

Astrofizika 12

Struktura na velikoj skali

Milan M. Ćirković

Astronomска опсерваторија у Београду

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.



Astrobiologija 2012

© Stéphane Guisard

Astrobiologija 2012

PHOTOGRAPHIC MAGNITUDES

0 1 2 3 4 5 6 7 8

LINDO OBSERVATORY

MARTIN KOCICA
BRZANA KOCICA



Astrobiologija 2012

“Carstvo galaksija” (Habl 1936)

Coelum
Astronomia

The Giant Elliptical Galaxy Messier 87 by



Whirlpool Galaxy • M51

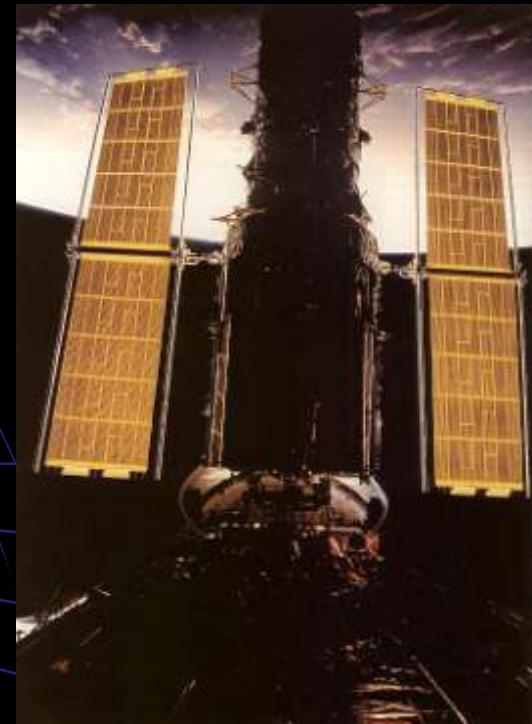
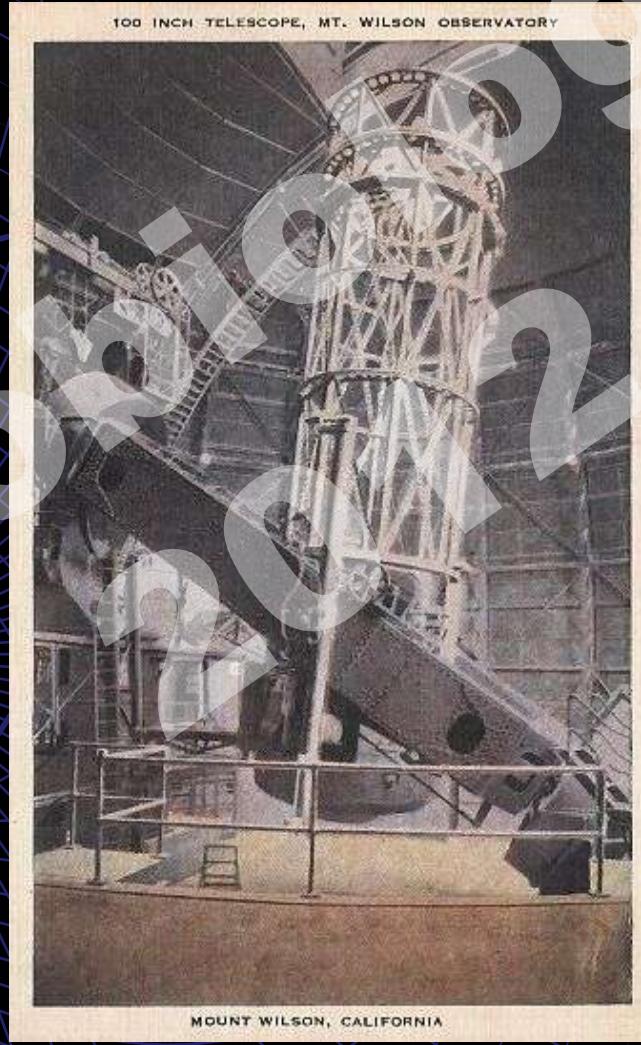


Hubble
Heritage

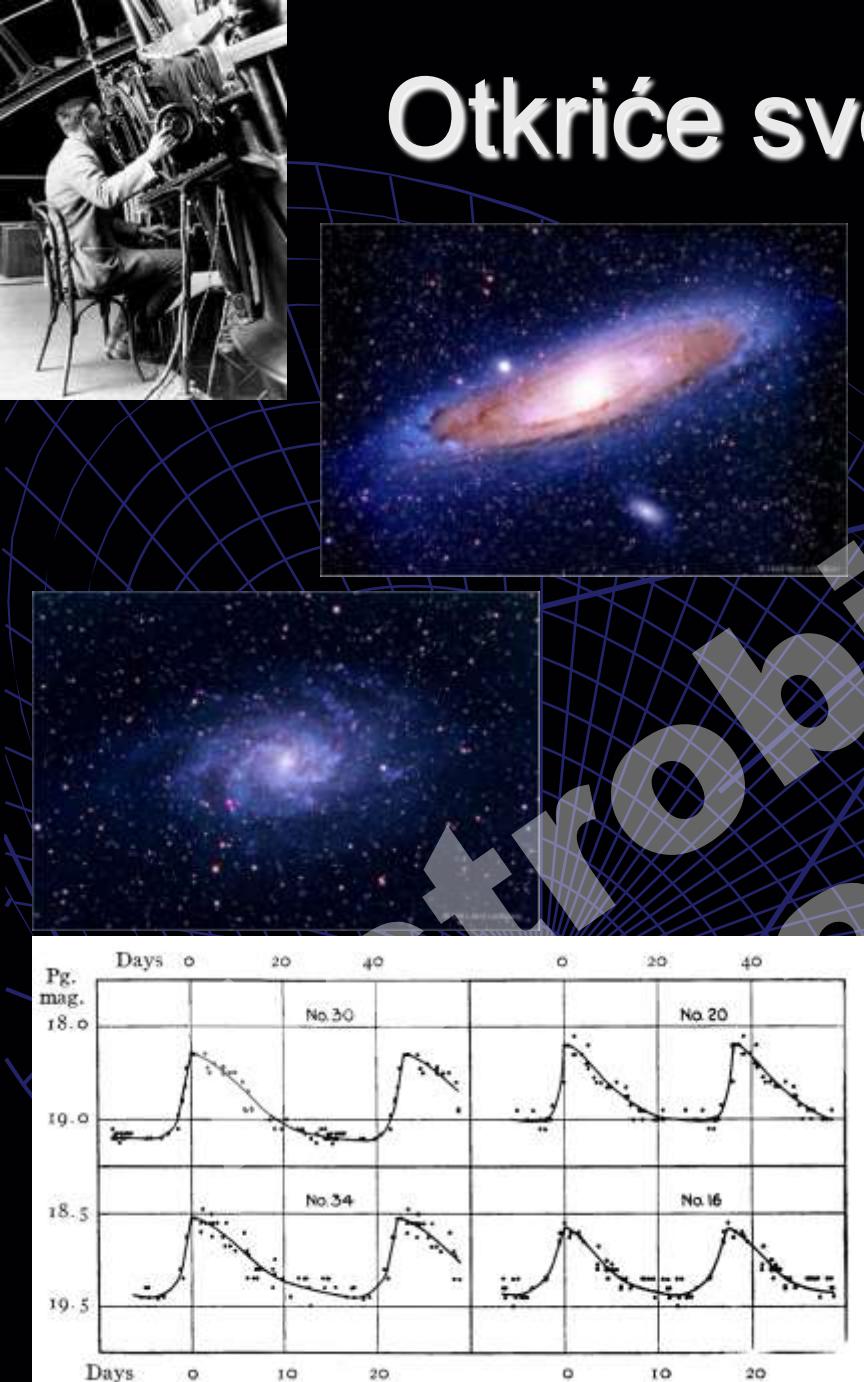
NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)
Hubble Space Telescope WFPC2 • STScI-PRC01-07

Astrobiology
2012

Habl – čovek, legenda i dva teleskopa



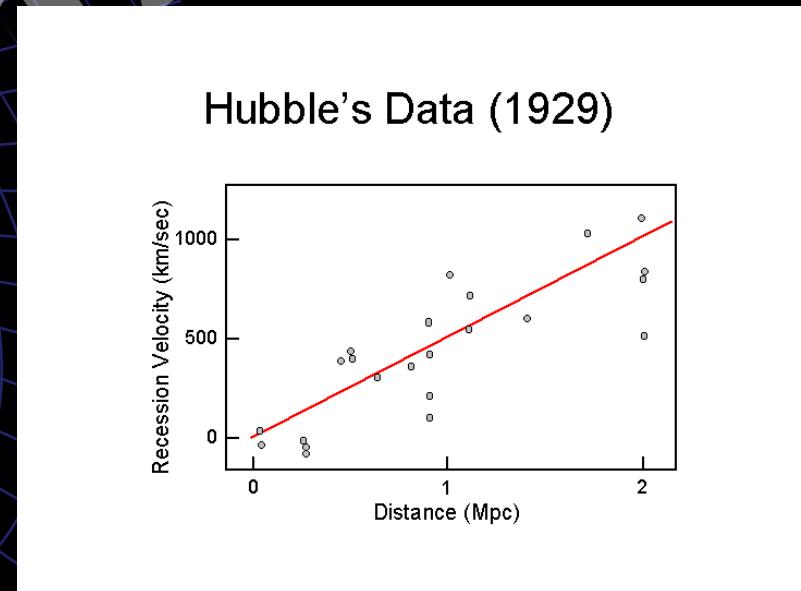
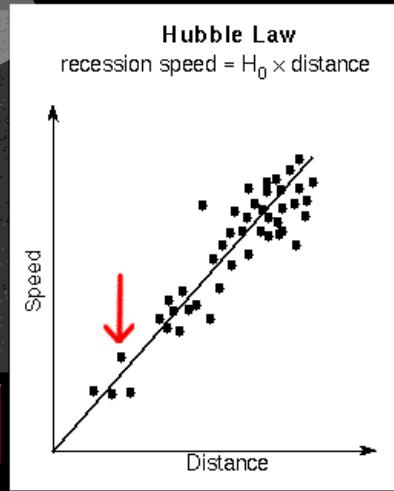
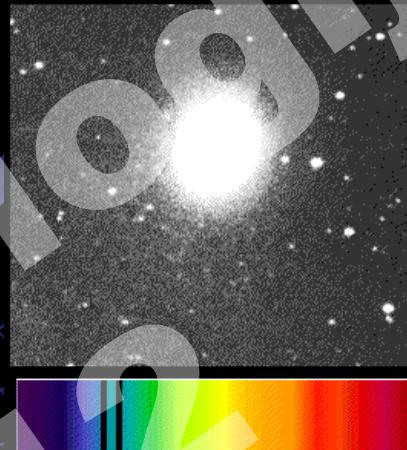
Otkriće svemira van Mlečnog puta...



