

Astrofyzika IX.

galaxie, jejich aktivita, kvasary

Vladimír Štefl

Ústav teoretické fyziky a astrofyziky

Debata r. 1920 **H. Shapley** x **H. D. Curtis**

Co představují mlhoviny ?



Harlow Shapley
(Mt. Wilson Obs.)



Heber Curtis
(Lick Observatory)

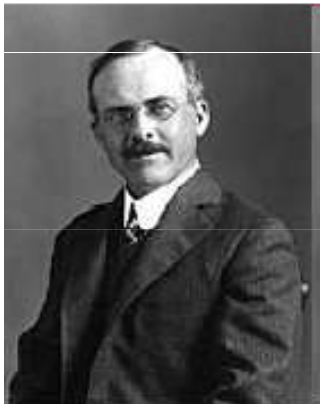
Debata r. 1920 **H. Shapley** x **H. D. Curtis**



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

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;
- 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

Závěry diskuse **H.Shapley**x**H.D.Curtis** r. 1920

H.Shapley:

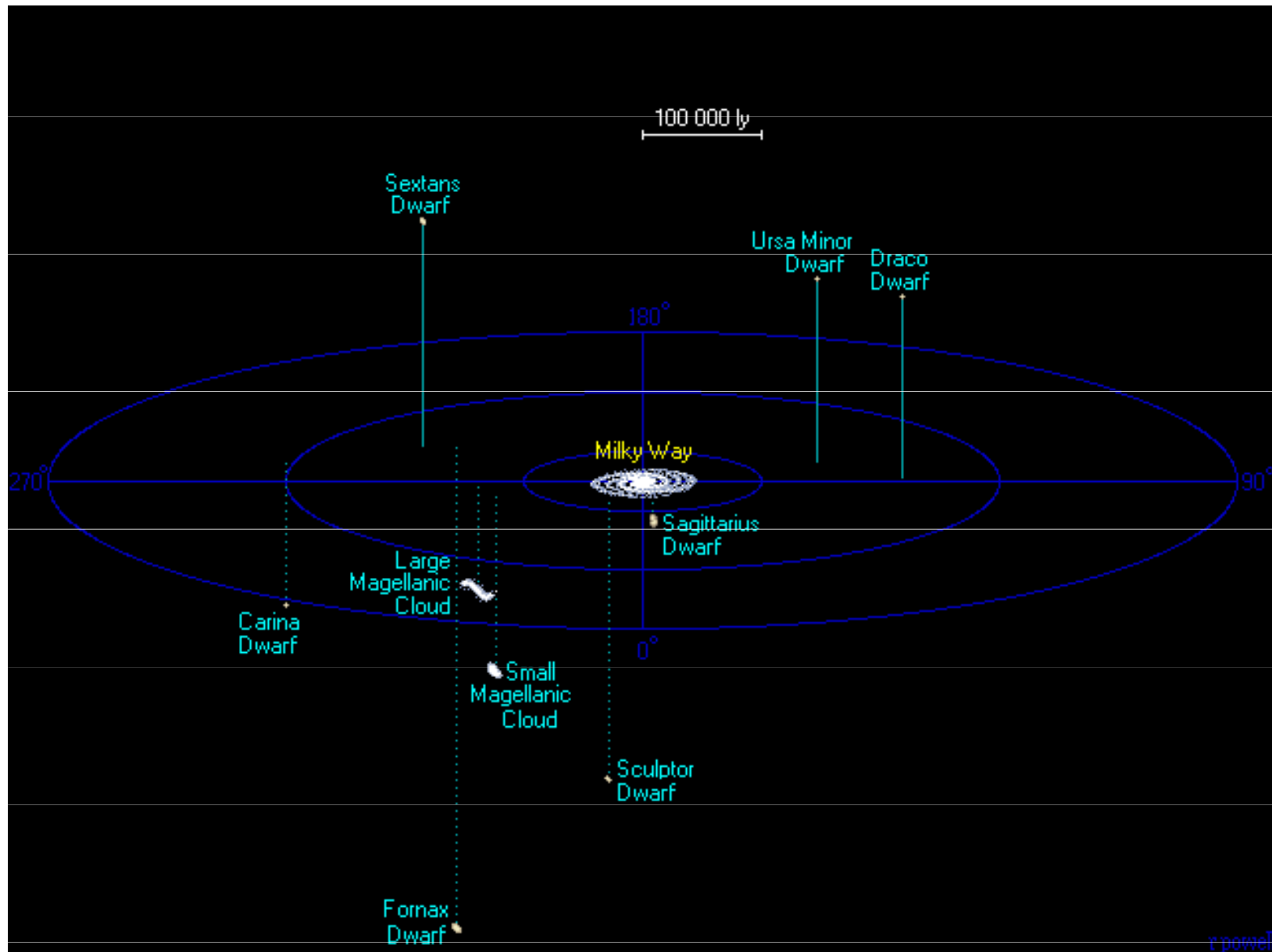
pomocí studia kulových hvězdokup zjistil polohu **středu Galaxie a její rozměry**

vesmír je tvořen naší **Galaxií**, mlhavé obláčky jsou blízká plynná mračna

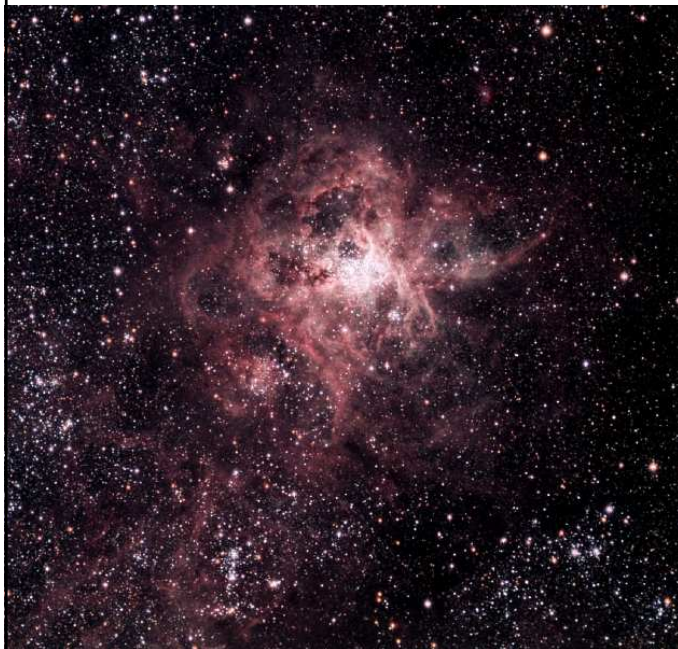
H.Curtis:

vesmír je složen z **mnoha galaxií** jako je naše, Slunce leží v blízkosti středu jedné z galaxií

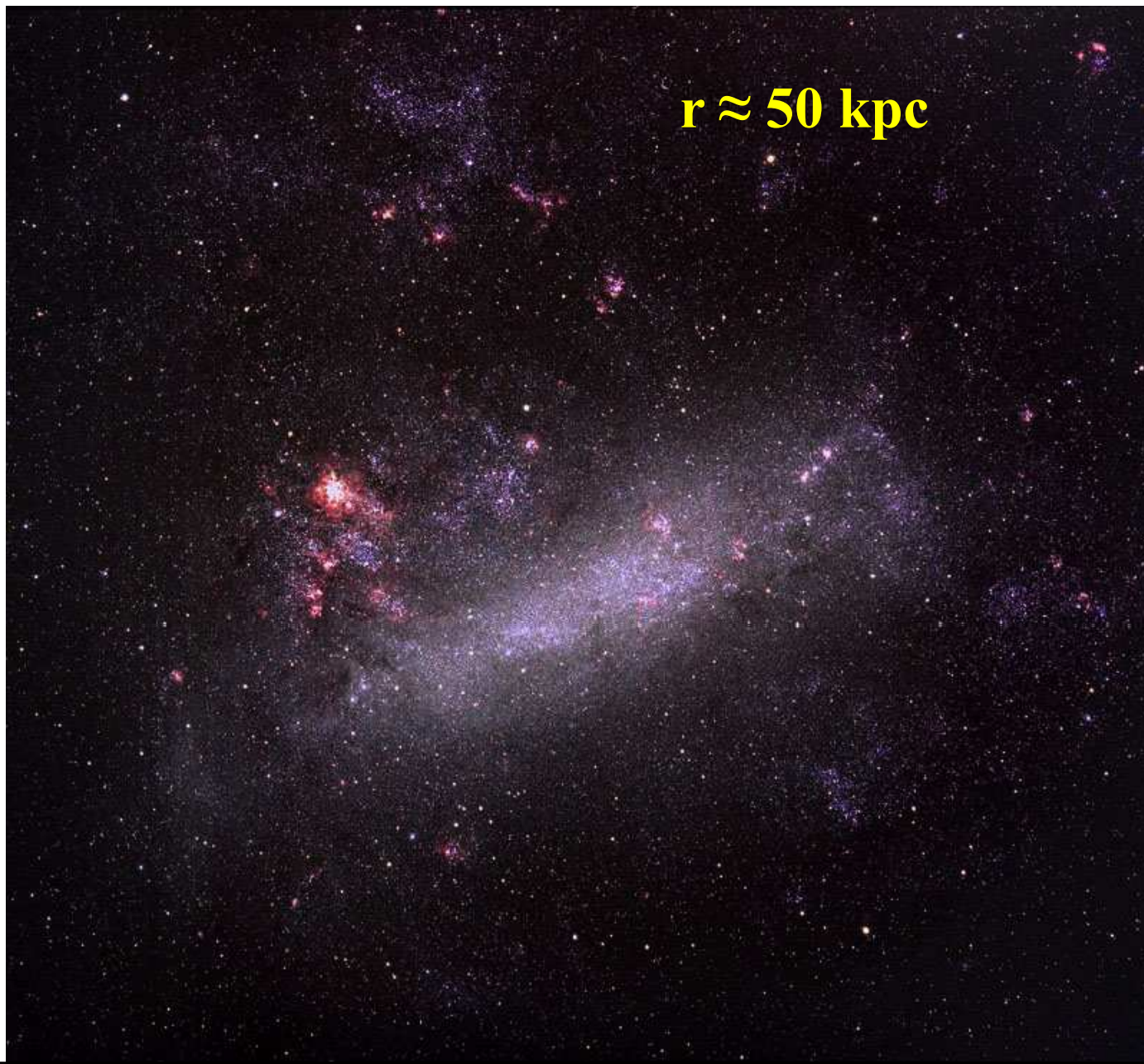
Nejbližší okolí Galaxie



Velký Magellanův oblak



**Tarantule-emisní
mlhovina**



Galaxie v souhvězdí Andromedy

satelitní trpasličí eliptická galaxie M 32, prošla před 210 miliony let galaxií M 31 – vznik vnějšího prachového prstence ve vzdálenosti 10 kpc od jádra M 31

$r = 772 \text{ kpc}$, 5% chyba,
 $v_r = -180 \text{ km.s}^{-1}$, pohyb Galaxie
směrem k M 31, obě splynou -
obří eliptická galaxie

Galaxie v souhvězdí Andromedy

disk modrých hvězd kolem černé díry v jádře



M 31 x Galaxie

Mon. Not. R. Astron. Soc. 000, 000-000 (0000) Printed 20 February 2008 (M^N L^AT_EX style file v2.2)

The Collision Between The Milky Way And Andromeda

T. J. Cox* and Abraham Loeb†

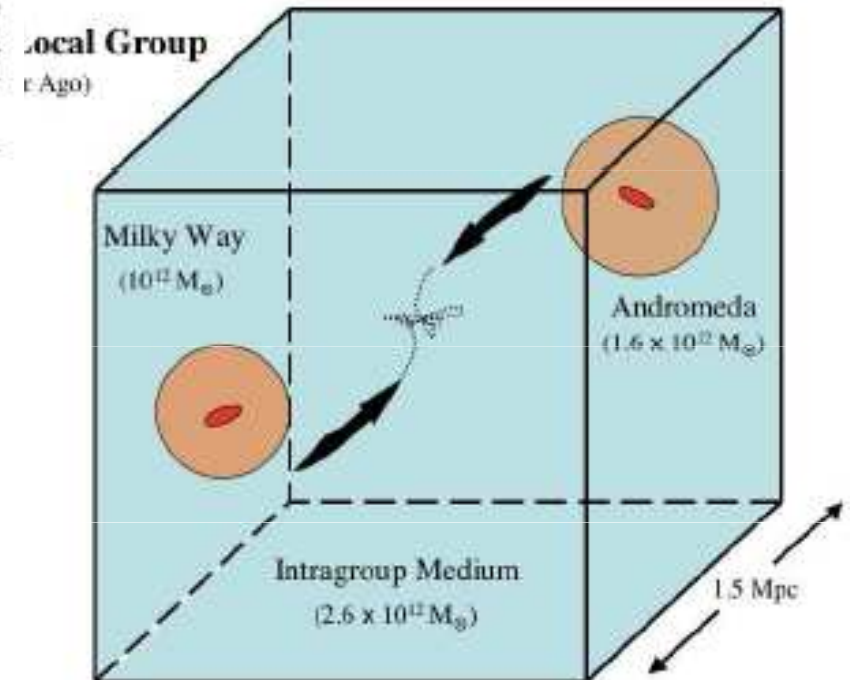
Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, 60 Garden Street, Cambridge, MA 02138, USA

20 February 2008

ABSTRACT

We use a N -body/hydrodynamic simulation to forecast the future encounter between the Milky Way and the Andromeda galaxies, given current observational constraints on their relative distance, relative velocity, and masses. Allowing for a comparable amount of diffuse mass to fill the volume of the Local Group, we find that the two galaxies are likely to collide in a few billion years - within the Sun's lifetime. During the interaction, there is a chance that the Sun will be pulled away from its present orbital radius and reside in an extended tidal tail. The likelihood for this outcome increases as the merger progresses, and there is a remote possibility that our Sun will be more tightly bound to Andromeda than to the Milky Way before the final merger. Eventually, after the merger has completed, the Sun is most likely to be scattered to the outer halo and reside at much larger radii (> 30 kpc). The density profiles of the stars, gas and dark matter in the merger product resemble those of elliptical galaxies. Our Local Group model therefore provides a prototype progenitor of late-forming elliptical galaxies.

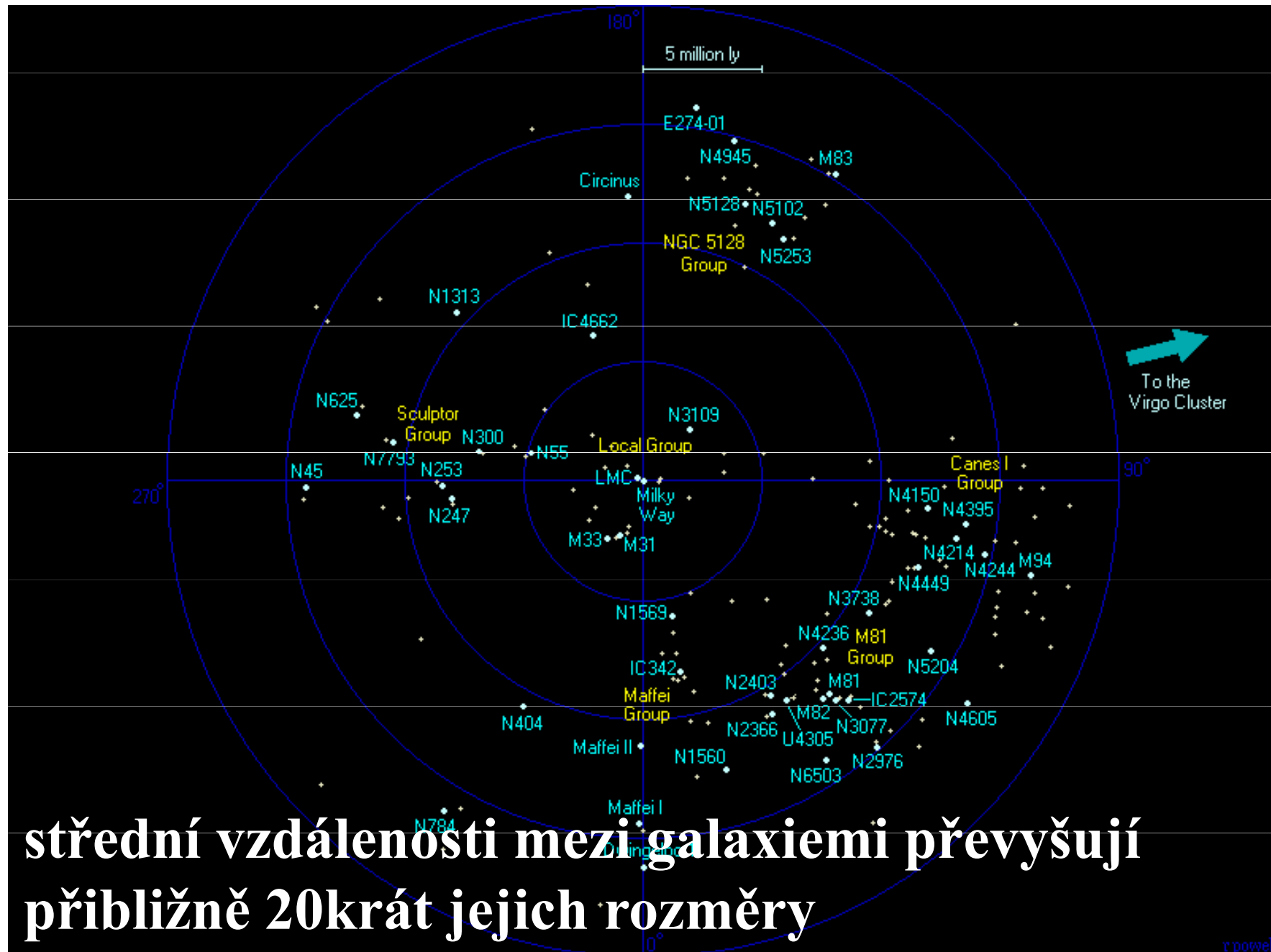
Key words: galaxy:evolution — galaxies:evolution — galaxies:formation — galaxies:interactions — Local Group — methods:N-body simulations.



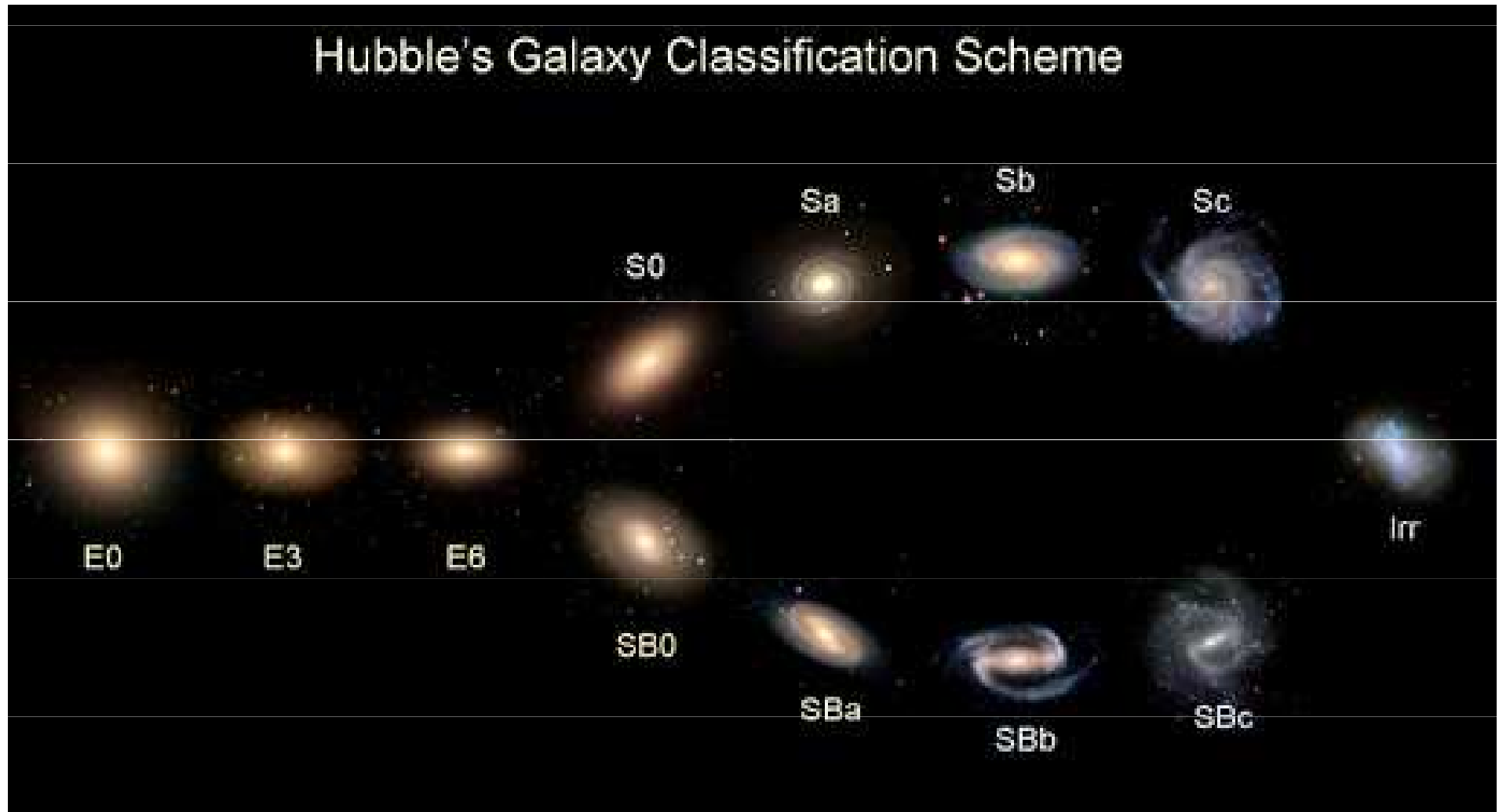
Srážka galaxií



Kupa galaxií



Hubbleova klasifikace



Hubbleova klasifikace galaxií

Spirální



Sc

Sb

Sa

S0

platí pro $z < 1$

Eliptické



E7

E3

E0

SBc

SBb

SBa



Spirální s příčkou

Hubbleova klasifikace galaxií

podle vnějšího vzhledu v původní klasifikaci rozdělujeme galaxie na

eliptické E - 13 %

spirální S - 62 %

čočkovitého tvaru S0 - 9 %

nepravidelné Ir - 3 %

zvláštní typy galaxií - 13 %

Eliptické galaxie mají tvar elipsoidů různého zploštění, hvězdy rozloženy symetricky, jejich hustota rovnoměrně ubývá od středu k okraji, ve složení převládají staré červené hvězdy – obři, veleobři, obsahují menší množství mezihvězdné látky

přechodným typem mezi galaxiemi **E** a **S** jsou galaxie čočkovitého tvaru **S0**

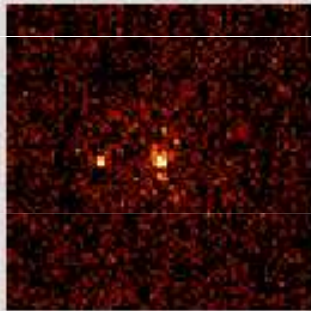
V průběhu vývoje za miliardy roků *galaxie mohou měnit svůj typ*

Problémy tradiční galaktické klasifikace

Problems with traditional galaxy classification

Appearance of galaxies is strongly dependent on **which wavelength** the observations are made in.

e.g. the nearby galaxy M81



X-ray



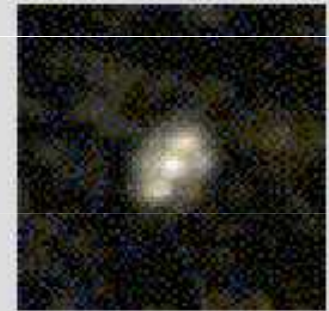
UV



Visible



Near-IR



Far-IR

Note: large change in appearance between the UV and the near infrared images.

M 87 - eliptická galaxie E0



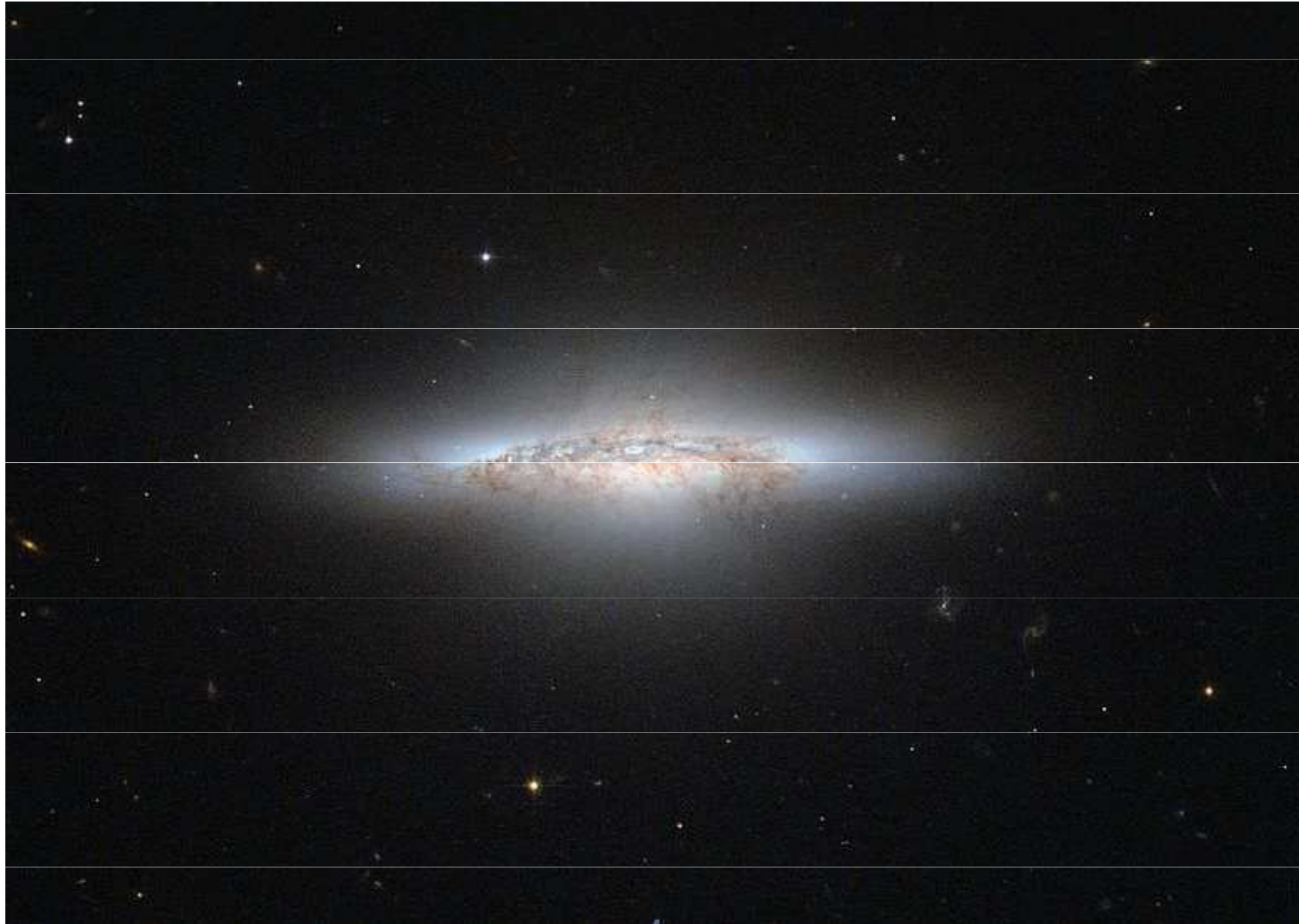
M 59 - eliptická galaxie E5



M 59 a M 60



Čočkovitá galaxie S0 NGC 5010



Vývoj eliptických galaxií



z: 49.5

Spirální galaxie

Spirální galaxie se dělí na podtypy **Sa, Sb, Sc** podle vzájemného poměru jejich sférických a plochých složek, **Sa** je charakterizována relativně velkým jádrem a slabě vyvinutými spirálními rameny, v galaxiích **Sc** je naopak jádro nevýrazné, dominuje plochá složka s velkým množstvím mezihvězdné hmoty a horkých hvězd, tvořících mohutná spirální ramena, naše Galaxie spadá do přechodného typu **Sb – Sc** s příčkou

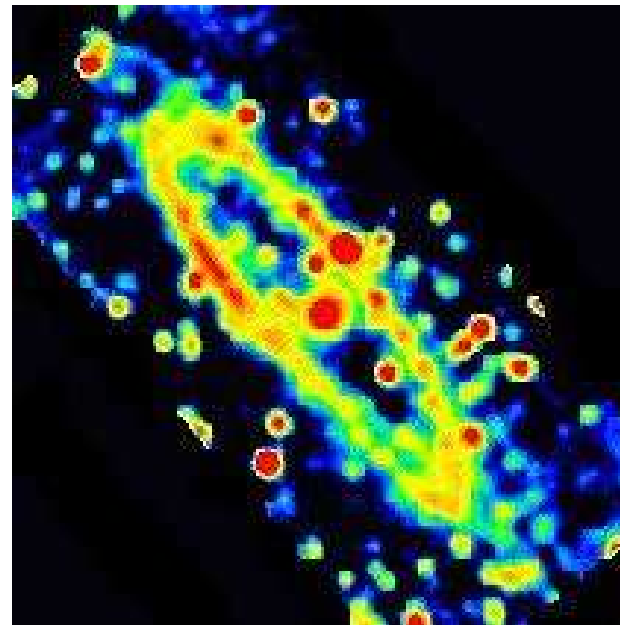
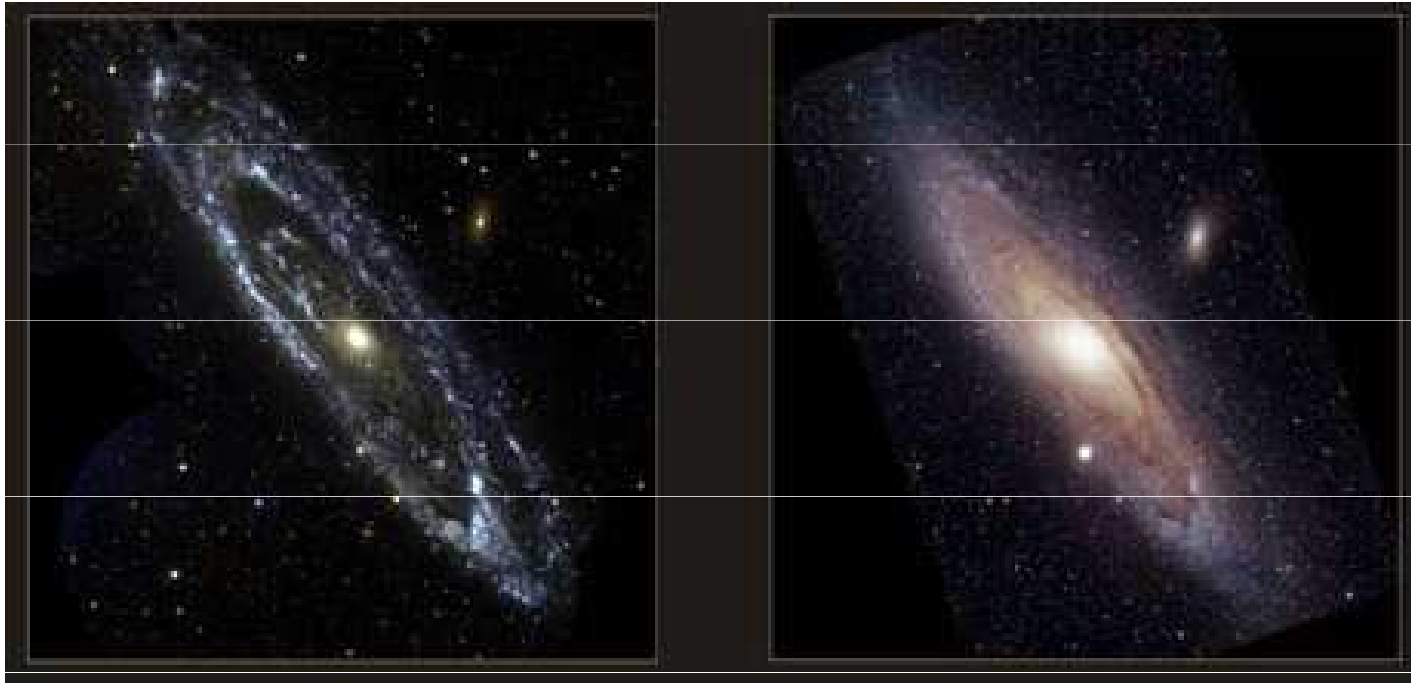
Galaxie Sa - Sombrero



