

Galaxie a galaxie

Mliečna cesta na nočnej oblohe



Mliečna cesta na nočnej oblohe



*Petr Horálek,
Rarotonga,
Cookove ostrovy*

*Petr Horálek,
Mangaia,
Cookove ostrovy*



Prvé pozorovania Mliečnej cesty

- staroveké Grécko:
 - rieka mlieka vytekajúca z prsa Hery
 - galaxy = mlieko
- staroveký Rím – cesta naprieč oblohou „Via Lactea“
- 1610 - **Galileo Galilei** – *Siderius Nuncius*
 - nie lumina (nebeská kvapalina), ale množstvo bledých hviezd nerozlíšiteľných voľným okom

Galaxia – tá naša domovská, Mliečna cesta, Mliečna dráha
galaxia – ktorákoľvek galaxia

Formovanie predstáv stavby Galaxie

Immanuel Kant

- 1750 - *General Natural History and Theory of the Heavens*
- nepozoroval
- prvý popis Galaxie:
 - ak gravitačná sila pôsobí tak ako medzi planétami a Slnkom, tak hviezdy na svojich dráhach sú hlavne v rovine a niektoré mimo nej → disk šošovkovitého tvaru
 - malé hmloviny sú vzdialené nové galaxie
- od roku 1845 teória známa ako: *Island universes*

Formovanie predstáv stavby Galaxie

Charles Messier

- 1781 - katalóg 109 jasných hmlovín severnej oblohy (hviezdokopy, hmloviny, galaxie)
- rozlíšenie komét
- „M“ + číslo:
 - M 31 – Galaxia v Androméde
 - M 33 – Galaxia v Trojuholníku

Prvý model Galaxie: Herschelov model

William Herschel

+ sestra Caroline a syn John

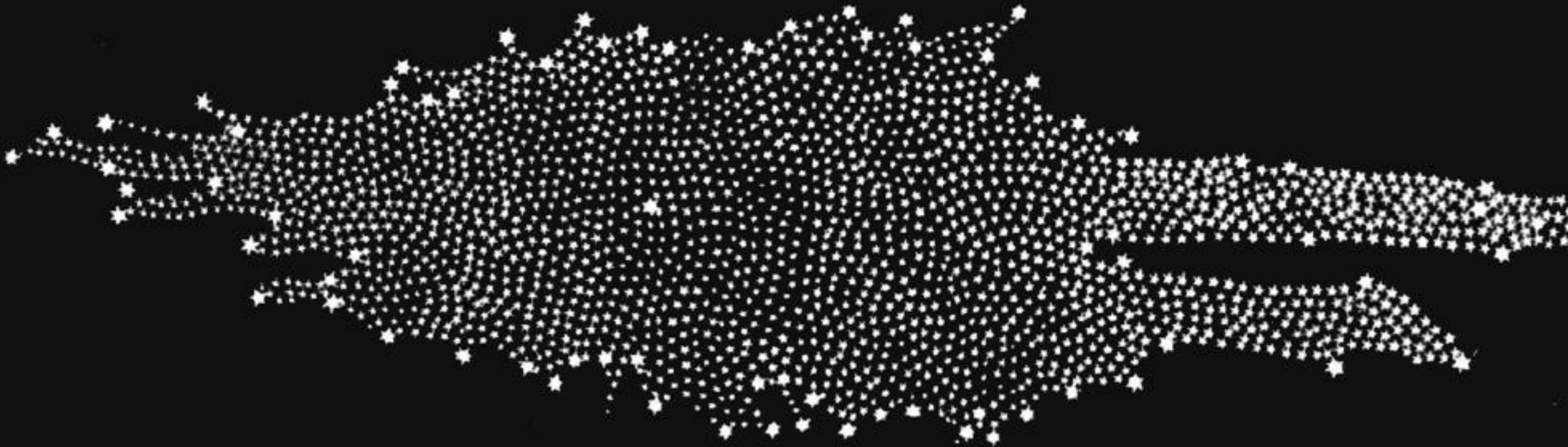
- pozorovanie severnej a južnej oblohy
- katalóg takmer 5 000 hmlovín + 3 300 nových
- rozlíšenie hviezd v hmlovinách – Kantove ostrovy

- 1775 – pozorovanie vybraných oblastí (683) s 45 cm ďalekohľadom = snaha o stanovenie rozloženia hviezd
 - prvé predpoklady:
 - rovnaké žiarivé výkony a rovnomerne rozloženie v hviezdnej sústave (Slnko – Sírius, vzájomne všetky hviezdy) + priestor je prázdny a priehľadný
 - neuvažoval absorpciu, „videl“ na okraj Galaxie
 - nepoznal absolútne rozmery

Prvý model Galaxie: Herschelov model

1785 – *On the Construction of the Heavens*

10 000 ly x 1 000 ly



William Huggins

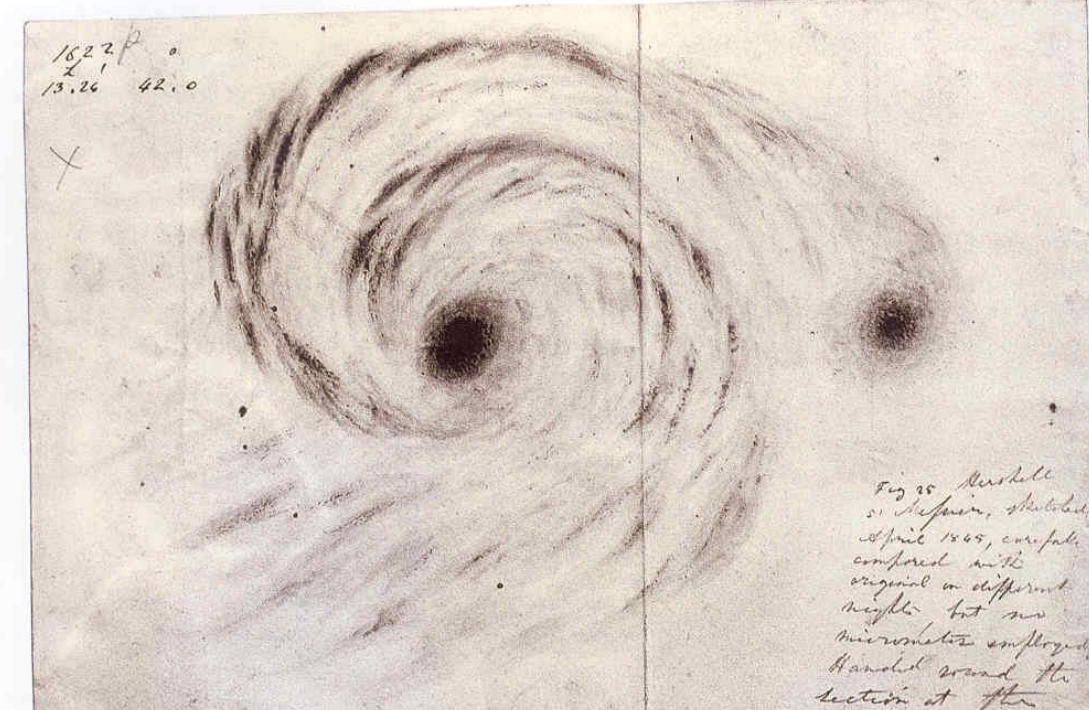
- štúdium spektier: rozlíšenie hviezd a plynov

John Louis Emil Dreyer

- 1888 - *New General Catalogue* (NGC)
 - 8 000 hmlovín
 - 1908 – nové vydanie, 13 000 hmlovín
- *Index Catalogue* (IC)

William Parsons – lord Rosse

- 1845 – pozorovanie Vírovej galaxie, Poľovné psy
 - špirálna štruktúra ako výsledok rotácie



Jacobus Kapteyn

- vlastný pohyb hviezd – nie náhodný, hviezdy idú v dvoch prúdoch: k nám a proti nám (Kapteynove prúdy) → **prvá evidencia rotácie Galaxie**
- pozoroval 200 zvolených oblastí na oblohe
- koordinoval astronómov po celom svete pri fotografovaní nočnej oblohy (viac ako 40 observatórií)
- analyzoval snímky – pozorovaná jasnosť, spektrálny typ, radiálna rýchlosť a vlastný pohyb hviezd
- určil priemernú vzdialenosť hviezd rôznej jasnosti a z analýzy počtu hviezd vytvoril rozloženie hviezd v priestore

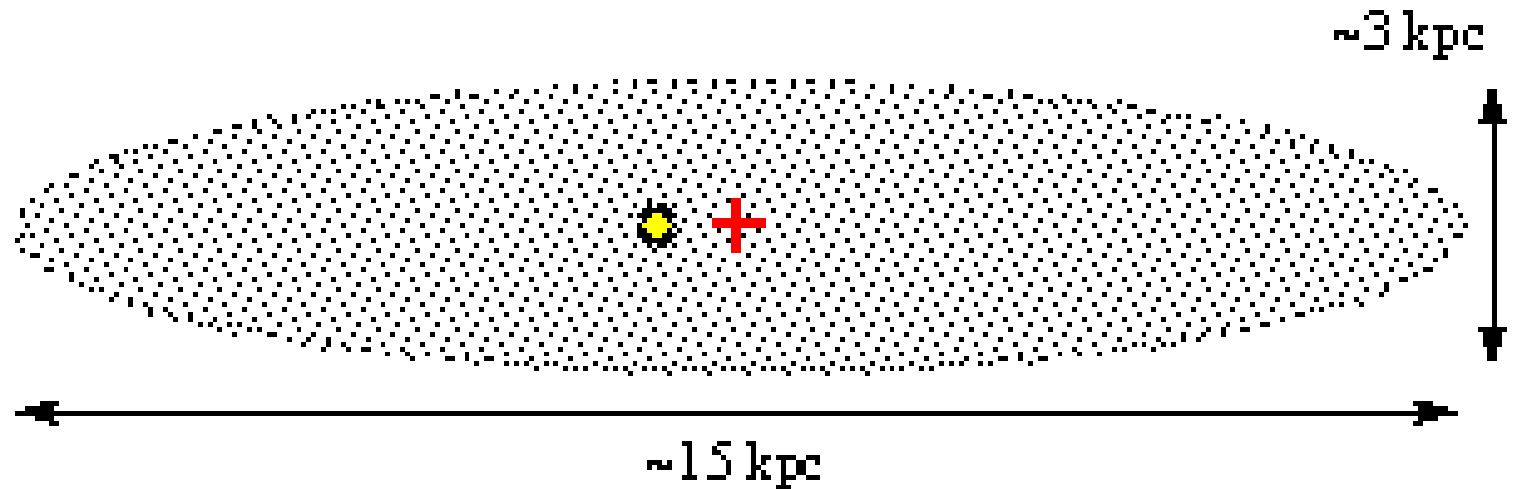


Kapteynov vesmír

Kapteynov vesmír

1922 – *First attempt at a theory of the arrangement and motion of the sidereal system*

