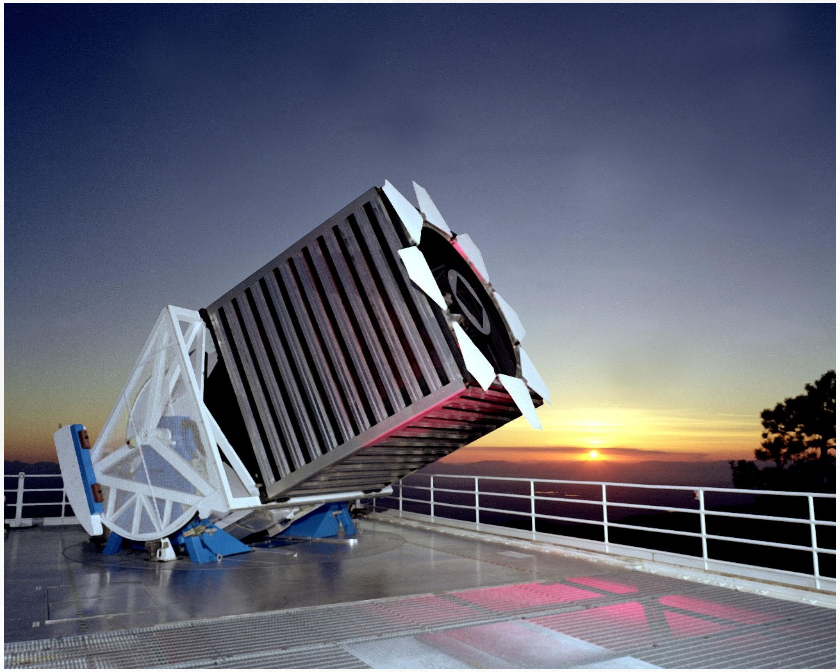
Rdeča in modra sekvenca galaksij

- Sloan Digital Sky Survey: http://www.sdss.org/
- 2dF Galaxy Redshift Survey: http://www2.aao.gov.au/2dFGRS/

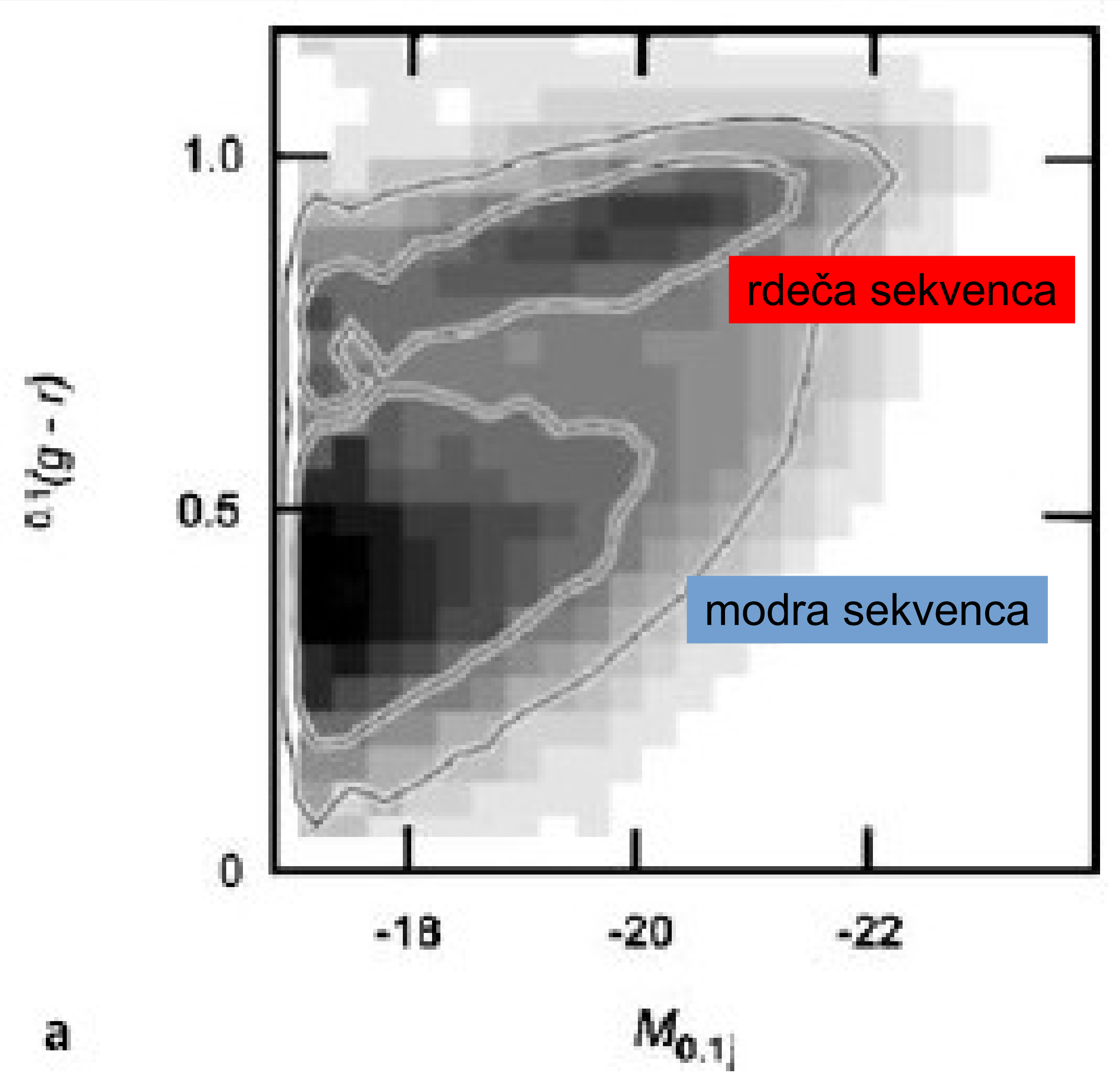
- velika vzorca galaksij
- računalniška analiza slik in spektrov



Rdeča in modra sekvenca galaksij

- rdeča sekvenca
- modra sekvenca

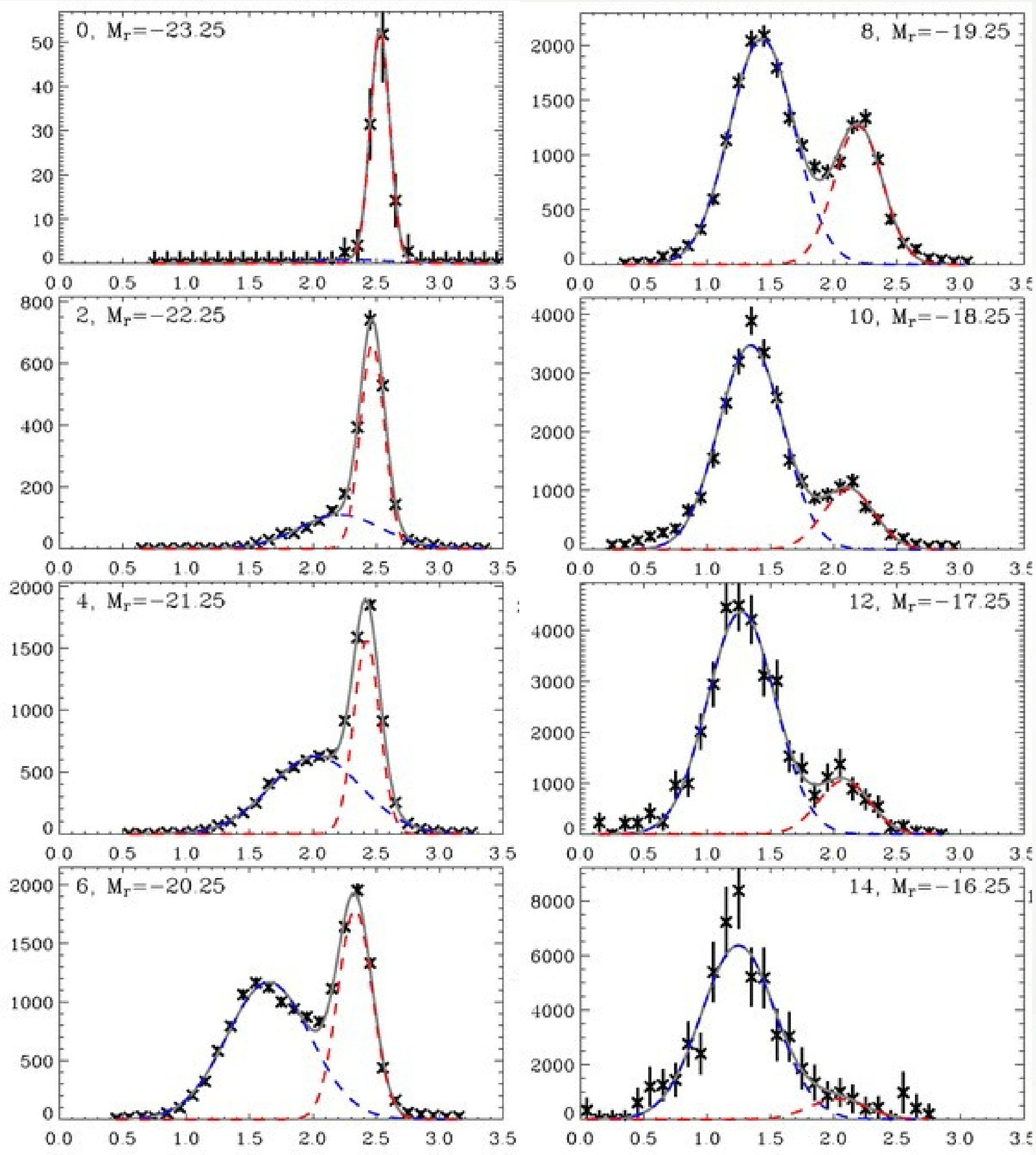
Rdeča in modra sekvenca galaksij



barva - magnituda

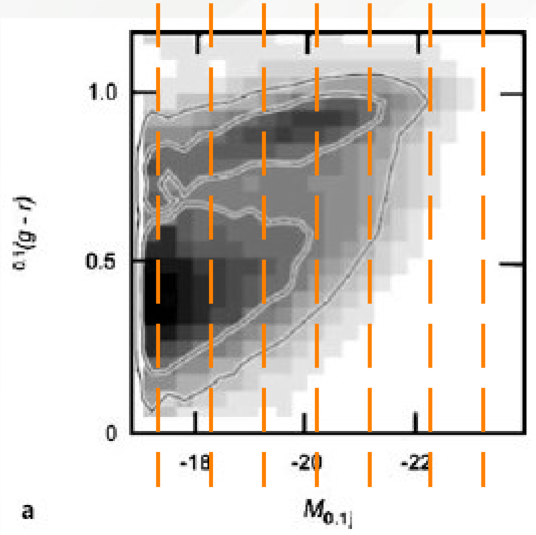
Bimodalna distribucija barve galaksij $^{0.1}(g-r)$ v funkciji optične absolutne magnitude (Blanton et al., 2003).

