



FAKULTA MATEMATIKY,
FYZIKY A INFORMATIKY

Univerzita Komenského
v Bratislave



Mliečna cesta, naša rodná galaxia

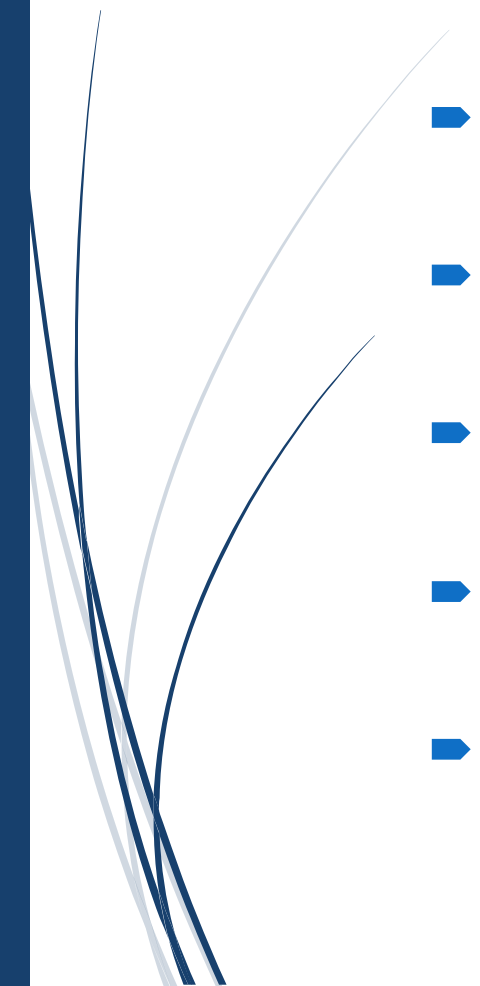
RNDr. Roman Nagy, PhD.

SPACE::TALK

28.04.2022



Prehľad

- ▶ Ako to všetko začalo
 - ▶ Galaxie – v rôznorodosti je krása
 - ▶ Mliečna cesta – naša rodná zem
 - ▶ Gaia misia – posun o svetelne roky
 - ▶ Štruktúra vzdialených Galaktických zákutí
- 



Ako to všetko začalo...



Galaxie - história

- ▶ Hmloviny? – až do 20teho storočia áno
- ▶ 1888 - Isaac Roberts – prvá fotografia M31 – stále sa ale považuje za hmlovinu
- ▶ 1917 - Heber Curtis – pozoroval novy v M31 – presadzoval myšlienku „ostrovného vesmíru“

Hmlovina v Andromede



Roberts 1888



Galaxie - história

- 1920 diskusia sa už zahusťuje (The Great Debate)
- Curtis si všimol výrazný Dopplerov posun na M31
- 1925 - Hubble – pozoroval Cepheidy v M31 –
Hmlovina v Andromede je mimogalaktické
zoskupenie hviezd



Hmota, hmota, samá hmota

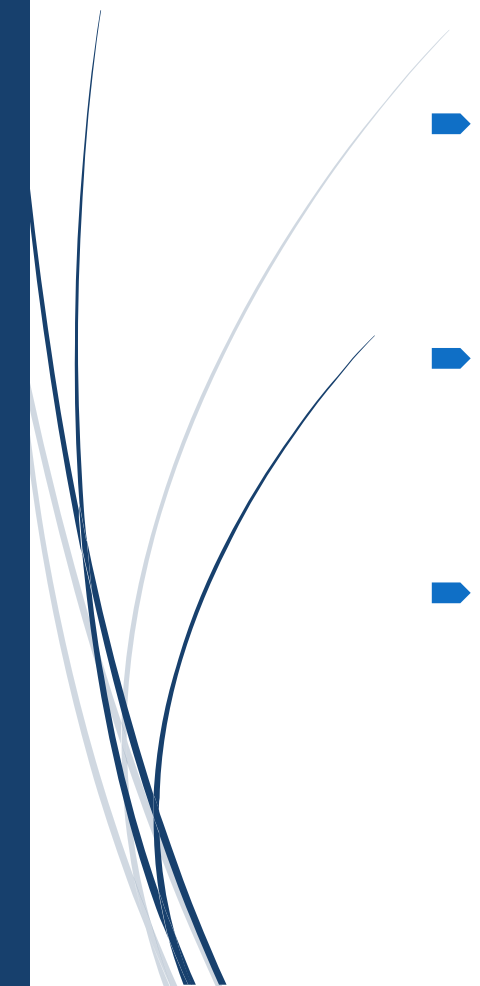
- ▶ Fritz Zwicky – 1933
- ▶ Pozoroval kopu galaxií v súhvezdí Vlasy Bereniky (Coma cluster)
- ▶ Počítal rýchlosti galaxií a využil virálov teorém

$$2 T = U \text{ v ustálenom stave}$$





Zwicky - 1933

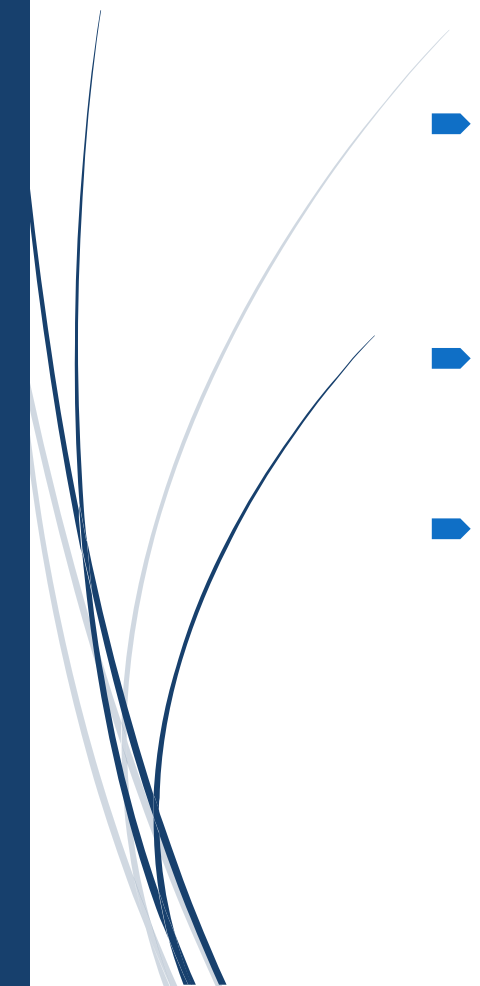
- ▶ Odhadol celkovú hmotnosť na základe svietivosti galaxií
 - ▶ Z pohybov a virialovho teorému získal druhý odhad hmotnosti
 - ▶ Rozdiel bol obrovský – v kope galaxií sa nachádza 400x viac hmoty ako vieme pozorovať
- 



Rotačné krivky



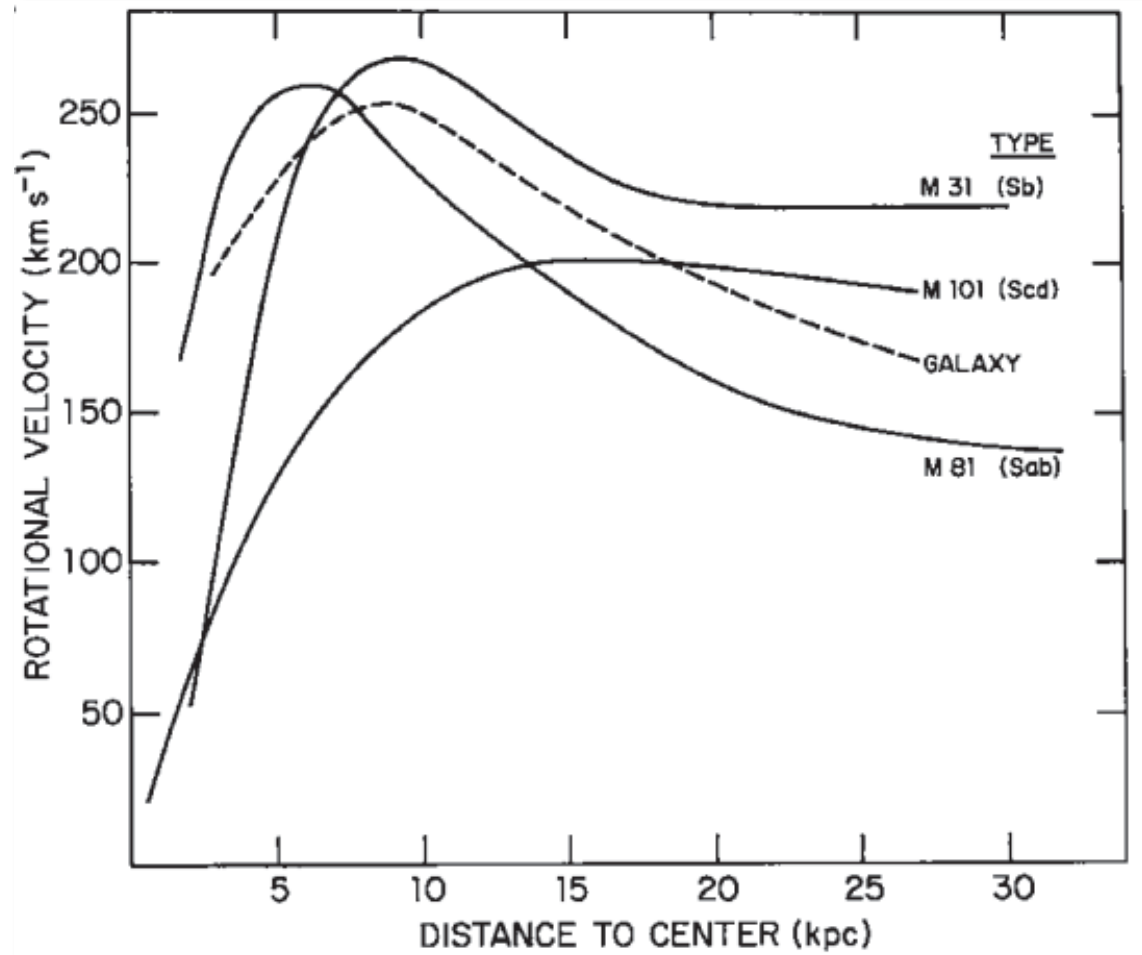
70te roky - nastal zlom

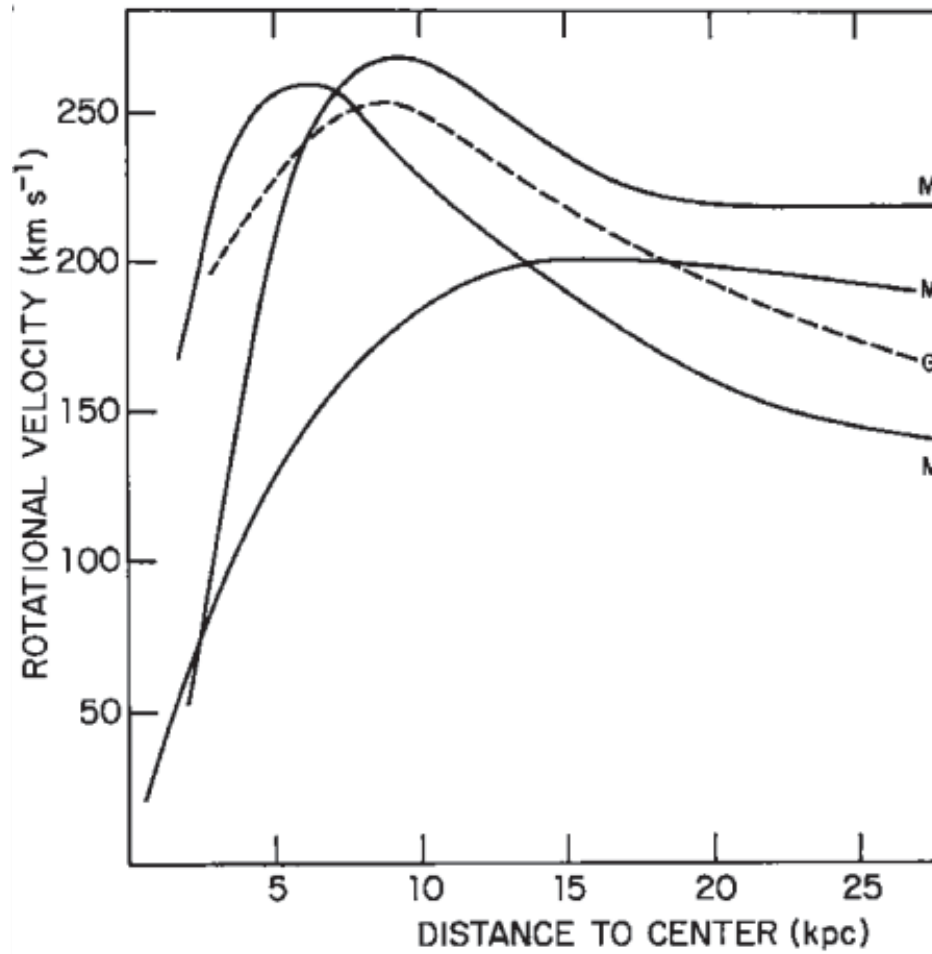
- ▶ Začína postupná konvergencia ku konceptu tmavej hmoty
 - ▶ Nový druh pozorovaní
 - ▶ Vera Rubin pozoruje rotačné krivky galaxií (funkčná závislosť obežnej rýchlosti od radiálnej vzdialenosti)
- 

Vera Rubin

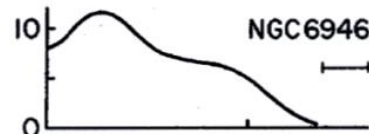
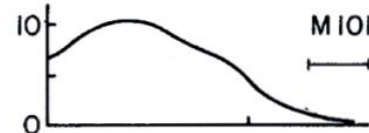
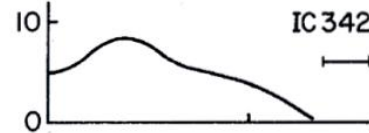
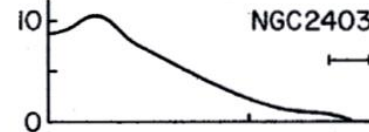
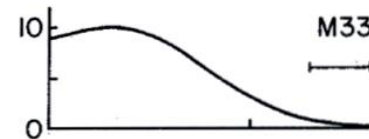


Kitt Peak observatórium v Arizone, USA,
ďalekohľad s priemerom 36 palcov

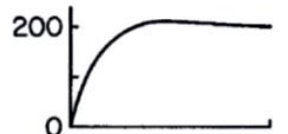
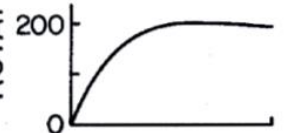
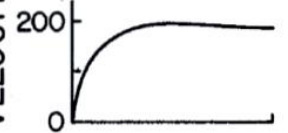
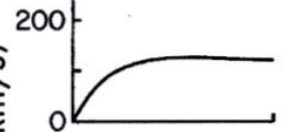
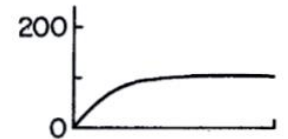




HI SURFACE DENSITY ($10^{20} \text{ ATOMS/CM}^2$)

