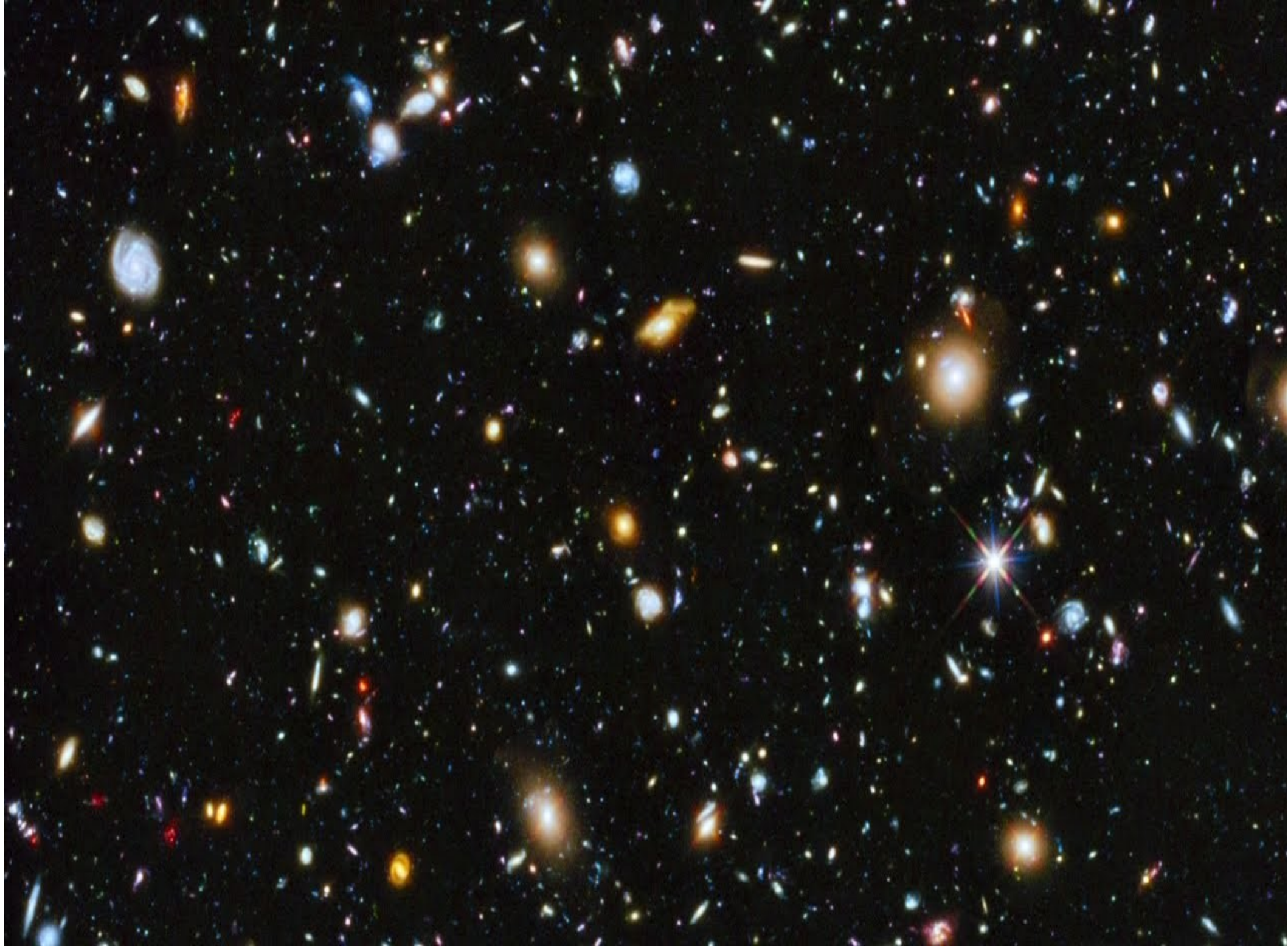


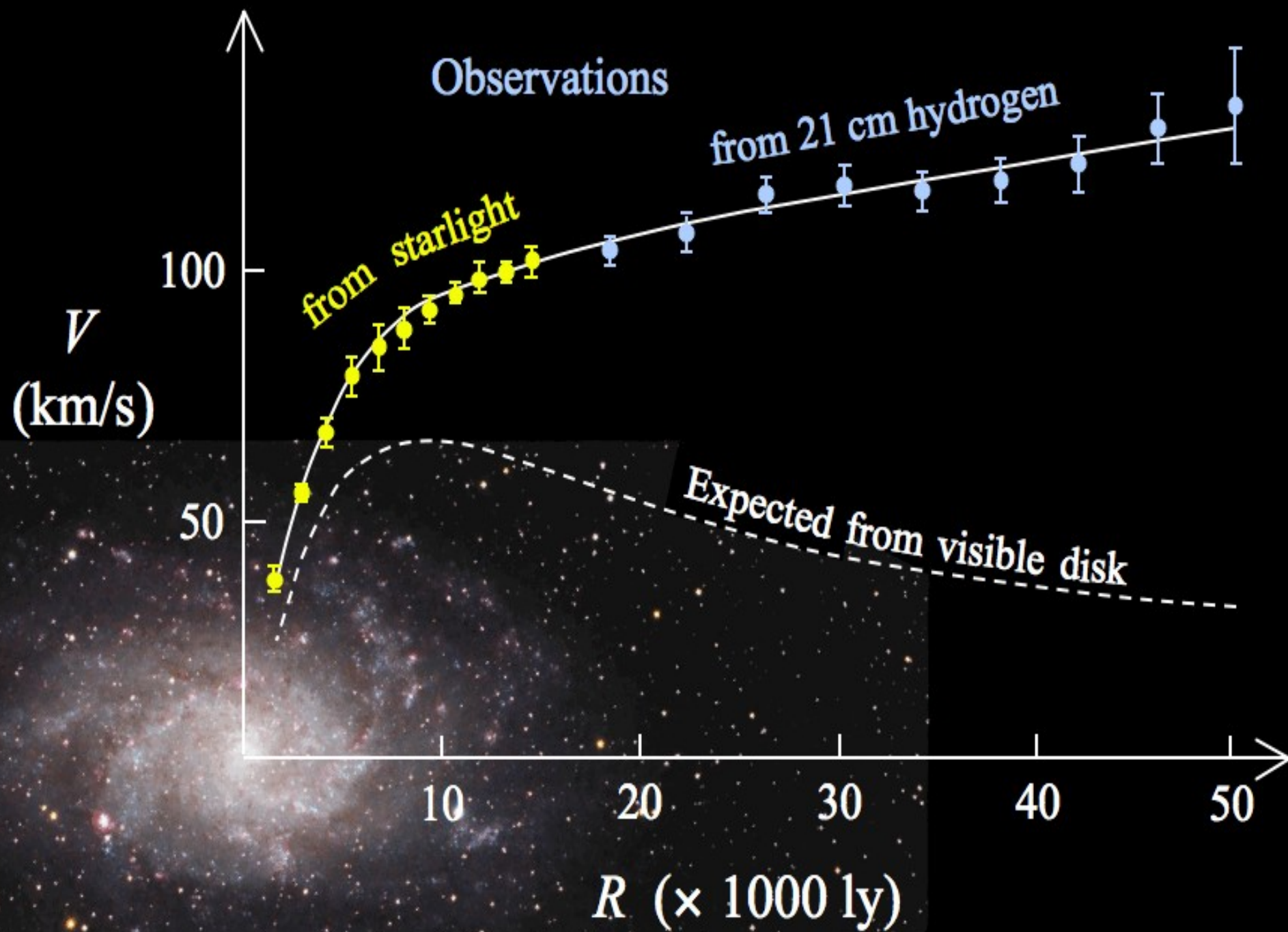
N-body simulacija sudara galaksija

Stanislav Milošević

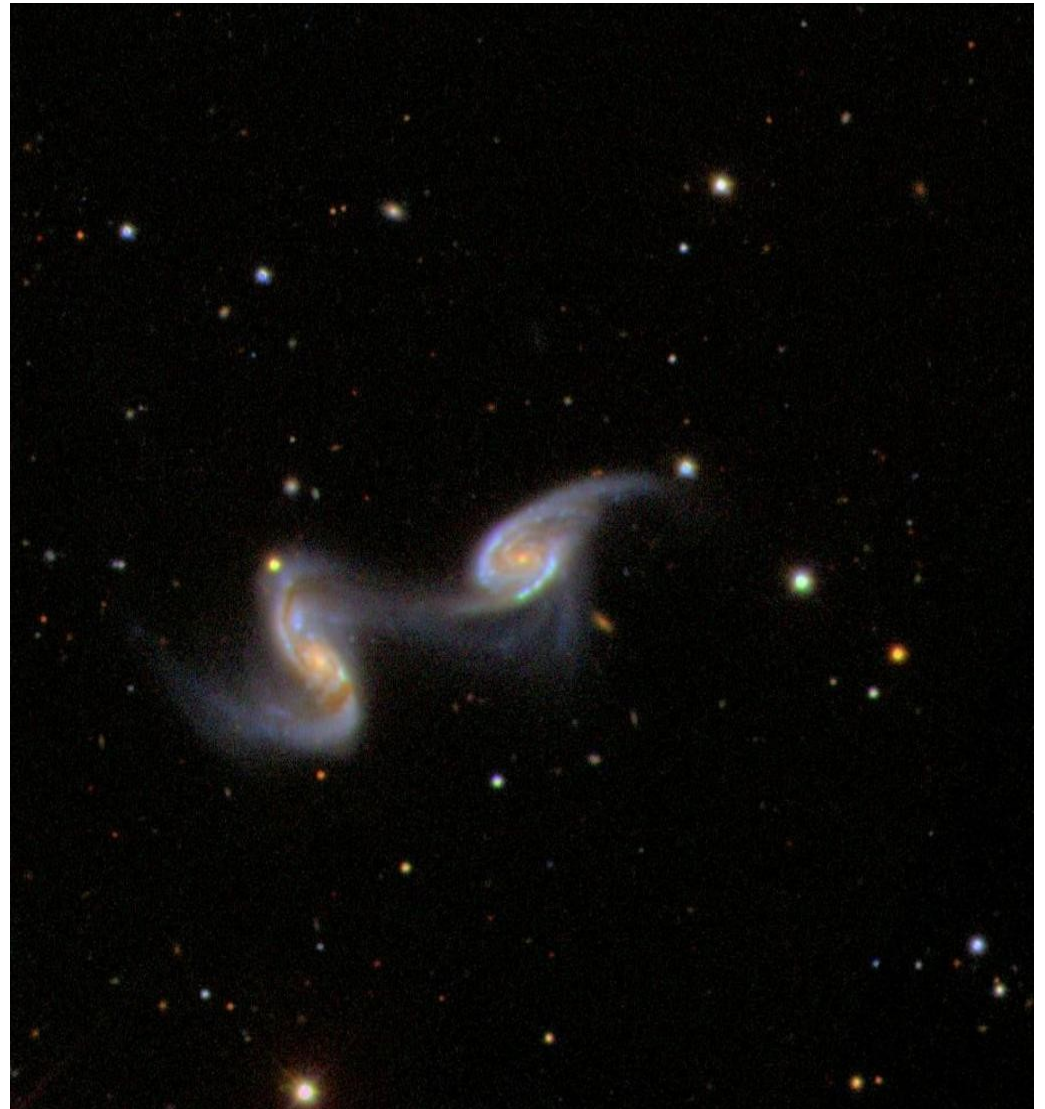
Novi Sad, februar 2016.

stanislav@matf.bg.ac.rs





- Strukture u galaksijama mogu da nastanu interakcijom galaksija
- Sudari galaksija su česta pojava u odnosu na sudare zvezda



Strukture u galaksije M31

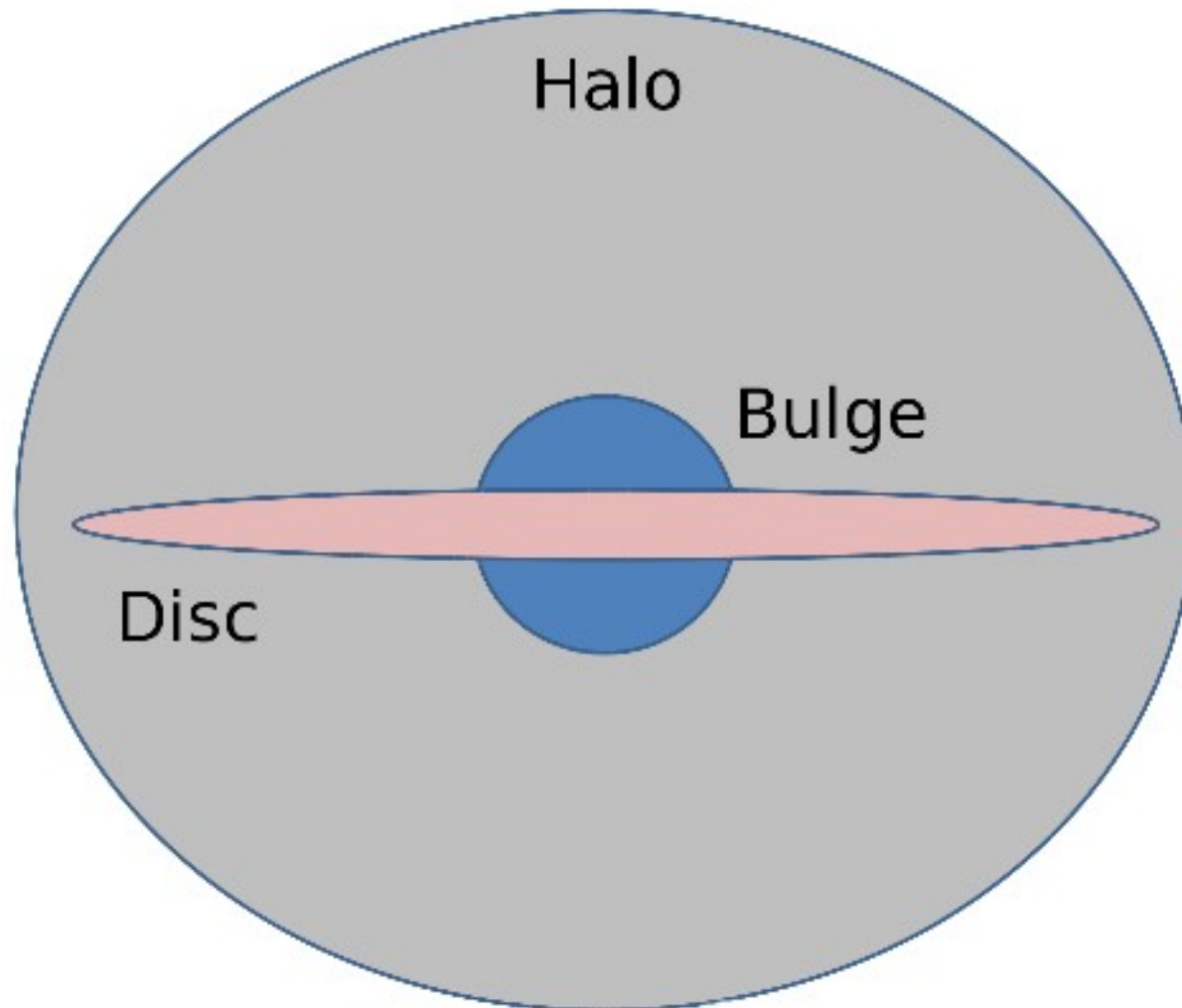
- Veliliki južni tok (Giant Southern Stream)
- Severoistočna I Zapadna ljuska (Northeastern shell, West shell)
- Različiti scenariji nastanka podrazumevaju da strukture vode poreklo od patuljaste galaksije koja je satelit M31