- súhlas s Herschelovou prácou
 - sme blízko centra
 - hviezdy sú rozložené v sploštenom sférickom tvare (5 : 1)
- pokles hustoty hviezd so vzdialenosťou od centra



Kapteynov vesmír

- Slnko umiestnené zľahka mimo rovinu Galaxie, vzdialenosť 2 100 ly od centra
- menej ako 10% hviezd sú do 2 200 ly od centra Galaxie
- alternatívne vysvetlenie absorpcie – medzihviezdna hmota
 - ovplyvnenie vzdialenosti - evidencia oblastí, ktoré boli zatemnené – napr. aj centrálna oblasť Mliečnej cesty
 - Rayleighov rozptyl - atómy plynu môžu odkloniť slnečné lúče
 - ak je v medzihviezdnom priestore plyn, potom svetlo cestujúce k nám môže byť pohltené a tým bude zoslabená jasnosť hviezd
 - pri Rayleigho rozptyle je viac ovplyvnená modrá časť spektra = sčervenanie → vzdialenejšie hviezdy by mali byť červenšie

Kapteynov vesmír

- 1909 – porovnávanie pozorovanej jasnosti hviezd zaznamenatej fotografickými doskami voči vizuálnym pozorovaniam.
 - Fotografické dosky boli citlivejšie na modrú oblasť, kým ľudské oči sú citlivejšie na červenú.
 - nájdené len malé známky sčervenania v dátach



medzihviezdny materiál je nedôležitý

- dochádza hlavne k absorpcii než k rozptylu – menej závislá na vlnovej dĺžke a menej pôsobí sčervenanie

Harlow Shapley

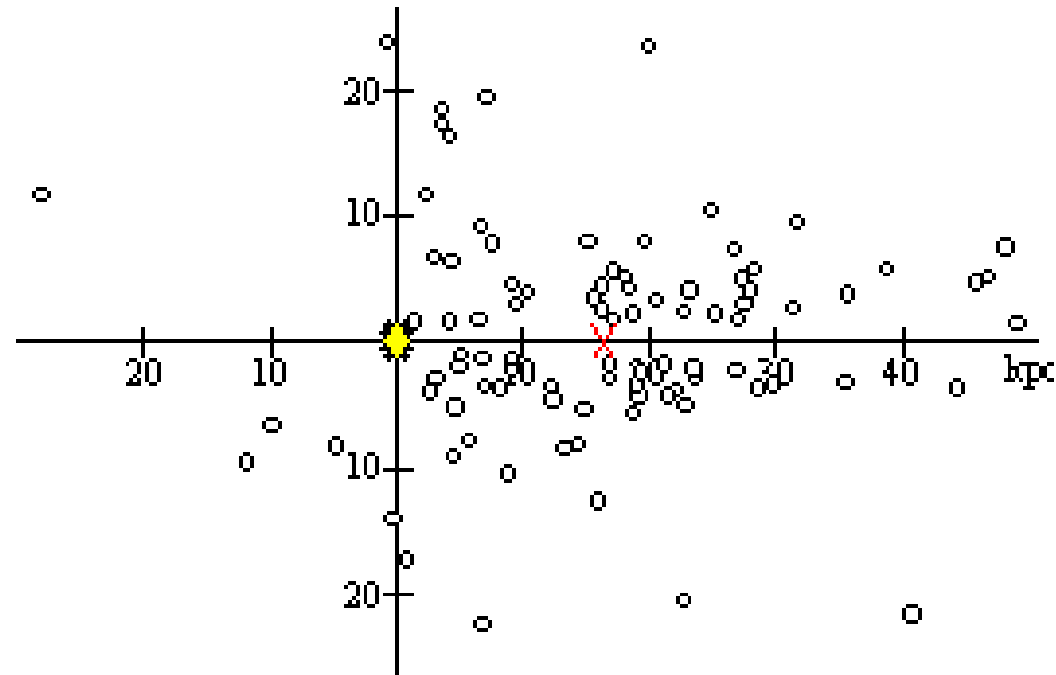
- Guľové hviezdokopy
 - rovnomerné rozloženie nad a pod rovinou Galaxie
 - koncentrácia narastá smerom ku Strelcovi
- zmeral vzdialenosť guľových hviezdokôp pomocou premenných hviezd (RR Lyrae)
- zmapoval rozloženie hviezdokôp
- takmer žiadne guľové hviezdokopy nie sú bližšie než 3 200 ly od roviny Galaxie – predpokladal, že ich gravitácia Galaxie rozruší
 - nepoznal absorpciu

Harlow Shapley

- výsledky
 - guľové hviezdokopy sú sústredené na centrum
 - Slnko 53 000 ly od centra
 - Mliečna cesta – sploštený disk s priemerom 326 000 ly
- neuvažoval absorpciu a preto preceňoval vzdialenosti

hviezda – Slnko
X - centrum

Shapley's Globular Cluster Distribution



Veľká debata

- apríl 1920 – Kapteynov vs. Shapleyov model Galaxie
- Heber Curtis (zástanca Kapteynovho modelu)
 - špirálové hmloviny – tmavý pás okolo centra – prachový materiál, ktorý zakrýva
 - zóna vyhýbania – región blízko roviny Galaxie, kde nie sú pozorované špirálové hmloviny – vysvetlenie – Galaxia má absorbujúci prstenec špirálové hmloviny všetky ležia za týmto prstencom
 - chyba – všetok materiál leží v prstenci na veľkom polomere
- Harlow Shapley
 - Galaxia je veľmi veľký systém
 - všetky špirálové hmloviny sú oveľa menšie, inak by museli byť v neskutočných vzdialenostiach

Ktorý model bol správny?

→ ani jeden

Robert Julius Trumpler

- 1930 – pozoroval otvorené hviezdokopy
 - podľa uhlového rozmeru a predpokladu ich rovnakej veľkosti vypočítal ich vzdialenosť
 - bledšie, než predpoklady
 - medzihviezdna hmota, ktoré ich cloní



Shapleyho model a Kapteynov model nesprávny

Edwin Hubble

- od 1919 - Mount Wilson observatórium
- nový 2,5 metrový teleskop (starý 1,5 metrový nerozlíšil detaily hmlovín, riaditeľ George Ellery Hale)
 - detekcia svetlo sviečky zo vzdialenosti 12 900 km.
 - rozlíšenie vonkajších častí dvoch blízkych špirálových hmlovín = roj slabých objektov nerozoznateľných od hviezd
 - ak by boli podobné ako najjasnejšie hviezdy v Mliečnej cesty, tak hmloviny musia byť ďalej (než sa predpokladalo)



Edwin Hubble

- 1923 – niekoľko jasných hviezd v M 31 sa mení charakteristicky ako Cefeidy
 - určenie vzdialenosti M 31 pomocou cefeíd
 - 1 milión ly (súčasná hodnota 2,5 miliónov ly)
- Andromeda hmlovina nie je súčasťou Mliečnej cesty, ale je to porovnateľný hviezdny systém
- Mliečna cesta je len jedna spomedzi galaxií
- špirálové hmloviny = špirálové galaxie
eliptické hmloviny = eliptické galaxie

Bertil Lindblad

- 1927 – kinematický model našej galaxie – vysvetlenie pozorovanej štruktúry pomocou pohybu a gravitačného pôsobenia
 - Galaxia je rozdelená do podsystémov, z ktorých každý je symetrický okolo centrálnej osi celého systému
 - sploštenosť závislá na dominantnom pohybuje – rotácie vs. náhodné
 - najbližšie hviezdy majú veľmi malú rýchlosť voči Slnku → malý náhodný pohyb → veľmi sploštený disk
 - meranie rýchlosti Slnka a blízkych hviezd relatívne voči strednej rýchlosti nerotujúcich populácií guľových hviezdokôp → blízke hviezdy v disku Galaxie rotujú s rýchlosťami 200km/s až 300km/s

Jan Oort

- 1927 - potvrdil Lindbladovu teóriu
- prevzal teóriu Lindblada
- spočítal vzdialenosť Slnka od centra 30 000 ly
- spočítal periódu obehu Slnka okolo centra 225 miliónov rokov
- ukázal, že vzdialenejšie hviezdy (od centra Galaxie) rotujú pomalšie

