

Struktura na velikoj skali

Milan M. Ćirković

Astronomska opservatorija u Beogradu

Volgina 7, 11160 Beograd

&

Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Novom Sadu

Trg Dositeja Obradovića 4, 21000 Novi Sad

e-mail: mcirkovic@aob.rs

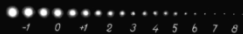
3. 8. 2012.



Kosmos 2015



PHOTOGRAPHIC MAGNITUDES



-1 0 1 2 3 4 5 6 7 8

LUND OBSERVATORY

MAITTY KESKOLA
TATJANA KESKOLA

Kosmologiija
2015



“Carstvo galaksija” (Habl 1936)

Coelum
Astronomia

The Giant Elliptical Galaxy Messier 87 by



Whirlpool Galaxy • M51

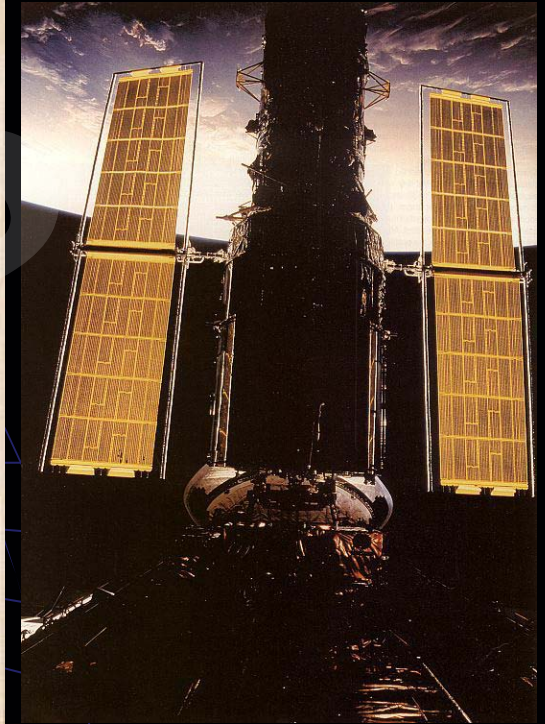
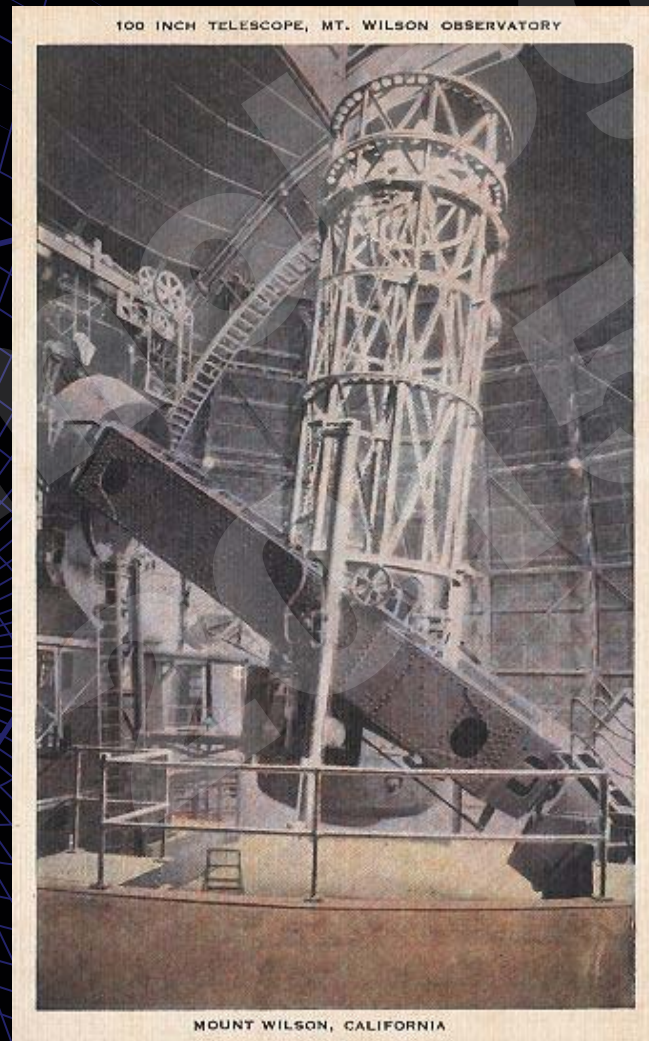


Hubble
Heritage

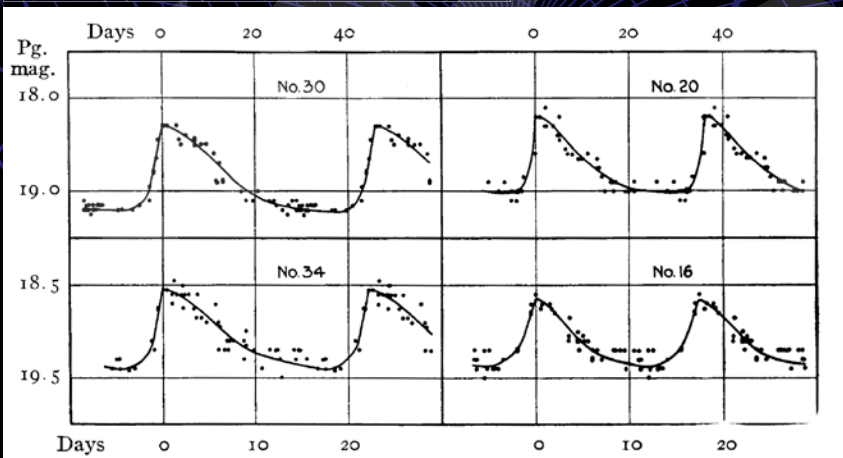
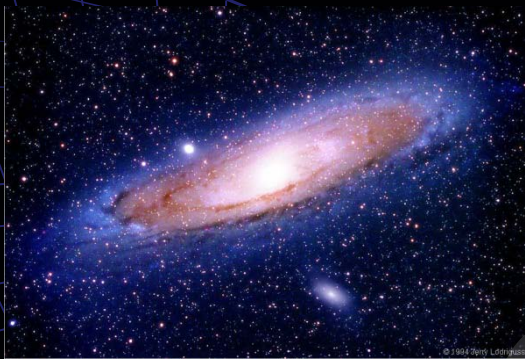
NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)
Hubble Space Telescope WFC2 • STScI-PRC01-07

© CHT

Habl – čovek, legenda i dva teleskopa



Otkriće svemira van Mlečnog puta...



- Realnost “ostrvskih svemira” osporavana sve do 1924!
- Otkrićem Cefeida u M31 i M33, 5-8. februara 1924, Hابل bio u prilici da ustanovi njenu udaljenost.
- Dobijena vrednost od oko 1000000 svetlosnih godina ukazala da se radi o drugoj galaksiji.
- Od 1. januara 1925, svemir i “zvanično” milionima puta veći no ranije!

...pre otkrića širenja svemira

- 1929: Hابل objavljuje sistematski crveni pomak skoro svih “vangalaktičkih maglina”.

- $V = H_0 \times D$ (?)

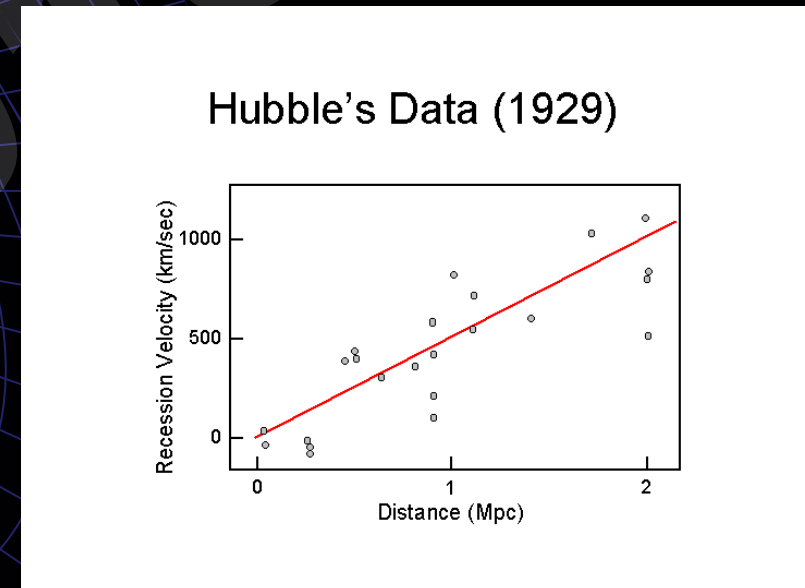
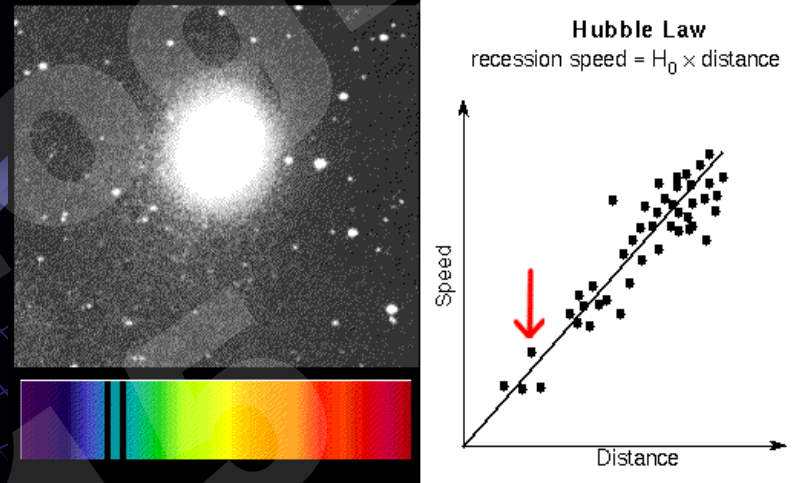
- Koliko u nauci vredi intuicija?

- 1931: Hابل i Hjumason objavljuju popraavljen uzorak od preko stotinu galaksija.