Rdeča in modra sekvenca galaksij



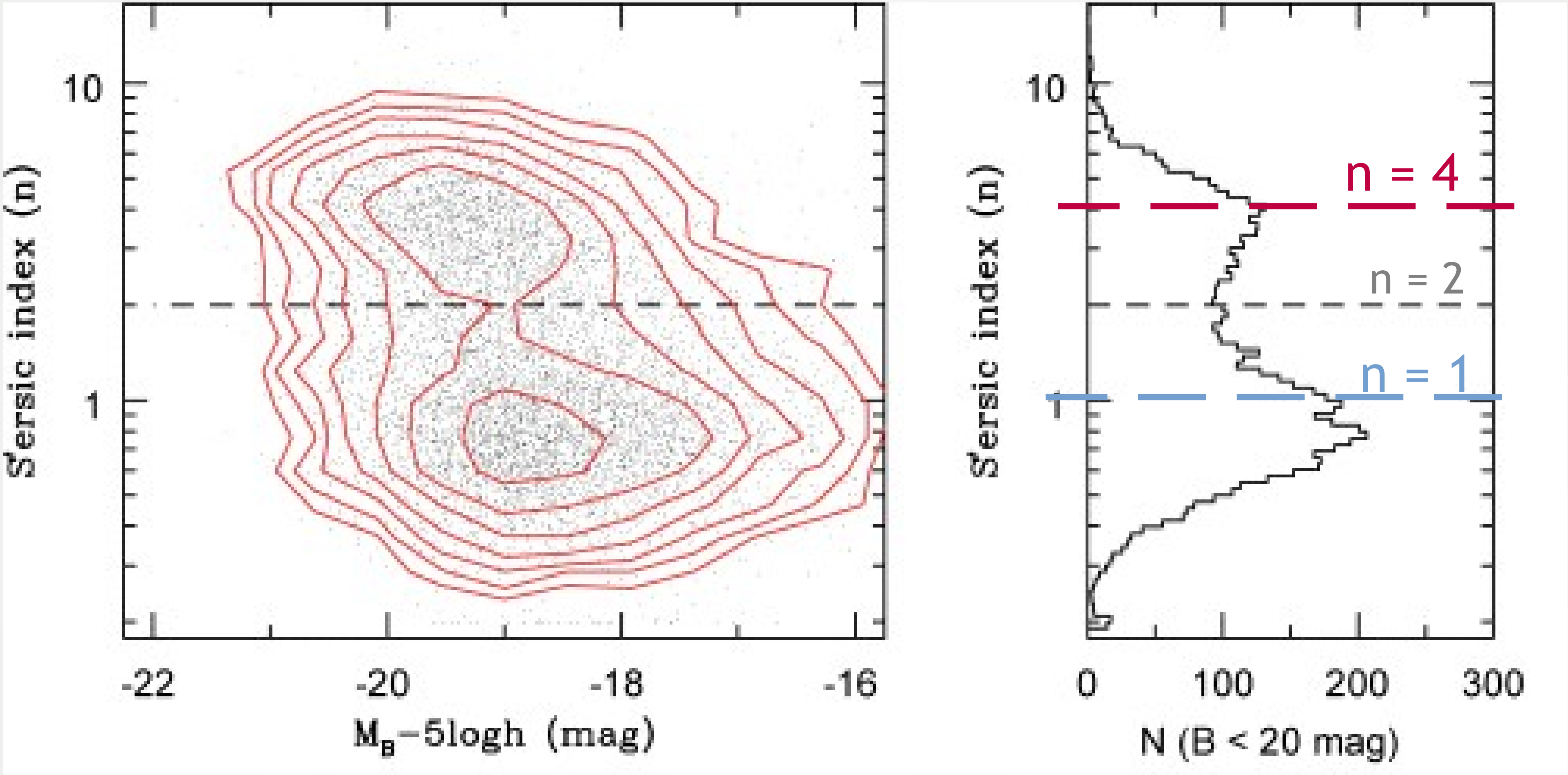
barva - magnituda

Prerez bimodalne distribucije za rdečo in modro sekvenco, prileganje dveh gaussovih krivulj (Blanton et al., 2003).



Rdeča in modra sekvenca galaksij

Sersićov indeks in magnituda



Prikaz opazovanega Sérsicovega indeksa *n* kot funkcija absolutne magnitude v B filtru za 10095 galaksij, ki so del kataloga Millenium Galaxy. Na desni je histogram števila galaksij v logaritmičnih korakih za Sérsicov indeks *n* (Driver et al. 2006).

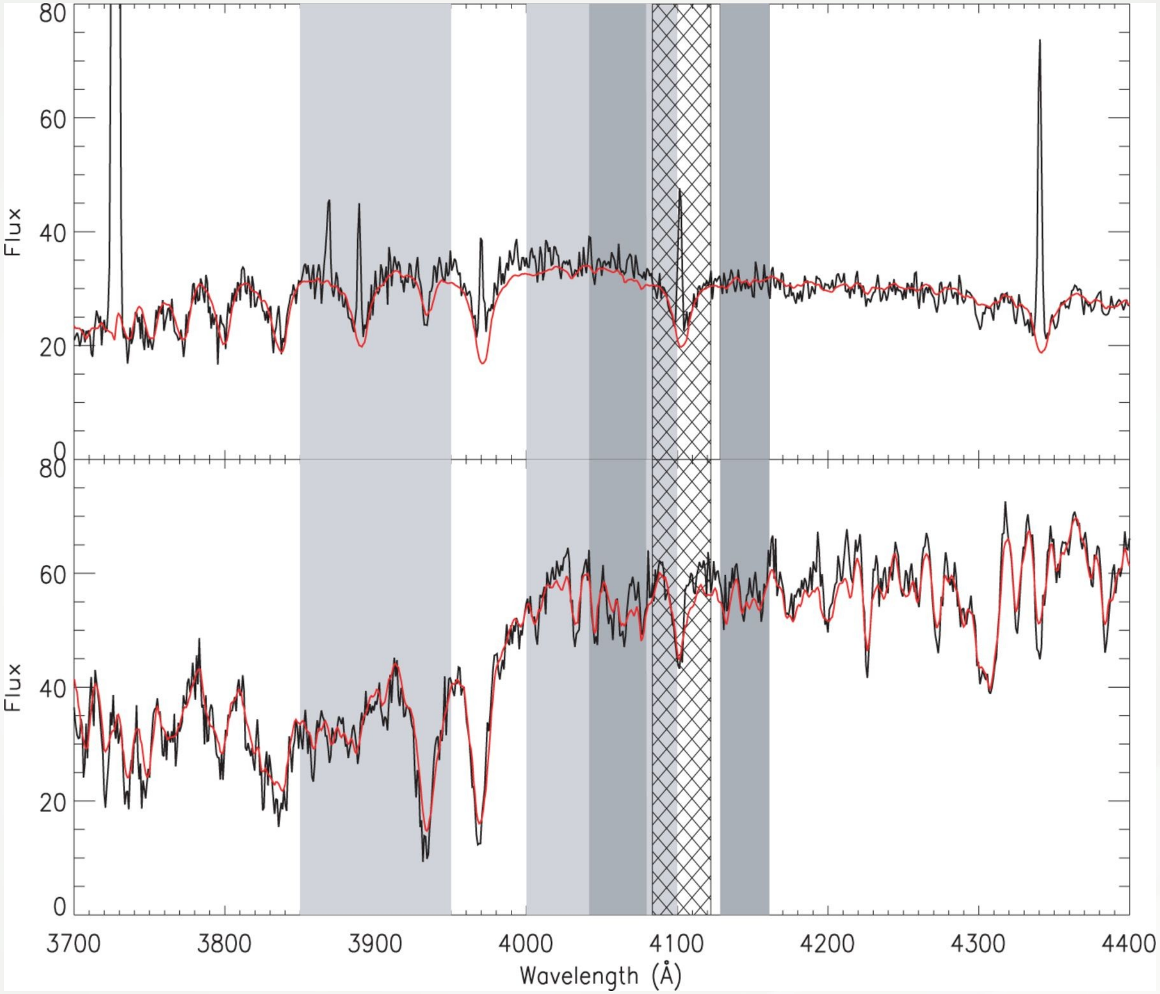
Rdeča in modra sekvenca galaksij

- delitev populacij na podlagi starosti zvezdnih populacij in koncentracije svetlobe v središču
- indikatorji:
  - D4000 – Balmerjeva diskontinuiteta
    - stara populacija ima visok D4000
  - Hδ – indeks moči absorpcijske črte
    - visok v galaksijah z izbruhom nastanka zvezd
  - C – indeks koncentracije C=R90/R50
    - C>2,6 eliptične; C<2,6 spiralne
  - μ – povprečna gostota zvezd znotraj radija polovičnega izseva

D4000 in Hδ indeks

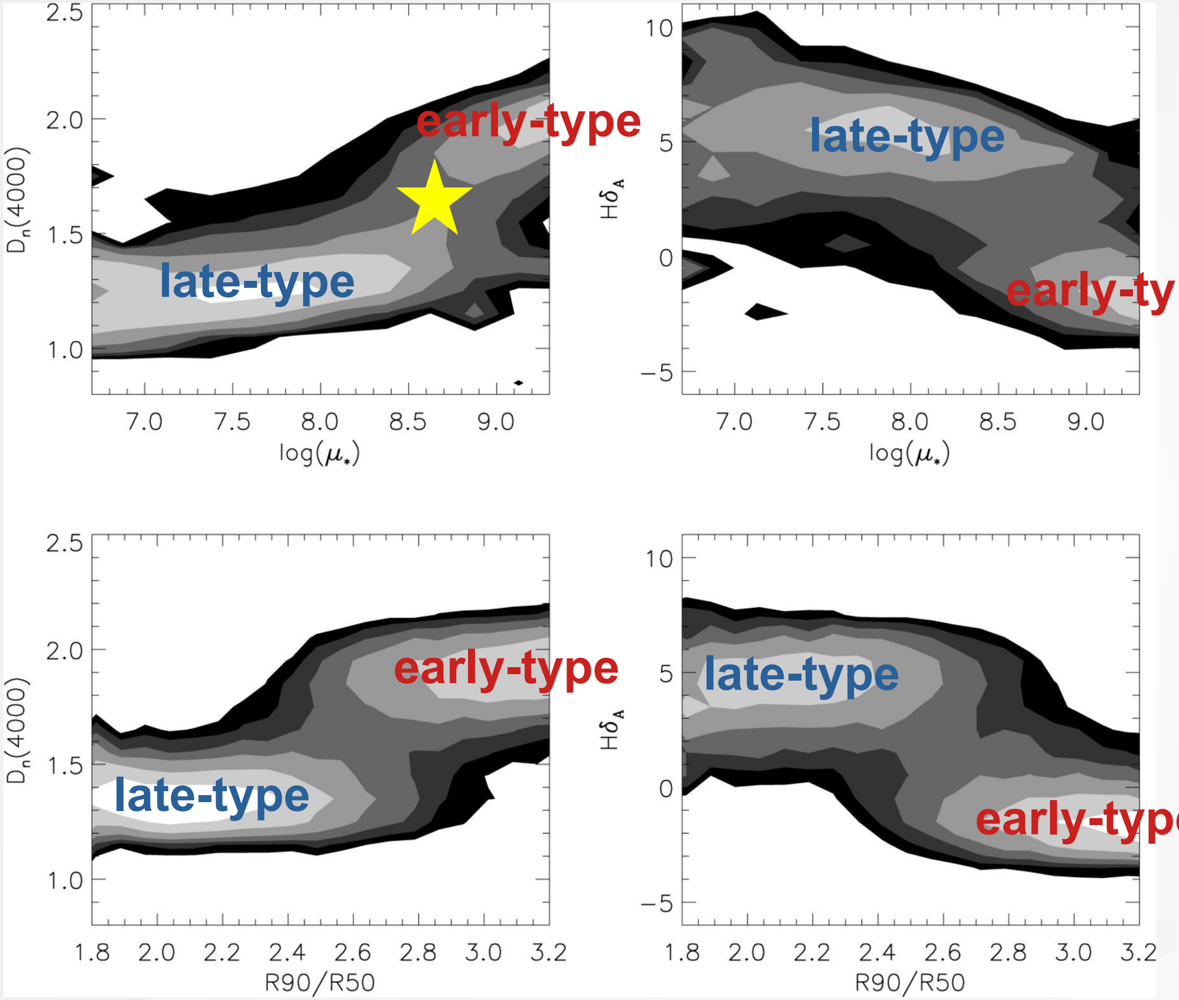
spiralna galaksija
(late type)

eliptična galaksija
(early type)



SDSS spektra *late-type* (spiralne) in *early-type* (eliptične) galaksije v območju 370–440 nm (*restframe*). Rdeča črta prikazuje teoretični model spektra. Svetla siva območja prikazujejo območja, znotraj katerih se ocenjuje indeks D4000, temna siva območja pa so izseki valovnih dolžin, pri katerih se ocenjuje kontinuum Hδ indeksa, v črtkanem območju pa Hδ črto.

