

Hvězdné ostrovy

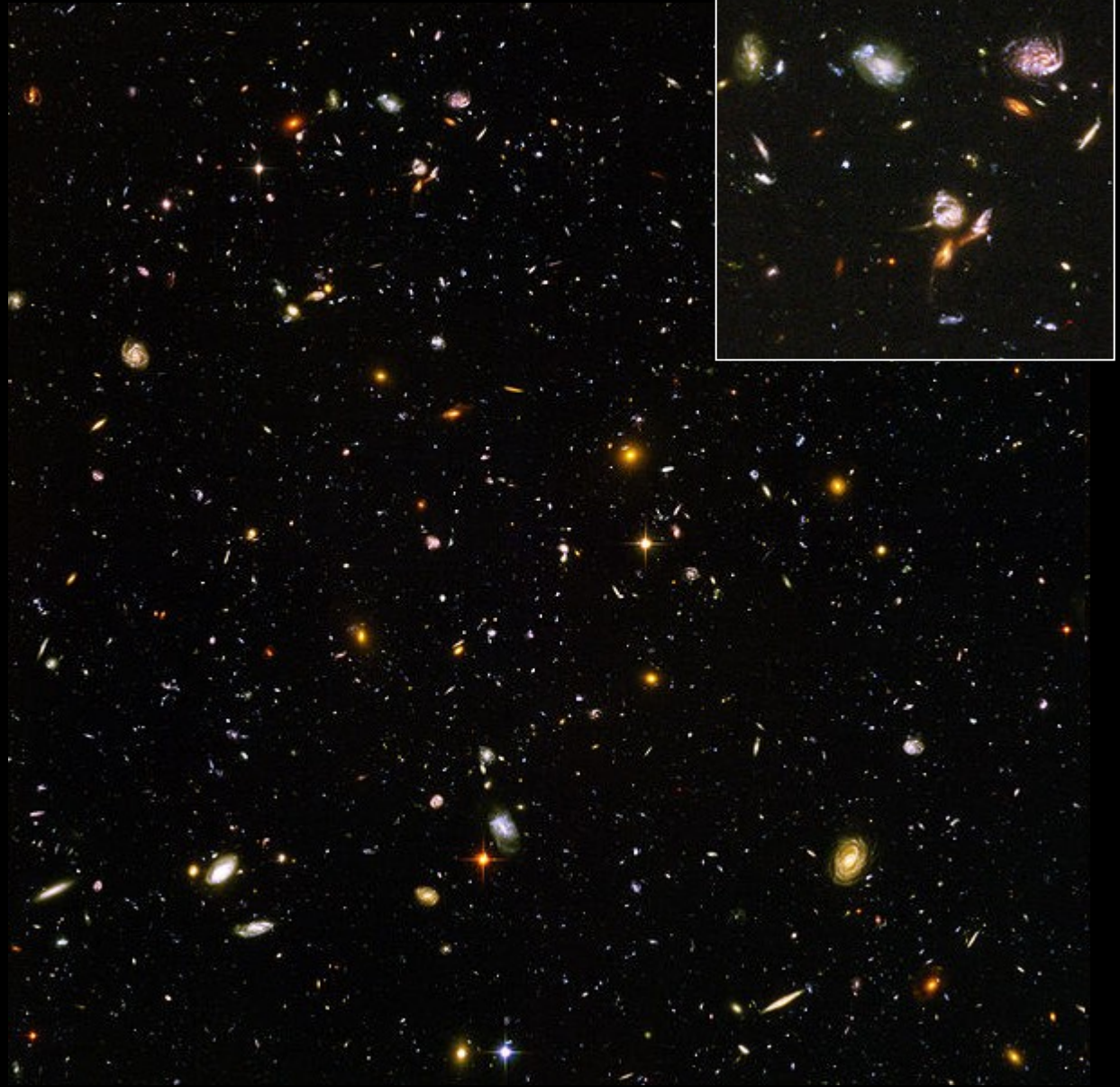


V říši galaxií

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



The image shows a dense field of galaxies against a black background. The galaxies are diverse in color, including blue, red, orange, and white. They vary in size and shape, from small, distant-looking objects to larger, more prominent ones. Some are spiral galaxies, some are elliptical, and some are irregular. The overall appearance is that of a rich, multi-colored galaxy population.

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

eXtreme Deep Field



E0 E3 E5 E7 S0

Sa

Sb

Sc

ve vizuální oblasti spektra

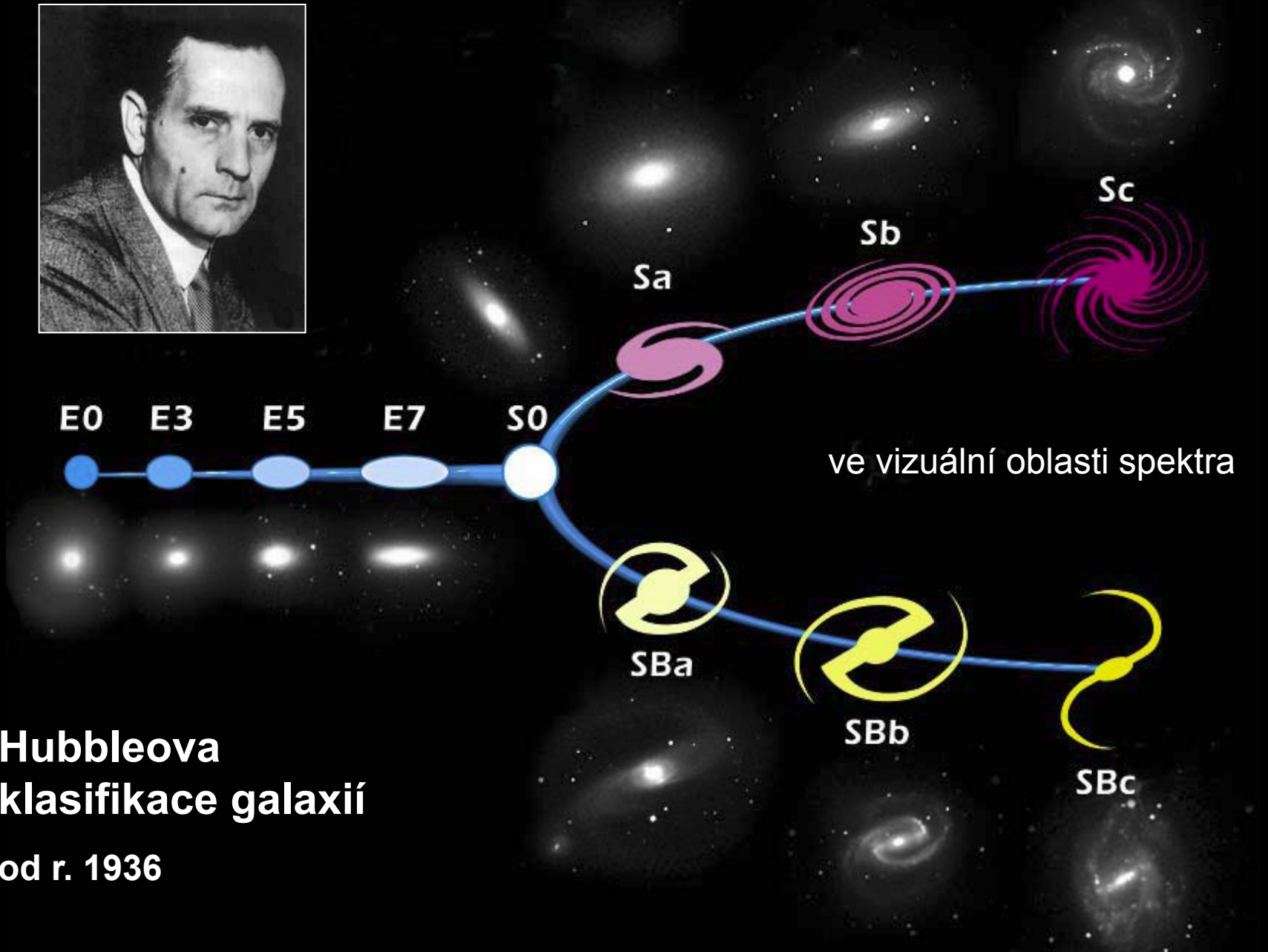
SBa

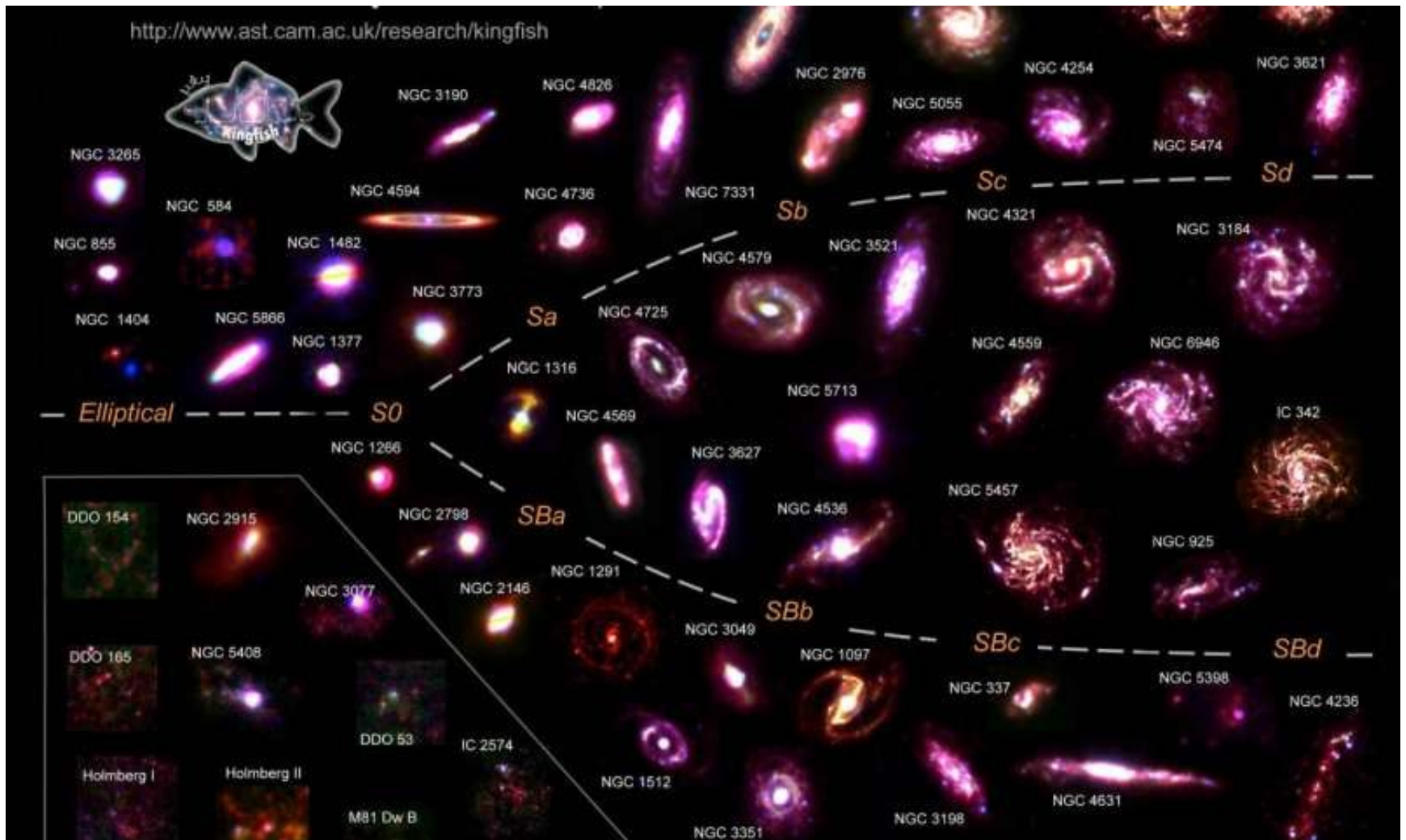
SBb

SBc

Hubbleova klasifikace galaxií

od r. 1936





Přehledka blízkých galaxií pomocí družice Herschel v daleké IR (150-600 μm)

de Vaucouleursův systém klasifikace galaxií

- 3D rozšíření Hubbleovy klasifikace
(1959)

