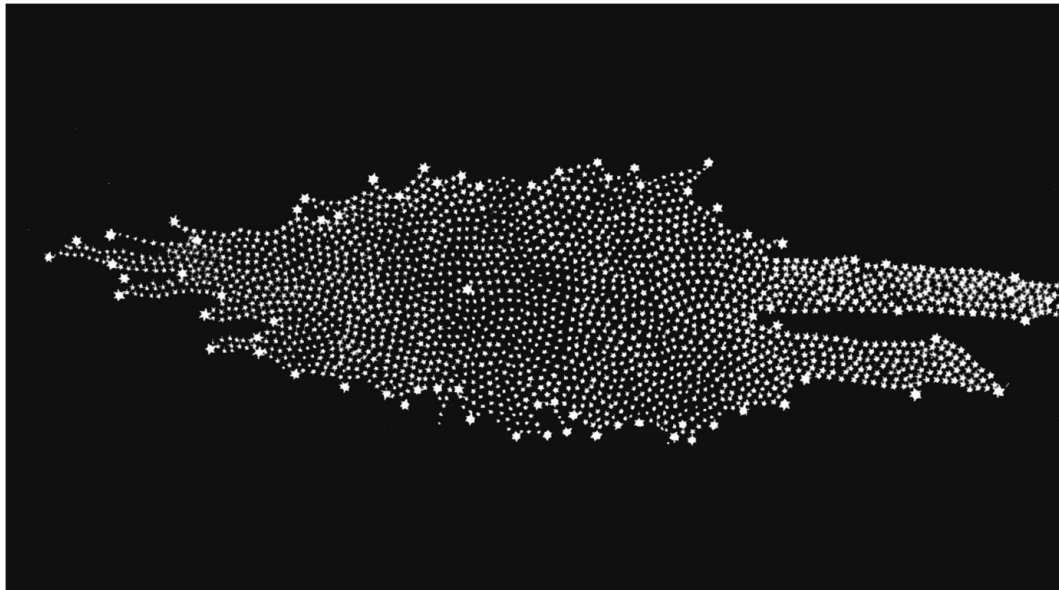


# Mlijecni Put

# Herschelova karta raspodjele zvijezda:

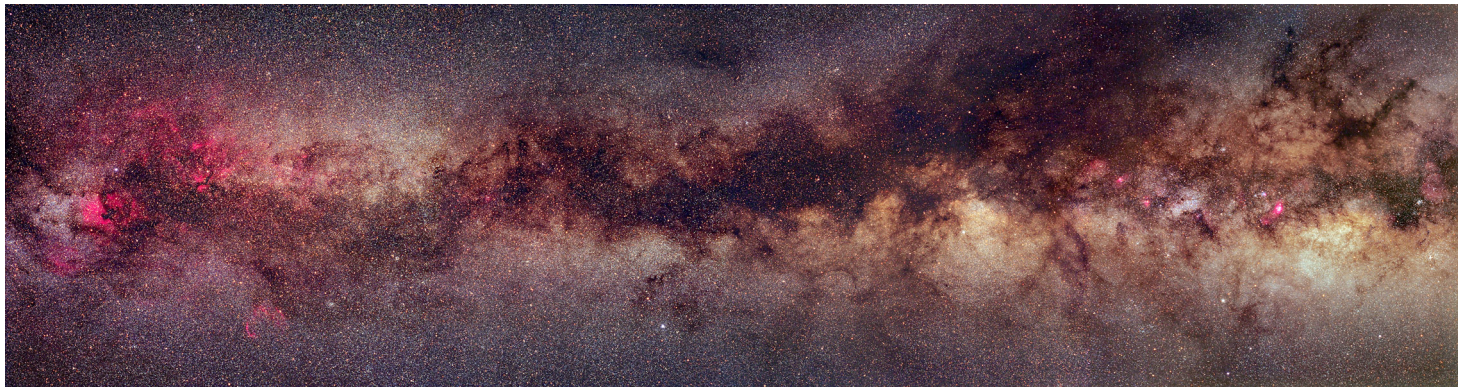


## “Herschelov svemir”

Karta Mlječnog Puta određena prema brojanju zvijezda u 683 područja na nebu (~1780 god.)

Pretpostavke:

- Sve zvijezde imaju istu apsolutnu magnitudu
- Brojna gustoca zvijezda u svemiru je konstantna
- Ne postoji materijal koji zatamnjuje svjetlost
- Vidljivost skroz do krajeva zvjezdane distribucije



# Zvijezde u neposrednoj blizini Sunca

- 15,630 zvijezda unutar 100pc od Sunca (Hipparcos satelit)
- Rijetke ssvjetlje zvijezde (O,B, superdivovi) doprinose sjaju vise od svih zvijezda tamnijih od Sunca, ali vecinu mase cine tamni K, M patuljci

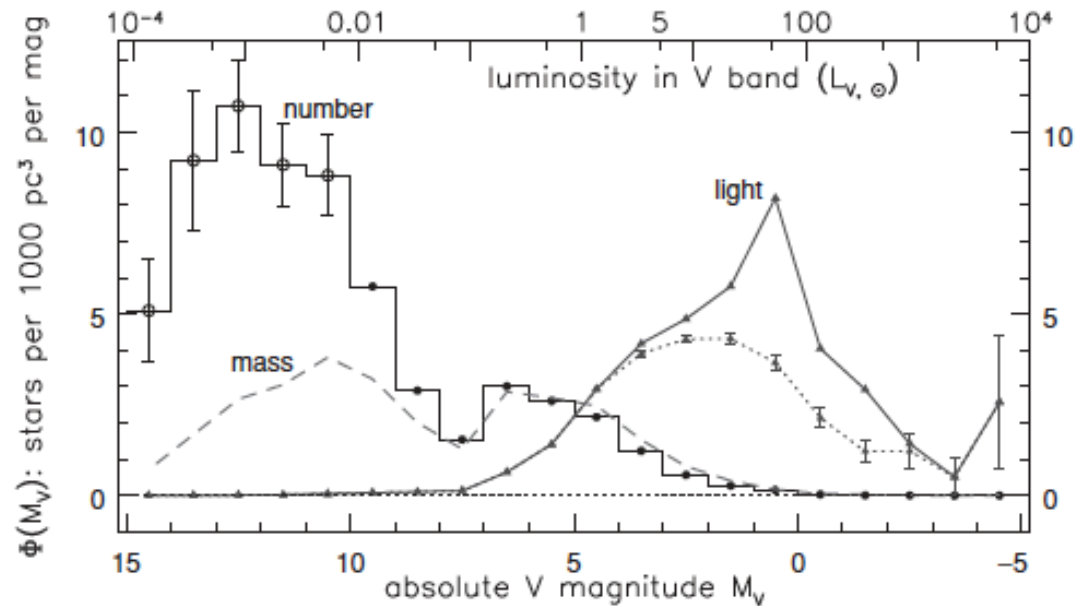
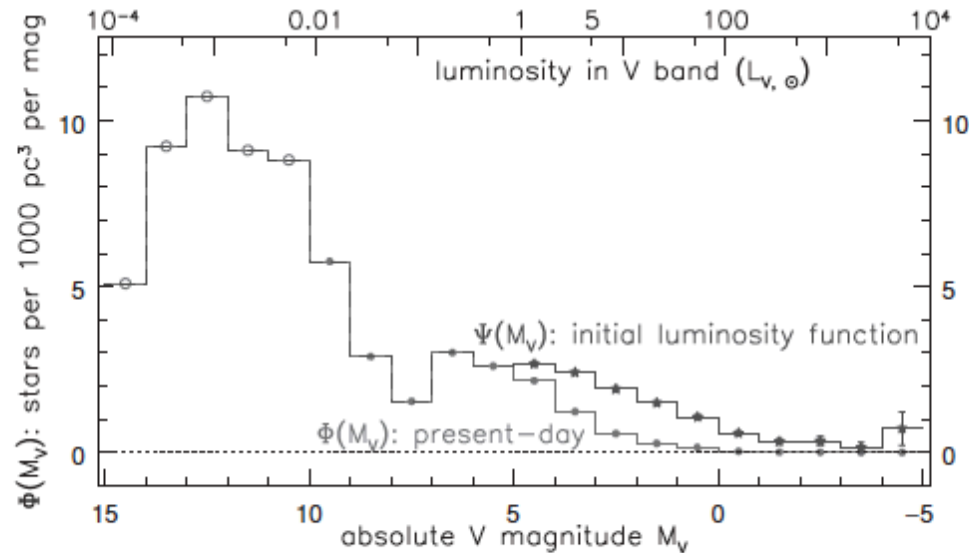


Fig. 2.3. The histogram shows the luminosity function  $\Phi(M_V)$  for nearby stars: solid dots from stars of Figure 2.2, open circles from Reid *et al.* 2002 *AJ* 124, 2721. Lines with triangles show  $L_V \Phi(M_V)$ , light from stars in each magnitude bin; the dotted curve is for main-sequence stars alone, the solid curve for the total. The dashed curve gives  $\mathcal{M} \Phi_{MS}(M_V)$ , the mass in main-sequence stars. Units are  $L_\odot$  or  $\mathcal{M}_\odot$  per 10 pc cube; vertical bars show uncertainty, based on numbers of stars in each bin.

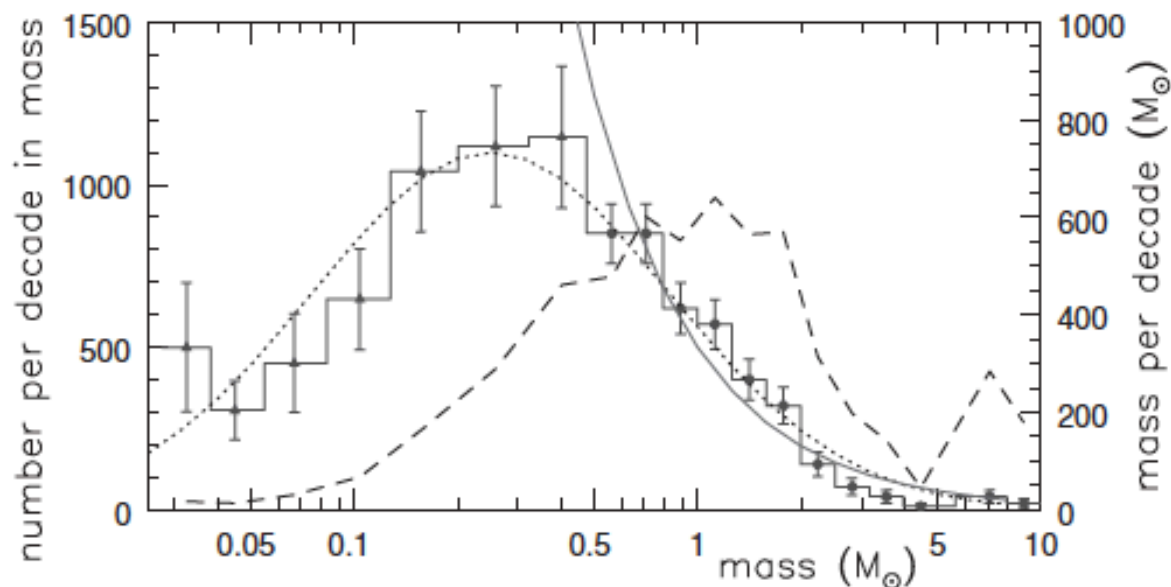
# Pocetna funkcija luminoziteta (initial luminosity function)



**Fig. 2.4.** Circles show the luminosity function  $\Phi_{\text{MS}}(M_V)$  for main-sequence stars as in Figure 2.3. The histogram gives the initial luminosity function  $\Psi(M_V)$ , assuming that stars were born at a constant rate over the past 10 Gyr. Both functions have a minimum, the *Wien dip*, at  $M_V \approx 8$ . This V-band luminosity corresponds to only a tiny range of stellar mass  $\mathcal{M}$ . The mass function  $\xi(\mathcal{M})$  probably has no dip or inflection at this mass.