Pozorovanie neutrálneho vodíku

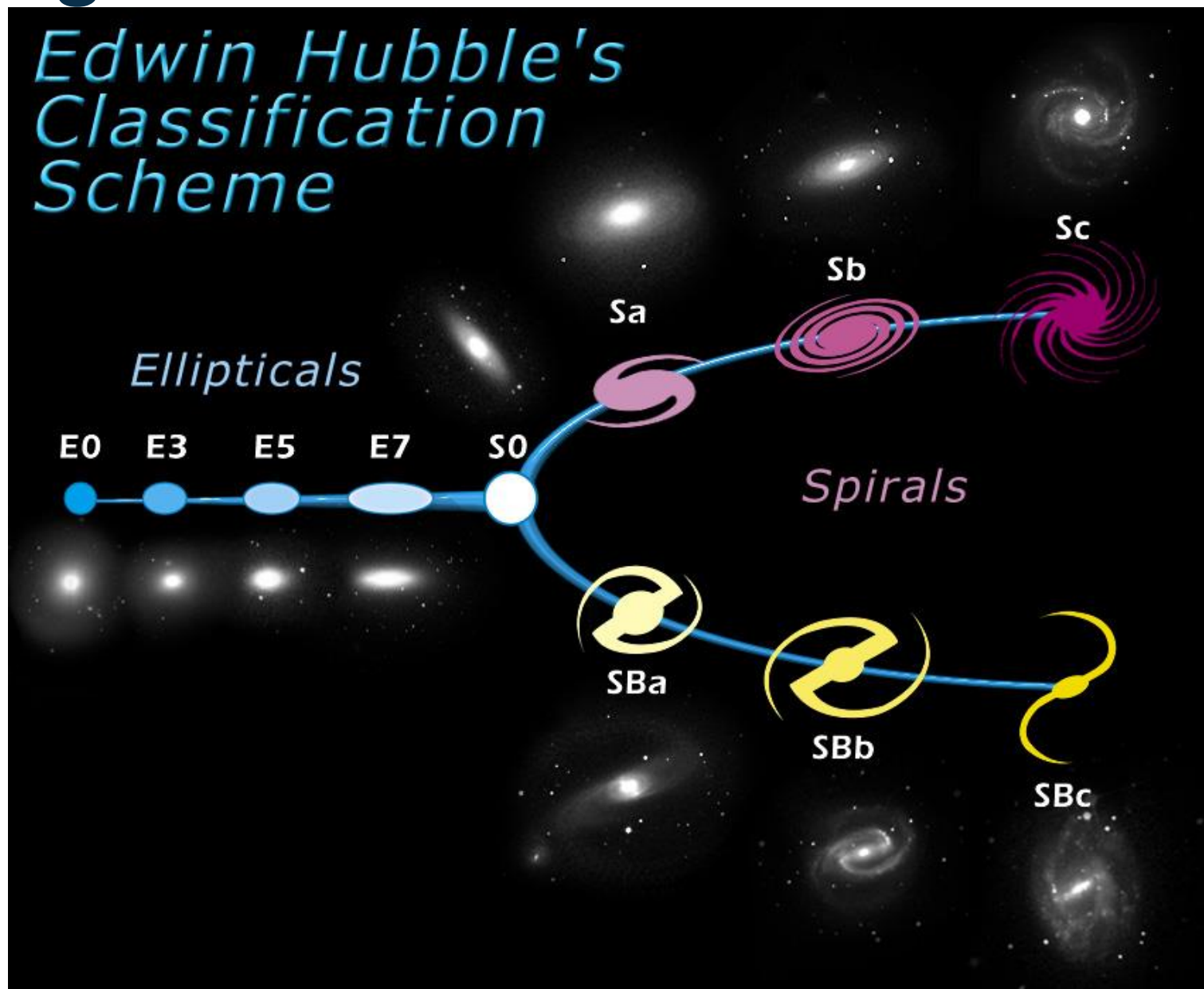
- plyn v systéme emituje rádiové vlny
- 1932 – Karl Jansky – Mliečna cesta emituje široké spektrum rádiových vln
 - silná 21 cm – predpovedaná v roku 1944 (H.C. van de Hulst), potvrdená až v roku 1951
- využitie 21 cm – študovanie kinematiky na veľkých škálach Mliečnej cesty
 - atomárny vodík (HI) – hlavný komponent Galaxie
 - prestupuje disk do vzdialenosti dvoch polomerov Slnčnej sústavy – stopár vlastností disku Galaxie
- 1958 – Oort, Kerr a Westerhout – kombinácia pozorovaní zo severnej a južnej pologule – prvá mapa rozloženia atomárneho vodíku v Galaxii
 - plyn je silne koncentrovaný v rovine
 - pohybuje sa približne po kruhových dráhach okolo centra Galaxie
 - nerovnomerné rozloženie so zvýšeným obsahom – špirálová štruktúra

Walter Baade

- 1944 - výpadok energie v Los Angeles
 - 2,5m teleskop, Mount Wilson
 - rozlíšenie individuálnych hviezd vo vnútorných regiónoch blízkych eliptických galaxií
 - analýza farby a jasnosti
 - najjasnejšie hviezdy (v eliptických aj špirálových galaxiách) sú červení obri, odlišné od modrých nadobrov, ktoré sú v špirálových ramenách v disku
- *populácia I* – žiarivé modré hviezdy, okolie s prachom a plynom
 - otvorené hviezdokopy a hviezdne disky
- *populácia II* – červené hviezdy, okolie bez prachu a plynu
 - guľové hviezdokopy, galaktické sféroidy, eliptické galaxie
- populácia III - nepozorujeme

Hubblova klasifikácia galaxií

- 1936 – Hubblova ladička
- 1994 - *Caregie Atlas of Galaxies* – Sandage a Bedke – doplnili rozdelenie
- predpokladal vývoj zľava doprava
 - skorý typ → neskorý typ
- <http://www.galaxyzoo.org/>



Hubblova klasifikácia galaxií

- eliptické galaxie – hladké a bez štruktúry, E0-E7
- trpasličie eliptické galaxie – dE
- trpasličie sférické galaxie – dSph – veľmi malá hustota hviezd (javia sa ako zoskupenia slabých hviezd)
- delenie na normálne a s priečkou
 - rovnaké zastúpenie
 - v „edge-on“ systémoch môže bežne dochádzať k zámene
- šošovkové galaxie – S0 (bez priečky), SB0 (s priečkou)
- špirálové galaxie - S (bez priečky), SB (s priečkou)
 1. žiarivosť výdute
 2. tesnosť natočenia ramien
 3. rozlíšiteľnosť ramien na hviezdy
- nepravidelné galaxie – Irr I, Irr II - nezvyklé spektrálne rozloženie, zvláštny tvar

Hubblova klasifikácia galaxií

1959 - de Vaucouleurs – rozšírenie Hubblovej klasifikácie

- Sd – prekrýva a rozširuje Sc triedu, aj objekty z Hubblovho Irr I
- Sm a Im – zvyšné galaxie z Irr I, „m“ je „Magellanic“

- SA – špirálová galaxia bez priečky
- SAB – špirálová galaxia so slabou priečkou
- SO – len v prípade, že nevieme či má priečku

- 1979 – De Vaucouleurs a následne Kormendy
 - prstence: centrálné, vnútorné, vonkajšie (r/s)

Vírová galaxia
(M 51, NGC 5194)

- špirálová galaxia bez priečky
- 35 miliónov ly
- priemer 60 000 ly



Sombrérová galaxia
(M 104, NGC 4594)

- špirálová galaxia bez priečky
- 28 miliónov ly
- priemer 50 000 ly



Vretno galaxia
(M 102, NGC 5866)

