

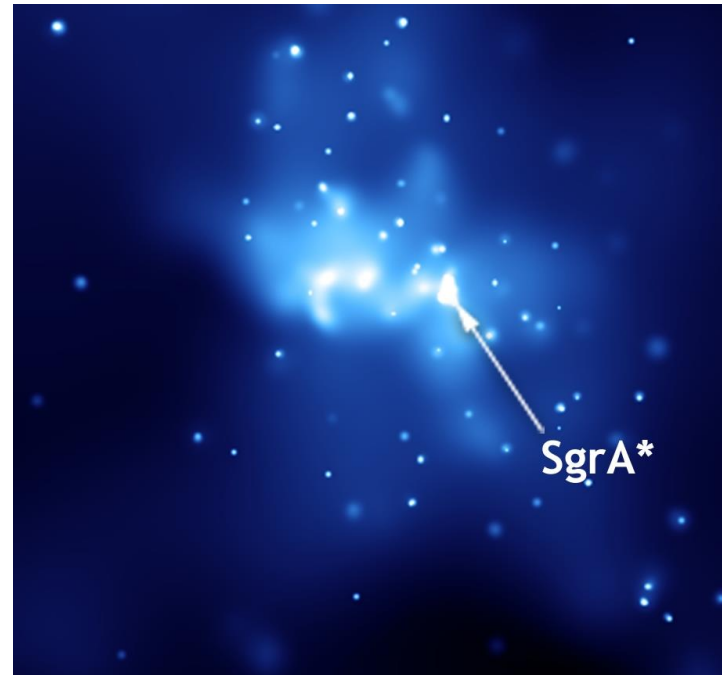
# Modeliranje mase središta Mliječnoga puta

Marija Horvat

Mentorica: prof.dr.sc. Vernesa Smolčić

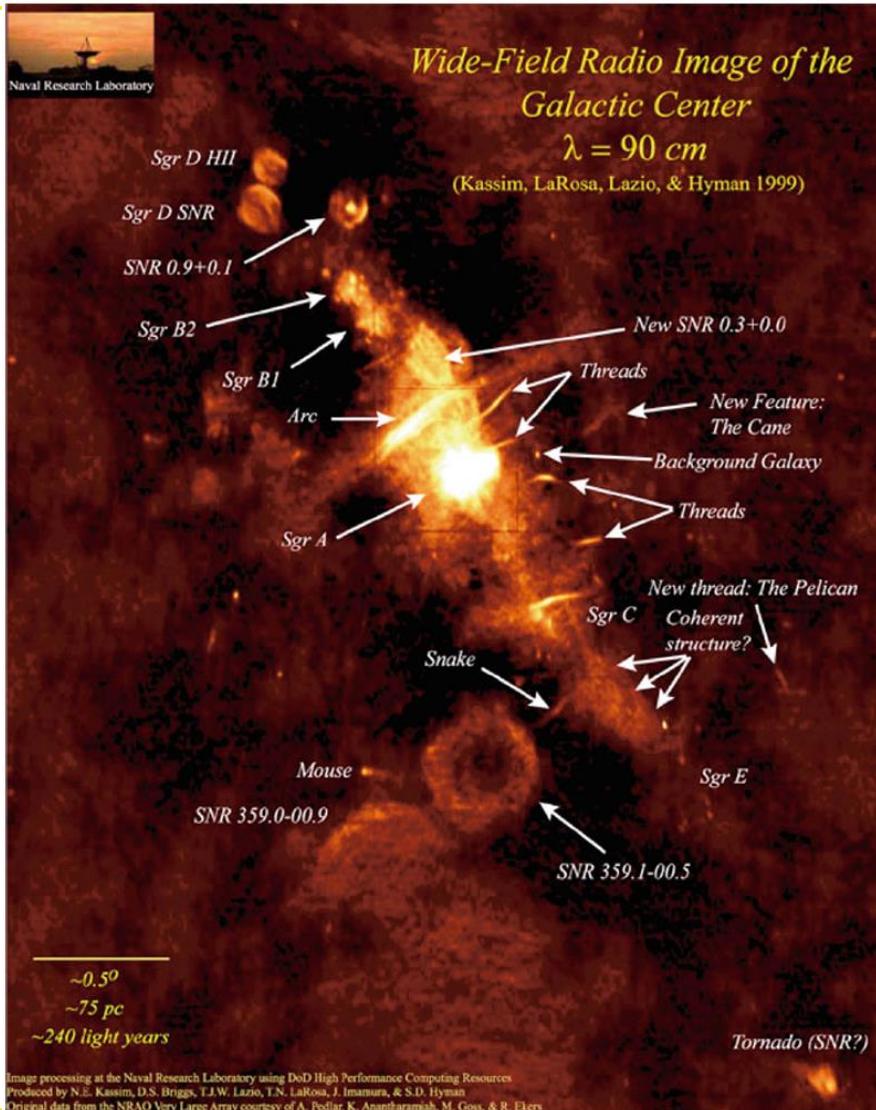
Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Bijenička 32, Zagreb