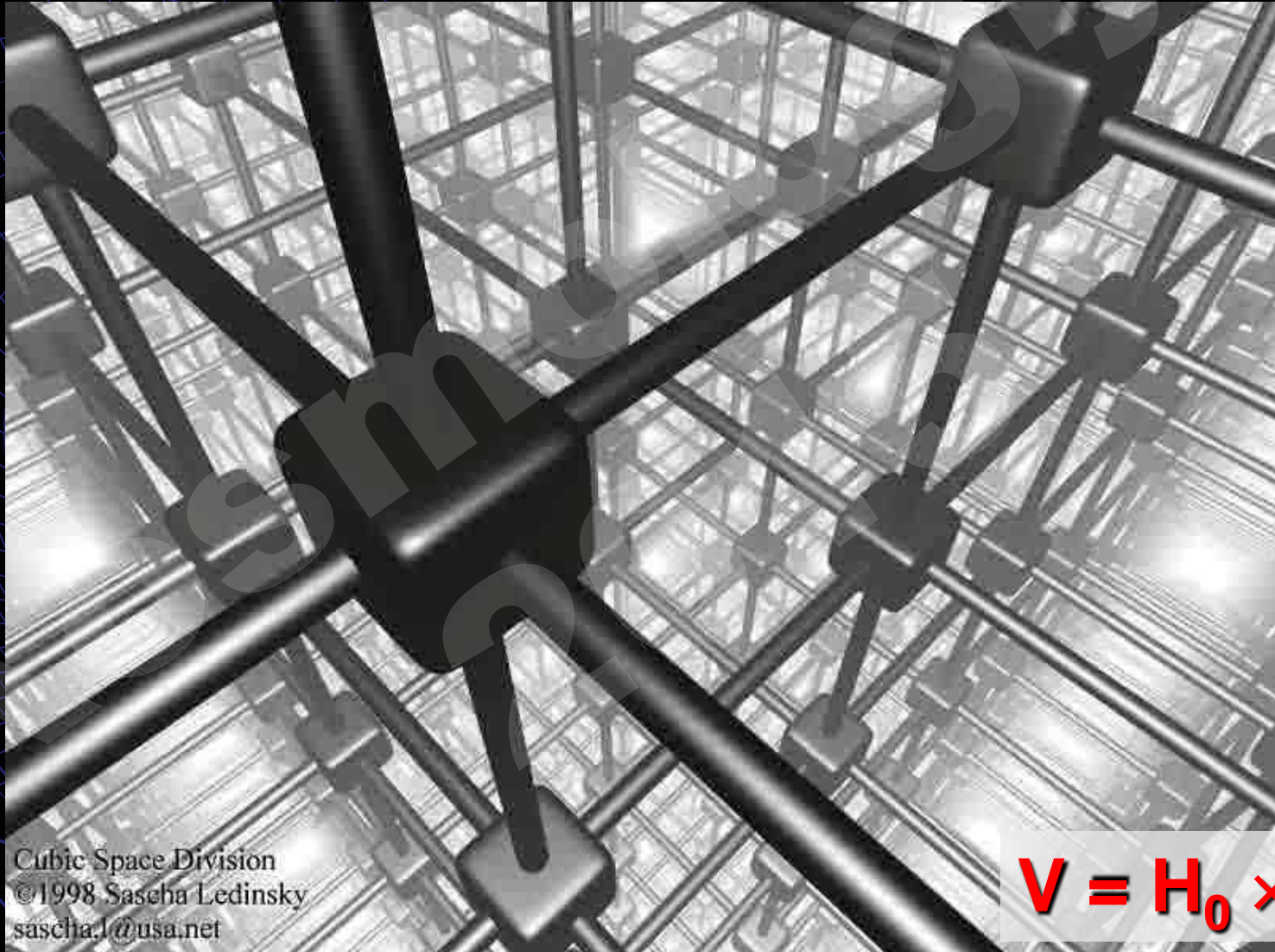
- $V = H_0 \times D$ (!!!)

- $H_0 = 526 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$
(veeeeeeoma pogrešno!)

- $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$



Escher i Hubblev zakon...

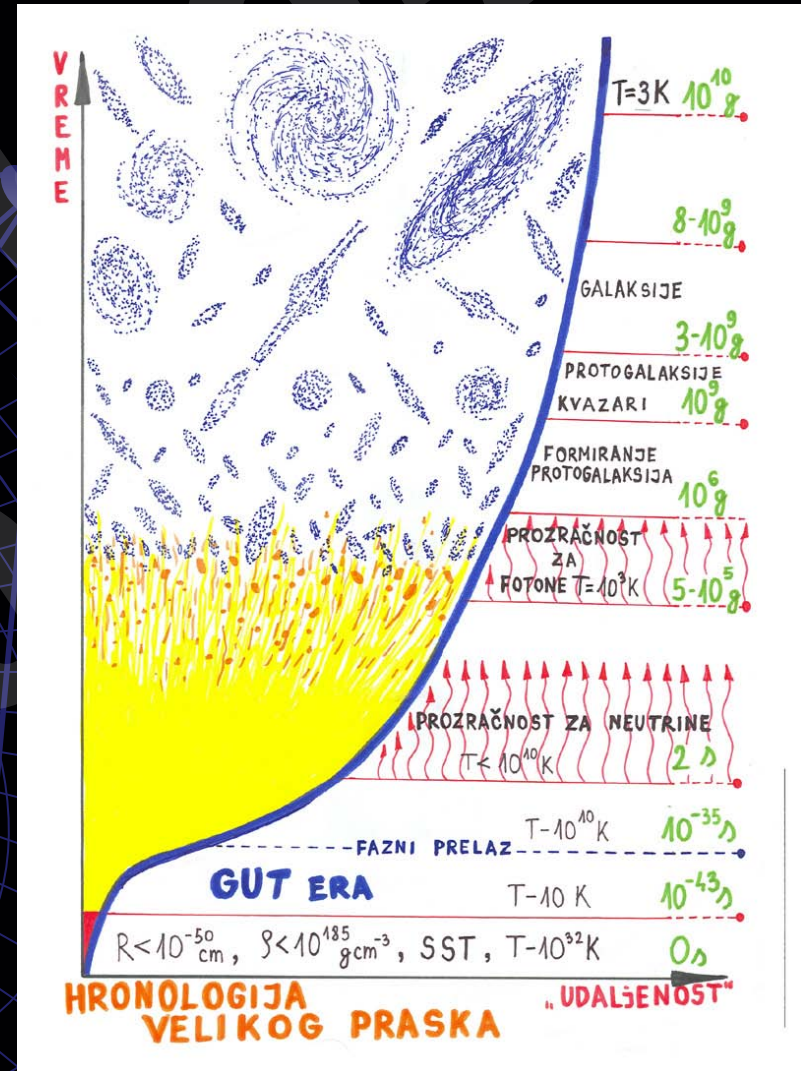
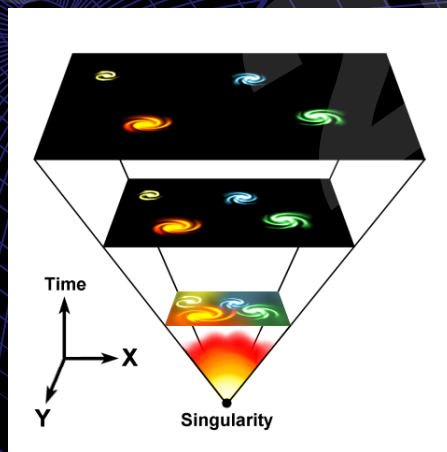
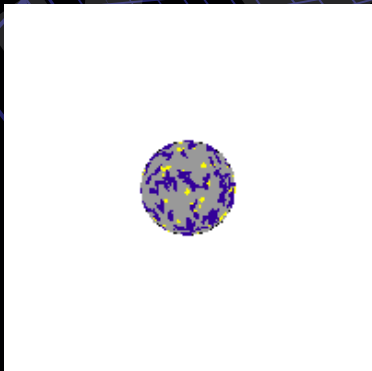


Cubic Space Division
©1998 Sascha Ledinsky
sascha.l@usa.net

$$V = H_0 \times D$$

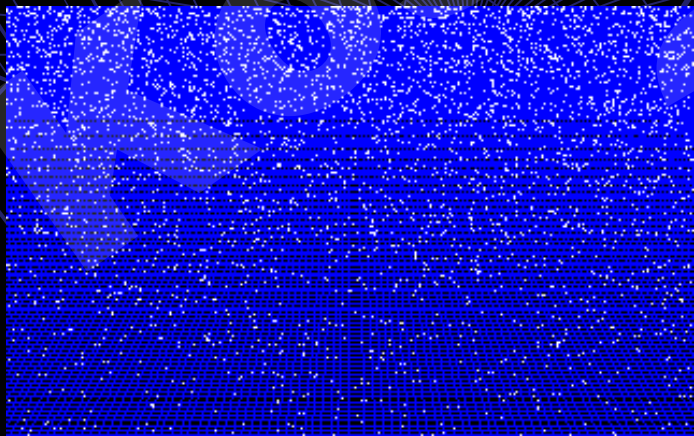
Standardni kosmološki model ("Veliki prasak")

- ◆ Stvaranje paradigme: Fridman, Lemetr, Gamov (1922-1947)
- ◆ Priprihvatanje paradigme: kvazari, CMB (1963-1970)
- ◆ Svemir se širi i hladi → crveni pomak udaljenih izvora
- ◆ **Stvaranje strukture** = glavni događaj u istoriji svemira!

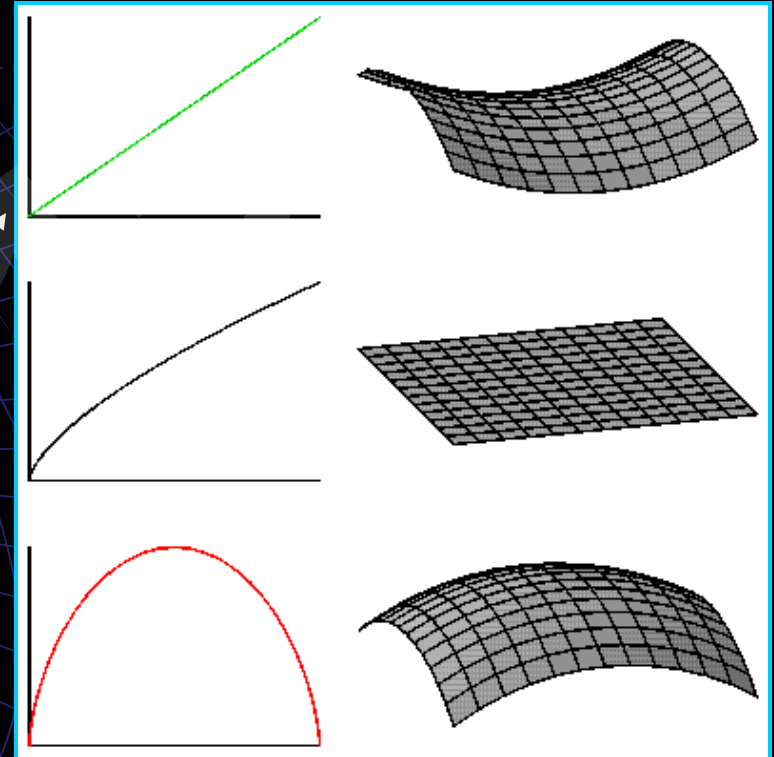
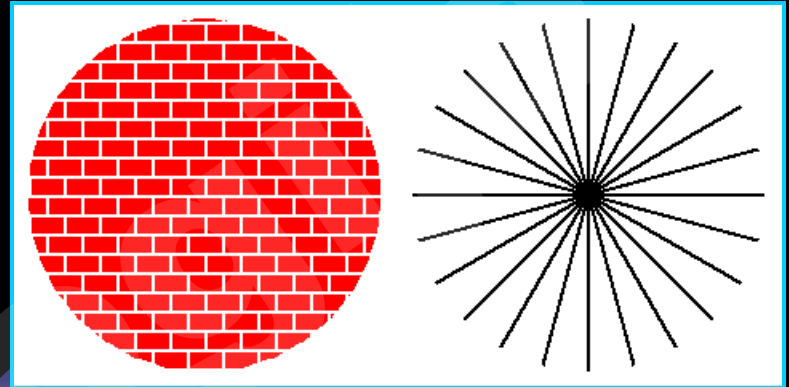


Kosmološki princip (Edington, Miln)

- ◆ Svemir je - na velikim skalama - **homogen i izotropan**
- ◆ Bez kosmološkog principa, rešavanje jednačina OTR je isuviše teško → ne bi bilo savremene kosmologije!