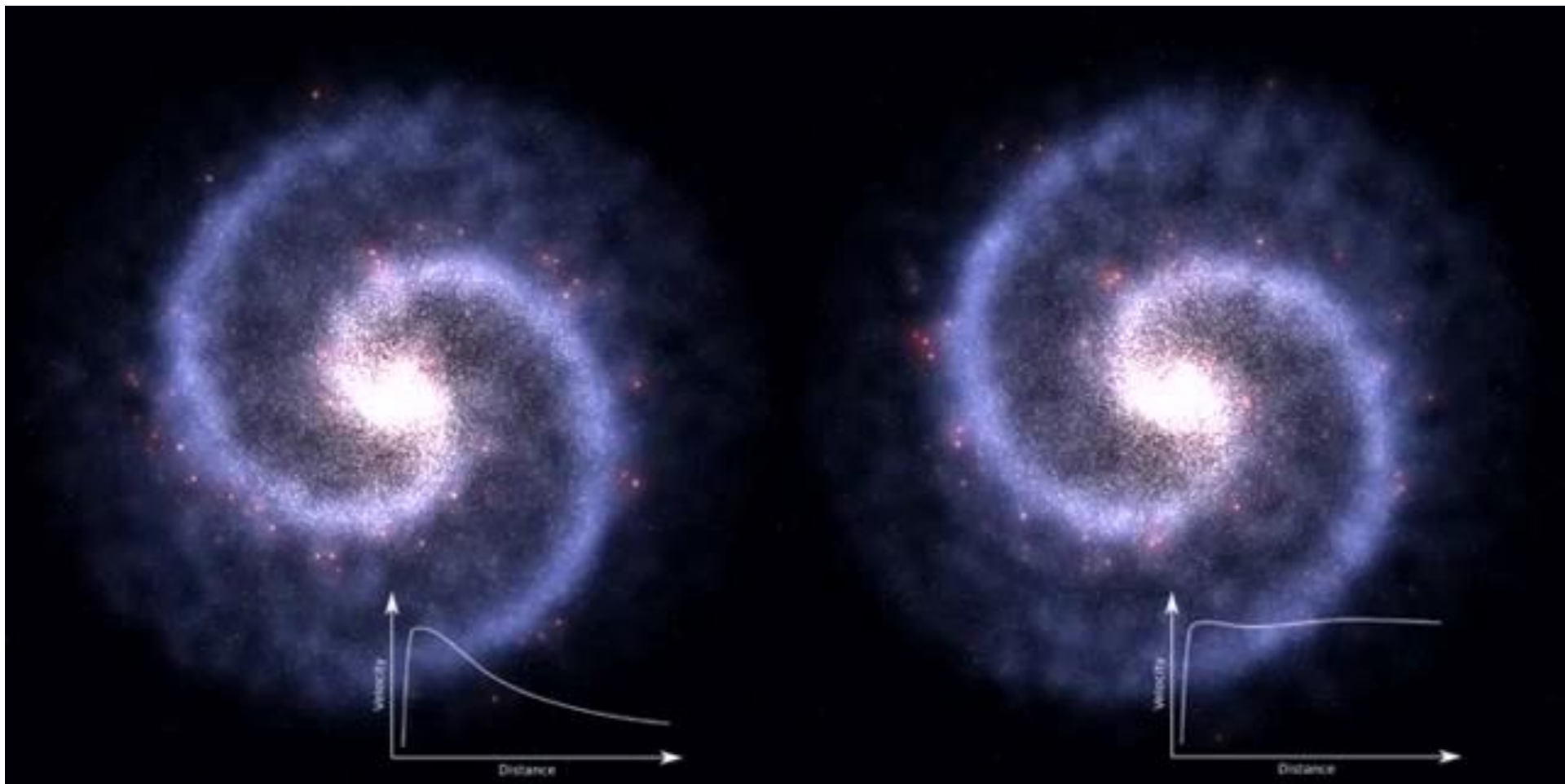


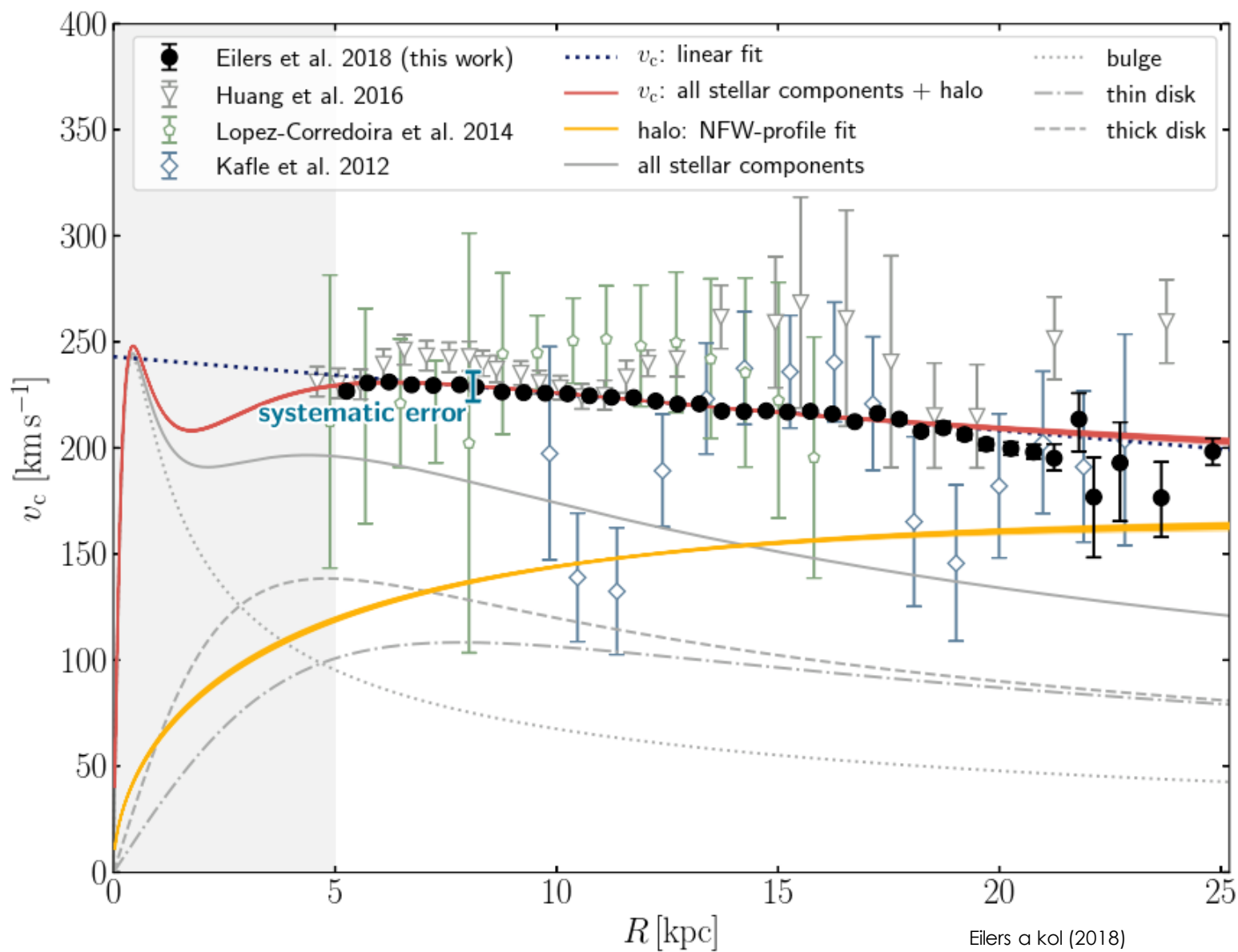
RADIUS



RADIUS

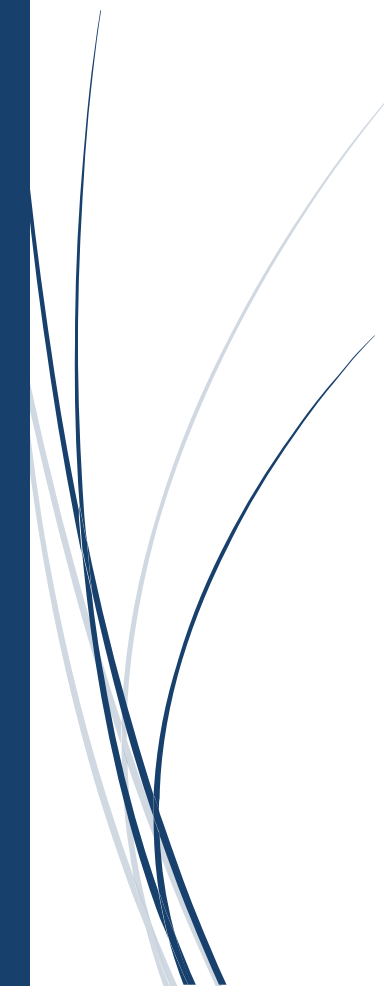
Rotační křivka





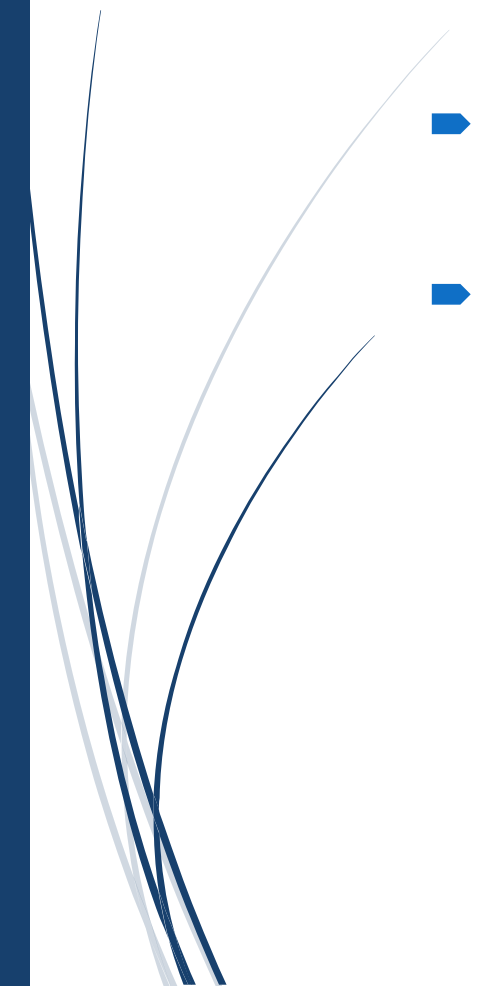


Dve pozorovania, jedno vysvetlenie

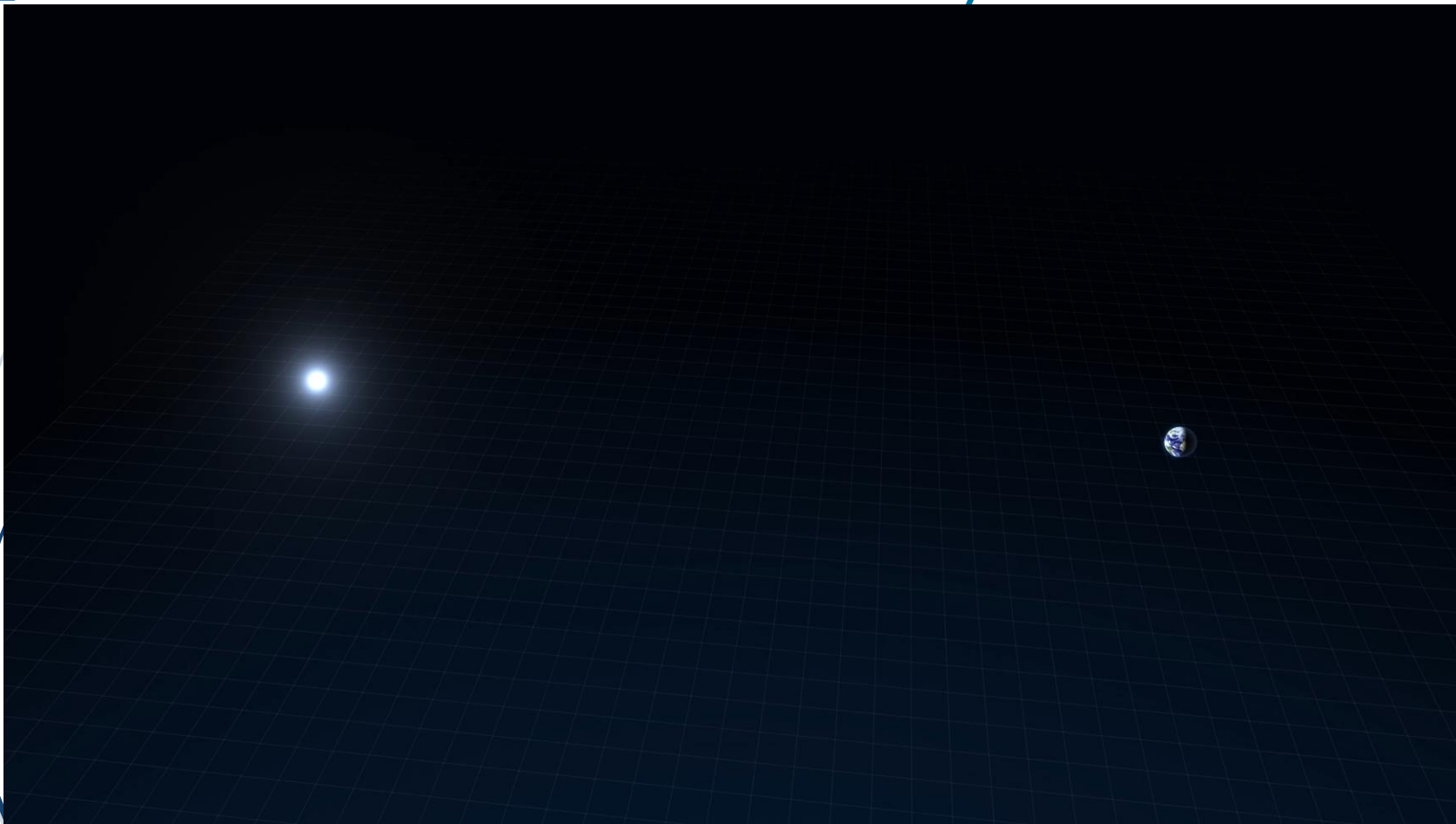
- ➡ Disperzia rýchlostí – viriálov teorém
 - ➡ Rotačné krivky galaxii
 - ➡ Postupne sa tmavá hmota dostáva do fyzikálneho mainstreamu
- 

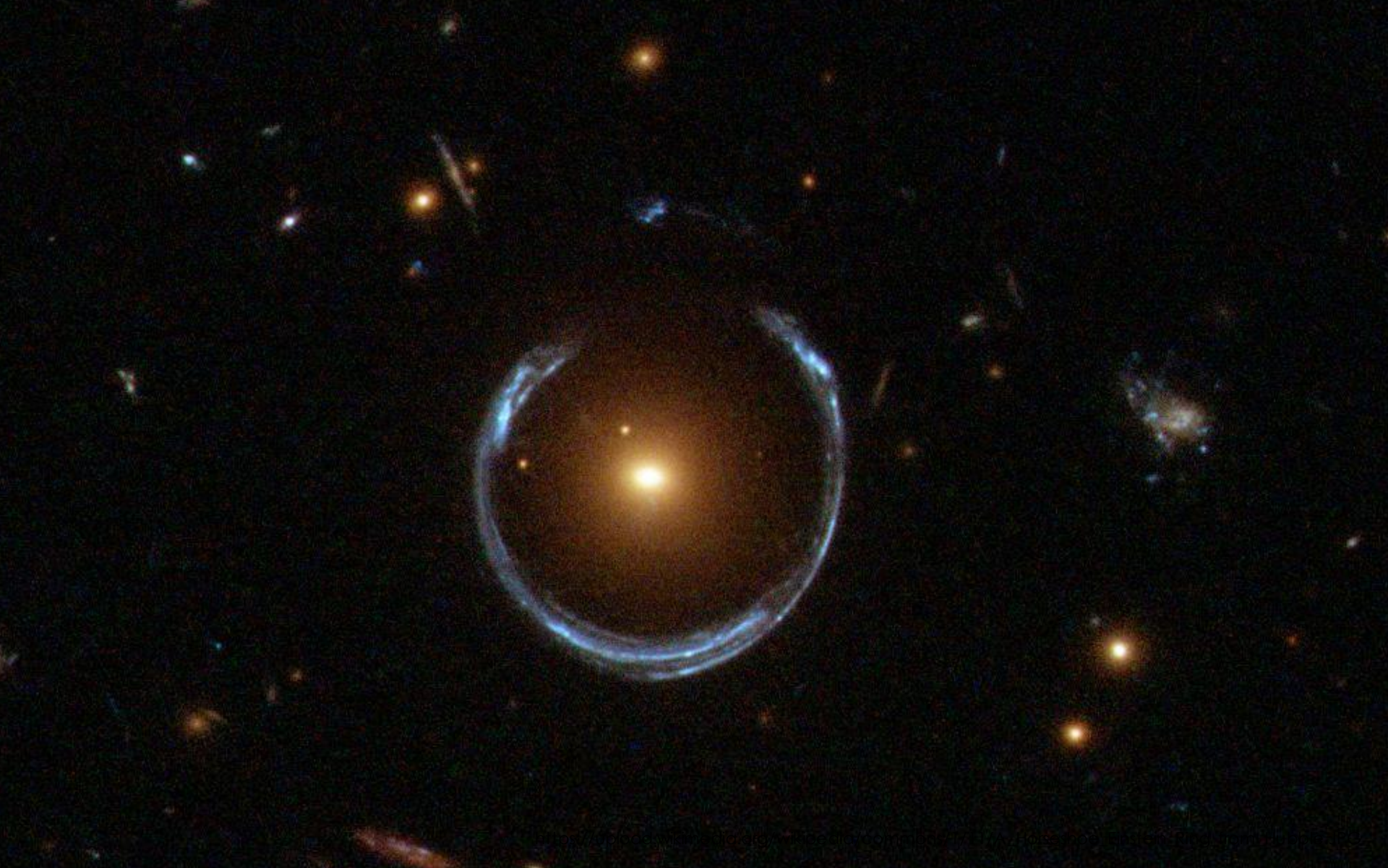


Pozorovania v jej prospech

- ▶ Rotačné krivky, galaktické kopy
 - ▶ Ďalšie indície:
 - ▶ Gravitačné šošovky
 - ▶ Kozmické mikrovlnné pozadie
- 

