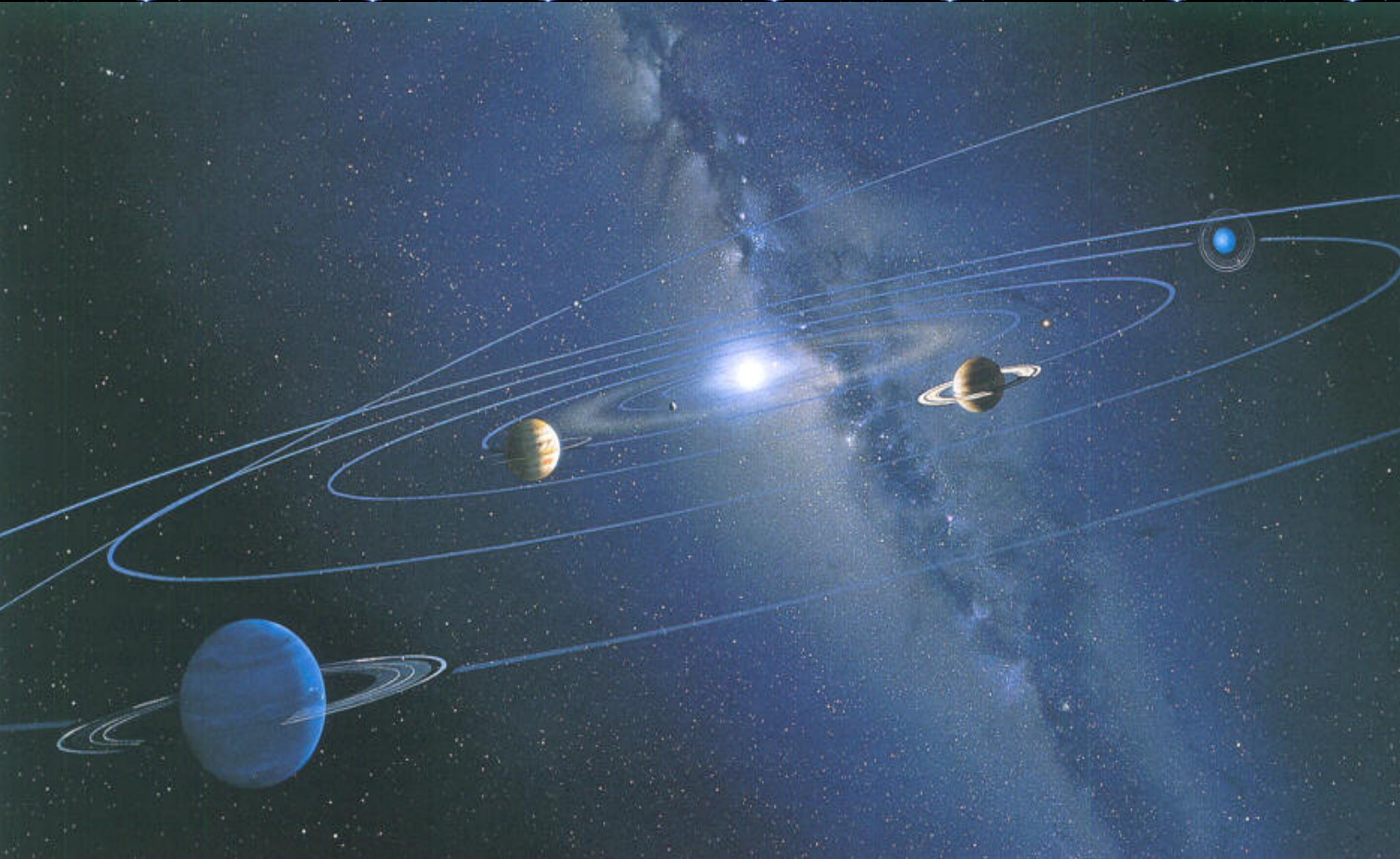


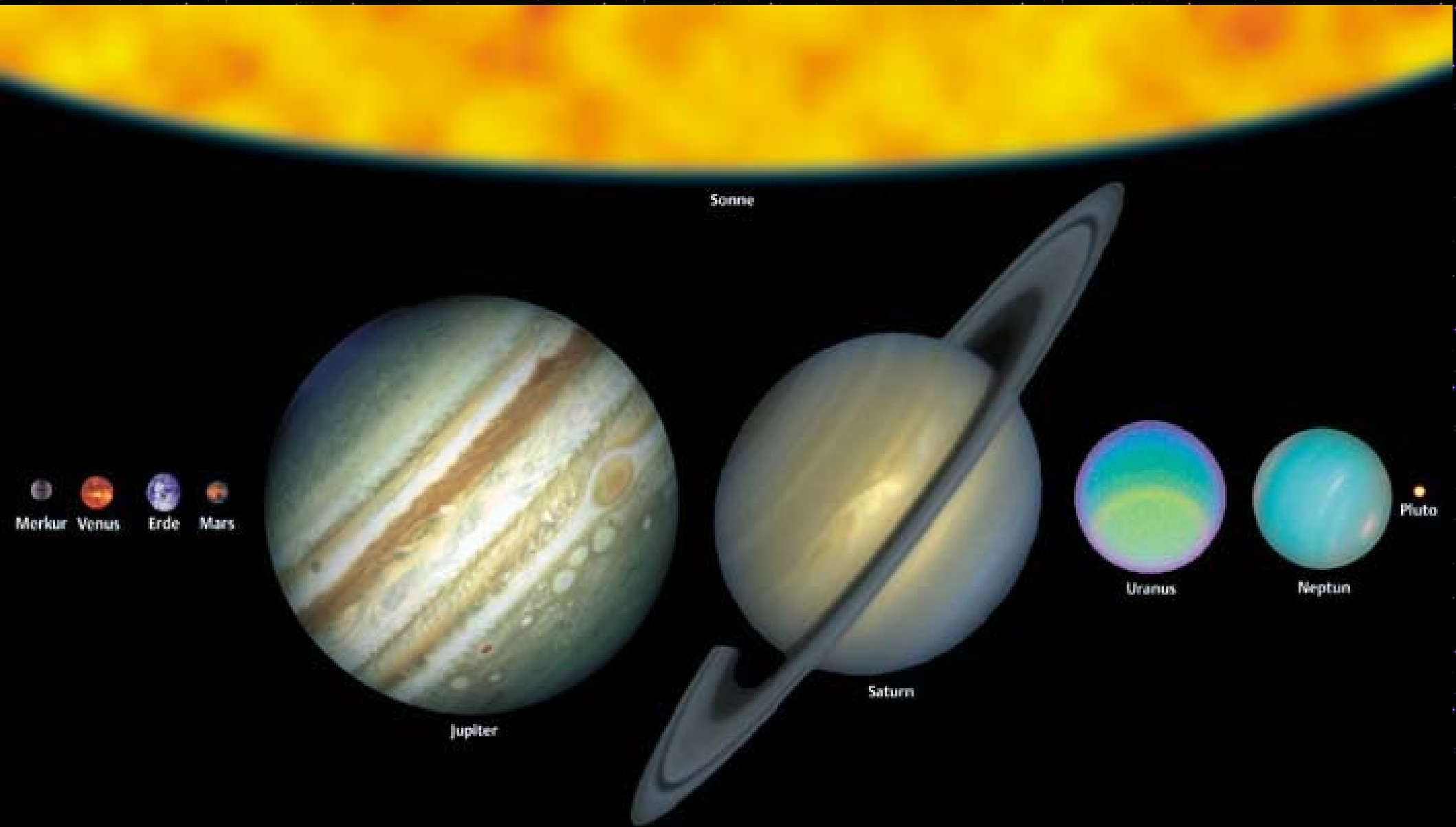


A
táguló
Világegyetem

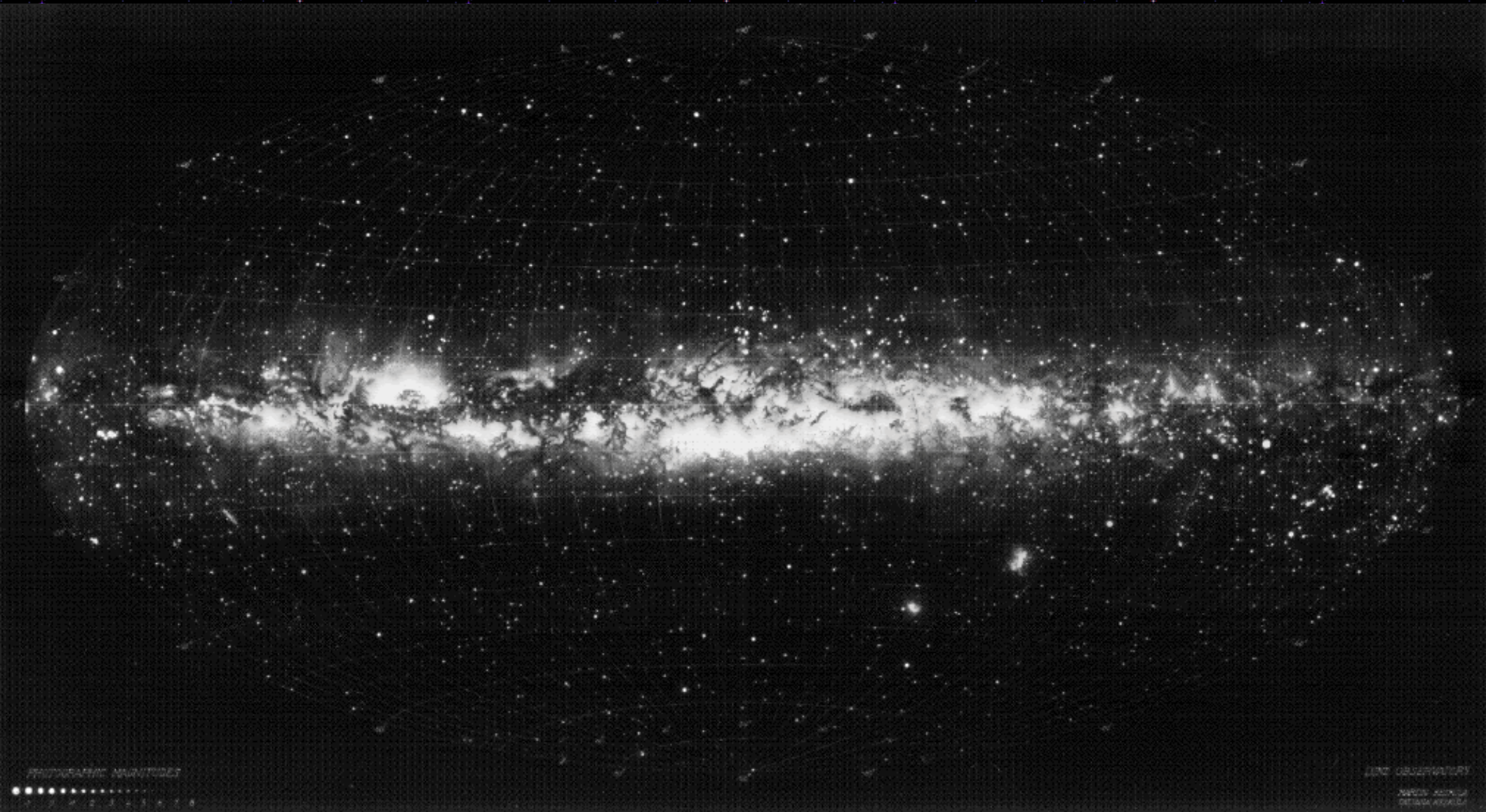