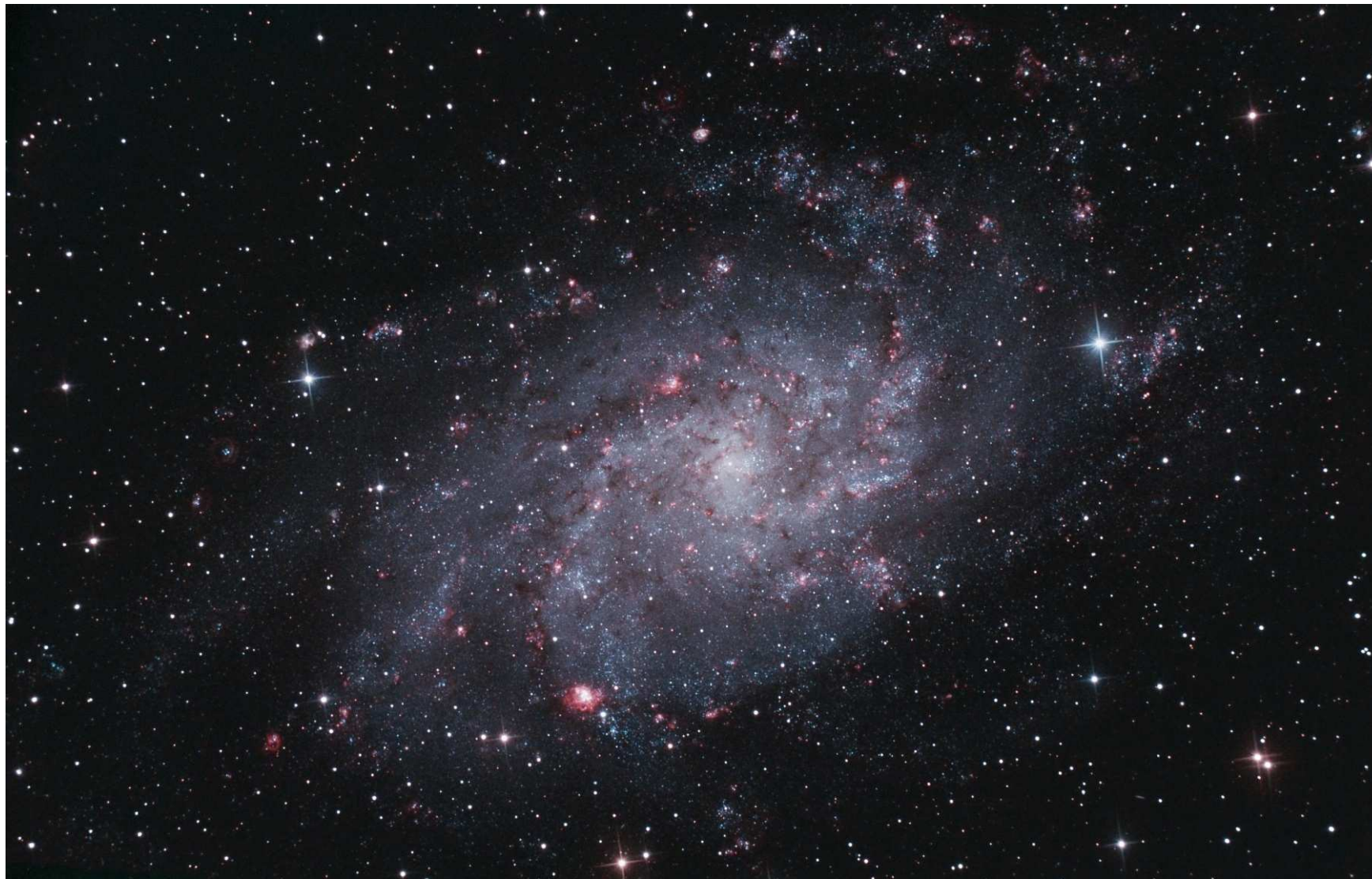
Galaxie Sb v souhvězdí Andromedy



Galaxie M 31 v různých spektrálních oborech



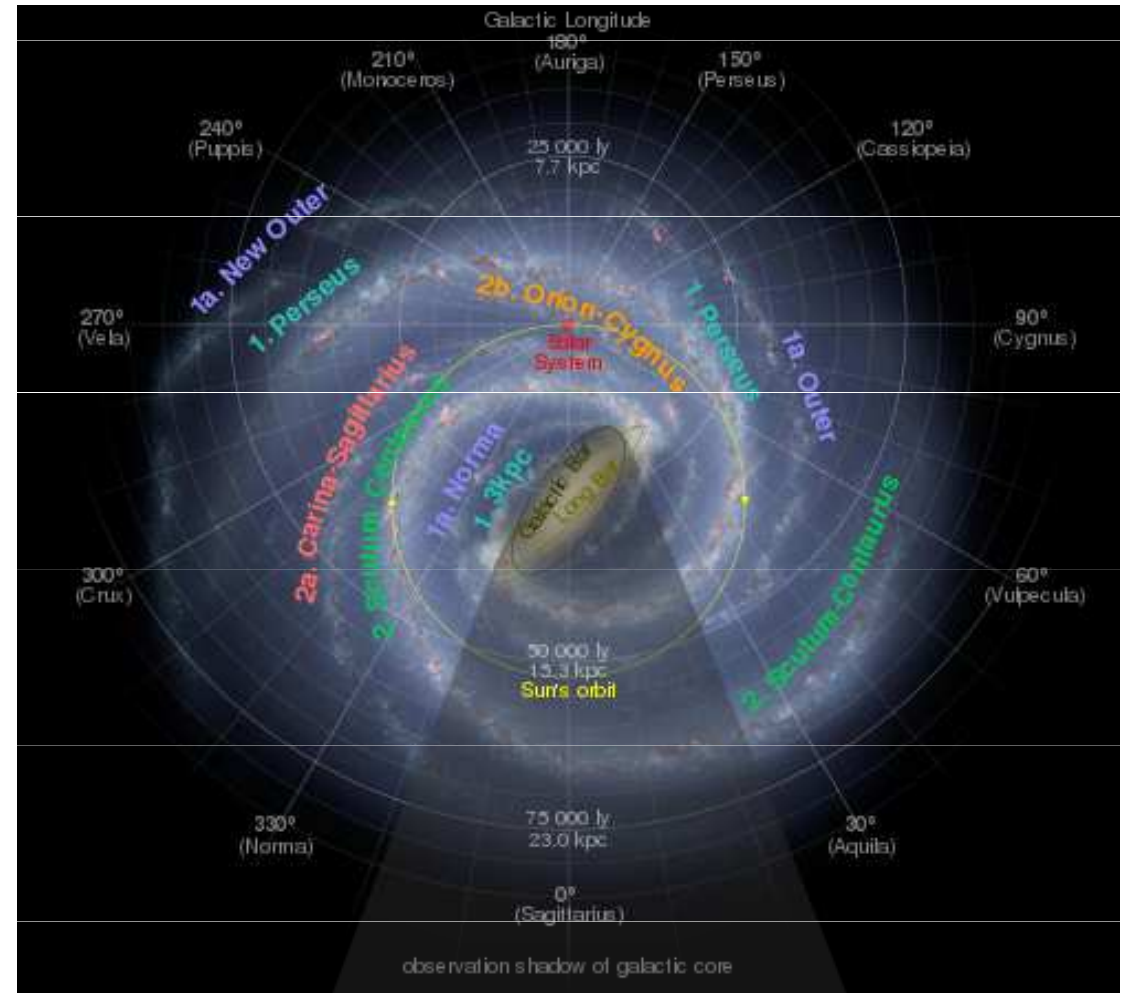
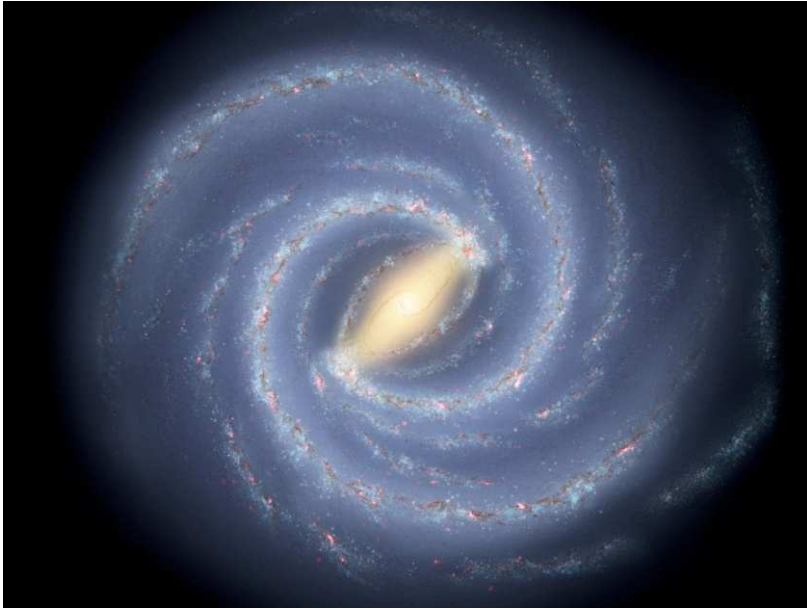
Galaxie Sc M 33 v Trojúhelníku



Spirální galaxie s příčkou



Naše Galaxie Sb



Nepravidelné galaxie

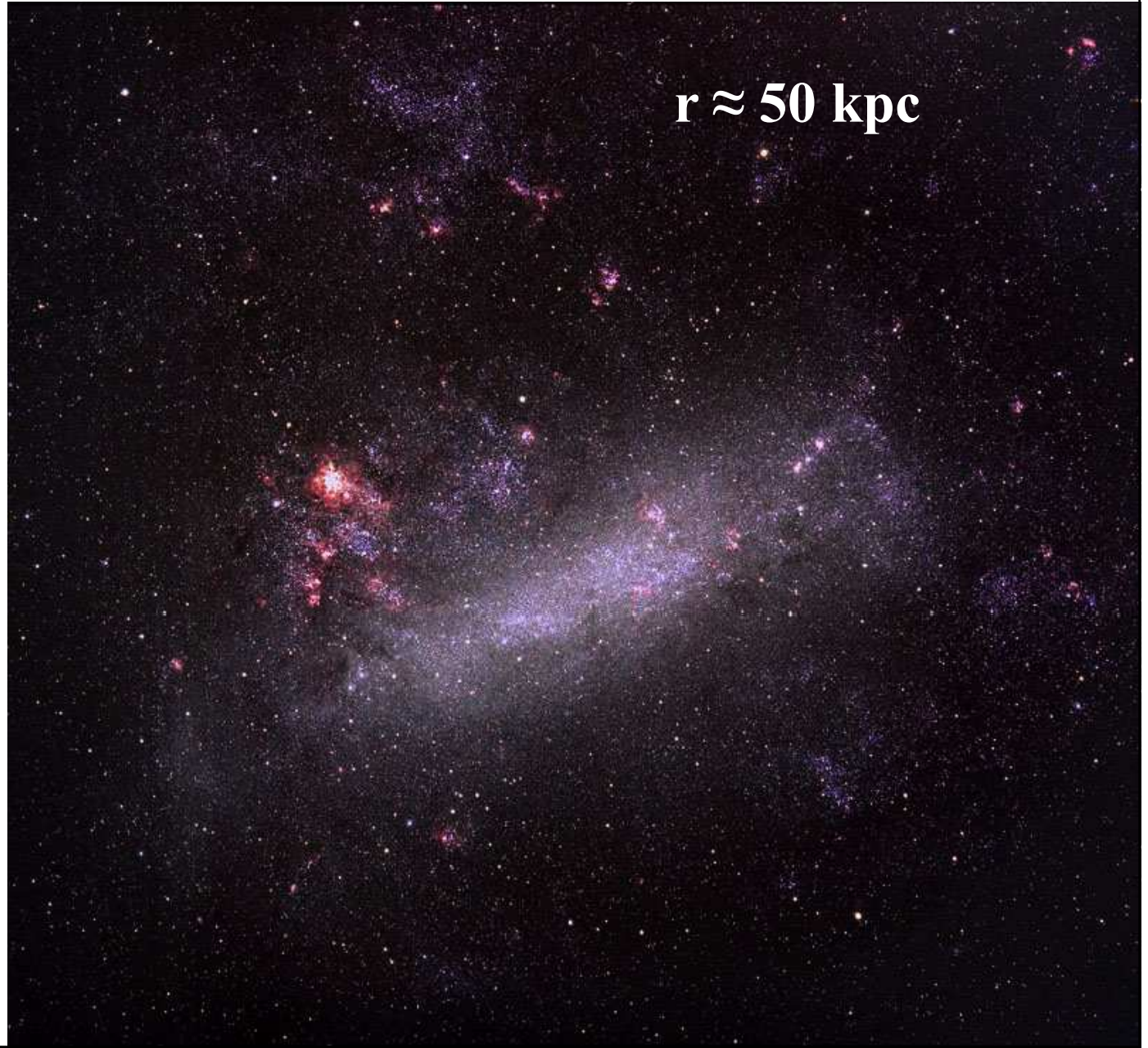
nepravidelné galaxie jsou zpravidla nejméně hmotné, avšak obsahují relativně nejvíce mezihvězdné hmoty (30 - 40%), proto v nich vzniká nejvíce hvězd

posloupnost galaxií Ir - Sc - Sb - Sa - S0 - E odráží různé počáteční podmínky při vzniku galaxií, podél této posloupnosti se zmenšuje **moment hybnosti** na jednotku hmotnosti galaxie, který má významnou roli při tvorbě jednotlivých hvězd, *nejde o vývojovou posloupnost*

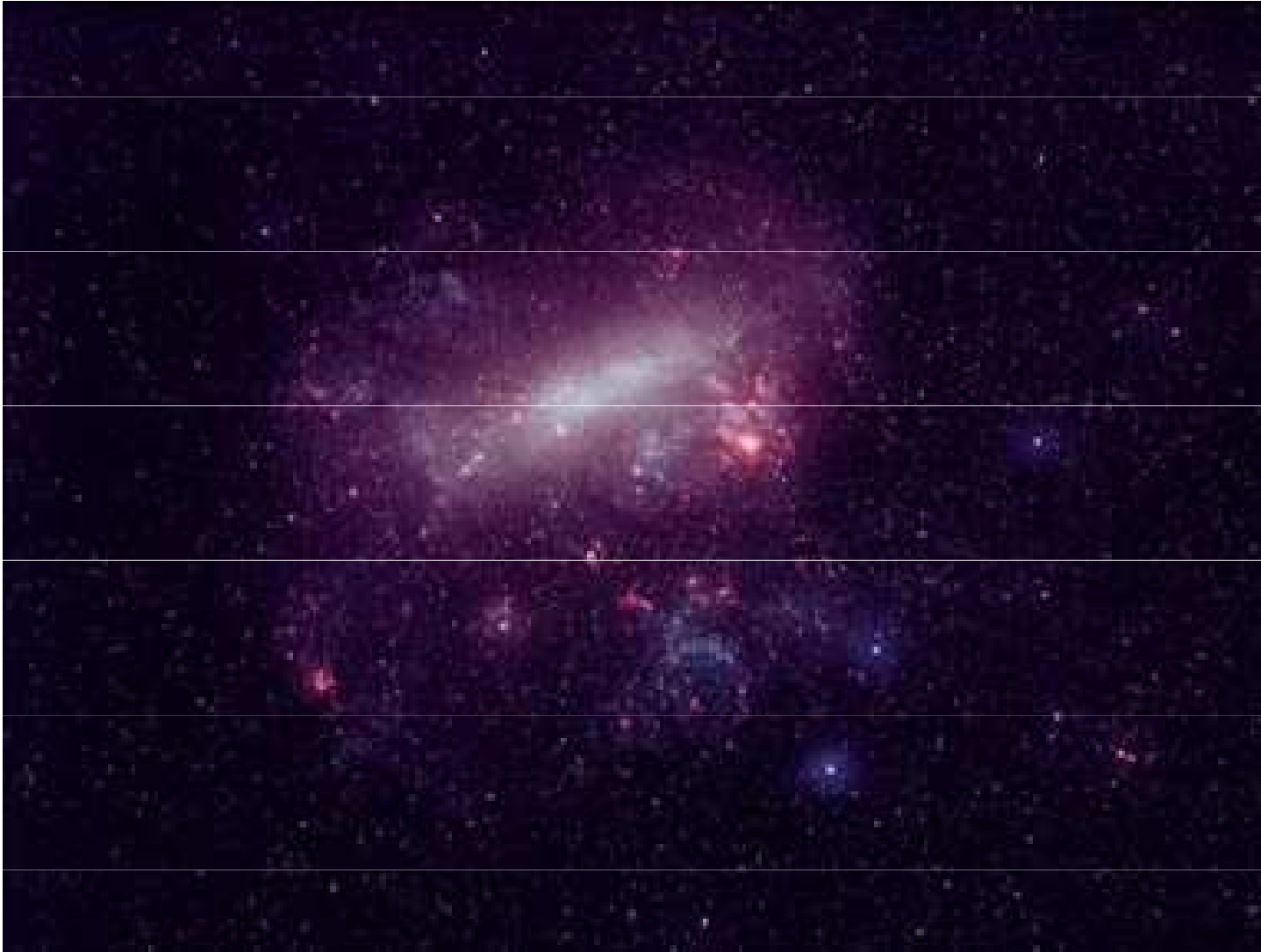
Velký Magellanův oblak galaxie Ir



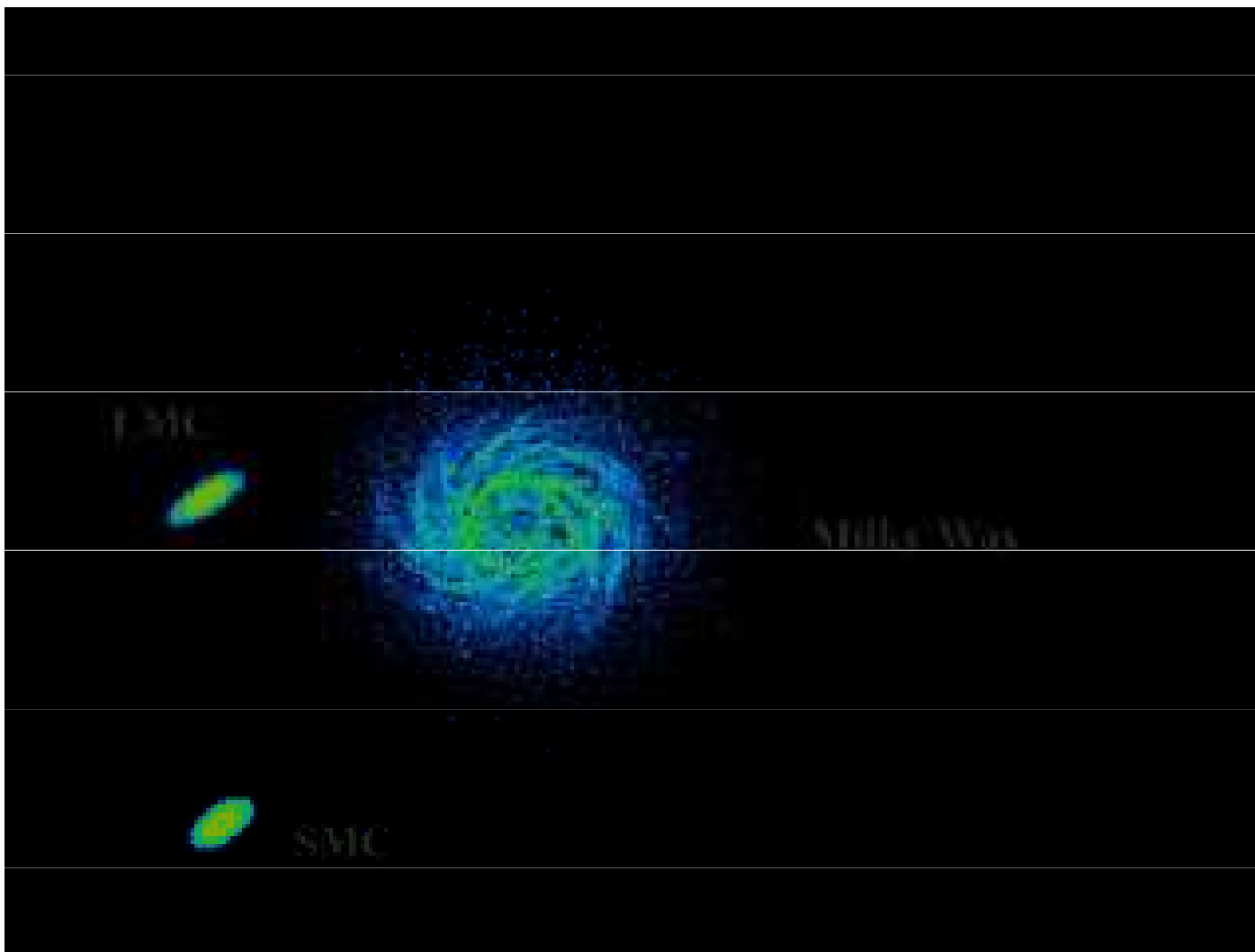
**Tarantule-emisní
mlhovina**



Velký Magellanův oblak - vznik hvězd



Interagující galaxie

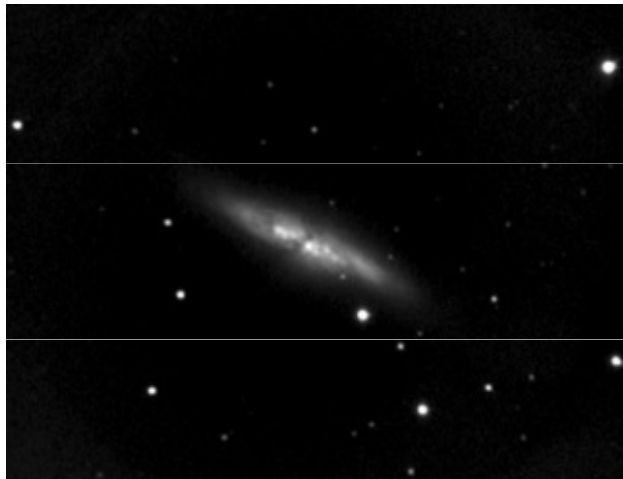


Galaxie M 82 Ir

$$r = 3,6 \text{ Mpc}$$

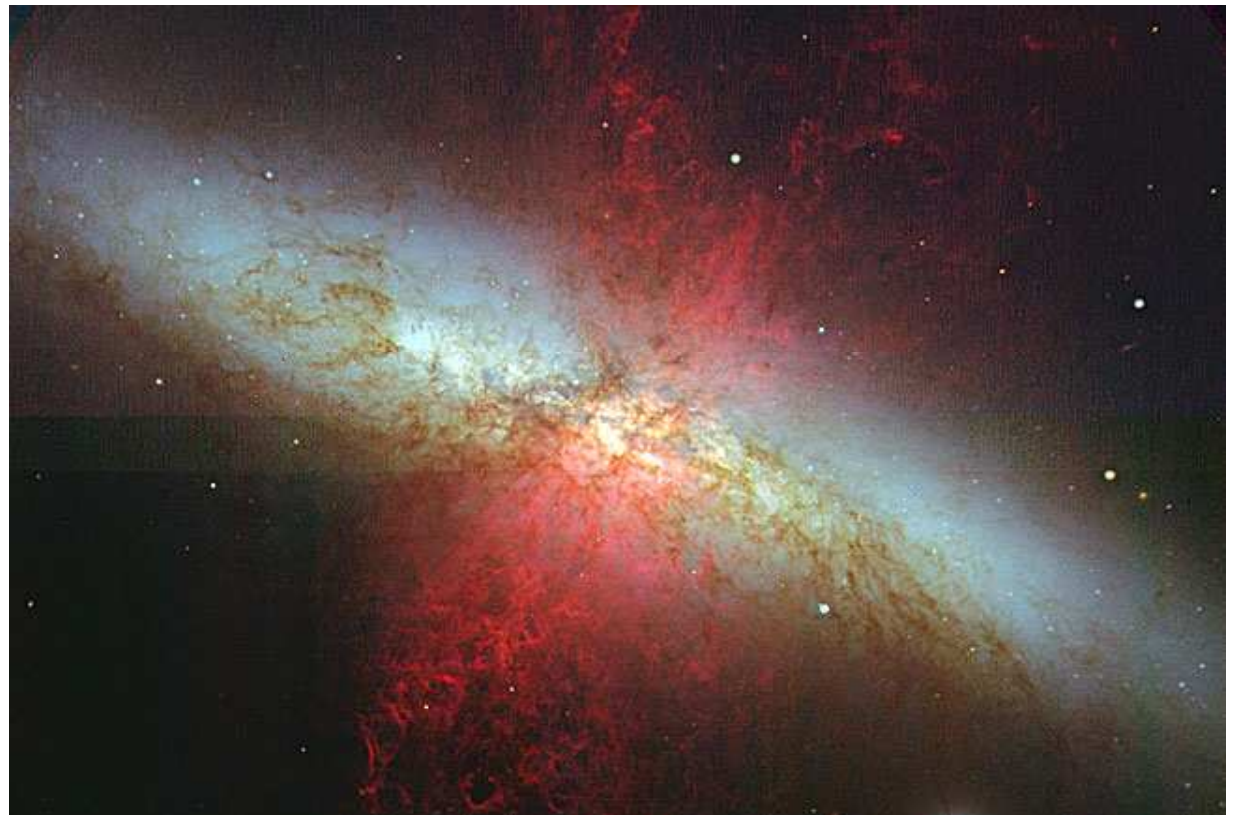
$$V_r = 200 \text{ km.s}^{-1}$$

$$\text{černá díra} \approx 10^3 M_S$$



výron plynu z jádra

$$v \approx 1000 \text{ km.s}^{-1}$$



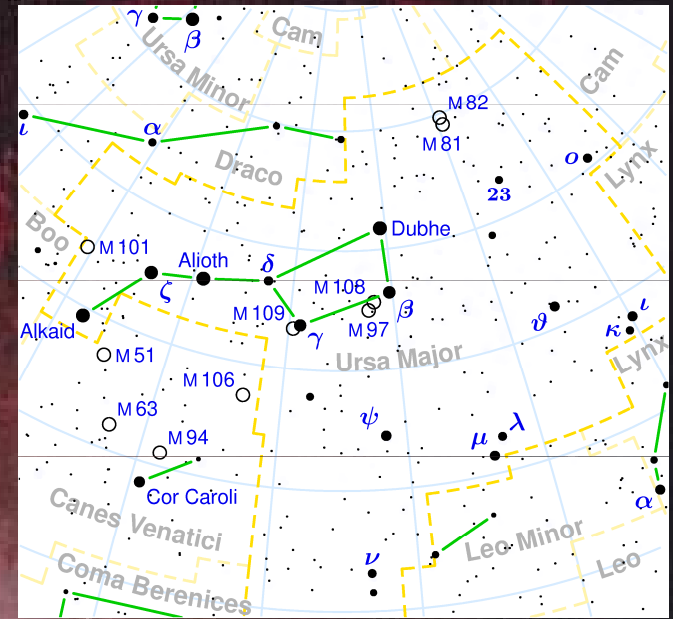
Galaxie M 82 Ir

nepravidelná galaxie

$r = 3,6 \text{ Mpc}$

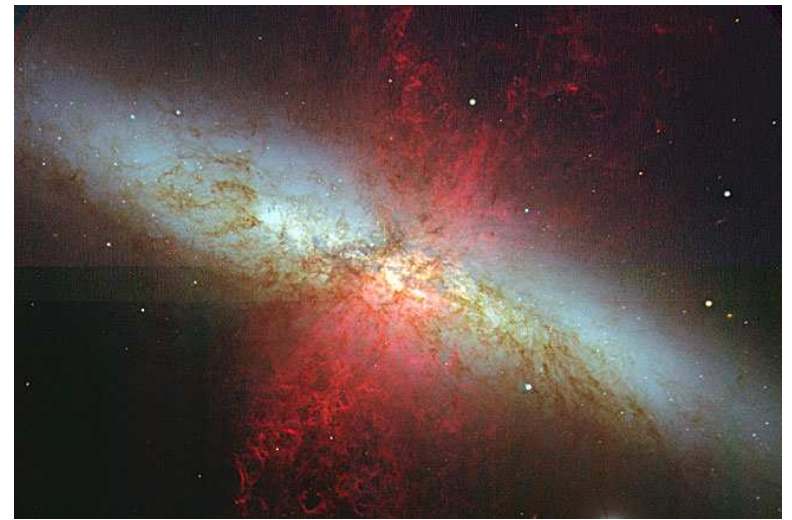
$10^{10} M_{\odot}$

černá díra v jádře



Galaxie M 82

$r = 3,6 \text{ Mpc}$, černá díra $\approx 10^3 M_S$

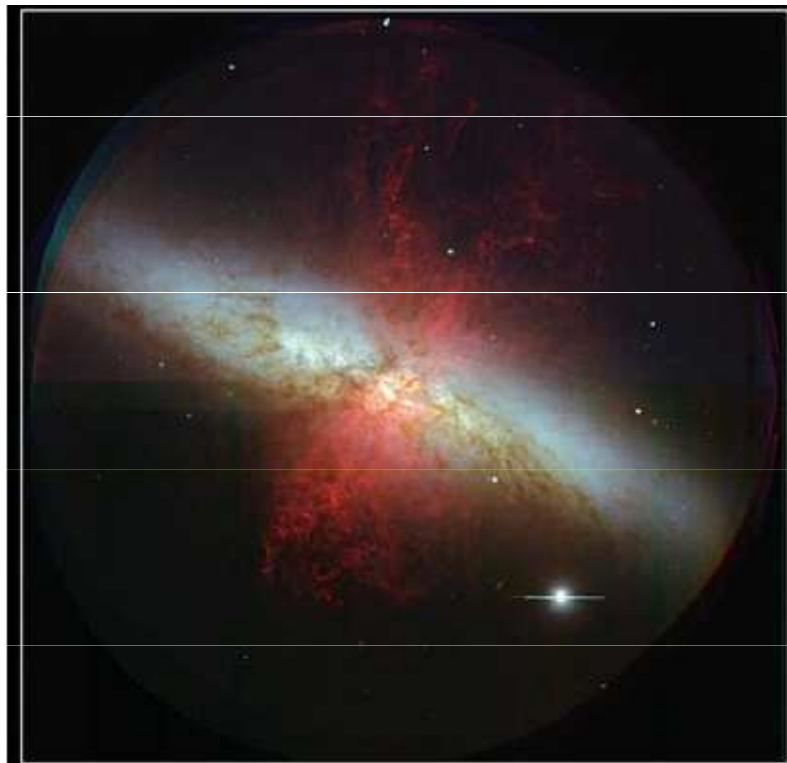


Lynds a Sandage v [4] provedli výpočty uvolňované energie při explozi, za předpokladu uvedené vzdálenosti 3,6 Mpc galaxie M 82 stanovili hodnotu toku záření v čáře H_α $2 \cdot 10^{33} \text{ W}$. Přijmeme-li hustotu protonů 10^7 v m^3 , dostáváme odhad expandující části vodíkového plynu na $6 \cdot 10^6 M_S$. Odtud byla určena horní hranice kinetické energie na $\sim 10^{49} \text{ J}$. Značná část energie se transformuje na vznik synchrotronového záření, které je detekováno v rádiovém oboru. Celkové množství uvolněné energie se odhaduje na 10^{50} J . Porovnáno, exploze v M 82 je z hlediska energie ekvivalentní explozi 10 tisícům supernov.

galaxie M 82 Ir

Zjawiska wybuchowe we Wszechświecie

Juliusz Domański, Vladimír Štefl



M 82 (NGC 3034)

Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan

Copyright © 2000 National Astronomical Observatory of Japan. All rights reserved.

FOCAS (B, V, H α)

March 24, 2000

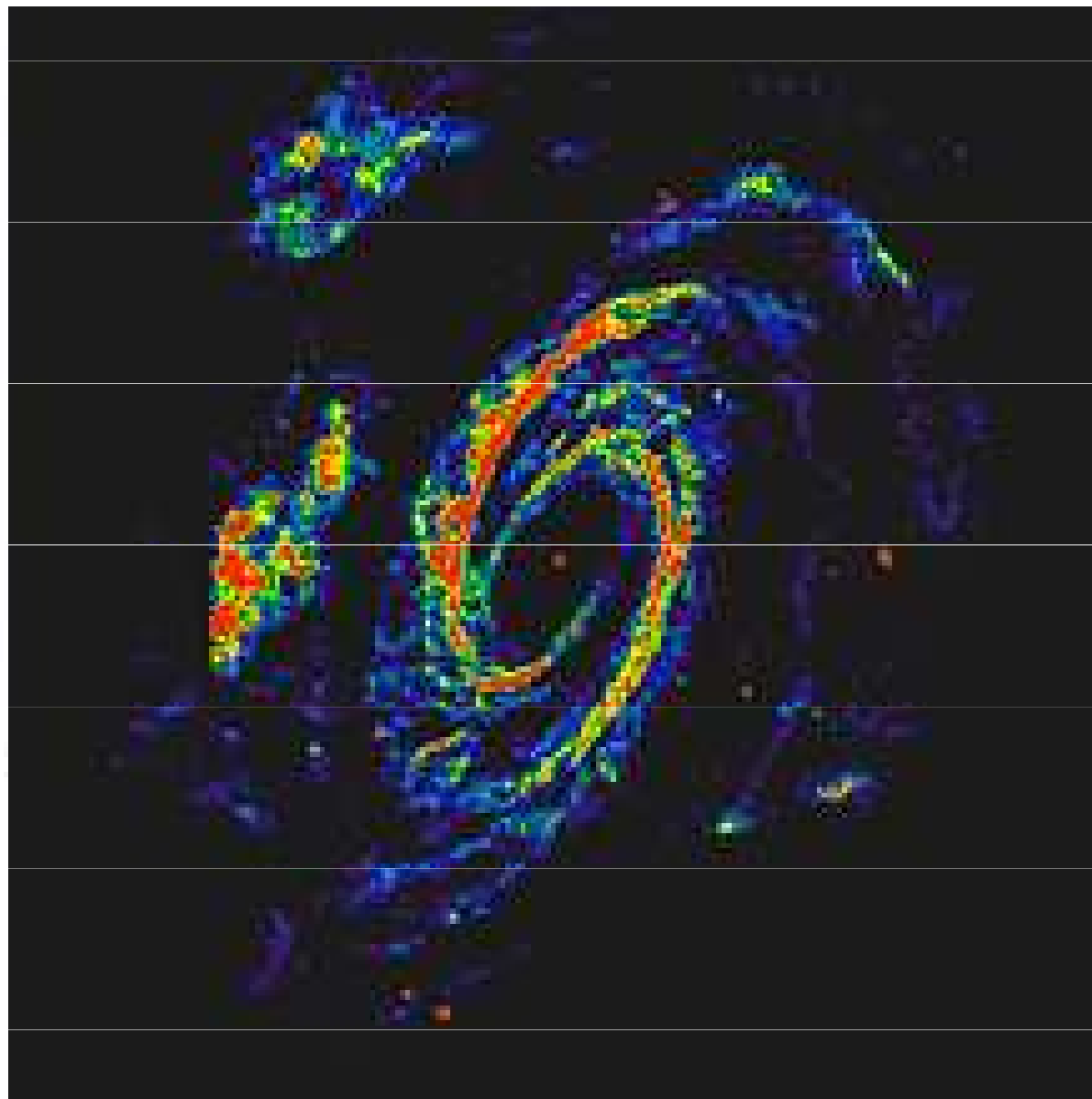
Ciekawym przykładem jest aktywna galaktyka M 82 (fot. 13), jedna z najjaśniejszych galaktyk w podczerwonym zakresie widma, znajdująca się w odległości 3,6 Mpc. Jest to nietypowa galaktyka o masie $\sim 10^{10} M_{\text{Sł}}$ i prawie trzykrotnie mniejsza od naszej. Z jądra galaktyki wypływa wodór z prędkością aż $1000 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$.

