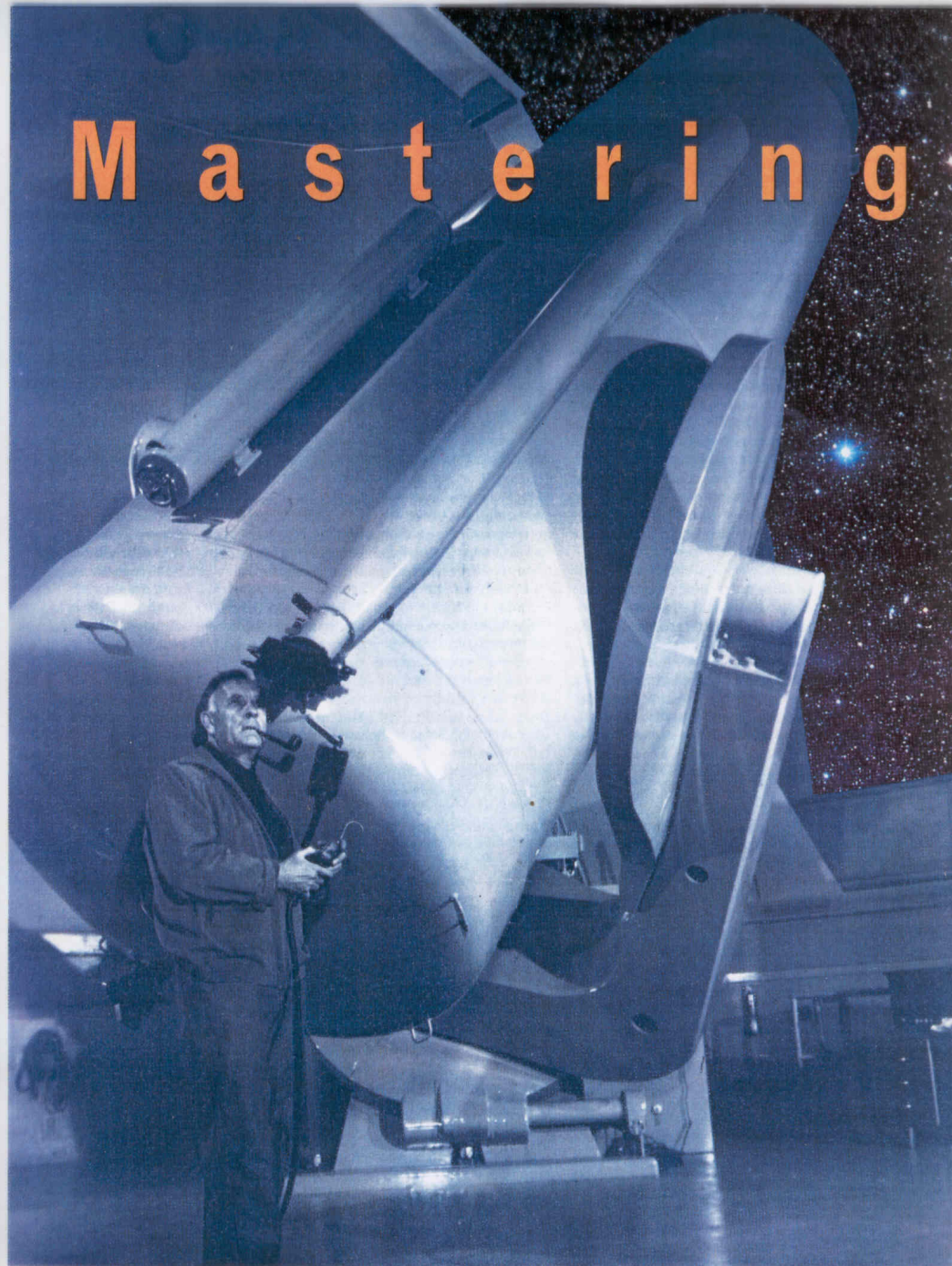


VANGALAKTIČKA ASTRONOMIJA

Velika debata 1920 godine

- **1920:** [Kurtis-Šepi javna debata](#) "Da li su spiralne magline ostrvski univerzumi" (Kurtis je bio za, Šepi protiv). Šepi je "pobedio" u debati, iako je Kurtis bio u pravu.
 - Šepi - glavni argument: da je maglina Andromeda stvarno velika kao Mlečni put (~100 kpc), onda njene ugaone dimenzije ($3^\circ \times 1^\circ$) sugerišu toliko veliko rastojanje (2 Mpc) da je posmatrana "nova" u Andromedi mnogo mnogo većeg sjaja nego bilo šta posmatrano u Mlečnom putu.
 - Kurtis: nove su pokazale da su spiralne magline udaljene barem 150kpc kako bi imale istu luminoznost kao i galaktičke nove, a njihove doplerovske brzine (>500-1000 km/s) sugerišu da ne mogu ostati gravitaciono vezane za našu Galaksiju. A da su im transferzalne brzine isto toliko velike i da su deo naše Galaksije, mogli bismo da im izmerimo sopstveno kretanje (što nismo mogli a i dalje ne možemo).



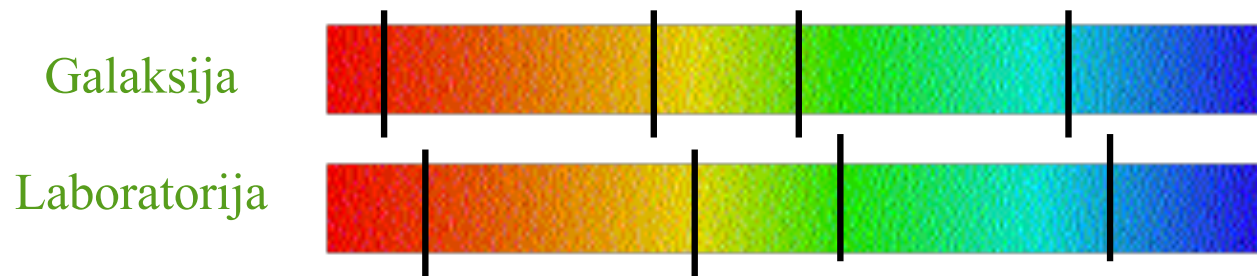
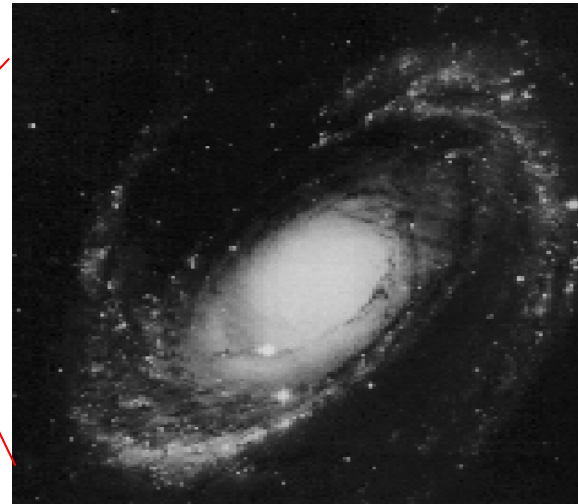
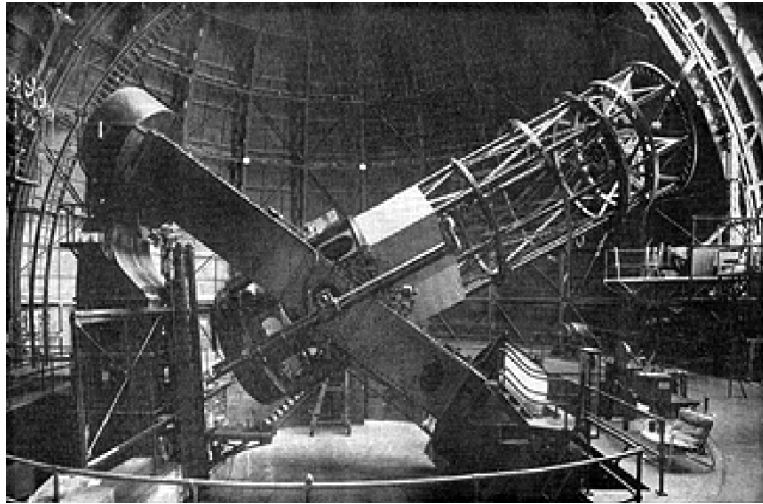
Edwin
Hubble
1924

Mt Wilson
2.5m

Cefeide u M31

procenjeno rastojanje
600kpc (pogrešno)

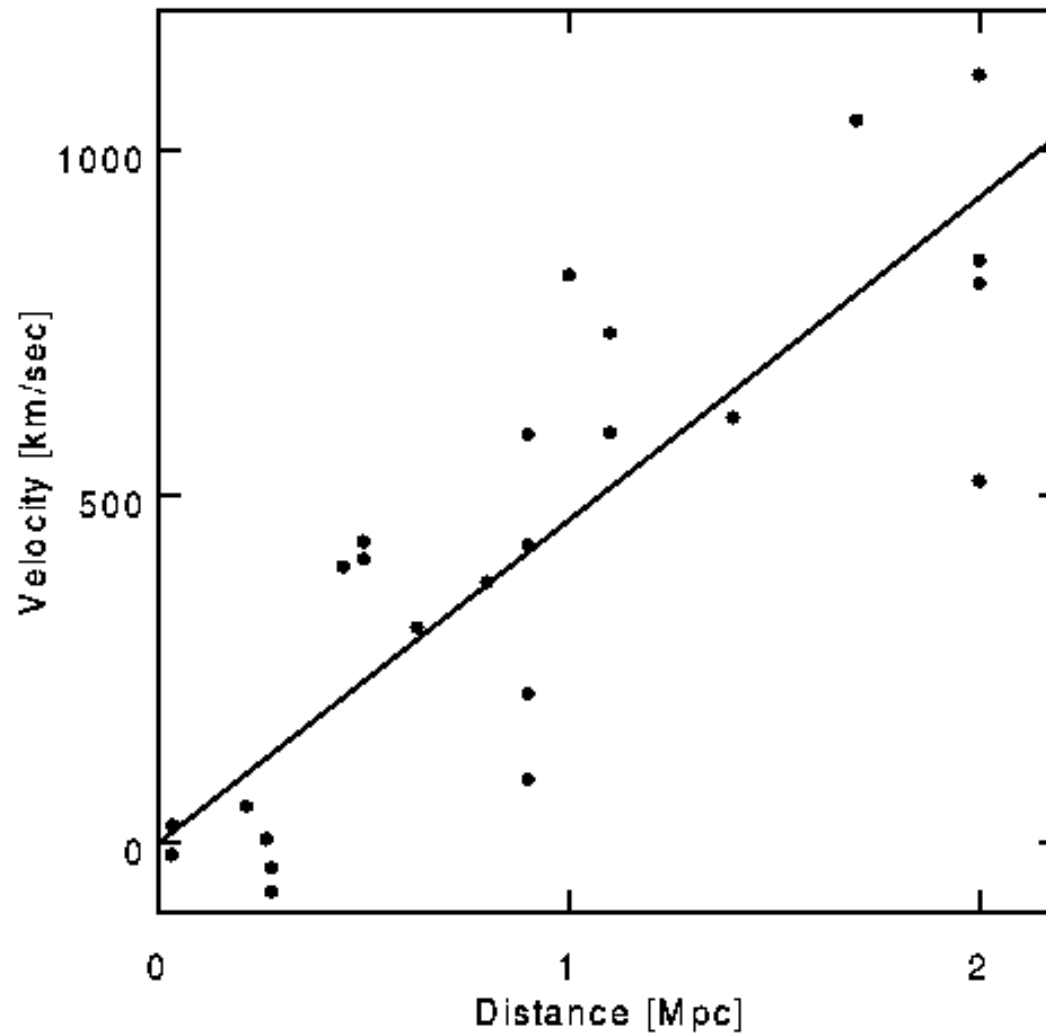
Tokom 1920-tih Hابل je merio spektre dalekih galaksija.



Otkrio je da većina galaksija pokazuje crveni pomak – **redshift**, korišćenjem **Doplerove formule** → galaksije se udaljavaju od nas.