Szűkebb kozmikus környezetünk: a Naprendszer



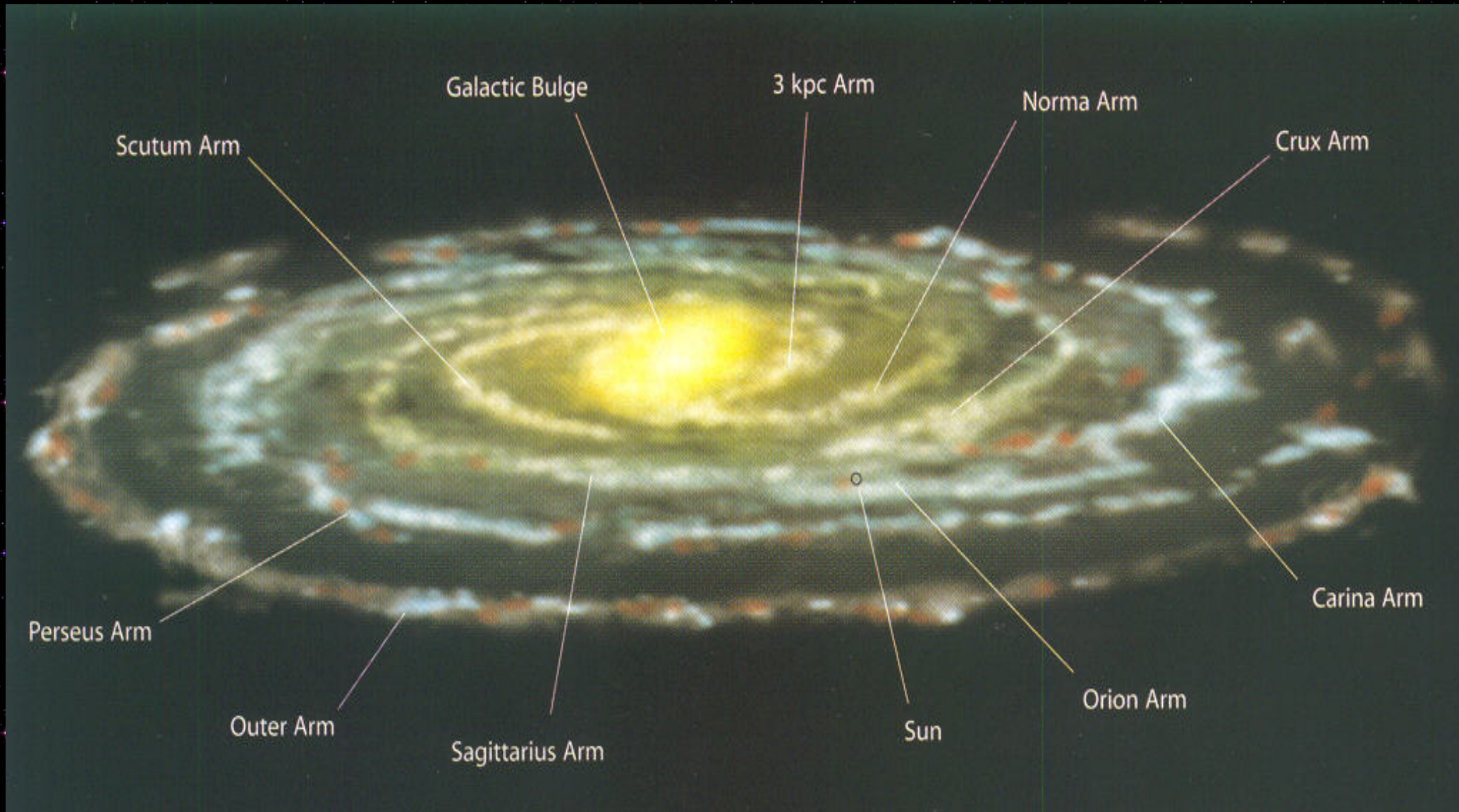
Szűkebb kozmikus környezetünk: a Naprendszer