Korelacija med različnimi indikatorji



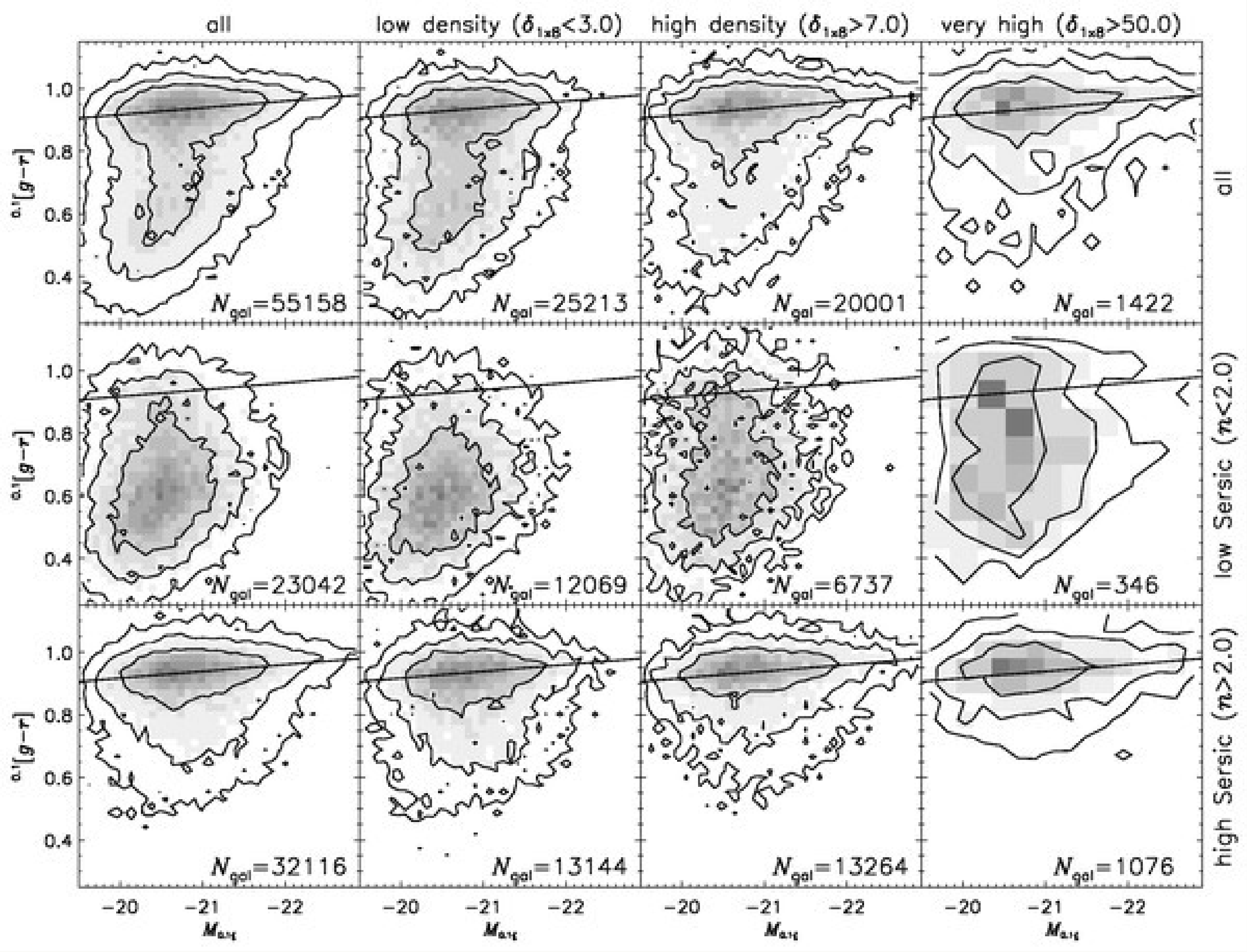
prehod med rdečo in modro sekvenco pri $3 \cdot 10^{10}$ Msun

Indikatorji starosti zvezdne populacije (Dn(4000) in $H\delta_A$) v odvistnosti logaritma površinske masne gostote zvezd μ* in indeksa koncentracije C (Kauffmann et al. 2003)

Rdeča in modra sekvenca galaksij

učinek galaktične okolice

(barva-magnituda v predelih z nizko, srednjo in visoko gostoto galaksij)

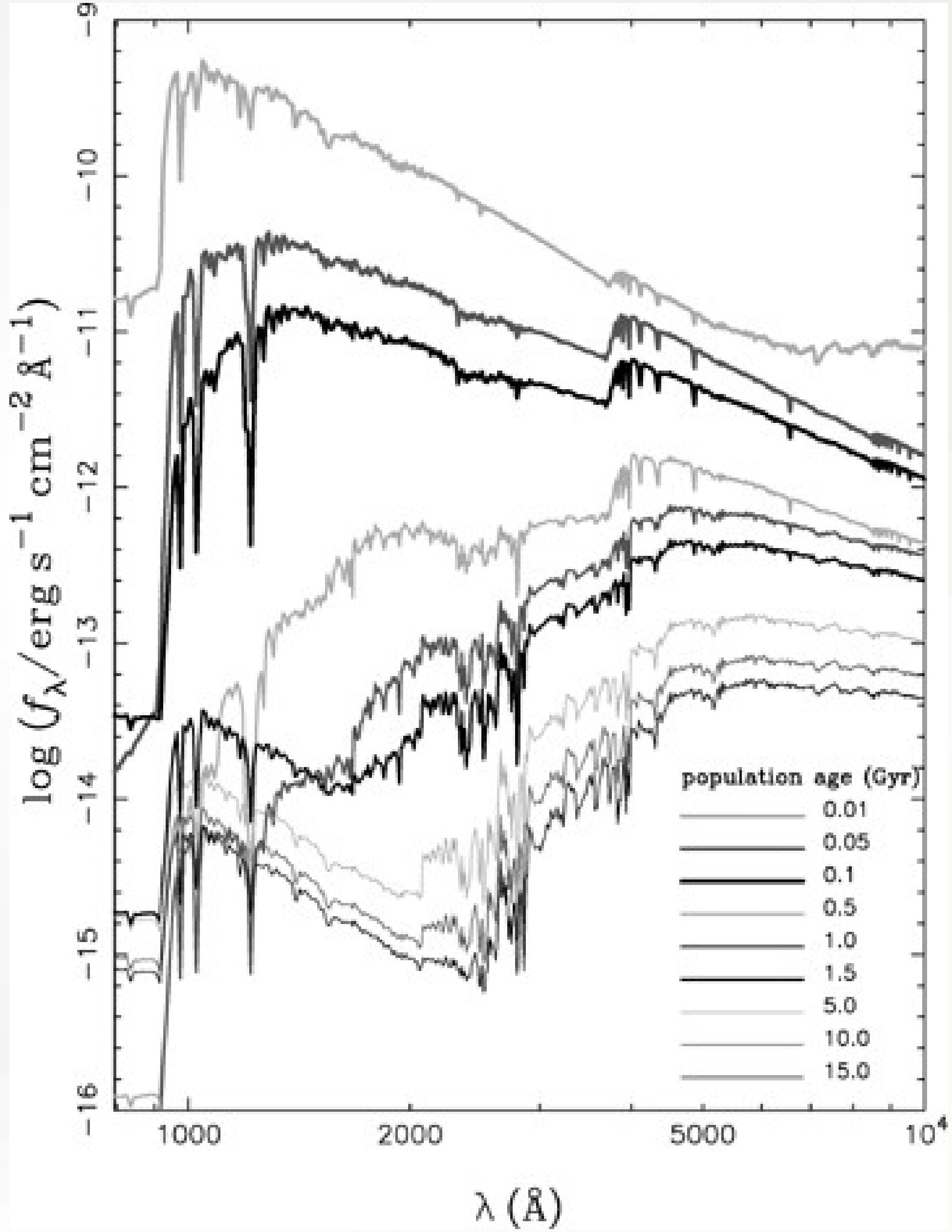


Sestava galaksij

- Sestava posamične galaksije:
  - koliko zvezd je v galaksiji?
  - katere zvezde predvladujejo znotraj galaksije?
  - kolikšna je masa plina?

Sestava galaksij

- populacijska sinteza in integrirani spekter galaksij



Evolucija *restframe* intrinzične spektralne porazdelitve energije (*SED, spectral energy distribution*), v kateri so zvezde nastale v istem času in predstavljajo enotno zvezdno populacijo (*SSP, single stellar population*). Ta zvezdna populacija ima skupno maso 10^{10} M⊙, galaksija je oddaljena 10 Mpc.

Navadne galaksije

Določanje razdalj do galaksij

Viri: Jones, Lambourne (Chap. 2), Maoz (Chap. 7)

Povzetek

Določanje razdalj do galaksij:

- geometrijske metode
- metode s standardnimi svetilniki
- metoda z rdečim premikom

Geometrijske metode

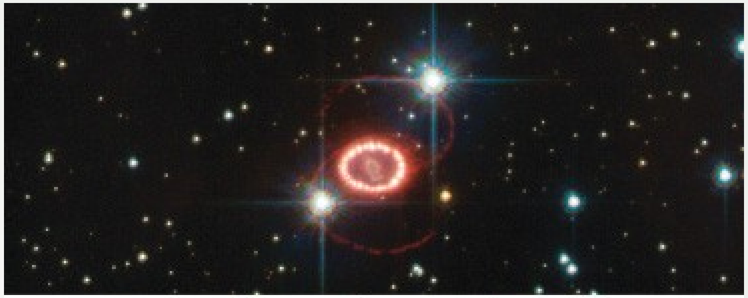
- l (razsežnost) in $\theta \rightarrow d$
- težava: malo objektov z znano l
- primer: SN1987A v Velikem Magellanovem oblaku

