



**GALAXIE**

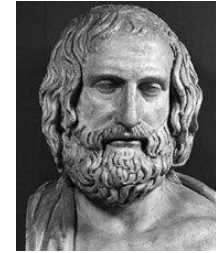
Mléčná dráha

# Naše Galaxie – dávná historie poznávání

**galaxie** = gravitačně vázaný strukturovaný a organizovaný systém  
z řeckého γαλαξίας

Galaxie x Mléčná dráha

**Mléčná dráha** – antika: **Anaxagoras** (cca 500–428 př.n.l.),



a

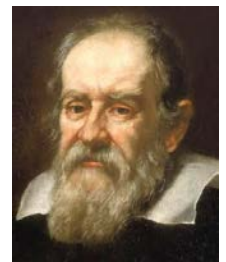
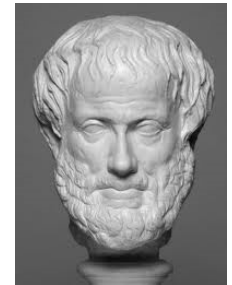
**Démokritos** (460 - 370 př. n. l.),

– tvořena mnoha hvězdami,



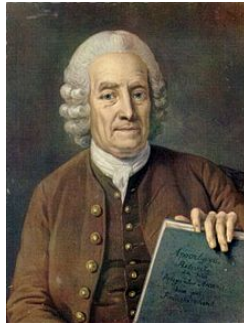
ale !

- **Aristoteles** (384–322 př.n.l.) – Mléčná dráha = důsledek hoření hvězdných výparů v horní části zemské atmosféry
- **Olympiodorus mladší** (495-570 n.l.) – sublunární M.d. by měla paralaxu => snaha o změření paralaxy arabskými astronomy 11.-13. st. (první **Alhazen** (965-1040) - negativní výsledek => M.d. musí být velmi vzdálená
- **Nasir al-Din al-Tusi** – M.d., tedy Galaxie tvořena mnoha hvězdami
  - **Galileo Galilei** - 1609 potvrzení charakteru Mléčné dráhy



*Proč vlastně máme Mléčnou dráhu? aneb proč nejsou hvězdy na hvězdné obloze rozmístěny více rovnoměrně?*

1. řešení – filozofové! - 18. století - shodně: Mléčná dráha = hvězdný ostrov diskového tvaru



**Emanuel Swedenborg** (1734),



**Thomas Wright** (1750),

**Immanuel Kant** (1755)



Wright a Kant jako první zobecnili – pozorované mlhoviny = jiné soustavy hvězd podobné té naší,

Kant - termín „vesmírné ostrovy“

# Naše Galaxie – historie poznávání

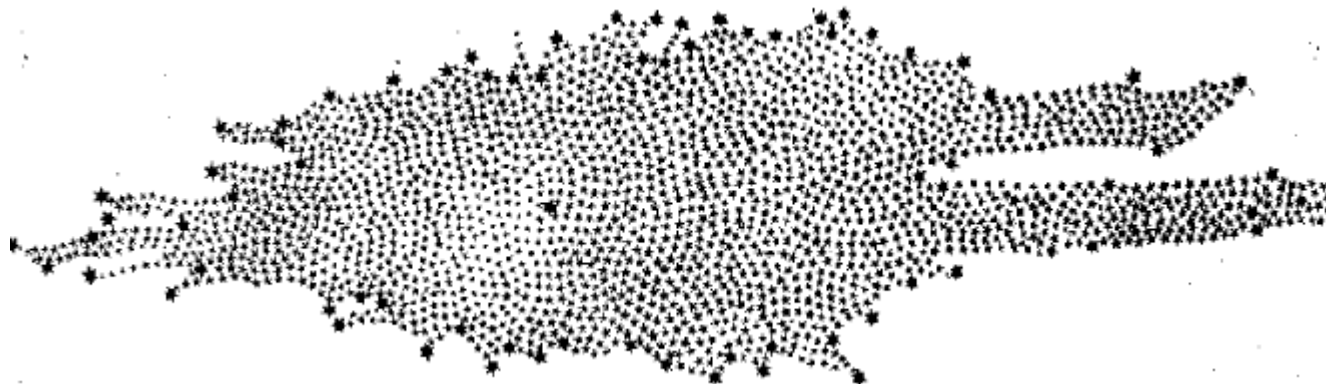


1. model Galaxie z pozorování - **William Herschel**  
v 80. letech 18. st. - počty hvězd v několika stech oblastí nebe

chybné předpoklady:

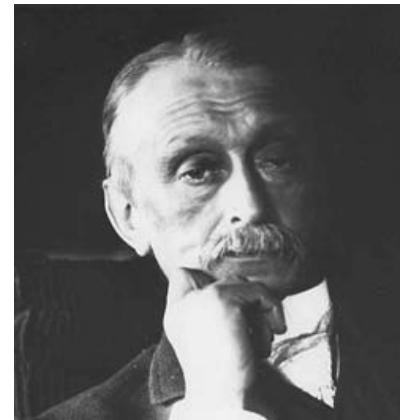
- všechny hvězdy mají stejný zářivý výkon,
- prostorová hustota hvězd je stálá,
- neexistuje zeslabování světla hvězd (mezihvězdná extinkce) – nevěděl o ní,
- dalekohledem dohlédneme na hranici Galaxie.

výsledek – model Galaxie o průměru 3 kpc, uprostřed je Slunce



## Kapteynův model Galaxie (Kapteynův vesmír)

1906-1922 - **Jacobus Kapteyn** (1851–1922) – opět počítáním hvězd (ve vybraných částech hvězdné oblohy) zkoumal strukturu Galaxie

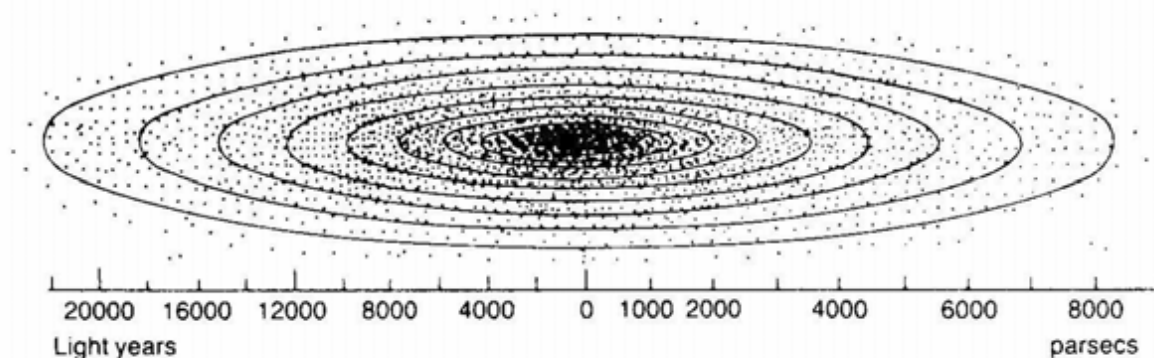


+ znal absolutní hvězdné velikosti pro různé typy hvězd;  
- nevěděl o mezihvězdné extinkci;

výsledek - tvar zploštělého elipsoidu 8500 pc x 1700 pc, Slunce 650 pc od středu

model platí pro vysoké galaktické šířky, v rovině Galaxie selhává

důvod – mezihvězdná extinkce! => Galaxie je větší a Slunce není poblíž středu  
dnešní rozměry – průměr disku 28 kpc, Slunce 8 kpc od středu



# Velká debata



1918 **Shapley** - vzdálenosti 93 kulových hvězdokup pomocí pulzujících proměnných hvězd typu RR Lyr a W Vir => „troufalý a ukvapený předpoklad“ - systém kulových hvězdokup = kostra Galaxie  
(střed kostry souhlasí s centrem Galaxie)

=> centrum Galaxie leží ve směru Střelce ve vzdálenosti 15 kpc;

=> průměr Galaxie cca 100 kpc, Slunce v 1/3 mezi centrem a okrajem

Van Maanen – pozorování rotace M101 => nemůže být daleko (okraje by pohybovaly rychlostí větší než světlo => jde o mlhovinu uvnitř Galaxie, později prokázáno, že udělal chybu)

26.4.1920 *Velká debata* - o rozměrech Galaxie a povaze spirálních mlhovin  
*Harlow Shapley x Heber Curtis*



**Curtis** - odborník na spirální mlhoviny=vzdálené soustavy z milionů hvězd

- obhajoval *Kapteynův model Galaxie* (průměr cca 8,5 kpc);

- přednost kratší škále vzdáleností, (mj. pro vzdálenost M 31 z jasnosti 12 pozorovaných „nov“ (150 kpc) => velikost srovnatelná s rozměrem Shapleyho Galaxie;

- kdyby M31 byla v Galaxii, proč by bylo tolik nov jen v malé části G.

