

Milena Jovanović, istraživač saradnik Astronomske opservatorije

Dinamičko modelovanje bliskih galaksija

Beograd, mart 2020.

Metodi za određivanje mase galaksija

- zvezdana masa - modelovanje M^*/L - iz posmatranog profila sjaja dobiti profil mase
- Dinamičko određivanje mase:
 - * galaksije bogate gasom
 - * siromašne gasom
- Gravitaciona sočiva – procena na velikim skalama

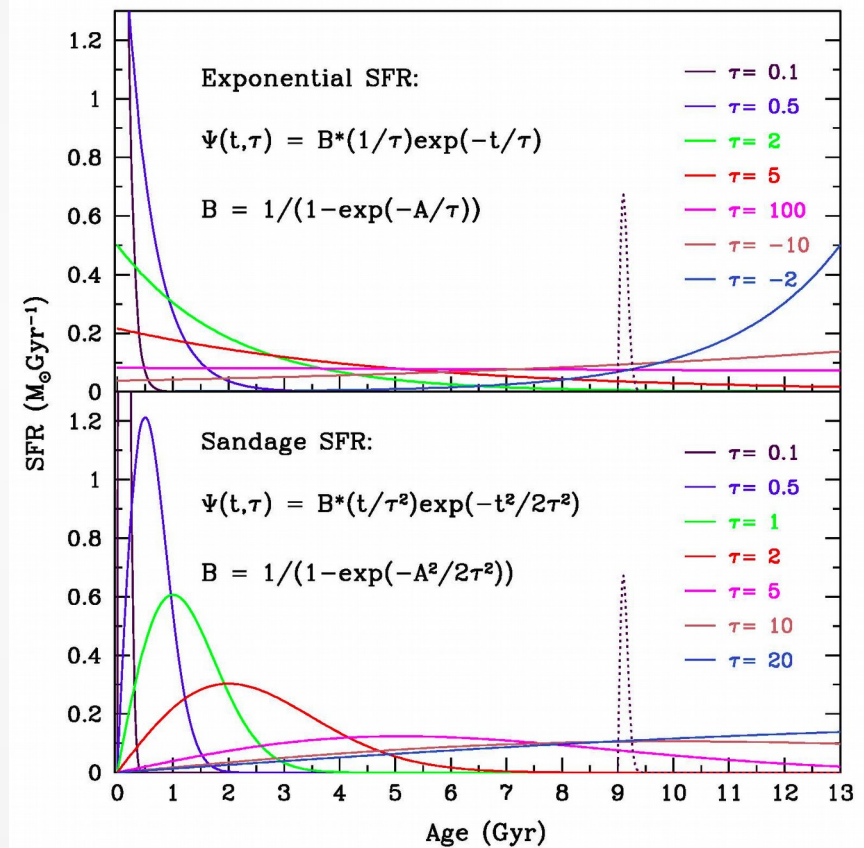
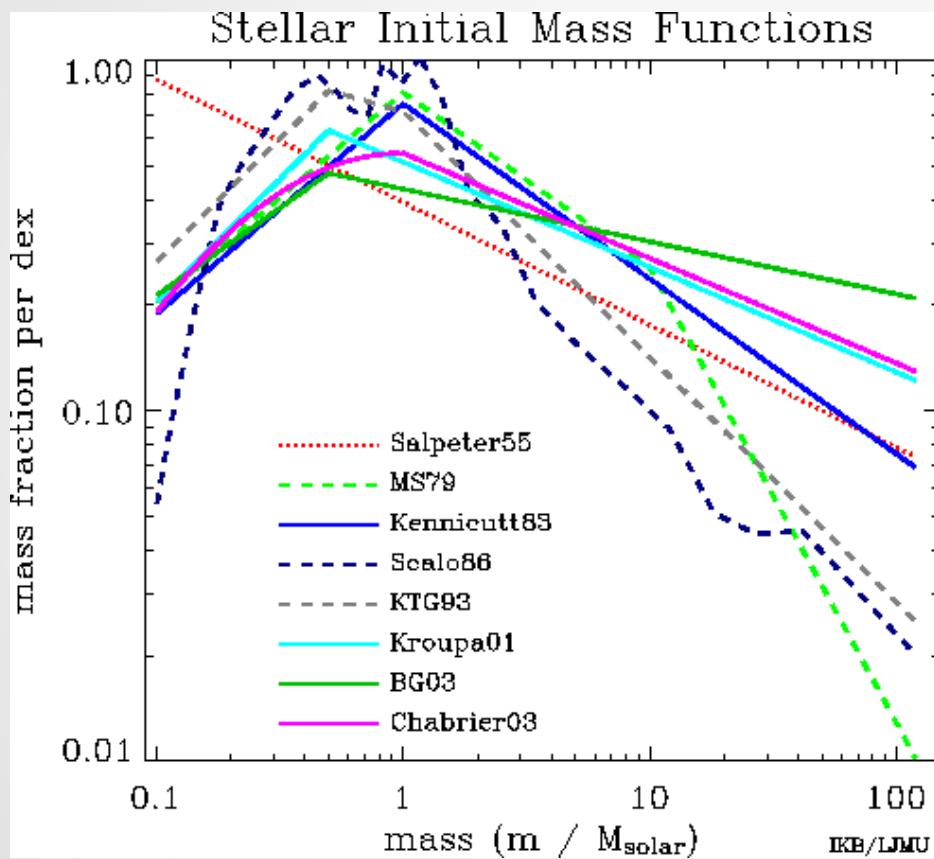
.... lista nije kompletna

M^*/L malo detaljnije

- modelovanje *SED* (*spectral energy distribution*)
- jednostavnije raščlanjivanje na zvezdane populacije *SSP* (*simple stellar populations*) + spektar masa u trenutku nastanka (*IMF*) + *SFH* (istorija formiranja zvezda zavisi od *SFR*) => daje **evolucionne modele** *EPS* (ili *SPS*)

$$\text{Galaxy} = \sum_{\text{time}} \text{SFR}(t) \times \text{SSP}(t, Y, Z, \text{IMF}),$$

ilustracije radi



Dinamička masa

- iz kretanja test-čestica u gravitacionom potencijalu – *tracers*
- teorema virijala – $2T+U=0$
- dominantna komponenta kinetičke E: *rotationally supported* i *random motion supported*
- kod galaksija “siromašnih” gasom – stare zvezde, GC, PNe, sateliti, ... gas - *ETG, dSph*

$$U = -\frac{3}{5} \frac{GM^2}{R}, \text{ za konstantu gustinu} \quad T = \frac{1}{2} M V^2 = \frac{3}{2} M \sigma^2$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{5} \frac{GR}{M}$$

iz teoreme virijala slede i druge scaling
relacije, *Faber-Jackson, Fundamental
Plane, ...*