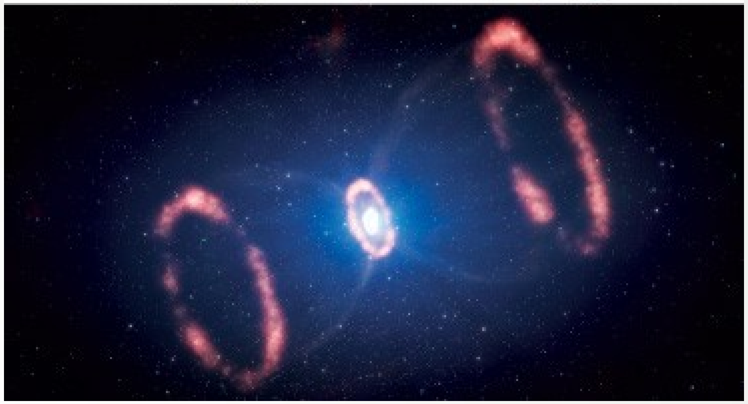
Geometrijske metode: SN 1987A

SN1987A
v VMO

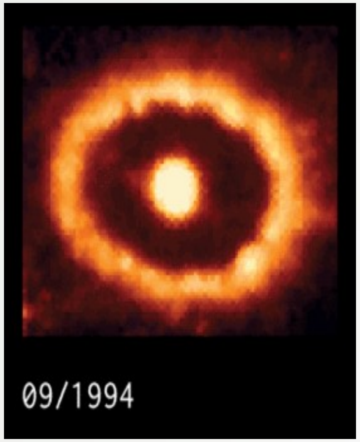
Meglica
Tarantela

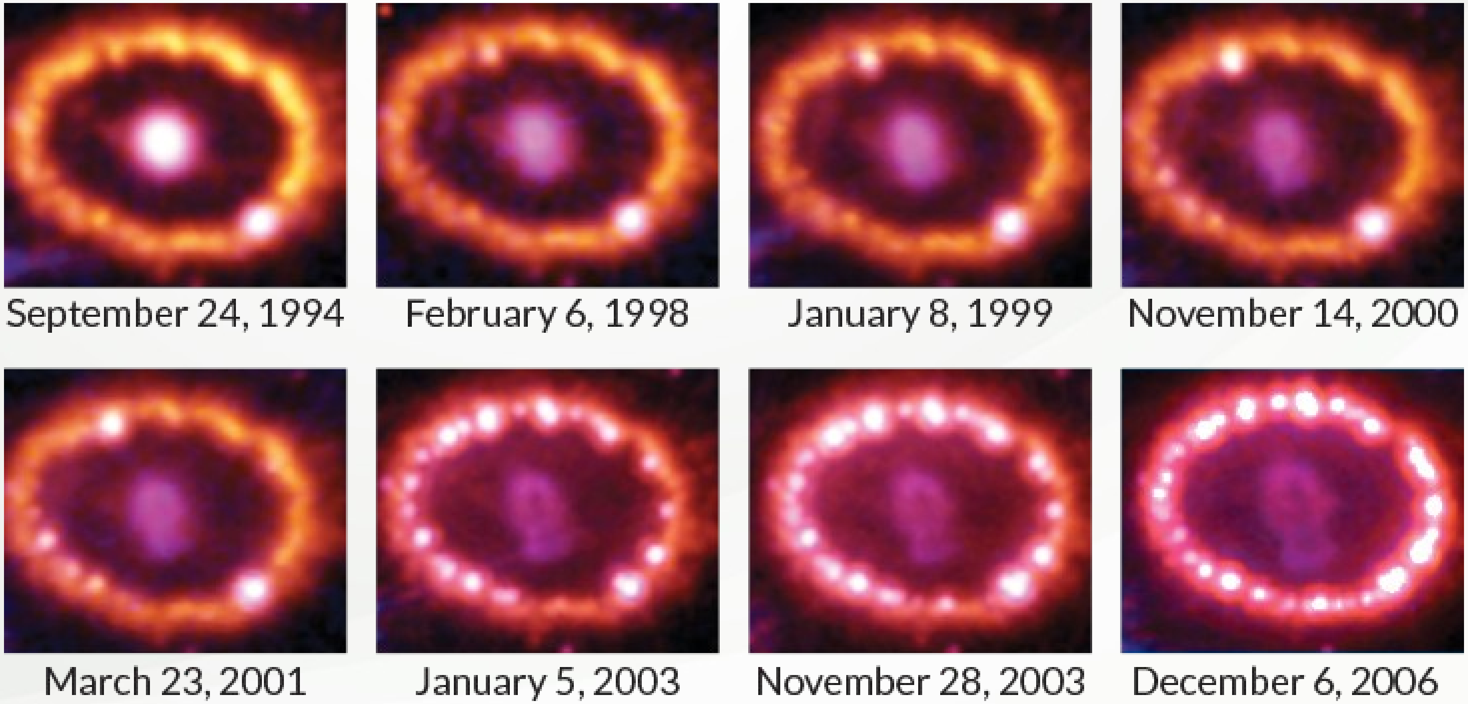
Geometrijske metode: SN 1987A





HUBBLE, ESA, NASA; L. CALÇADA/ESO





NASA, ESA, P. CHALLIS AND R. KIRSHNER/HARVARD-SMITHSONIAN CENTER FOR ASTROPHYSICS, B. SUGERMAN/STSCI

Geometrijske metode: SN 1987A

$$\mathrm{d(SN1987A)} = 51.4 \pm 1.2\,\mathrm{kpc} \qquad (\mathrm{m}-\mathrm{M})_{\mathrm{SN1987A}} = 18.55 \pm 0.05$$

$$\mathrm{d(LMC)} = 51.7 \pm 1.3\,\mathrm{kpc} \qquad (\mathrm{m}-\mathrm{M})_{\mathrm{LMC}} = 18.56 \pm 0.05$$

Table 1. Summary of SN 1987A distance determinations based on UV line light curves and *HST* imaging

Authors	Emission Lines/Ions	$t_{\max}$ days	R″ mas	(m-M) SN 1987A
Prelim. IUE reductions				
Panagia et al. 1991 [8]	NIII], NIV], NV, CIII]	413 ± 24	825 ± 17	18.55 ± 0.13
Gould 1995 [2]	NIII], NIV]	390 ± 2	858 ± 11	18.35 ± 0.04
Final IUE reductions				
Sonneborn et al. 1997 [14]	NIII]	399 ± 15	858 ± 11	18.43 ± 0.10
Gould & Uza 1998 [3]	NIII], NIV]	378 ± 5	858 ± 11	18.37 ± 0.04
Panagia et al. 2003 [9]	NIII], CIII], OIII]	395 ± 5	808 ± 17	18.55 ± 0.05

