

# Hvězdné ostrovy

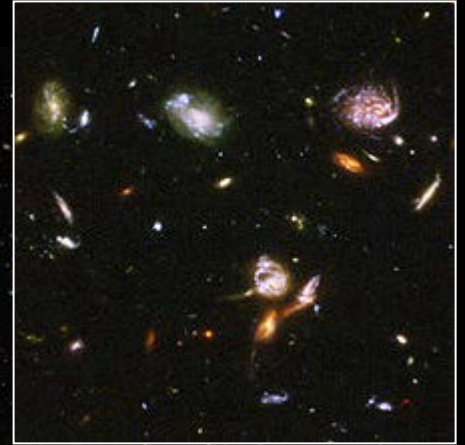
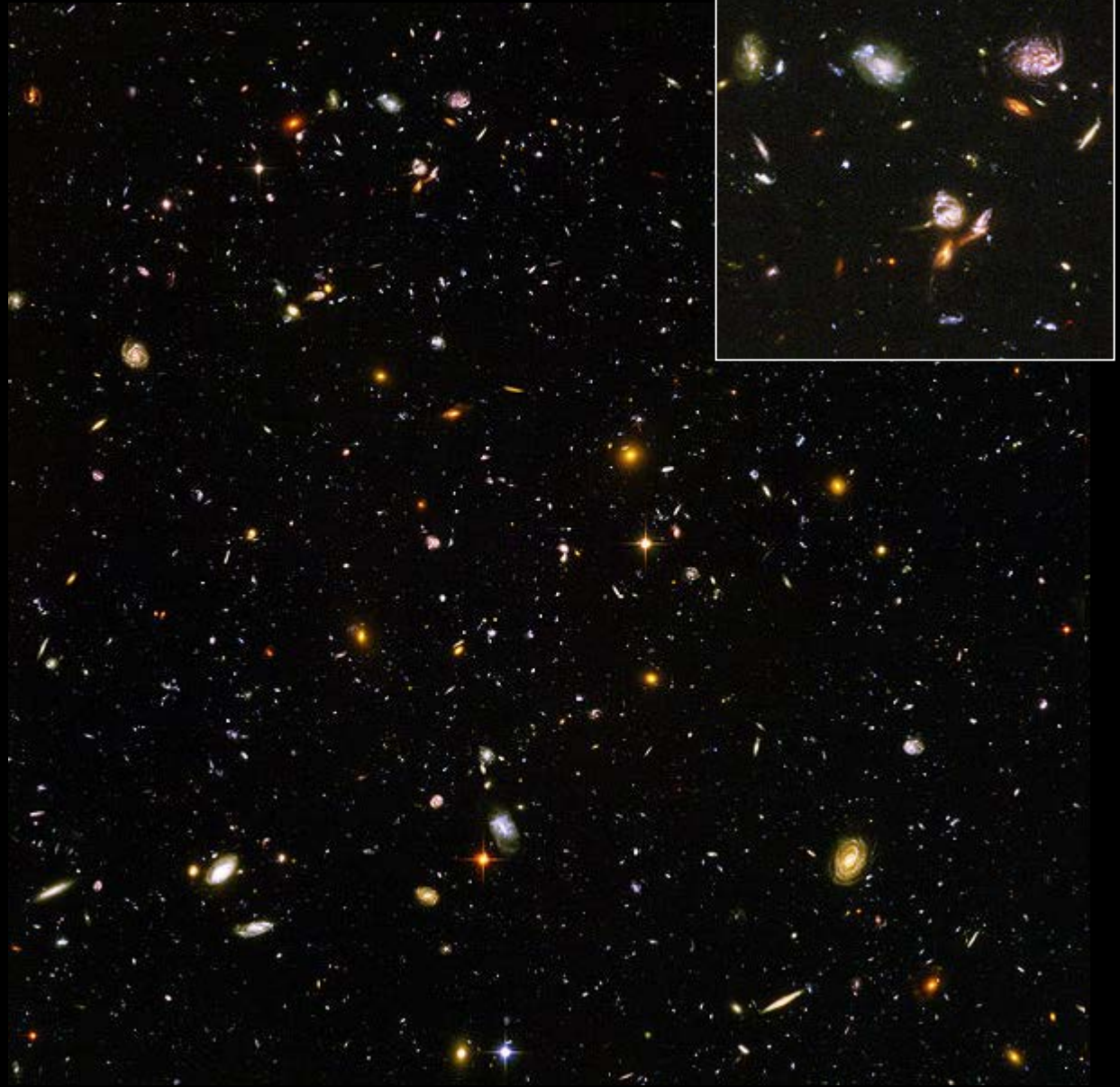



## V říši galaxií

pouhýma očima na celé hvězdné obloze – M31, SMC, LMC  
velké množství galaxií => každý má aspoň jednu ☺;  
(ultra)hluboký pohled do vesmíru



# Hubble ultra deep field





galaxie – rozdíly – velikost, stavba =>  
klasifikace – Edwin Hubble (1926, 1936)

**eXtreme Deep Field**

SMACS 0723

Vol

1. hluboké pole

JWST





E0 E3 E5 E7 S0

Sa

Sb

Sc

ve vizuální oblasti spektra

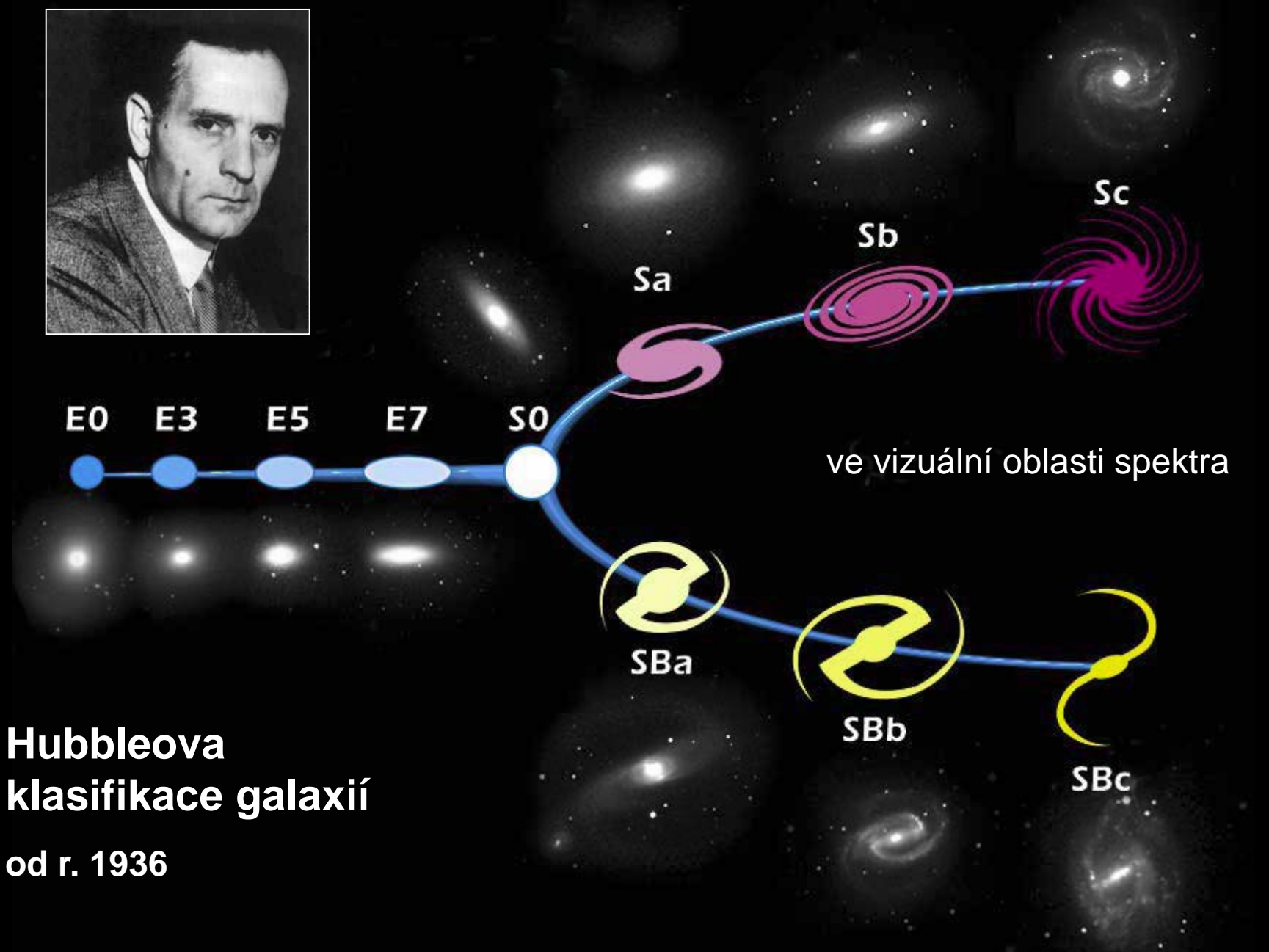
SBa

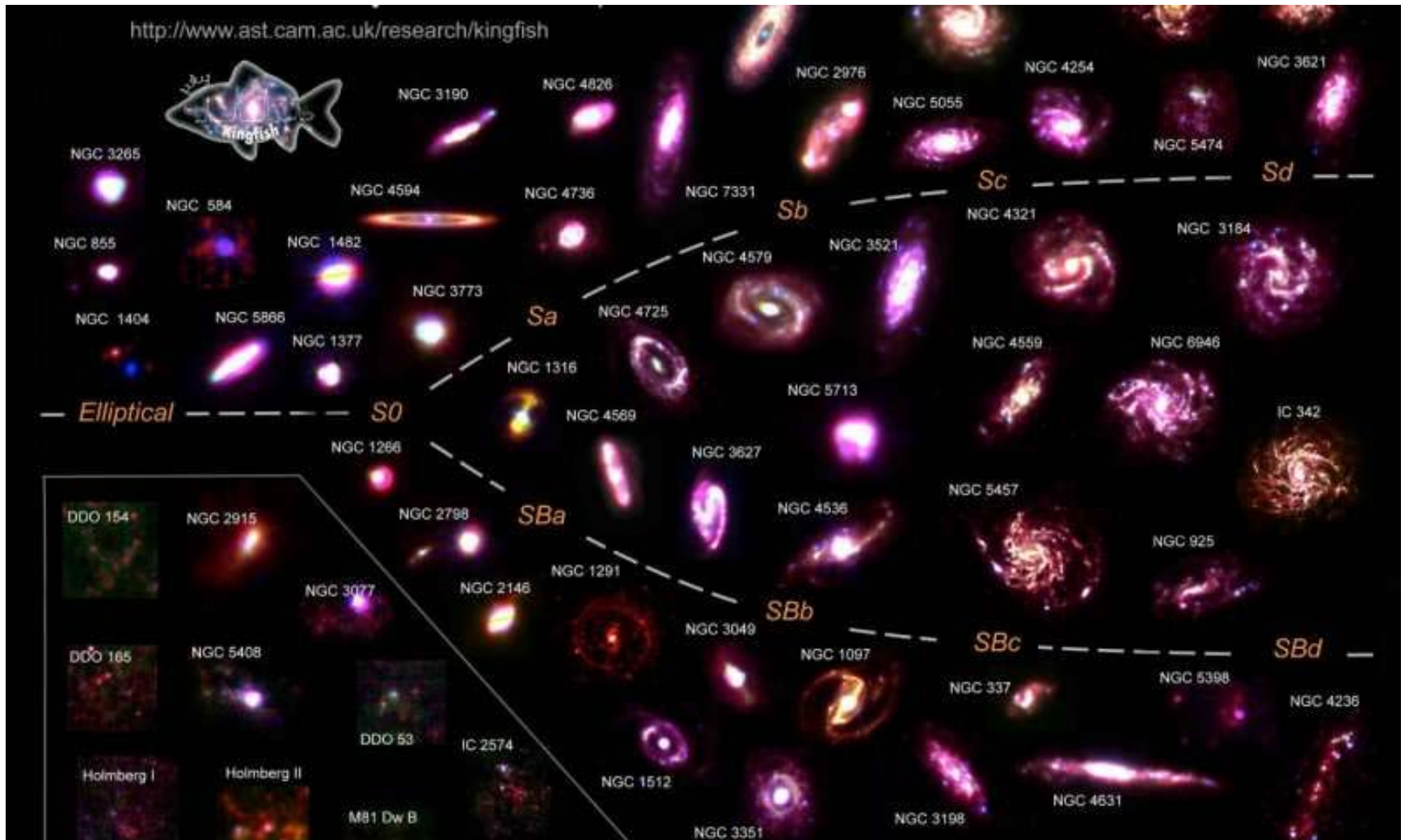
SBb

SBc

# Hubbleova klasifikace galaxií

od r. 1936





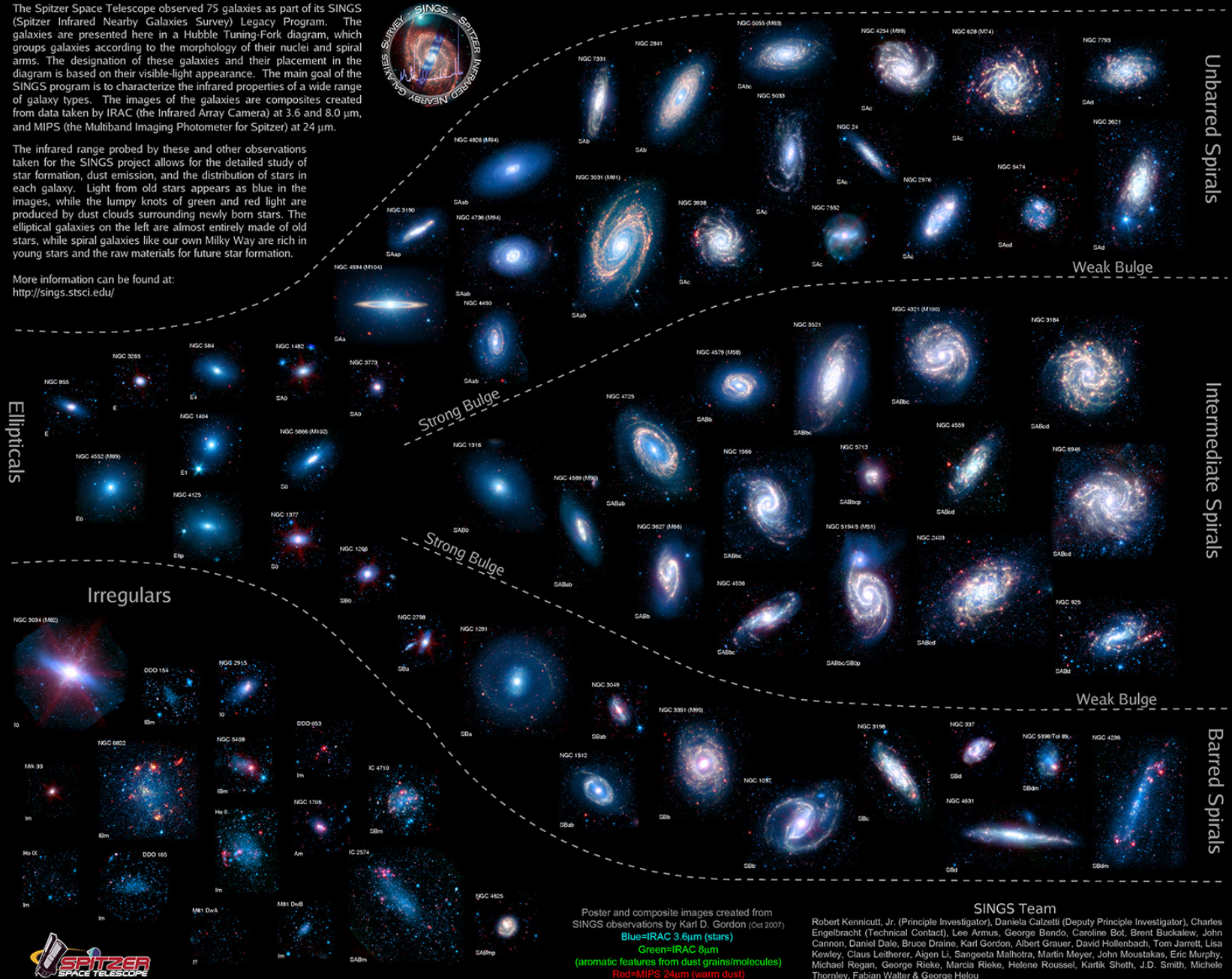
Přehledka blízkých galaxií pomocí družice Herschel v daleké IR (150-600  $\mu\text{m}$ )

# 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  $\mu\text{m}$ , and MIPS (the Multiband Imaging Photometer for Spitzer) at 24  $\mu\text{m}$ .