- šošovková galaxia
- 49 miliónov ly
- priemer 60 000 ly



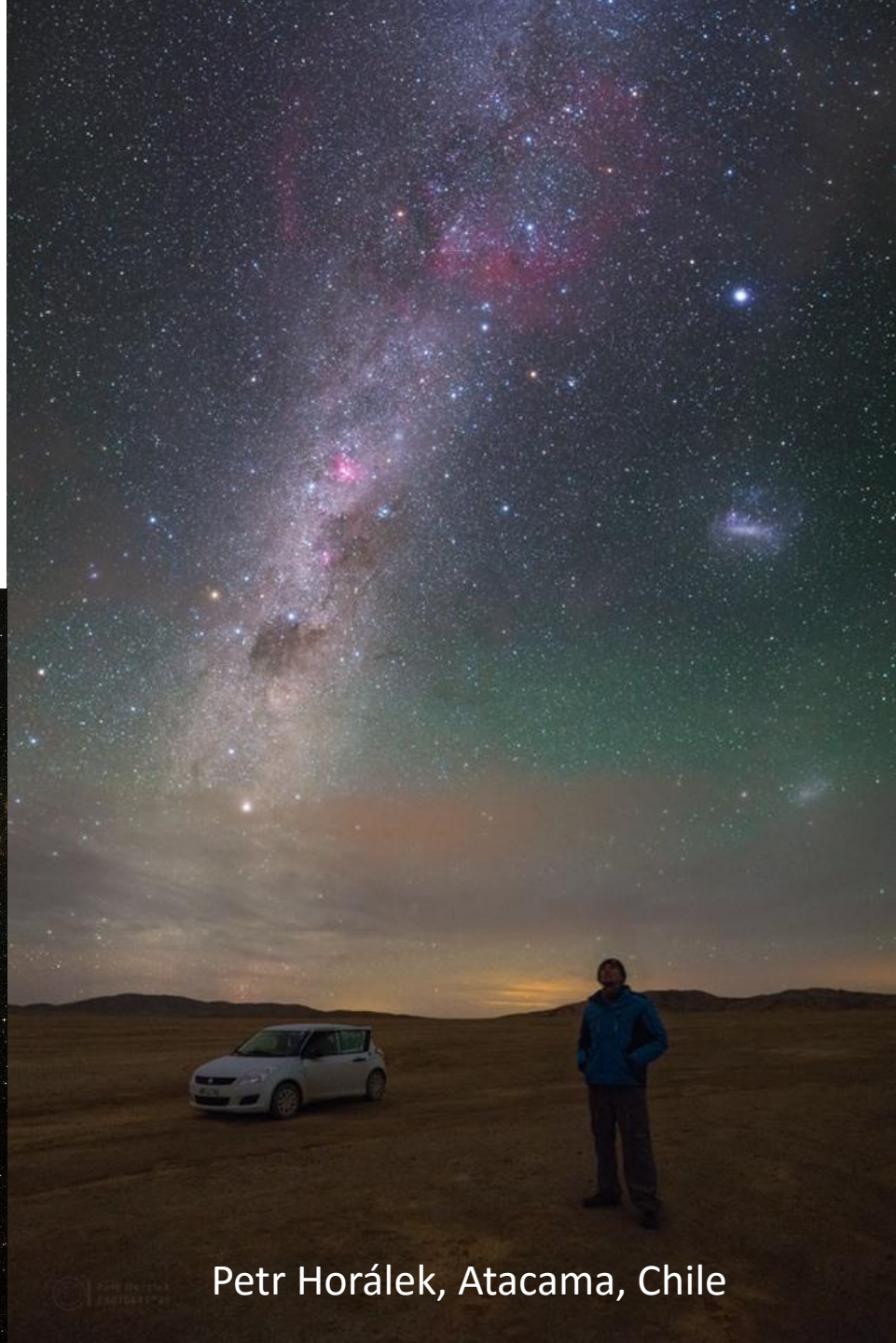


Veľké Magelanovo mračno

- špirálová s priečkou
- 160 000 ly
- priemer: 14 000 ly

Malé Magelanovo mračno

- špirálová s priečkou
- 200 000 ly
- priemer: 7 000 ly



Petr Horálek, Atacama, Chile

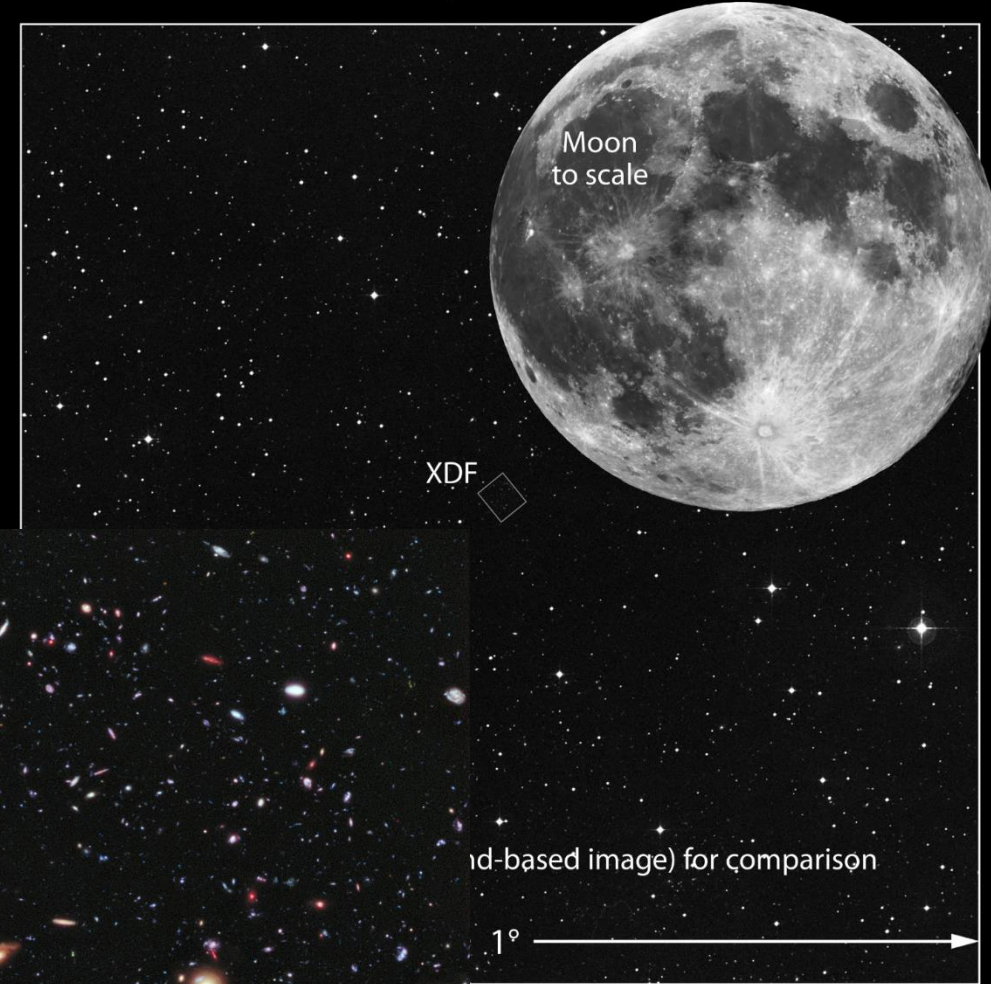
Hubble eXtreme Deep Field

- 5 000 galaxií
- 2012 - 2 milióny sekúnd (23 dní expozícia)
- 13,2 miliárd ly vzdialené objekty
- predpoklad – pozorovateľný vesmír obsahuje 200 miliárd galaxií

<https://www.youtube.com/watch?v=jmI9jyjfRLo>



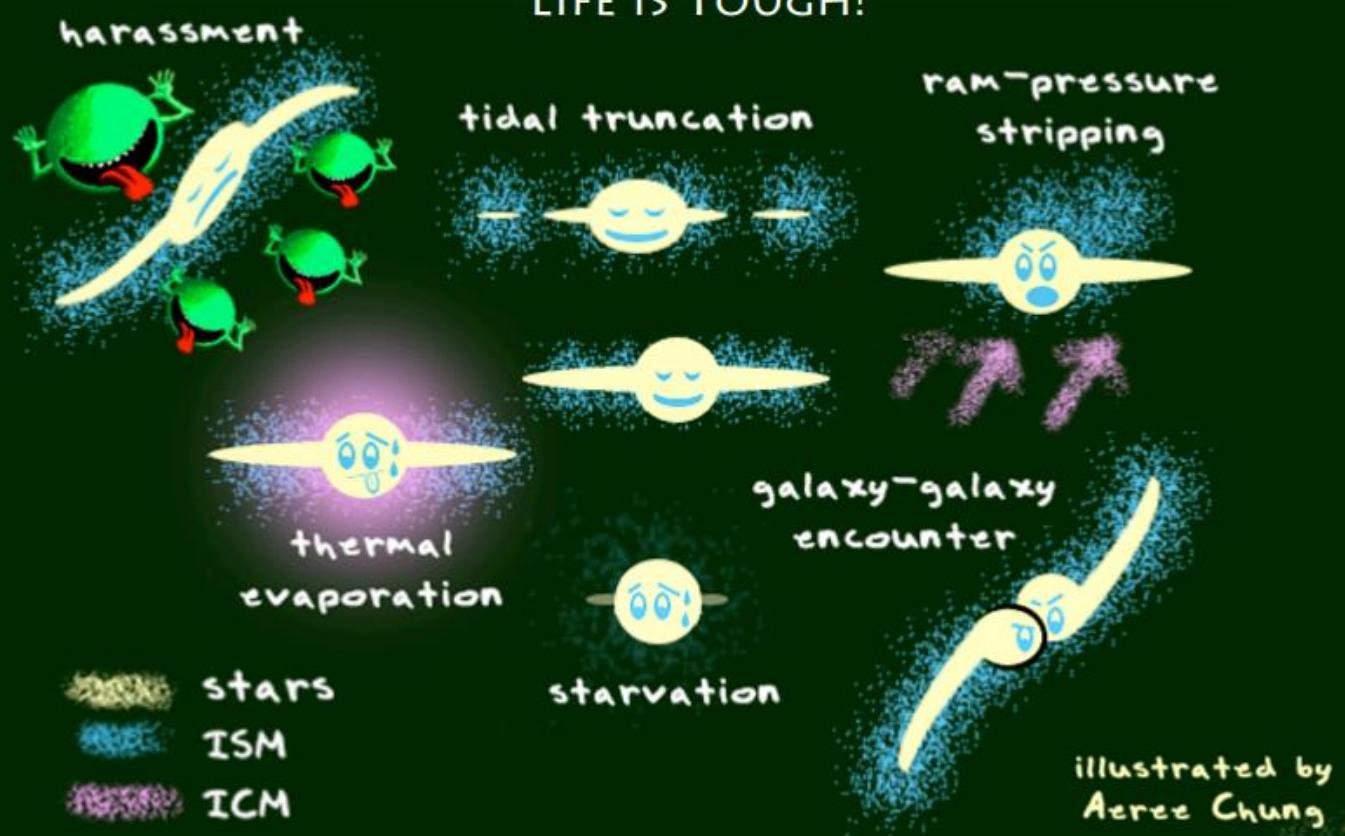
Size of Hubble eXtreme Deep Field on the Sky





GALAXIES CAN GO THROUGH...

LIFE IS TOUGH!



Interakcie galaxií

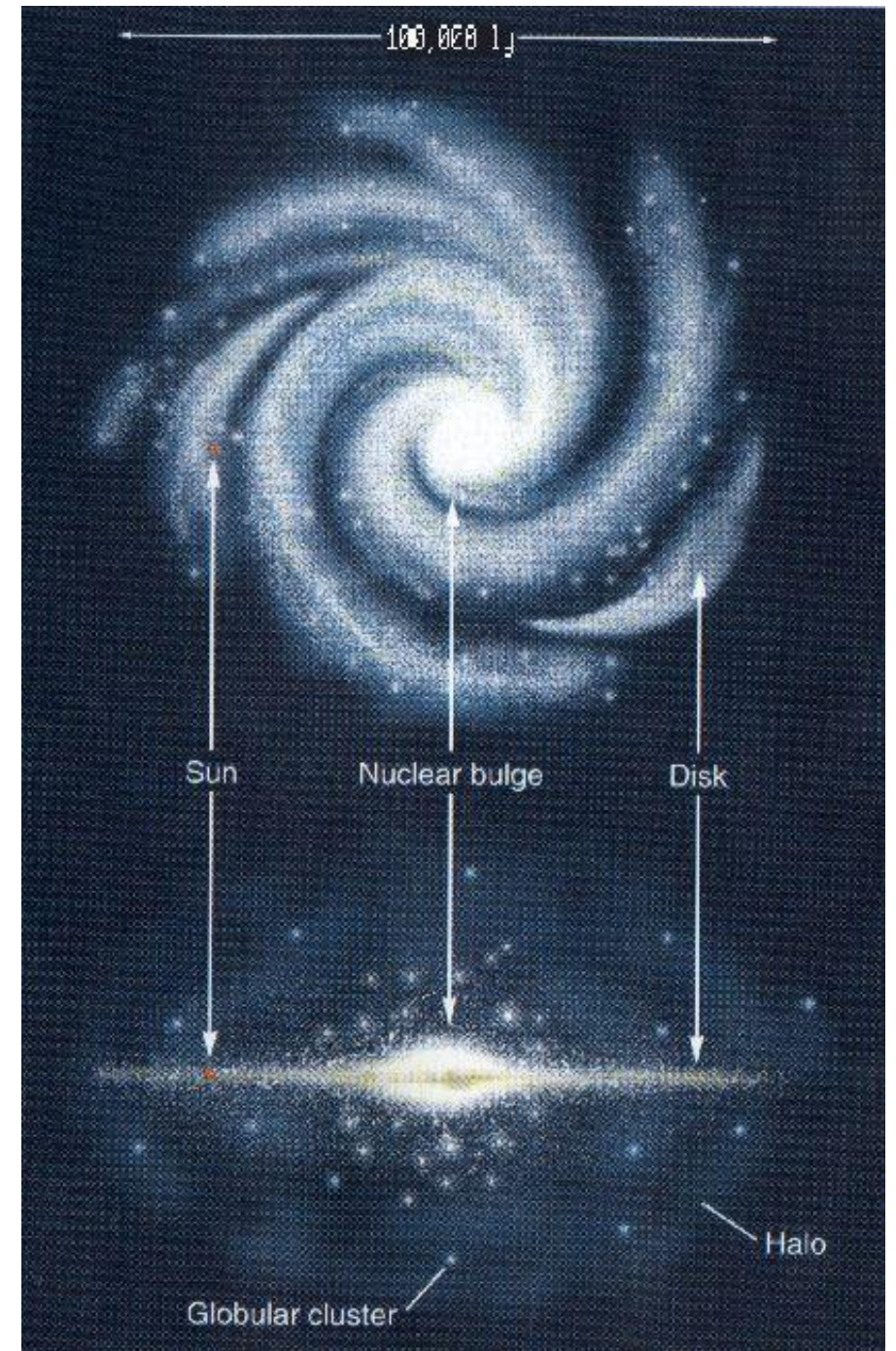
Myšie galaxie (NGC 4676A a NGC 4676B)