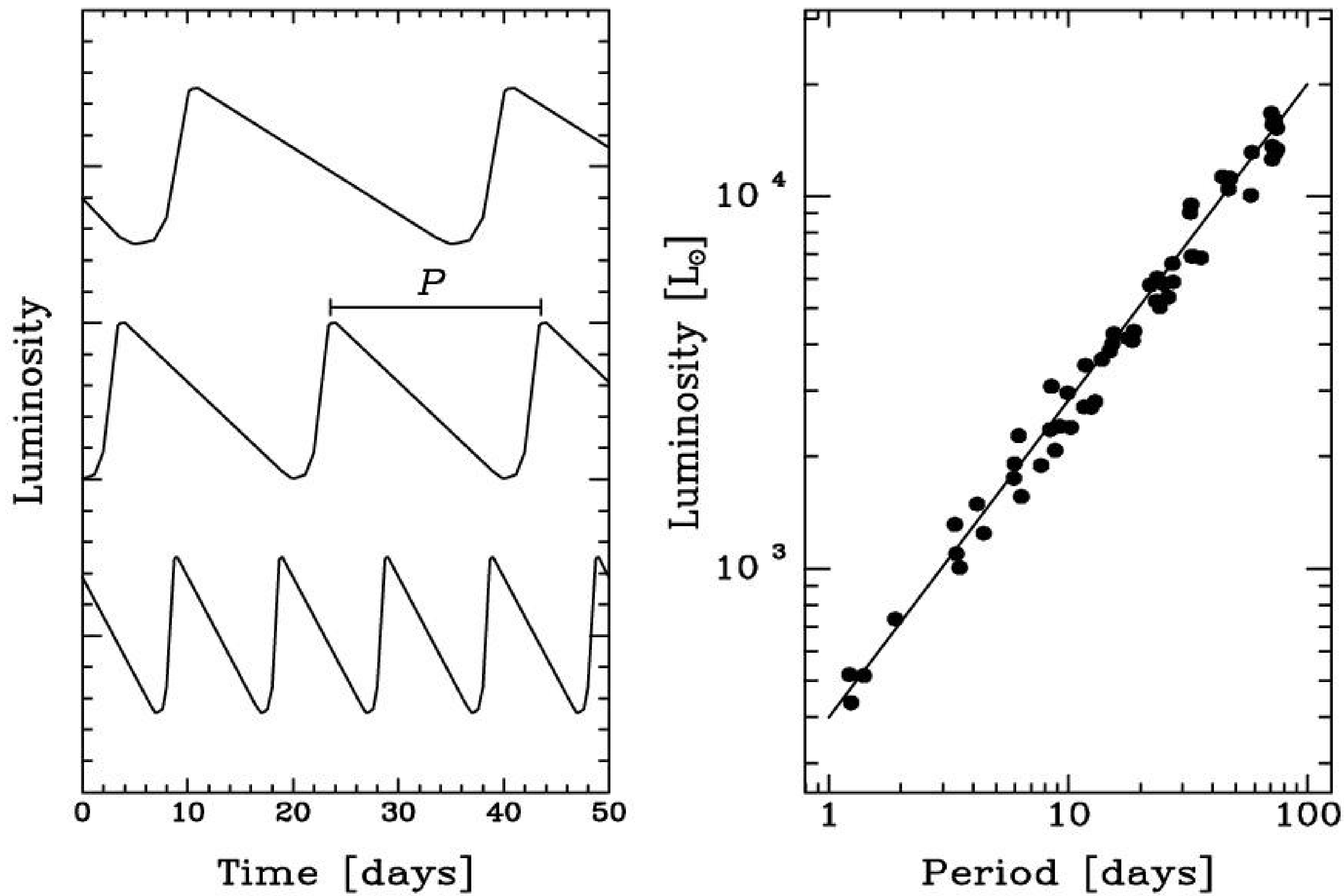
Metode s standardnimi svetilniki

- standardni svetilnik: objekt z znanim izsevom
- j in L $\rightarrow$ d

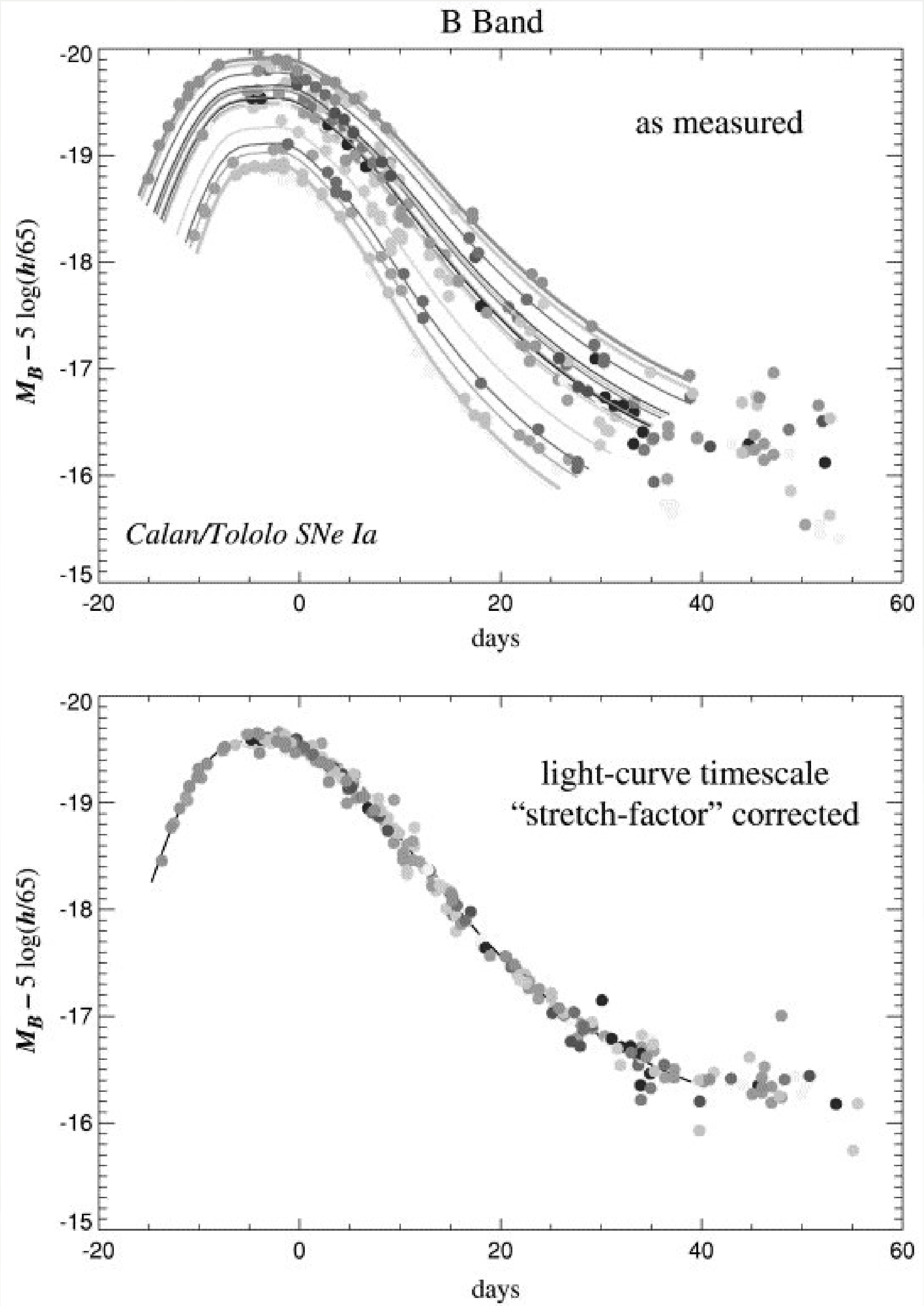
$$d = \sqrt{\frac{L}{4\pi j}}$$

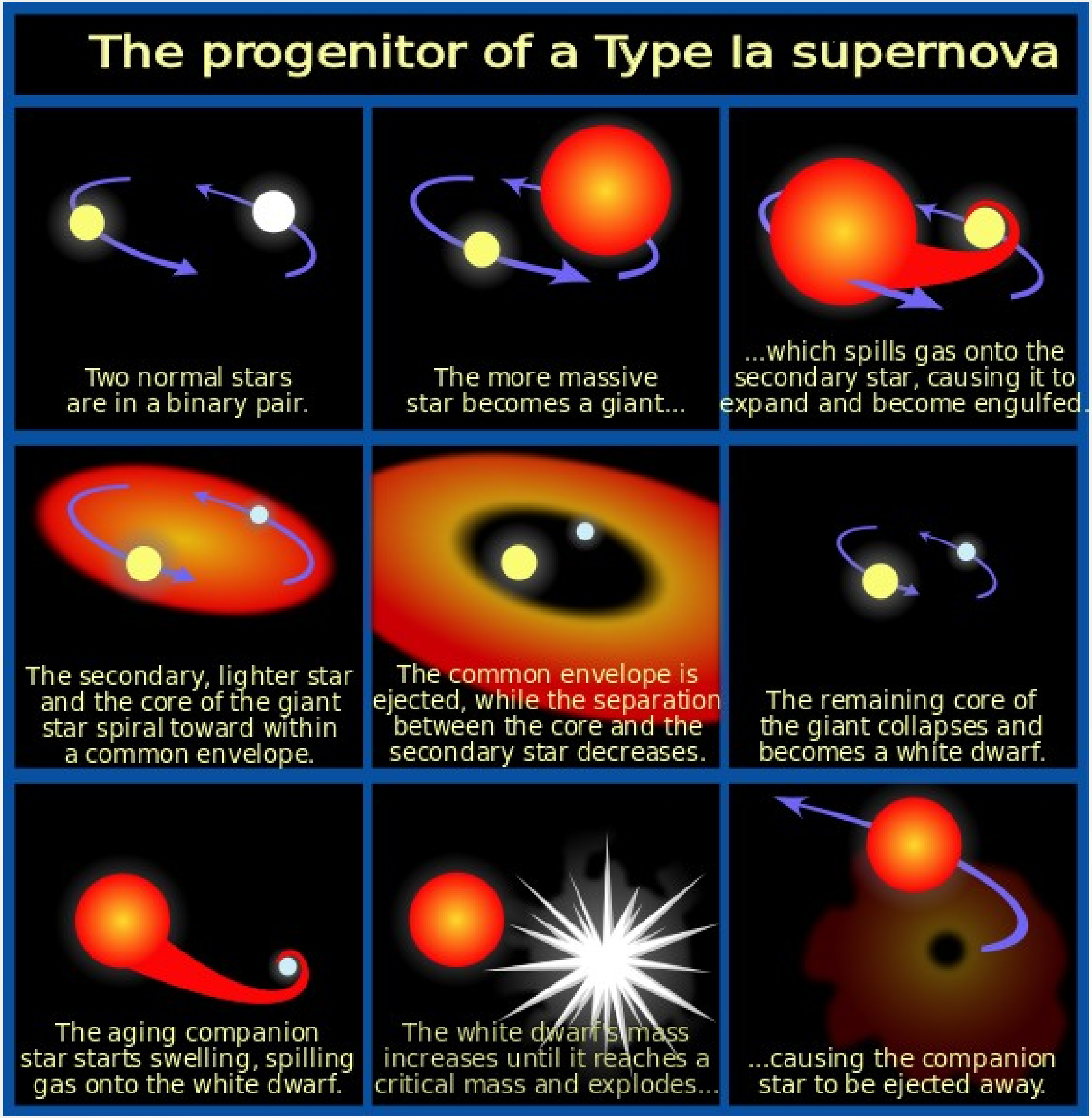
- težave: absorpcija; meritve v ožjem spektralnem območju
- primeri:
  - spremenljivke (RR Lire, kefeide)
  - supernove tipa Ia, supernove tipa II
  - galaksije kot standardni svetilniki

Kefeidne spremenljivke



Supernove tipa Ia





The progenitor of a Type Ia supernova
Two normal stars are in a binary pair.
The more massive star becomes a giant...
...which spills gas onto the secondary star, causing it to expand and become engulfed.
The secondary, lighter star and the core of the giant star spiral toward within a common envelope.
The common envelope is ejected, while the separation between the core and the secondary star decreases.
The remaining core of the giant collapses and becomes a white dwarf.
The aging companion star starts swelling, spilling gas onto the white dwarf.
The white dwarf's mass increases until it reaches a critical mass and explodes...
...causing the companion star to be ejected away.

Supernove tipa II

- ob različnih časih izmerimo j in T (iz spektra)
- predpostavimo, da je eksplozija sferno simetrična in seva kot črno telo
- lahko izračunamo R → L

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

$$\frac{j_1}{j_0} = \frac{R_1^2 T_1^4}{R_0^2 T_0^4} \longrightarrow \frac{R_1}{R_0} = \left(\frac{j_1}{j_0}\right)^{1/2} \left(\frac{T_0}{T_1}\right)^2 \longrightarrow R_0 = \frac{v \Delta t}{\left(\frac{j_1}{j_0}\right)^{1/2} \left(\frac{T_0}{T_1}\right)^2 - 1}$$

$$R_1 = R_0 + v \Delta t$$

Galaksije kot standardni svetilniki

- relacija Tully-Fisher - spiralne galaksije

$$L_B \propto v_{max}^4$$

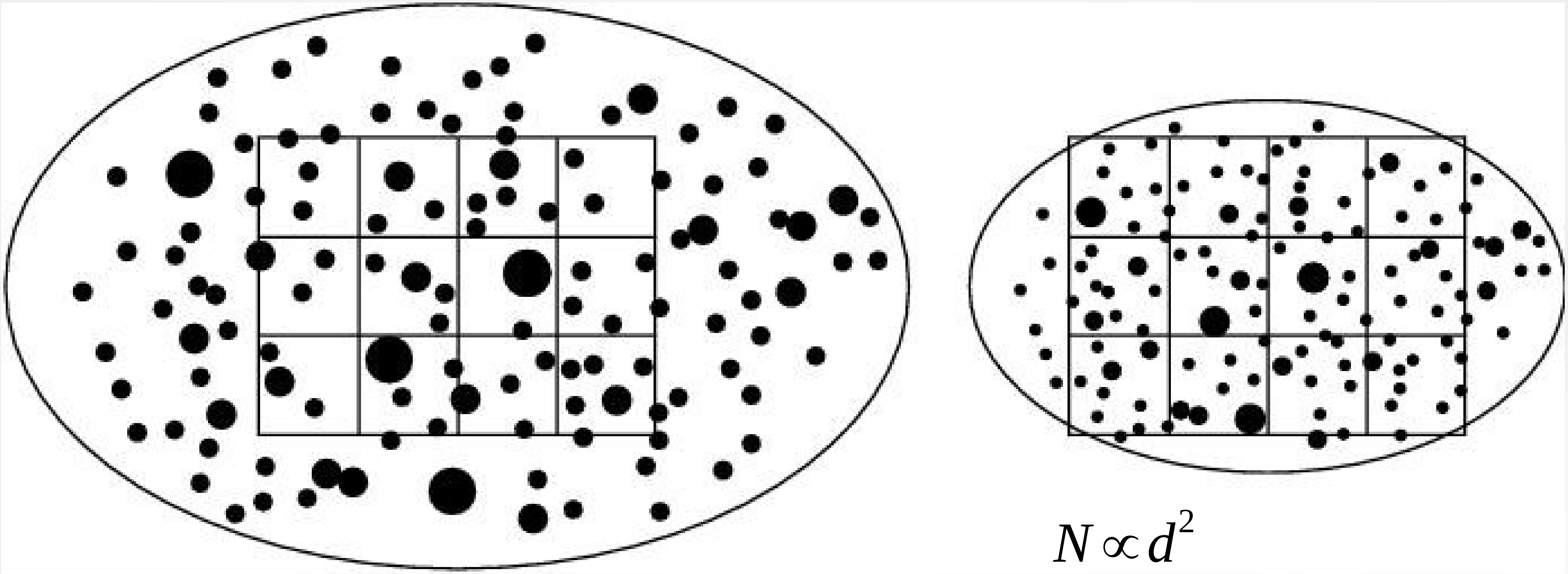
- relacija Faber-Jackson – eliptične galaksije

$$L \propto \sigma^4$$

- fundamentalna ravnina – eliptične galaksije

$$L \propto \sigma^{8/3} \langle I_e \rangle^{-3/5}$$

Površinska svetlost galaksij



$N \propto d^2$

N – število zvezd na enoto detektorja
σ – Poissonske fluktuacije gostote svetlobnega toka