A Tejútrendszer



A Tejútrendszer



A galaxisok: az Univerzum építőkövei



A galaxisok: az Univerzum építőkövei



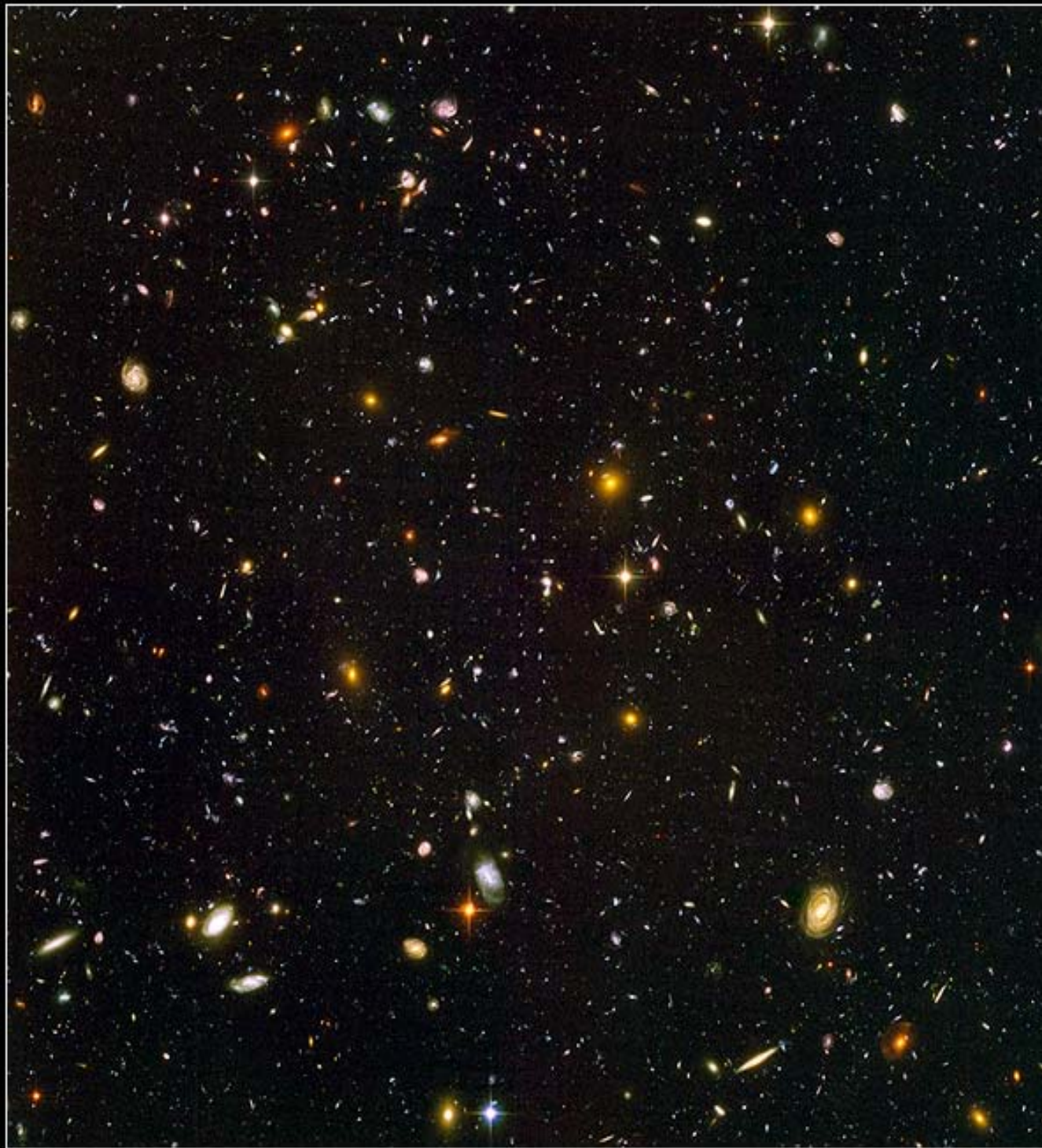
© Anglo-Australian Observatory



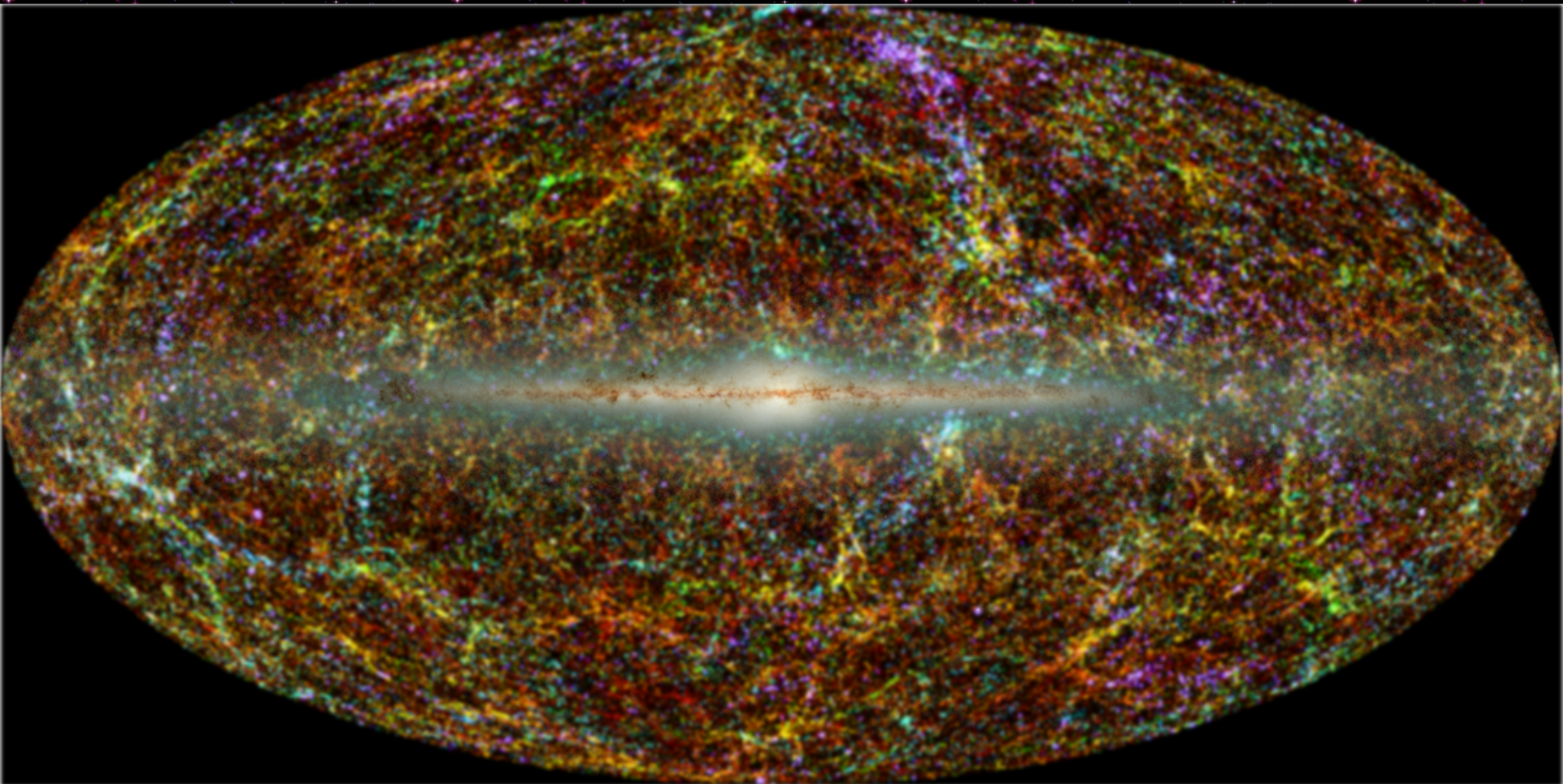
Hubble Deep Field

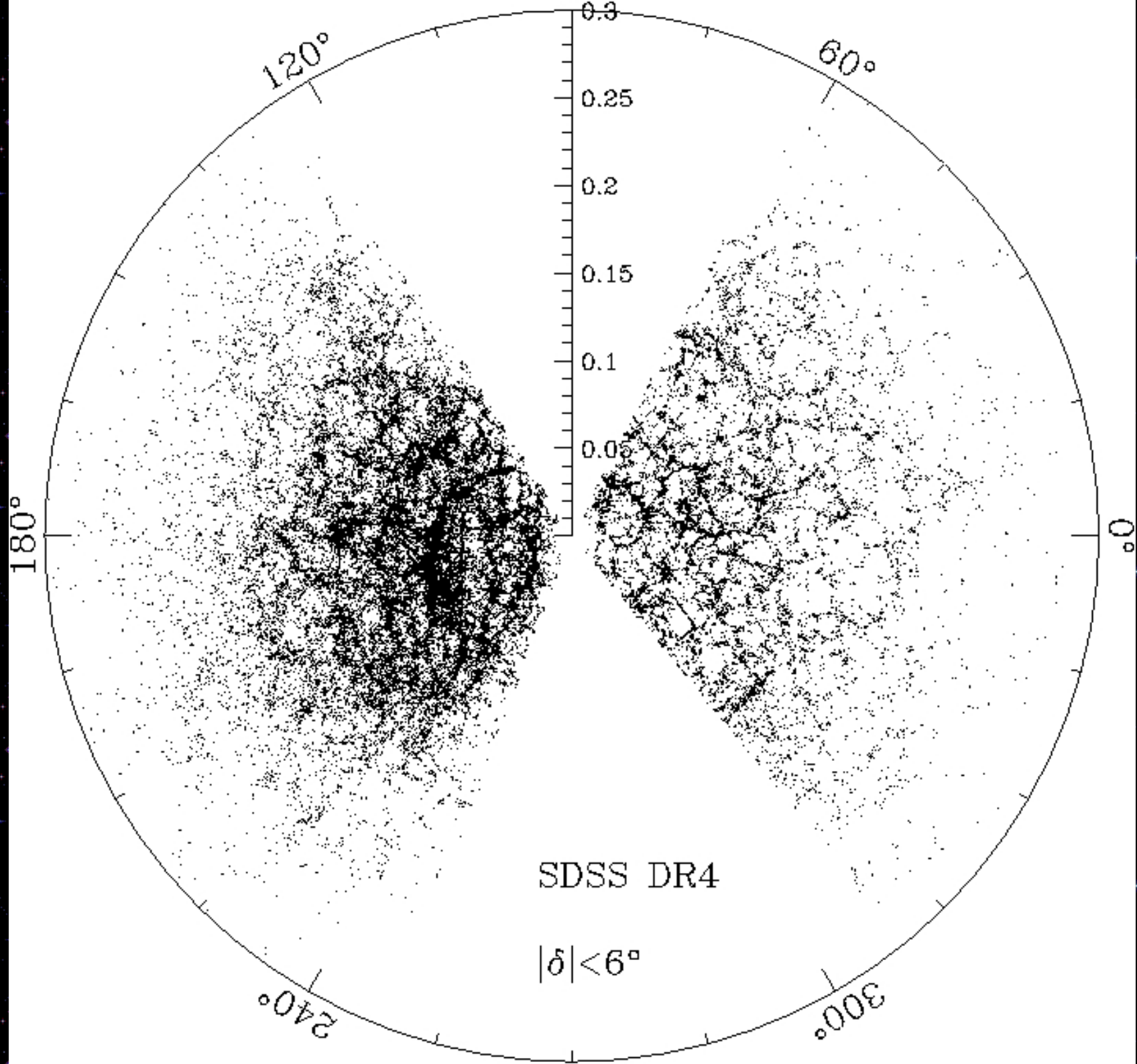
HST WFPC2

ST ScI OPO January 15, 1996 R. Williams and the HDF Team (ST ScI) and NASA



A galaxisok nagyléptékű eloszlása