Diskolike galaksije - gas kao trejser

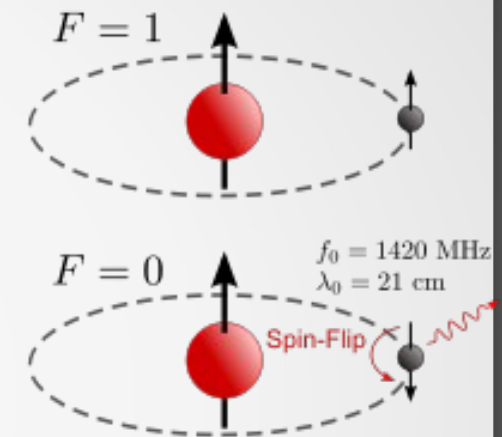
- kod galaksija bogatih gasom trejser gas – cirkularno kretanje, gasni disk S, SB, Irr

$$V_{\text{circ}}^2(r) = r \frac{d\Phi}{dr} = G \frac{M(r)}{r}$$

- emisione linije H α , CO, HI linija
- prednosti H α , CO - velika rezolucija preko celog optičkog diska – *Alphalpha*, *SparsePak*, *DensePak*, *PPAK*; *CARMA*
- prednosti HI – veći *filling factor*, mogućnost analize do velikih galaktocentričnih r – najbolja za sada 2D razlučena polja brzine (de Blok et al. 2008.) - veoma mali uzorci – *THINGS*, *LVHIS*, *GHOST*, *WHISP*, *HaloGas*
- dobro slaganje između RC dobijenih iz HI, H α and CO and [OII], [OIII], H β , [NII] and [SII] - *Courteau & Sohn 2003*

HI linija - 21 cm – 1.4 GHz

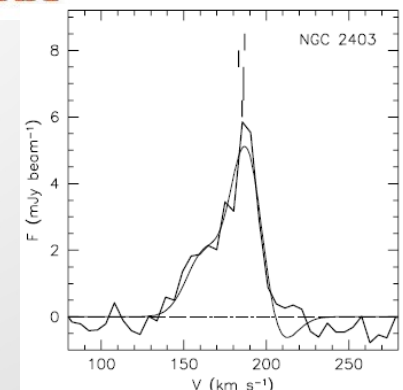
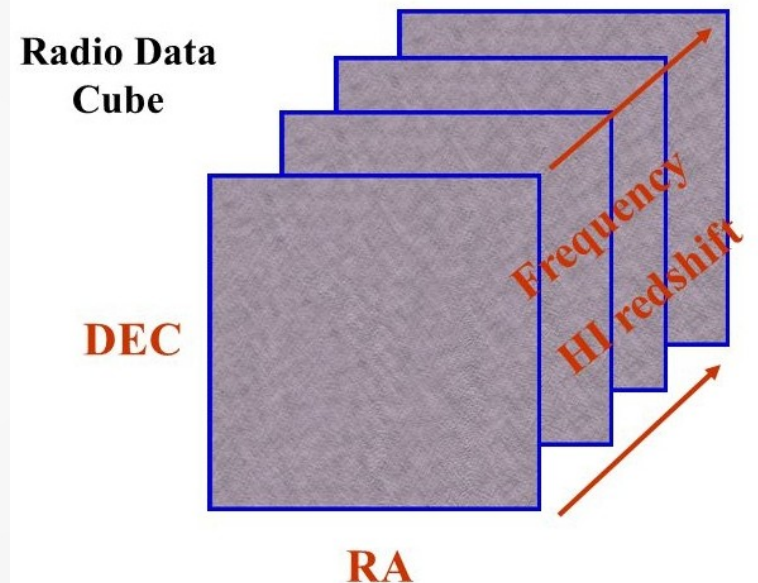
- hiperfinski prelaz u neutralnom vodoniku između stanja sa paralelnim i antiparalelnim spinom
- prvo teorijski predviđena
- Prednosti: large *filling factor*, svemir providan, najveći radijusi - često više od 2x veći od optičkog diska!
- Mane: radio domen/mala rezolucija, samo kod rotationally supported objekata korisna?
- Korišćena kao merna jedinica na pločama na *Pioneer 10, 11* i *Voyager 1, 2*