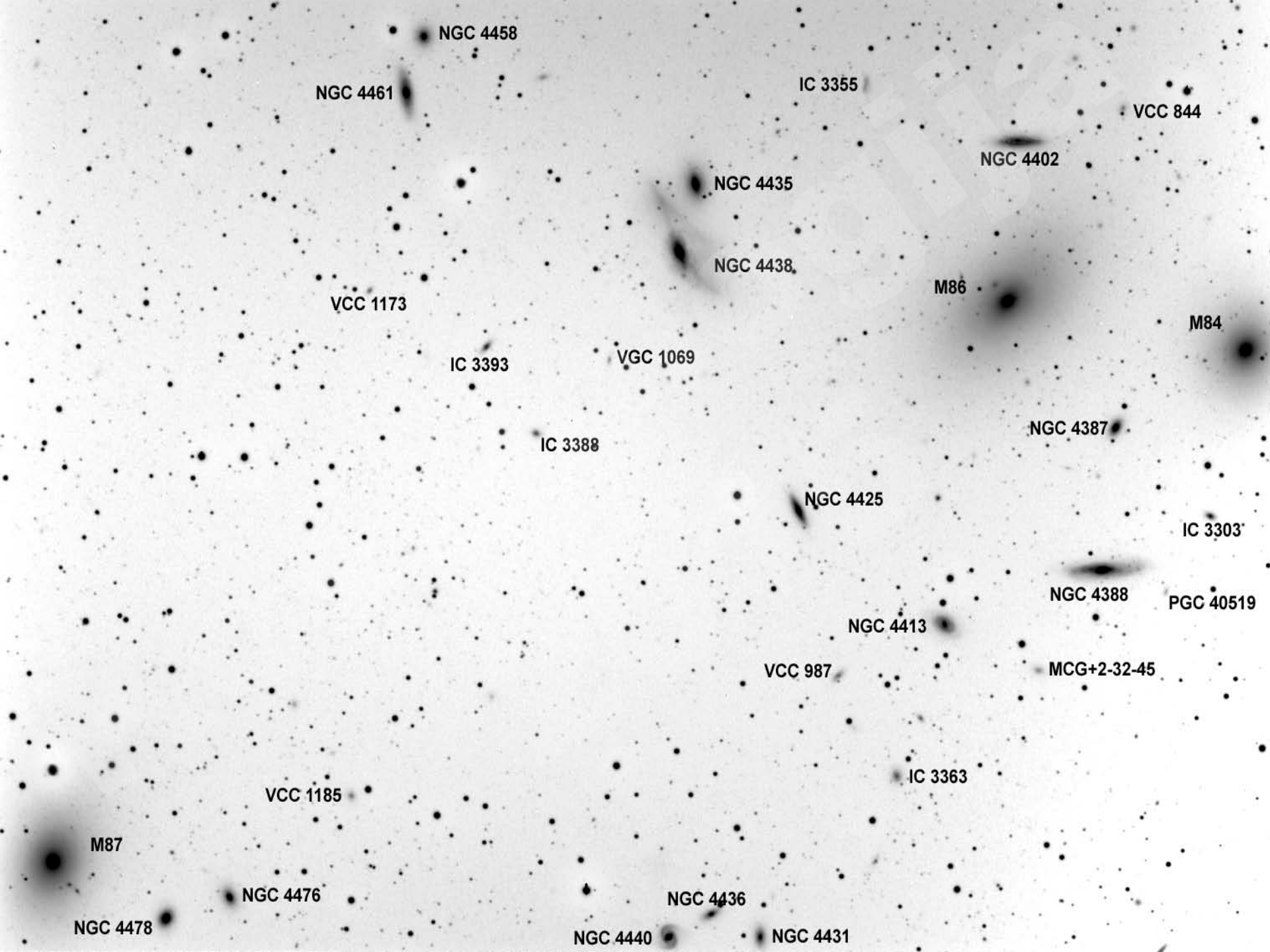


Fridmanovi
modeli





KOSMOLOŠKA STRUKTURA =
ODSTUPANJE OD KOSMOLOŠKOG
PRINCIPA
(= **NEHOMOGENOSTI** I **ANIZOTROPIJE**)



NGC 4458

NGC 4461

IC 3355

VCC 844

NGC 4402

NGC 4435

NGC 4438

M86

VCC 1173

M84

IC 3393

VGC 1069

IC 3388

NGC 4387

NGC 4425

IC 3303

NGC 4388

PGC 40519

NGC 4413

VCC 987

MCG+2-32-45

VCC 1185

IC 3363

M87

NGC 4476

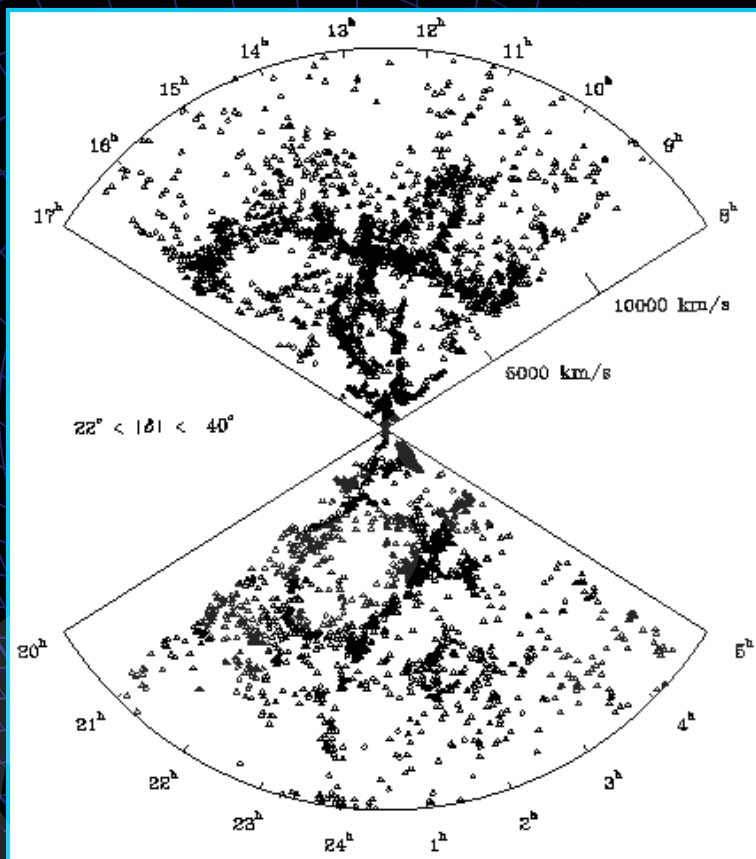
NGC 4436

NGC 4478

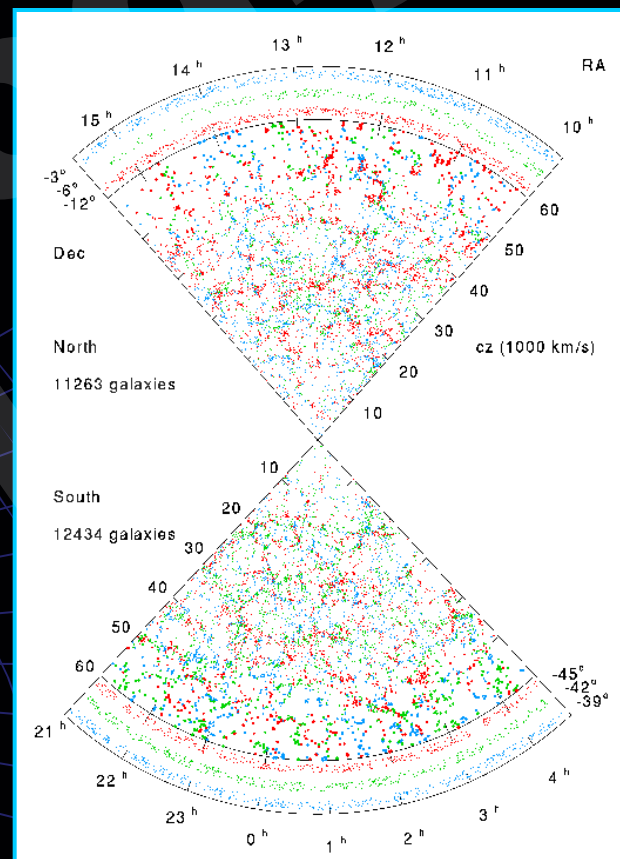
NGC 4440

NGC 4431

Kosmološki princip (delimično) potrjen...