Gravitačné šošovky



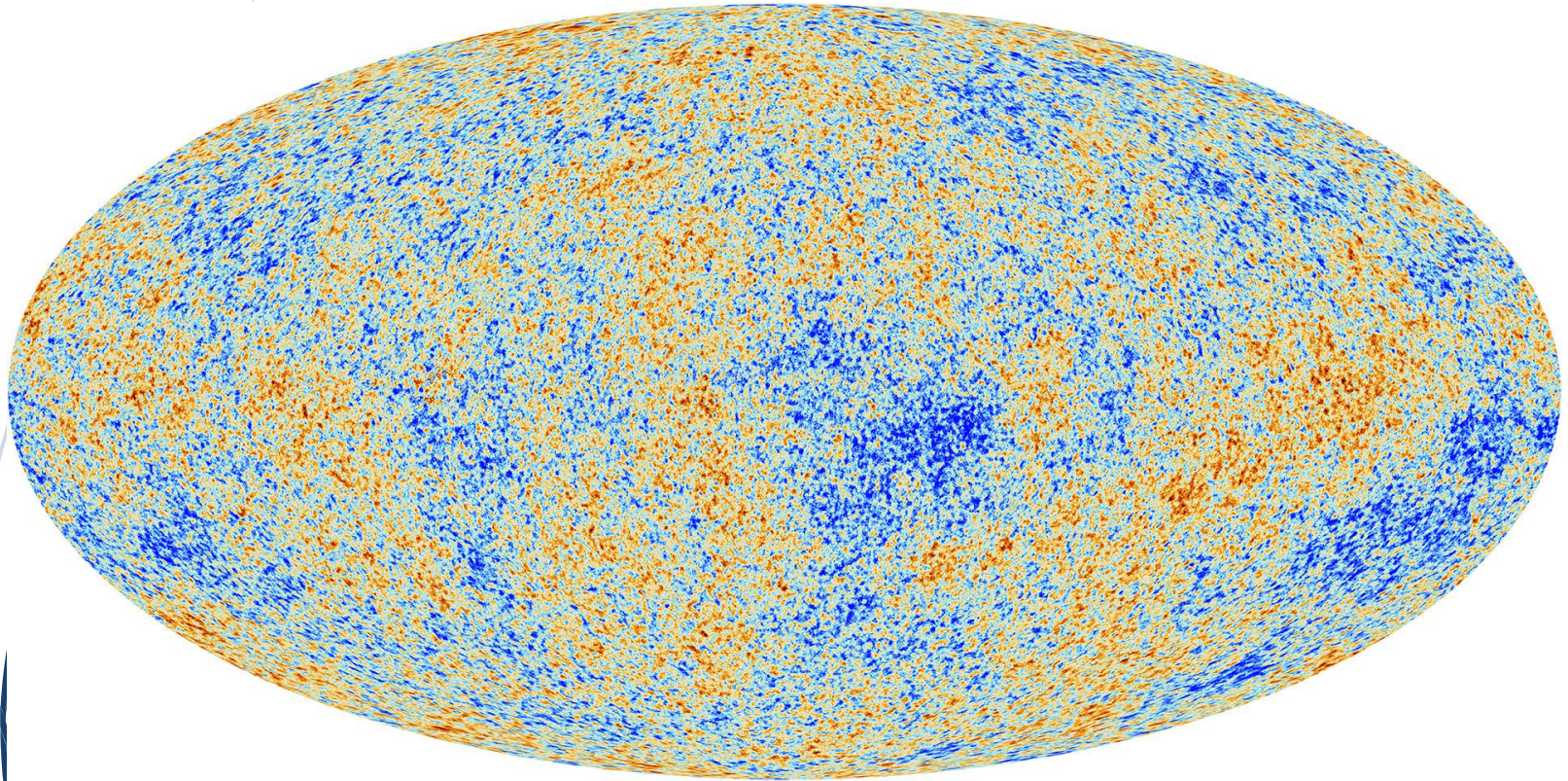




Kozmické mikrovlnné pozadie

- Gravitačné pôsobenie tmavej hmoty ovplyvnilo rozloženie hmoty v počiatočných fázach vývoja vesmíru
- Anizotropie v kozmickom mikrovlnnom pozadí (okrem iného) zodpovedajú vplyvu tmavej hmoty

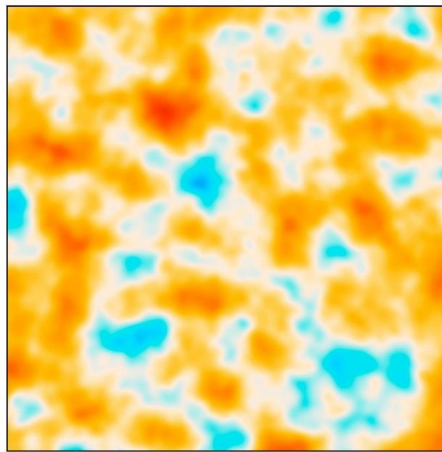
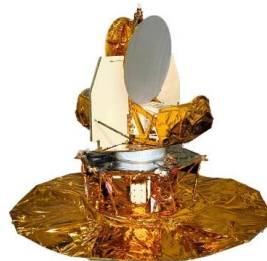
Planck 2013



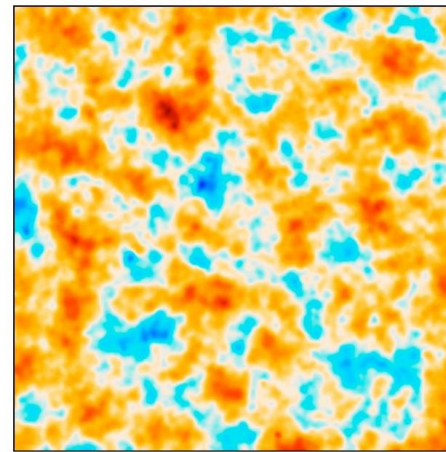
Porovnanie



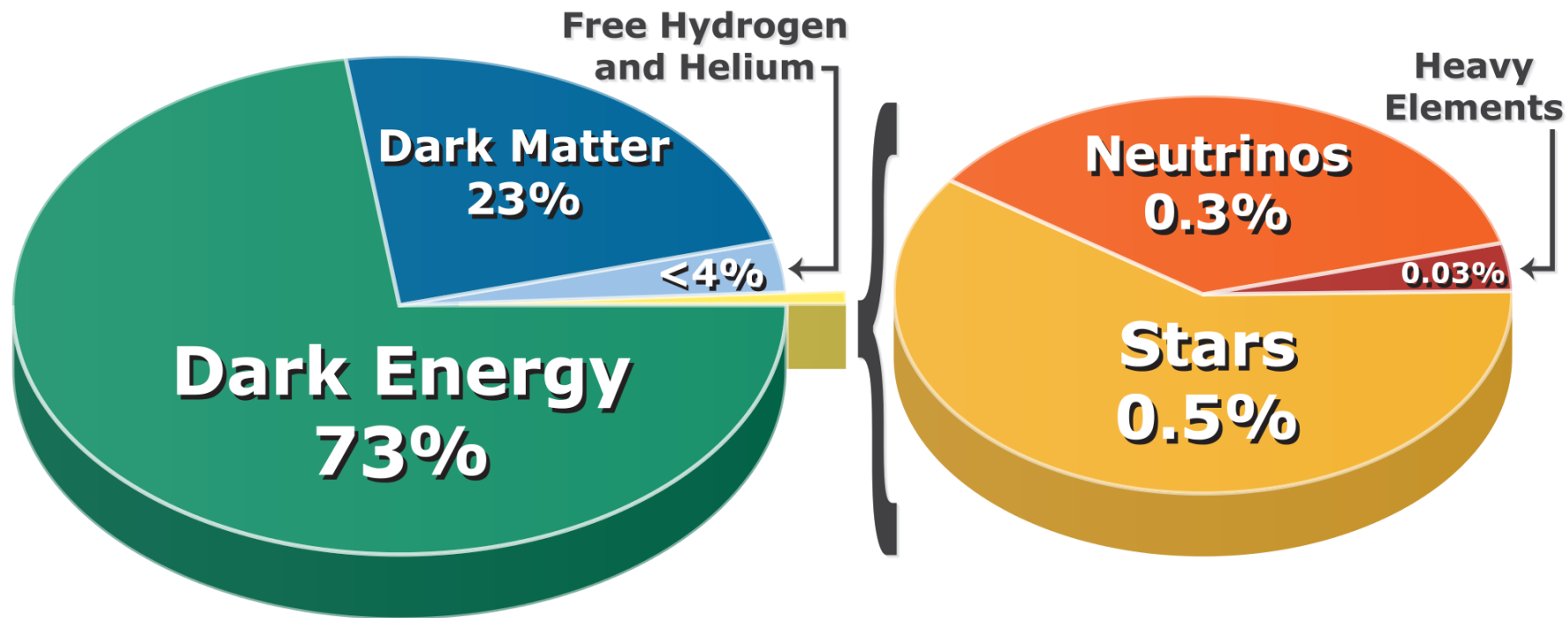
COBE



WMAP



Planck





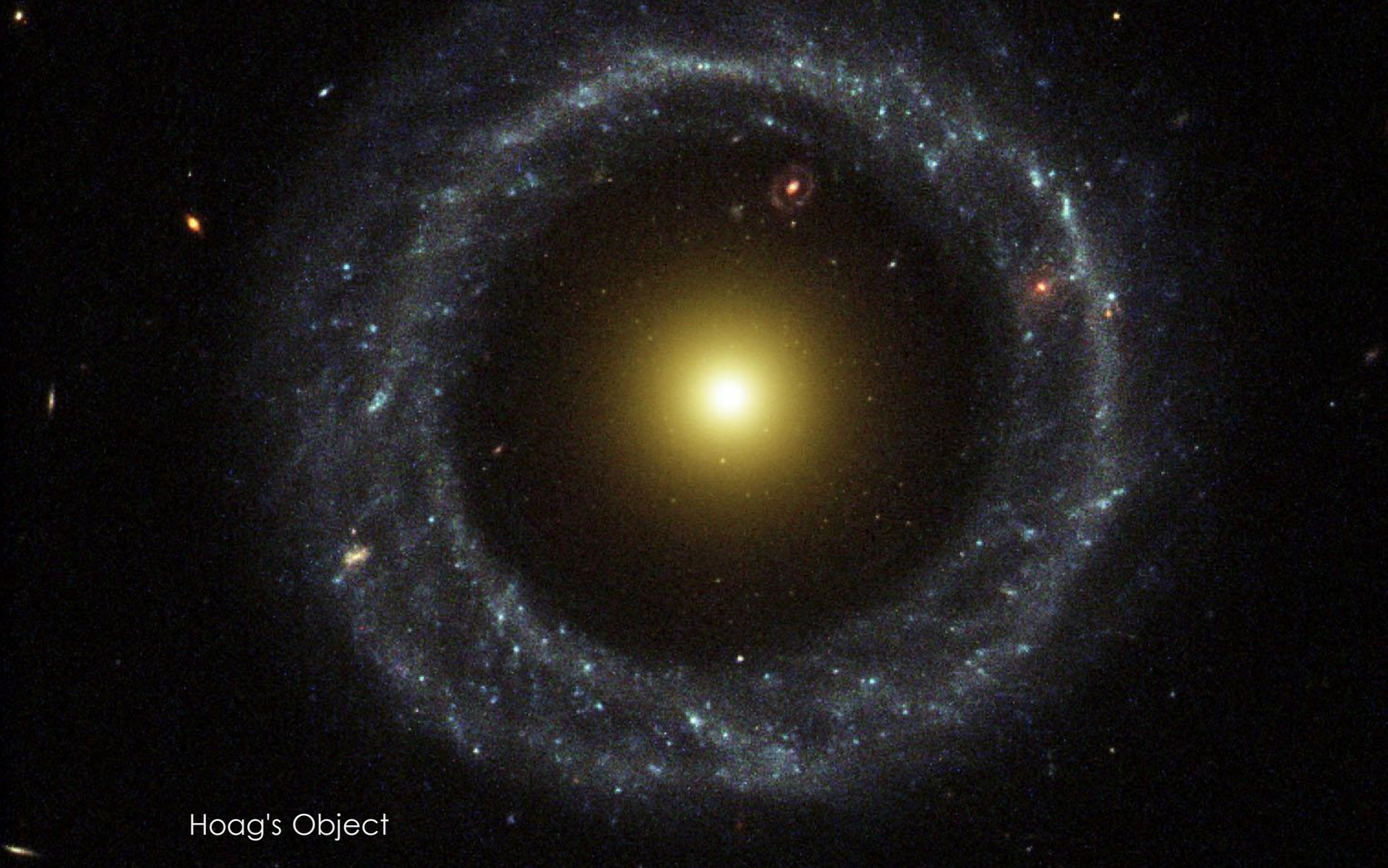
Galaxie – v rôznorodosti je
krása

Nie je galaxia ako galaxia

- Rozmer od 100iek svetelných rokov až po milióny svetelných rokov
- Hmotnosti do $10^{14} M_{\odot}$
- Svietivosť od 100 mil. $L_{\odot}$ do $10^{12} L_{\odot}$