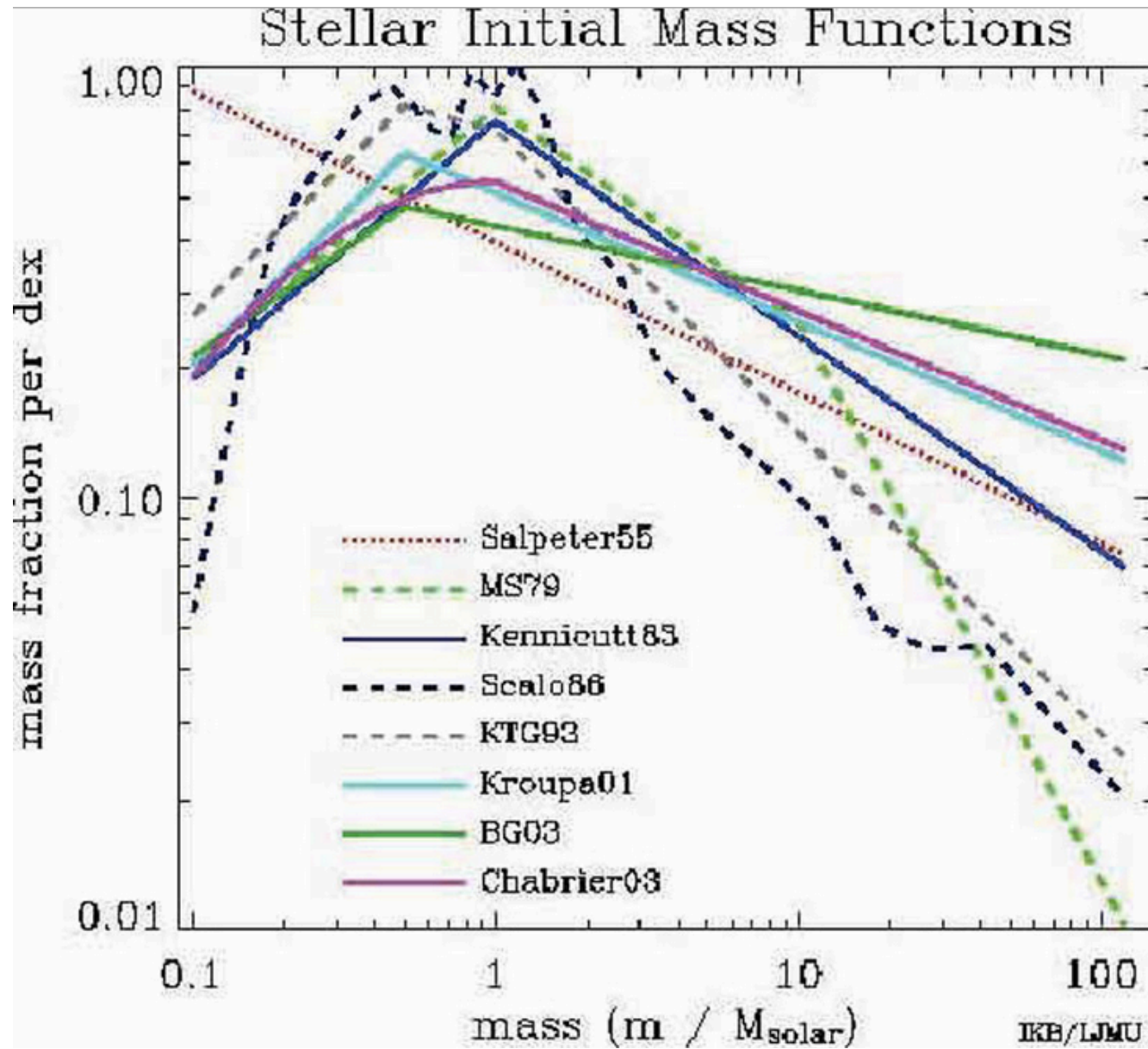
$$\begin{aligned} \Psi(M_V) &= \Phi_{\text{MS}}(M_V) && \text{for } \tau_{\text{MS}}(M_V) \geq \tau_{\text{gal}}, \\ &= \Phi_{\text{MS}}(M_V) \times \frac{\tau_{\text{gal}}}{\tau_{\text{MS}}(M_V)} && \text{when } \tau_{\text{MS}}(M_V) < \tau_{\text{gal}}. \end{aligned}$$

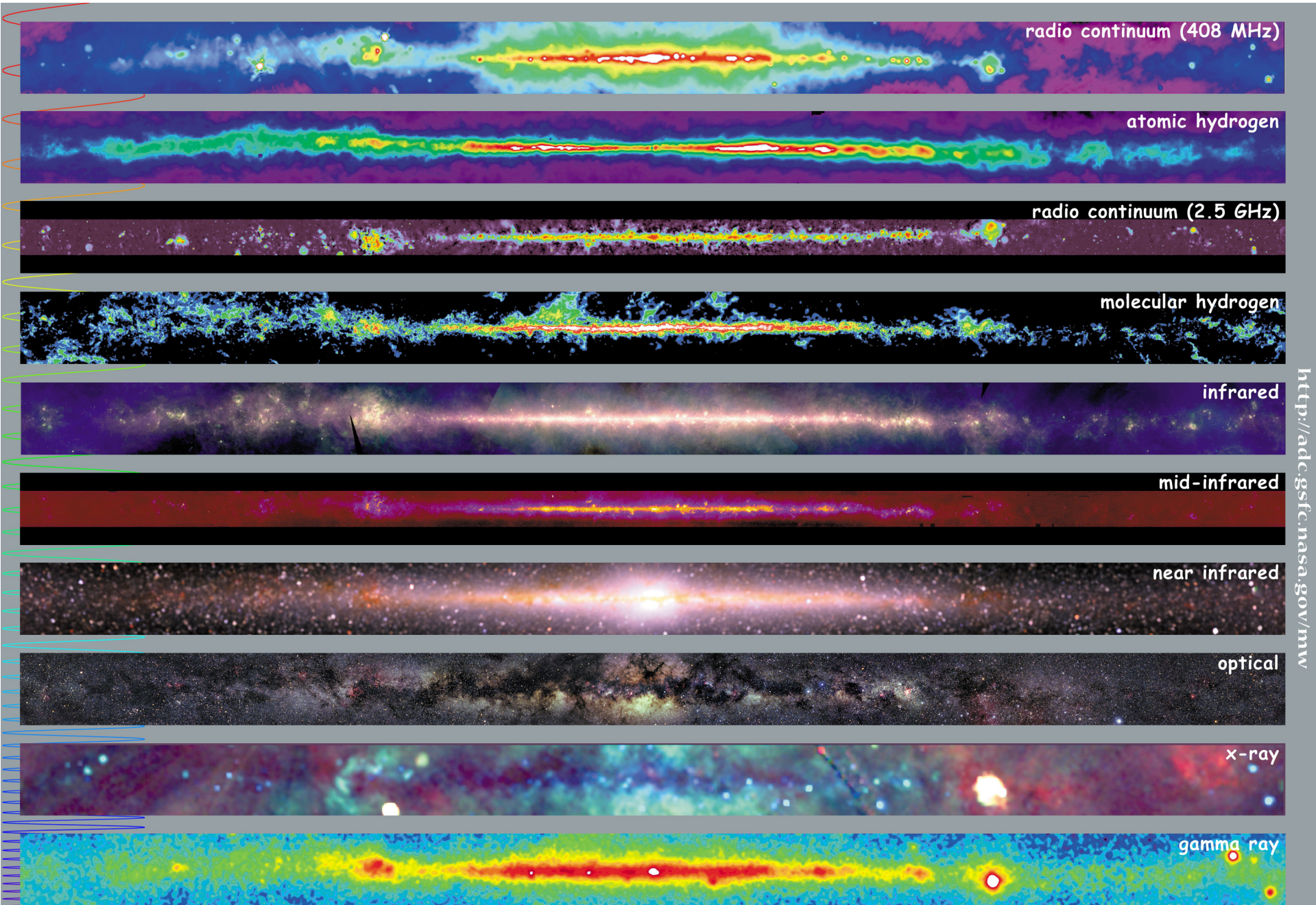
# Pocetna funkcija mase (initial mass function)



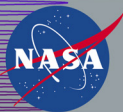
**Fig. 2.5.** Masses of stars in the Pleiades cluster: the number in each mass range is proportional to the area under the histogram. The smooth curve shows the Salpeter initial mass function, the dotted curve is a lognormal function. The dashed line shows mass: stars near  $0.25M_{\odot}$  are most numerous, but those of  $(1-2)M_{\odot}$  account for most of the cluster's mass – E. Moreau.

Paramtrizacija, Salpeter IMF:  $\xi(M)\Delta M = \xi_0(M/M_{\odot})^{-2.35}(\Delta M/M_{\odot})$ ,