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{N}}$$

$$\sigma = \frac{1}{d}$$

bolj je oddaljena galaksija večje bo število zvezd na enoto detektorja

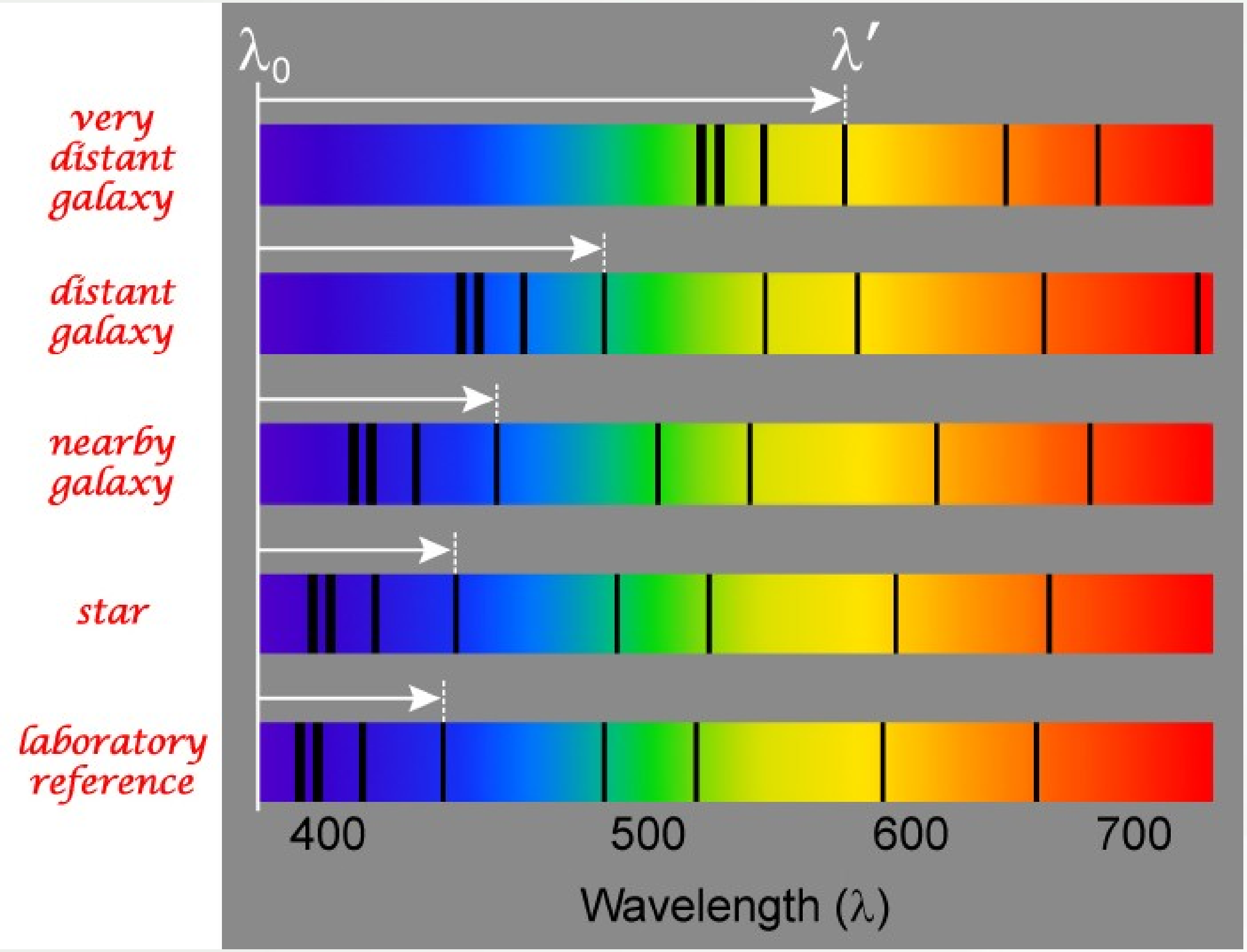
Metoda rdečega premika

- korelacija med izmerjeno oddaljenostjo do galaksij in izmerjenim spektralnim rdečim premikom galaktičnih črt

$$z \propto d$$

https://astro.unl.edu/classaction/animations/cosmology/galacticredshift.html

Rdeči premik



$$\Delta\lambda = \lambda_{obs} - \lambda_{em}$$

$$\frac{\lambda_{obs}}{\lambda_{em}} = \frac{\lambda_{em} + \Delta\lambda}{\lambda_{em}} =$$ ¿¿

$$1 + \frac{\Delta\lambda}{\lambda_{em}} = 1 + z$$

rdeči premik

$$\boxed{z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_{em}}}$$

primer premika spektralnih črt za različne astrofizikalne objekte

Hubble-Lemaitrov zakon (1929)

$$\boxed{z = H_0 \frac{d}{c}} \qquad \boxed{v = c\,z = H_0\, d}$$

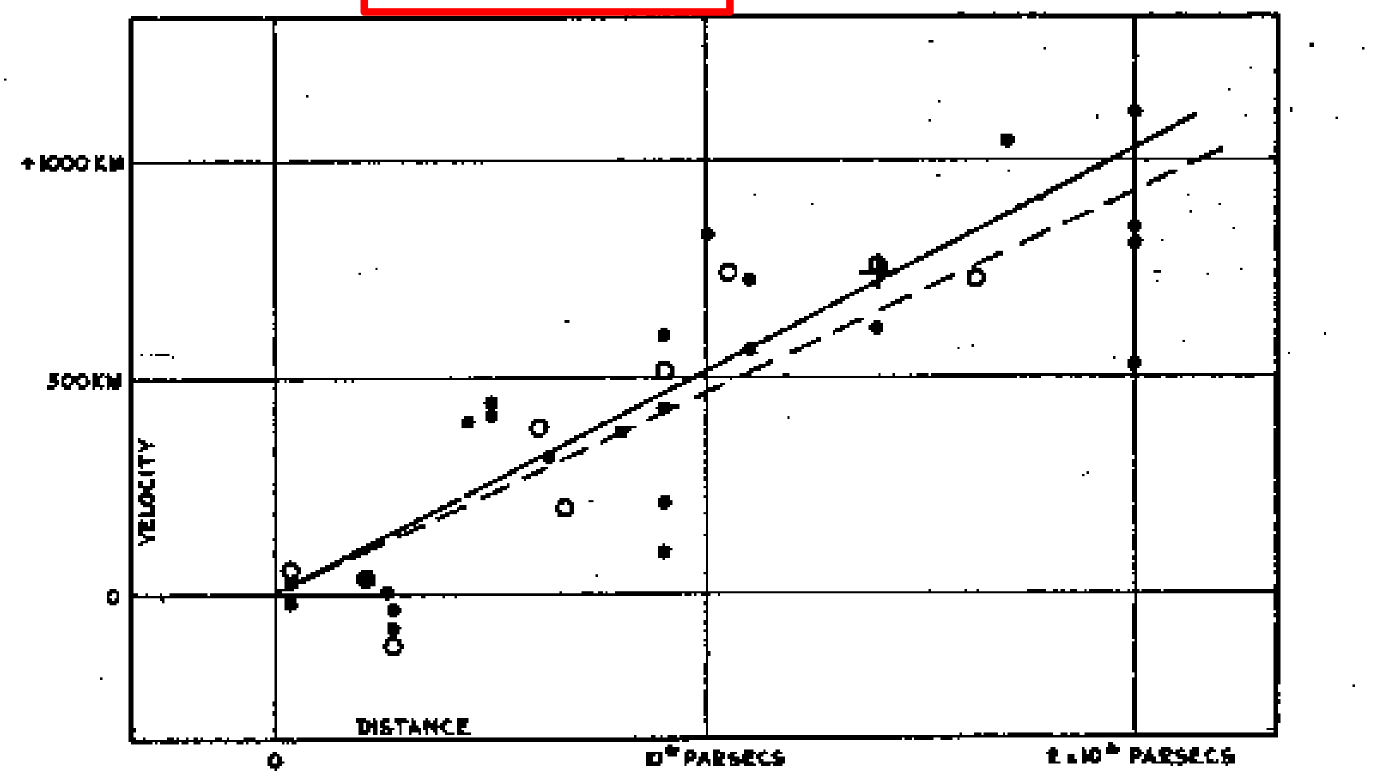
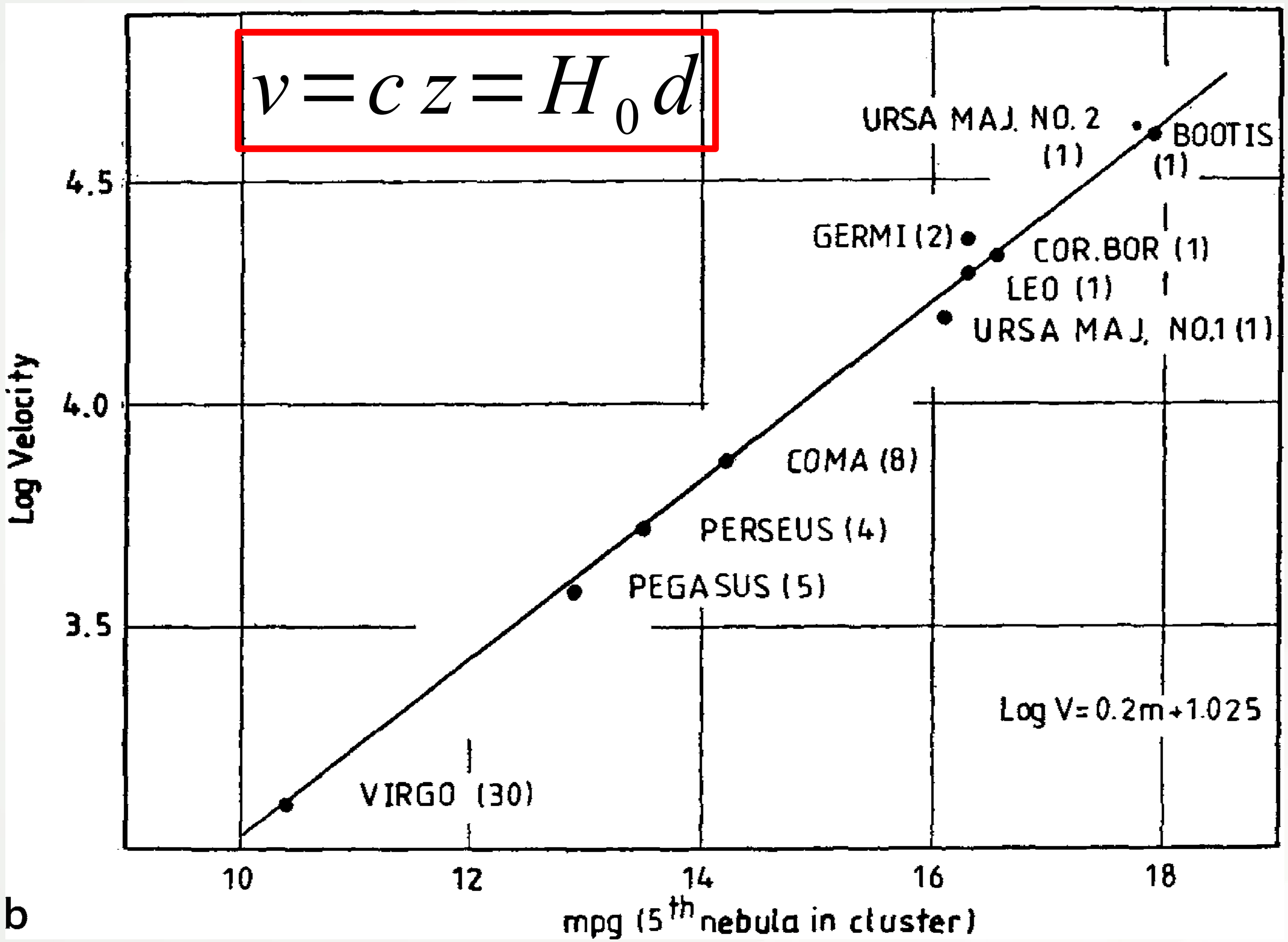


FIGURE 1

$H_0 = 100\, h\, km\, s^{-1}\, Mpc^{-1}, h = 0.67$ (zadnje meritve satelita Planck)

E. Hubble, PNAS, 1929, Volume 15, Number 3

Hubble-Lemaitrov zakon (1929)

