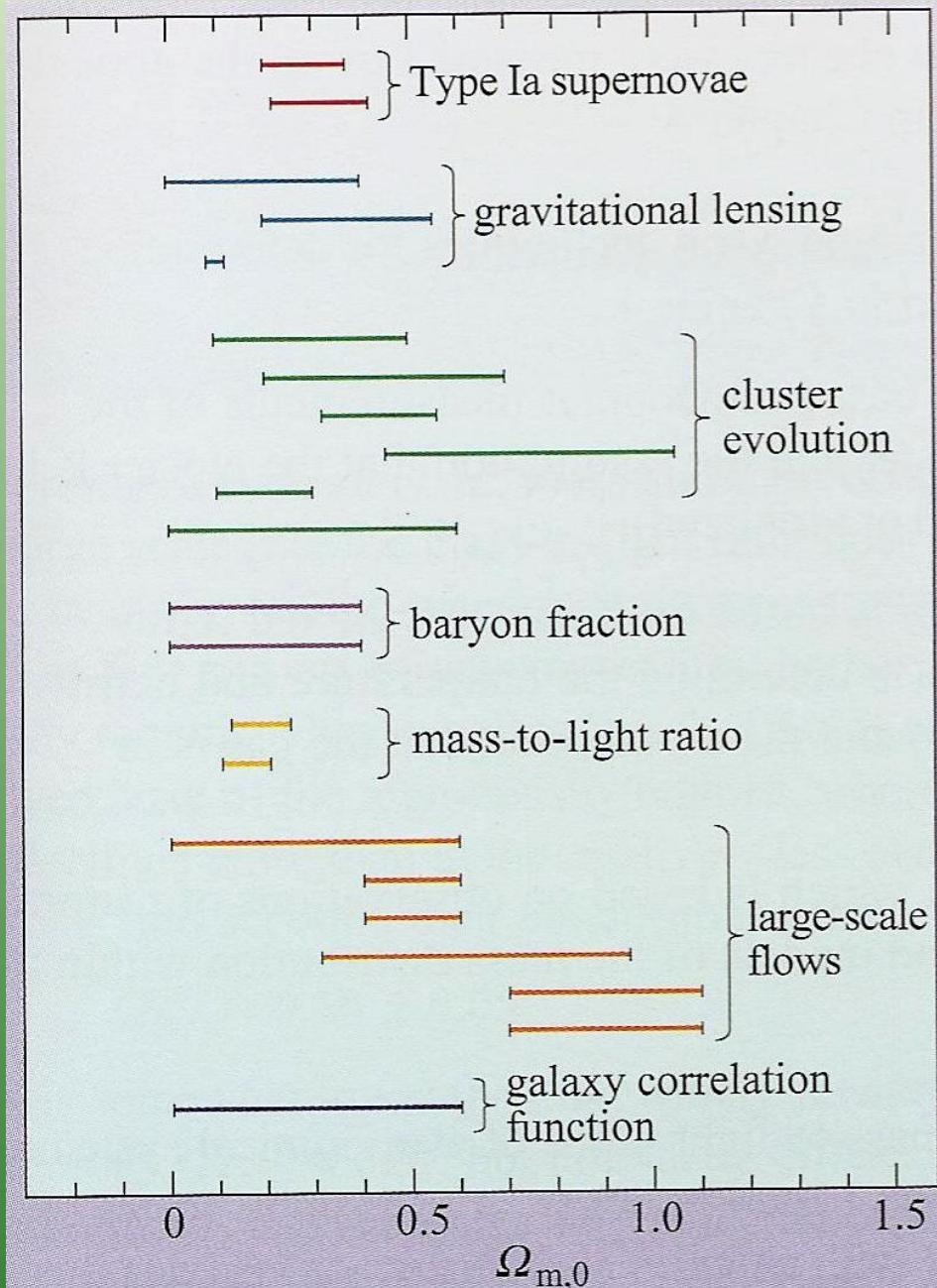
<sup>a</sup> Confidence of evaluation, from A (robust) to C (highly uncertain).

Fukugita et al. (1998)



# 12.3. Medidas de las densidades: $\Omega_b$

J&L07



# 12.3. Medidas de las densidades: $\Omega_b$

La nucleosíntesis primordial impone ciertas restricciones sobre la densidad bariónica.

¡¡Siguiente tema!!



## 12.3. Medidas de las densidades: $\Omega_b$

Los valores de las densidades de materia bariónica son:

$$0.007 \leq \Omega_{b,0} \leq 0.041$$

$$\Omega_{b,0} = 0.021$$

La densidad crítica es:

$$\rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G} \Rightarrow \rho_{c,0} = \frac{3H_0^2}{8\pi G} = 1.9 \times 10^{-29} h^2 \text{ g cm}^{-3}$$

Esto equivale a unos 5.6 átomos de hidrógeno por  $\text{m}^3$  para  $h=0.7$ .

Esto significa que la densidad media del Universo hoy es 0.1 átomos por  $\text{m}^3$  o unos 300 átomos dentro de un volumen comparable a una piscina olímpica pequeña ( $50 \times 25 \times 2 = 2500 \text{ m}^3$ ).

En el caso de materia oscura tenemos una densidad de:

$$\Omega_{m,0} \approx 0.3 \Rightarrow \Omega_{DM,0} \approx 0.28$$

Esto equivale a 1 átomo de hidrógeno visible por cada 13 "oscuros", o un 8% de la materia que gravita es bariónica. Si fueran neutrinos y tuvieran una masa de  $3 \text{ eV} = 5.3 \times 10^{-36} \text{ kg}$  habría unos  $4.9 \times 10^8$  neutrinos/ $\text{m}^3$ . Siendo la sección eficaz  $\sigma \sim 10^{-47} \text{ m}^2$ , el rlm para el agua sería  $\text{rlm} \sim 2 \times 10^{17} \text{ m}$  ( $\sim 1 \text{ pc}$ ). WIMPS pueden ser  $10^{10}$  veces más masivos, 10 veces menos que un protón.

**Nota:** a veces se habla de  $\Omega_0 h^2$  en vez de  $\Omega_0$ .  $\Omega_0 h^2 = 0.15$  (si  $\Omega_0 = 0.3$ ).

## 12.3. Medidas de las densidades: $\Omega_r$

La densidad de radiación del Universo se puede calcular a partir de la temperatura de la CMB. La CMB es la radiación de un cuerpo negro, por lo que:

$$\varepsilon_{rad,0} \equiv \rho_{rad,0} c^2 = \alpha T^4$$

Contando con que la temperatura de la CMBR ahora es  $T_0 = 2.725 \pm 0.001$  K.

$$\alpha = \frac{\pi^2 k_B^4}{15 \hbar^3 c^3} = 7.565 \times 10^{-16} \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-4}$$

$$\varepsilon_{rad}(t_0) = 4.17 \times 10^{-14} \text{ J m}^{-3}$$

$$\Omega_{rad,0} = \frac{\rho_{rad,0}}{\rho_{c,0}} = \frac{\varepsilon_{rad}(t_0)}{c^2 \rho_{c,0}} = 2.47 \times 10^{-5} h^{-2}$$

¿Cuándo se produjo la igualdad entre materia y radiación? Nota: habría que tener en cuenta otras radiaciones (neutrinos).

$$\rho_{\gamma,0} (1 + z_{eq,\gamma})^4 = \rho_{m,0} (1 + z_{eq,\gamma})^3 \Rightarrow (1 + z_{eq,\gamma}) = \frac{\rho_{m,0}}{\rho_{\gamma,0}} = \frac{\Omega_{m,0}}{\Omega_{\gamma,0}}$$

$$1 + z_{eq,\gamma} = \frac{0.3}{2.47 \times 10^{-5} h^{-2}} \sim 6000 \quad 1 + z_{eq} \sim 3500$$



## 12.3. Medidas de las densidades: $\Omega_r$

¿Pero cuándo?! Para hablar de tiempos habría que integrar la ecuación de Friedmann (considero un Universo plano):

$$H^2 = H_0^2 \left[ \Omega_{m,0} a^{-3} + \Omega_{r,0} a^{-4} + \Omega_{\Lambda,0} \right]$$

$$\frac{da}{dt} = H_0 \sqrt{\Omega_{m,0} a^{-1} + \Omega_{r,0} a^{-2} + \Omega_{\Lambda,0} a^2}$$

$$H_0 dt = \frac{da}{\sqrt{\Omega_{m,0} a^{-1} + \Omega_{r,0} a^{-2} + \Omega_{\Lambda,0} a^2}}$$

$$\int_0^{t_{eq}} H_0 dt = \int_0^{a_{eq}} \frac{da}{\sqrt{\Omega_{m,0} a^{-1} + \Omega_{r,0} a^{-2} + \Omega_{\Lambda,0} a^2}}$$

Con  $\Omega_{\Lambda} = 0.72$ ,  $\Omega_{m,0} = 0.28$ ,  $\Omega_{r,0} = 4.12 \times 10^{-5} h^{-2}$  y  $h = 0.72$ :

$$t_{eq} \approx 50 \text{ kyr}$$





## 12.3. Medidas de las densidades: curvatura

La curvatura del Universo no suele ser un parámetro discutido directamente en los estudios cosmológicos, sino la suma de los parámetros de densidad, que se relaciona directamente con la curvatura.

Los distintos experimentos realizados hasta hoy establecen que la suma de densidades es prácticamente 1. Por ejemplo, WMAP obtuvo:

$$\Omega_{tot,0} = \Omega_{m,0} + \Omega_{r,0} + \Omega_{\Lambda,0} = \mathbf{1.003}_{-0.017}^{+0.013}$$

Combinando los experimentos cosmológicos más relevantes, obtenemos:

$$\Omega_{tot,0} = \mathbf{1.02 \pm 0.02}$$

Esto nos dice que el Universo es compatible con  $k=0$ , es decir, el Universo es plano o casi. Quizás podría ser cerrado, con lo que podría existir un eventual Big Crunch.



# 12.4. Cosmología de precisión

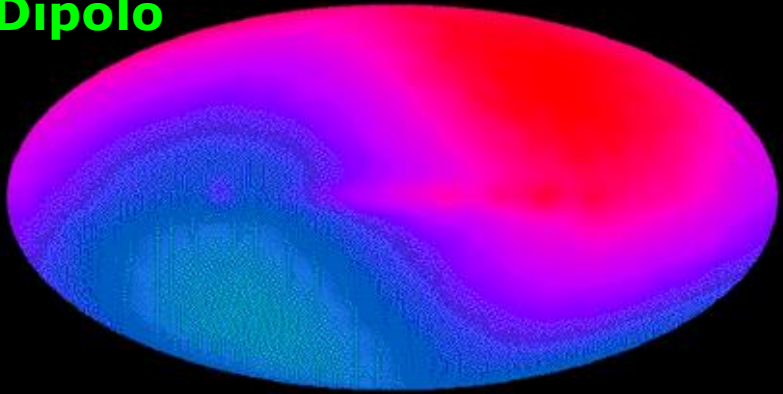
La CMB tiene las siguientes propiedades:

- ◆ su temperatura es 2.725 K y tiene un espectro como un cuerpo negro a esa temperatura.
- ◆ es uniforme en una parte entre 100000. Por tanto se deben tener precisiones de millonésimas de K para estudiar anisotropías.
- ◆ los fotones de la CMB se debieron crear cuando el Universo estaba a 3000 K, unos 0.3-0.4 Myr después del Big Bang.
- ◆ antes de ese momento el Universo estaba ionizado y los fotones tenían un recorrido libre medio muy pequeño ya que la interacción con electrones era muy eficiente (el Universo era opaco). Al recombinarse la materia (hidrógeno sobre todo), los fotones pueden viajar libremente (el Universo se hace transparente).
- ◆ la temperatura de esta radiación ha bajado un factor  $\sim 1100$  ( $\sim 3000/2.725$ ), por lo que ese es el redshift del "last scattering".
- ◆ anisotropía dipolar: la CMB muestra una diferencia de temperatura dominante que está provocada por los movimientos locales de nuestro sistema de referencia con respecto al fluido cósmico. Este efecto no es cosmológico en sí y hay que eliminarlo.
- ◆ espectro de potencias. Nos da información sobre cómo era el Universo en la superficie (capa) de last scattering.