Lynds i Sandage ocenili uwolnioną energię w czasie wybuchu [4]. Uwzględniając odległość galaktyki, ocenili moc promieniowania w linii H α na $2 \cdot 10^{33} \text{ W}$. Zakładając gęstość protonów jako 10^7 na 1 m^3 , otrzymali masę odpływającego gazu $\sim 6 \cdot 10^6 M_{\text{Sł}}$. Otrzymujemy stąd energię kinetyczną równą w przybliżeniu 10^{49} J . Znaczna część tej energii przechodzi w energię promieniowania synchrotronowego, które obserwujemy w zakresie radiowym. Ostatecznie jako całkowitą energię możemy przyjąć $\sim 10^{50} \text{ J}$. Energia wybuchu w M 82 jest równoważna energii 10 mln wybuchów supernowych.

galaxie M 82 – složení snímků HST, Chandra, Spitzer

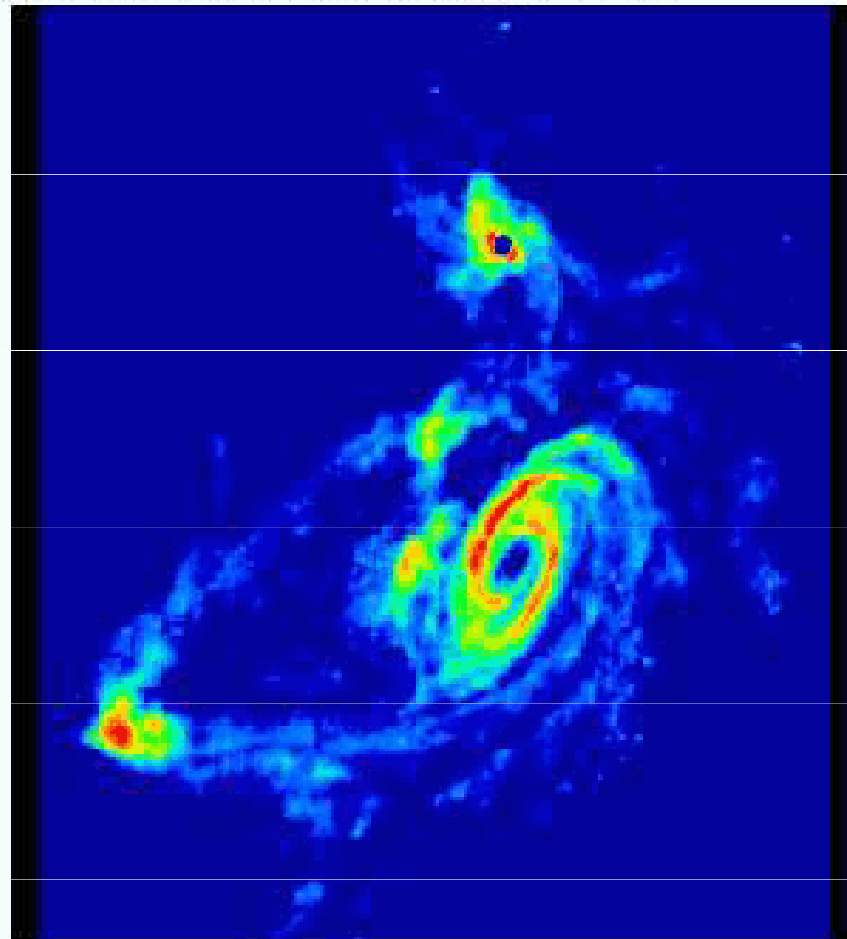
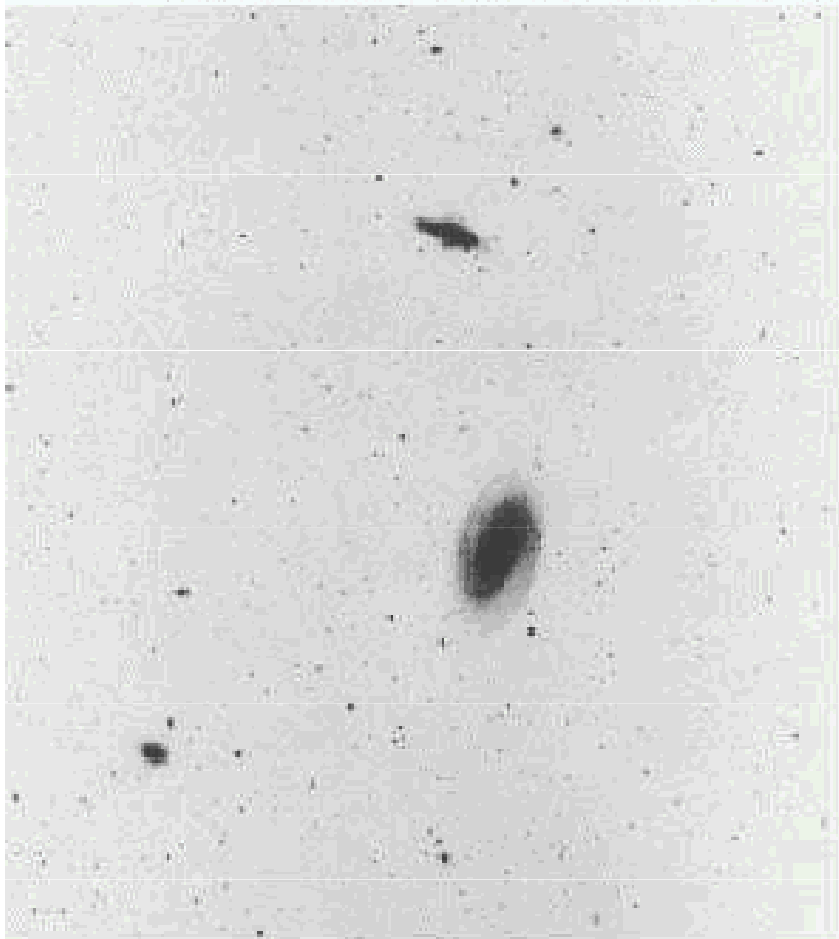


Galaxie M 81 SA v optickém a rádiovém spektrálním oboru



Přenos hmoty mezi galaxiemi M81, M82 a NGC 3077

H I $\lambda = 21,1$ cm



Aktivní jádra galaxií

Dynamické chování jader galaxií je výrazně odlišné od okolí, oblasti rychle rotují, jsou tvořeny **černými děrami**, kolem kterých obíhají hvězdy, mezihvězdná látka, relativistické částice, vše v silném magnetickém poli, **intenzivní aktivita jader** – vytékání mezihvězdné látky z těchto oblastí, vyvrhování - exploze – viz galaxie **M 82** ,

Zvláštní typy galaxií

Seyfertovy galaxie – SyG : silná aktivita jader, ve spektru proměnné výrazné emisní čáry, výrony rychlostí až $5\,000\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ zářivý výkon až 10^{32} W

Rádiové galaxie: vyzařují v rádiovém oboru, dva rádiové zdroje, relativistické elektrony v magnetickém poli, synchrotronní záření, jeho polarizace, L větší než 10^{32} W



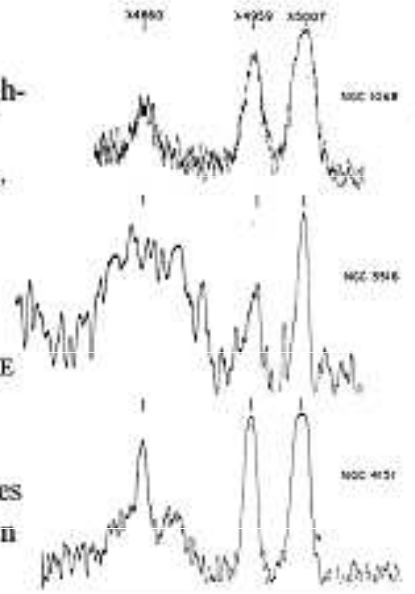
**Circinus galaxie,
nejbližší Seyfertova galaxie v
souhvězdí Kružítko**

Seyfert galaxy

The Discovery of Active Galactic Nuclei: Carl Seyfert (1943)



Broad and high-ionization emission lines, bright and compact nuclei...



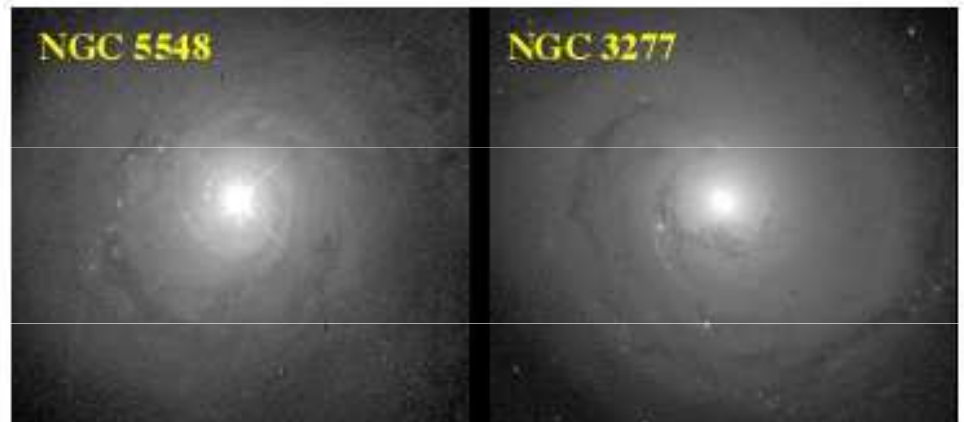
NUCLEAR EMISSION IN SPIRAL NEBULAE

CARL K. SEYFERT†

Unusual spectra of the Seyfert galaxies NGC 1068 and NGC 4151 have been noted even earlier

Active Galactic Nuclei: Seyferts

- Seyfert nuclei are found in spiral galaxies; up to ~10% of Sa and Sb's are Seyferts; but at a lower level of activity, there are more
- Seyferts have only moderate radio emission ($\sim 10^{40}$ erg/s) but strong x-ray emission ($> 10^{42}$ erg/s)



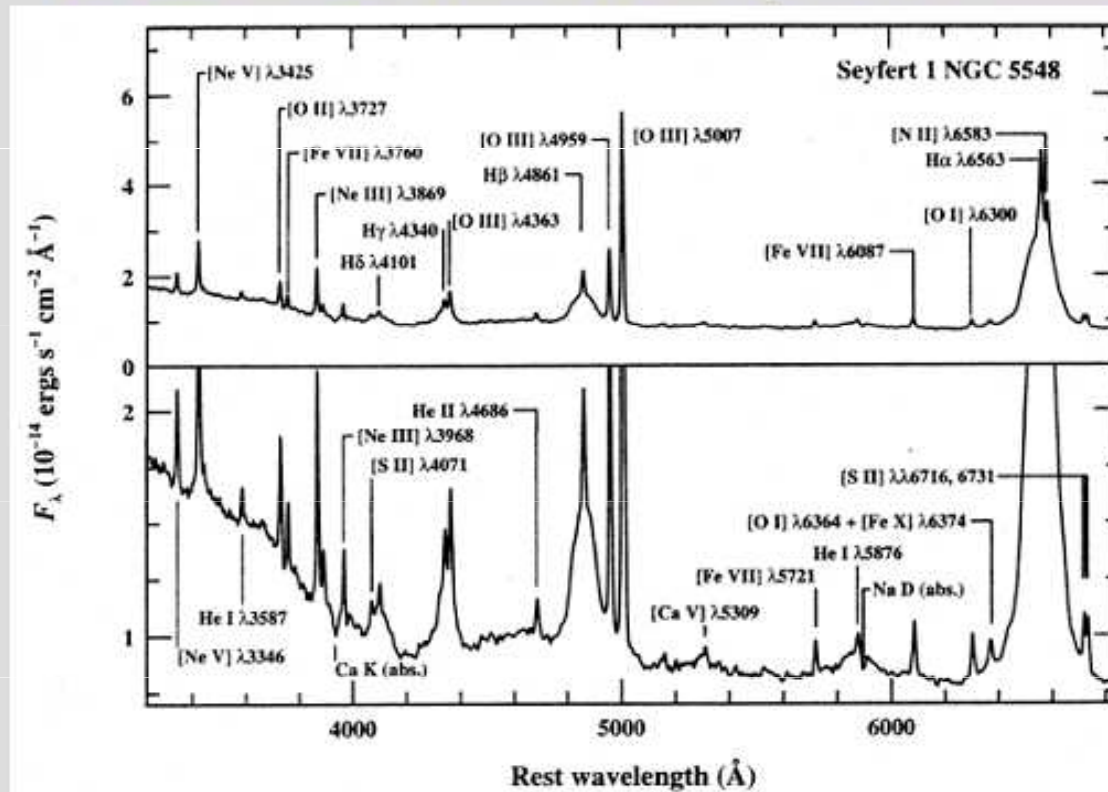
Seyfert galaxy

Seyfert galaxies

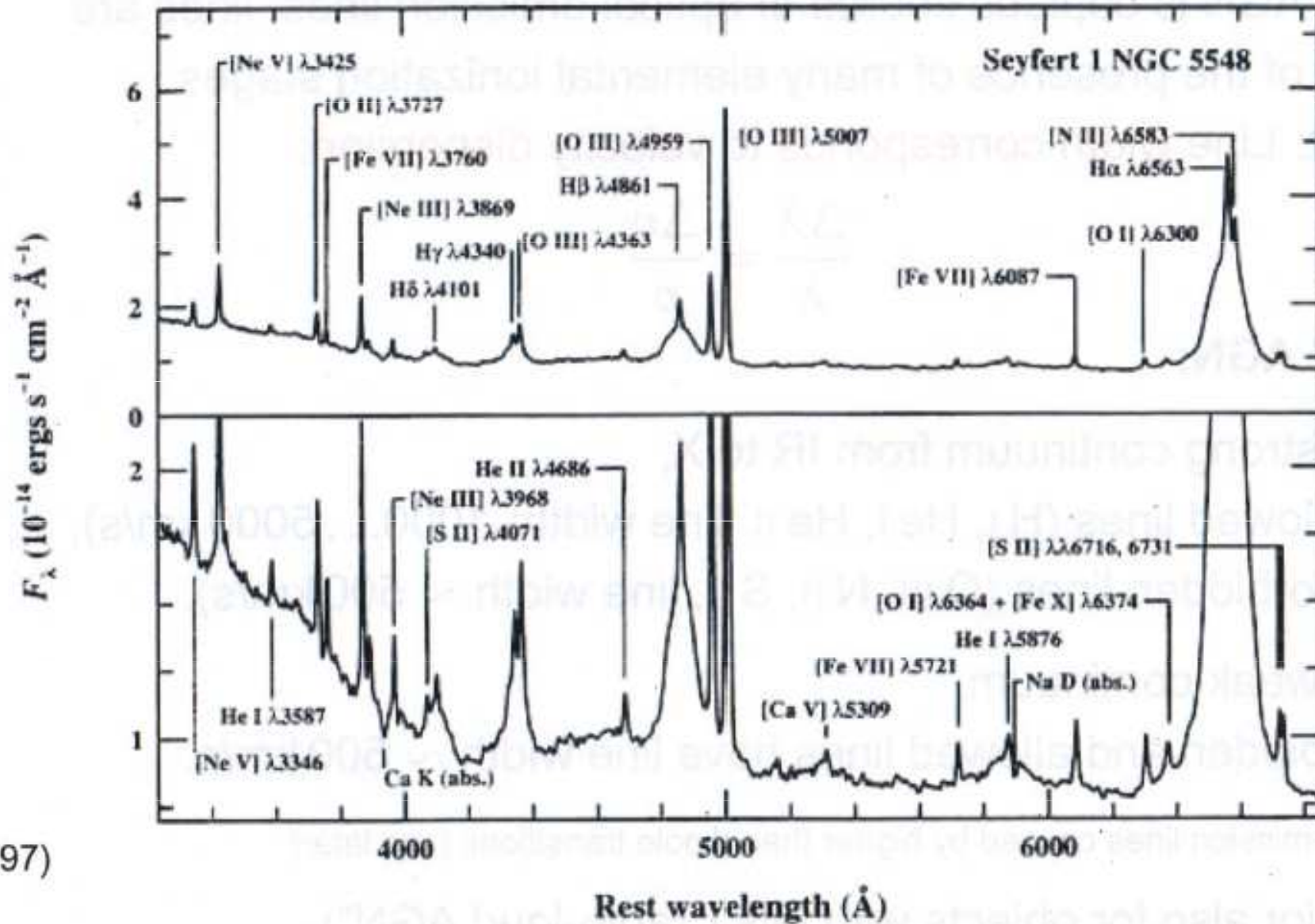
Lower-luminosity AGN, normally found in spiral galaxies.

Two subclasses: **Type 1 Seyfert** galaxies have two sets of emission lines in their spectra:

- **Narrow lines**, with a width (measured in velocity units) of several hundred km/s
- **Broad lines**, with widths up to 10^4 km/s

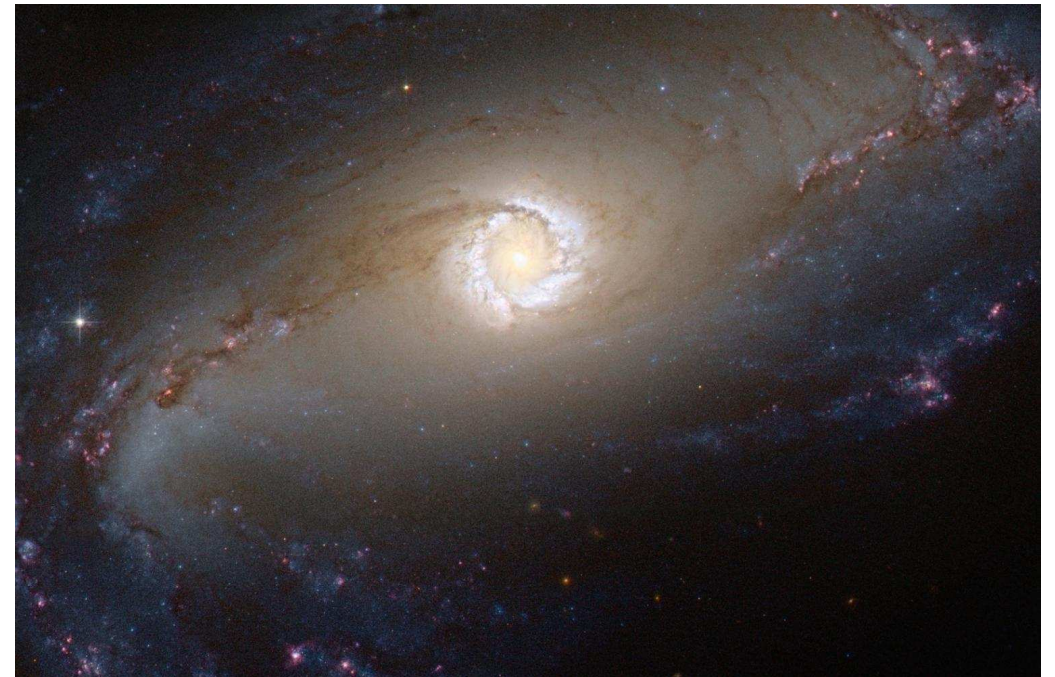
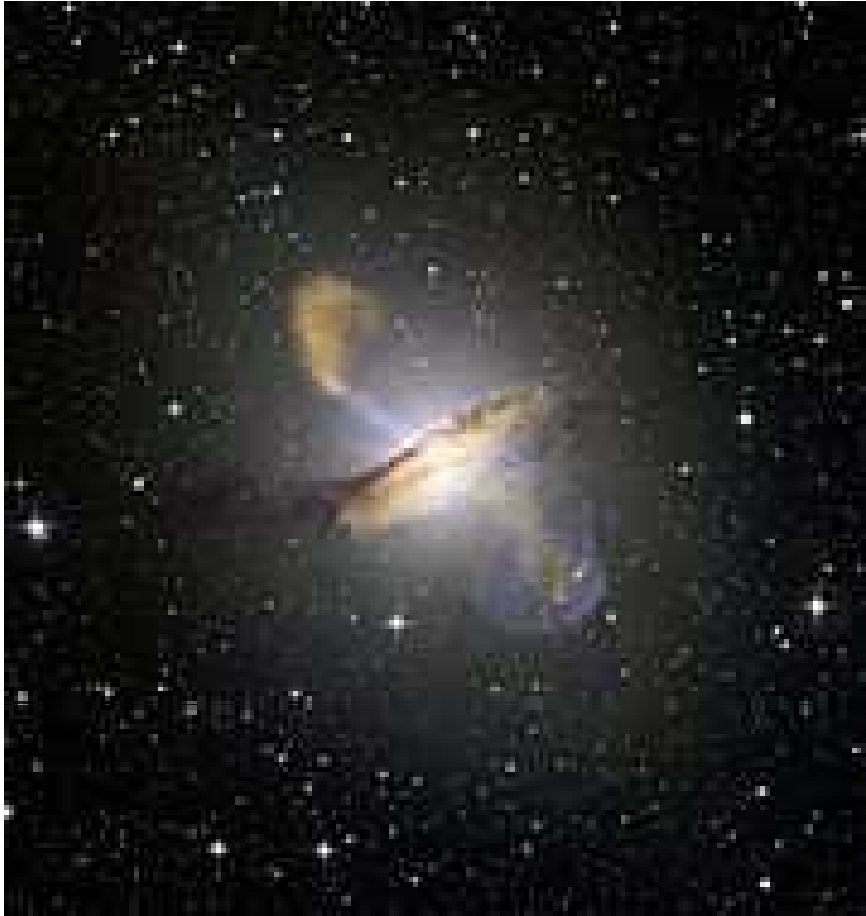


Seyfert galaxy



997)

Seyfertovy galaxie

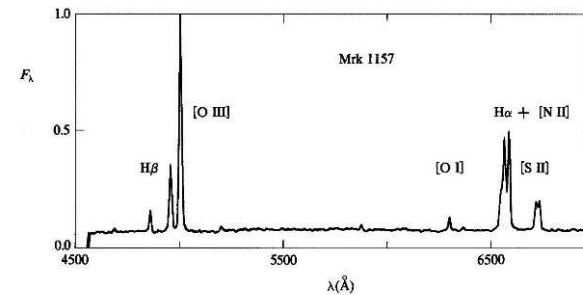
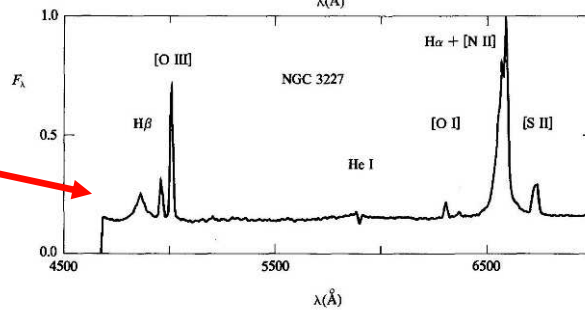
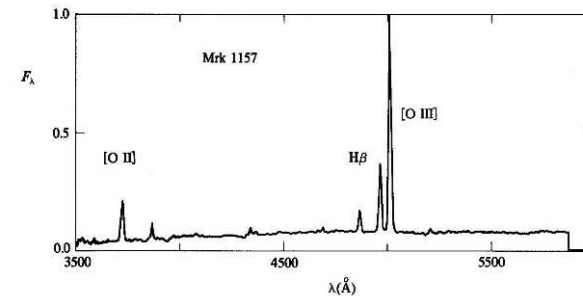
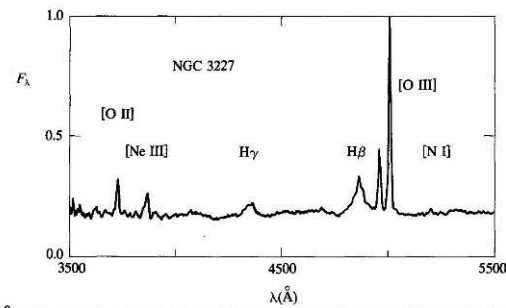
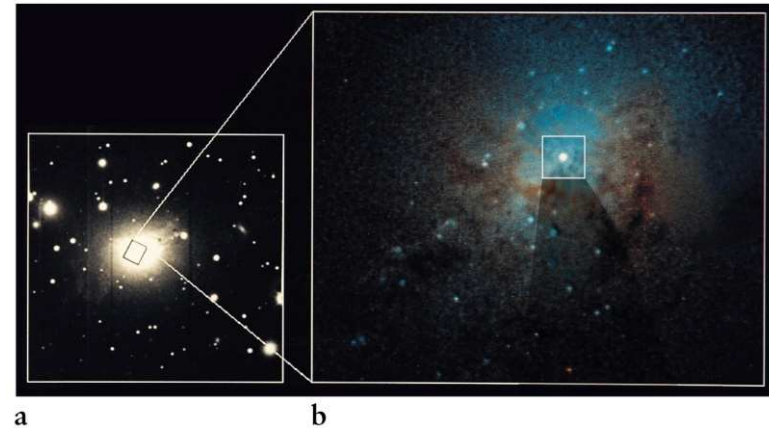
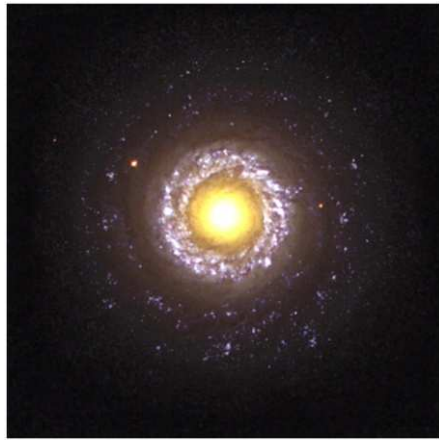


Seyfertova galaxie NGC 7742



$r = 24$ Mpc

Seyfertovy galaxie - spektrum



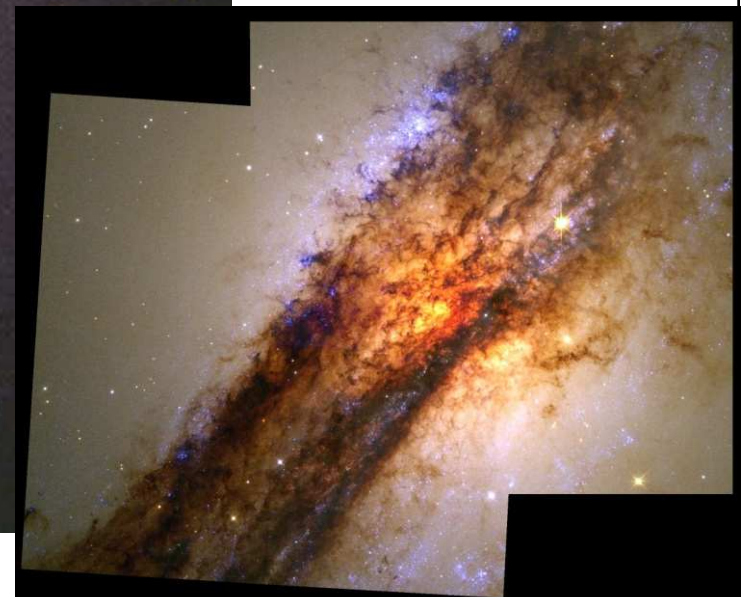
Rádiová galaxie Centaurus A - NGC 5128

$r = 3,8 \text{ Mpc}$

$v_r = 547 \text{ km.s}^{-1}$

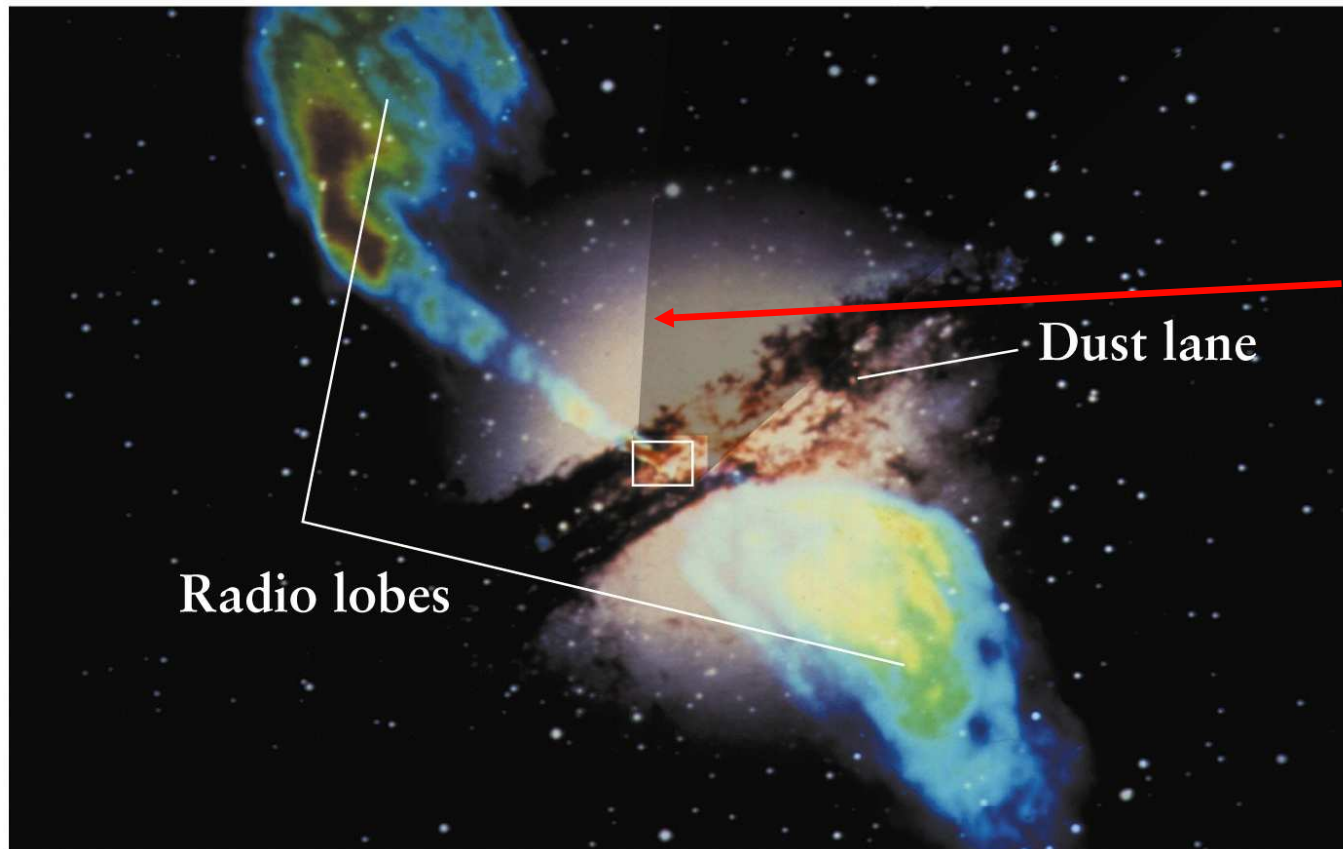
srážka galaxií

uprostřed černá díra $10^8 M_S$
pozorování klasických cefeid $\rightarrow r$
aktivní jádro galaxie 10^{34} W



Rádiová galaxie Centaurus A

$$L \approx 10^{37} \text{ W}$$



Cen A v rtg. oboru, jet
plazmatu z černé díry

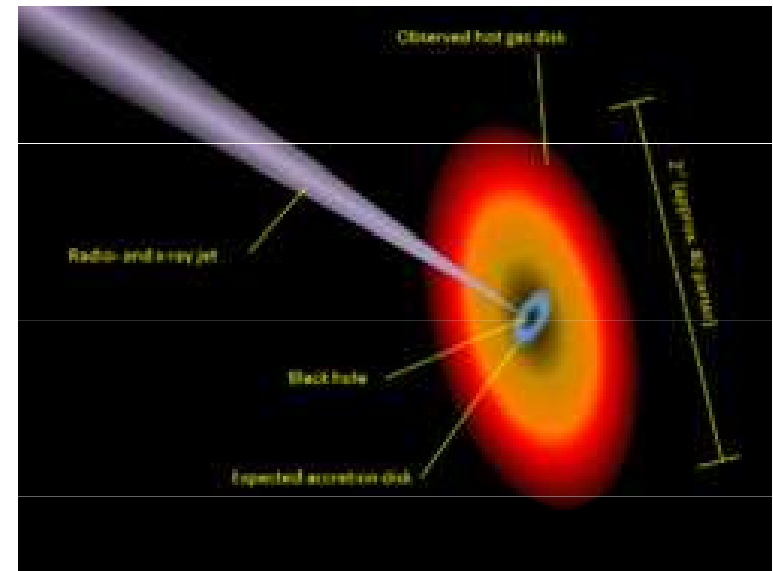


dva rádiové zdroje - laloky symetricky položené -
relativistické elektrony - mag. pole → synchrotronní zář.