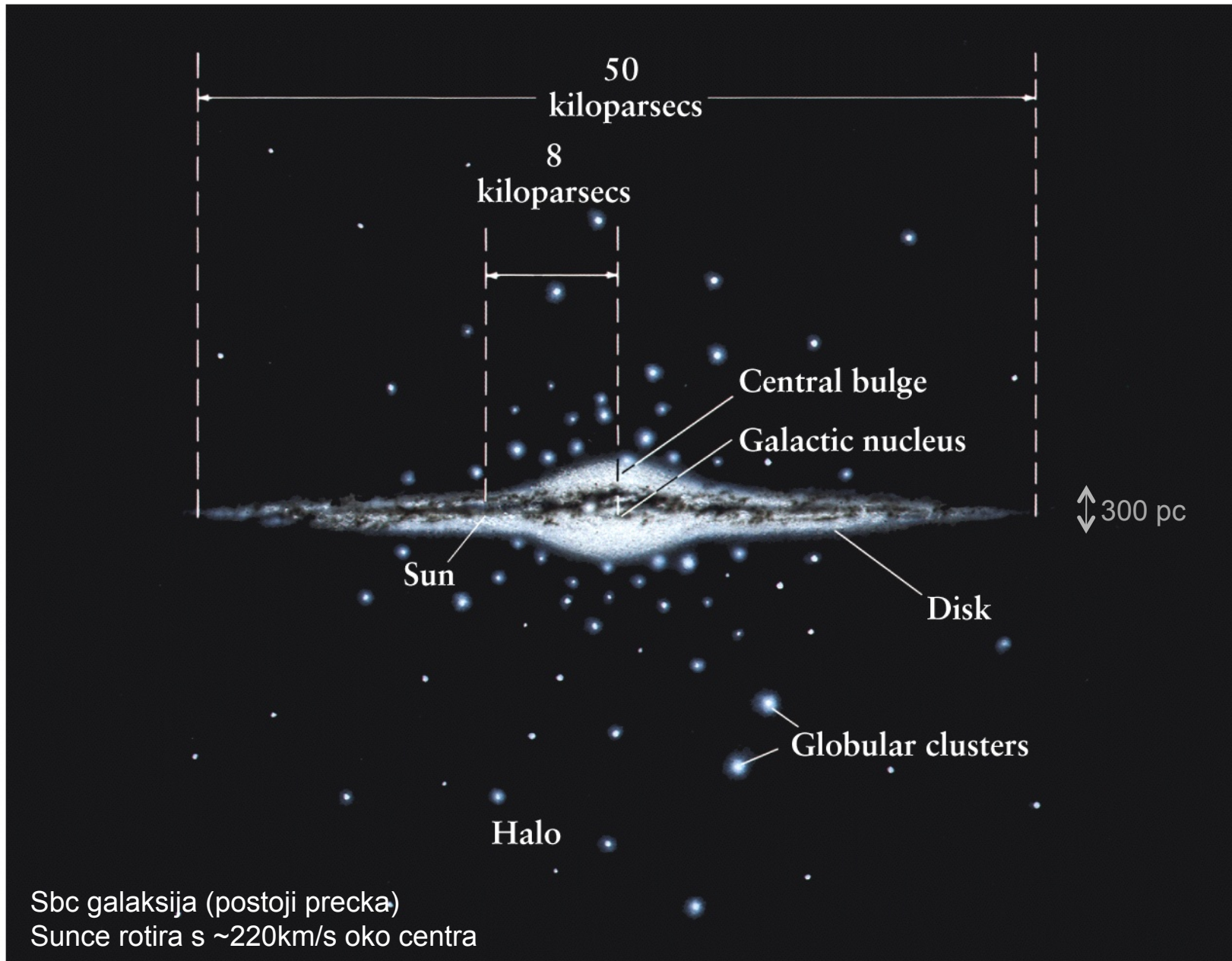




<http://adc.gsfc.nasa.gov/mw>



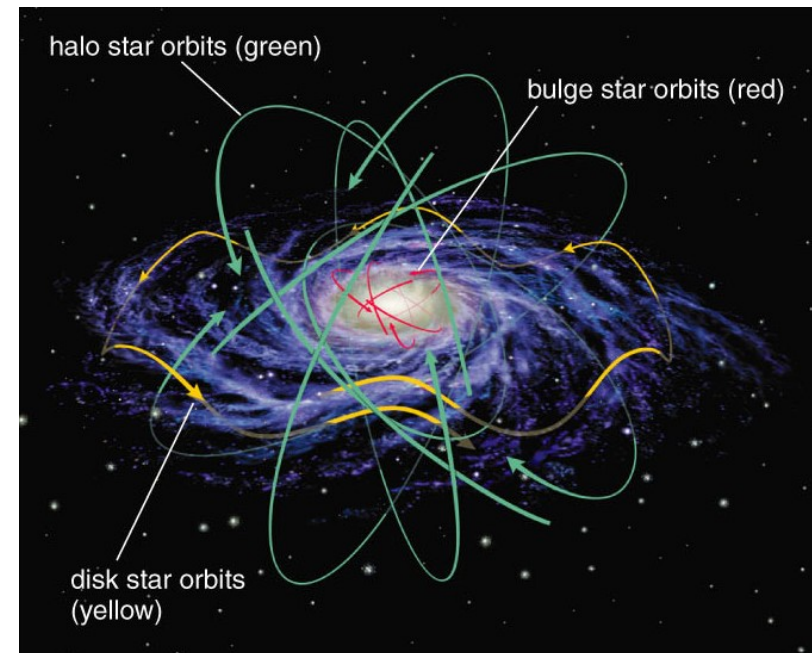
# Multiwavelength Milky Way





# Komponente Mliječnog Puta

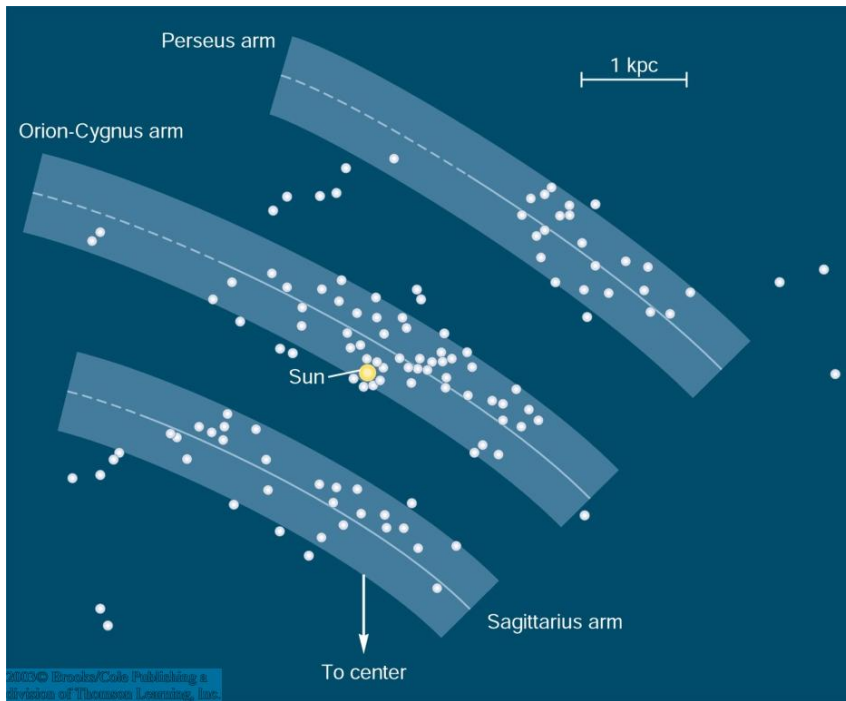
- Disk
  - Zvijezde populacije I (bogte metalima, ~8.8 Ggod)
  - Otvoreni skupovi zvijezda
  - HII područja, prasina
- Bulge (sredisnje zadebljanje)
  - Zvijezde populacije I & II
- Zvezdani halo
  - Pop II zvijezde (~12.5-13 Ggod)
  - Kuglasti skupovi
  - Nema plina i prasine
- Halo tamne tvari



Disk & spiralni krakovi

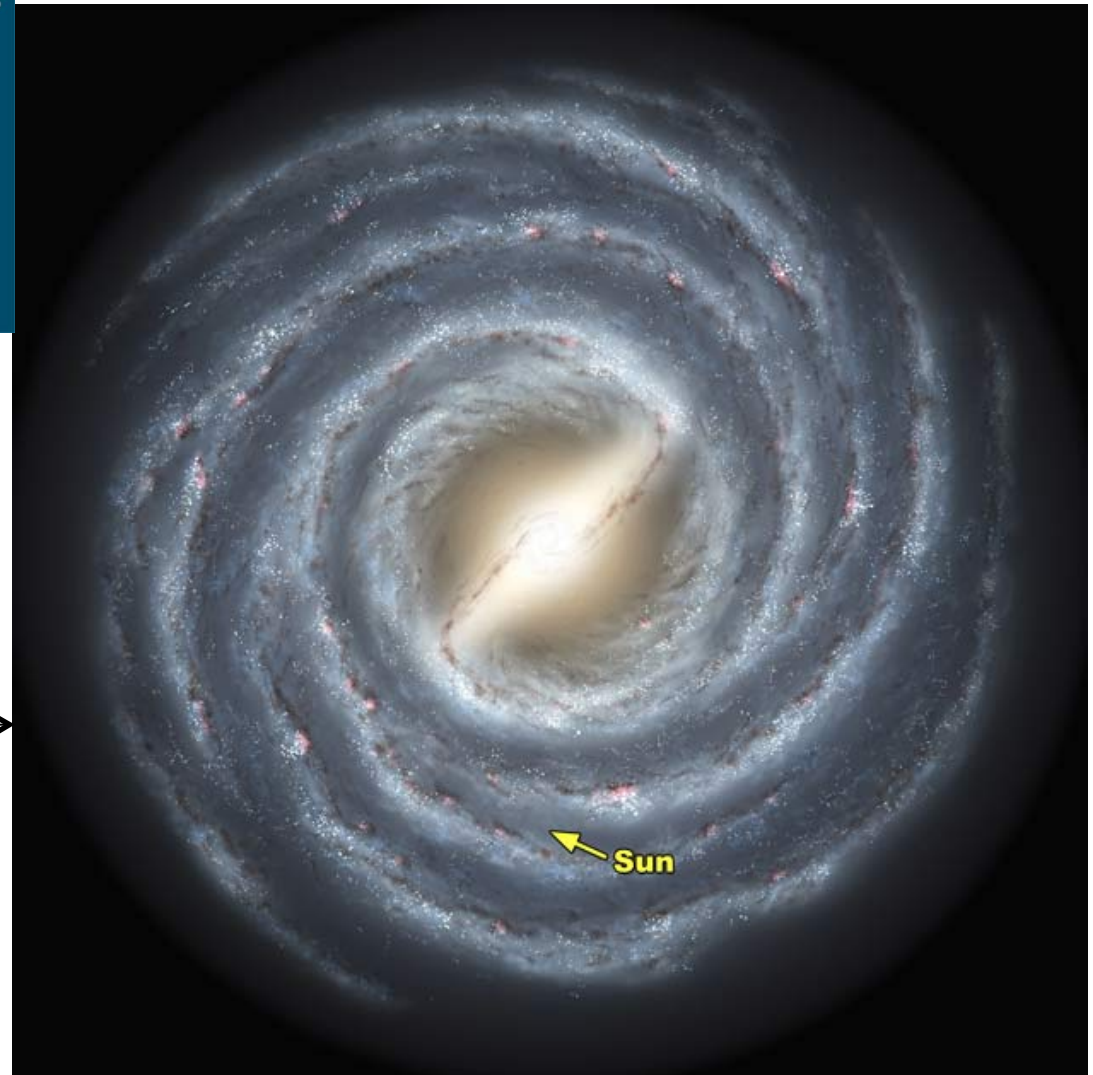
# Komponente diska

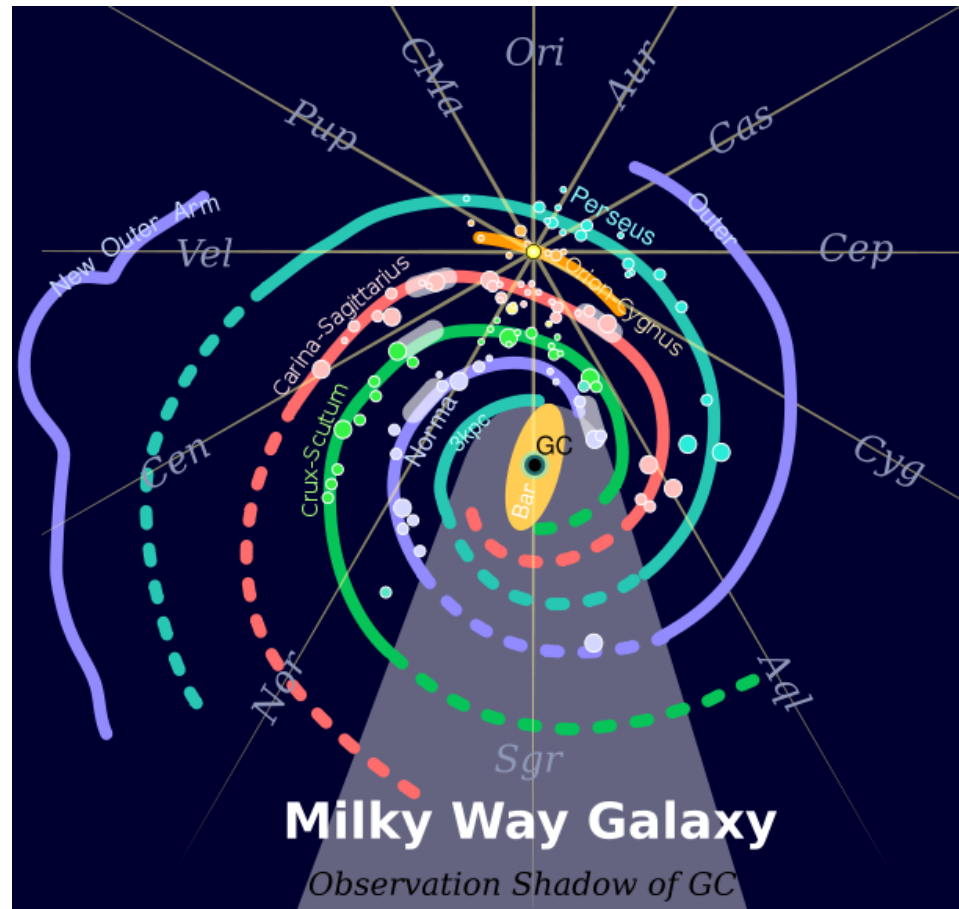
- Mladi tanki disk
  - “Scale height” (=udaljenost u kojoj se brojna gustoca smanji za  $e^{-1}$ )  $\sim 50$  pc
  - Podrucje u kojem se danas stvaraju zvijezde (najmladje zvijezde u usporedbi s starim tankim & debelim diskom)
  - Centralna ravnina raspodjele plina i prasine
  - Sunce; udaljeno oko 30 pc (okomito) od sredisnje ravnine
- Stari tanki disk
  - Vertikalna skala visine  $\sim 325$  pc
  - Starije zvijezde
- Debeli disk
  - Vertikalna skala visine  $\sim 4.25$  kpc
  - Brojna gustoca zvijezda samo oko 2% oba tanka diska
  - Najstarije zvijezde (u disku; jos uvijek mladje od onih u halou)



