



**FAKULTA MATEMATIKY,
FYZIKY A INFORMATIKY**
Univerzita Komenského
v Bratislave



Galaxie a Galaxia

RNDr. Roman Nagy, PhD.

SPACE::LAB
summer school 2022
22.08.2022



Prehľad

- ▶ Stručná história najstarších vesmírnych zoskupení
- ▶ Galaxie a ich rôznorodosť
- ▶ Galaxia Mliečna cesta
- ▶ Štruktúra a modelovanie Galaxie



Ako to všetko začalo...

Hmlovina v Andromede



Roberts 1888

Galaxie - história

- ▶ 1920 diskusia sa už zahustuje (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 rýchlosťi galaxií a využil virálov teorém

$$2T = U \text{ v ustálenom stave}$$





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



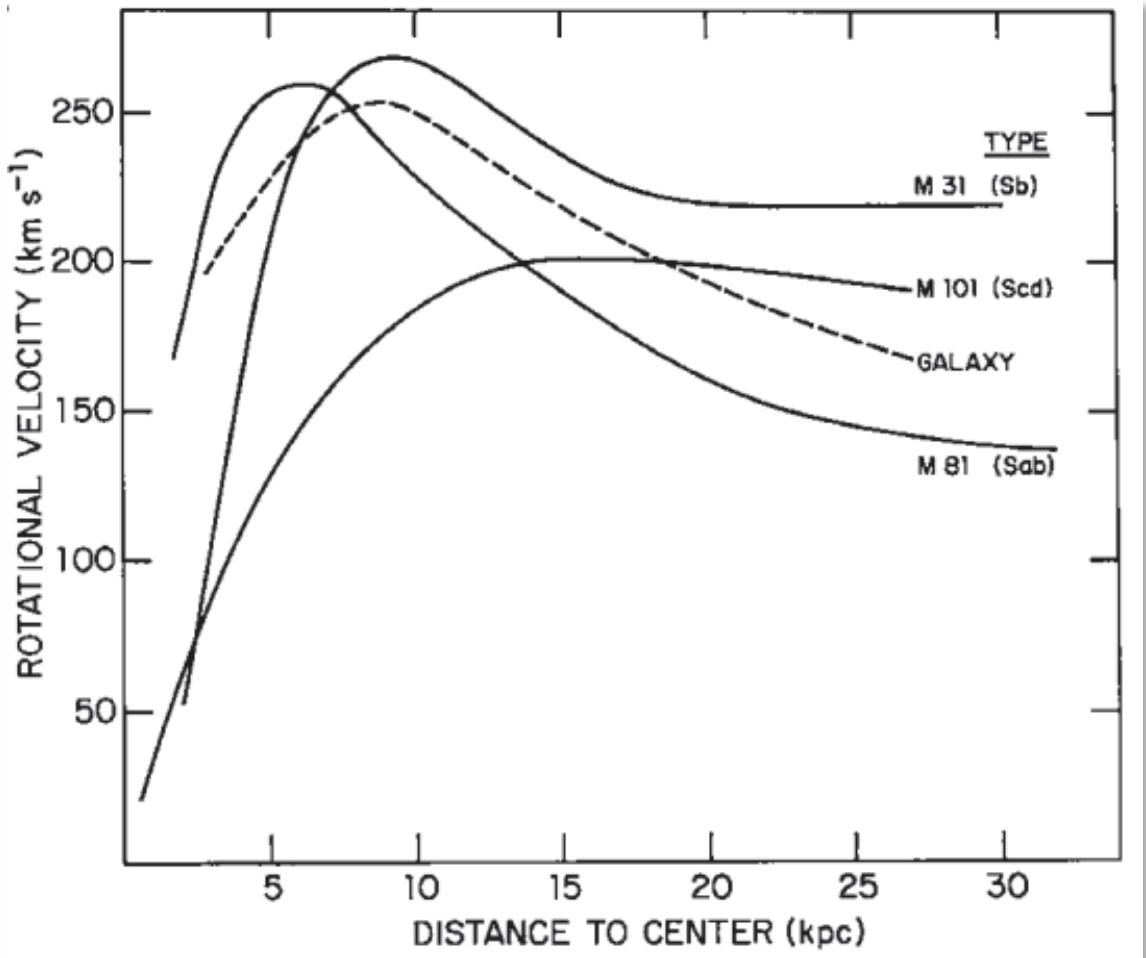
70te roky - nastal zlom

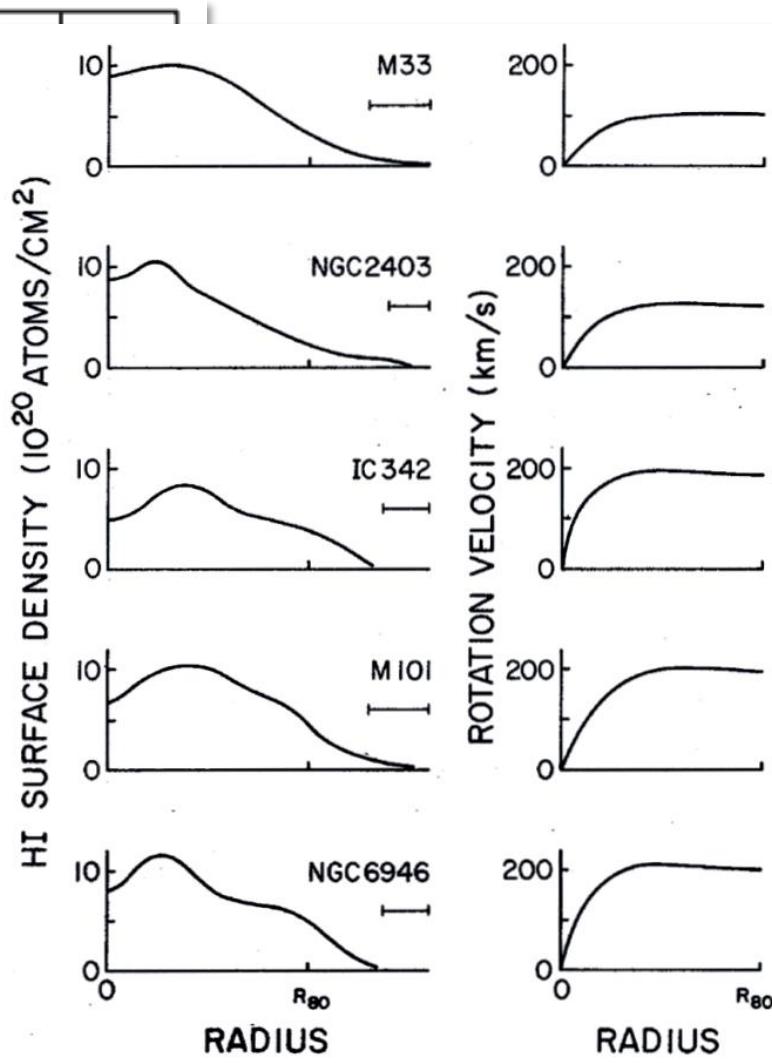
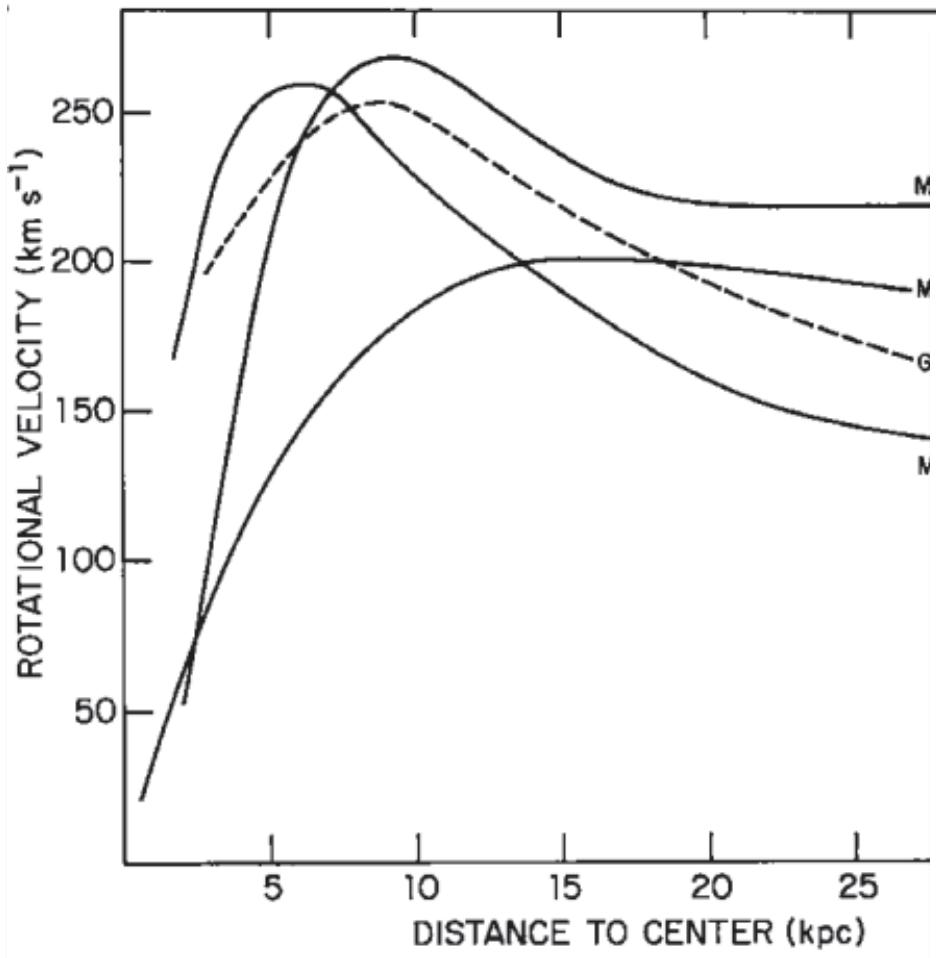
- ▶ Začína postupná konvergencia ku konceptu tmavej hmoty
- ▶ Nový druh pozorovaní
- ▶ Vera Rubin pozoruje rotačné krivky galaxií (funkčná závislosť obežnej rýchlosťi od radiálnej vzdialenosťi)