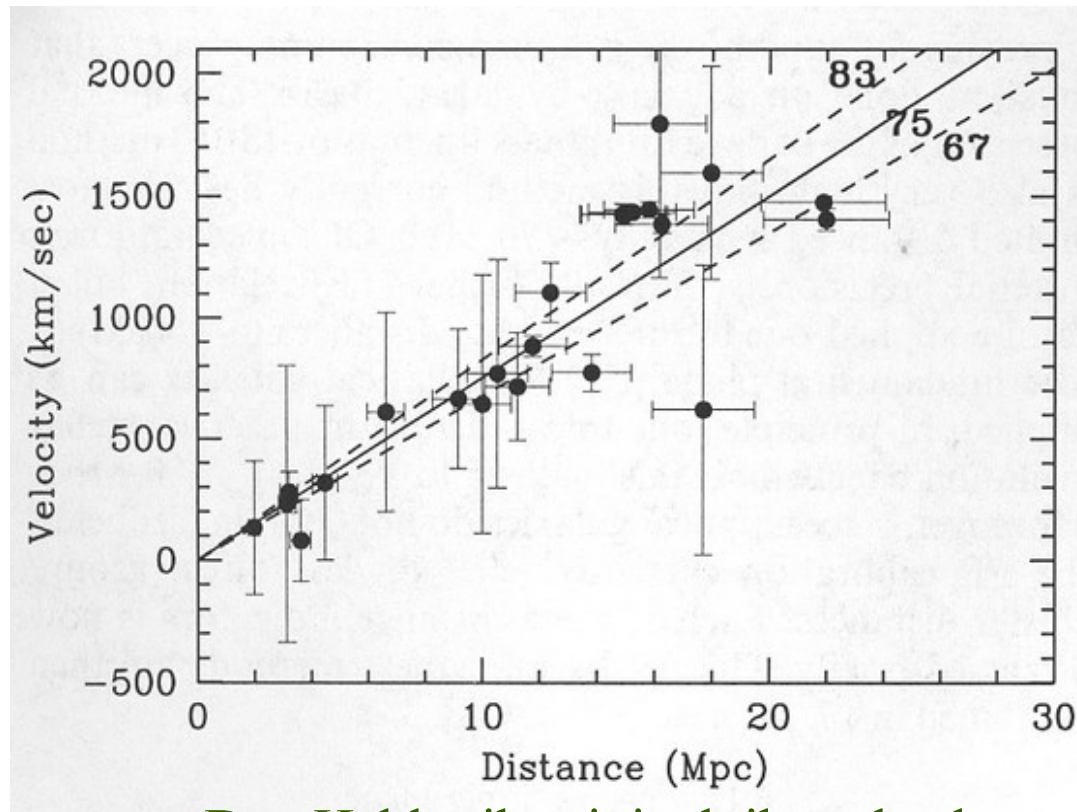
Hablov zakon (1929)

$$V_{\text{rad}} = H_0 \cdot D$$



Veza između rastojanja i brzine je poznata kao Hablov zakon:
 $V = H_0 * d$, gde je V - radijalna brzina, d - rastojanje, a H_0 - Hablova konstanta (jedinica za vreme) govori kako se brzo svemir širi, predstavlja sadašnju brzinu širenja vasiona.

$H_0^{-1} = \text{Hablovo vreme} \longrightarrow$ vremenska skala *starosti* svemira



V [km/s]
 d [Mpc]
 $1 \text{ Mpc} = 10^6 \text{ pc}$
 $1 \text{ pc} = 3,26 \text{ sg}$
 $1 \text{ sg} = 9,46 * 10^{12} \text{ km}$
 $1 \text{ pc} = 3,08 * 10^{13} \text{ km}$
 $1 \text{ pc} = 206265 \text{ AJ}$
 $1 \text{ AJ} = 1,49 * 10^8 \text{ km}$
 $H_0 = 50 - 100 \text{ [km/sMpc]}$
 $H_0 = 75 \text{ [km/ s Mpc].}$

Deo Hablovih originalnih podataka

Hablova konstanta

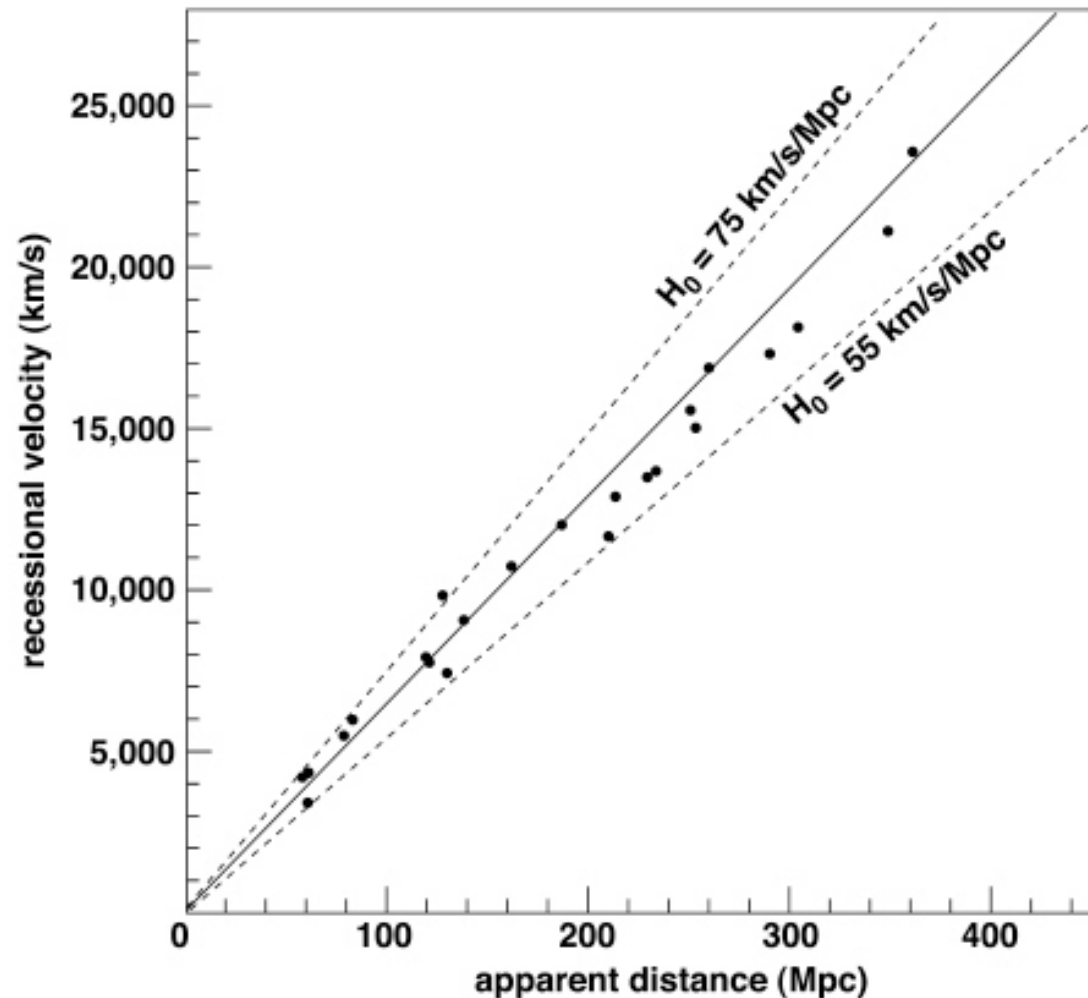
u početku

H_0 [50-100]
km/s/Mpc

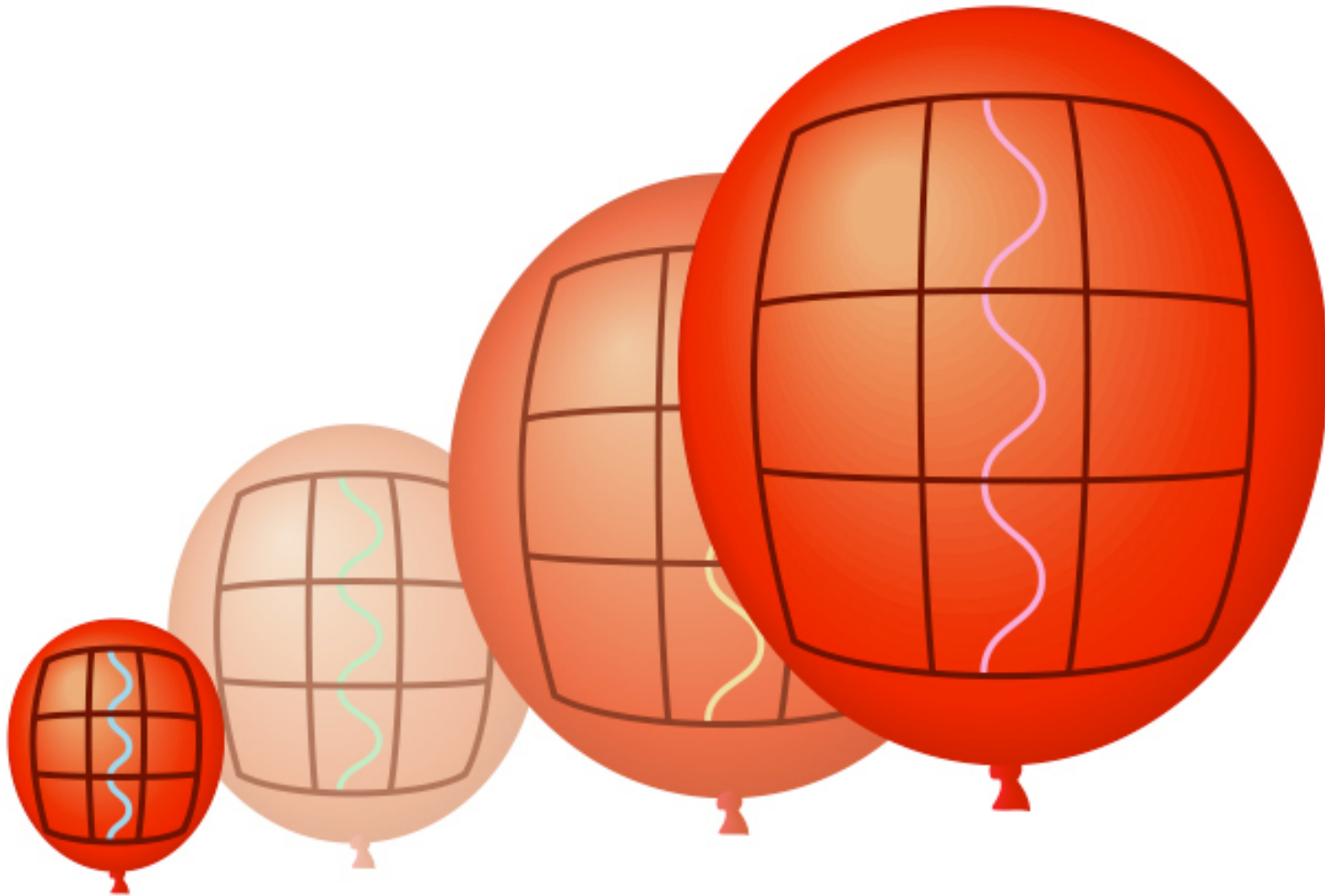
poslednje

merenje:

67.80 ± 0.77
(km/s)/Mpc

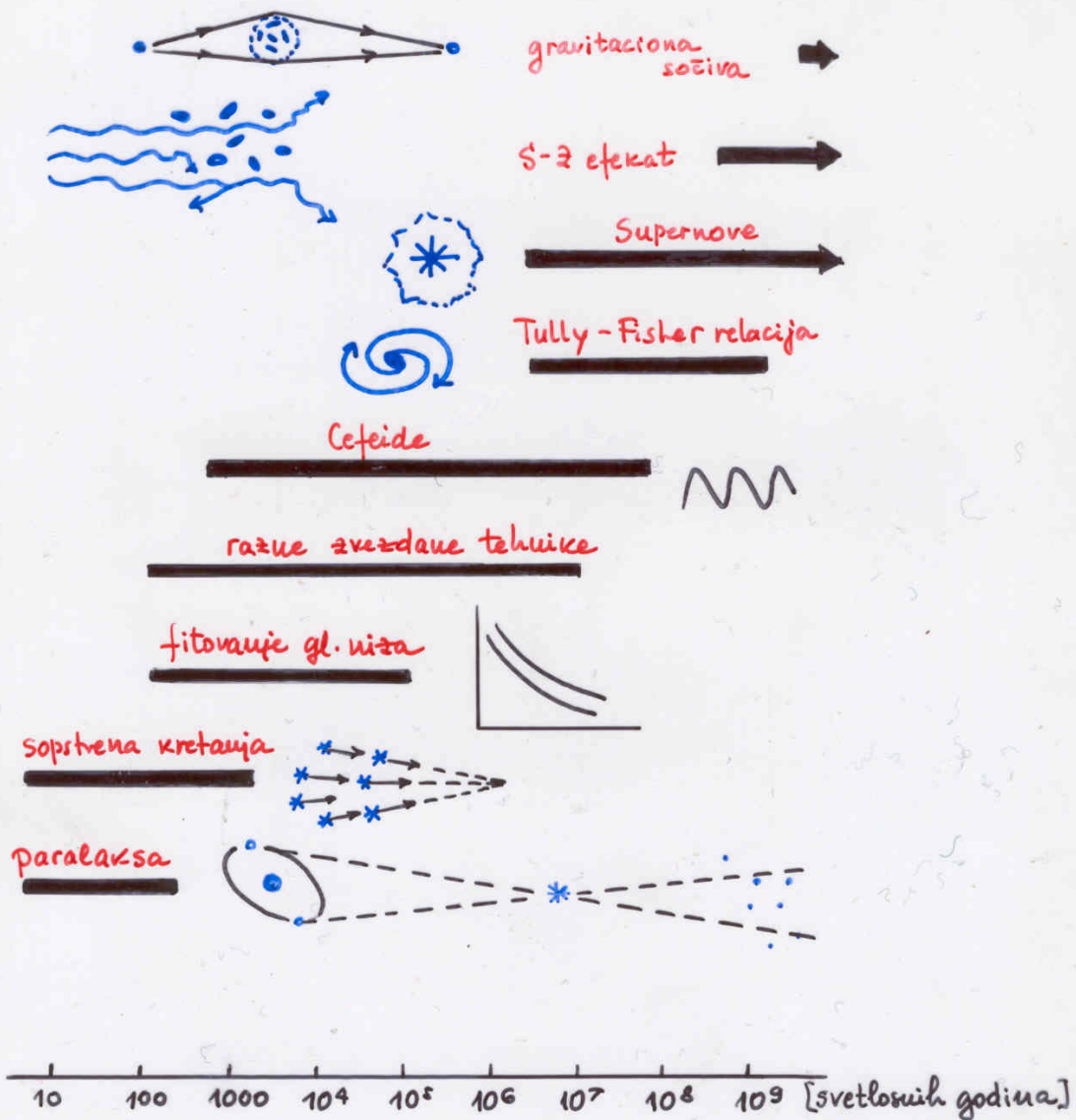


Kosmološki crveni pomak



Copyright © Addison Wesley

LESTVICA RASTOJANJA



α Centauri

Hijade

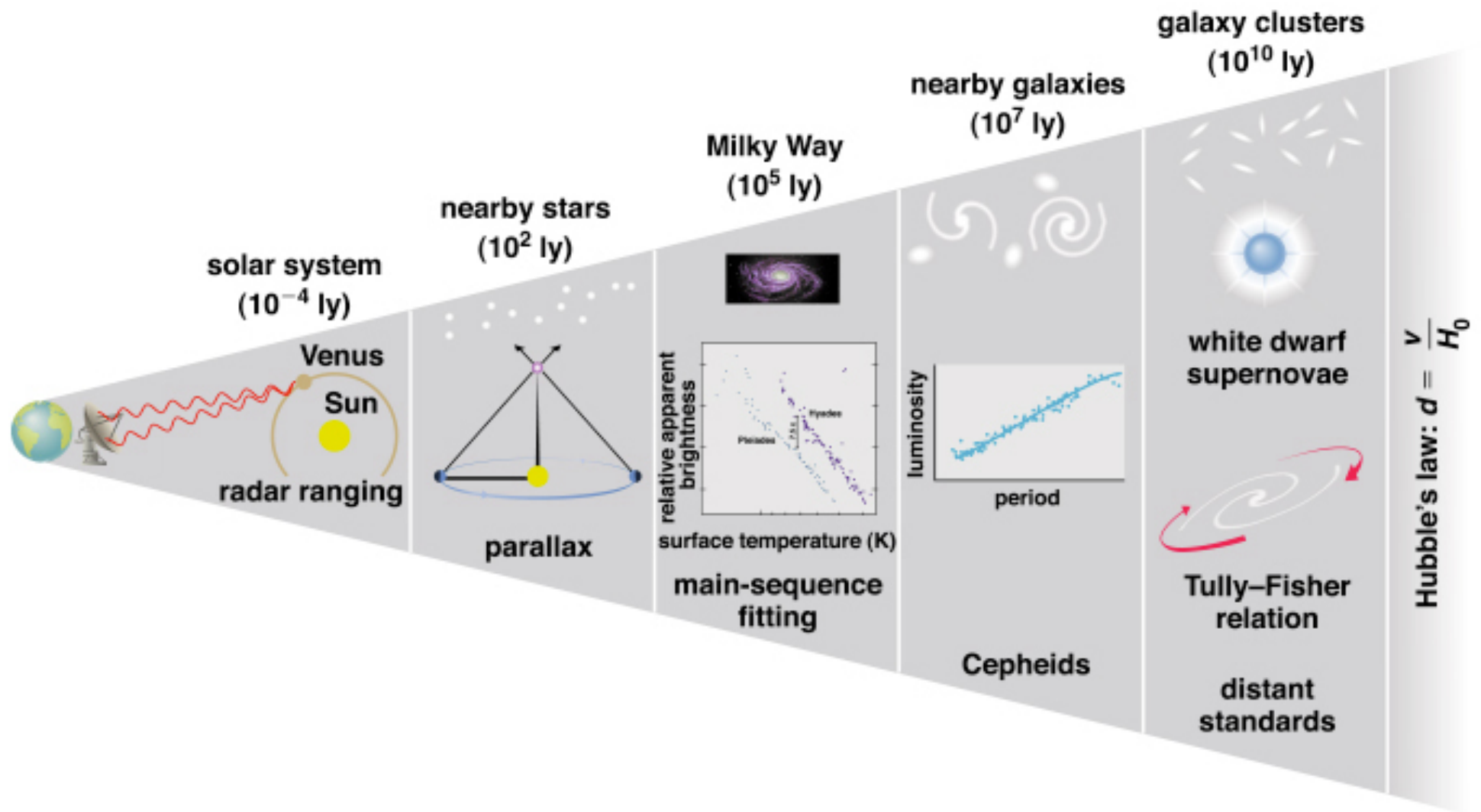
Magelanski oblaci

M31

M101

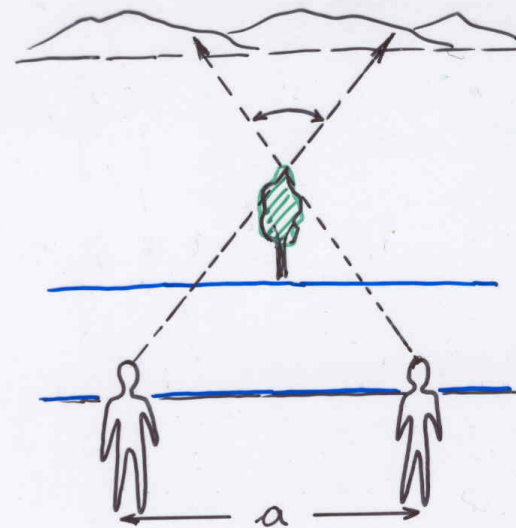
Virgo jato

Coma jato

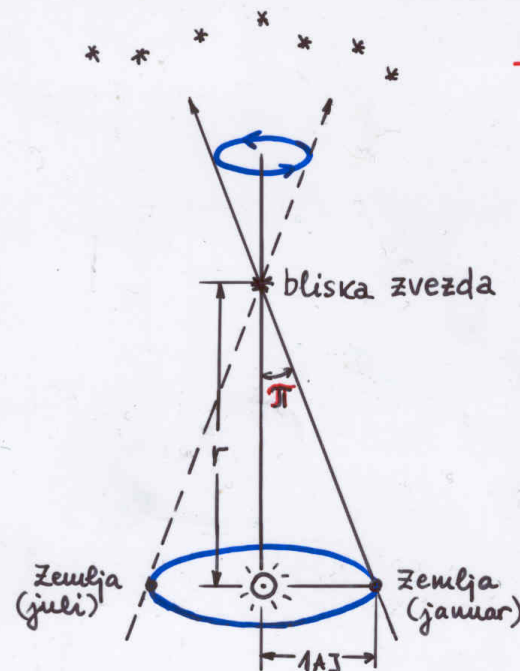


Metod trigonometrijske paralakse

METOD TRIGONOMETRIJSKE PARALAKSE



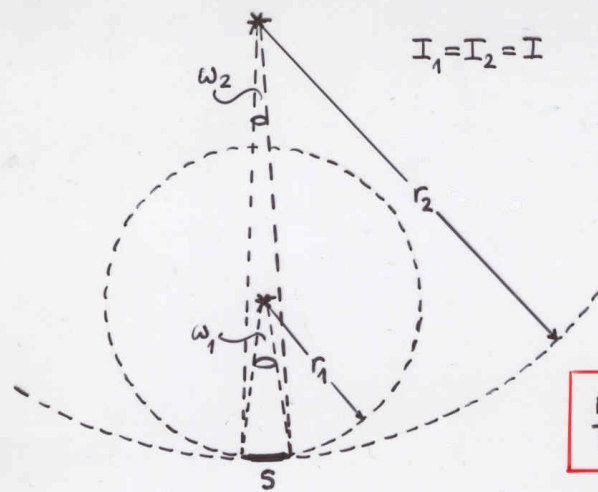
PARALAKSA = PRIVIDNO
POMERANJE POSMATRANOG
OBJEKTA USLED
PROMENE U POLOŽAJU
POSMATRAČA



GODIŠNJA PARALAKSA
ZVEZDE (π)

$$r [\text{pc}] = \frac{1}{\pi ["]}$$

$$1 \text{ pc} = 3.26 \text{ sv. god.}$$



STANDARDNE SVEĆE

$$F_1 = I\omega_1 = I \frac{S}{r_1^2}$$

$$F_2 = I\omega_2 = I \frac{S}{r_2^2}$$

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

$$\frac{r_2}{r_1} = \sqrt{\frac{F_1}{F_2}}$$

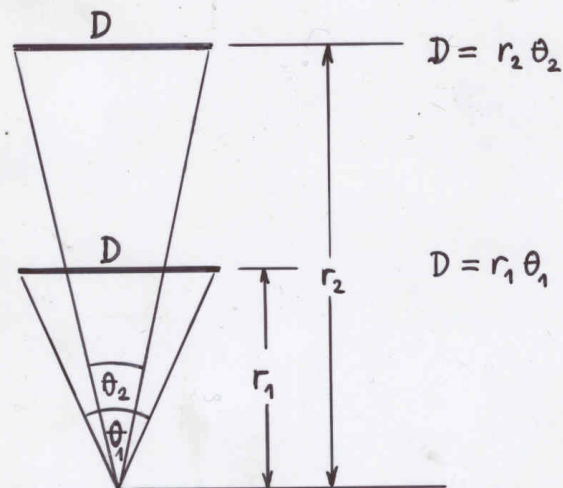
Pogsonov zakon : $m_1 - m_2 = 2.5 \log \frac{F_2}{F_1} = 5 \log \frac{r_1}{r_2}$

$$r_1 = 10 \text{ pc}, m_1 = M$$

$$r_2 = r, m_2 = m$$

$$M = m + 5 - 5 \log r$$

STANDARDNI LENJIRI



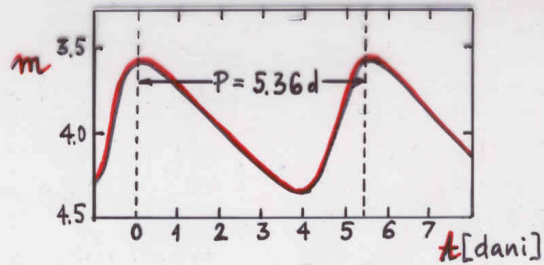
$$D = r_2 \theta_2$$

$$D = r_1 \theta_1$$

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{\theta_1}{\theta_2}$$

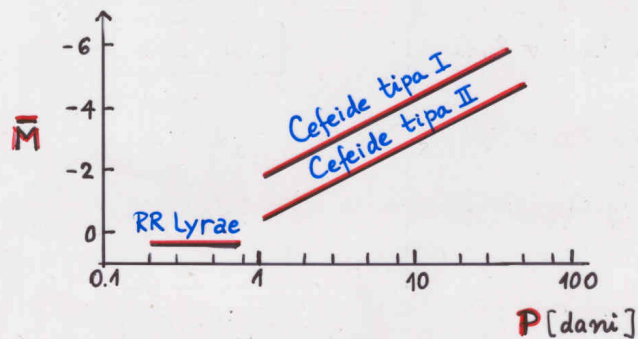
$$r = \frac{D}{\theta}$$

METOD CEFEIDA



Kriva sjaja zvezde δ Cephei

H. Leavitt (1912) : $\bar{m} - \log P \rightarrow \bar{M} - \log P$ ($\bar{M} = \underline{a} + b \cdot \log P$)



Relacija 'period - sjaj'

za RR Lyrae : $\bar{M} \approx +0.5$

za Cefeide tipa I : $\bar{M} = -1.5 - 1.74 \log P$

za Cefeide tipa II : $\bar{M} = -0.2 - 1.5 \log P$



$$\bar{M} = \bar{m} + 5 - 5 \log D$$



Standardne sveće ($M = m^{\text{cor}} + 5 - 5 \log D$)