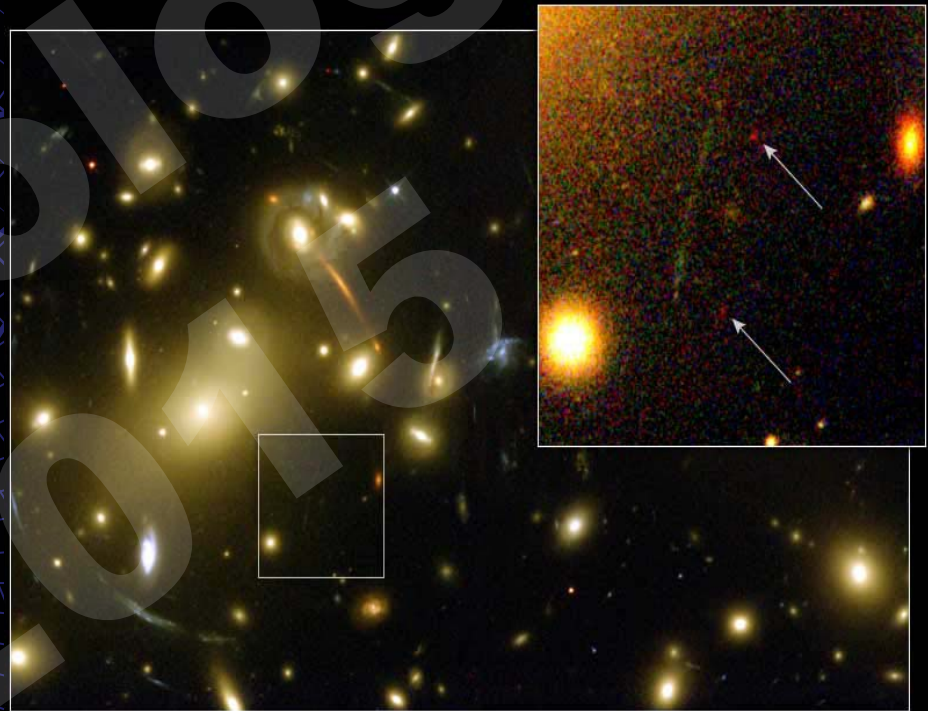
CfA redshift
survey



Las Campanas
Redshift survey

...ali (srećom) ne potpuno!

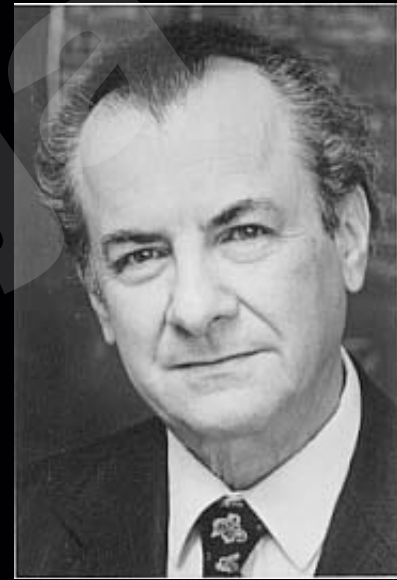
- ◆ Naše postojanje bilo bi nemoguće bez **strukture!**
- ◆ Struktura je veoma daleko od stanja termodinamičke ravnoteže (= **toplotne smrti**)
- ◆ $T = 2,725 \text{ K}$
- ◆ Termodinamička **NE**ravnoteža je suštinski preduslov života!



Distant Object Gravitationally Lensed by Galaxy Cluster Abell 2218 HST • WFPC2
NASA, ESA, R. Ellis (Caltech) and J.-P. Kneib (Observatoire Midi-Pyrenees) • STScI-PRC01-32

Velike strukture?

- ◆ 1953: De Vokuler – “supergalaksija”
- ◆ 2 decenije podsmeha...
- ◆ 1975: Kinkarini i Rud pokazuju da su galaksije povezane sa jatom u B. Kosi do ~ 32 Mpc
- ◆ \Rightarrow **superjata**
- ◆ 1979: Kinkarini – superjata razdvojena **prazninama** (engl. voids)...

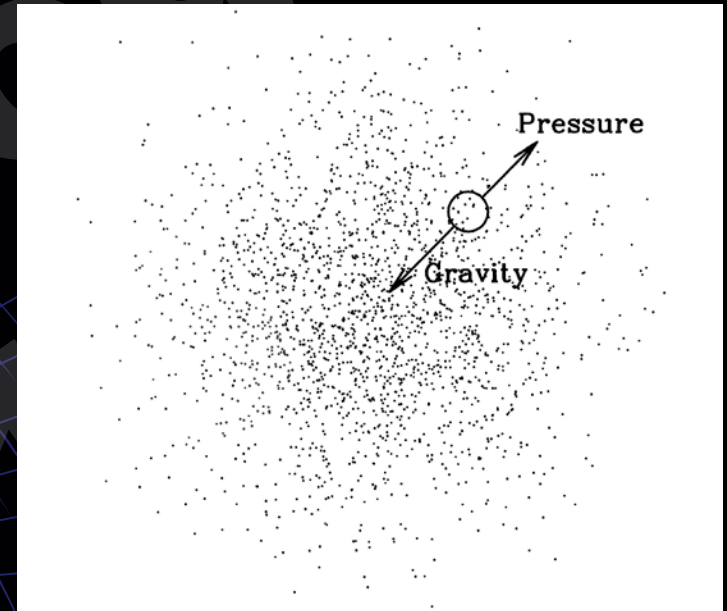


Veza između strukture i sopstvenog kretanja

- ◆ **Sopstveno kretanje** galaksija, različito od **systematskog** (= Hablovog širenja)
- ◆ Kretanje proizvedeno dejstvom gravitacije među nehomogenostima
- ◆ Gravitacioni potencijal dat Poasonovom jednačinom:

$$\Phi = \frac{4\pi G a^2 \rho_m \delta}{k^2}$$

$$\rho_m = \frac{1}{a^3} \Omega_m \rho_{\text{crit}}$$



$$\ddot{\delta} + (\text{pritisak} - \text{gravitacija}) \delta = 0$$

$$\delta(\vec{x}, t) = [n(\vec{x}, t) - \bar{n}(t)] / \bar{n}(t)$$

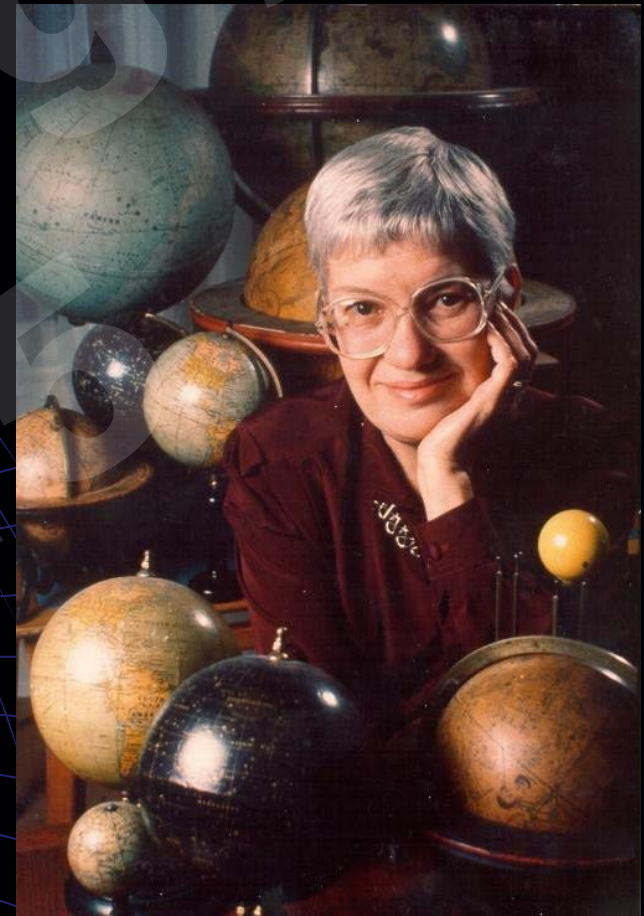
Argumenti protiv sopstvenih brzina

- ◆ **Edvin Hابل**: sopstvenog kretanja nema, jer bi ga sistematska ekspanzija brzo raspršila!
- ◆ **Alen Sendidž**: sopstvenog kretanja nema, jer bismo inače primetili plavi pomak većeg broja galaksija!
- ◆ Snažni posmatrački argumenti, dominirali cca. 1930-1980



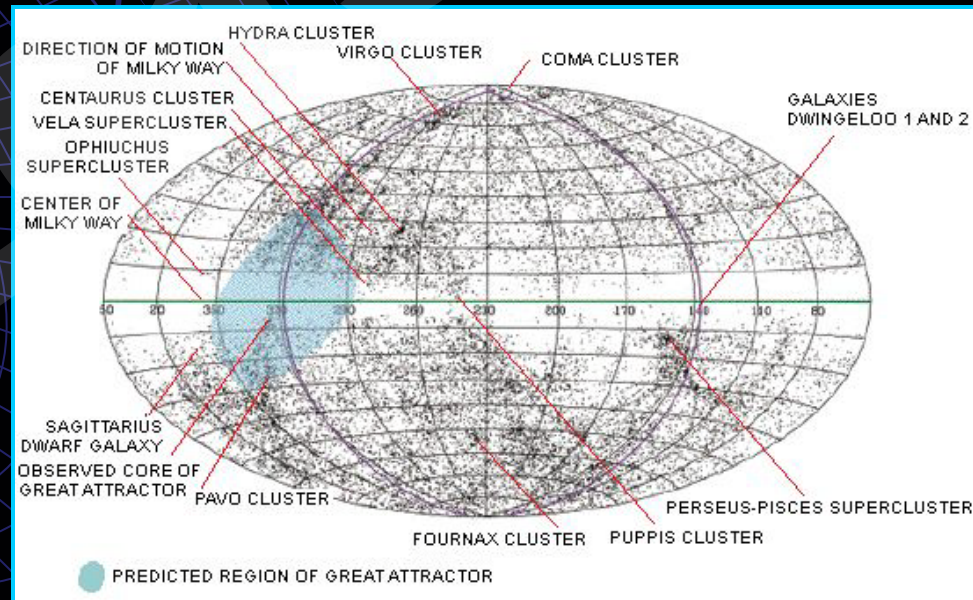
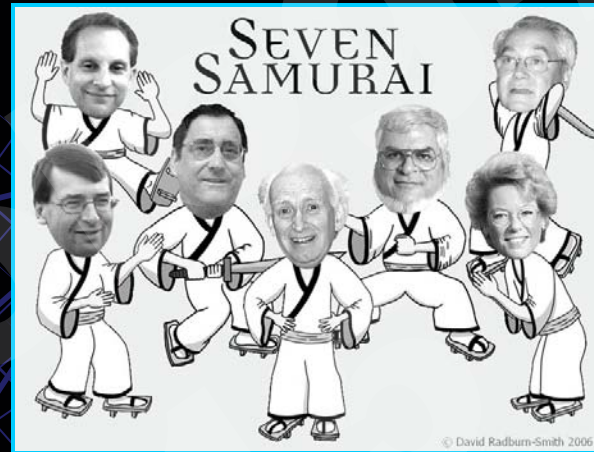
Prve sumnje: Vera Rubin

- ◆ r. 1928
- ◆ 1948. pokušala da se upiše na Princeton...
- ◆ Ph.D. 1954, Georgetown U.
- ◆ Još kao dodiplomka razmišlja o sopstvenim brzinama
- ◆ Čitav radni vek na Karnegijevom institutu
- ◆ 1976: **Rubin-Fordov efekat** (500 km/s)
- ◆ Prva dobitnica zlatne medalje Kraljevskog astronomskog društva nakon Karoline Heršel (1828!)