Rádiová eliptická galaxie Centaurus A



jádro černá díra $\approx 10^8 M_{\odot}$
rádiové emise a jety na obě
strany, $r = 3,8$ Mpc



Rádiová eliptická galaxie Centaurus A

Ground-based variability surveys towards Centaurus A: worthwhile or not?★

J. T. A. de Jong^{1,2}, K. H. Kuijken^{3,2}, and P. Héraudeau^{4,2}

¹ Max-Planck-Institut für Astronomie, Königstuhl 17, 69117 Heidelberg, Germany
e-mail: dejong@mpia.de

² Kapteyn Astronomical Institute, University of Groningen, PO Box 800, 9700 AV, Groningen, The Netherlands

³ Sterrewacht Leiden, University of Leiden, PO Box 9513, 2300 RA, Leiden, The Netherlands

⁴ Argelander Institut für Astronomie, Auf dem Hügel 71, 53121 Bonn, Germany

Received 30 July 2007 / Accepted 28 November 2007

ABSTRACT

Context. Difference imaging has proven to be a powerful technique for detecting and monitoring the variability of unresolved stellar sources in M 31. Using this technique in surveys of galaxies outside the Local Group could have many interesting applications.

Aims. The goal of this paper is to test difference imaging photometry on Centaurus A, the nearest giant elliptical galaxy, at a distance of 4 Mpc.

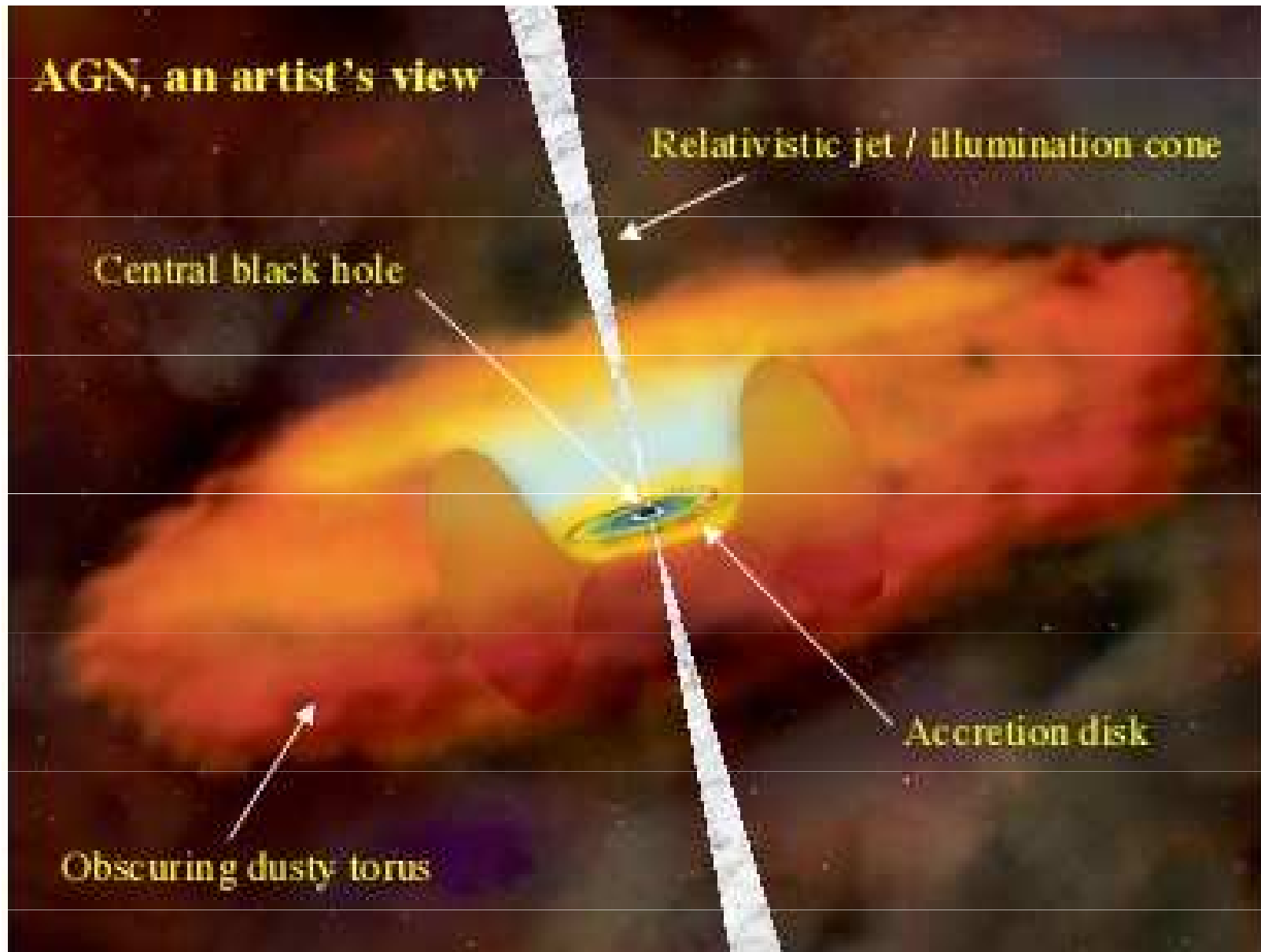
Methods. We obtained deep photometric data with the Wide Field Imager at the ESO/MPG 2.2 m at La Silla spread over almost two months. Applying the difference imaging photometry package DIFIMPHOT, we produced high-quality difference images and detected variable sources. The sensitivity of the current observational setup was determined through artificial residual tests.

Results. In the resulting high-quality difference images, we detect 271 variable stars. We find a difference flux detection limit corresponding to $m_R \simeq 24.5$. Based on a simple model of the halo of Centaurus A, we estimate that a ground-based microlensing survey would detect in the order of 4 microlensing events per year due to lenses in the halo.

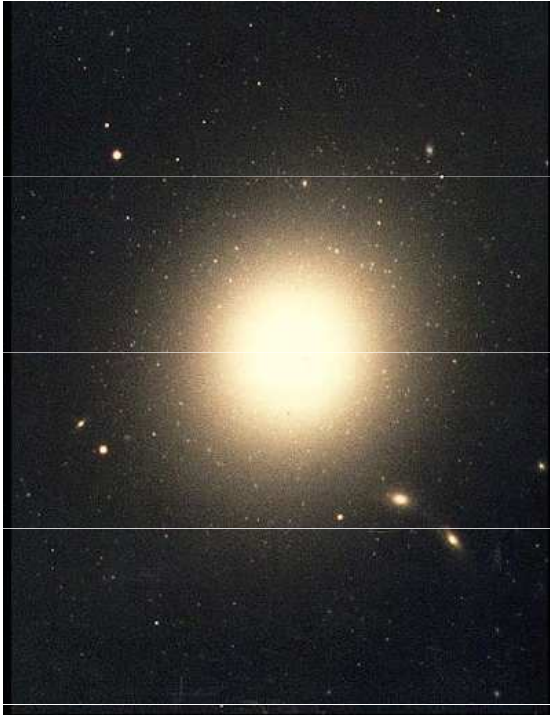
Conclusions. Difference imaging photometry works very well at the distance of Centaurus A and promises to be a useful tool for detecting and studying variable stars in galaxies outside the local group. For microlensing surveys, a higher sensitivity is needed than achieved here, which would be possible with a large ground-based telescope or space observatory with wide-field imaging capabilities.

Key words. galaxies: individual: Centaurus A – galaxies: stellar content – stars: variables: general – gravitational lensing

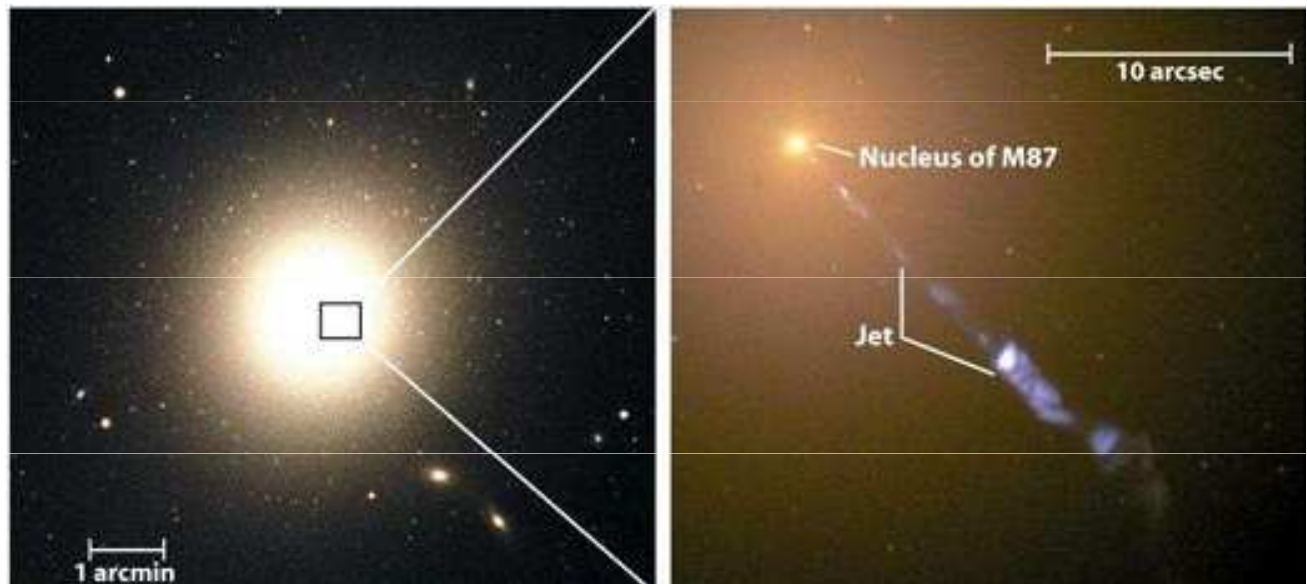
Model aktivních galaktických jader



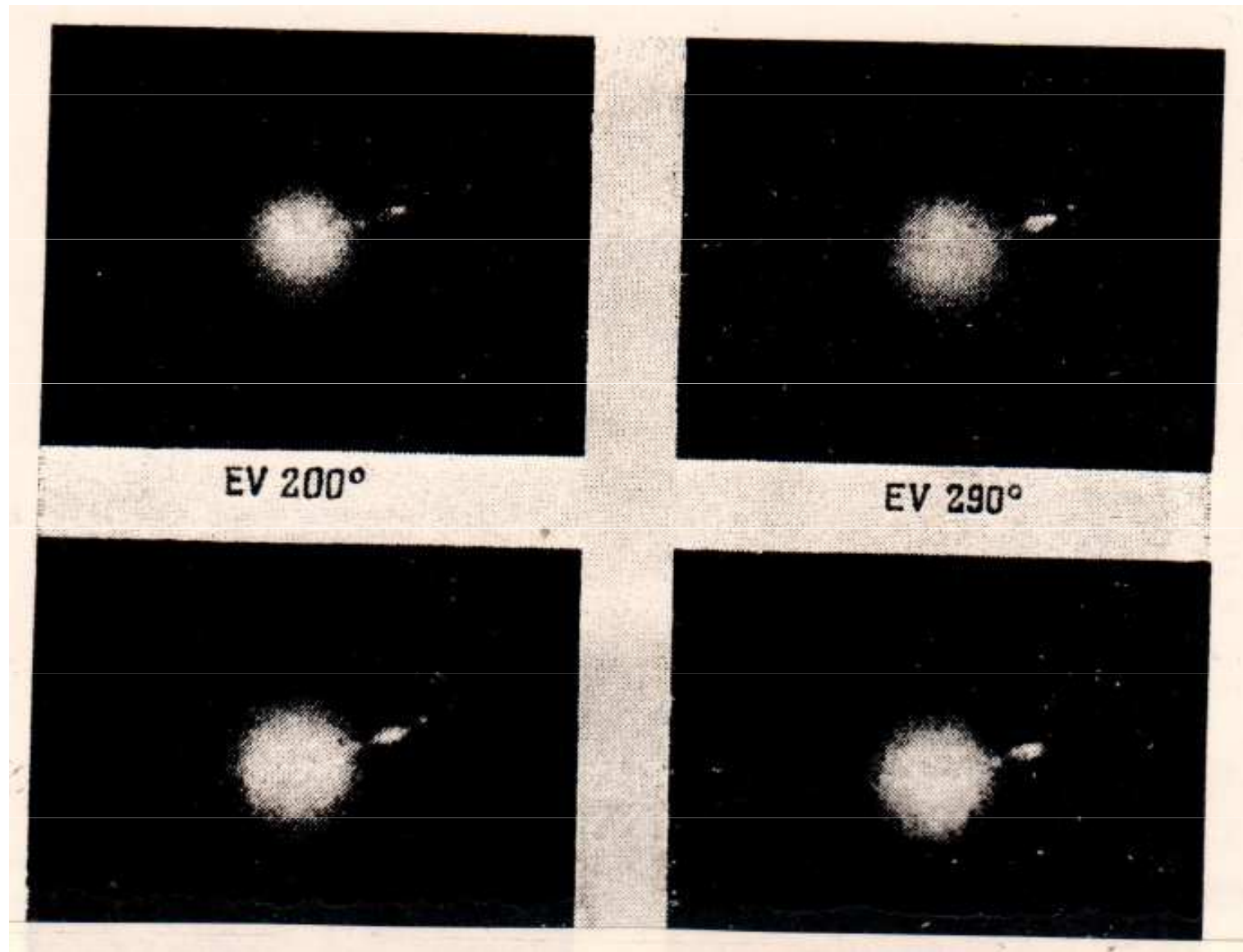
Galaxie M 87



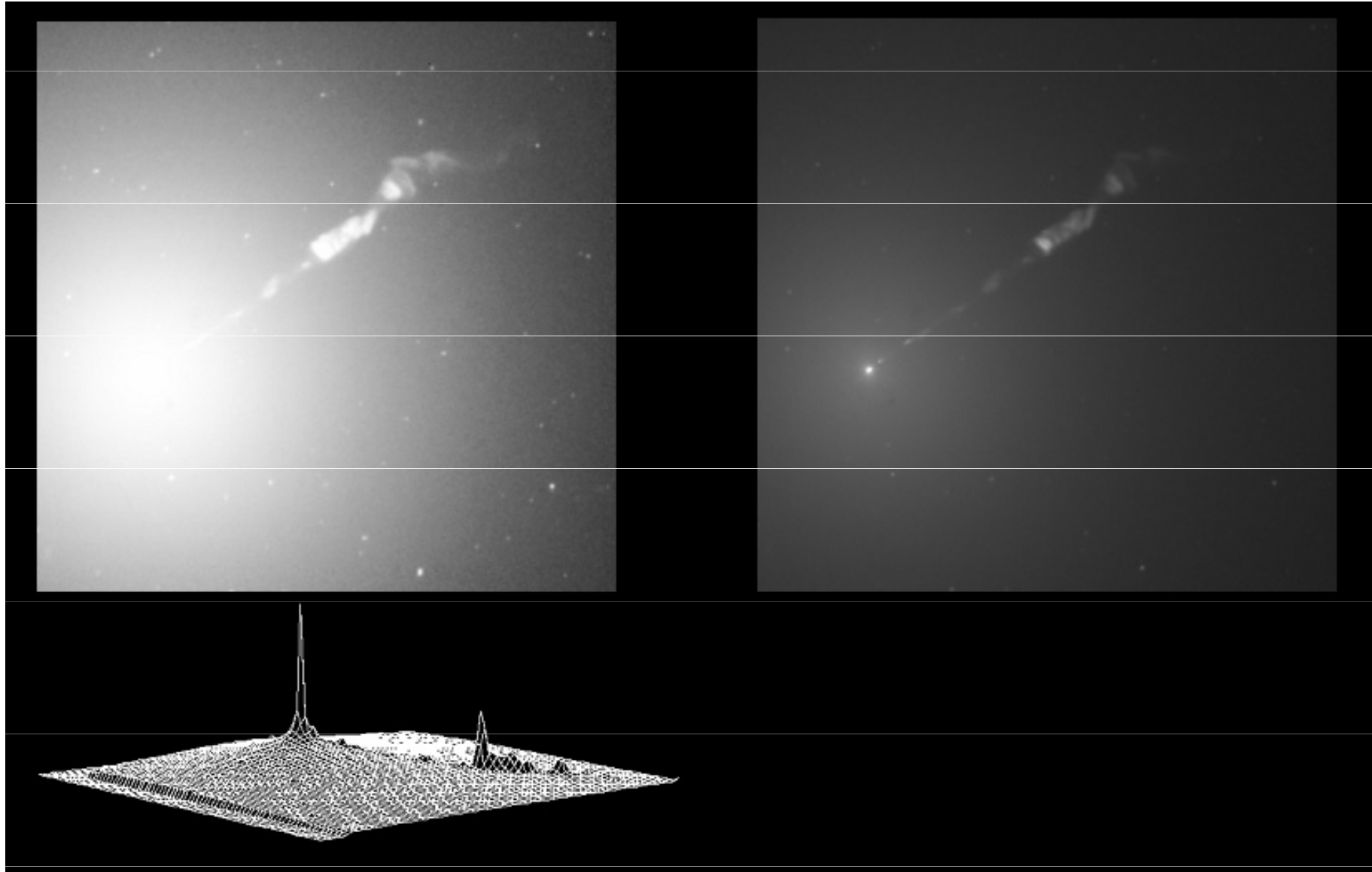
M 87, NGC 4486 rád. zdroj Virgo, 3C 274
eliptická galaxie E1, $\approx 10^{14} M_{\odot}$, vzdálenost
18 Mpc, jet – výtrysk z jádra galaxie - 1,5 kpc,
proud nabitých částic, zejména elektronů,
urychlovaných silným magnetickým polem,
jednotlivé uzly, vyzařování v rádiovém 3cm – 30
dm $\approx 6 \cdot 10^{33}$ W, optickém oboru, lineární
polarizace, synchrotronní podstata,
jádro černá díra $\approx 10^9 M_{\odot}$



galaxie M 87 - polarizace

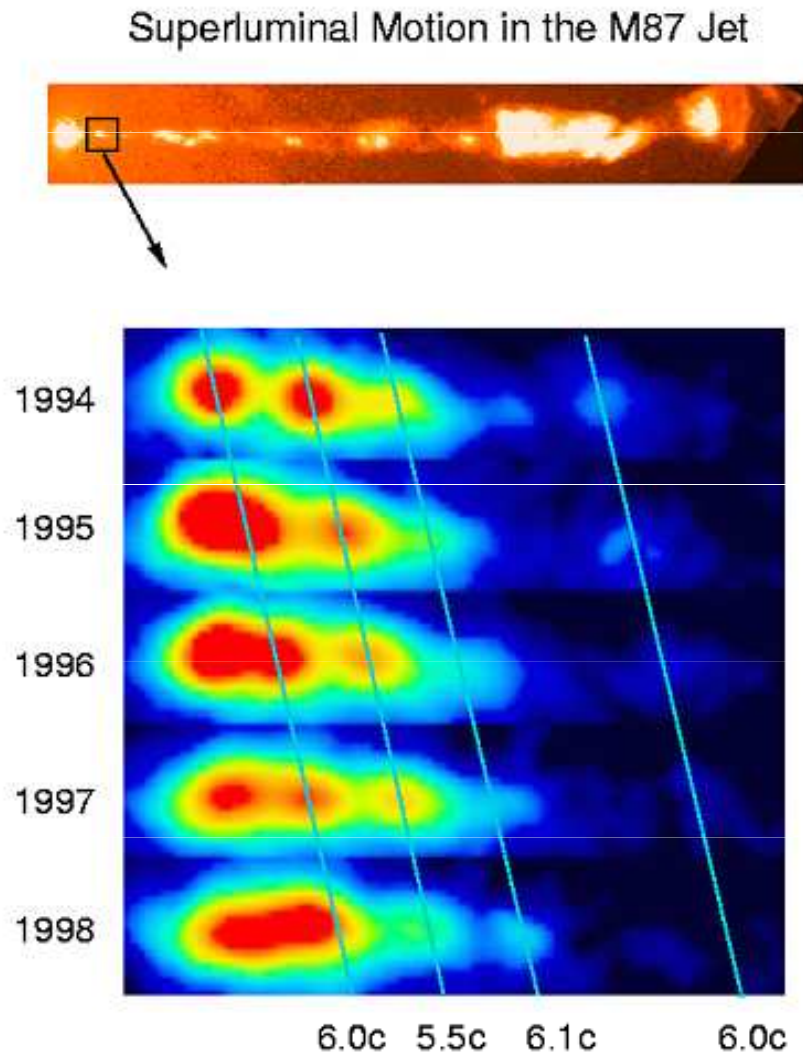


Jet galaxie M 87 – NGC 4486



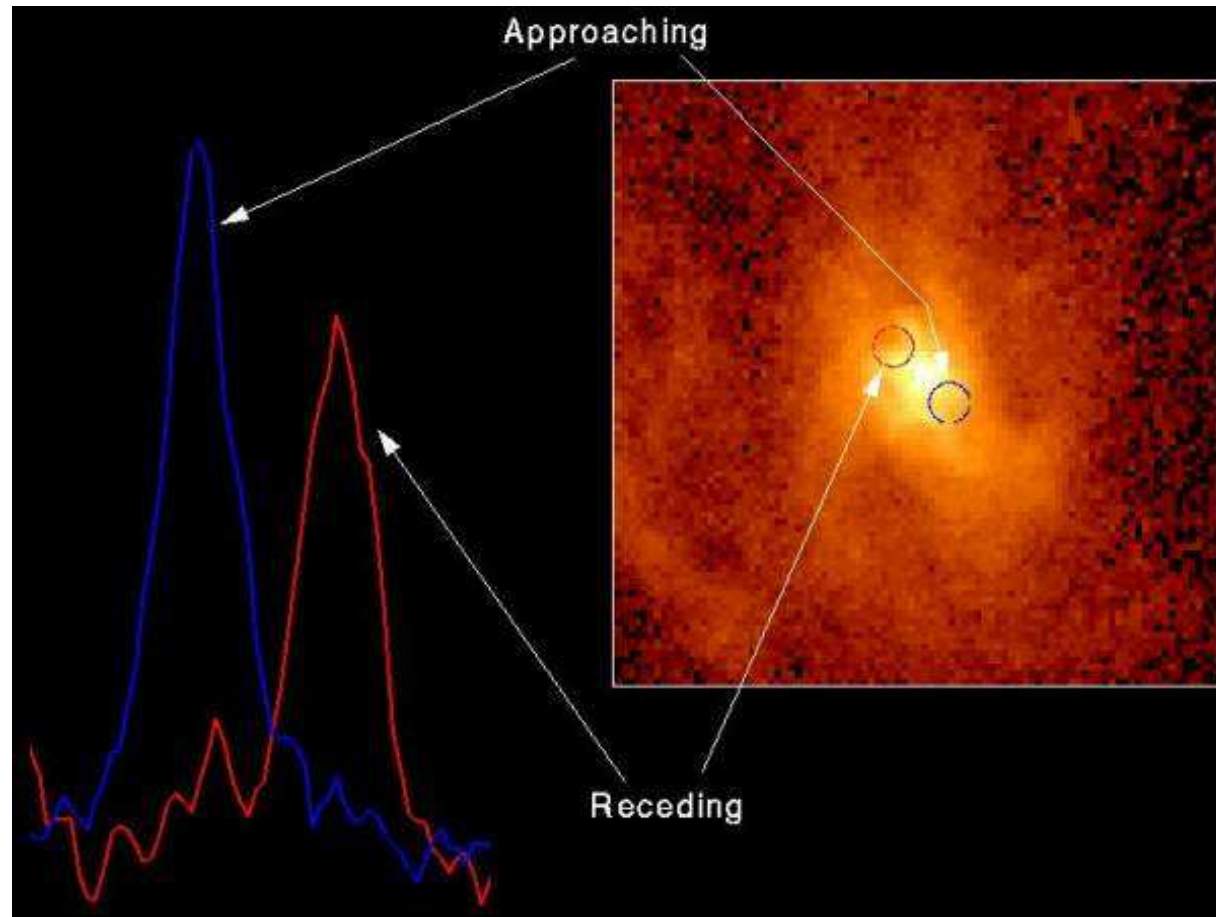
Analýza rychlosti jetu M 87

**Jak jety vznikají,
vyzařují, udržují
svůj tvar ?**



**Jet – proud
nabitých částic –
elektronů,
urychlovaných mag.
polem, $v \approx 10^5 \text{ km.s}^{-1}$
délka výronu –
1,5 kpc, $10^6 M_{\odot}$
zhuštění - uzlíky**

Černá díra v M 87

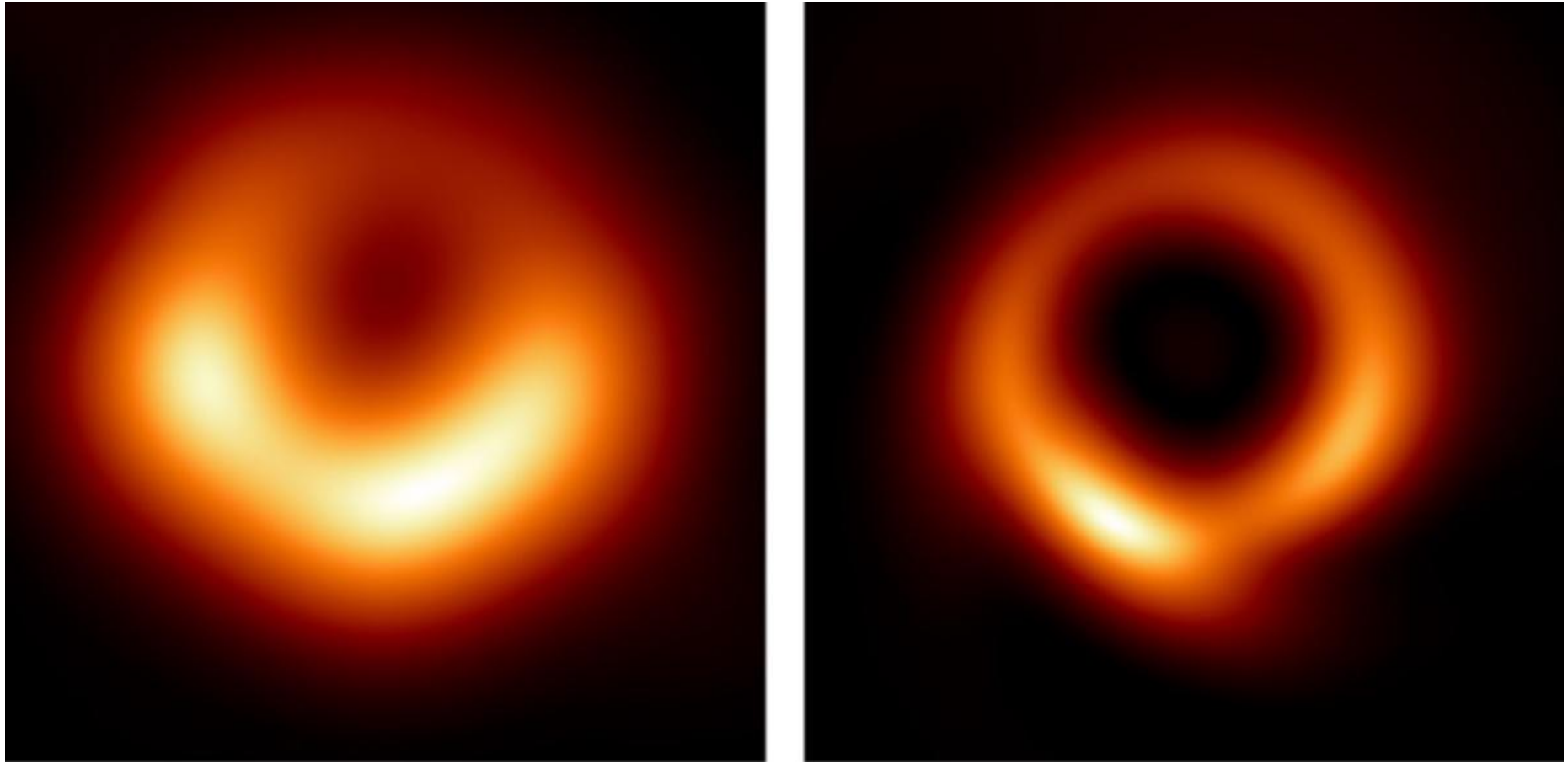


při $r = 16 \text{ pc} = 4,9 \cdot 10^{17} \text{ m}$, $i = 42^\circ$

$v_c \sin i = 460 \text{ km.s}^{-1}$, $v_c = 690 \text{ km.s}^{-1}$

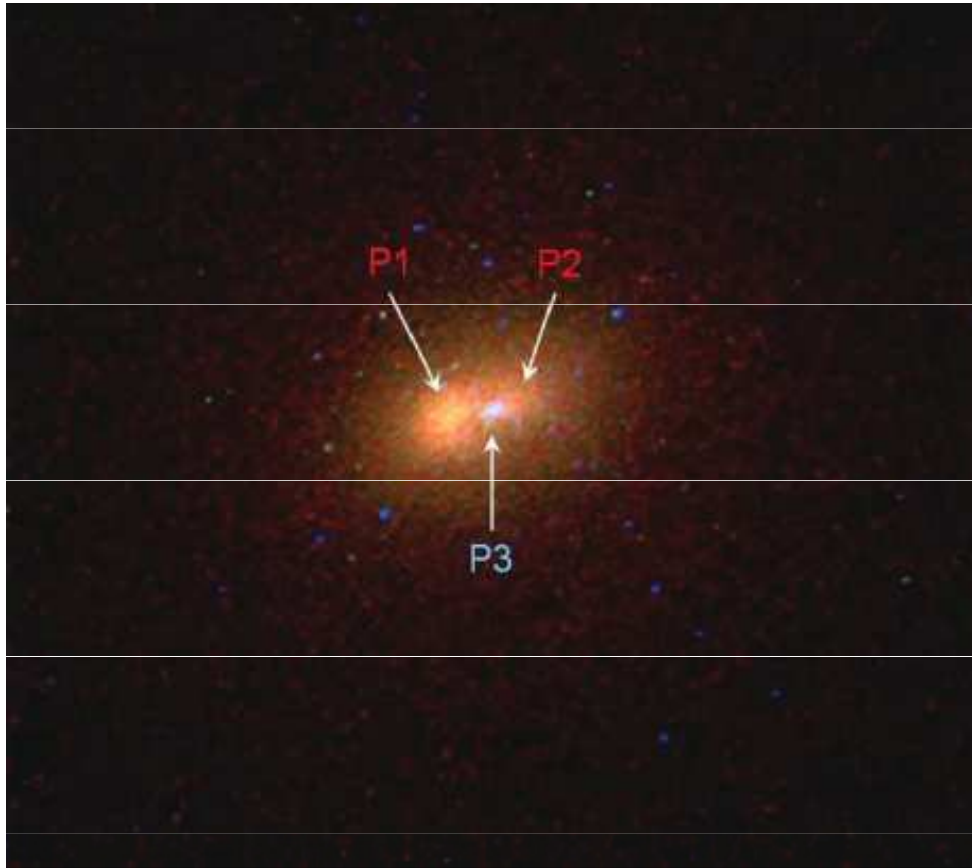
$M = v_c^2 r / G \approx 4 \cdot 10^{39} \text{ kg} \approx 2 \cdot 10^9 M_S$

Černá díra v M 87



vlevo původní snímek, vpravo upravená verze užitím počítačových algoritmů, oboje r. 2019

Černá díra v jádře galaxie M 31



reálný barevný snímek,
složený z HST snímků
F300w, F555W, F815W
tři jádra P1, P2, P3