- velké rychlosti vzdalování spirálních mlhovin (příliš velké na to, aby byly gravitačně spjaty s Galaxií)

Shapley - Galaxie je nejméně o řád větší (než Kapteynův model) a představuje celý vesmír

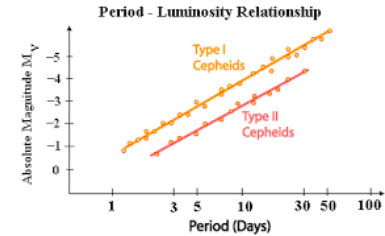
Curtis – ve vesmíru jsou i jiné galaxie daleko od naší Galaxie

# Výsledek „velká debaty“?

remíza – ani jeden neměl zcela pravdu

Rozřešení:

**1923 Edwin Hubble** - objev cefeid v M31 => určení jejich period => určení vzdálenosti – 285 kpc => mimo naši Galaxii  
(bylo to chybné určení – správně 765 kpc)



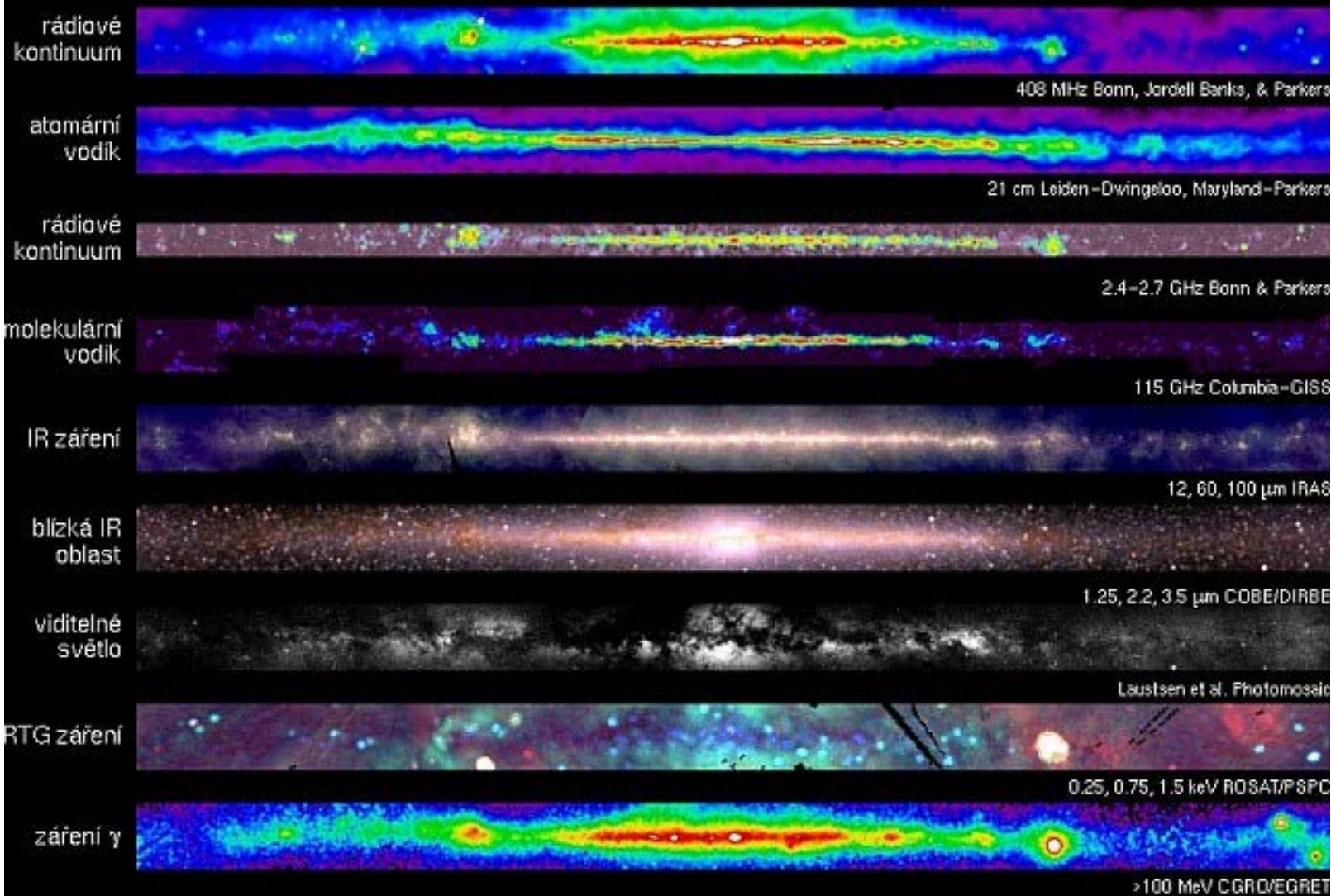
**1930 Robert Julius Trumpler** - objev mezihvězdné extinkce

*Složky mezihvězdného materiálu:*

- **plyn** – nehmotnější složka, zejména molekulární vodík (další prvky dle četnosti výskytu prvků ve vesmíru)
  - molekulová oblaka* – cca 80 % hmotnosti mezihvězdné látky
  - oblaka neutrálního vodíku (oblasti H I)* – mlhoviny s převládajícími atomy neutrálního vodíku - nezáří v optickém oboru spektra, ale na 21 cm, typicky - rozměry 10 pc, vzdálenosti 30 pc, teplota 40 - 120 K, hustota 1 - 10 atomů·cm<sup>-3</sup>.
  - ionizovaný vodík (oblasti H II)* – červeně svítící mlhoviny, kolem horkých hvězd, teplejší ale řidší než H I oblasti
- **prach** – 1 % hmotnosti mezihv. látky; křemičitanová, uhlíková (grafitová), kovová, ledová zrnka

# Mléčná dráha v různých vlnových délkách

(c) ADF/GSFC





## Galaktická souřadnicová soustava

Zavedena 1958 – rezoluce IAU, klíčové pro studium rozložení objektů

Základní rovina - rovina největší koncentrace hvězd v Galaxii (na hvězdné obloze - přibližně Mléčná dráha) = galaktický rovník

- úhel mezi rovinami galaktického a světového rovníku  $62^{\circ} 36,0'$

základní směr (ke středu Galaxie):

$17^{\text{h}} 42^{\text{m}} 29,3^{\text{s}}$ ,  $\delta = -28^{\circ} 59' 18''$  (1950.0)

$17^{\text{h}} 45^{\text{m}} 37.224^{\text{s}}$ ,  $-28^{\circ} 56' 10.23''$  (J2000)

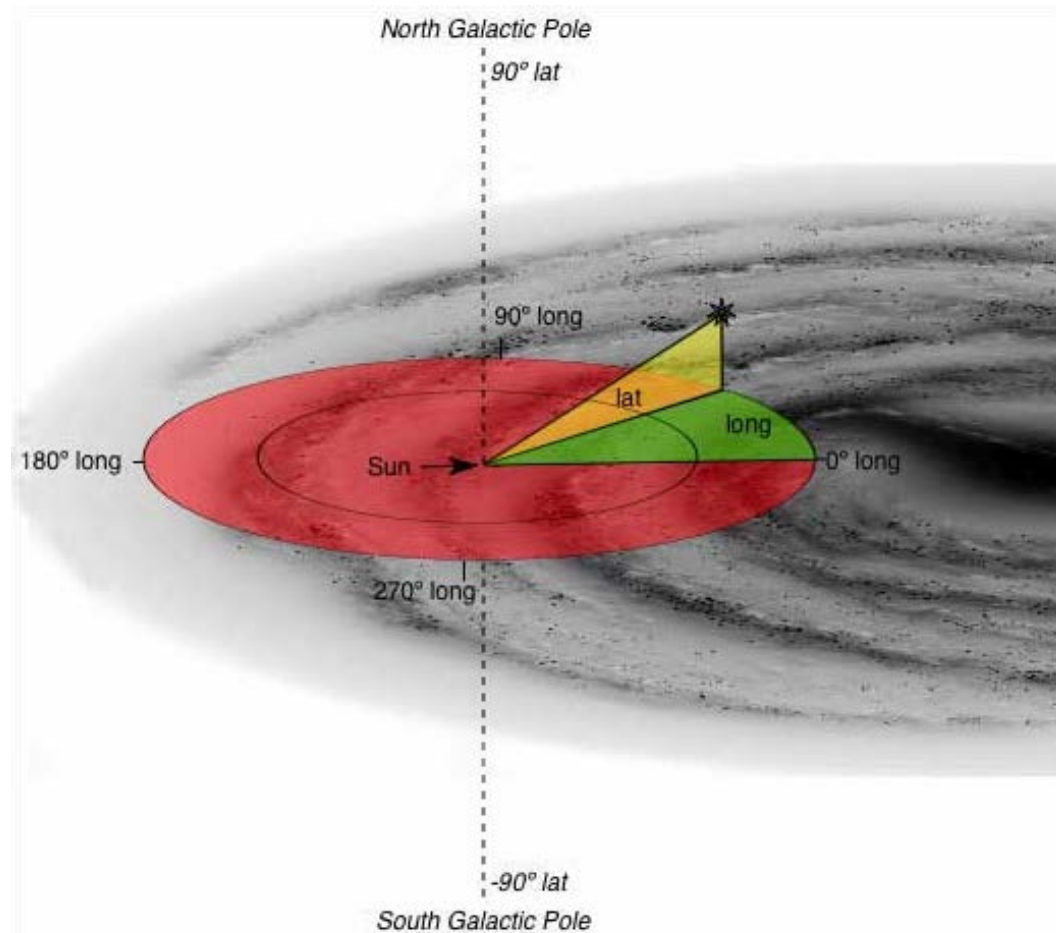
Souřadnice:

*galaktická délka*  $l$  ( $0^{\circ}$  až  $360^{\circ}$ ),

*galaktická šířka*  $b$  ( $0^{\circ}$  až  $\pm 90^{\circ}$ ).