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/>



Poster and composite images created from SINGS observations by Karl D. Gordon (Oct 2007)  
 Blue=IRAC 3.6 $\mu\text{m}$  (stars)  
 Green=IRAC 8 $\mu\text{m}$  (aromatic features from dust grains/molecules)  
 Red=MIPS 24 $\mu\text{m}$  (warm dust)

## SINGS Team

Robert Kennicutt, Jr. (Principle Investigator), Daniela Calzetti (Deputy Principle Investigator), Charles Engelbracht (Technical Contact), Lee Armus, George Bendo, Caroline Bot, Brent Buckalew, John Cannon, Daniel Dale, Bruce Draine, Karl Gordon, Albert Grauer, David Hollenbach, Tom Jarrett, Lisa Kewley, Claus Leitherer, Aigen Li, Sangeeta Malhotra, Martin Meyer, John Moustakas, Eric Murphy, Michael Regan, George Rieke, Marcia Rieke, Helene Roussel, Kartik Sheth, J.D. Smith, Michele Thornley, Fabian Walter & George Helou





# de Vaucouleursův systém klasifikace galaxií

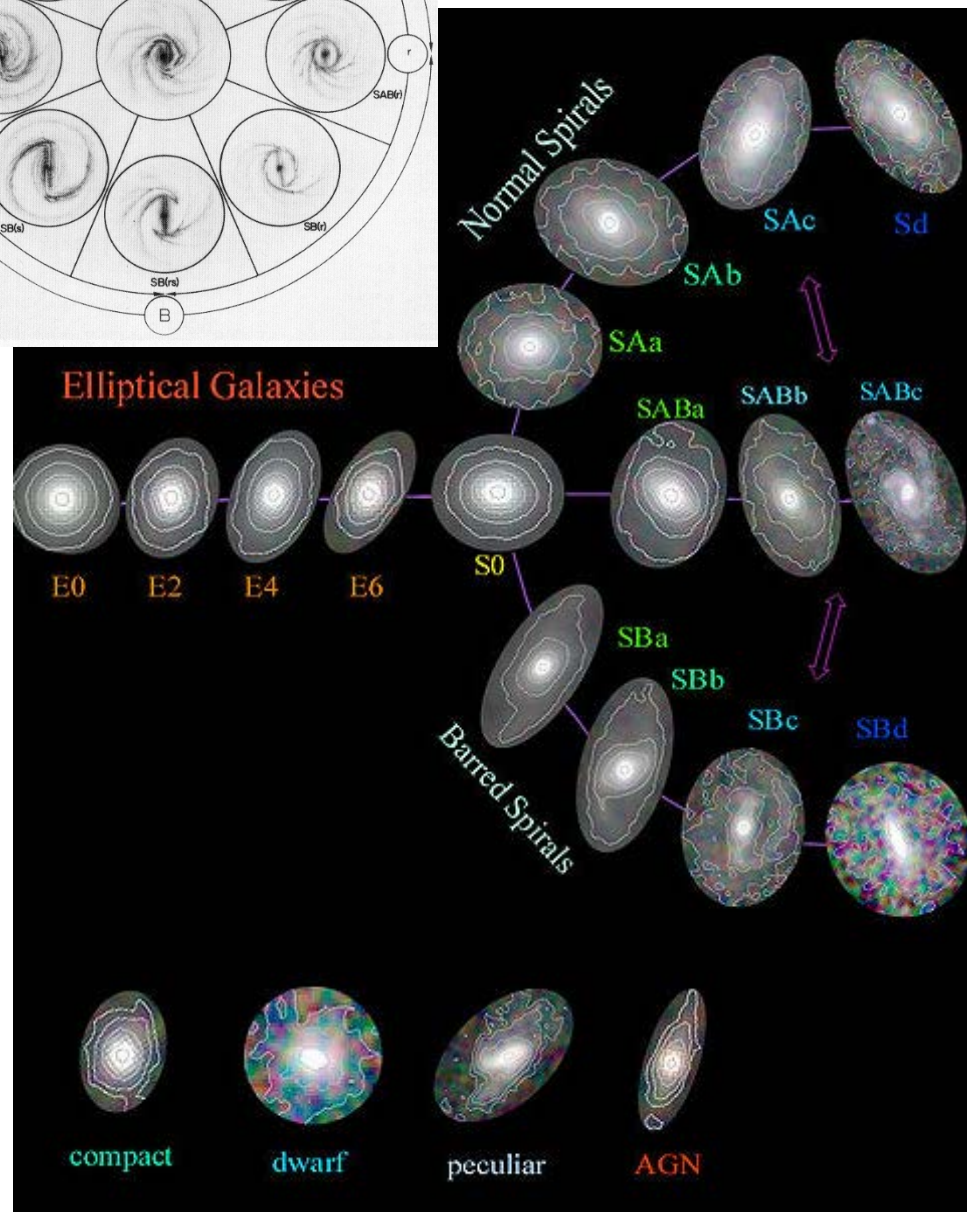
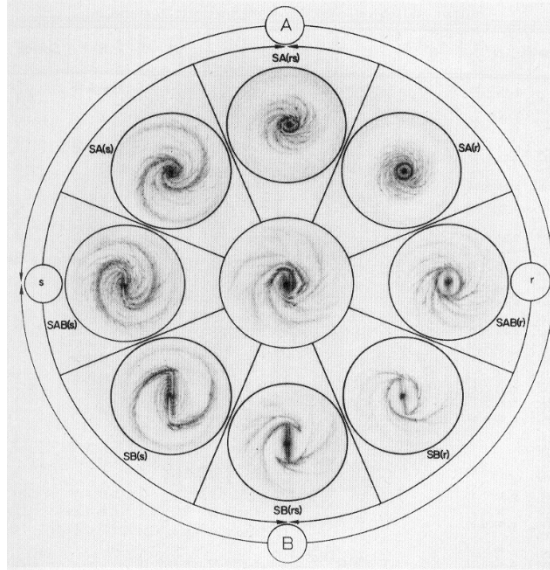
- 3D rozšíření Hubbleovy klasifikace  
(1959)

přidal rozšíření pro spirální gal.  
podle 3 znaků:

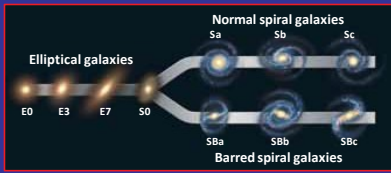
- příčka
- prstence
- spirální ramena

a dle stupně vývoje (rané, pozdní) ...

Gérard de Vaucouleurs  
(1918–1995)



# The new galactic order



IN 1926, edwin Hubble devised his "tuning fork" scheme for classifying galaxies. ellipticals, rich in old stars but with little gas to make new ones, give way to lens-shaped lenticulars and gas-rich normal and barred spirals. Irregular galaxies form a separate catch-all category.



NGC 4622, a face-on spiral galaxy in Centaurus, is classed as SA(r)ab.



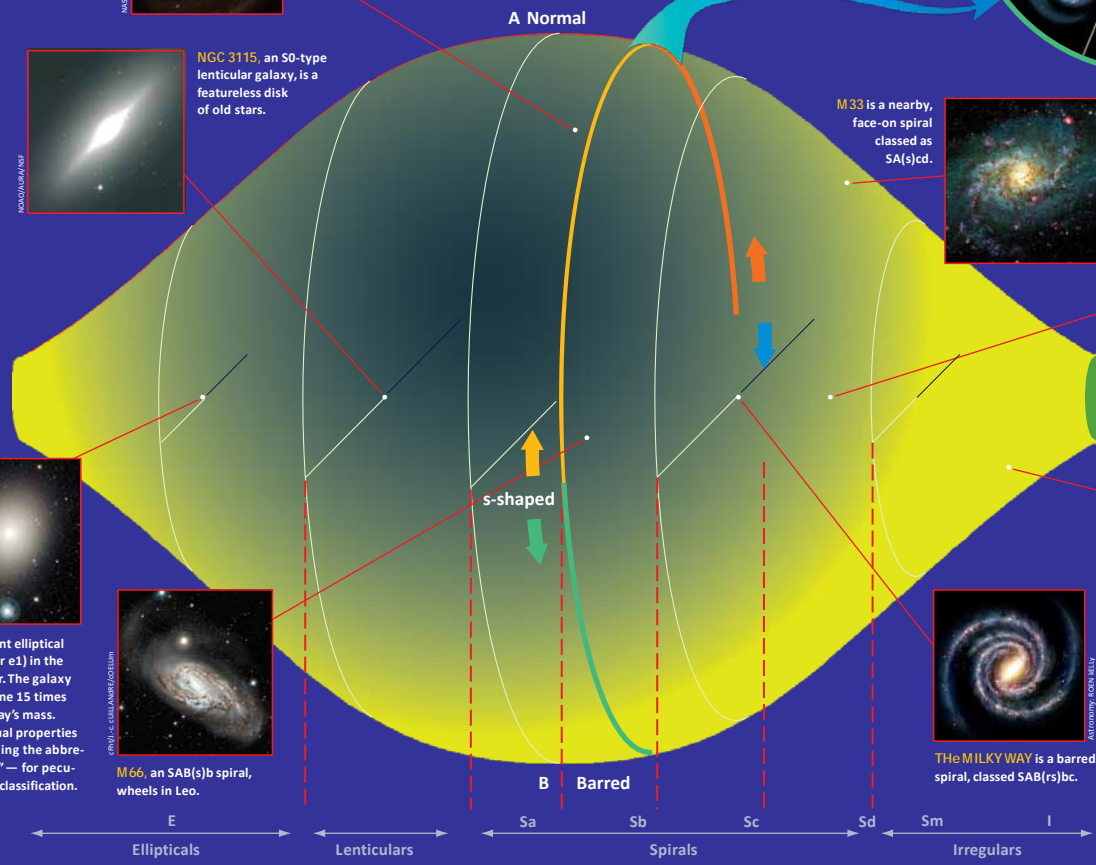
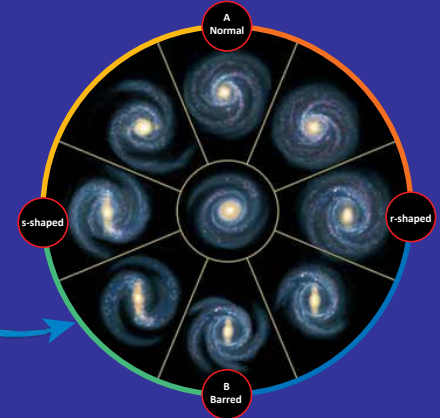
NGC 3115, an S0-type lenticular galaxy, is a featureless disk of old stars.



M87 is a giant elliptical galaxy (e0 or e1) in the Virgo cluster. The galaxy contains some 15 times the Milky Way's mass. M87's unusual properties warrant adding the abbreviation "pec" — for peculiar — to its classification.



M66, an SAB(s)b spiral, wheels in Leo.



M33 is a nearby, face-on spiral classed as SA(s)cd.



THE PINWHEEL GALAXY (M101), class SAB(rs)cd, shows clear and well organized spiral structure.



NGC 6822, an IBm-type dwarf galaxy, still has many star-forming regions.



THE MILKY WAY is a barred spiral, classed SAB(rs)bc.

# Falešná představa?

## Je Hubbleova sekvence vývojová?



NGC 4472 v SDSS

1930 - 1950: ANO,

ale kterým směrem? E- $\rightarrow$  S nebo S - $\rightarrow$  E?

Hubble sám: eliptické nemluvně - $\rightarrow$  čočková dorostenec - $\rightarrow$  dospělá spirální nemluvně = „early type galaxy“, ale „raná galaxie“ je nesmysl

jiní: nejmladší Irr - $\rightarrow$  Sd – Sc – Sb – Sa a čočkovité - $\rightarrow$  E nejstarší

1950 - 1980: NE

důvod: galaxie se rodí s počátečním úhlovým momentem (průměrný moment hybnosti na jednotku hmotnosti galaxie pak klesá; hraje roli při tvorbě hvězd)

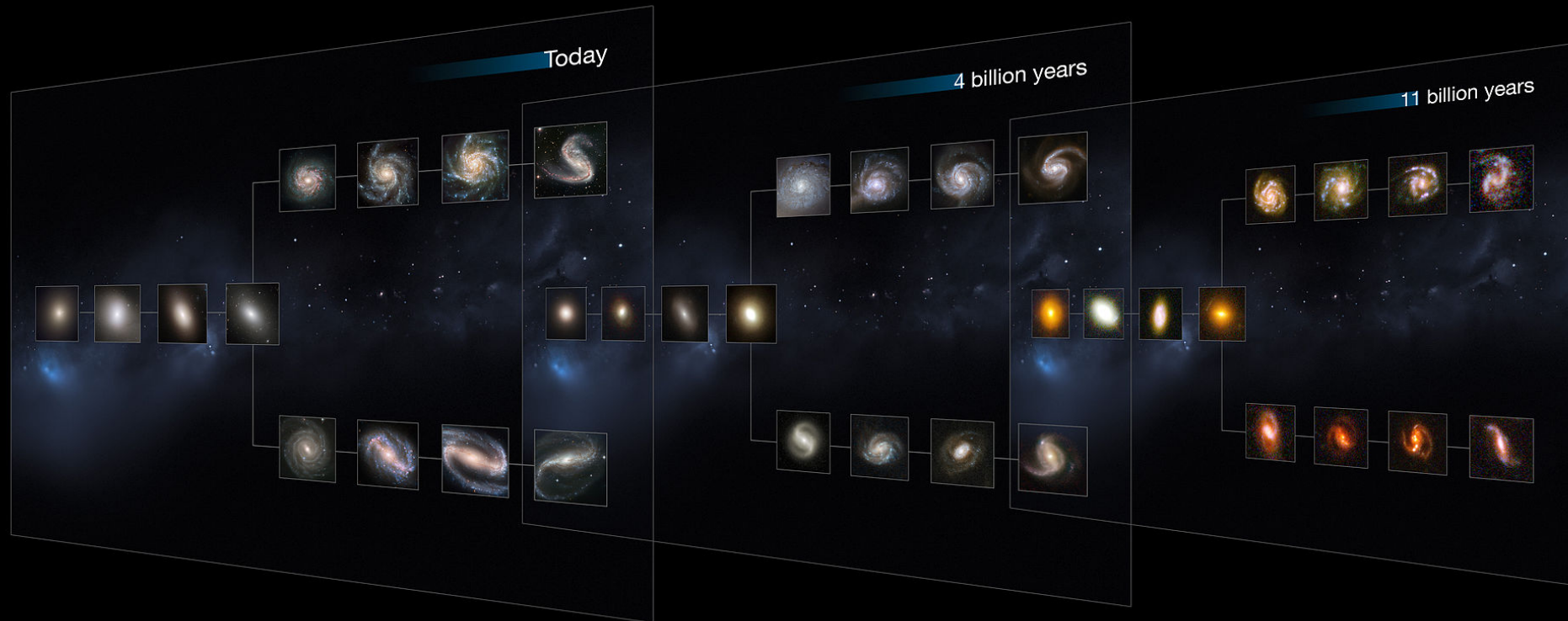
od 1980: ANO

S - $\rightarrow$  E: pravděpodobnější – eliptické a čočkové jsou starší galaxie, které se pravděpodobně vyvinuly ze stárnoucích spirálních systémů

*ALE*

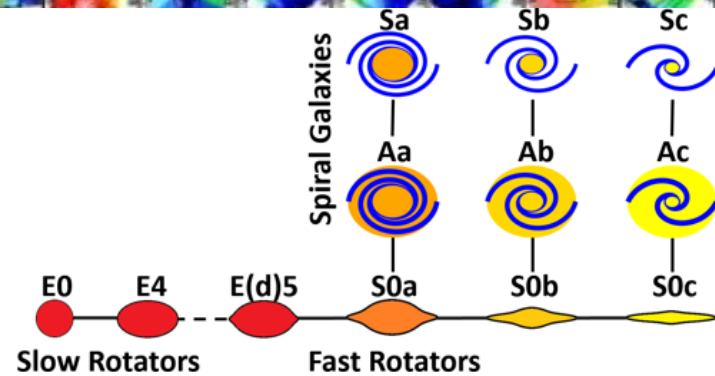
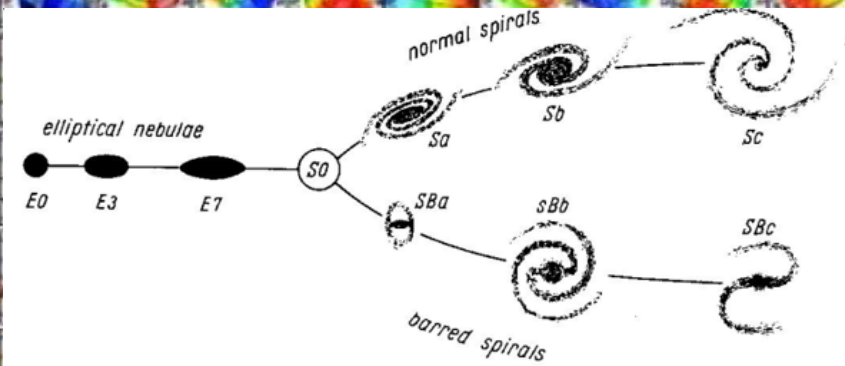
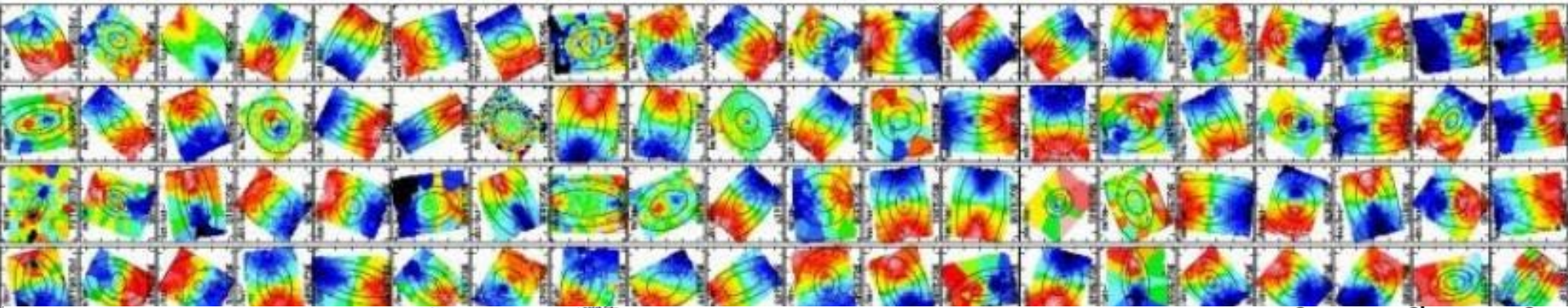
21. st. – proces vývoje galaxií mnohem složitější, Hubbleova ladička je příliš jednoduchá