Vera Rubin

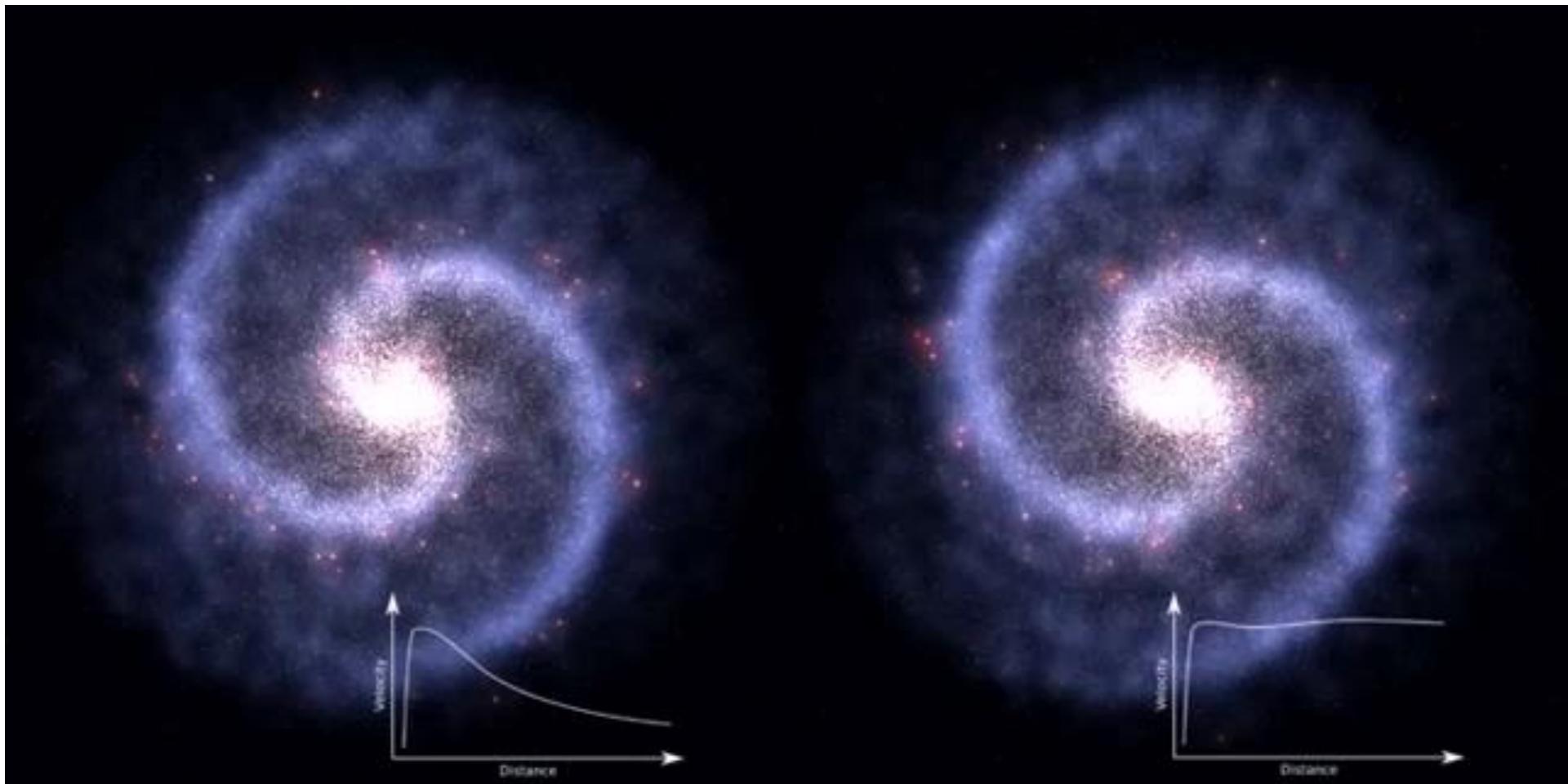


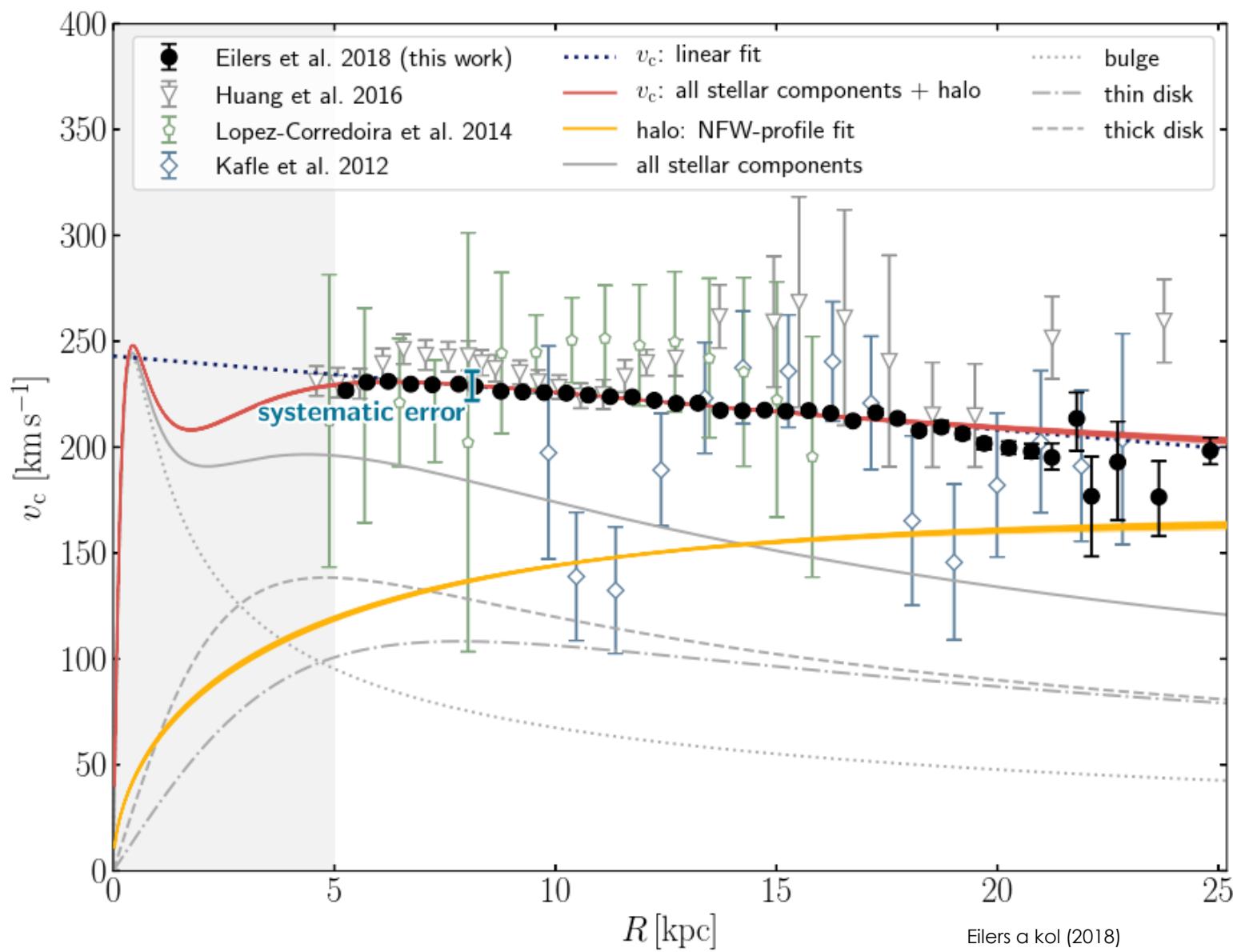
Kitt Peak observatórium v Arizone, USA,
dalekohľad s priemerom 36 palcov