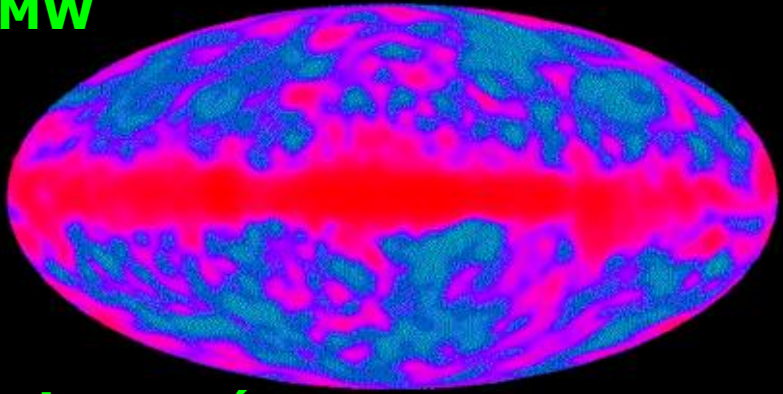


# 12.4. Cosmología de precisión

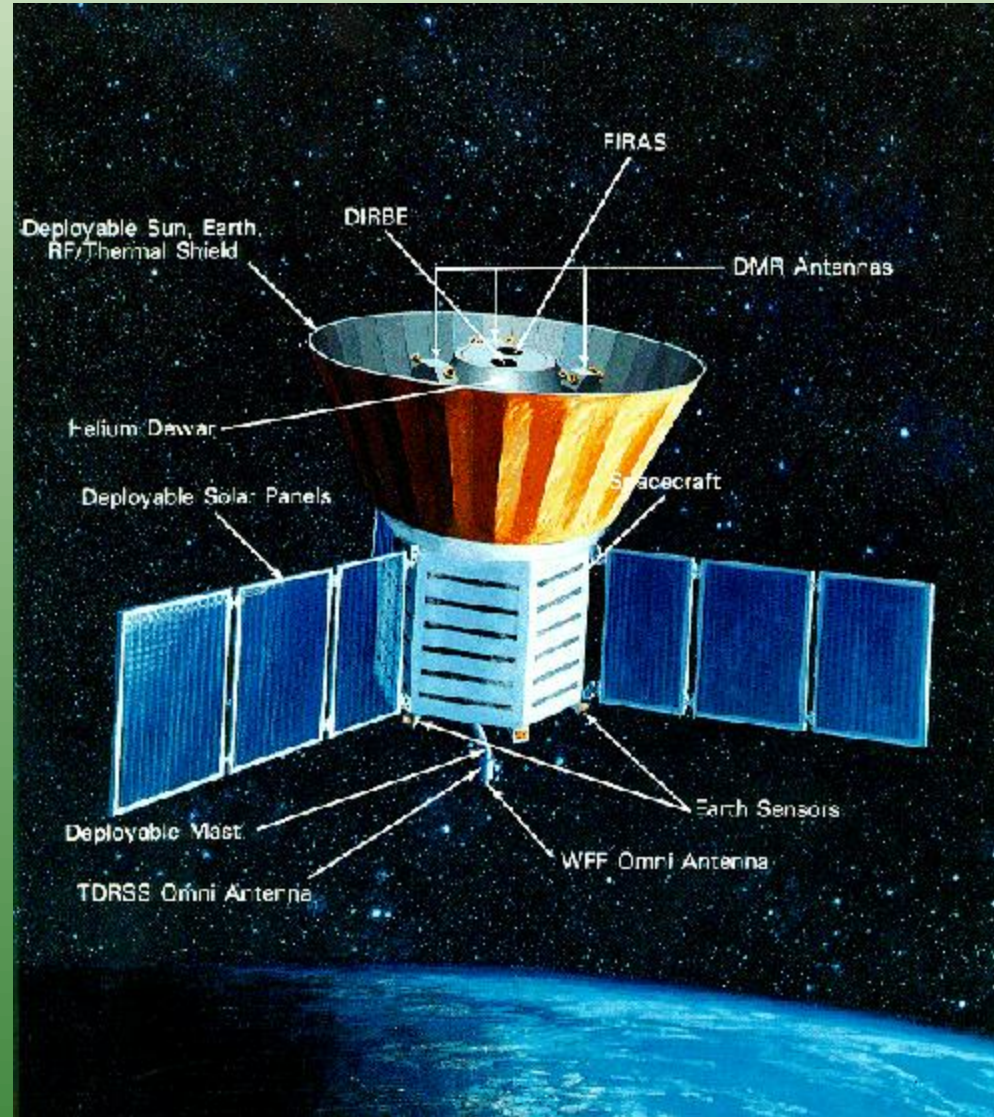
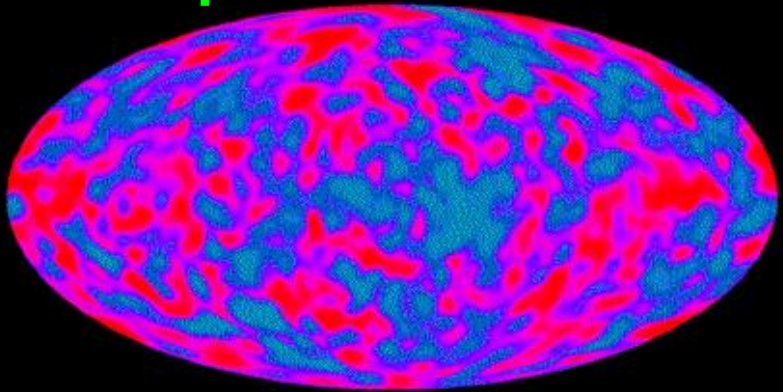
Dipolo