Struktura spiralne galaksije

- M31 i Mlečni put su dve najveće galaksije Lokalne grupe
- Obe galaksije su spiralne



- Tri glavne komponente spiralnih galaksija su: centralni oval, disk i halo tamne materije



Model diska

- Eksponencijalni profil
gustine u radijalnom
pravcu

$$\Sigma(R) = \Sigma_0 e^{\frac{-R}{R_d}} = \frac{M_d}{2\pi R_d^2} e^{\frac{-R}{R_d}}$$

- Profil gustine u
pravcu normalnom na
ravan diska

$$\propto \operatorname{sech}^2 \frac{z}{z_0}$$

$$\rho(R, z) = \frac{\Sigma(R)}{2z_0} \operatorname{sech}^2 \frac{z}{z_0}$$

Model centralnog ovala

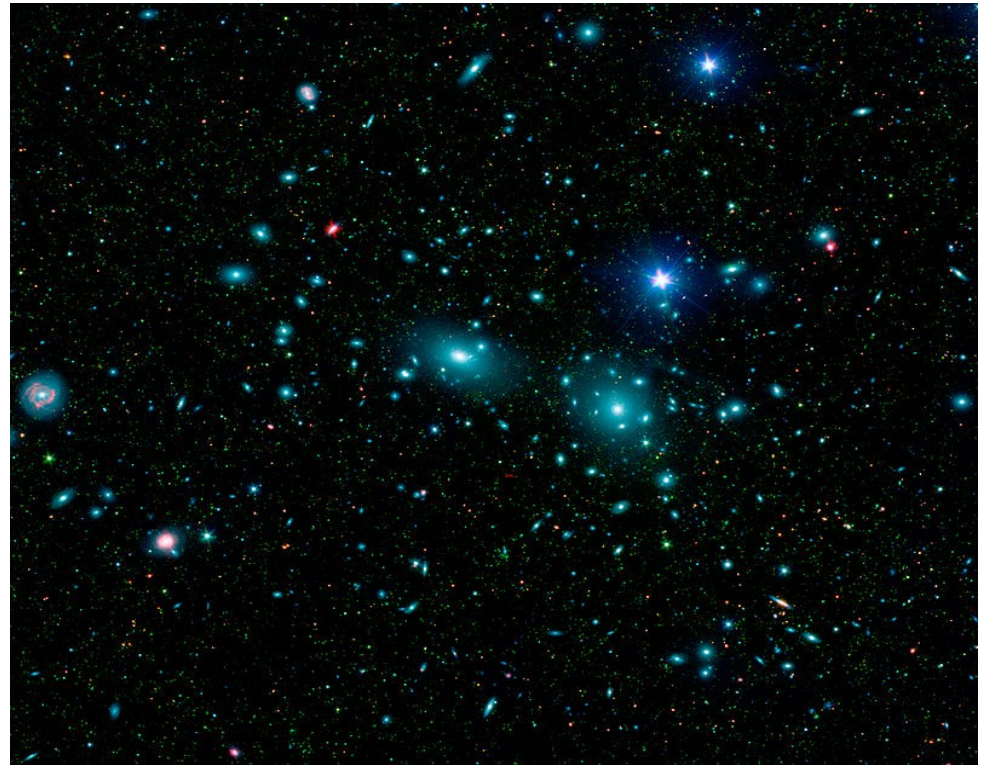
- Sferni profili (Hernquist, Sersic, Plummer...)