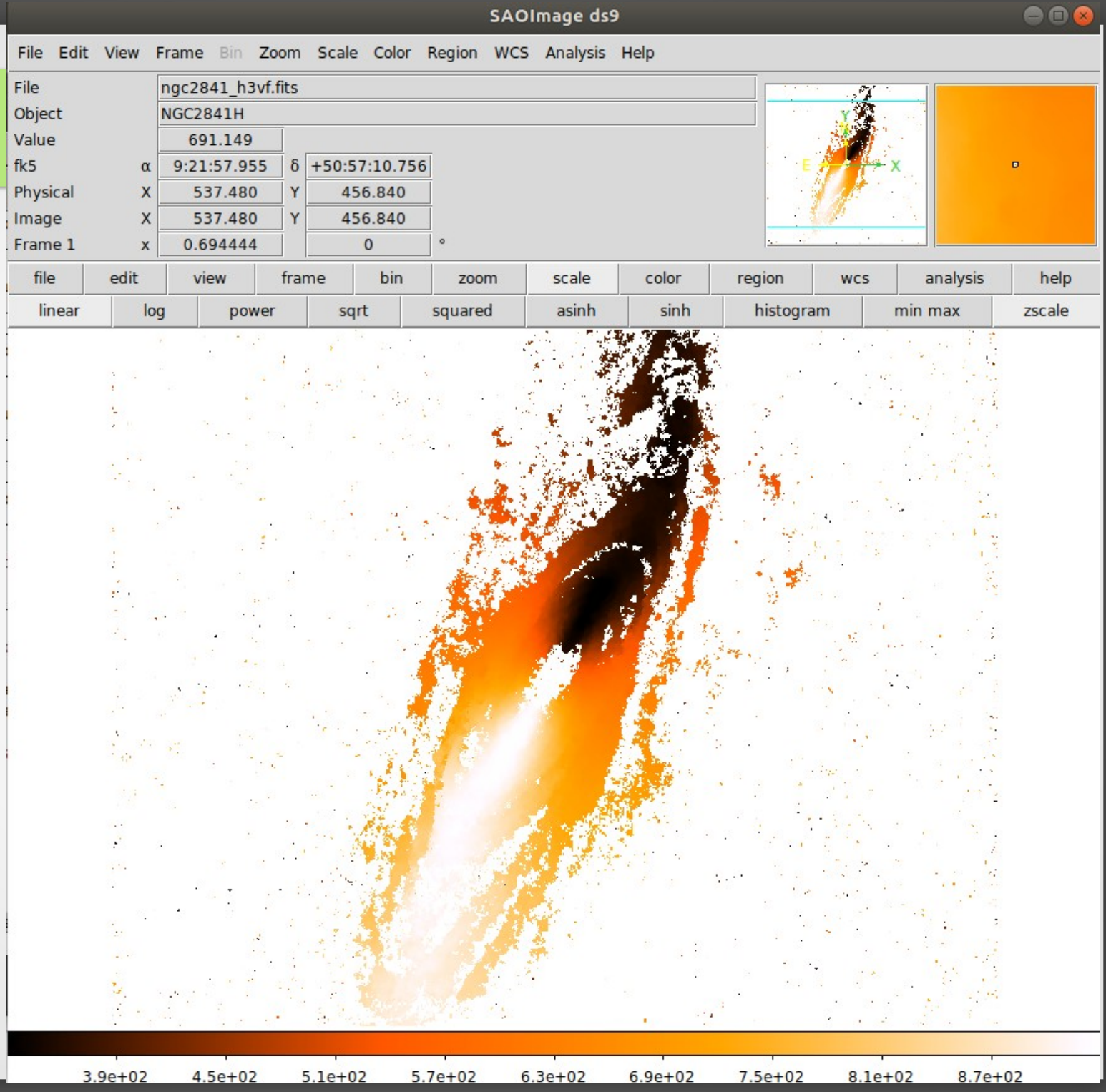
Šta mi radimo

- pregled neba na 21-cm THINGS (VLA) – posmatrano 34 galaksije
- podaci – moment 0: integrisana HI, moment 1: srednja brzine normirana sa intenzitetom, moment 2 : disperzija brzine, I tzv. **data cube**
- *data cube* - sastoji se od slika (*snapshots*) na frekvencijama oko 21-cm+z (1.4 GHz), širina kanala 2.6 ili 5.2 km/s, br. kanala 36-178
- polje brzina *VF* – *mean intensity weighted, peak, Gauss, h3 Gauss-Hermite*
- konstruišemo tzv. *velocity field*: 1-4 miliona profila - GIPSY (većinom C)

Coadding HI signals



velocity field



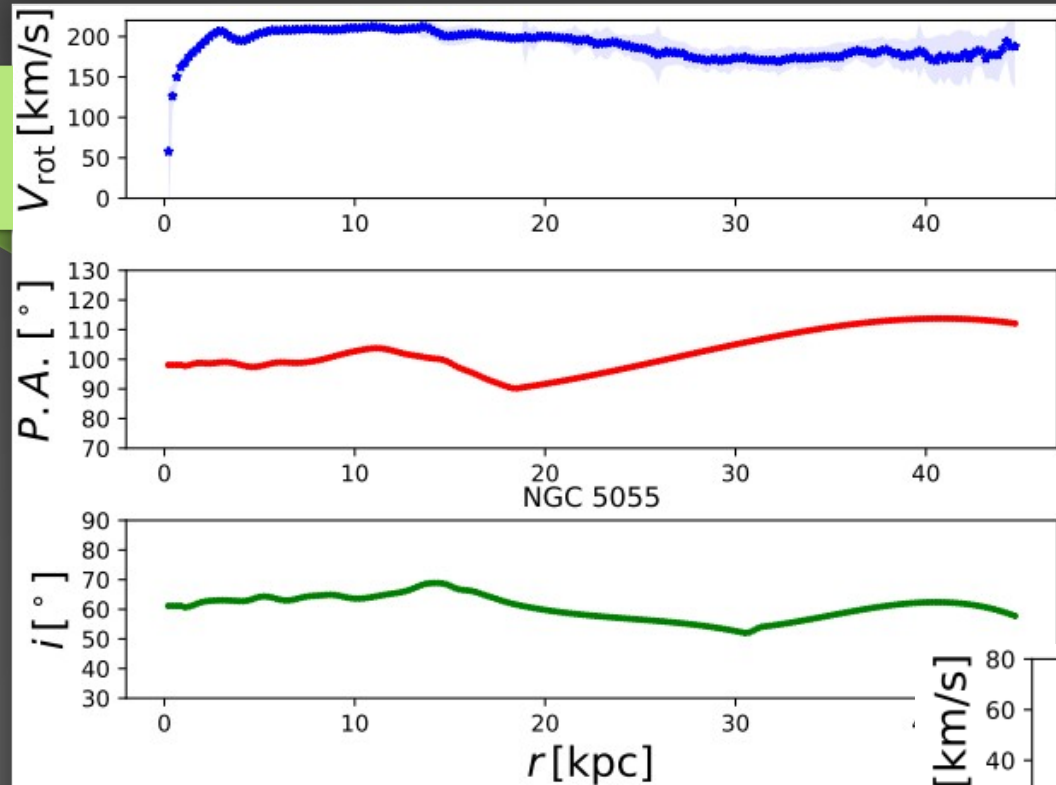
procedura

- 2d eliptični prstenovi se fituju sa

$$V(x, y) = V_{\text{sys}} + V_c(r) \sin i \cos \theta$$

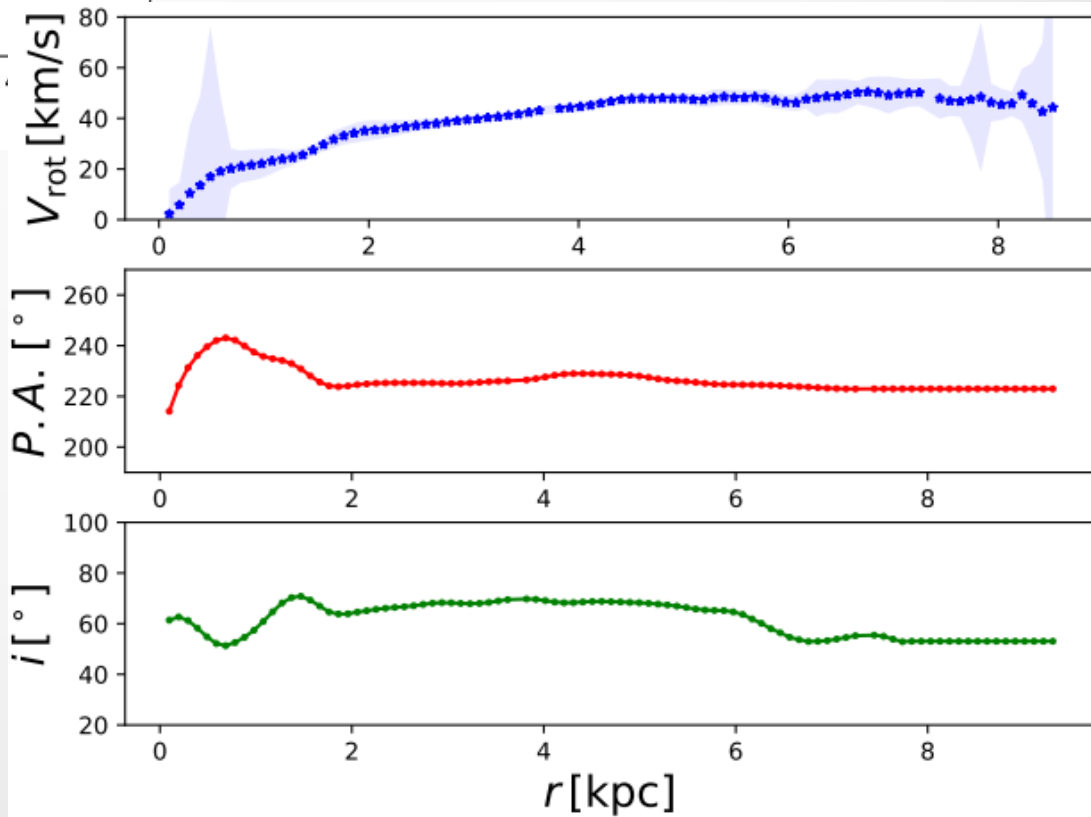
- iterativna procedura, variraju se prvo svi parametri fita
- centar uvek varirali radi proverene, najčešće fiksirali na podatke iz *Trachternacht et al. 2008*
- pozicioni ugao (PA, θ) i inklinacija posebno bitni
- debata oko toga da se inc i PA menja značajnije – radijalni profili
- Finalna RC!
- Greske – neodređenosti fita + razlike između V_{app} i V_{rec}
- donekle relaksirali uslove ~ 24 RC