MW

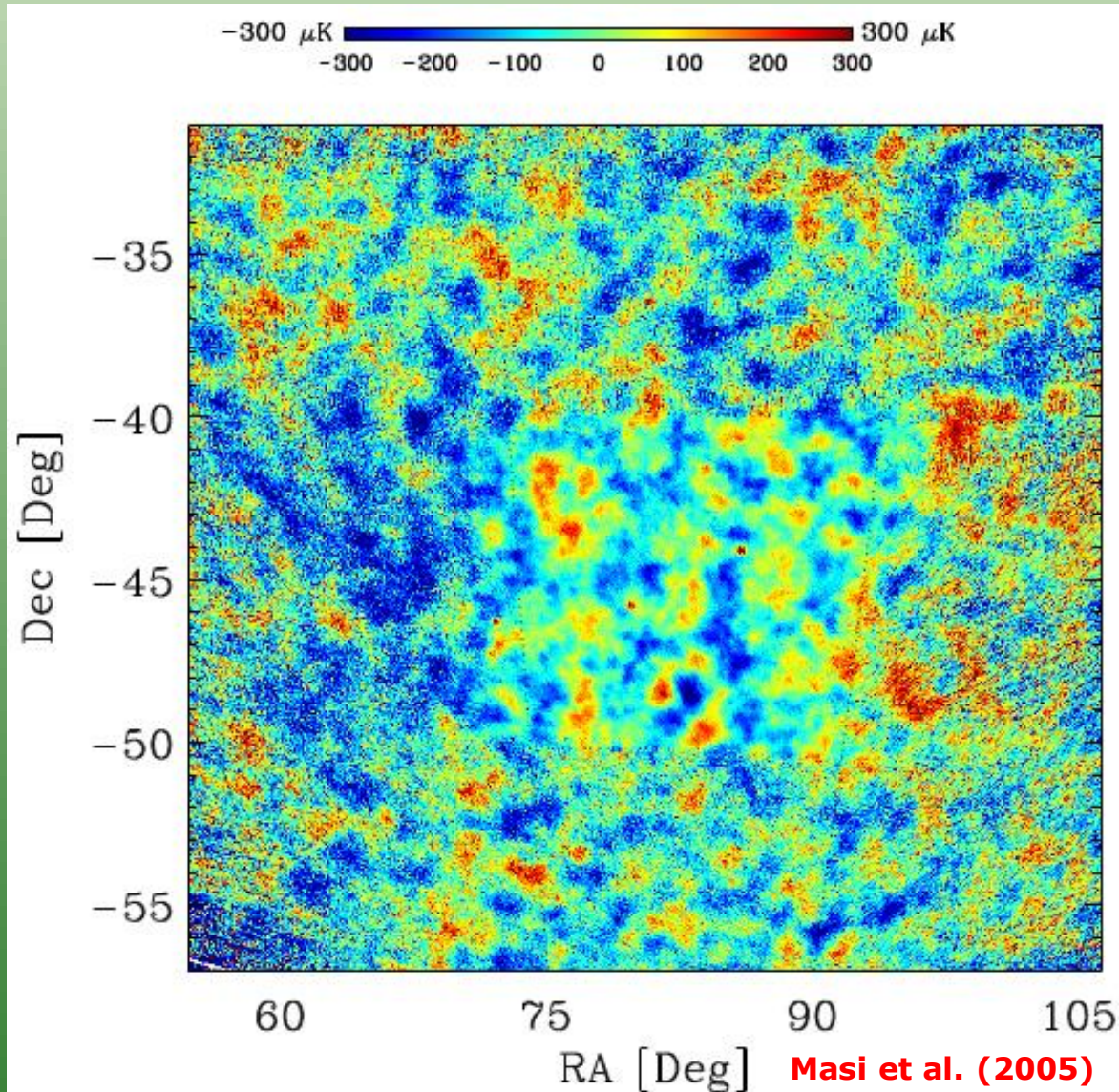


anisotropía

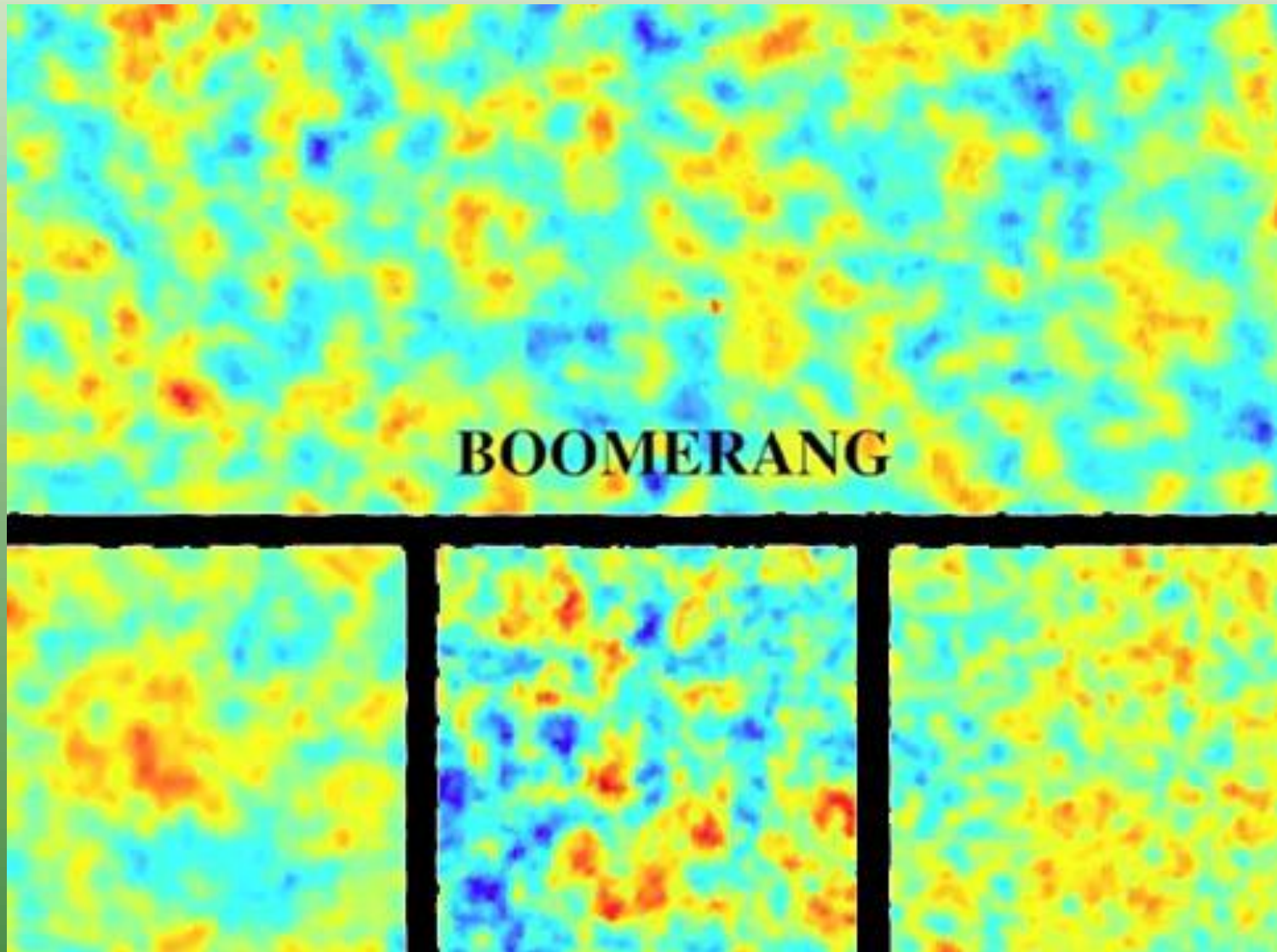


# 12.4. Cosmología de precisión

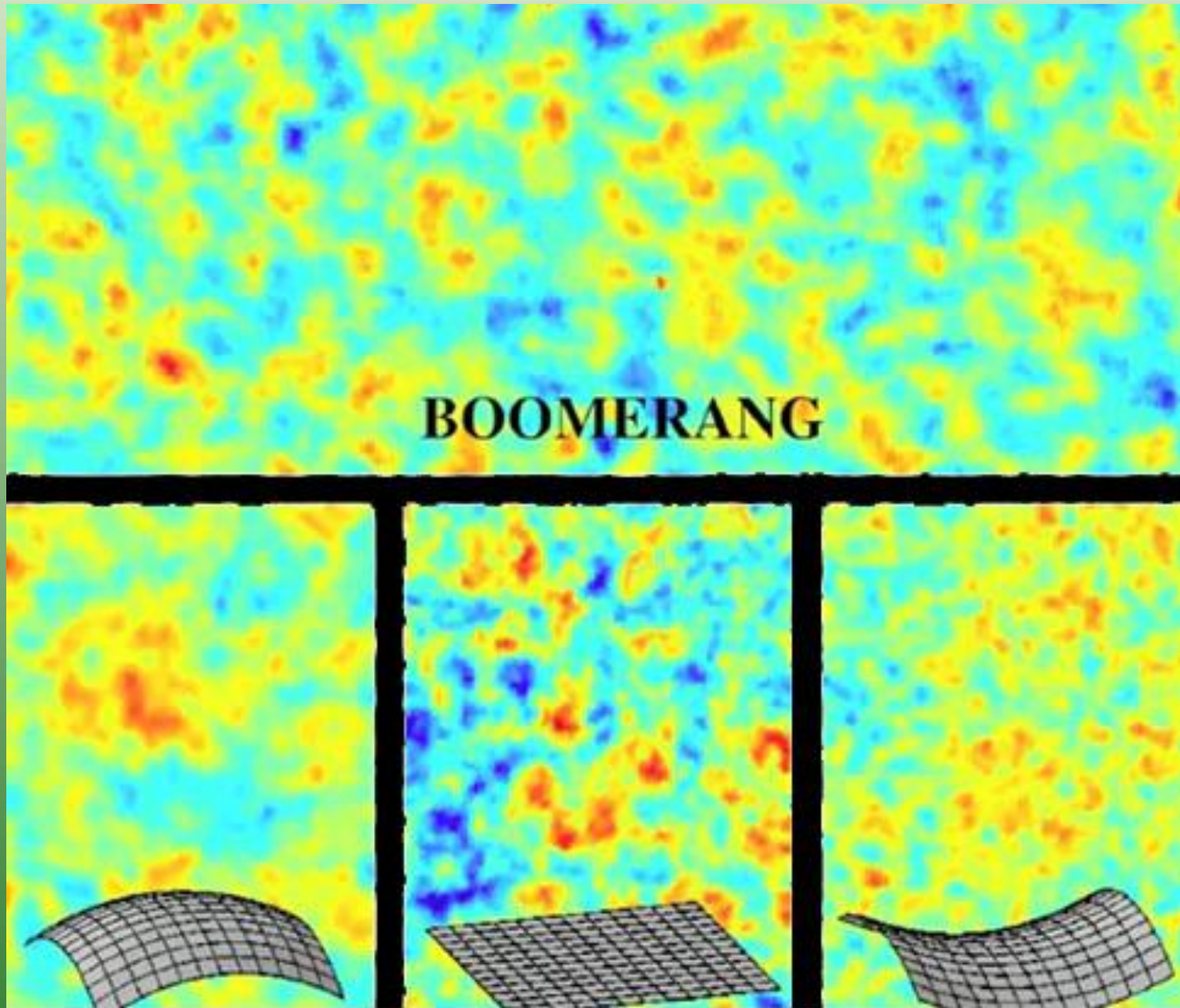
El proyecto **BOOMERanG** utilizó un globo estratosférico para medir anisotropías de CMB con una resolución de  $1^\circ$  a través de un telescopio a 0.28 K a una altura de 35 km sobre la Antártida.



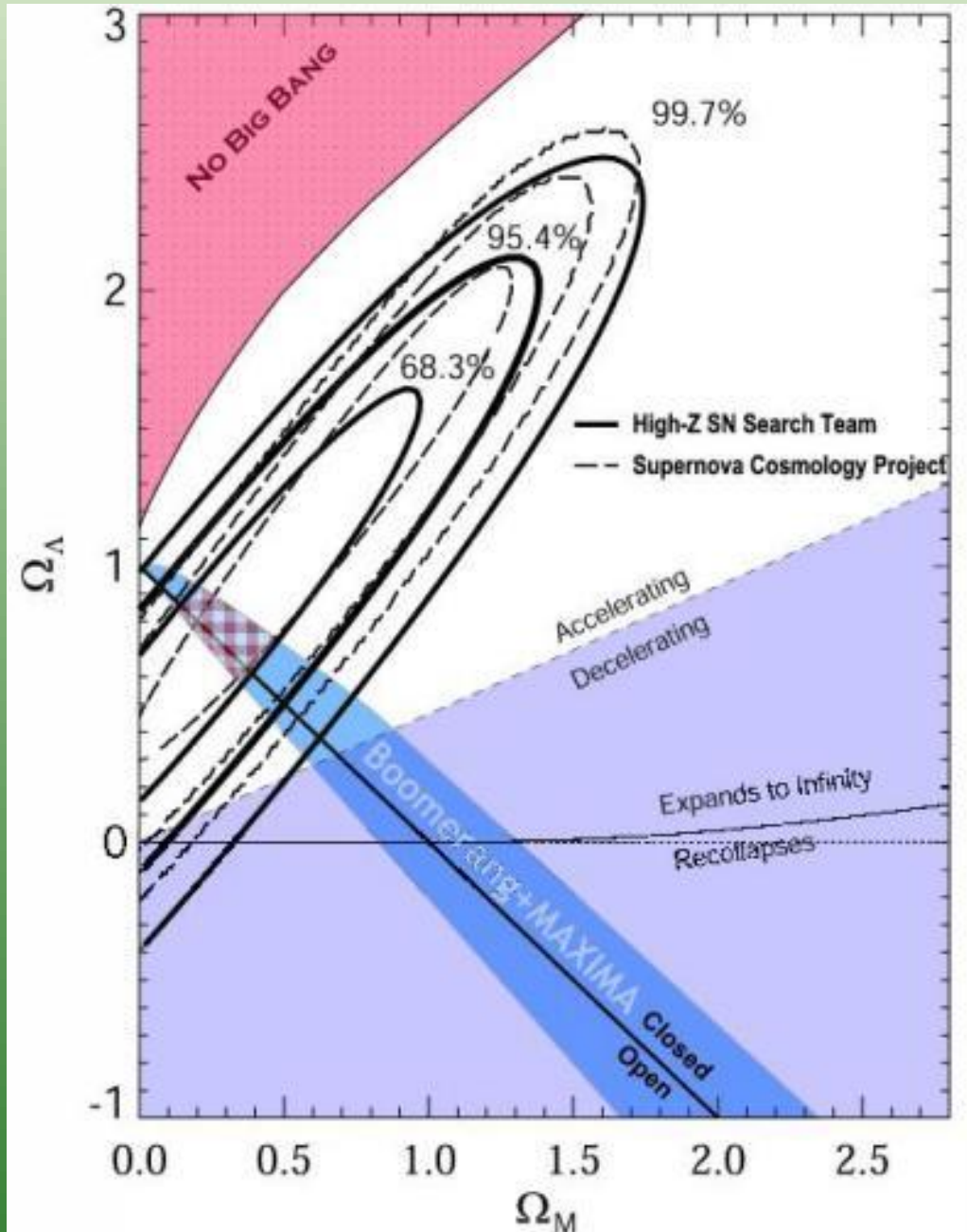
# 12.4. Cosmología de precisión



# 12.4. Cosmología de precisión



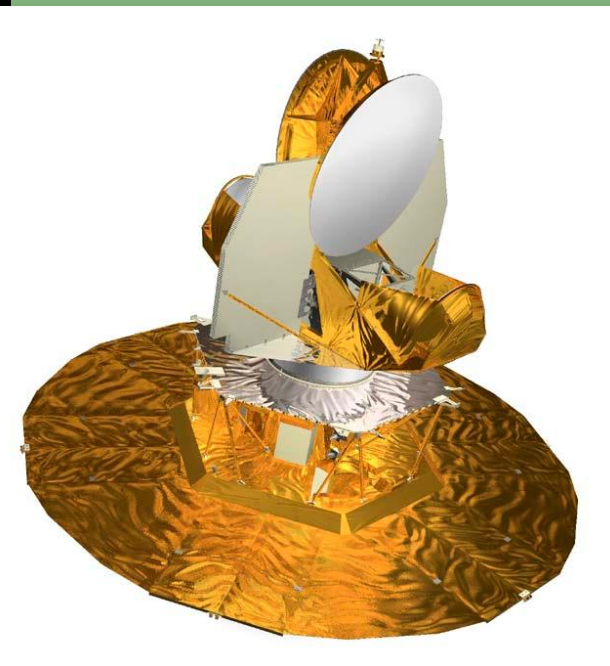
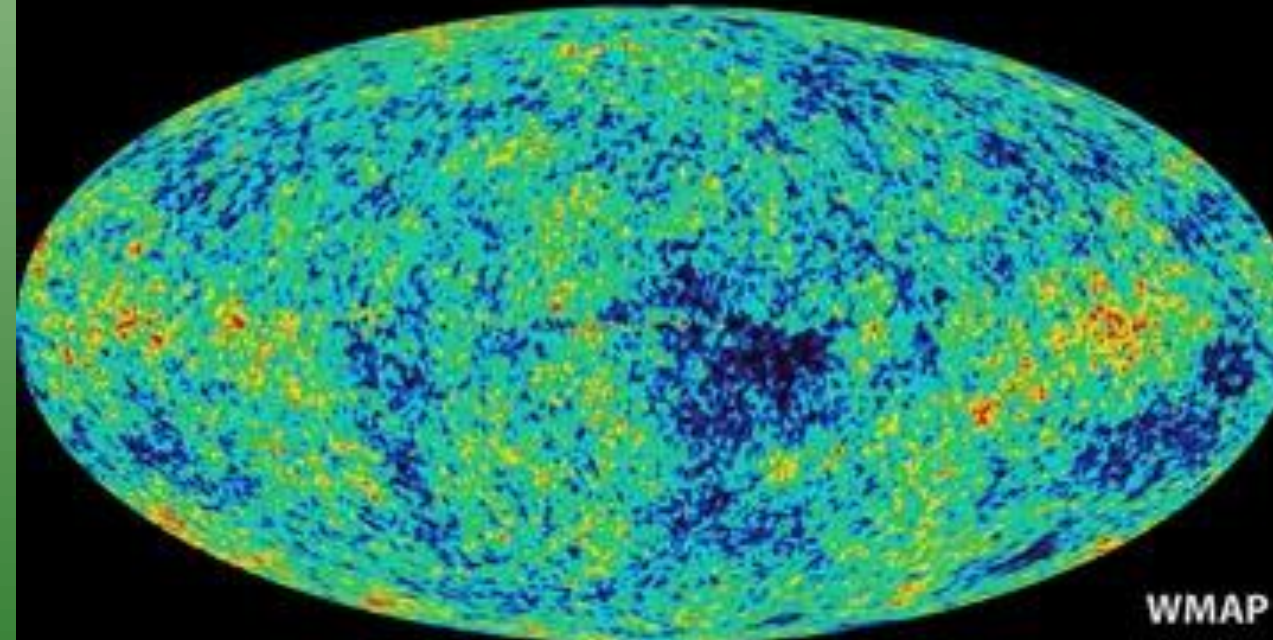
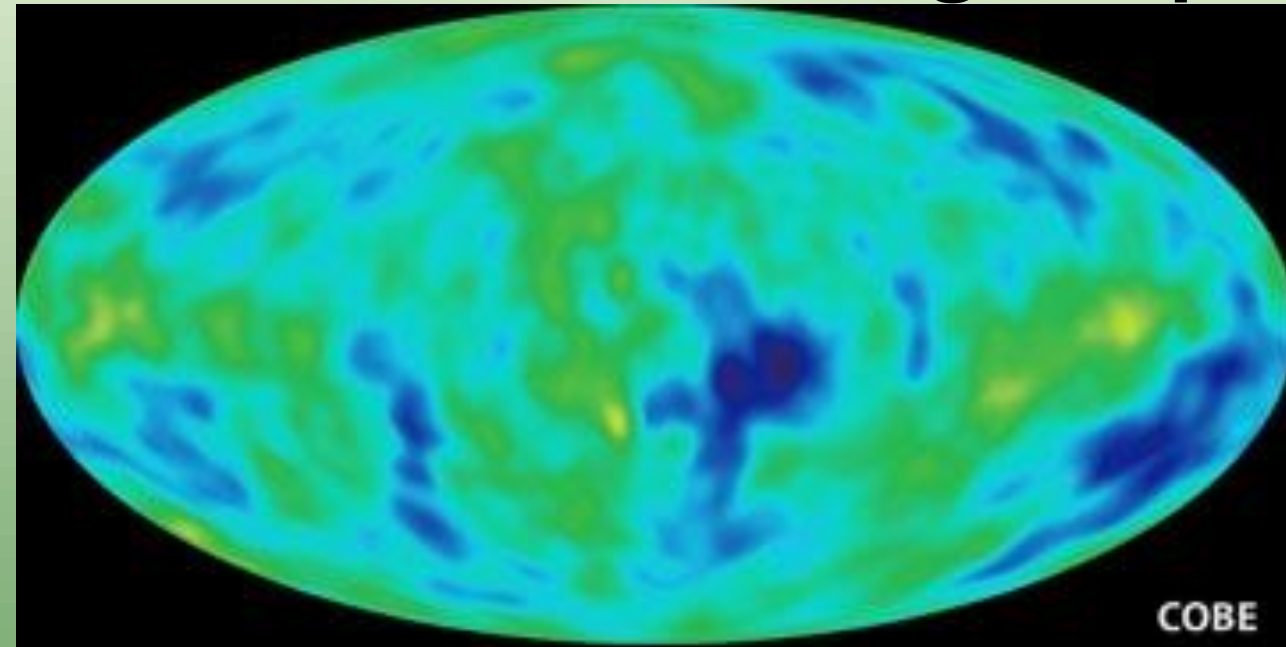
# 12.4. Cosmología de precisión