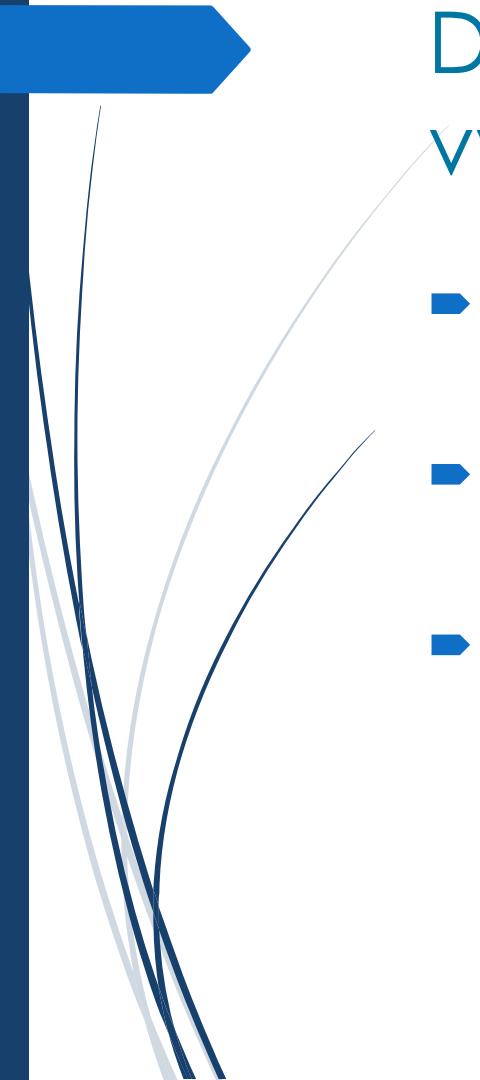




Rotačná krivka







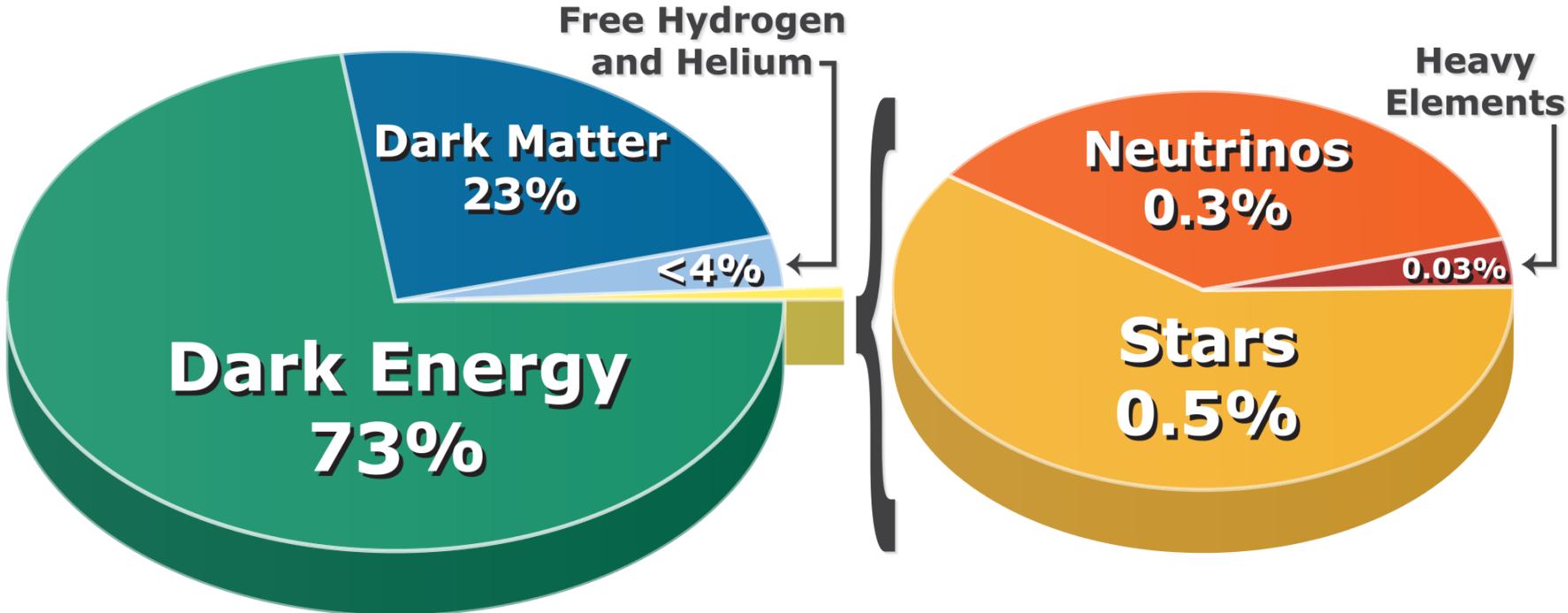
Dve pozorovania, jedno vysvetlenie

- ▶ Disperzia rýchlosí – 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





Galaxie a ich podoby

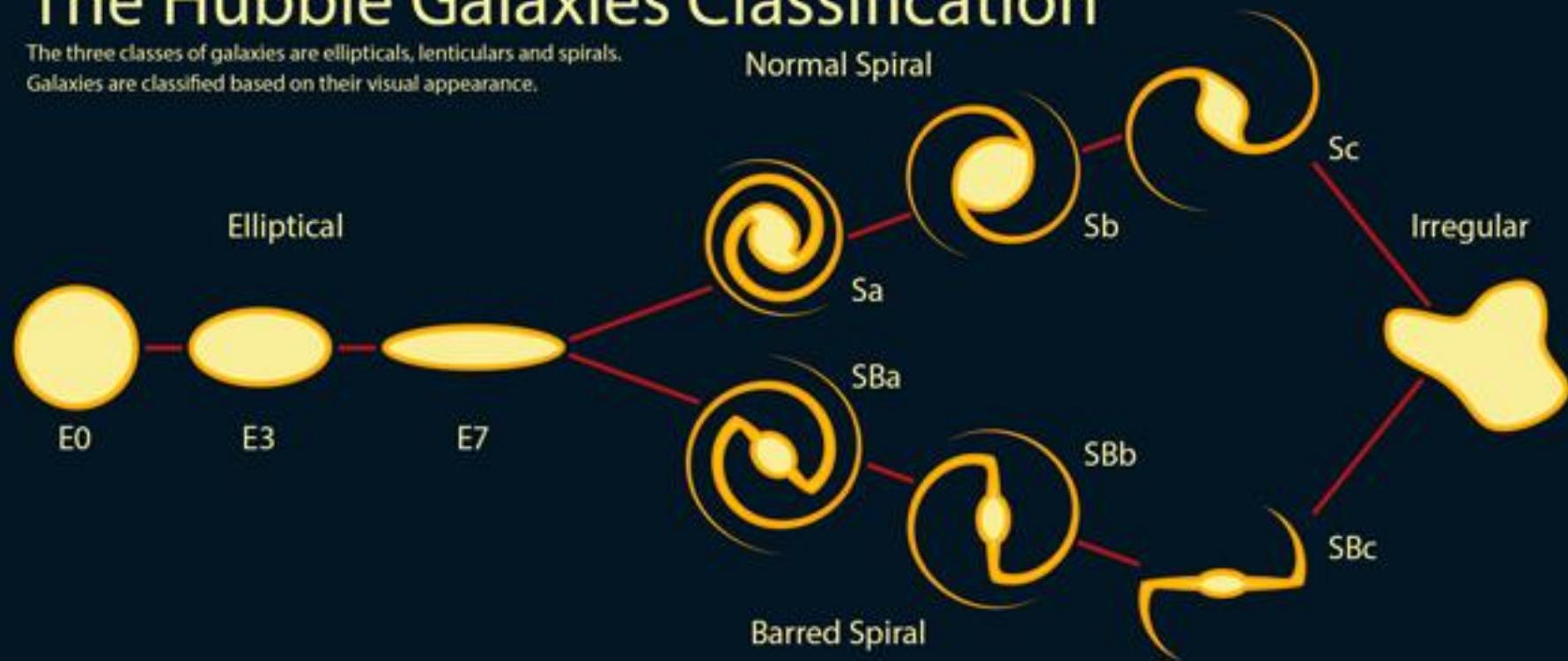


Nie je galaxia ako galaxia

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

The Hubble Galaxies Classification

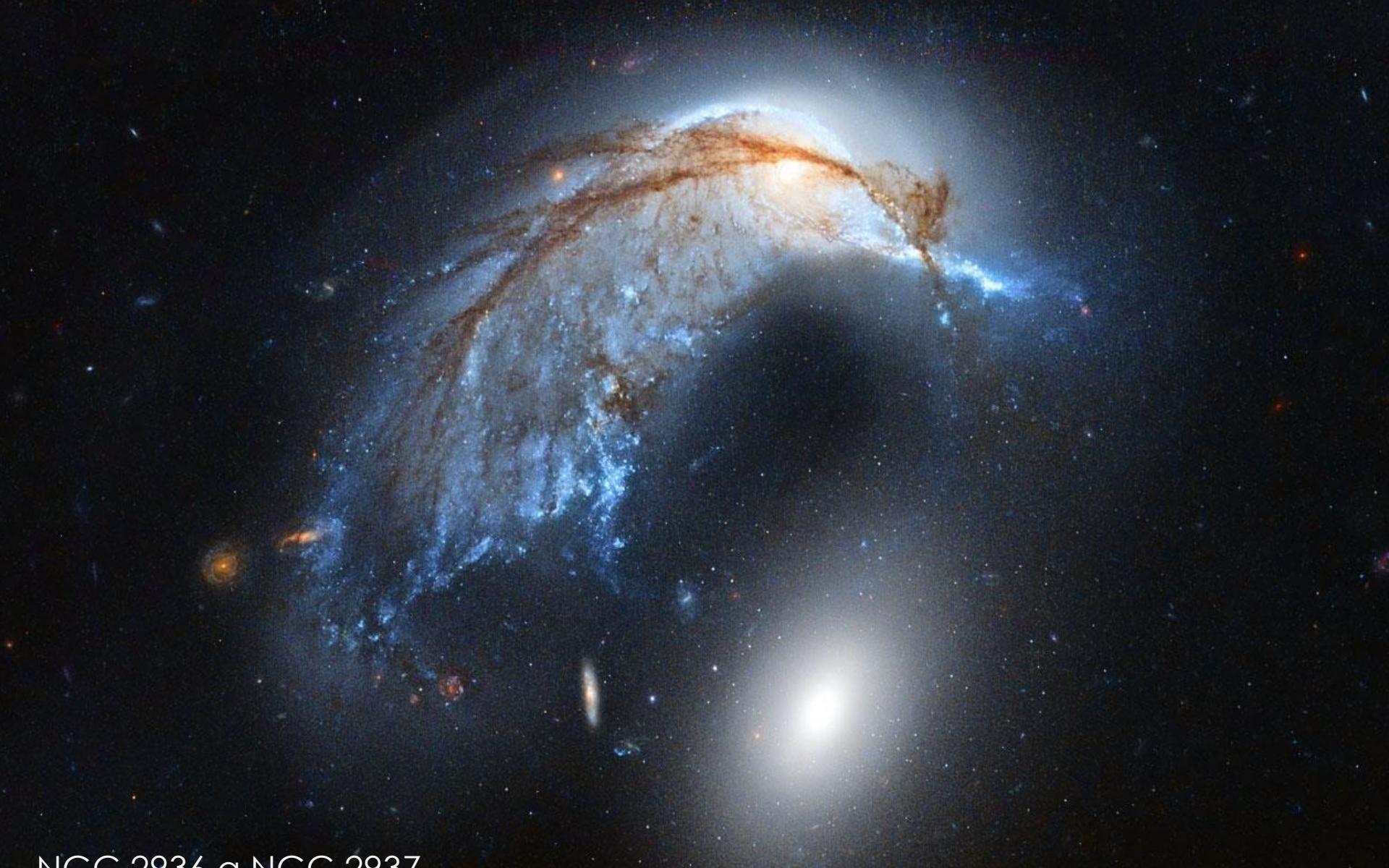
The three classes of galaxies are ellipticals, lenticulars and spirals.
Galaxies are classified based on their visual appearance.







M104



NGC 2936 & NGC 2937

Stephan's Quintet





NASA, ESA, R. Ellis (Caltech), and the HUDF 2012

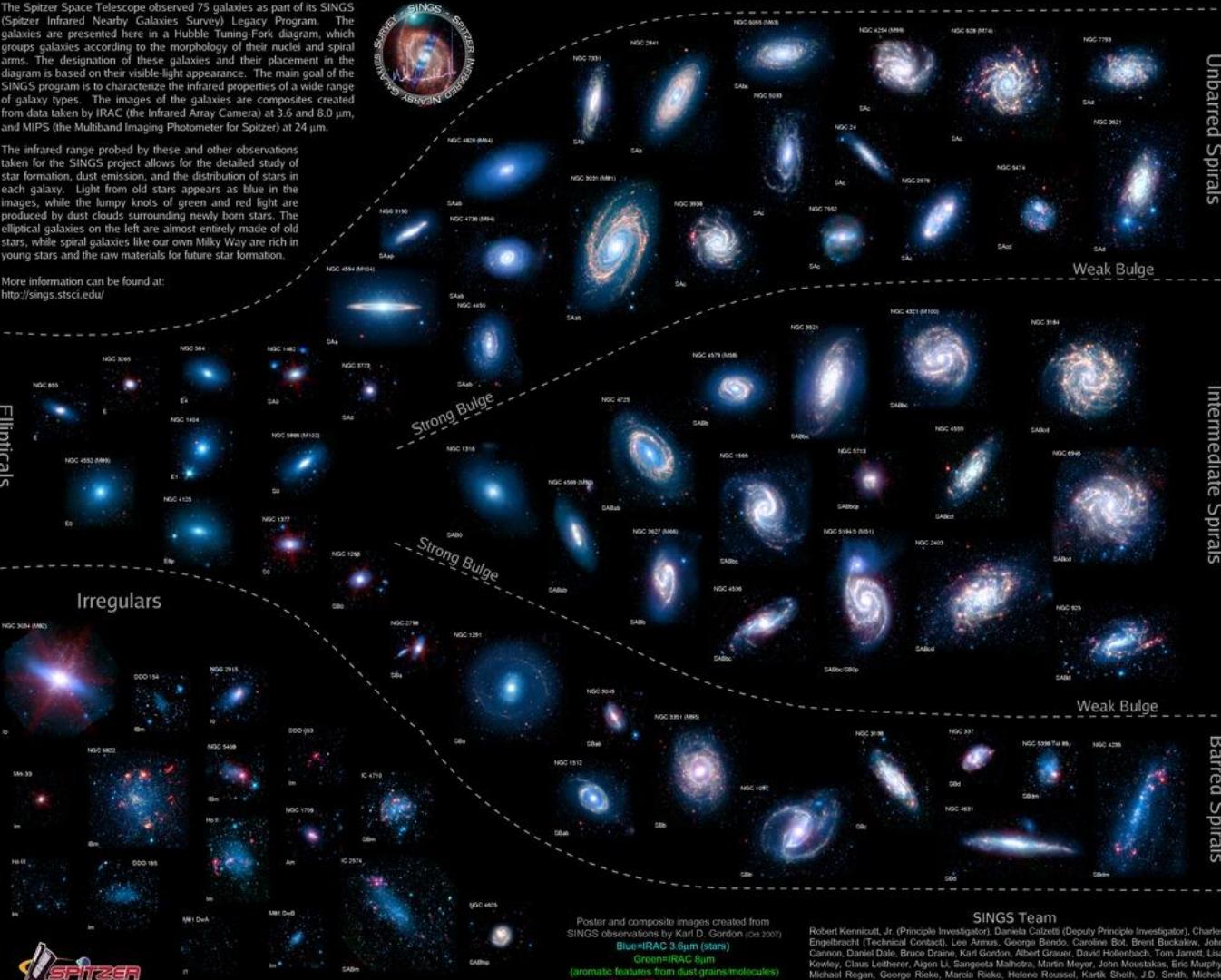
NASA, ESA, CSA, and STScI

The Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey (SINGS) Hubble Tuning-Fork

The Spitzer Space Telescope observed 75 galaxies as part of its SINGS (Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey) Legacy Program. The galaxies are presented here in a Hubble Tuning-Fork diagram, which groups galaxies according to the morphology of their nuclei and spiral arms. The designation of these galaxies and their placement in the diagram is based on their visible-light appearance. The main goal of the SINGS program is to characterize the infrared properties of a wide range of galaxy types. The images of the galaxies are composites created from data taken by IRAC (the Infrared Array Camera) at 3.6 and 8.0 μm , and MIPS (the Multiband Imaging Photometer for Spitzer) at 24 μm .