$$V_{\text{circ}} \simeq \sqrt{V_{\text{gas}}^2 + V_*^2 + V_{\text{halo}}^2}$$



NGC 5055

DDO 154



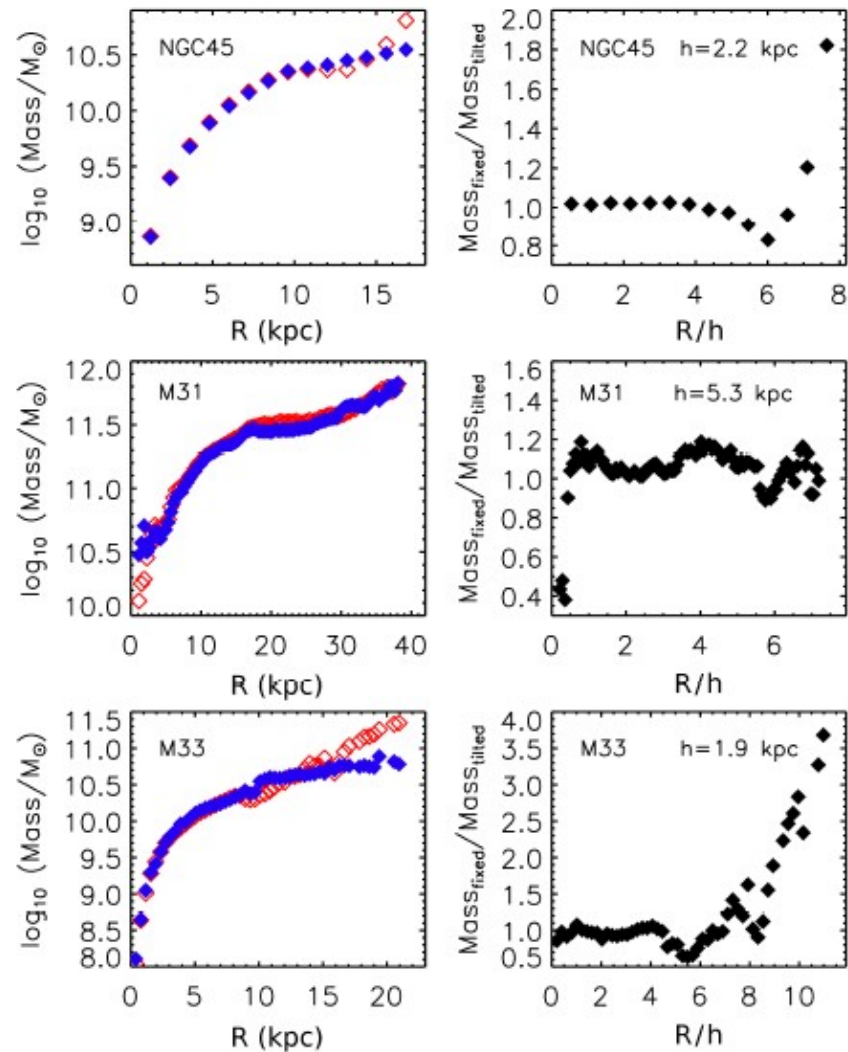


Figure 10: Mass profiles from HI rotation curves of NGC 45 (Chemin et al. 2006b), M31 (Chemin et al. 2009), and M33 (Chemin et al., in prep.). Mass profiles on the left were obtained from rotation curves assuming a kinematical model with constant inclination and constant position angle of the major axis (red open squares) or a full tilted ring model (blue filled squares). The adopted distances are NGC 45 ($D = 5.9$ Mpc), M31 ($D = 785$ kpc), M33 ($D = 800$ kpc). The ratio of these mass profiles is shown on the right side where the radial scale has been normalized by the optical exponential disk scale length, h .

Gasna komponenta

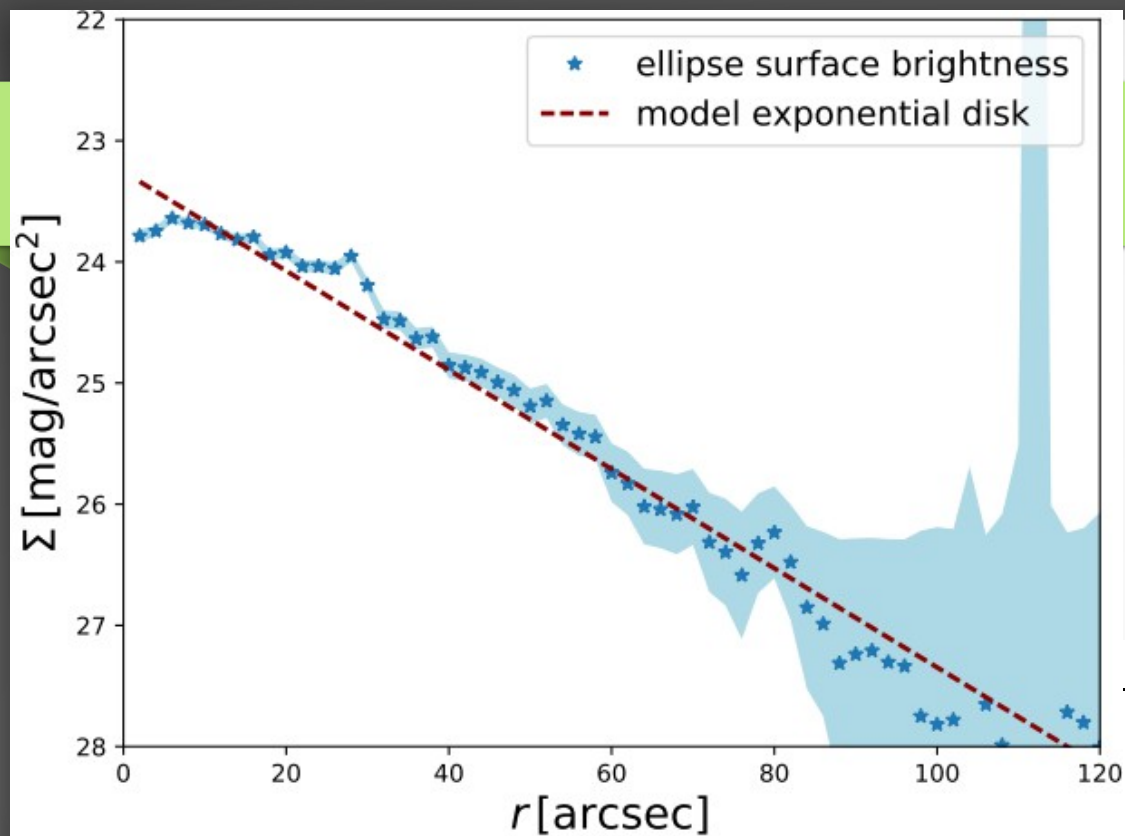
- Dobra okolnost sto imamo i ovaj podatak kod RC iz gasa
- Skaliramo za neutralni helijum i molekulski gas