<http://www.mso.anu.edu.au/~brian/PUBLIC/public.html>

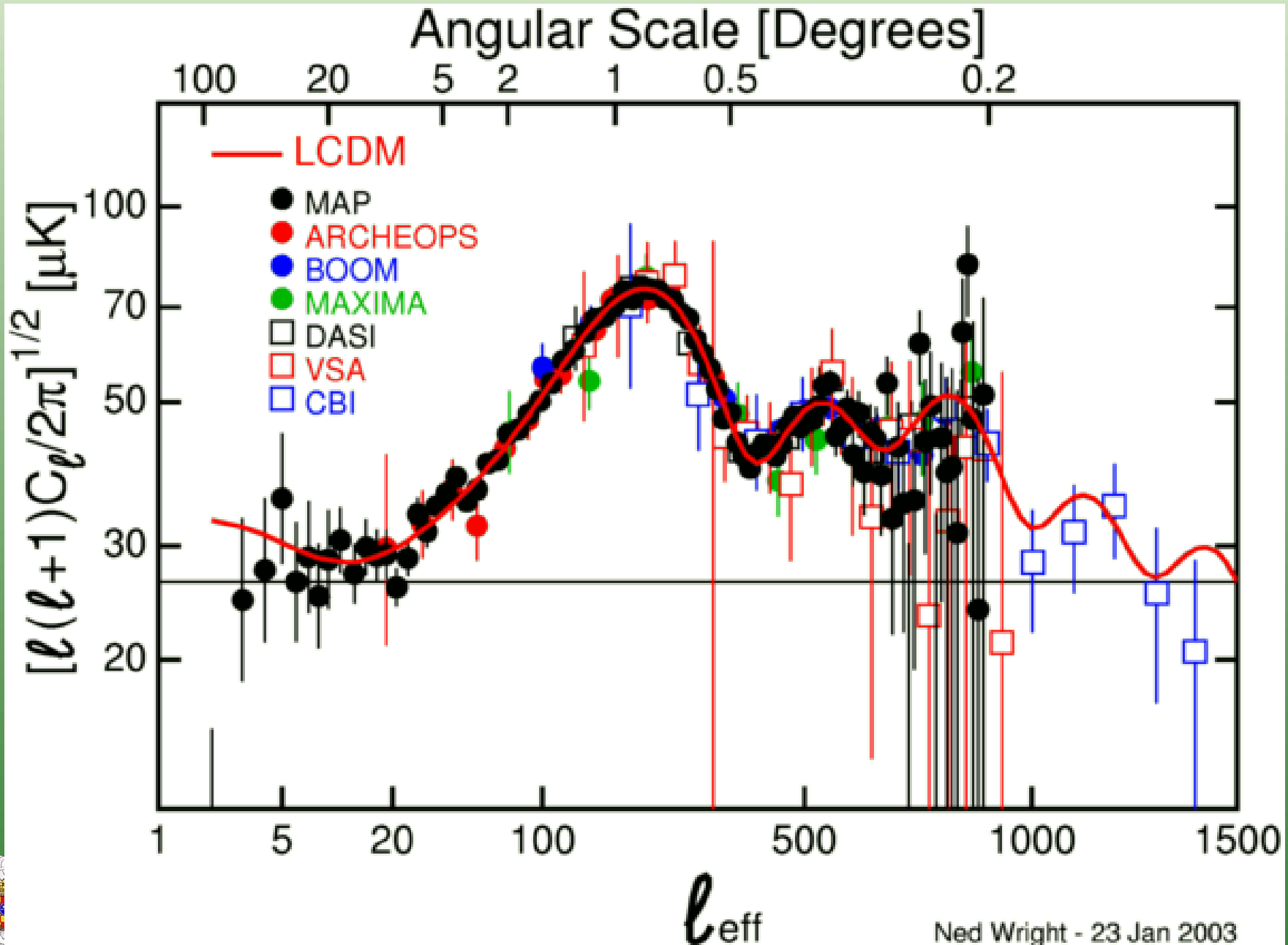


# 12.4. Cosmología de precisión

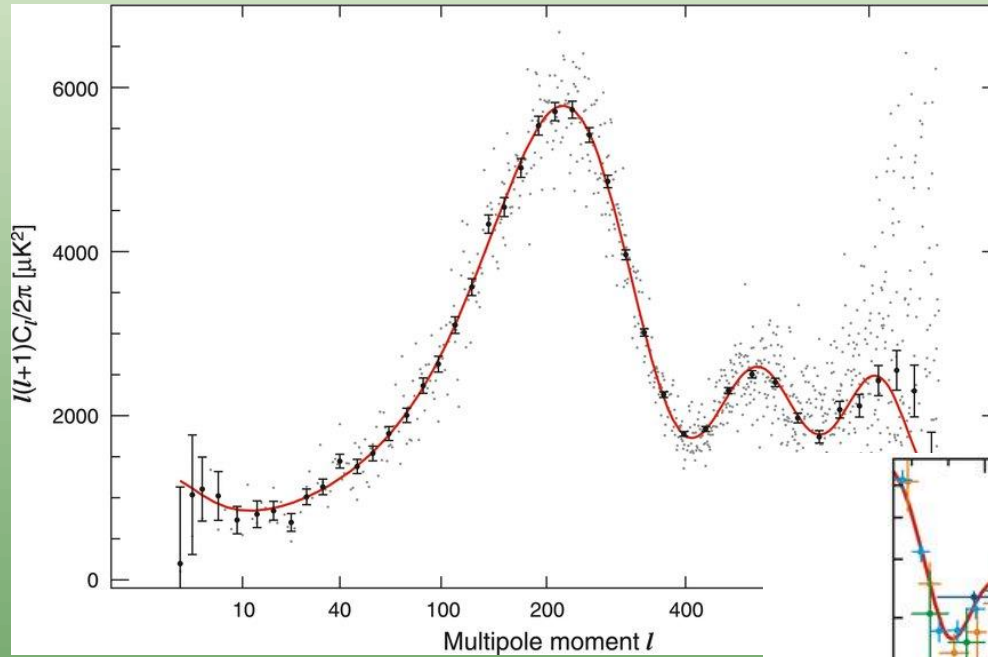




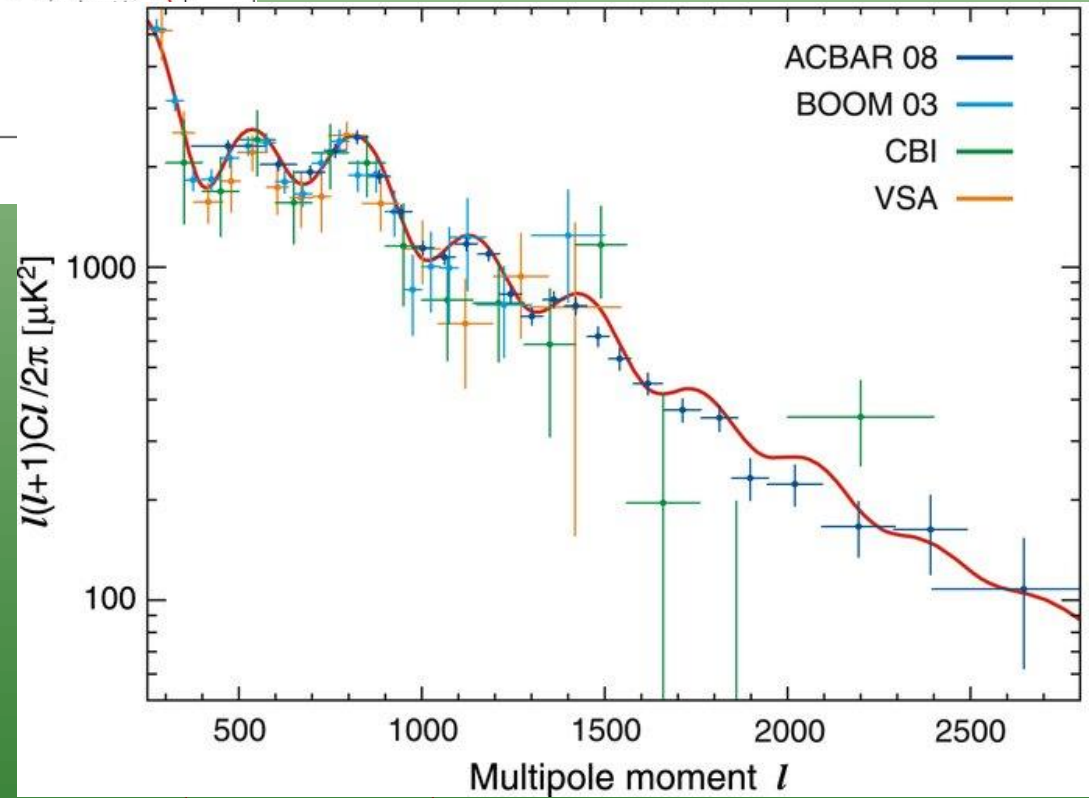
# 12.4. Cosmología: CMB power spectrum



# 12.4. Cosmología de precisión



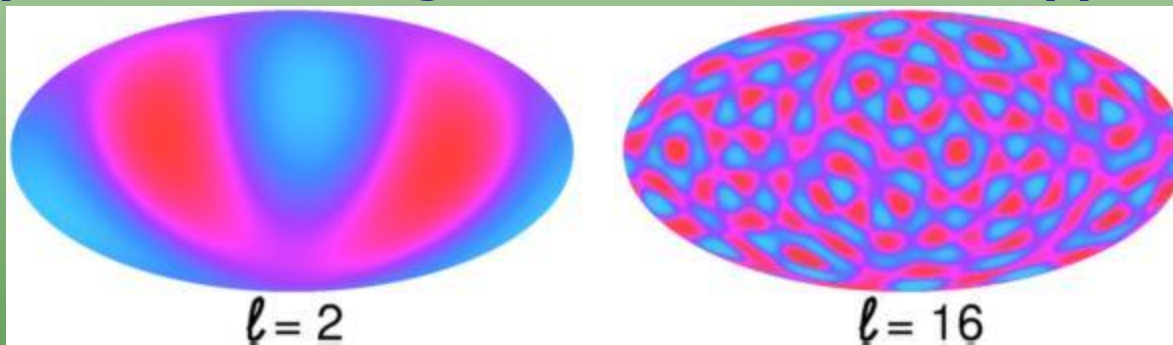
**Dunkley et al. (2009)**  
**Spergel et al. (2004, 2006)**



## 12.4. Cosmología de precisión

El **espectro de potencias** de la CMB muestra cuánto varía esta radiación de un punto a otro en función del ángulo entre esos 2 puntos, relacionándose con la frecuencia angular de esa variación, el conocido como momento multipolar ( $l$ ).

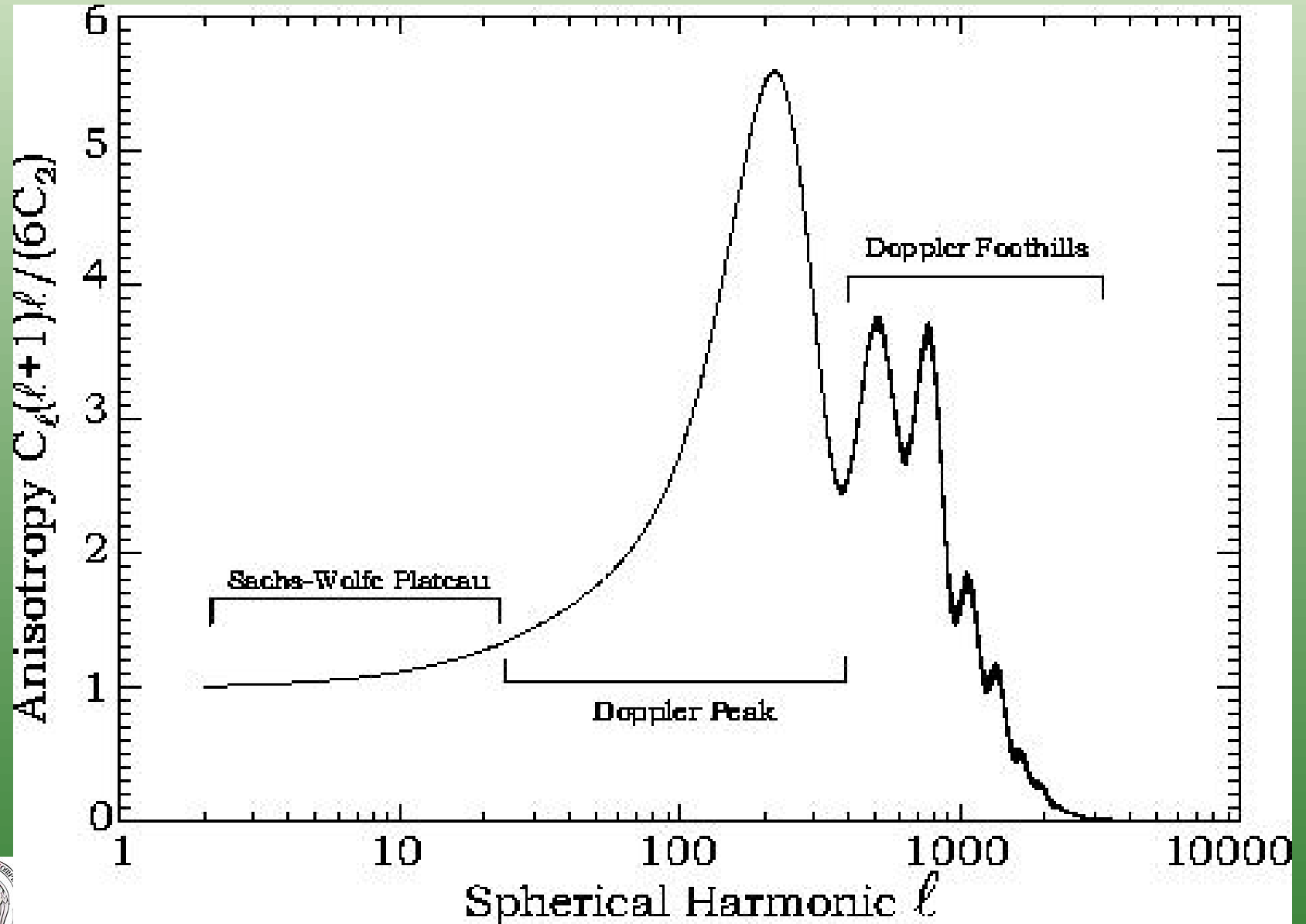
$l=1$  significa que hay un ciclo en todo el cielo,  $l=2$  serían 2, etc... de tal manera que la escala angular de variación es approx.  $180^\circ/l$ .