# Hubbleova sekvence platí i pro galaxie staré 11 miliard let



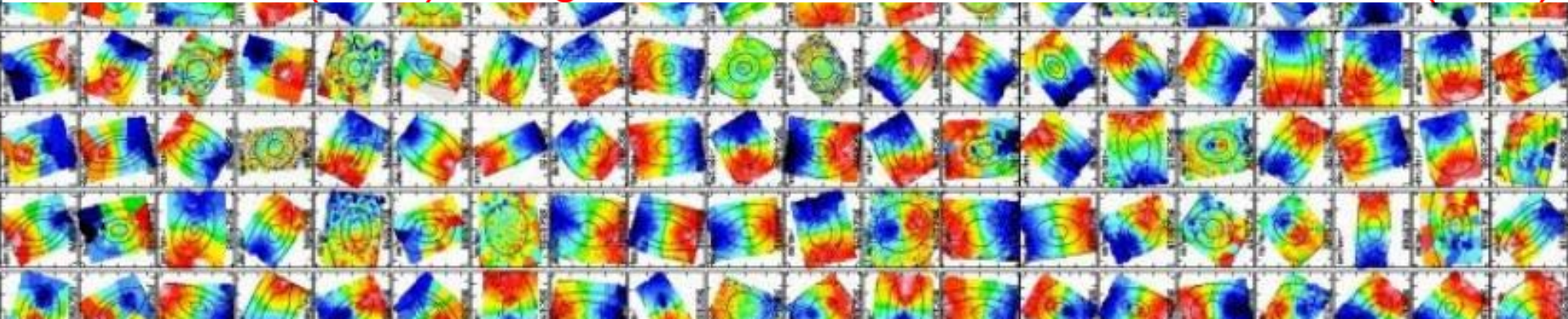
návrh na lepší dělení galaxií:

2006 - Atlas3D (2006,2011) - projekt mapoval 260 eliptických a čočkových („raných“) galaxií



Hubble (1936) tuning fork

The ATLAS<sup>3D</sup> comb (2011)

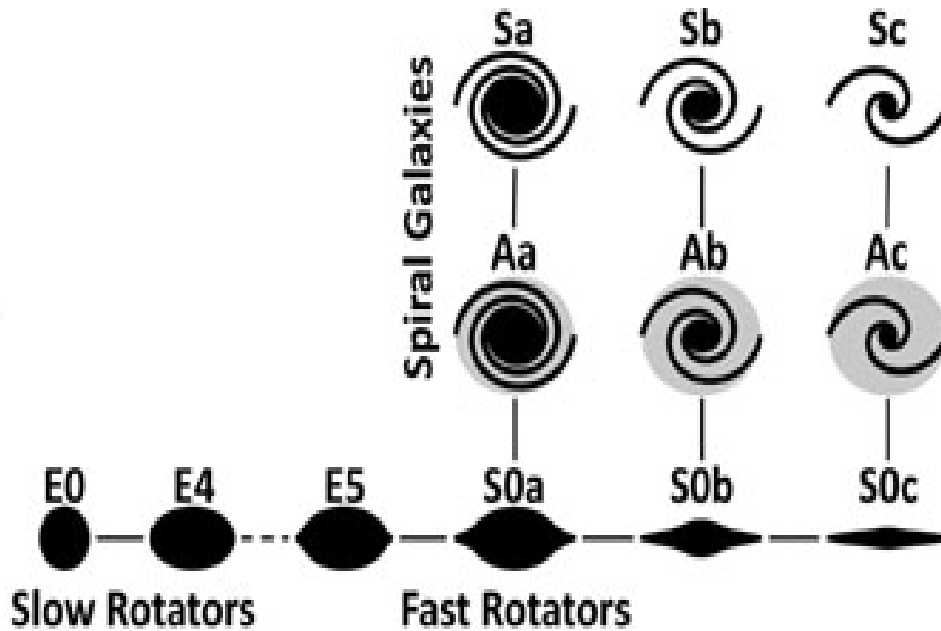
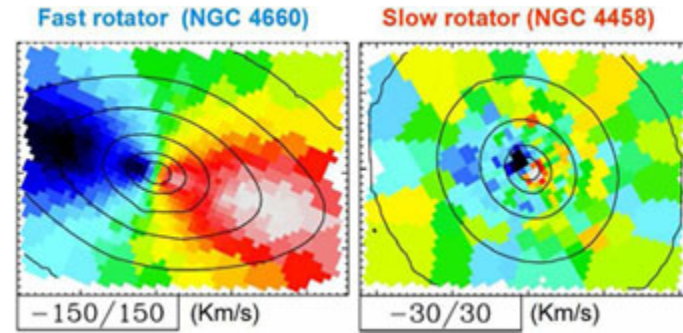


„rané galaxie“ – bez plynu pro tvorbu hvězd =>  
hladké, ploché, hvězdy obíhají samostatně (fosilní  
záznamy evoluce galaxií)

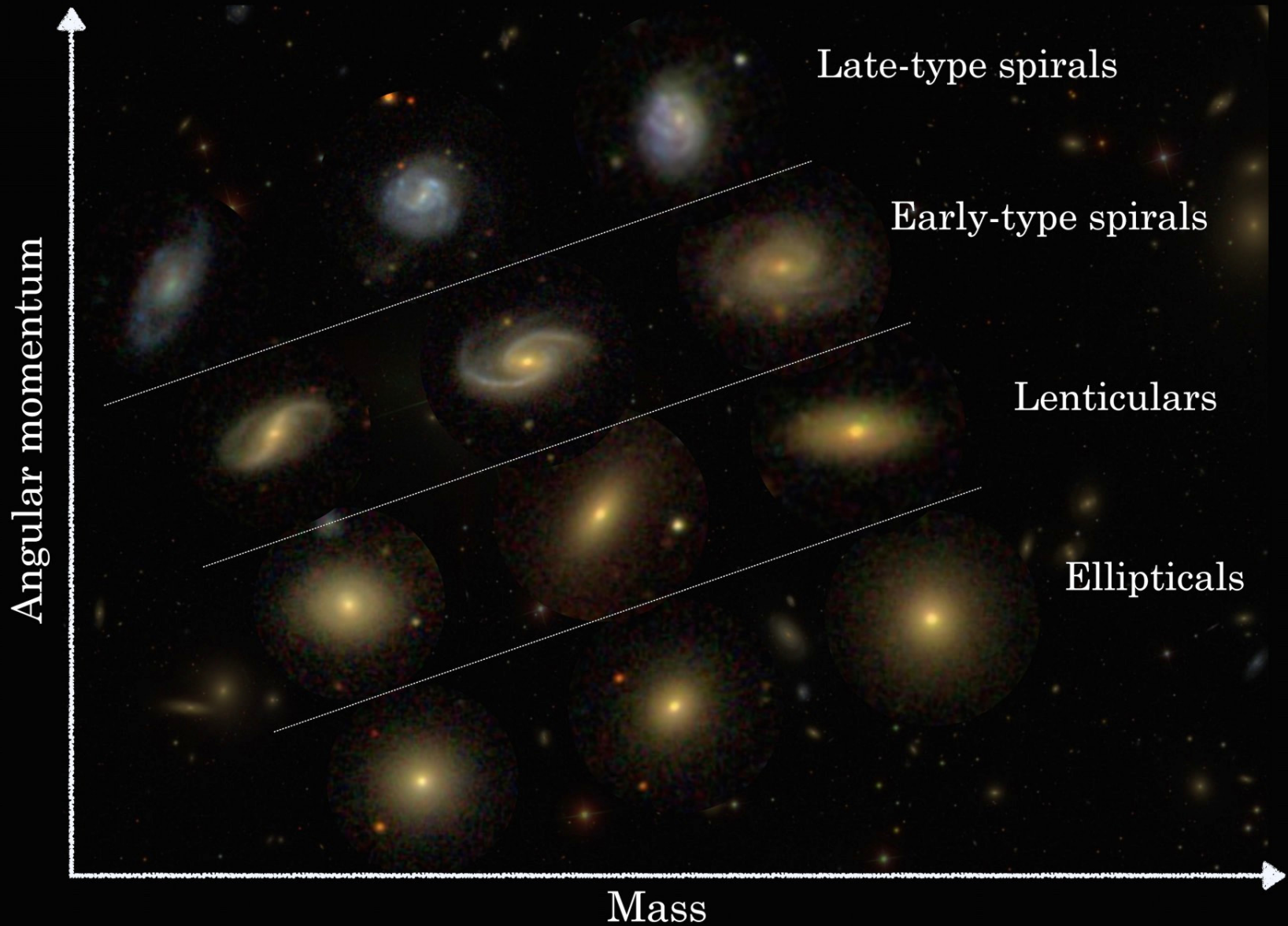
spirální – rameno, plyn, prach pro tvorbu hvězd, obíhají  
v rovině stejným směrem pospolu

rané – do dvou skupin – rychlé a pomalé rotátory

nové dělení - lépe popisuje vlastnosti



85 % => sférické galaxie jako spirální bez spirál



## Spirální galaxie

označování - spirální S, spirální s příčkou SB  
+ písmena *a* až *d* - podle poměru velikosti jádra  
a ramen;  
Sa - relativně velké jádro malá ramena -> Sd  
malé jádro, velká ramena;  
obdobně SBa -> SBd

Naše Galaxie je typu SBc

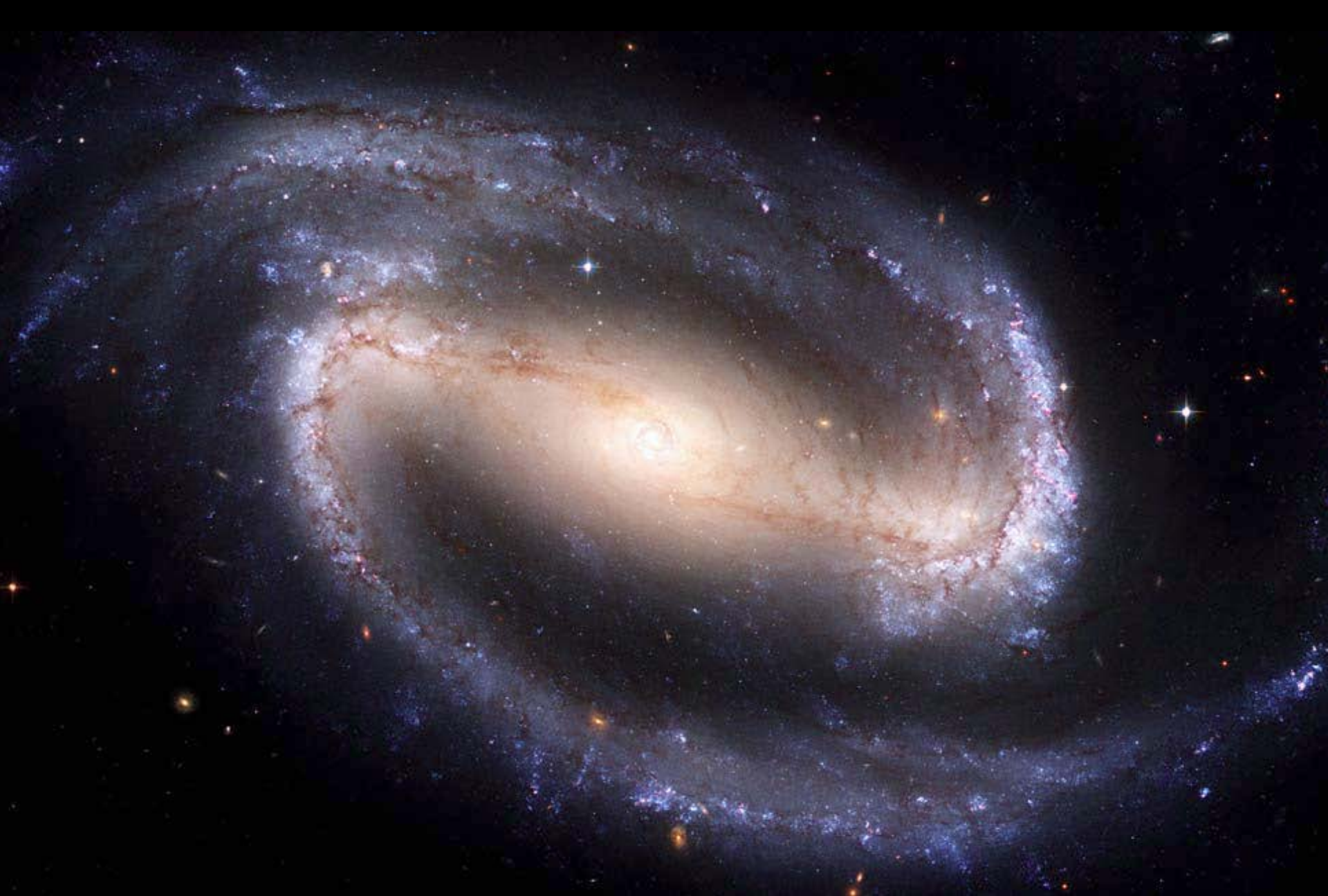
- nejméně dvě spirální ramena připojená přímo nebo přes příčku
- v ramenech - hodně žhavých hmotných hvězd,  
- rozsáhlá oblaka mezihvězdné látky (oblasti HII)
- 1 do 20 % (hmotnostně) mezihvězdné látky
- celkové hmotnosti -  $10^9$  -  $10^{12} M_{\odot}$







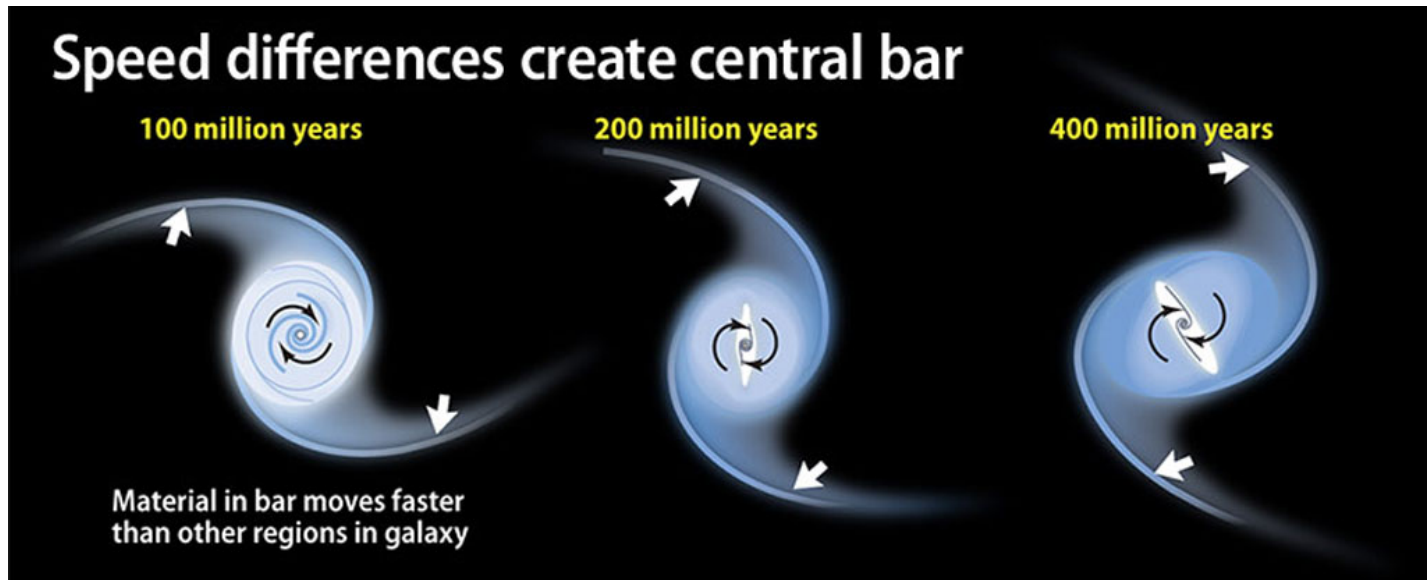
M 106



Typický vzhled galaxie s příčkou - NGC 1300 (HST)



Vypadá takto naše Galaxie?