- 1) Cefeide (do 5 Mpc, izuzetno HST-om do 15 Mpc)
- 2) sjajni crveni superdžinovci $M_V = -8^m$ (do 15 Mpc)
- 3) sjajni plavi superdžinovci $M_V = -9^m$ (do 25 Mpc)
- 4) najsjajnija globularna jata $M_V = -10^m$ (do 40 Mpc)
- 5) najsjajniji HII regioni $M_V = -12^m$ (do 90 Mpc)
- 6) SN tipa Ia $M_V = -18.6^m$ (do 250 Mpc)
- 7) najsjajnije spiralne gal. $M_V = -21^m$
- 8) relacija Tully-Fischer $L \propto v_{\text{rot}}^4$
- 9) relacija Faber-Jackson $L \propto v_{\text{dis}}^4$

Standardni lećjiri ($2R = \frac{D \cdot \theta''}{206265}$)

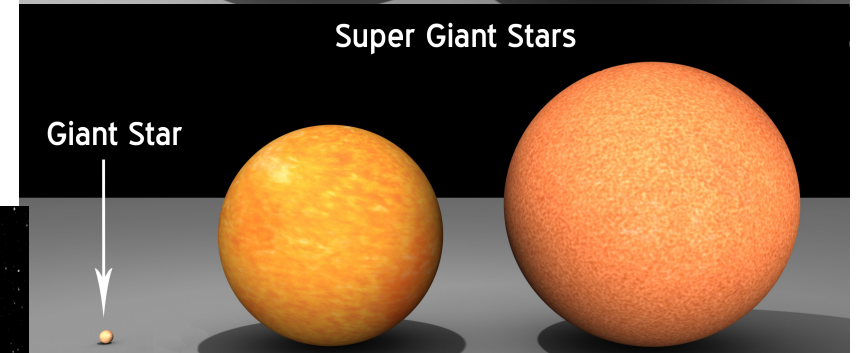
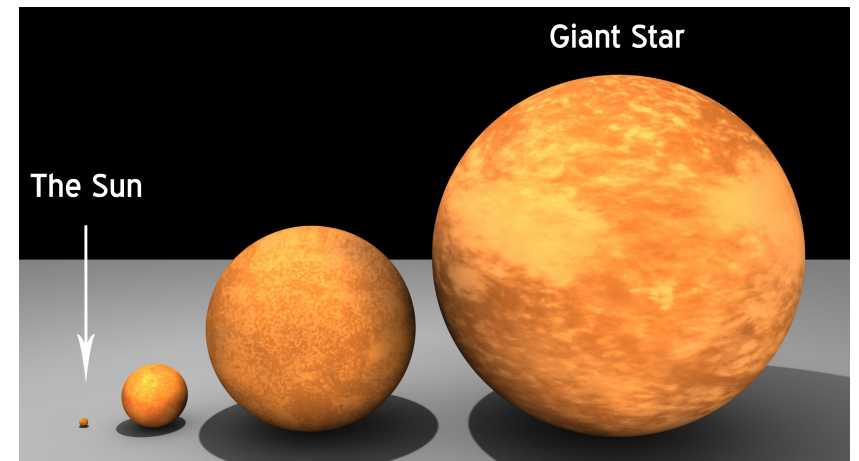
- 1) HII regioni
- 2) galaksije određene (morfološkog) tipa

Druge metode

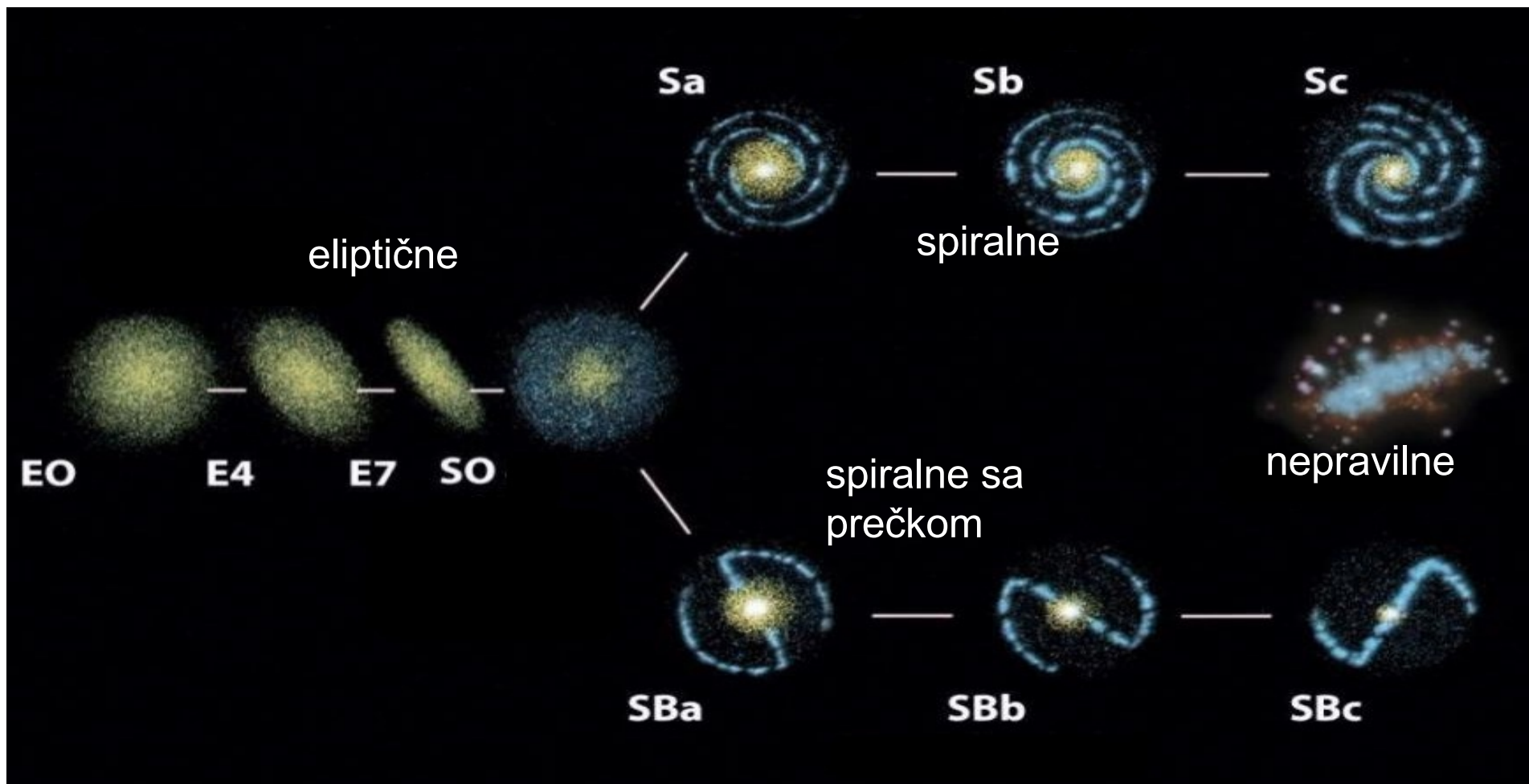
- 1) Sunyaev-Zel'dovich (S-Z) efekat
- 2) Efekat gravitacionog sočiva
- 3) Hubbleov zakon

Standardne sveće

1. Cefeide
2. Sjajni super džinovi
3. Globularna zvezdana jata
4. Vangalaktički H II regioni
5. SN Ia
6. Najsajnije spiralne galaksije



Hablova morfološka klasifikacija galaksija



- **Eliptične galaksije (E)** – homogeni, spororotirajući zvezdani sistemi u obliku troosnog elipsoida, E_n ; $n=10 \cdot (1-b/a)$; nemaju disk, sadrže uglavnom objekte Populacije II; mase - između 10^6 (patuljaste) i 10^{12} Sunčevih masa (džinovske)
- **Spiralne galaksije (S)** – imaju podsisteme (disk, jezgro i halo); sadrže i objekte Populacije I i II; mase od 10^{10} do 10^{11} mase Sunca
- **Diskolike galaksije (S0)** – imaju disk sa centralnim ispupčenjem, ali ne i spiralne grane
- **Nepravilne galaksije (I)** – sadrže najviše međuzvezdane materije i objekte Populacije I (najmanje mase i sjaja od svih galaksija)

Eliptične galaksije (E)

- Homogene, sporo rotirajuće, elipsoidne (E0-E7), nemaju disk, sadrže uglavnom objekte Populacije II, mase - između $10^6 M_s$ (patuljaste) i $10^{12} M_s$ (džinovske)
- Najbrojnije od svih tipova - male eliptične
- Najmasivnije od svih tipova – džinovske eliptične



