

# Gravitacioni uzmak crnih rupa u potencijalu haloa tamne materije

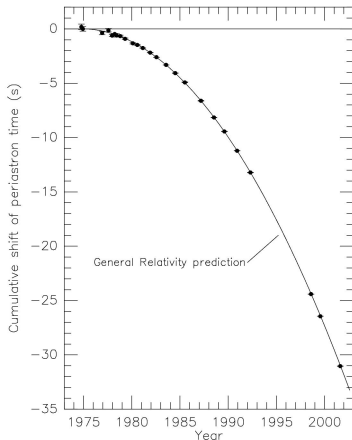
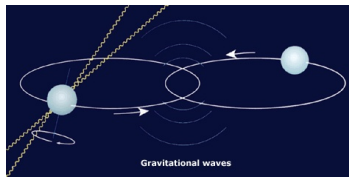
Majda Smole

*msmole@aob.rs*

20. oktobar 2015

# Uvod-Gravitacioni talasi

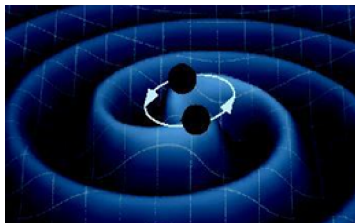
- Gravitacioni talasi-oscilacije vremena i prostora.
- Najjači izvori-dvojni sistemi neutronske zvezde ili crnih rupa.
- Indirektno detektovani-Hulse-Taylor binarni sistem neutronske zvezde, Nobelova nagrada 1993. godine.



Promena orbite binarnog pulsara PSR B1913+16, Weisberg & Taylor (2004)

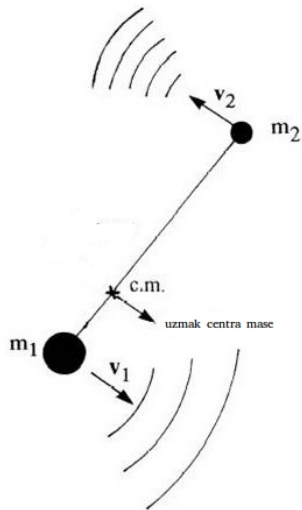
- Hijerarhijski rast struktura-sudari haloa tamne materije i formiranje binarnih sistema crnih rupa.
- Usled interakcije sa zvezdama binarni sistem gubi energiju i rastojanje između crnih rupa se smanjuje.
- Kada rastojanje postane  $\lesssim 0.1pc$  emisija gravitacionih

talasa dovodi do naglog spajanja binarnog sistema.



# Uvod-gravitacioni uzmak

- Impuls gravitacionih talasa se emituje u pravcu kretanja crne rupe, što dovodi do uzmaka crne rupe u suprotnom pravcu.
- Neophodno je da postoji asimetrija u sistemu: crne rupe različitih masa i/ili rotacija crnih rupa.
- Spiralne orbite.

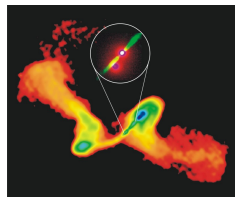
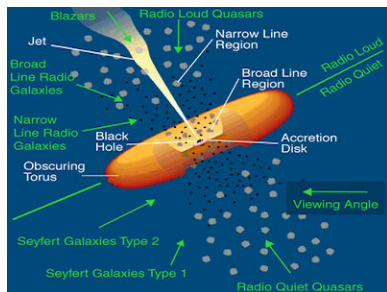


# Uvod-amplitude gravitacionog uzmarka

- Jačina gravitacionog uzmarka zavisi od odnosa masa crnih rupa u sudaru, njihove rotacije i orijentacije vektora rotacije u odnosu na ravan orbite.
- Švračšildove crne rupe  $< 200$  km/s.
- Numeričke simulacije  $\sim 4000$  km/s za pojedine konfiguracije orbite.
- Gravitacioni uzmak može da izmesti crnu rupu iz centra galaksije ili da je u potpunosti izbací.
- Obrzina oslobađanja za masivne eliptične galaksije  $\sim 3000$  km/s.
- $\sim 200$  km/s za globularna jata ili patuljaste galaksije.
- Na visokom crvenom pomaku haloí tamne materije imaju manje mase i manje brzine oslobađanja,  $\geq 150$  km/s na  $z \geq 11$ .