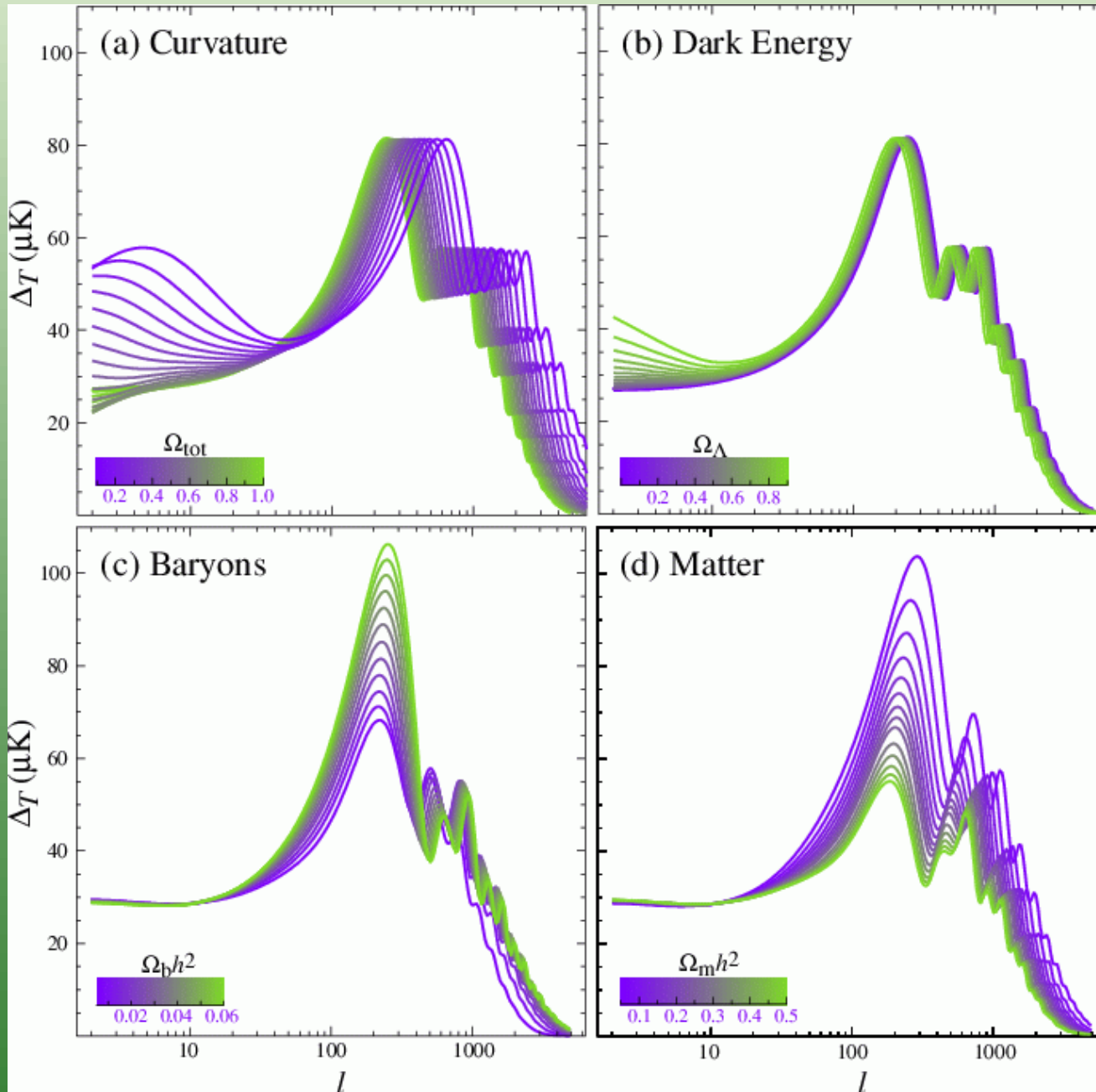
En la práctica lo que se hace es dividir el mapa de variaciones de temperatura con respecto a la media en un desarrollo de armónicos esféricos. La amplitud de cada armónico se representa y los distintos picos (posición y amplitud) nos dan información de **parámetros cosmológicos** como la curvatura, la cantidad de materia que gravita (DM+bariones), la densidad relativa de los componentes del Universo en las sobredensidades primordiales, etc...

Las anisotropías de la CMB pueden tener un origen **primario**, relacionado con fenómenos ocurridos justo cuando se formó la CMB, o **secundarios**, debido a su interacción posterior con todo el Universo.

# 12.4. Cosmología de precisión



# 12.4. Cosmología de precisión



[http://casa.colorado.edu/~ajsh/astr2030\\_06/cosmology.html](http://casa.colorado.edu/~ajsh/astr2030_06/cosmology.html)



## 12.4. Cosmología de precisión

[http://map.gsfc.nasa.gov/resources/camb\\_tool/index.html](http://map.gsfc.nasa.gov/resources/camb_tool/index.html)



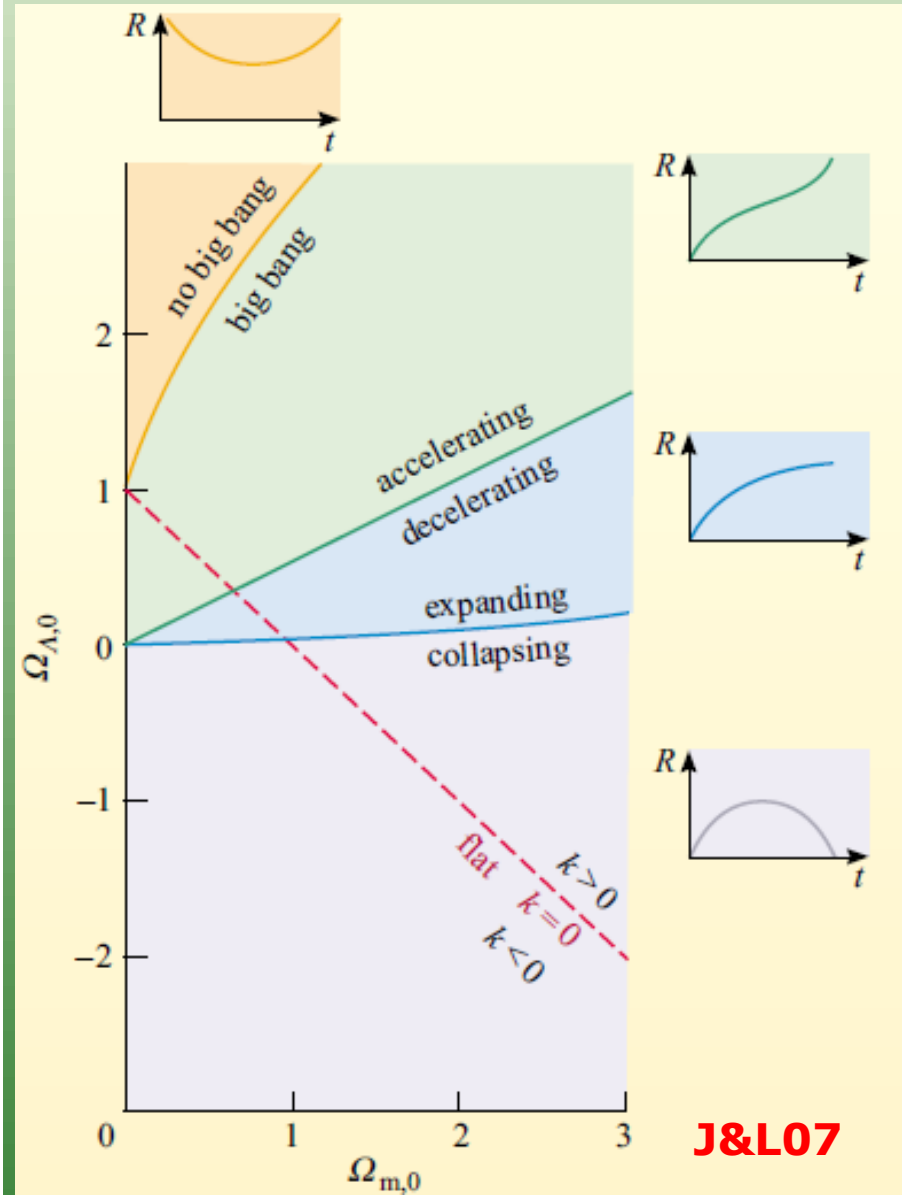
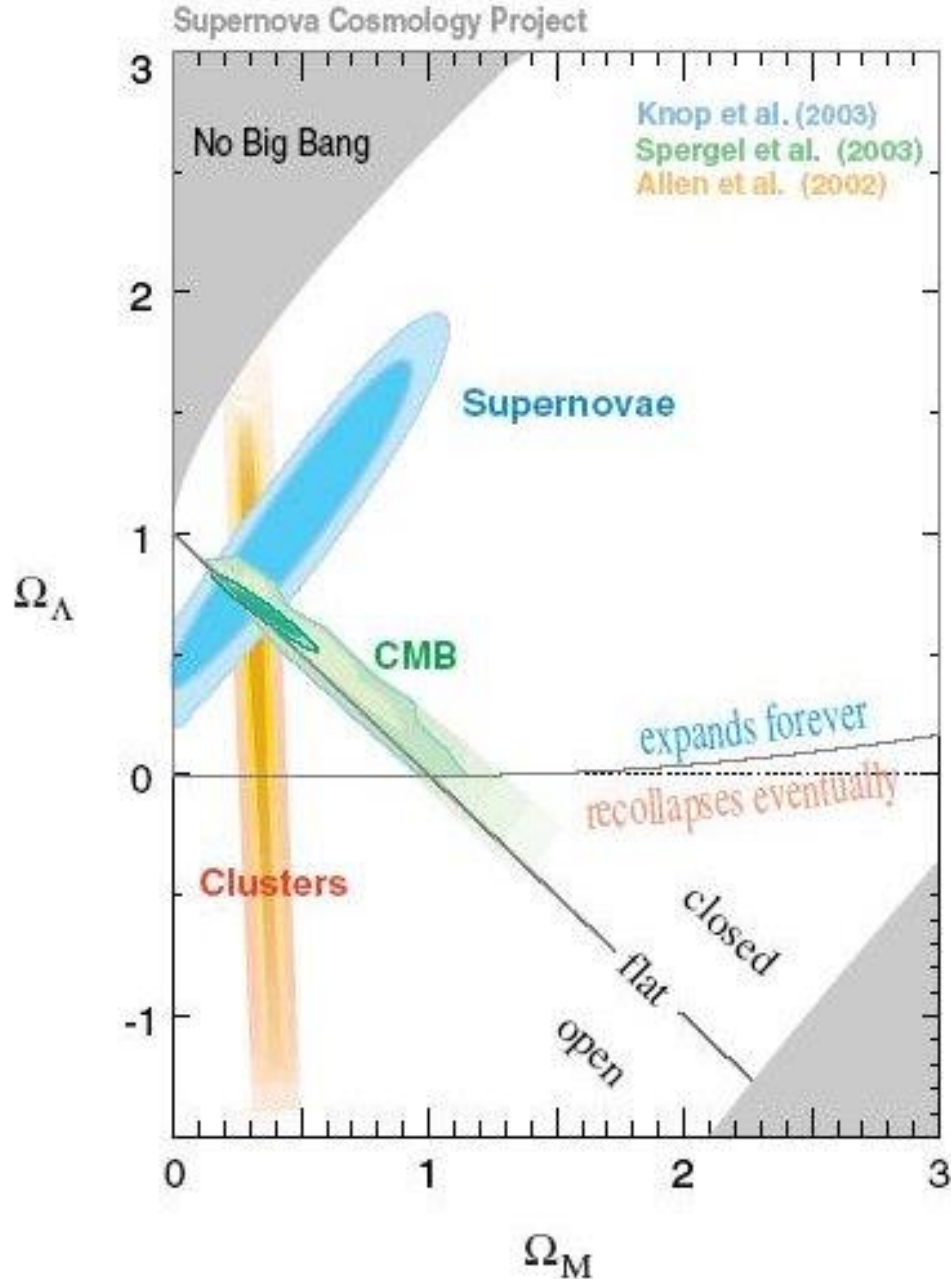
# 12.4. Cosmología de precisión: WMAP 7yr (2009)

Best-fit cosmological parameters from WMAP five-year results<sup>[7]</sup>

Parameter	Symbol	Best fit (WMAP only)	Best fit (WMAP + SNe + BAO)
Hubble's constant ( $\text{km}/\text{Mpc}\cdot\text{s}$ )	$H_0$	$71.9^{+2.6}_{-2.7}$	$70.5 \pm 1.3$
Baryonic content	$\Omega_b h^2$	$0.02273 \pm 0.00062$	$0.02267^{+0.00058}_{-0.00059}$
Cold dark matter content	$\Omega_c h^2$	$0.1099 \pm 0.0062$	$0.1131 \pm 0.0034$
Dark energy content	$\Omega_\Lambda$	$0.742 \pm 0.030$	$0.726 \pm 0.015$
Optical depth to reionization	$\tau$	$0.087 \pm 0.017$	$0.084 \pm 0.016$
Scalar spectral index	$n_s$	$0.963^{+0.014}_{-0.015}$	$0.960 \pm 0.013$
Running of spectral index	$dn_s / d \ln k$	$-0.037 \pm 0.028$	$-0.028 \pm 0.020$
Fluctuation amplitude at $8h^{-1}$ Mpc	$\sigma_8$	$0.796 \pm 0.036$	$0.812 \pm 0.026$
Age of the universe (Ga)	$t_0$	$13.69 \pm 0.13$	$13.72 \pm 0.12$
Total density of the universe	$\Omega_{tot}$	$1.099^{+0.100}_{-0.085}$	$1.0050^{+0.0060}_{-0.0061}$
Tensor-to-scalar ratio	$r$	$< 0.43$	$< 0.22$