- Realnost "ostrvskih svemira" osporavana sve do 1924!
- Otkrićem Cefeida u M31 i M33, 5-8. februara 1924, Hабl 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: Habi objavljuje sistematski crveni pomak skoro svih “vangelastičkih maglina”.
- $V = H_0 \times D$ (?)
- Koliko u nauci vredi intuicija?
- 1931: Habi i Hjumason objavljaju popravljen uzorak od preko stotinu galaksija.
- $V = H_0 \times D$ (!!!)
- $H_0 = 526 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ (veeeeeoma pogrešno!)
- $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$



Escher i Hablov zakon...

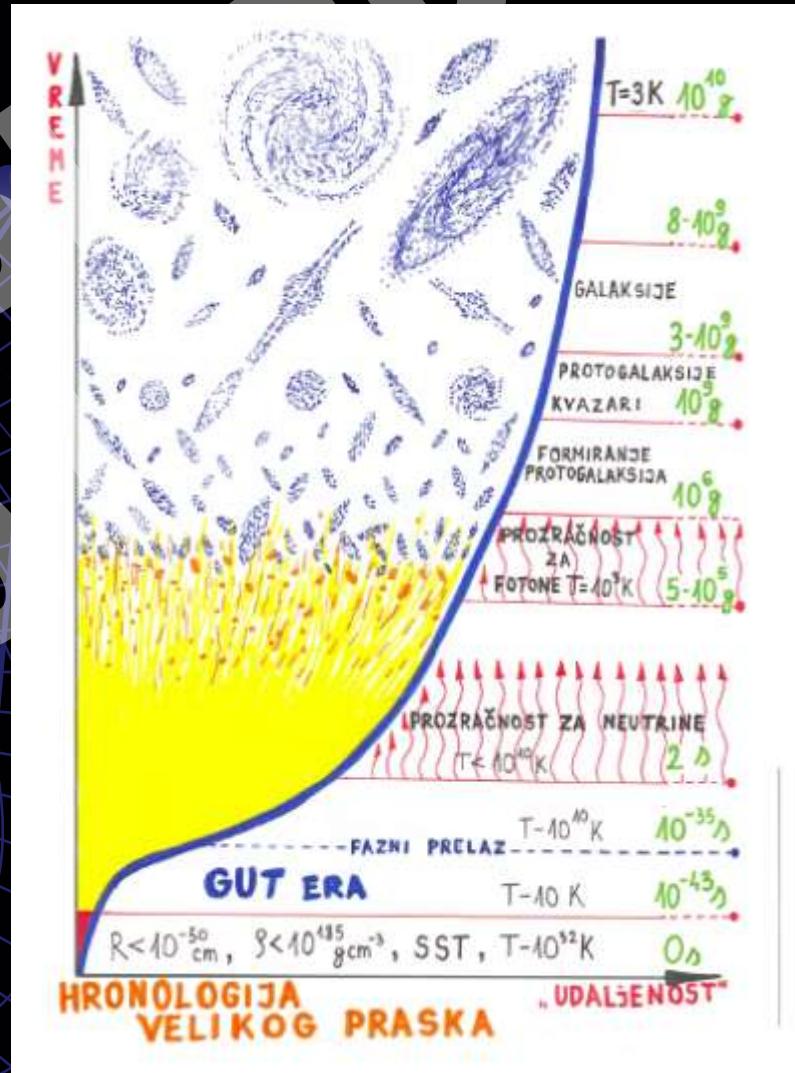
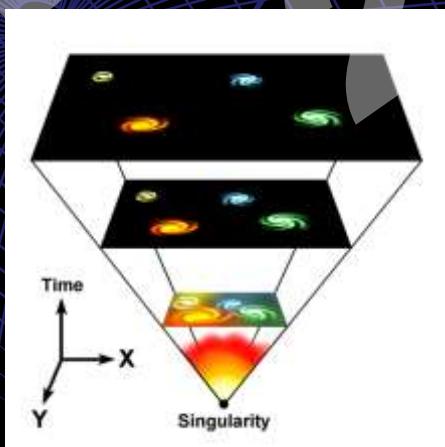


Cubic Space Division
©1998 Sascha Ledinsky
sascha.l@usa.net

$$V = H_0 \times D$$

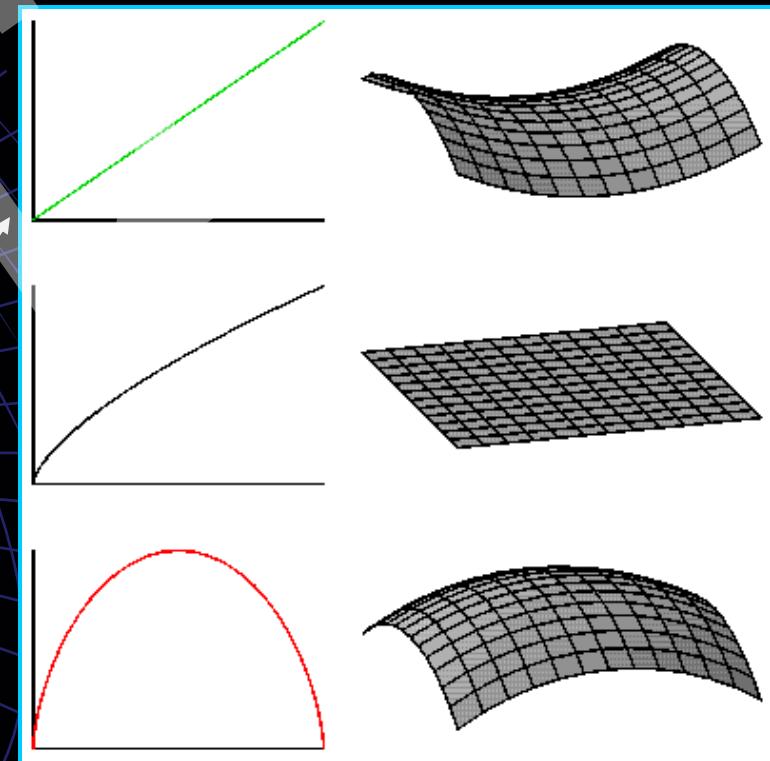
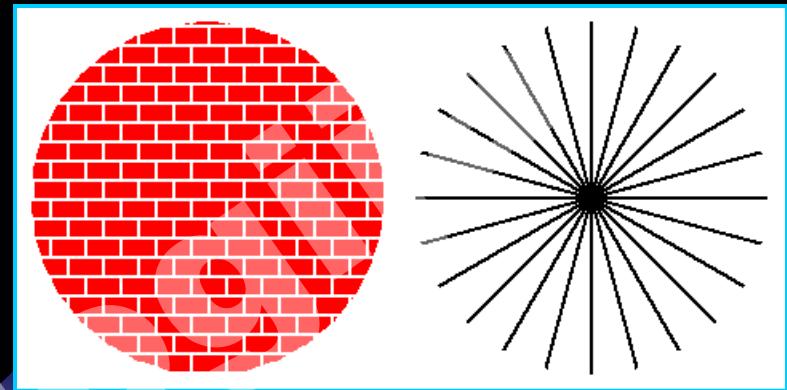
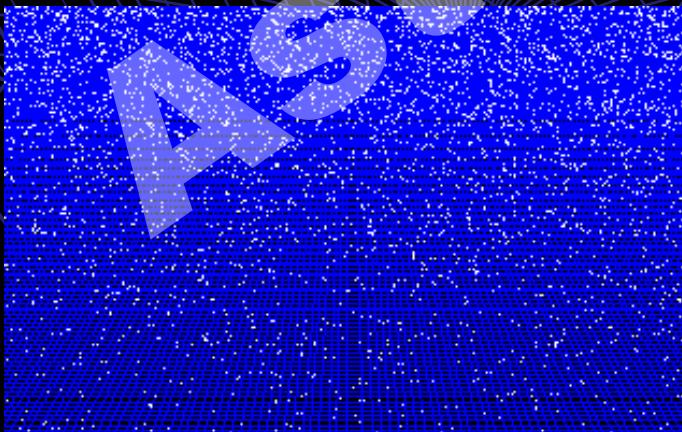
Standardni kosmološki model (“Veliki prasak”)