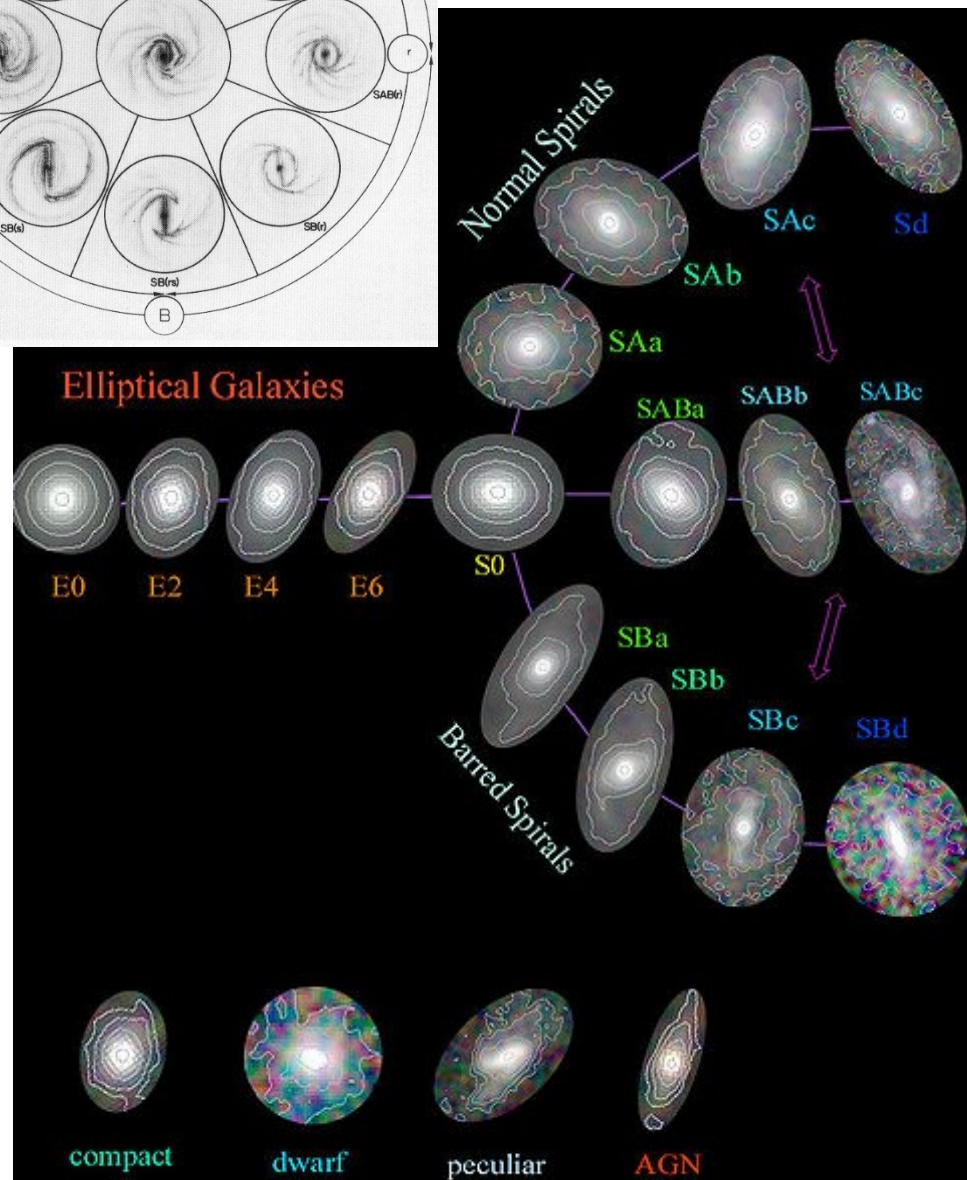
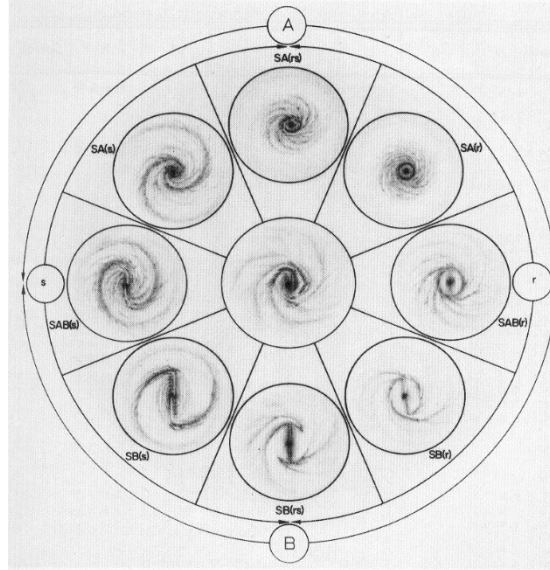
přidal rozšíření pro spirální gal.
podle 3 znaků:

- příčka
- prstence
- spirální ramena

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

Gérard de Vaucouleurs

(1918–1995)



Falešná představa?

Je Hubbleova sekvence vývojová?



1930 - 1950: ANO,

ale kterým směrem? E-> S nebo S -> E?

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

jiní: nejmladší Irr -> *Sd* – *Sc* – *Sb* – *Sa* a čočkovité -> 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 -> E: pravděpodobnější – eliptické a čočkové jsou starší galaxie, které se pravděpodobně vyvinuly ze stárnoucích spirálních systémů

ALE

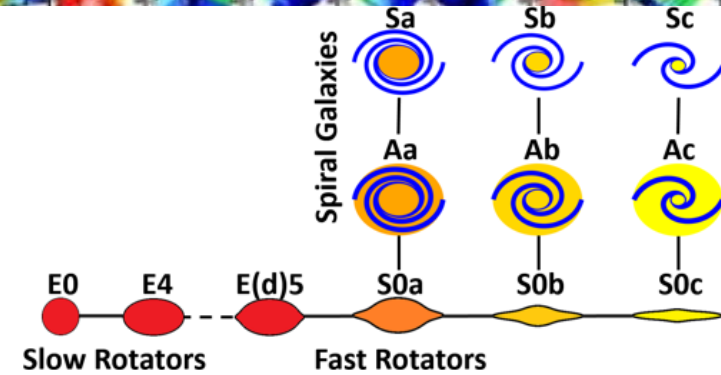
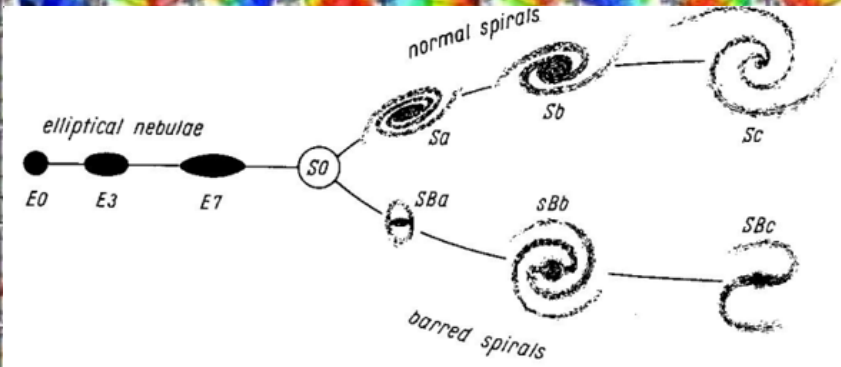
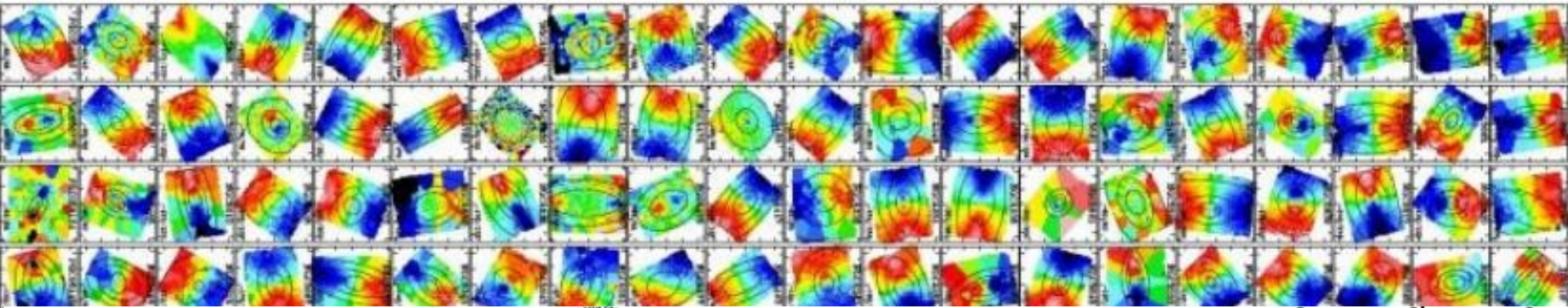
21. st. – proces vývoje galaxií mnohem složitější, Hubbleova ladička je příliš jednoduchá

Hubbleova sekvence platí i pro galaxie staré 11 miliard let



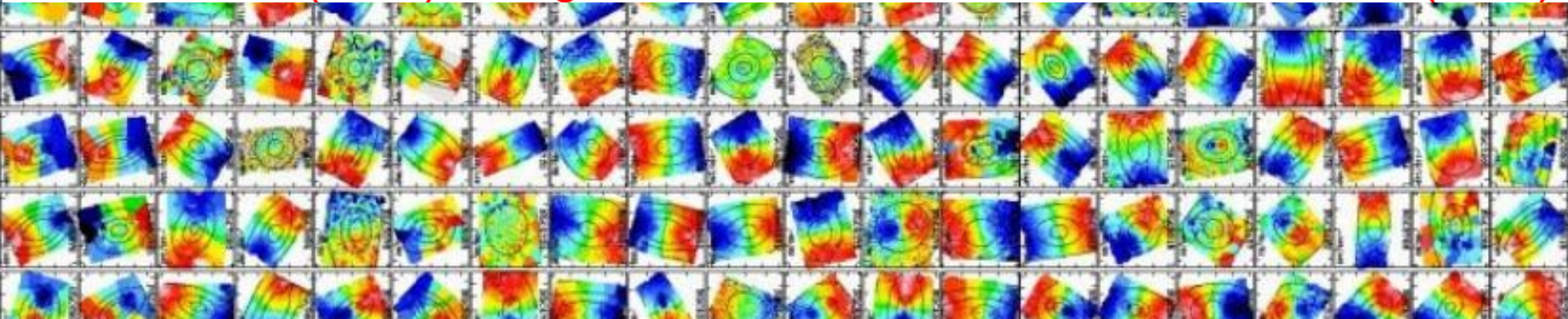
návrh na lepší dělení galaxií:

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



Hubble (1936) tuning fork

The ATLAS^{3D} comb (2011)

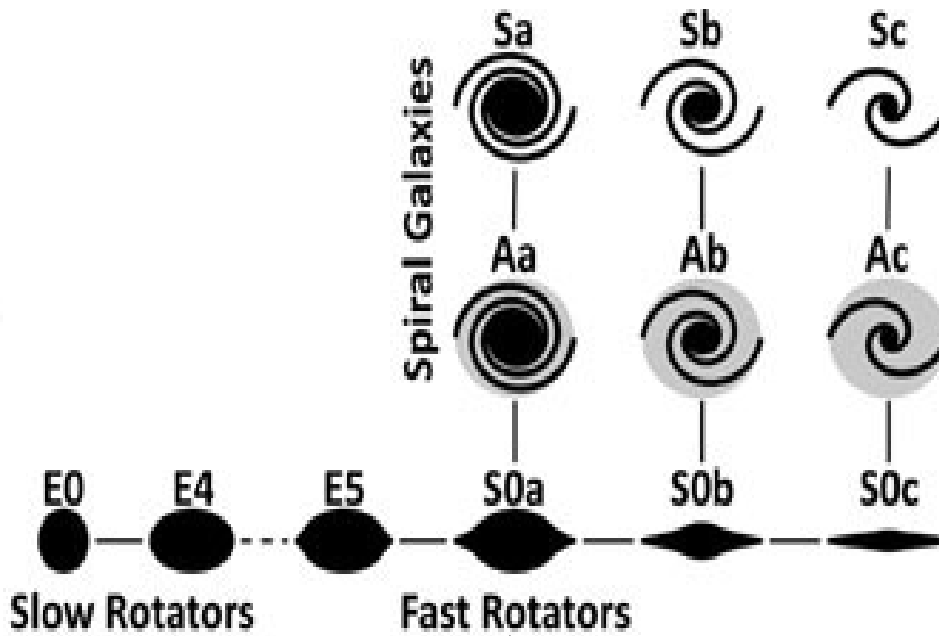
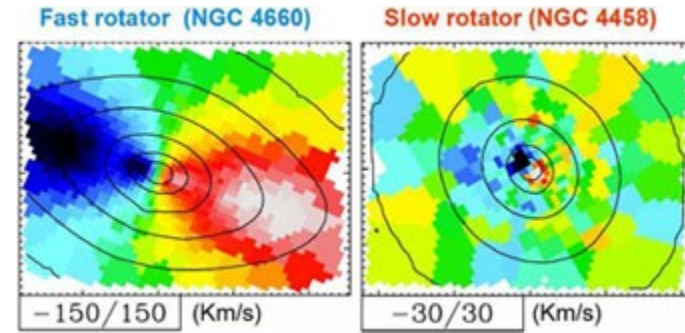


„rané galaxie“ – bez plynu pro tvorbu hvězd =>
 hladké, ploché, hvězdy obíhají samostatně (fosilní
 záznamy evoluce galaxií)

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 - $10^{12} M_{\odot}$





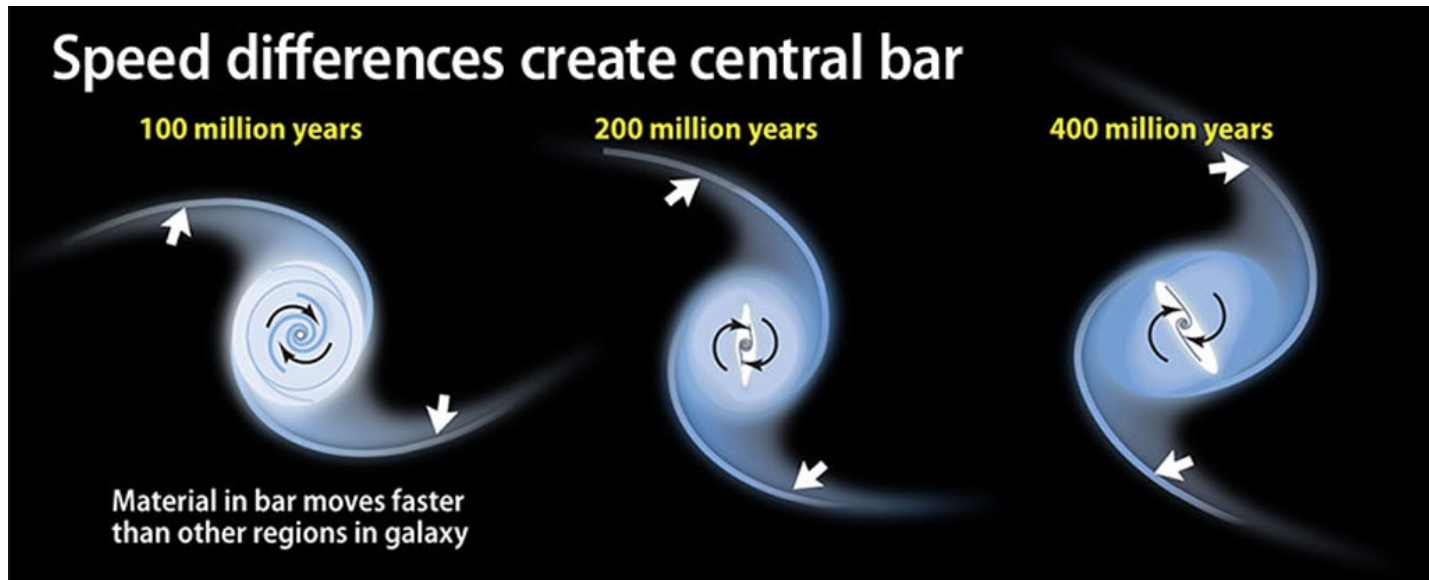
M 106



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

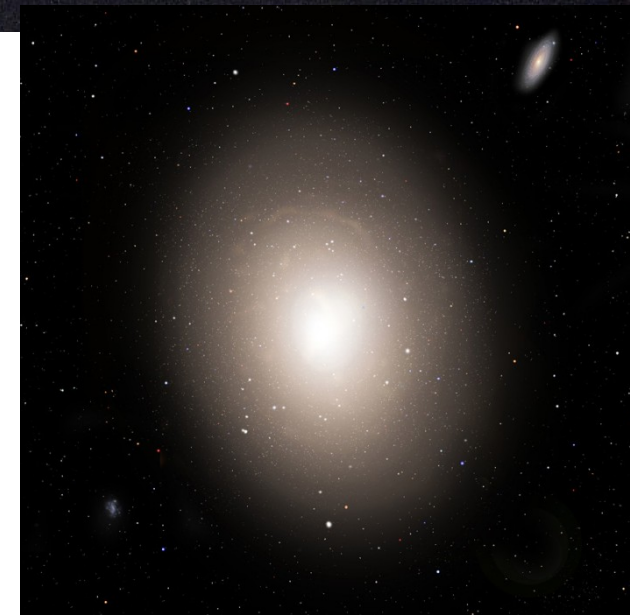
fakticky E0 (kruhové) -> E7 (ploché)