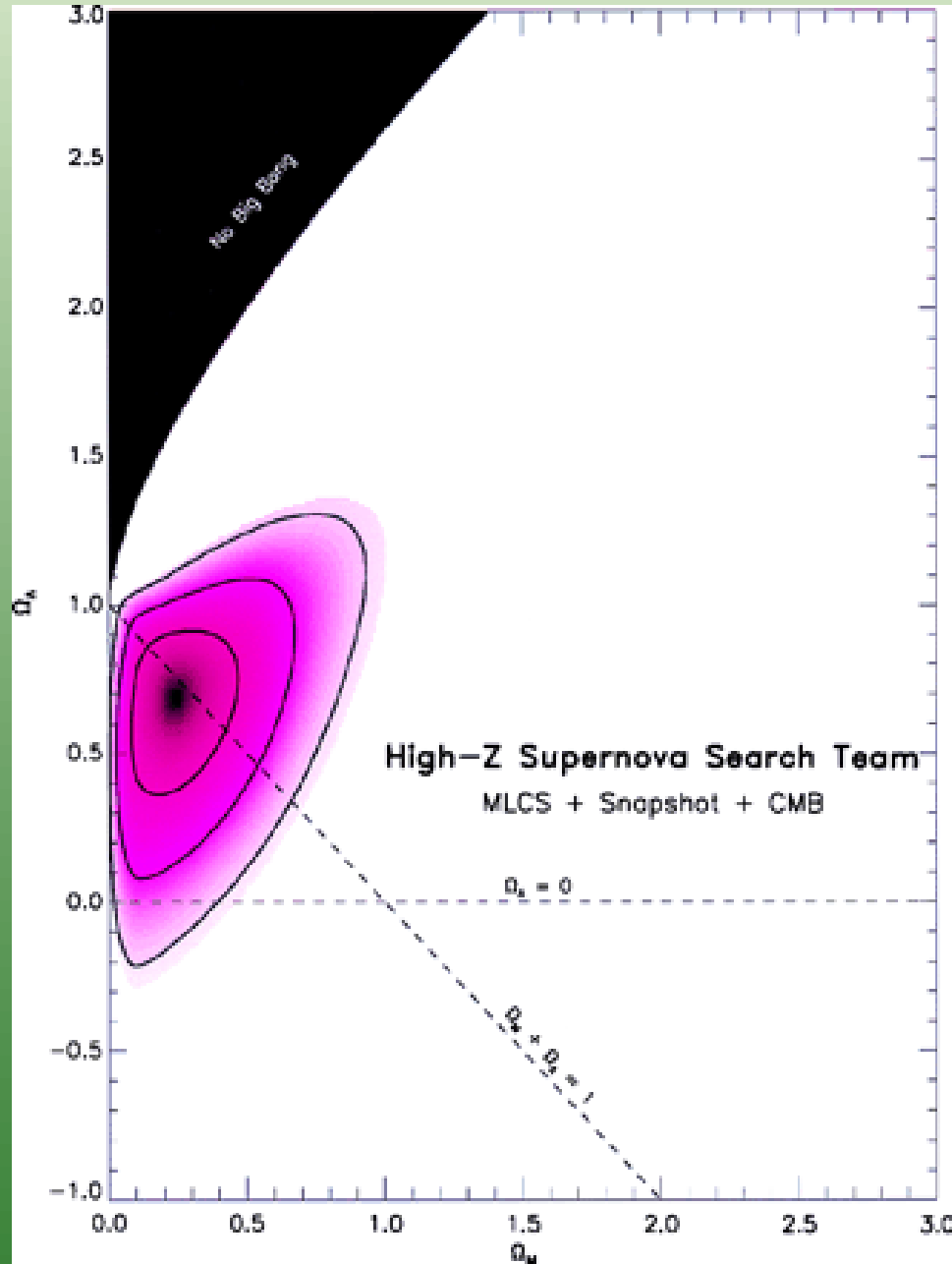


# 12.4. Cosmología de precisión





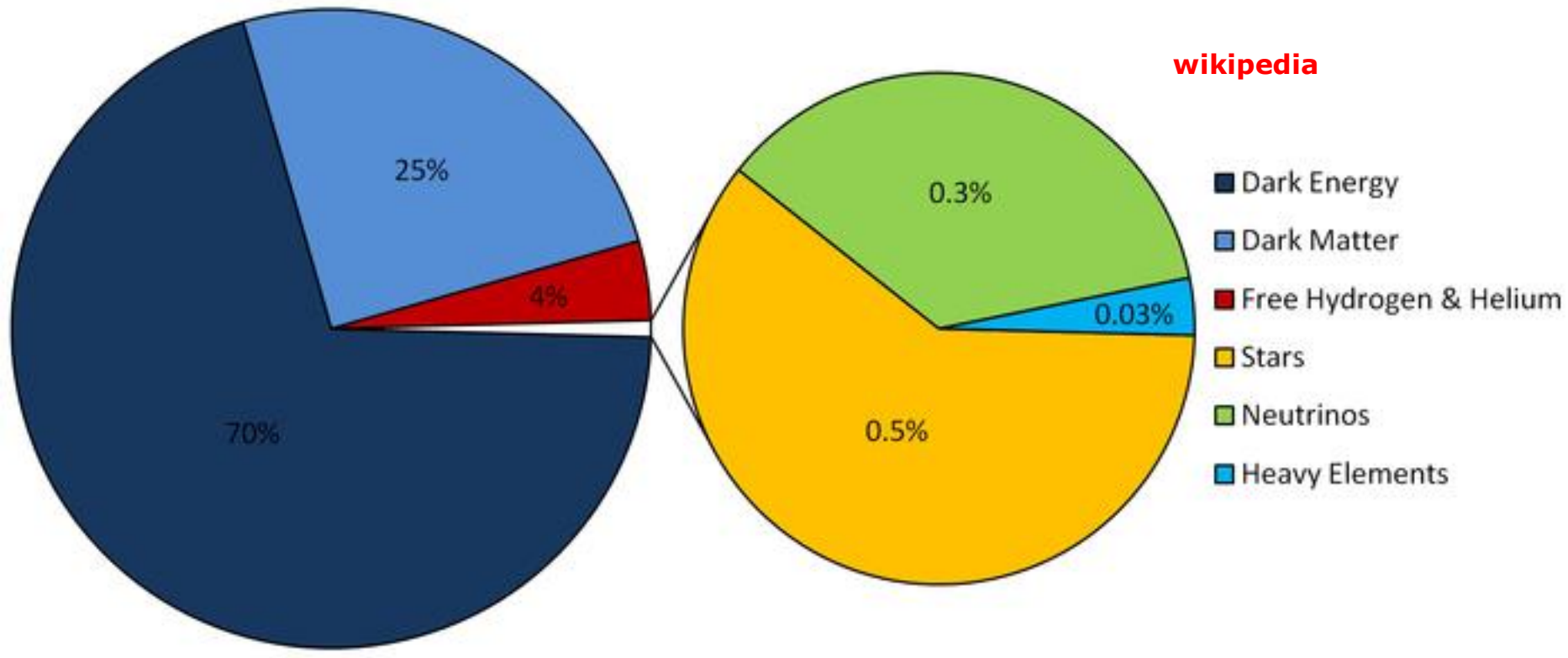
# 12.4. Cosmología de precisión



<http://www.pnas.org/content/96/8/4224.full>



# 12.5. Cosmología de concordancia



# 12.5. Cosmología de concordancia

wikipedia

Parameter	Value	Description
$t_0$	$13.75 \pm 0.11 \times 10^9$ years	Age of the universe
$H_0$	$70.4^{+1.3}_{-1.4}$ km s <sup>-1</sup> Mpc <sup>-1</sup>	Hubble constant
$\Omega_b h^2$	$0.0260 \pm 0.00053$	Physical baryon density
$\Omega_c h^2$	$0.1123 \pm 0.0035$	Physical dark matter density
$\Omega_b$	$0.0456 \pm 0.0016$	Baryon density
$\Omega_c$	$0.227 \pm 0.014$	Dark matter density
$\Omega_\Lambda$	$0.728^{+0.015}_{-0.016}$	Dark energy density
$\Delta_R^2$	$2.441^{+0.088}_{-0.092} \times 10^{-9}$ , $k_0 = 0.002$ Mpc <sup>-1</sup>	Curvature fluctuation amplitude
$\sigma_8$	$0.809 \pm 0.024$	Fluctuation amplitude at $8h^{-1}$ Mpc
$n_s$	$0.963 \pm 0.012$	Scalar spectral index
$z_*$	$1090.89^{+0.68}_{-0.69}$	Redshift at decoupling
$t_*$	$377730^{+3205}_{-3200}$ years	Age at decoupling
$\tau$	$0.087 \pm 0.014$	Reionization optical depth
$z_{\text{reion}}$	$10.4 \pm 1.2$	Redshift of reionization



# 12.5.Cosmología: modelo extendido

wikipedia

Parameter	Value	Description
$\Omega_{\text{tot}}$	$1.0023^{+0.0056}_{-0.0054}$	Total density
$w$	$-0.980 \pm 0.053$	Equation of state
$r$	$< 0.24, k_0 = 0.002\text{Mpc}^{-1} (2\sigma)$	Tensor-to-scalar ratio
$d n_s / d \ln k$	$-0.022 \pm 0.020, k_0 = 0.002\text{Mpc}^{-1}$	Running of the spectral index
$\Omega_\nu h^2$	$< 0.0062$	Physical neutrino density
$\Sigma m_\nu$	$< 0.58 \text{ eV} (2\sigma)$	Neutrino mass



# 12.5.Cosmología: modelo extendido

<http://universe-review.ca/F02-cosmicbg.htm>

Material	Partículas típicas	Masa (eV)	Número partículas	Contribución a densidad total	Evidencia observacional
materia ordinaria	protones, electrones	$10^6-10^9$	$10^{78}$	0.5%	Observación directa
radiación	fotones	$10^{-4}$	$10^{87}$	0.005%	CMB
HDM	neutrinos	$<1$	$10^{87}$	0.3%	medidas de neutrinos, LSS
CDM	WIMPs	$10^{11}$	$10^{77}$	25%	Dinámica galáctica
DE	¿partículas / campo escalar?	$10^{-33}$	$10^{118}$	70%	Distancia a SN Ia, CMB

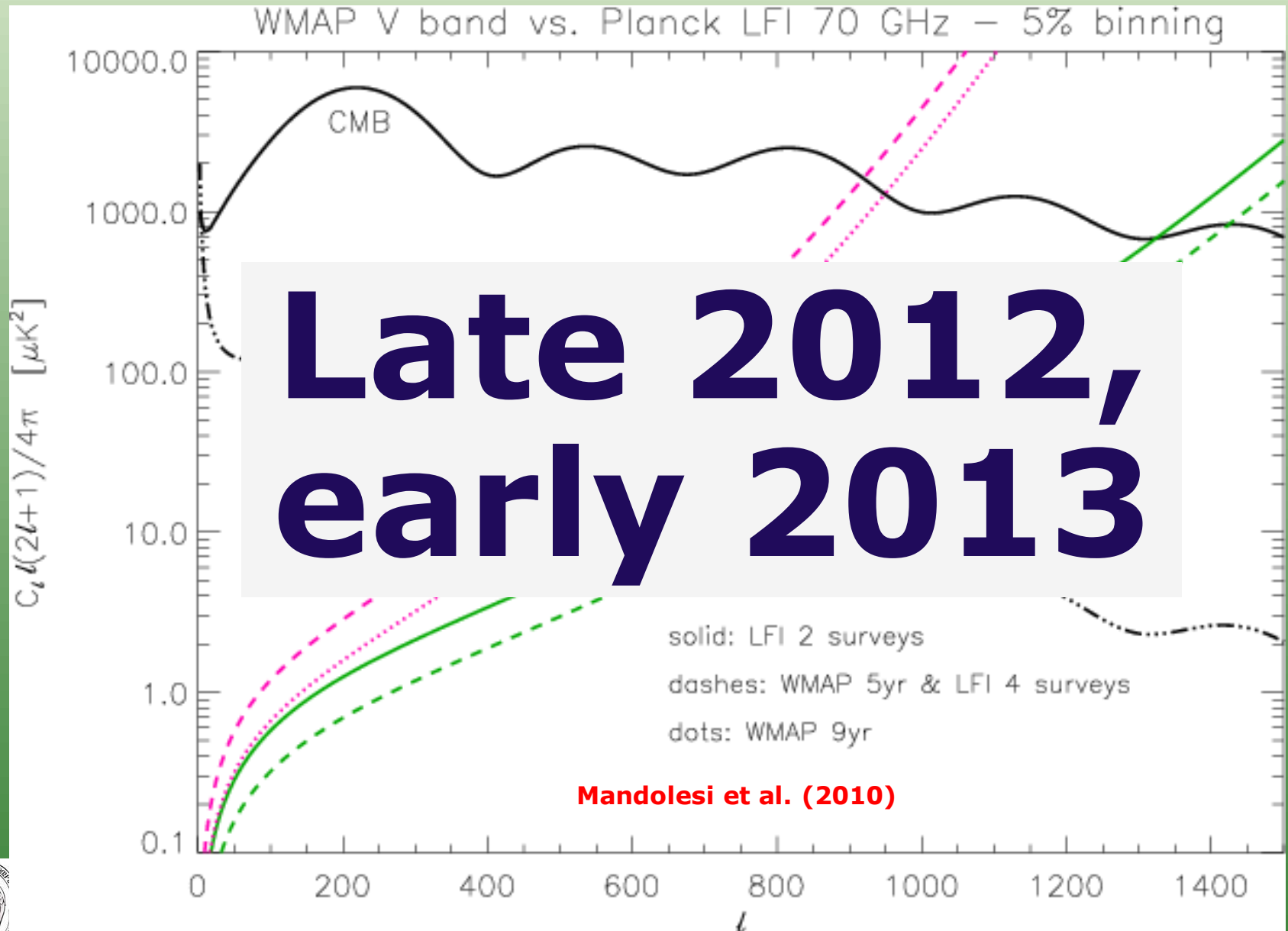


# 12.5.Cosmología de precisión: próxima misión



**May 14, 2009**

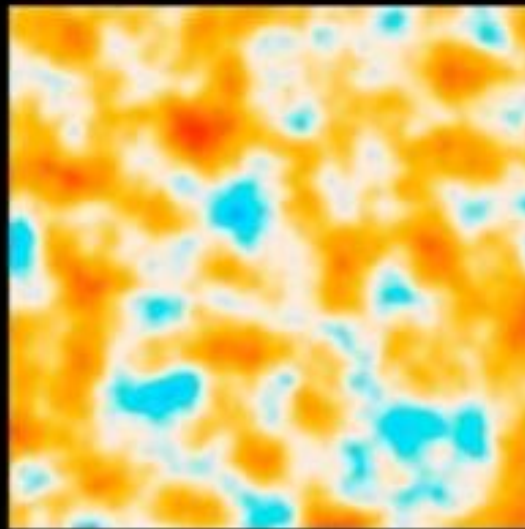
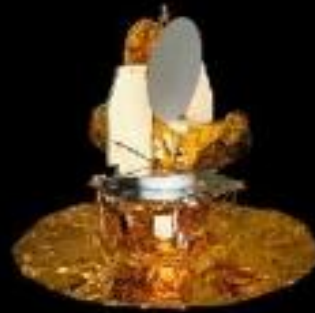
# 12.5. Cosmología de concordancia