pravotočivá souřadná soustava

galaktické póly: Com, Scl



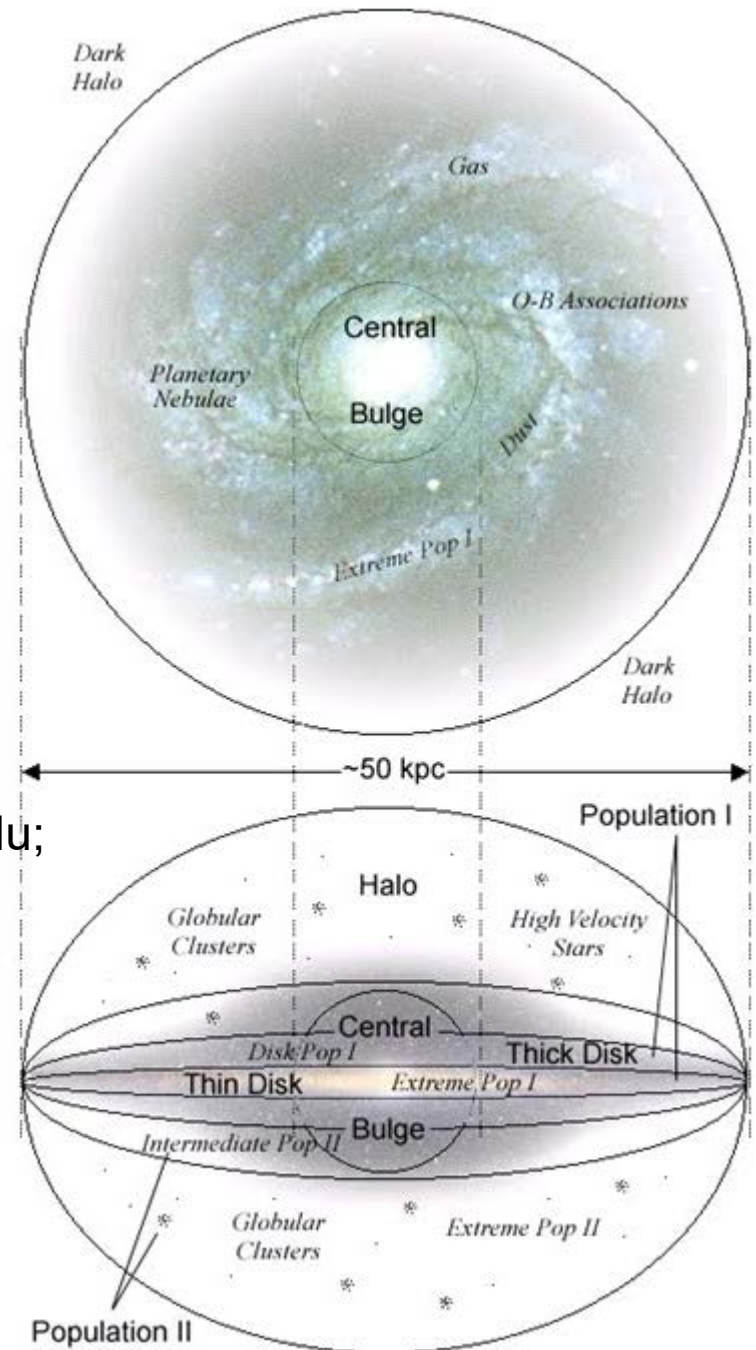
# Anatomie naší Galaxie

**Kulová složka (halo)** - mírně zploštělá koule o průměru asi 50 kpc; nejstarší hvězdy v Galaxii (stáří až 12 miliard let), **populace II**; kulové hvězdokupy; nepatrné množství těžších prvků (do 0,1 %)

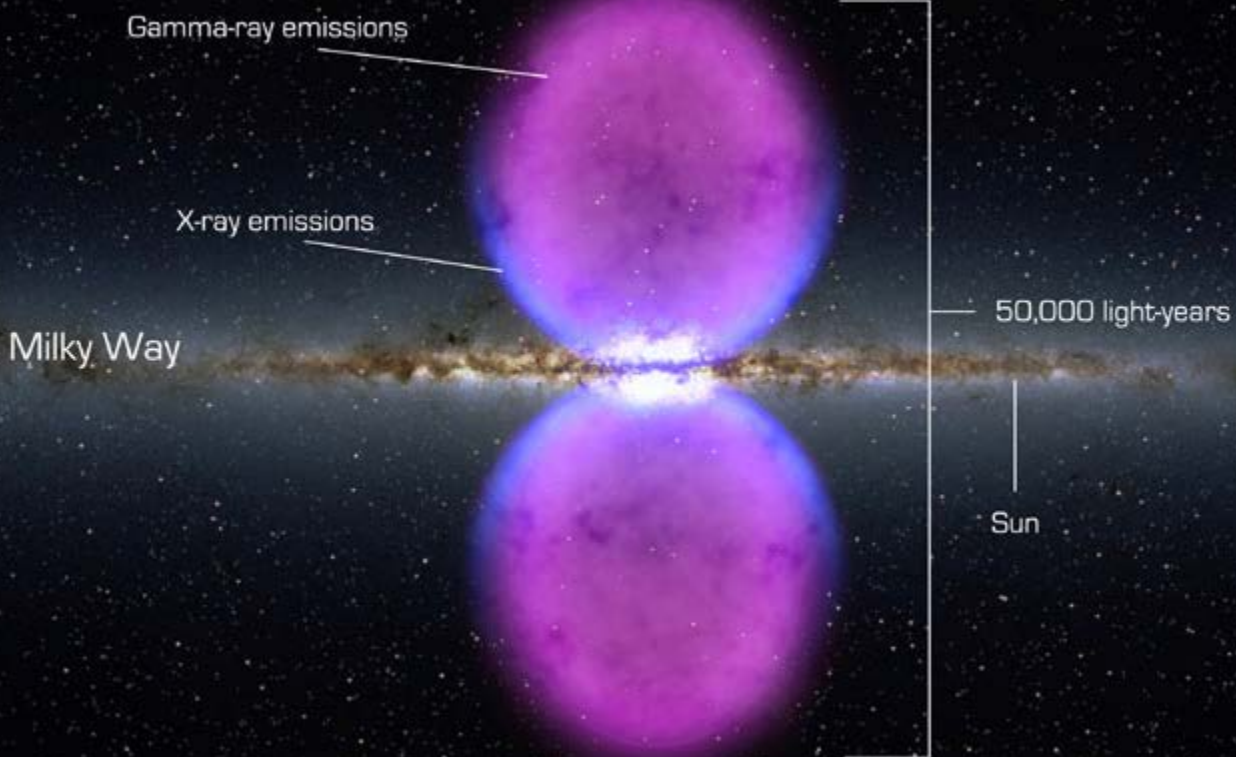
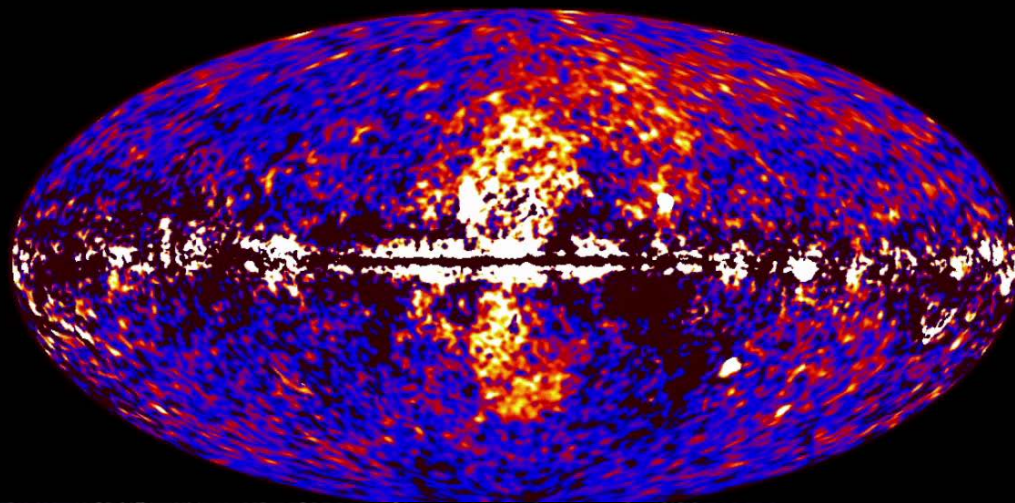
**Disková složka:** průměr 30 kpc, disk mimo střed jen 1 kpc tlustý, uprostřed *galaktická výduť* - koule o průměru 4-5 kpc; patří sem většina hvězd – **populace I**; účastní se galaktické rotace; stáří hvězd - cca 5 miliard let, od roviny Galaxie - střední vzdál. 300 pc; Slunce – 15 pc od galaktické roviny, 8 kpc od středu;

**Plochá složka:** nejmladší hvězdy (stáří milion až několik mld. let, těžších prvků až 5 %) a mezihvězdná látka; udává polohu galaktického rovníku; hmotné hvězdy s největším zářivým výkonem