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



Kosmološki princip (Edington, Miln)

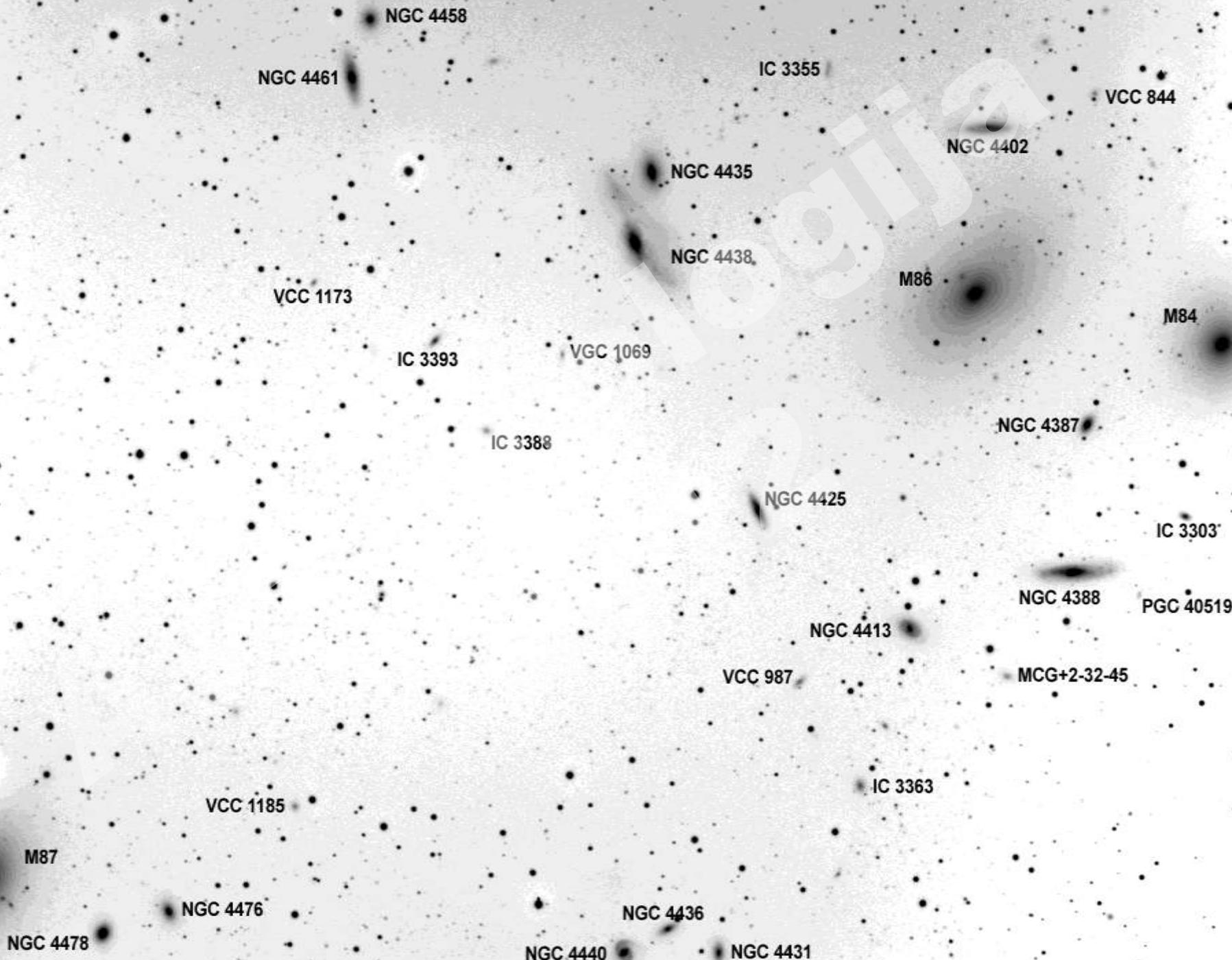
- ◆ Svemir je - na velikim skalamama
- **homogen i izotropan**
- ◆ Bez kosmološkog principa,
rešavanje jednacina OTR je
isuviše teško → ne bi bilo
savremene kosmologije!



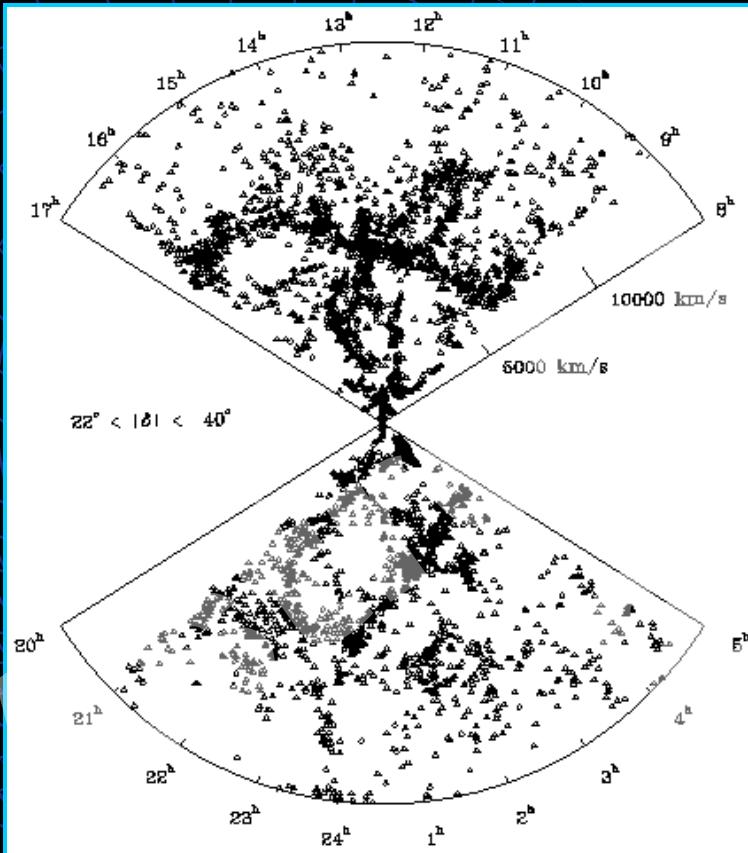
Fridmanovi
modeli



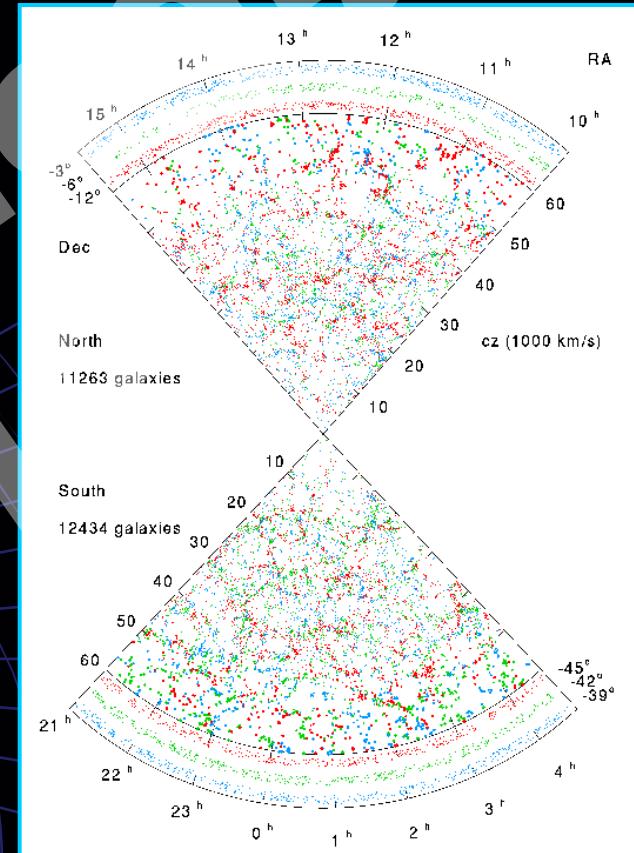
KOSMOLOŠKA STRUKTURA =
ODSTUPANJE OD KOSMOLOŠKOG
PRINCIPIA
(= NEHOMOGENOSTI I ANIZOTROPIJE)



Kosmološki princip (delimično) potvrđen...



CfA redshift
survey



Las Campanas
Redshift survey

...ali (srećom) ne potpuno!

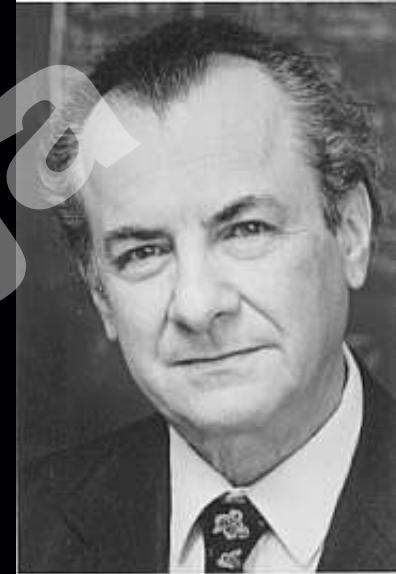
- ◆ Naše postojanje bilo bi nemoguće bez **strukture!**
- ◆ Struktura je veoma daleko od stanja termodinamičke ravnoteže (= **toplote smrti**)
- ◆ $T = 2,725 \text{ K}$
- ◆ Termodinamička **NEravnoteža** je suštinski preduslov života!