- nepravidelná a špirálová s priečkou
- 290 miliónov ly, kolízia pred 290 miliónmi rokov



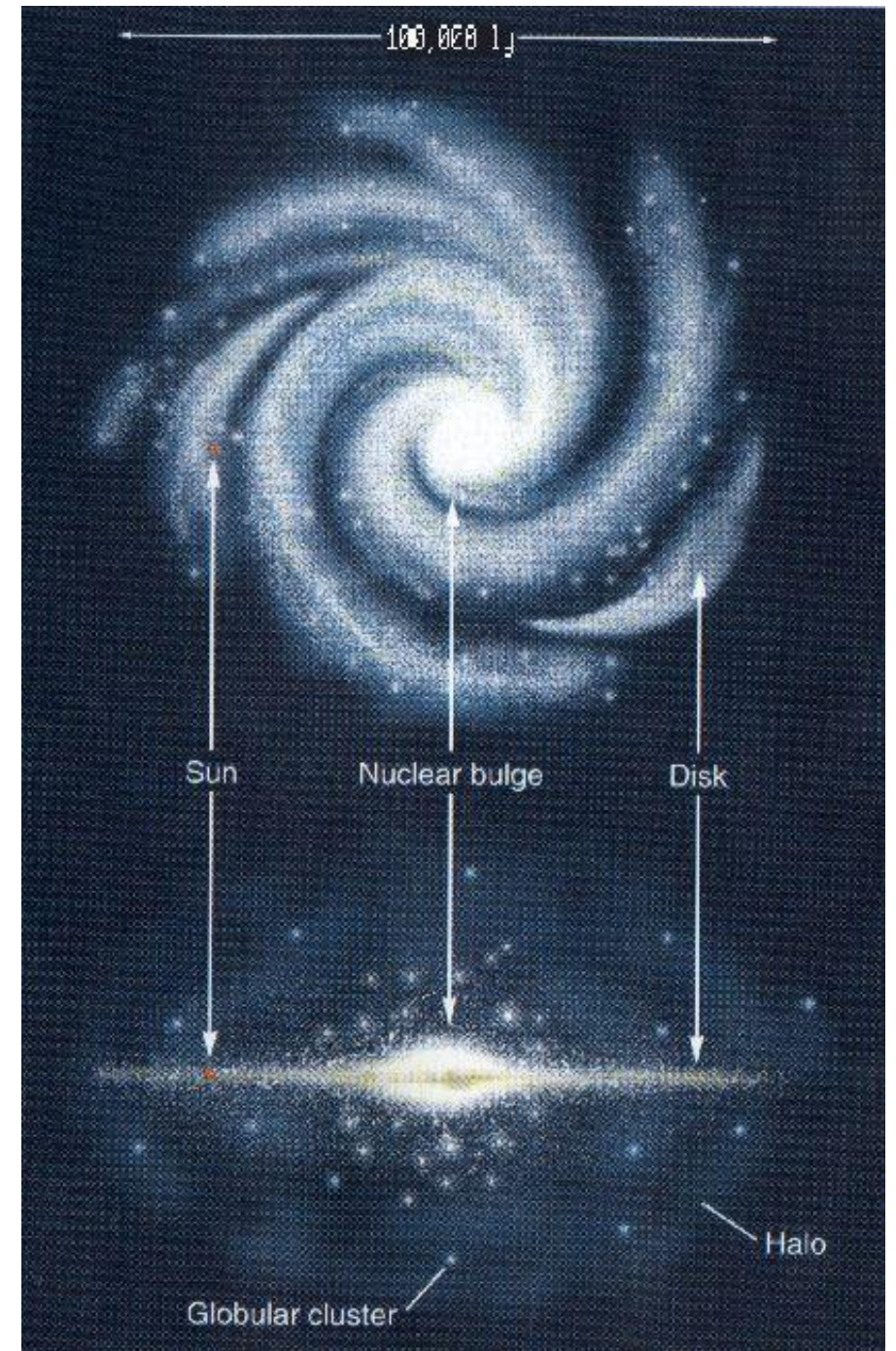
Galaxia

- neskorý typ
- špirálová galaxia s priečkou
- 200-400 miliárd hviezd
- priemer 100 000 ly – 120 000 ly
- vek
 - halo (hviezdy v guľových hviezdokopách)
– 13,6 miliárd rokov
 - disk – 8,8 miliárd rokov



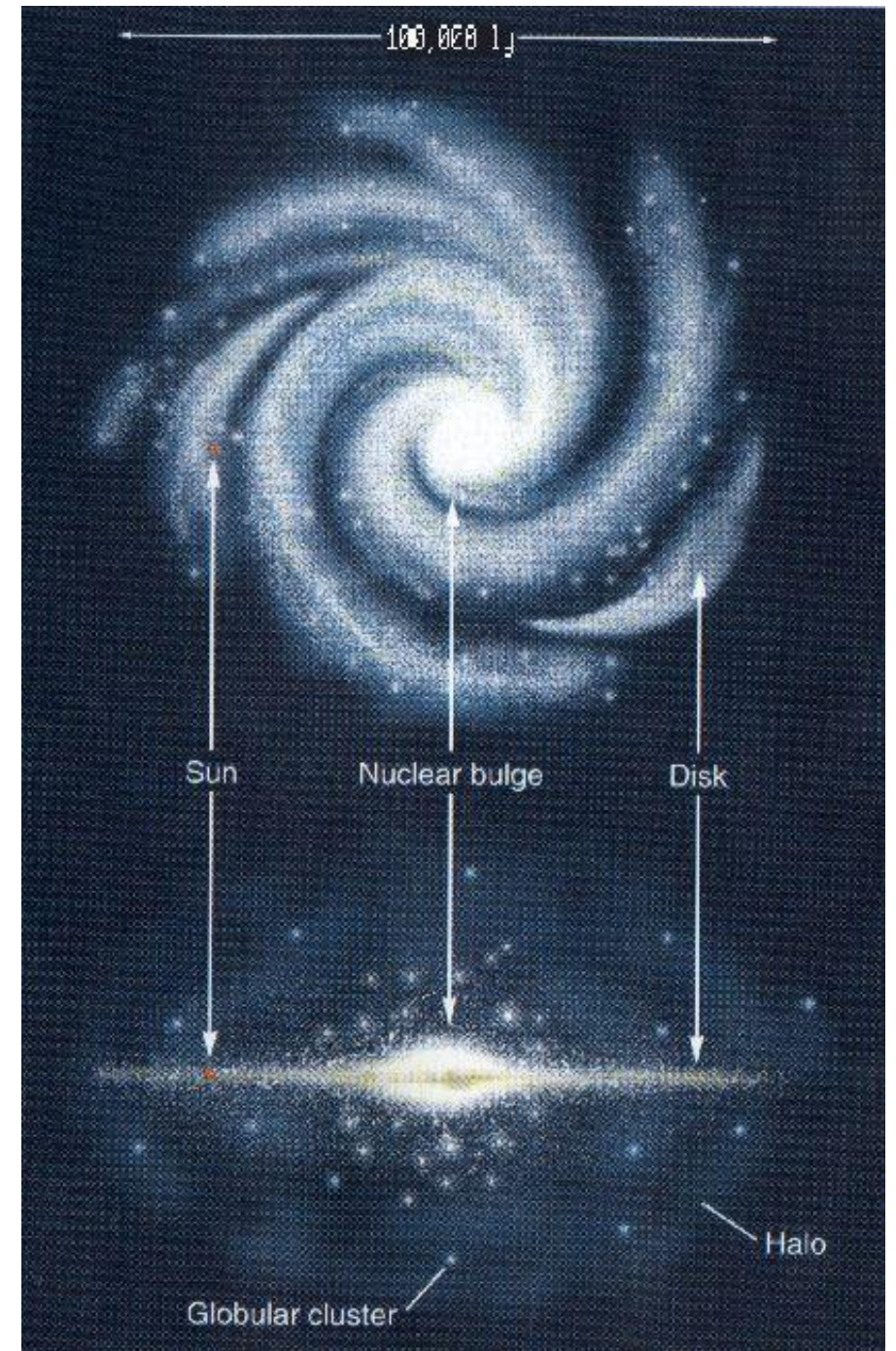
Galaxia

- disk
 - 1 000 ly x 100 000 ly
 - priečka – štúdium jednotlivých hviezd (väčšina bola v optickej oblasti)
 - polomer 10 000 ly
 - špirálové ramená
 - prevláda populácia I – modré, mladé (1 milión – 10 miliónov rokov)
 - Baadeho okno (a iné okná) – oblasť v ktorej vidíme ďalej (menšie clonenie od prachu)
- výduť (bulge)
- halo