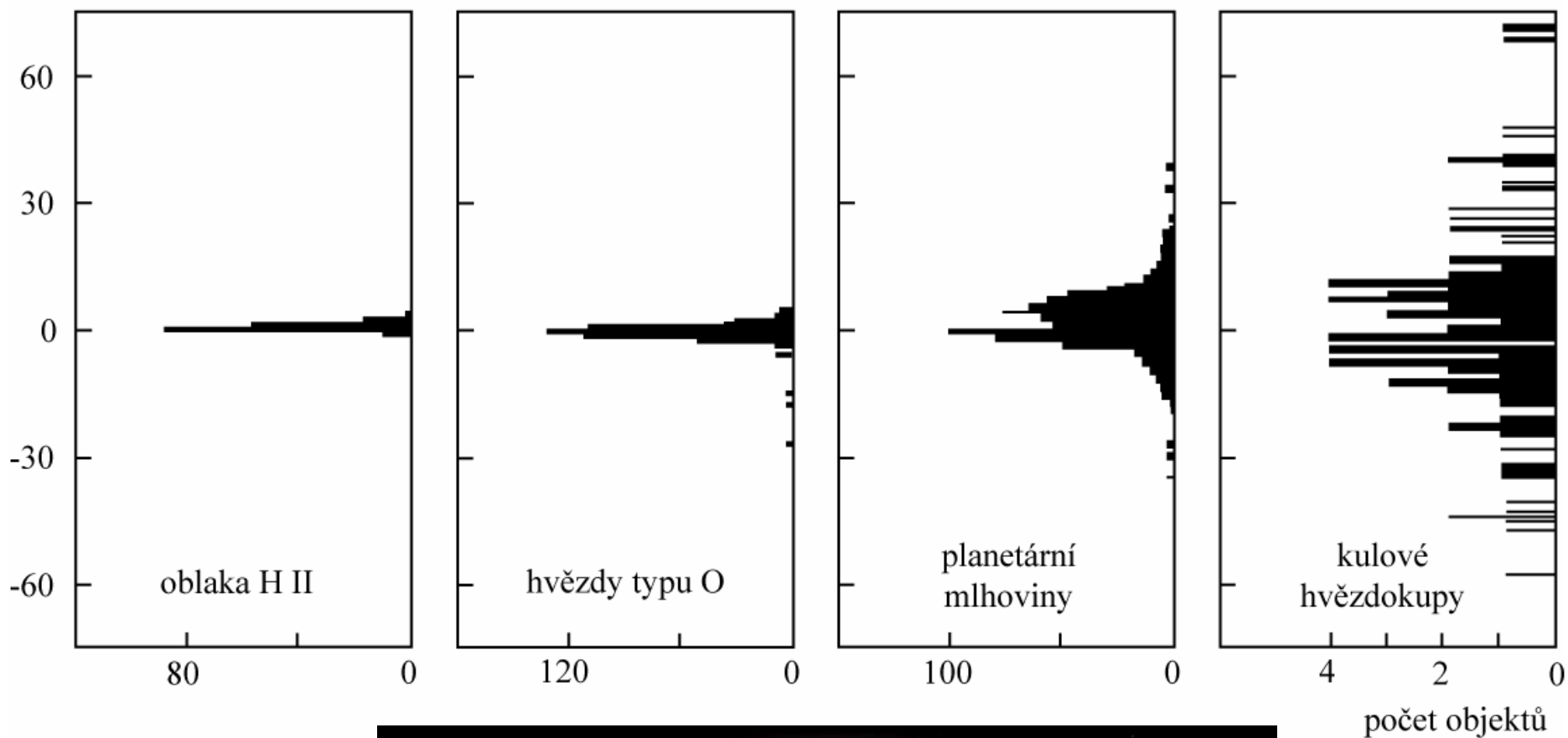
**Jádro Galaxie** – od nás vzdáleno 30 000 ly, zastíněno, v centru obří černá díra (a malé ČD)



**Bubliny** – objev r. 2010,  
družice Fermi  
2017 – výsledek výronu plynu  
při poslední velké „večeři“ černé  
díry v centru Galaxie



galaktická šířka  
(stupně)



# Spirály

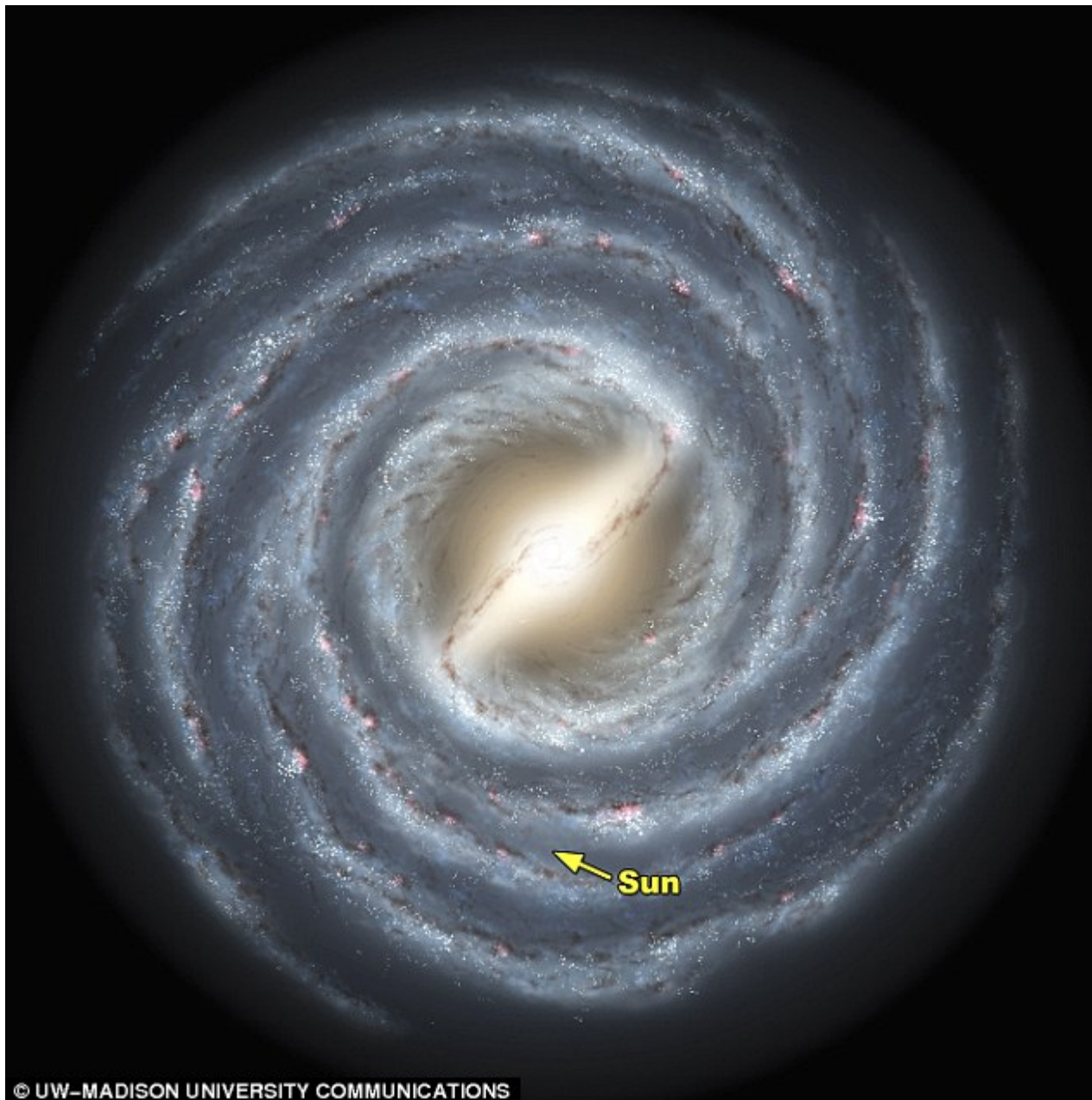
- spirální ramena - nahuštění hvězd a mezihvězdné látky
- stabilní *hustotní vlna*
  - ve spirálních ramenech - zvýšená hustota mezihvězdné látky => vznik nových hvězd; žhavé hmotné hvězdy a mladé otevřené hvězdokupy
- spirální struktura Galaxie - podoba s blízkými galaxiemi (např. M 31)
- důkazy - radioastronomie



## Naše Galaxie

- disková a zejména plochá složka Galaxie - ramena, vybíhající z jádra
- příčka





1852 – Stephen Alexander – první předpokládal spirální strukturu

2008 – R. Benjamin

2 hlavní spirální ramena:

- Scutum-Centaurus,
- Perseus

2 vedlejší, malá ramena

- Norma
- Sagittarius

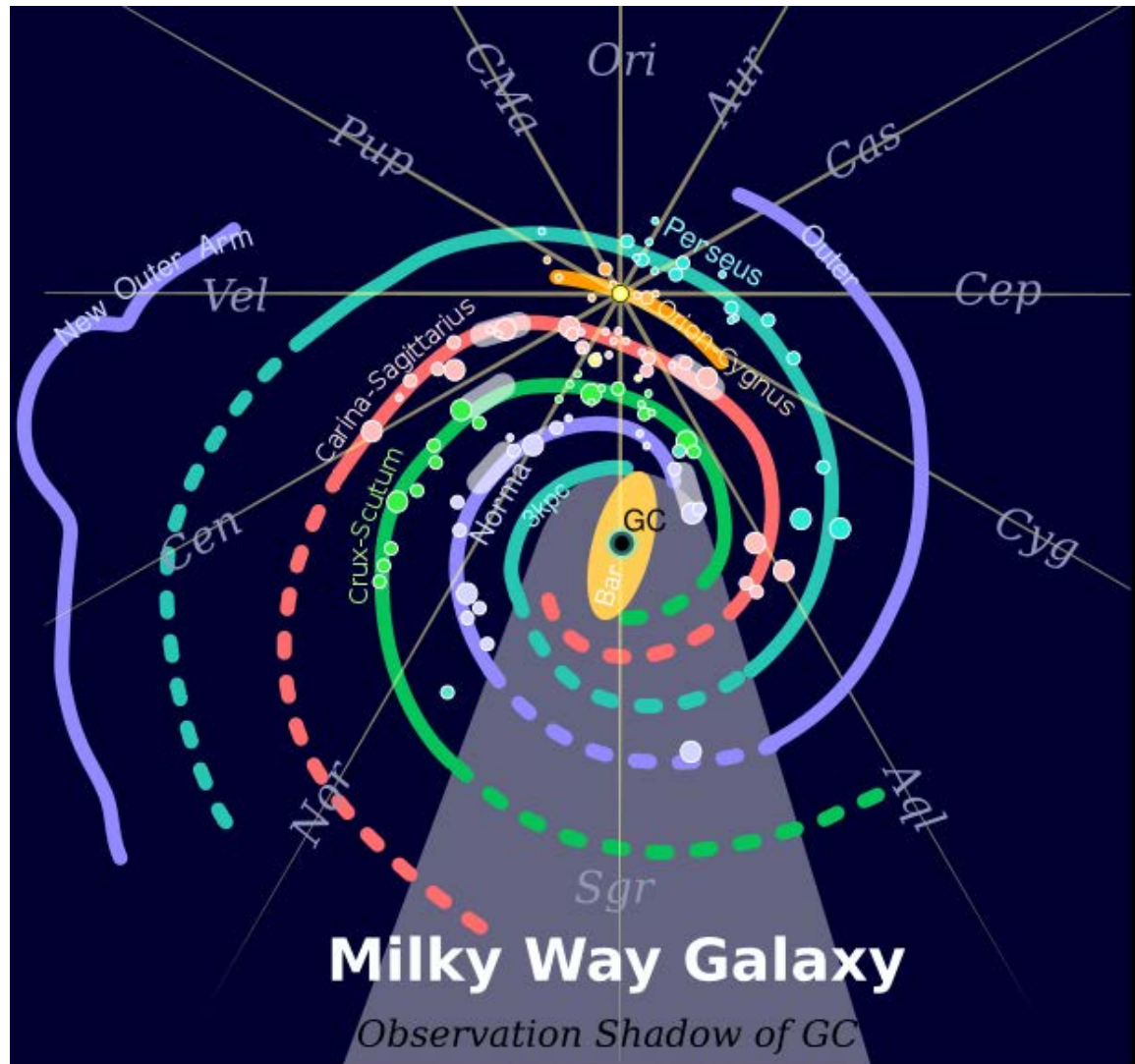
2012 – stále diskuse

např. nový vnější prstenec  
(Monoceros Ring)

2013 – J. Urquhart – rozložení

mladých masivních hvězd

=> 4 ramena





# Základní čísla o naší Galaxii

*hmotnost (zářící látky):*  $5.8 \cdot 10^{11} M_{\odot}$  (celková hmotnost je až o řád větší, většina látky Galaxie je uložena v temném halu, jehož rozměry mnohonásobně převyšují velikost viditelné části Galaxie)

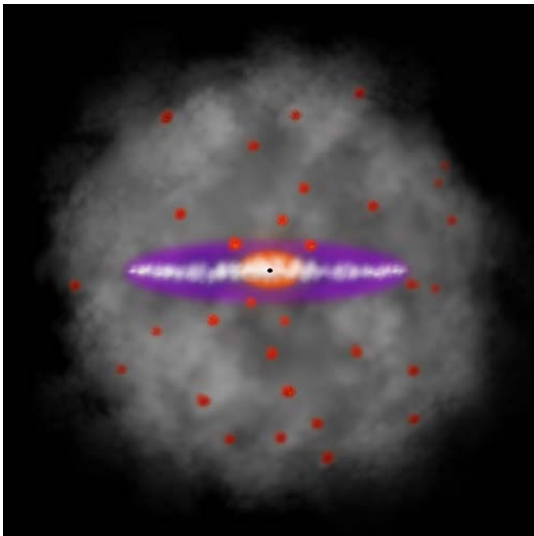
*průměr zářivého disku:* 120 000 ly = 37 kpc =  $1.1 \cdot 10^{18}$  km

*průměr Galaktického hala:* 1.9 Mly! = 583 kpc!

*zářivý výkon:*  $2 \cdot 10^{10} L_{\odot}$  (tj.  $7,7 \cdot 10^{36}$  W)

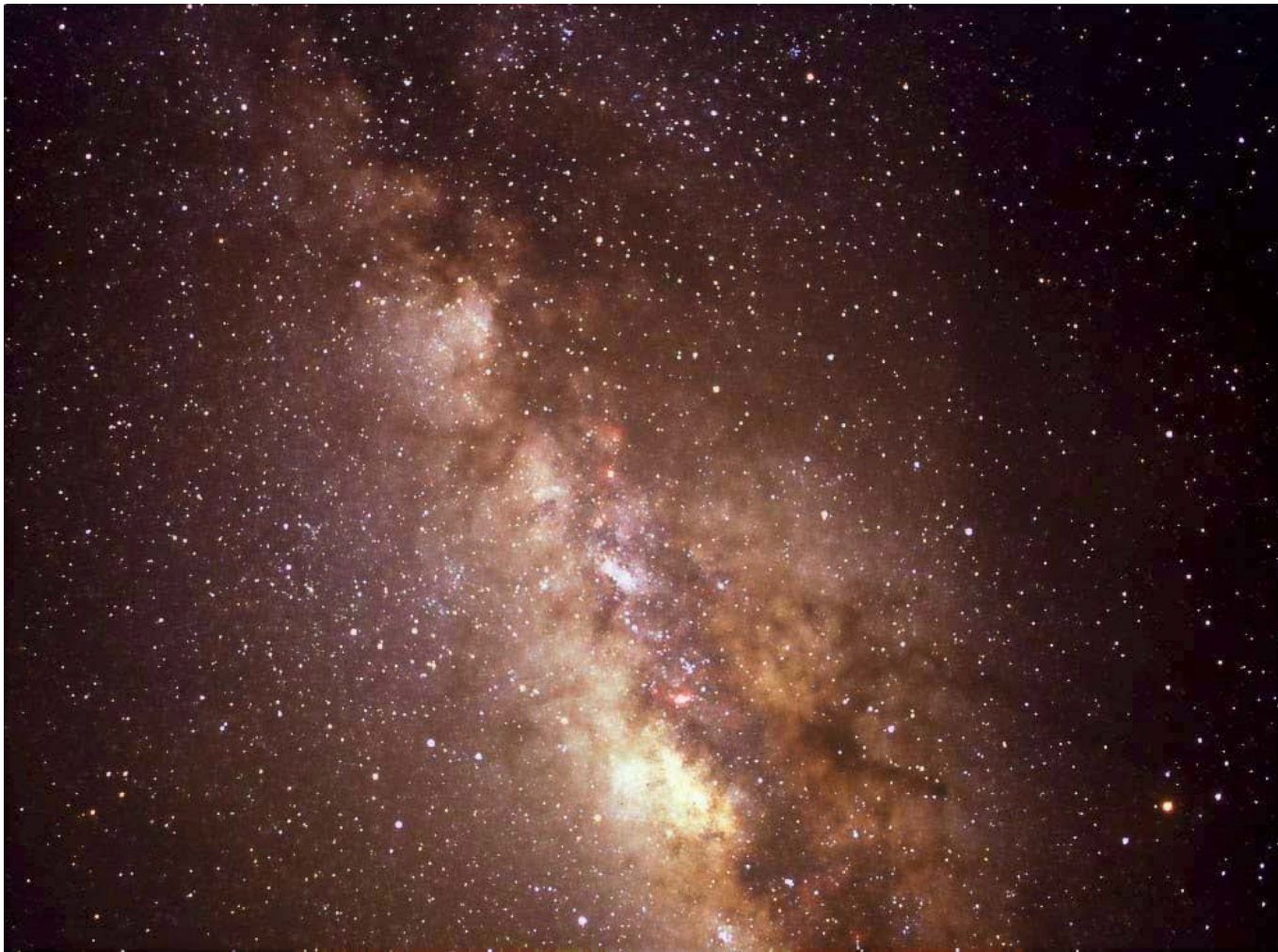
*počet hvězd, tvořících Galaxii:* 100 - 400 miliard (odhad)

*podíl mezihvězdné látky na hmotnosti Galaxie:* asi 10 % hmotnosti zářící látky



# Co se skrývá uprostřed Galaxie?

- centrum Galaxie – hvězdná obloha mezi  $\gamma$  Střelce a  $\theta$  Hadonoše
- extinkce ve viditelném oboru spektra - 30 magnitud!
  - infračervená, rádiová pozorování