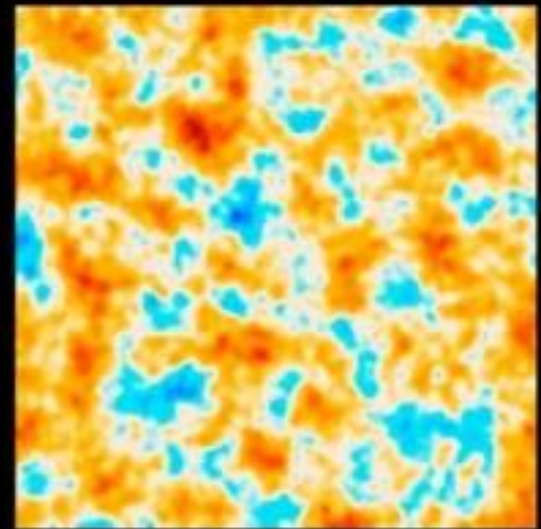
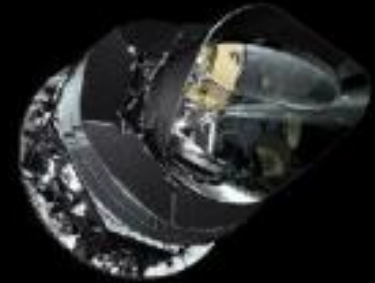
# 12.5. Cosmología de concordancia