$$\rho_b = \frac{M_b r_b}{2\pi r(r + r_b)^3}$$

Model haloa

- NFW profil
- Profil gustine tamne materije

$$\rho_h(r) = \frac{\rho_0}{\frac{r}{r_h} \left(1 + \frac{r}{r_h}\right)^2}$$



Model patuljaste galaksije

- Satelit se sastoji od sfernosimetrično raspoređene vidljive materije i sfernog haloa tamne materije
- Vidljiva materija je modelovana kao i centralni oval galaksije M31, a tamni halo ima NFW profil
- Početna pozicija satelita je oko 200 kpc udaljena od centralnog dela M31
- Numerička reprezentacija M31 i patuljaste daje mogućnost računanja dinamičkog trenja

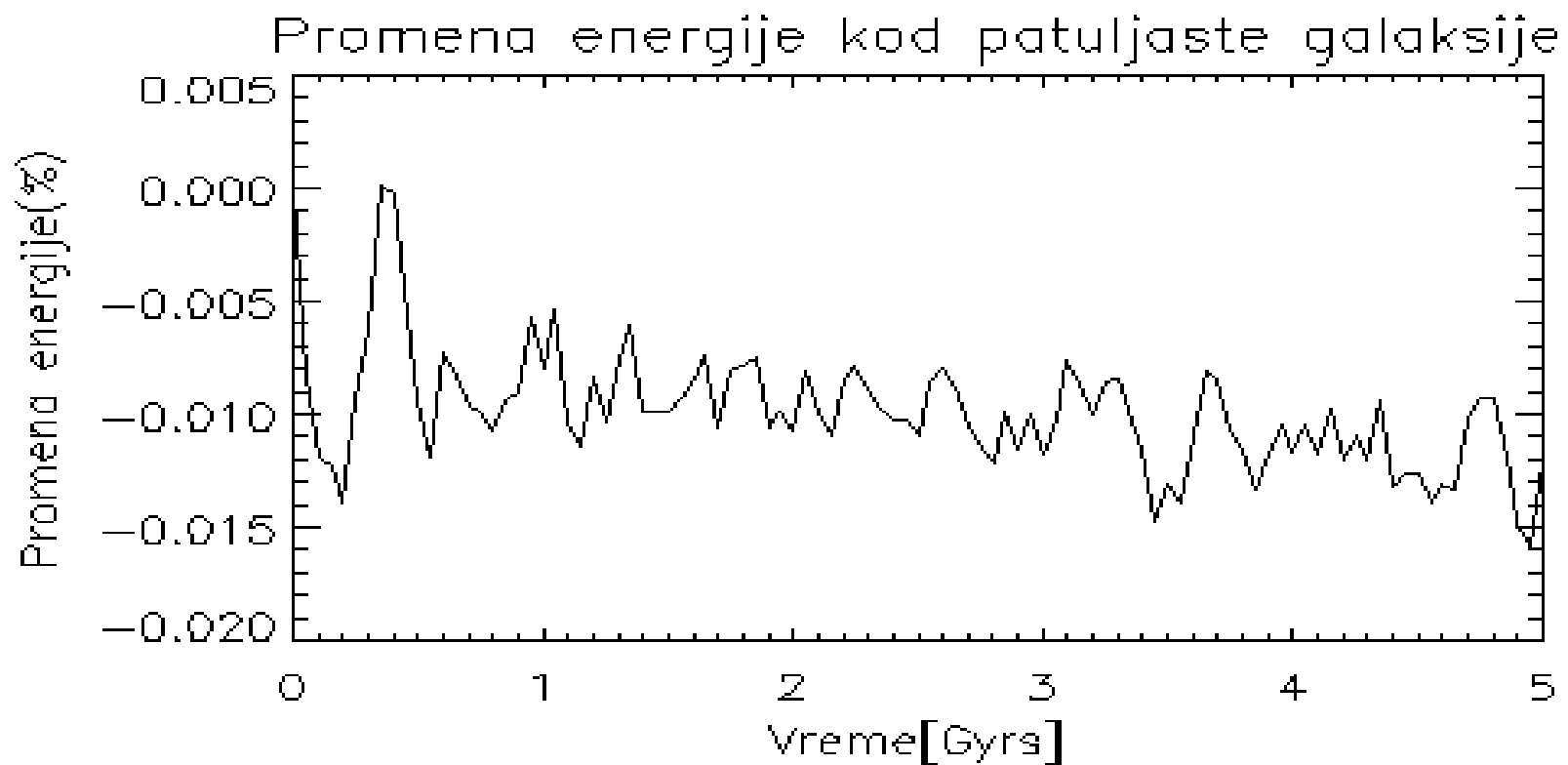
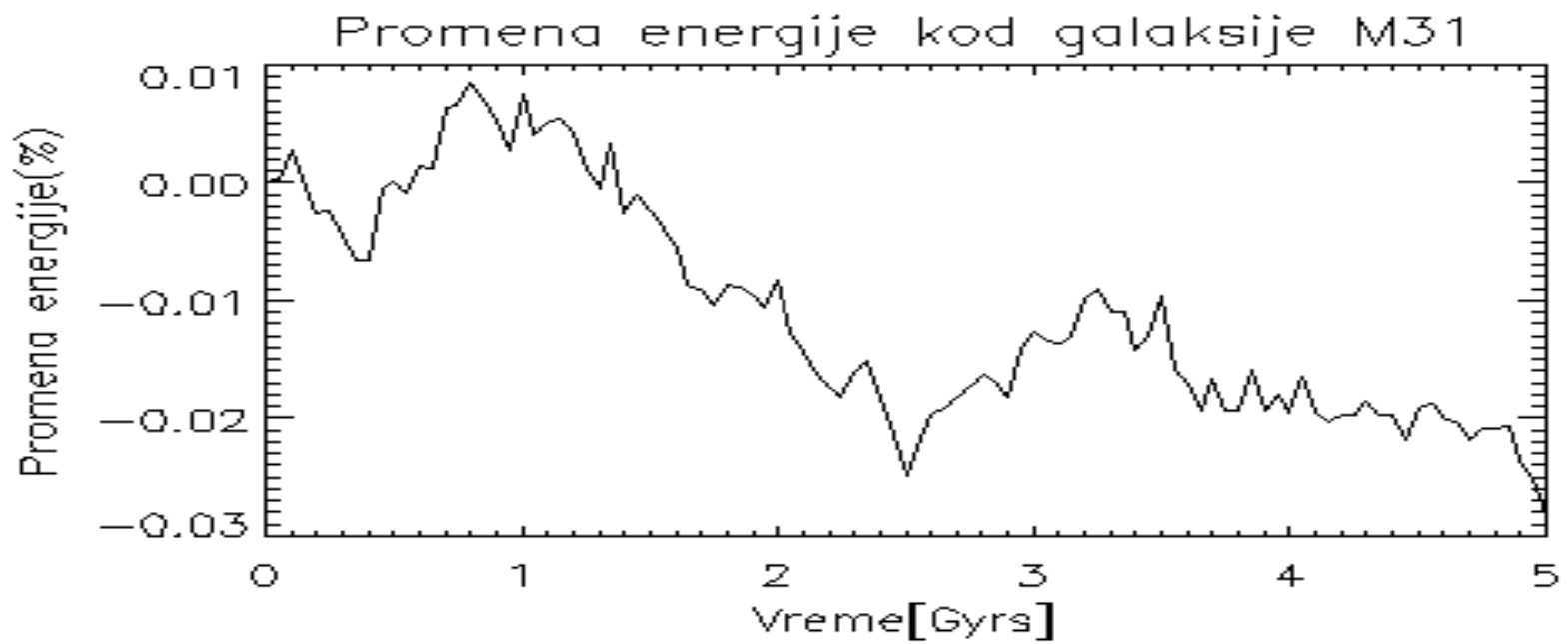
Simulacije galaksija u izolaciji

- Za početne uslove korišćen je GalactICS
- Simulacije su puštane pomoću koda Gadget2
- Ispitana je stabilnost galaksija u intervalu od 5 milijardi godina
- Jedan od indikatora stabilnosti galaksija je očuvana energija

- Ukupna energija i moment impulsa se održavaju

$$E_{\text{tot}} = \frac{1}{2} m_{\text{tot}} v_{\text{com}}^2 - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1; j \neq i}^N \frac{G m_i m_j}{r_{ij}} + \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} m_i v_i^2,$$

$$\mathbf{L}_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^N m_i (\mathbf{x}_i \times \mathbf{v}_i),$$



Sudar galaksija

- Sudar je vršen za dva seta vrednosti dužine ublažavanja
- Dužina ublažavanja je dužina ispod koje ne računamo gravitacionu silu