M51

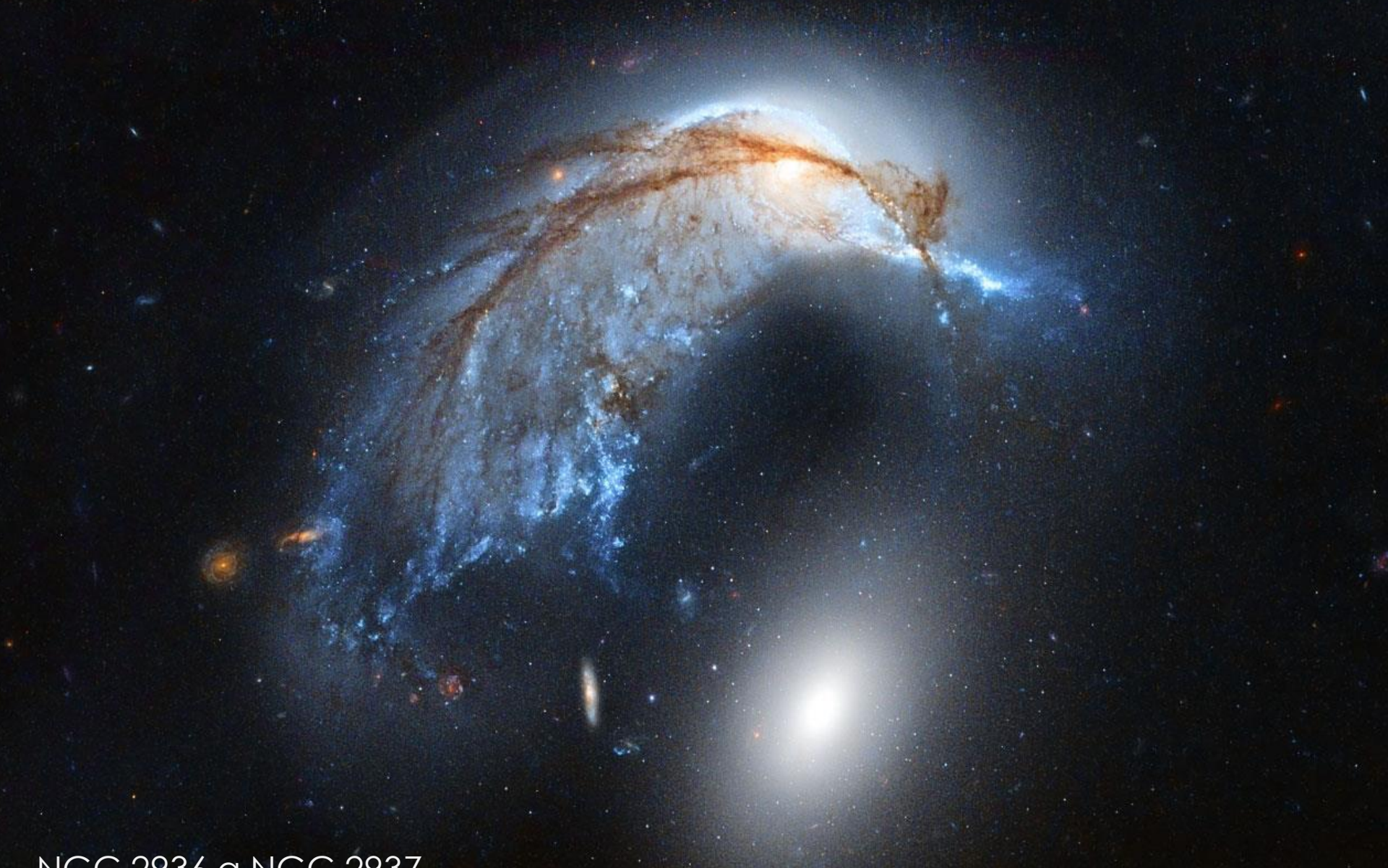


Hoag's Object





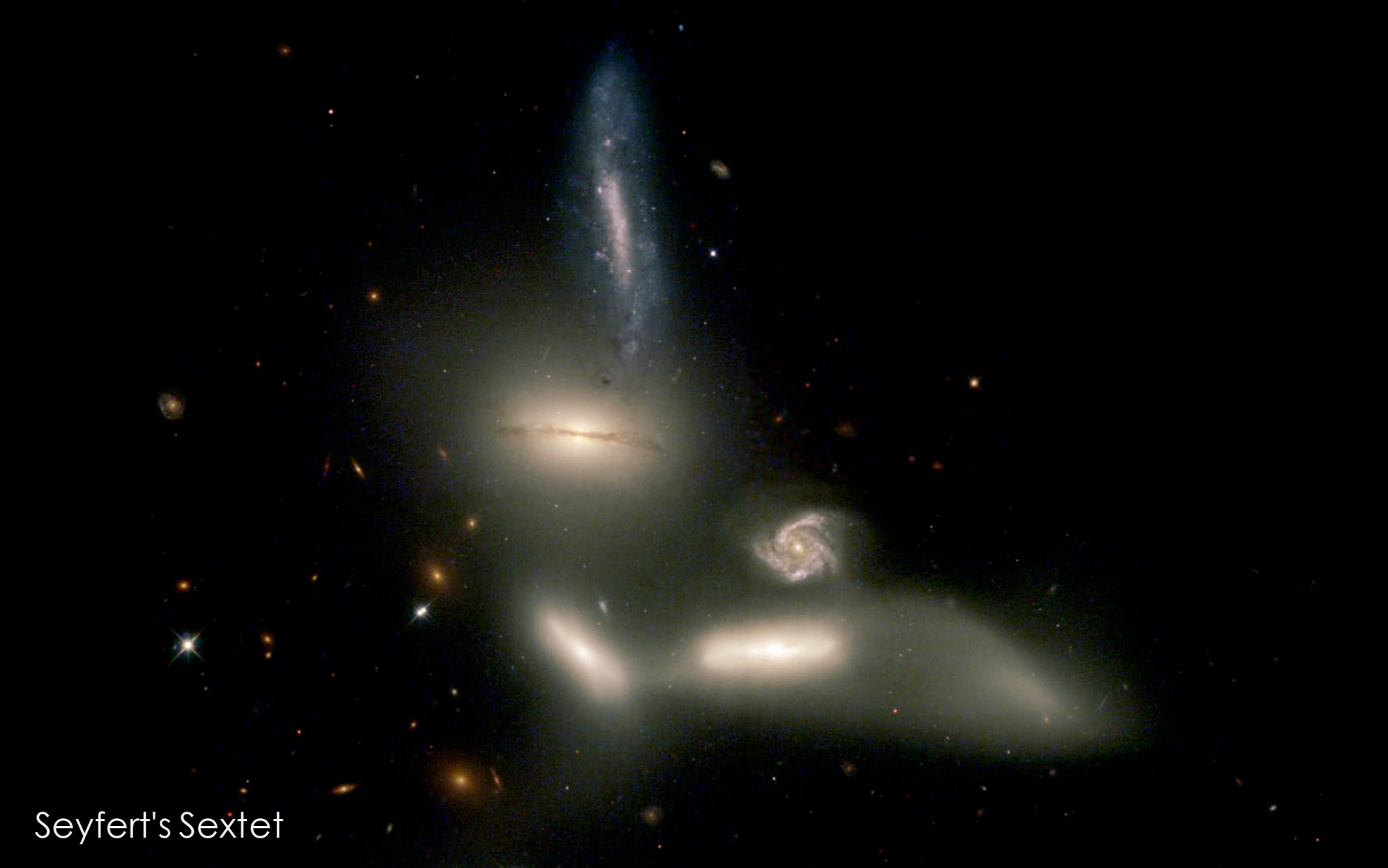
M104



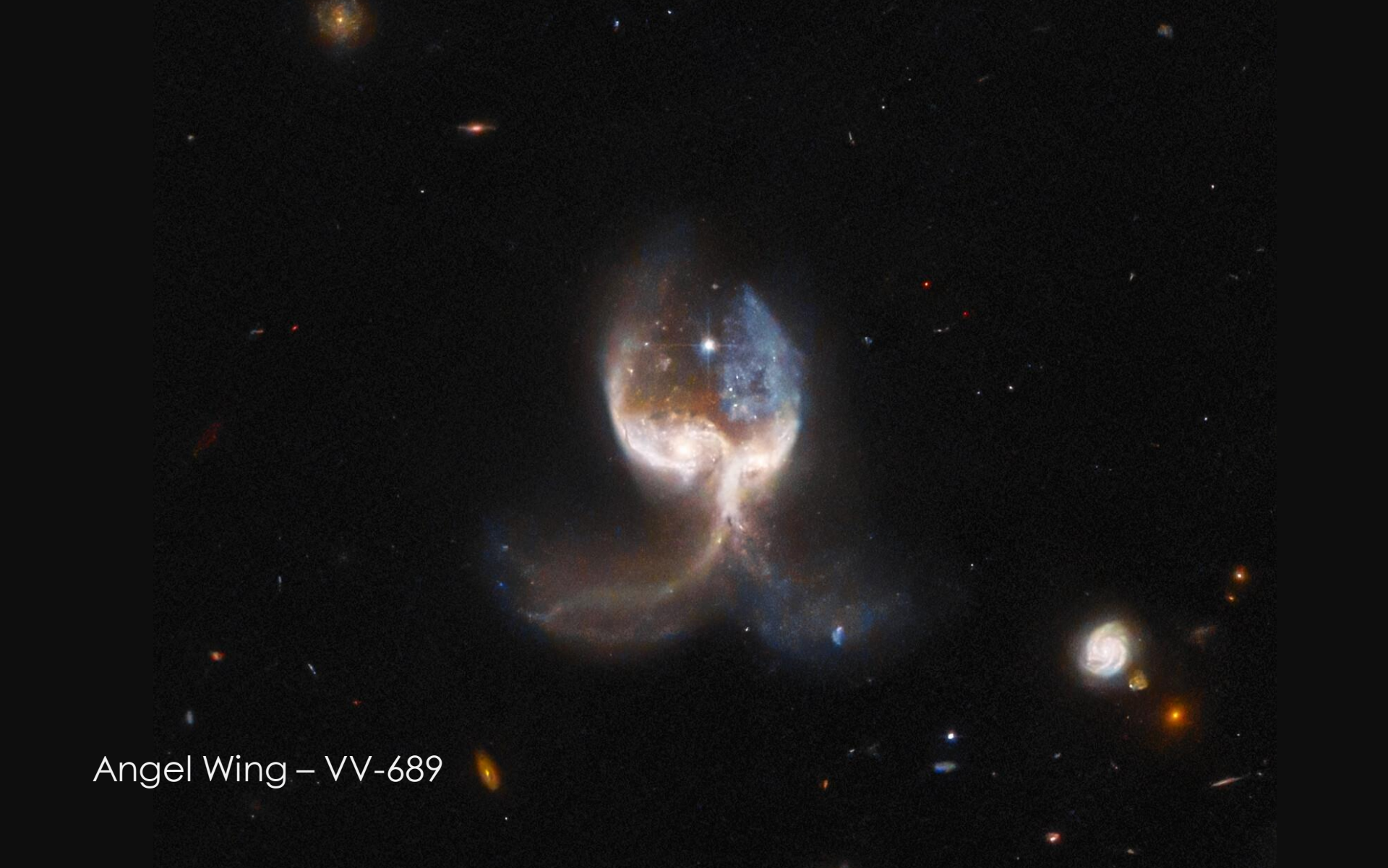
NCC 2834 & NCC 2837



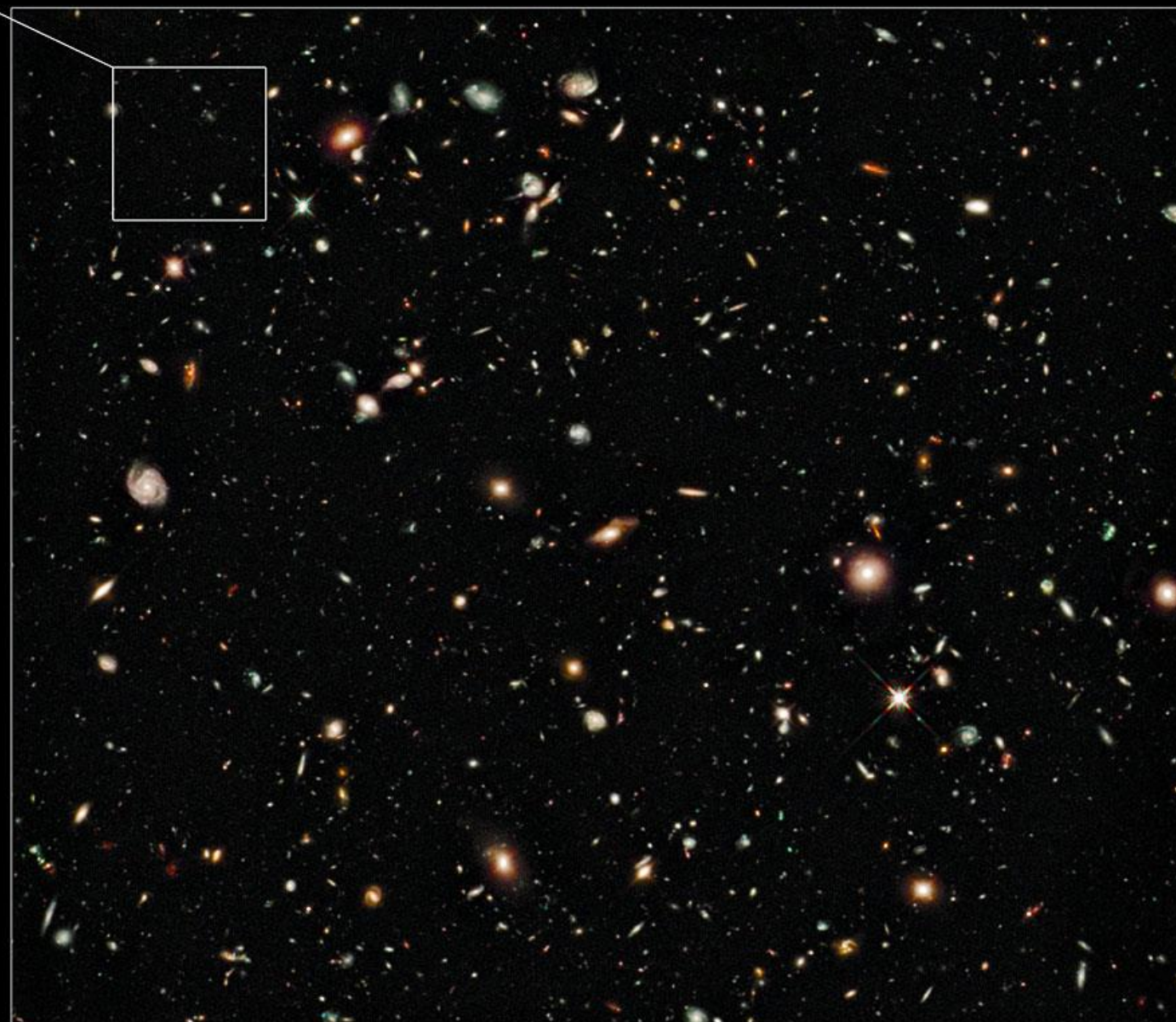
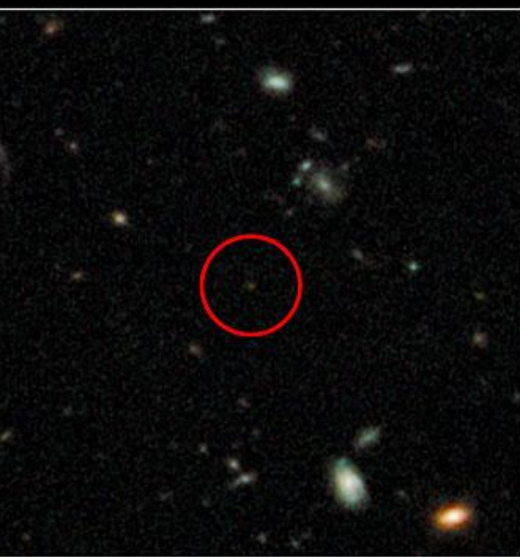
NGC 4038 a NGC 4039



Seyfert's Sextet

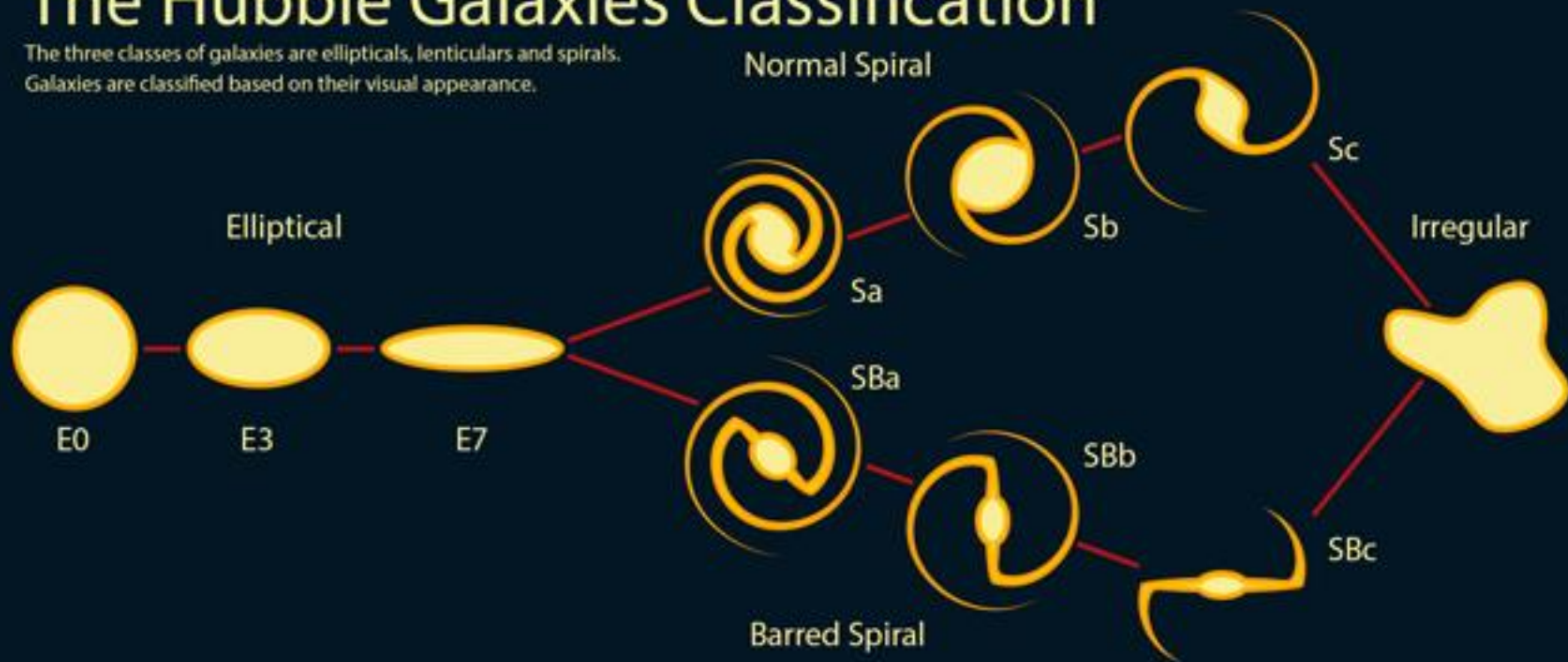


Angel Wing – VV-689



The Hubble Galaxies Classification

The three classes of galaxies are ellipticals, lenticulars and spirals.
Galaxies are classified based on their visual appearance.

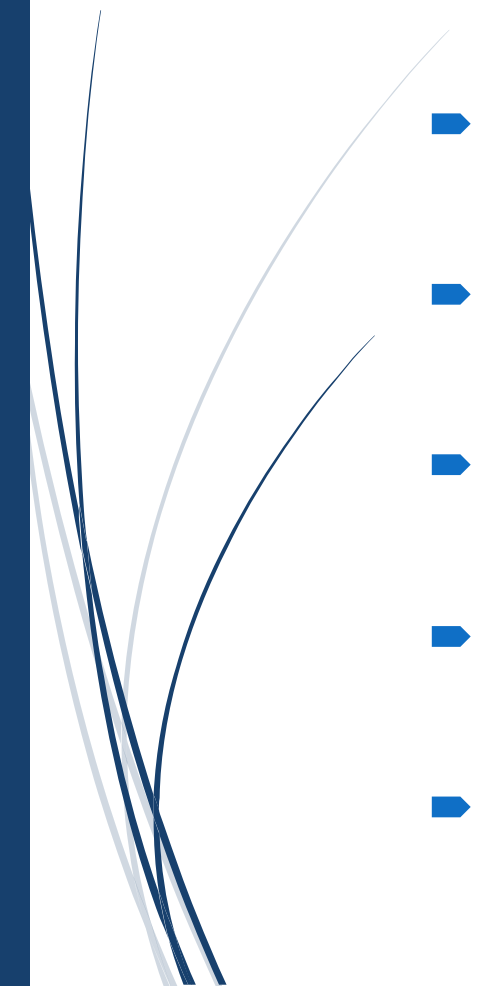


Mliečna cesta – naša rodná zem

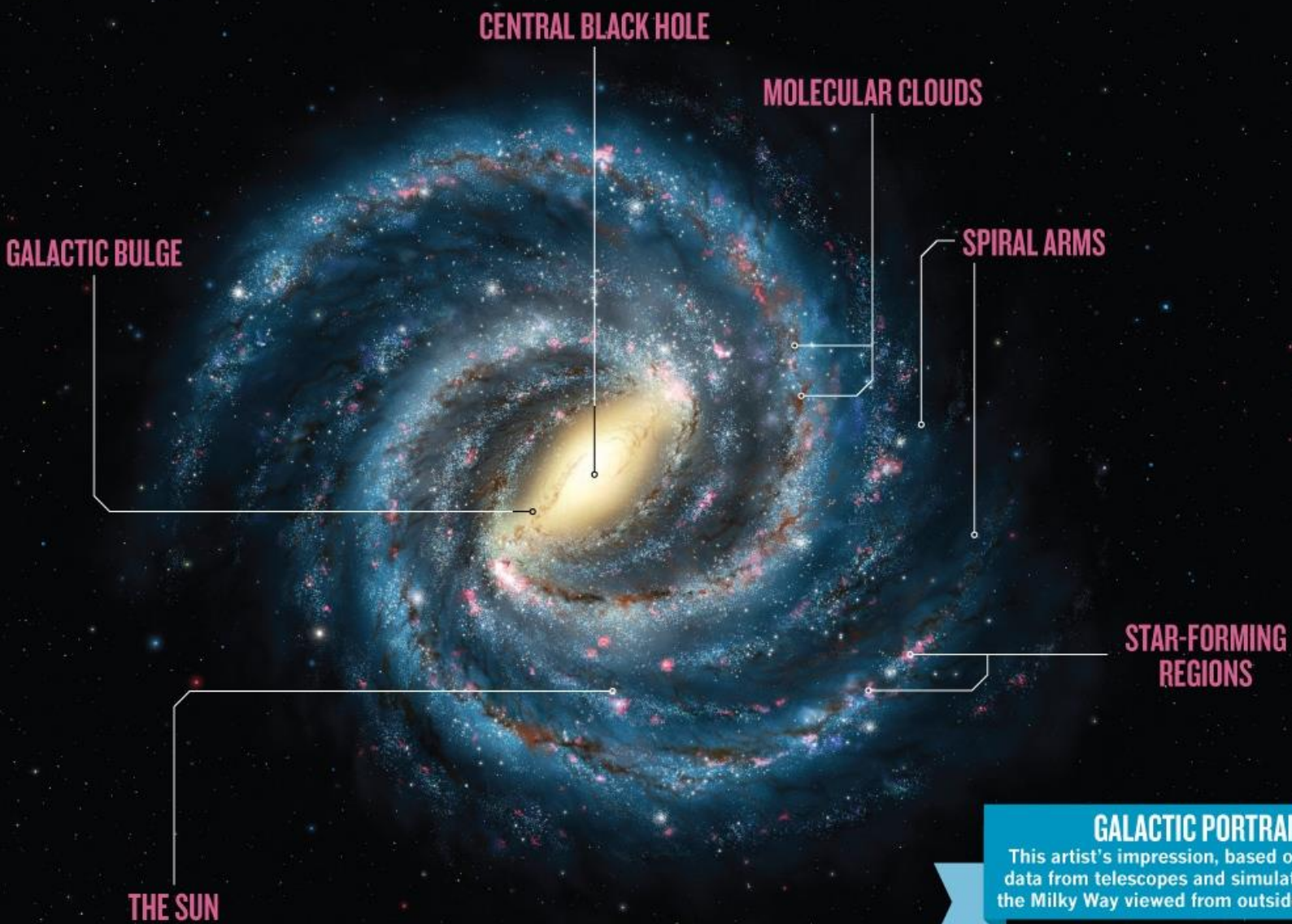




Mliečna cesta



- Špirálová galaxia s priečkou v centrálnej oblasti (SBc)
- Polomer disku 50 000 svetelných rokov
- Hrúbka disku je približne 1 000 svetelných rokov
- Okolo 400 miliárd hviezd
- Hmotnosť 1 bilión hmotností Slnka