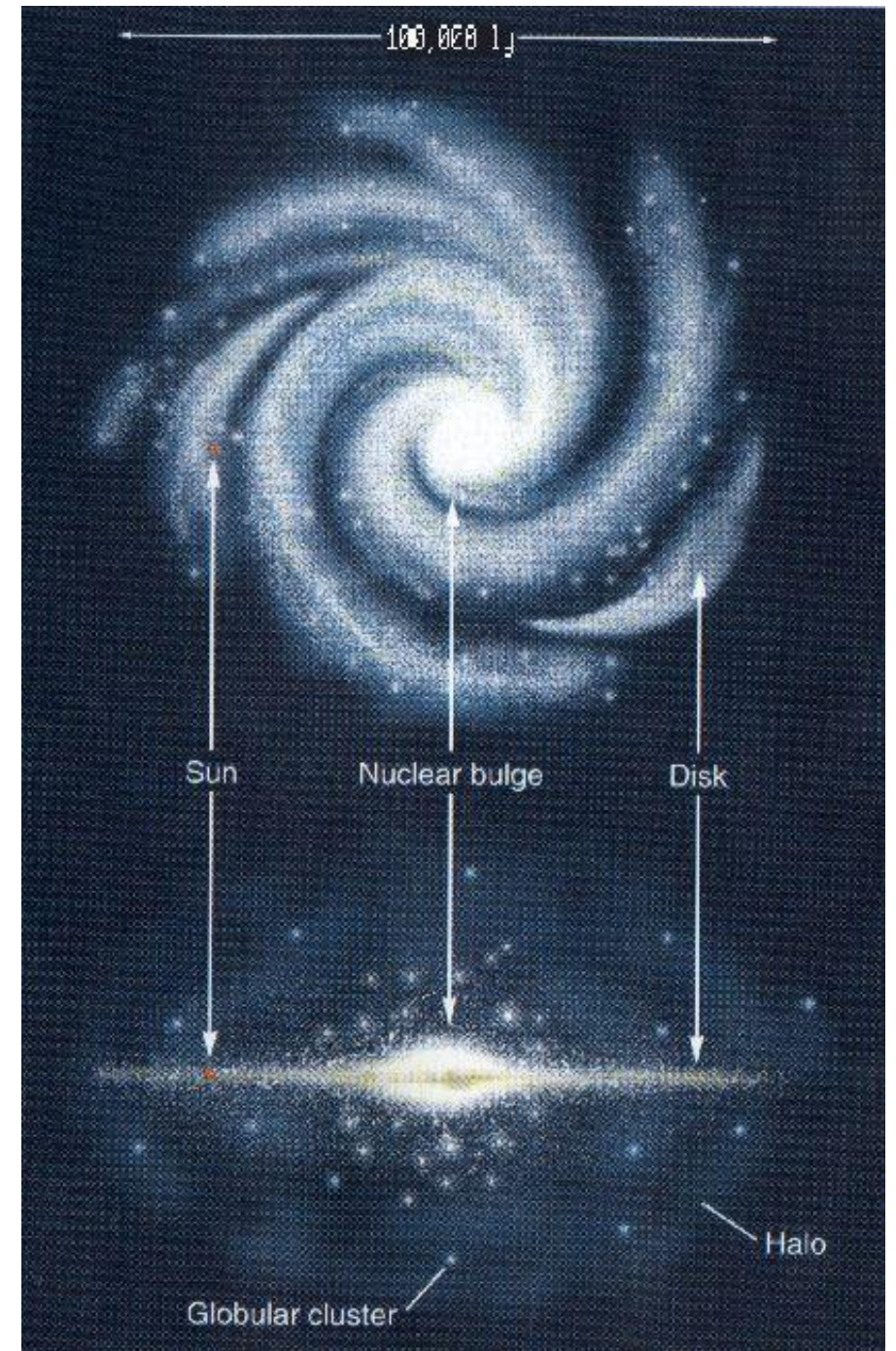
Galaxia

- disk
- výduť (bulge)
 - sploštený sféroid
 - 3 000 ly x 20 000 ly
 - prevláda populácia II – červené, veľmi staré hviezdy (nad 10 miliárd rokov)
 - v centre je čierna diera (Sagittarius A*)
- halo



Galaxia

- disk
- výduť
- halo
 - sféricky tvar, okolo disku
 - staré hviezdy hlavne v guľových hviezdokopách (10 tisíc – 1 milión hviezd, 160 hviezdokôp)
 - temná hmota



Sagittarius A* (Sgr A*)

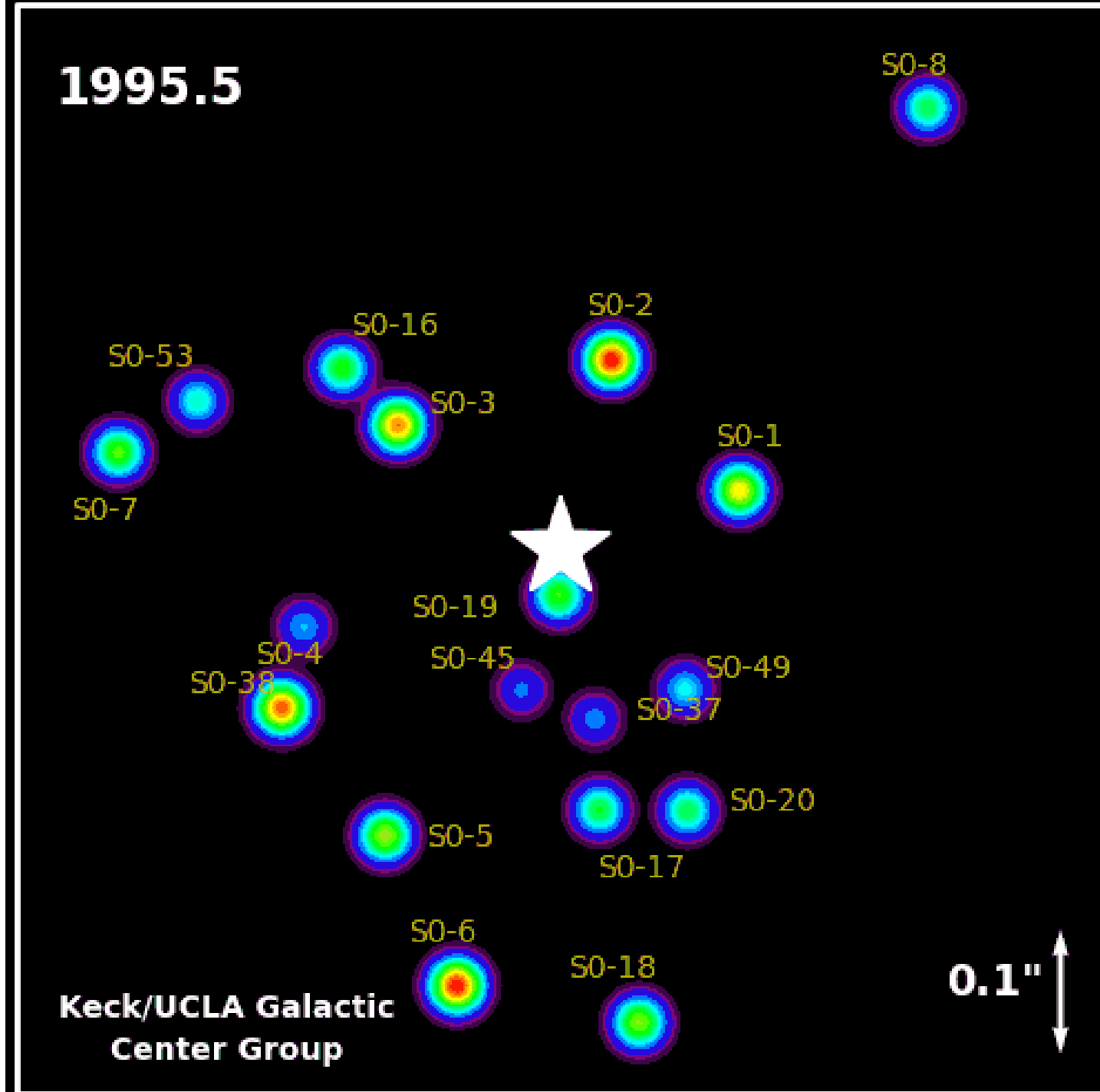
- silný rádiový zdroj v centre Galaxie
- 1974 – Bruce Balick a Robert Brown (National Radio Astronomy Observatory) - objavenie Sagittarius A*
- jasný veľmi kompaktný rádiový zdroj v centre Galaxia
- supermasívna čierna diera (2008/2009 - Gillessen et al. - hmotnosť 4,31 miliónov hmotnosti Slnka)
- Karl Jansky – rádiový signál prichádza z centra Mliečnej dráhy
- National Radio Astronomy Observatory - 2002 – Rainer Schödel a jeho tím - Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics – pozorovanie 52 hviezd blízko Sgr A* viac než 10 rokov
 - potvrdili myšlienku existencie čiernej diery

Sagittarius A*

- 52 hviezd na eliptických dráhach s periódou 15,2 rokov
- pericentrum (najmenšia vzdialenosť hviezdy od čiernej diery) 17 svetelných hodín od centra

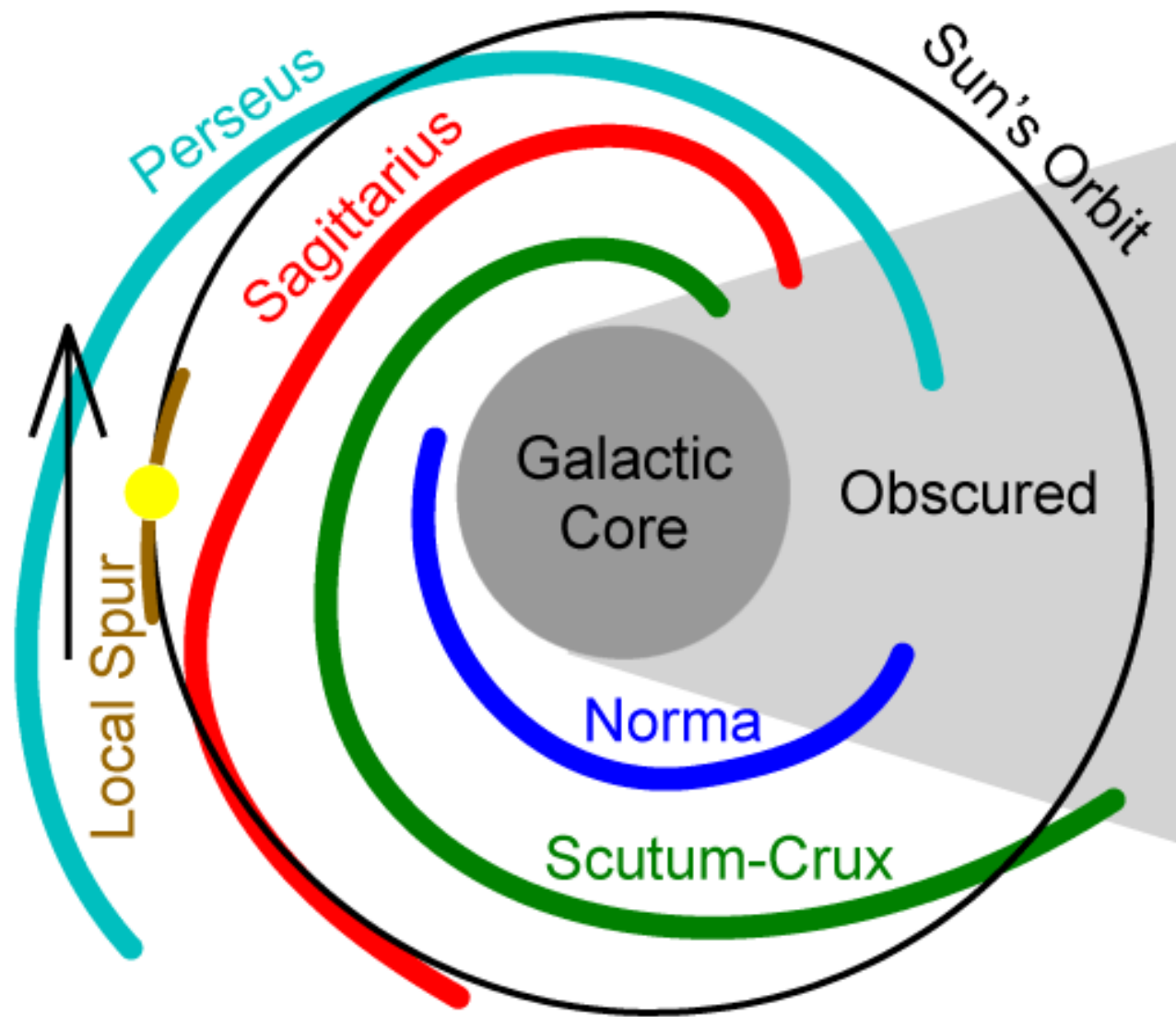
http://ircamera.as.arizona.edu/NatSci102/NatSci102/movies/gc_orbits_animfull.gif

https://www.youtube.com/watch?v=k7xl_zjz0o8



Kde sme my

- 26 000 ly od centra
- 52 ly nad rovinou Galaxie
- blízko vonkajšej časti špirálového ramena
- rýchlosť obehu 220 km/s
- doba obehu Slna okolo centra 250 milión rokov