Kuda ide Lokalna grupa?

- ◆ 1980-tih: "Sedam samuraja": kretanje ka jatu u Devici i **Velikom atrektoru**
- ◆ Ogroman otpor...
- ◆ V.A. se nalazi u "zoni izbegavanja" (sazvežđa Hidra i Kentaur)
- ◆ Udaljen oko 80 Mpc
- ◆ 2005: V.A. Samo delić **Šeprijeve koncentracije**



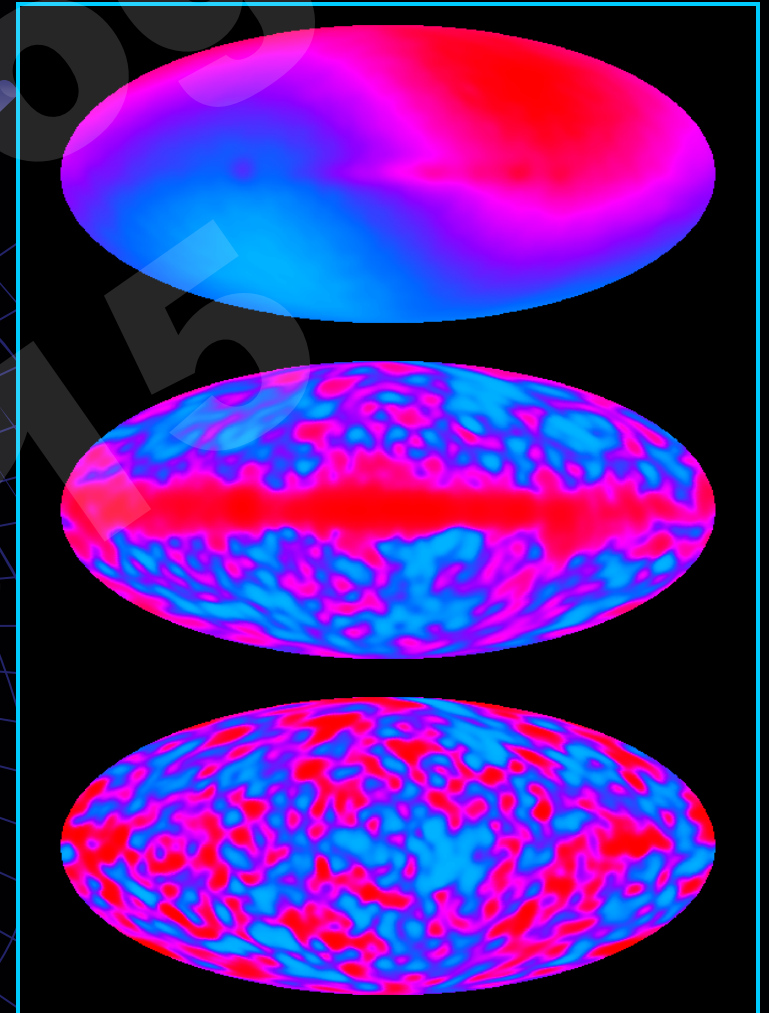
Heroina nove generacije: Sandra Faber

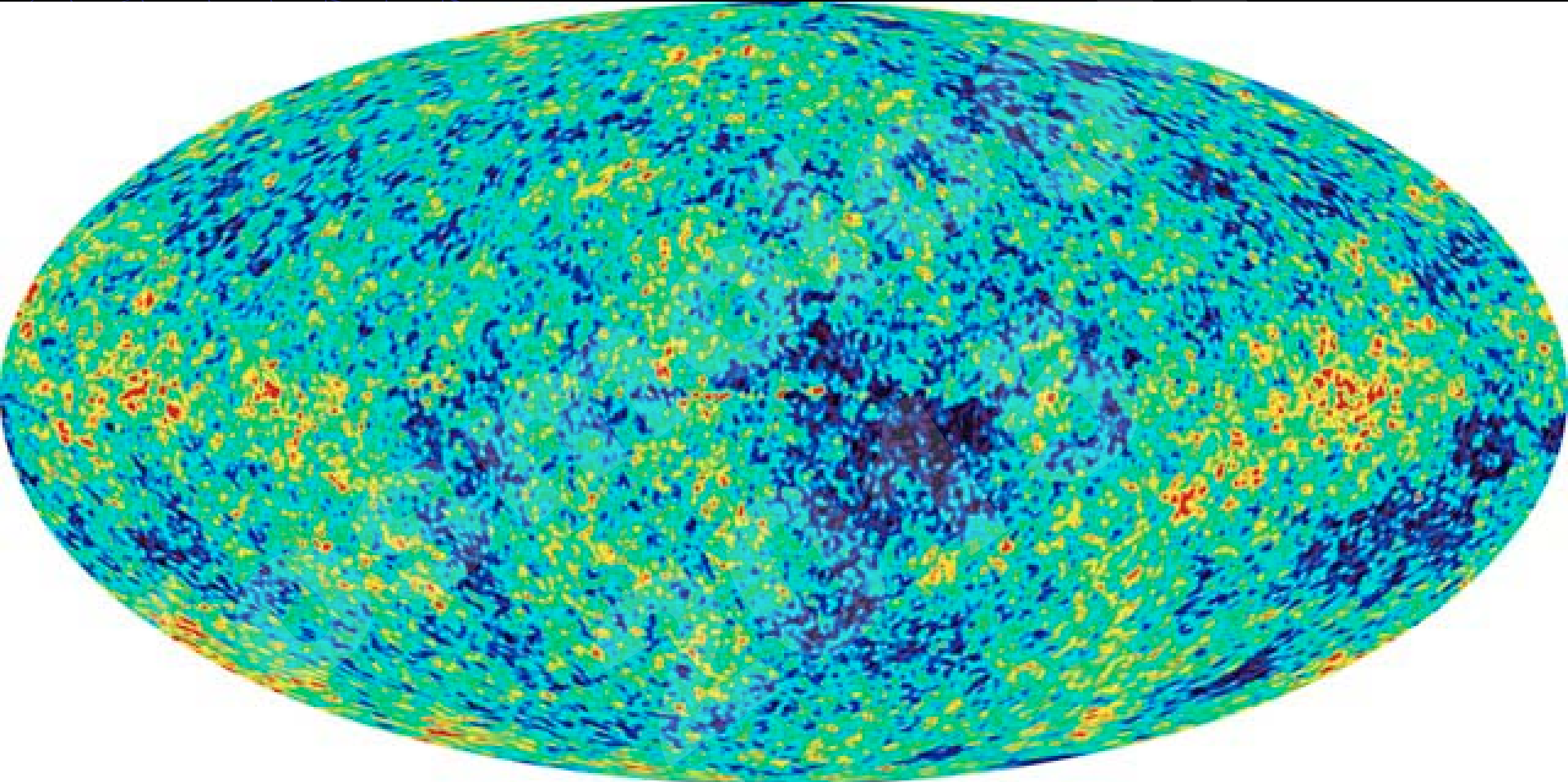
- ◆ Sandra Moore Faber (r. 1944) – vođa Sedam samuraja
- ◆ Faber-Jackson relacija
- ◆ Supermasivne crne rupe
- ◆ Kao PI WFPC-1 tima otkrila sfernu aberaciju HST-ovog primarnog ogledala
- ◆ Faber (2005): *It's astronomy that puts us in perspective; it tells us where we come from, and where we're going.*

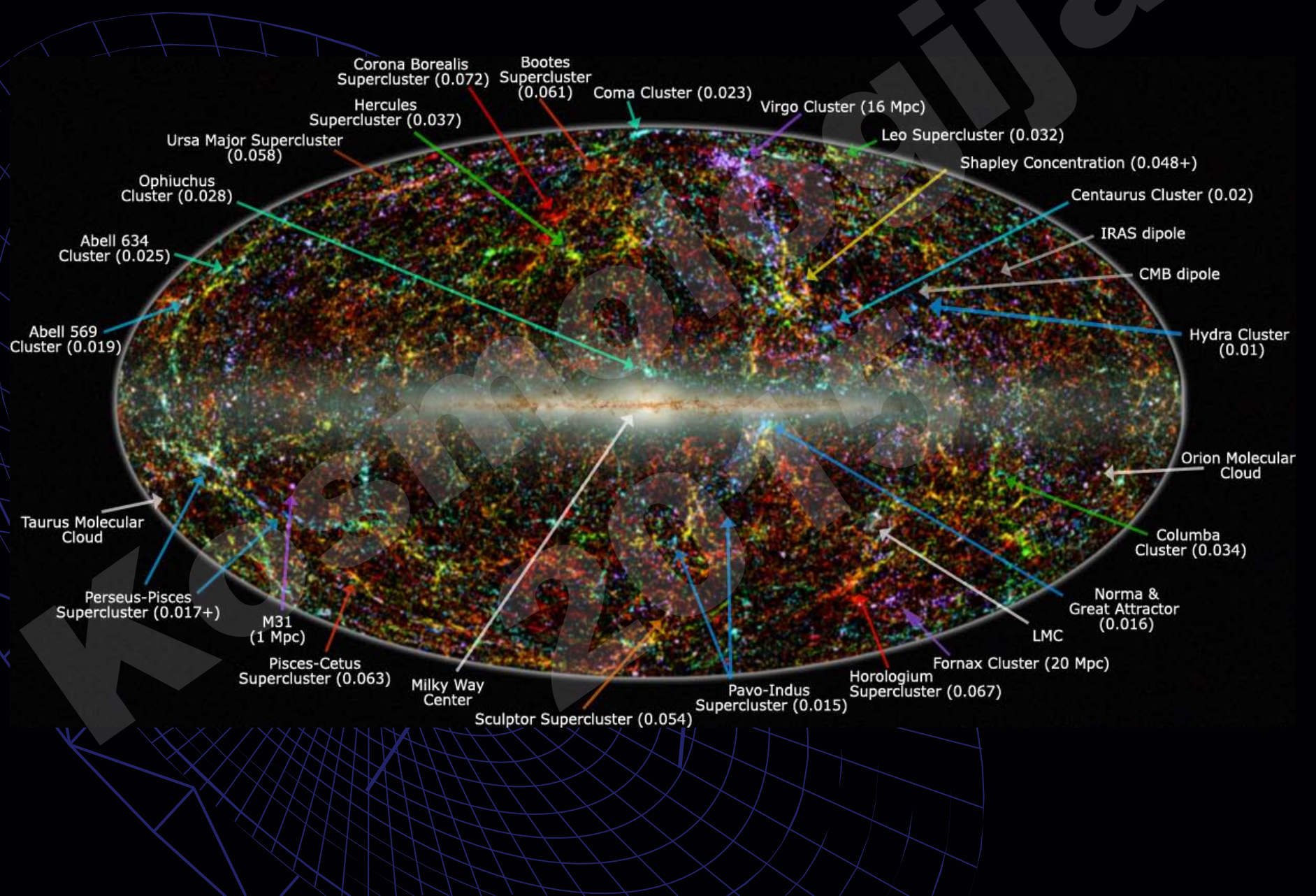


Dipolna anizotropija – ultimativni brzinometer

- ◆ Trčanje po kiši...
- ◆ COBE: Prvi snimak čitavog neba u mikrotalasnom i bliskom infracrvenom
- ◆ Visoko precizna spektroskopija (FIRAS)
- ◆ $V_{LG} \approx 600 \text{ km/s}$ (!!!)