A vöröseltolódás

minden távoli galaxis színeképe
eltolódott a vörös felé

ok: a Doppler-effektus $z = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$

a galaxisok távolodnak, a Világegyetem tágul

SDSS DR5
 ra: 147.176 dec: -0.354
 scale: 0.0990 arcsec/pix
 image zoom: 16:1

N

5"

E

W

S

SDSS DR5
 ra: 145.365 dec: -0.343
 scale: 0.0990 arcsec/pix
 image zoom: 16:1

N

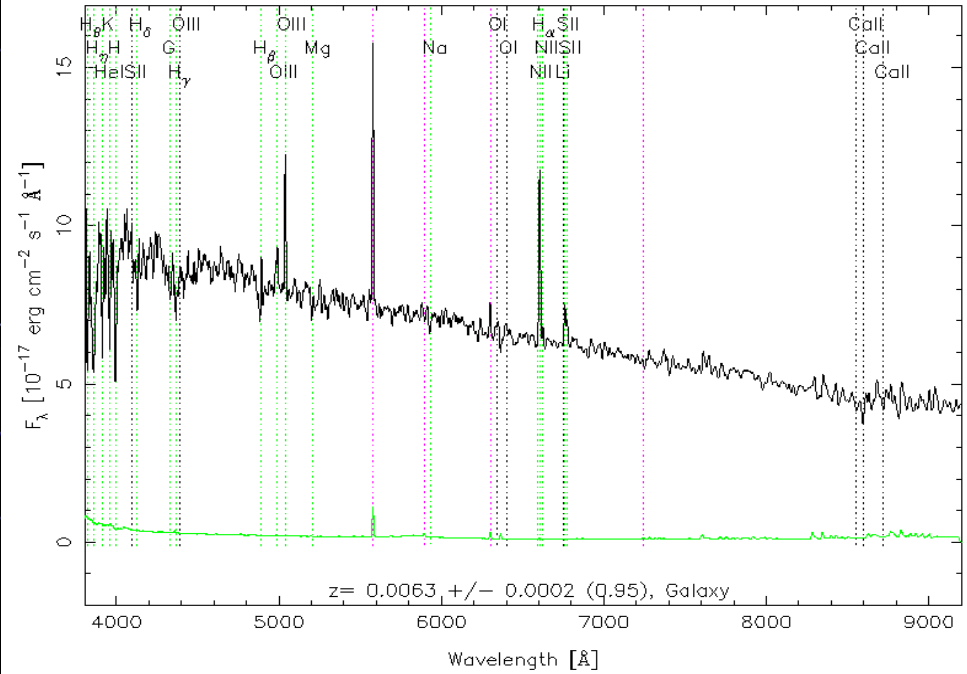
5"