$$\Sigma_{\text{HI}}(\text{M}_{\odot}\text{pc}^{-2}) = 0.020 \cos i I_{21\text{cm}}(\text{K km s}^{-1})$$

- faktor 1.36
- Moguće dodati prašinu

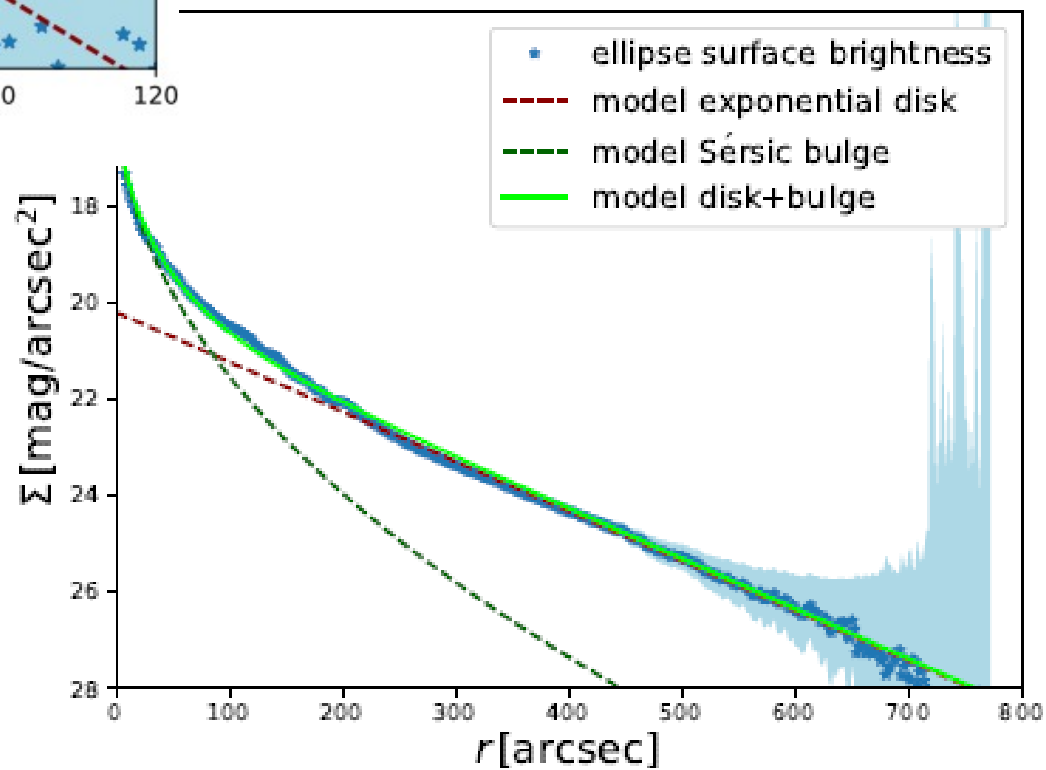
Zvezdana komponenta

- slike sa *Spitzer* teleskopa IRAC1 3.6 μm
- *S4G Pipeline 4* gde su dostupni + *SHA* mozaici iz kojih je dobijena “očišćena” slika - popravljena za pozadinu, maskirani sjajni objekti, foreground zvezde
- na svim slikama uradjen 2d fit **galfit** softver => daje model *surface brightness*, ostatak i sl.
- jednostavnije je bolje; kod patuljastih jedan eksp. disk, kod velikih spiralnih najcesce disk+bulge
- popravka za ekstinkciju zanemarljiva
- površinski sjaj -> fizičke veličine