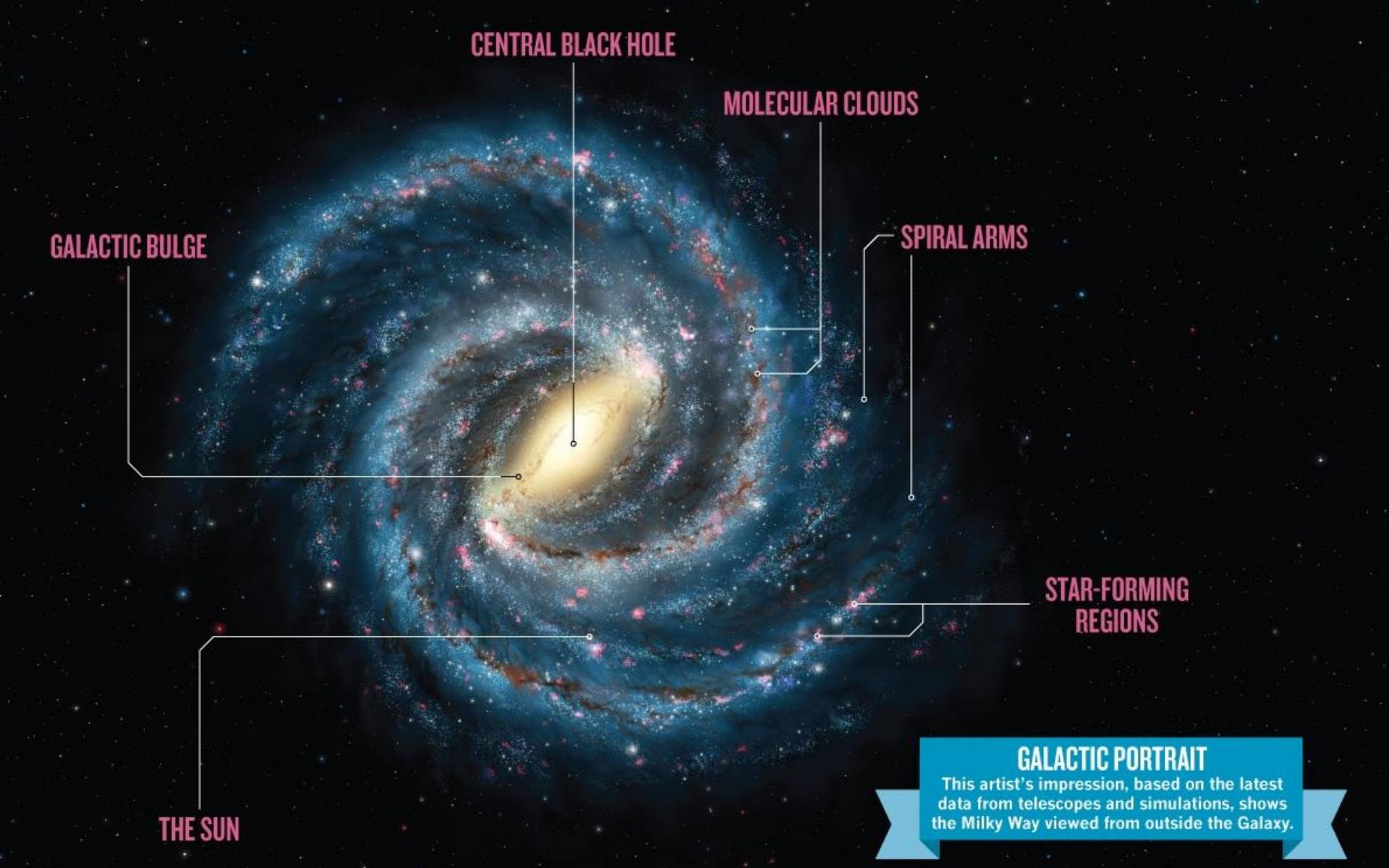
The infrared range probed by these and other observations taken for the SINGS project allows for the detailed study of star formation, dust emission, and the distribution of stars in each galaxy. Light from old stars appears as blue in the images, while the lumpy knots of green and red light are produced by dust clouds surrounding newly born stars. The elliptical galaxies on the left are almost entirely made of old stars, while spiral galaxies like our own Milky Way are rich in young stars and the raw materials for future star formation.

More information can be found at:
<http://sings.stsci.edu/>





Mliečna cesta – naša rodná zem



CENTRAL BLACK HOLE

GALACTIC BULGE

MOLECULAR CLOUDS

THE SUN

SPIRAL ARMS

STAR-FORMING
REGIONS

GALACTIC PORTRAIT

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



Mliečna cesta

- ▶ Špirálová galaxia s priečkou v centrálnej oblasti (SBc)
- ▶ Polomer disku 20 kpc
- ▶ Hrúbka disku je približne 1kpc
- ▶ Hmotnosť $10^{12} M_{\odot}$



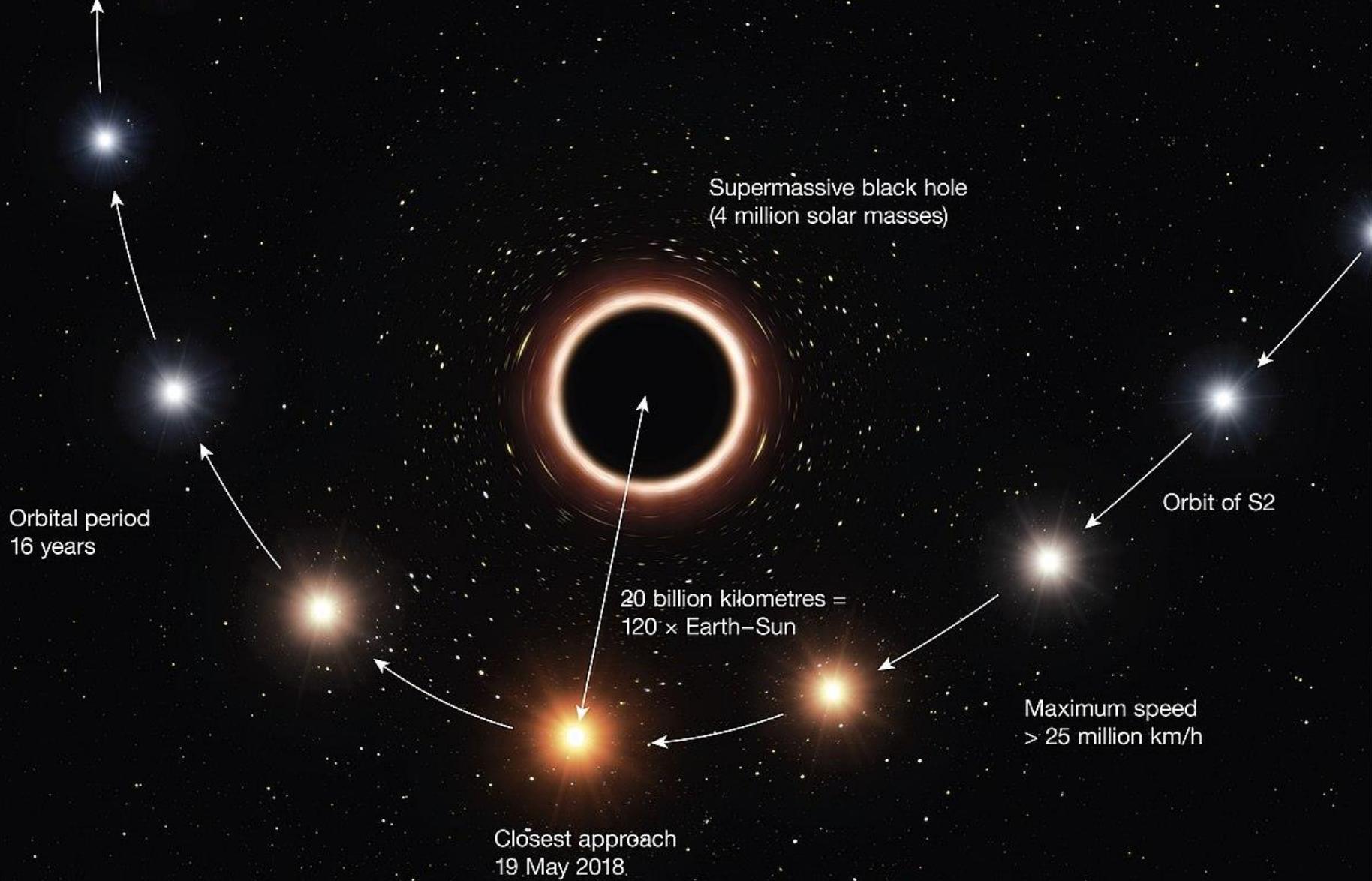
Priečka s výduťou

- ▶ Polomer približne 3,5 kpc
- ▶ Neobsahuje centrálnu výduť, ale priečku s takzvanou pseudovýduťou
- ▶ Dôvod sú predchádzajúce zrážky a pohlcovanie iných galaxií