P1, P2 červené hvězdy

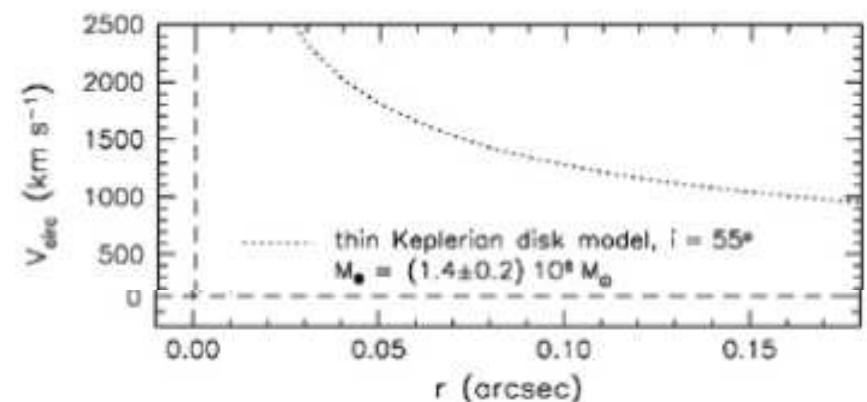
P3 A – hvězdy

kinematický model:

oběžná rychlost 1700 km.s^{-1} ,

$0,05 \text{ arcsec} = 0,19 \text{ pc}$

černá díra $\sim 1,4 \cdot 10^8 M_{\odot}$ ←



Černé díry v jádrech galaxií

Černé díry v jádrech galaxií

průměr dráhy Země
(150 miliónů km)

horizont události
a hmotnost černé díry

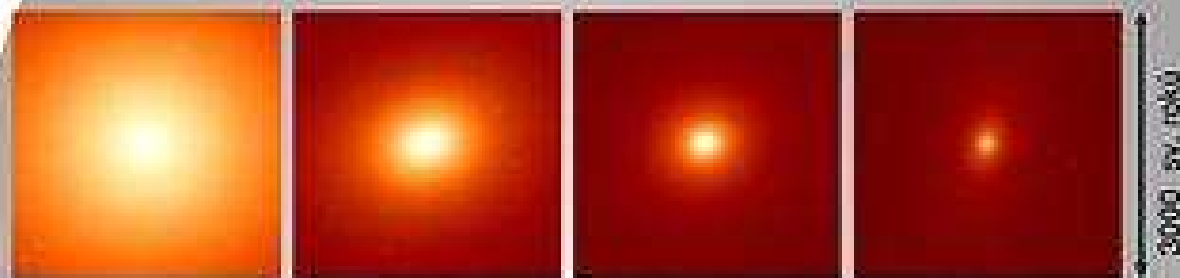
2 milardy M_{\odot}

200 miliónů M_{\odot}

20 miliónů M_{\odot}

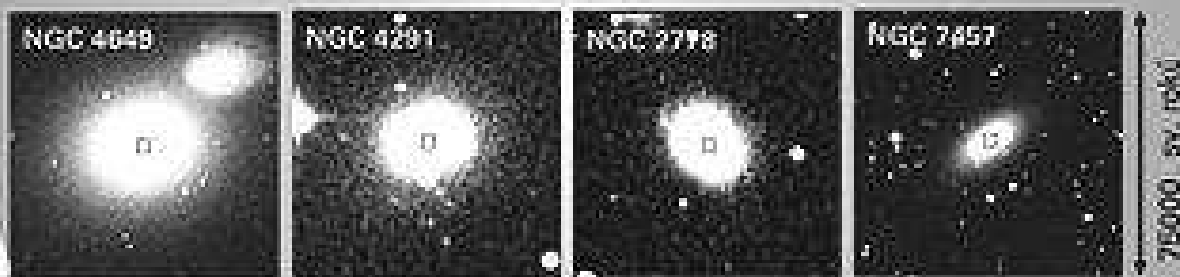
3 milióny M_{\odot}

HST



3000 sv. letů

pozemské
snímky



75000 sv. letů

NASA and K. Gebhardt (Lick Observatory) - STScI-PRC00-22

Vnější galaxie - různé detekce černých děr

GALAXY SAMPLE					
Galaxy (1)	Type (2)	M_{bh} (Low, High) (3)	σ_e (4)	Distance (5)	References (6)
Stellar Dynamical Estimates					
Milky Way	Sbc; P	2.6×10^6 (2.4, 2.8)	75	0.008	1
M31	Sb; P	3.5×10^7 (1.0, 6.0)	160	0.8	2, 3
M32	E2; P	3.7×10^6 (2.4, 4.4)	75	0.8	3, 4
NGC 821	E4; P	5.0×10^7 (3.0, 7.0)	209	24.1	5
NGC 1023	S0; P	3.9×10^7 (2.8, 4.8)	205	11.4	6
NGC 2778	E2; P	2.0×10^7 (0.7, 3.6)	175	22.9	5
NGC 3377	E5; P	1.0×10^8 (0.6, 2.5)	145	11.2	5, 7
NGC 3379	E1; C	1.0×10^8 (0.5, 1.6)	206	10.4	8
NGC 3384	S0; P	1.8×10^7 (0.9, 2.5)	143	11.6	5
NGC 3608	E2; C	1.1×10^8 (0.8, 2.5)	182	23.0	5
NGC 4291	E2; C	1.5×10^8 (0.8, 4.5)	242	26.2	5
NGC 4342	S0; P	3.0×10^8 (2.0, 4.7)	225	15.3	9
NGC 4473	E5; C	1.0×10^8 (0.4, 1.8)	190	15.7	5
NGC 4564	E3; P	5.7×10^7 (4.0, 7.0)	162	15.0	5
NGC 4649	E1; C	2.0×10^9 (1.0, 2.5)	375	16.8	5
NGC 4697	E4; P	1.2×10^8 (0.8, 1.3)	177	11.7	5
NGC 5845	E; P	3.2×10^8 (2.5, 5.0)	234	25.9	5
NGC 7457	S0; P	3.4×10^6 (1.7, 6.0)	67	13.2	5
Gasdynamical Estimates					
M87	E0; C	2.5×10^9 (1.8, 3.2)	375	16.1	10, 11
NGC 4261	E2; C	5.4×10^8 (4.3, 6.3)	315	31.6	12, 13
NGC 4374	E1; C	1.8×10^9 (0.9, 2.8)	296	18.4	14
NGC 6251	E2; C	6.0×10^8 (2.0, 8.0)	290	106.0	15, 16
NGC 7052	E4; P	3.3×10^8 (2.0, 5.6)	266	58.7	17
IC 1459	E3; C	3.5×10^8 (1.4, 4.8)	323	29.2	18
Maser Dynamical Estimates					
NGC 1068	Sb; P	1.7×10^7 (1.0, 3.0)	151	15.0	19, 20
NGC 4258	Sbc; P	4.2×10^7 (4.0, 4.4)	120	7.2	21, 22

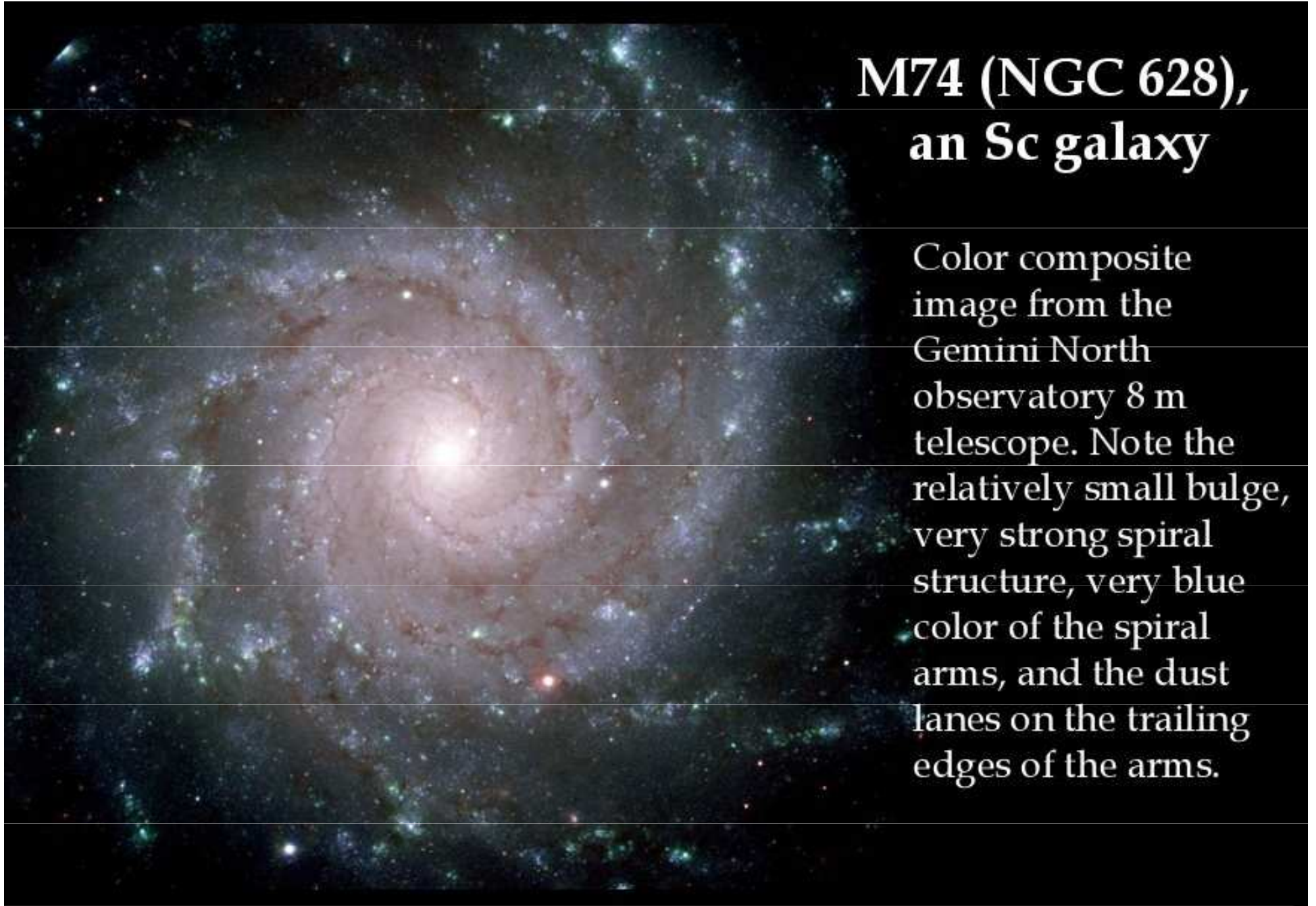
Spirální galaxie M 51



Spirální galaxie M 74

**M74 (NGC 628),
an Sc galaxy**

Color composite image from the Gemini North observatory 8 m telescope. Note the relatively small bulge, very strong spiral structure, very blue color of the spiral arms, and the dust lanes on the trailing edges of the arms.



galaxie NGC 4622 s opačnou rotací

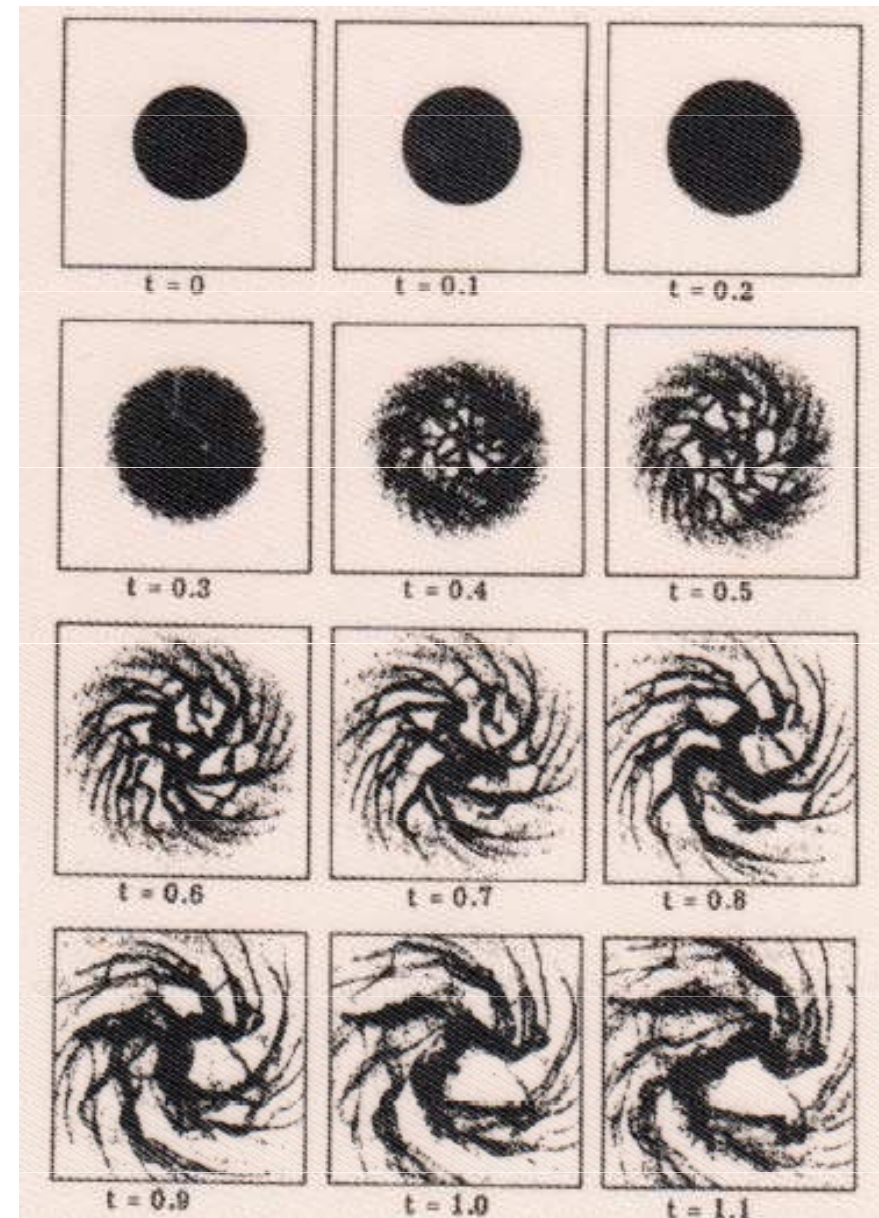
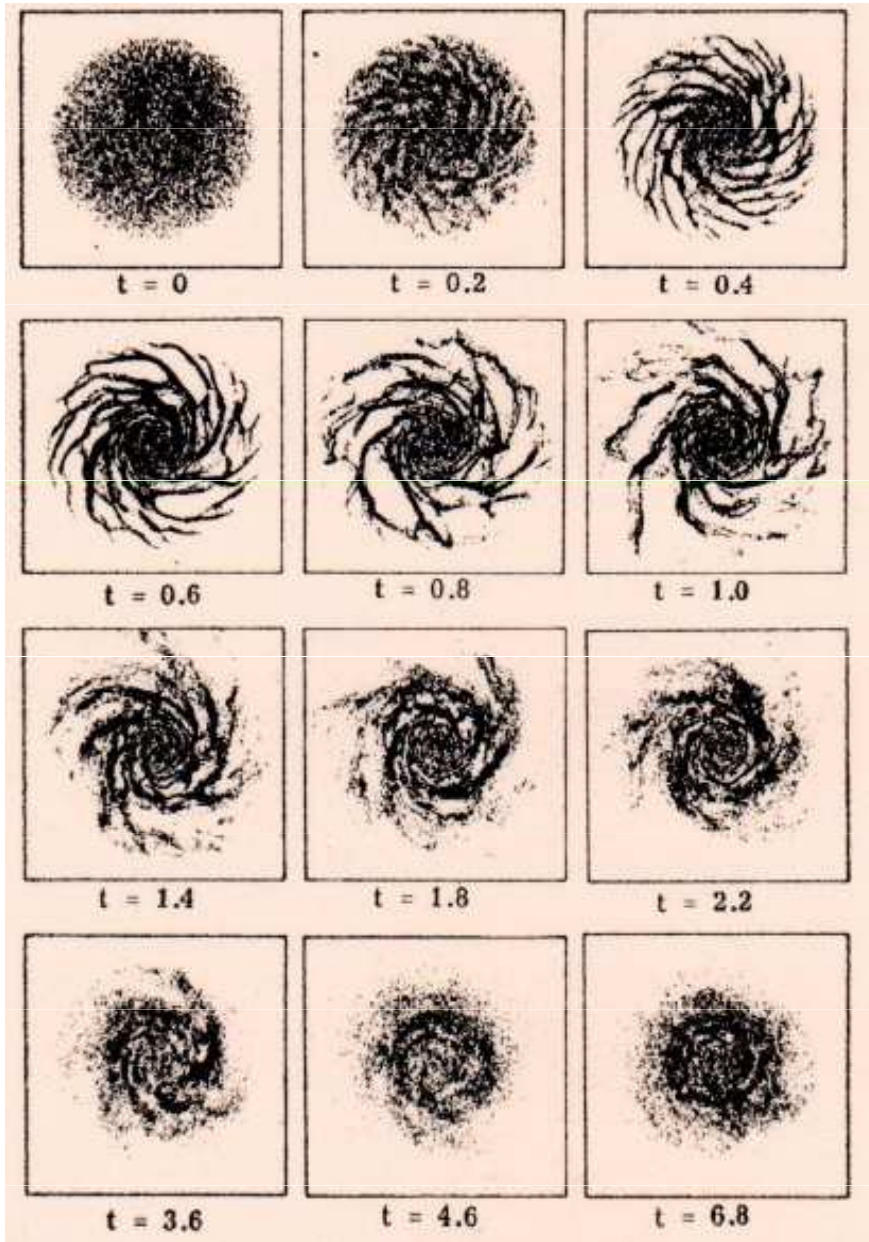
An exception: spiral structure in NGC 4622

Note that the direction in which the spiral arms wind is different inside and outside the complete ring. One set of arms must lead rotation, and one must trail.

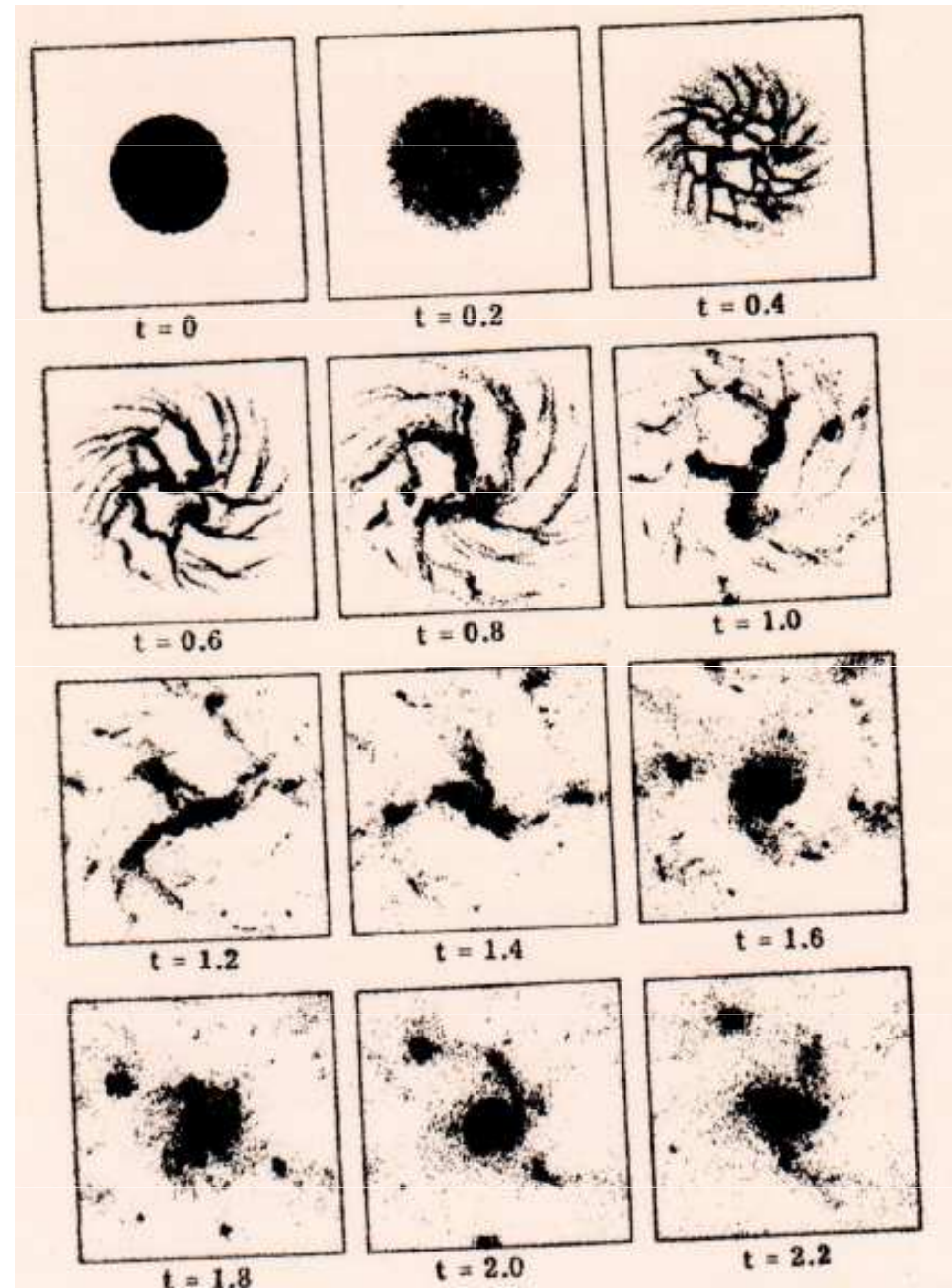
Composite color image by Byrd *et al.*, with the WFPC2 camera on HST (NASA).



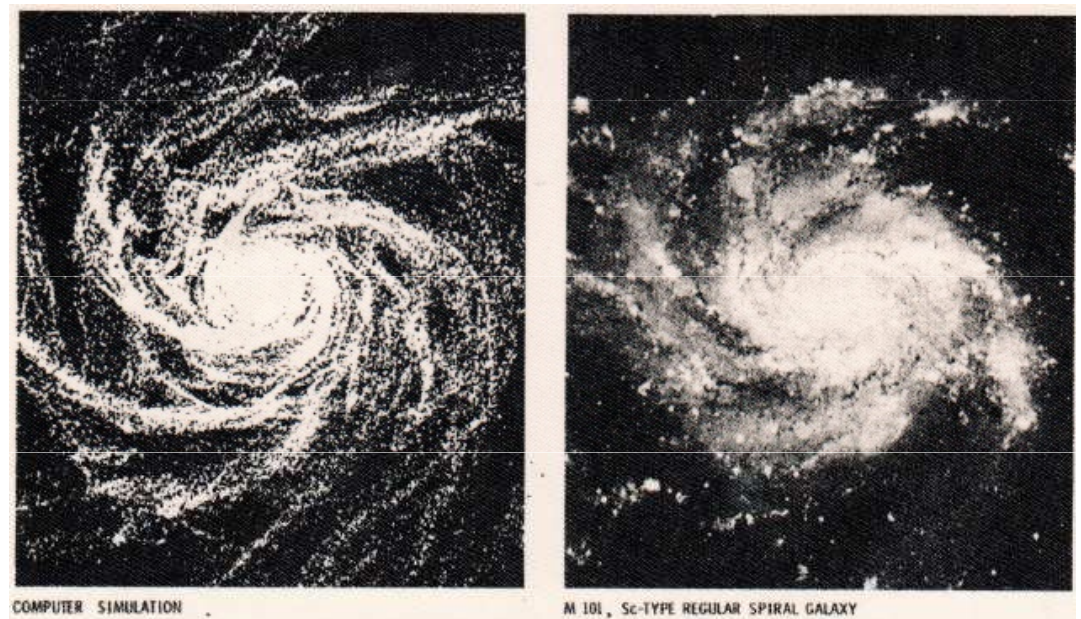
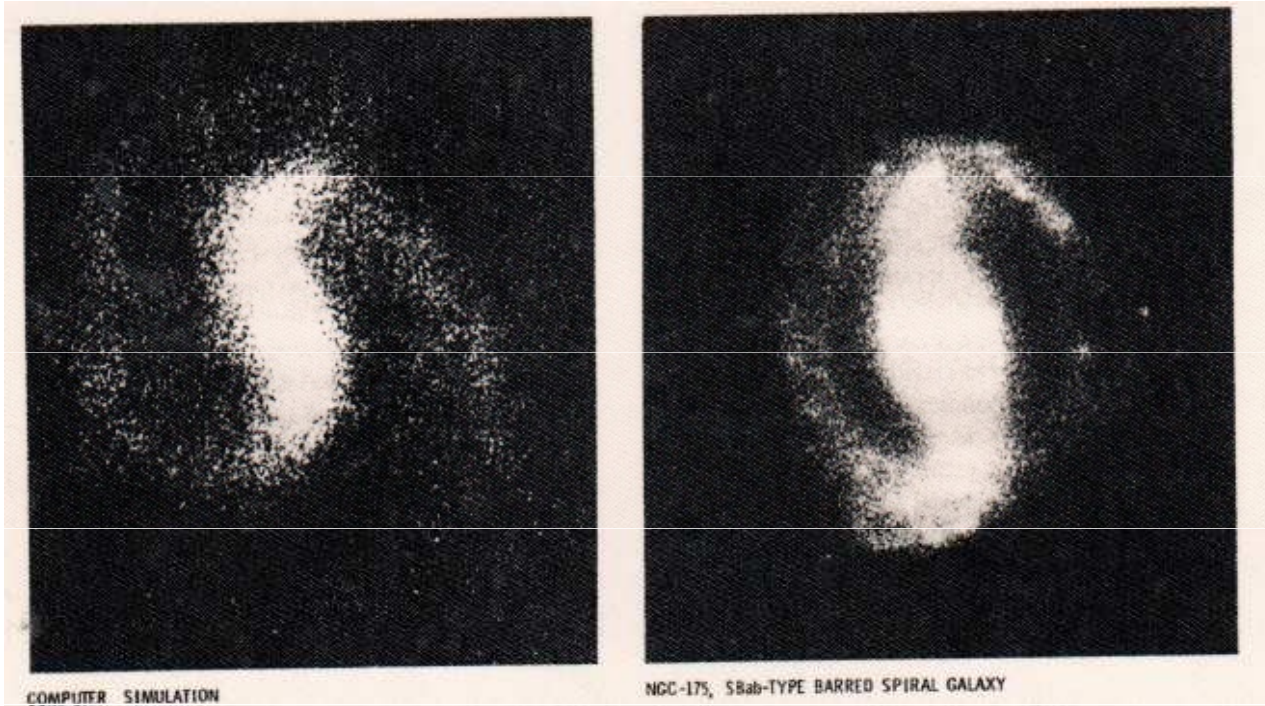
Simulace vzniku spirální struktury galaxií



Simulace vzniku spirální struktury galaxií



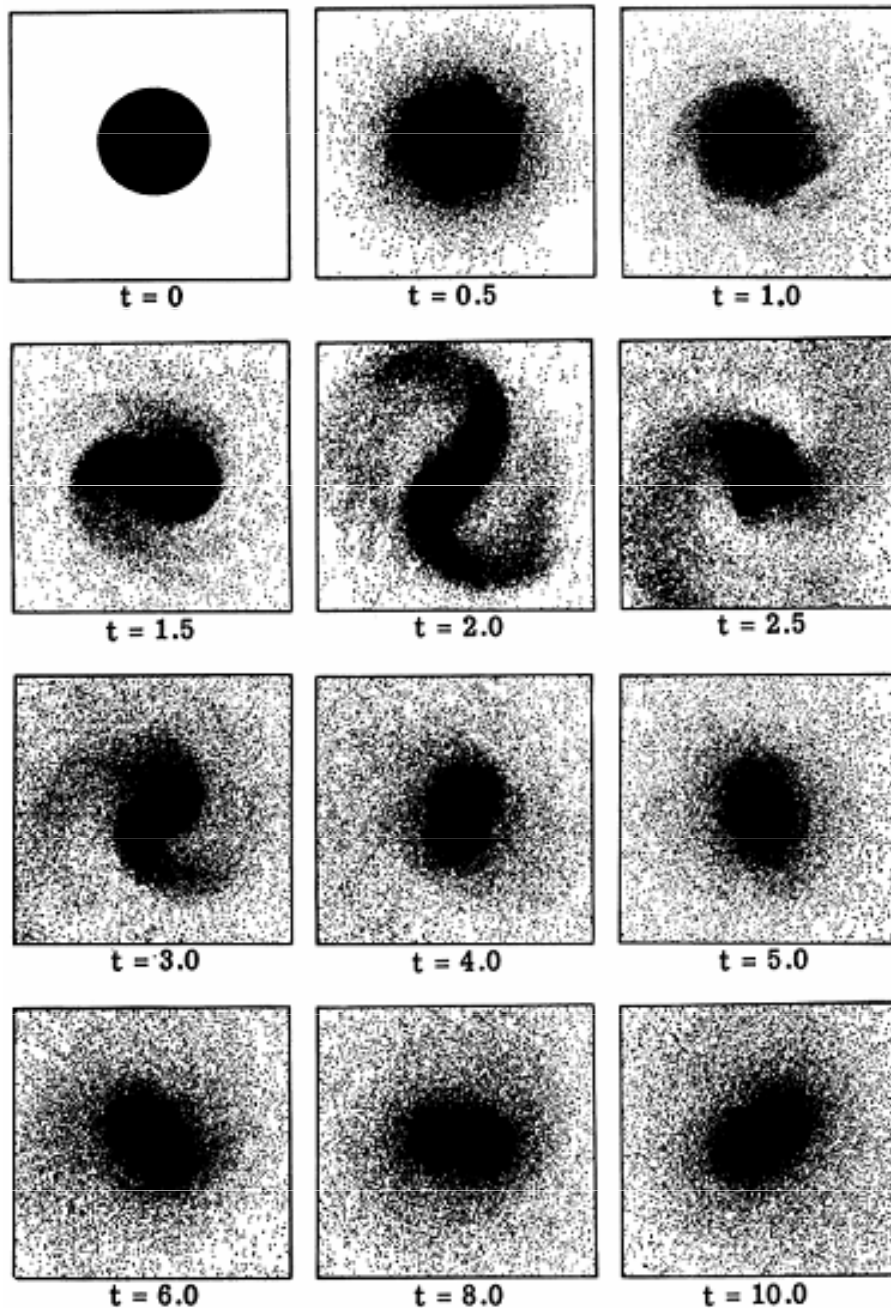
Simulace a realita vzhledu galaxií



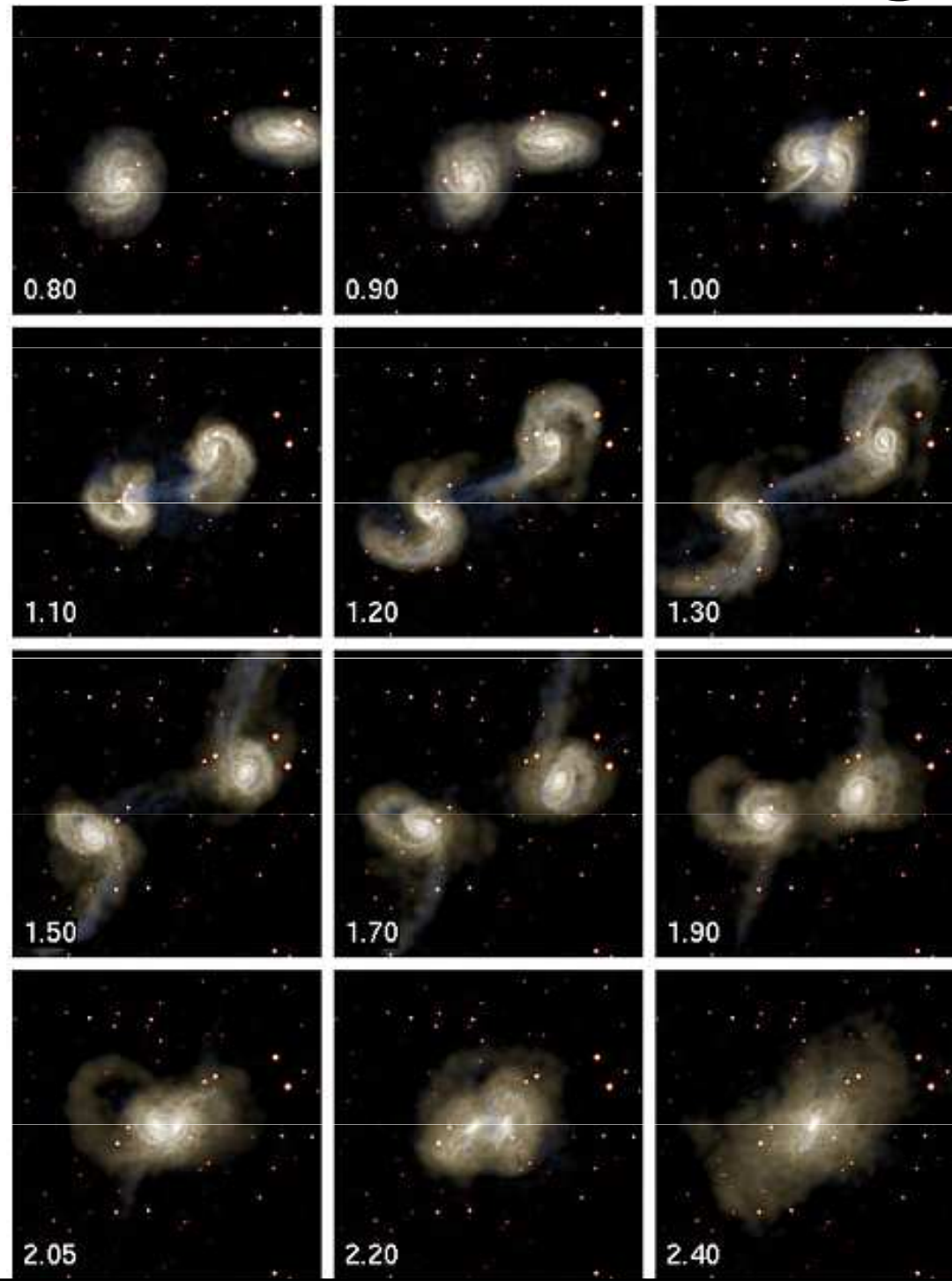
Simulace vzniku galaxie s příčkou

The “bar instability”

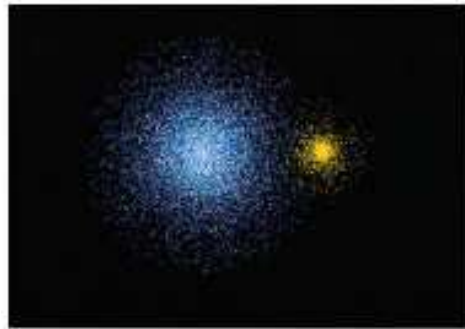
In this simulation by Frank Hohl (1971, *Ap.J.* **168**, 343), 100000 stars start off as a uniformly rotating, axisymmetric disk, but soon erupt spontaneously into a spiral pattern before settling down into an ellipsoidal distribution (i.e. a bar) that appears to be stable. The time unit is the rotation period of the disk, 1.5×10^8 years.