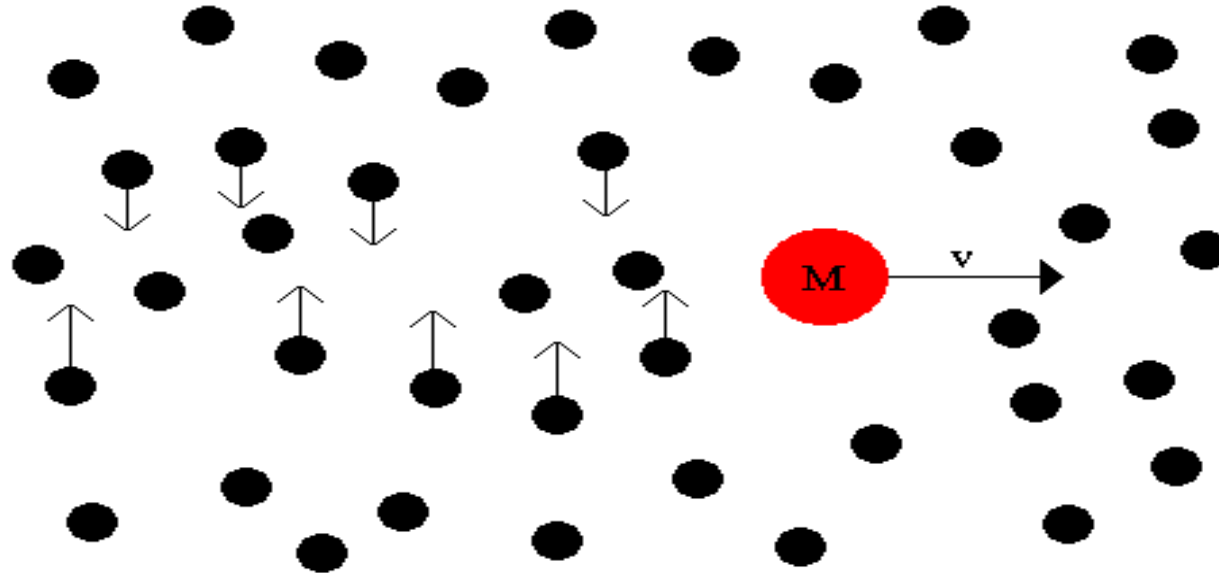
$$F = G \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$F = G \cdot \frac{m_1 m_2}{(r + \epsilon)^2}$$

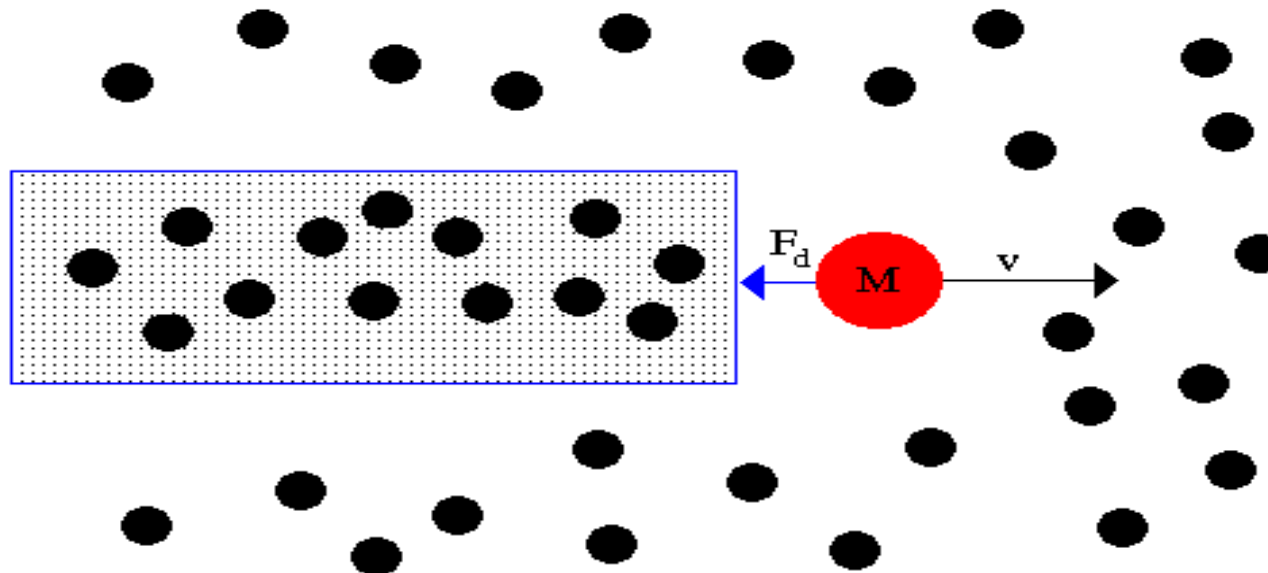
Vrednosti dužine ublažavanja

Barionska materija M31	39 pc	100 pc
Tamna materija M31	390 pc	100 pc
Barionska materija patuljaste galaksije	30 pc	100 pc
Tamna materija patuljaste galaksije	300 pc	100 pc

consider a mass, M , moving through a uniform sea of stars. Stars in the wake are displaced inward.



this results in an enhanced region of density behind the mass, with a drag force, F_d known as dynamical friction



Parametri sudara

- Patuljasta galaksija ima početnu poziciju čije su koordinate:

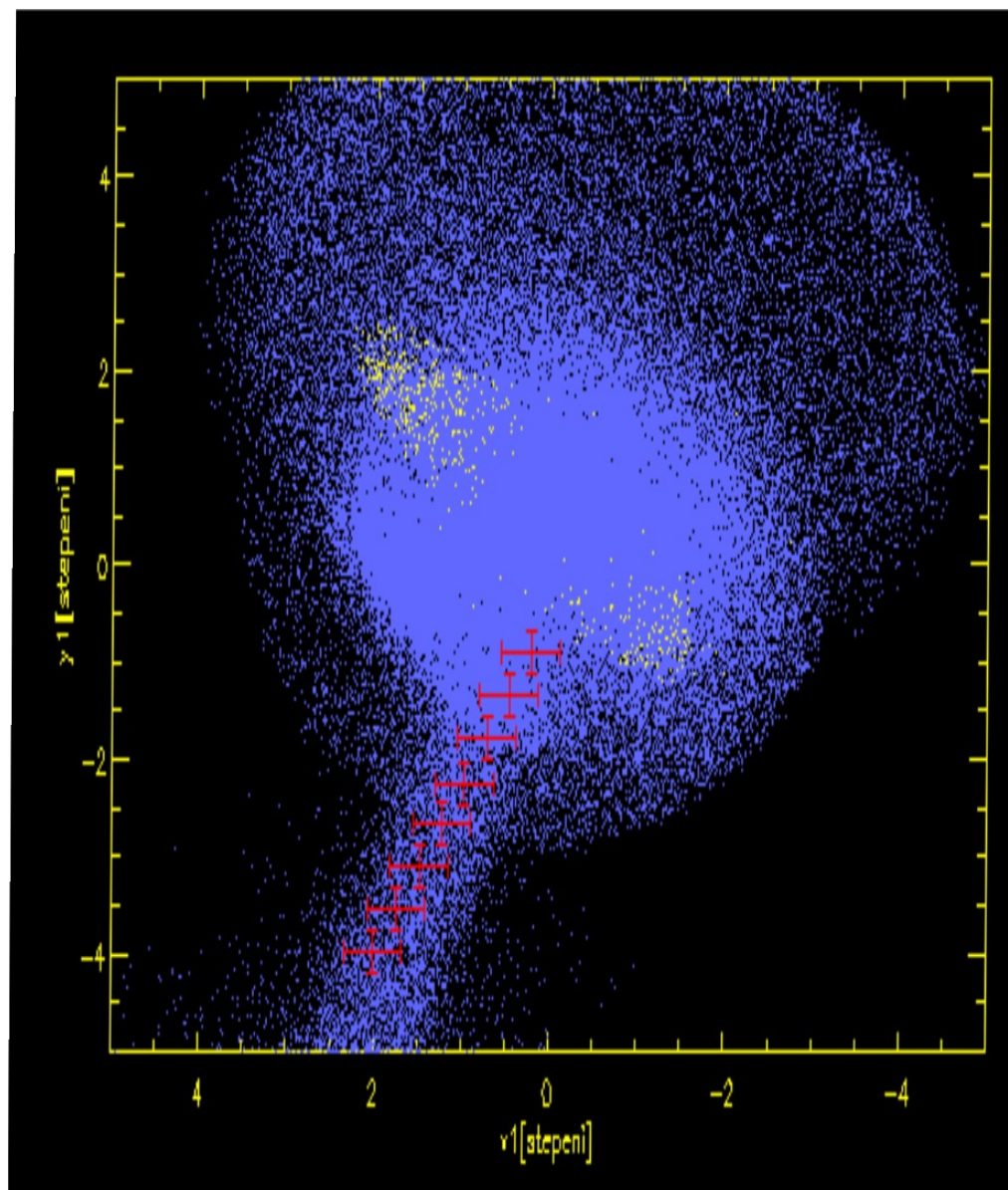
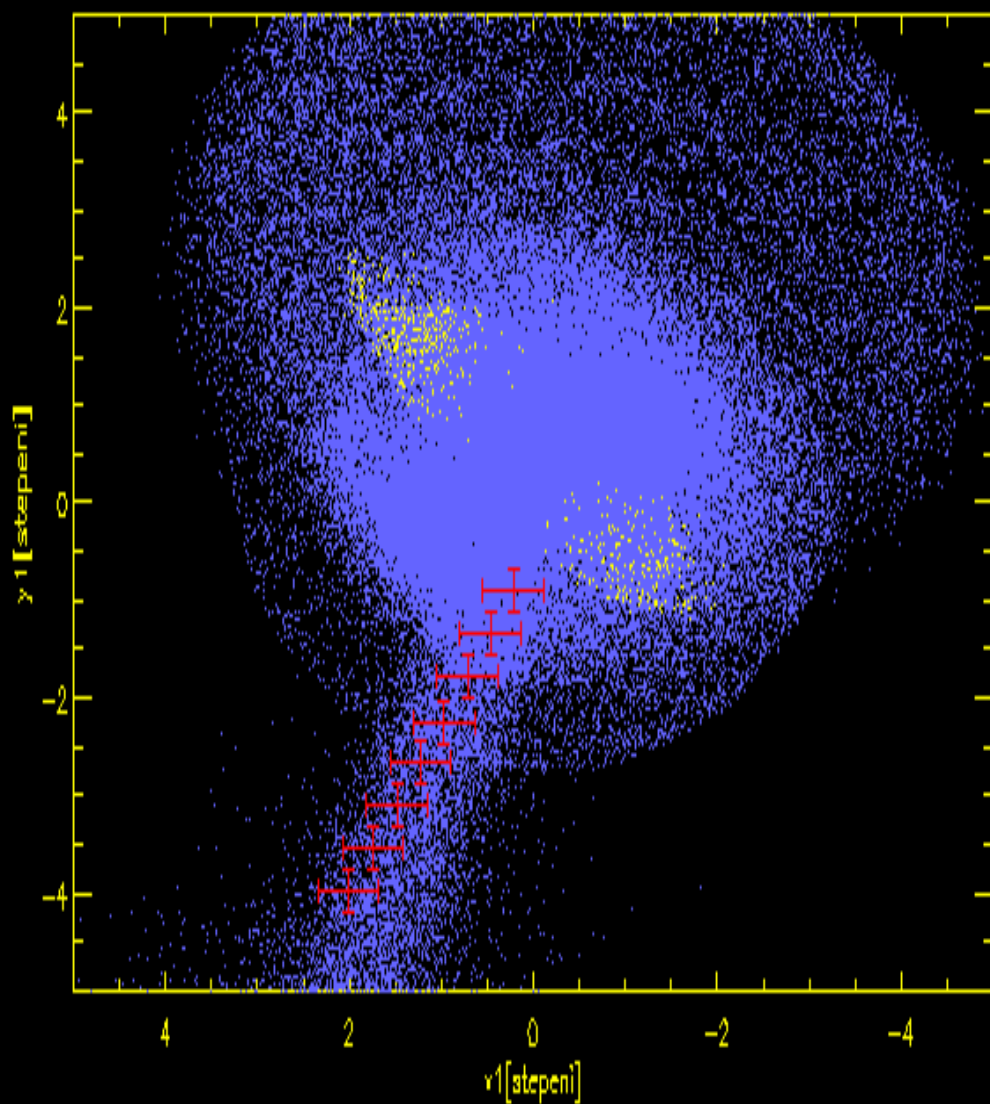
$$x_0 = -37,5 \text{ kpc},$$