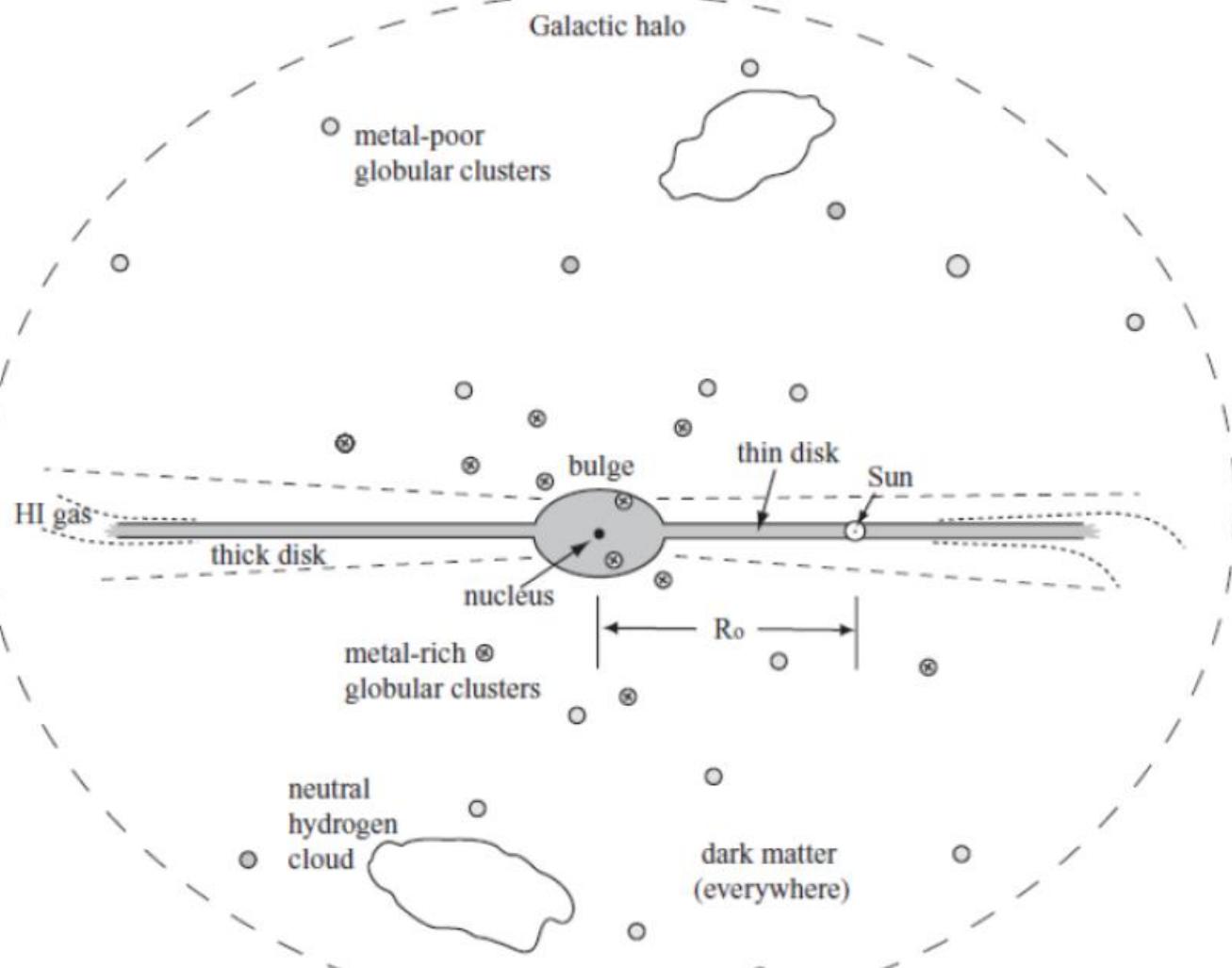
Centrálna oblasť – čierna diera

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

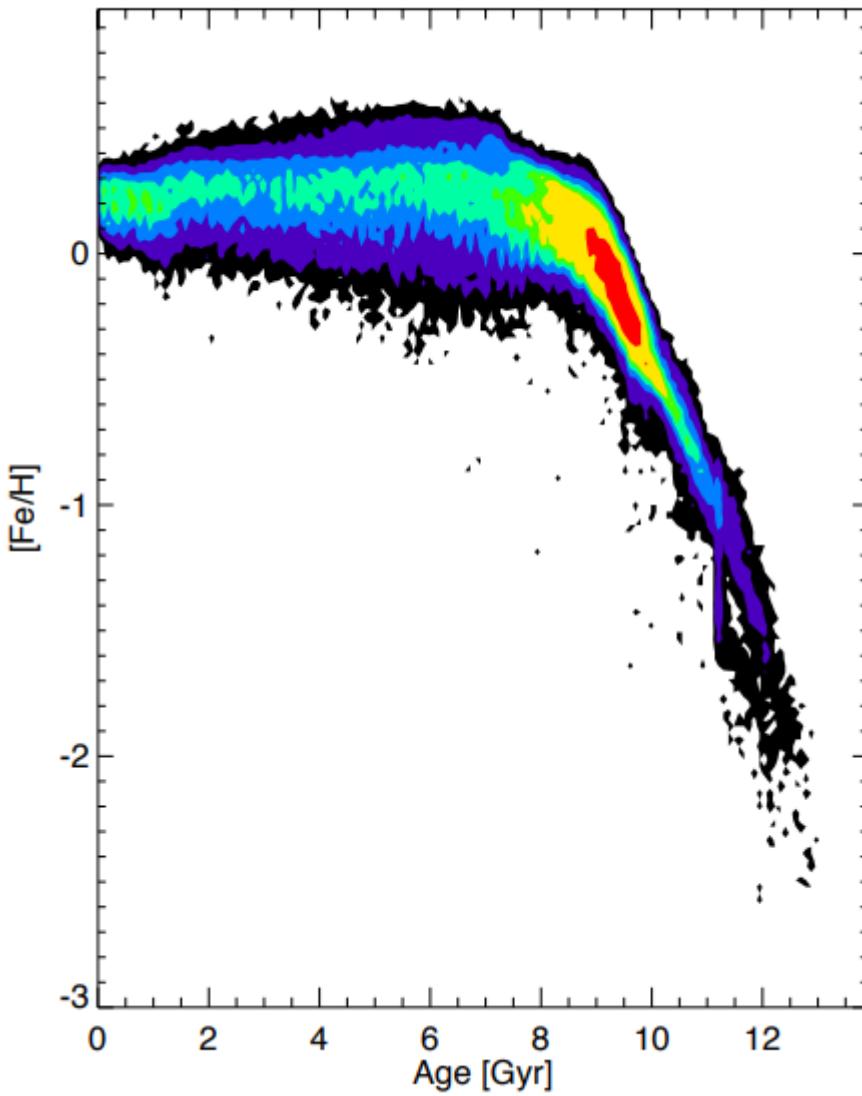


Galaktický disk

- ▶ Približne do 20 kpc od stredu
- ▶ Obsahuje väčšinu svietiacej hmoty – hviezdy, plyn a prach
- ▶ Hmotnosť - $8 \times 10^{10} M_{\odot}$



Metalicita

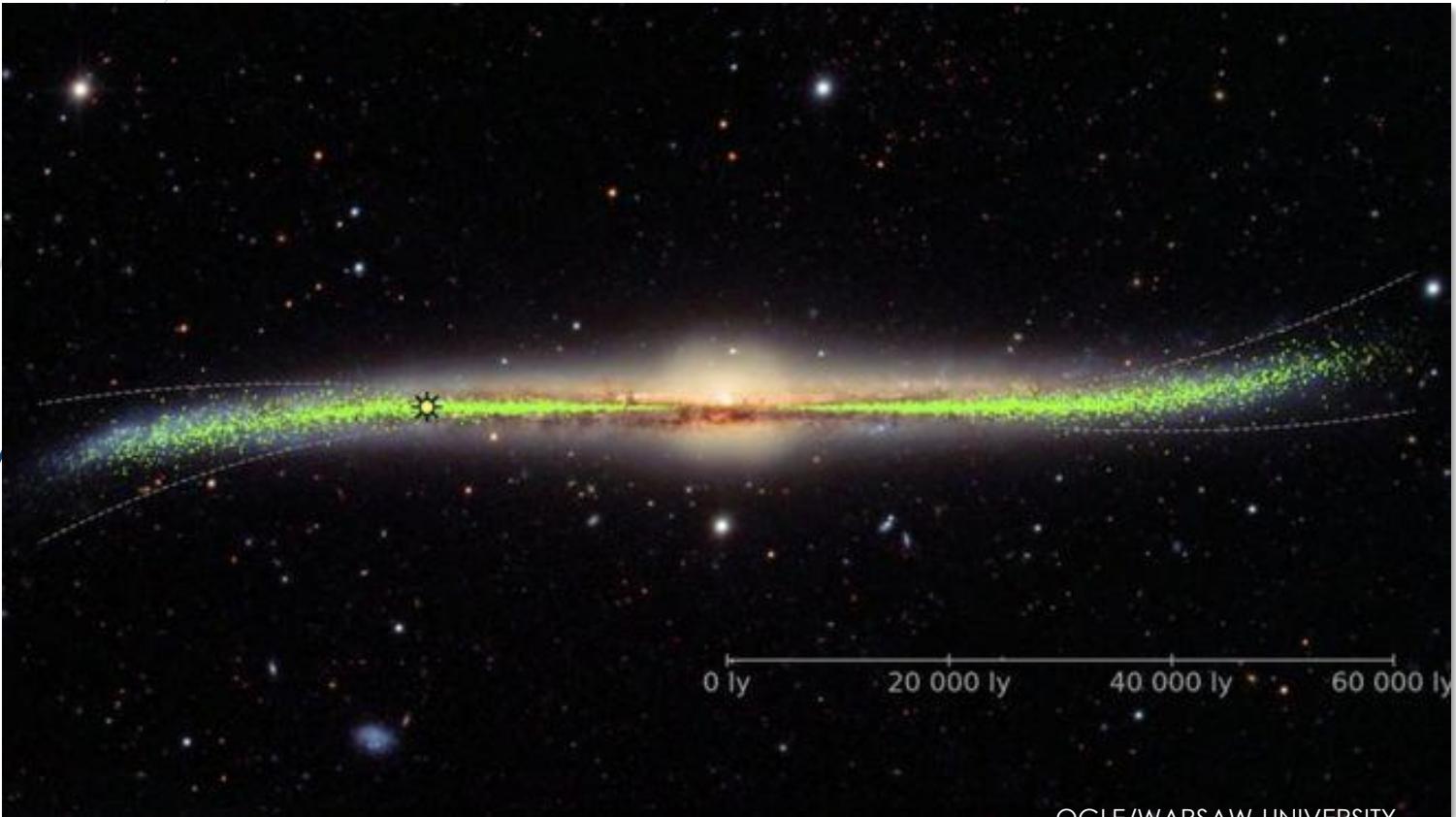




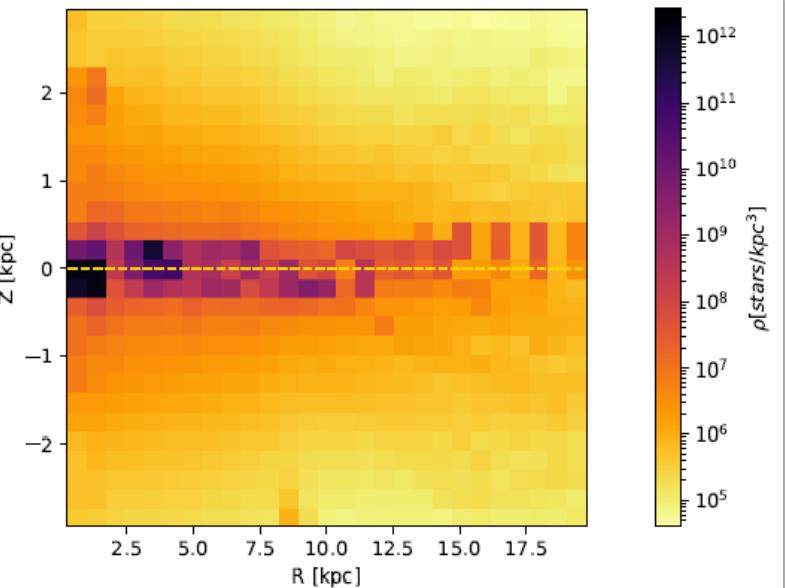
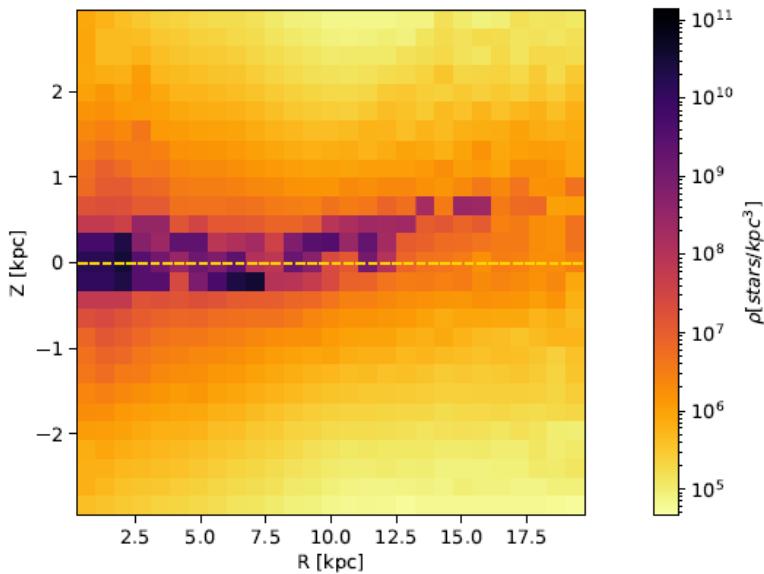
Štrukturálne asymetrie

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

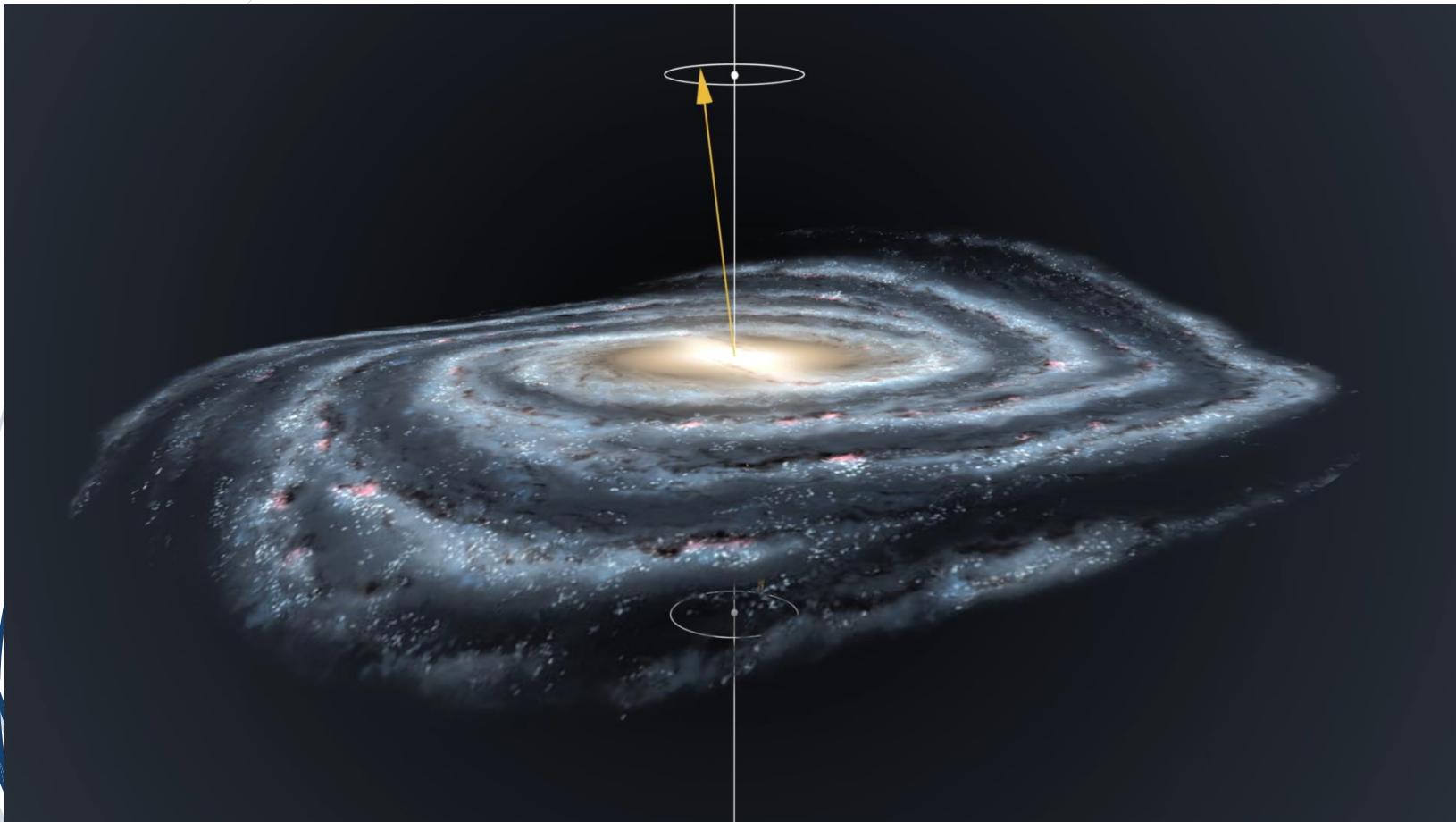
Štruktúra vonkajšieho galaktického disku - warp