E

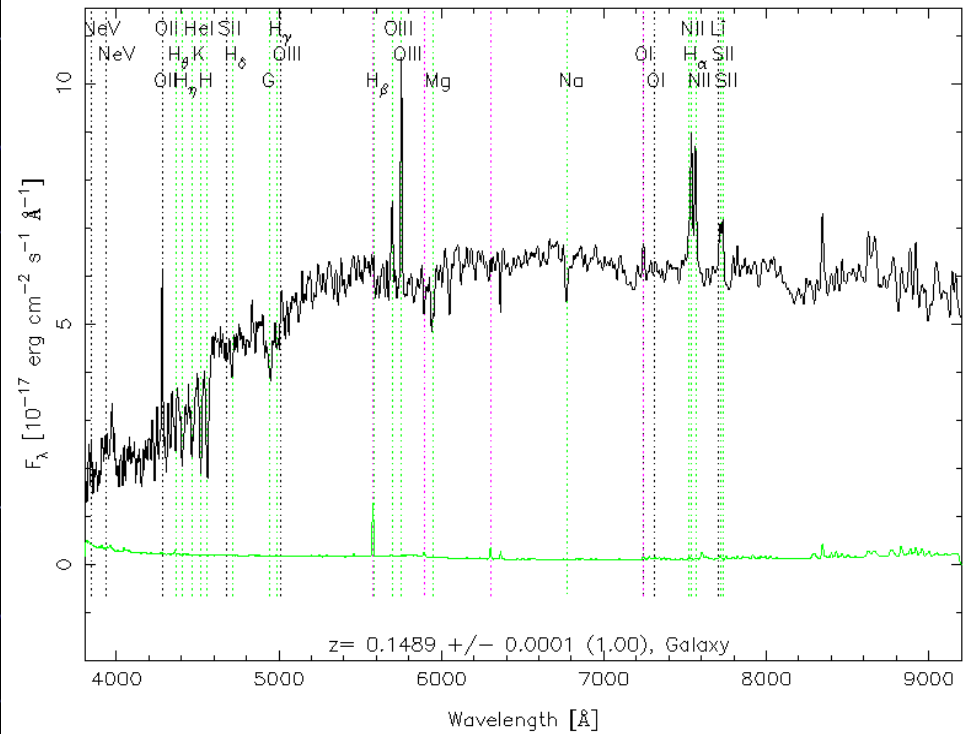
W

S

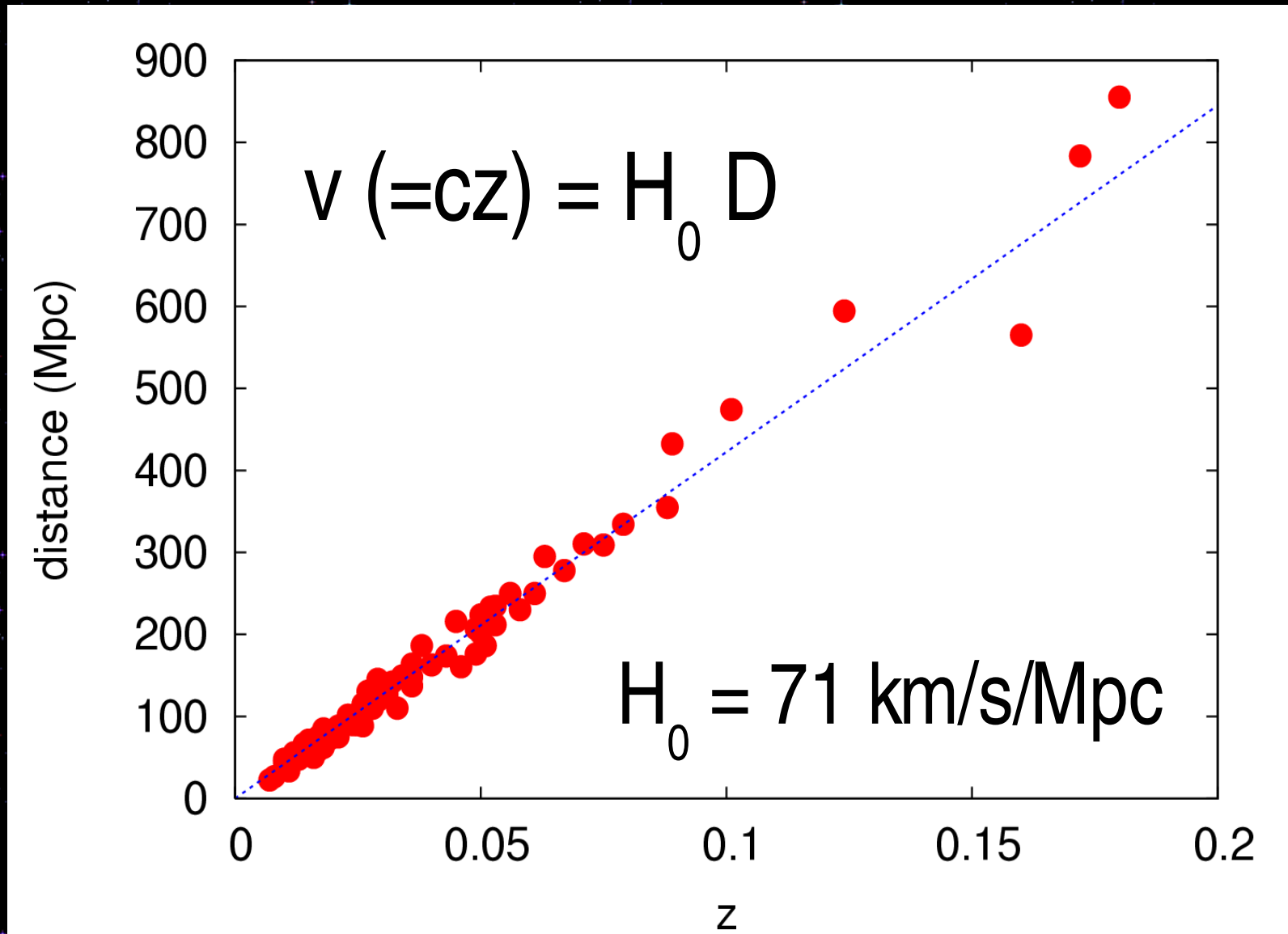
RA=147.17639, DEC=-0.35406, MJD=51630, Plate= 266, Fiber= 27



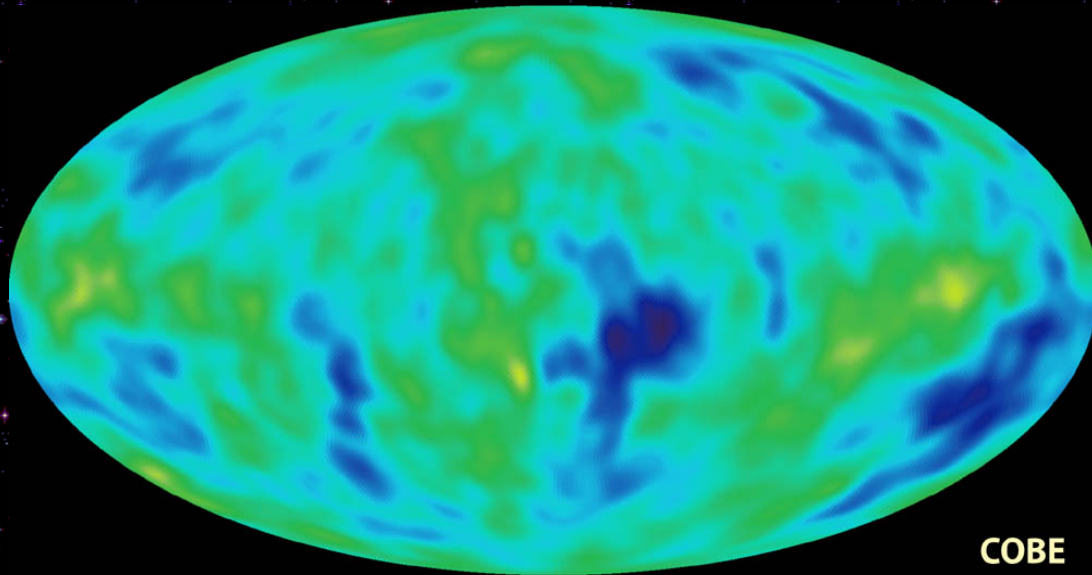
RA=145.36478, DEC=-0.34279, MJD=51630, Plate= 266, Fiber=264