## Eliptické galaxie E

Označení: E+x

$$x = 10[(a - b)/a]$$

$a, b$  - poloosy galaxie

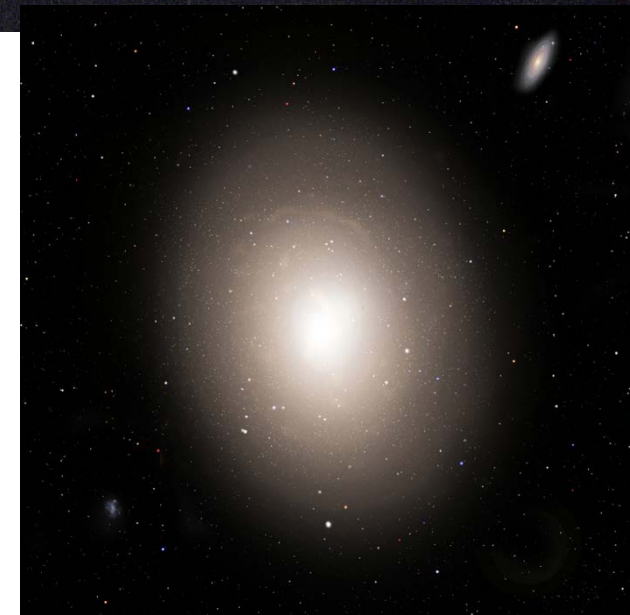
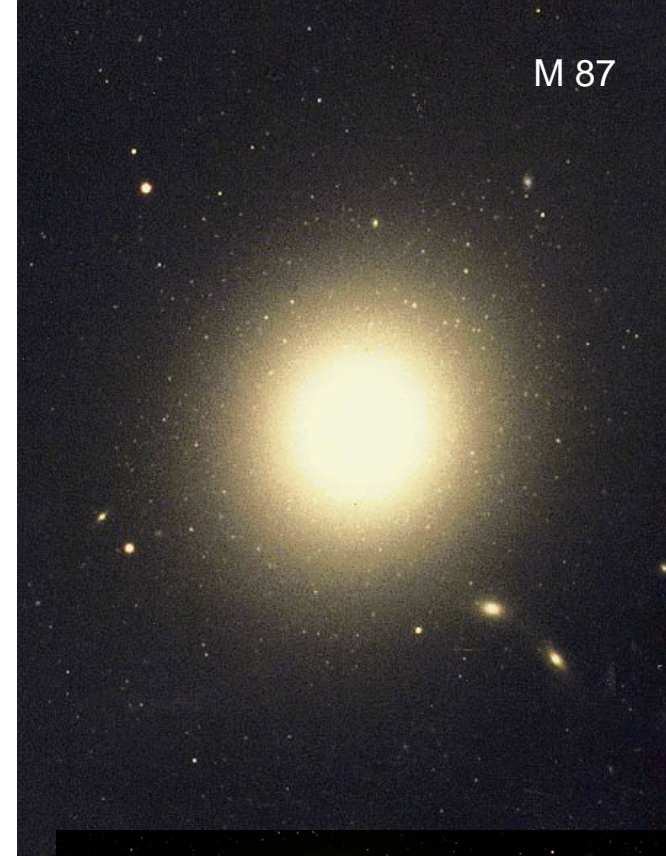
fakticky E0 (kruhové) -> E7 (ploché)

tvář koule nebo rotačního elipsoidu



Znaky:

- většinou staré trpasličí hvězdy –  $M < 2 M_{\odot}$ ,  
malý výkon
- mezihvězdná látka do 0,2 % celkové hmotnosti
- velké rozdíly velikostí a hmotností  
(obří  $10^{13} M_{\odot}$  x trpasličí  $10^6 M_{\odot}$ )
- **zpravidla bez oblastí vzniku nových hvězd**



rentgenovský  
obraz



obraz ve  
viditelném  
světle



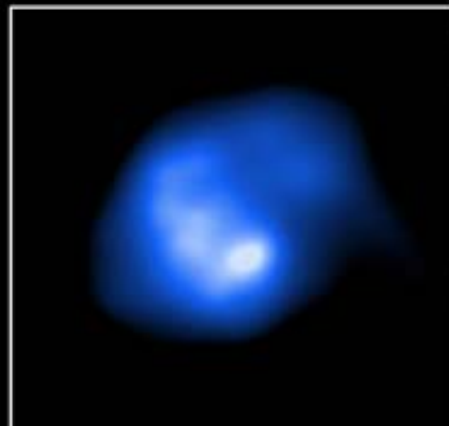
NGC 0533



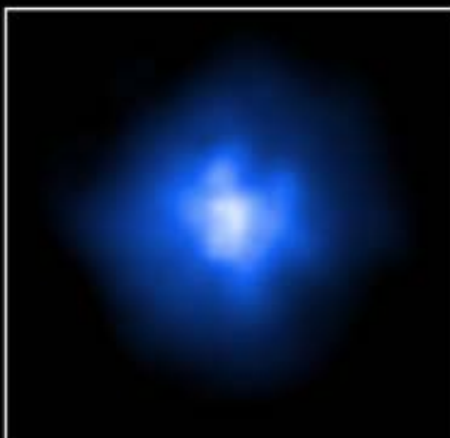
NGC 0507



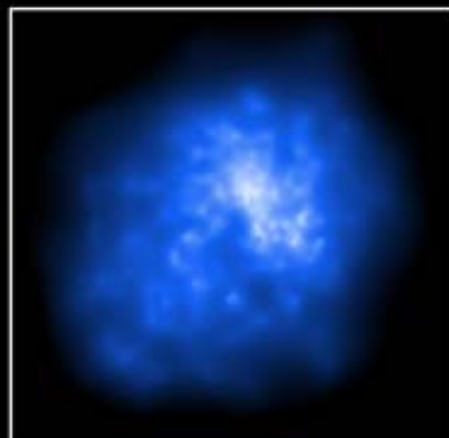
NGC 1399



NGC 7618



NGC 6482



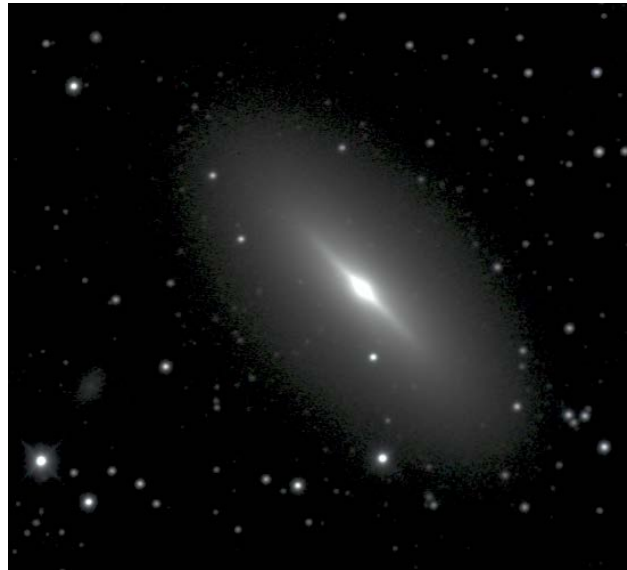
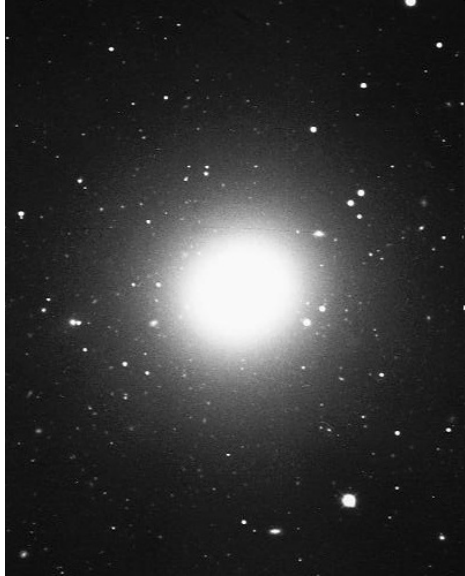
NGC 5044

## Čočkovité galaxie S0

spirální galaxie bez ramen

nelze jednoznačně přiřadit - přechodný typ mezi S a E galaxiemi

- znaky
- výrazné jádro (pokles jasu od středu k okrajům stupňovitě),
  - někdy sledujeme náznaky spirálních ramen, příčky a vnějšího prstence
  - téměř žádná mezihvězdná látka



## Nepravidelné galaxie

označení *Irr* (z anglického *irregular* = nepravidelný)

několik procent galaxií

Znaky:

méně hmotné soustavy,  $10^8 - 10^9 M_{\odot}$

30 - 40 % celkové hmotnosti

– mezihvězdná látka

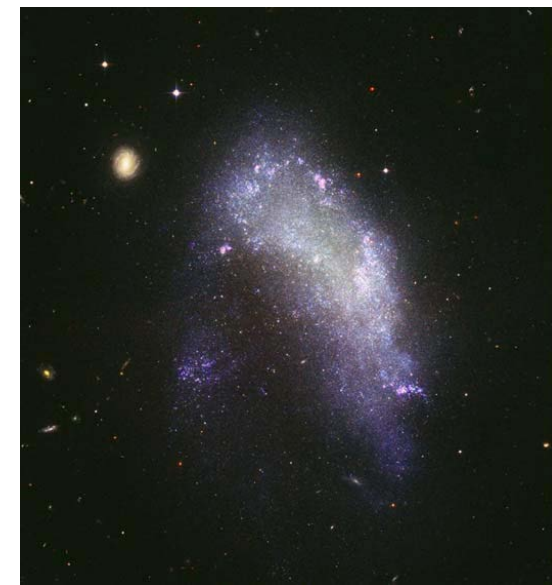
=> tvorba nových hvězd.

galaxie Tykadla (Antennae Galaxies)

NGC 4038 a NGC 4039



IRAS 19115-2124



NGC 1427A

SMC



# Dvě zvláštnosti

## Slupkové galaxie

- objev D. Malin (1979)
- eliptické galaxie se soustřednými oblouky, slupkami kolem celé galaxie
- oblouky tvoří jemnou strukturu a jejich vnější okraj má ostrou hranu
- odhad – 17-44 % typu E je slupkových



## Prstencové galaxie

Hoagův objekt - vzdálen přibližně 600 milionů ly  
(objeven v r. 1950)



Galaxie Kolo od vozu  
(Zwickyho elipsa)



Hoagův objekt



## Statistika typů galaxií - přehled

jen roztríděné galaxie! – celkové odhady krajně nejisté!

<i>Typ galaxie</i>	<i>Relativní počet (%)</i>
spirální	50
eliptické	25
čočkovité	20
nepravidelné	5

ZOO galaxií <http://www.galaxyzoo.org/>

# Aktivní galaxie - AGN

jádra cca 10 % galaxií - anomálie:

- vyšší a proměnlivý tok záření v části spektra
- výrony materiálu, výtrysky ionizovaného plynu až  $10^6 M_{\odot}$

1908 – Edward A. Fath – emisní čáry ve spektru NGC 1068 (M77)

1926 – Edwin Hubble – emisní čáry u třech galaxií

1943 – Carl K. Seyfert – 12 galaxií s velmi jasným jádrem, odlišným spektrem

studium aktivních galaxií



jedna z priorit galaktické astronomie



M82

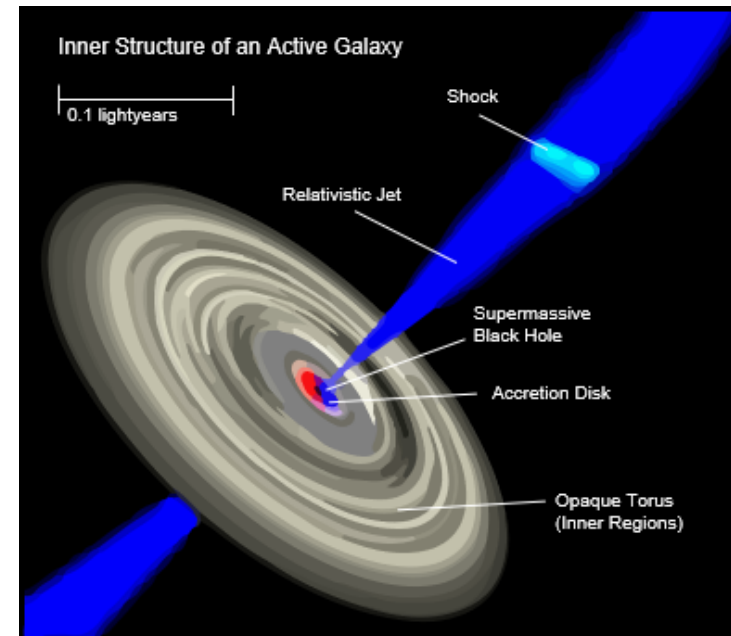
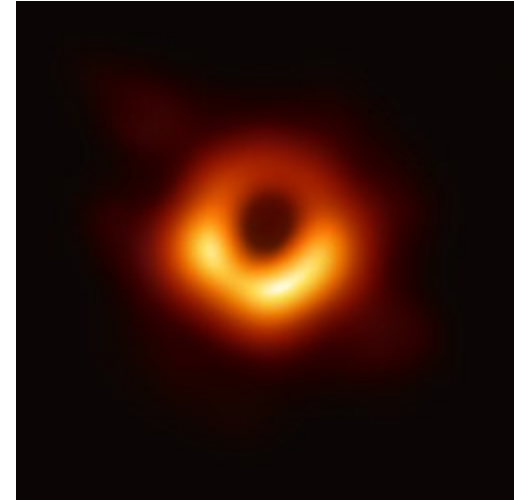
# Energie aktivních galaxií

Zářivý výkon - o 1-3 řády větší než zářivý výkon všech hvězd v galaxii  
vyzařován z malé oblasti – jádro galaxie =>  
=> jaderné reakce nestačí !

efektivnější uvolňování energie → spadá hmota  
do černé díry => model galaxie s masivní ČD uprostřed

kde se bere krmení?

- mezihvězdná hmota
- hvězdy, jejich zbytky (slapové síly)
- materiál z mezigalaktického prostoru
- pohlcené galaxie (**kanibalismus**)



# Aktivní galaxie

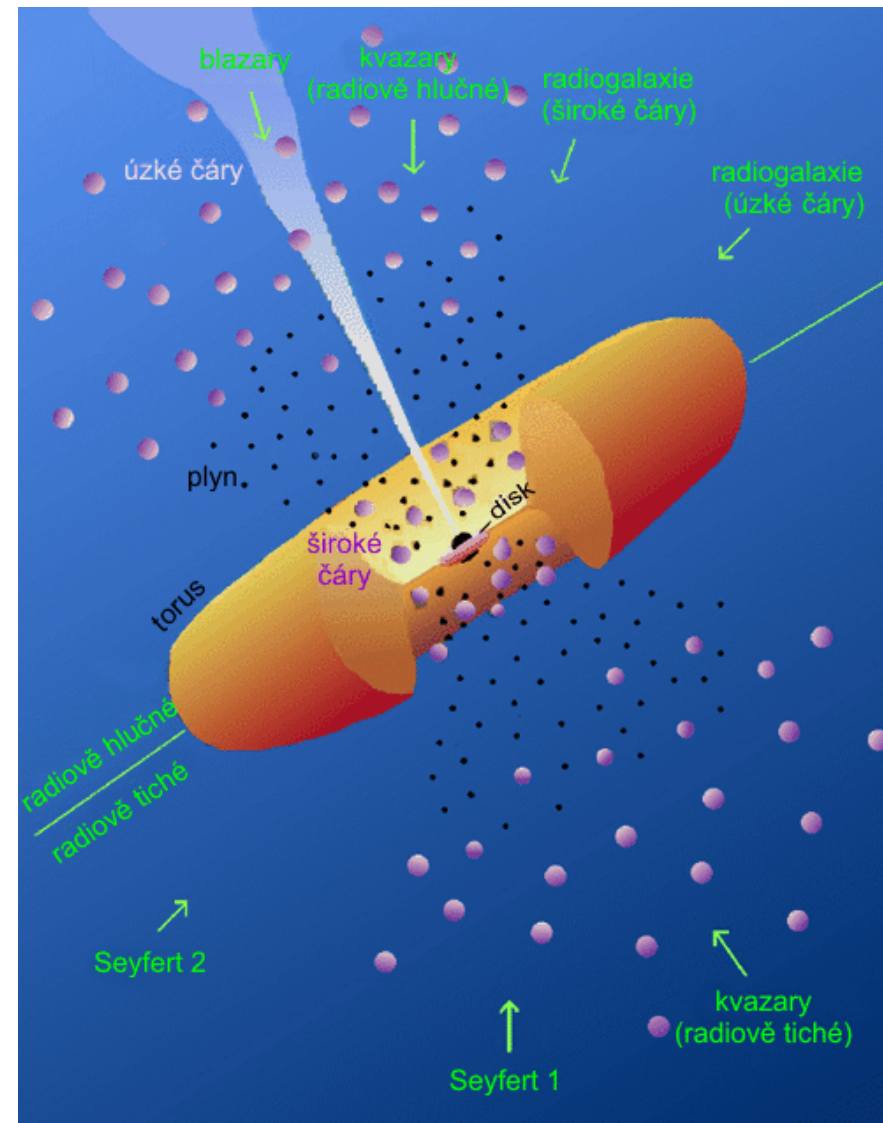
- **rádiově tiché** (linery, Seyfertovy galaxie, kvasary QSO)
- **rádiově hlučné** (rádiové galaxie, blazary, OVV kvasary)