# Skryté jádro

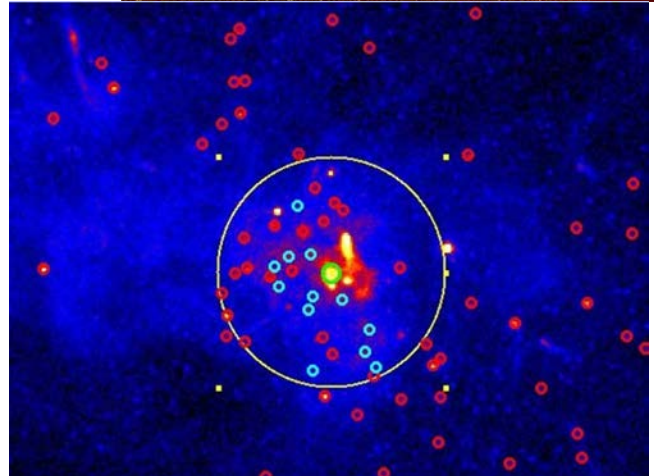
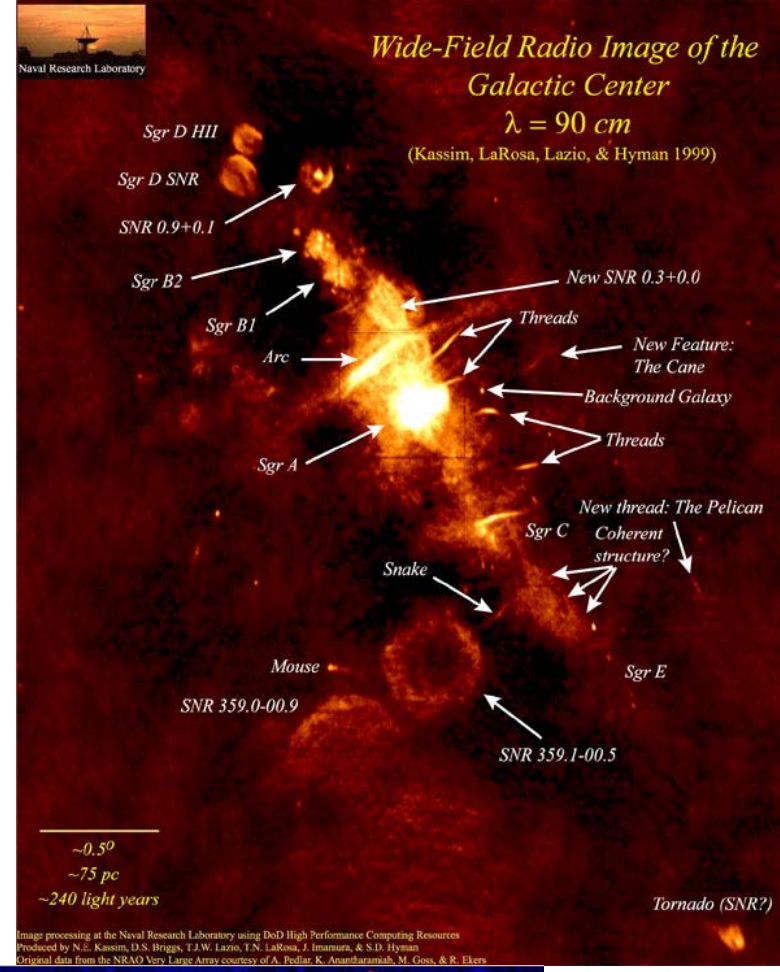
## jádro Galaxie

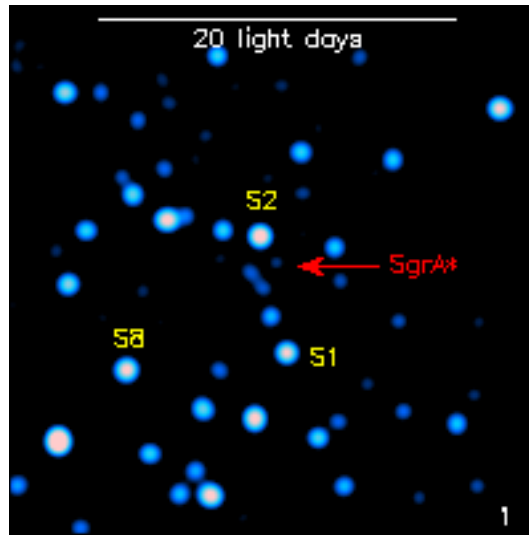
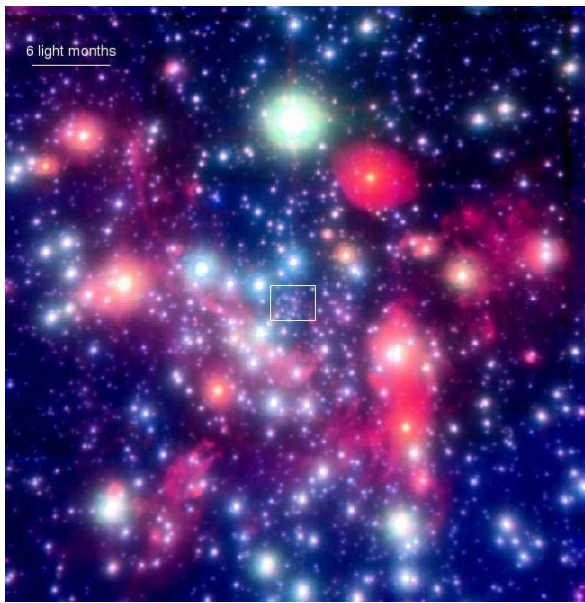
- patrně obrovská, mírně zploštělá kulová hvězdokupa o rozměrech 4 x 5 kpc
- nejčetnější slabí červení trpaslíci
- obklopeno hustým prstencem mezihvězdné látky => nelze zkoumat jádro ve vizuálním oboru spektra
- koncentrace hvězd směrem ke středu prudce roste => vyšší pravděpodobnost blízkých setkání hvězd.

*galaktické jádro* – cca 1 pc, výrony plynu a netepelného rádiového záření - výsledek interakce jedné či dvou velmi hmotných černých děr s hvězdami a mezihvězdnou látkou – Sgr A\* = super-masivní černá díra ( $4 \cdot 10^6 M_{\odot}$ , 0.3 au)

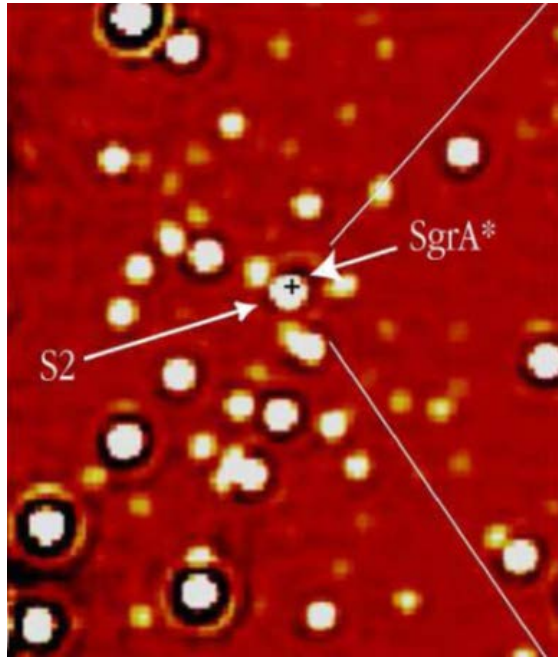
Hailey et al. (2018) – v gal. jádru možná tisíce hvězdných černých děr!

červeně - dvojhvězdy s bílými trpaslíky, modře - dvojhvězdy s černými děrami



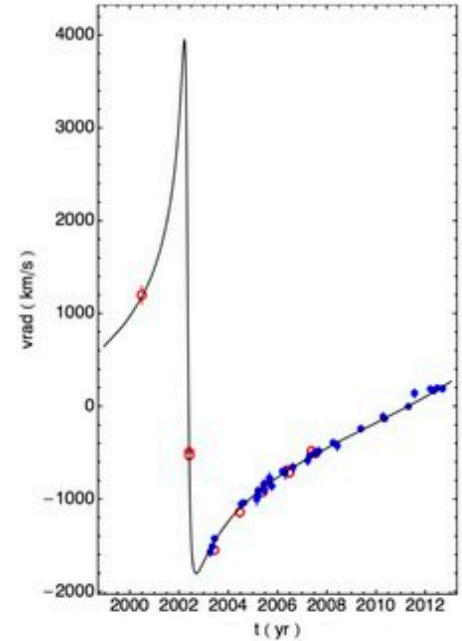
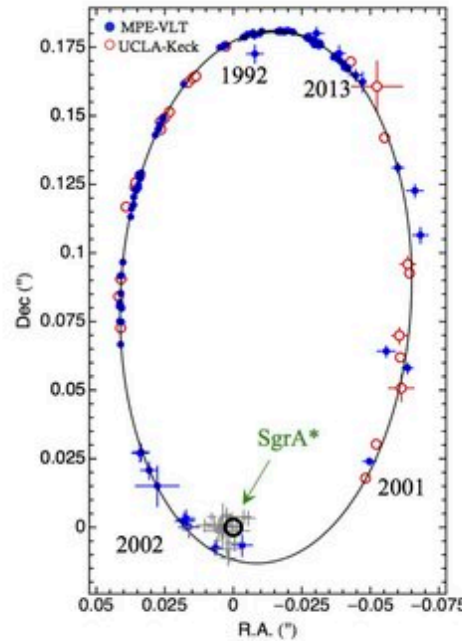


S2 průchod  
pericentrem  
2018!