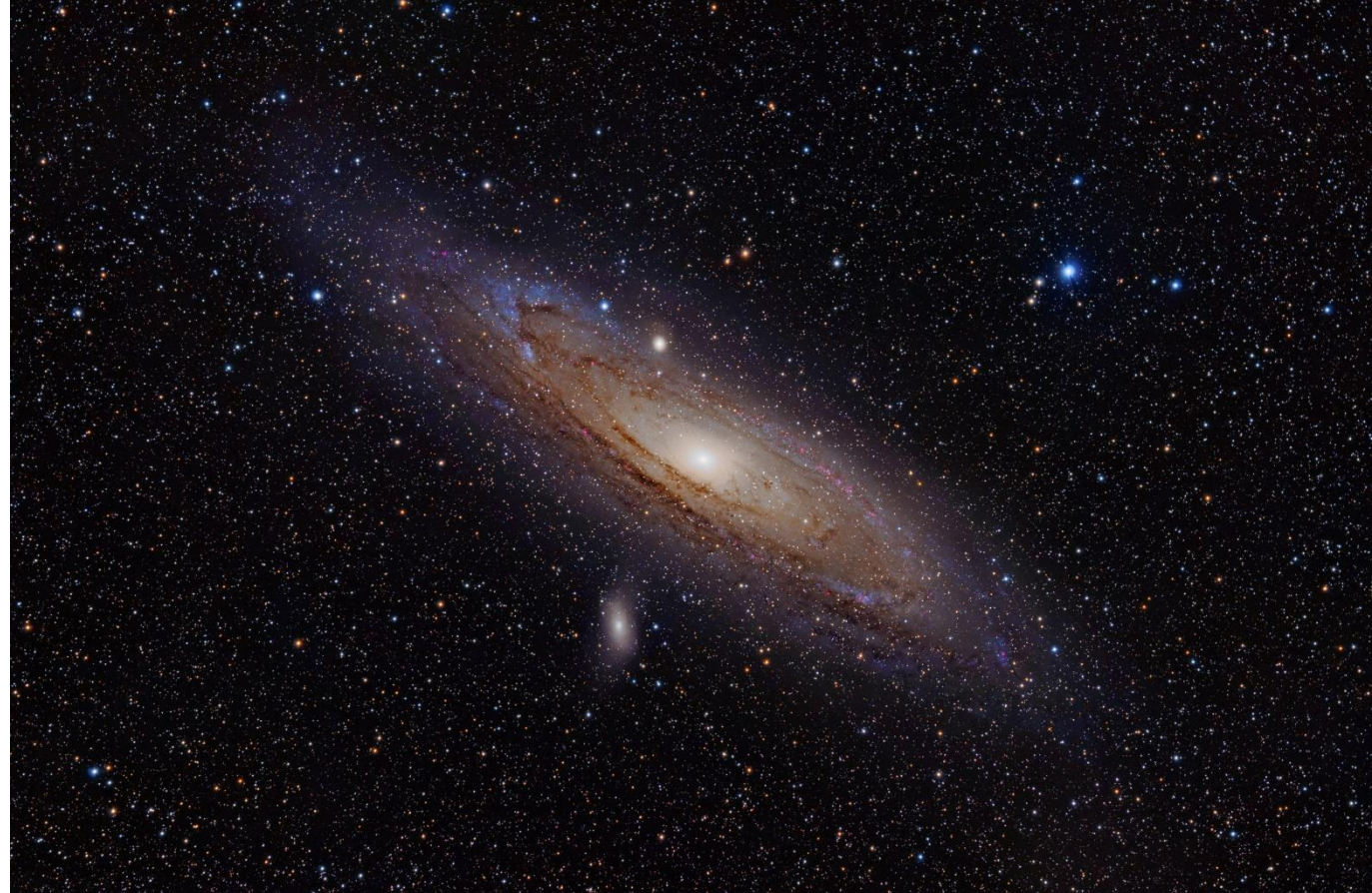
Budúci vývoj

Galaxia v Andromede

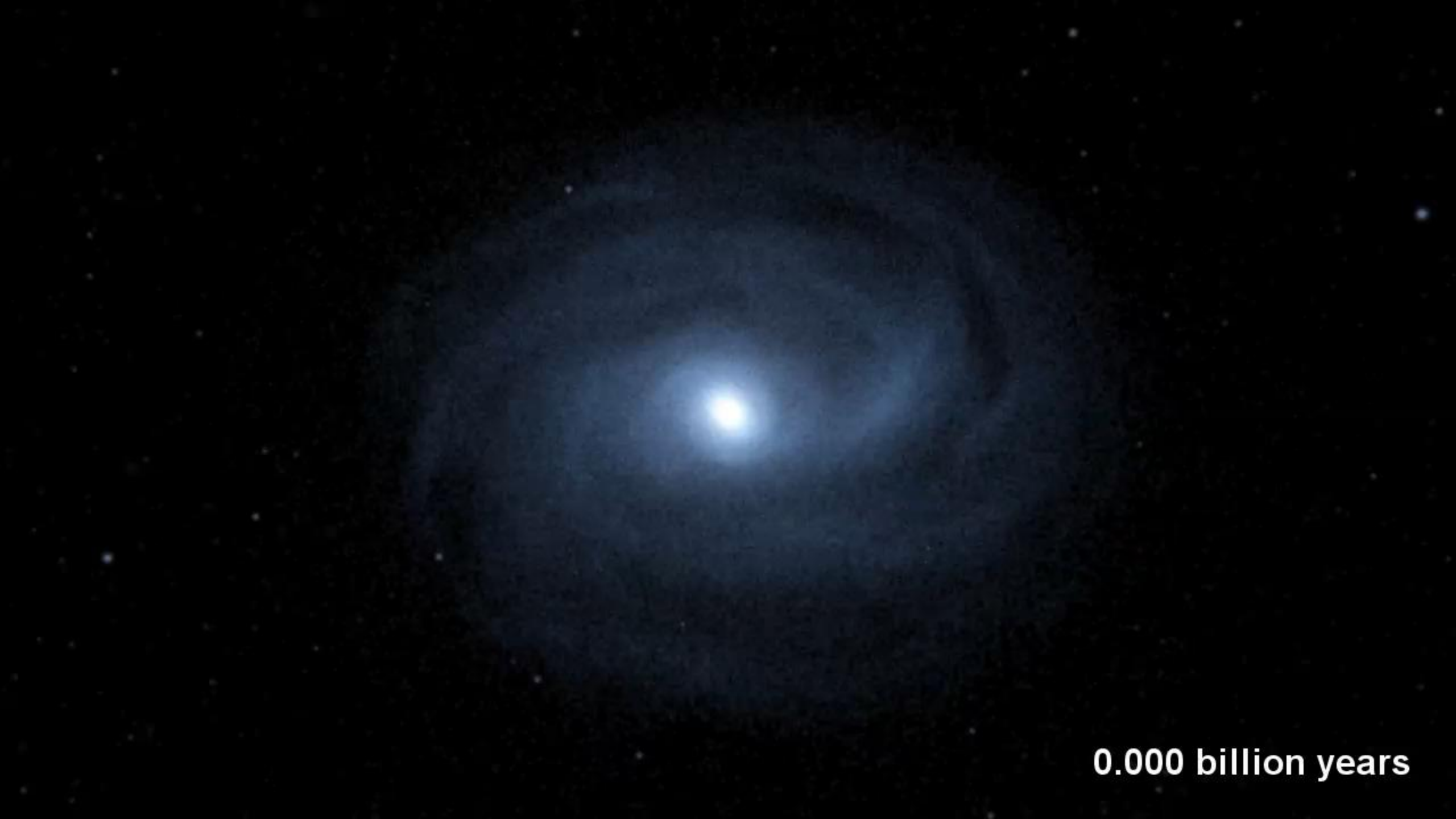
(M 31, NGC 224)

- 2,5 miliónov ly, najbližšia špirálová galaxia
- bilión hviezd
- priemer 220 000 ly
- viditeľná voľným okom aj pri stredom znečistení
- 6 priemerov Mesiaca (3°)