LINERs = Low-ionization nuclear emission-line regions

QSO = quasi-stellar object

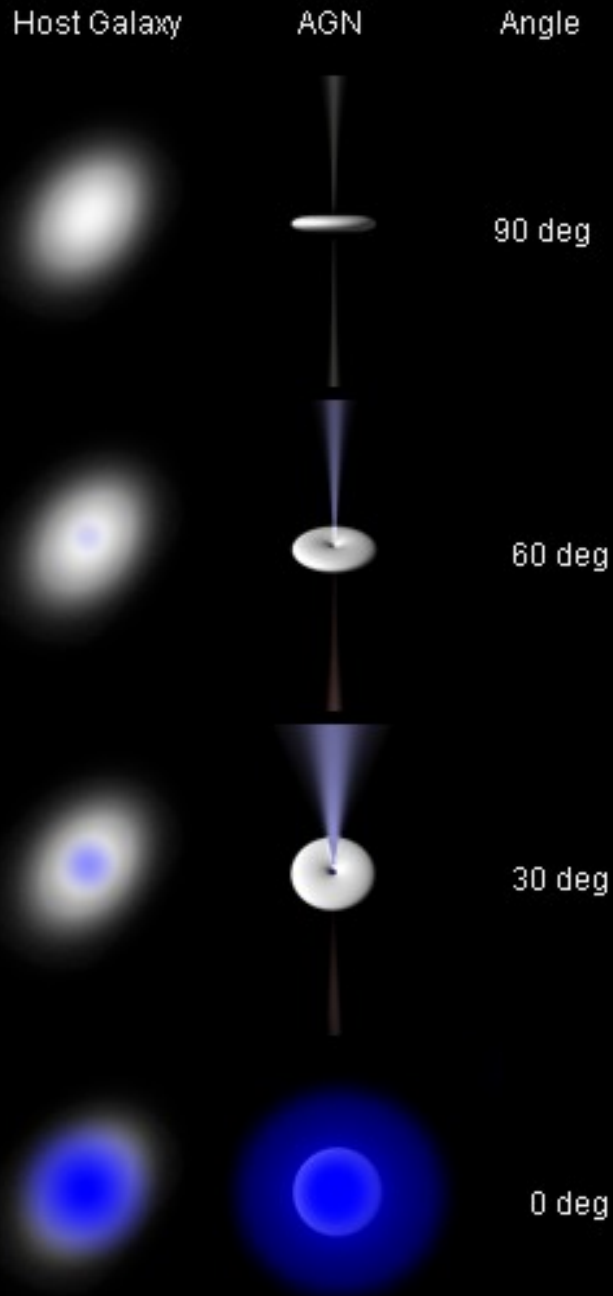
OVV = Optically Violently Variable

blazar = objekt typu BL Lac



*stejná fyzikální podstata x různé úhly pohledu!*

Observed Properties of Jets and the Angle to the Line of Sight  $\theta$

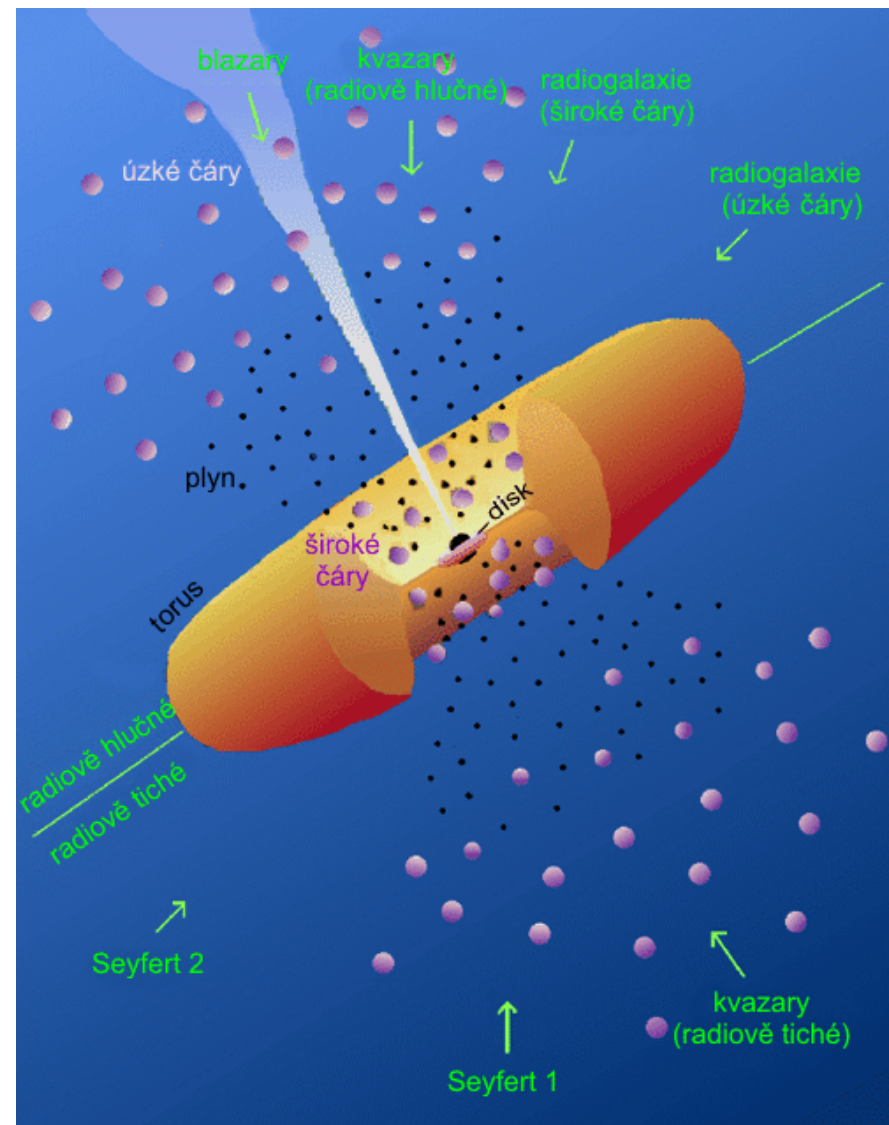


radiová  
galaxie/  
Seyfert 2

kvasar/  
Seyfert 1

kvasar/  
Seyfert 1

blazar



# Seyfertovy galaxie

objev – 1943 – Carl Keenan Seyfert – 12 galaxií – jasné jádro,  
odlišné spektrum

dnes – cca 200 galaxií (cca 10 % velkých spirálních galaxií)

akreční disky - pod úhlem nebo z boku; z naměřených rudých posuvů  
=> podobné jako kvasary a blazary, ale mnohem blíže

spektrum jádra **není** hvězdné – zakázané, emisní čáry; podle čar – 2 typy

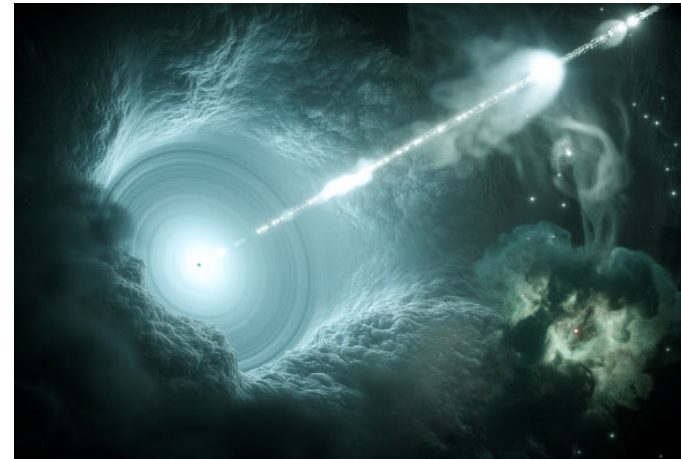
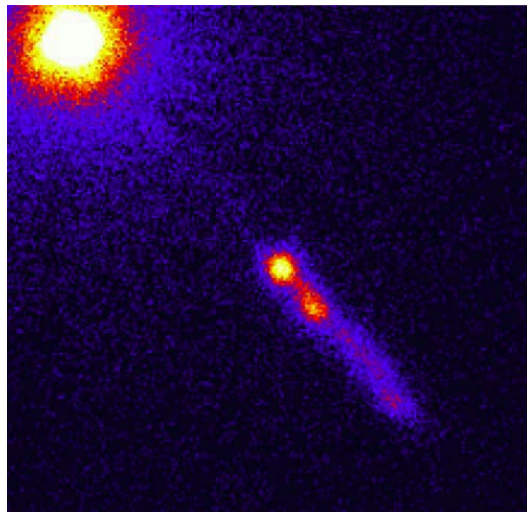
zářivý výkon  $10^9$ - $10^{12}$   $L_{\odot}$  – změny v průběhu měsíců => rozměry řádově 0.1 ly



# Kvasary

- kvasary (quasistellar radio source)* - nejmohutnější aktivita
- objev konec 50. let, 1963 – optický protějšek rádiových zdrojů
  - velmi staré, nejvzdálenější objekty ve vesmíru
  - nejbližší kvasar 3C 273 – vzdálenost 749 Mpc, rychlost vzdalování 50 000 km/s; 12,8 mag
  - *nejzářivější* objekty ve -  $10^{15} L_{\odot}$  ( $10^4$ x více než  $L_{\text{Galaxie}}$ ).
  - zářivá oblast – o 20 řádů menší než objem normální galaxie!
  - změny zářivého výkonu ve škále dnů => rozměr zdroje < světelné dny

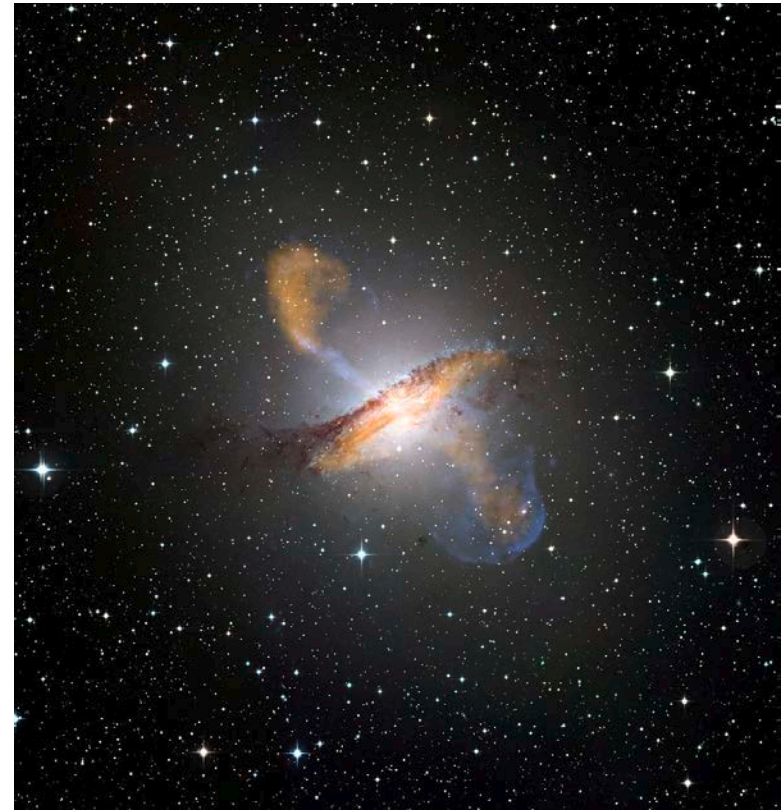
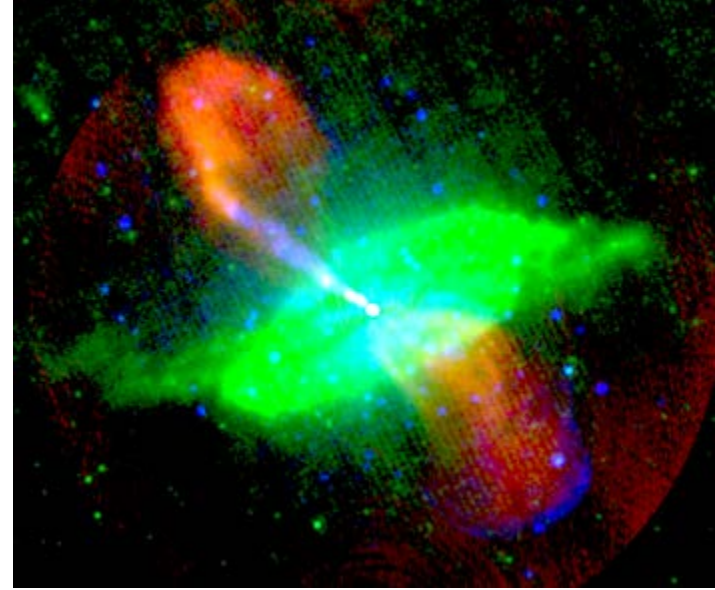
50 000 kvasarů, většina radiově klidná  
= tzv. tiché kvasary



# Rádiové galaxie (radiogalaxie)

z boku pozorovaná eliptická galaxie (např. Cen A)

emise rádiových vln – synchrotronové záření  
(elektrony urychlené magnetickým polem)





# Kanibalismus galaxií

nepravidelné galaxie – některé „deformované“ spirální galaxie  
vysvětlení - těsná vzájemná přiblížení a srážky.

velmi pomalé setkání galaxií → menší pohlcena => *kanibalismus galaxií*

## Průběh setkání:

- trajektorie hvězd v galaxiích silně změněny, přímá srážka však nehrozí
- mezihvězdný materiál – promíchán a zahuštěn => překotná tvorba nových hvězd (řádově desítky až stovky tisíc).
- „kanibal ztloustne“
- časté v centrech velkých kup galaxií
- doba setkání –  $10^8$  -  $10^9$  let
- kolem velkých kanibalů - tisíce kulových hvězdokup (relativně mladých!)