Simulace interakce dvou galaxií



Galaktický kanibalismus



0 years



400 million years



800 million years



1.2 billion years



1.6 billion years

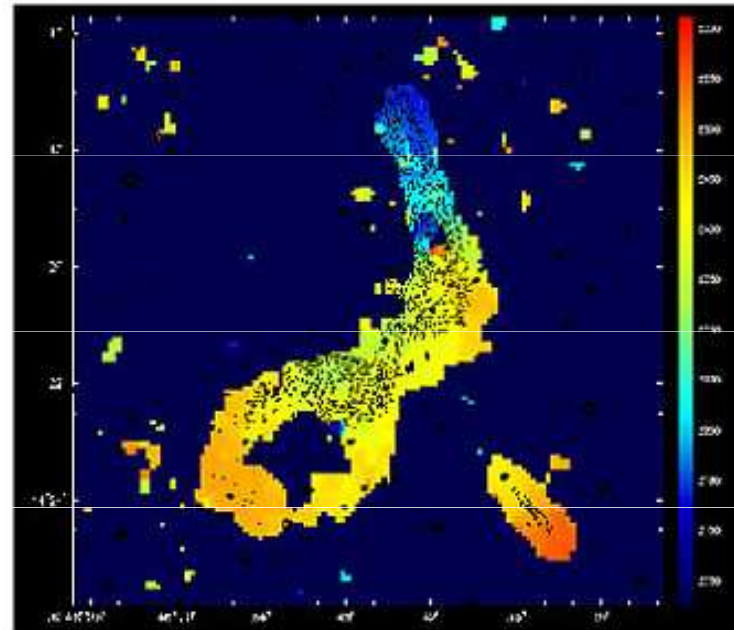
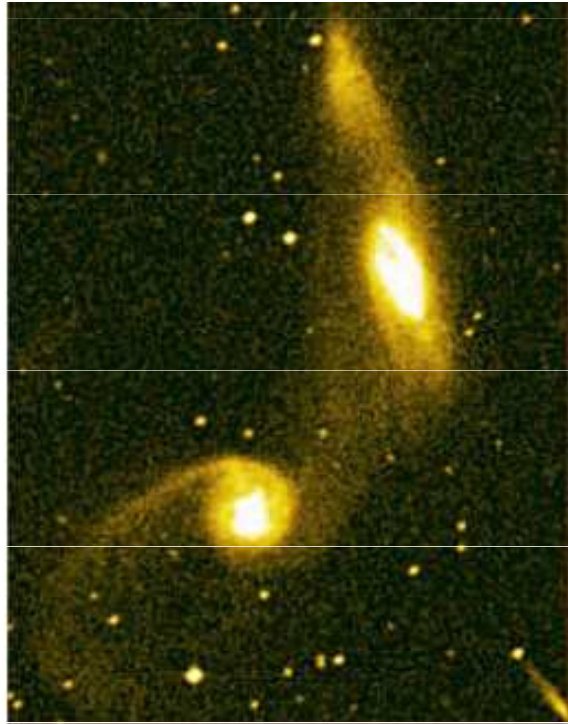


2.0 billion years

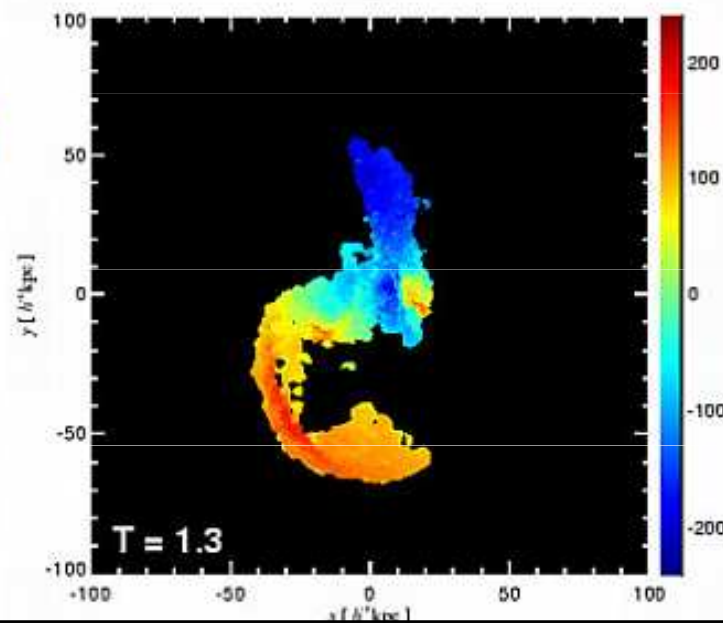
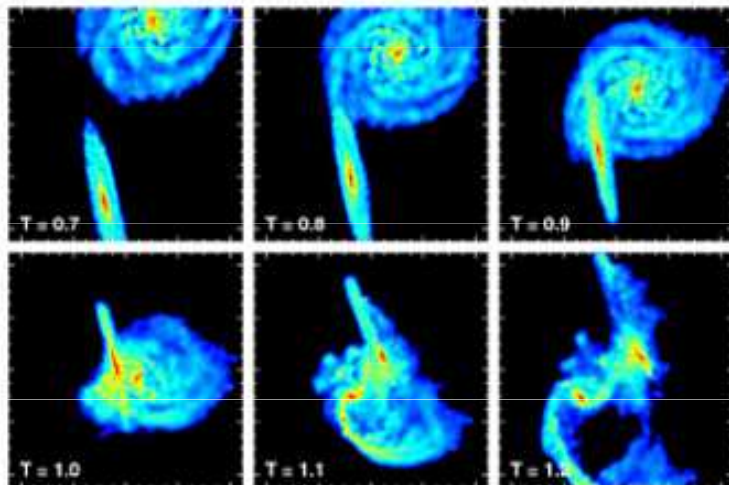


*Interakce může
iniciovat vznik
spirálních
hustotních vln*

Pozorování a simulace NGC 2992/3



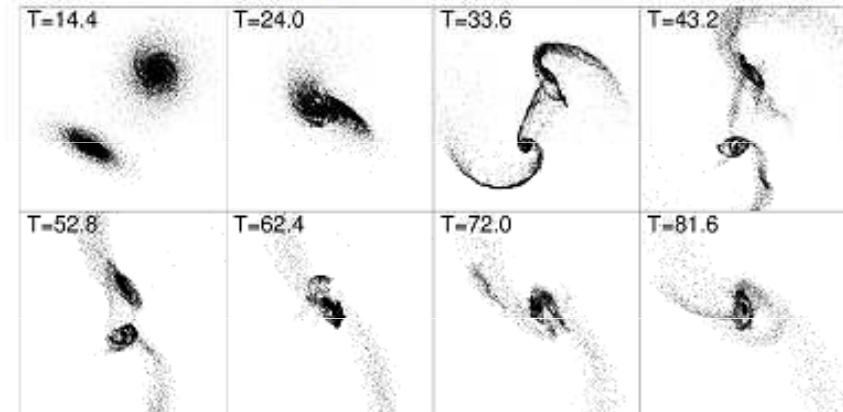
NGC 2992/3
Observations
and
simulations



Credit
Max-Planck
institut
Garching

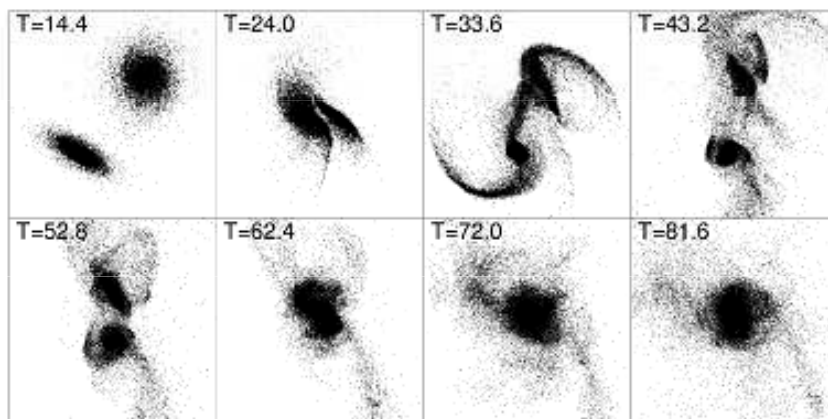
Splynutí dvou galaxií – hvězdy a plyn

Galaxy Merger: Gas



In the same merger, gas quickly loses energy (since it is dissipative), and sinks towards the center of the remnant, where it can fuel a starburst, or an AGN if a massive black hole is present

Galaxy Merger: Stars

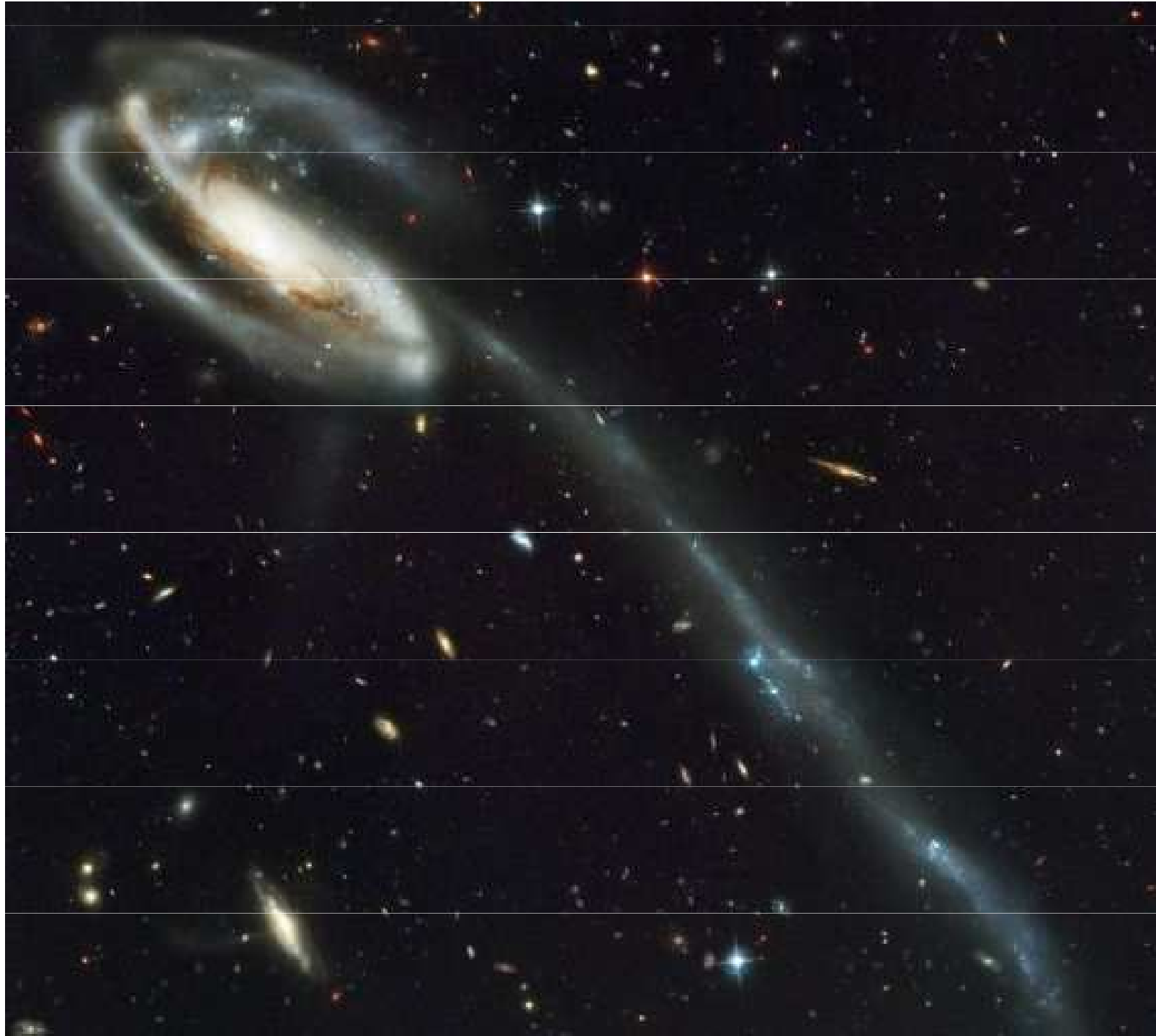


Merge 2 nearly equal mass disk galaxies; in a few dynamical times, the remnant looks just like an elliptical galaxy

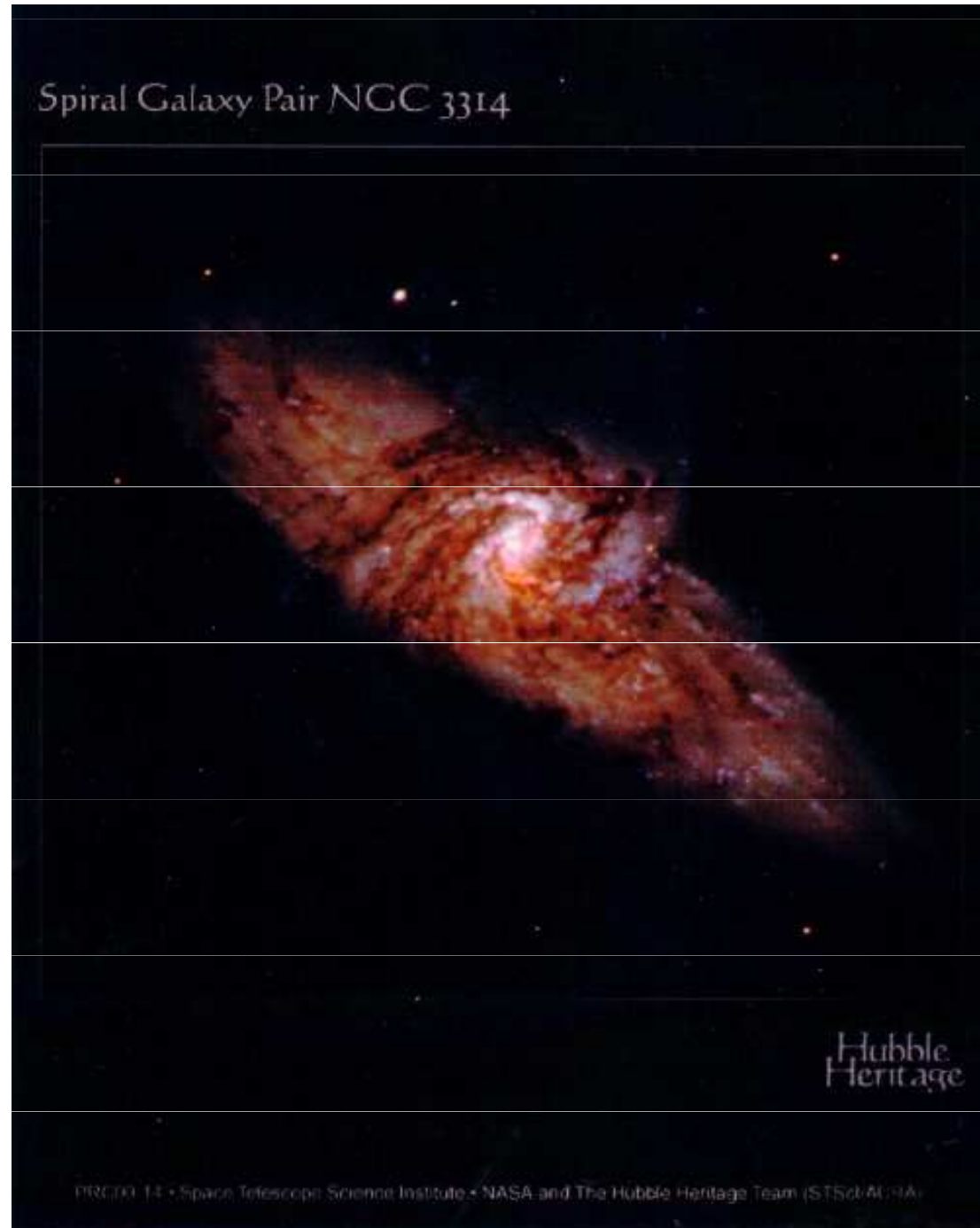
Dvojice spirálních galaxií NGC 3314 a, b



Galaxie Arp 188 - Pulec



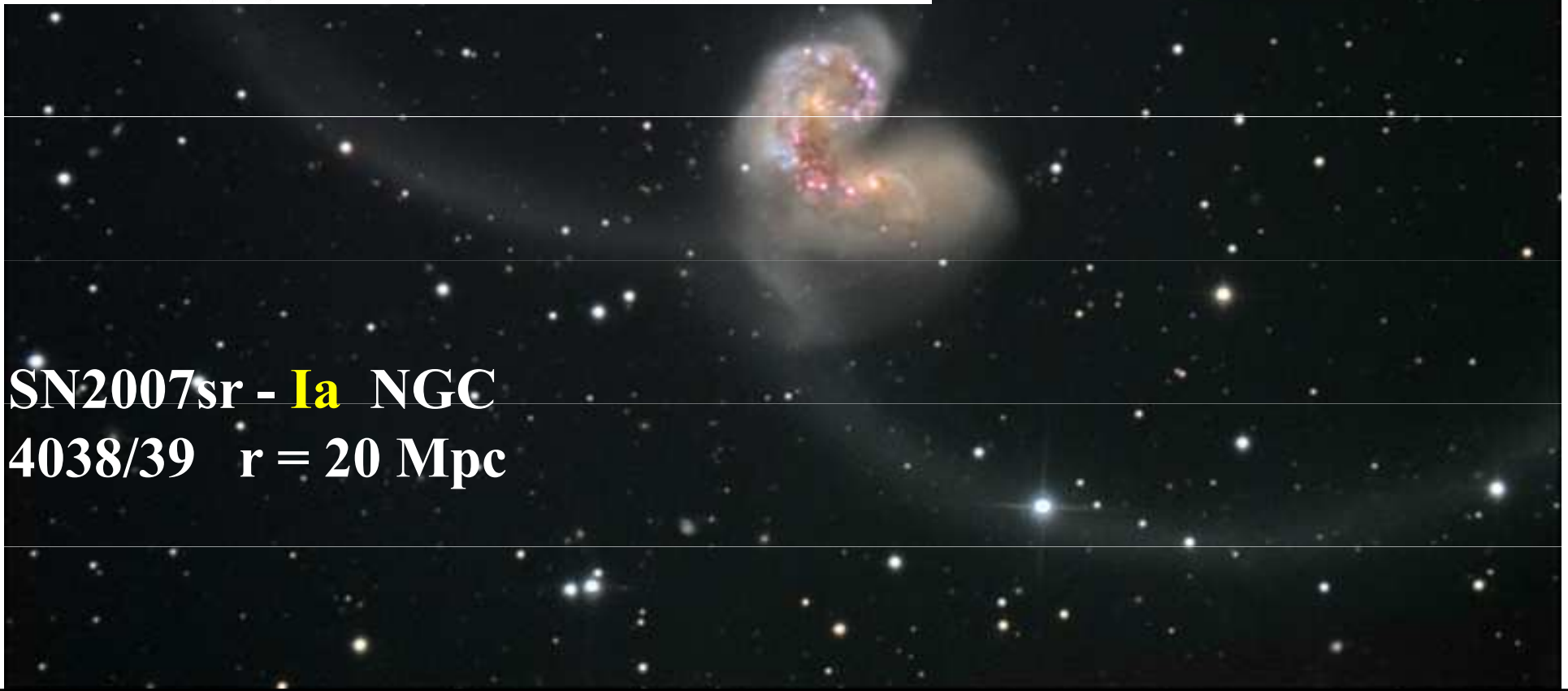
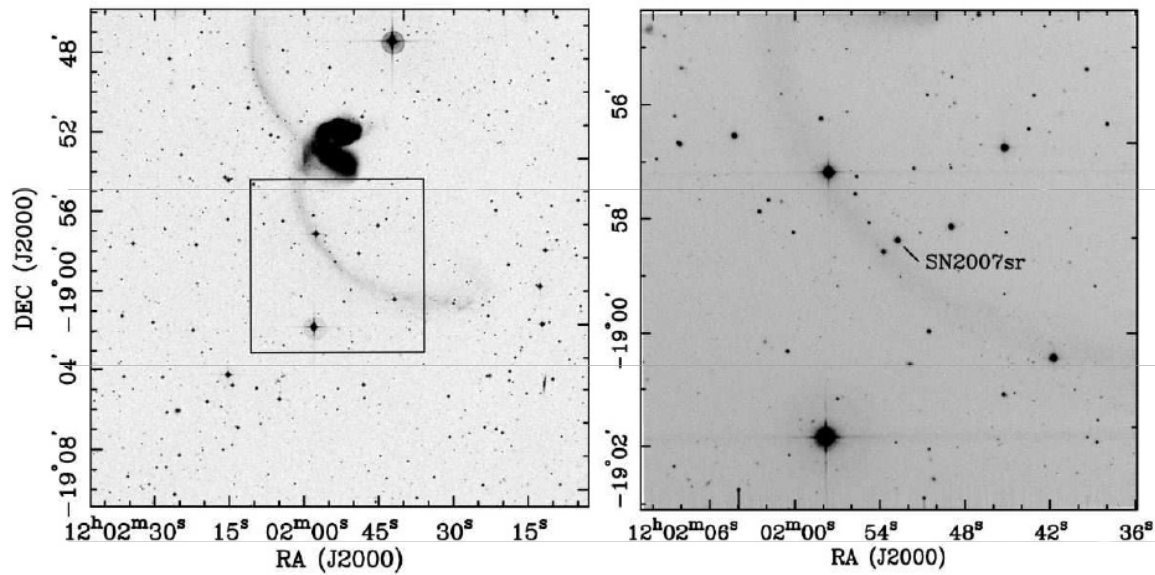
Spirální galaxie NGC 3314



Interagující galaxie NGC 2207 a IC 2163



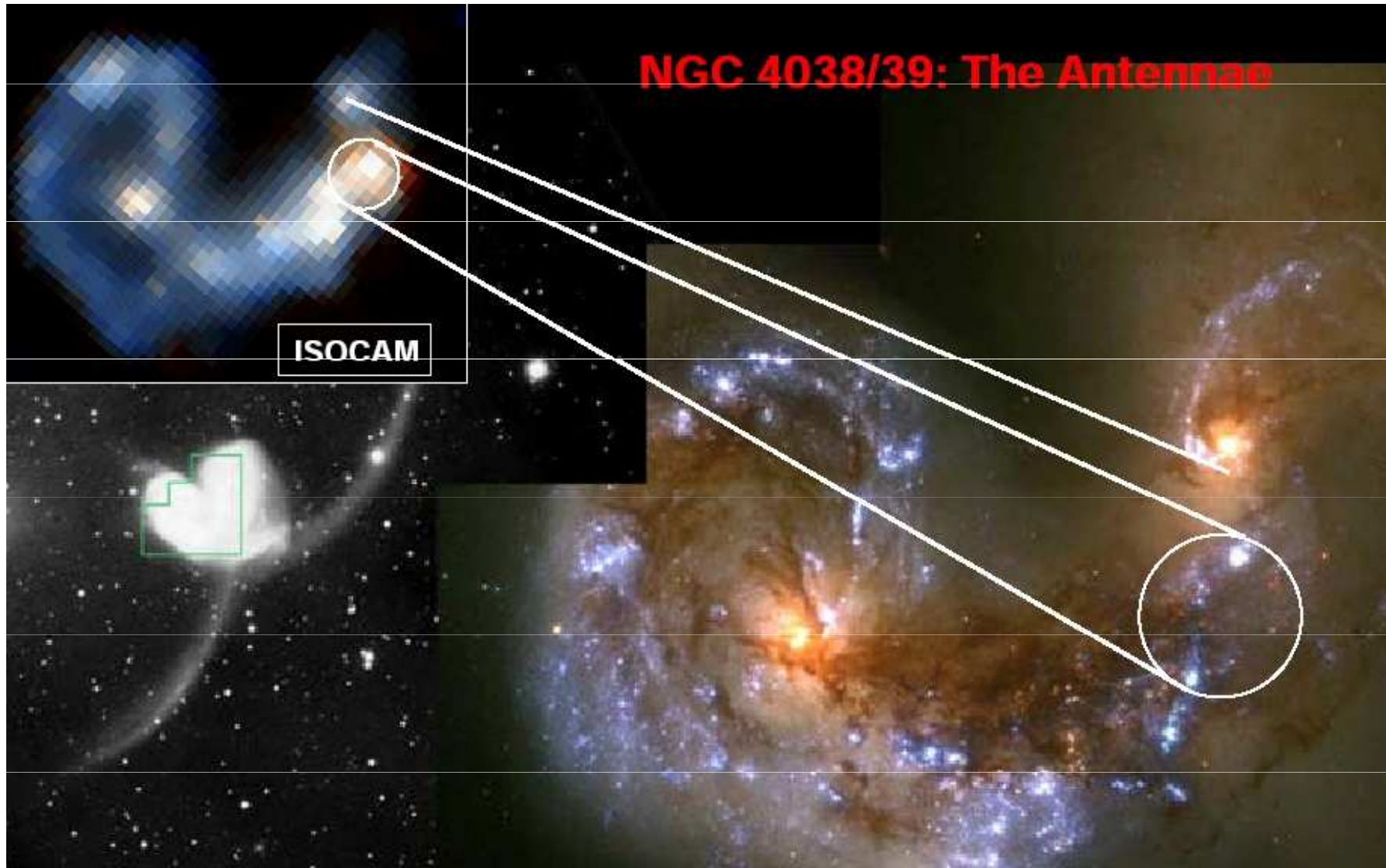
Interagující anténní galaxie



SN2007sr - Ia NGC
4038/39 $r = 20$ Mpc

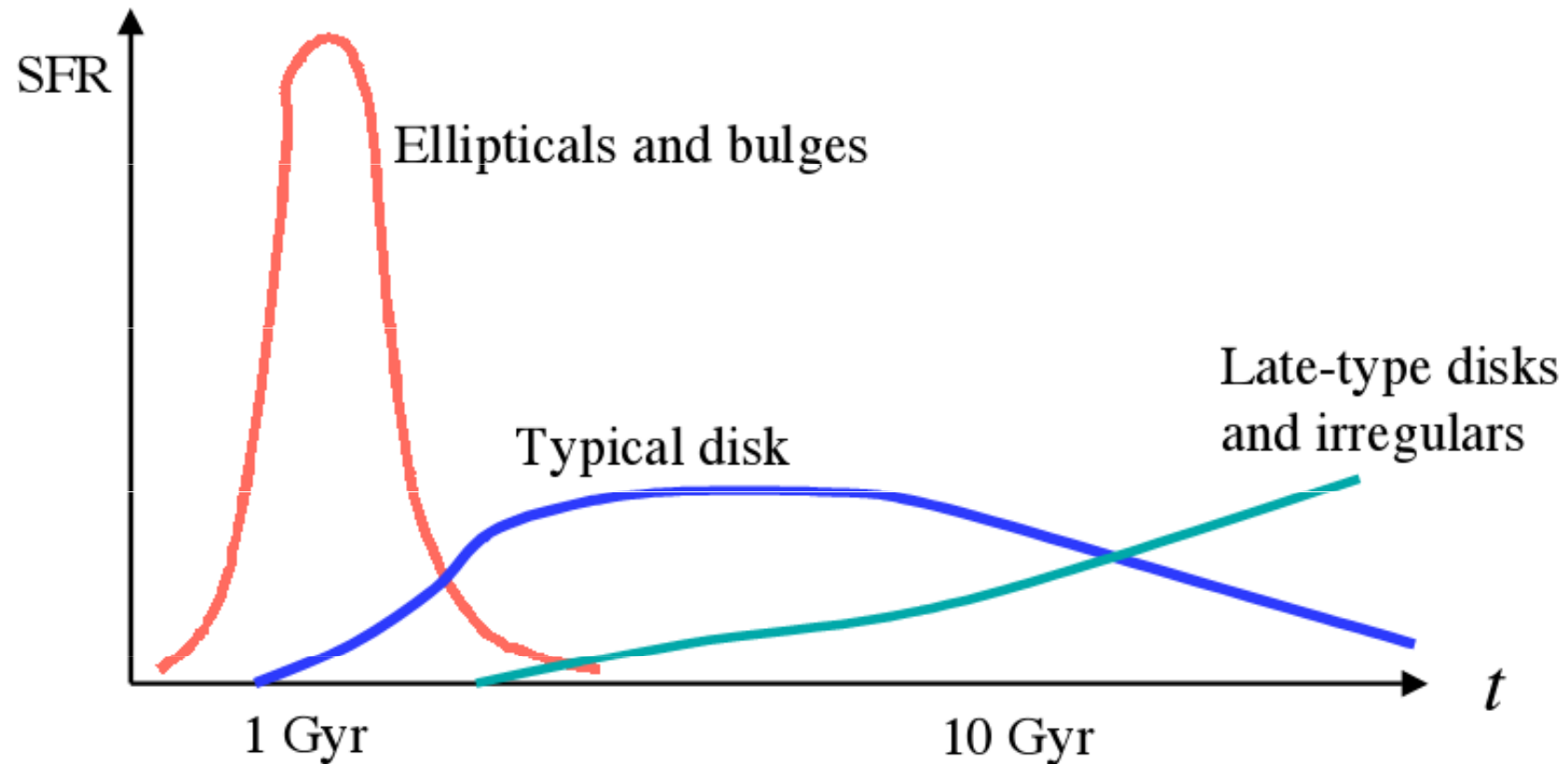
Interagující galaxie – hromadný vznik hvězd

O – B asociace hvězd



Vznik hvězd v galaxiích

Star Formation History in Galaxies



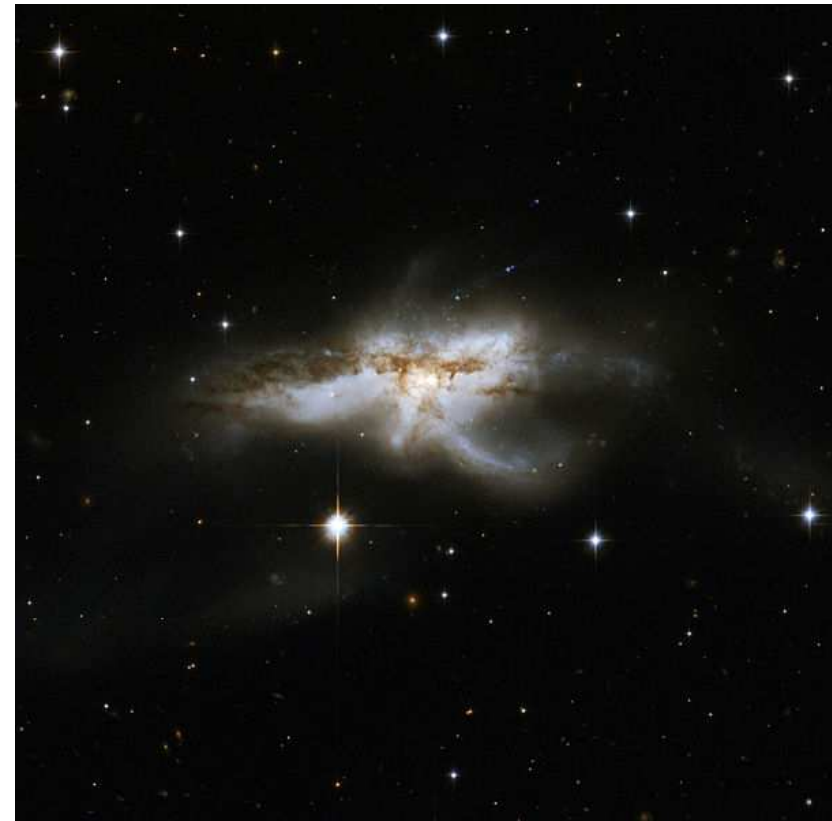
The net star formation rate in the universe, after the initial rapid rise, has remained nearly constant for the first ~ 6 to 8 Gyr, and has declined steeply (by an order of magnitude) since then

HST – pozorování WFPC

Můžeme Hubbleovým dalekohledem pozorovat aktivní galaxii **NGC 6240**, jejíž úhlová velikost činí $2'$? Pozorování WFPC vybavenou CCD detektorem $1\,600 \times 1\,600$ pixelů při šířce pixelu $d = 15\ \mu\text{m}$, ohnisková vzdálenost primárního zrcadla je $f = 31\ \text{m}$.