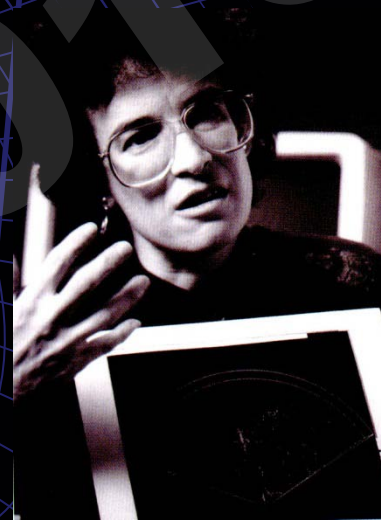
Osnovni problem: (de)projekcija

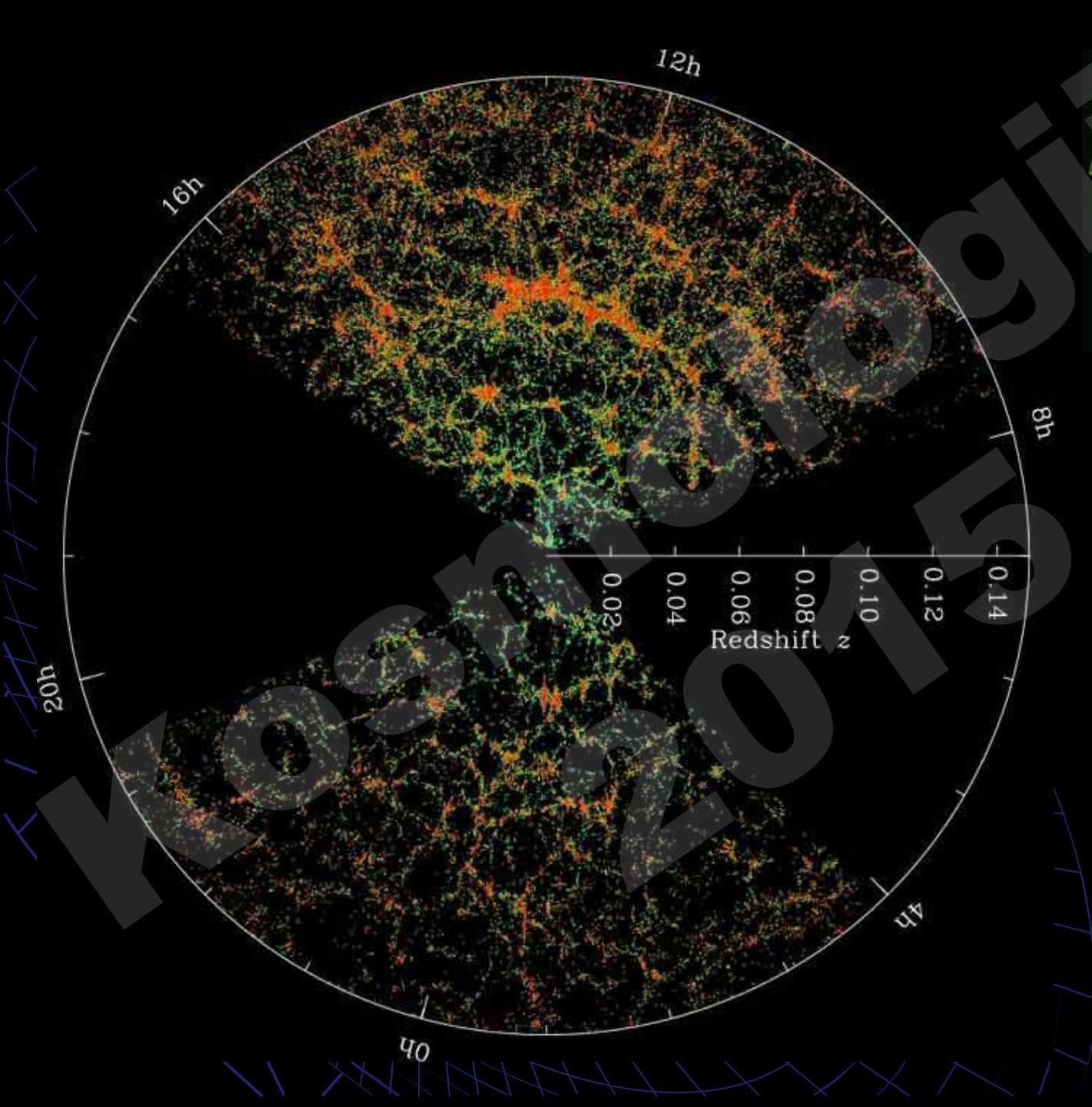
- ◆ 3-D objekti se projektuju na 2-D nebesku sferu
- ◆ Ono što se vidi je samo mali delić onoga što stvarno postoji
- ◆ Pravo (3-D) kretanje objekata je teško rekonstruisati...



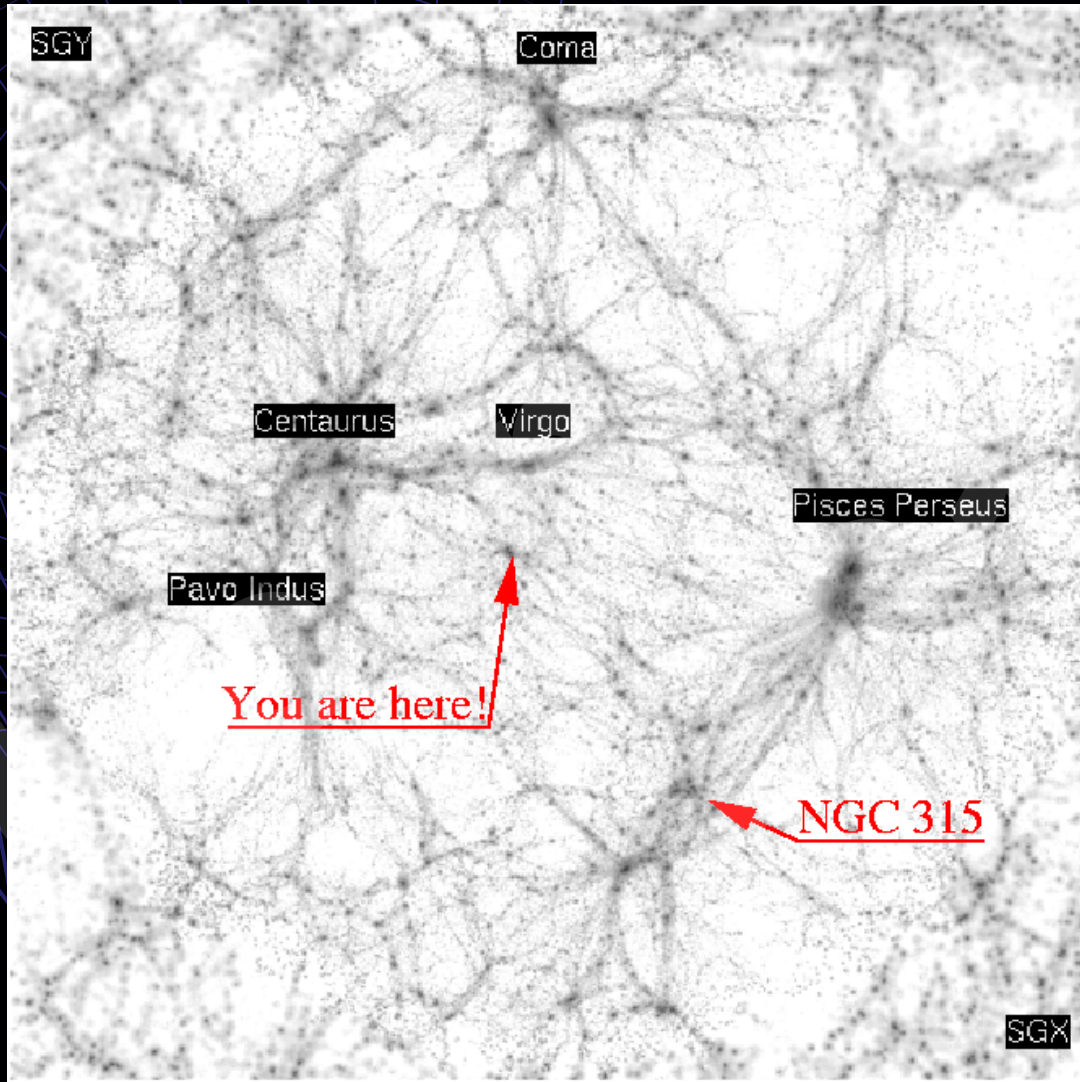
Veliki zid?