E0

E2

E3

E4

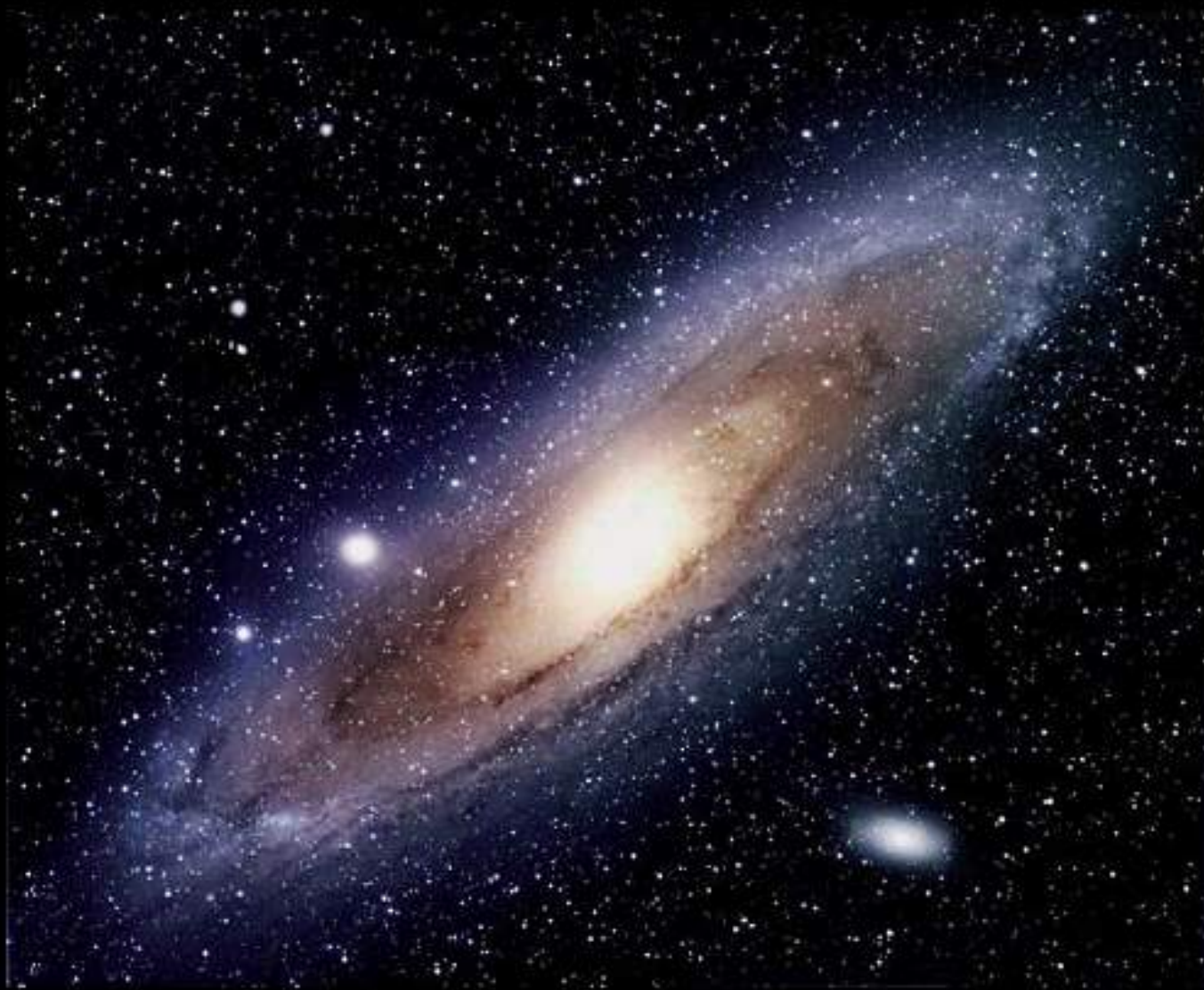
E5

Eliptična galaksija M87

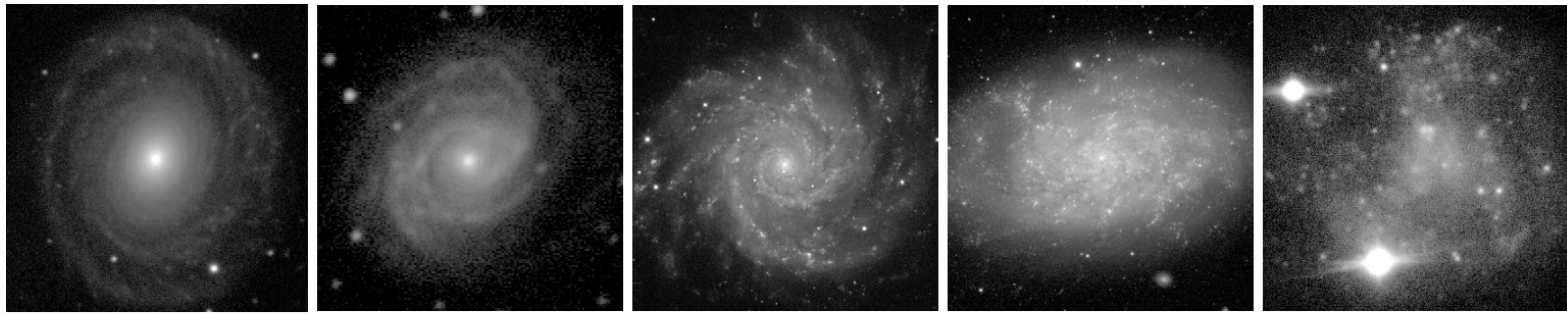


Spiralne galaksije (S)

- imaju podsisteme (disk, zvezdani oval i halo), objekti Populacije I i II; mase 10^{10} - $10^{11} M_{\odot}$
- Diskolike galaksije (S0)- imaju disk sa centralnim ispupčenjem, ali ne i spiralne grane
- Najsjajnije od svih tipova galaksija – spiralne



Spiralna galaksija M31 u
Andromedi



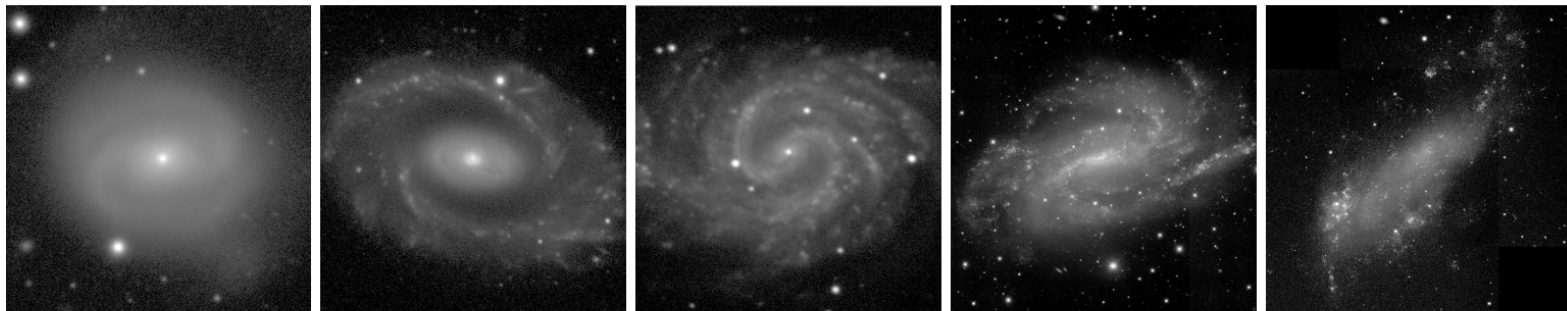
SAa

SAB

SAc

SAd

SAm



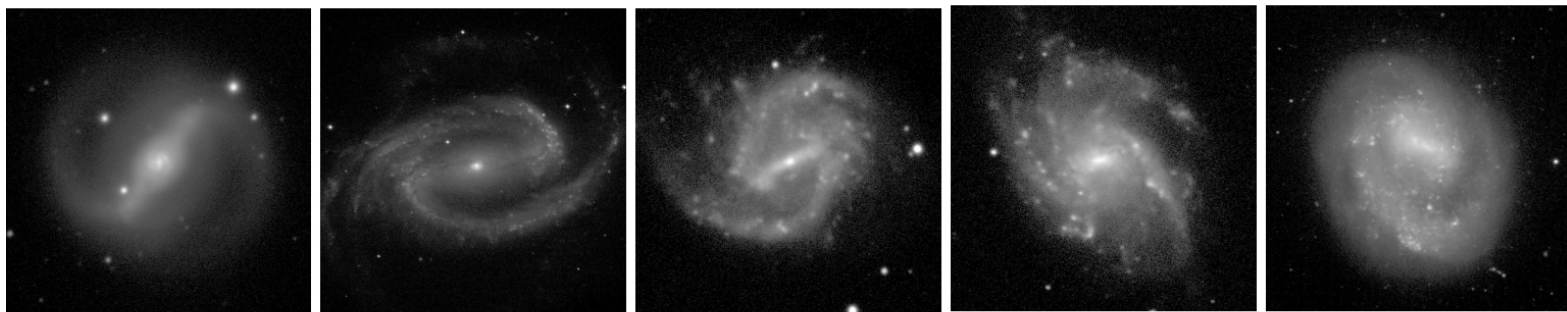
SABa

SABb

SABc

SABd

SABm



SBa

SBb

SBc

SBd

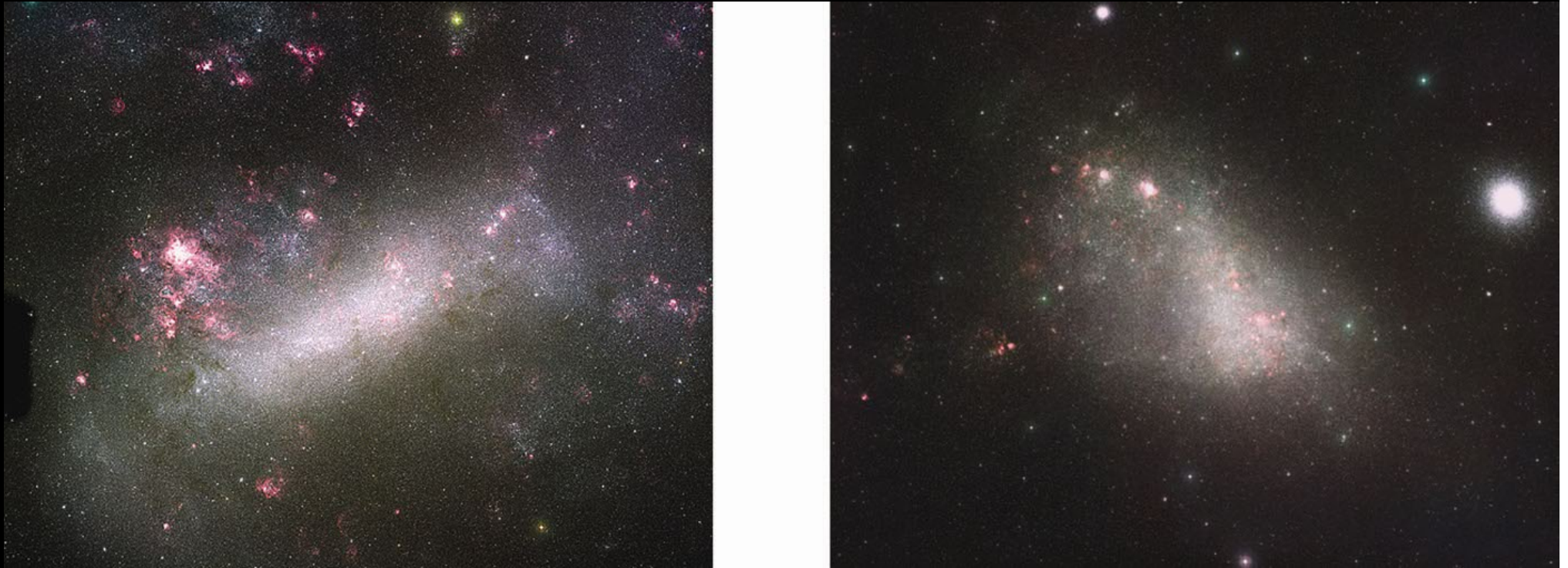
SBm

Nepravilne galaksije (I)

- nemaju pravilan oblik i strukturu, sadrže najviše međuzvezdane materije i objekte Populacije I (najmanje mase i sjaja od svih galaksija)



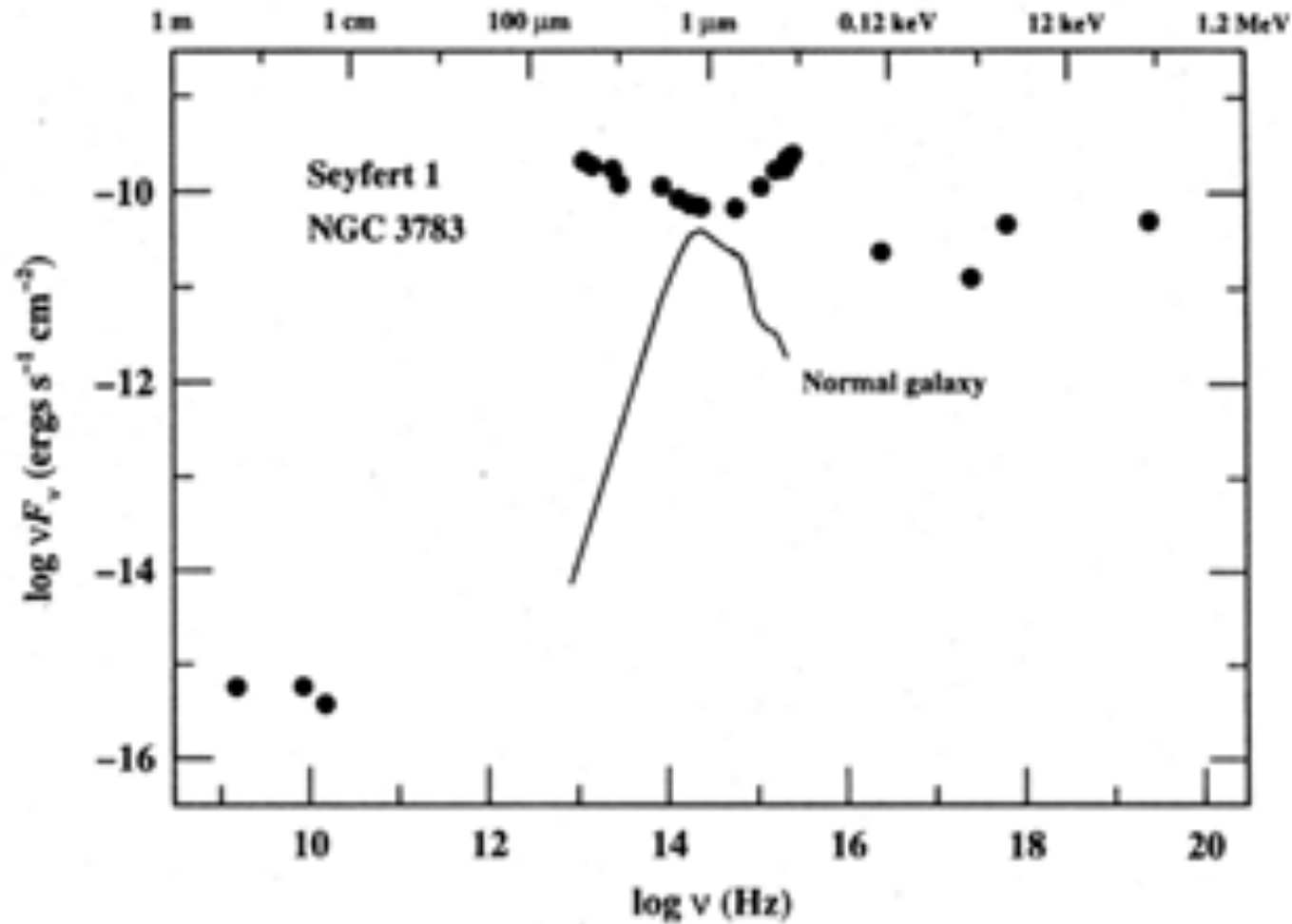
Magelanovi oblaci – nepravilne galaksije