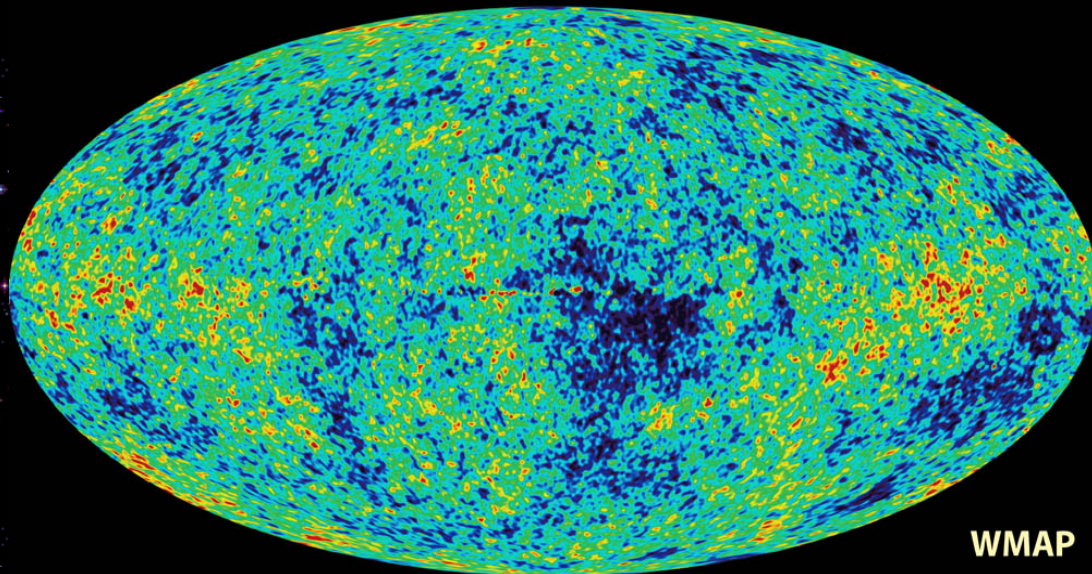
A Hubble-törvény



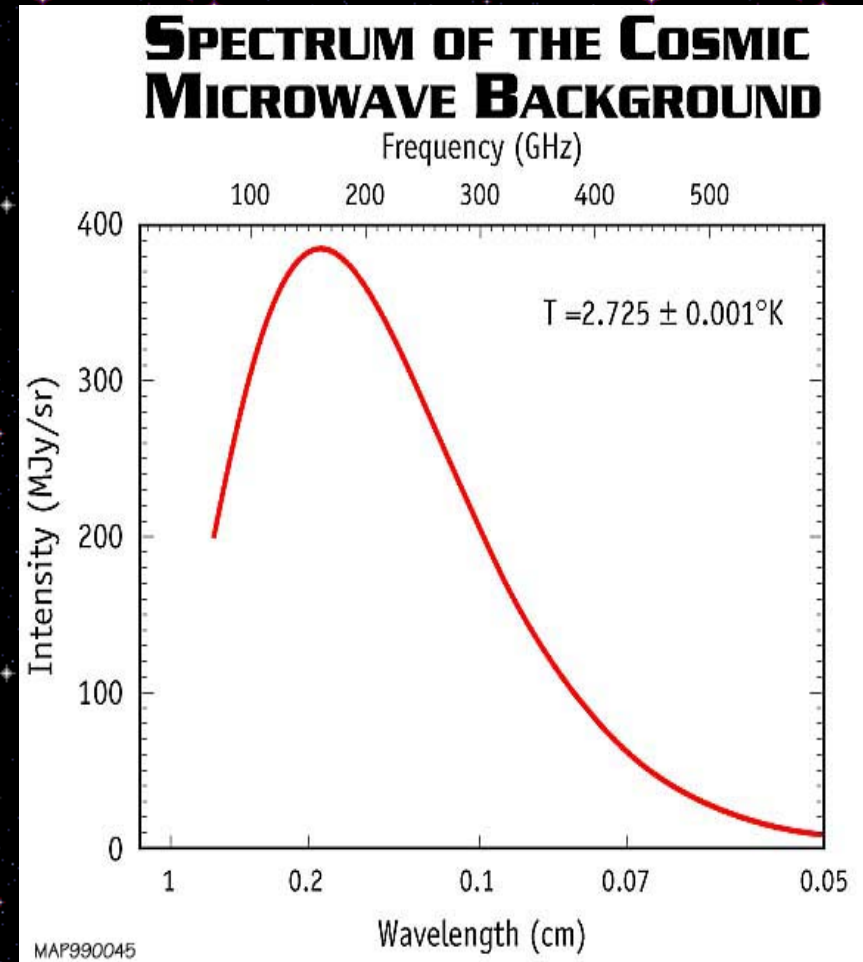
A kozmikus háttérsugárzás



COBE

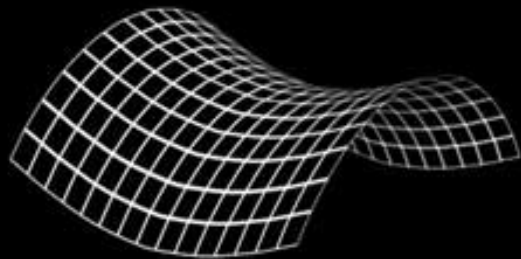
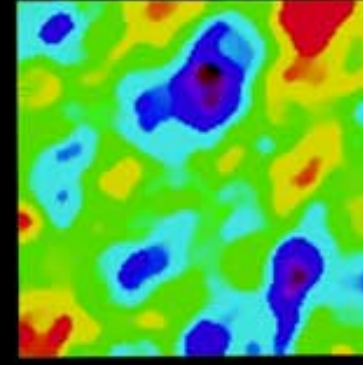
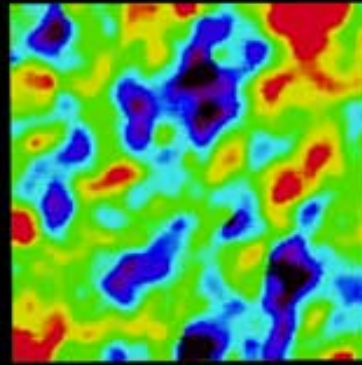
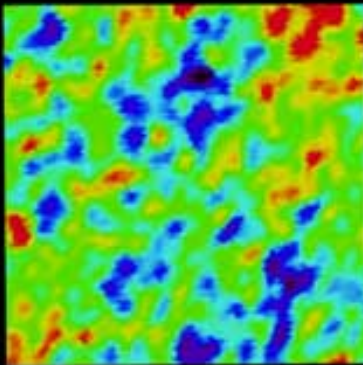


WMAP



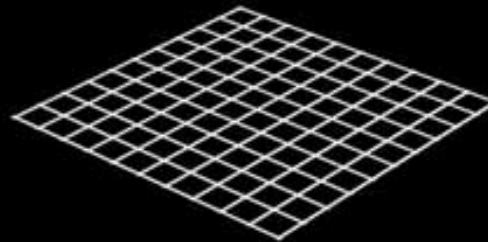
A háttérsugárzás fluktuációi

GEOMETRY OF THE UNIVERSE



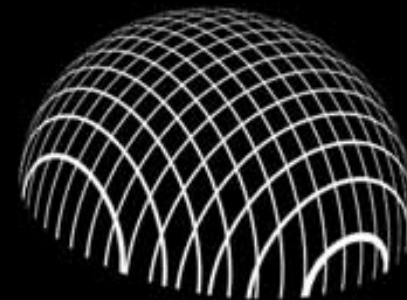
OPEN

Fluctuations largest on half-degree scale



FLAT

Fluctuations largest on
1-degree scale



CLOSED

Fluctuations largest on
greater than 1-degree scale

Tapasztalati alapelvek:

1. az Univerzum homogén és izotrop
("kozmológiai elv")

2. az Univerzum tágul (E. Hubble, 1929)

$$v = H_0 * d \quad (H_0 = 71 \text{ km/s/Mpc})$$

A táguló Univerzum

$$\frac{1}{2} v^2 - \frac{G M(r)}{r} = \frac{E}{m}$$

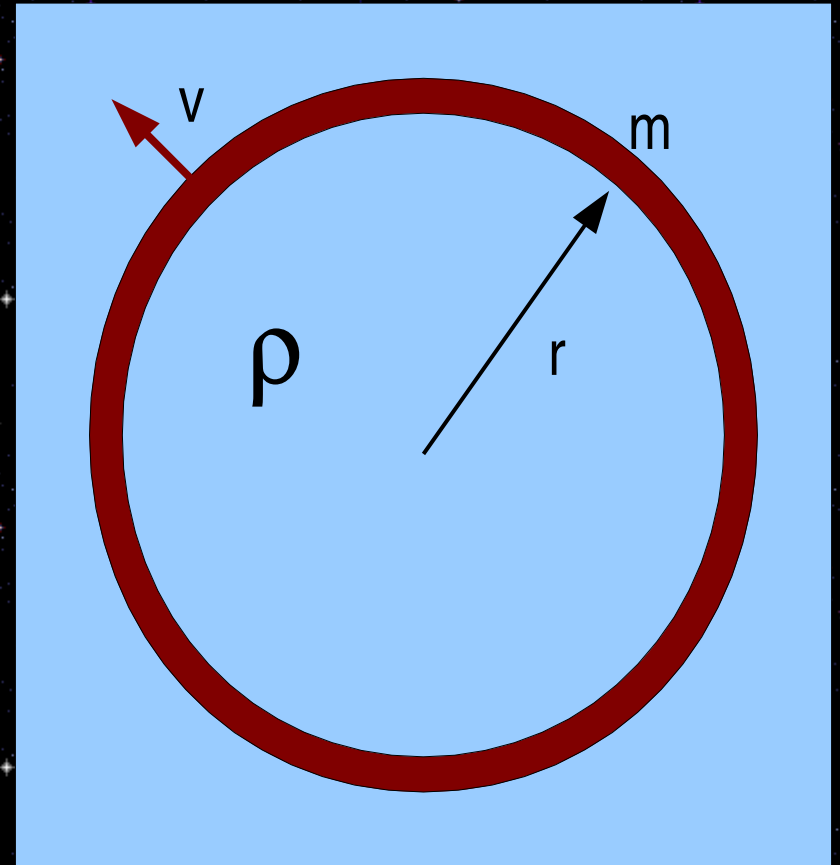
$$v^2 - \frac{8\pi}{3} G \rho r^2 = \frac{2E}{m}$$

Együttmozgó koordináta:

$$r(t) = a(t) \cdot r_0$$

Friedmann-egyenlet:

$$\left[\left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 - \frac{8\pi}{3} G \rho \right] a^2 = \frac{2E}{r_0^2} = -k c^2$$