Mapy hustoty hviezd



Galaktický warp - precesia

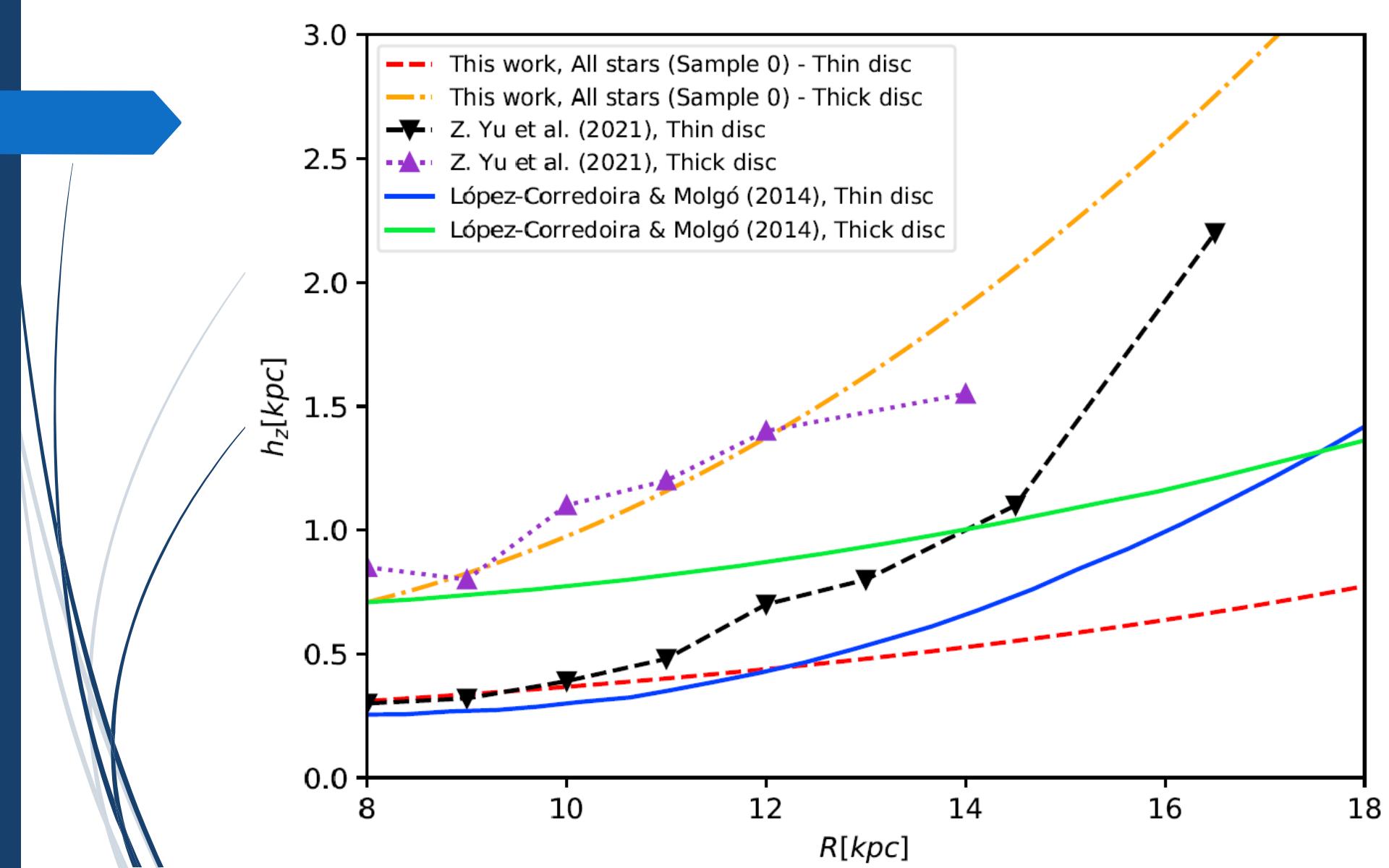


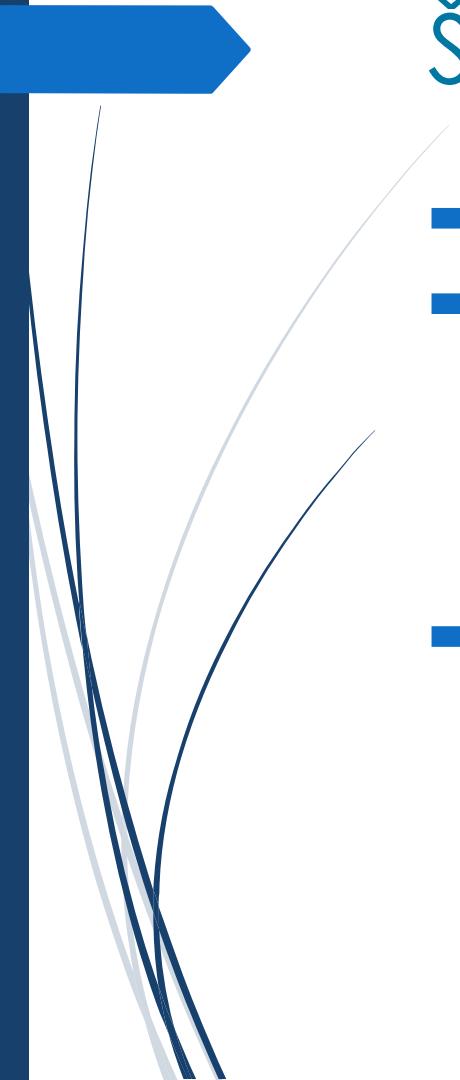
Galaktický flare

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

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

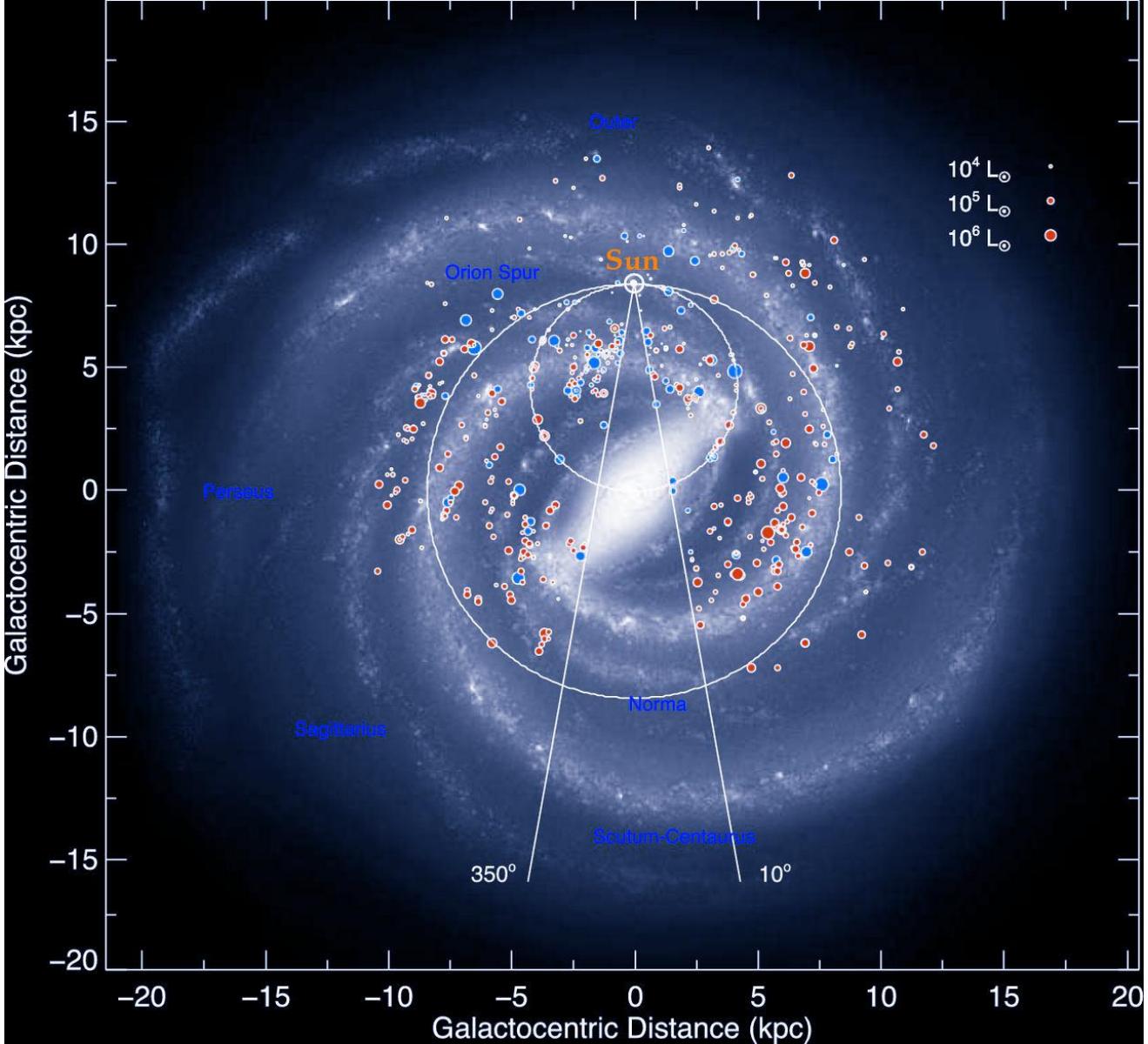
- ▶ Galaktický disk sa stáva hrubším vo vzdialých oblastiach Galaxie
- ▶ Pozorovaný vo vodíkovom plyne aj v populáciách hviezd





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 30 kpc)
- ▶ Skladá sa zo starých hviezd a guľových hviezdokôp
- ▶ Menej medzihviezdneho plynu, ktorý je príliš riedky na to, aby začalo formovanie hviezd



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 stácisíce hviezd
- ▶ Najstaršie hviezdy pochádzajúce z počiatočných fáz formovania vesmíru