Fizička klasifikacija galaksija

- Normalne galaksije
 - zračenje galaksije je određeno zračenjem zvezda
 - zračenje je termalno (oko milion puta manje u radio oblasti nego u optičkoj)
 - spektar : termalni kontinuum sa apsorpcionim linijama
 - fluks zračenja je konstantan u toku vremena
- Aktivne galaksije – galaksije sa aktivnim jezgrom (AGJ)
 - pojačano zračenje u X, IC i radio oblasti spektra
 - zračenje je netermalno
 - spektar : netermalni kontinuum sa emisionim linijama
 - fluks zračenja se menja u toku vremena

Spektar AGJ i normalne galaksije



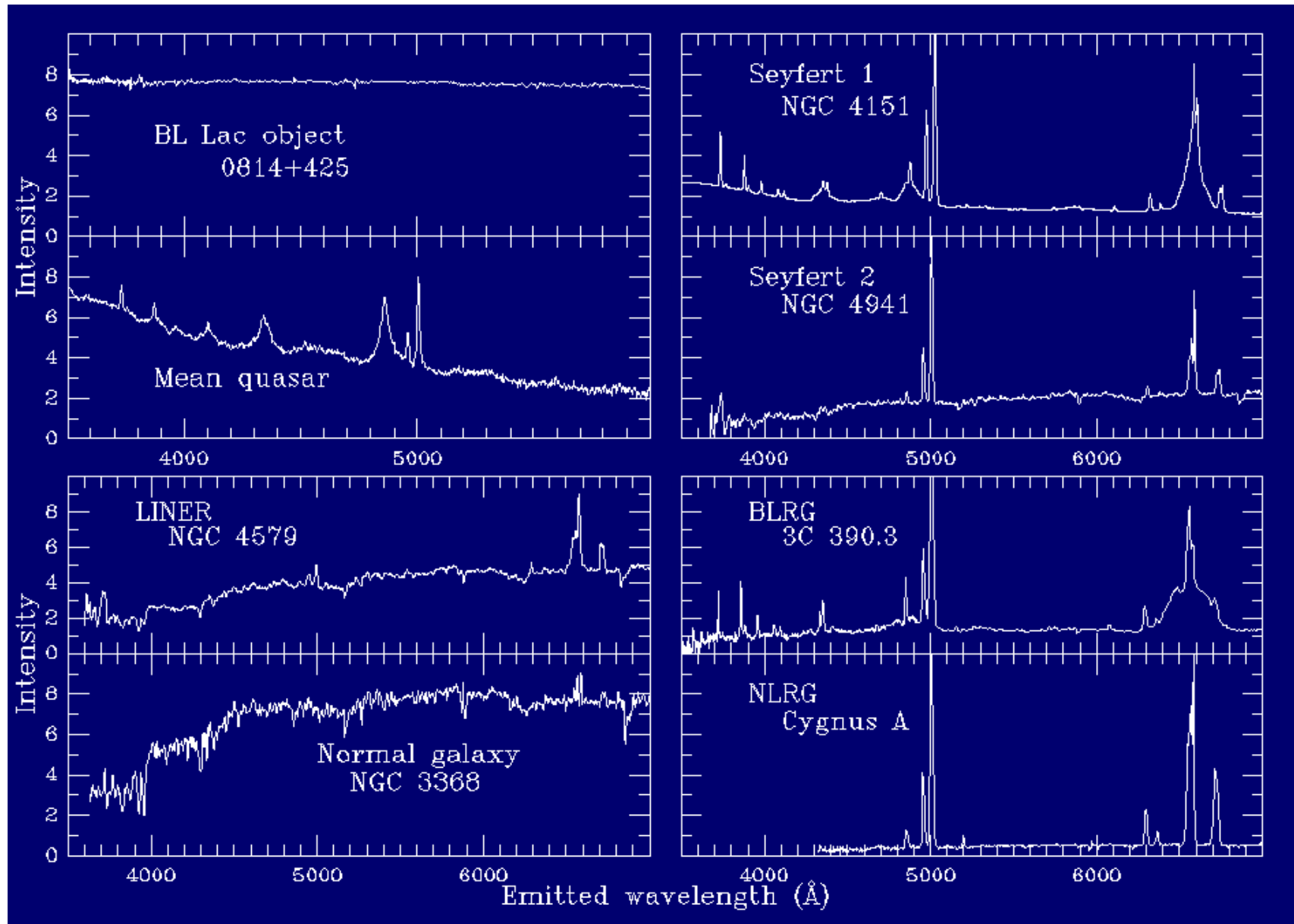
Aktivne galaksije

- Najjači izvori zračenja u vasioni
- Do 10% svih poznatih galaksija
- Pojačano zračenje u svim delovima spektra
- Netermalno zračenje
- Široke i uske emisijske linije
- Promenljivo zračenje u toku vremena

Sejfertove galaksije – spiralne galaksije sa sjajnim jezgrom



Poredjenje spektara normalne galaksije sa spektrima aktivnih galaksija i kvazara



Radio galaksije – džinovske eliptične galaksije (najbliža - Centaurus A)



Kvazari

(Quasi Stellar Radio Source)

Radio-galaksija: 3c 48

- **1960 god:** Thomas Matthews & Allan Sandage
- snimili plavičasti zvezdoliki objekat
- neobične emisione linije: **neindetifikovane!**

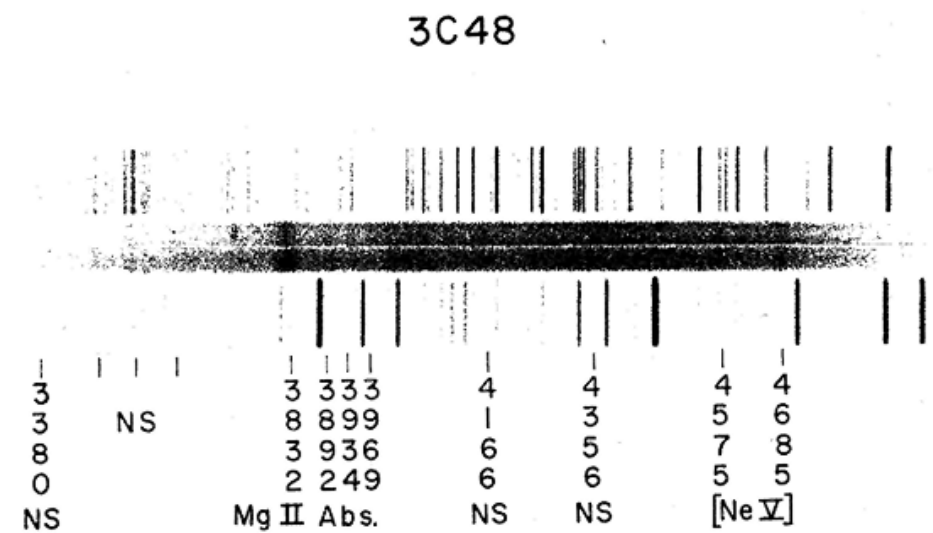


FIG. 3.—Two prime-focus spectra of the quasi-stellar object 3C 48, 190 Å/mm, IIa-O baked; upper November 12, lower December 20, 1960. The symbol NS indicates night-sky emission; Abs. is absorption. Upper comparison A + Ne, lower H + He + A. Redshifted lines of Mg II and [Ne V] are indicated.

Kvazi-stelarni radio izvori: 3c 273

- 1963: određen položaj optičkog izvora koji odgovara radio-galaksiji 3c 273
- 1963: **Maartin Schmidt**, Mt. Palomar
 - pravi snimak 3c 273: zvezdoliki objekat
 - snima spektar: misteriozne linije odgovaraju dobro poznatim prelazima u atomu vodonika!

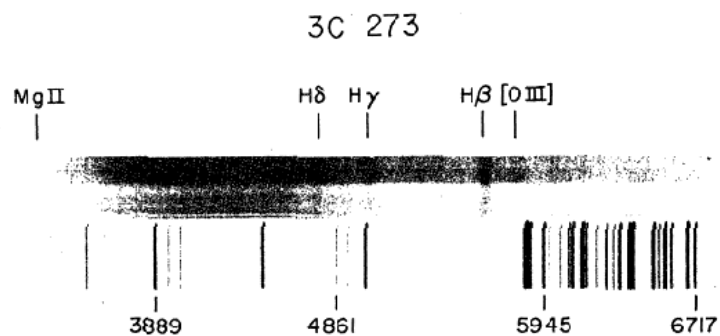
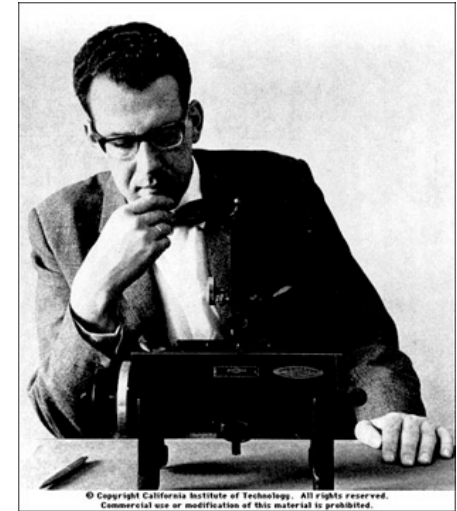
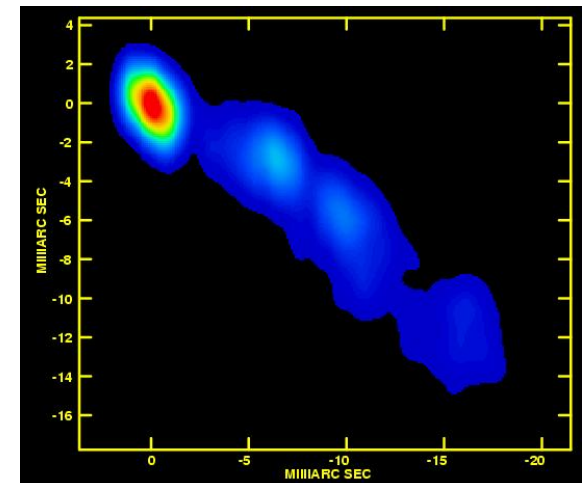
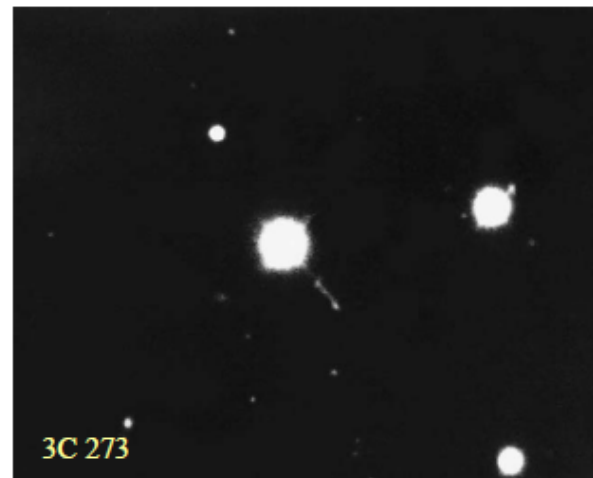


FIG. 2.—Spectrum of the quasi-stellar object 3C 273B, 400 Å/mm original, 103a-F, January 23, 1963. The comparison spectrum is H + He + Ne. Exposure over the upper half of slit was three times that over the lower half. Redshifted emission lines of H and [O III] are indicated; also the barely visible line of Mg II, confirmed on denser exposures.