Spiralni krakovi  
Mliječnog Puta

Mliječni Put bi  
mogao ovako  
izgledati

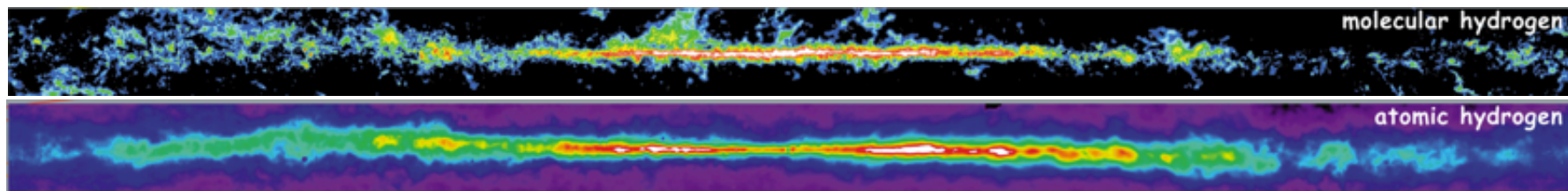





Color	Arm(s)
cyan	3-kpc and Perseus Arm
purple	Norma and Outer arm (Along with a newly discovered extension)
green	Scutum-Crux Arm
pink	Carina and Sagittarius Arm
<i>There are at least two smaller arms or spurs, including:</i>	
orange	Orion-Cygnus arm (which contains the Sun and Solar System)

# Plin/prasina

- Molekularni vodik ( $H_2$ ) i hladna prasina se nalaze vecinom unutar Sunceve orbite (3-8kpc od sredista); usko vezani uz sredisnju ravninu (scale height  $\sim 90$ pc)
- Atomski vodik (HI) se proteze do ruba Galaskije (3-25kpc); scale height  $\sim 160$ kpc (u blizini Sunca) te raste s  $r$



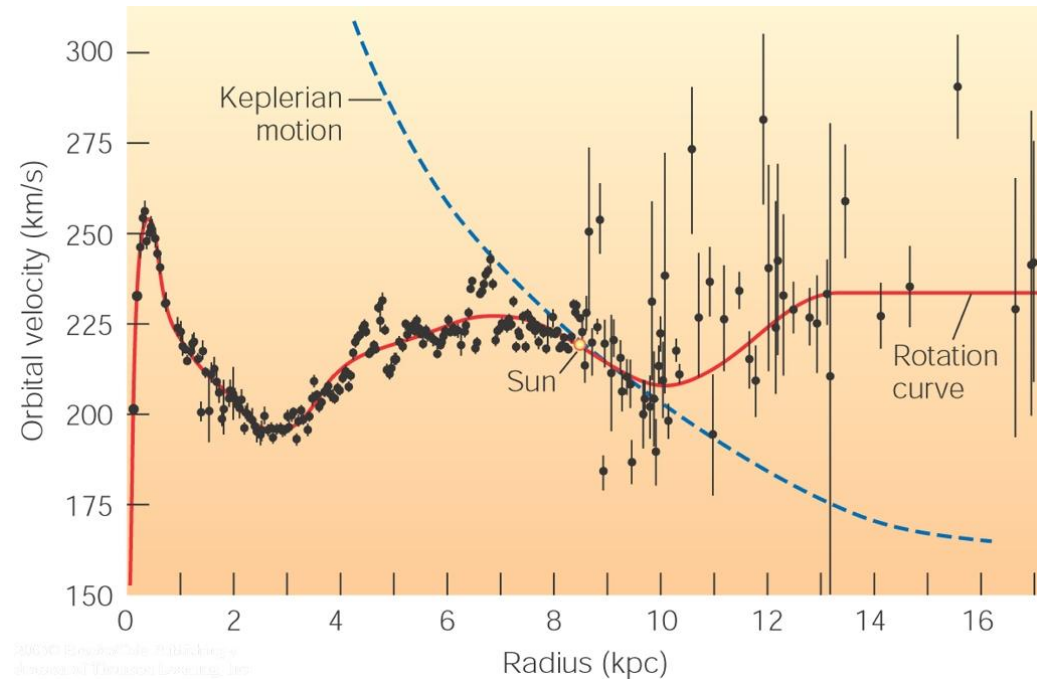
- 
- $\sim 2-4 \times 10^{11}$  zvijezda  $\Rightarrow$  zvjezdana masa reda velicine  $\sim 10^{11} M_{\text{sun}}$  (dobro slaganje s masom izvedenom iz rot. brzine sunca; 220 km/s)
  - Ukupna masa red velicine veca (do  $\sim 200$  kpc)  $\Rightarrow$  tamna tvar dominira na velikim r

Rotacijska krivulja i tamna tvar



Rotacijska krivulja  
Mječnog Puta- brzina  
je skoro konstantna s  
udaljenoscju od  
sredista

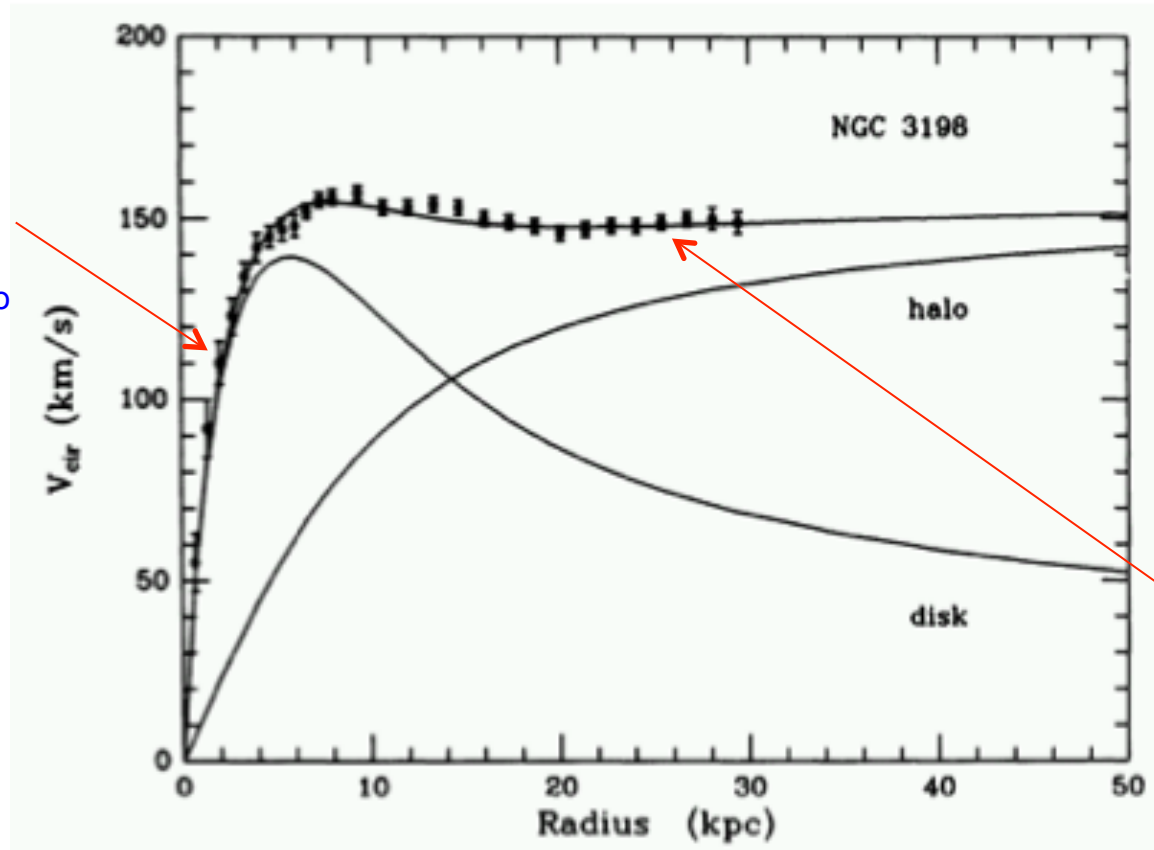
Tipicna rotacijska  
krivulja za spiralne  
galaksije



Potrebno mnogo mase (puno  
više nego sto je opazeno) na  
vanjskim djelovima –  
***TAMNA TVAR!***

# Spljostena rotacijska krivulja: dokaz za tamnu tvar

Nekoliko kpc od centra brz rast krivulje => rotacija krutog tijela (sve zvijezde imaju jednak orbitalni period oko centra)  
=> Masa je sfericno raspodijeljena te gustoca ~konstantna



Spljostena rotacijska krivulja  
=> diferencijalna rotacija  
=> Vecina mase u vanjskim djelovima je sfericno raspodijeljena s  $\rho \sim r^{-2}$

