



Proleti
galaksija i
neke
njihove
posledice

Uvod

Modeli i
simulacije

Primarna
galaksija

Sekundarna
galaksija

Implikacije

Literatura

Proleti galaksija i neke njihove posledice

Ana Mitrašinović

Astronomska opservatorija, Volgina 7, 11060 Beograd, Srbija
Matematički fakultet, Studentski trg 16, 11000 Beograd, Srbija

Seminar Katedre za Astronomiju
24. maj 2022.



Uvod

Proleti
galaksija i
neke
njihove
posledice

Uvod

Modeli i
simulacije

Primarna
galaksija

Sekundarna
galaksija

Implikacije

Literatura

- Λ CDM kosmološki model - hijerarhijsko formiranje struktura (uzastopni sudari)
- Interakcije podjednako važne za evoluciju galaksija
- **Prolet** = dva nezavisna haloa/galaksije međusobno prodiru ali se potom odvoje i ne sudare
- Učestanost uporediva sa sudarima na visokim ($z > \sim 14$) i niskim ($z < \sim 2$) crvenim pomacima za masivne haloe $> \sim 10^{11} M_{\odot} h^{-1}$ (Sinha & Holley-Bockelmann, 2012; An et al., 2019)
- *Tipičan prolet*: sekundarna galaksija prolazi na manje od $\sim R_{\text{half}}$ primarne galaksije; odnos masa ~ 0.1 i manji (Sinha & Holley-Bockelmann, 2015)



Dosadašnja istraživanja

Proleti
galaksija i
neke
njihove
posledice

Uvod

Modeli i
simulacije

Primarna
galaksija

Sekundarna
galaksija

Implikacije

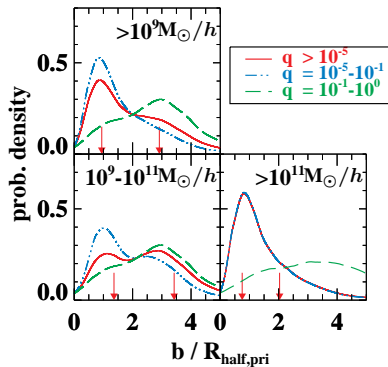
Literatura

Primarna galaksija

- Zakrivljenja diska galaksije na rubovima (Kim et al., 2014)
- Formiranje prečke u disku (Lang et al., 2014; Lokas, 2018)
- Prečke i spiralne grane (Pettitt & Wadsley, 2018)
- Uticaj na centralne ovale - prave i pseudo (Kumar et al., 2021)

Sekundarna galaksija

- Formiranje ultradifuznih galaksija? (Wright et al., 2021)
- Formiranje galaksija sa iznenađujuće malom količinom tamne materije (Moreno et al., 2022)
- Gubitak mase tamne materije (Mitrašinić, 2022)



Slika: Sinha & Holley-Bockelmann (2015)

- Tipični proleti za masivne primarne galaksije imaju parametre sudara $b \leq R_{\text{half}}$
- Jačina interakcije $\sim b^{-3}$, linearna zavisnost od $q = m_2/m_1$ i v
- Male promene parametra sudara daju veće promene u jačini interakcije



Modeli i simulacije

Proleti galaksija i neke njihove posledice

Uvod

Modeli i simulacije

Primarna galaksija

Sekundarna galaksija

Implikacije

Literatura

Primarna galaksija $R_{\text{vir}} = 197.4$ kpc

NFW halo tamne materije $M_{\text{H}} = 9.057 \cdot 10^{11} M_{\odot}$ ($6 \cdot 10^5$ čestica)

Eksponecijalni disk $M_{\text{D}} = 7.604 \cdot 10^{10} M_{\odot}$ ($3 \cdot 10^5$ čestica)

Sérsic-ov centralni oval $M_{\text{B}} = 2.502 \cdot 10^{10} M_{\odot}$ ($1 \cdot 10^5$ čestica)

Sekundarna galaksija $R_{\text{vir}} = 91.56$ kpc

NFW halo tamne materije $M_{\text{H}} = 9.044 \cdot 10^{10} M_{\odot}$ ($6 \cdot 10^4$ čestica)

Sérsic-ov centralni oval $M_{\text{S}} = 1.022 \cdot 10^{10} M_{\odot}$ ($1 \cdot 10^4$ čestica)

Interakcije - evolucija 5 Gyr

Početna udaljenost 300 kpc (skoro kontaktni sistem)

Početna relativna brzina $v_0 = 500 \text{ km s}^{-1}$

Različiti parametri sudara, isto trajanje interakcije - 1.08 Gyr



Simulacije proleta

Proleti
galaksija i
neke
njihove
posledice

Uvod

Modeli i
simulacije

Primarna
galaksija

Sekundarna
galaksija

Implikacije

Literatura

Tabela: Lista simulacija gde je b parametar sudara, $R_{\text{vir},1}$ virijalni radijus primarne galaksije, a v_b relativna brzina sekundarne galaksije u najbližem trenutku (u pericentru putanje).