model i dekompozicija površinskog sjaja sa **galfit** - dva dobra primera

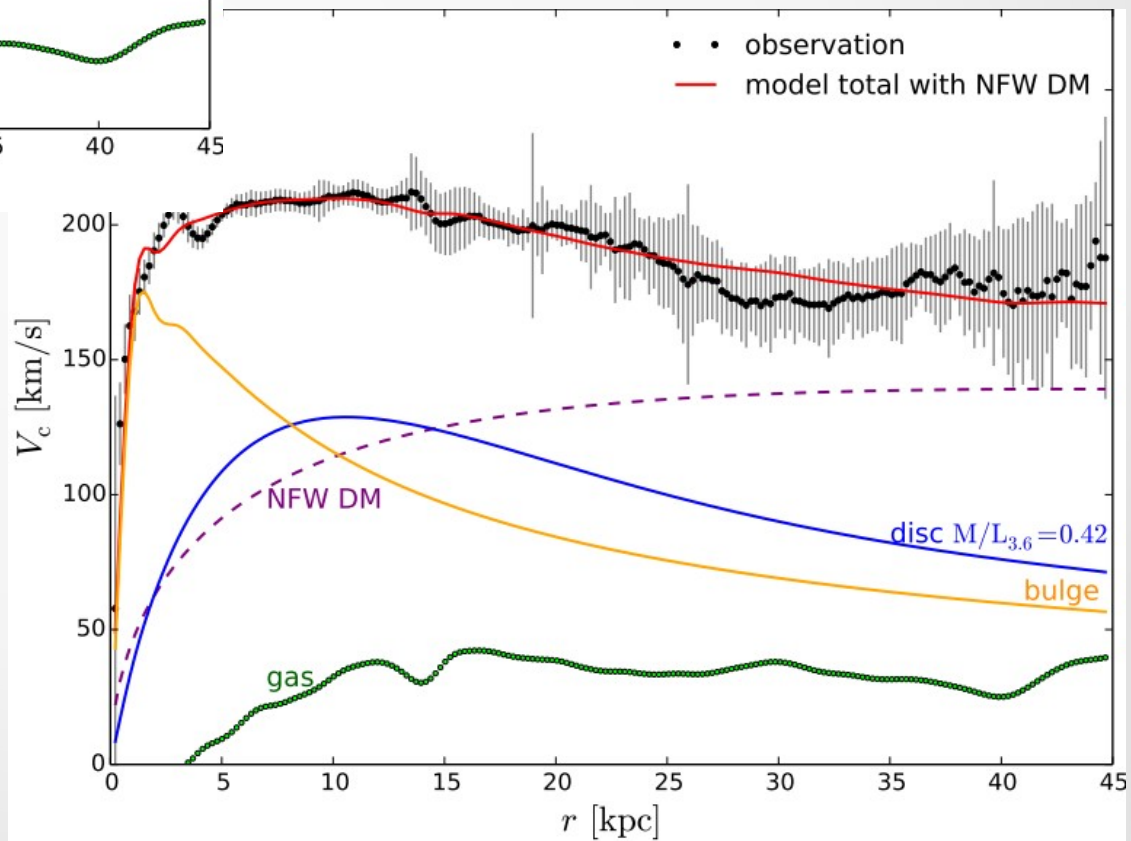
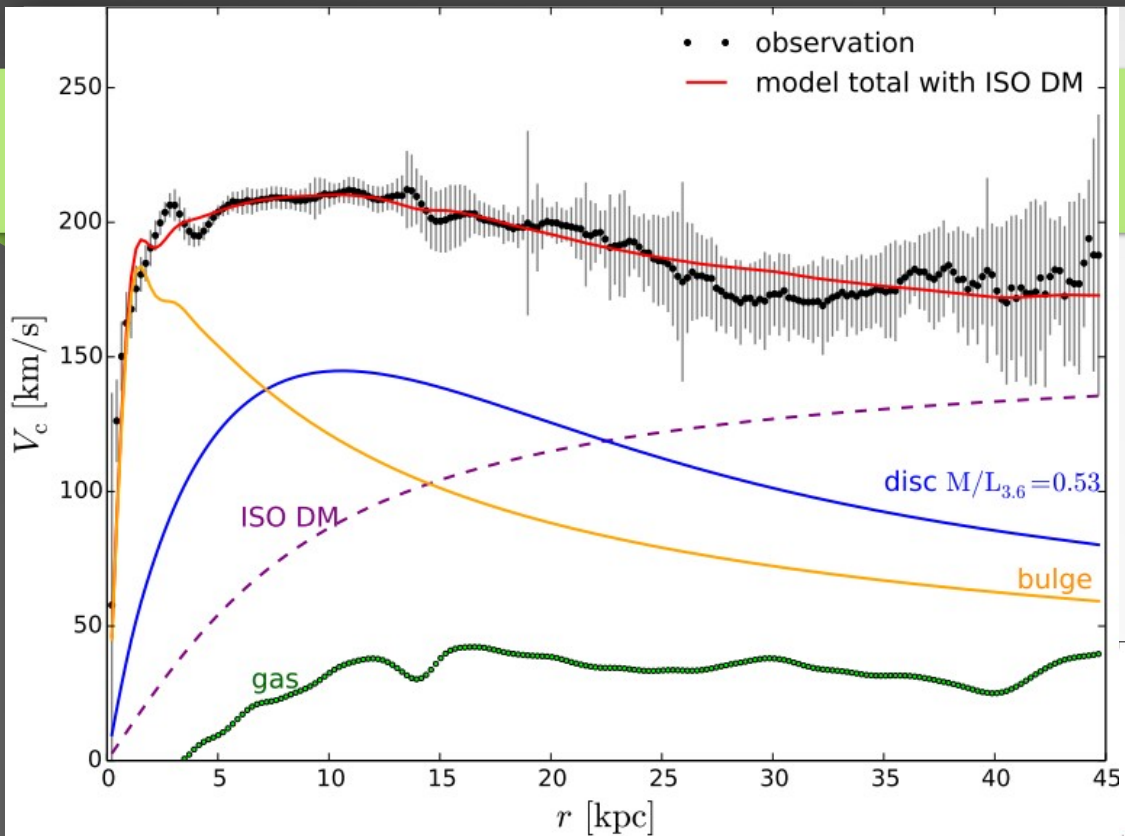
NGC 5055



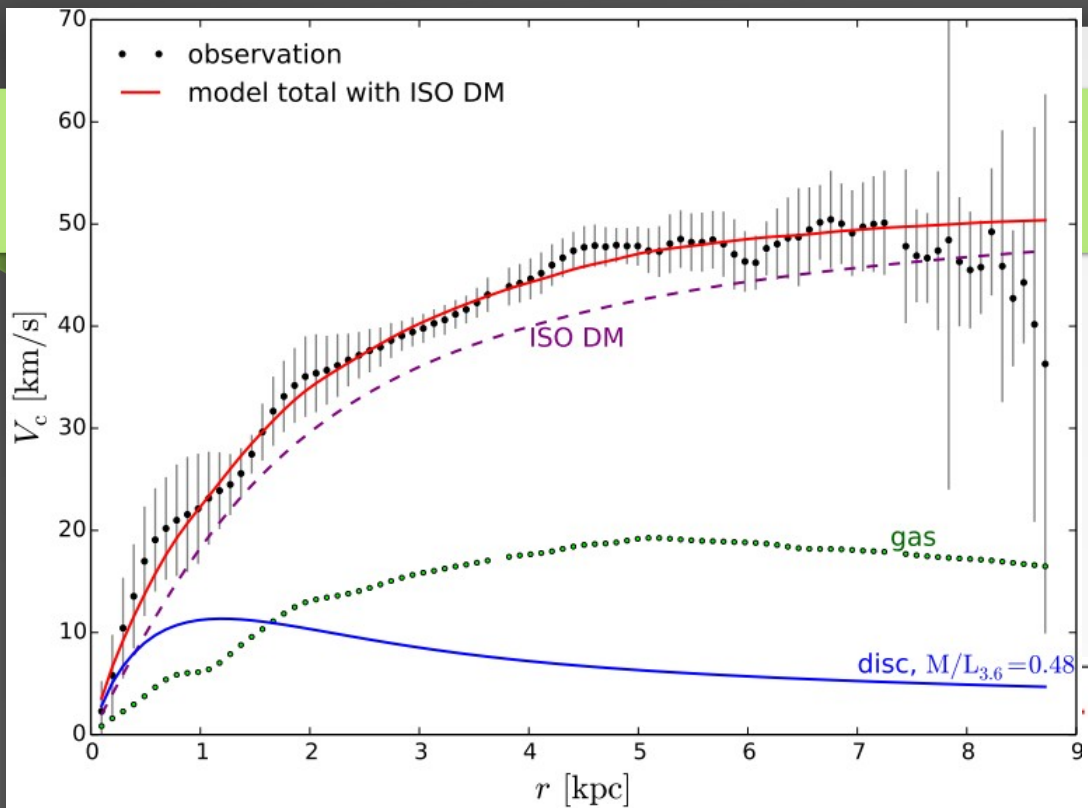
DM: Tradicionalna ISO i NFW

- nije nam u glavnom fokusu
- potencijali koji se tradicionalno koriste u *core vs. cusp* debati
- nemamo zaključke da jedan ili drugi bolje fituju globalno, svaki objekat “priča” za sebe
- M^*/L diska - rezultat