M13

Guľové hviezdokopy

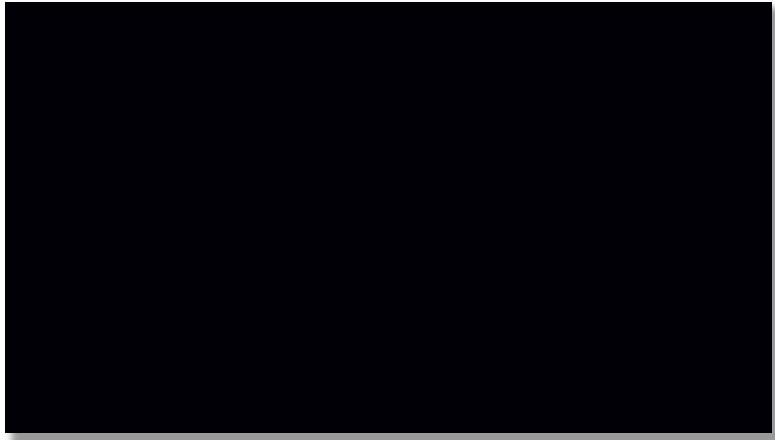




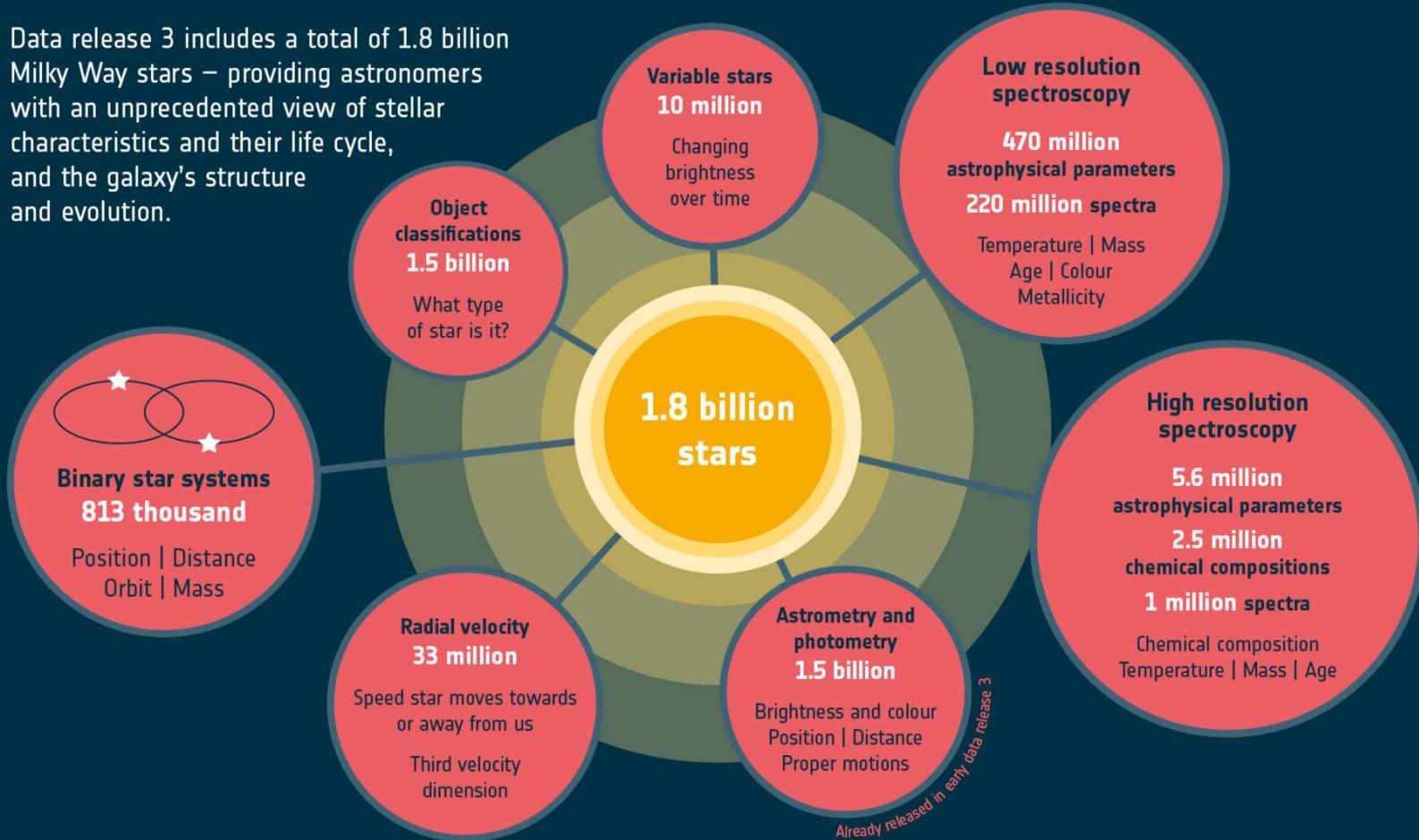
Gaia – astrometrická misia storočia



GAIA – misia desaťročia

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

Data release 3 includes a total of 1.8 billion Milky Way stars – providing astronomers with an unprecedented view of stellar characteristics and their life cycle, and the galaxy's structure and evolution.





Záver

- ▶ Stručný historický úvod
- ▶ Rôznorodé galaxie
- ▶ Štruktúra Mliečnej cesty
- ▶ Gaia, najzasadnejšia astrometrická misia súčasnosti
- ▶ Štruktúry v galaktických predmestiacach