# Povijest crnih rupa



AN EGYPTIAN ASTRONOMER; OR. HIPPARCHUS AT ALEXANDRIA.

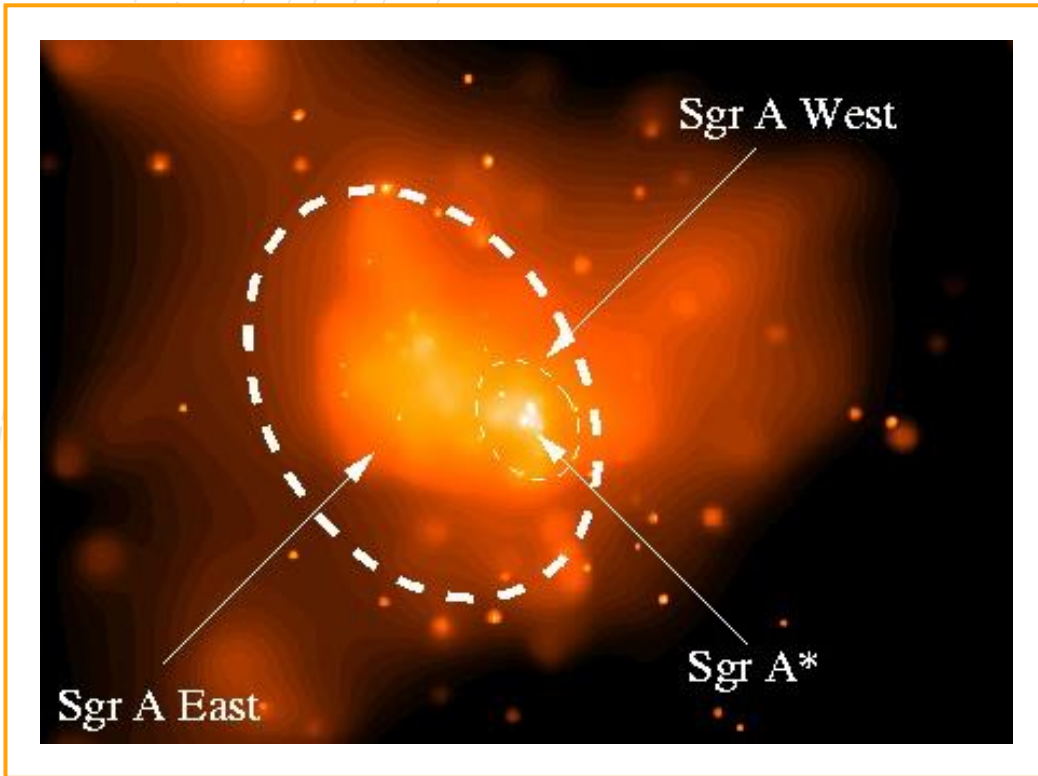
- „nevidljivi“ objekti
- promatramo učinak na svjetlost i druge objekte
- u središtu gotovo svake masivne galaksije nalazi se supermasivna crna rupa



# Strijelac A

- 1930. otkriven radio izvor
- 100 pc – 1 kpc: disk sastavljen od HI plina
- 8 pc: Sgr A