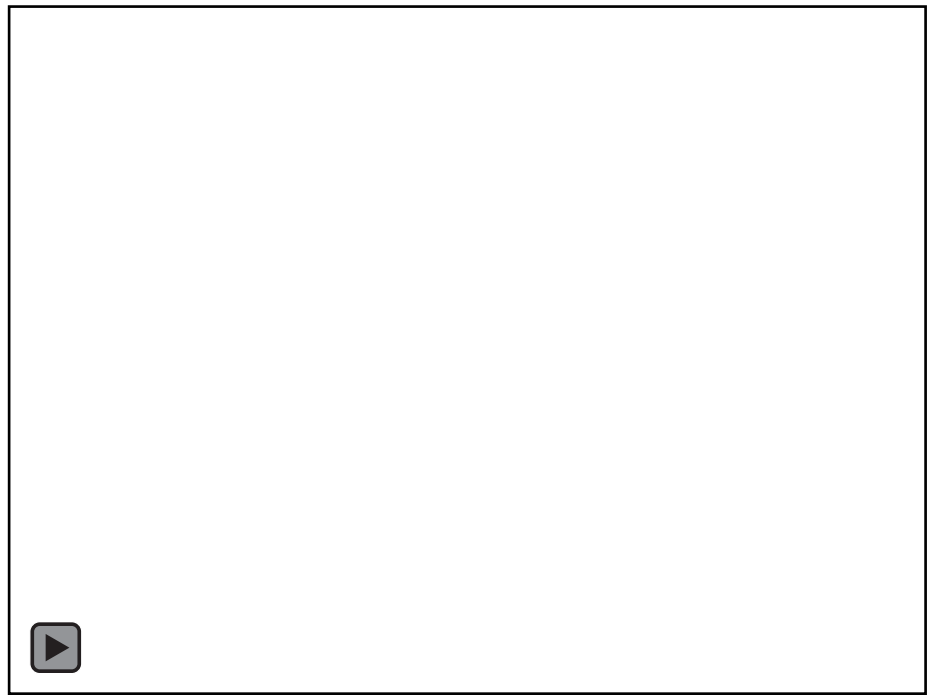
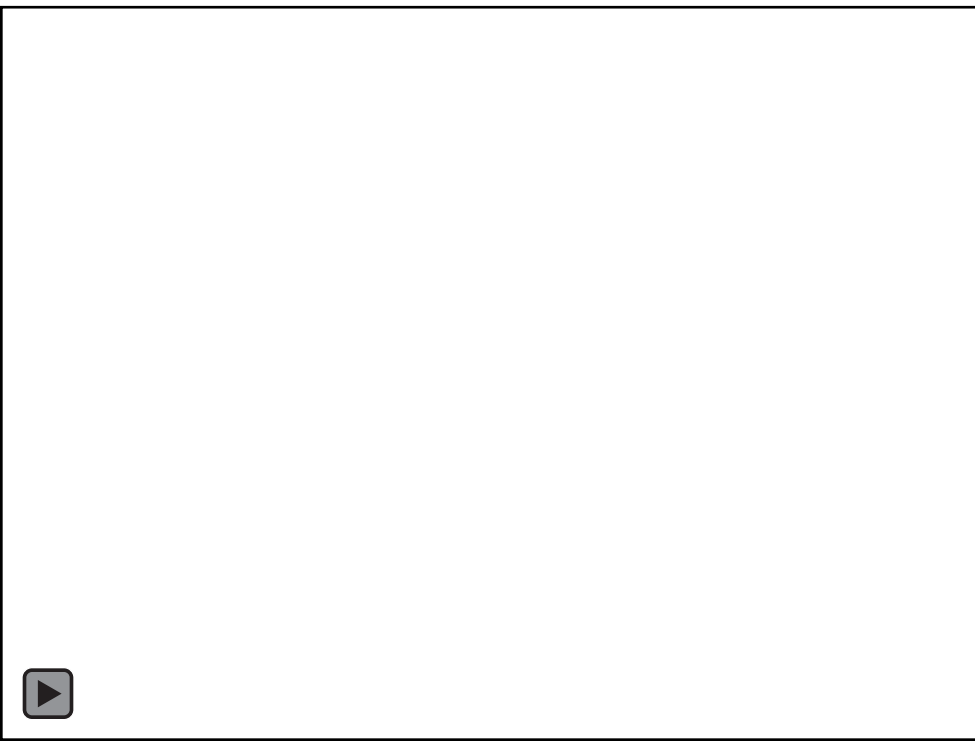
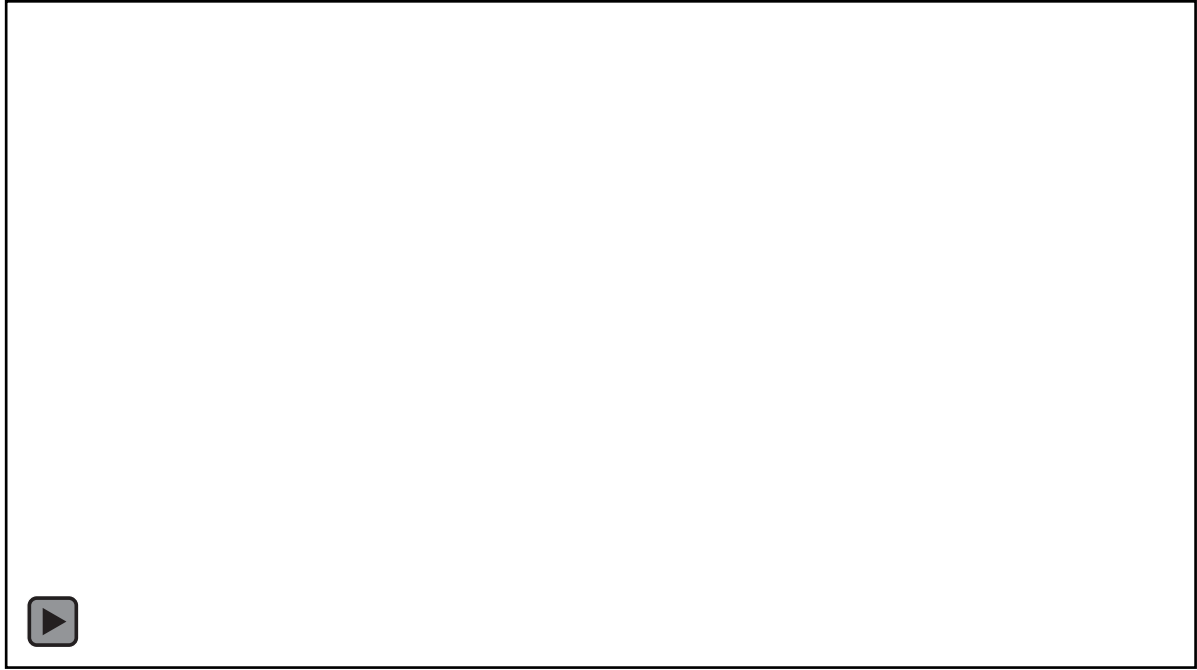
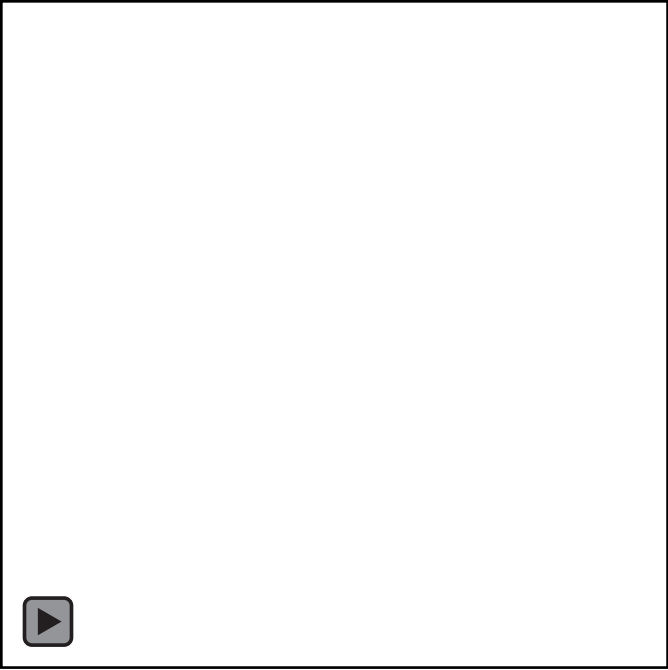


Dvě propletené galaxie, označené NGC 3314, se nacházejí v souhvězdí Hydry, ale neinteragují, jen projekce

Interagující galaxie NGC 2207 (vlevo) a IC 2163 v souhvězdí Velkého psa.







## Aktivní galaxie:

- Většina záření způsobena rozžhaveným plynem
- Intenzita záření maximální v rádiové oblasti
- Supermasívní černé díry v jejich středech - velmi aktivní.
- Nejvíce záření vychází z jejich jader.

## Běžné galaxie:

- Většina světla pochází z hvězd.
- Emitované záření - nejintenzivnější ve viditelné oblasti
- Obří černé díry v jejich centrech jsou neaktivní.
- Světlo je rozloženo po celé galaxii.

## Rozdíly mezi aktivními a normálními galaxiemi

Galaxy Type	Active Nuclei	Emission Lines		X-rays	Excess of		Strong Radio	Jets	Variable	Radio-loud
		Narrow	Broad		UV	Far-IR				
Normal	no	weak	no	weak	no	no	no	no	no	no
Starburst	no	yes	no	some	no	yes	some	no	no	no
Seyfert I	yes	yes	yes	some	some	yes	few	no	yes	no
Seyfert II	yes	yes	no	some	some	yes	few	yes	yes	no
Quasar	yes	yes	yes	some	yes	yes	some	some	yes	10%
Blazar	yes	no	some	yes	yes	no	yes	yes	yes	yes
BL Lac	yes	no	no/faint	yes	yes	no	yes	yes	yes	yes
OVV	yes	no	stronger than BL Lac	yes	yes	no	yes	yes	yes	yes
Radio galaxy	yes	some	some	some	some	yes	yes	yes	yes	yes

# Vesmír velkých měřítek

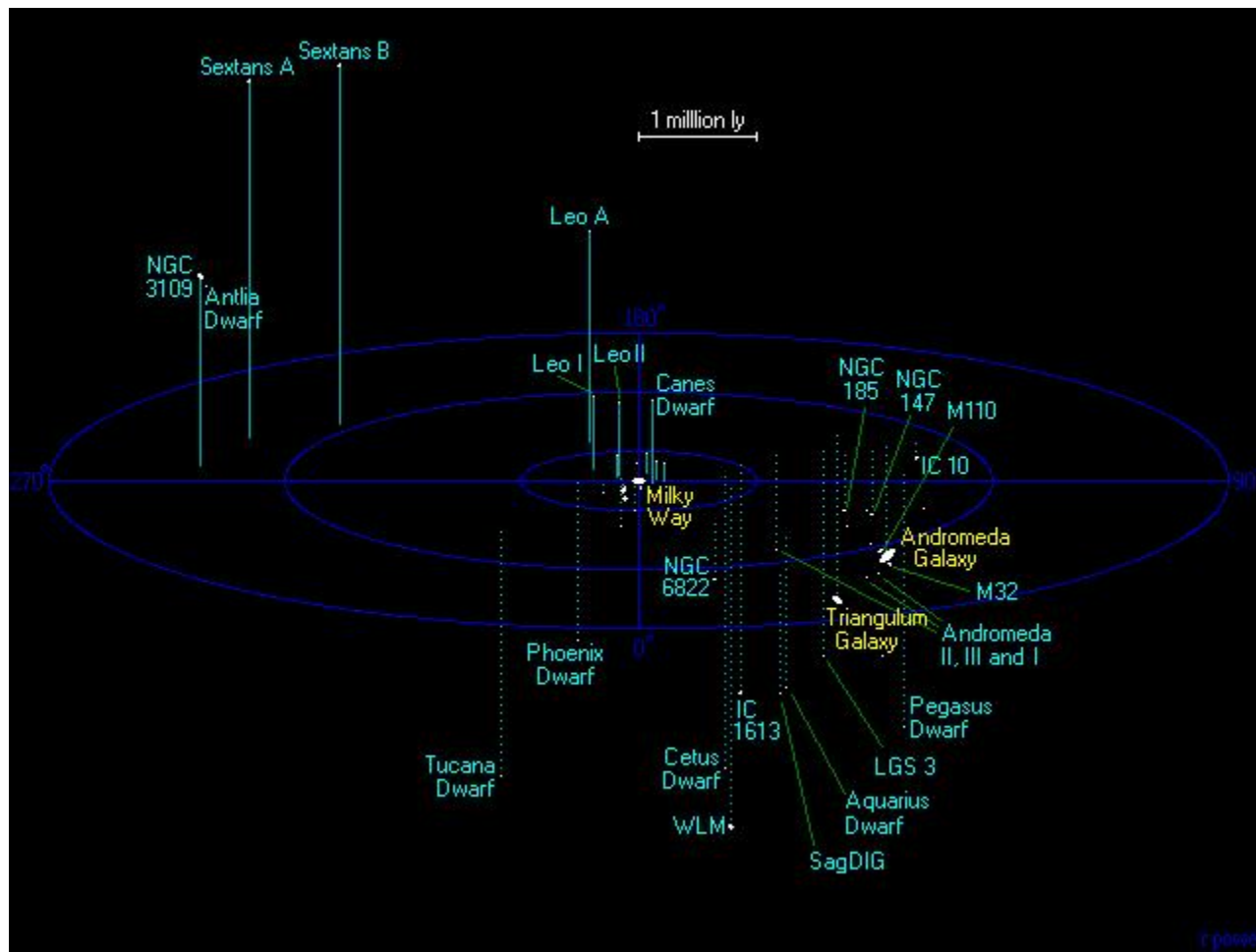
galaxie – většinou v párech, skupinách

Galaxie – ve skupině 50 galaxií (*místní skupina galaxií*)

známí sousedé: LMC, SMC, M 31 , M 33

nejhmotnější – naše Galaxie a M 31

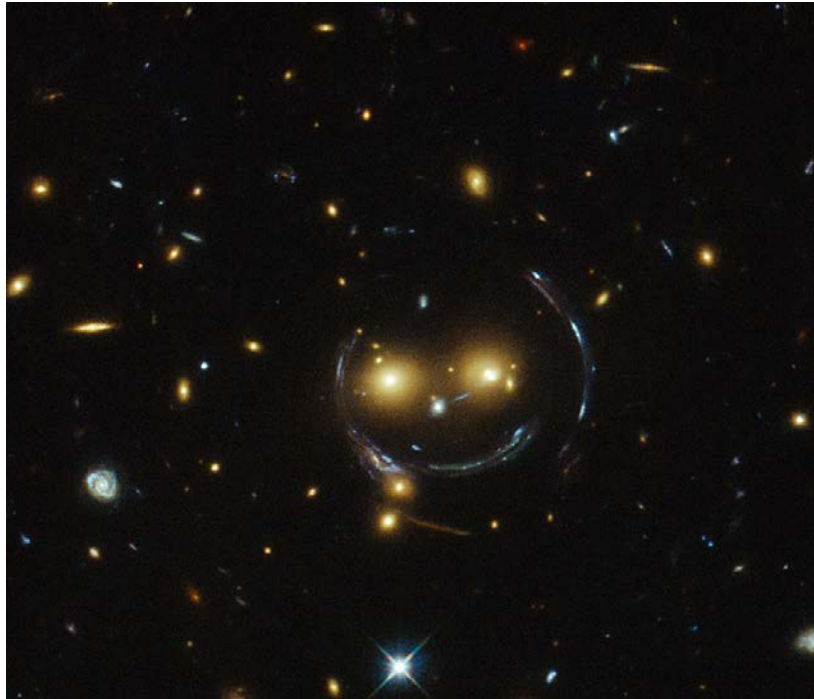
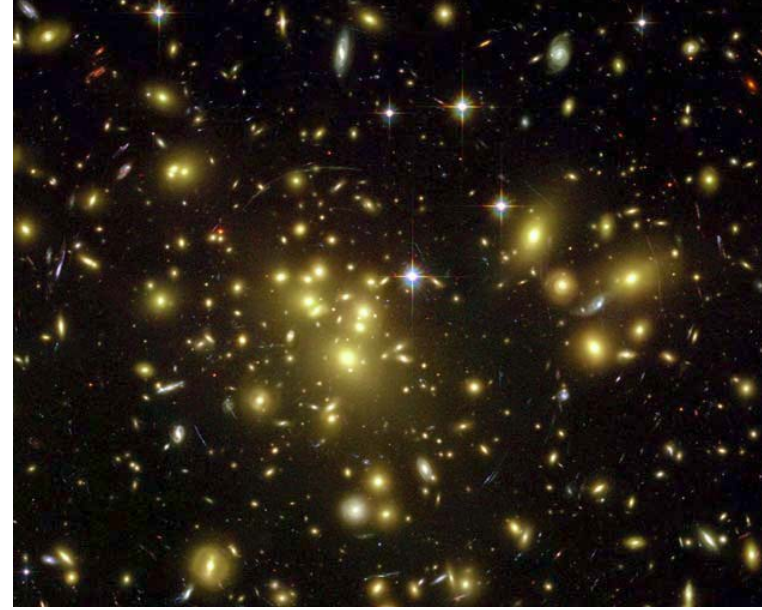
galaxie místní skupiny - v oblasti o průměru asi 800 kpc



# Kupy galaxií

největší gravitačně vázané struktury ve vesmíru

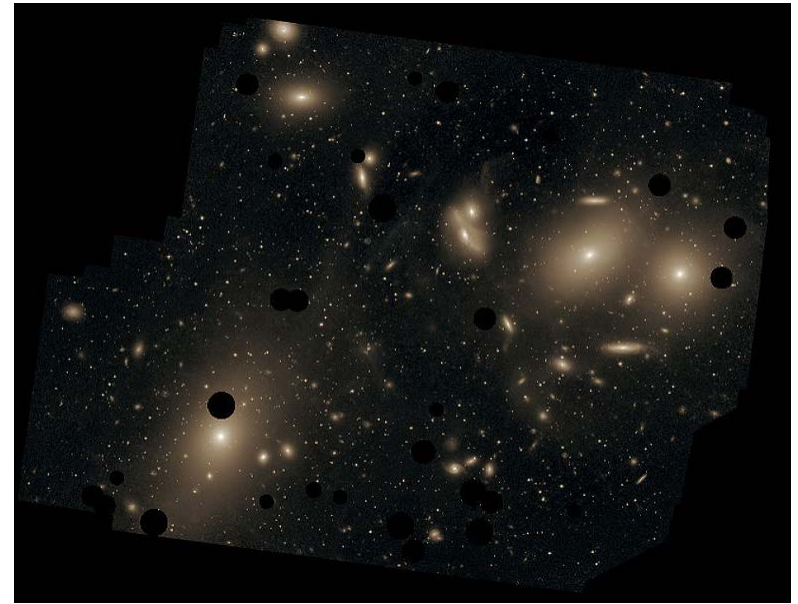
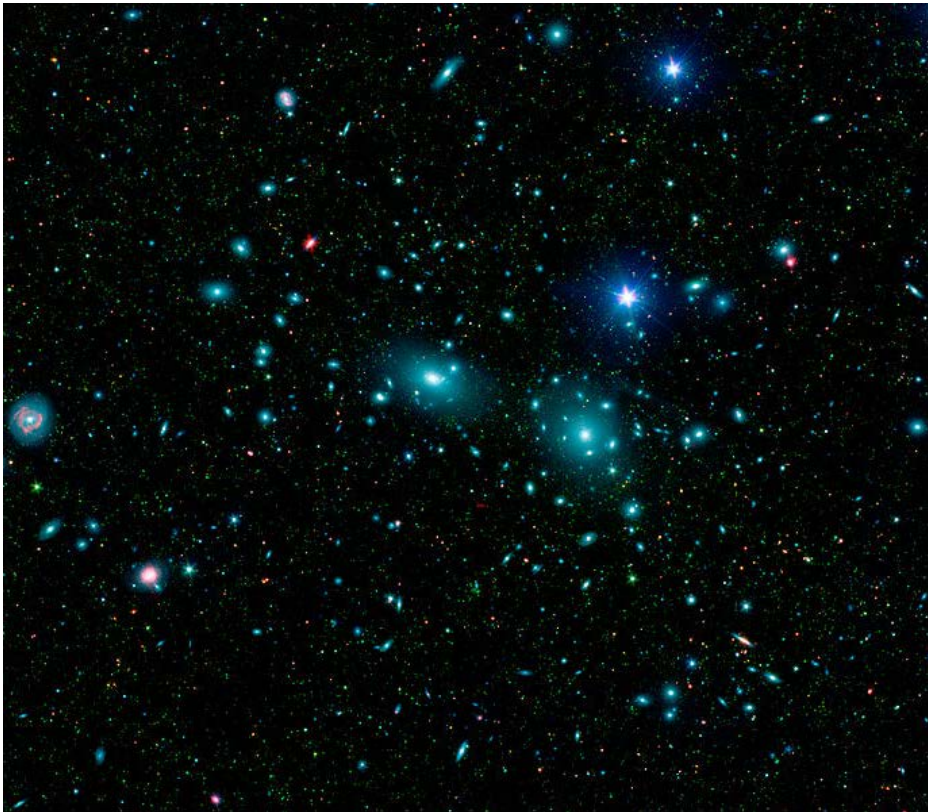
- z pozorování - Com, Her, Vir (nejbližší 17 Mpc)
- téměř pravidelné útvary, ale zploštělé, průměr řádově Mpc
- řádově tisíce až desetitisíce gravitačně vázaných galaxií
- neuspořádaný pohyb členů, kupa jako celek nerotuje
- v centru kupy - obvykle obří eliptické galaxie