tvár 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**



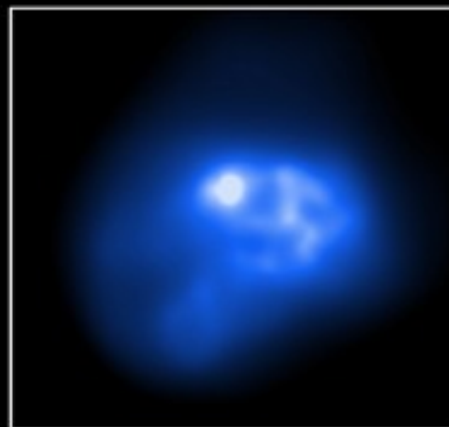
rentgenovský
obraz



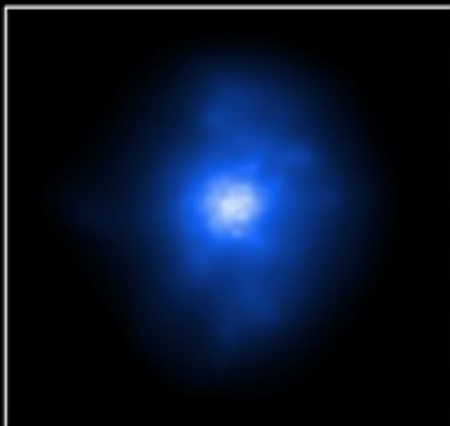
obraz ve
viditelném
světle



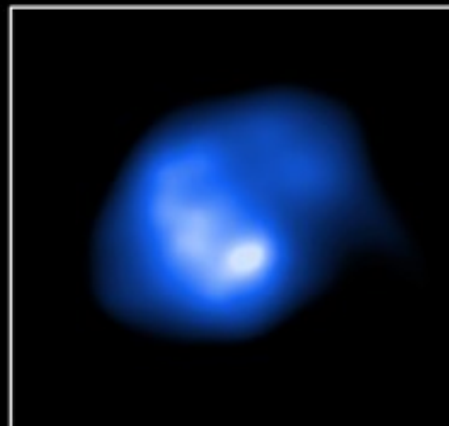
NGC 0533



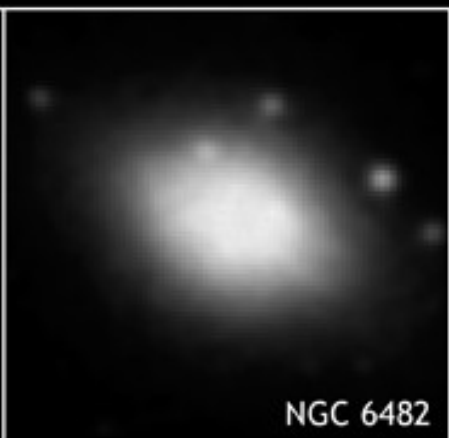
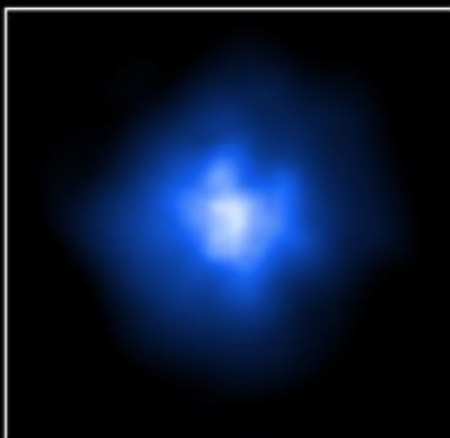
NGC 0507



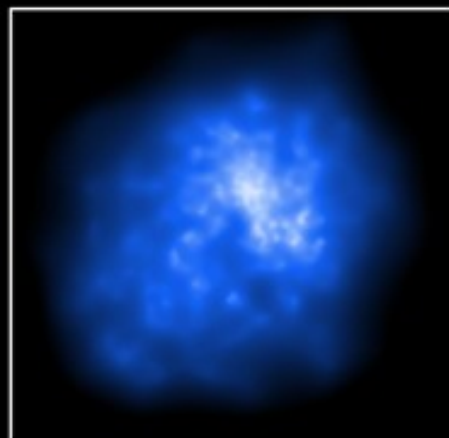
NGC 1399



NGC 7618



NGC 6482



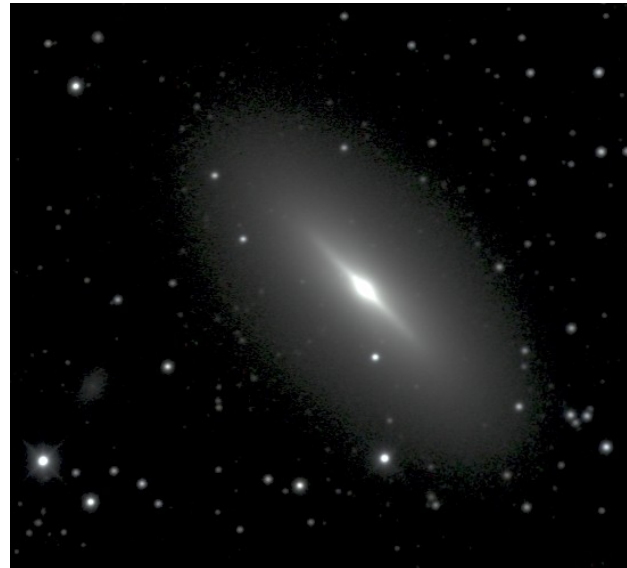
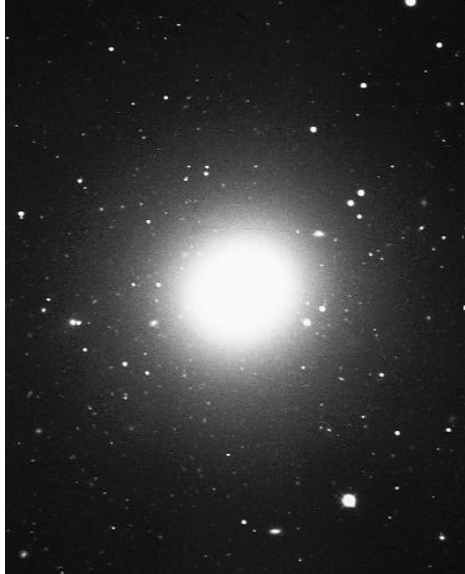
NGC 5044

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

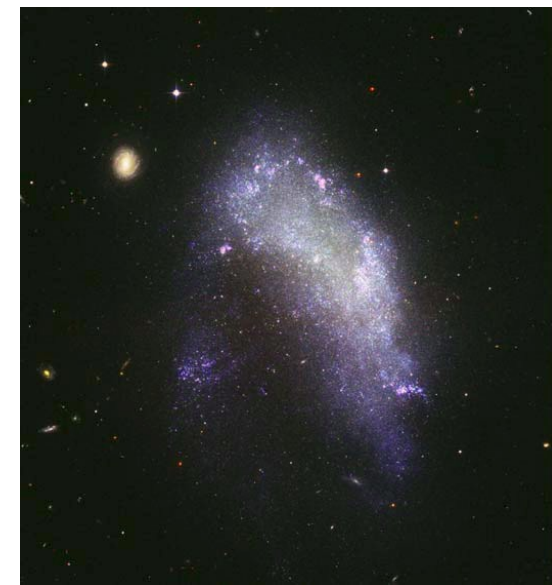
=> tvorba nových hvězd.

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 roztříděné 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

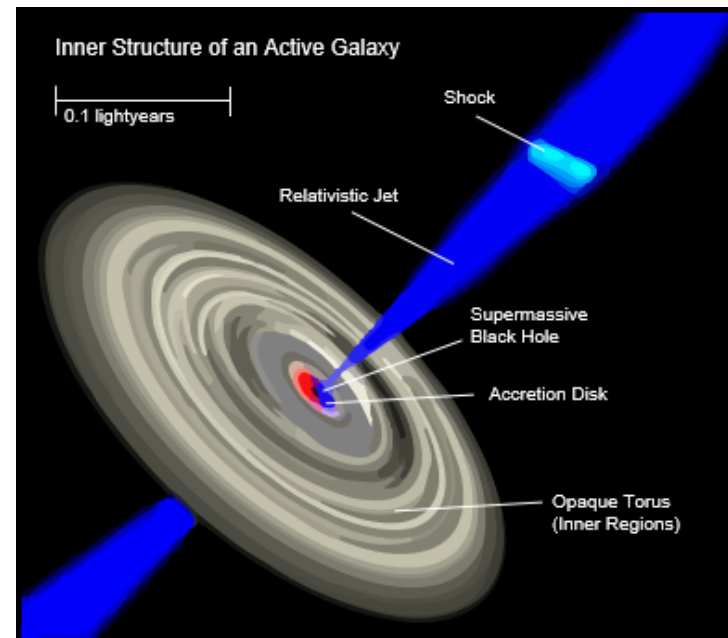
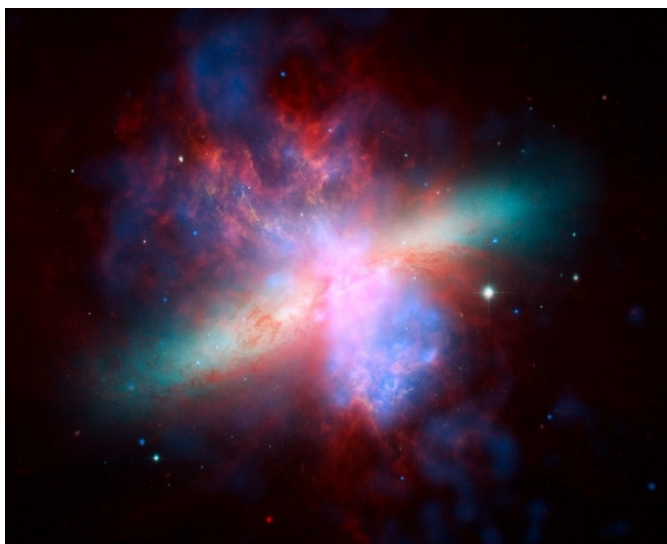
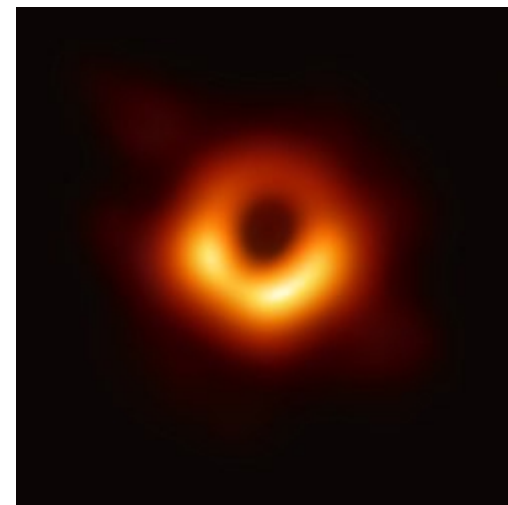
Energie aktivních galaxií

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 → spad hmoty
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

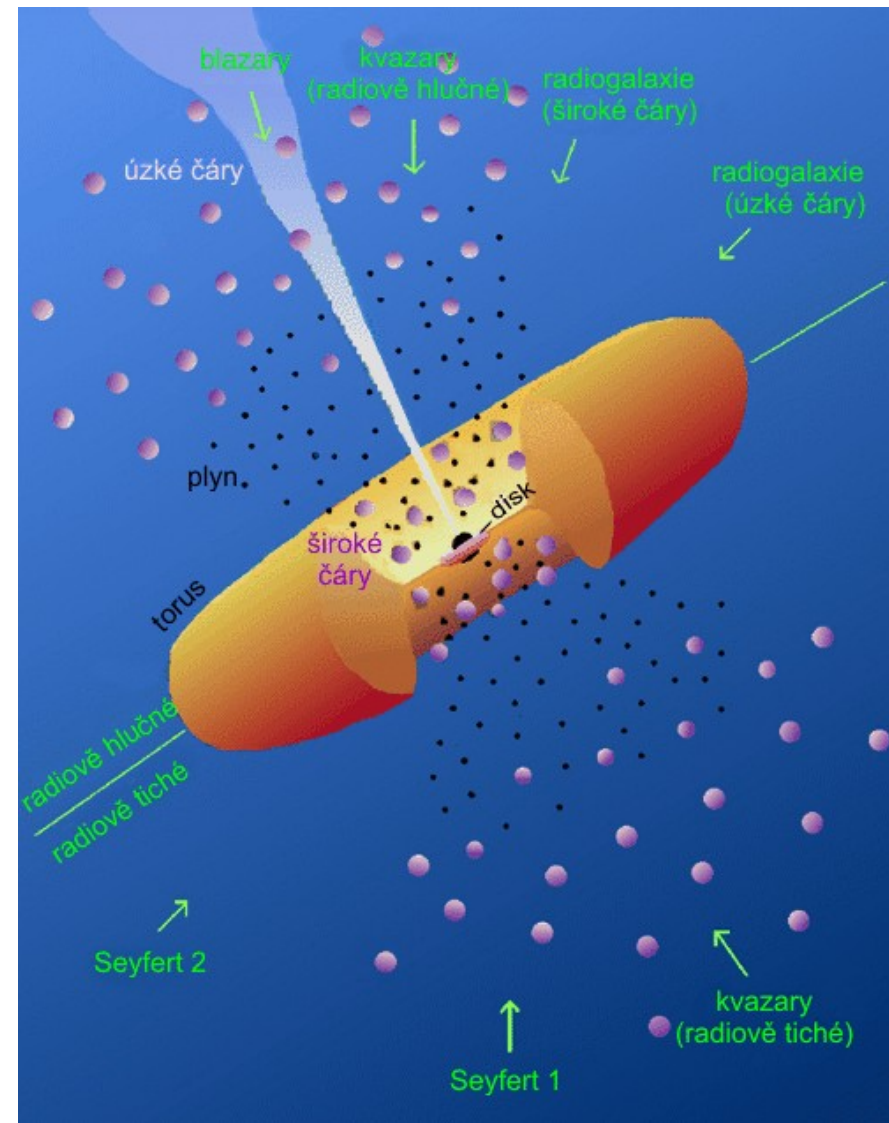
- **rádiově tiché** (linery, Seyfertovy galaxie, kvasary QSO)
- **rádiově hlučné** (rádiové galaxie, blazary, OVV kvasary)