<https://www.youtube.com/watch?v=fMNlt2FnHDg>



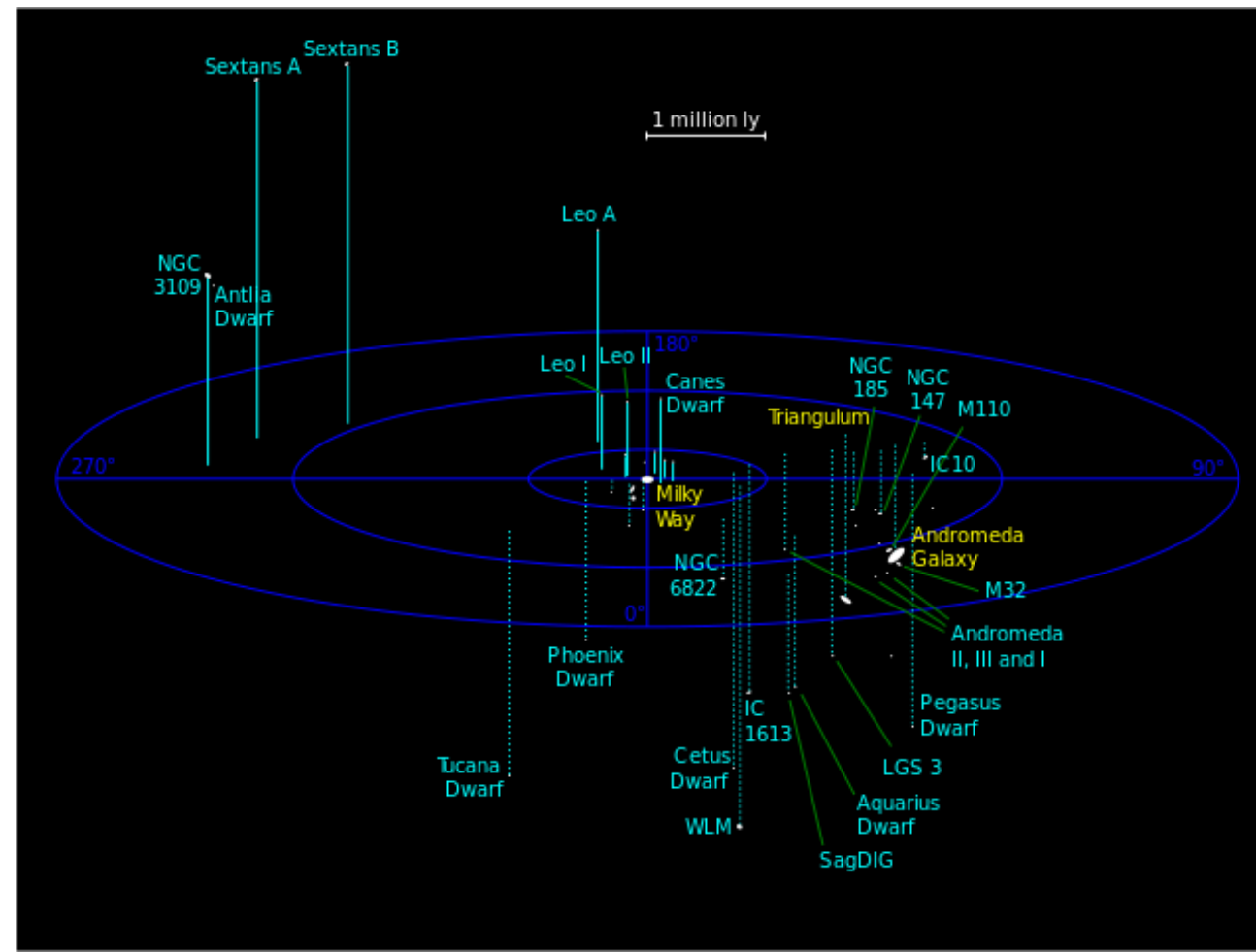
- rýchlosť približovania 300km/s
- zrážka s Galaxiou za 3,75 miliardy rokov
- pravdepodobne vznik eliptickej galaxie



0.000 billion years

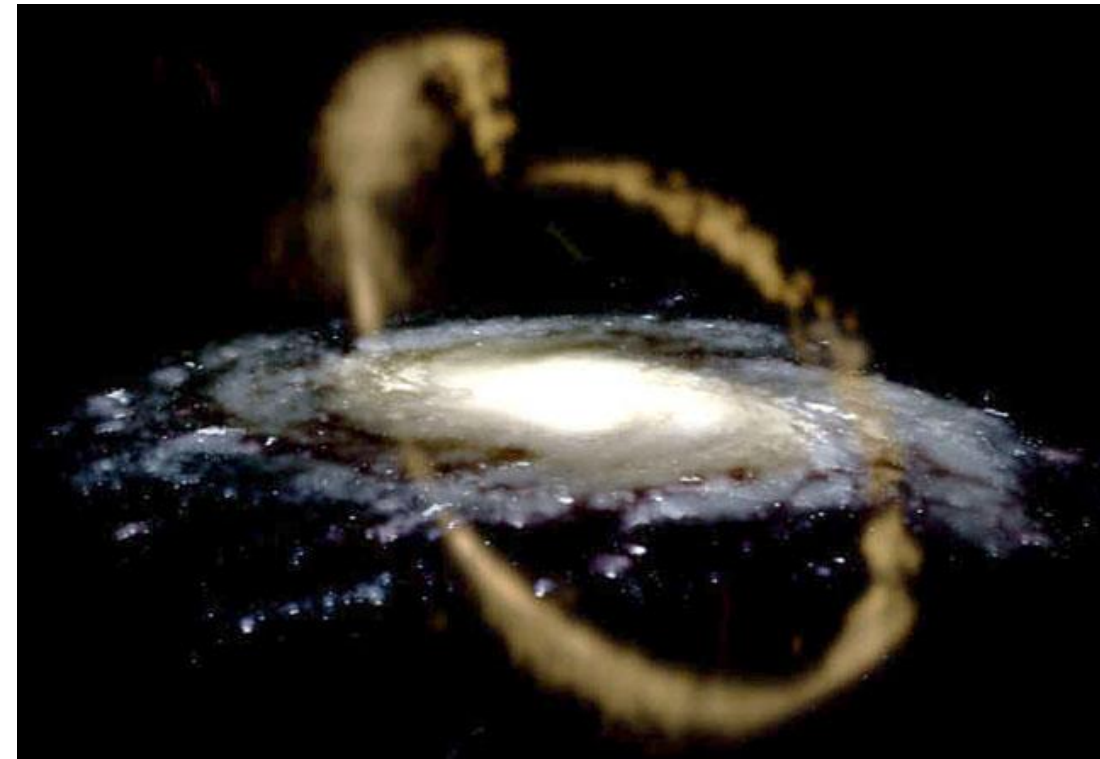
Miestna skupina galaxií

- nie presné kritéria na členov, ale obecná dohoda
- približne 40 členov
 - Galaxia v Andromede
 - Galaxia Mliečna cesta
 - Galaxia v Trojuholníku
 - Veľké a Malé Magelanove mračno
 - trpasličie eliptické galaxie
 - trpasličie sférické galaxie
 - nepravidelné galaxie



Sagittarius Dwarf Spheroidal Galaxy (Sgr dSph)

- objavená v roku 1994
- 10 000 ly priemer, 70 000 ly od Zeme, 50 000 ly od jadra Galaxie
- polárna orbita
- niekoľko prechodov cez rovinu Galaxie (asi 10 za miliardy rokov)
- 4 guľové hviezdokopy, jedna v strede
- niekoľko hviezdnych populácií (guľové hviezdokopy) sú staré takmer ako vesmír a mladé majú niekoľko stoviek miliónov rokov
- v najbližších stovkách miliónov rokov prejde rovinou disku



Canis Major Dwarf Galaxy

- od roku 2003 najbližšia susedná galaxia
- nepravidelná
- 25 000 ly od Slnčnej sústavy, 42 000 ly od centra Galaxie
- celkovo asi miliarda hviezd (z toho relatívne veľa červených obrov)
- infračervené pozorovanie
- je trhaná gravitačnými silami Galaxie
- hlavné telo je extrémne degradované slapovým pôsobením Galaxie
 - chvost hviezd na orbite, formovanie prstencov – Monoceros Ring, otočené okolo Galaxie tri krát

Aktívne galaxie

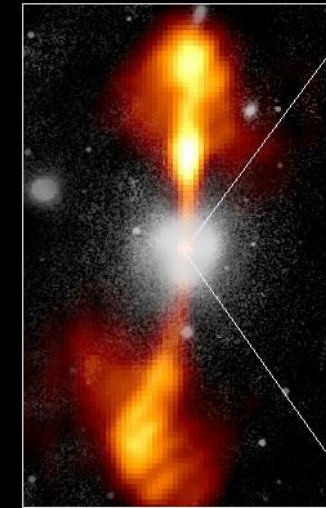
- obsahujú aktívne galaktické jadro (AGN)
- kompaktná oblasť v centre galaxie, ktorá má oveľa väčšiu svietivosť v niektorej časti elektromagnetického spektra
 - rádio, mikrovlny, infračervené, optické, ultrafialové, röntgenové, gamma
- vznik žiarenia – obeh hmoty okolo supermasívnej čiernej diery v centre galaxie a jej zahrievanie

Core of Galaxy NGC 4261

Hubble Space Telescope

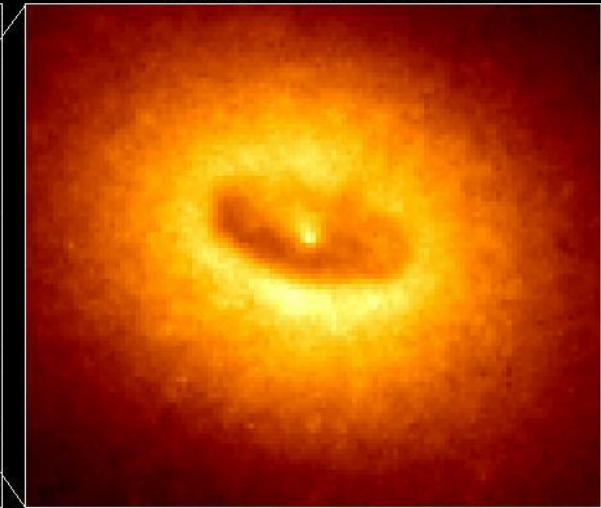
Wide Field / Planetary Camera

Ground-Based Optical/Radio Image



380 Arc Seconds
88,000 LIGHTYEARS

HST Image of a Gas and Dust Disk



17 Arc Seconds
400 LIGHTYEARS



Ďakujem za pozornosť

Odkazy:

- Binney J, Merrifield M.: Galactic Astronomy (PRINCETON UNIVERSITY, 1998)
- http://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/science/xdf.html
- http://www.damtp.cam.ac.uk/research/gr/public/gal_milky.html
- <http://www.physics.smu.edu/jcotton/ph1311/ch14a.htm>
- <http://astro.physics.muni.cz/download/documents/skripta/F6560.pdf>
- <http://skyserver.sdss.org/dr1/en/proj/advanced/galaxies/tuningfork.asp>
- http://www.astronomy.ohio-state.edu/~depoy/courses/AST172_LECTURE_NOTES/Unit4/milky3.html
- <http://www.astronom.cz/horalek/?cat=1>
- <http://apod.nasa.gov/apod/ap020506.html>
- <http://www.messier-objects.com/messier-102-spindle-galaxy/>
- http://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/science/milky-way-collide.html
- http://www.dailygalaxy.com/photos/uncategorized/2008/05/06/milky_way_spiral_arms_2.png
- <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2012/37/image/a/>
- <http://apod.nasa.gov/apod/ap030930.html>
- <http://www.space.com/15665-edwin-powell-hubble.html>