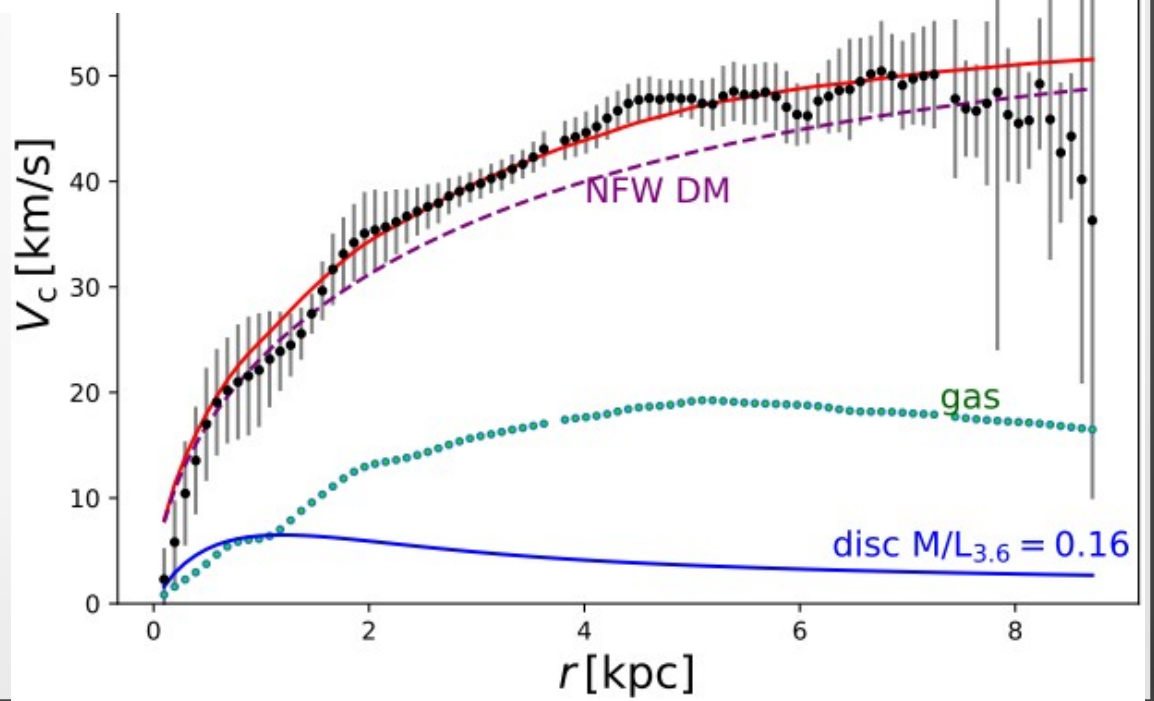
NGC 5055

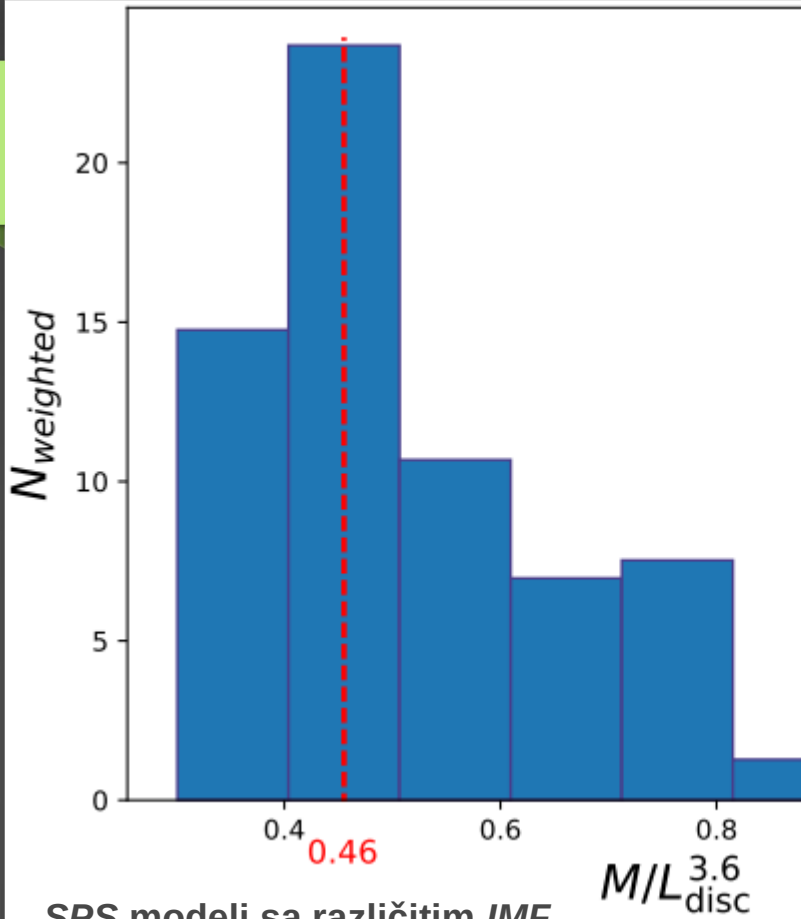


DDO 154



• • observation
— model total with NFW DM

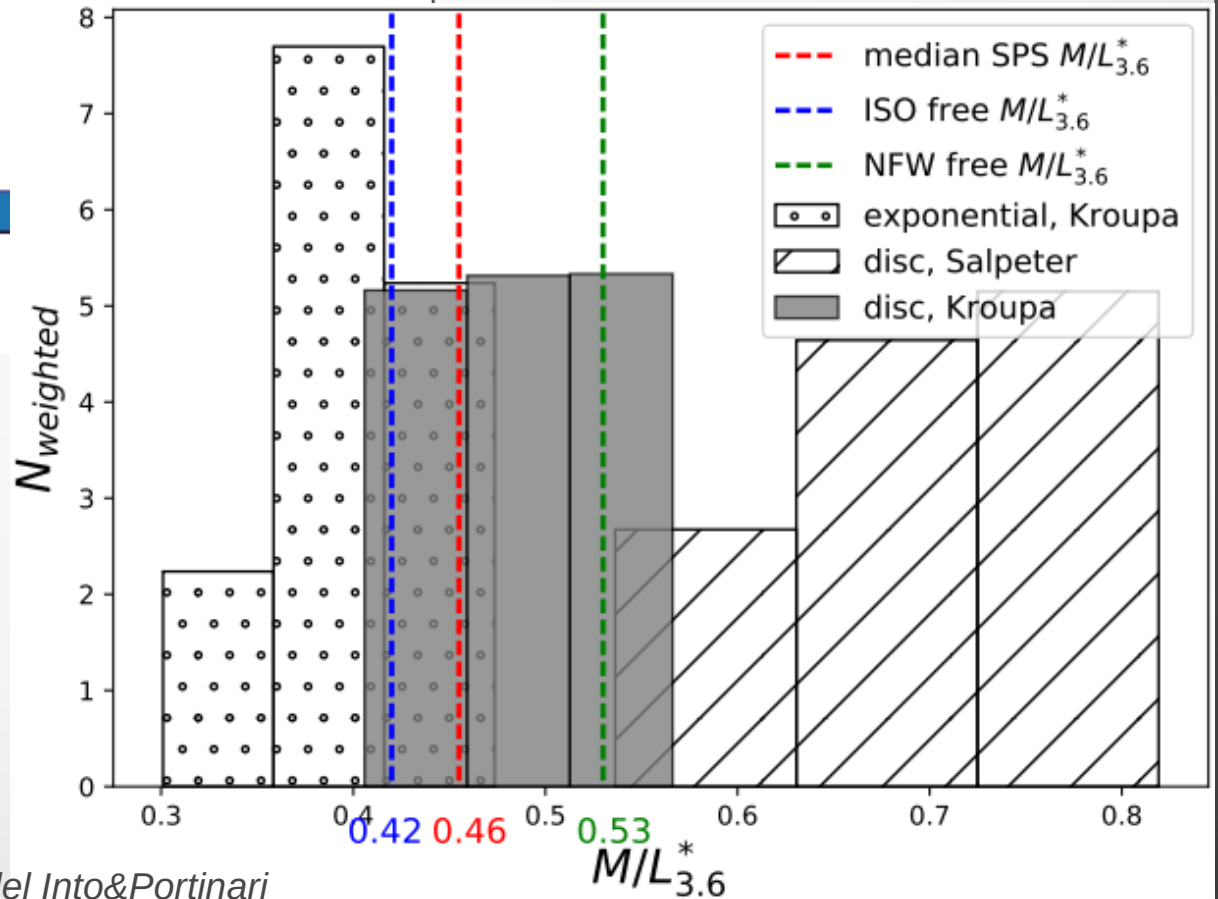




SPS modeli sa različitim IMF

- Bruzual & Charlot, Salpeter*
- Bruzual & Charlot, scaled Salpeter*
- Bruzual & Charlot, modified Salpeter*
- Bruzual & Charlot, Scalo*
- Kodama & Shults, Salpeter*
- PEGASE, Salpeter*
- PEGASE, scaled Salpeter*
- PEGASE, modified Salpeter*
- exp. star formation history, Kroupa*
- disc galaxy model, Kroupa*
- disc galaxy model, Salpeter*
- interstellar dust attenuation spiral galaxy model Into&Portinari*

Fiksni M^*/L



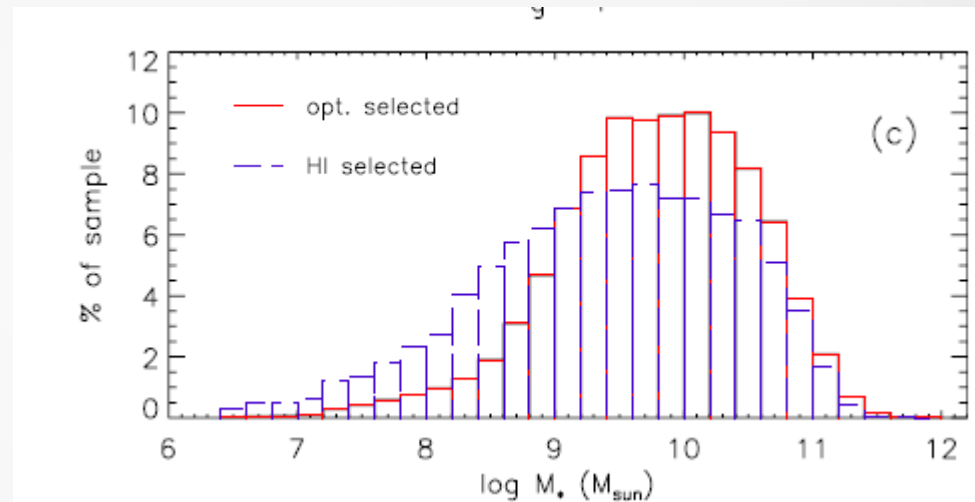
M^*/L i mase

Galaxy ID	Model	D [Mpc]	$M/L_{3.6}^{\text{bulge}}$	$M/L_{3.6}^{\text{disk}}$	R_c [kpc]	ρ_0 [$10^{-3} M_\odot \text{pc}^{-3}$]	C	R_{200} [kpc]	$\bar{\chi}^2$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
NGC 5055	ISO	8.99	0.36 ± 0.01	0.53 ± 0.13	7.3 ± 5.2	8.2 ± 10.6	–	–	0.38
	NFW		0.33 ± 0.01	0.42 ± 0.09	–	–	4.9 ± 2.2	96 ± 4	0.38
DDO 154	ISO	4.04	–	0.48 ± 0.15	1.6 ± 0.1	22.9 ± 2.3	–	–	0.21
	NFW*		–	0.16	–	–	3.5 ± 0.2	39 ± 1	0.38