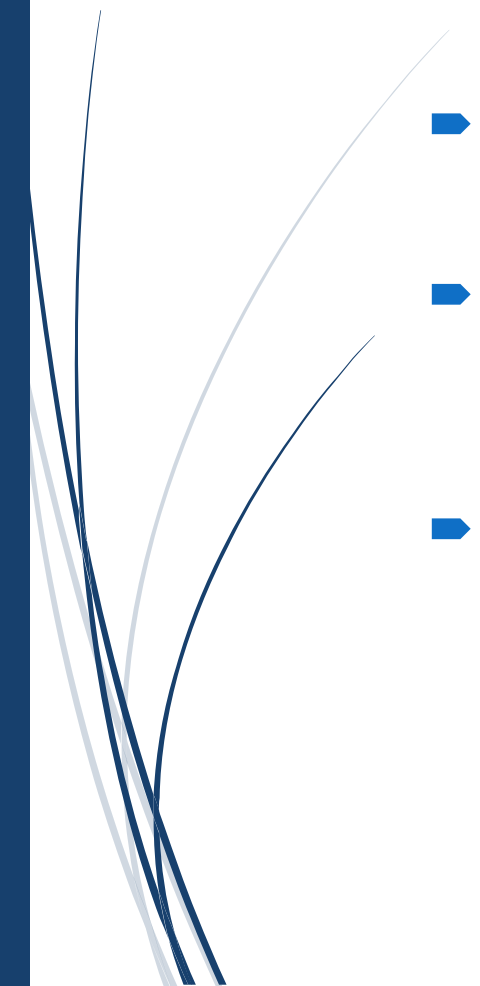


GALACTIC PORTRAIT

This artist's impression, based on the latest data from telescopes and simulations, shows the Milky Way viewed from outside the Galaxy.

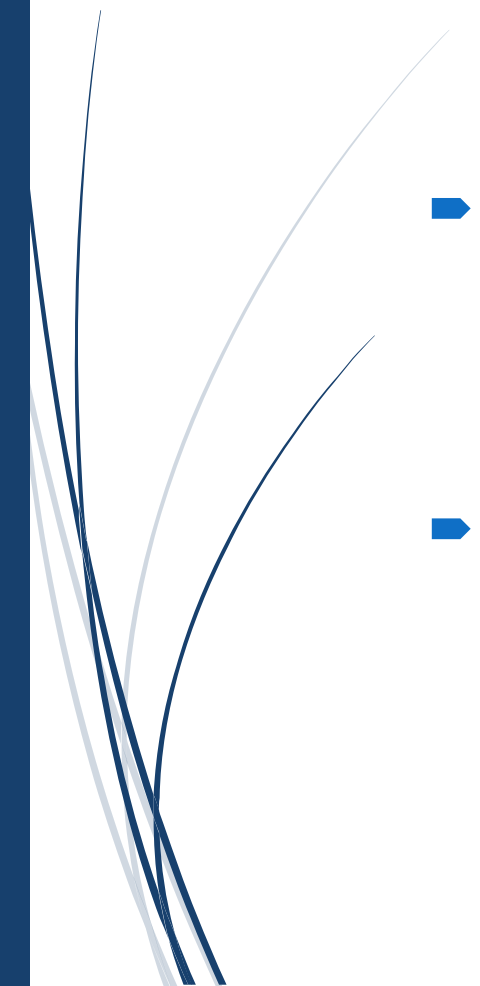


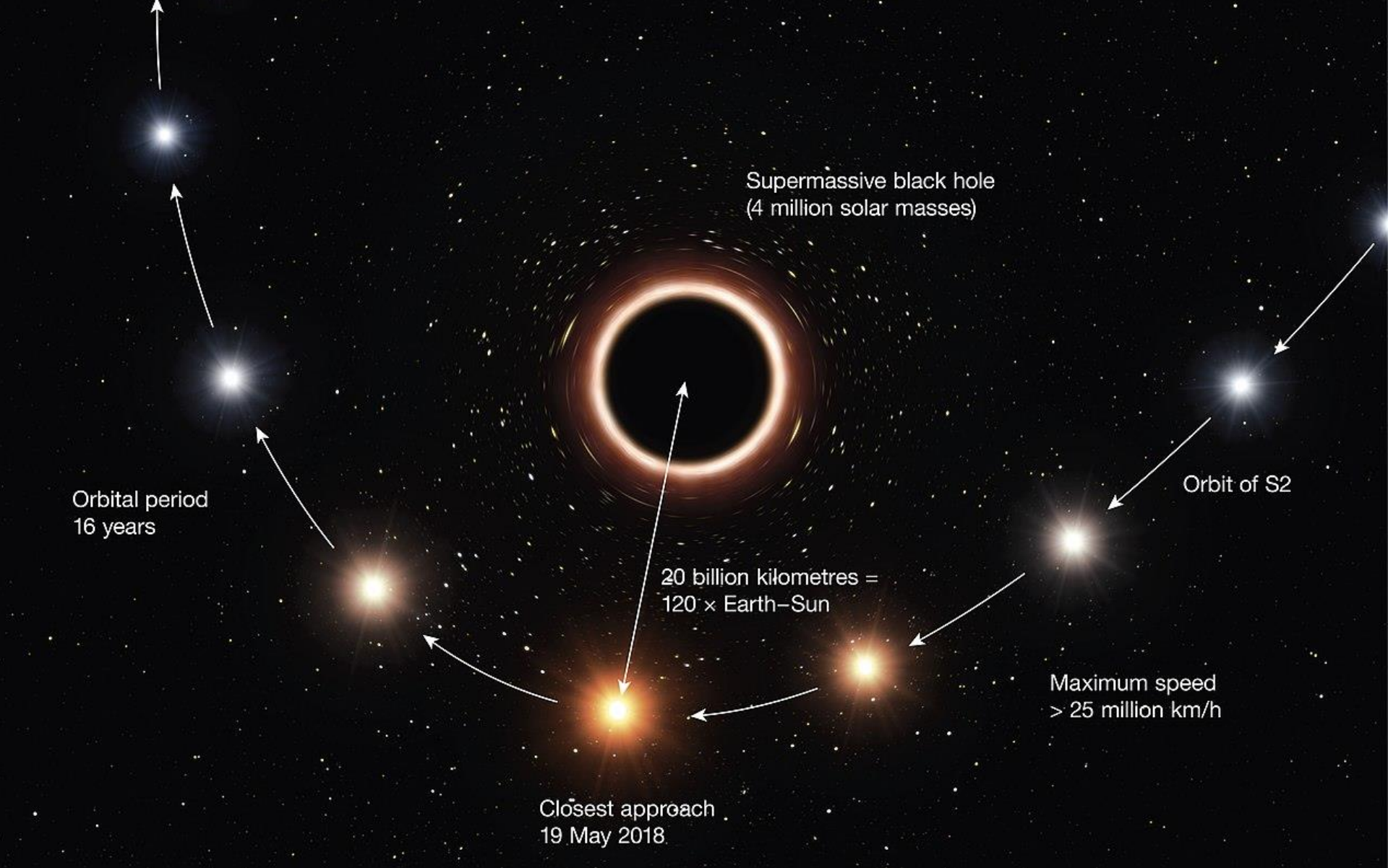
Priečka s výduťou

- Približne do 10 000 svetelných rokov od stredu
 - Neobsahuje centrálnu výduť, ale priečku s takzvanou pseudovýduťou
 - Dôvod sú predchádzajúce zrážky a pohlcovanie iných galaxií
- 



Centrálna oblasť – čierna diera

- ▶ Centrum je zároveň silným rádiovým zdrojom Sagittarius A*
 - ▶ Superhmotná čierna diera – 4,5 milióna hmotností Slnka (z pohybov hviezd pri strede)
- 



Supermassive black hole
(4 million solar masses)

Orbital period
16 years

20 billion kilometres =
120 x Earth-Sun

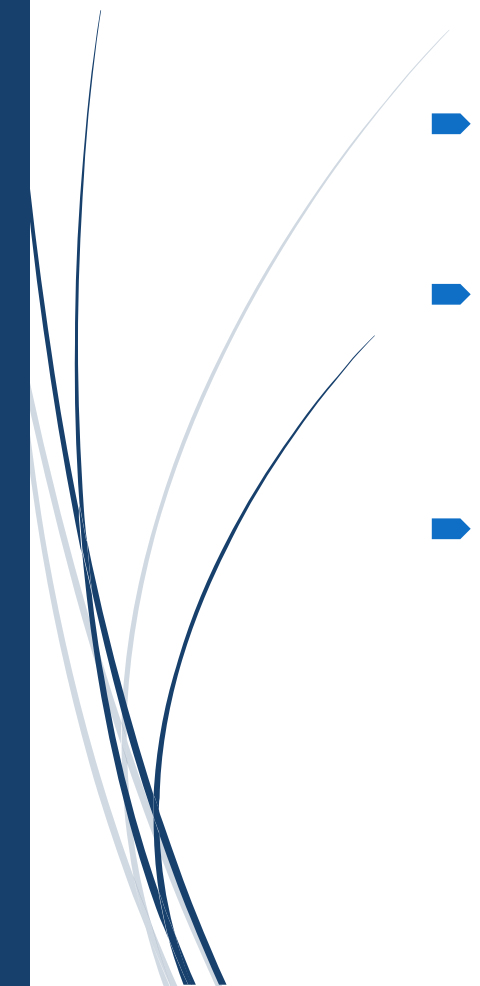
Orbit of S2

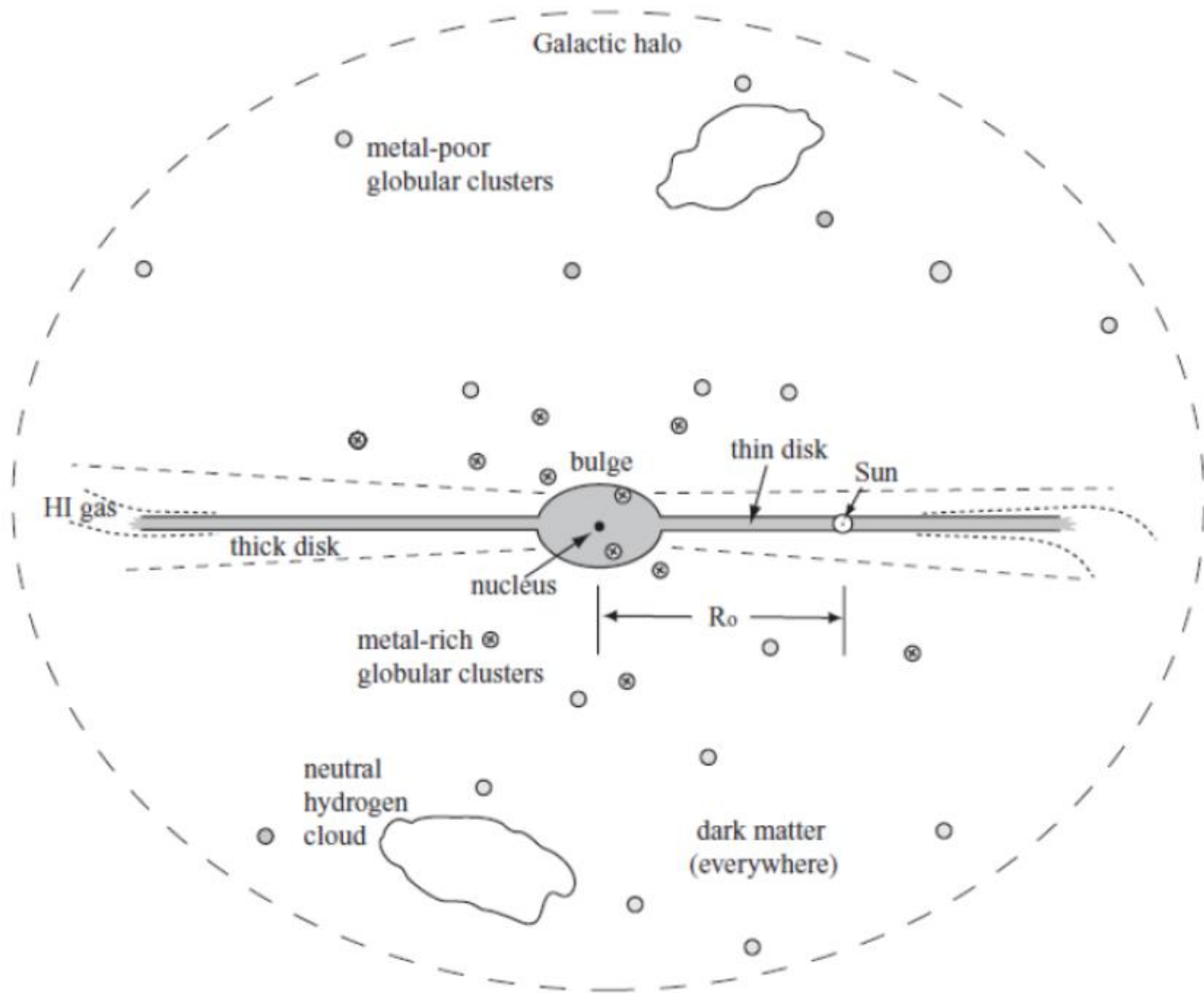
Maximum speed
> 25 million km/h

Closest approach
19 May 2018

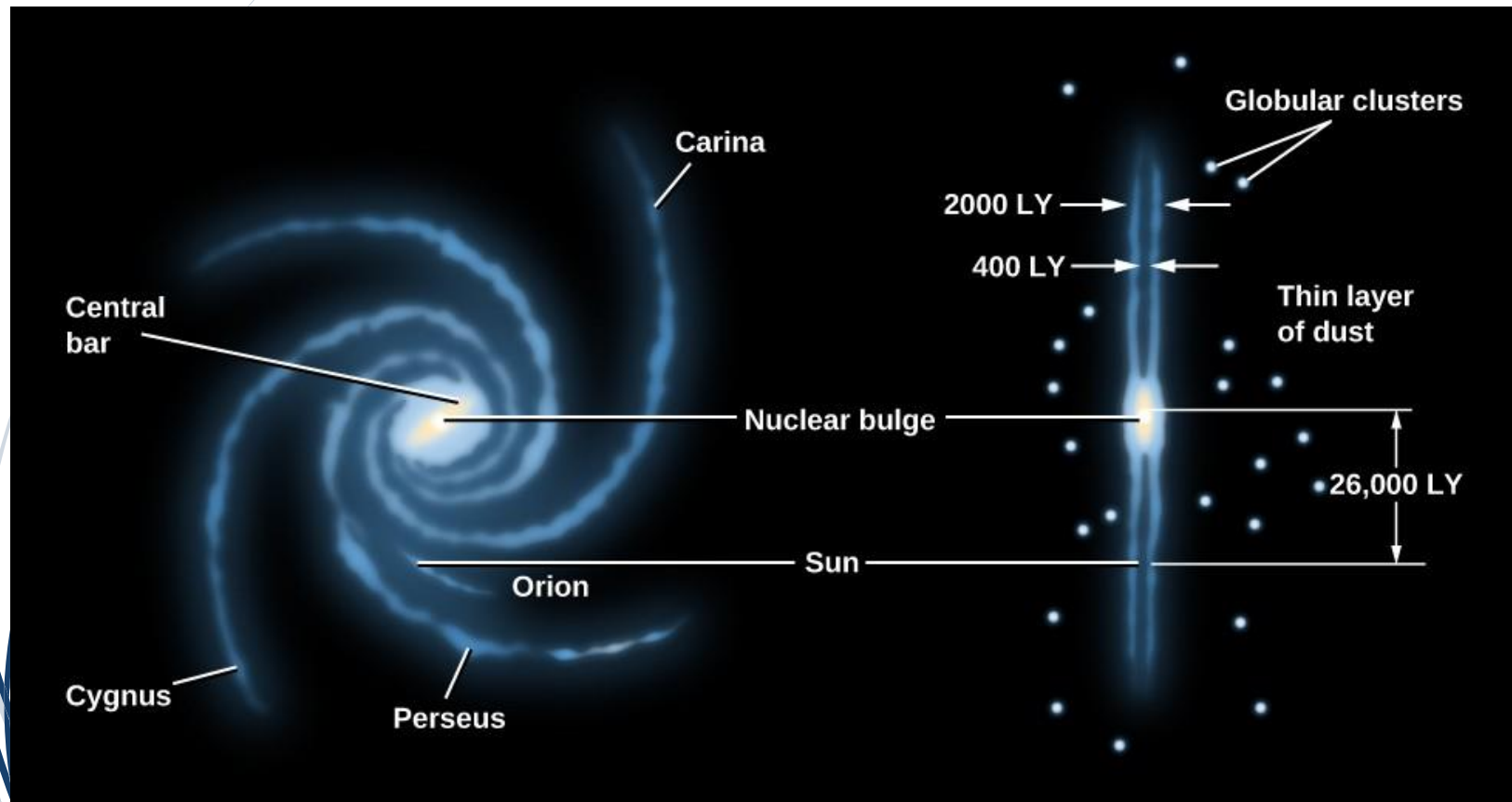


Galaktický disk

- Približne do 50 000 svetelných rokov od stredu
 - Obsahuje väčšinu svietiacej hmoty – hviezdy, plyn a prach
 - Hmotnosť - 80 miliárd hmotností Slnka
- 