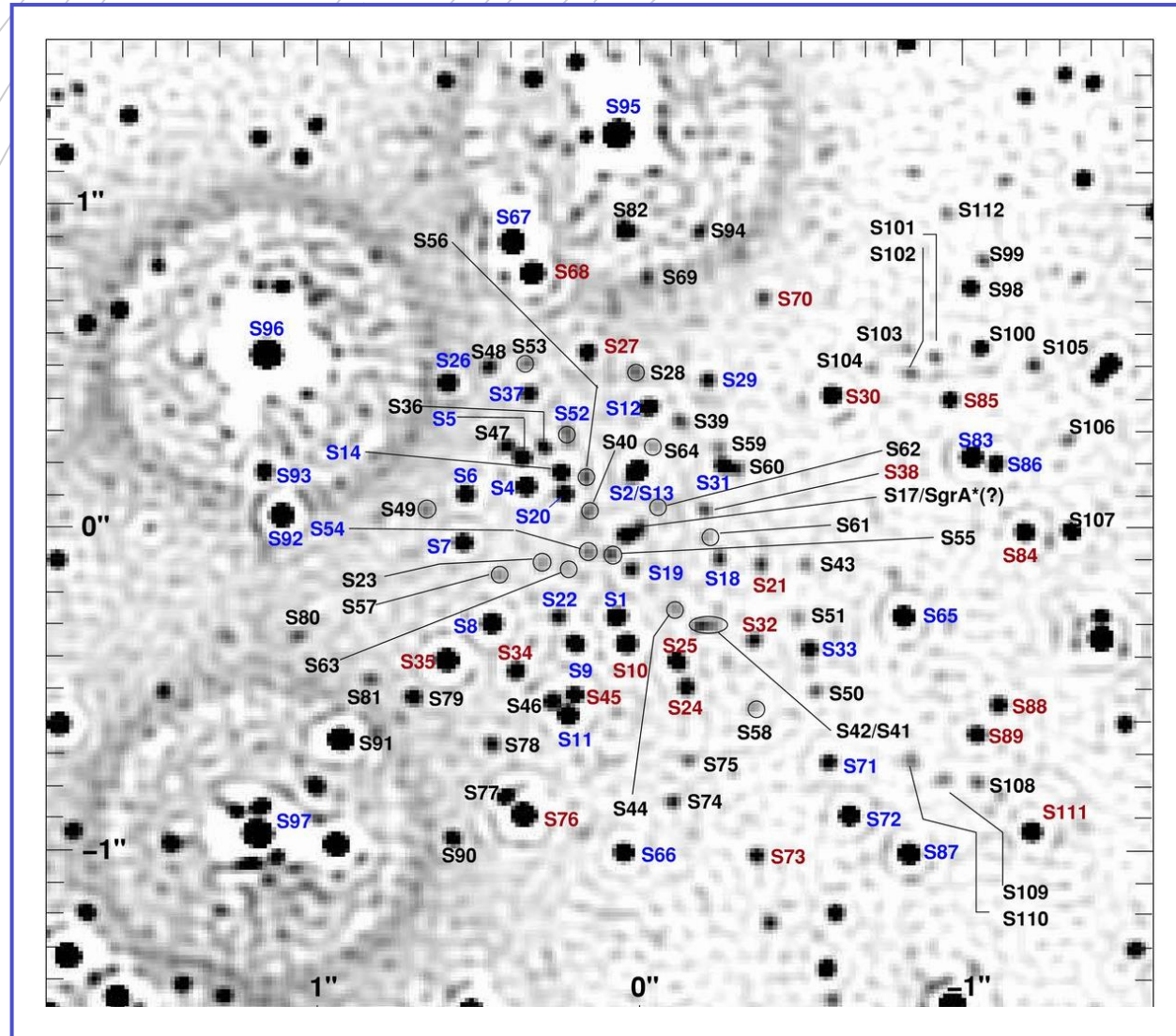
# Struktura Sgr A



- Sgr A East: netermalni izvor, ljuskasta struktura
- Sgr A West: H II plin, spiralni izgled
- Sgr A\*: radioizvor blizu Sgr A West, središte Mliječnoga puta

## S skup

- Većinom zvijezde B tipa
- Vlastite brzine veće od 1000 km/s
- Bitne za određivanje mase tijela u središtu Mliječnoga puta