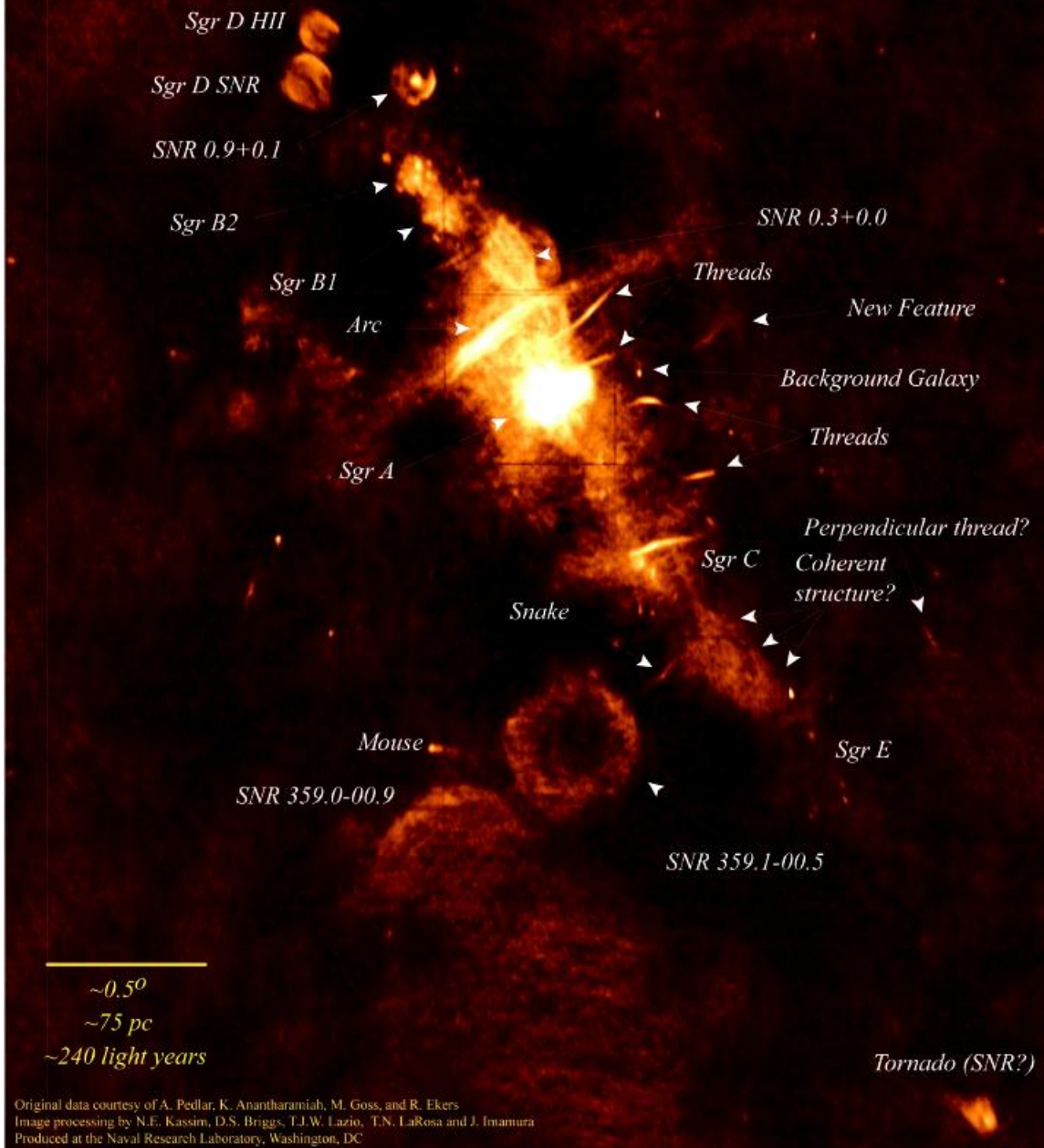
# Srediste galaksije

# Srediste Galaksije

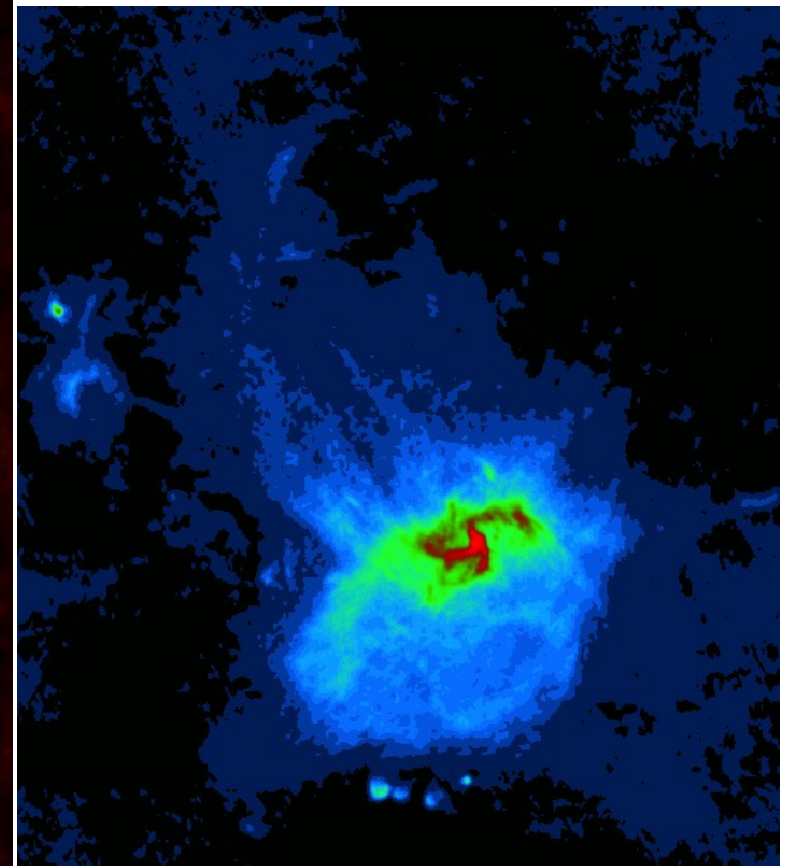


NIR slika sredista (2MASS; 2 Micron All Sky Survey)

## Wide-Field Radio Image of the Galactic Center



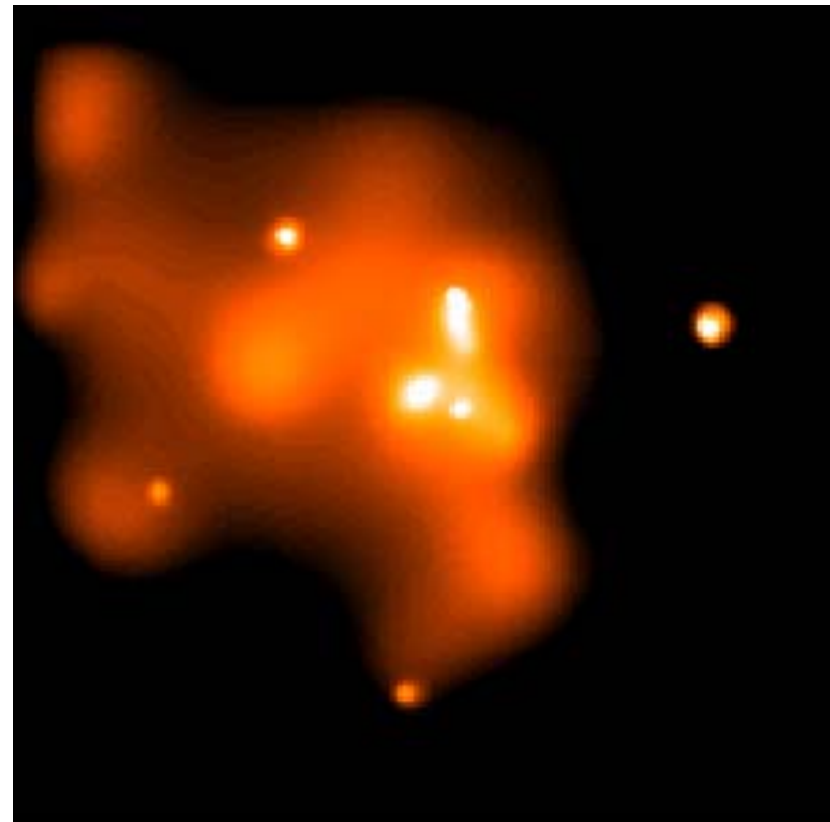
Srediste galaksije u radio području

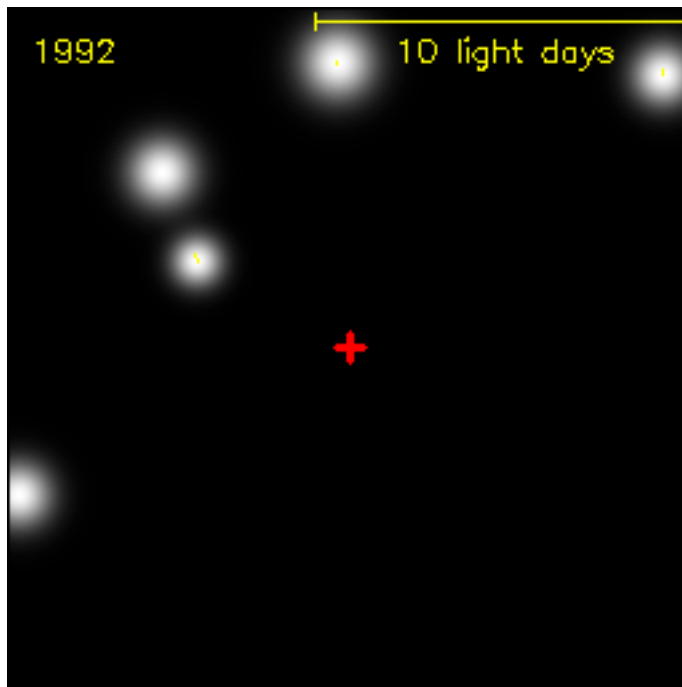
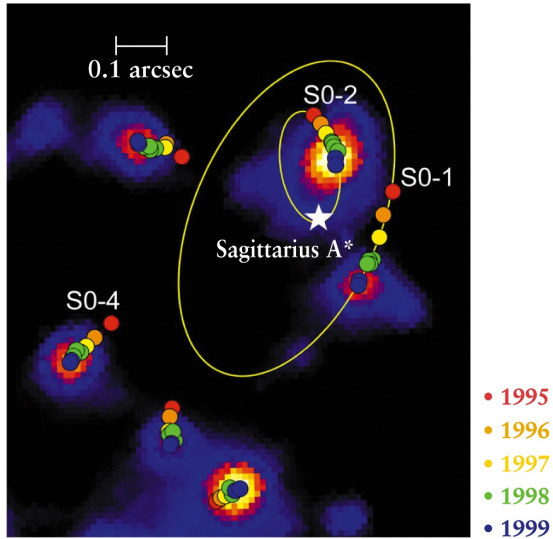




Rendgensko zracenje (X-ray) iz sredista Galaksije  
[Chandra X-ray Observatory](#)

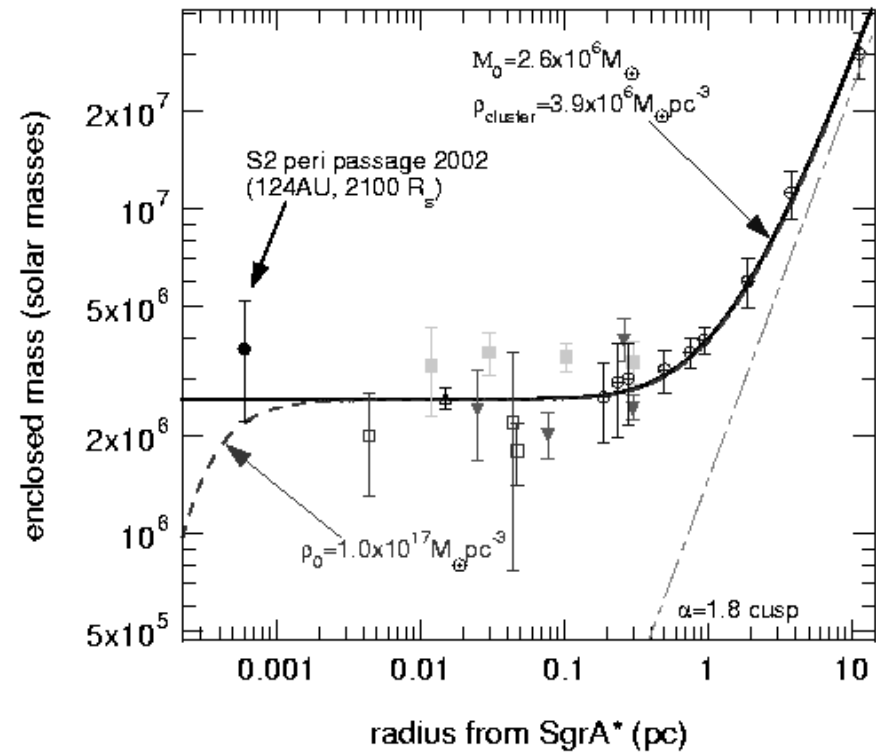
Mnogo vruceg plina!