Špirálové ramená v disku



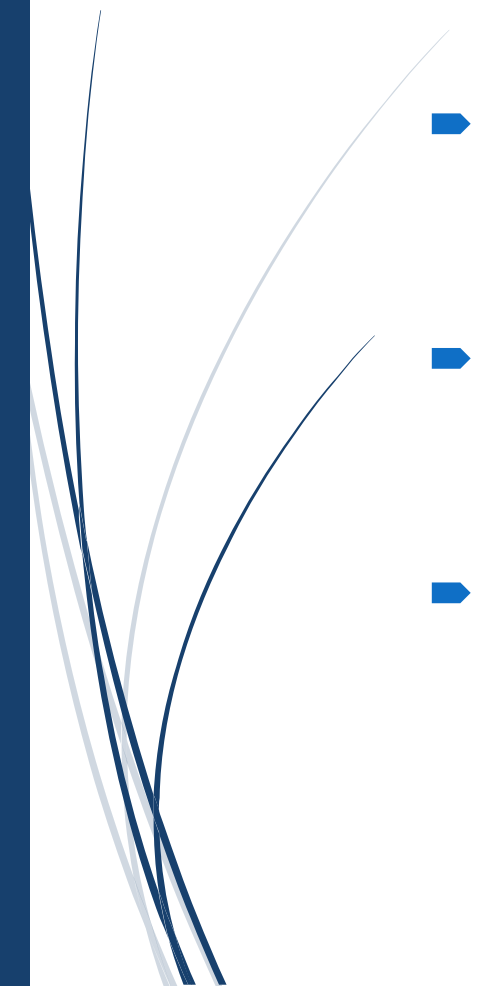


Špirálové ramená

- Pôvod je stále nejasný
- Dve hlavné teórie:
 - Dlho žijúce ramená ako dôsledok šírenia sa hustotnej vlny (Lin a Shu 1964)
 - Krátko žijúce ramená ako dôsledok lokálnej nestability (Julian a Toomre 1966)
- Najnovšie pozorovania:
 - 4 ramená obsahujúce zvýšené množstvo plynu a mladých hviezd
 - 2 ramená obsahujúce staré hviezdy (rameno Perseus a rameno Scutum–Centaurus)

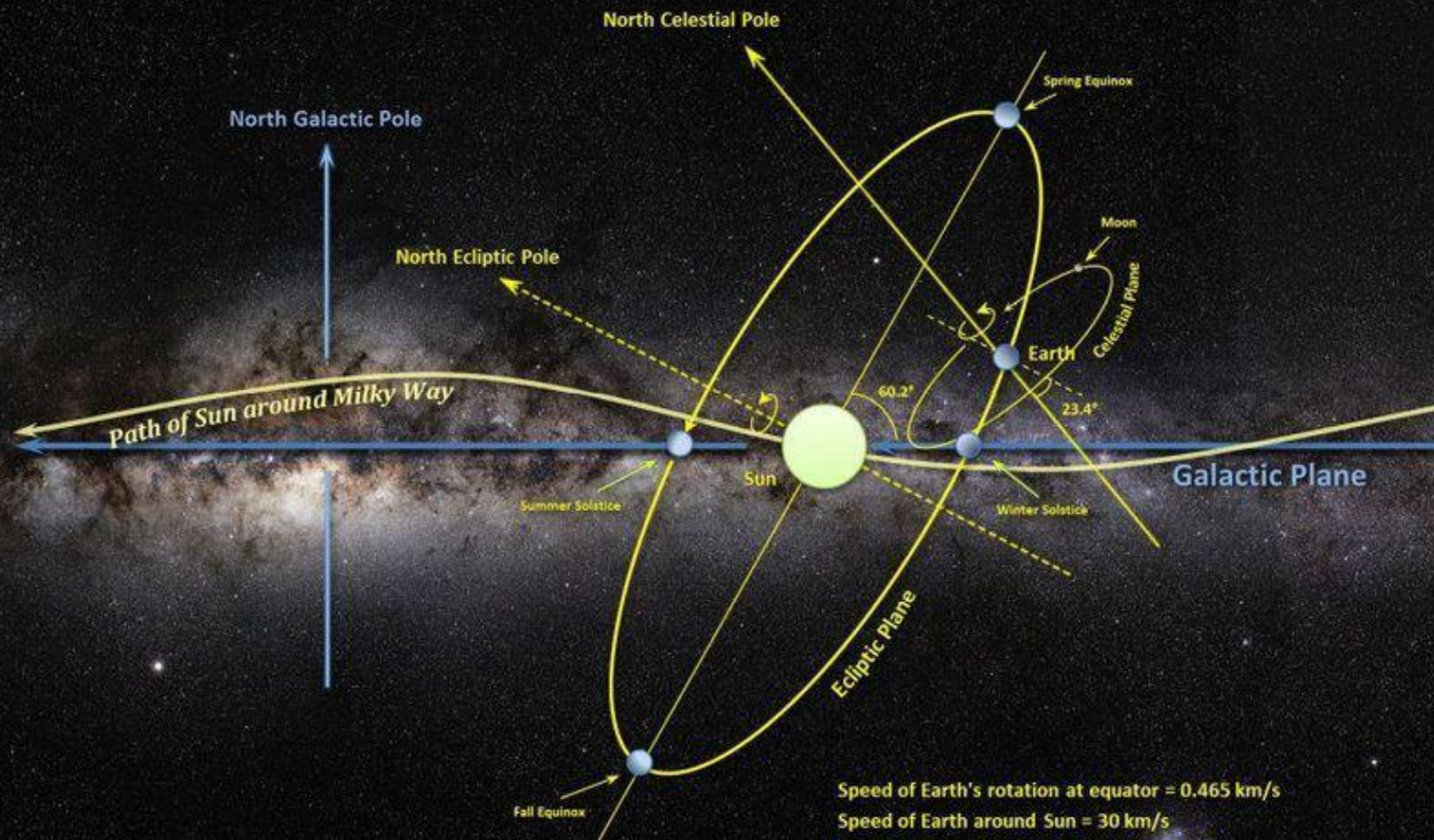


Galaktické halo

- Sférický halo obklopujúce celú Galaxiu (pre viditeľnú hmotu siaha do približne 100 000 ly)
 - Skladá sa zo starých hviezd a guľových hviezdokôp
 - Menej medzihviezdneho plynu, ktorý je príliš riedky na to, aby začalo formovanie hviezd
- 

MOTION OF EARTH AND SUN AROUND THE MILKY WAY

GAL



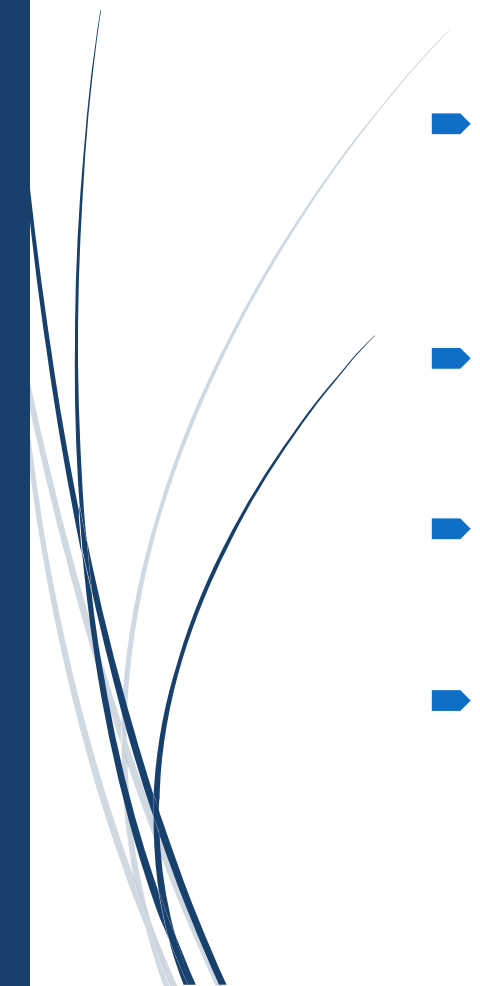
Speed of Earth's rotation at equator = 0.465 km/s
Speed of Earth around Sun = 30 km/s
Speed of Sun around Milky Way = 230 km/s
Sun is approximately 26,000 light years from Galactic Center

Diagram Not to Scale





Guľové hviezdokopy

- Sférické zoskupenia hviezd nachádzajúce sa v galaktickom hale (mimo disku)
 - V našej Galaxii je ich približne 150
 - Polomery okolo 50 ly a obsahujú státisíce hviezd
 - Najstaršie hviezdy pochádzajúce z počiatočných fáz formovania vesmíru
- 



M13



Guľové hviezdokopy





Gaia – misia, ktorá spravila
dieru do sveta ... vlastne do
Galaxie

GAIA – misia desaťročia

- ▶ December 2013
- ▶ Plánovaný koniec 2019
- ▶ L2 bod (1,5 gigametrov)
- ▶ Astrometrické zariadenia (vrátanie fotometrie a spektrometera na meranie radiálnych rýchlosti)
- ▶ Jún 2022 – aktuálny datarelease DR3





GAIA-eDR3

- ▶ Early Data Release 3 – december 2020
- ▶ 34 mesiacov pozorovaní
- ▶ Viac ako 1,8 mld zdrojov
- ▶ **7.2 miliónov** zdrojov s radiálnym rýchlosťami