LINERs = Low-ionization nuclear emission-line regions

QSO = quasi-stellar object

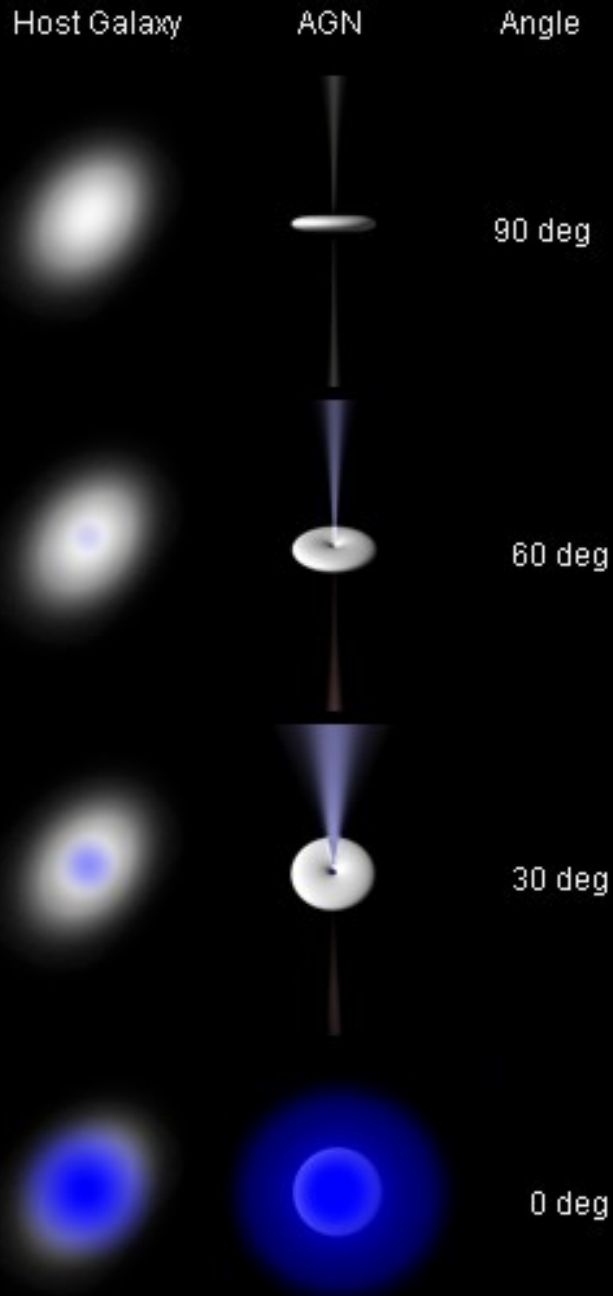
OVV = Optically Violently Variable

blazar = objekt typu BL Lac



stejná fyzikální podstata x různé úhly pohledu!

Observed Properties of Jets and the Angle to the Line of Sight θ

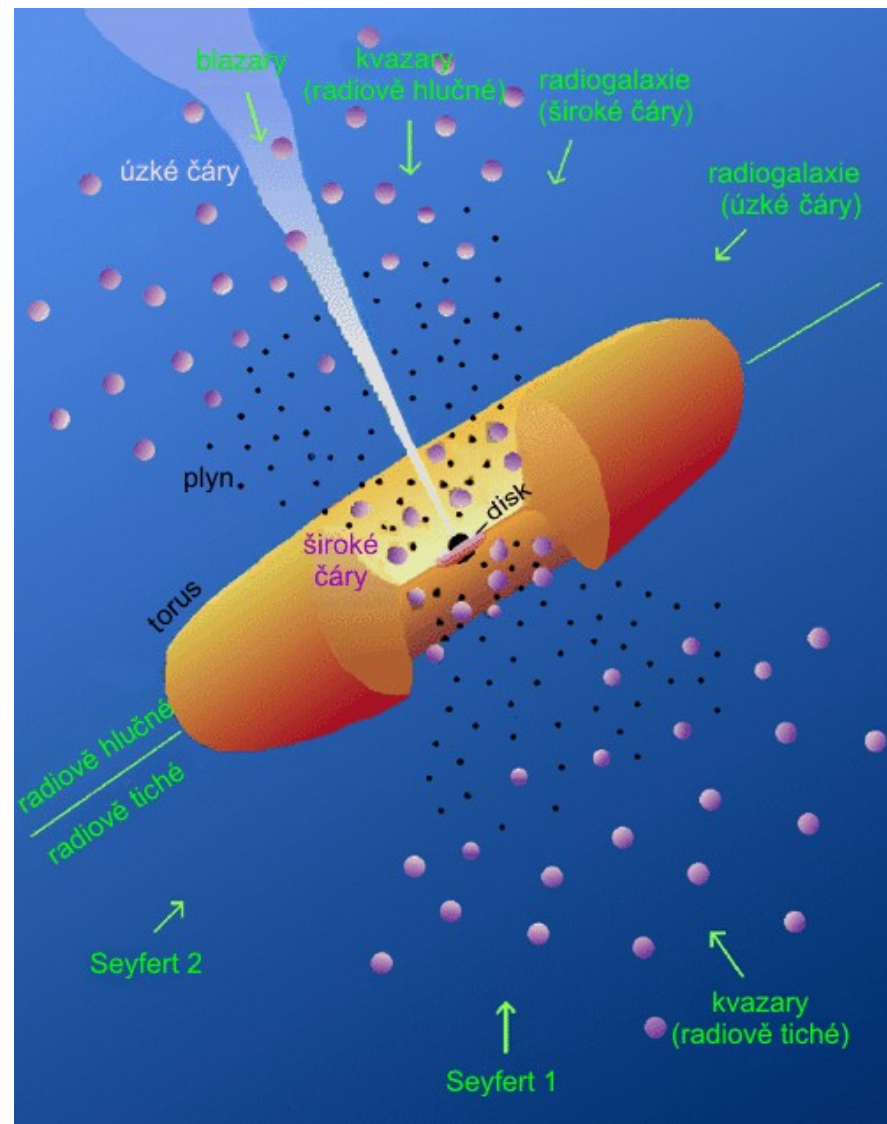


radiová
galaxie/
Seyfert 2

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

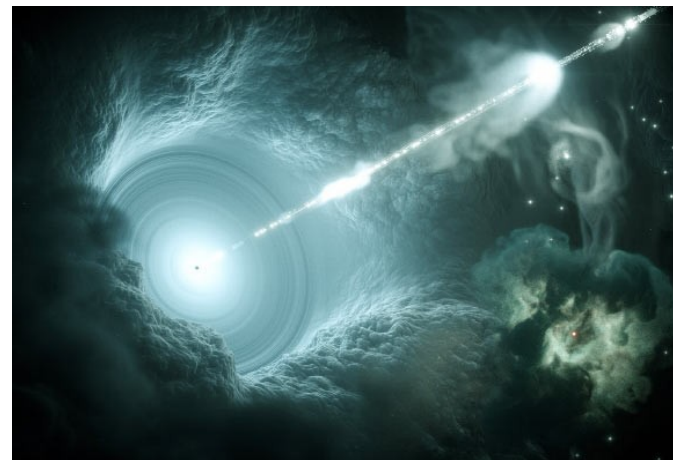
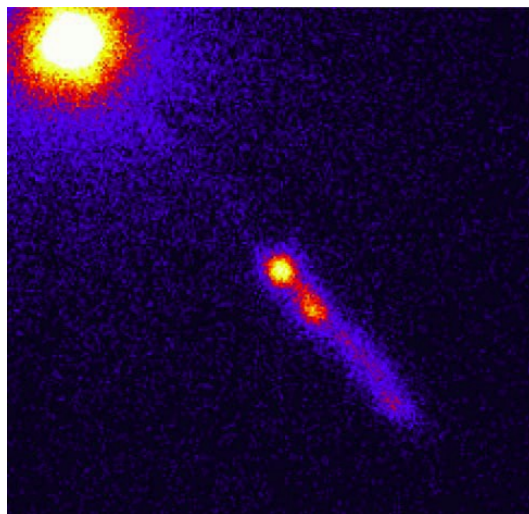
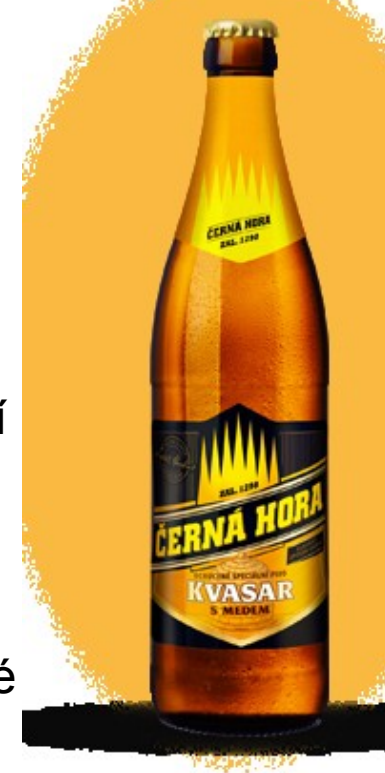
spektrum jádra **není** hvězdné – zakázané, emisní čáry; podle čar – 2 typy

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



Kvasary

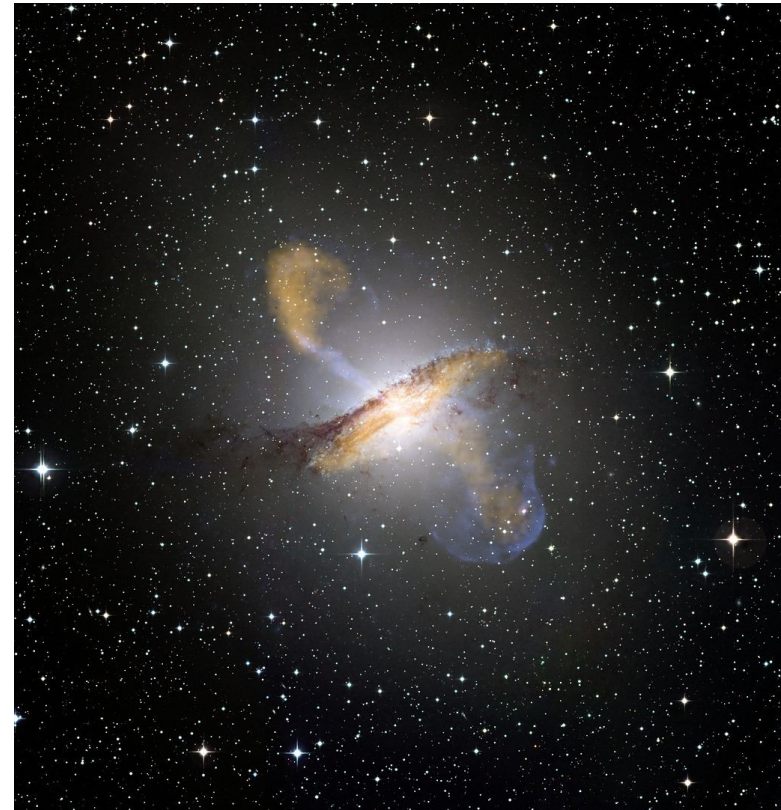
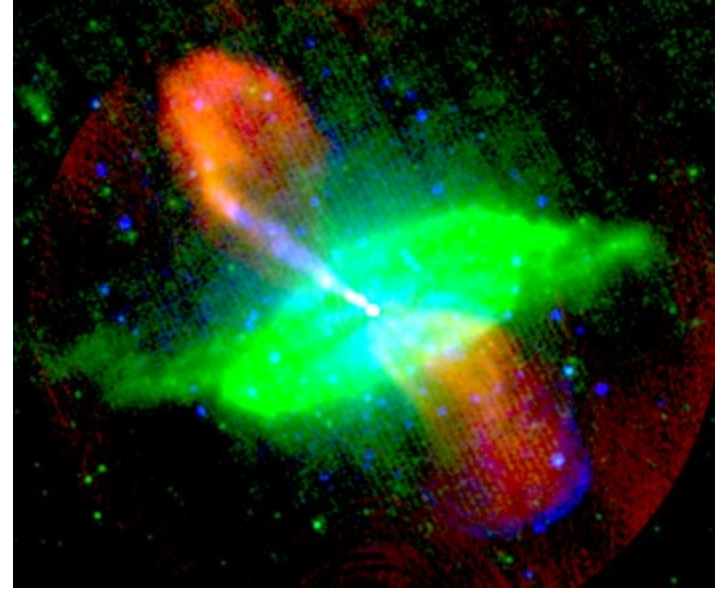
- kvasary (quasistellar radio source)* - nejmohutnější aktivita
- objev konec 50. let, 1963 – optický protějšek rádiových zdrojů
 - velmi staré, nejvzdálenější objekty ve vesmíru
 - nejbližší kvasar 3C 273 – vzdálenost 749 Mpc, rychlost vzdalování 50 000 km/s; 12,8 mag
 - *nejzářivější* objekty ve –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

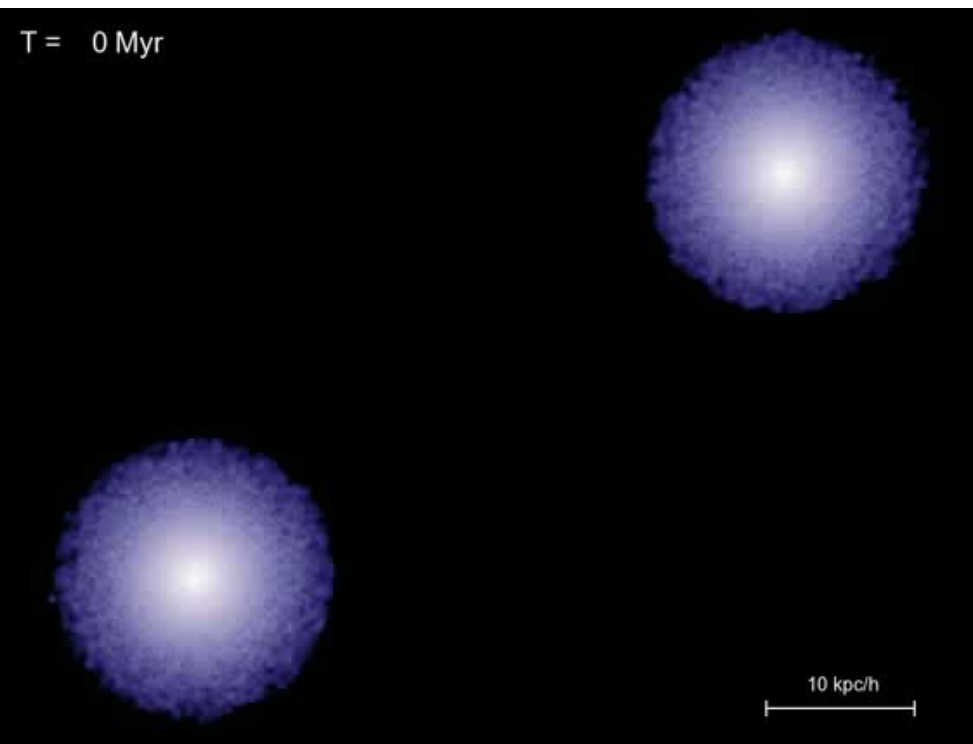
Interagující galaxie NGC 2207 (vlevo) a IC 2163 v souhvězdí Velkého psa.