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

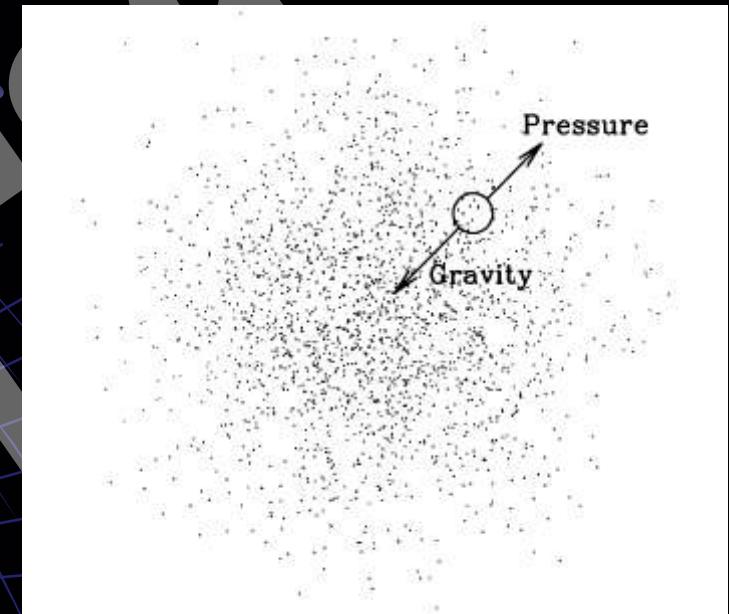


Veza između strukture i sopstvenog kretanja

- ◆ **Sopstveno kretanje** galaksija, različito od **sistematskog** (= Habilovog 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 Habl:** 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



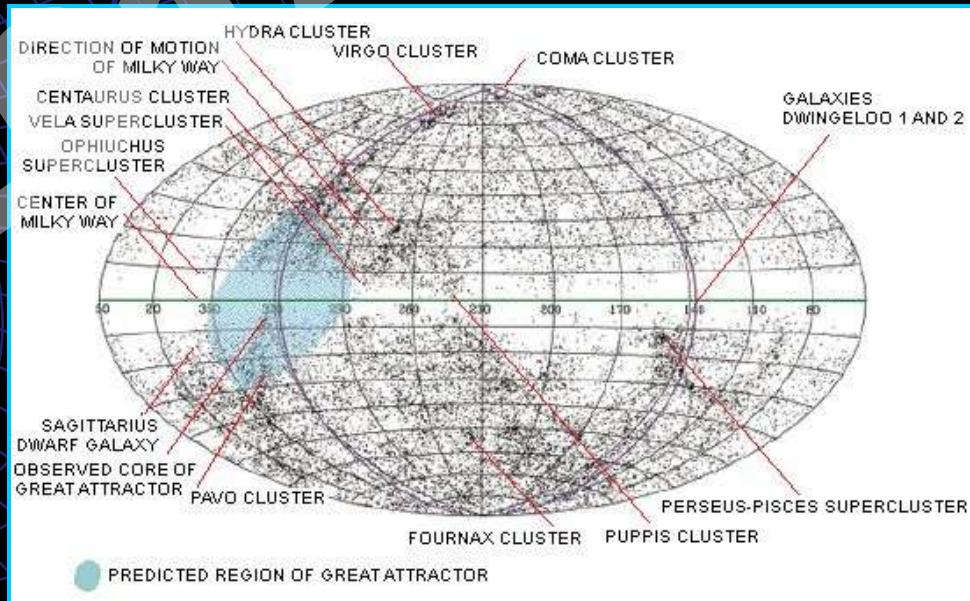
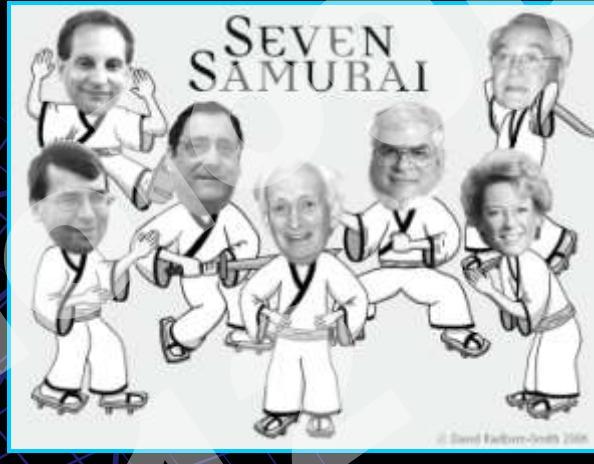
Prve sumnje: Vera Rubin

- ◆ 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 atraktoru**
- ◆ Ograman otpor...
- ◆ V.A. se nalazi u "zoni izbegavanja" (sazvežđa Hidra i Kentaur)
- ◆ Udaljen oko 80 Mpc
- ◆ 2005: V.A. Samo delić **Šeplijeve koncentracije**