GAIA EARLY DATA RELEASE 3



1 811 709 771
stellar positions

1 806 254 432
brightness
in white light

1 542 033 472
brightness
in blue light

1 540 770 489
colour

1 467 744 818
parallax and
proper motions

1 614 173
extragalactic
sources

1 554 997 939
brightness
in red light

#SpaceCare #ExploreFarther

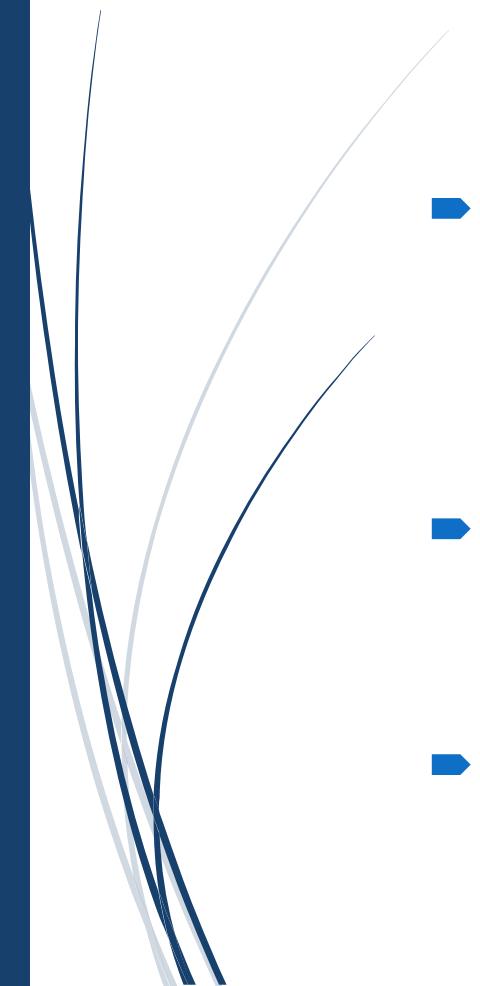


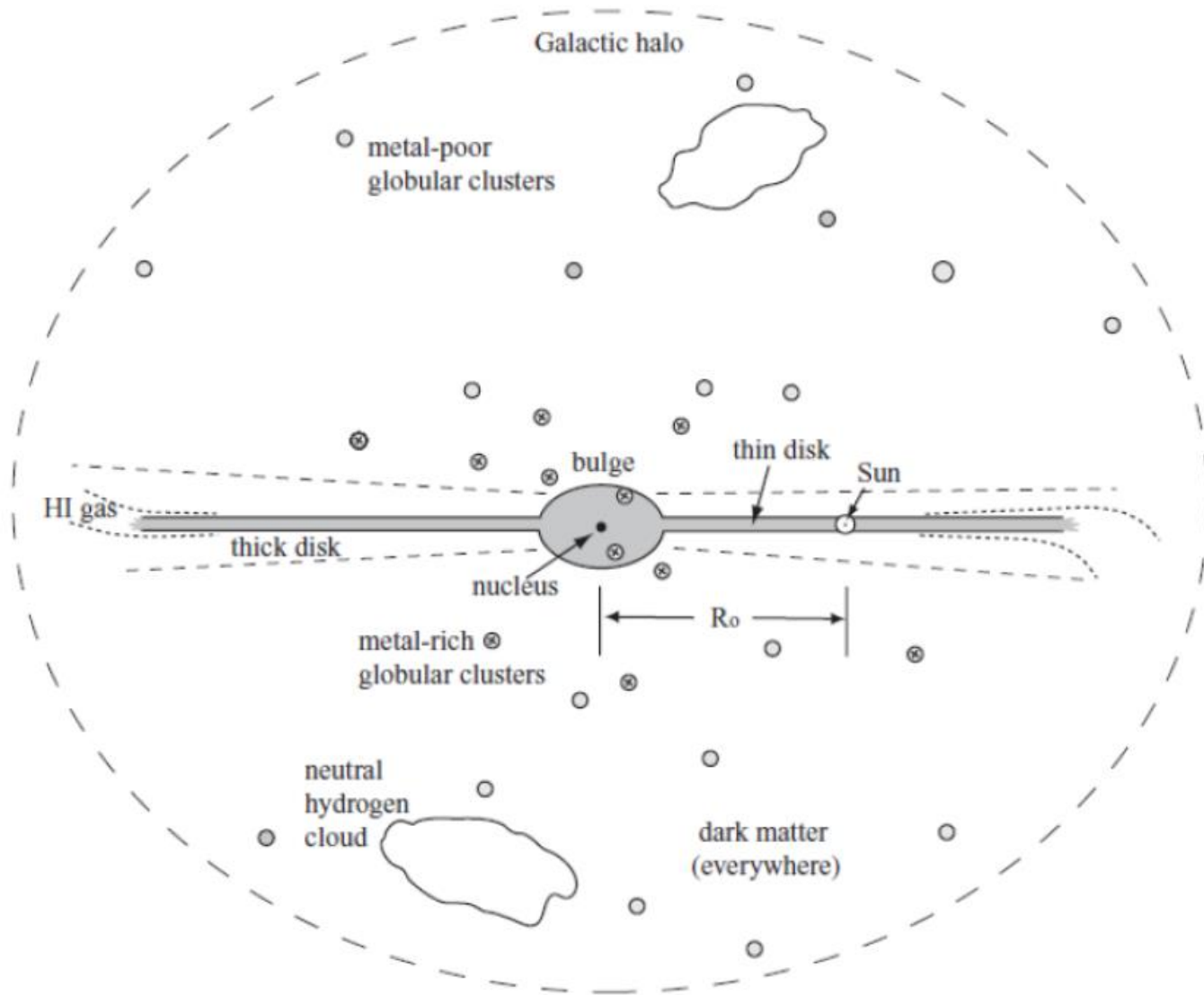


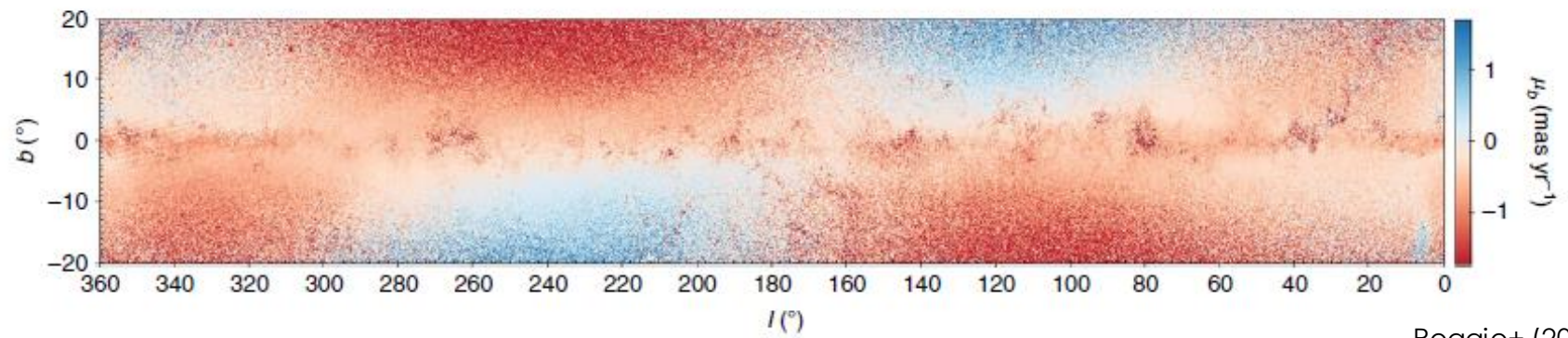
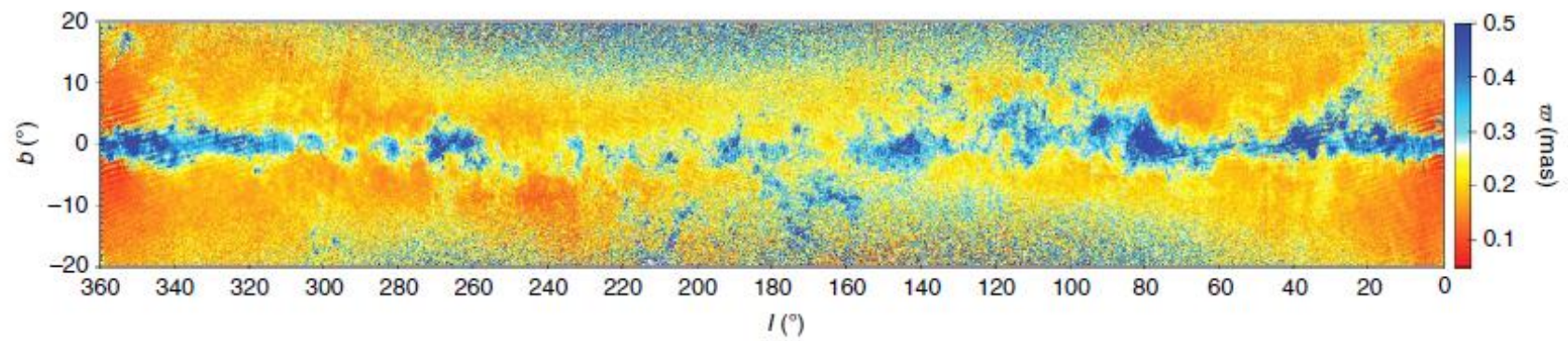
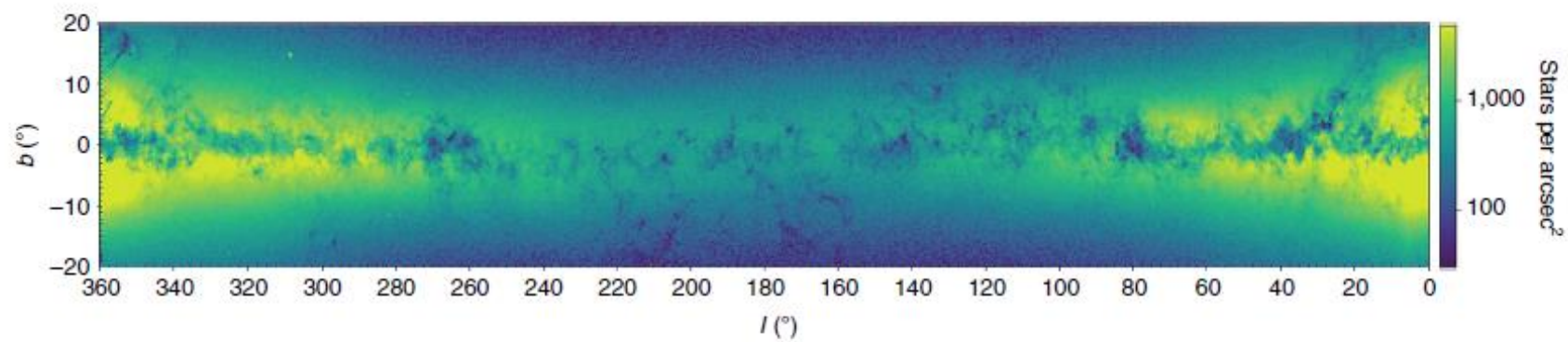
Nesymetrické štruktúry v galaktickom disku



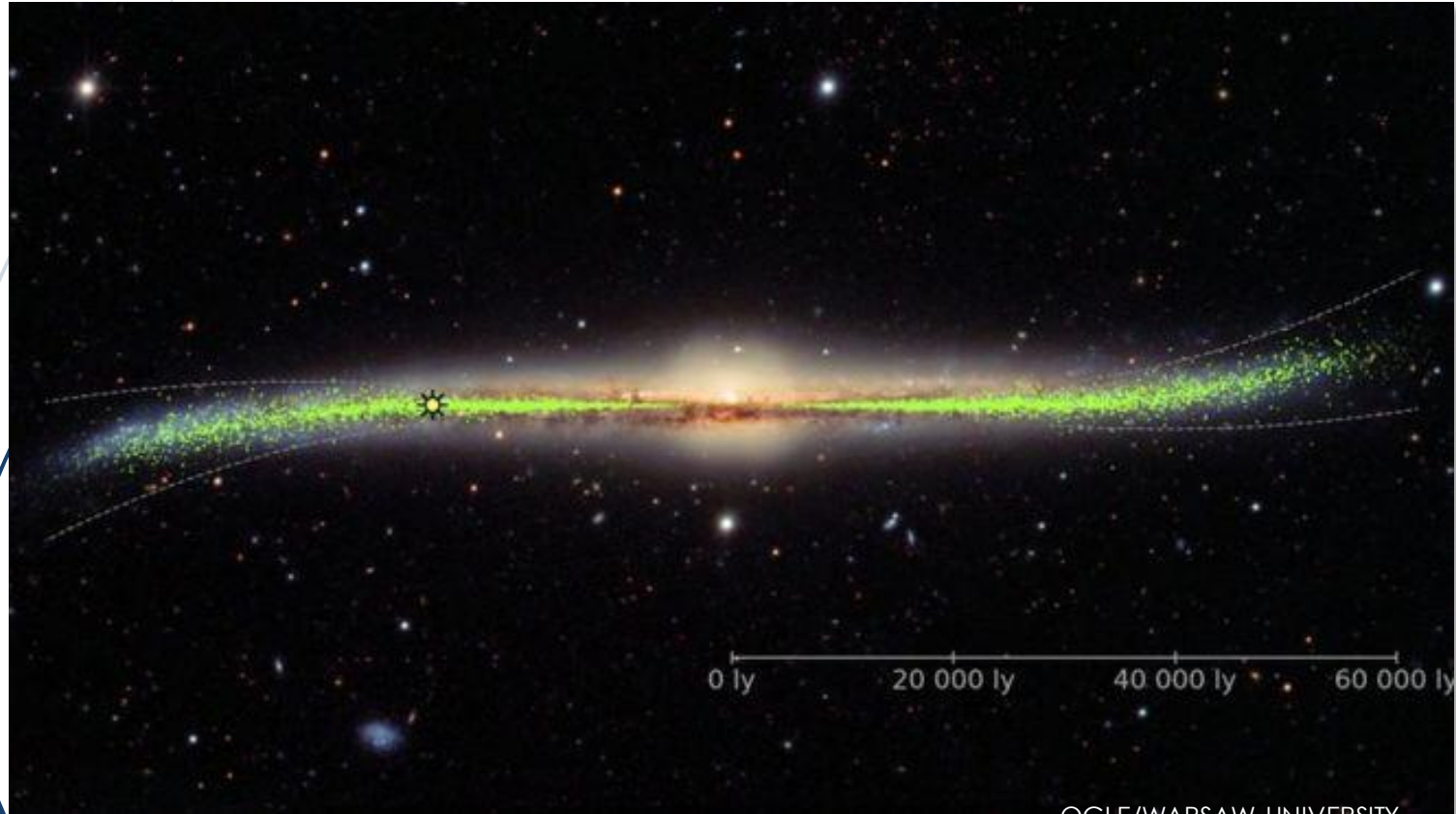
Štruktúrálna asymetria

- Flare – hrubnutie Galaktického disku s rastúcou vzdialenosťou od stredu Galaxie
 - Warp – skrútenie disku Galaxie do tvaru písmena „S“;
 - Stelárne prúdy
- 

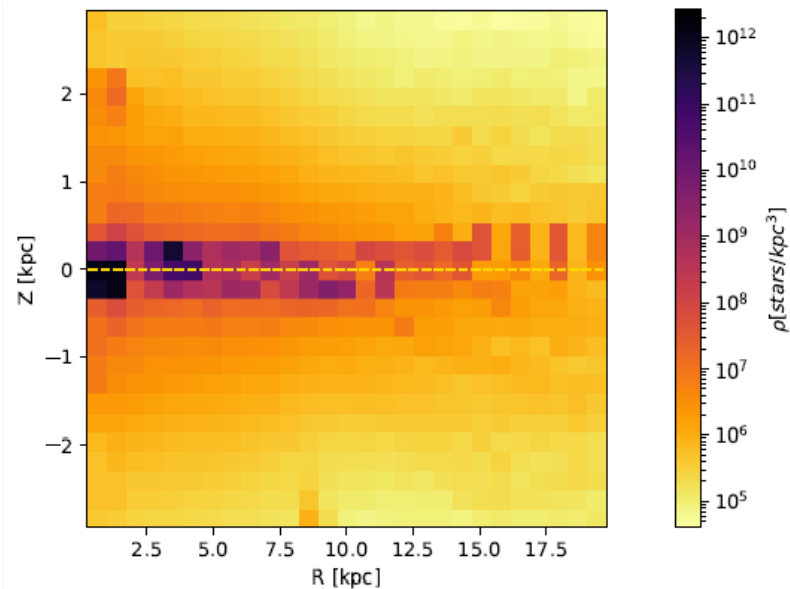
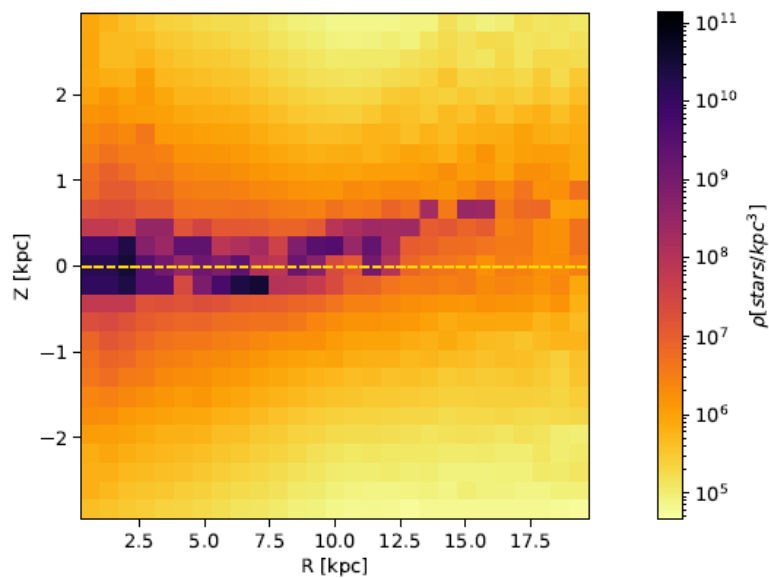




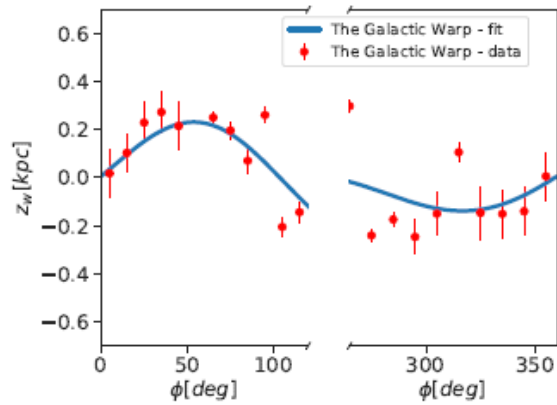
Štruktúra vonkajšieho galaktického disku - warp



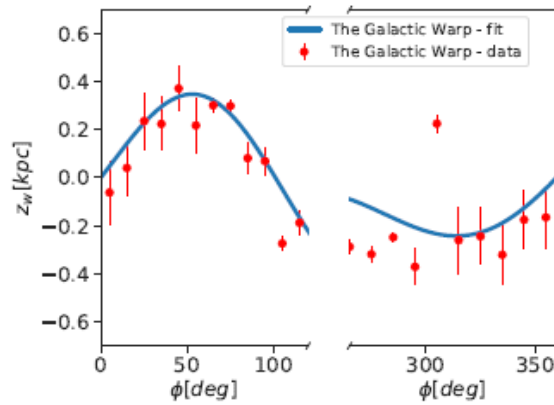
Mapy hustoty hviezd



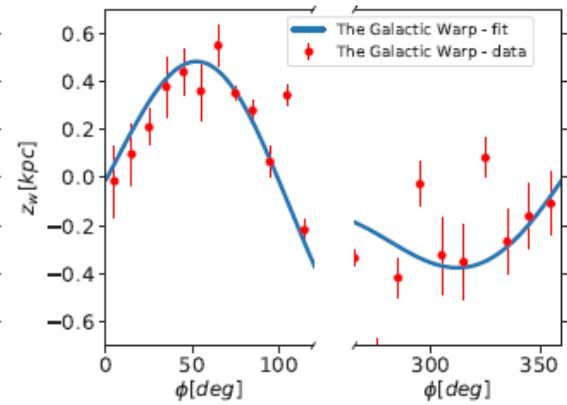
Galaktický warp



(a)

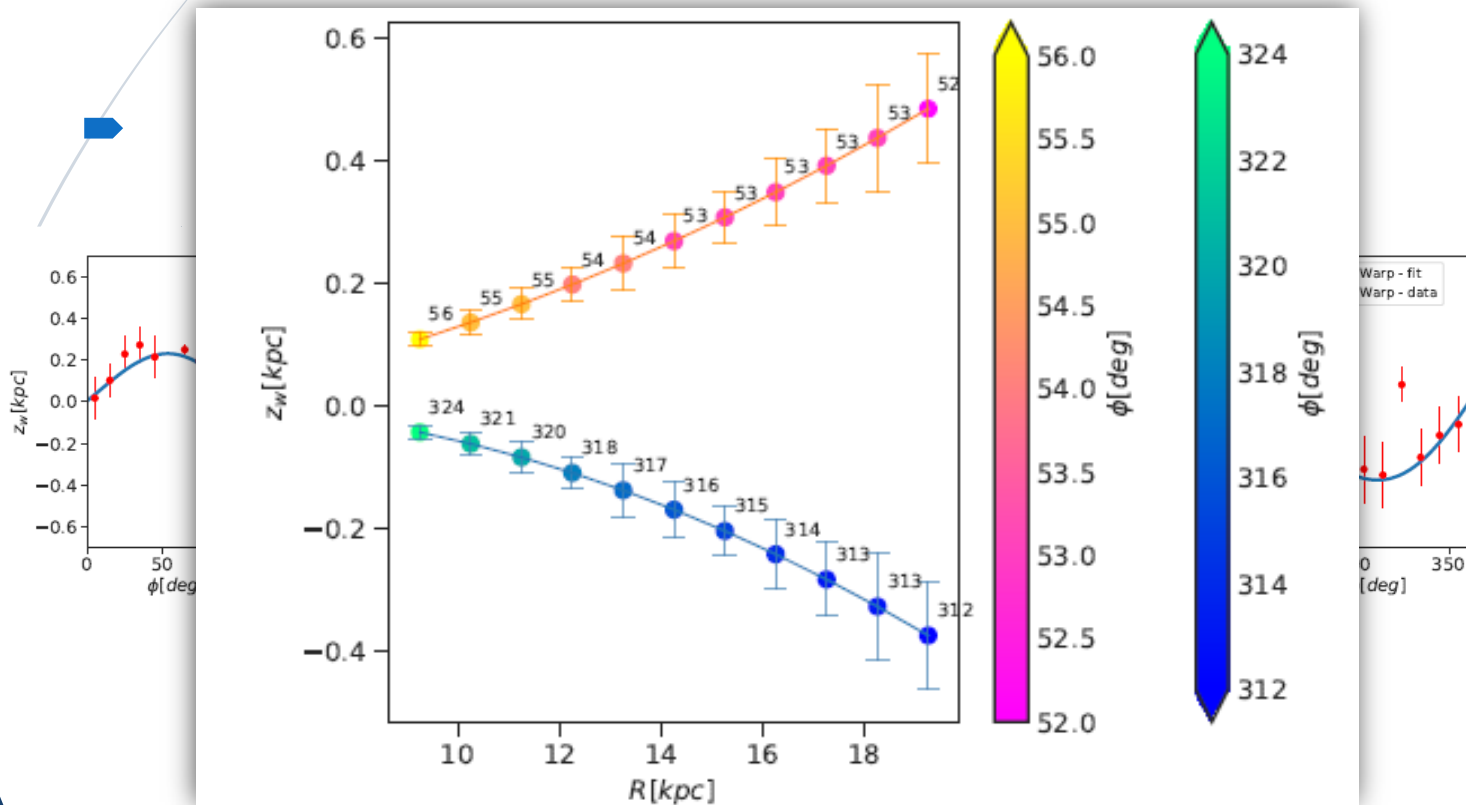


(b)