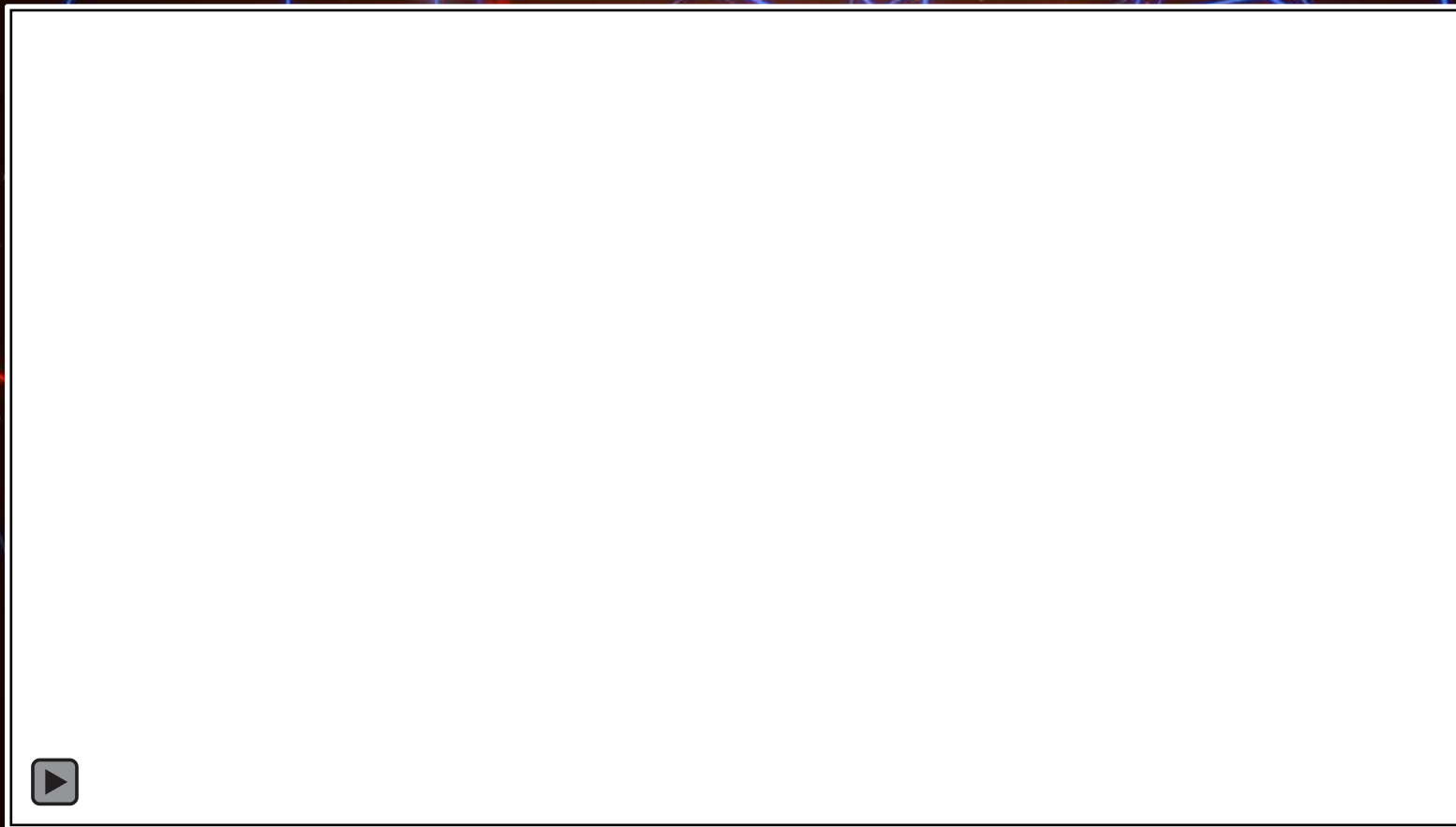


ESO, NACO 2002

### The orbit of S2 (1992-2013)



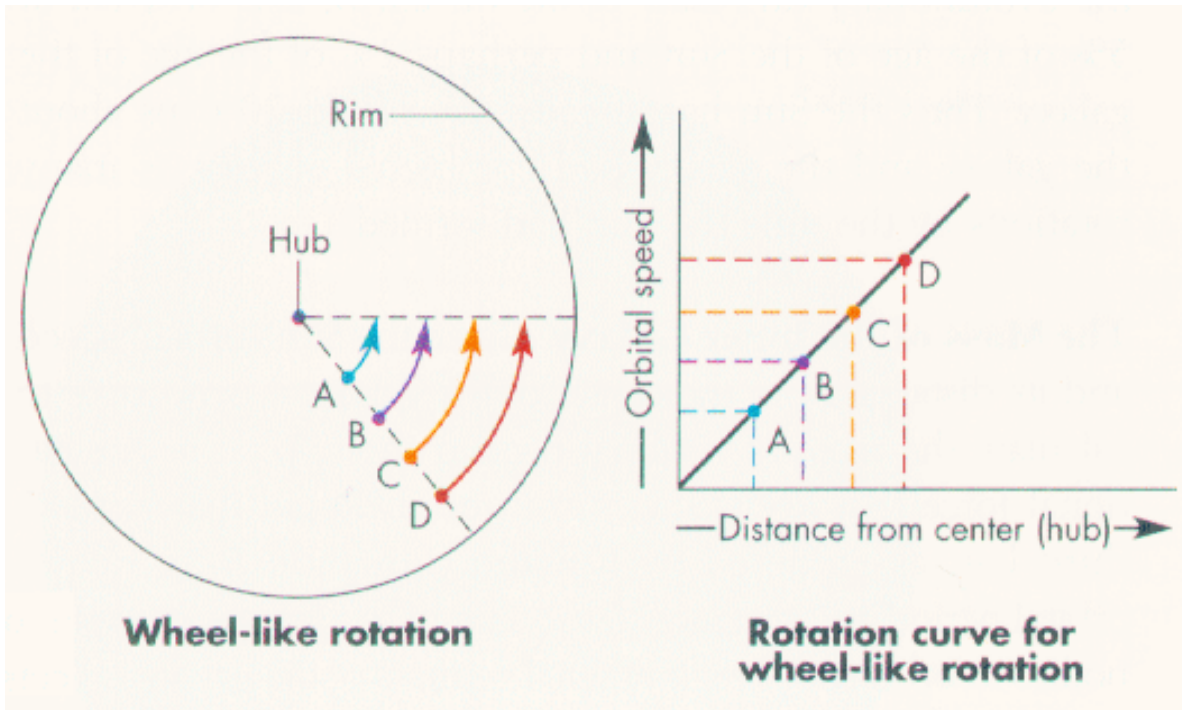
ESO, NTT, La Silla



# Rotace Galaxie

hvězdy – rychlost oběhu kolem středu Galaxie – závisí na vzdálenosti od středu  
(z měření radiálních rychlostí a vlastních pohybů hvězd)

model 1: pevná deska s rovnoměrným rozložením hmoty - oběžná rychlost  
hvězd  $\sim$  vzdálenosti od středu otáčení

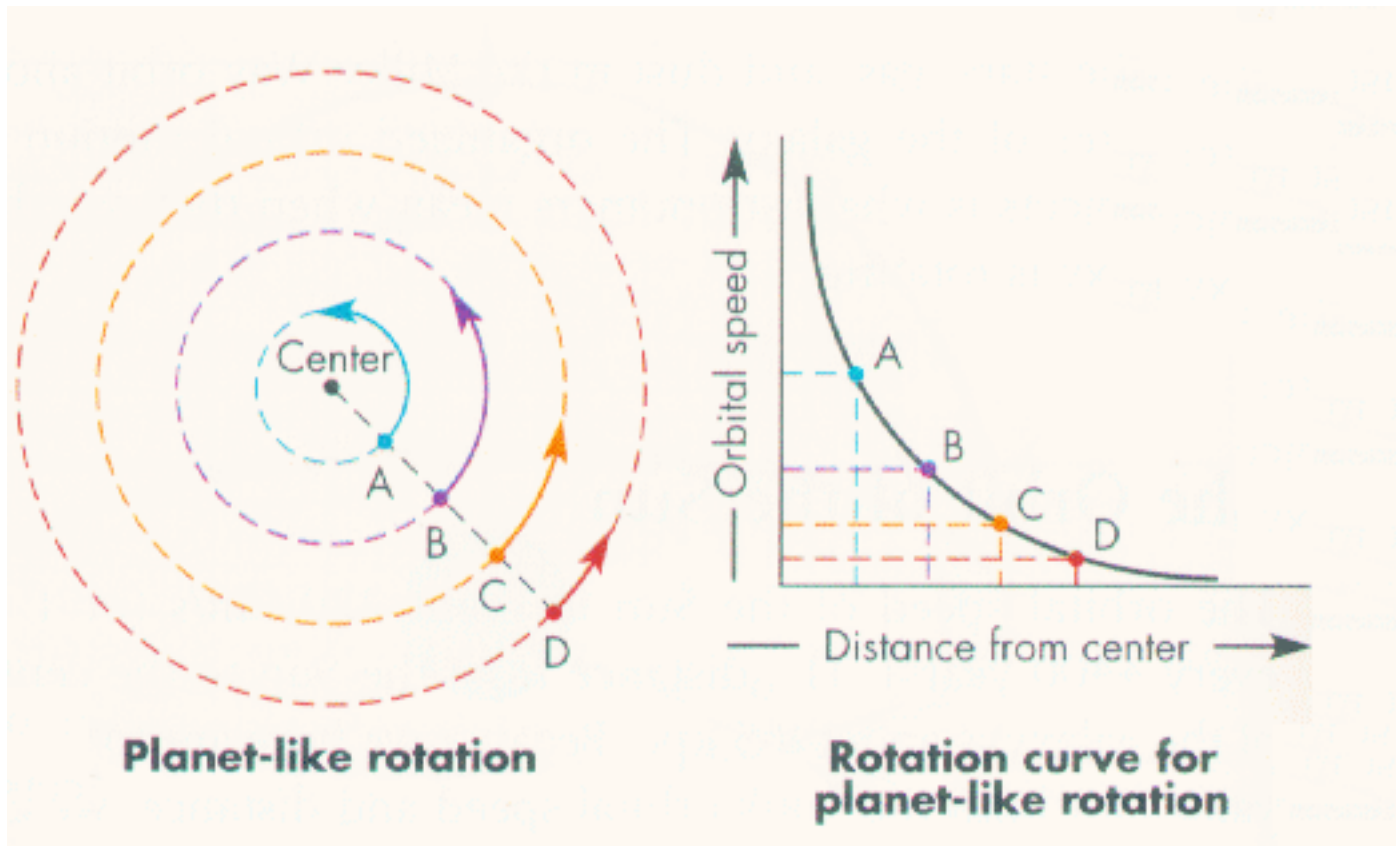


# Rotace Galaxie

model 2: s koncentrací hmoty v centrální oblasti (blízké modelu spirálních galaxií)