$$y_0 = +139,10 \text{ kpc}$$

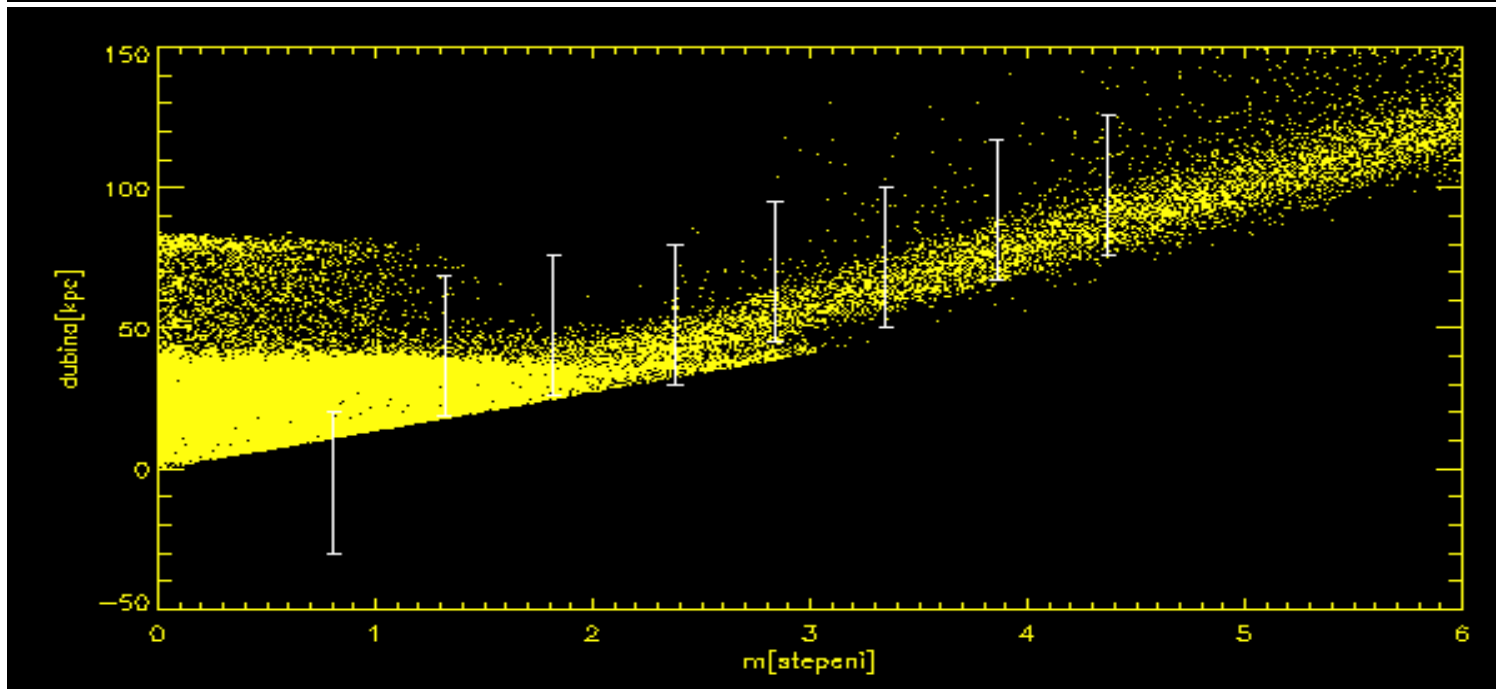
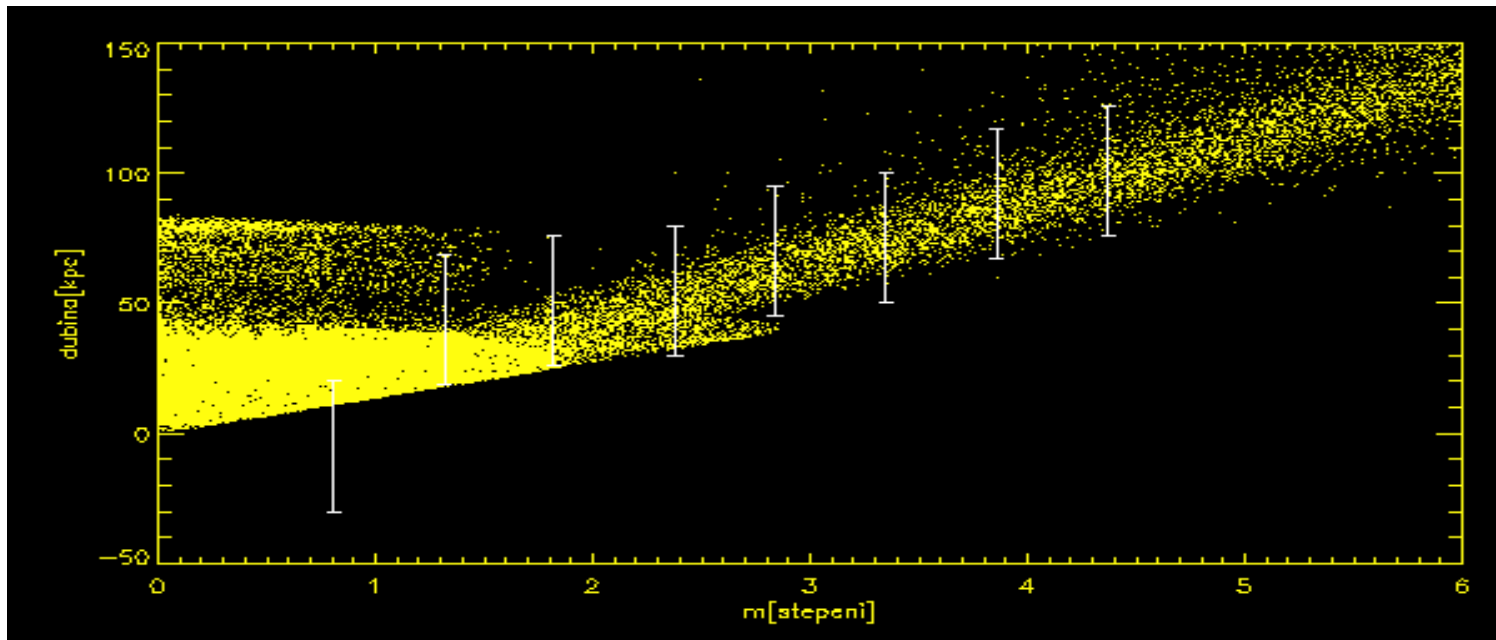
$$z_0 = -136,49 \text{ kpc}$$