Výpočtem propočítáme pole na jeden čip $\Theta = \frac{d}{f} = 4,8 \cdot 10^{-7}\ \text{rad} = 0,1''$

Celkové pole detektoru $1\,600 \cdot 0,1'' = 160'' = 2'40''$, galaxii lze pozorovat.



NGC 6240

Kvasary

r. 1962 zákryt kvasaru 3C 273 s Měsícem

quasi stellar object - kvasar

široké emisní čáry - vznik v mračnech ionizovaného plynu

hustota $n \approx (10^7 - 10^{10}) \text{ cm}^{-3}$, teploty $T \approx 10^4 \text{ K}$,

rozměry několik pc, chemické složení H, He, C, N, Mg, Ca, Si, Fe, obohacení těžšími prvky proběhlo v nejranějších stádiích vývoje

kvasary - jádra vznikajících galaxií

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

hmotnost kvasaru lze určit z šířky spektrálních čar

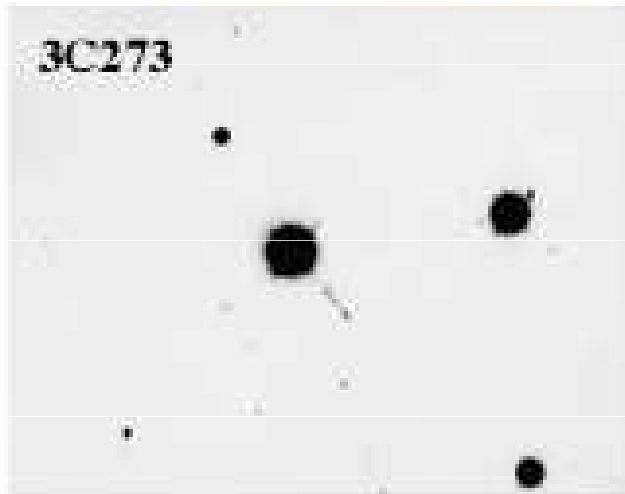
rychlost pohybu plazmy $\approx 10^3 \text{ km.s}^{-1}$

$$v = \sqrt{\frac{2kT}{m}} \quad v_p = \sqrt{2 \frac{GM}{R}} \quad \text{porovnáním stanovíme } M$$

Objev kvasarů 1963

zákryt kvasaru Měsícem 1962

The Discovery of Quasars (1963)



Cyril Hazard ➔
got the precise
radio position



➔ Allan Sandage
got the optical ID

Maarten Schmidt ➔
figured out the
spectrum and the
redshift

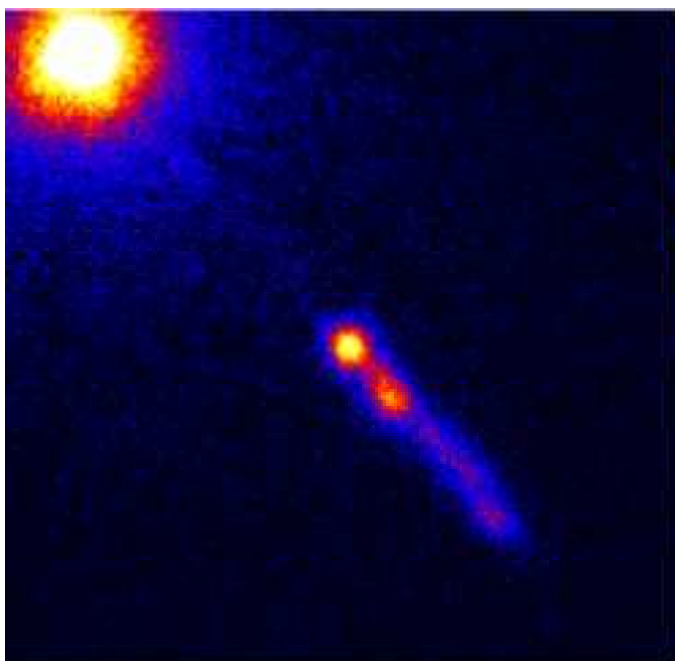
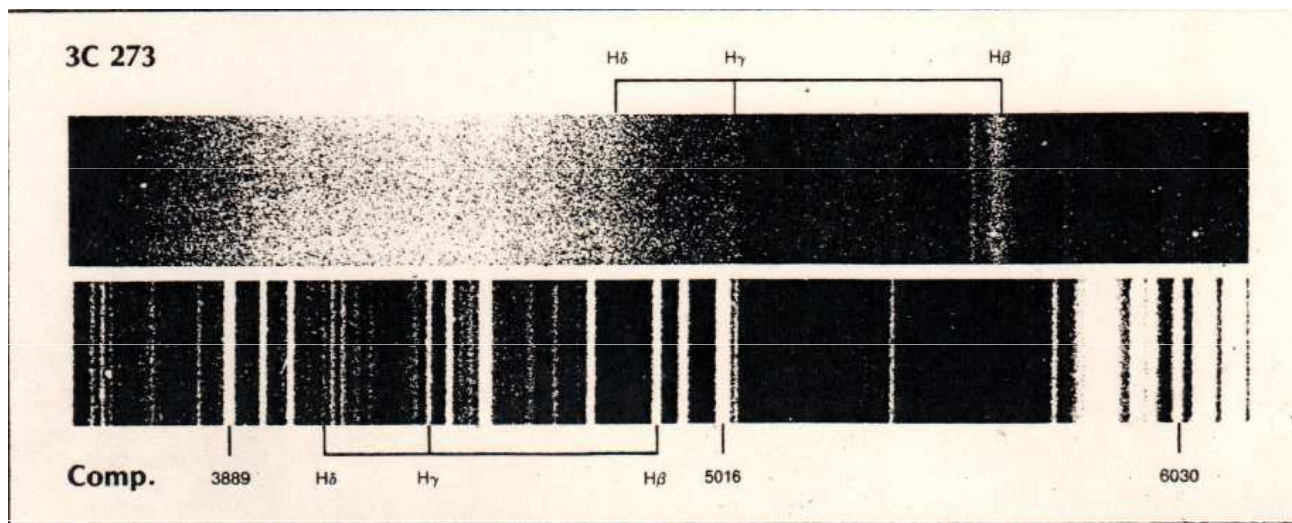


Kvasar 3C 273 v různých spektrálních oborech

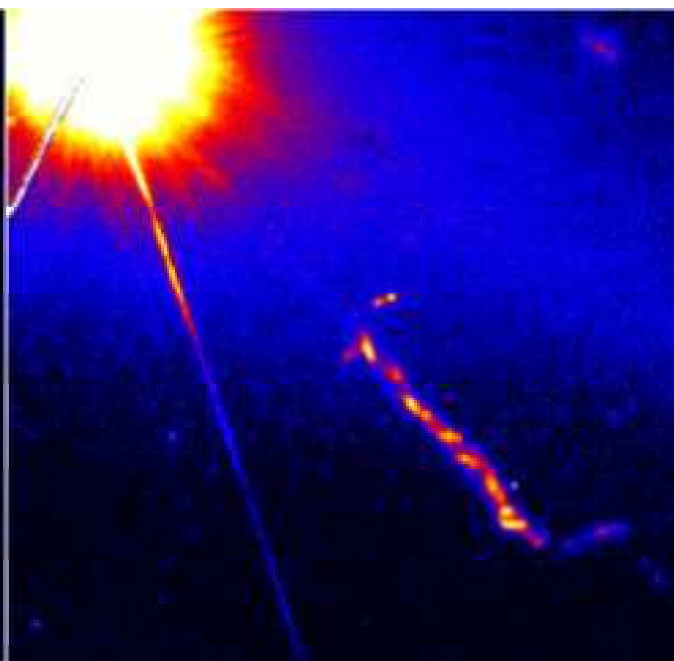
$L \sim 10^{40} \text{ W}$

$z \sim 0,16$,

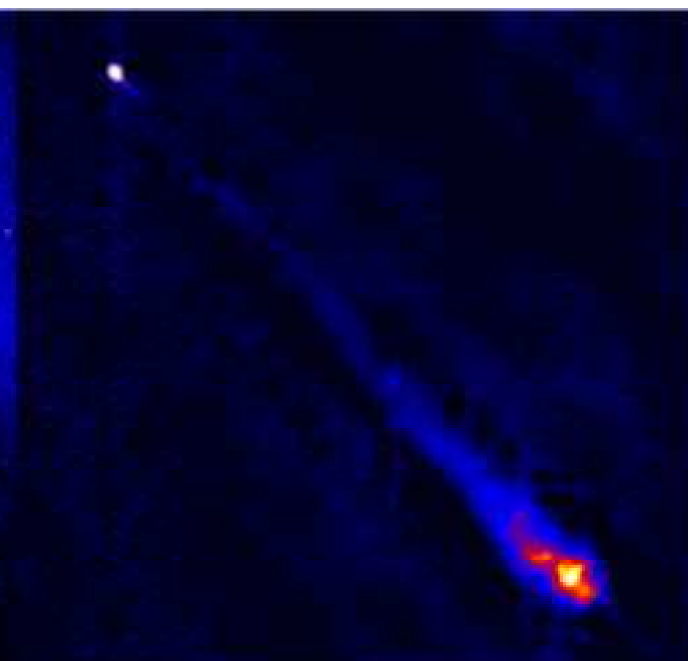
$r \sim 640 \text{ Mpc}$



3C 273 in X rays,
by CXO.



...in visible light,
by HST.



...in radio light,
by MERLIN.

Hmotnost kvasaru 3C 273

Úhlová velikost 21,“,
při vzdálenosti 750 Mpc je
lineární délka jetu

$$l = r \cdot \sin 21'' = 60 \text{ kpc}$$

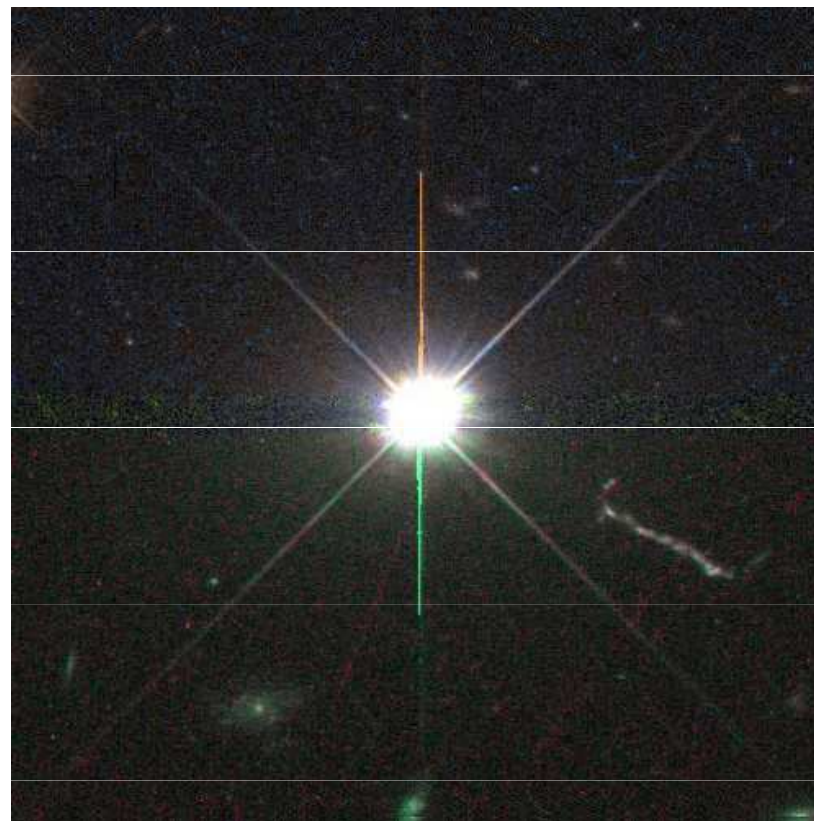
$$t = l/c \approx 2 \cdot 10^6 \text{ roků,}$$

při $L = 10^{40} \text{ W}$ za rok kvasar
vyzáří 10^{47} J , celkově za 10^6
roků 10^{53} J , jestliže se vyzáří
1 % zásob energie,

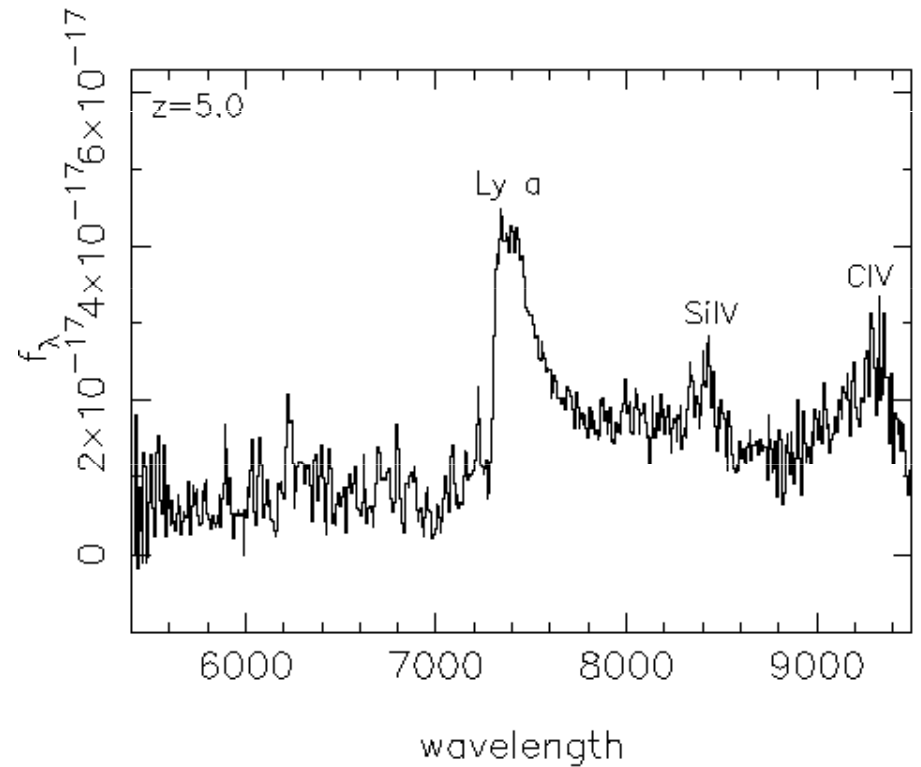
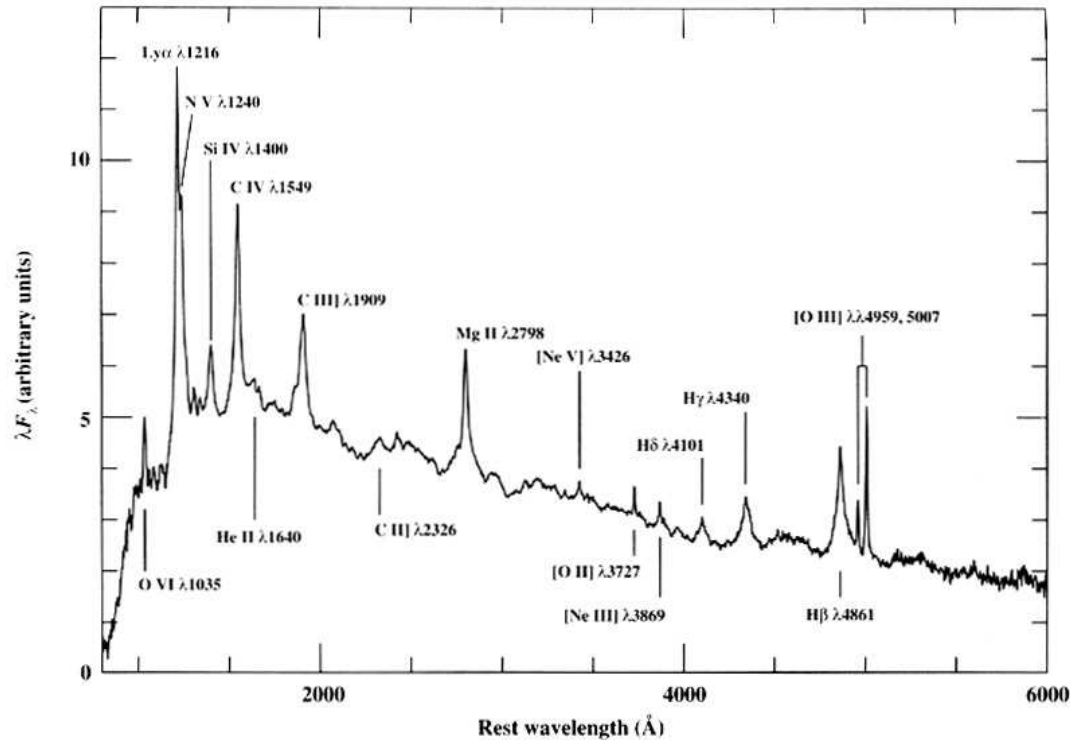
$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

hmotnost kvasaru $\approx 10^9 M_{\text{S}}$

$z = 0,16$, 48 000km/s

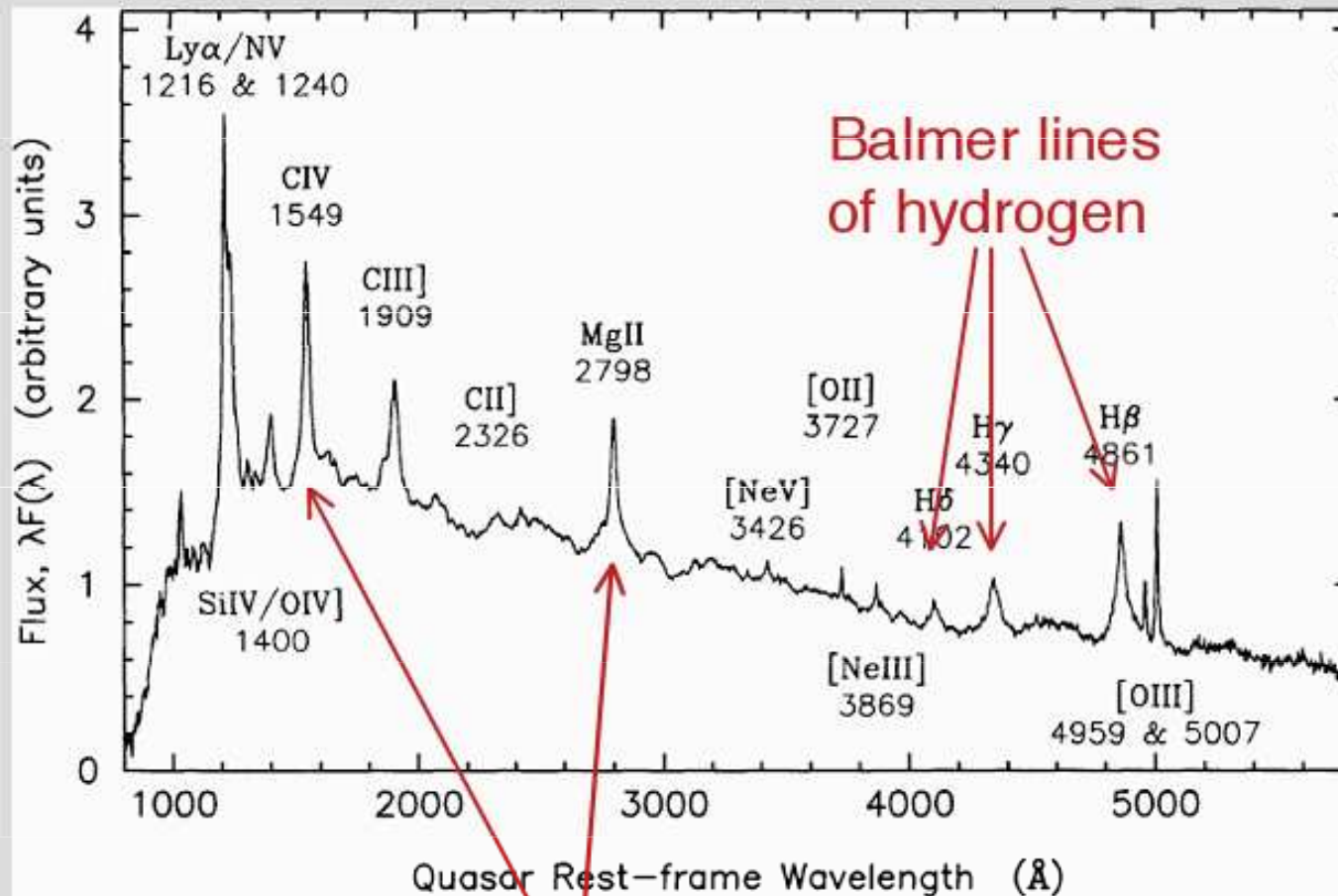


Spektra kvasarů



Spektra kvasarů

Optical spectra show strong, broad emission lines



Prominent lines
of abundant ions

Vlastnosti kvasarů

Properties of quasars

Characteristic of quasars include:

- Point-like sources (originally associated with radio sources, though these **radio loud** quasars are actually small fraction of the total)
- Broad spectral energy distribution, with large UV flux
- Time variable continuum
- Broad emission lines
- Typically high redshift (record now $z=6.4$)

High redshift is mainly because quasars are rare and luminous
Other properties more useful for understanding the physics.

Určování vzdáleností galaxií

Postup práce

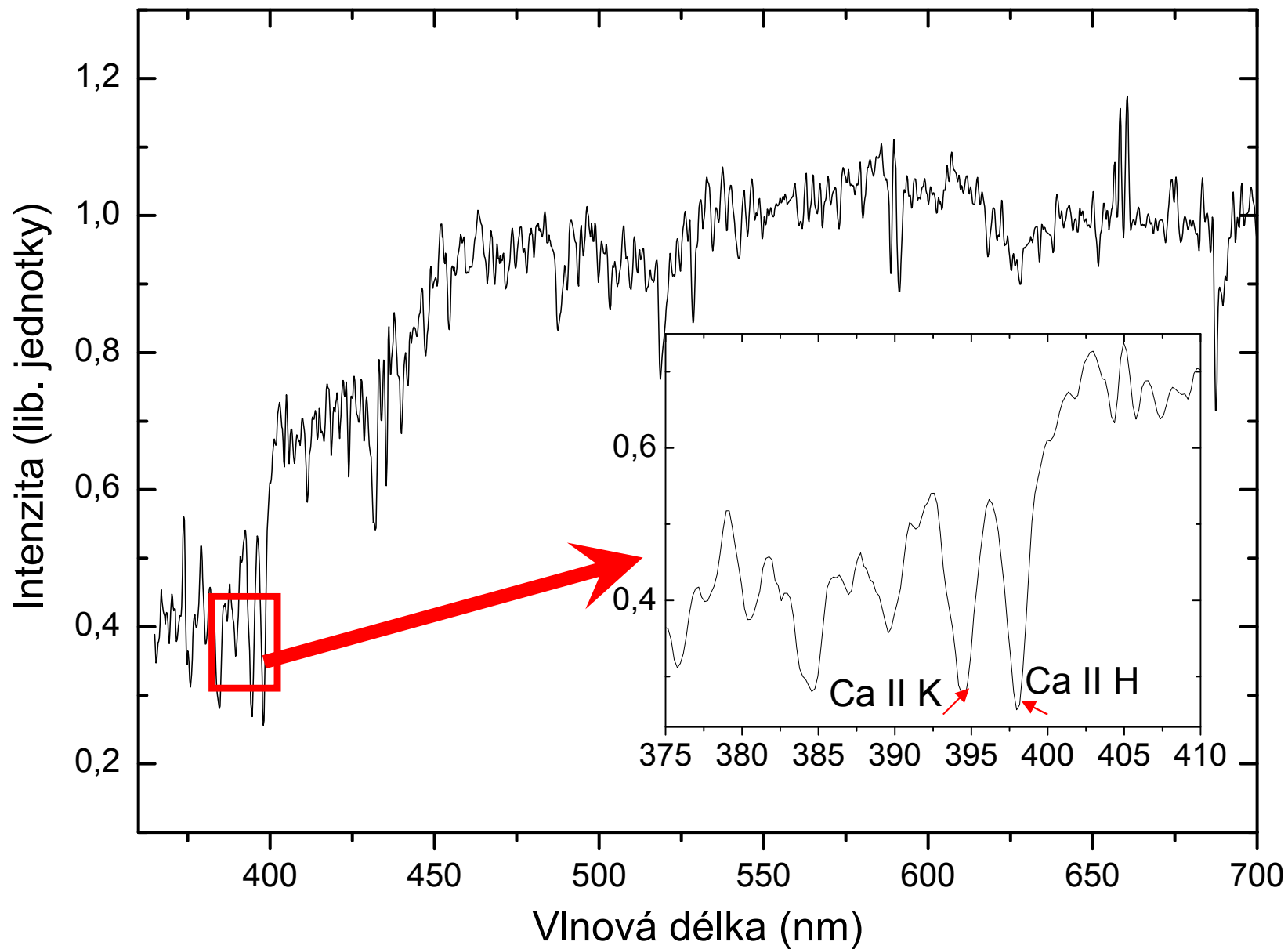
- identifikace charakteristických emisních respektive absorpčních čar ve spektrech galaxií
- proměňování rudého posuvu $\Delta\lambda$
- výpočet $\Delta\lambda = \lambda_p - \lambda_l$, $z = \Delta\lambda / \lambda_l$
- stanovení vzdálenosti $r = \frac{cz}{H}$, $H = 72 \text{ km/s/Mpc}$

$$\lambda_p = \lambda_l (z + 1)$$

$$v = c \frac{(1+z)^2 - 1}{(1+z)^2 + 1}$$

Spektrum galaxie NGC 3368

NGC 3368



Určování vzdáleností galaxií

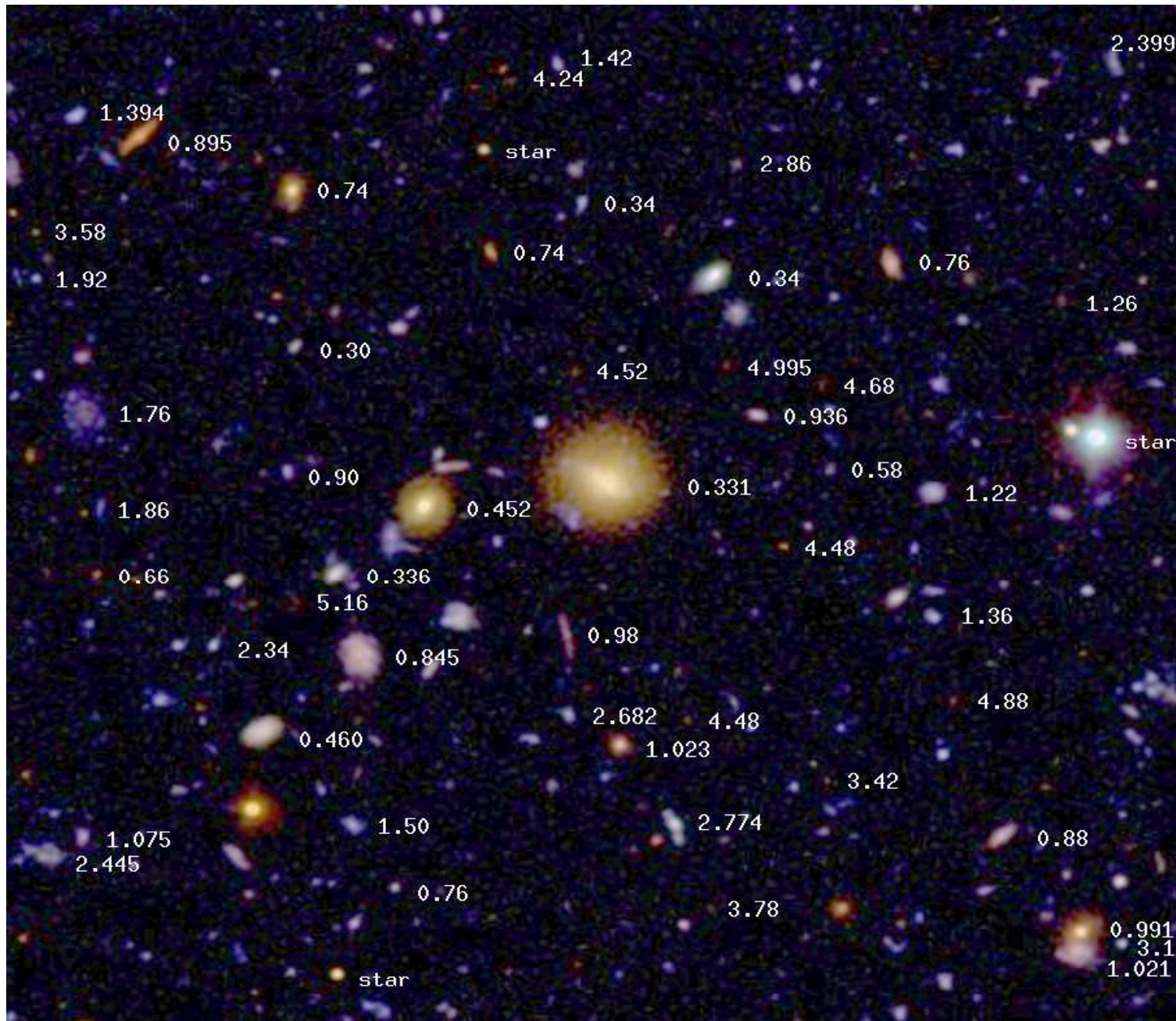
laboratorní vlnové délky

Galaxie (NGC)	r (Mpc)	Ca II K λ_0 393.37 nm				Ca II H λ_0 396.85 nm				r (Mpc)
		$\lambda_{\text{měř}}$ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	v (km/s)	r (Mpc)	$\lambda_{\text{měř}}$ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	v (km/s)	r (Mpc)	
3368	12	394.52	1.15	880	12	398.03	1.18	890	12	12
3623	11	394.27	0.90	690	9	397.85	1.00	760	10	10
3941	12	394.56	1.19	910	12	397.99	1.14	860	11	12
4472	18	394.90	1.53	1170	16	397.83	0.98	740	10	16
3303	84	401.30	7.93	6050	81	405.45	8.60	6500	87	84
4889	86	401.88	8.51	6490	87	405.67	8.82	6670	89	88