- ◆ 1989: Geler i Hakra otkrivaju na udaljenosti od 200 miliona sv. godina...
- ◆ ...strukturu veliku $160 \times 100 \times 4$ Mpc!
- ◆ Veliki zid = CfA2 zid = Zid u Berenikinoj kosi
- ◆ CfA/CfA2 Redshift Survey (1977-1995)
- ◆ Sadrži preko **million** galaksija





Pisces-Cetus kompleks superjata



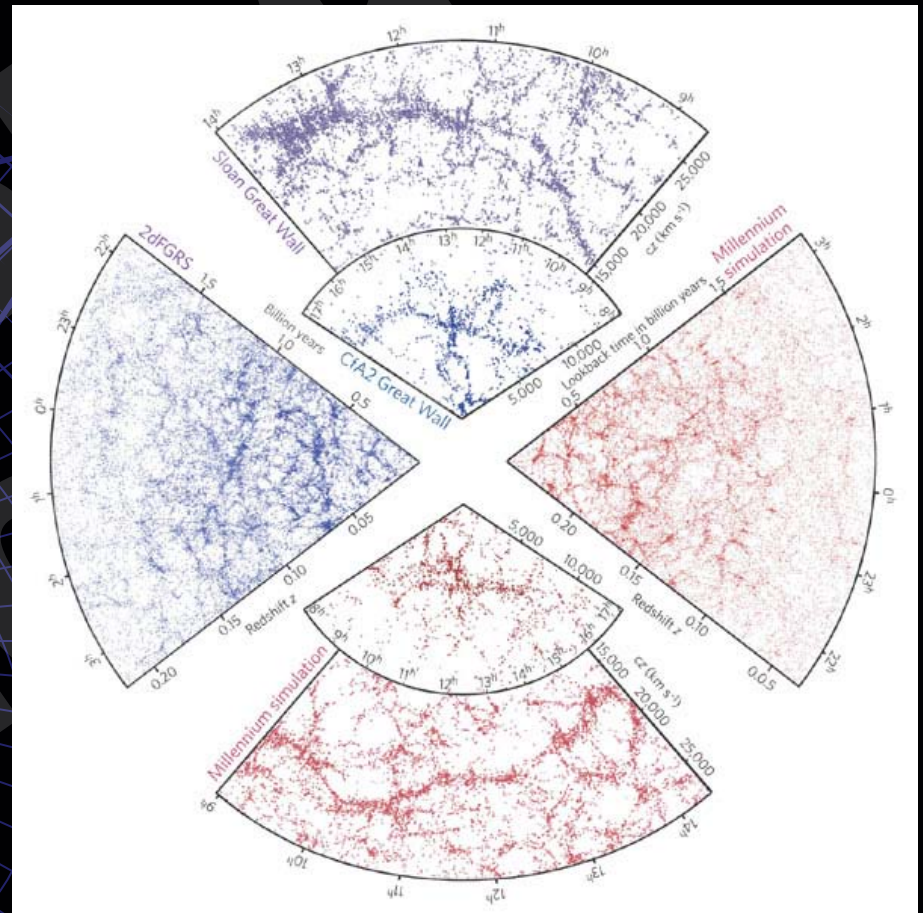
- ◆ Tali (1987) otkriva filament dužine skoro milijardu sv. godina (!)
- ◆ Između superstruktura nalaze se **praznine** ("voids") sa gustom galaksija $< 20\%$ prosečne...

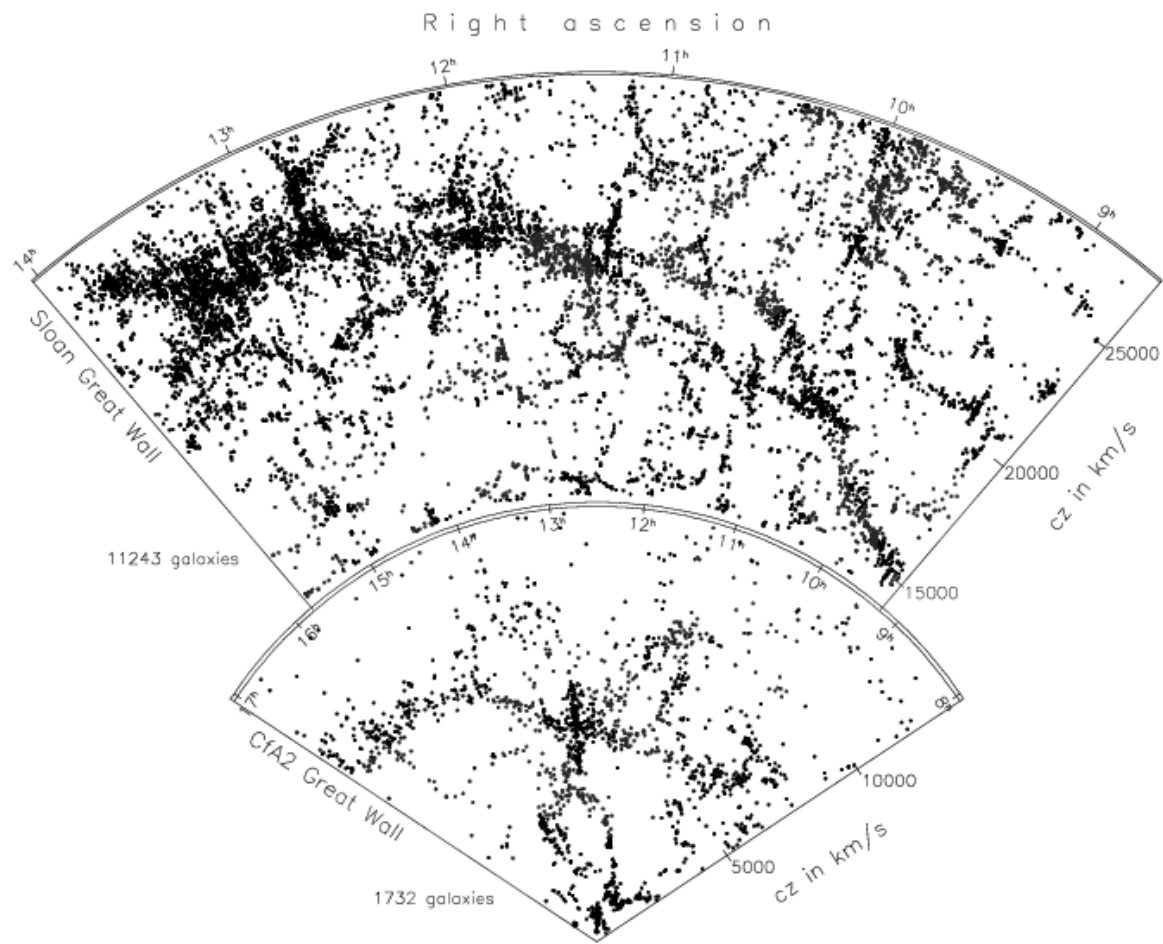
◆ Moderni katalozi galaksija:
SDSS



Novi rekorder!

- ◆ Gott i Jurić (2003):
Slounov Veliki zid
- ◆ **400 Mpc** po najdužoj osi (!)
- ◆ Slounov digitalni pregled neba (SDSS) – glavno astronomsko oruđe današnjice
- ◆ Sa njim dostižemo "kraj veličine" (*The End of Greatness*) – skalu na kojoj (konačno!) važi Kosmološki princip