T = 0 Myr

Gas





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

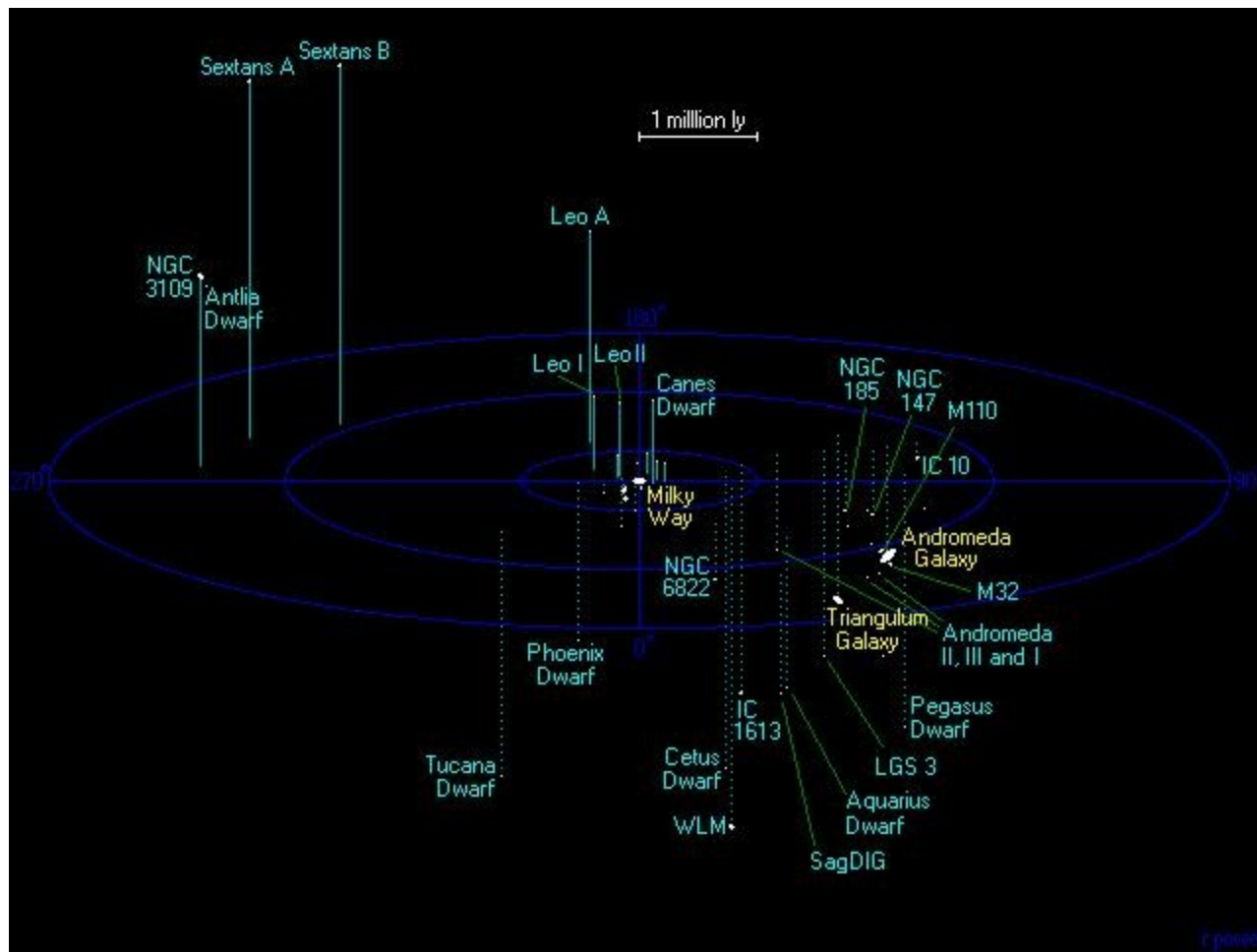
galaxie – většinou v párech, skupinách

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

známí sousedé: LMC, SMC, M 31 , M 33

nejhmotnější – naše Galaxie a M 31

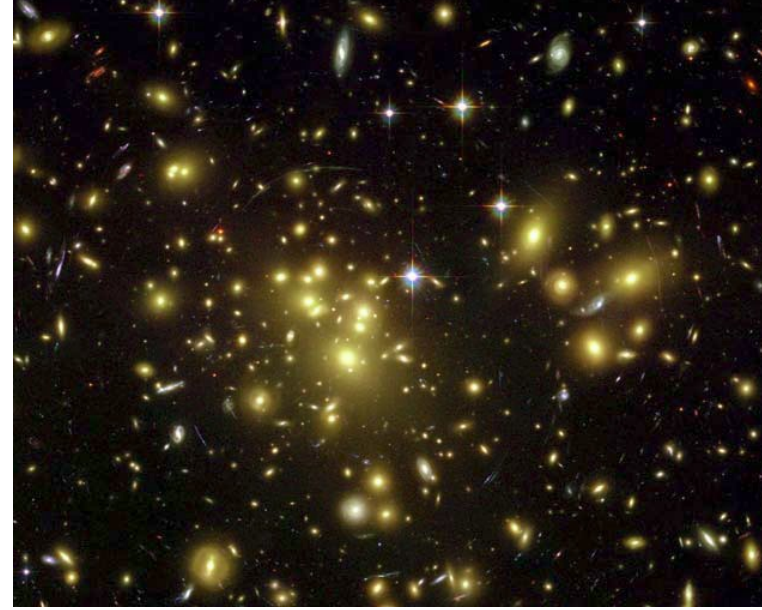
galaxie místní skupiny - v oblasti o průměru asi 800 kpc



Kupy galaxií

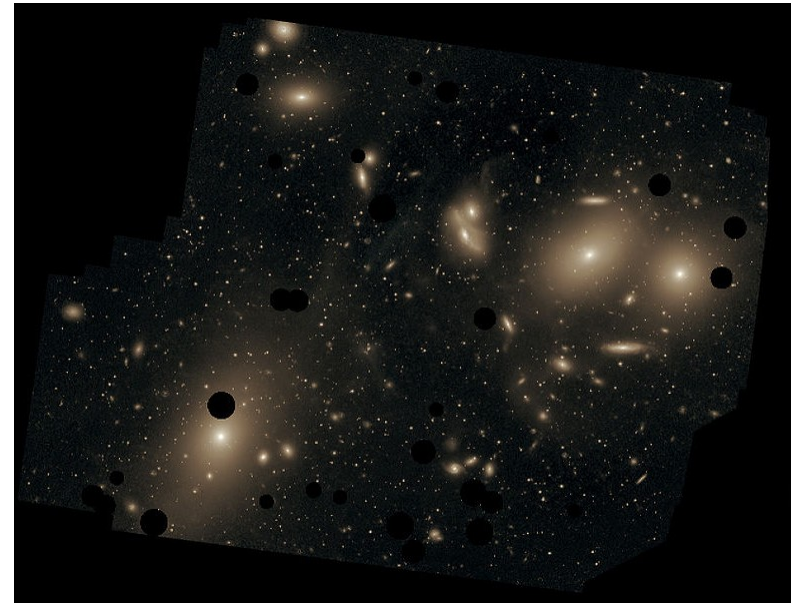
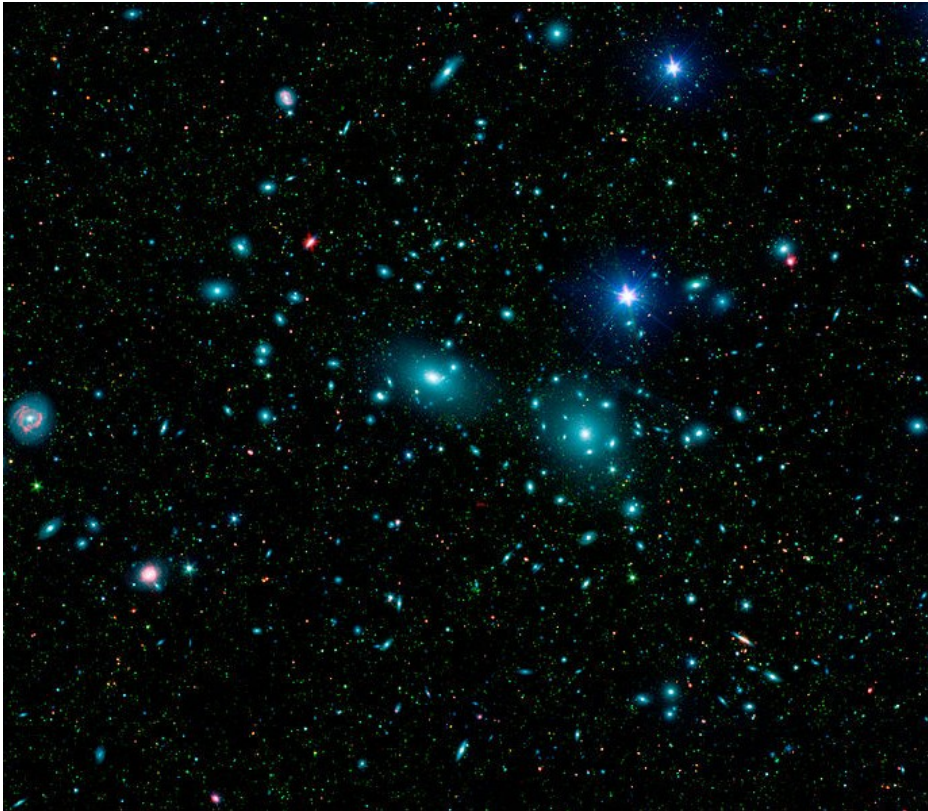
největší gravitačně vázané struktury ve vesmíru