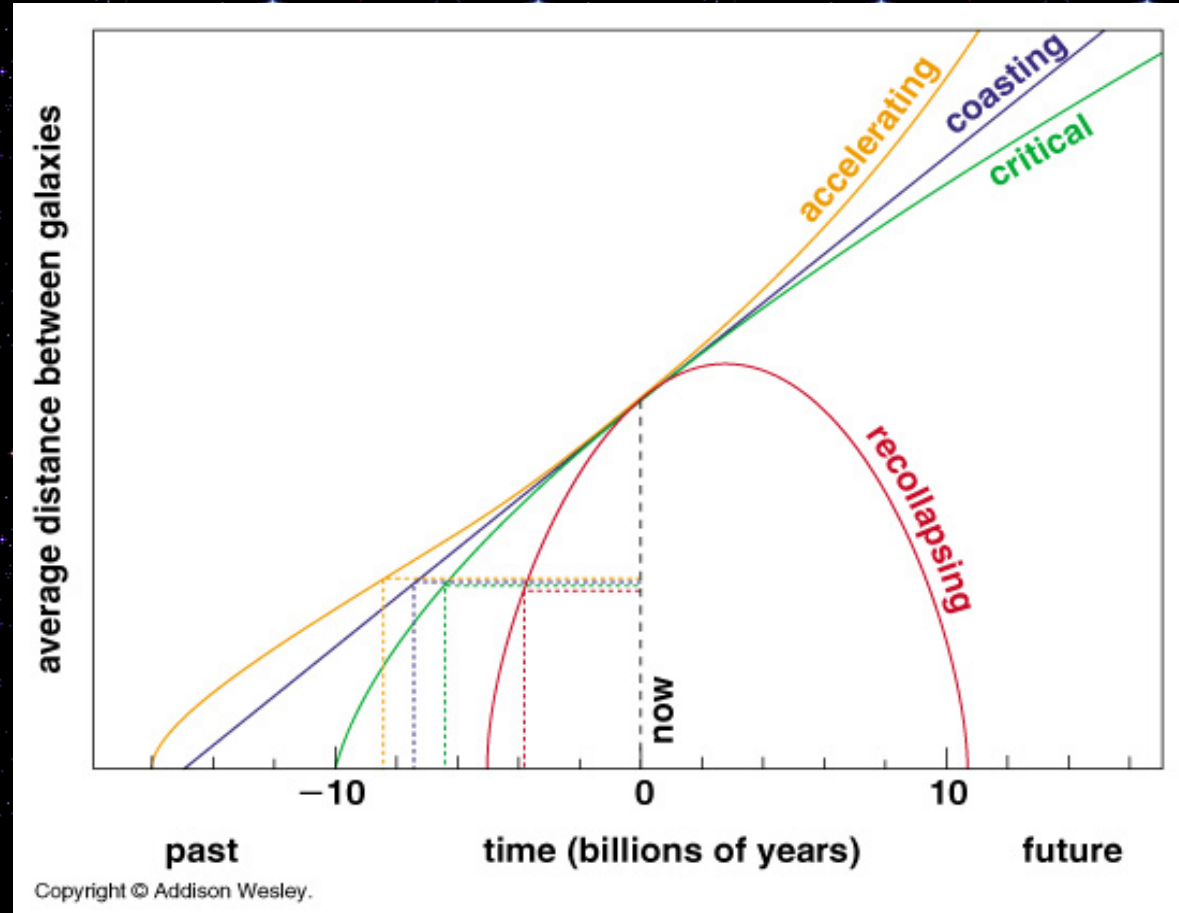
A kritikus sűrűség

Sík Univerzum: $k=0$

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = H^2 = \frac{8\pi}{3} G \rho$$

Kritikus sűrűség:

$$\rho_c = \frac{3}{8\pi} \frac{H^2}{G}$$



Sűrűség-paraméter:

$$\Omega = \frac{\rho}{\rho_c}$$

Gyorsuló tágulás

A lassulási egyenlet:

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi}{3}G\rho$$

Kozmológiai állandó (Einstein):

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

Sötét energia:

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi}{3}G[\rho_m + \rho_D(1+3w_D)]$$

A sötét energia sűrűségparamétere:

$$\Omega_\Lambda = \frac{\rho_D(1+3w_D)}{3H^2/8\pi G} = \frac{\Lambda}{3H^2}$$

Távolságmérés a táguló Univerzumban

Távoli objektum vöröseltolódása:

$$z = \Delta\lambda/\lambda \Rightarrow a = \frac{1}{(z+1)}$$

Koordináta-távolság:

$$r_0 = \int_0^z \frac{c}{H(z)} dz = r_0(z, \Omega_m, \Omega_\Lambda)$$

Luminozitás-távolság:

$$f = \frac{L}{4\pi D_L^2} = \frac{L}{4\pi r_0^2 (1+z)^2} \Rightarrow D_L = r_0(1+z)$$

Speciális esetek

Einstein-de Sitter univerzum:

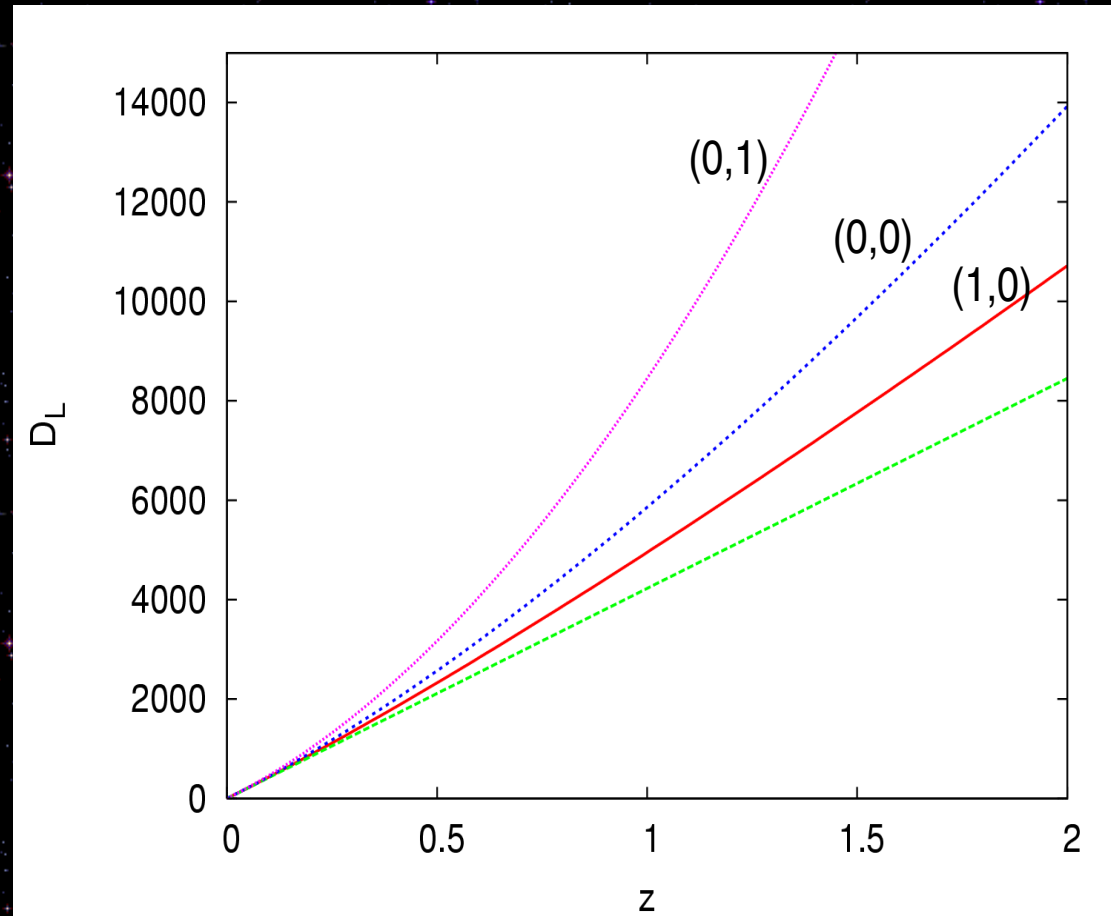
$$D_L = \frac{2c}{H_0} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1+z}} \right)$$

Üres univerzum:

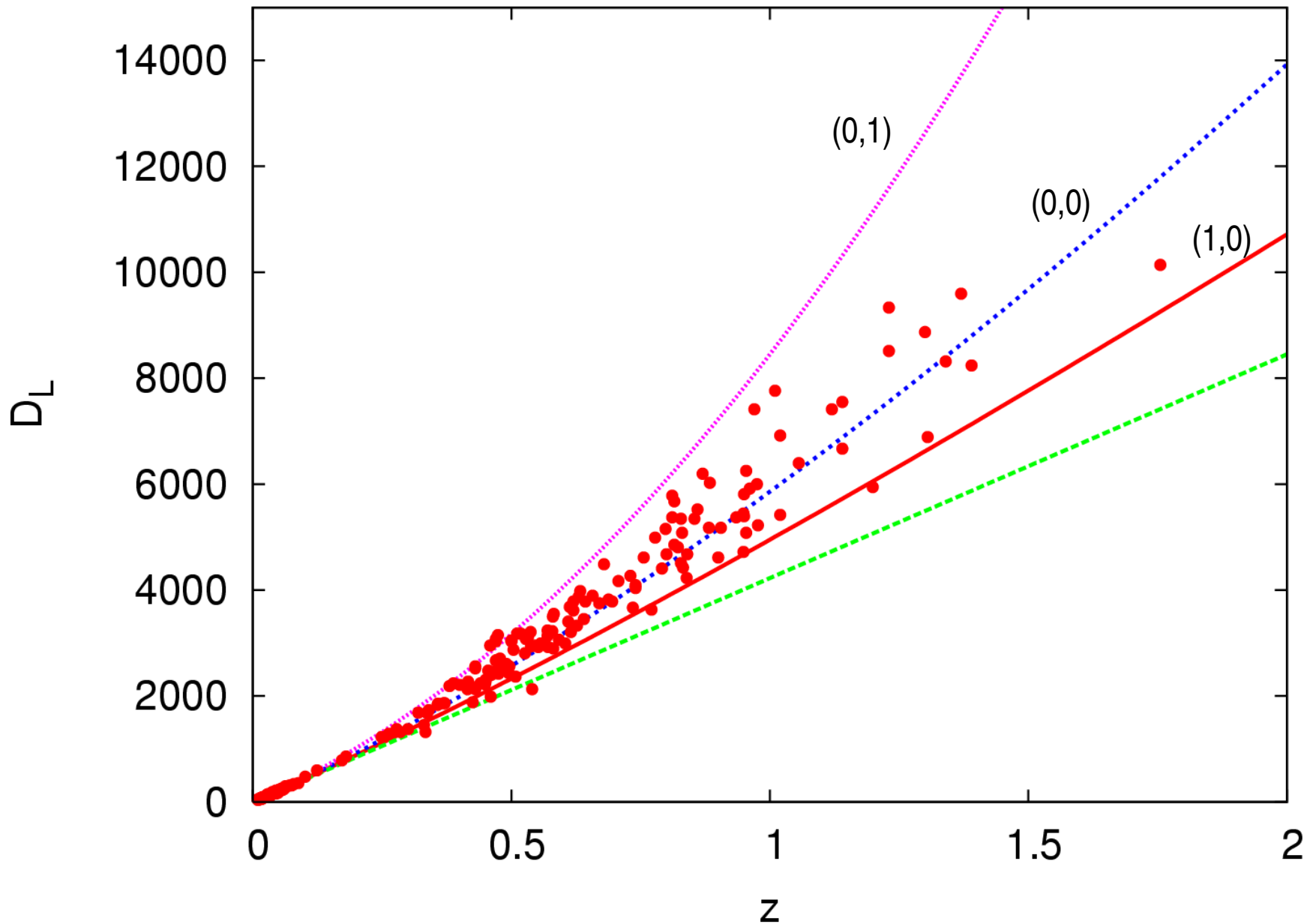
$$D_L = \frac{c}{H_0} (1+z) \ln(1+z)$$

Csak sötét energia:

$$D_L = \frac{c}{H_0} z(1+z)$$



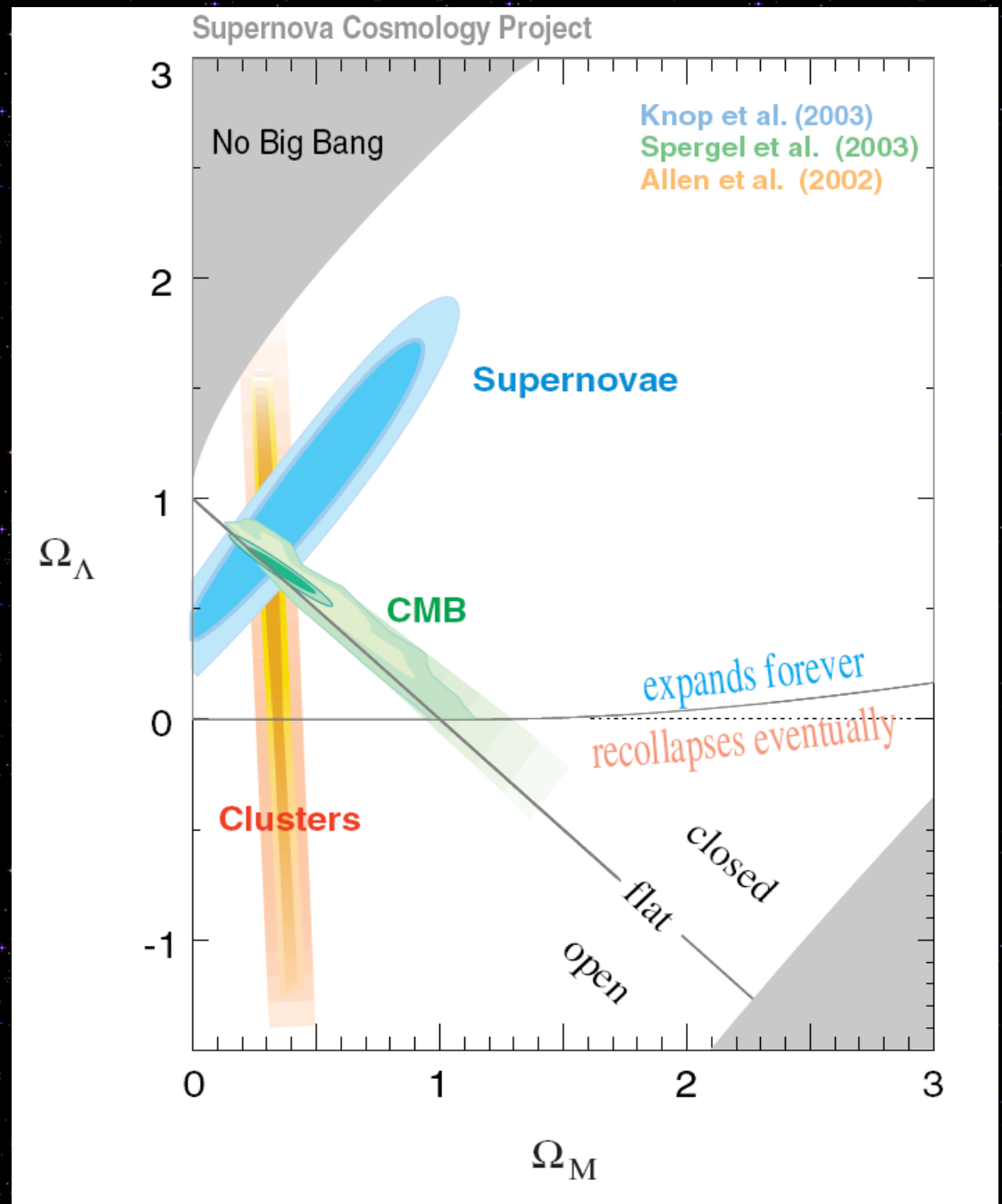
Ia-típusú szupernóvák távolsága



Ia-típusú szupernóvák távolsága

Legjobban illeszkedő megoldás:

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



Ia-típusú szupernóvák távolsága

"Standard gyertya" - módszer:

ismert (azonos) abszolút fényességű objektumok
látszó fényesség mérése --> D_L

Ia szupernóvák:

felrobbanó fehér törpék ($M \sim M_{Ch}$)

maximális fényességük NEM azonos

DE: a max. fényesség szórása kalibrálható!

1. tapasztalat: fényesebb => lassabban halványodik

2. tapasztalat: fényesebb => maximumban kékebb

Konklúziók

1. A mérési adatokból úgy tűnik, az Univerzum tágulása jelenleg gyorsuló
2. Ezt egy ismeretlen, "antigravitáció-szerű" anyaggal lehet csak megmagyarázni = sötét energia
3. De: a mérési adatok különböző szisztematikus hibákkal terheltek -- ezeket komplikált módon lehet figyelembe venni
4. A lehetséges szisztematikus hibák jelenleg nagyobbak, mint az egyes kozmológiai modellek közti eltérések!