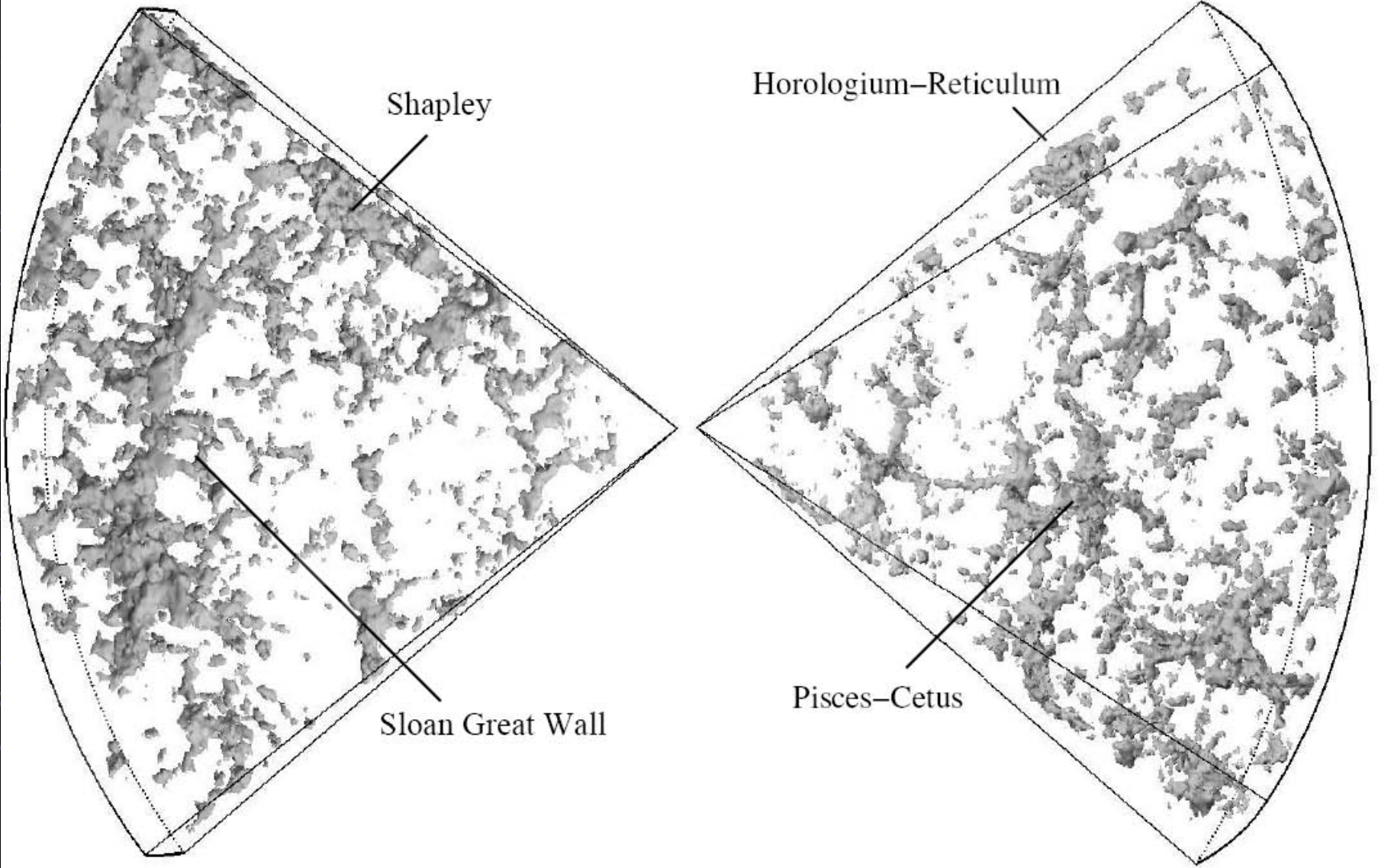


Shapley

Horologium-Reticulum

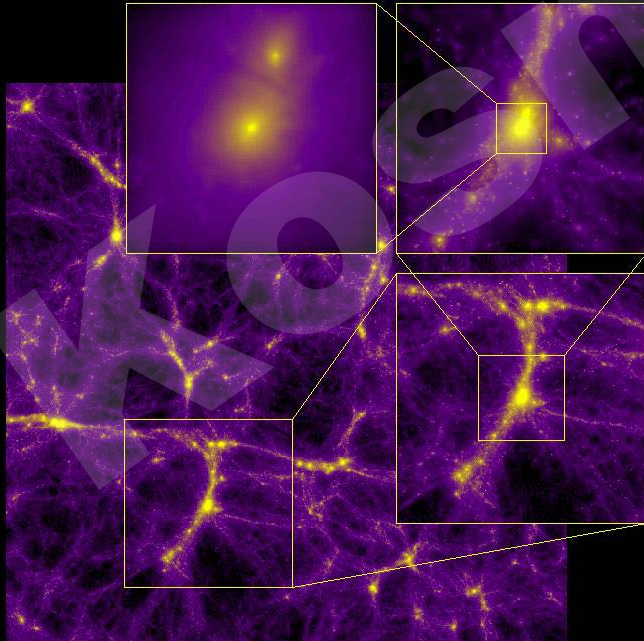
Sloan Great Wall

Pisces-Cetus



Simulacije nastanka strukture

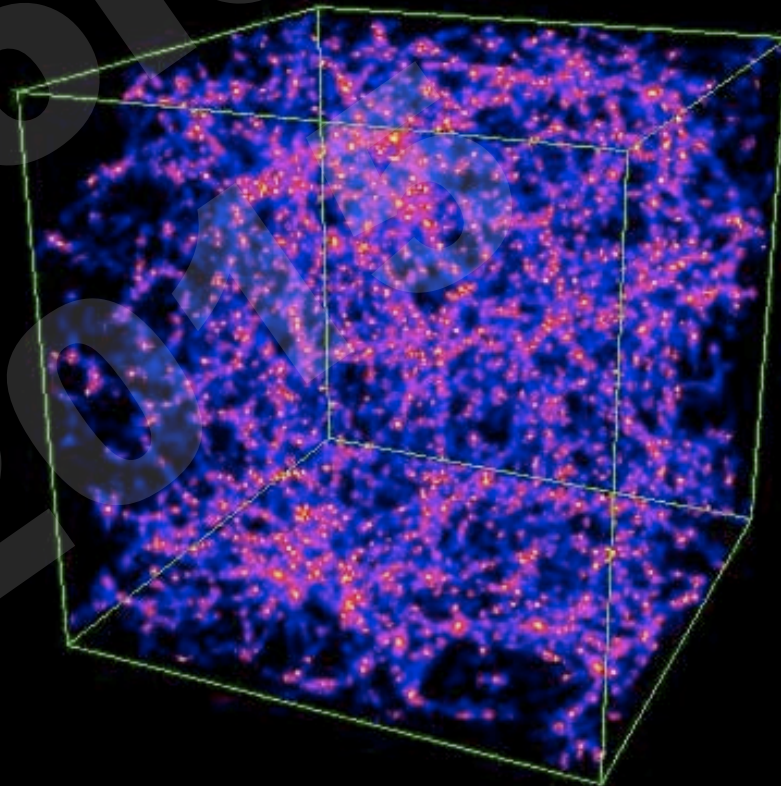
- ◆ Ubacimo “sastojke” svemira u mašinu...
- ◆ Najvažnije: vrsta i količina **tamne materije**
- ◆ **Λ CDM** – nova paradigma

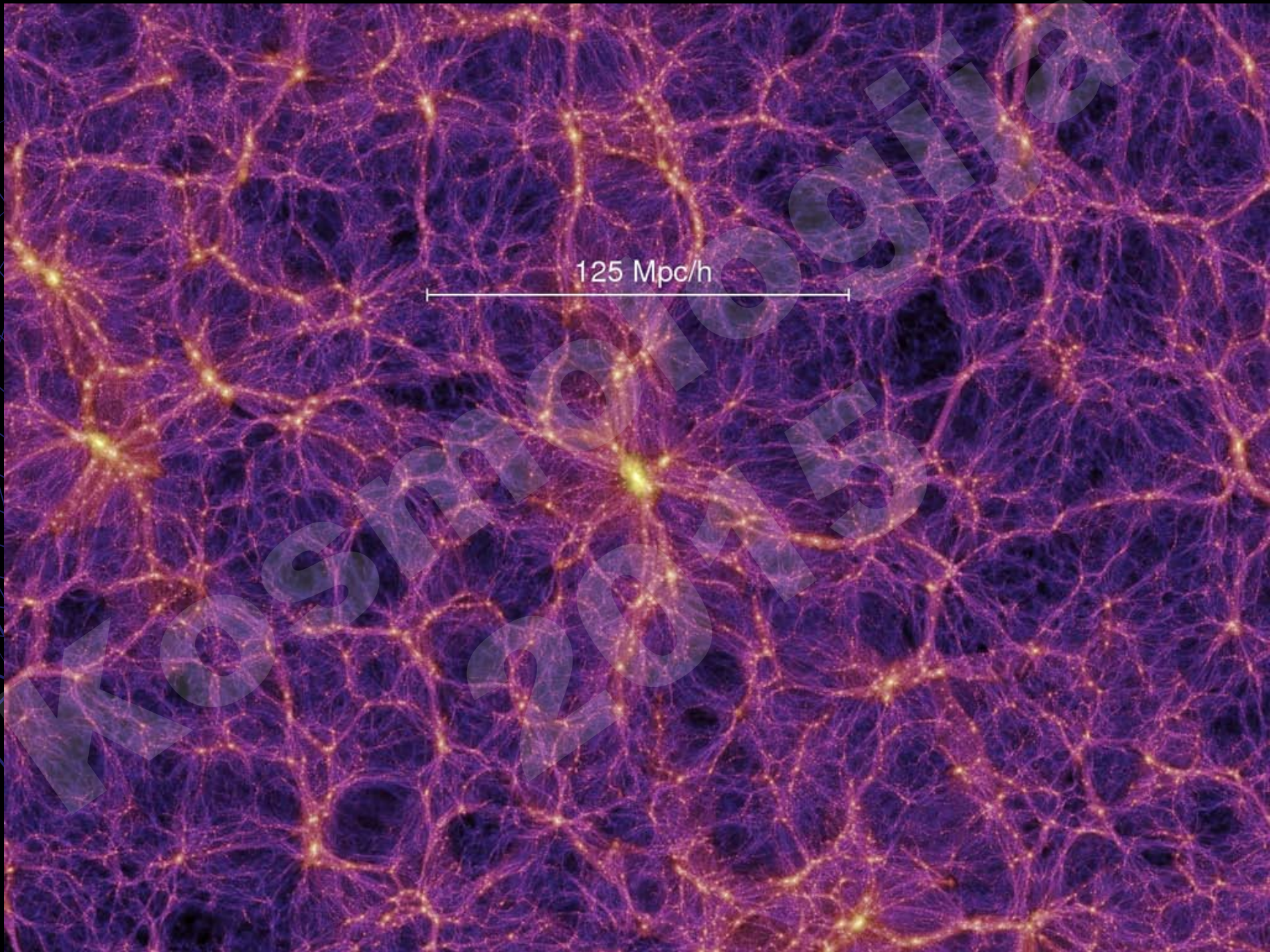


Evolution of Structure in a Low Omega Universe

200 Mpc across

Time = 9.23 Gyr





Priroda objašnjenja u kosmologiji?

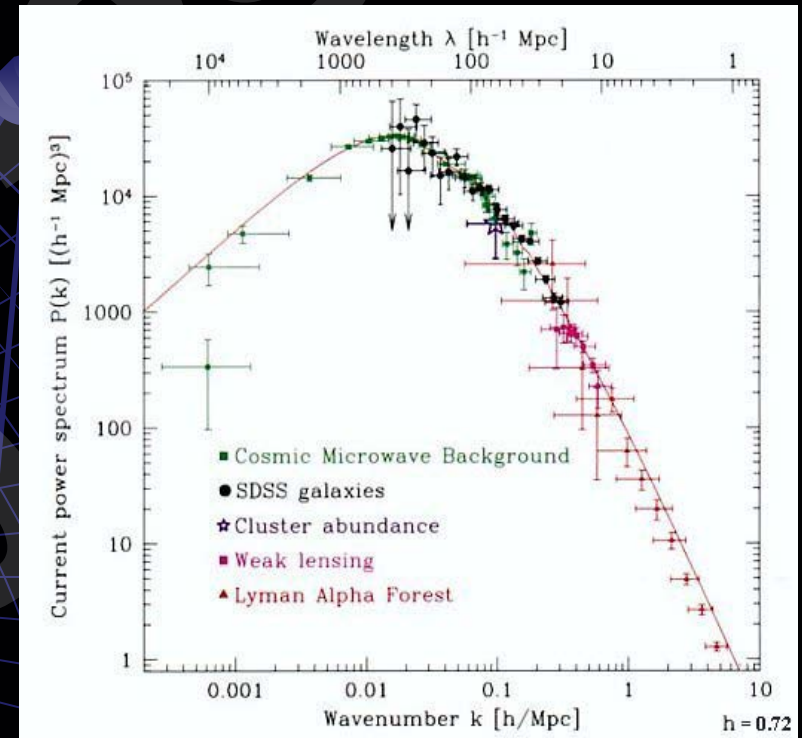
- ◆ Formiranje strukture opisane spektrom primordijalnih fluktuacija $P(k)$

$$\xi(r) = \frac{1}{2\pi^2} \int k^2 P(k) \frac{\sin(kr)}{kr} dk$$

gde je

$$dP = [1 + \xi(\vec{r}, t)] \rho dV$$

- ◆ Dva **različita** pitanja:
 - Iz kojih dinamičkih zakona proističe posmatrani PS?
 - Zašto PS izgleda baš tako?



$$P(k) \propto k^n$$

Pouke?

- ◆ Struktura na velikoj skali je ne samo vizuelno impresivna i višeslojna, već i neophodna za nastanak života i posmatrača!



- ◆ Istorija fizičke kosmologije daje puno tema za epistemološke analize
- ◆ Značaj intuicije u nauci
- ◆ Uloga *Gedankenexperiment-a* u astronomskim naukama
- ◆ *Najteže razumljiva stvar u vezi sa svemirom jeste da je on razumljiv... (Ajnštajn)*



HVALA NA PAŽNJI!