COBE



WMAP

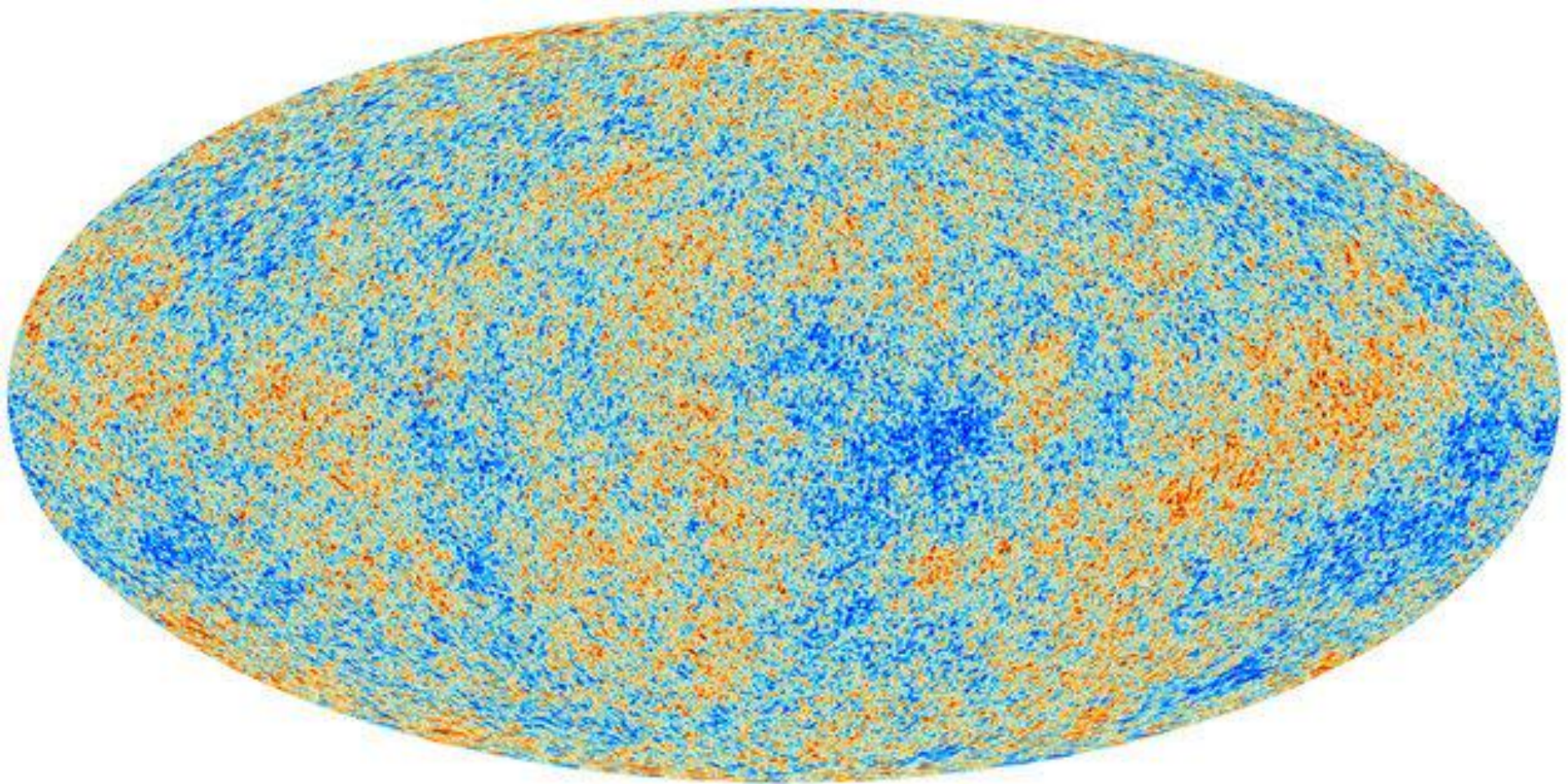


Planck

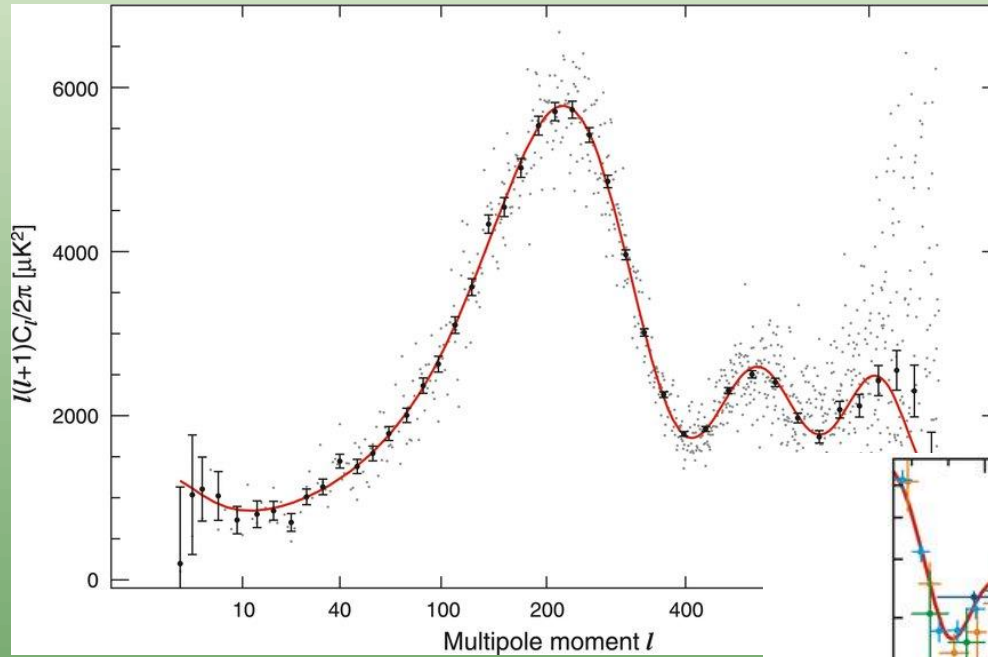




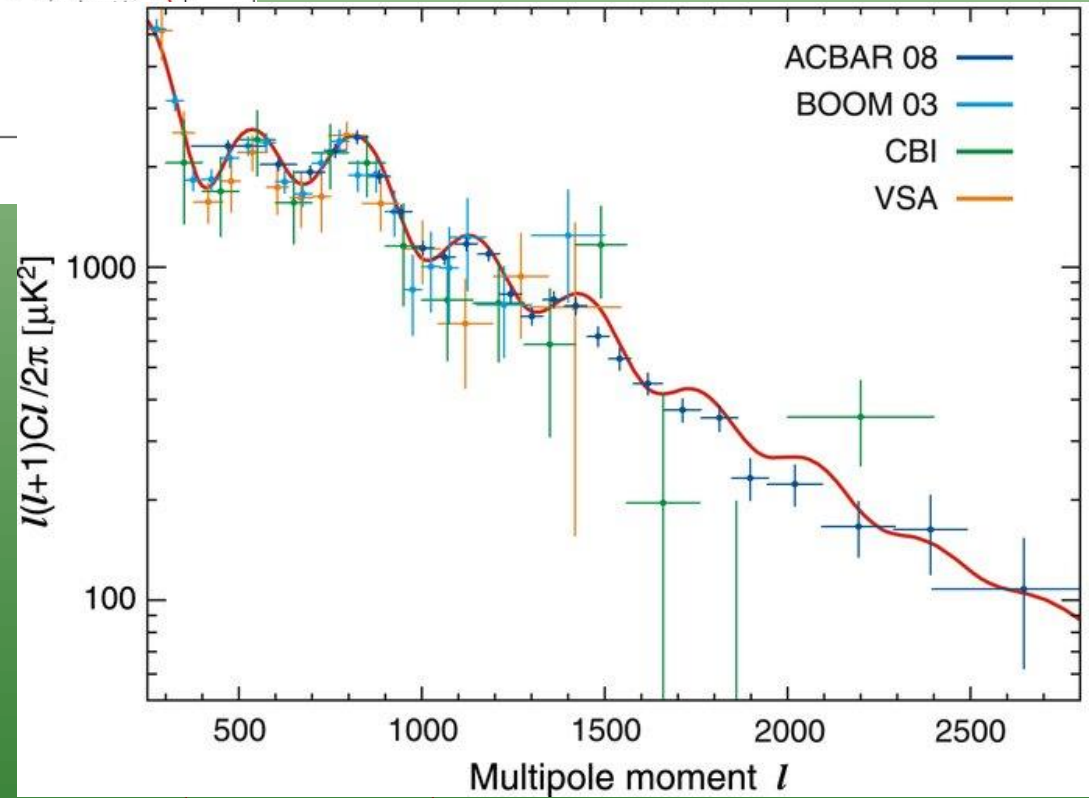
# 12.5. Cosmología de concordancia



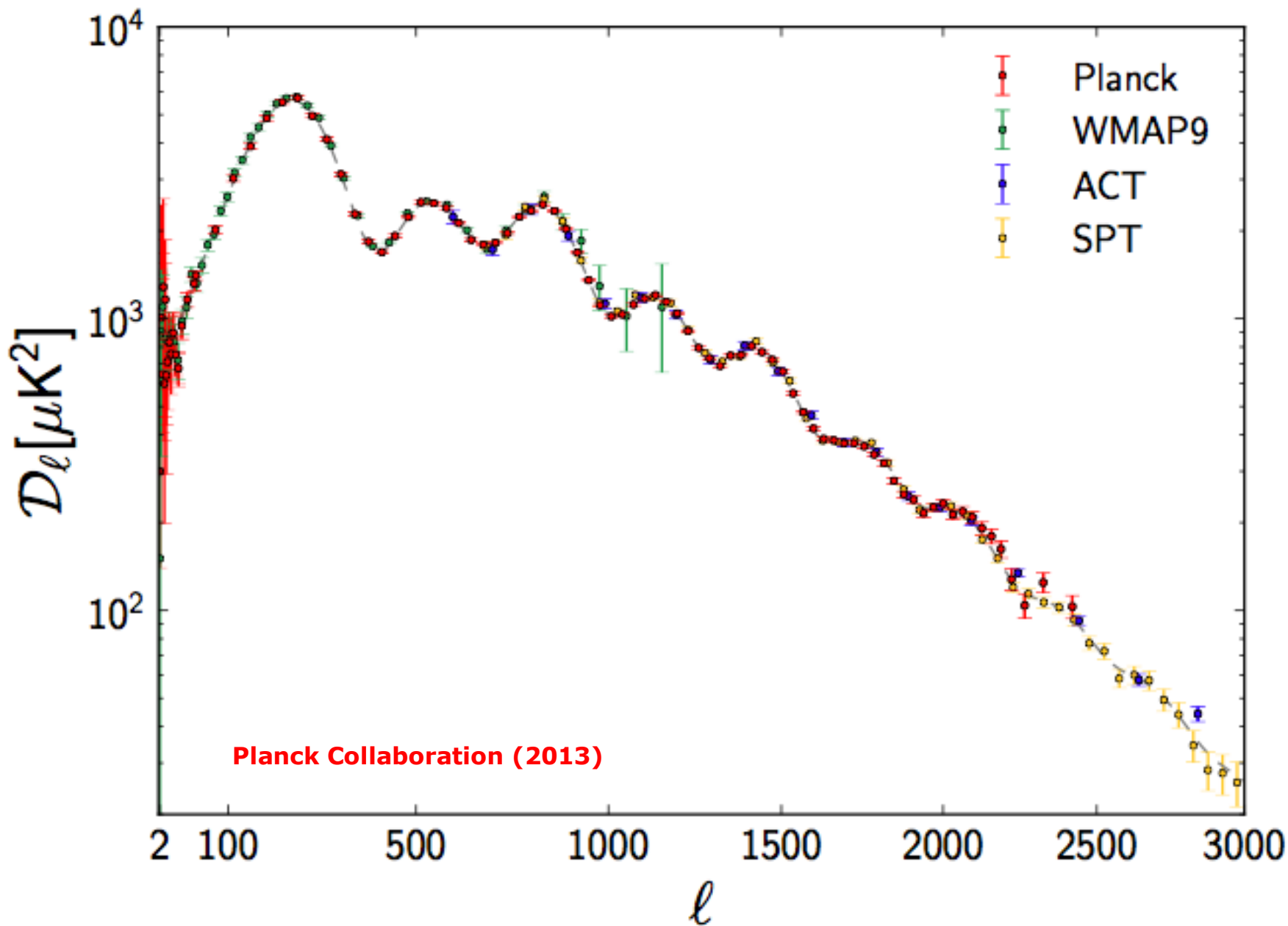
# 12.4. Cosmología de precisión



**Dunkley et al. (2009)**  
**Spergel et al. (2004, 2006)**



# 12.5. Cosmología de concordancia



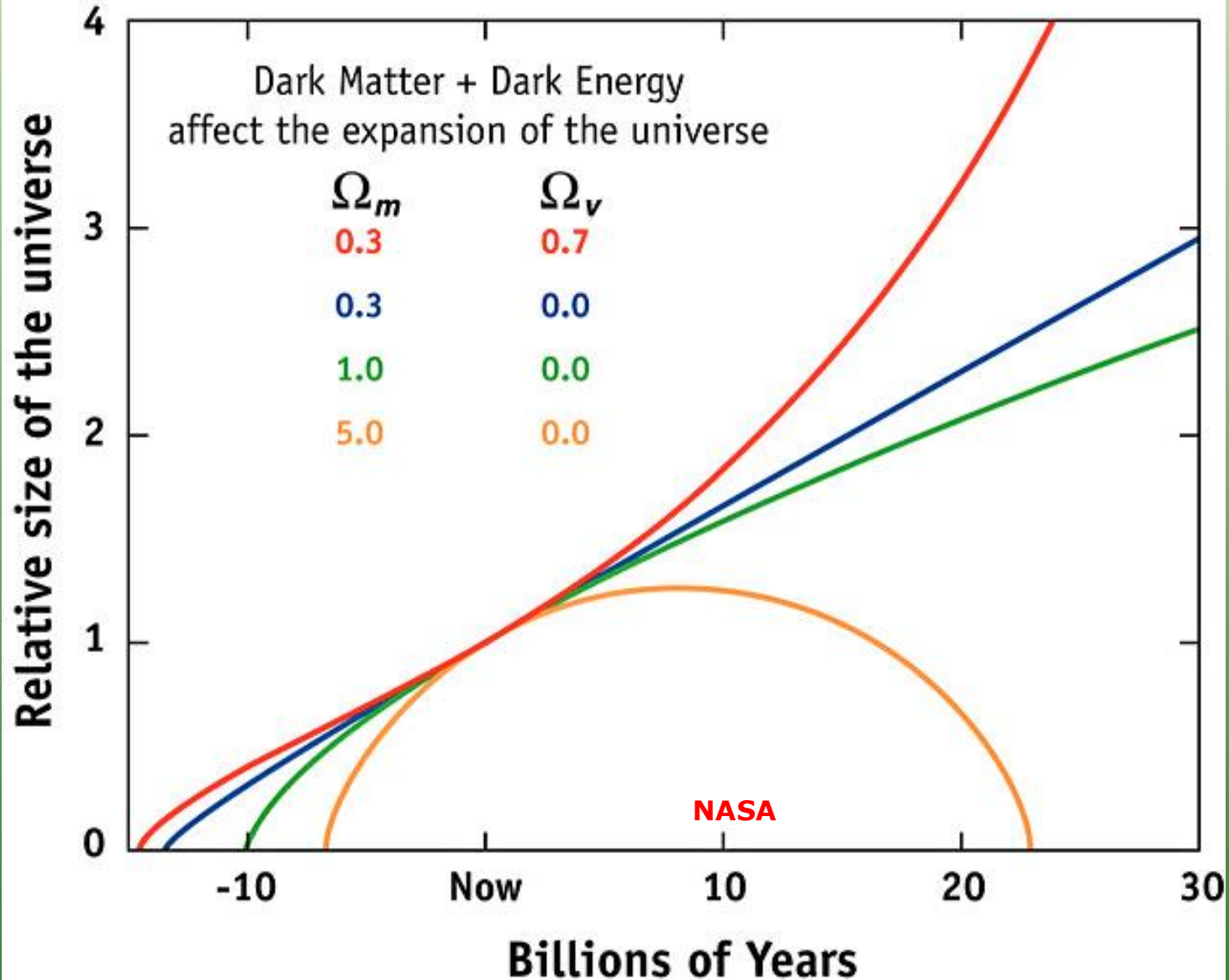
# 12.5. Cosmología de concordancia

Parameter	Age of the universe (Gy)	Hubble's constant ( $\text{km}/\text{Mpc}\cdot\text{s}$ )	Physical baryon density	Physical cold dark matter density	Dark energy density	Density fluctuations at $8h^{-1}$ Mpc	Scalar spectral index	Reionization optical depth
Symbol	$t_0$	$H_0$	$\Omega_b h^2$	$\Omega_c h^2$	$\Omega_\Lambda$	$\sigma_8$	$n_s$	$\tau$
Planck Best fit	13.819	67.11	0.022068	0.12029	0.6825	0.8344	0.9624	0.0925
Planck 68% limits	$13.813 \pm 0.058$	$67.4 \pm 1.4$	$0.022\ 07 \pm 0.000\ 33$	$0.1196 \pm 0.0031$	$0.686 \pm 0.020$	$0.834 \pm 0.027$	$0.9616 \pm 0.0094$	$0.097 \pm 0.038$
Planck+lensing Best fit	13.784	68.14	0.022242	0.11805	0.6964	0.8285	0.9675	0.0949
Planck+lensing 68% limits	$13.796 \pm 0.058$	$67.9 \pm 1.5$	$0.022\ 17 \pm 0.000\ 33$	$0.1186 \pm 0.0031$	$0.693 \pm 0.019$	$0.823 \pm 0.018$	$0.9635 \pm 0.0094$	$0.089 \pm 0.032$
Planck+WP Best fit	13.8242	67.04	0.022032	0.12038	0.6817	0.8347	0.9619	0.0925
Planck+WP 68% limits	$13.817 \pm 0.048$	$67.3 \pm 1.2$	$0.022\ 05 \pm 0.000\ 28$	$0.1199 \pm 0.0027$	$0.685^{+0.018}_{-0.016}$	$0.829 \pm 0.012$	$0.9603 \pm 0.0073$	$0.089^{+0.012}_{-0.014}$
Planck+WP +HighL Best fit	13.8170	67.15	0.022069	0.12025	0.6830	0.8322	0.9582	0.0927
Planck+WP +HighL 68% limits	$13.813 \pm 0.047$	$67.3 \pm 1.2$	$0.022\ 07 \pm 0.000\ 27$	$0.1198 \pm 0.0026$	$0.685^{+0.017}_{-0.016}$	$0.828 \pm 0.012$	$0.9585 \pm 0.0070$	$0.091^{+0.013}_{-0.014}$
Planck+lensing +WP+highL Best fit	13.7914	67.94	0.022199	0.11847	0.6939	0.8271	0.9624	0.0943
Planck+lensing +WP+highL 68% limits	$13.794 \pm 0.044$	$67.9 \pm 1.0$	$0.022\ 18 \pm 0.000\ 26$	$0.1186 \pm 0.0022$	$0.693 \pm 0.013$	$0.8233 \pm 0.0097$	$0.9614 \pm 0.0063$	$0.090^{+0.013}_{-0.014}$
Planck+WP +highL+BAO Best fit	13.7965	67.77	0.022161	0.11889	0.6914	0.8288	0.9611	0.0952



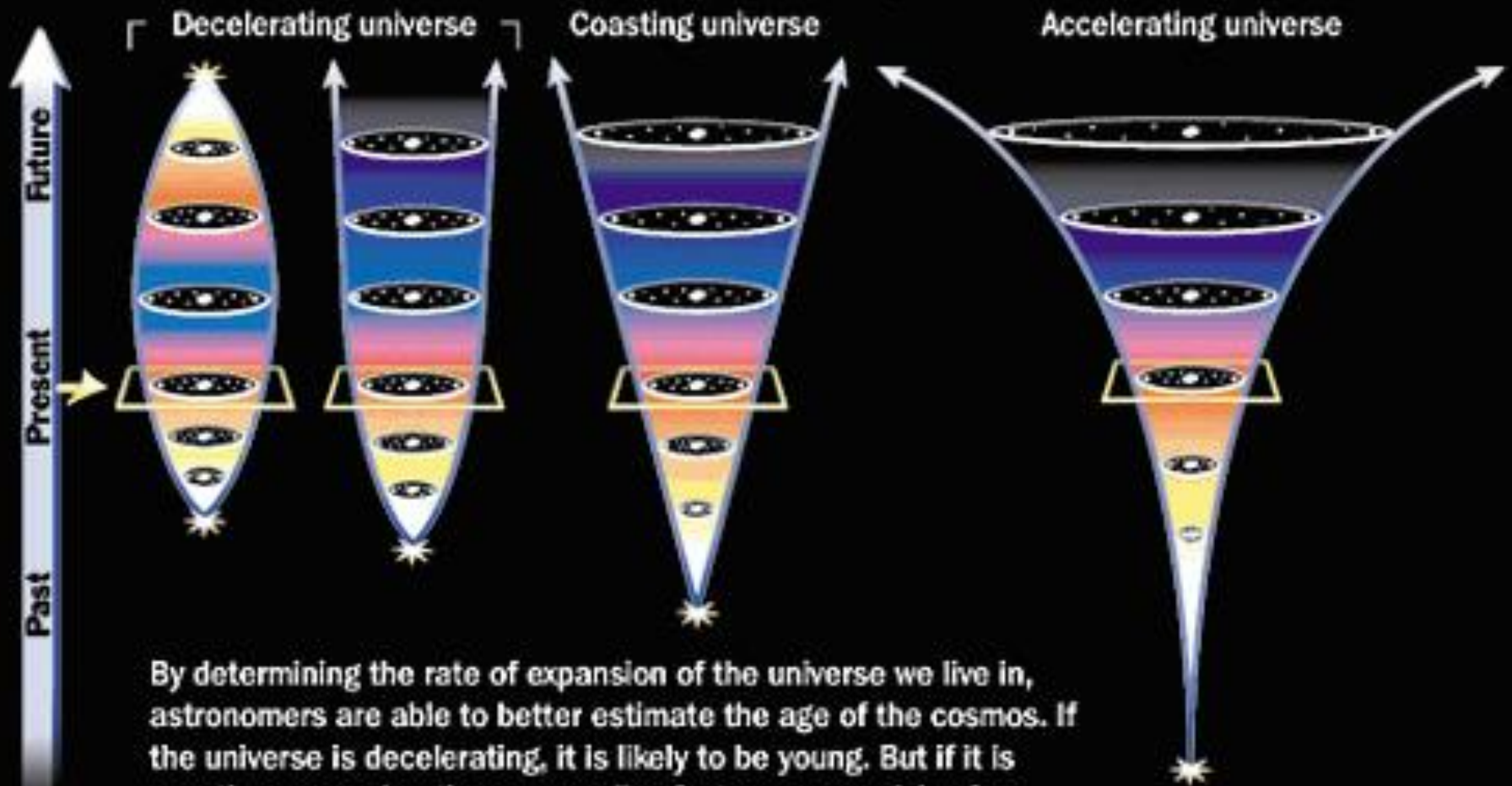
# 12.5. Cosmología de concordancia

## EXPANSION OF THE UNIVERSE



# 12.5. Cosmología de concordancia

## Possible models of the expanding universe



By determining the rate of expansion of the universe we live in, astronomers are able to better estimate the age of the cosmos. If the universe is decelerating, it is likely to be young. But if it is coasting or accelerating – expanding faster as a repulsive force pushes galaxies apart – it is probably older.

NASA



# Resumen

- **Bases de los experimentos y medidas que se han hecho hasta la actualidad sobre los parámetros del modelo cosmológico basado en FRW.**
- **Valores encontrados para dichos parámetros.**
- **Cosmología de concordancia: SN Ia y CMB (los 2 experimentos más relevantes).**
- **Implicaciones cosmológicas.**