# Podaci

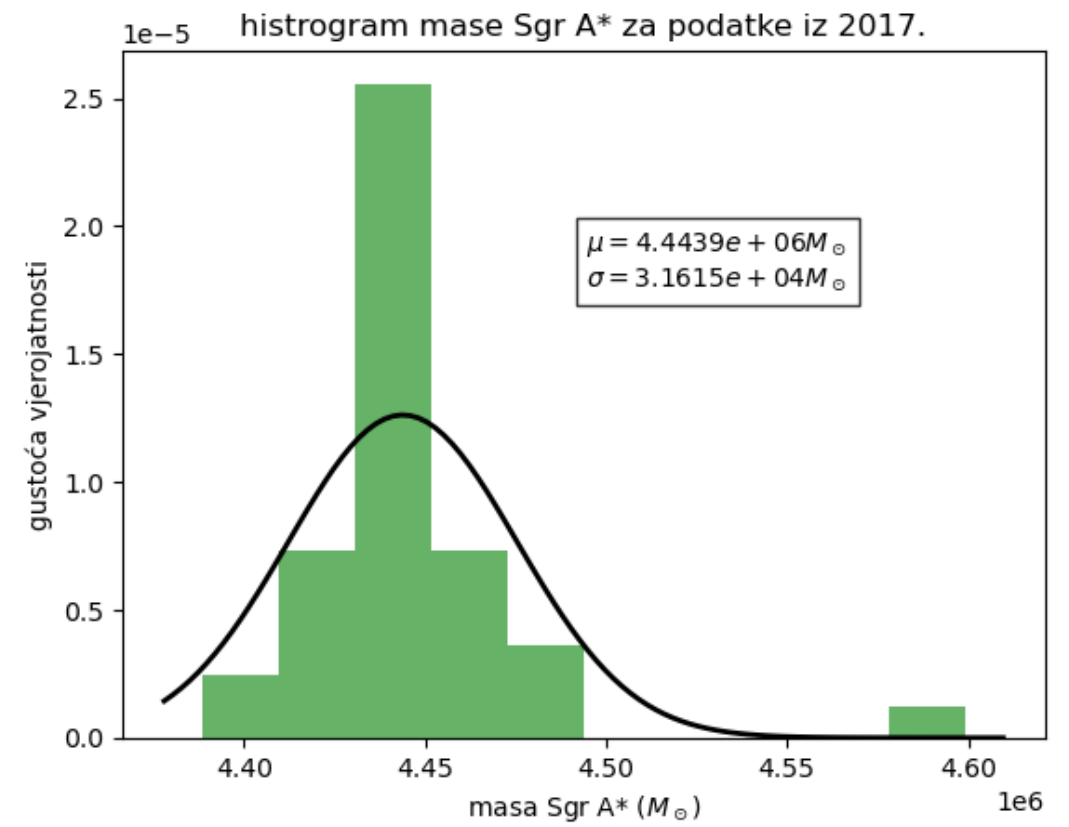
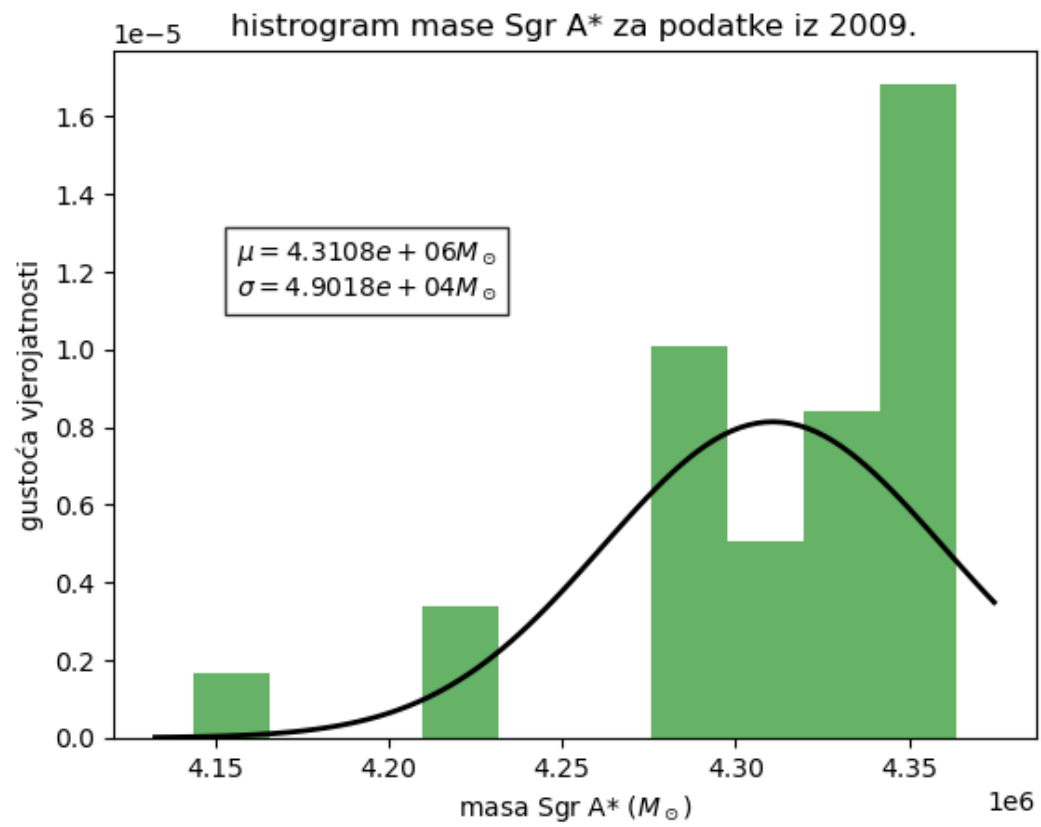
- Eckart, Genzel (1997.): mjerenja vlastitog gibanja 39 zvijezda S skupa
- Schödel (2003.): mjerenja vlastitog gibanja 35 zvijezda unutar  $1''.2$  od Sgr A\*
- Peißker (2020.): orbita zvijezde S62
- Karssen (2017.): bljeskovi X-zraka
- Gillessen (2009. I 2017.): orbite 28 zvijezda