Galaxy ID	Model	M_{disc} [$10^8 M_\odot$]	M_{bulge} [$10^8 M_\odot$]	M_{gas}^* [$10^8 M_\odot$]	M_{total} [$10^8 M_\odot$]	$\frac{M_{\text{baryon}}}{M_{\text{total}}}$	$\frac{M_{\text{baryon}}}{M_{\text{halo}}}$
NGC 5055	best-fitting ISO	670 ± 160	370 ± 190	160	3110 ± 610	0.39 ± 0.19	0.63 ± 0.22
	best-fitting NFW	530 ± 110	330 ± 10		3040 ± 160	0.34 ± 0.06	0.51 ± 0.07
DDO 154	best-fitting ISO	0.45 ± 0.14	–	5.5	51.4 ± 0.8	0.12 ± 0.02	0.13 ± 0.03
	best-fixed NFW	0.15 ± 0.00	–		53.9 ± 2.6	0.11 ± 0.01	0.12 ± 0.01

Funkcije mase – sledi!

- HI
- Barionska
- Zvezdana
- Haloa
- Ukupna
- barionska frakcija



Bibliografija

Courteau et al. 2014, Rev. Mod. Phys

Bosma 1978, PhD thesis

de Blok et al. 2008, ApJ

Walter et al. 2008, ApJ

Jovanovic 2017, MNRAS

Samurovic, Vudragovic & Jovanovic 2015, MNRAS

Papastergis 2012, ApJ

Into & Portinari 2013, MNRAS

naša grupa

- Srđan Samurović, naučni savetnik AOB – Džinsova jednačina, *ETGs*, *MOND*
 - Ana Vudragović, naučni saradnik AOB – kinematika galaksija, ultra difuzni objekti, spektroskopske i fotometrijske tehnike obrade
- + Milan M. Ćirković, naučni savetnik AOB – kosmologija, astrobiologija, filozofija nauke