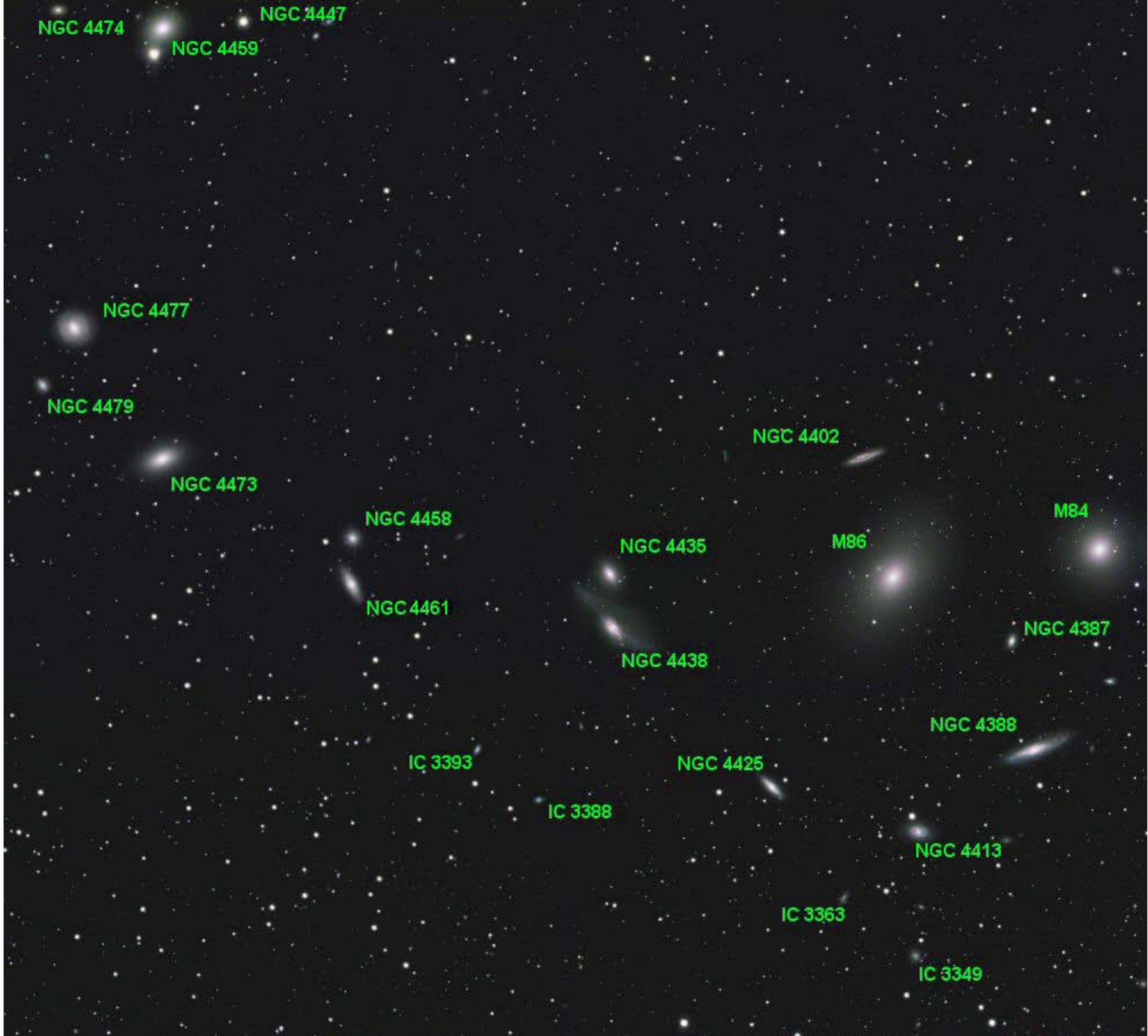
## „typická“ kupa galaxií - v Vir

- 2500 galaxií (7 obřích E, 10 obřích S),
- průměr 3 Mpc,
- vzdálenost 17 Mpc,
- střední vzdálenost sousedních galaxií 100 kpc



## „obří“ kupa - v Com

- 25000 galaxií,
- vzdálenost 105 Mpc,
- průměr 8 Mpc



NGC 4474

NGC 4447

NGC 4459

NGC 4477

NGC 4479

NGC 4473

NGC 4458

NGC 4461

NGC 4435

NGC 4438

NGC 4402

M86

M84

NGC 4387

NGC 4388

IC 3393

IC 3388

NGC 4425

NGC 4413

IC 3363

IC 3349

# Velké struktury

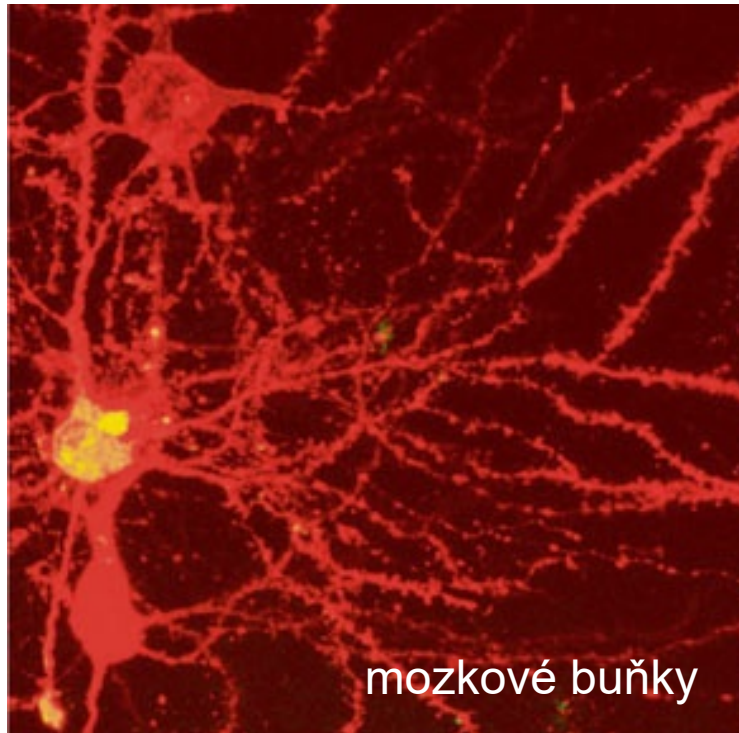
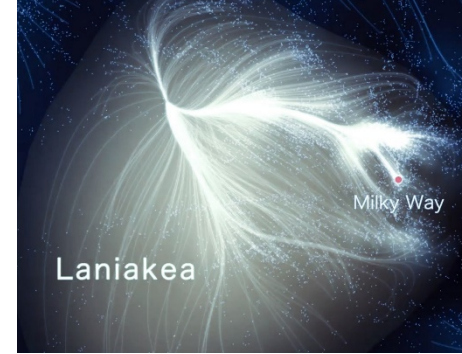
**Kupy galaxií** - největší gravitačně vázané struktury ve vesmíru  
- v prostoru ve shlucích = **nadkupy galaxií**

Nadkupa *není* gravitačně vázána, časem se rozpadá.

2014 - naše Galaxie v nadkupě Laniakea – 520 Mly, cca 100 000 galaxií

**Buněčná struktura** – galaxie podél stěn nepravidelných „buněk“  
- rozměry „buněk“ - 50 - 150 Mpc.

nad několik set megaparseků - žádné struktury, ale ...



mozkové buňky



struktura vesmíru

# Velké struktury

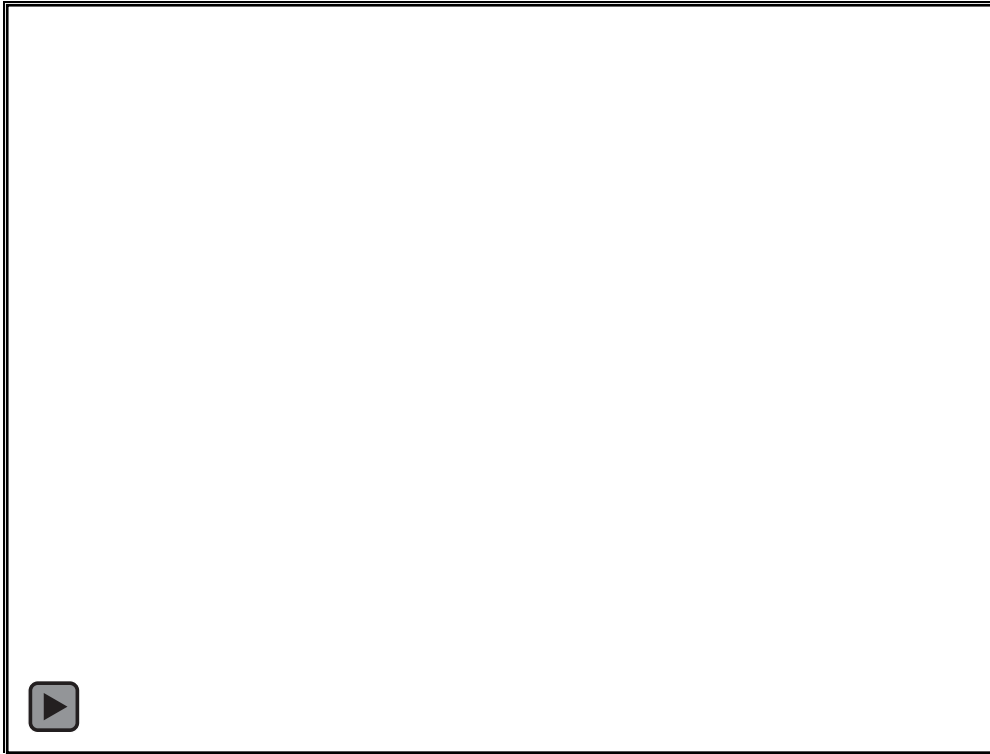
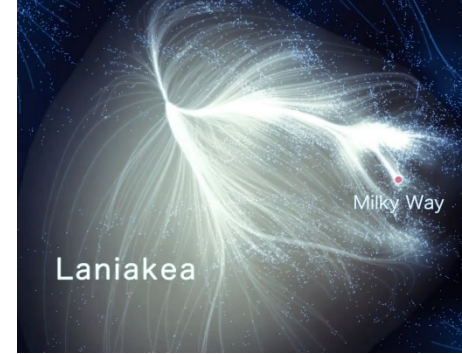
**Kupy galaxií** - největší gravitačně vázané struktury ve vesmíru  
- v prostoru ve shlucích = **nadkupy galaxií**

Nadkupa *není* gravitačně vázána, časem se rozpadá.

2014 - naše Galaxie v nadkupě Laniakea – 520 Mly, cca 100 000 galaxií

**Buněčná struktura** – galaxie podél stěn nepravidelných „buněk“  
- rozměry „buněk“ - 50 - 150 Mpc.

nad několik set megaparseků - žádné struktury, ale ...



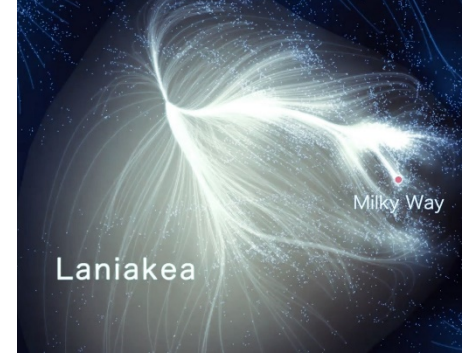
h je vztaženo k Hubbleově  
konstantě  $H_0$ :  
 $H_0 = 100 h$  (km/s)/Mpc

# Velké struktury

**Kupy galaxií** - největší gravitačně vázané struktury ve vesmíru  
- v prostoru ve shlucích = **nadkupy galaxií**

Nadkupa *není* gravitačně vázána, časem se rozpadá.

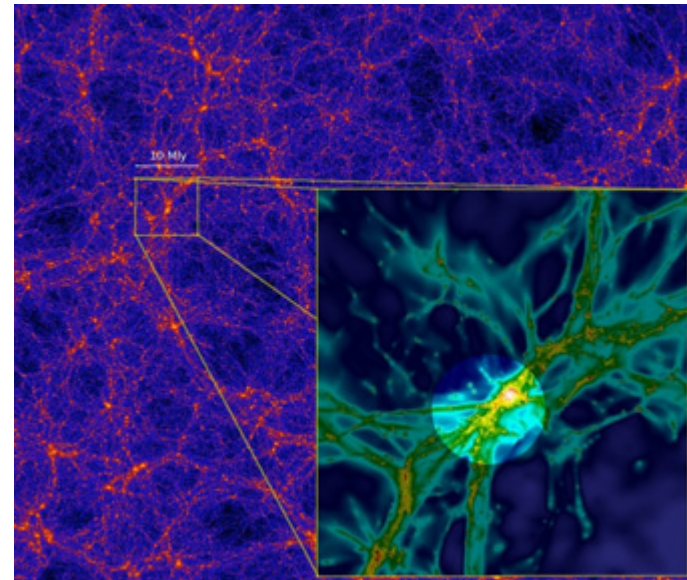
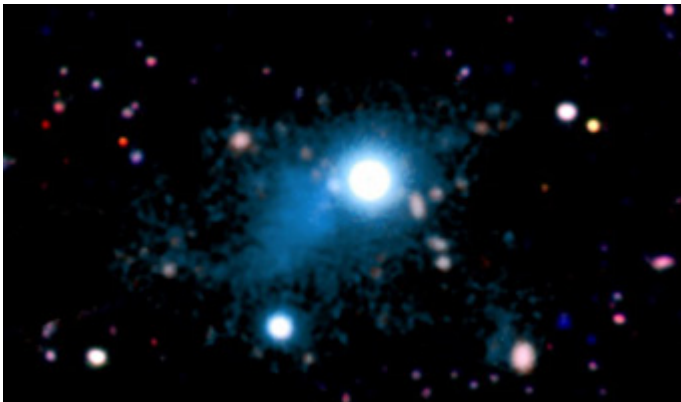
2014 - naše Galaxie v nadkupě Laniakea – 520 Mly, cca 100 000 galaxií



**Buněčná struktura** – galaxie podél stěn nepravidelných „buněk“  
- rozměry „buněk“ - 50 - 150 Mpc  
nad několik set megaparseků - žádné struktury, ale ...

dlouhá vlákna (filamenty) galaxií, „cosmic web“ - délka 50-80 Mpc

2014 – kvasar UM287,  
1. pozorování „cosmic web“



<http://www.illustris-project.org/media/>

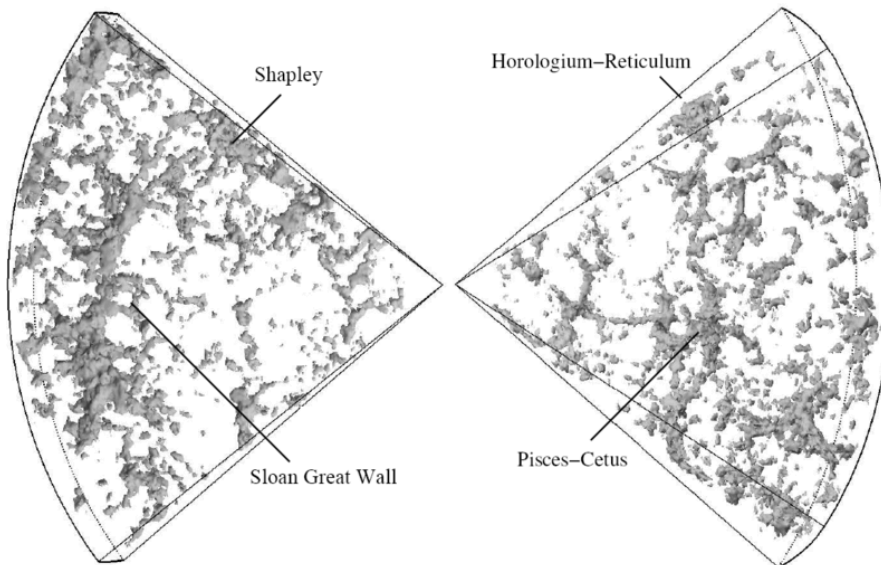
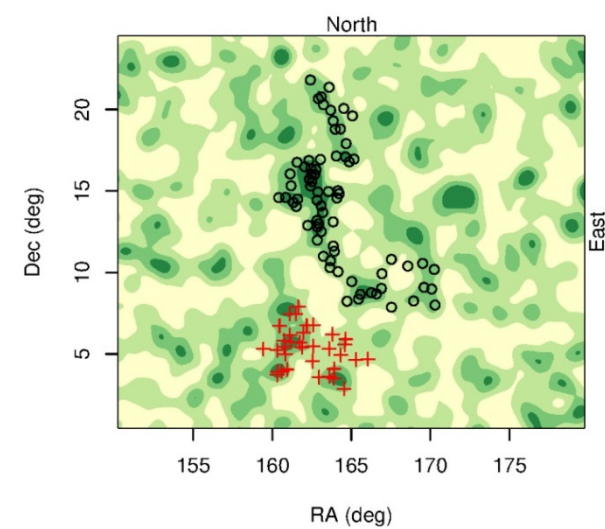