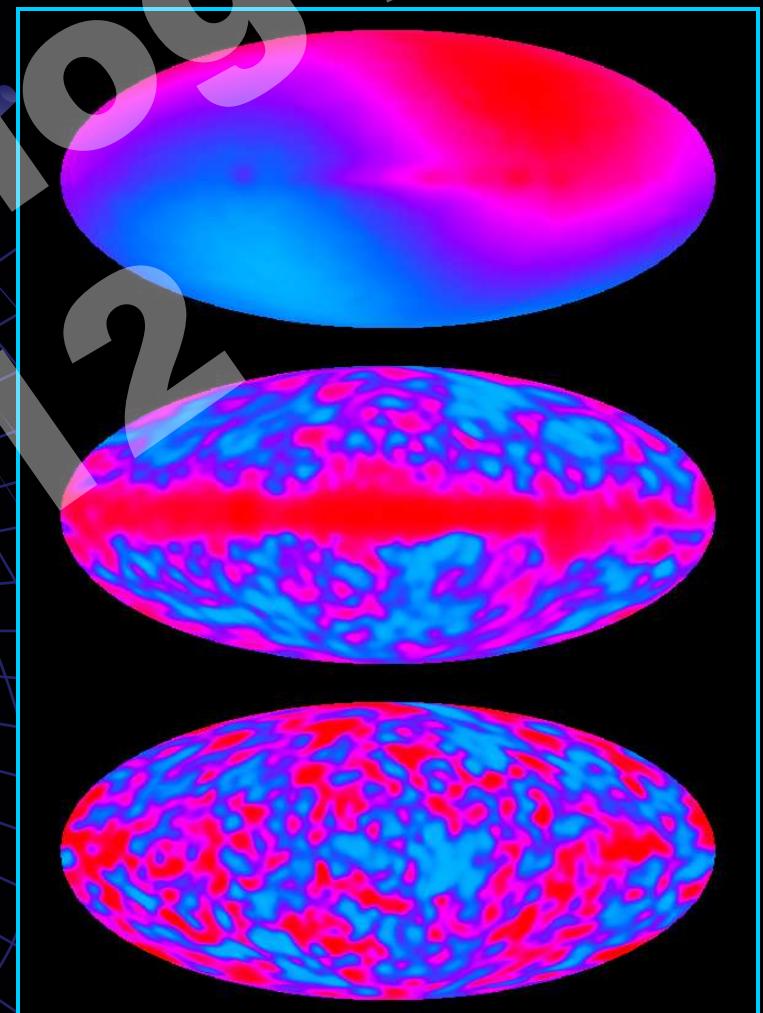
Heroina nove generacije: Sandra Faber

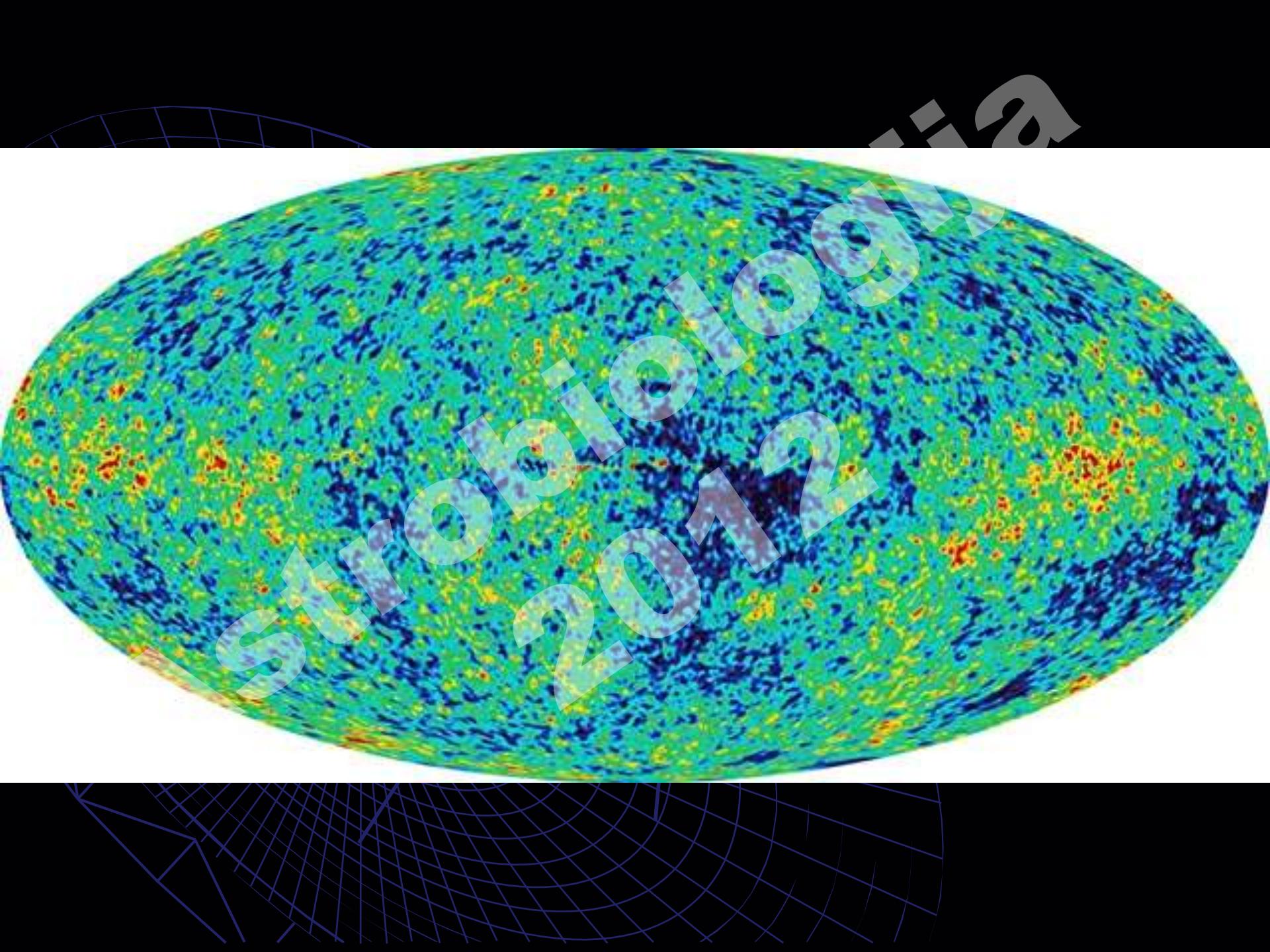
- ◆ Sandra Moore Faber (r. 1944) – vodja Sedam samuraja
- ◆ Faber-Jackson relacija
- ◆ Supermasivne crne rupe
- ◆ Kao PI WFPC-1 tima otkrila sfervnu aberaciju HST-ovog primarnog ogledala
- ◆ Faber (2005): **It's astronomy that puts us in perspective; it tells us where we come from, and where we're going.**



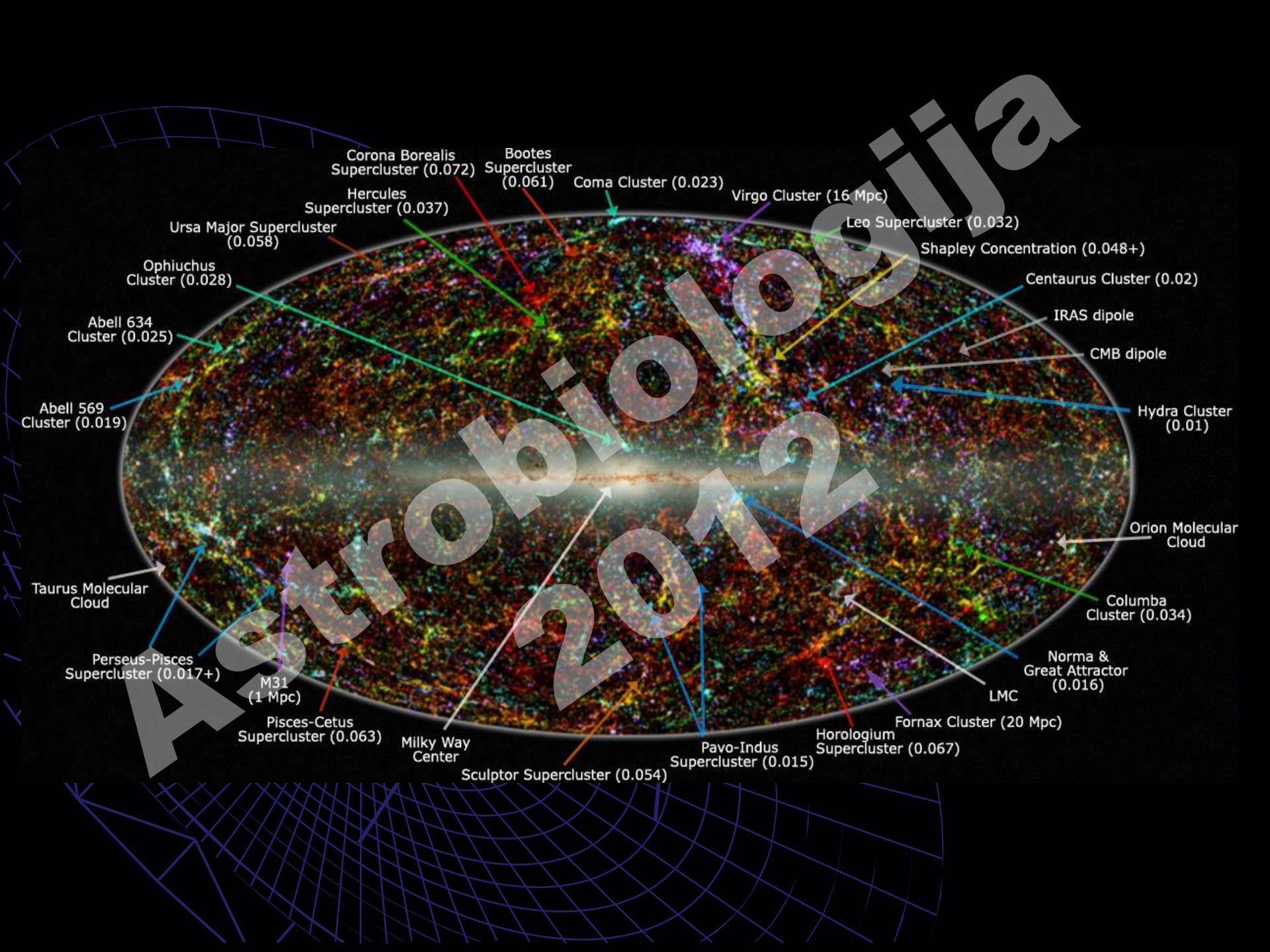
Dipolna anizotropija – ultimativni brzinometar

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





studiologia
2012



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...

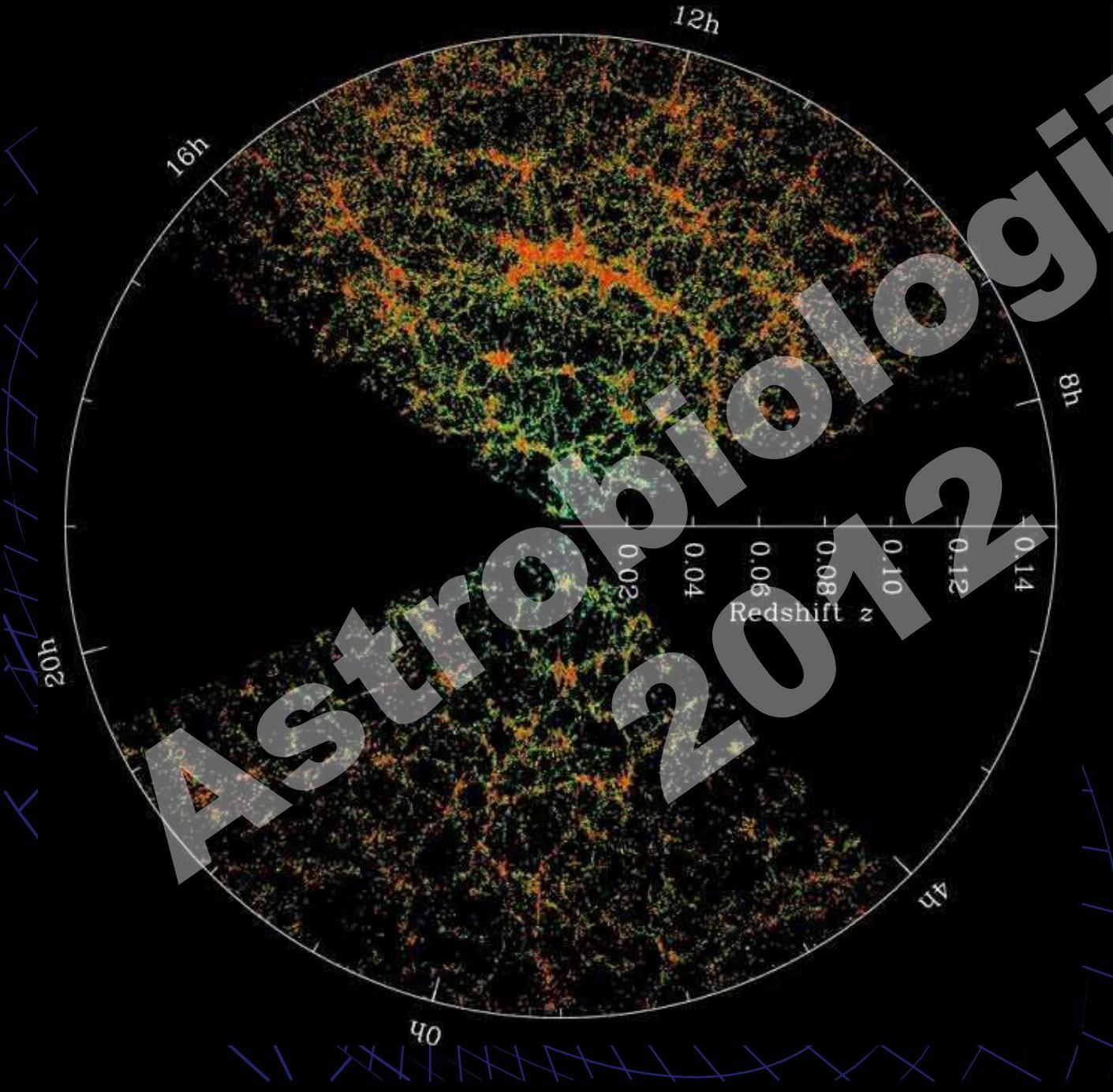


Veliki zid?