hmotnost jádra  $\gg$  hmotnost hvězdy  $\Rightarrow$  podobné jako u Sluneční soustavy  
 $\Rightarrow$  problém dvou těles (Keplerovy zákony)

oběžná rychlost závisí na vzdálenosti nepřímo úměrně

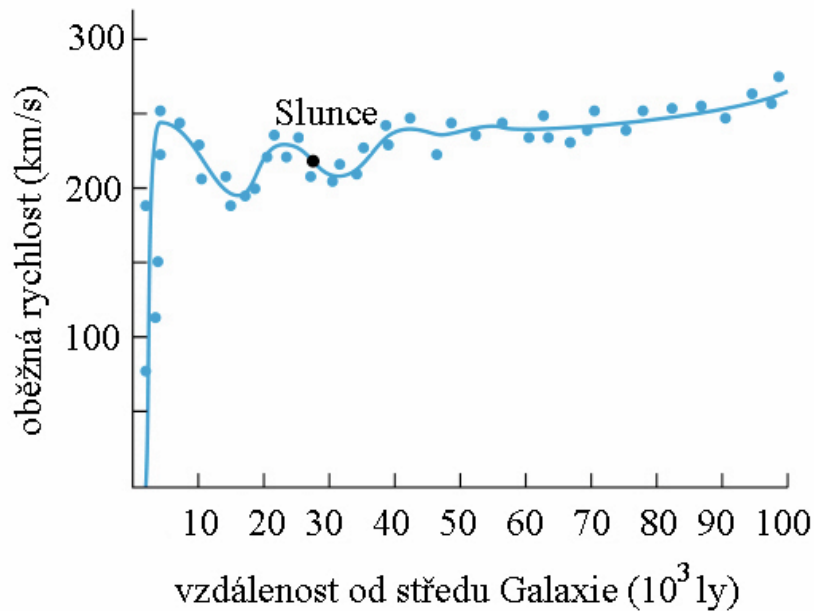


# Rotace Galaxie

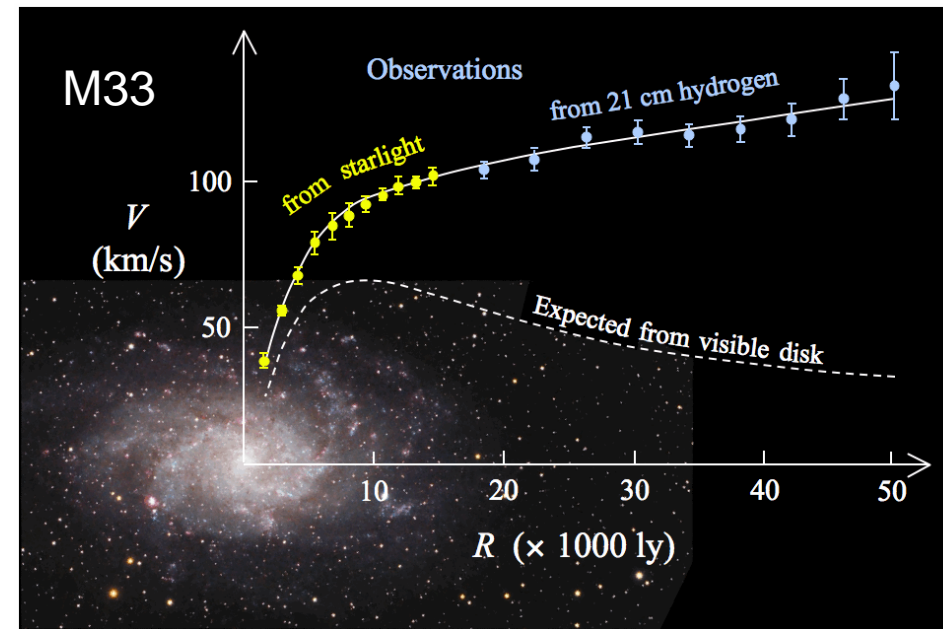
1975 – Vera Rubin – objev *diferenciální rotace* => hvězdy na okraji Galaxie mají cca stejnou oběžnou rychlost => nevyhovuje ani model pevné desky ani koncentrace látky k centru



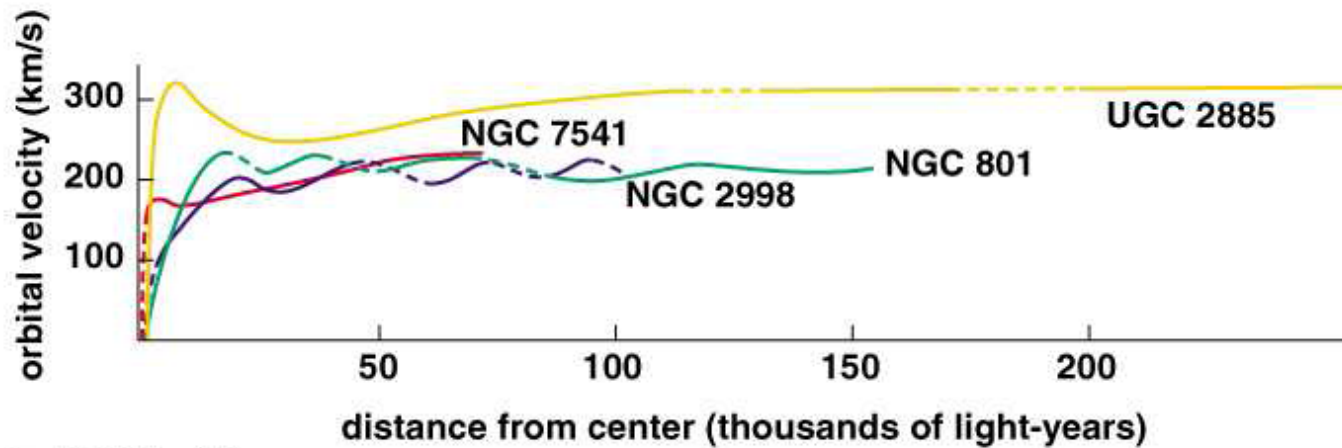
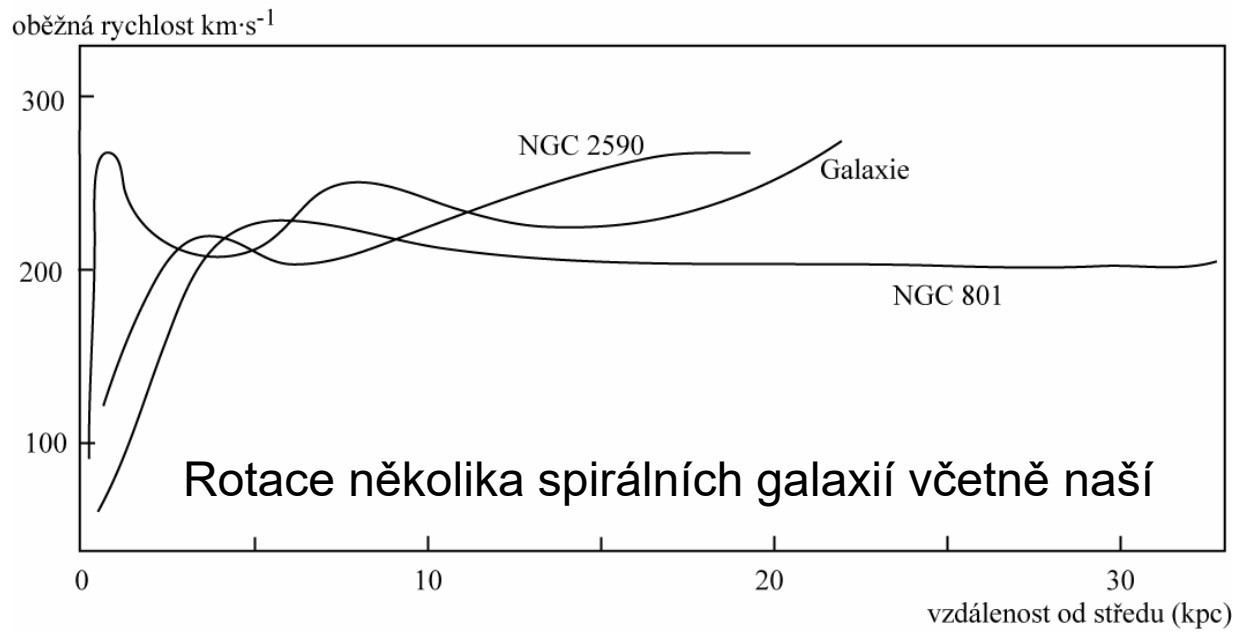
konstantní rotační rychlost v okrajových oblastech Galaxie => **skrytá hmota**



Závislost oběžné rychlosti na vzdálenosti od středu hvězdné soustavy - složitá funkce (různá u různých galaxií)







Copyright © Addison Wesley.

z průběhu rotačních křivek – hmotnost galaxií