- 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



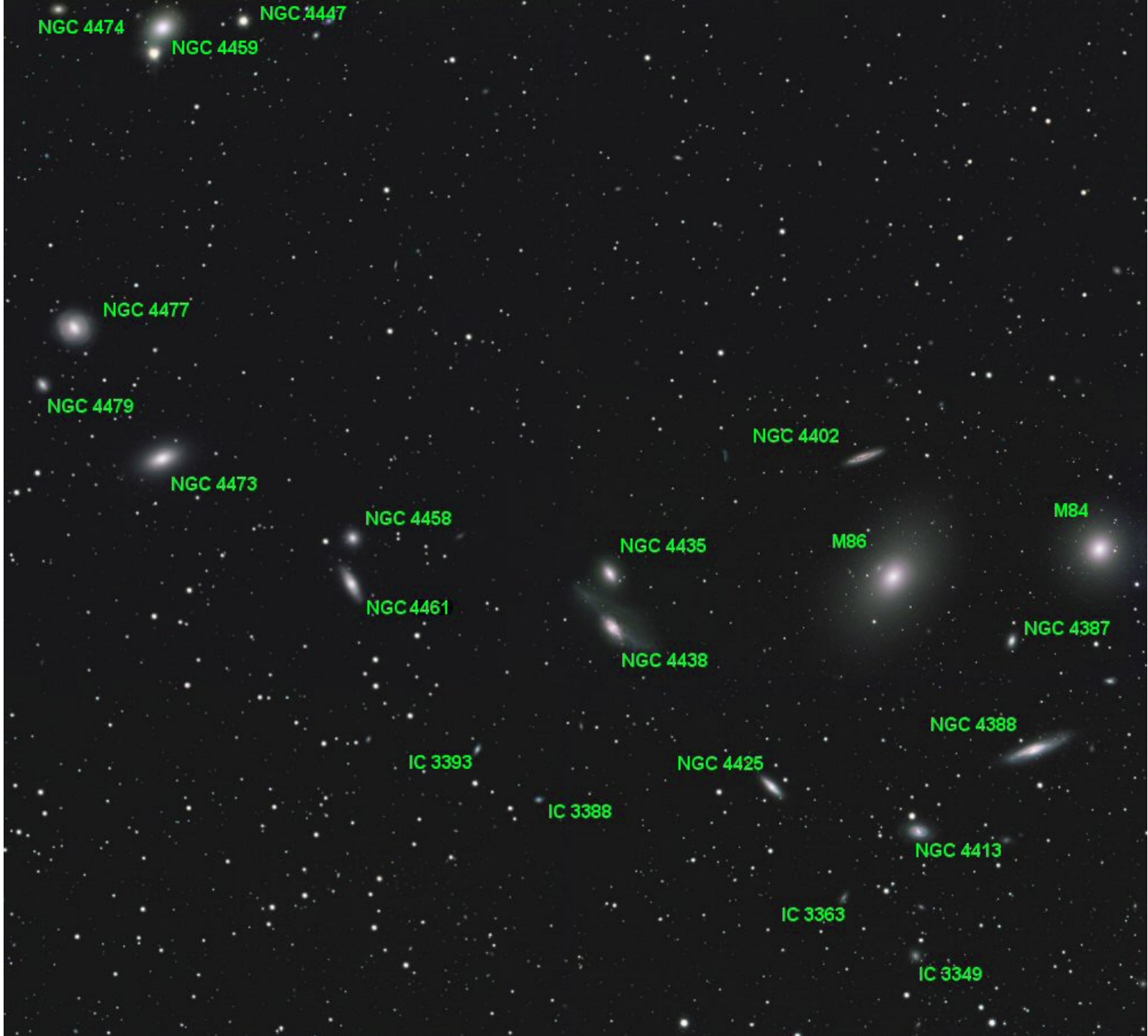
„typická“ kupa galaxií - v Vir

- 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 4459

NGC 4447

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**

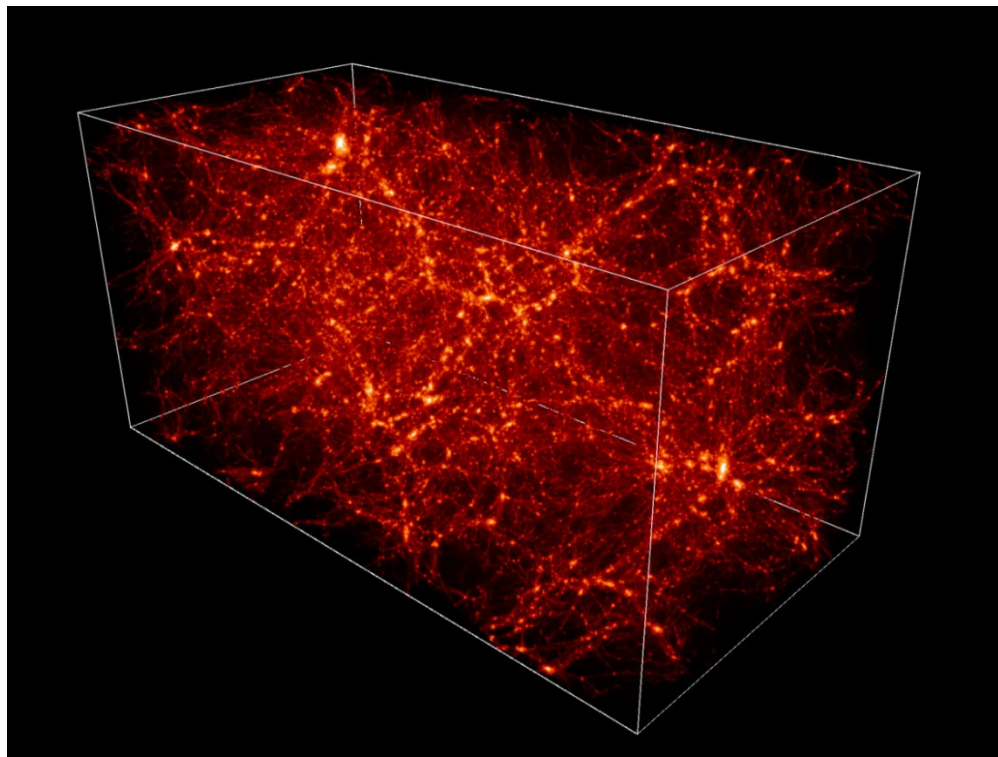
Nadkupa *není* gravitačně vázána, časem se rozpadá.

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 :

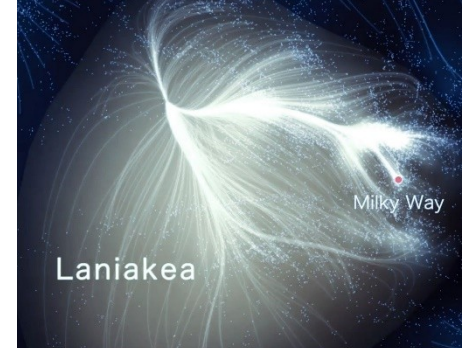
$$H_0 = 100 h \text{ (km/s)/Mpc}$$

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



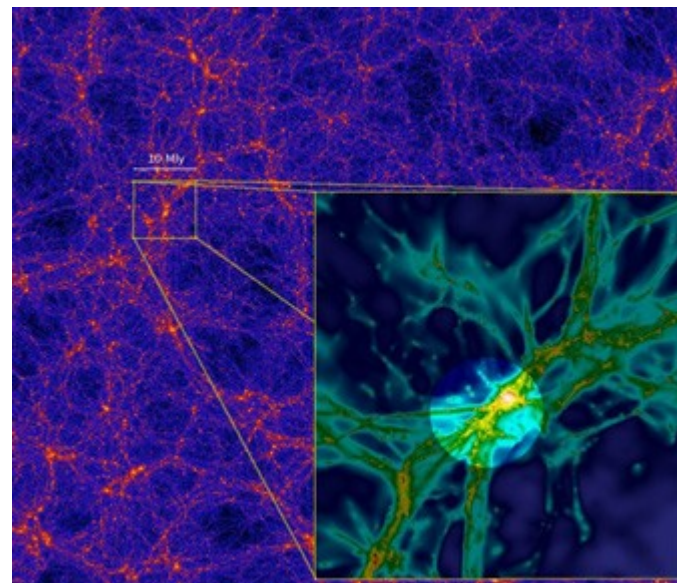
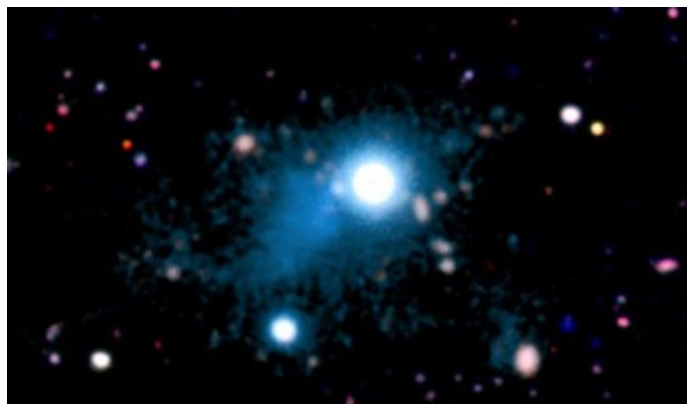
Buněčná struktura – galaxie podél stěn nepravidelných „buněk“
- rozměry „buněk“ - 50 - 150 Mpc

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

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

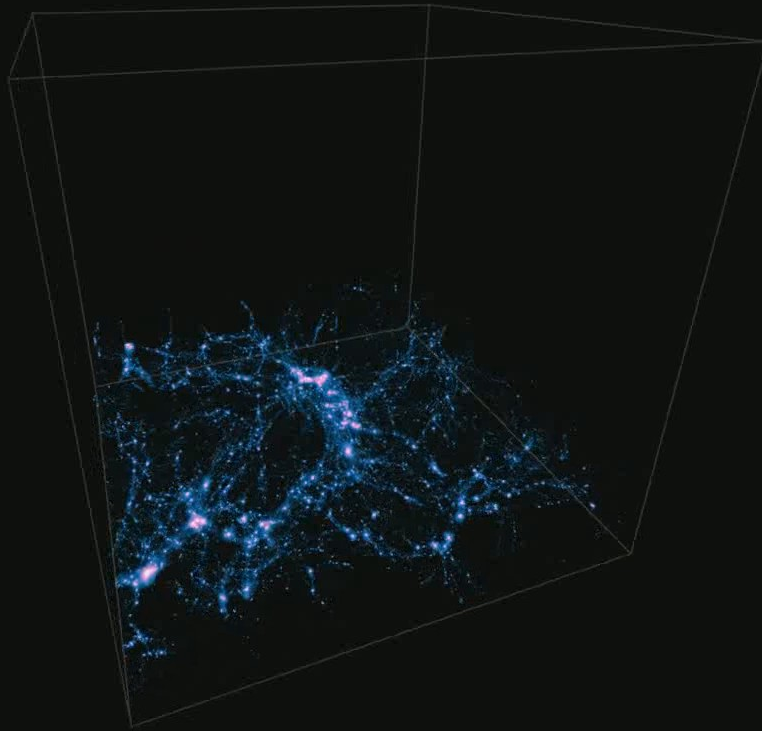
2014 – kvasar UM287,

1. pozorování „cosmic web“

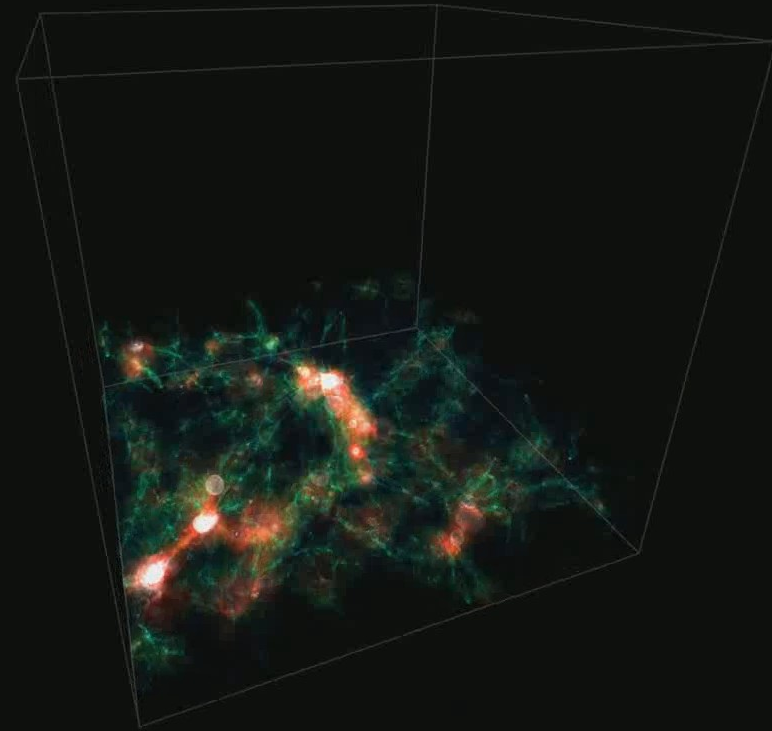


<http://www.illustris-project.org/media/>

Dark Matter



Gas Temperature



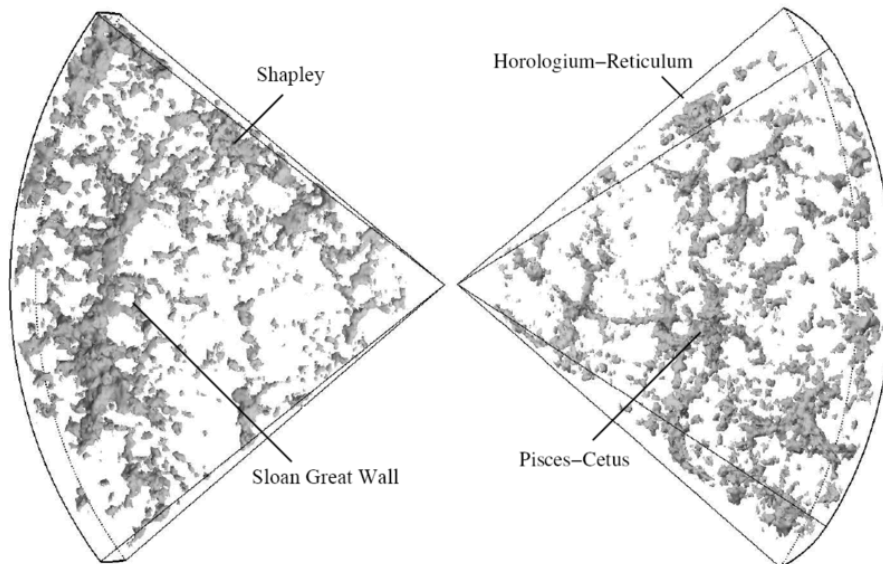
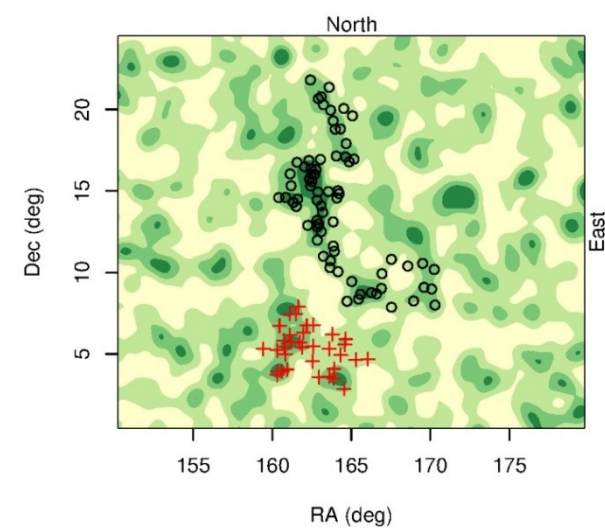
ILLUSTRIS