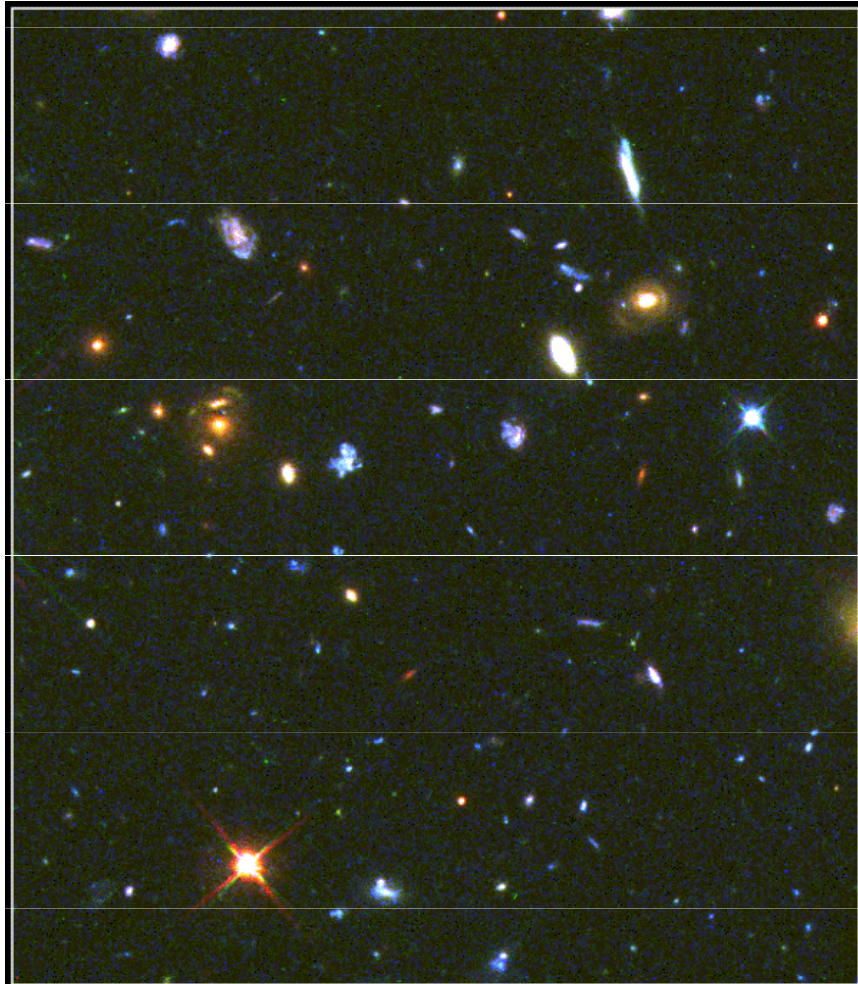
katalogová vzdálenost

výsledná určená hodnota

• Hubbleův zákon - určování vzdáleností ve vesmíru



Modré galaxie

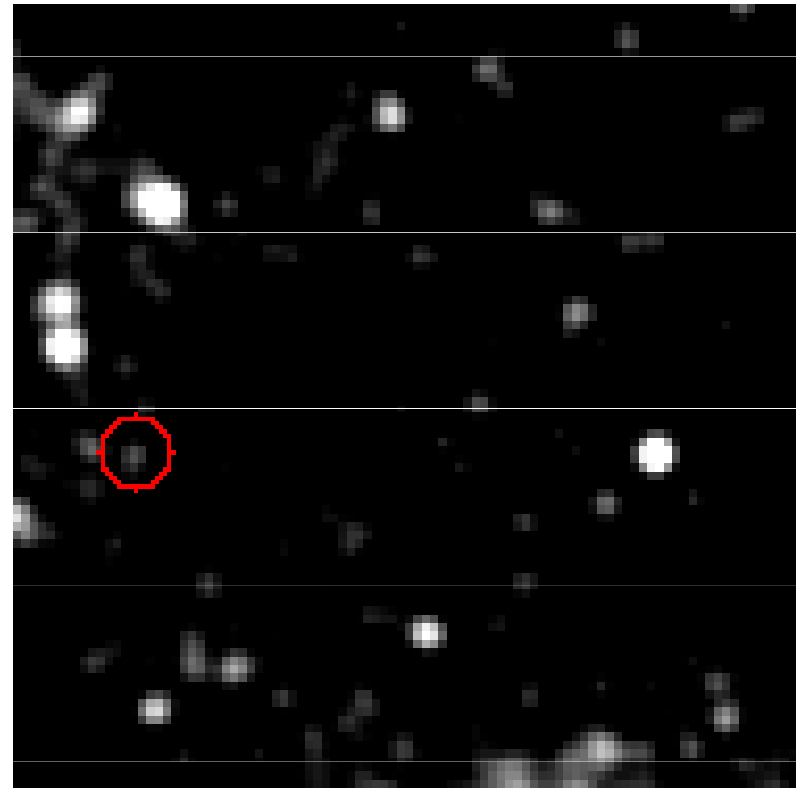


Irregular Blue Galaxies

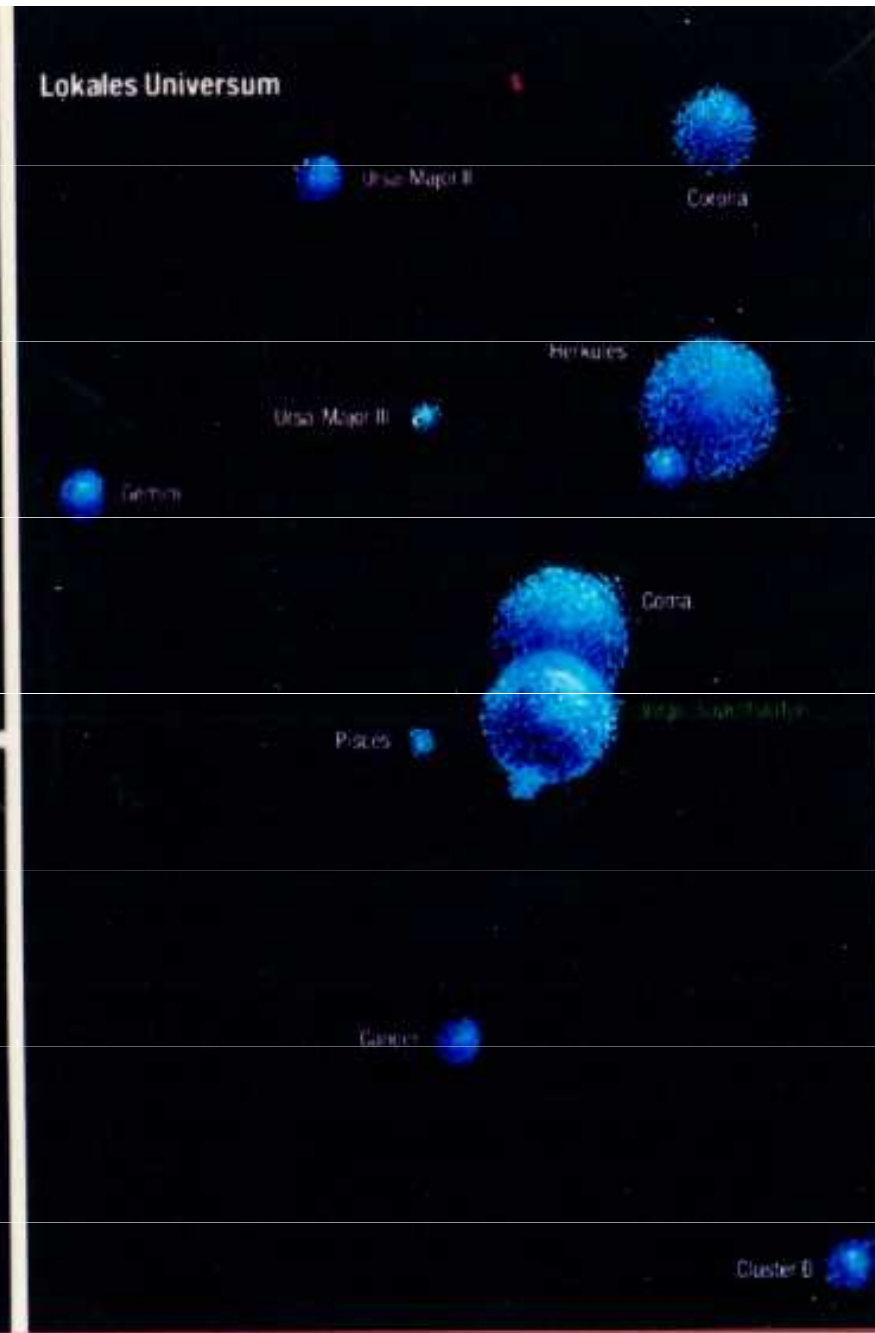
HST · WFPC2

PRC95-08b · ST ScI OPO · July 24, 1995

R. Windhorst (AZ State Univ.), NASA



Místní skupina galaxií

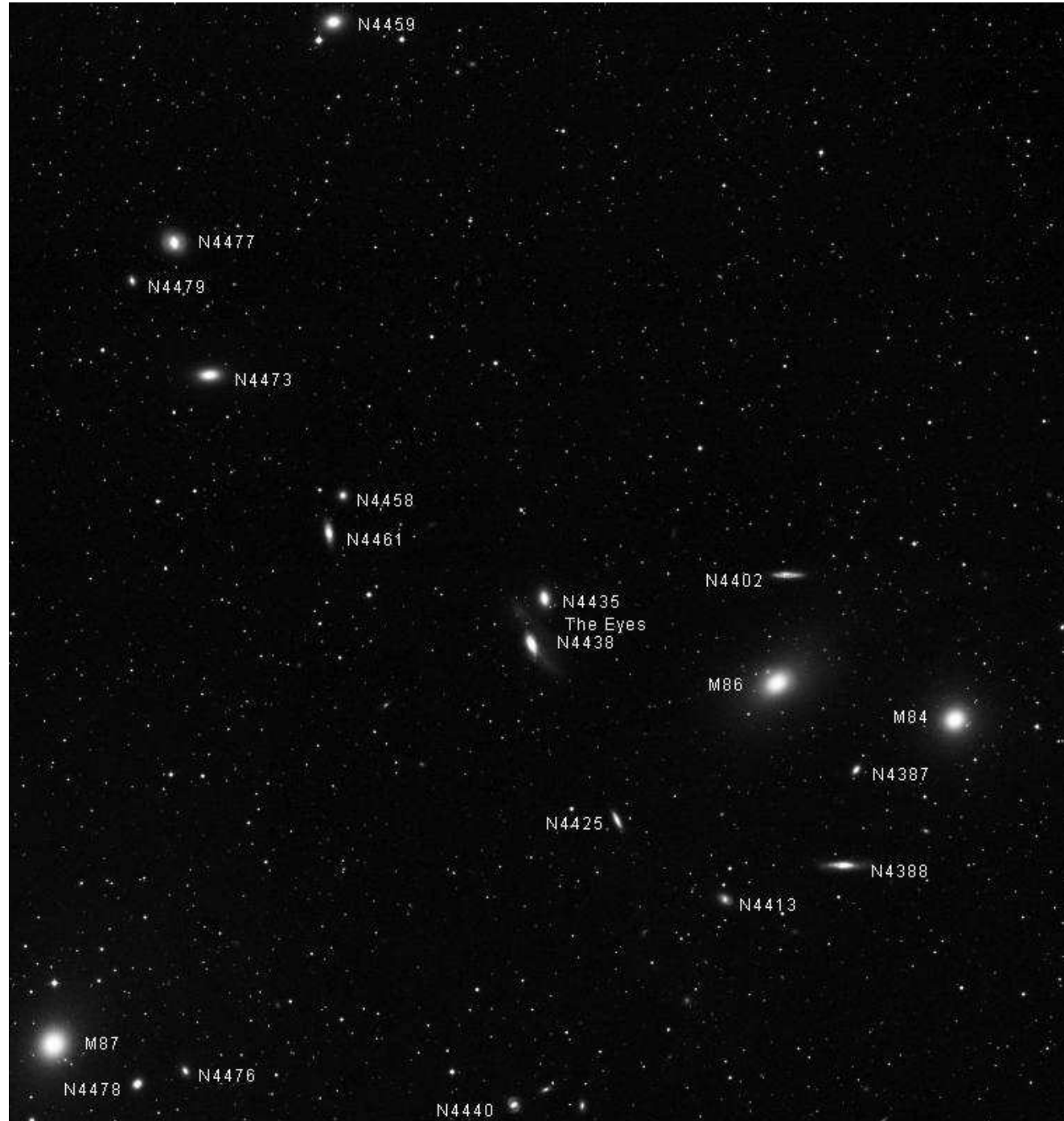


Místní skupina galaxií

GALAXIE LOKÁLNEJ SKUPINY						
Meno	Rekt. (2000,0) h m	Dekl. ° ' "	Hubbleov typ	Zdanl. mag. modrá	Vzdial. (10 ⁶ ly)	Priemer (10 ³ ly)
WLM	0 02.0	-15 28	Ir	11.3	2.0	7
IC10	0 20.3	+59 19	Ir	11.7	4.0	6
NGC 147	0 33.1	+48 31	E5	10.4	2.2	10
Androméda III	0 35.3	+36 31	E5	-	2.2	3
NGC 185	0 38.9	+48 20	E3	10.1	2.2	6
NGC 205	0 40.3	+41 41	E5	8.6	2.2	10
M 32	0 42.7	+40 52	E2	9.0	2.2	5
M31	0 42.7	+41 16	Sb	4.4	2.2	200
Androméda I	0 45.7	+38 00	E3	14.4	2.2	2
SMC	0 52.7	-72 54	Ir	2.8	0.3	15
Sochár	0 59.9	-33 42	E3	9.1	0.2	1
Ryby	1 03.7	+22 03	Ir	15.5	3.0	0.5
IC 1613	1 04.9	+2 07	Ir	10.0	2.5	12
Androméda II	1 16.3	+33 25	E2	-	2.2	2
M33	1 33.9	+30 39	Sc	6.3	2.5	45
Pec	2 39.6	-34 31	E3	8.5	0.5	3
LMC	5 23.6	-69 47	Ir	0.6	0.2	20
Kýl	6 41.7	-50 58	E4	-	0.3	0.5
Lev A	9 59.4	+30 45	Ir	12.7	5.0	7
Lev I	10 08.5	+12 18	E3	11.8	0.6	1
Sextant I	10 12.8	-1 41	E	-	0.3	3
Lev II	11 13.5	+22 10	E0	12.3	0.6	0.5
GR8	12 59.2	+14 09	Ir	14.6	4.0	0.2
Malý voz	15 08.8	+67 07	E5	-	0.3	1
Drak	17 20.2	+57 55	E3	-	0.3	0.5
Mliečna cesta	17 45.7	-29 00	Sbc	-	0.03	130
SagDIG	19 30.0	-17 41	Ir	15.6	4.0	5
NGC 6822	19 44.9	-14 46	Ir	9.3	1.7	8
DDO 210	20 47.0	-12 51	Ir	15.3	3.0	4
IC 5152	22 02.9	-51 17	Ir	11.7	2.0	5
Tukan	22 41.9	-64 25	-	-	-	-
Pegas	23 28.6	+14 46	Ir	12.4	5.0	8

Hubbleov typ: S - špirálovitá, E - eliptická, Ir - nepravidelná galaxia
 Vzďalenosť a priemer Mliečnej cesty sú vzhľadom na galaktický stred
 v súhvezdí Strelca

Kupa galaxií v Panně



Hubbleovo hluboké pole

Hubble Deep Field

The image shows a vast field of galaxies, including spiral, elliptical, and irregular shapes, scattered across a dark background. The galaxies are of various colors, including yellow, orange, red, and blue. The text "Hubble Deep Field" is written in yellow in the upper left corner.

přes 800 expozičních snímků,
v čase více než 240 hodin

Hubbleovo hluboké pole

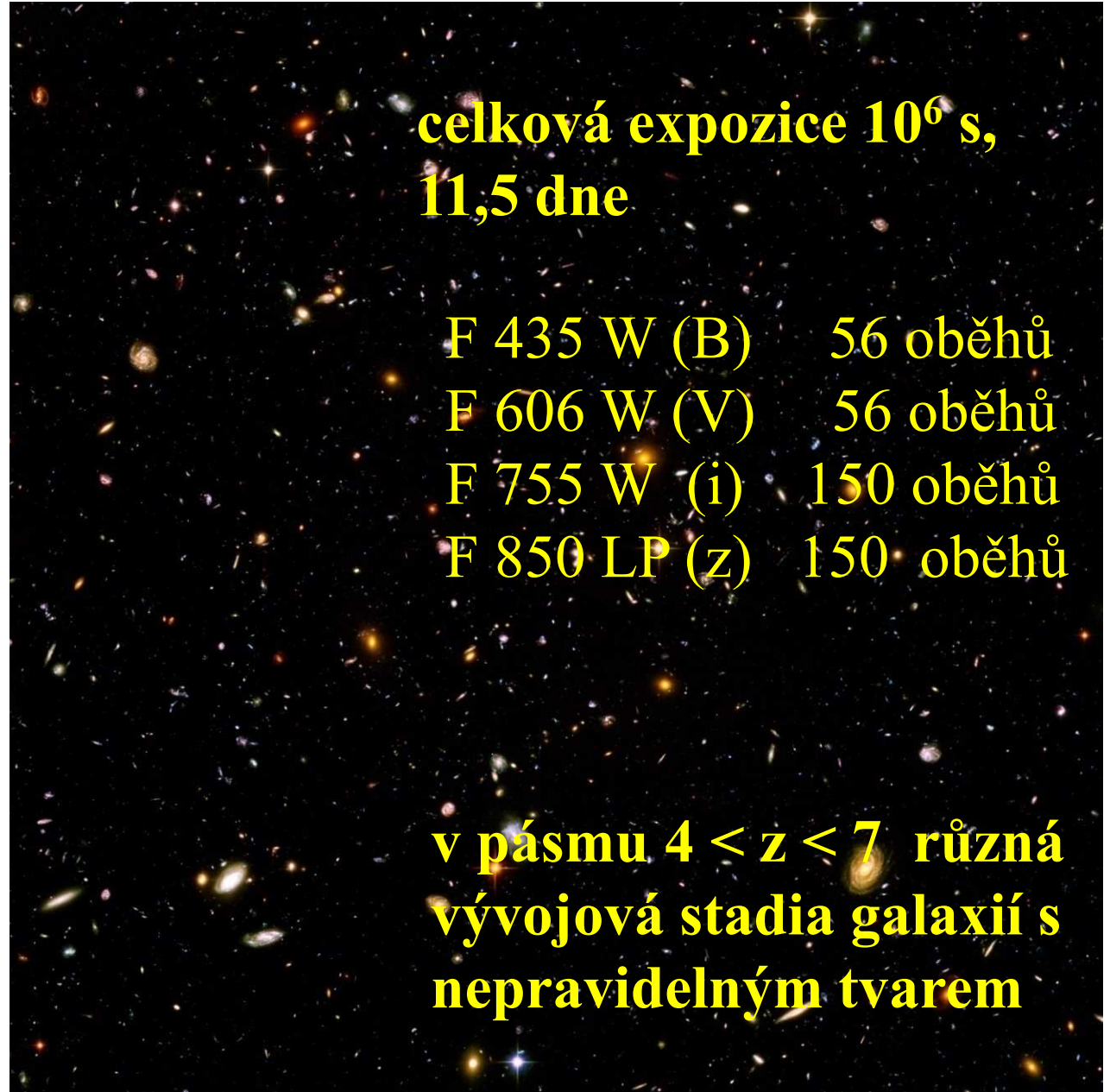
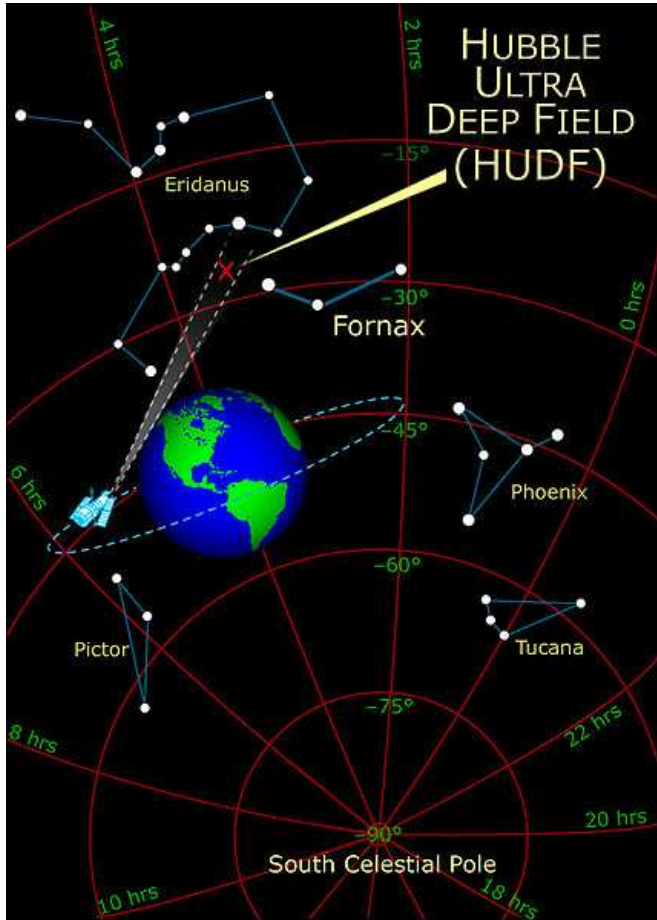


Hubbleovo hluboké pole



www.spacetelescope.org

Hubbleovo extrémně vzdálené pole galaxií v souhvězdí Pece r. 2003 - 2004



**celková expozice 10^6 s,
11,5 dne**

F 435 W (B)	56 oběhů
F 606 W (V)	56 oběhů
F 755 W (i)	150 oběhů
F 850 LP (z)	150 oběhů

11 čtv.arcmin, 10 000 objektů
mez. hvězd.velikost - 29 mag

**v pásmu $4 < z < 7$ různá
vývojová stadia galaxií s
nepravidelným tvarem**

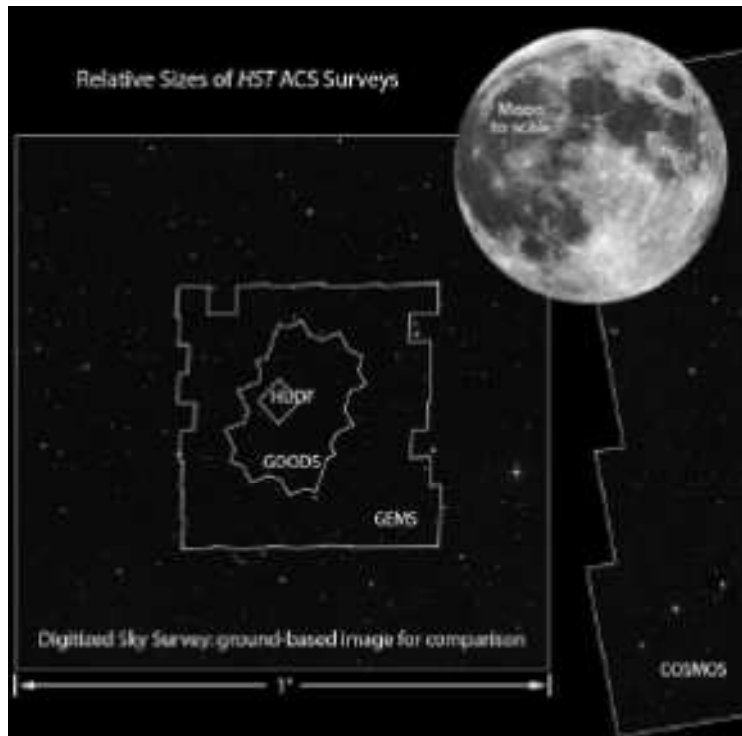
Hubbleovo extrémně vzdálené pole galaxií v souhvězdí Pece r. 2003 - 2004



Hubbleovo extrémně vzdálené pole galaxií v souhvězdí Pece r. 2003 - 2004



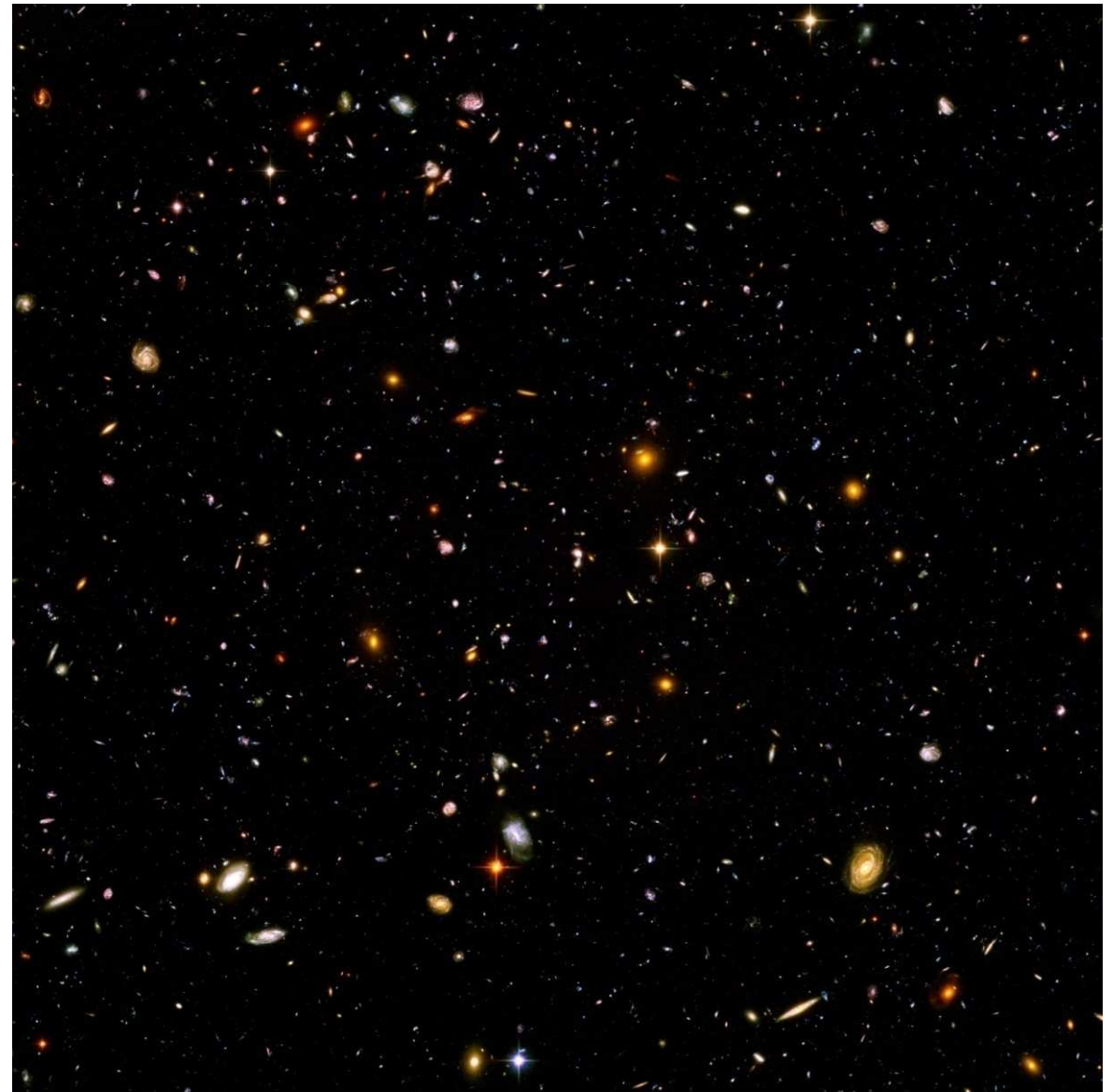
Hubbleovo extrémně vzdálené pole galaxií



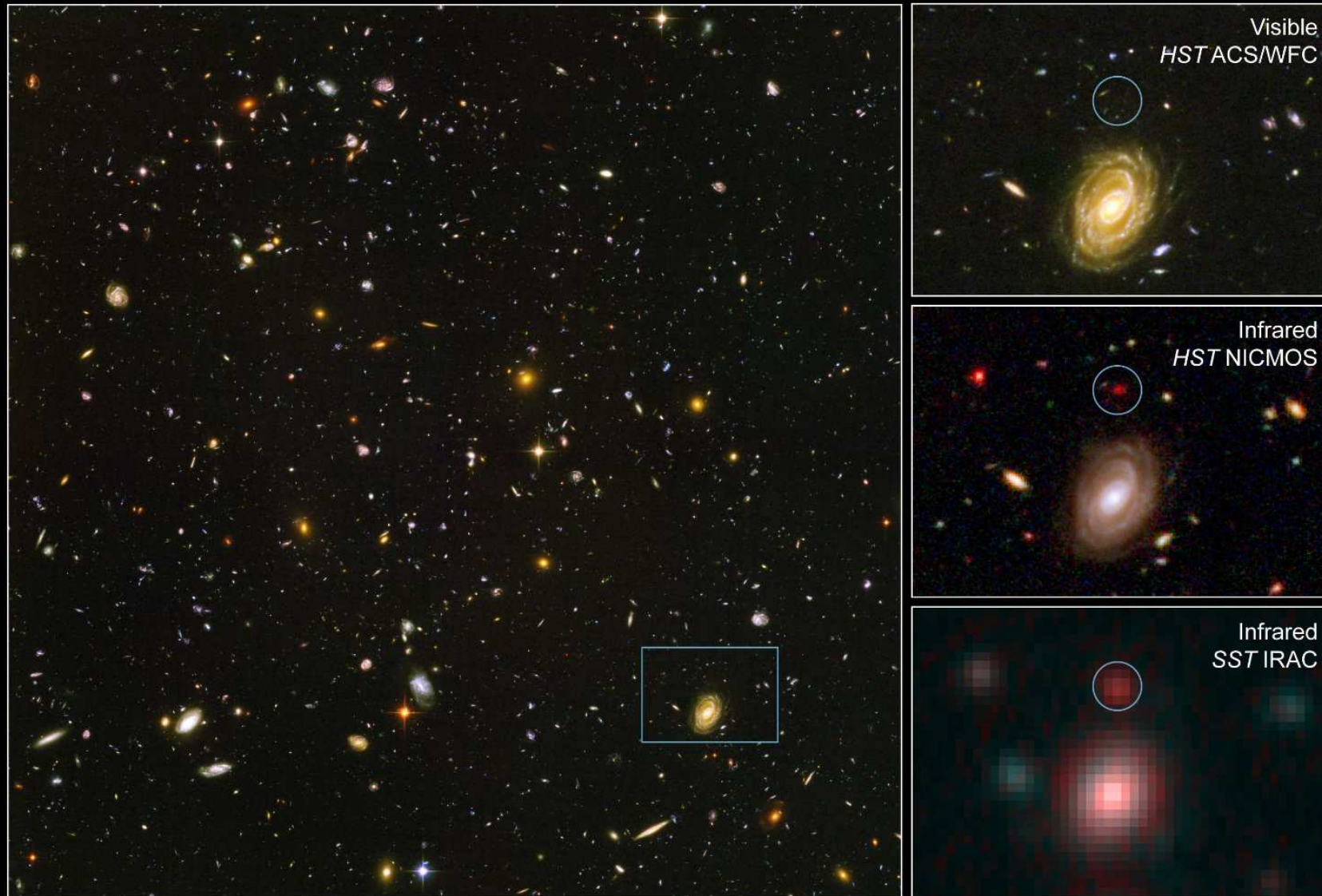
HUDF FIELD CHARACTERISTICS

Characteristic	Value
Field center	
R.A.	3 32 39.0
Decl.	-27 47 29.1
l	223°6
b	-54°4
Ecliptic latitude	-45°2
Size	200" × 200"
Area	11.0 arcmin ²
Position angle	~42°
$E(B - V)$	0.008
H I column density	$7.9 \times 10^{19} \text{ cm}^{-2}$
Radio sources	Two 300 mJy (365 MHz) at ~10'
	One 1 Jy (408 MHz) at 51'

NOTE.—Units of right ascension are hours, minutes, and seconds, and units of declination are degrees, arcminutes, and arcseconds.



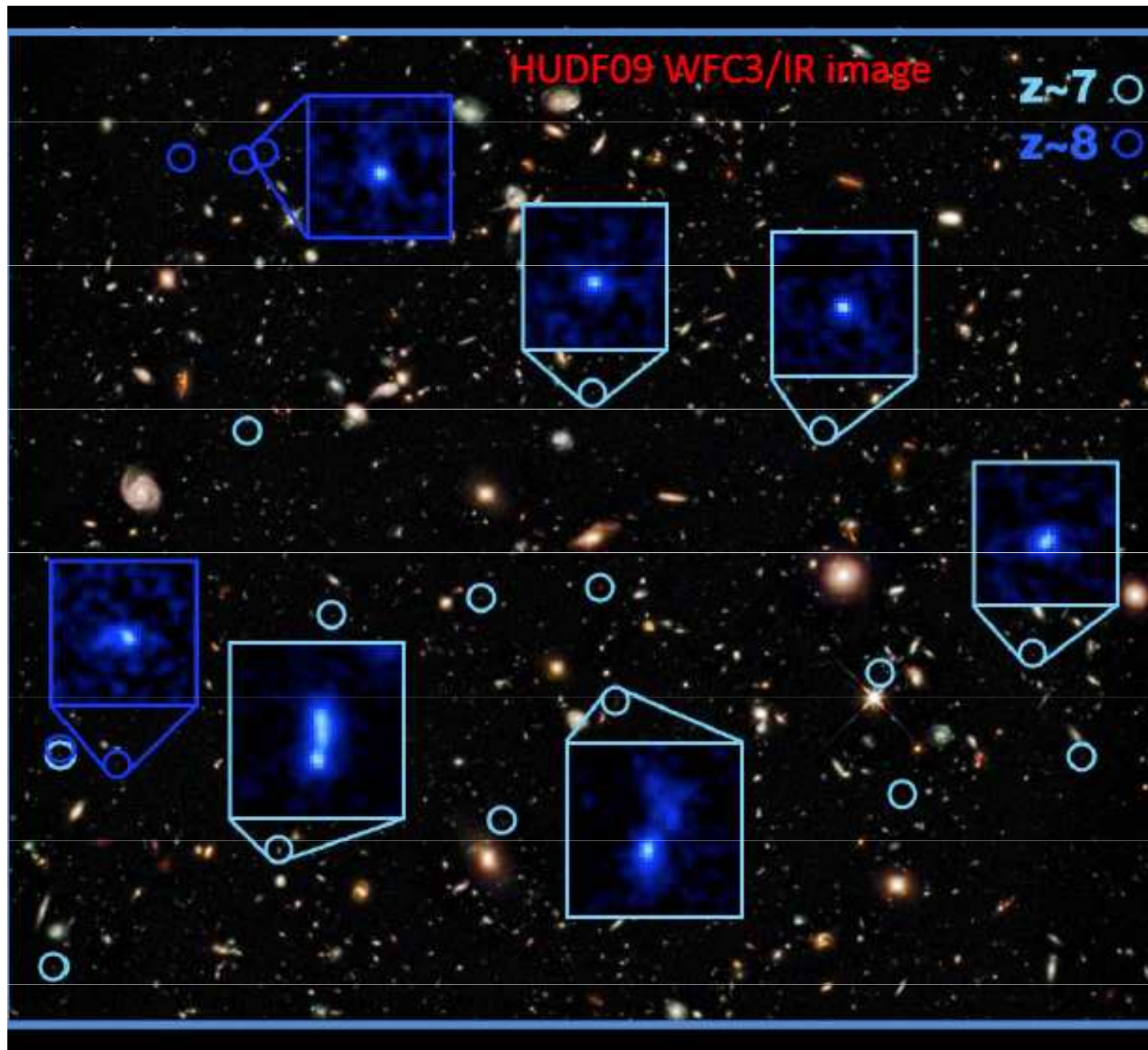
Vzdálená galaxie $z \sim 6,5$ v HUDF



Distant Galaxy in the Hubble Ultra Deep Field • HUDF-JD2

Hubble Space Telescope ■ ACS/ WFC

Hubbleovo extrémně hluboké pole galaxií



examples of the 16 redshift $z \sim 7$ sources and 5 $z \sim 8$ galaxies we found in the HUDF with the WFC3/IR and the ACS.

(Bouwens et al and Oesch et al papers)

these galaxies are seen just 600-800 million years from the big bang

very competitive arena: three other teams have reported similar results at $z \sim 7-8$ (Bunker et al; McLure et al; Yan et al)