## Keplerove putanje

- Pomoću orbita zvijezda računamo masu crne rupe
- Treći Keplerov zakon:

$$P^2 = \frac{4\pi^2}{G(M + m)} a^3 \approx \frac{4\pi^2}{GM} a^3$$





Keplerove putanje



## Disperzije brzina

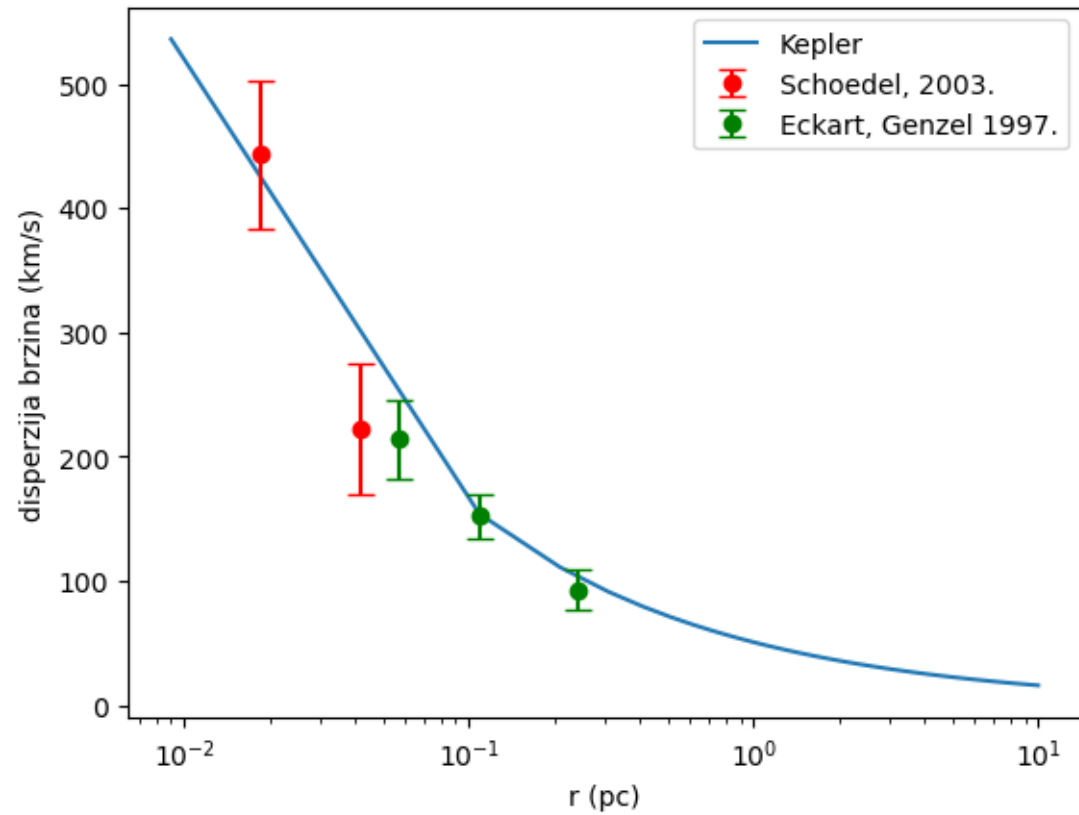
$\sigma \sim r^{-0.5}$

- Brzina kruženja zvijezde oko crne rupe:  $v(r) = \left(\frac{GM}{r}\right)^{1/2}$
- Disperzija brzina:  $\sigma_r = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (v_{r,i} - \langle v_r \rangle)^2\right]^{1/2}$
- Sferični slučaj:  $\sigma_r = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_{r,i}^2\right]^{1/2} = \sqrt{\langle v_r^2 \rangle}$
- Kvadrat brzine:  $\langle v^2 \rangle = \langle v_r^2 \rangle + \langle v_\theta^2 \rangle + \langle v_\phi^2 \rangle$
- Vjerojatnost gibanja u svakom smjeru u prosjeku jednaka:  $\langle v^2 \rangle = 3 \langle v_r^2 \rangle = 3\sigma_r^2$
- Ovisnost mase o disperziji brzina:  $M = \frac{3r\sigma_r^2}{G}$