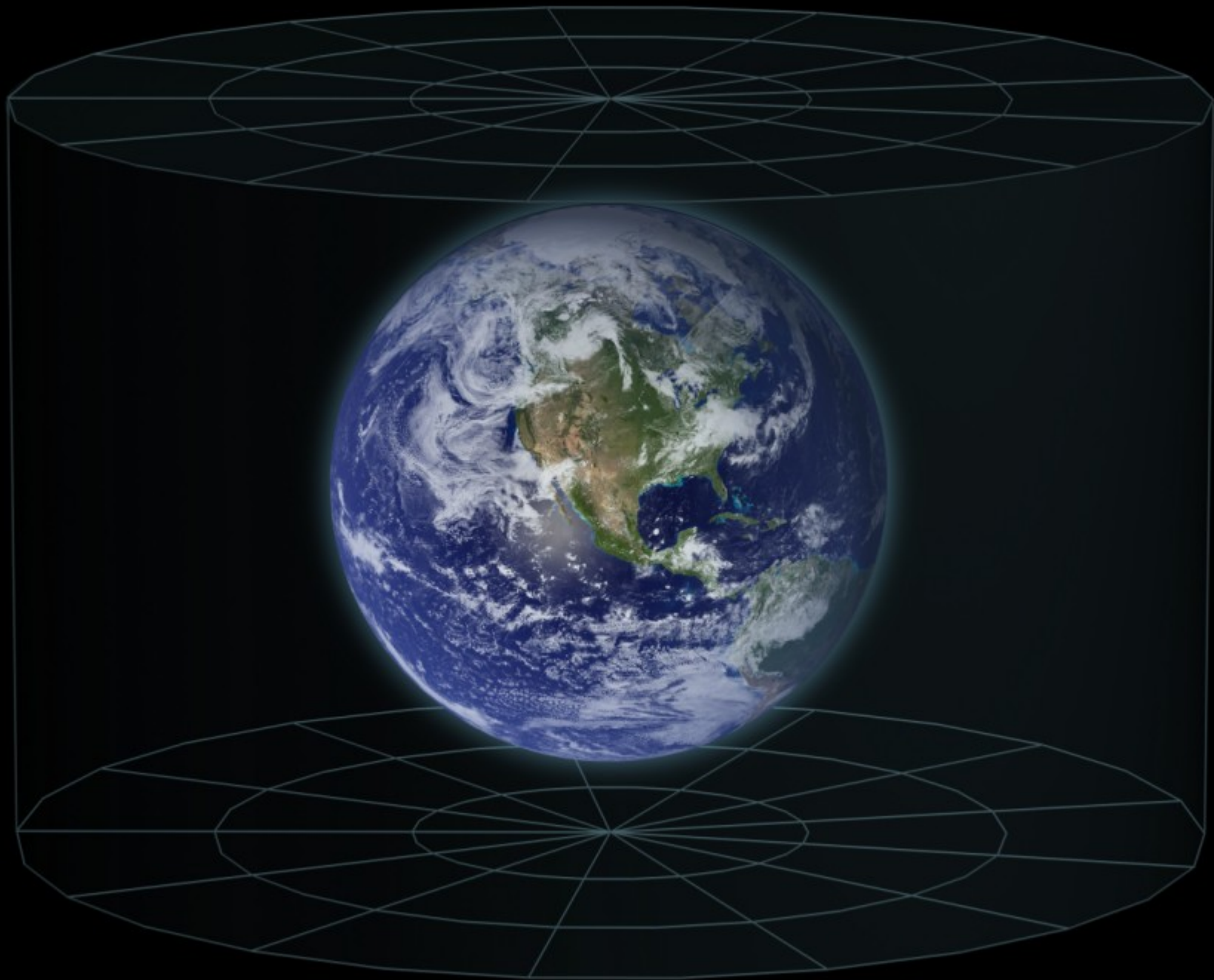
<http://www.tng-project.org/media/>

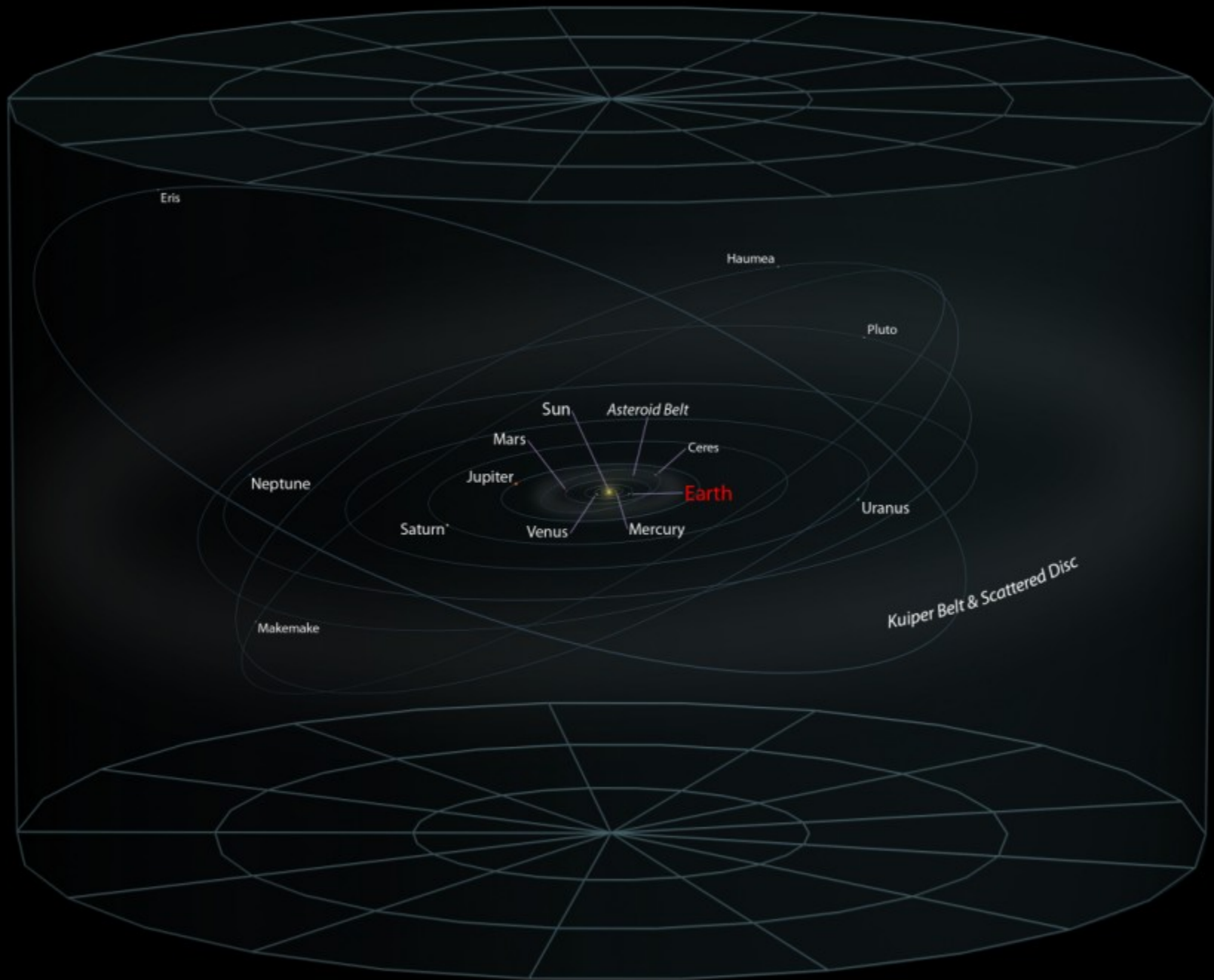
Větší než nadkupy

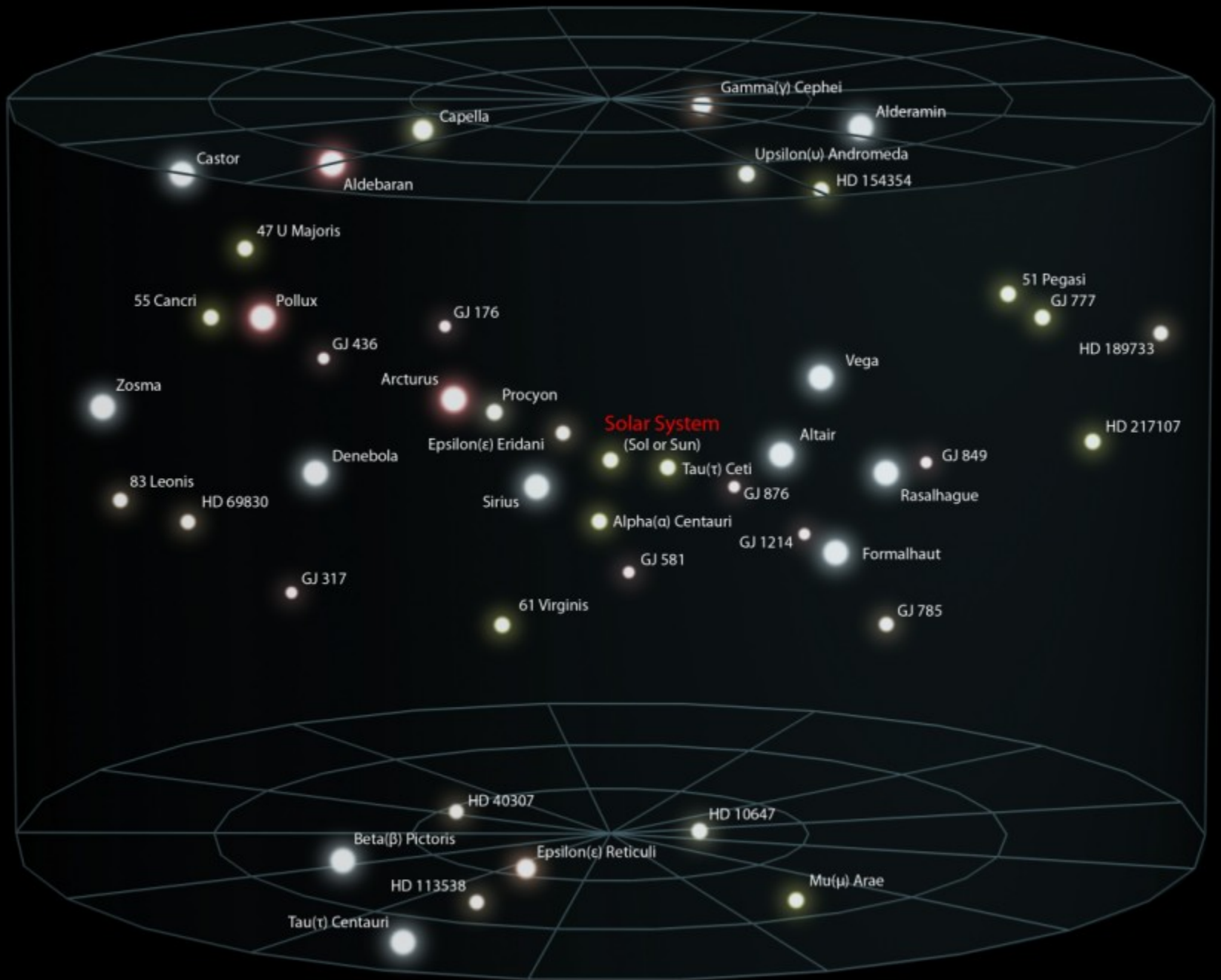
- kostra obřích prapůvodních struktur z raných stadií vesmíru
- 2003 - nejdelší útvar „SDSS Velká zed“ (1,37 Gly)
- 2013 - Huge-LQC (Large Quasar Group) – 4 Gly! (1240 Mpc)
- 2014 - Velká zed' Her-CrB – rozměr 10 Gly (2019 největší známý útvar)
 - při mapování γ -záblesků
- 2015 – Giant RGB Ring – největší pravidelný útvar vesmíru (5.6 Gly)

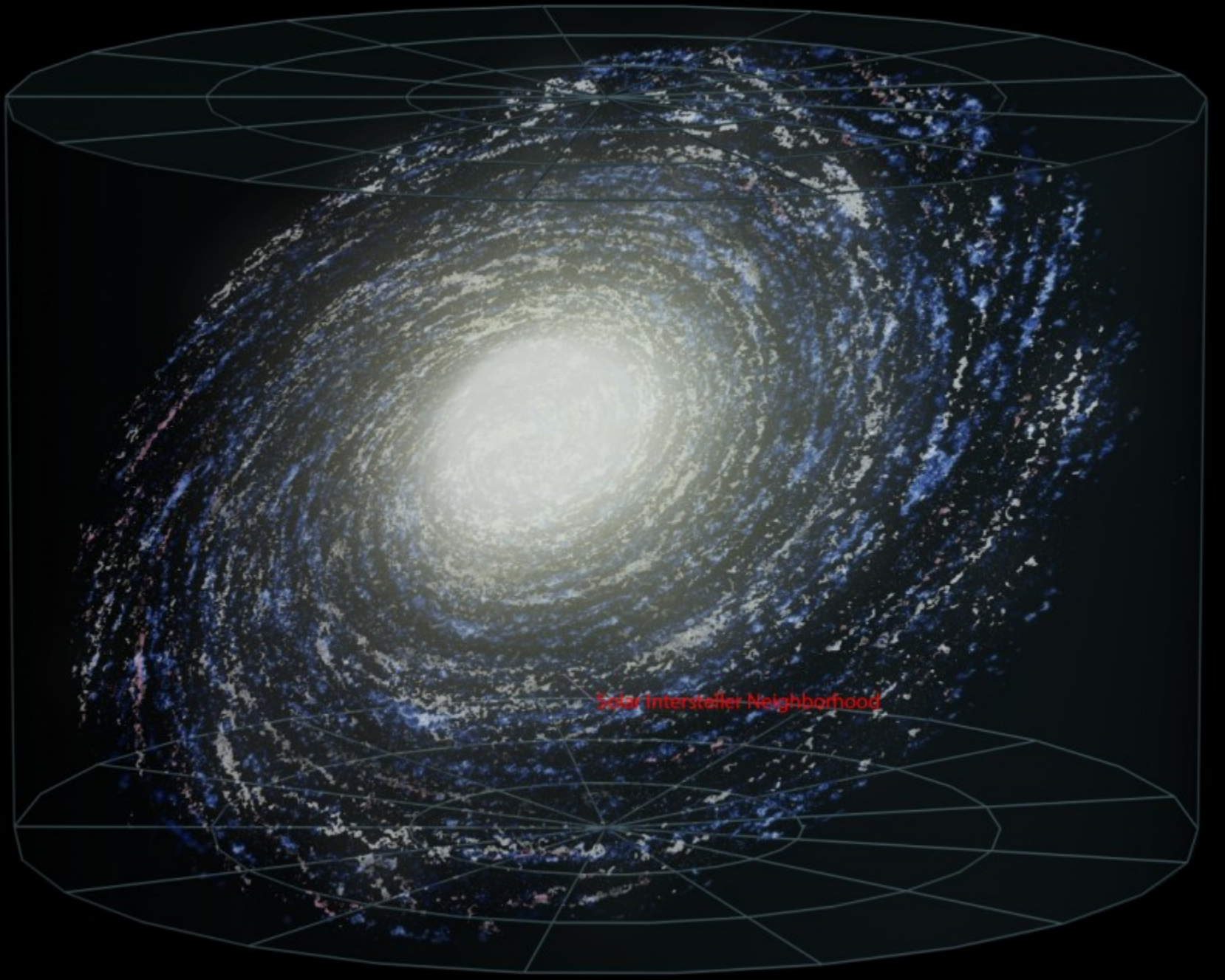
Uspokojivé vysvětlení pro tyto úkazy dosud nemáme.