- Sudar posmatramo u trenutku 2,7 milijardi godina od početka simulacije

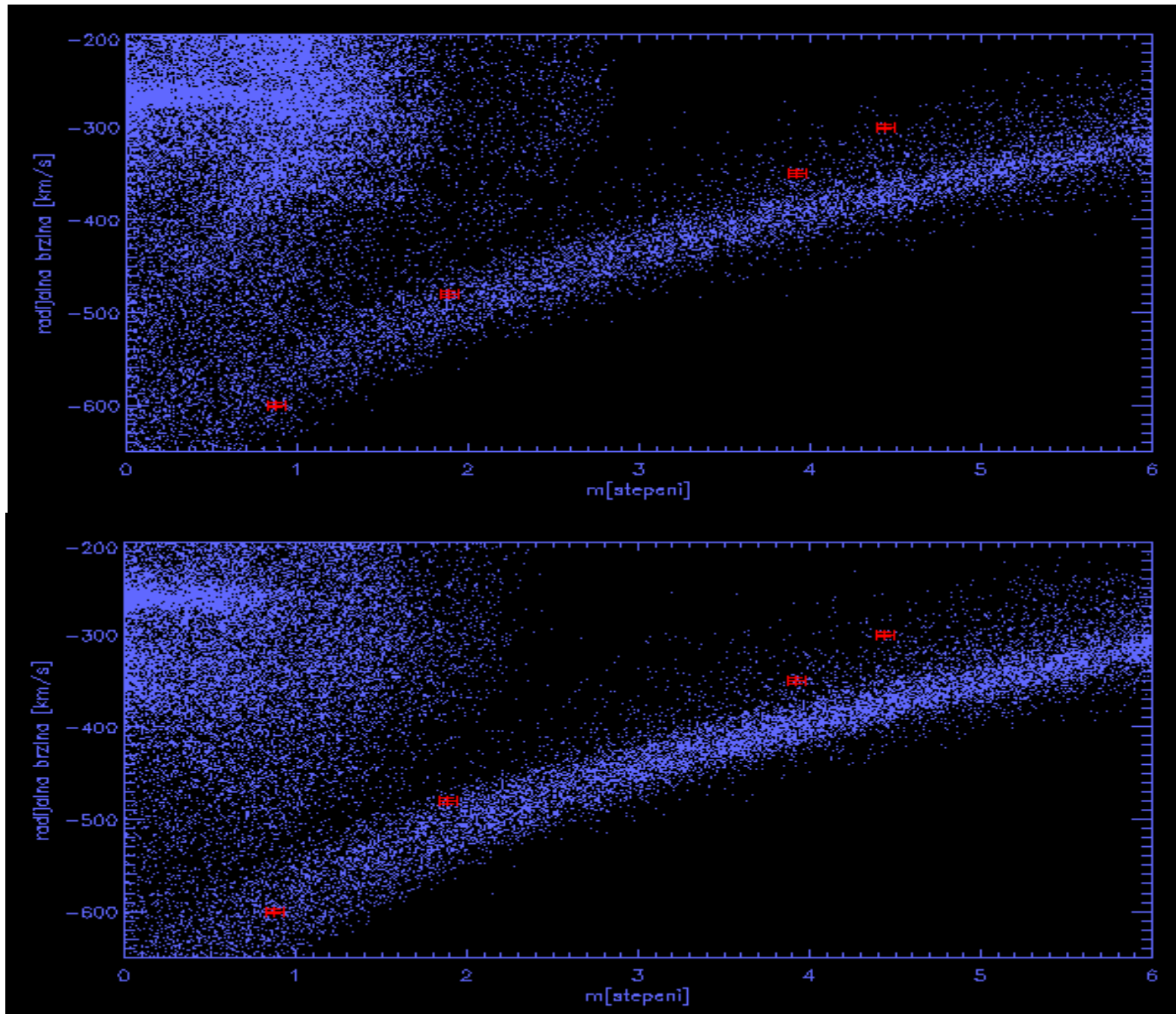
Orijentacija toka

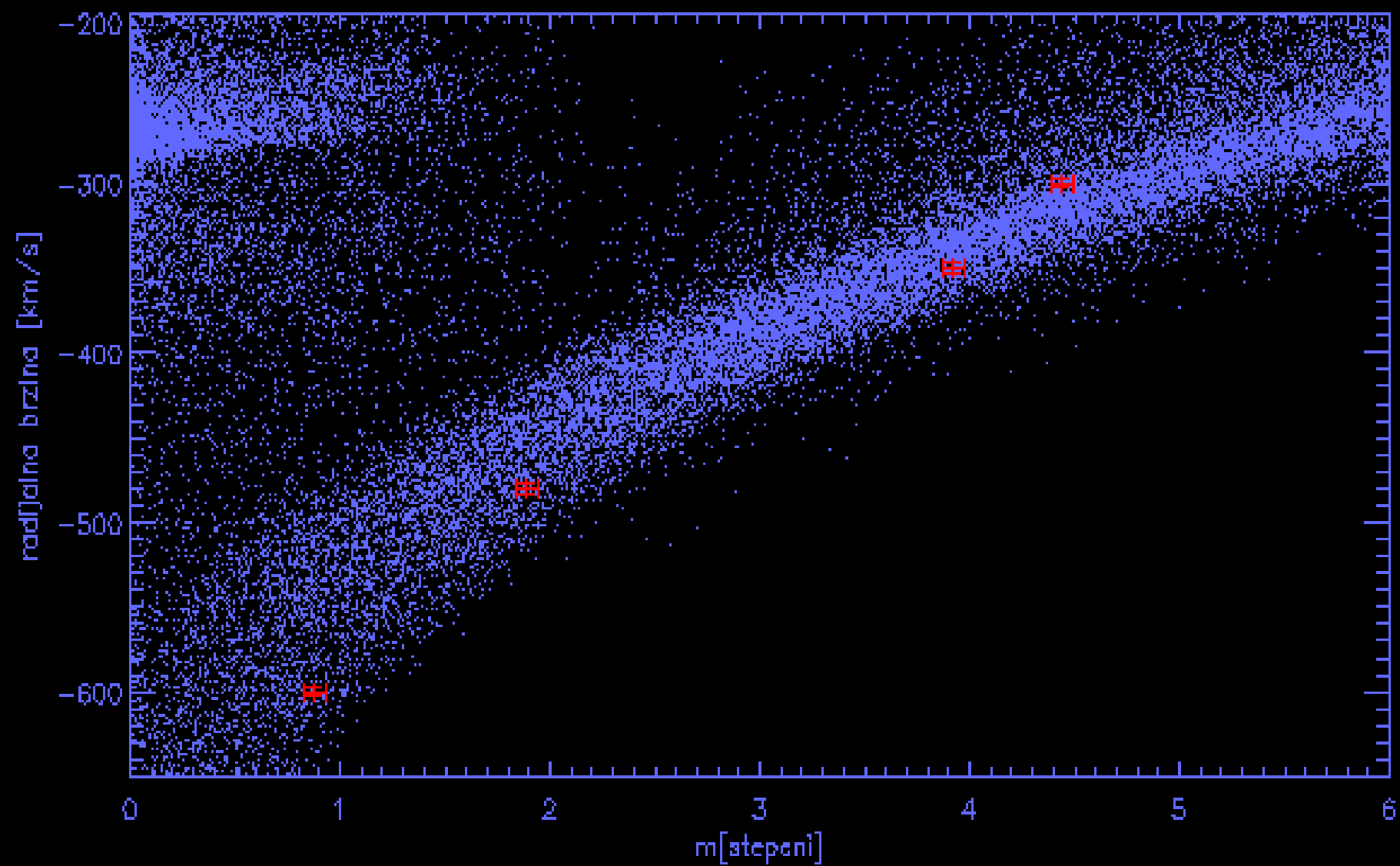


Dubina toka