# Uvod-posmatranja

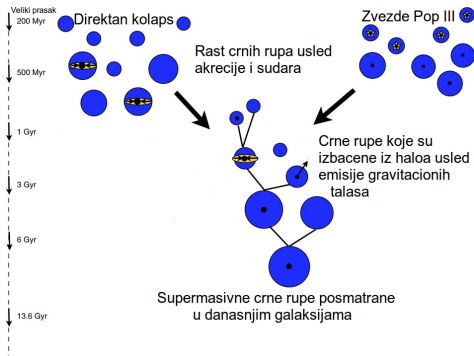
- Prostorno i kinematički izmeštena aktivna galaktička jezgra (AGJ).
- Moguće posledice na ujedinjeni model AGJ.
- Lokalni udarni talasi, zagrevanje prašine, emisija X zračenja.
- Periodične promene brzine i pravca mlaza izbačene jonizovane materije kod AGJ.
- "X-shaped" radio galaksije.



NGC 326 "X-shaped" radio galaksija.

# Uvod-rast crnih rupa

- Crne rupe rastu kombinacijom akrecije gasa i sudara.
- Gravitacioni uzmak može da utiče na rast supermasivnih crnih rupa usled sudara.



Šematski prikaz evolucije crnih rupa, Greene (2012).

- Trajektorije crnih rupa u statičkom i evoluirajućem potencijalu haloa tamne materije.
- Profil tamne materije:

NFW (Navarro et al. 1997):

$$\rho_{\text{NFW}}(r) = \rho_{\text{crit}} \frac{\delta_{\text{char}}}{r/r_s (1 + r/r_s)^2} \quad (1)$$

Einasto (Einasto 1965):

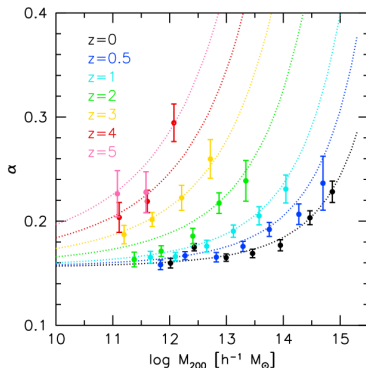
$$\rho_{\text{Ein}}(r) = \rho_{-2} \exp \left\{ -\frac{2}{\alpha} [(r/r_{-2})^\alpha - 1] \right\} \quad (2)$$



# METOD-Einasto profil

- NFW i Einasto profili se najviše razlikuju na malim rastojanjima od centra ( $\sim 1\% R_{\text{vir}}$ ) gde Einasto profil ima manju gustinu.
- NFW profil ima fiksni oblik; masa i veličina su parametri skaliranja.
- $\alpha$ -parametar koji opisuje oblik profila, raste sa masom haloa i sa crvenim pomakom:  
 $\alpha \sim 0.16$  za galaksije  
 $\alpha \sim 0.3$  za masivna jata galaksija

- Haloj tamne materije nisu univerzalni!



Dutton and Macciò (2014)

- Modelovanje evoluirajućeg potencijala-van den Bosch et al. (2014) kod.
- Razmatrani su haloj tamne materije u čijim se centrima nalaze masivne izolovane galaksije na  $z < 1$ .

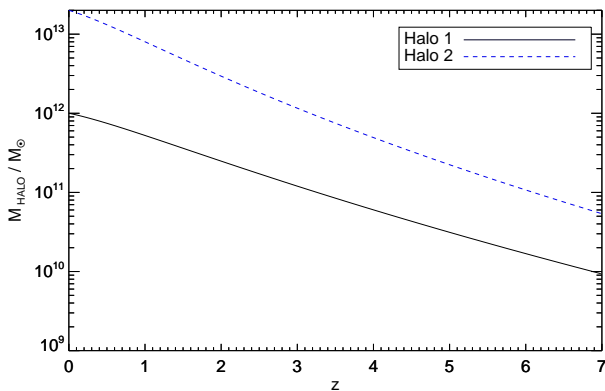
1) Spiralna galaksija slična Mlečnom putu (Halo 1):

$$M_{\text{halo}} = 10^{12} M_{\odot}, c = 9.9, r_s = 24.5$$

2) Masivna izolovana eliptična galaksija (Halo 2):