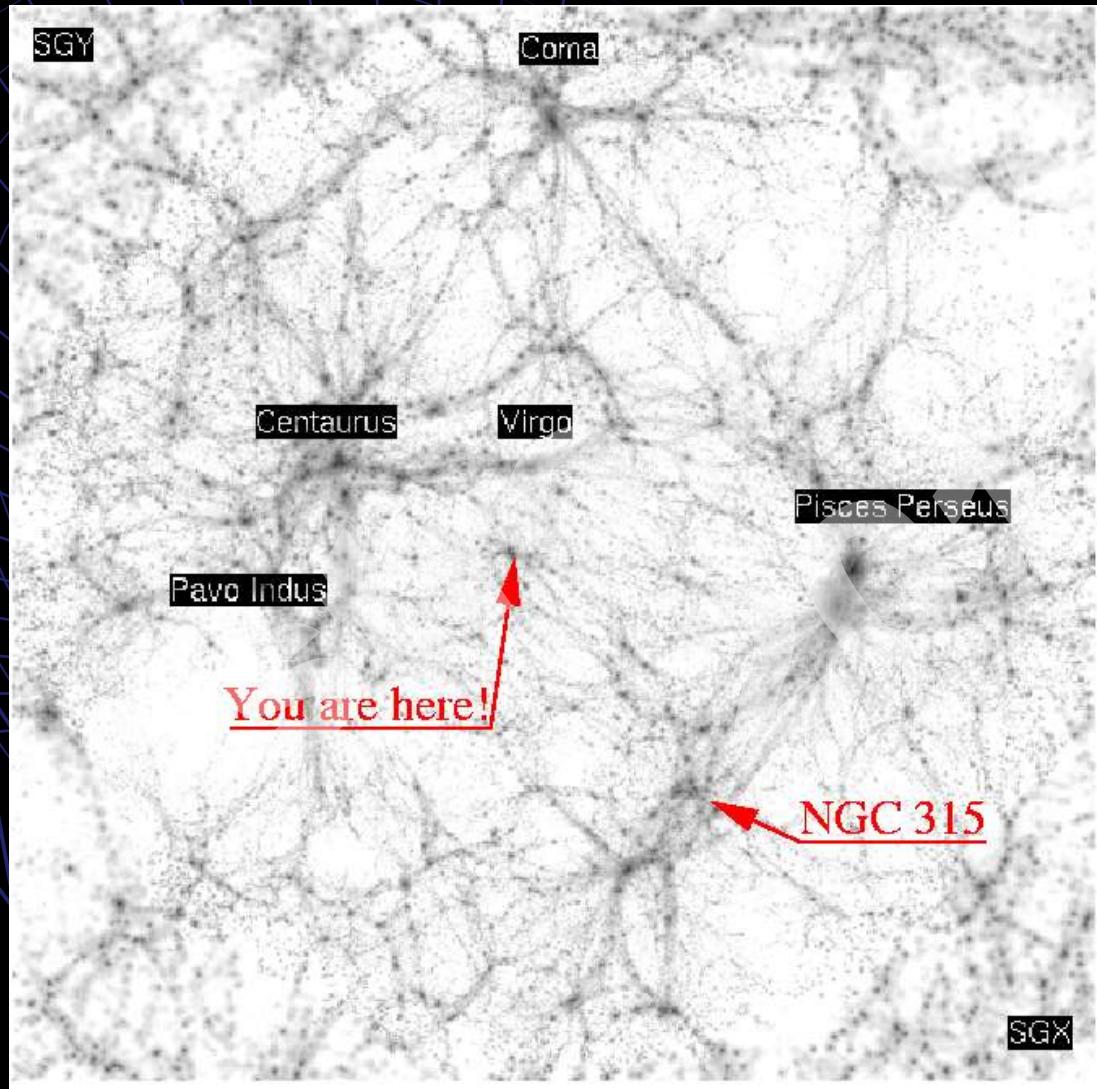
- ◆ 1989: Geller i Hakra otkrivaju na udaljenosti od 200 miliona sv. godina...
- ◆ ...strukturu veliku $160 \times 100 \times 4$ Mpc!
- ◆ Veliki zid = CfA2 zid = Zid u Berenikinoj kosi
- ◆ CfA/CfA2 Redshift Survey (1977-1995)
- ◆ Sadrži preko milion galaksija



This figure displays a simulation of dark matter halo distribution within a spherical volume. The simulation is visualized using a color-coded density field, where darker shades represent lower density and brighter orange/yellow colors represent higher density regions. A prominent, elongated filamentary structure of high-density dark matter is visible, stretching diagonally across the sphere. The sphere's boundary is marked with a white circle, and its center is indicated by a small white dot. The horizontal axis is labeled with 'Redshift z' and has numerical ticks at 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, and 0.14. The vertical axis is unlabeled. Two points on the sphere's surface are labeled with their Right Ascension values: '16h' at the top left and '8h' at the middle right. A large, semi-transparent watermark reading 'Astrobiology 2012' is overlaid across the entire image.