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



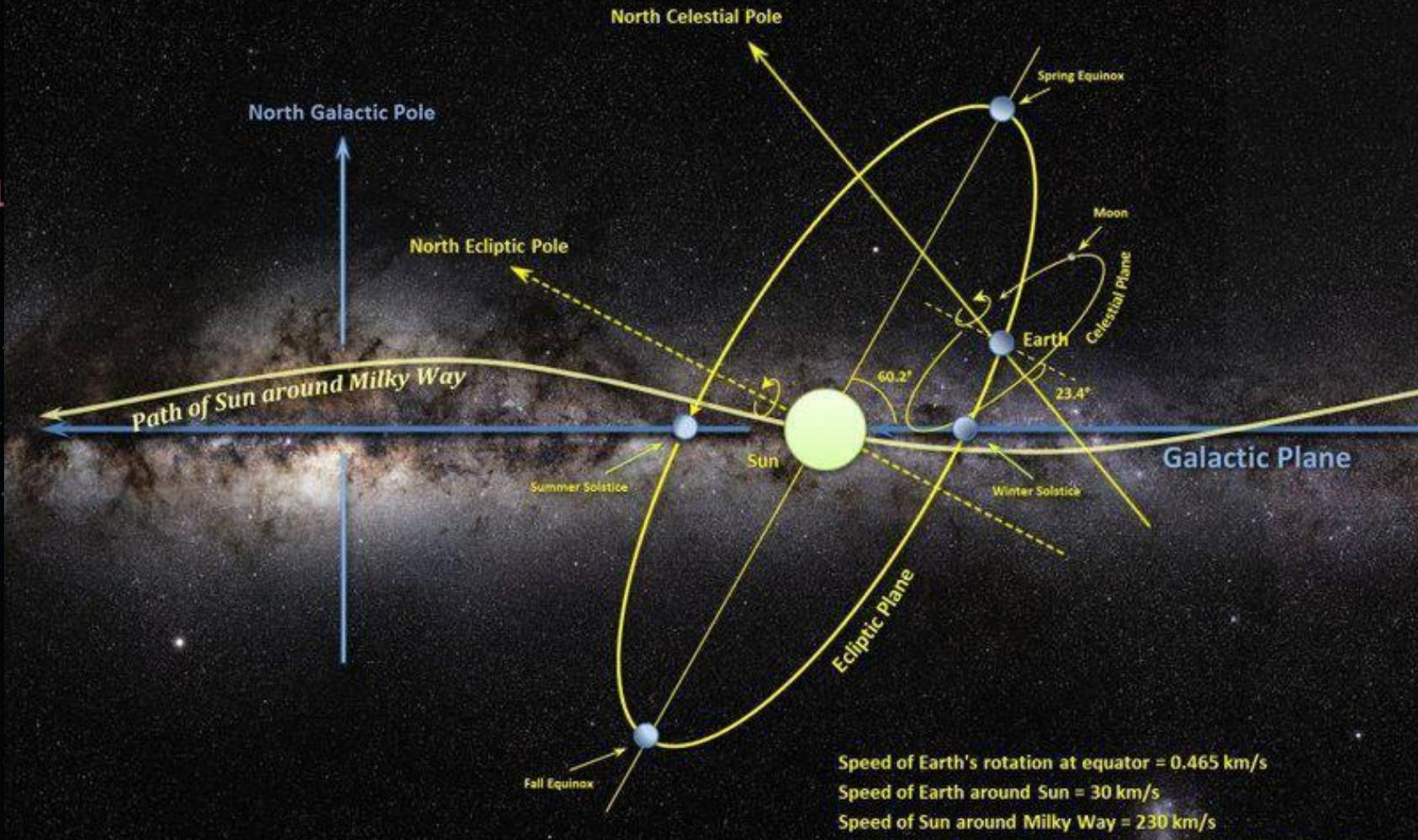
roman.nagy33

roman nagy

Ďakujem za pozornosť

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

Stelárne prúdy

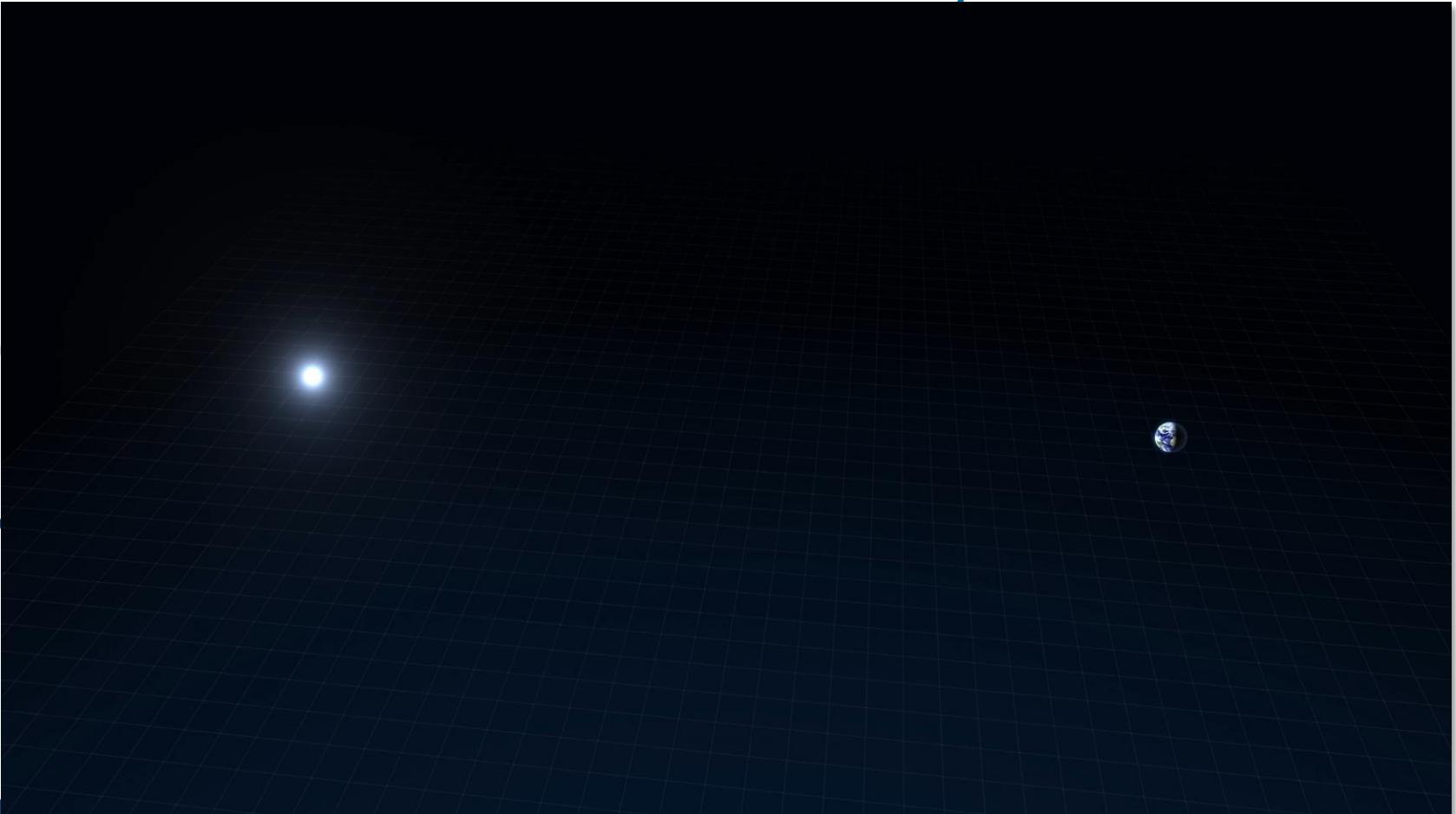


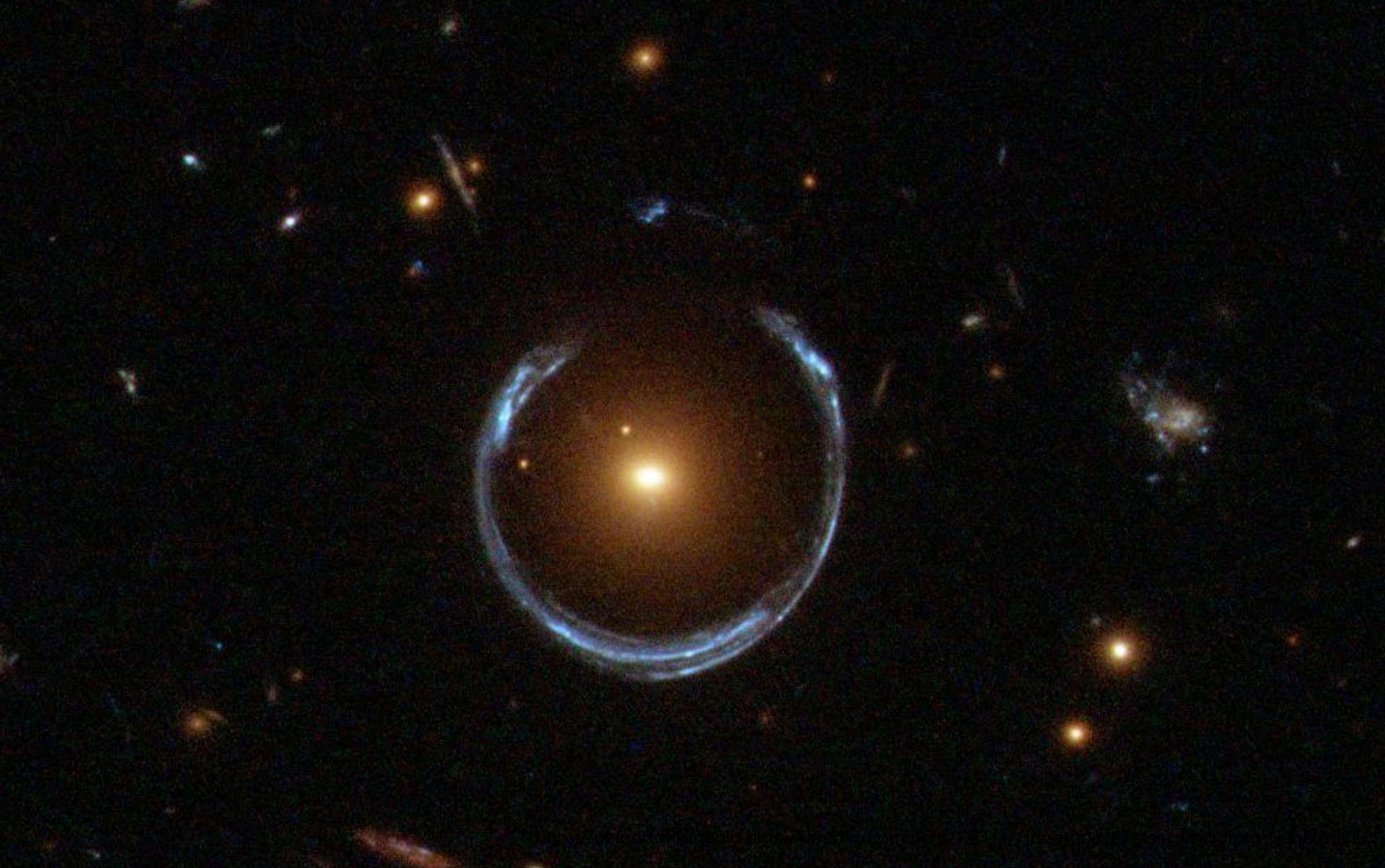


Pôvod asymetrie?

- ▶ Tlak akrécie medzигalaktickej 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 hala tmavej hmoty (Debattista a Sellwood 1999)

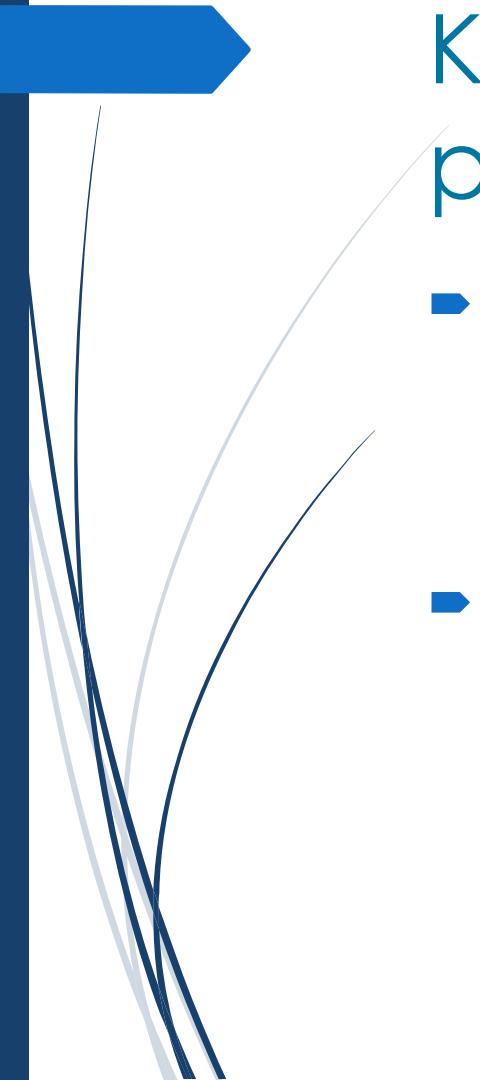
Gravitačné šošovky





www.apod.nasa.gov

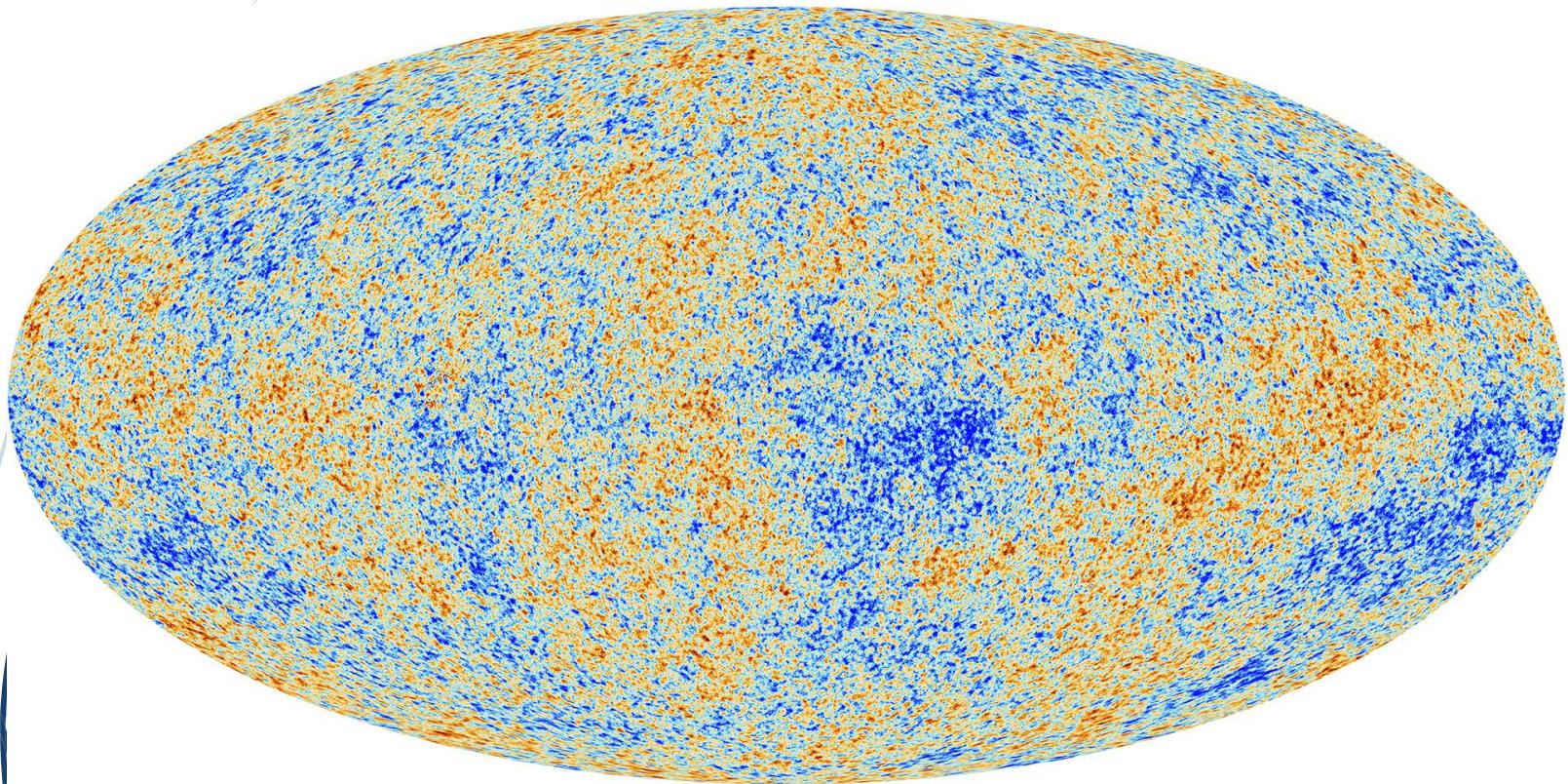
Michael M. Shchikin / Space Photo



Kozmické mikrovlnné pozadie

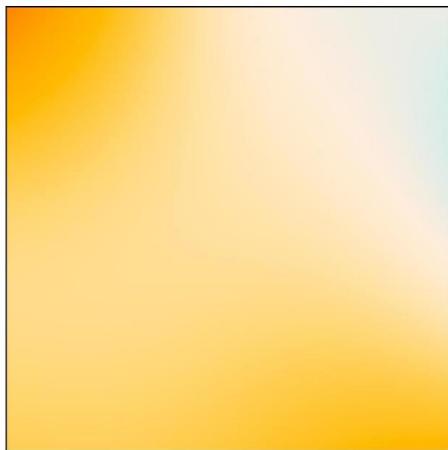
- ▶ Gravitačné pôsobenie tmavej hmoty ovplyvnilo rozloženie hmoty v počiatočných fázach vývoja vesmíru
- ▶ Anizotropie v kozmickom mikrovlnnom pozadí (okrem iného) zodpovedajú vplyvu tmavej hmoty

Planck 2013

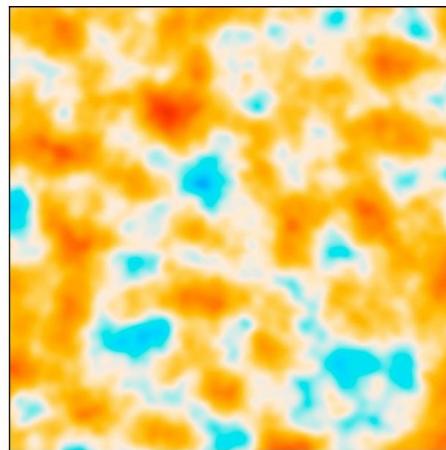
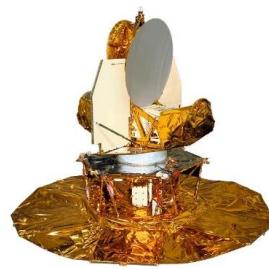


http://www.esa.int/var/esa/storage/images/esa_multimedia/images/2013/03/planck_cmb/12583930-4-eng-GB/Planck_CMB_0001.jpg

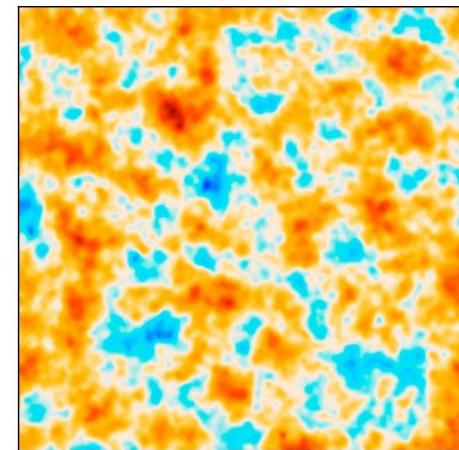
Porovnanie



COBE



WMAP



Planck