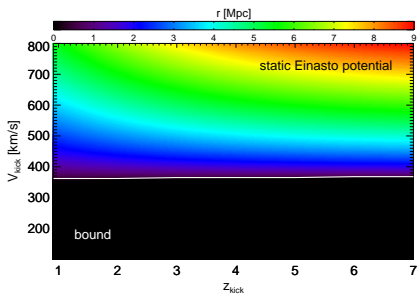
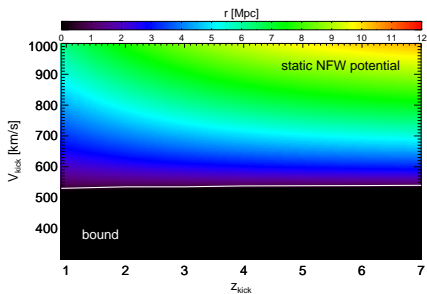
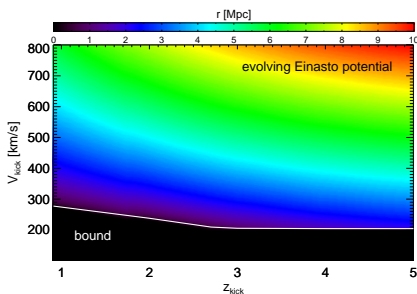
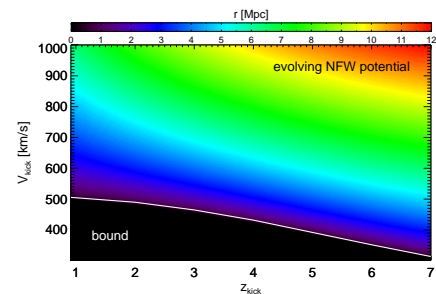
$$M_{\text{halo}} = 2 \times 10^{13} M_{\odot}, c = 7.4, r_s = 88.7$$

# RESULTS

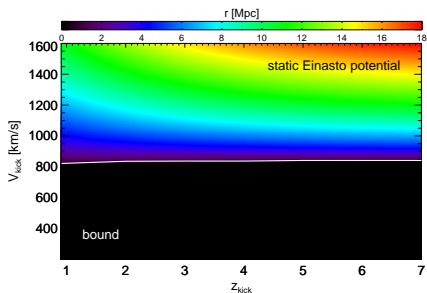
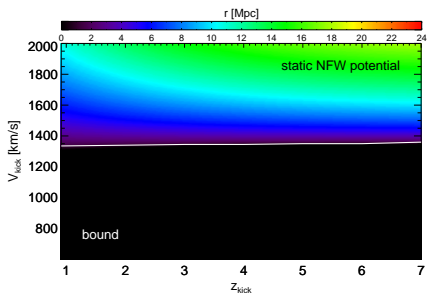
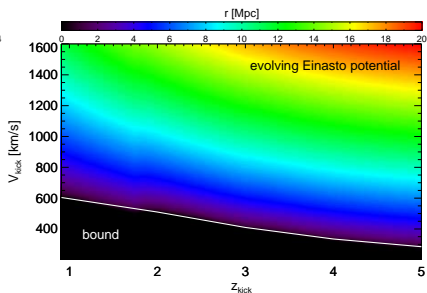
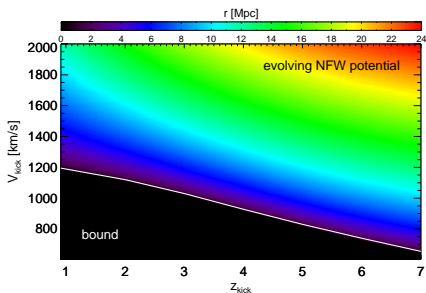


Masa haloa u funkciji crvenog pomaka, van den Bosch et al. (2014).

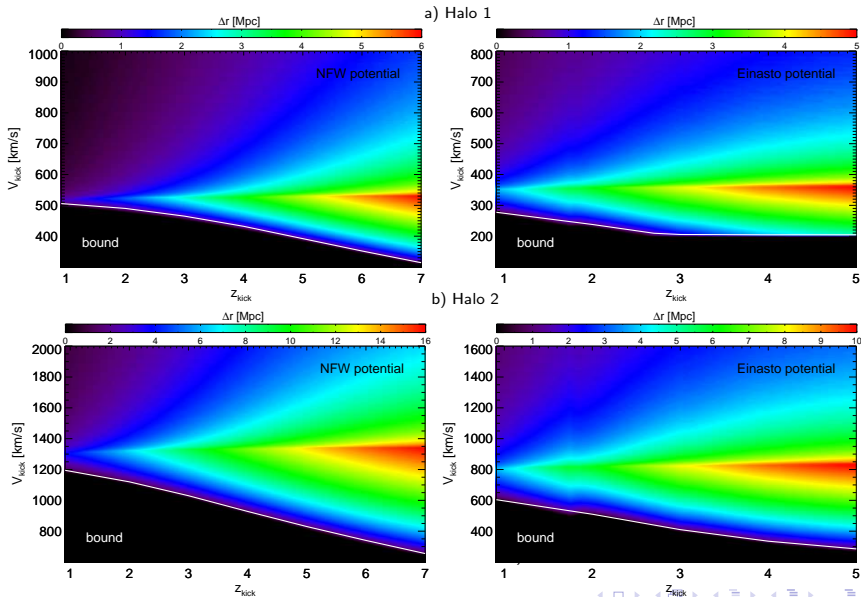
# Rastojanje crne rupe od centra haloa na $z = 0$ - Halo 1