Name	b [kpc]	$b/R_{\text{vir},1}$	v_b [km s ⁻¹]
B30	22.50	0.114	660.14
B35	26.53	0.135	650.86
B40	30.69	0.156	641.80
B45	35.07	0.178	632.86
B50	39.62	0.201	624.25
B55	44.27	0.224	616.16
B60	48.99	0.248	608.09
B65	53.72	0.272	601.28



Detekcija struktura - Furijeova metoda

Proleti
galaksija i
neke
njihove
posledice

Uvod

Modeli i
simulacije

Primarna
galaksija

Sekundarna
galaksija

Implikacije

Literatura

Relativna druga komponenta, $m = 2$

$$C_2 = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^N m_j e^{2i\phi_j} = C_{21} + iC_{22}$$

Amplituda i faza

$$A_2 = \sqrt{C_{21}^2 + C_{22}^2} \quad \phi_2 = \arctan\left(\frac{C_{22}}{C_{21}}\right)$$

Lokalno računanje u ravni diska podeljenog na prstenove \rightarrow
mape evolucije $A_2(R/R_D, t)$, $\phi_2(R/R_D, t)$.

Primarna galaksija - strukture u disku

Proleti galaksija i neke njihove posledice

Uvod

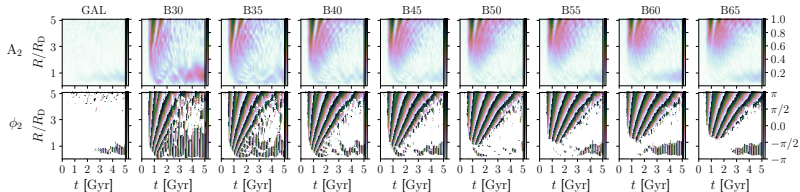
Modeli i simulacije

Primarna galaksija

Sekundarna galaksija

Implikacije

Literatura



Spirale - visoka vrednost amplitude, uniformna promena faze (R)

Radijus na kome spirale počinju i ukupno vreme života direktno proporcionalni parametru sudara b .

Oblik (ugao odklona) i vreme života izražene strukture (osim u B30) ne zavise od b .

Prečka - visoka vrednost amplitude, (skoro) konstantna faza (R)

Neppravilna zavisnost od parametra sudara b .

Uticaji sekularne evolucije.

Zanimljiv slučaj dvostruke prečke (B35)

Proleti
galaksija i
neke
njihove
posledice

Uvod

Modeli i
simulacije

Primarna
galaksija

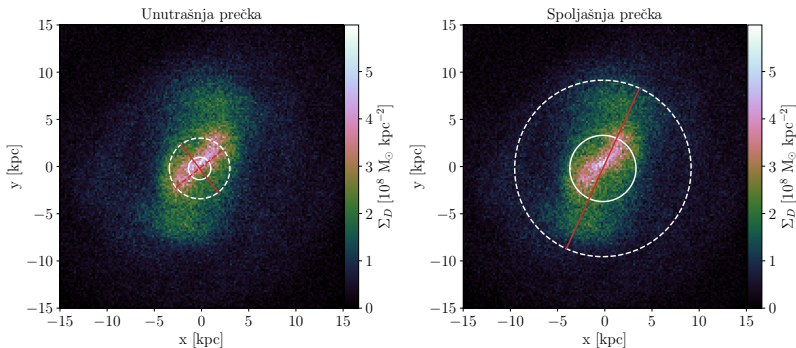
Sekundarna
galaksija

Implikacije

Literatura

Formiranje: namotavanje spirala oko rano formirane prečke.

Vreme života ≥ 2 Gyr



Ideja: dvostruke prečke u kosmološkim simulacijama?



Sekundarna galaksija

Proleti
galaksija i
neke
njihove
posledice

Uvod

Modeli i
simulacije

Primarna
galaksija

Sekundarna
galaksija

Implikacije

Literatura

Plimski efekti

Posledica spoljašnjeg gravitacionog dejstva na objekat konačnih dimenzija - različiti delovi osećaju različite vrednosti sile.

Plimsko ogoljavanje → spolja ka unutra.

Mere mase haloa tamne materije

- **Gravitaciono vezana masa:** čestice sa negativnom ukupnom energijom (kinetička + potencijalna).
- **Virijalna masa:** čestice unutar virijalnog radijusa (određenog NFW fitom).
- **Masa jezgra:** čestice unutar radijusa na kome rotaciona kriva dostiže maksimum.