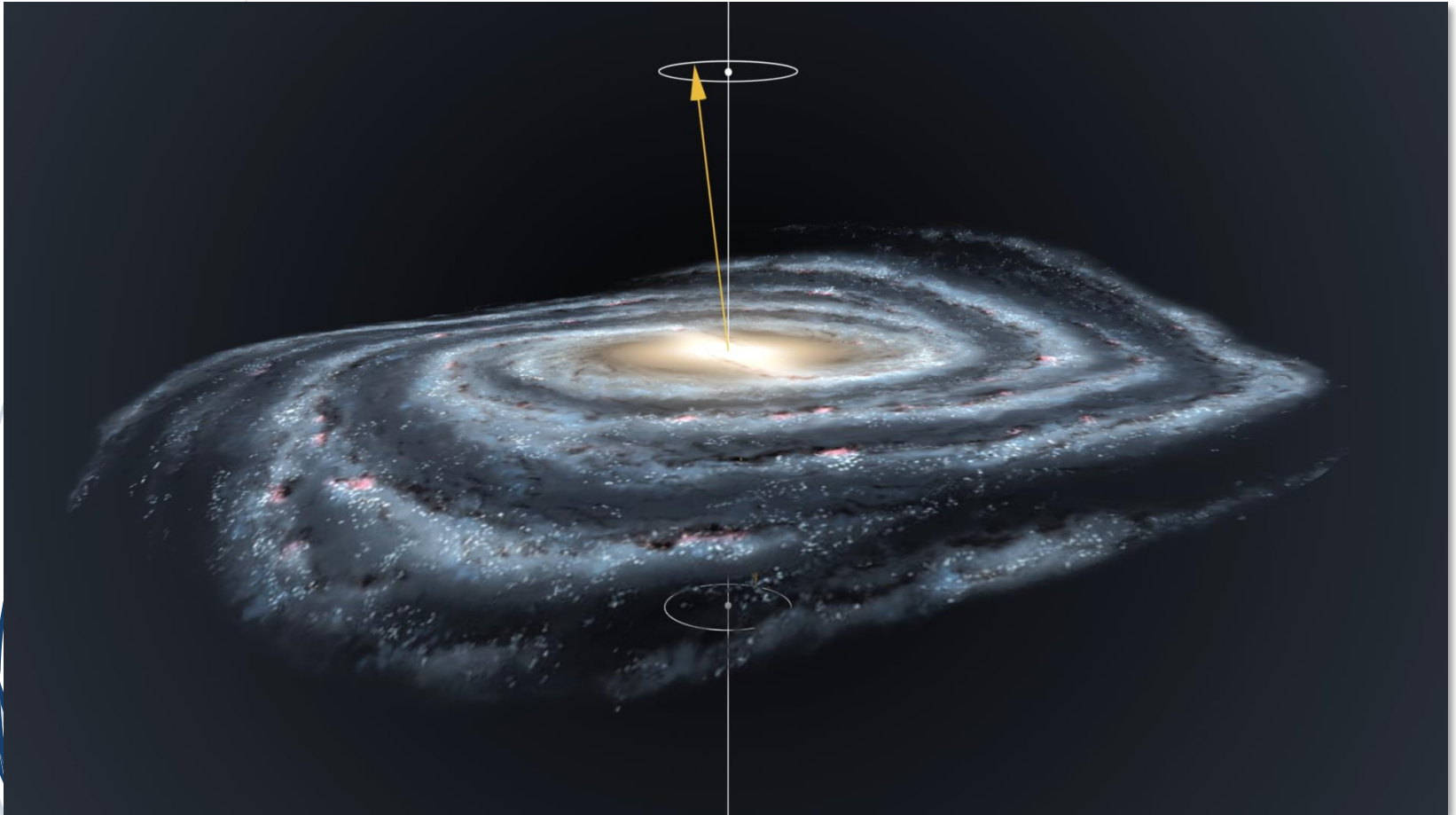


(c)

Galaktický warp

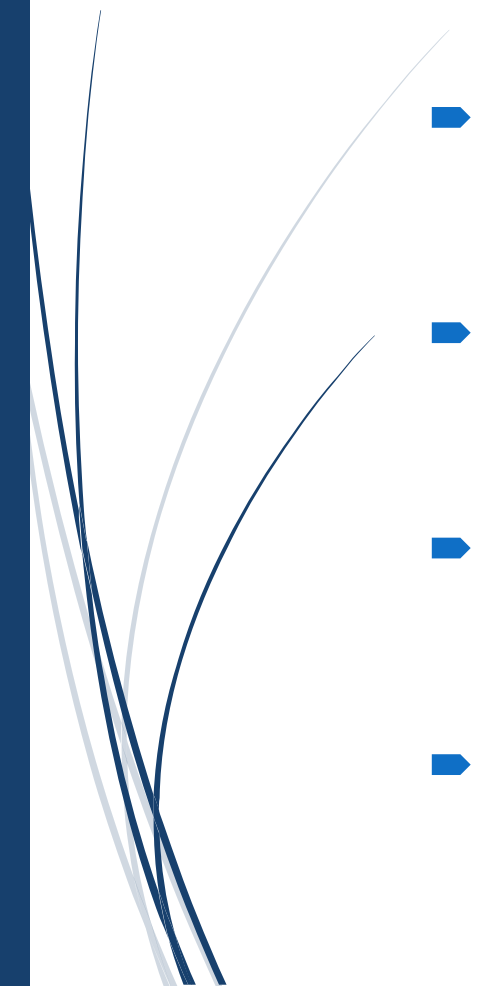


Galaktický warp - precesia





Galaktický warp – pôvod?

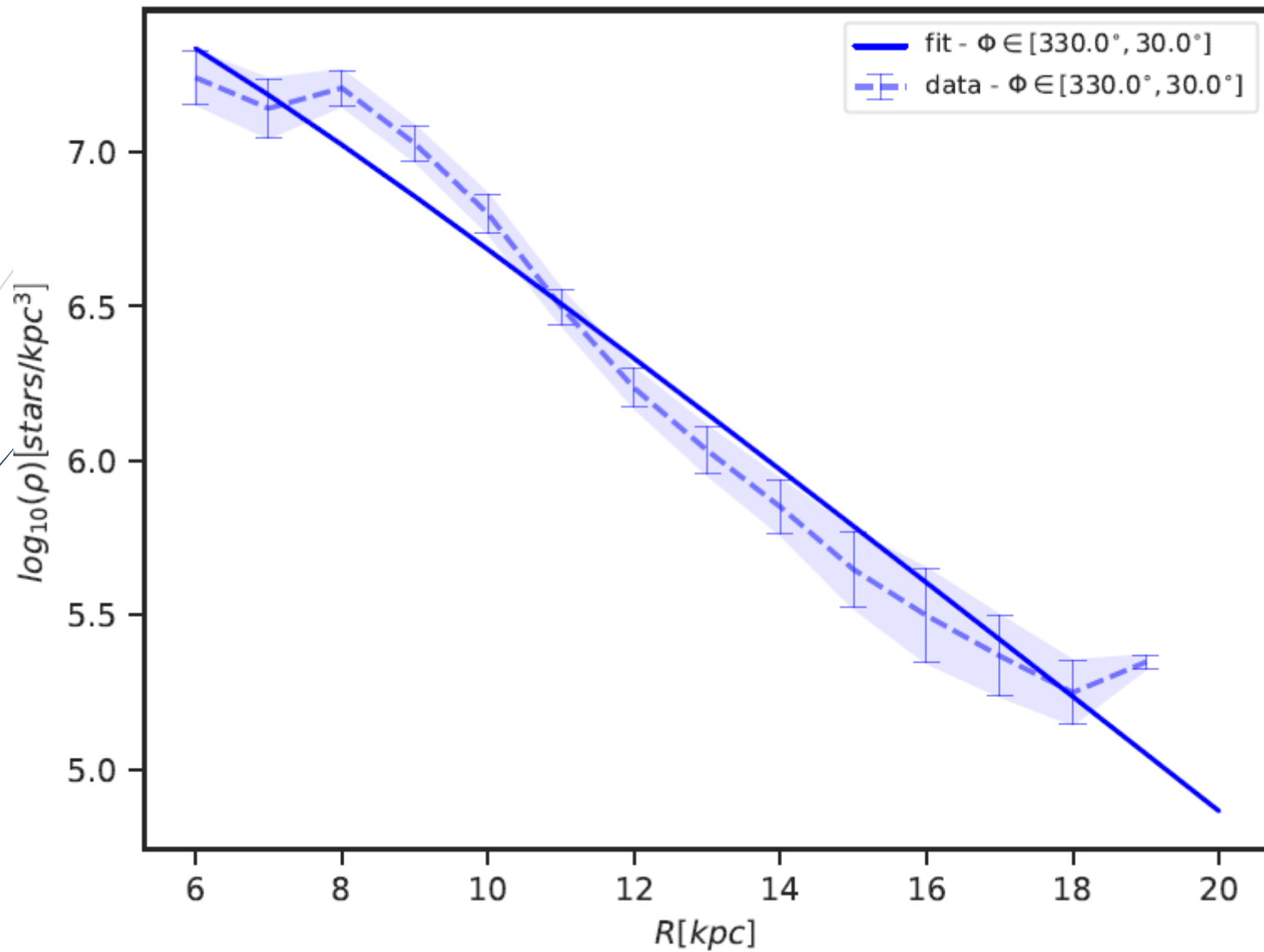
- ▶ Tlak akrécie medzigalaktickej hmoty (López-Corredoira a kol. 2002)
 - ▶ Interakcia s trpasličími galaxiami v našom okolí (Kim a kol. 2014)
 - ▶ Prítomnosť galaktického magnetického poľa (Battaner a kol. 1990)
 - ▶ Osové vychýlenie rotácie halo tmavej hmoty (Debattista a Sellwood 1999)
- 

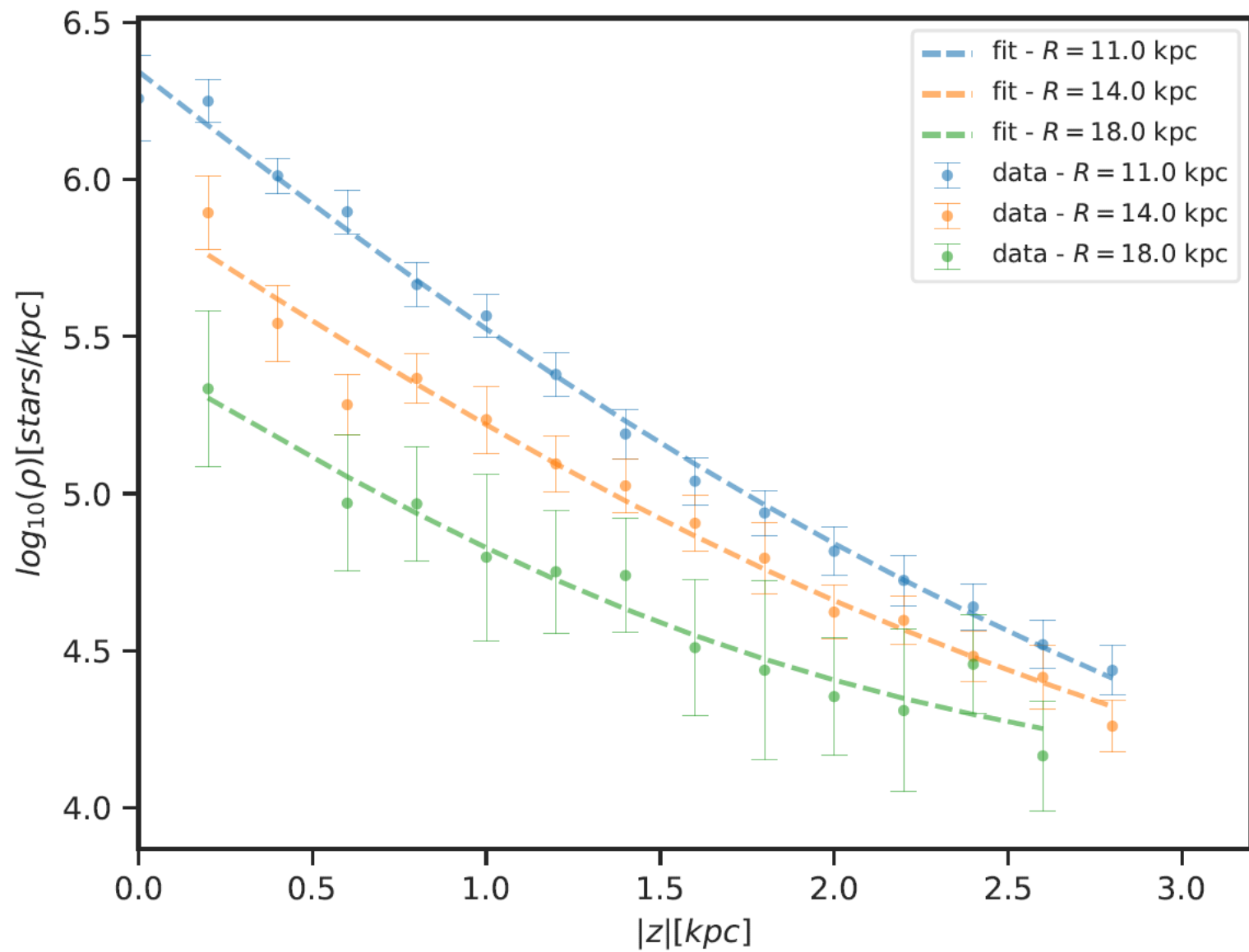
Galaktický flare

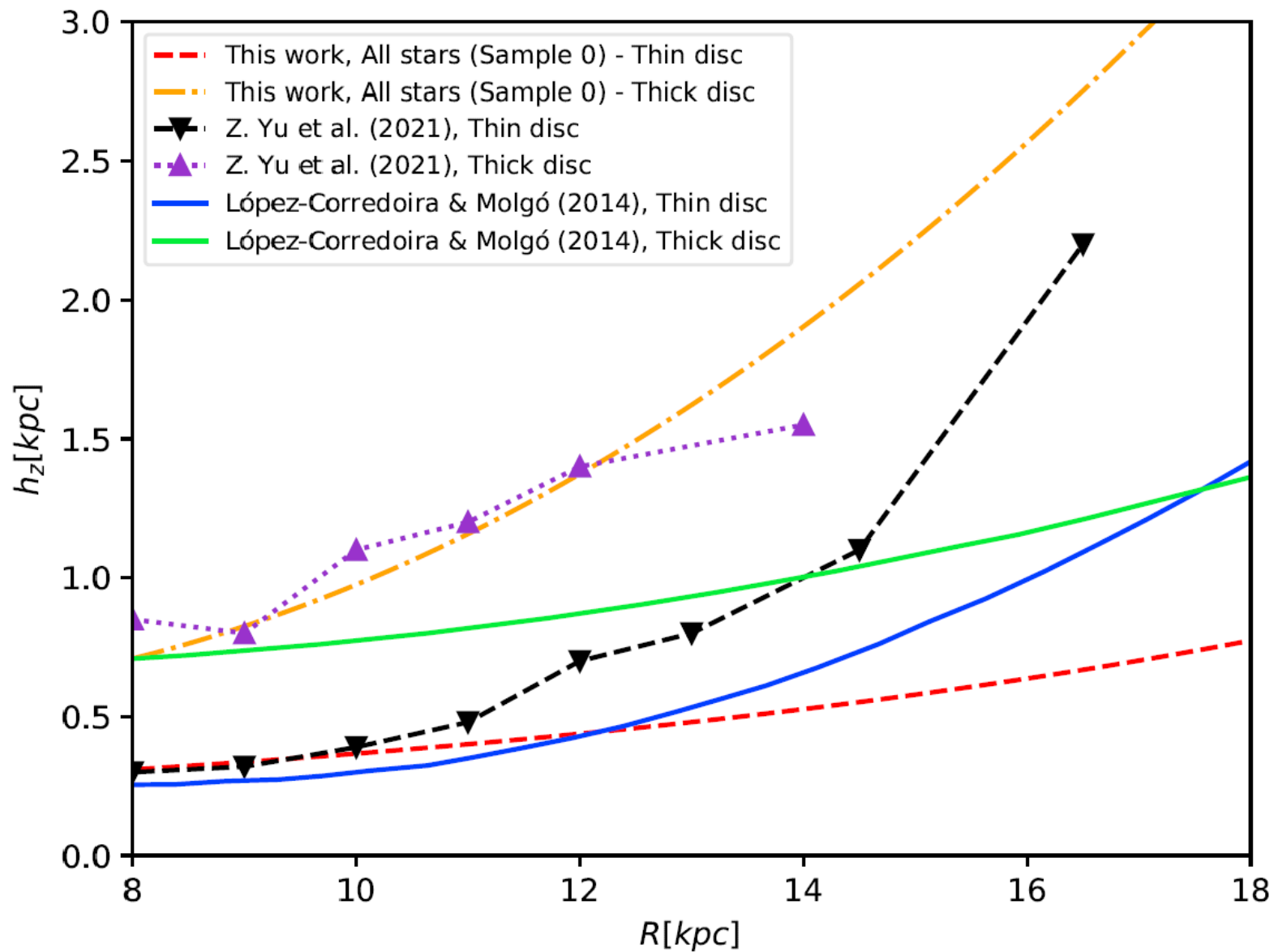
- Rast škálovacej výšky (h_z) disku s rastom vzdialenosti od stredu Galaxie

$$\rho(R, z) = \rho_0(R) \times \exp(-R/h_r) \times \exp(-|z|/h_z)$$

- Galaktický disk sa stáva hrubším vo vzdialených oblastiach Galaxie
- Pozorovaný vo vodíkovom plyne aj v populáciách hviezd









Galaktický flare – pôvod?

- 
- Gravitačné previazanie hviezdneho disku, plynového disku a hala tmavej hmoty (Narayan & Jog 2002)
 - Prítomnosť galaktického magnetického poľa (Battaner & Florido 1995)
 - Vplyv akrécie medzigalaktickej hmoty (López-Corredoira & Betancort-Rijo 2009)

Stelárne prúdy





Záver

- ▀ Stručný historický úvod
- ▀ Rôznorodé galaxie
- ▀ Štruktúra Mliečnej cesty
- ▀ Gaia, najzásadnejšia astrometrická misia súčasnosti
- ▀ Štruktúry v galaktických predmestiach



European Collaborating Astronomer Projects: Espana-Czechia-Slovakia – Erasmus + Key Action 2



- Paradigmatické zmeny v nazeraní na vesmír a človeka z filozofickej, teologickej a fyzikálnej perspektívy - APVV-18-0103



Ďakujem za pozornosť