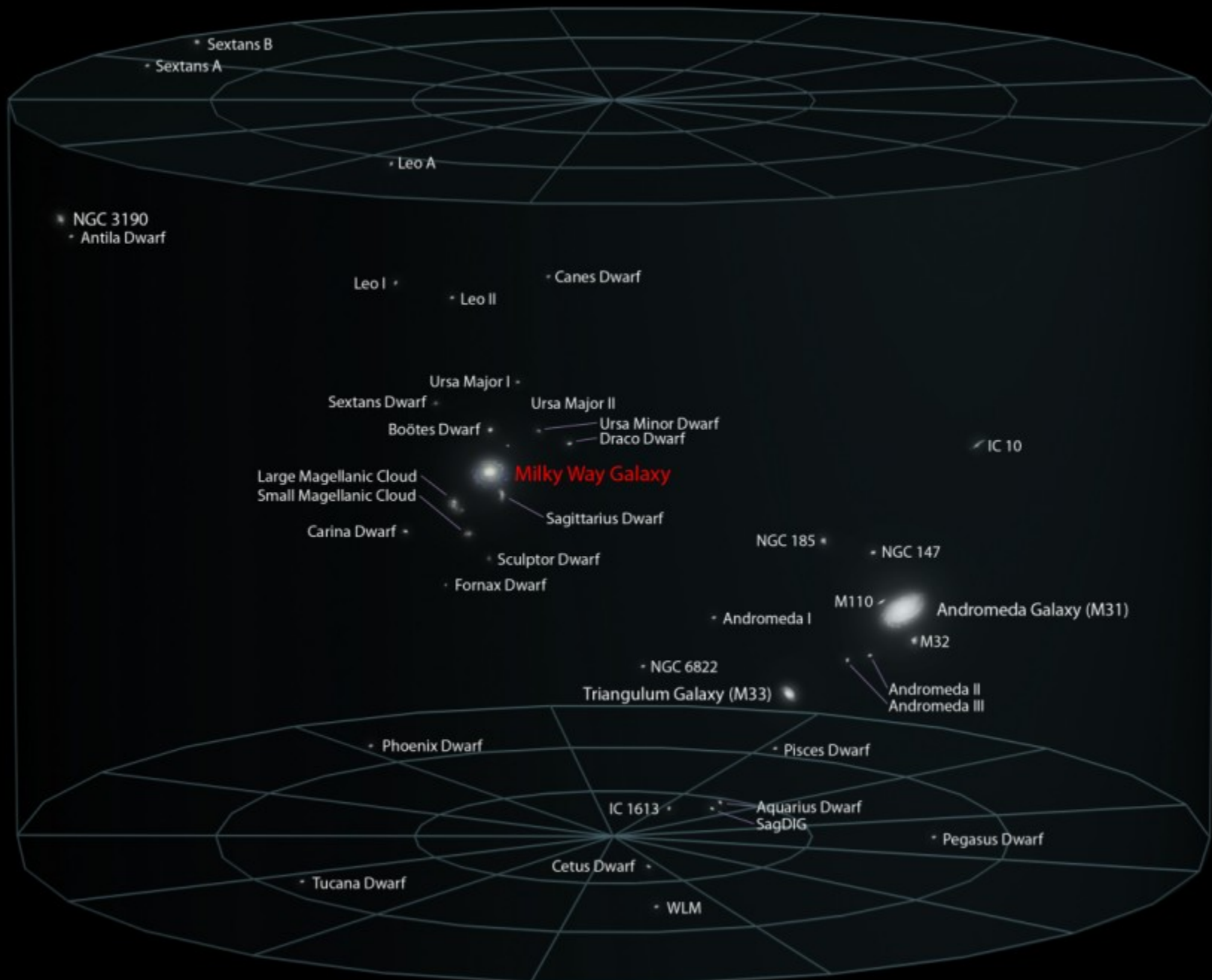


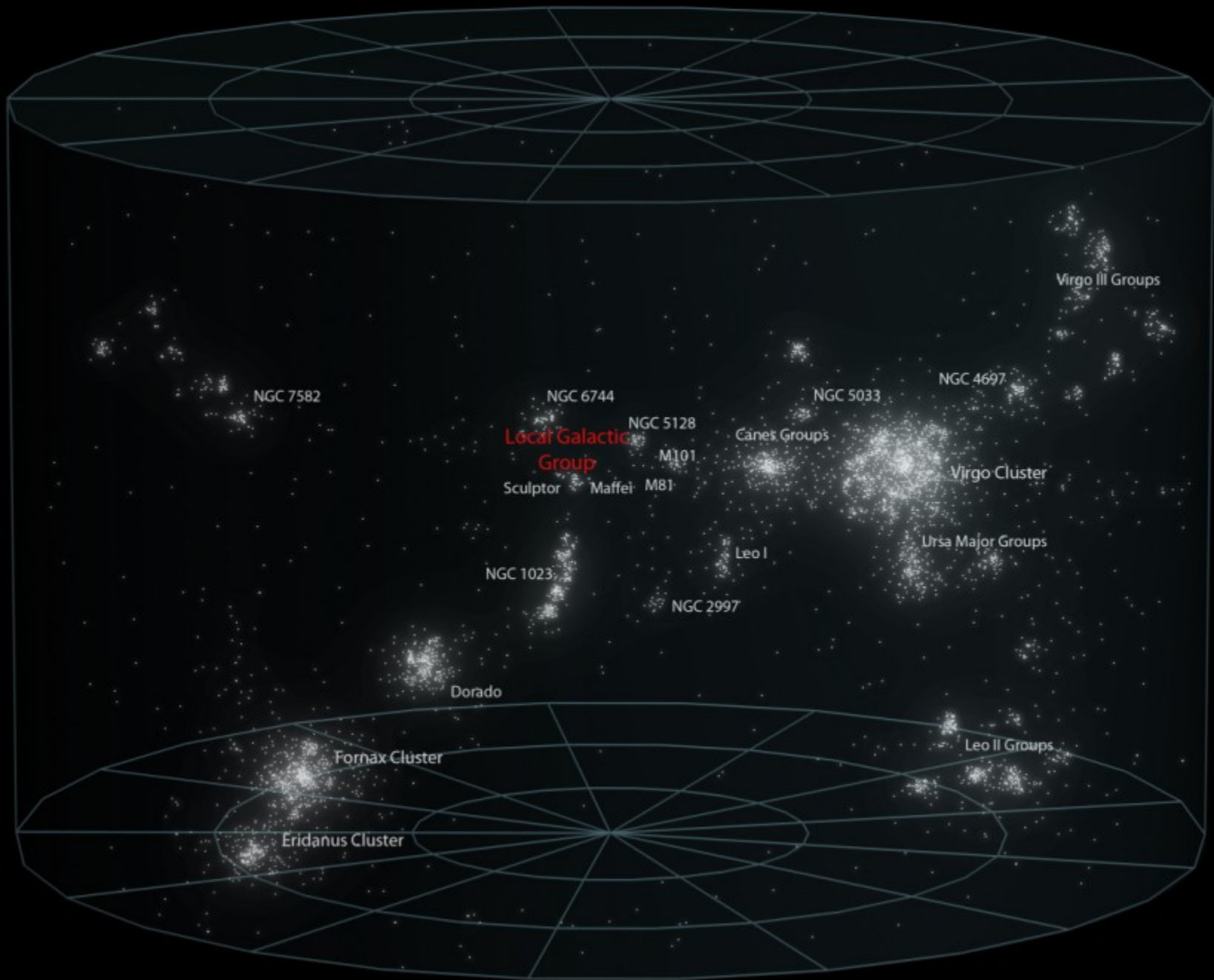


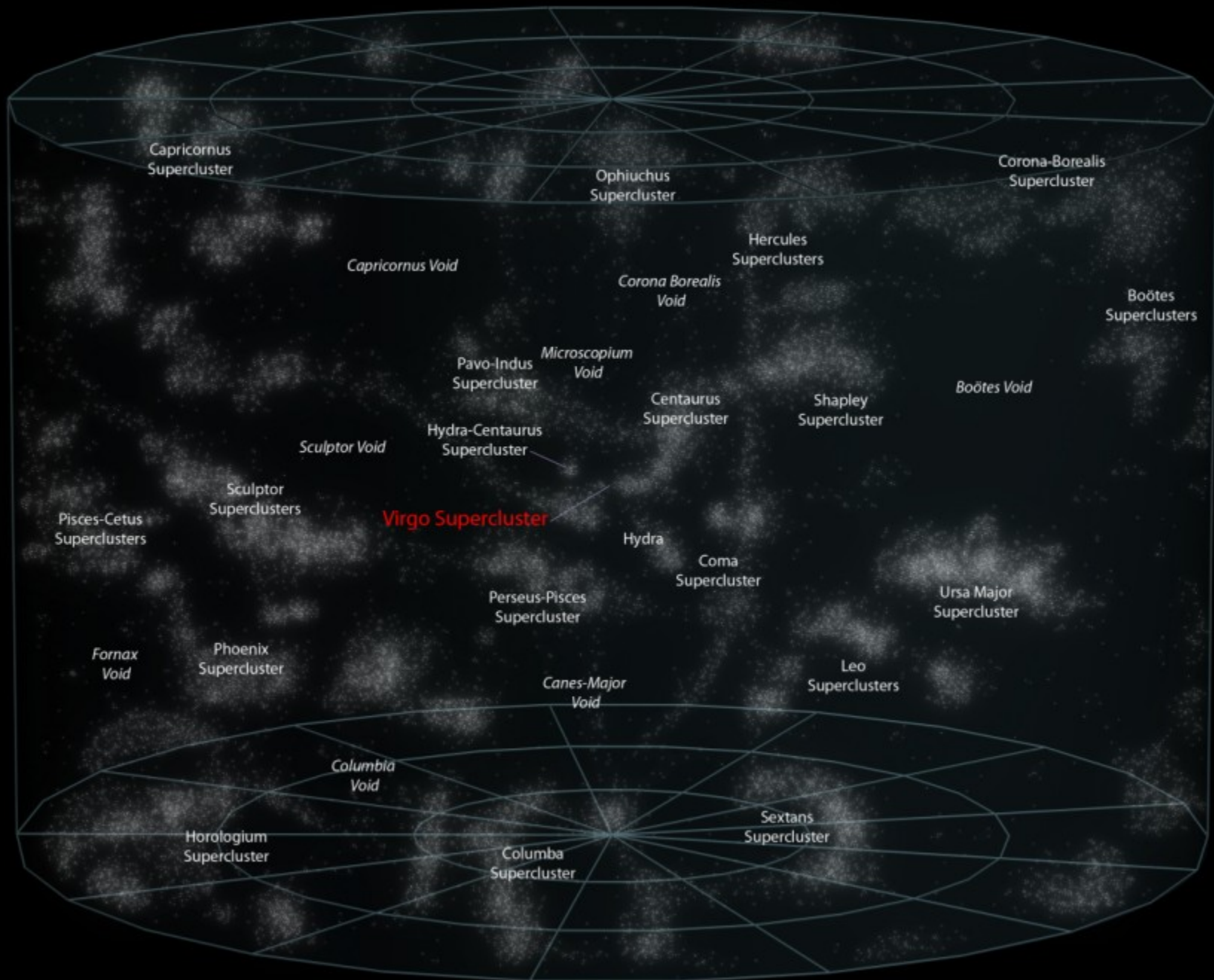


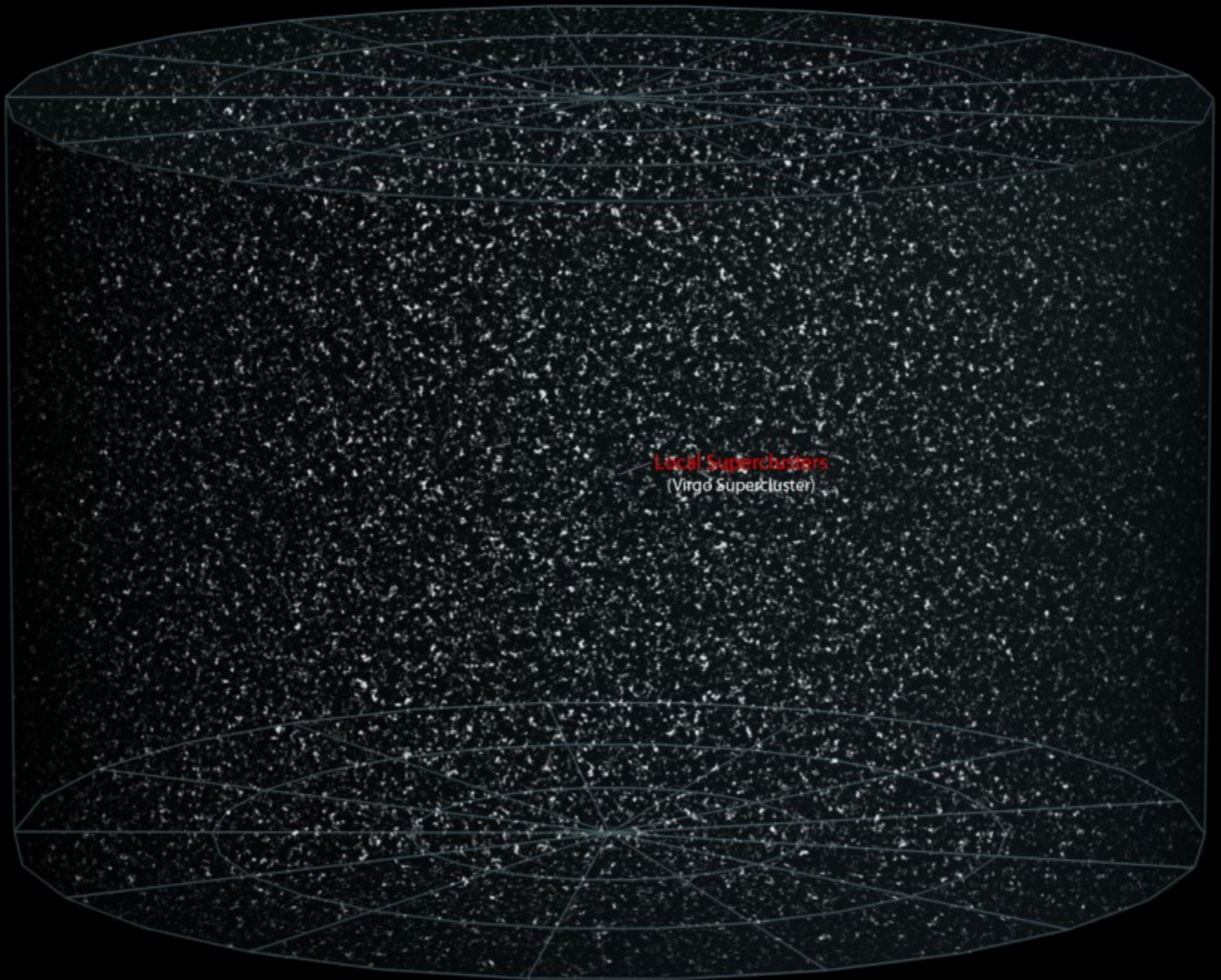


Solar Interstellar Neighborhood









Local Superclusters
(Virgo Supercluster)