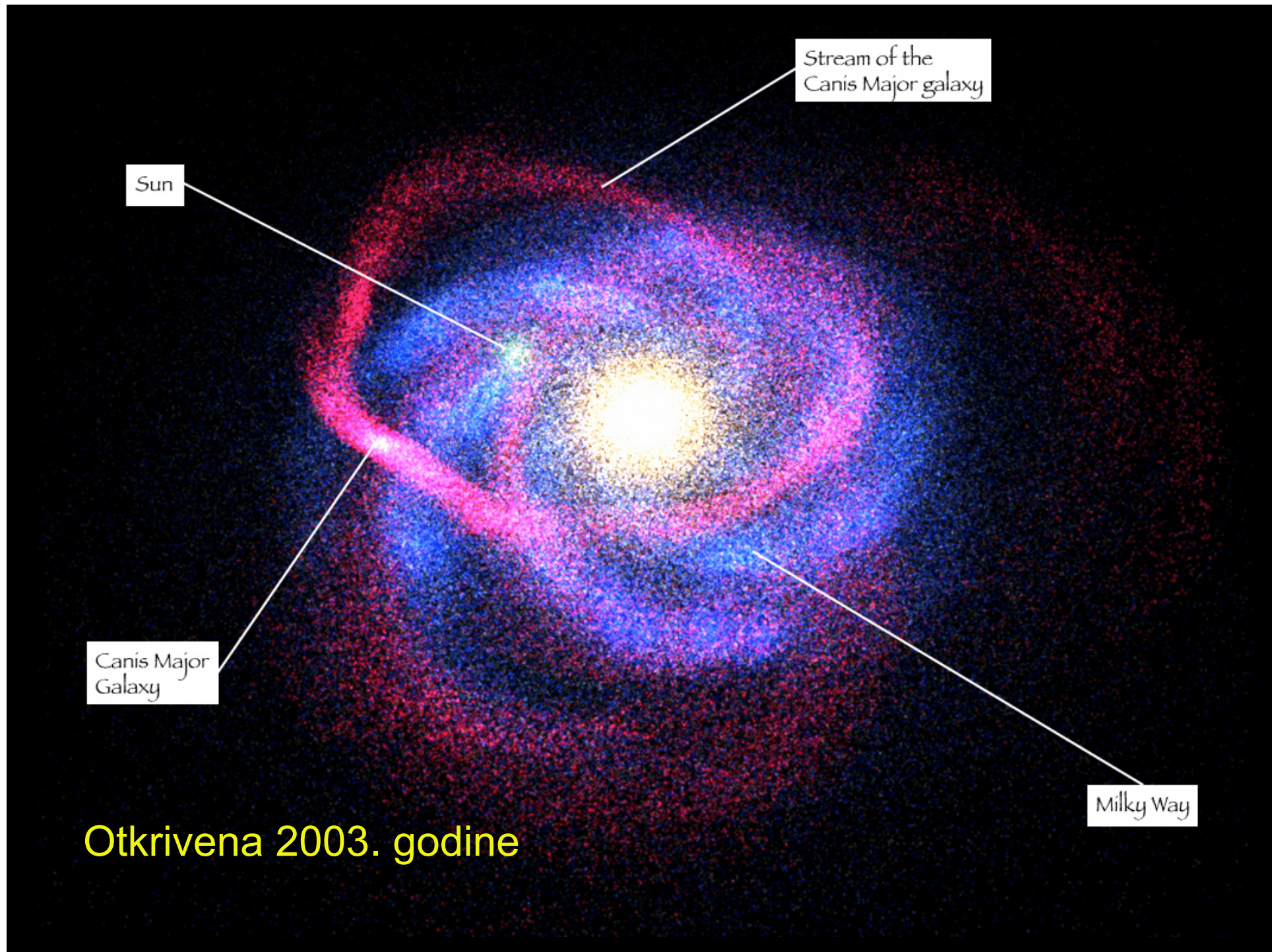
# Crna rupa u sredistu - Sgr A\*

$$M \sim 4 \times 10^6 M_{\odot}$$



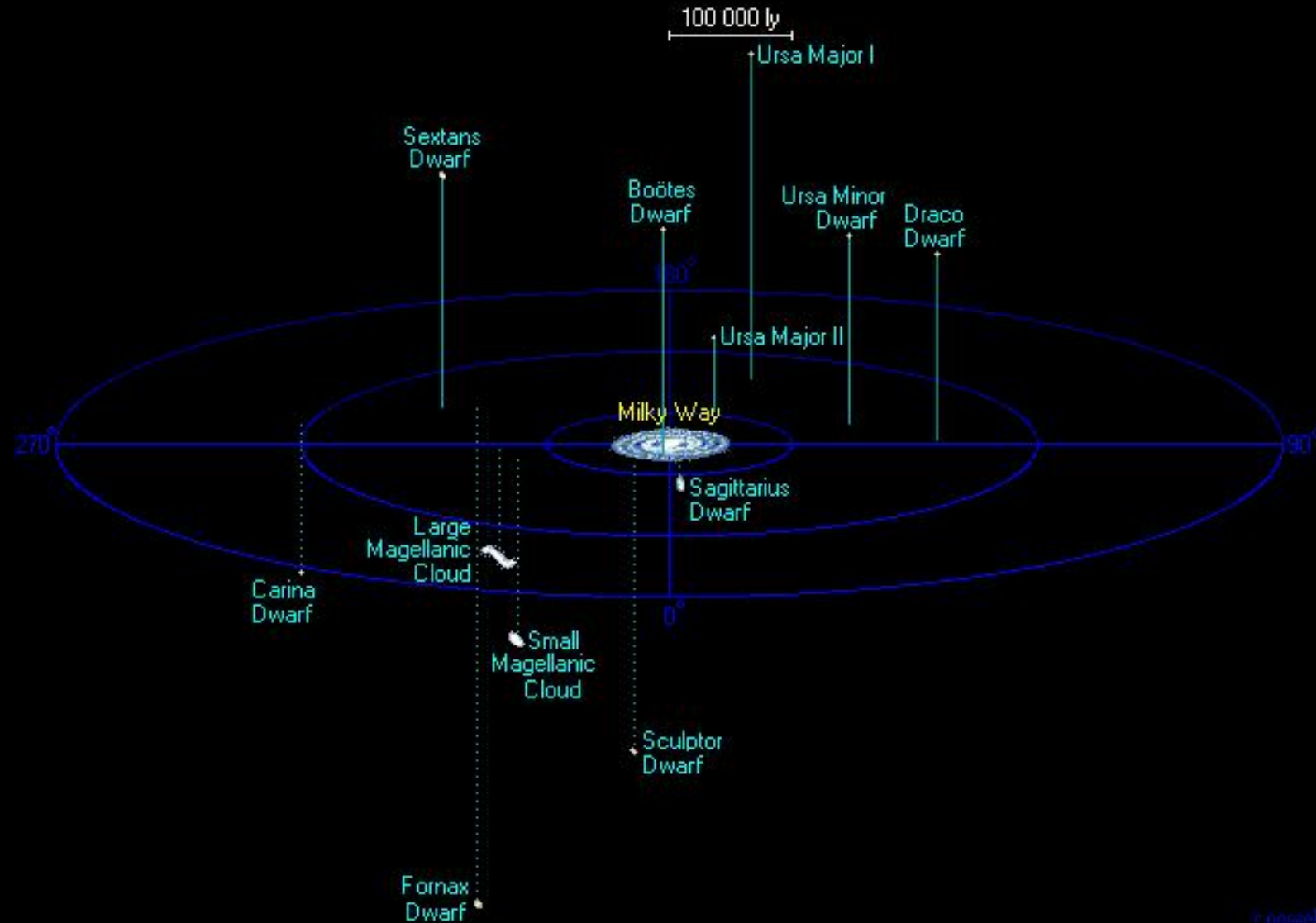
**Kanibalizam**





Otkrivena 2003. godine

# Satelitske galaksije Mliječnog Puta



Lokalna Grupa

# Lokalna grupa

Oko tridesetak galaksija koje se nalaze u sferi polumjera jednog megaparseka sa središtem između Mliječnog Puta i Andromedine galaksije M31.

Najsajnije:

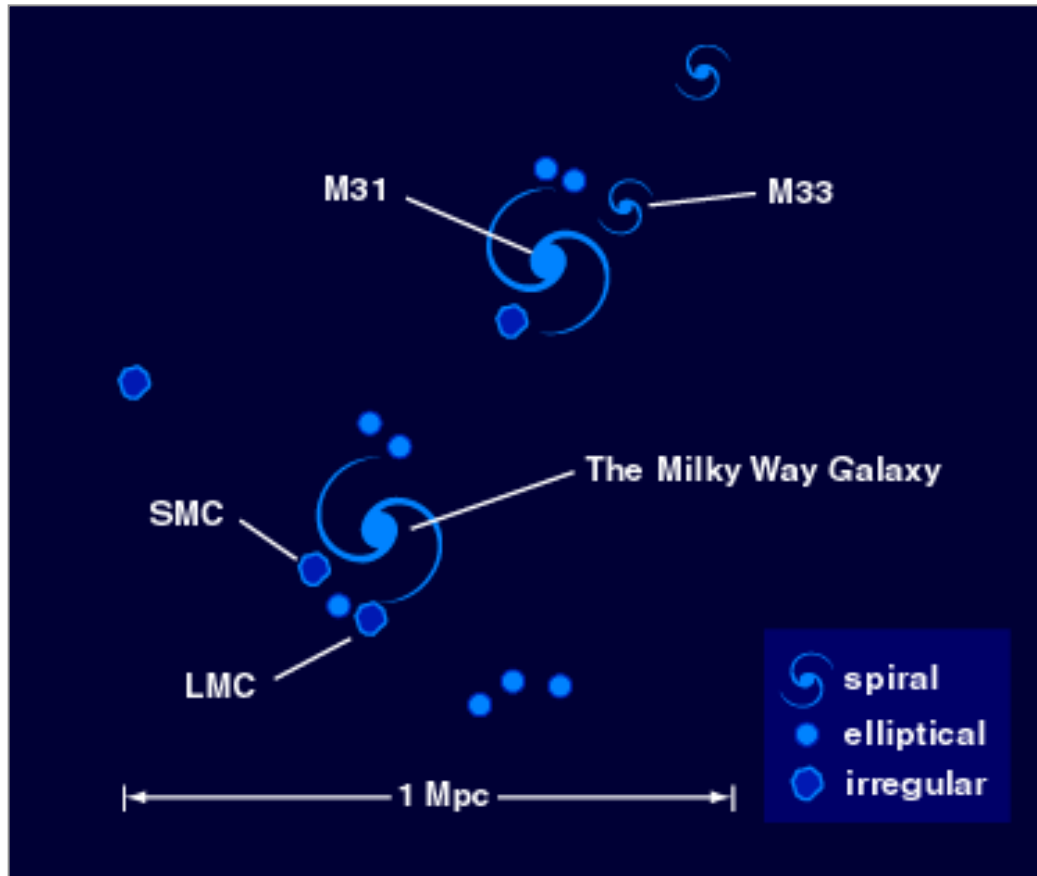
M31 ~50% sjajnija od MWG

M33 ~1/5 sjaja MWG

Zajedno čine 90% vidljivog sjaja Lokalne Grupe

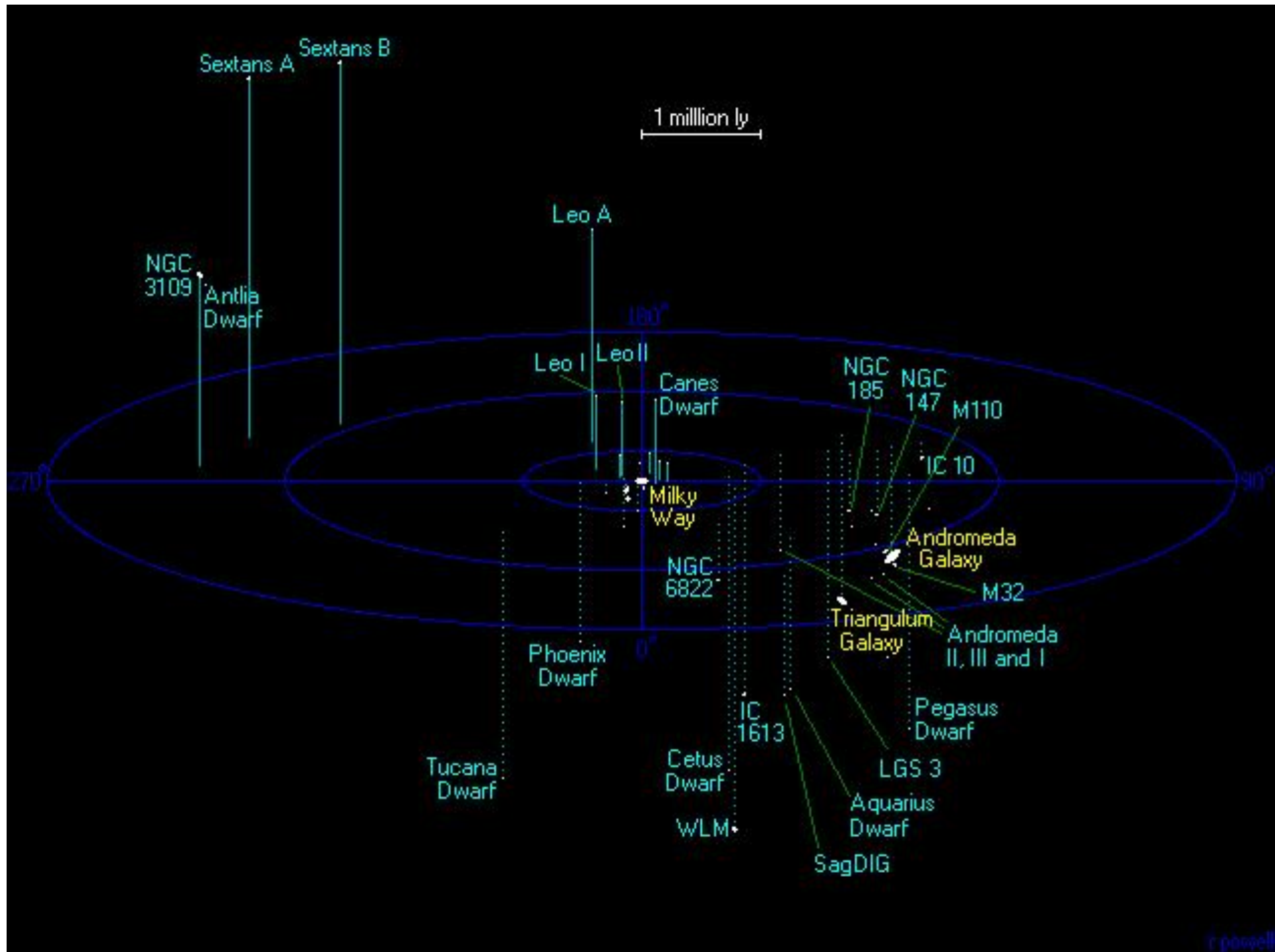
M32: jedina eliptična galaksija

Lokalna grupa nije virijalizirana, već još uvijek u statusu kolapsa!



# Važnost Lokalne grupe

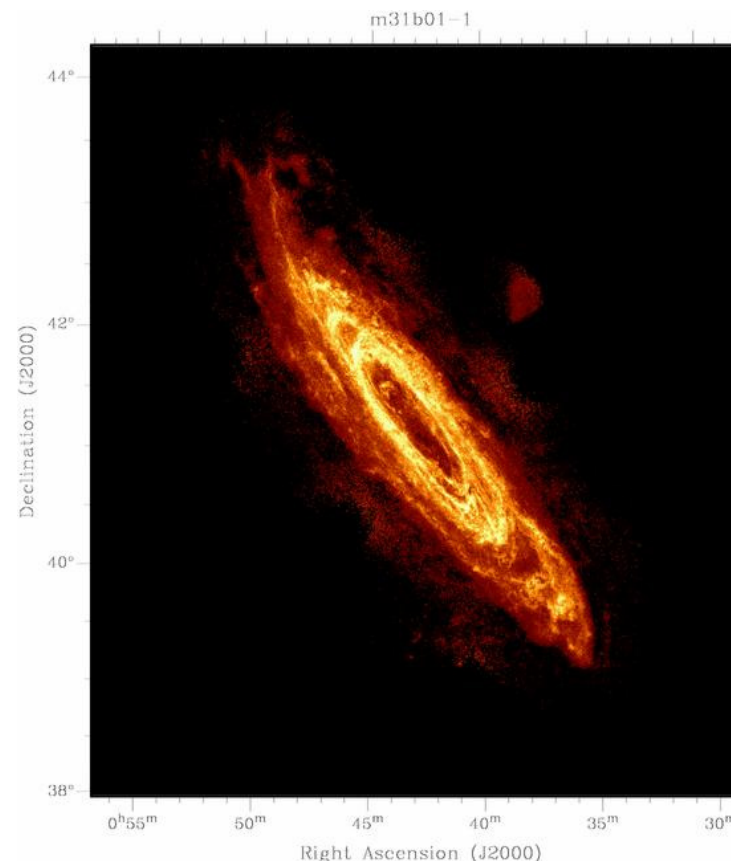
- proučavanje različitih sistema iz neposredne blizine
- mogućnost razlikovanja, razlučivanja, pojedinih zvijezda
- usporedba CMD s teorijskim predviđanjima
- detekcija cefeida i drugih 'standardnih svijeća'
- fizikalni procesi zbog neposredne blizine susjeda



# Spiralne galaksije Lokalne grupe

## Andromedina galaksija (Sb)

- ~50% sjajnija od MWG
- $h_R \sim 6-7$  kpc, dvostruko od MWG
- $V(R) \sim 260$  km/s; 20-30% više od MWG
- oko 300 kuglastih skupova
- satelitske galaksije; čak jedna eliptična, tri patuljaste eliptične, najmanje 6 patuljastih sferoidalnih
- središnje zadebljanje veće; doprinosi 30-40% luminoziteta; starost nekoliko Ggod, zvijezde bogate metalima, u središtu kompaktna semistelarna jezgra; dvostruka jezgra u središtu



Na polumjeru  $\sim 10$  kpc 'ring of fire' – područje nastajanja zvijezda

M31 sadrži oko 50% više HI ali proizvodnja zvijezda ide manjim tempom nego kod MWG

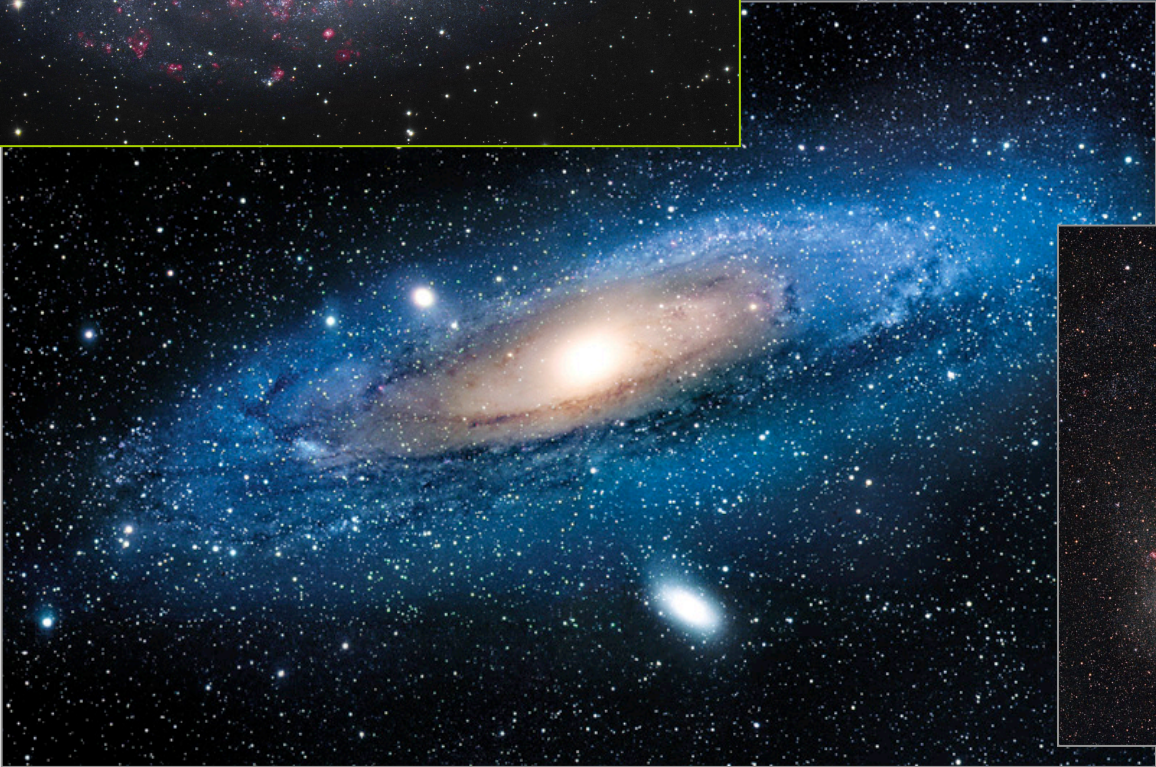
Mlade, vruce, masivne zvijezde cine spirane krakove



Galaxy Evolution Explorer (GALEX)

UV zracenje





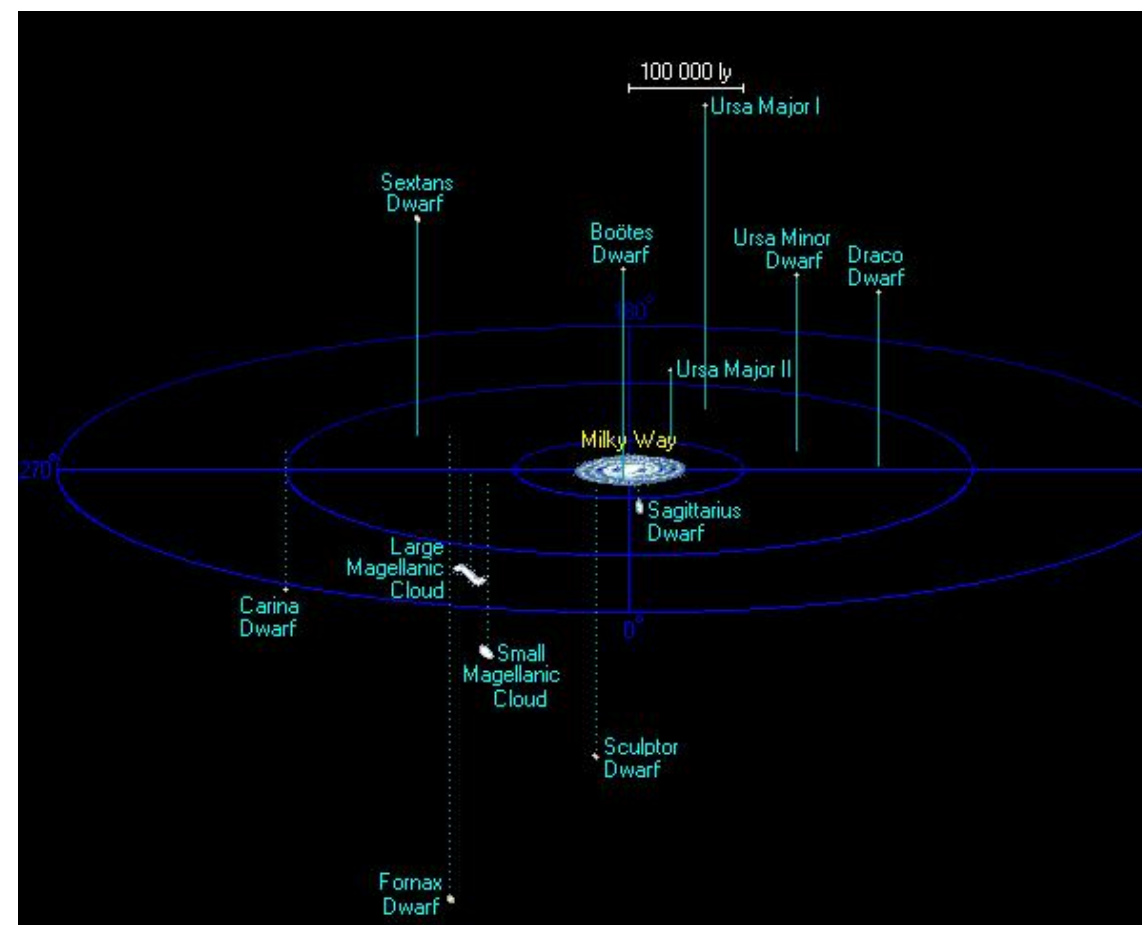
# M33: spiralna kasnog tipa

- Sc ili Scd galaksija; samo 2-3x sjajnija od LMC
- Zadebljanje prilično tanko, spiralni krakovi otvoreniji nego kod M31, koncentracije nedavno nastalih zvijezda (skupova)
- $h_R \sim 1.7$  kpc
- $V(R) \sim 120$  km/s
- Kompleksna mreža petlji, filamenata i ljuski, poput LMC ili galaksije IC 10. Eksplozije supernova i zvjezdani vjetrovi zagrijevaju okolni plin i otpuhuju ga te pokreću nove procese.
- Disk neutralnog plina jako raširen, čak do 30 kpc, što je značajan dio udaljenosti do M31 ( $\sim 200$  kpc).
- U središtu je nuklearni zvjezdani skup, sjajniji od kuglastih skupova a manjeg polumjera ( $\sim 0.4$  kpc). Sadrži raznolike generacije zvijezda.
- Nema dokaza za crnu rupu u središtu!