Jednostavna interpretacija spektra:

- crveni pomak vodonikovih linija: $z=0.158$

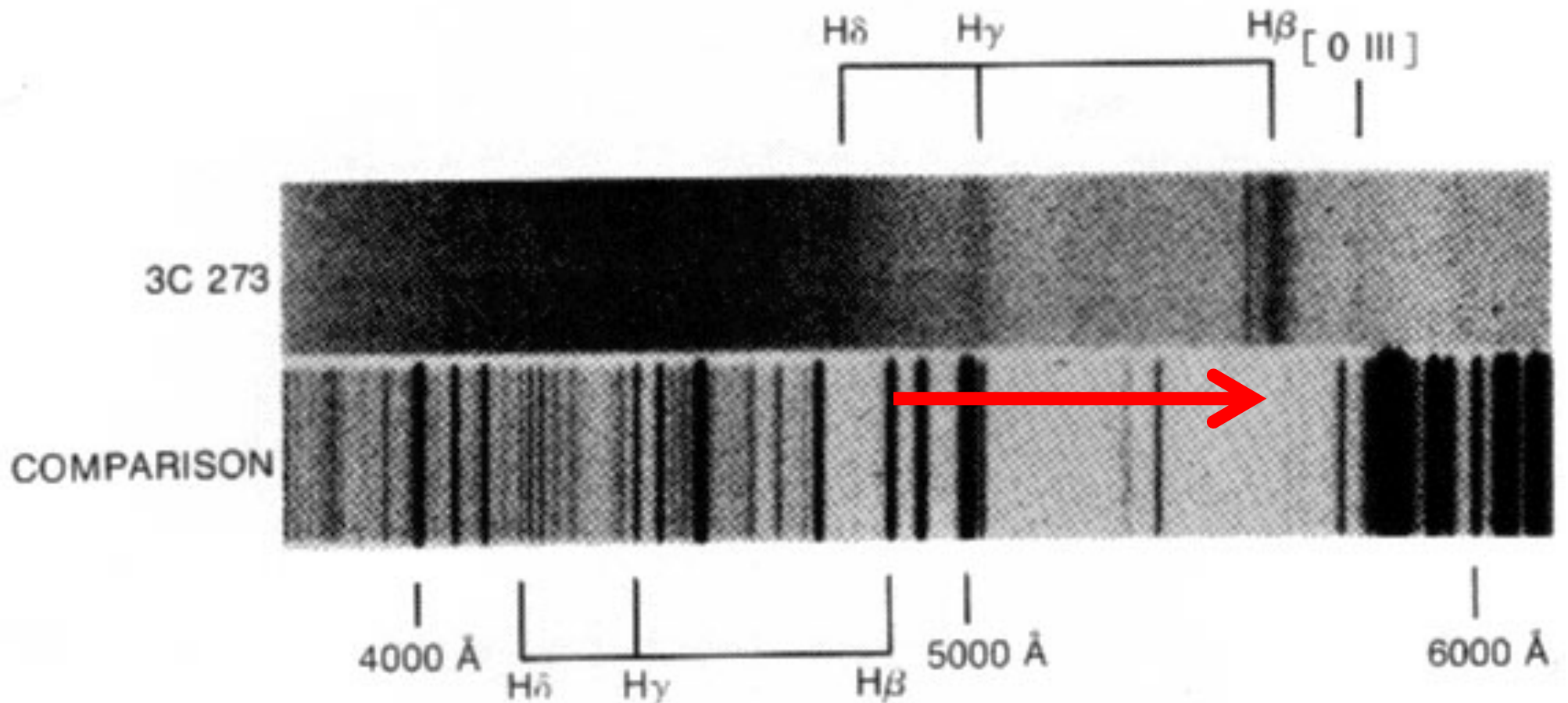
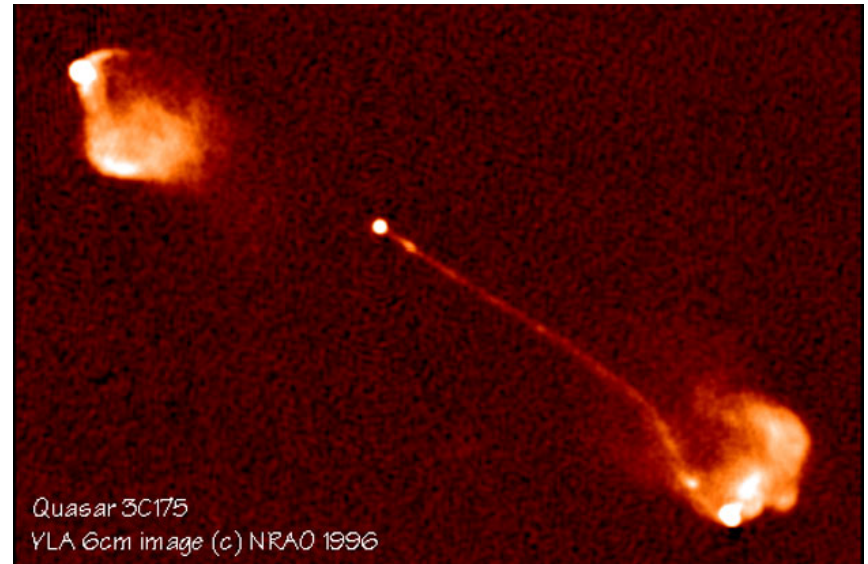


FIG. 2.—Spectrum of the quasi-stellar object 3C 273B, 400 Å/mm original, 103a-F, January 23, 1963. The comparison spectrum is H + He + Ne. Exposure over the upper half of slit was three times that over the lower half. Redshifted emission lines of H and [O III] are indicated; also the barely visible line of Mg II, confirmed on denser exposures.

Gde je tu problem?

- Kako zvezdoliki objekti mogu da budu na tako velikom rastojanju i da ih mi vidimo?
 - Mora da su jako velikog sjaja?!? Koji je izvor te ogromne energije?!
- Schmidt daje dva objašnjenja za 3c 273:
 - zvezdani objekat čiji je crveni pomak posledica jakog gravitacionog polja
 - jezgro galaksije koje se kreće od nas brzinom od 170 miliona km/h!
- 3c 273: 2 milijarde svetlosnih godina udaljena, 100 puta sjajnija od ukupnog sjaja jedne velike galaksije