# Rastojanje crne rupe od centra haloa na $z = 0$ - Halo 2

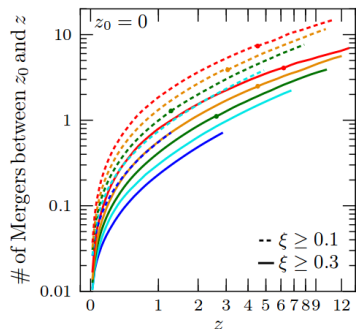


# Razlika između statičkog i evoluirajućeg potencijala

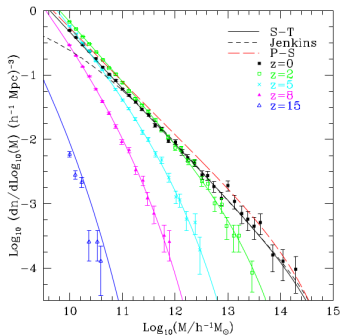


- Potrebne su  $\sim 40\%$  manje kritične brzine za izbacivanje crnih rupa na visokom crvenom pomaku.
- Einasto raspodela gustine predviđa pliću potencijalnu jamu i kritična brzina je  $\sim 30\%$  manja u odnosu na NFW raspodelu gustine.
- Najveća razlika između statičkog i evoluirajućeg potencijala se primećuje blizu kritične brzine i na visokim crvenim pomacima.
- Na visokim crvenim pomacima brzina uzmarka crne rupe ima veći uticaj na poziciju crne rupe na  $z = 0$ .

- Sudari su bili češći u prošlosti.
- Najčešći sudari u prošlosti su sudari haloa manjih masa.



Fakhouri et al. (2010)



Reed et al. (2003)

⇒ Dodatna razlika između statičkog i evoluirajućeg potencijala!



# Šta sve ovo znači za rast crnih rupa?

- Koliko često crne rupe dobijaju značajnu brzinu uzmarka?
  - ~ 25% > 500 km/s
  - ~ 10% > 1000 km/s
- Veliki broj crnih rupa može da napusti halo:

500 km/s je kritična brzina za izbacivanje crnih rupa iz haloa Mlečnog puta na  $z = 0$ , a 300 km/s na  $z = 7$ .

Halo eliptične galaksije je masivniji, kritična brzina je 1350 km/s i samo crne rupe sa najvećim brzinama mogu da ga napuste.

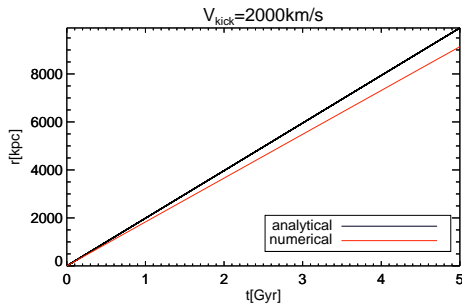
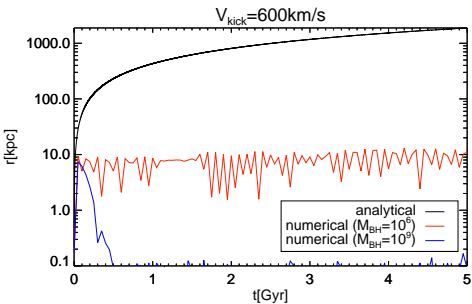
- Ipak, vrednosti parametara od kojih zavisi brzina uzmarka nisu dovoljno poznati, potrebna su posmatranja da bi se odredila raspodela brzina uzmarka crnih rupa.

- Pretpostavlja se da halo raste jedino akrecijom hladnog gasa kroz filamente tamne materije.  
Sudari sa drugim haloima mogu da utiču na rast haloa i trajektorije crnih rupa.
- Trajektorije crnih rupa se prate jedino u potencijalu haloa tamne materije.  
Interakcije sa zvezdama i gasom u galaksiji su bitne.

- Kretanje crne rupe u numeričkom potencijalu.
- Izolovane galaksije-poređenje sa analitičkim potencijalom.
- Sudari galaksija.

# Vrlo preliminarni rezultati-izolovane galaksije

Razlika između analitičkog i numeričkog potencijala  $\Rightarrow$  Uticaj dinamičkog trenja!



# Hvala na pažnji