## Disperzije brzina

$$\sigma = \sqrt{\frac{GM}{3r}}$$

disperzija brzina za zvijezde u okolini Sgr A\*



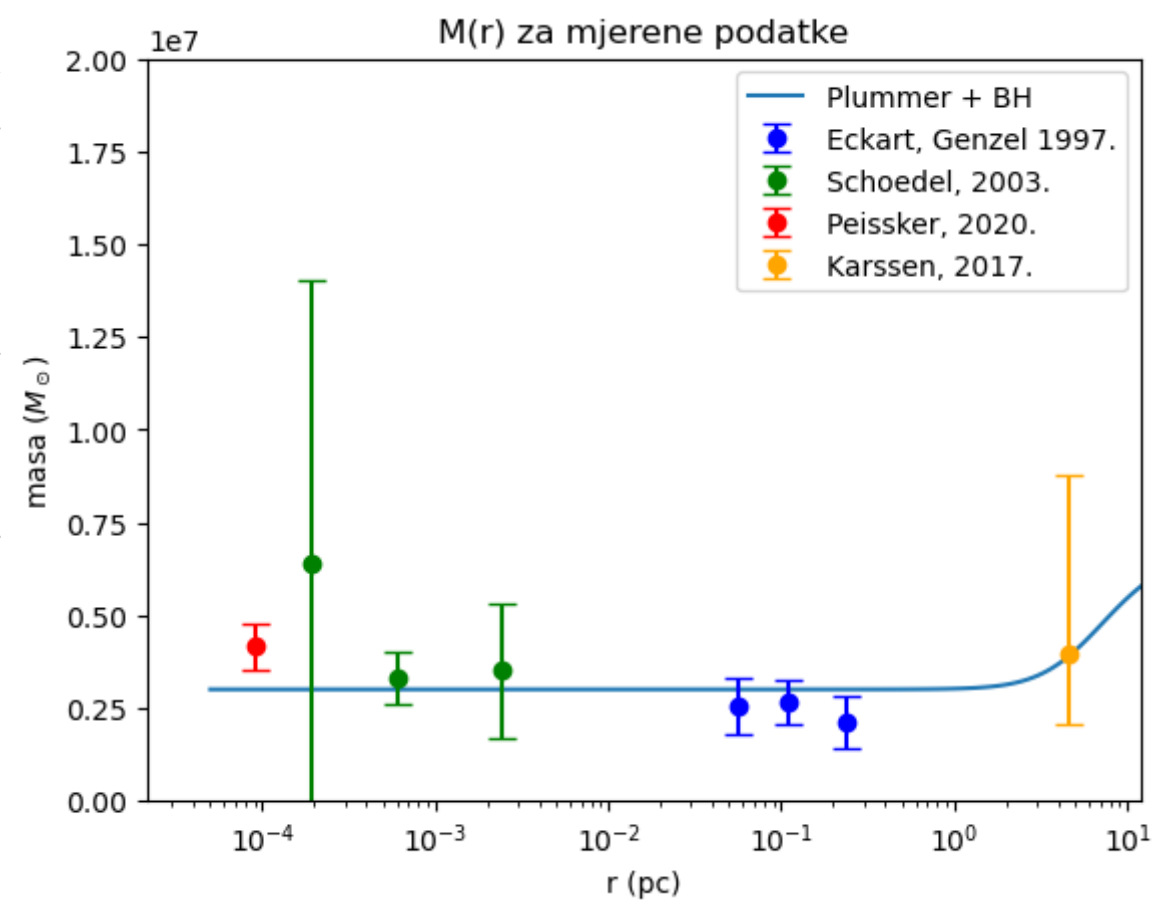
$$M = (1.8 \pm 0.4) 10^6 M_{\odot}$$

# Modeliranje – Plummerov model

- Teorijsko modeliranje sferno-simetričnih galaksija I kuglastih skupova
- 1911. H.C.Plummer
- Dobro opisuje gustoću skupa NGC 4372
- Modeliranje patuljastih galaksija

## Modeliranje – Plummerov model

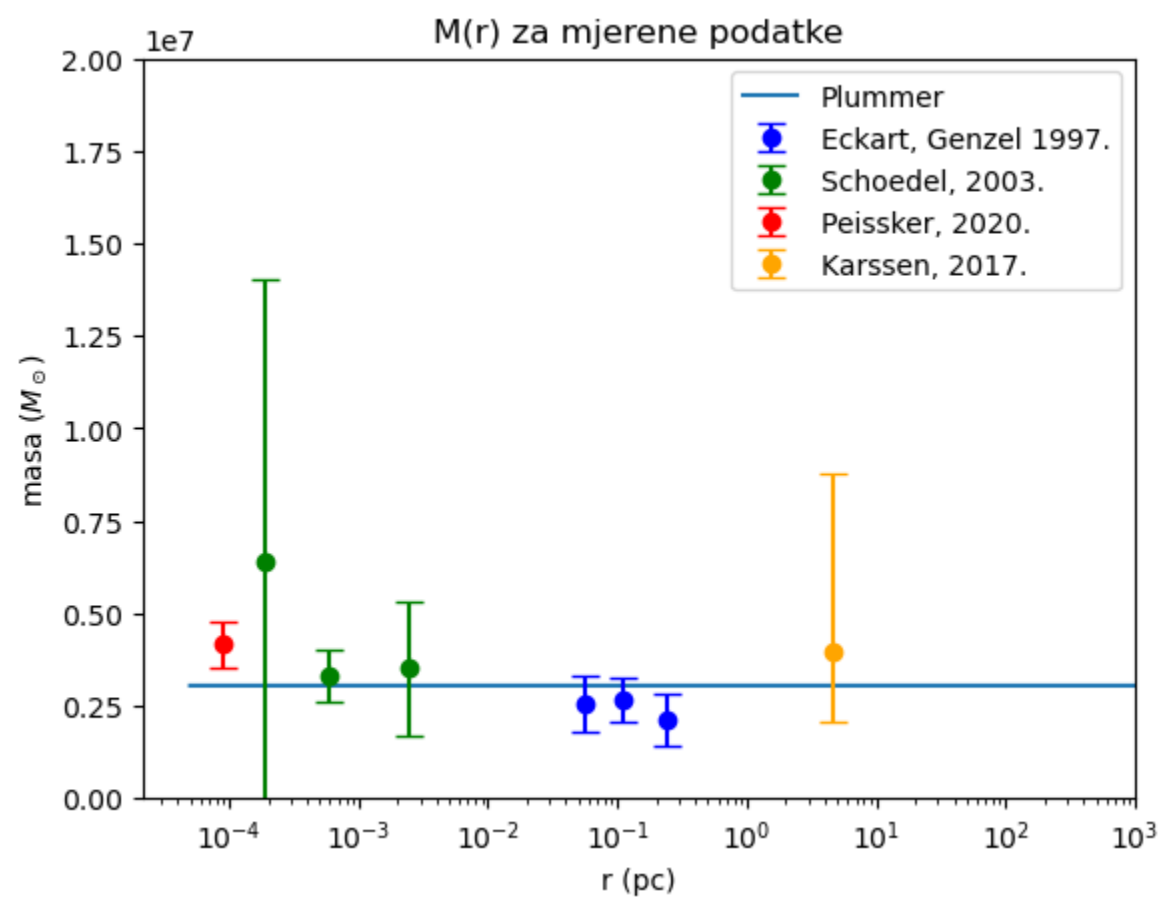
- Gravitacijski potencijal:  $\Phi(r) = \frac{-GM_{tot}}{\sqrt{r^2+a^2}}$
- Poissonova jednačba:  $\nabla^2\Phi = 4\pi G\rho$
- Gustoća:  $\rho(r) = \frac{3M_{tot}}{4\pi} \frac{a^2}{(r^2+a^2)^{5/2}}$
- Očuvanje mase:  $dM/dr = 4\pi r^2\rho$
- Plummerov model:  $M(r) = \frac{M_{tot}r^3}{(r^2+a^2)^{3/2}}$
- Plummerov model + jednična masa:  $M(r) = \frac{M_{tot}r^3}{(r^2+a^2)^{3/2}} + M_{BH}$