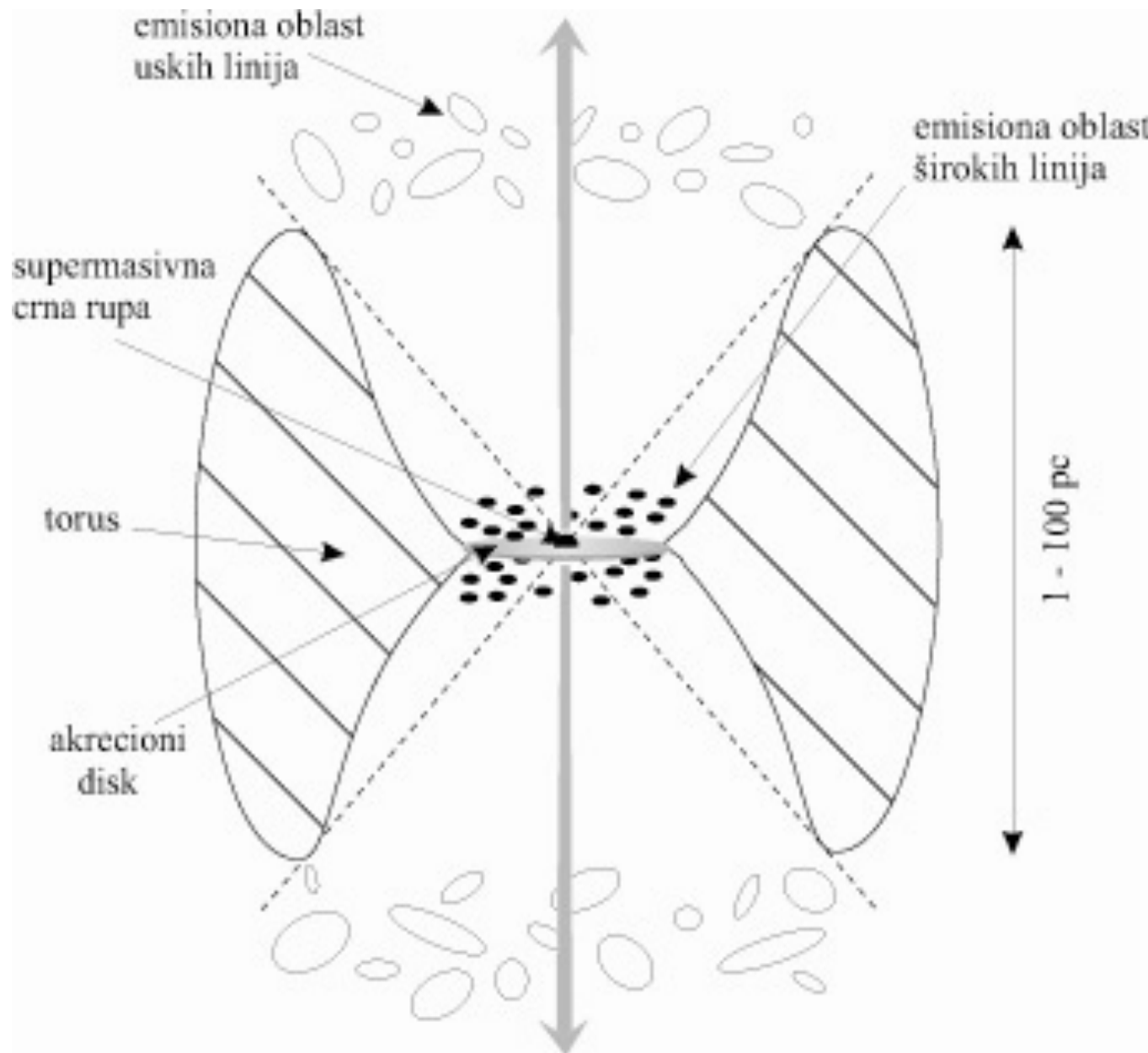


Kvazari su jezgra aktivnih galaksija

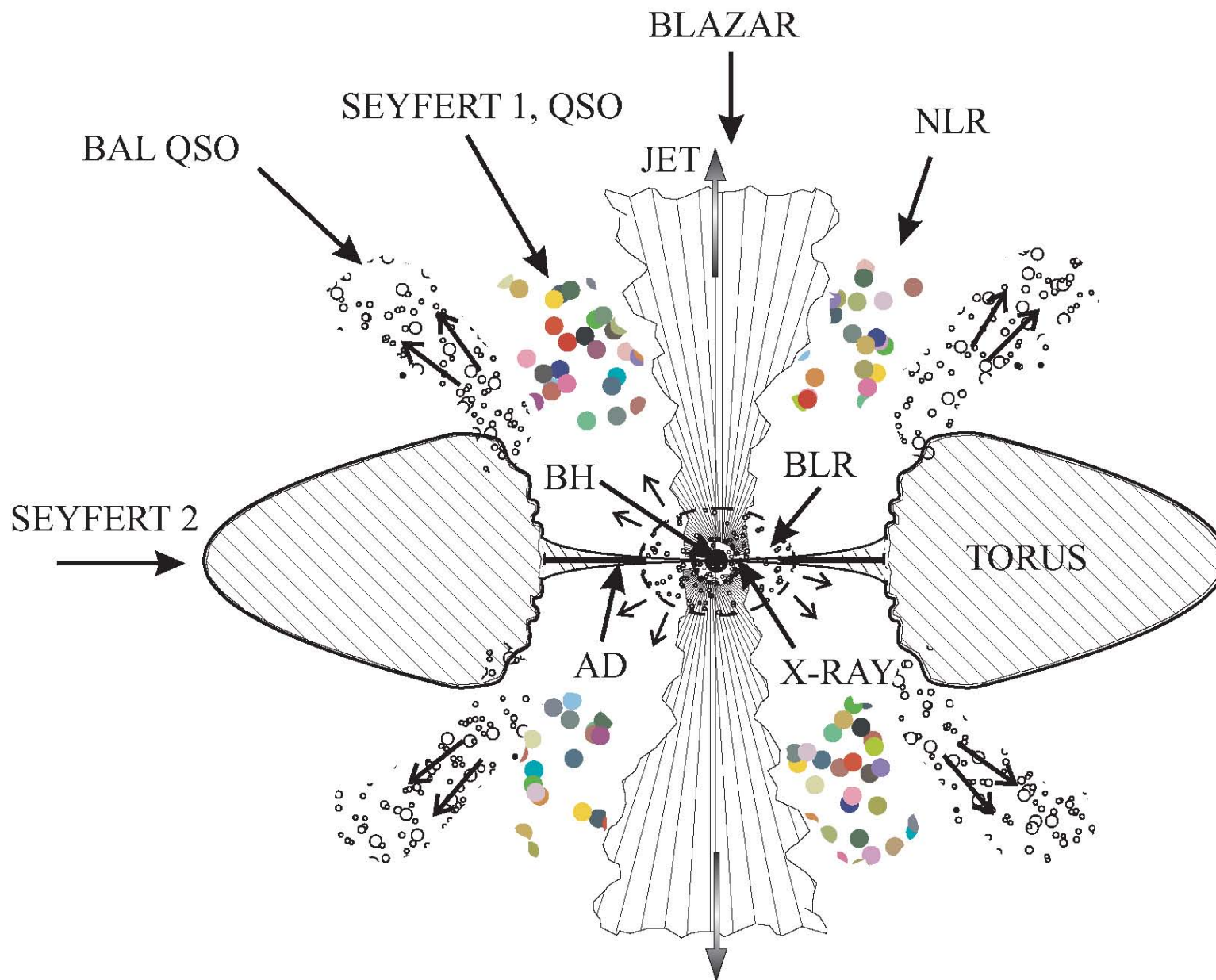
- nisu ni zvezdoliki objekti a uglavnom nisu ni jaki radio-izvori (termin QSO = *quasi stellar object*)
- mnogi su do sada otkriveni (zahvaljujući SDSS pregledu neba 120,000 kvazara je detektovano)
- detekcijom kvazara posmatramo najudaljenije delove svemira
- supermasivna crna rupa i akrecija materije proizvode ogromnu energiju



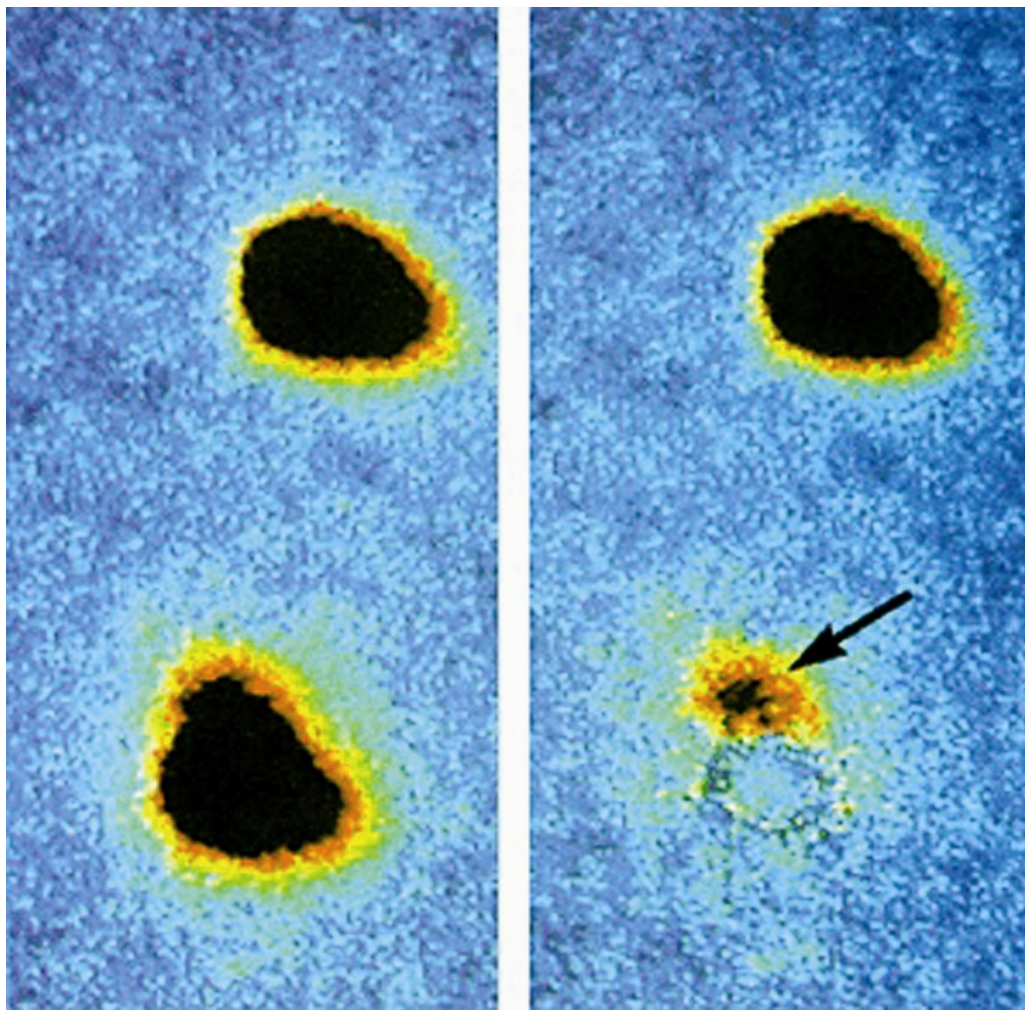
Model jezgara aktivnih galaksija

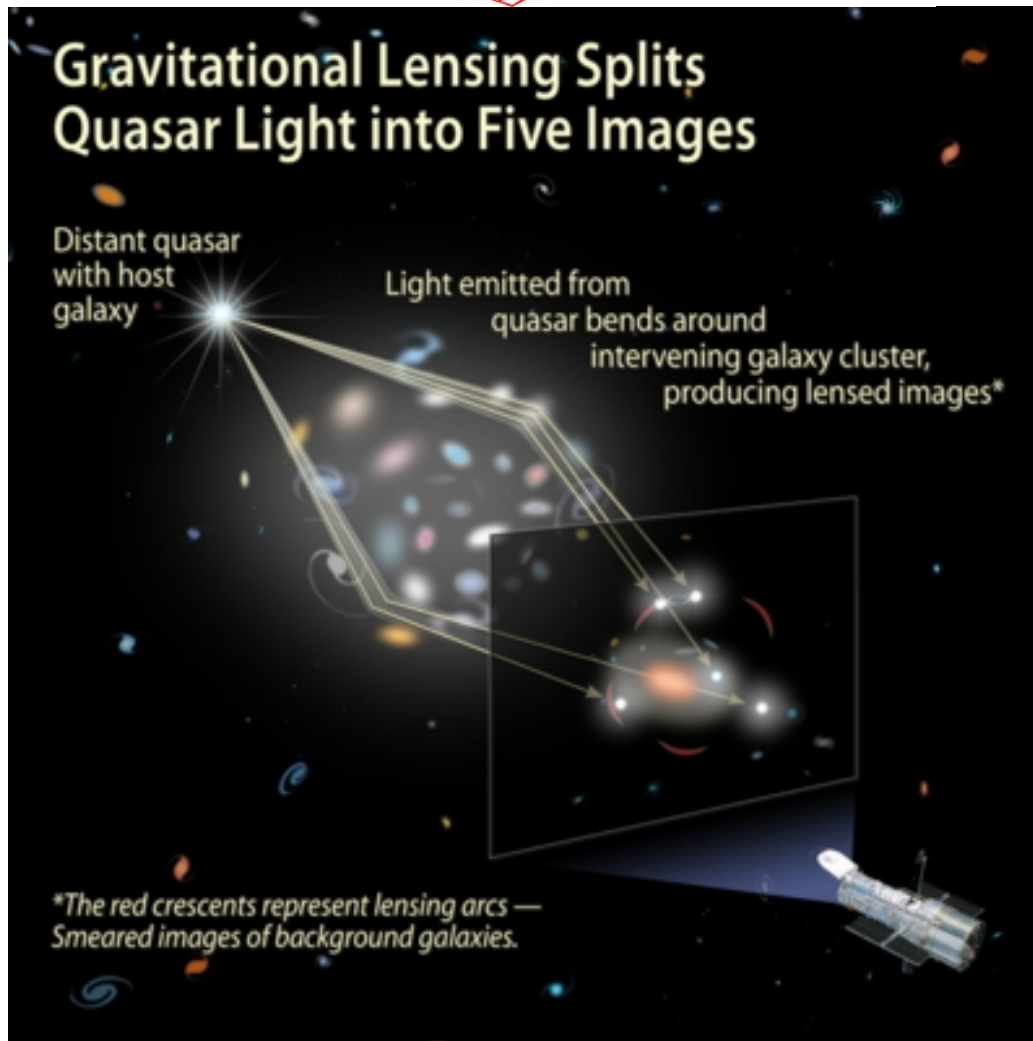
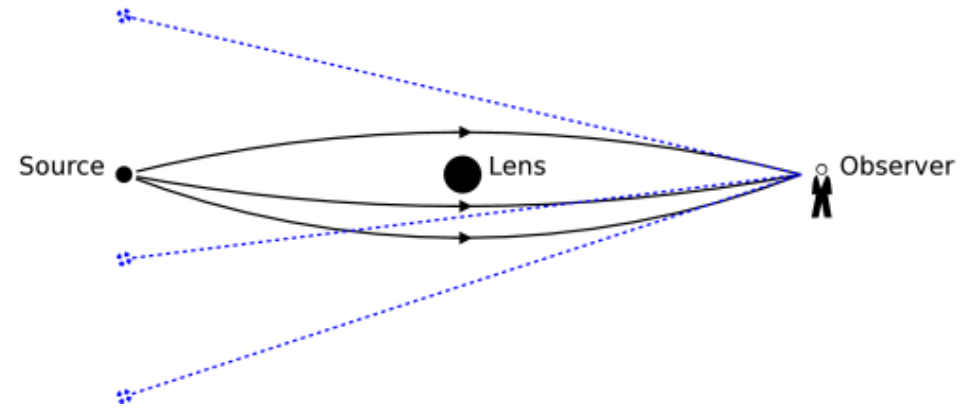
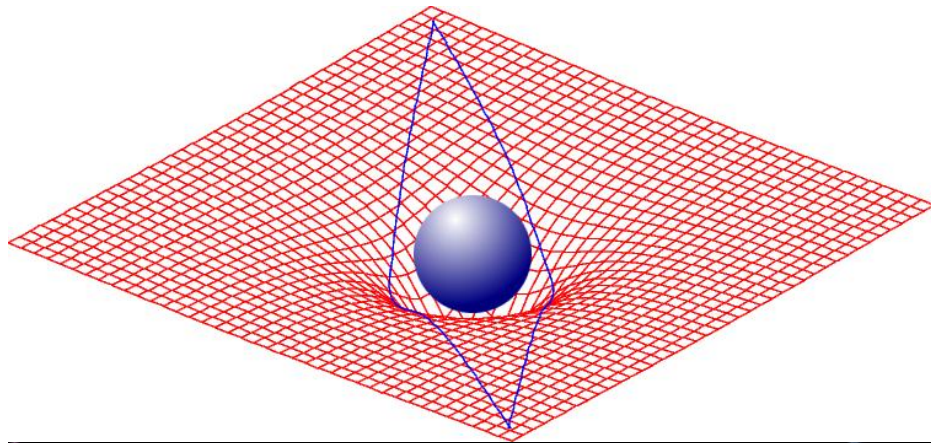


Model jezgra aktivnih galaksija i kvazara



Dvojni kvazar O957 + 561 (prvo otkriveno gravitaciono sočivo, 1979)





Dvojni kvazar
(Merenjem vremenskog kašnjenja u promeni sjaja dva lika jednog kvazara određuje se vrednost Hablove konstante)