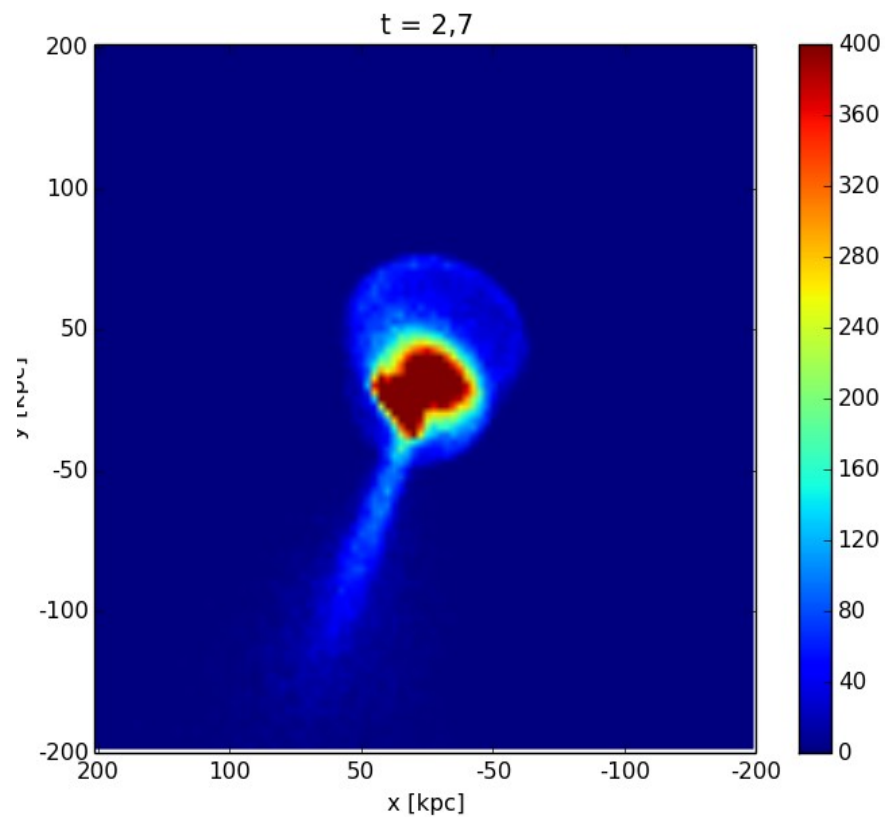
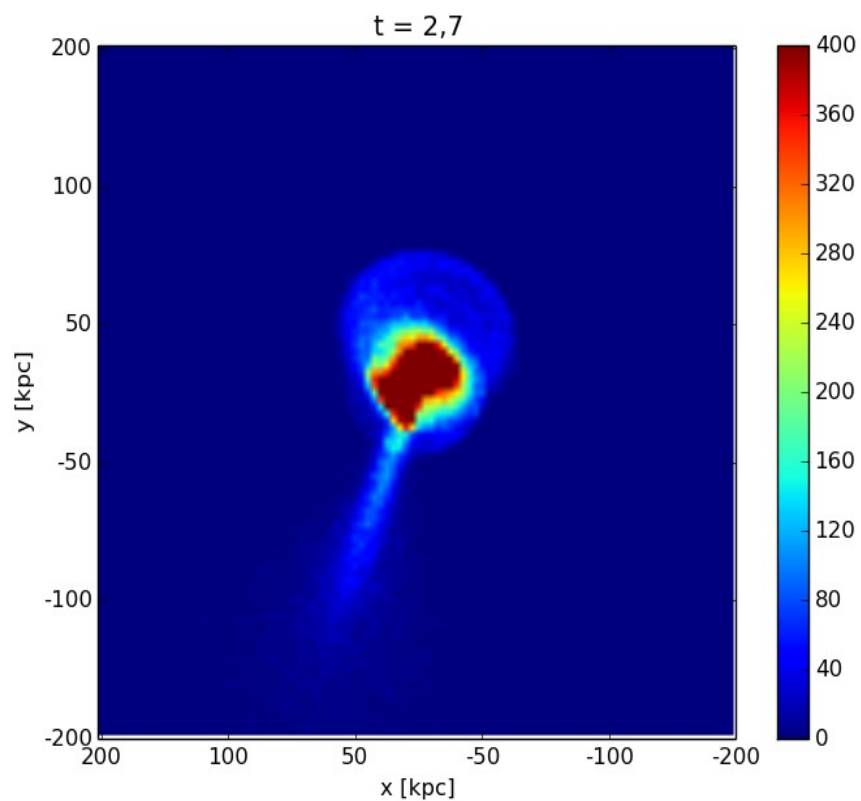


Radijalne brzine čestica toka

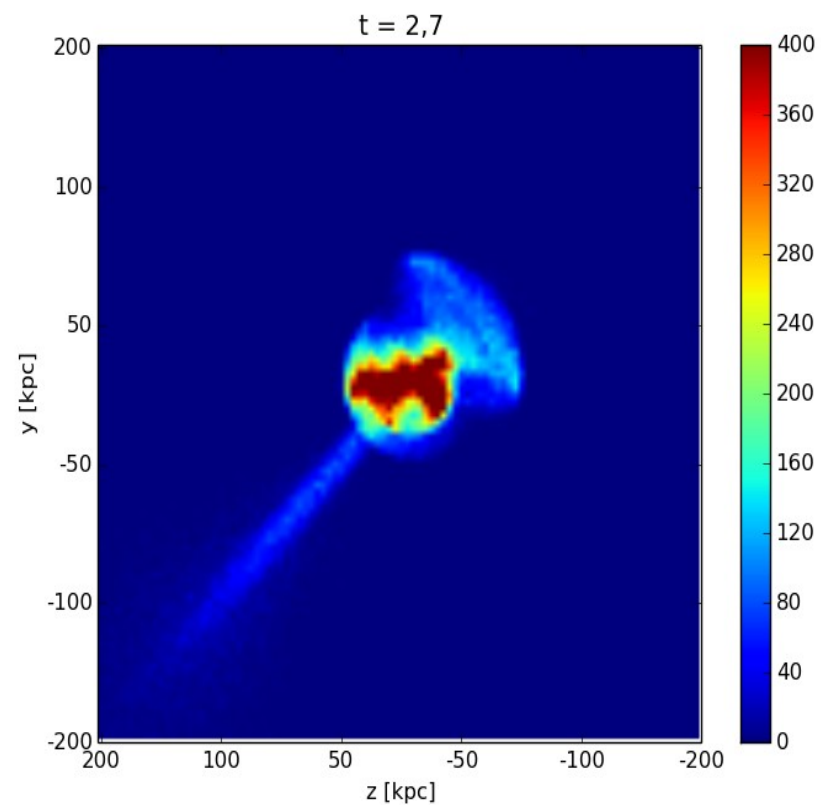
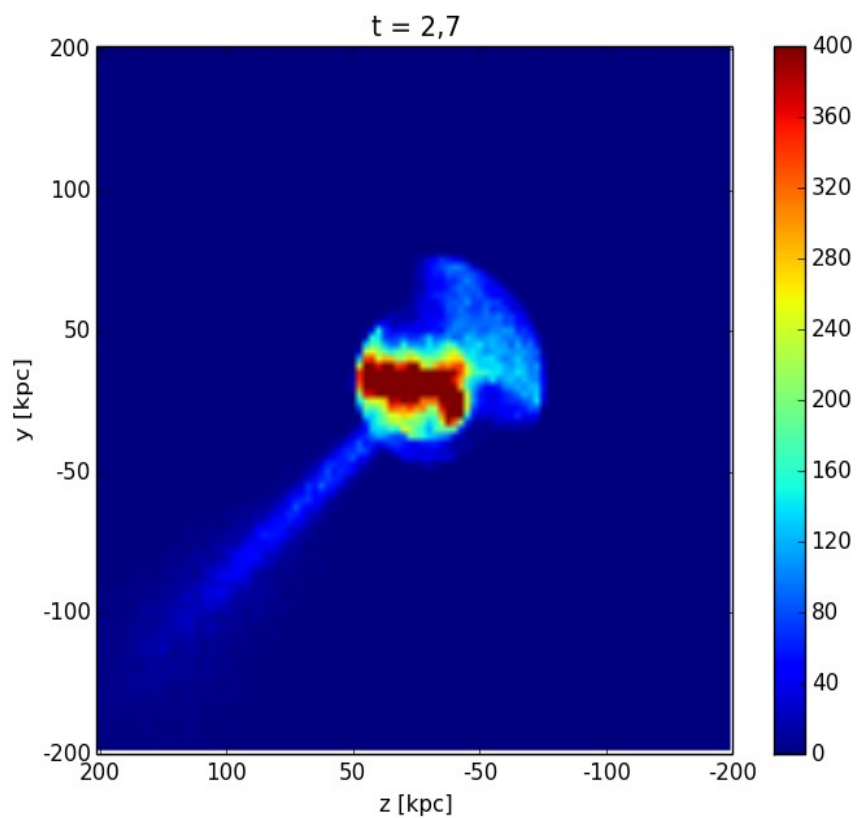