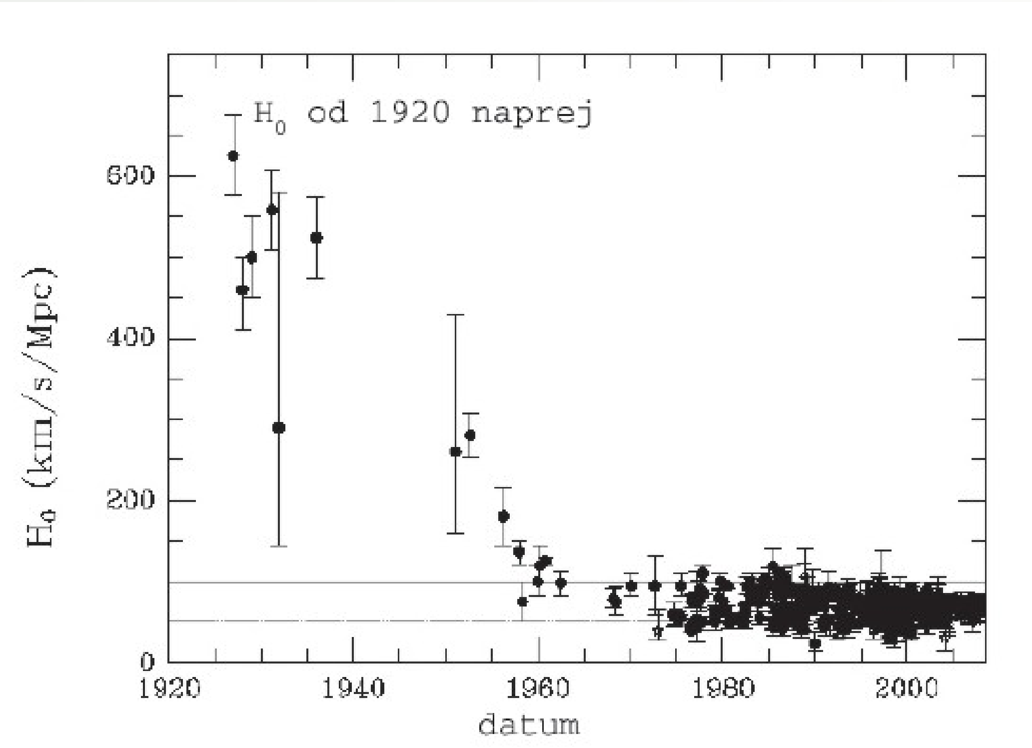


$H_0 = 100\,h\,km\,s^{-1}\,Mpc^{-1}, h = 0.67$ (zadnje meritve satelita Planck)

Hubble & Humason, 1935

Hubble-Lemaitrov zakon (1929)

$$\boxed{v = c\,z = H_0\, d}$$



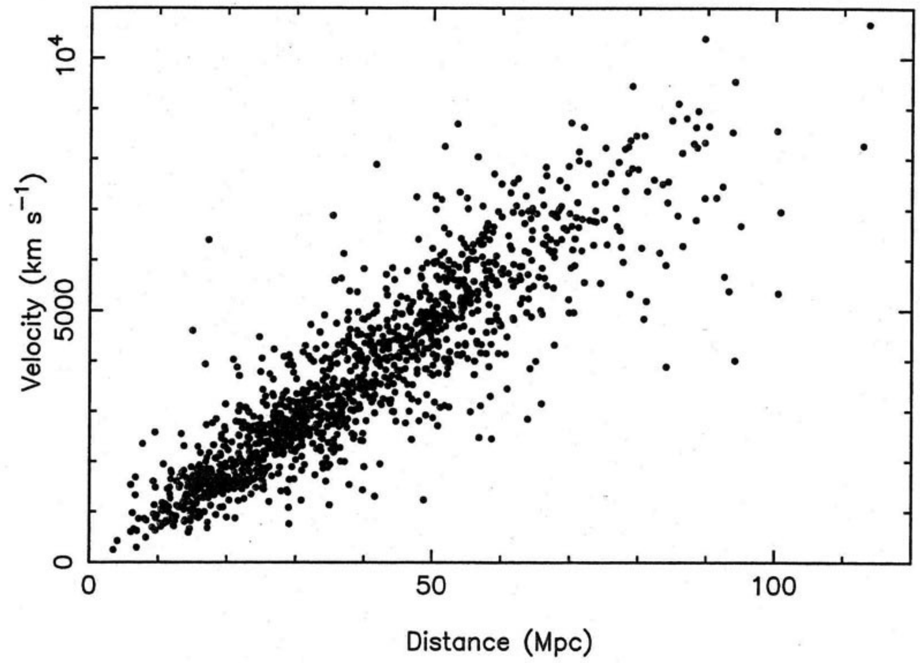


Figure 2.5 A plot of velocity versus estimated distance for a set of 1355 galaxies. A straight-line relation implies Hubble's law. The considerable scatter is due to observational uncertainties and random galaxy motions, but the best-fit line accurately gives Hubble's law. [The x-axis scale assumes a particular value of H_0.]

$H_0 = 100\, h\, km\, s^{-1}\, Mpc^{-1},\, h = 0.67$ (zadnje meritve satelita Planck)

interpretacija Hubblovega zakona

$$z \propto d$$

linearna zveza velja le do z≈0.2!

širjenje vesolja (ne Doppler)!

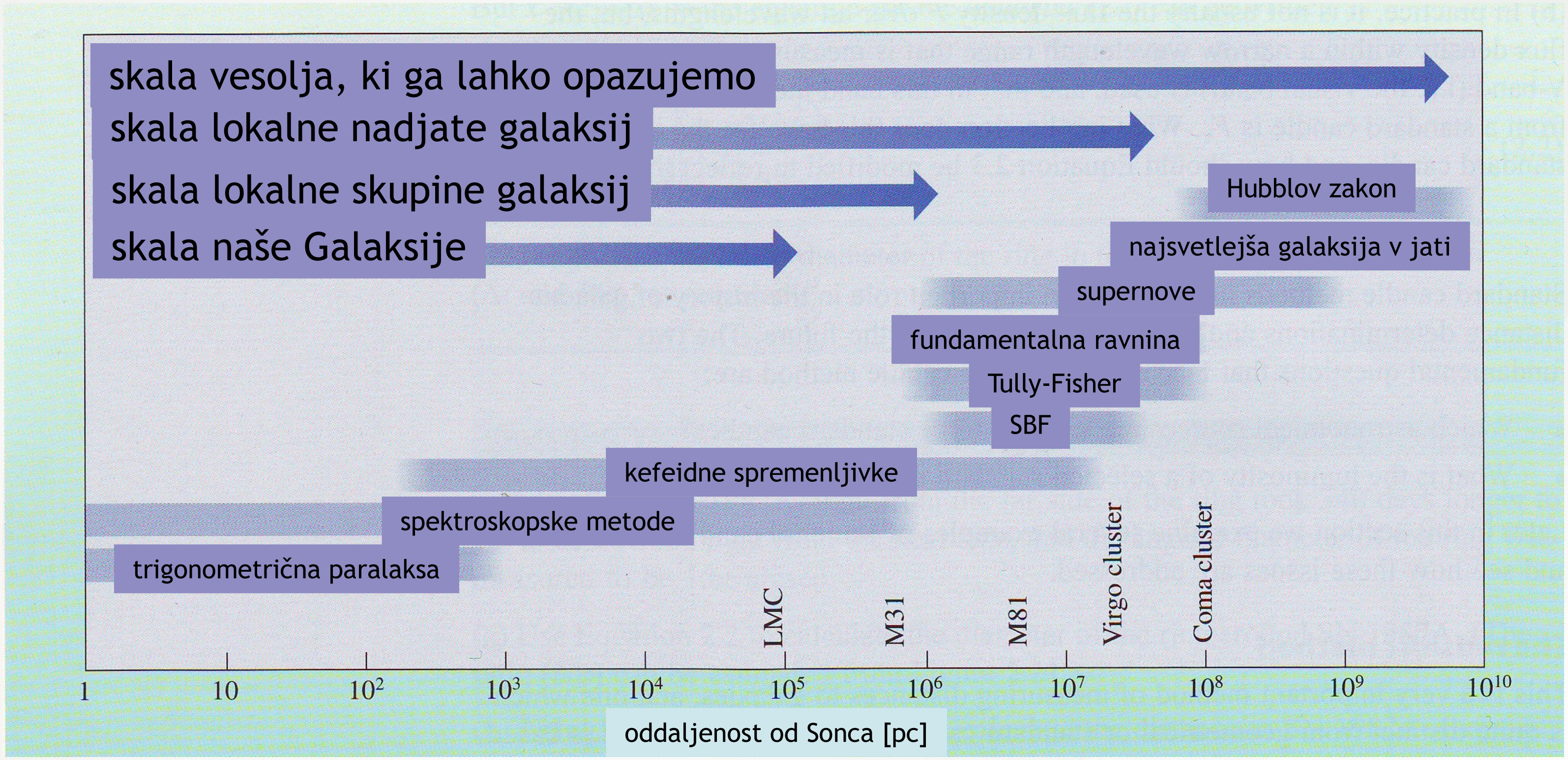
$$z = H_0 \frac{d}{c}$$

$$1 + z = \frac{\lambda_{obs}}{\lambda_{em}}$$

za z>0.2 moramo poznati kozmološki model, če želimo iz z določiti oddaljenost

http://www.astro.ucla.edu/~wright/CosmoCalc.html

Določanje razdalj do galaksij



- geometrijske metode
- metode s standardnimi svetilniki
- metode z rdečim premikom

distance ladder: lestvica razdalj - kalibracija

Navadne galaksije

Nastanek in razvoj galaksij

Viri: Jones, Lambourne (Chap. 2)

Nastanek in razvoj galaksij

Komplementarna pristopa:

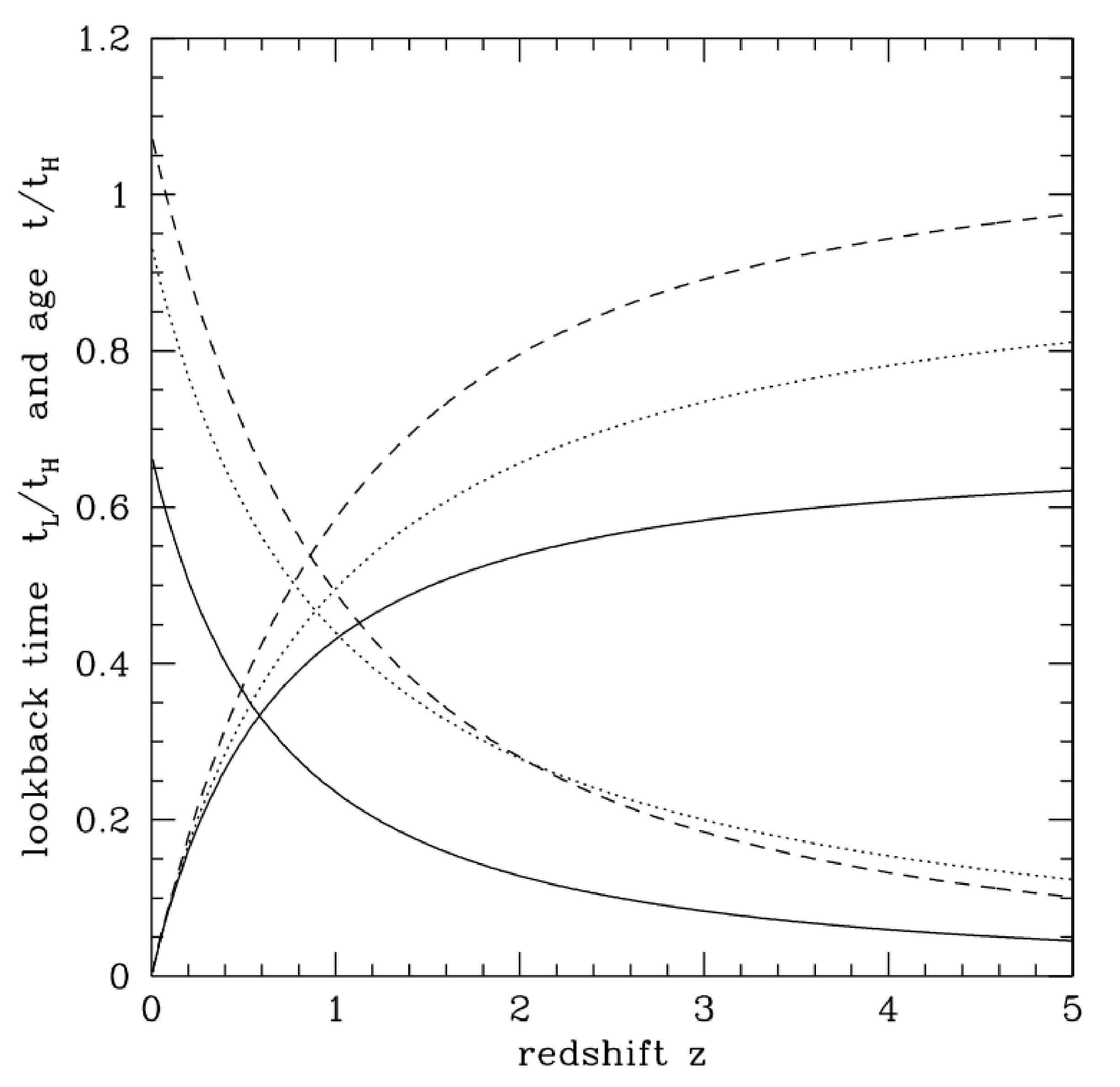
- opazovanja galaksij na različnih z
  - *pogled v preteklost*
- teorija (modeli)
  - *iz začetnih pogojev*