Pisces-Cetus kompleks superjata



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

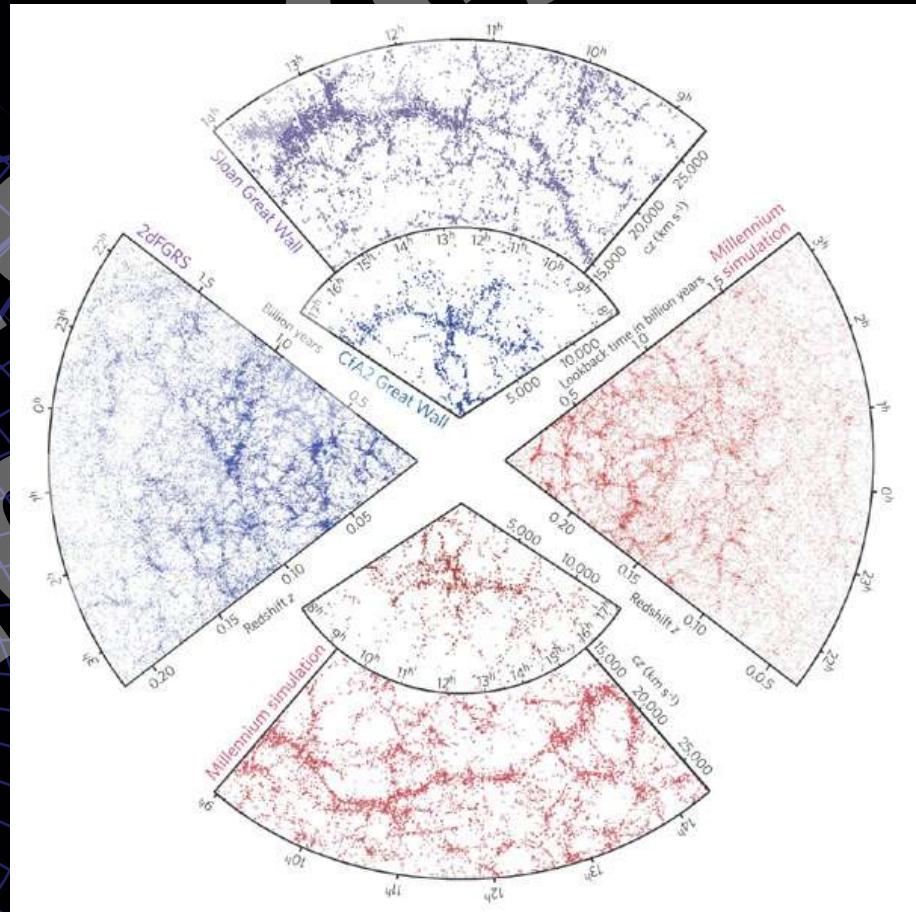
- ◆ Moderni katalozi galaksija:
SDSS

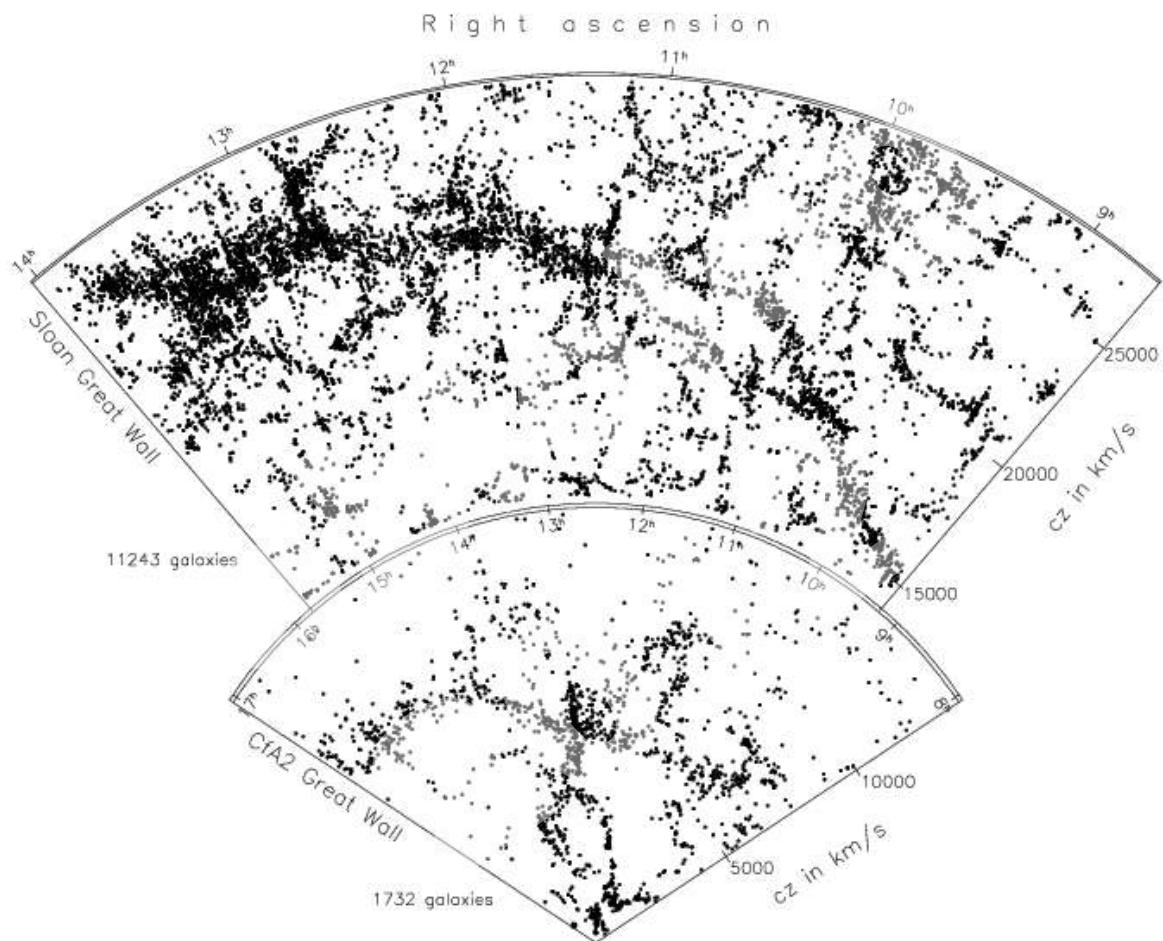
Astrobiologija
2012

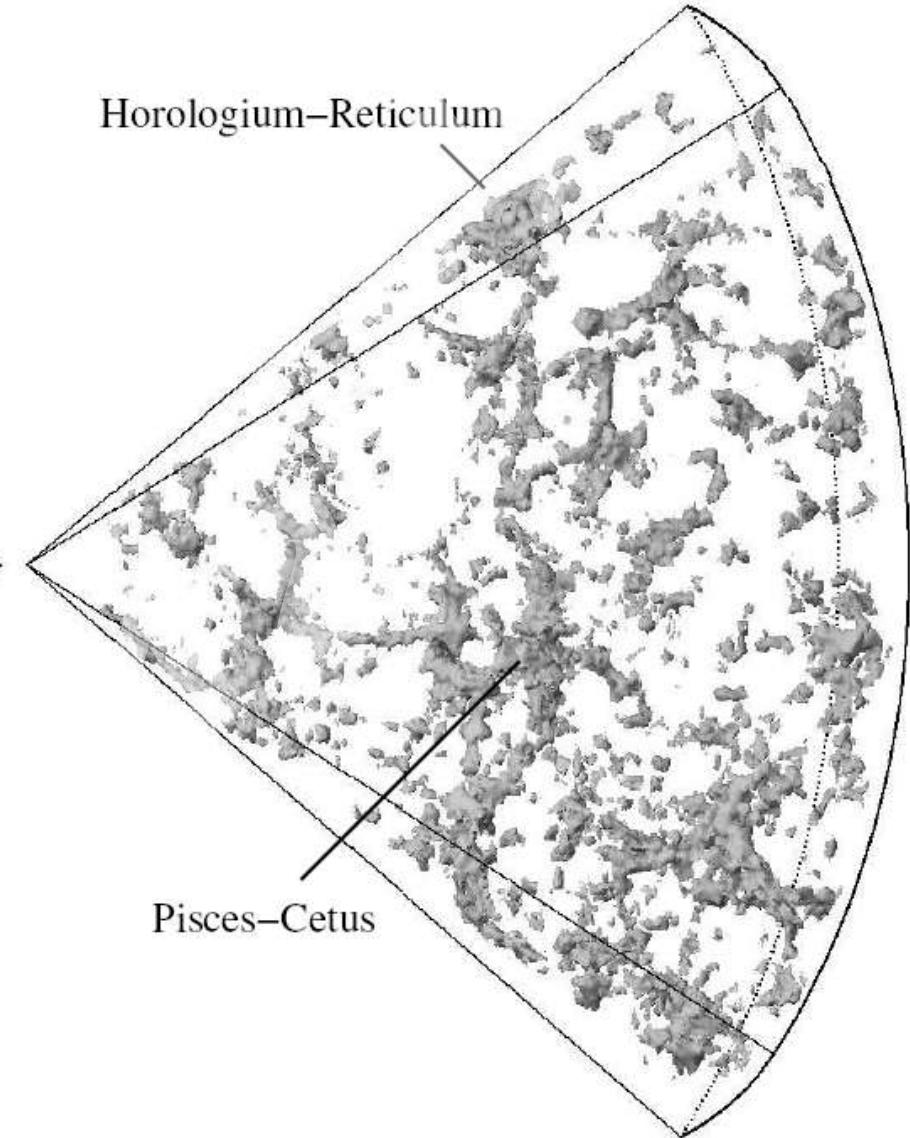
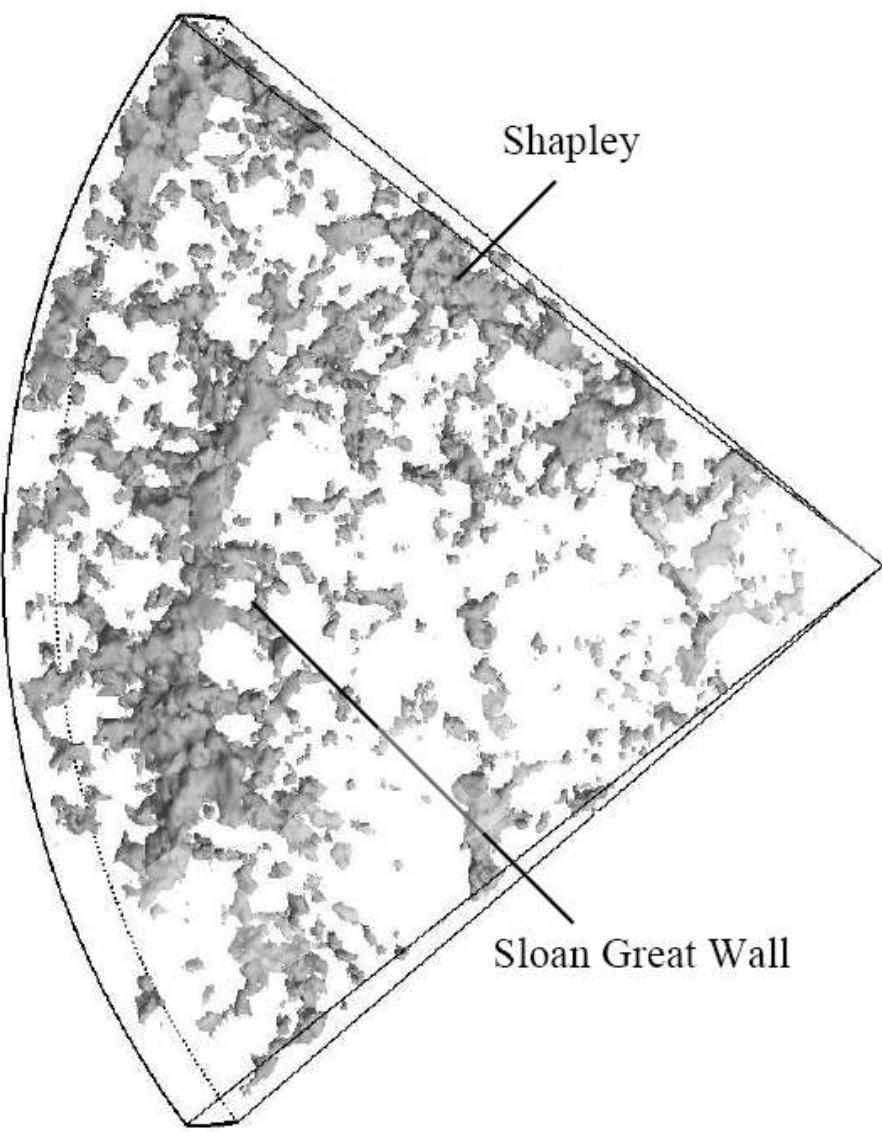


Novi rekorder!