Profili gustina čestica toka



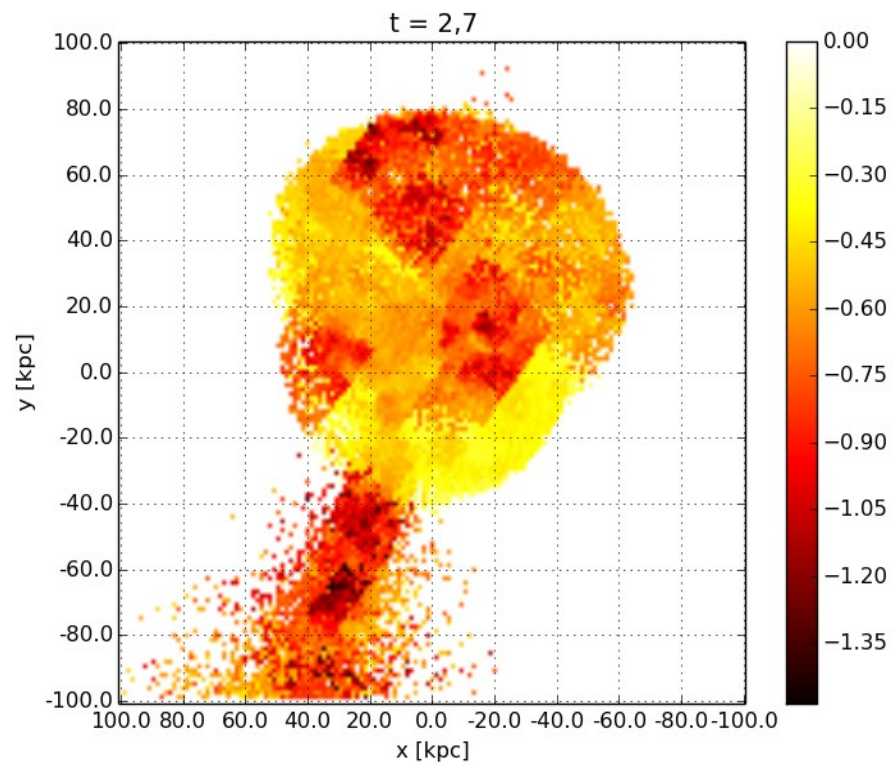
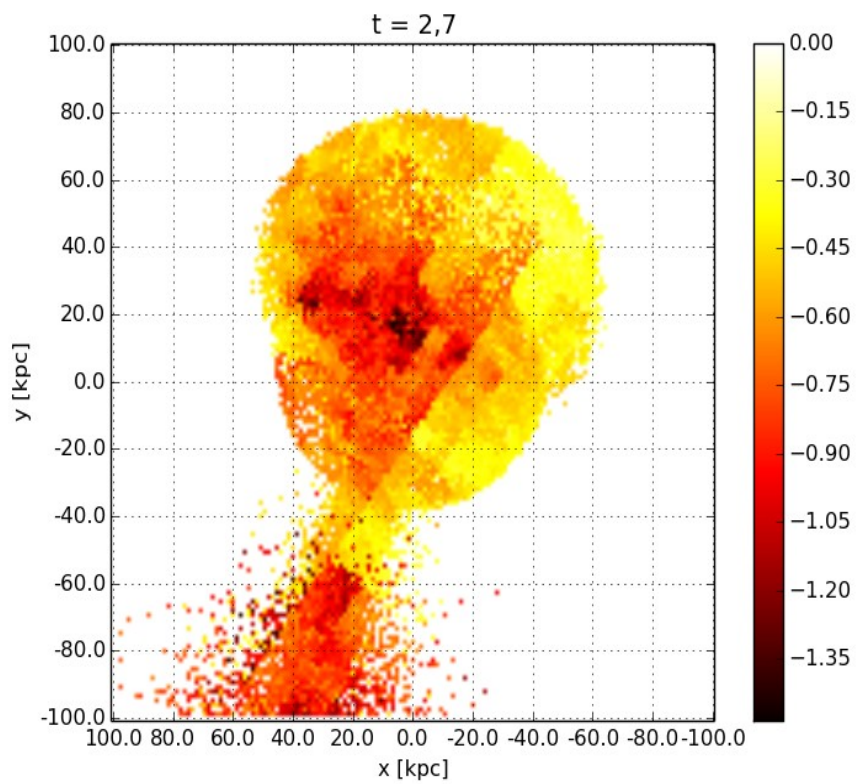
Profili gustina čestica toka



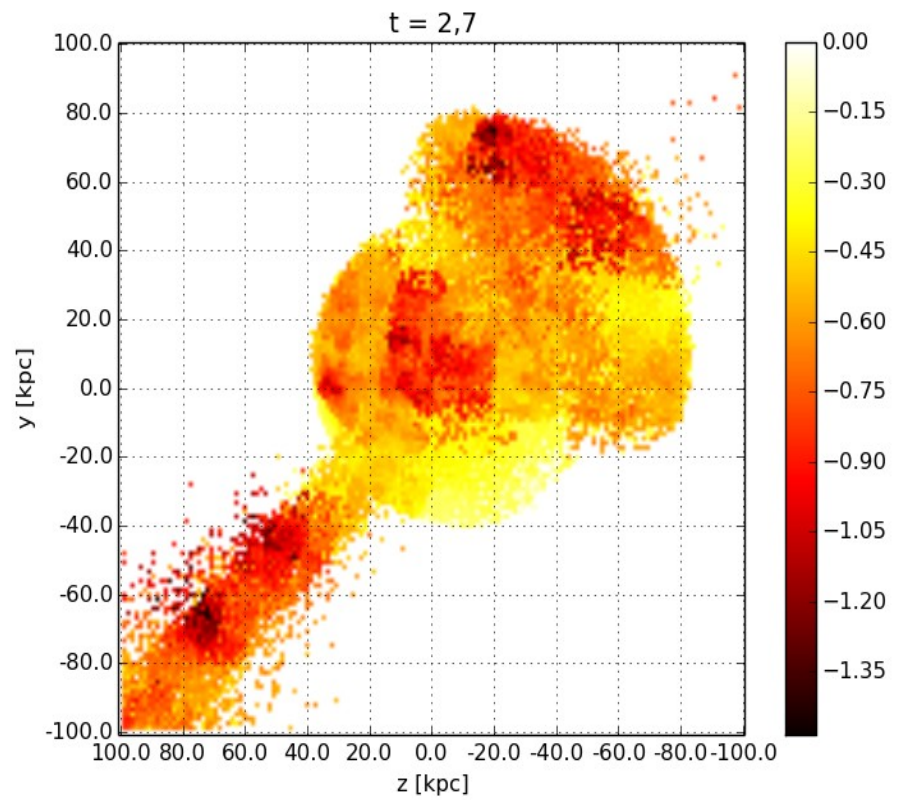
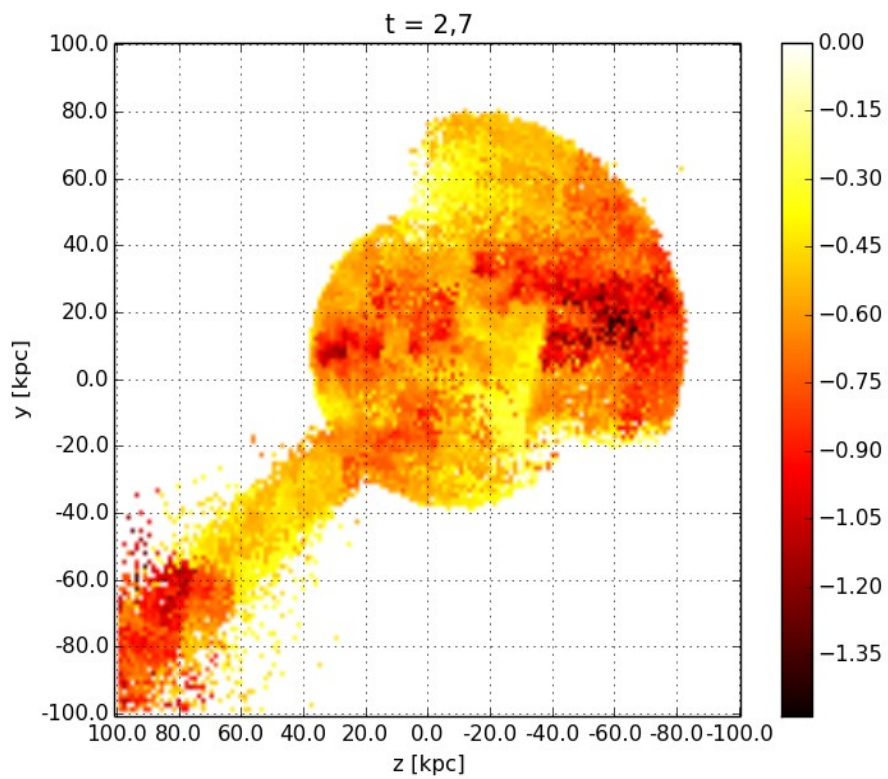
Metaličnost

- Pretpostavljena je linearna funkcija početne raspodele metaličnosti u patuljastoj galaksiji
- Praćeno je kako se menja raspodela metaličnosti nakon sudara
- Metaličnost ima najveću vrednost u centralnom delu galaksije i opada sa udaljavanjem od centra

Metaličnost



Metaličnost



- Uticaj početne pozicije
- Uticaj numeričkih parametara na formiranje toka i ljuski
- Uticaj morfologije galaksije

- Metaličnost se razlikuje za dva seta vrednosti dužine ublažavanja
- Raspodela u oba slučaja odstupa od posmatrane
- Potrebno je naći funkciju početne raspodele metaličnosti koja bolje opisuje raspodelu nakon sudara

Zaključak

- Simulacijama sudara reprodukovan je Veliki južni tok za oba seta vrednosti
- Ljuske se ne nalaze na koordinatama dobijenim posmatranjima (razlog za to je jaka zavisnost od početne pozicije)
- Predložena je linearna funkcija početne raspodele metaličnosti u patuljastoj galaksiji (koja ne daje poklapanje s posmatranjima)
- Nalaženje optimalne funkcije raspodele metaličnosti kod patuljaste galaksije, za fiksirane ostale parametre

Hvala na pažnji