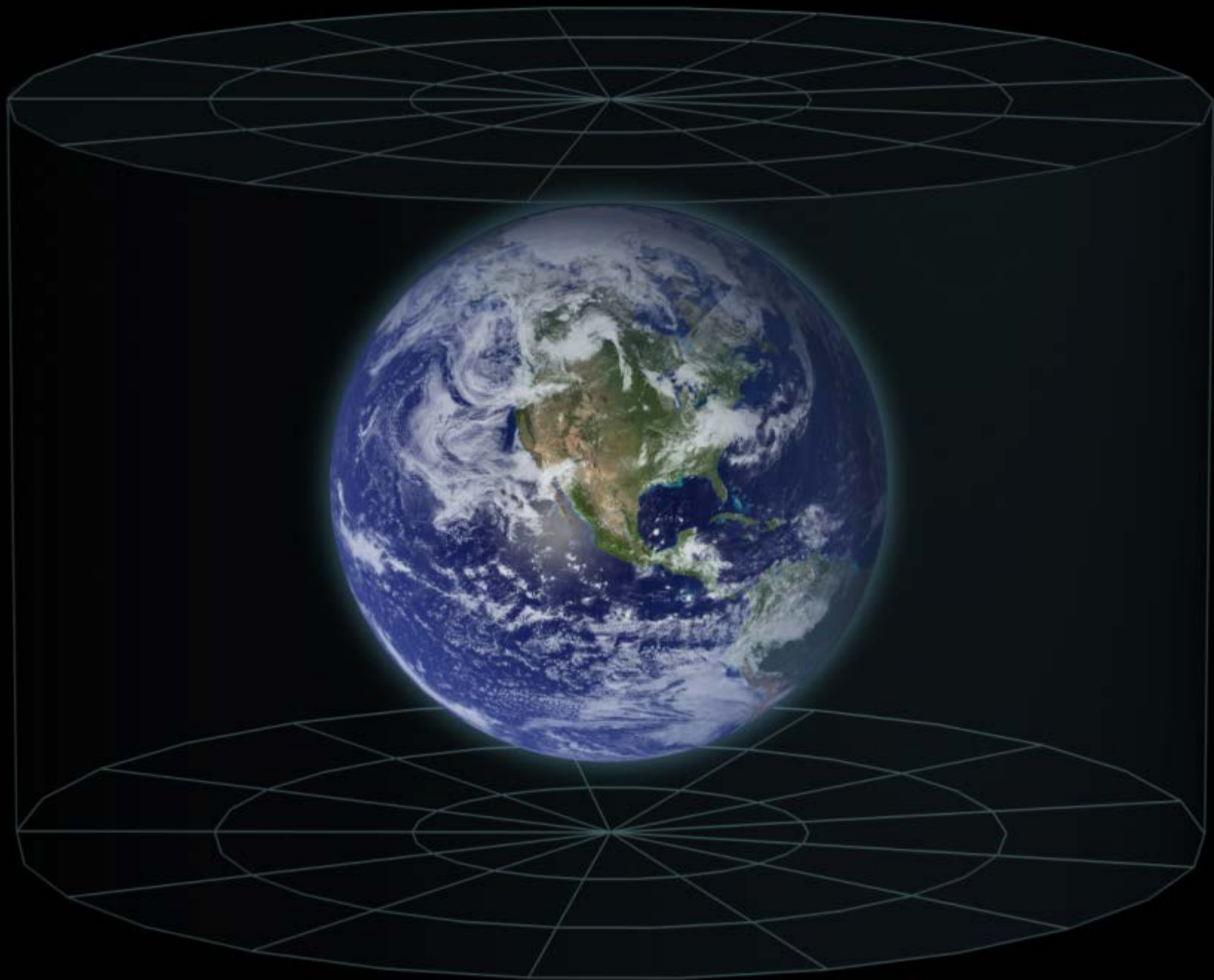
<http://www.tng-project.org/media/>

# Větší než nadkupy

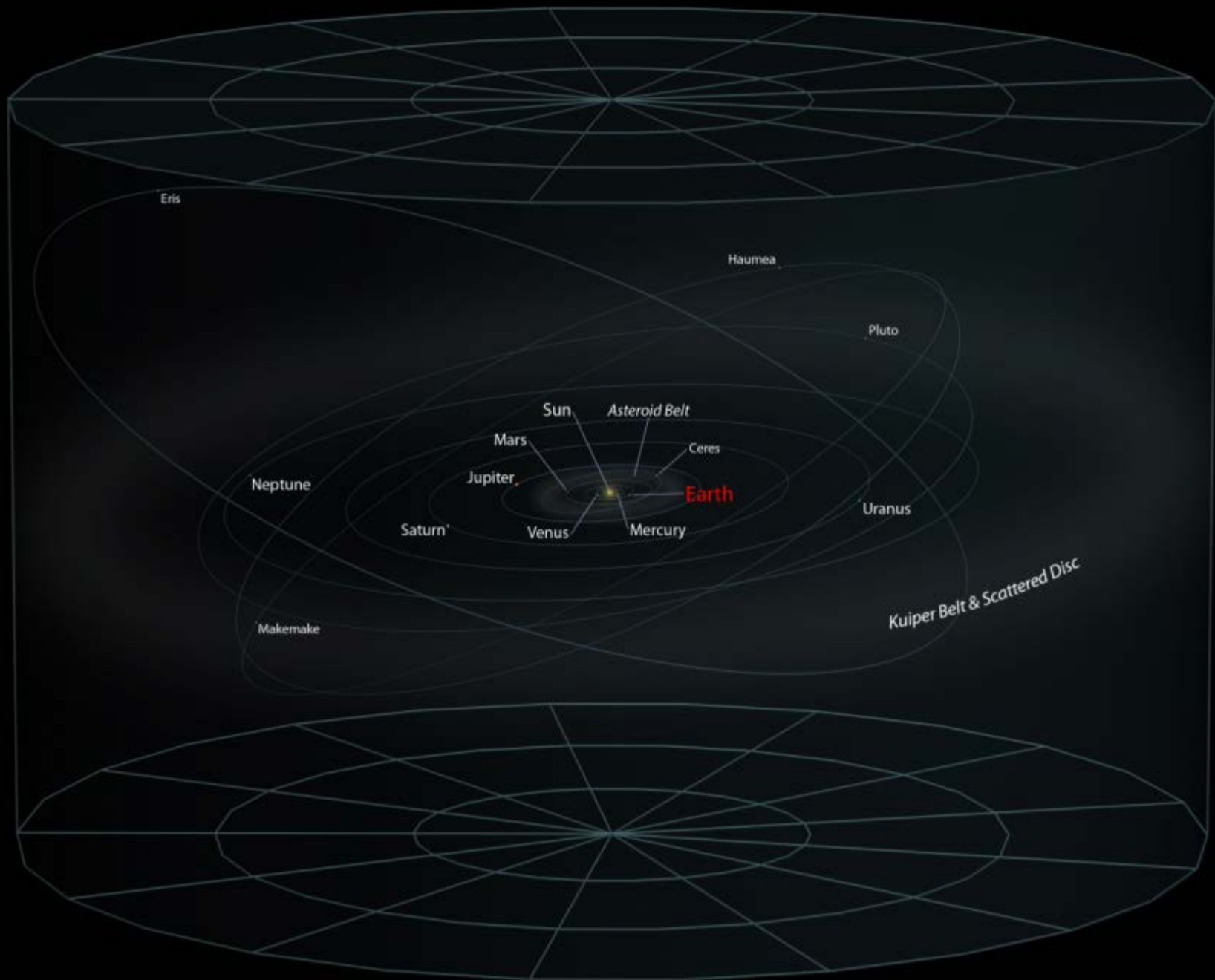
- kostra obřích prapůvodních struktur z raných stadií vesmíru
- 2003 - nejdelší útvar „SDSS Velká zed“ (1,37 Gly)
- 2013 - Huge-LQC (Large Quasar Group) – 4 Gly! (1240 Mpc)
- 2014 - Velká zed' Her-CrB – rozměr 10 Gly (2023 největší známý útvar)  
– při mapování  $\gamma$ -záblesků
- 2015 – Giant RGB Ring – největší pravidelný útvar vesmíru (5.6 Gly)

Uspokojivé vysvětlení pro tyto úkazy dosud nemáme.









Eris

Haumea

Pluto

Sun

Asteroid Belt

Mars

Ceres

Earth

Jupiter

Uranus

Neptune

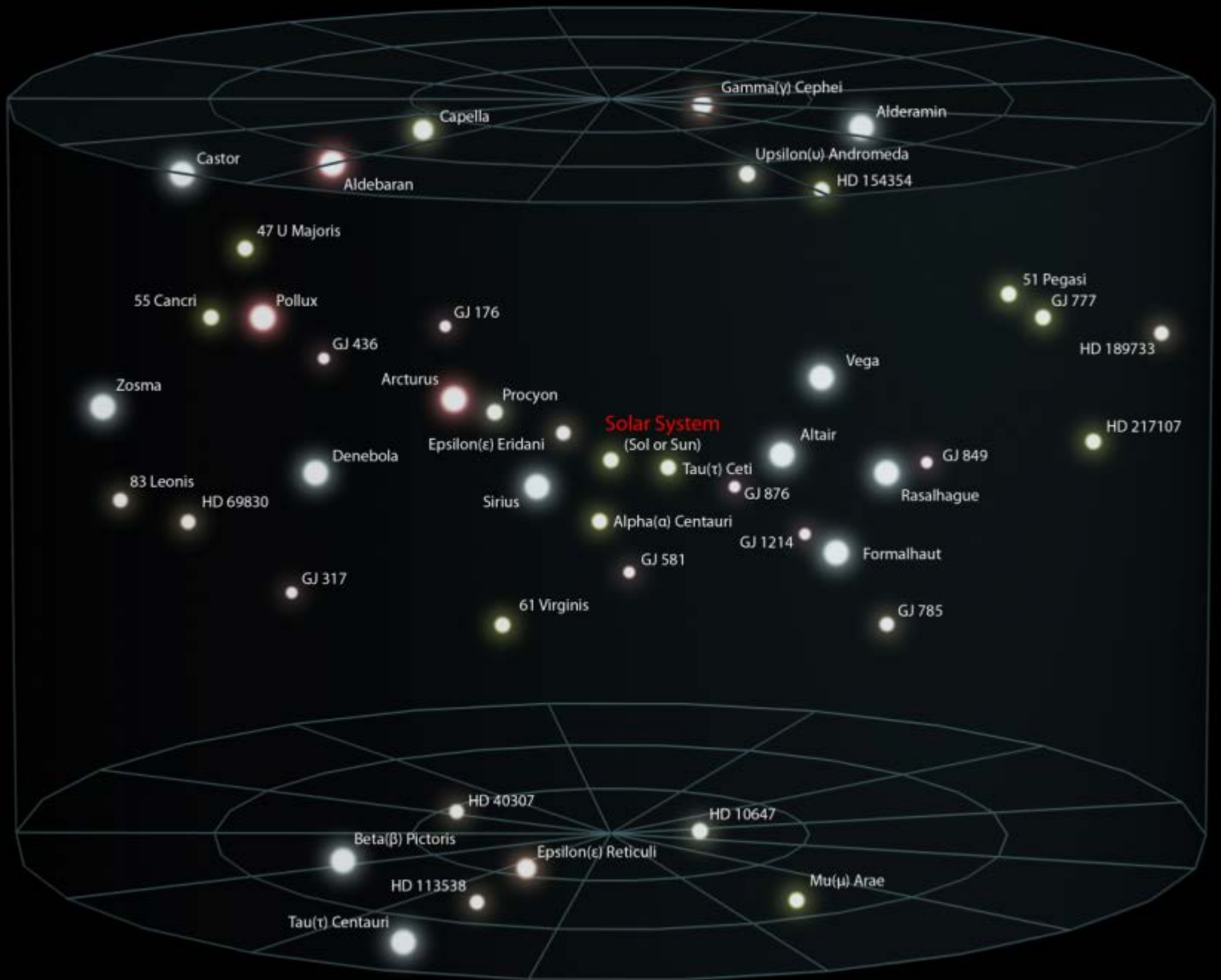
Saturn

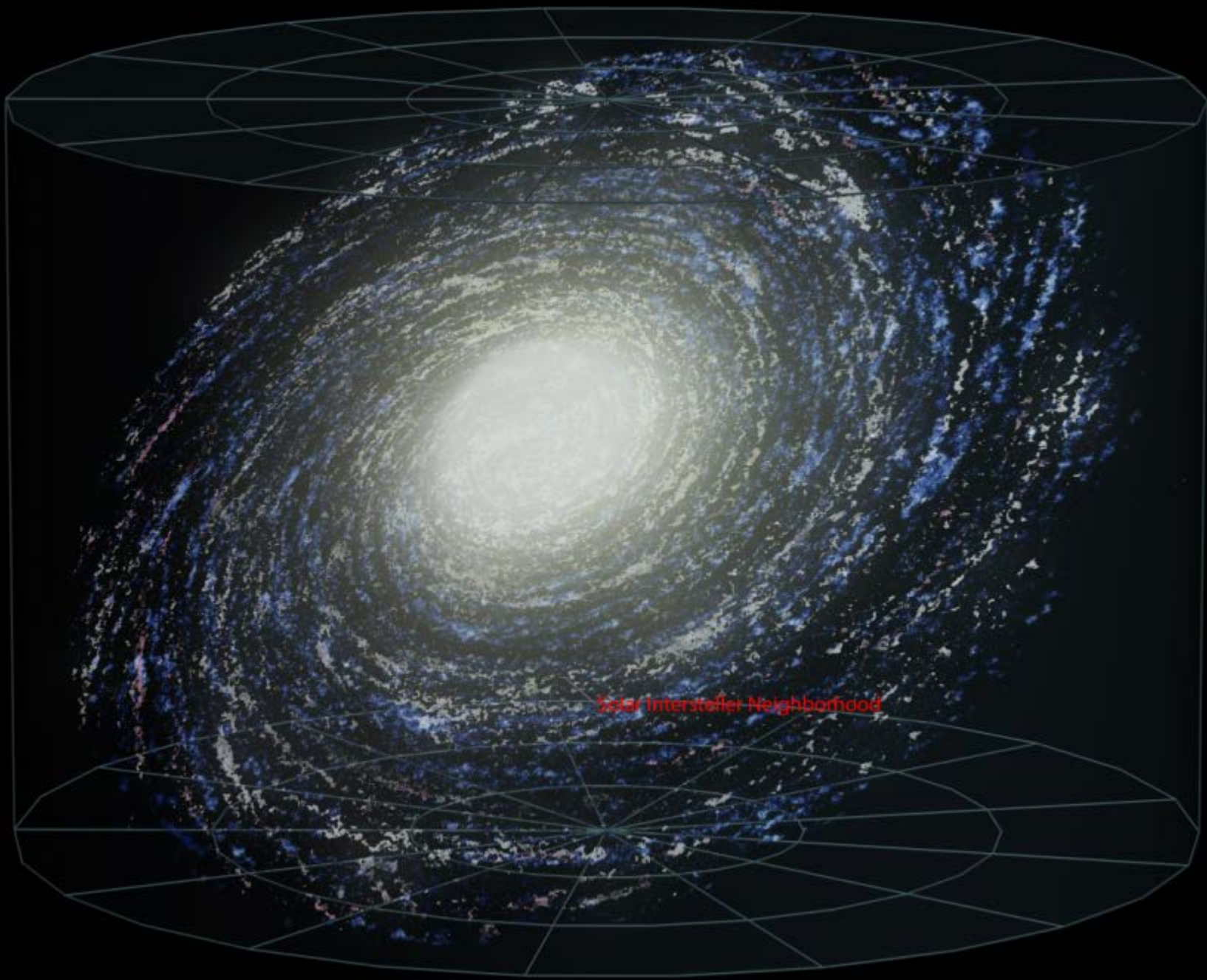
Venus

Mercury

Kuiper Belt & Scattered Disc

Makemake





Solar Interstellar Neighborhood