- ◆ 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

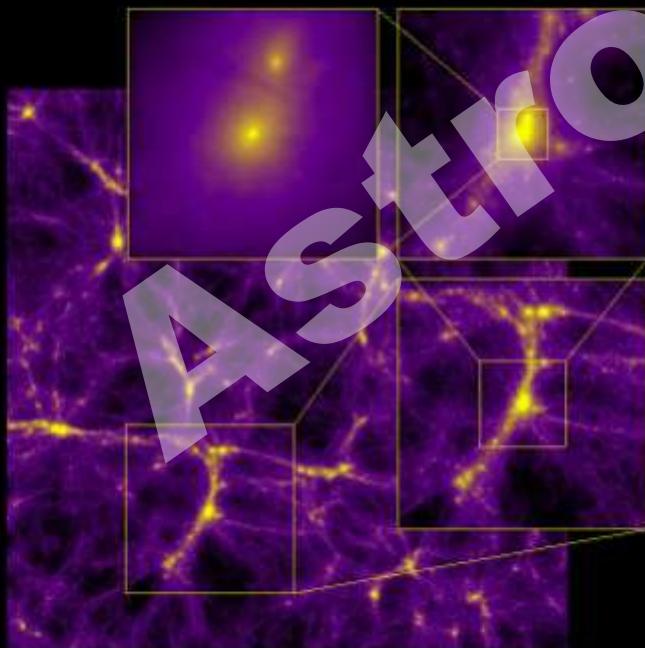






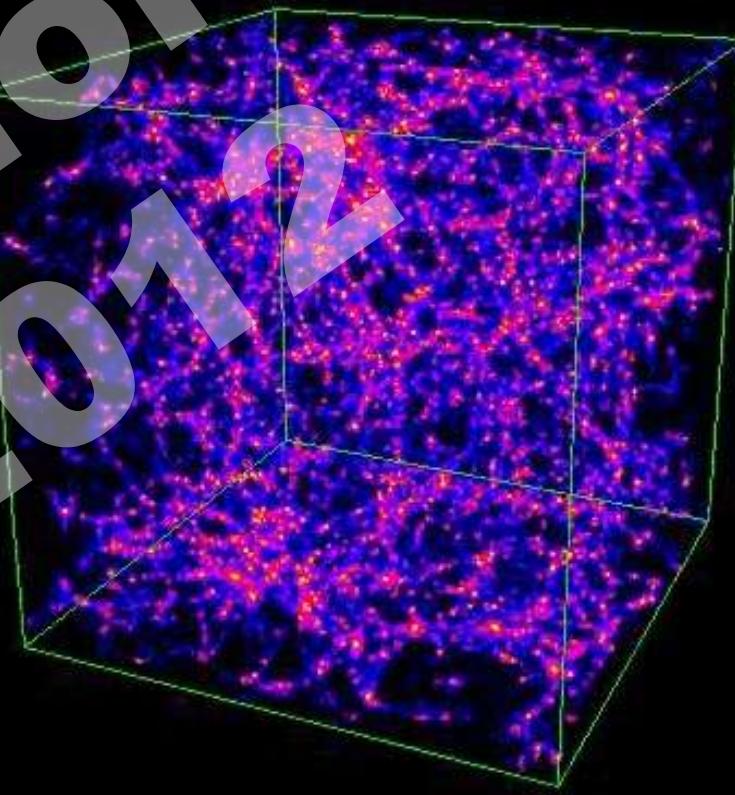
Simulacije nastanka strukture

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



Λ CDM N=2x4285
CLEF 2004c: Klypin, Sifri, Agarwal, Blanchard, Underwood, Sodt, Thomas

Evolution of Structure in a Low Omega Universe
200 Mpc across
Time = 9.23 Gyr



Astrobiologija 2012

125 Mpc/h

Priroda objašnjenja u kosmologiji?

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

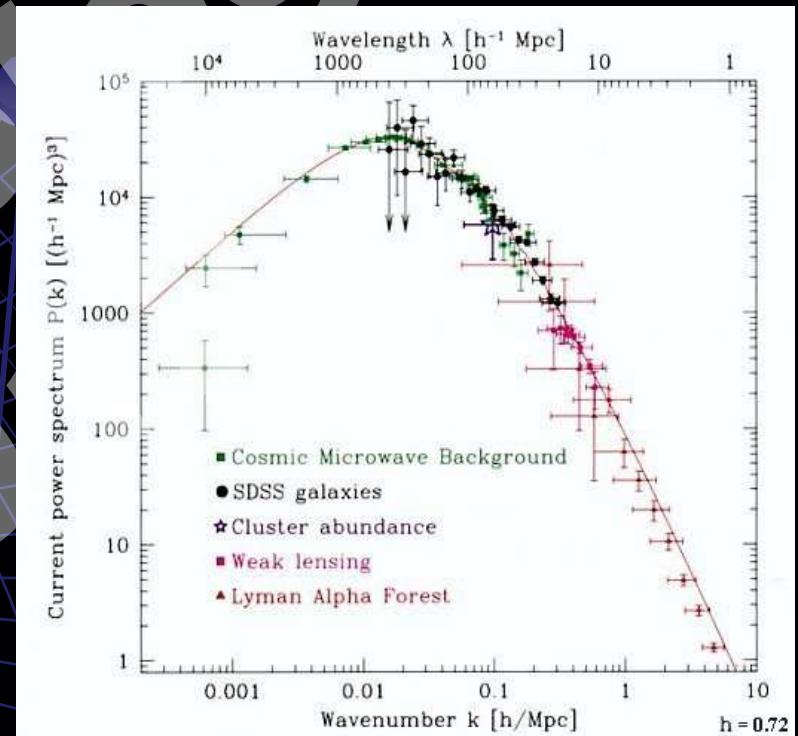
$$\xi(r) = \frac{1}{2\pi^2} \int k^2 P(k) \frac{\sin(kr)}{kr} dk$$

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?

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

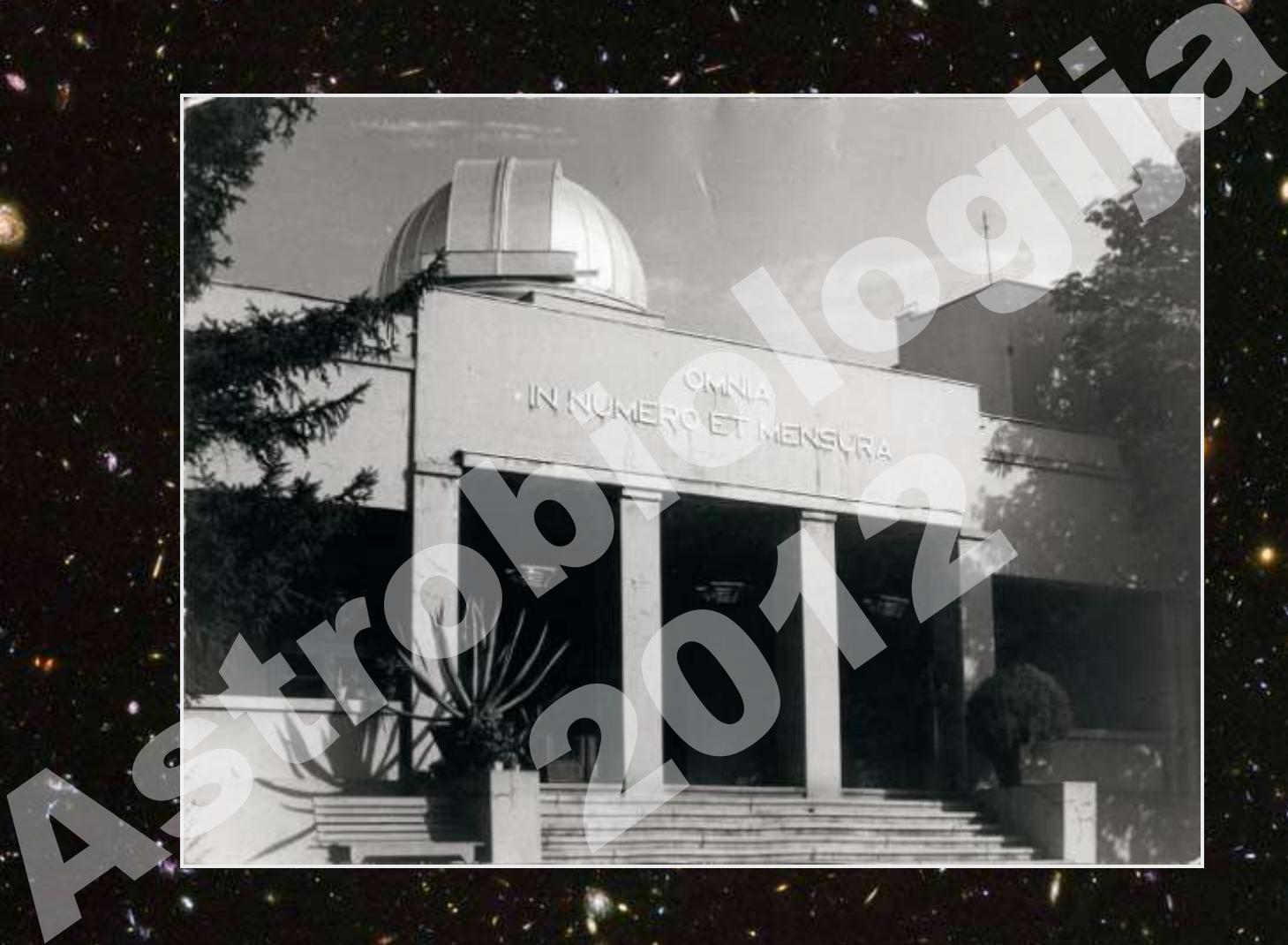


Pouke?

- ◆ 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!