# Pratioci Mliječnog Puta

- Spiralna: **Veliki Magellanov oblak**
- Nepravilna: **Mali Magellanov oblak**
- Patuljaste sferoidne galaksije:  
**Fornax, Sagittarius, Leo I, Sculptor, Leo II, Sextans, Carina, Ursa Minor, Draco**



# Magellanovi Oblaci

LMC na nebu pokriva oko  $15^\circ \times 13^\circ$ ; duža os iznosi oko 14 kpc. SMC pokriva  $7^\circ \times 4^\circ$ ; dimenzija oko 8 kpc.

LMC ima  $\sim 10\%$  luminoziteta MWG, SMC je još 10x manjeg luminoziteta.

LMC je prototip Sm klase (Magellanska spiralna galaksija) – rotacijska brzina oko 80 km/s (iz HI oblaka). Izrazita poluga, sa samo jednim spiralnim krakom.



# SMC

## Mali Magellanov Oblak

SMC je puno drugačiji od LMC – izdužena ‘cigara’ koja se vidi otprilike s jednog kraja tako da je dubina oko 15 kpc uzduž doglednice. Zvijezde nemaju uređeno kretanje.

Oba Oblaka sadrže prilično mladih zvijezda ali manje prašine nego MWG. U vidljivom su plavičasti i vrlo sjajni u UV. Posvuda su područja nastajanja zvijezda, sadrže obilje vodikovog plina.



# SMC & LMC

## Mali Magellanov Oblak

U orbiti jedan oko drugog

U orbiti oko MWG; orbita opada zbog isisavanja E u nasumicna gibanja zvijezda u MWG

LMC & SMC sada 25kpc udaljeni; u zadnjem najblizem prolasku 10 kpc => HI u SMCu (zbog LMC grav.) izvucen => Magellanic Stream

Gravitacija LMCa & MWG unistava SMC

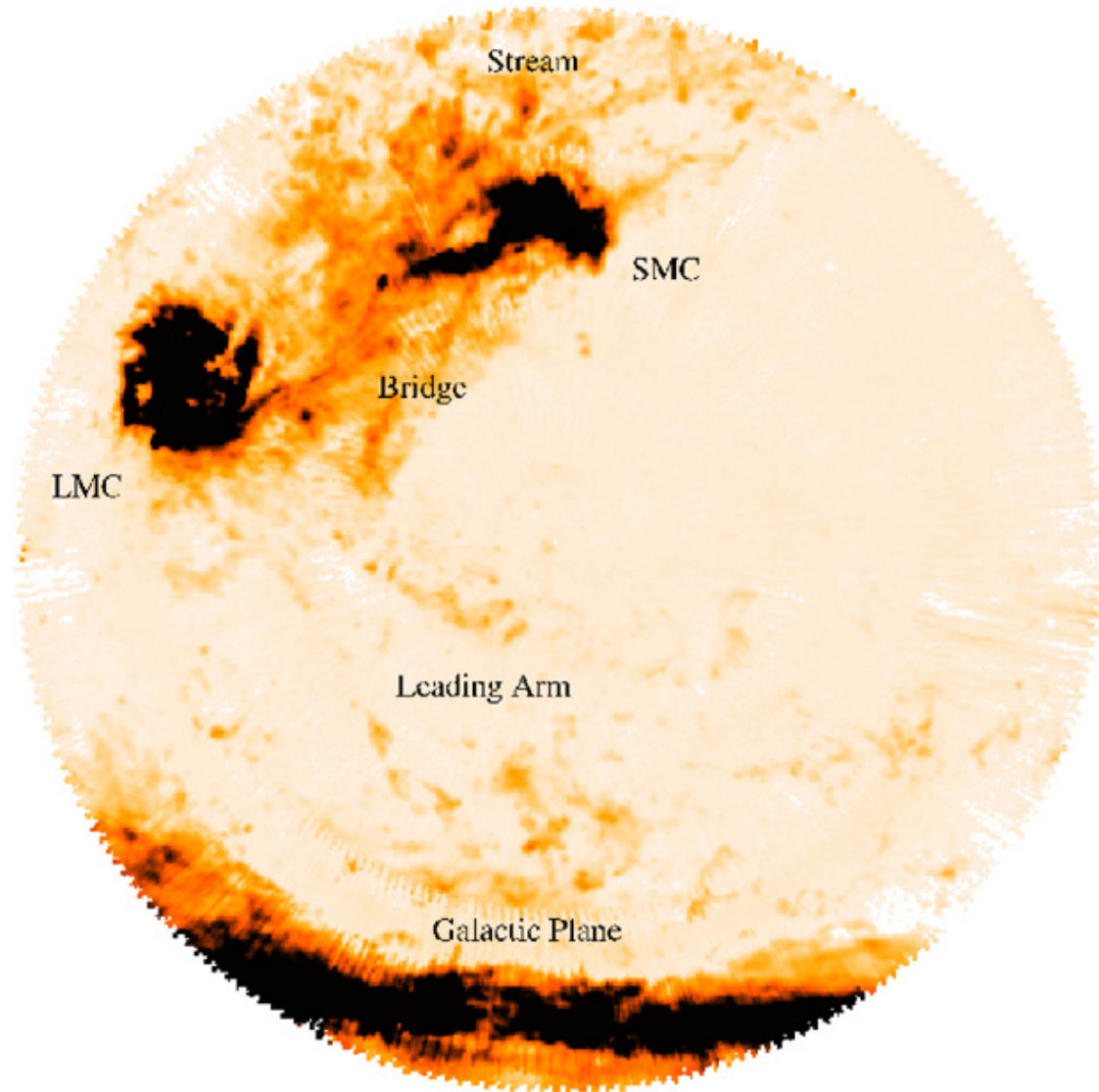


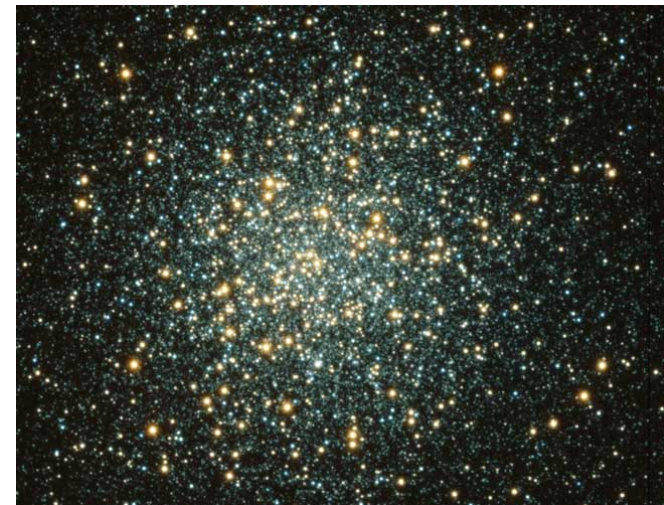
Fig 4.6 (Putman/Nature) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

Mliječni Put ima devet patuljastih sferoidalnih galaksija, nazvanih prema zvježdima u kojima se nalaze. Površinski im je sjaj oko 100 puta slabiji od MC.

Za razliku od MC više nemaju plin i zvijezde mlađe od 1-2 Ggod. Većina ih sadrži RR Lyrae što znači da im je starost veća od 8 Ggod. Vjerojatno su formirani kada i 'velike' galaksije kao MWG.

Najmanje patuljaste sferoidalne galaksije imaju luminozitet kao veliki kuglasti skupovi – ali njihove su dimenzije mnogo veće. Također, Fornax, i vjerojatno Sagittarius, imaju svoje kuglaste skupove!

Izrazito puno tamne tvari!



**Koja je razlika između patuljastih sf. galaksija te kuglastih skupova?**

# Kako je nastala Lokalna Grupa?

- CMB: svemir je postao proziran; plin se može urusiti pod vlastitom gravitacijom jer više nije podržavan tlakom fotona
- Fluktuacije gustoće => urusavanje oblaka plina, sudaranje različitih oblaka => protogalaksija + sateliti
- U prošlosti je svemir bio manji stoga su galaksije bile bliže: nepravilne, torzija vodi do rotacije
- Kako se oblaci plina sudaraju, gube energiju, padaju prema sredistu => rotacija ubrzava zbog očuvanja angularnog momenta
- Kružnica je orbita najmanje E za dani ang. moment (disk)

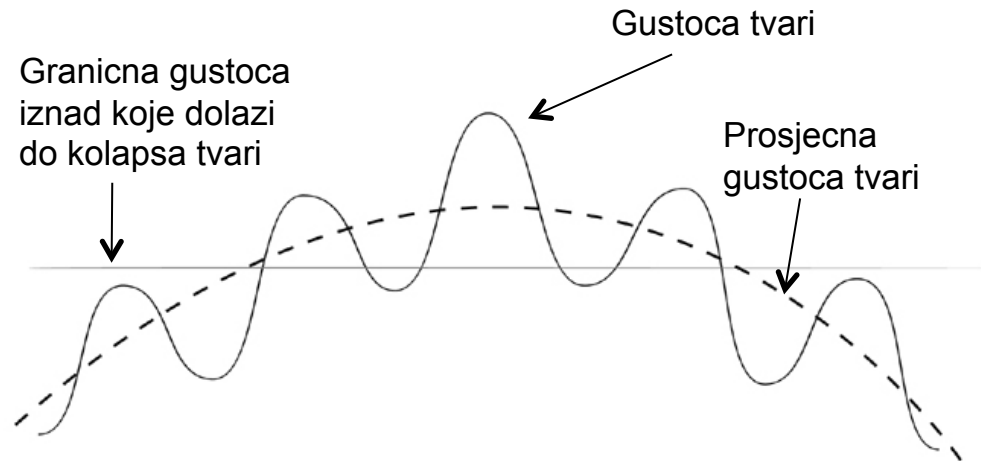


Fig 4.12 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

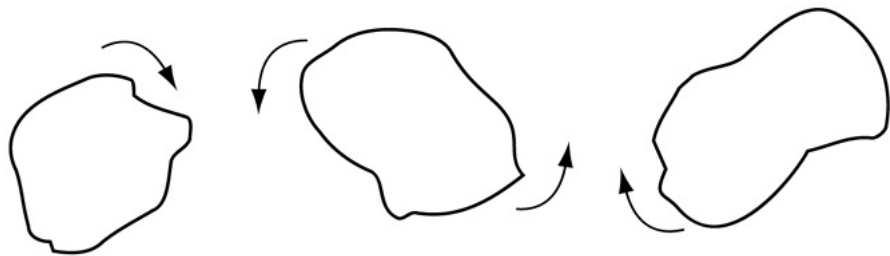


Fig 4.13 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

Plimne torzije (moment sile) medju grudama plina dovode do spore rotacije



# Buducnost Lokalne Grupe

- Orbita Magellanovih oblaka se smanjuje: LMC ce biti progutan od MWG za 3-5 Ggod
- MWG i Andromeda se priblizavaju: sudar za 3-4 Ggod
- Sudari cesti u svemiru, pogotovo u ranom svemiru (jer je tada bio manji)
- Sudar diskova komprimira plin i pretvara ga brzo u zvijezde; materija iz vanjskih djelova se rasprsi u plimne repove; nakon nekoliko Ggod ostane crvena galaksija bez plina i mladih zvijezda