$$M_{tot} = (4 \pm 1) 10^6 M_{\odot},$$

$$a = (6 \pm 2),$$

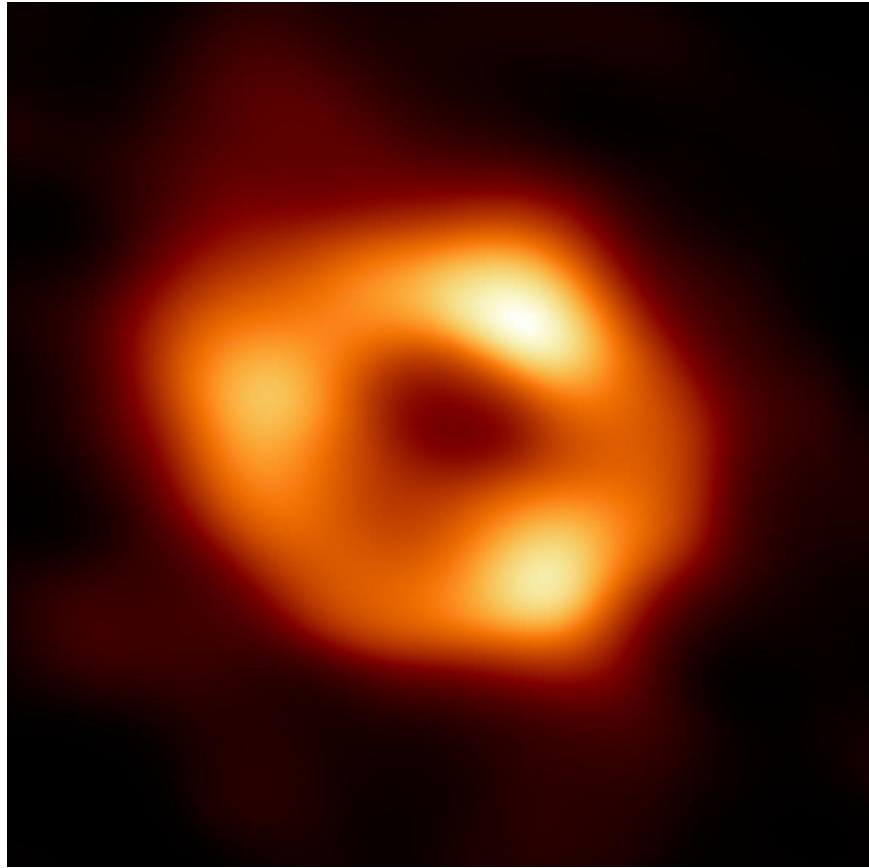
$$M_{BH} = (3 \pm 1) 10^6 M_{\odot}$$



$$M_{tot} = (3.0 \pm 0.9) 10^6 M_{\odot},$$

$$a = (0 \pm 2)$$

Modeliranje – Plummerov model



## Zaključak

- Crna rupa Sgr A\* u središtu Mliječnoga puta
- Modeliranje mase Plummerovim modelom
- Računanje mase korištenjem trećeg Keplerovog zakona
- Procjena disperzije brzina zvijezda S skupa