Evucija mase tamne materije

Proleti galaksija i neke njihove posledice

Uvod

Modeli i simulacije

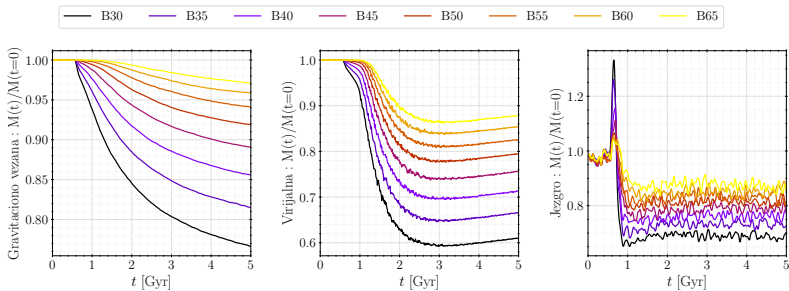
Primarna galaksija

Sekundarna galaksija

Implikacije

Literatura

Zvezdana komponenta zadržava svoju masu, ali halo tamne materije...



- Plimsko ogoljavanje se ne dešava trenutno.
- Deformisanje jezgra/haloa tokom interakcije.
- Zahvatanje male količine mase iz plimskih struktura.

Preostala masa u funkciji parametra sudara

Proleti
galaksija i
neke
njihove
posledice

Uvod

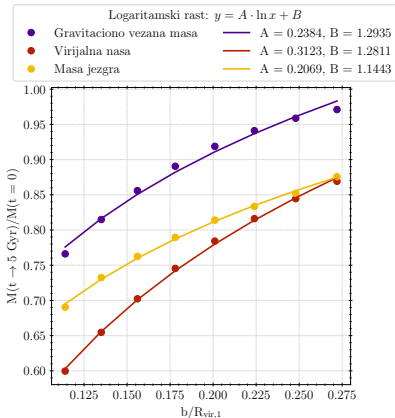
Modeli i
simulacije

Primarna
galaksija

Sekundarna
galaksija

Implikacije

Literatura



- Logaritamski rast sa b .
- Parametri fita (verovatno) zavise od početnih uslova (odnos masa, početna brzina).
- Ogoljavanje spolja ka unutra očiglednije u jačim/bližim proletima.

Zvezdana komponenta

Proleti
galaksija i
neke
njihove
posledice

Uvod

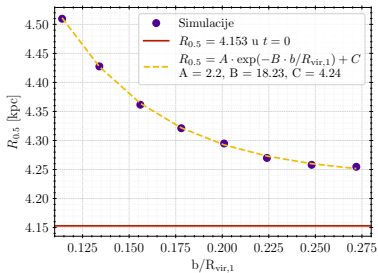
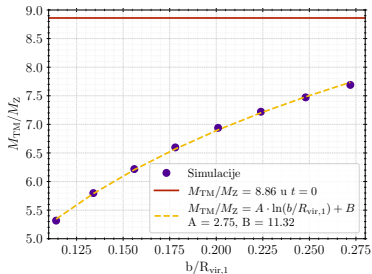
Modeli i
simulacije

Primarna
galaksija

Sekundarna
galaksija

Implikacije

Literatura



- Odnos masa tamne materije prema vidljivoj - logaritamski rast sa b .
- Širenje zvezdane komponente - eksponencijalni raspad sa b .
- Stopa širenja zvezdane komponente veća/brža od stope gubitka mase tamne materije.



Važne implikacije, ukratko...

Proleti
galaksija i
neke
njihove
posledice

Uvod

Modeli i
simulacije

Primarna
galaksija

Sekundarna
galaksija

Implikacije

Literatura

- Dvograna spiralna struktura vidljiva dugo nakon proleta → potvrda mehanizma plimskog formiranja.
- Nezanemarljiva koevolucija spiralne strukture i prečke, i drugih efekata sekularne evolucije → neophodne simulacije bolje čestične rezolucije i/ili hidrodinamičke simulacije.
- Tipični proleti značajno doprinose formiranju ultradifuznih i galaksija sa malom količinom tamne materije → jači (bliži, sporiji) proleti ih mogu sami formirati.



Reference

Proleti
galaksija i
neke
njihove
posledice

Uvod

Modeli i
simulacije

Primarna
galaksija

Sekundarna
galaksija

Implikacije

Literatura

- An S.-H., Kim J., Moon J.-S., Yoon S.-J., 2019, ApJ, 887, 59
- Kim J. H., Peirani S., Kim S., Ann H. B., An S.-H., Yoon S.-J., 2014, ApJ, 789, 90
- Kumar A., Das M., Kataria S. K., 2021, MNRAS, 506, 98
- Lang M., Holley-Bockelmann K., Sinha M., 2014, ApJL, 790, L33
- Lokas E. L., 2018, ApJ, 857, 6
- Mitrašinović A., 2022, Serbian Astronomical Journal,
- Moreno J., et al., 2022, Nature Astronomy,
- Pettitt A. R., Wadsley J. W., 2018, MNRAS, 474, 5645
- Sinha M., Holley-Bockelmann K., 2012, ApJ, 751, 17
- Sinha M., Holley-Bockelmann K., 2015, arXiv e-prints, p. arXiv:1505.07910
- Springel V., 2005, MNRAS, 364, 1105
- Wright A. C., Tremmel M., Brooks A. M., Munshi F., Nagai D., Sharma R. S., Quinn T. R., 2021, MNRAS, 502, 5370