Nastanek in razvoj galaksij

Kratek opis zgodnjega vesolja:

- vesolje je nastalo pred okrog 14 milijardami let
- širjenje vesolja (Hubblov zakon), hitrost širjenja je bila različna (H(z)); pospešeno širjenje vesolja
- v zgodnjem vesolju izjemno visoka T, ρ
  - T in ρ snovi zelo enakomerni v vsakem trenutku
- vesolje širi, ohlaja; kvarki -> p,n (p v enakem številu kot e-)
- v nekaj min nastala He jedra-> 24% He, 76% H, sled Li, D
- tudi ne-barionski delci -> ne-barionska temna snov
- vedno deluje gravitacijska sila
- prisotne majhne fluktuacije v ρ

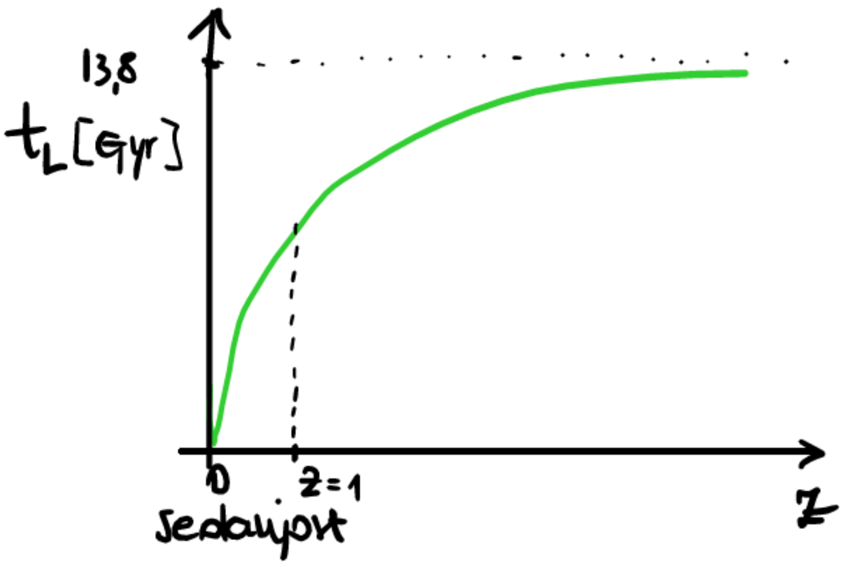
Lookback time – rdeči premik



$(\Omega_M, \Omega_\Lambda) = (1, 0)$, solid; $(0.05, 0)$, dotted; and $(0.2, 0.8)$, dashed.

lookback time (t_L)

čas, ki je potekel od nastanka (npr. emisije fotona) do opazovanja danes



t_L = lookback time

$z = 1 \qquad t_L \sim 8 \cdot 10^9$ let

$z = 10 \qquad t_L \sim 13{,}5 \cdot 10^9$ let

t_H (starost vesolja) $\sim 13{,}8 \cdot 10^9$ let

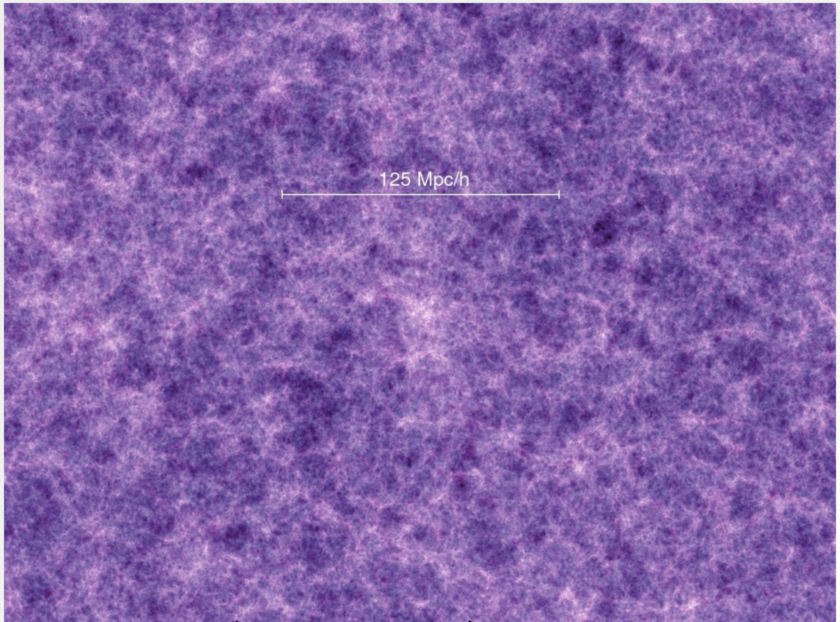
Starost vesolja pri $z=1$?

$(13{,}8 - 8) \cdot 10^9$ let $\simeq 5{,}8$ Gyr

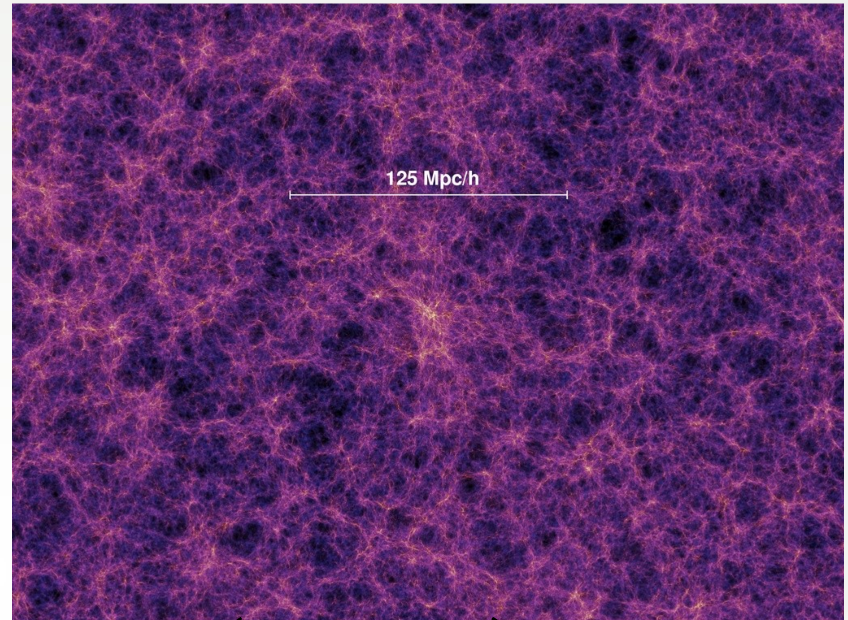
Pri $z=1 \qquad \dfrac{5{,}8}{13{,}8} \simeq 0{,}42 \qquad 42\%$

Fluktuacije v gostoti

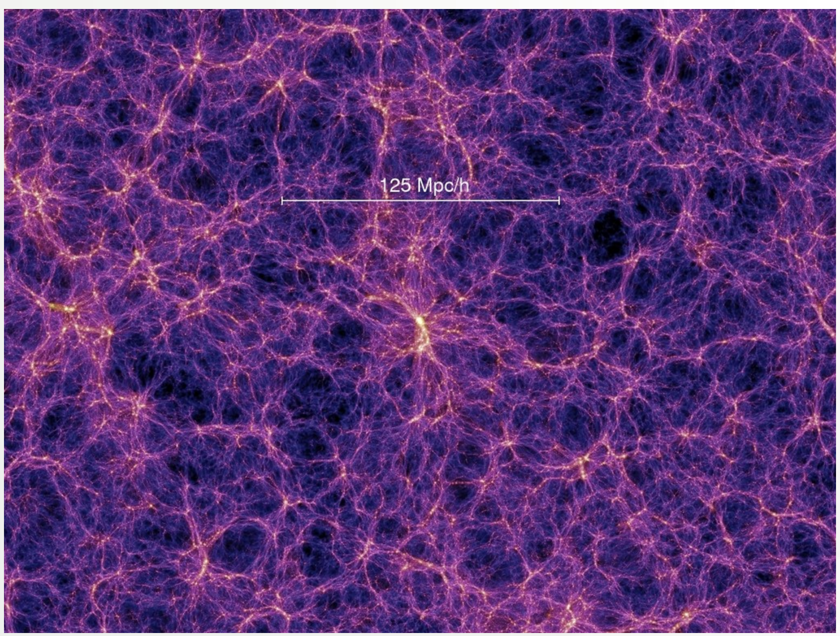
z=18.3 (t = 0.21 Gyr)



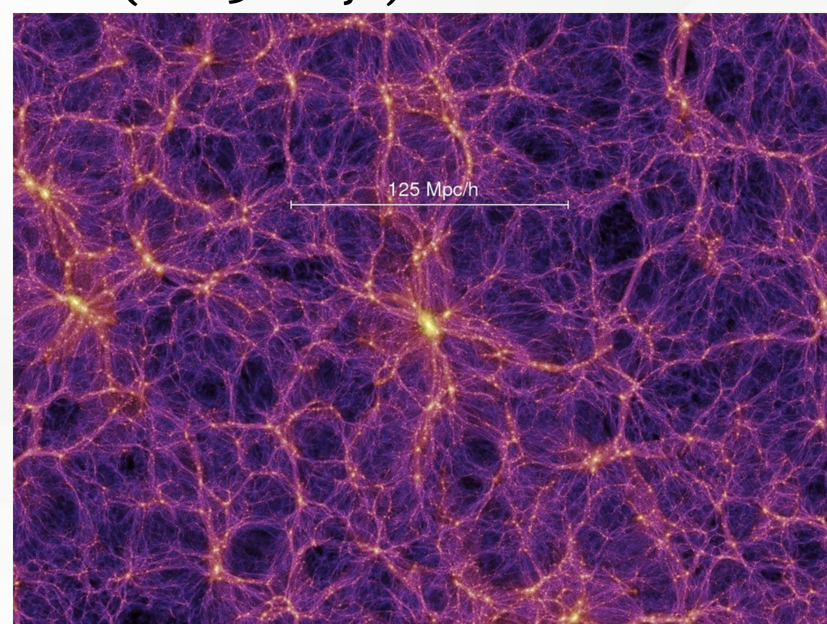
z=5.7 (t = 1.0 Gyr)



z=1.4 (t = 4.7 Gyr)



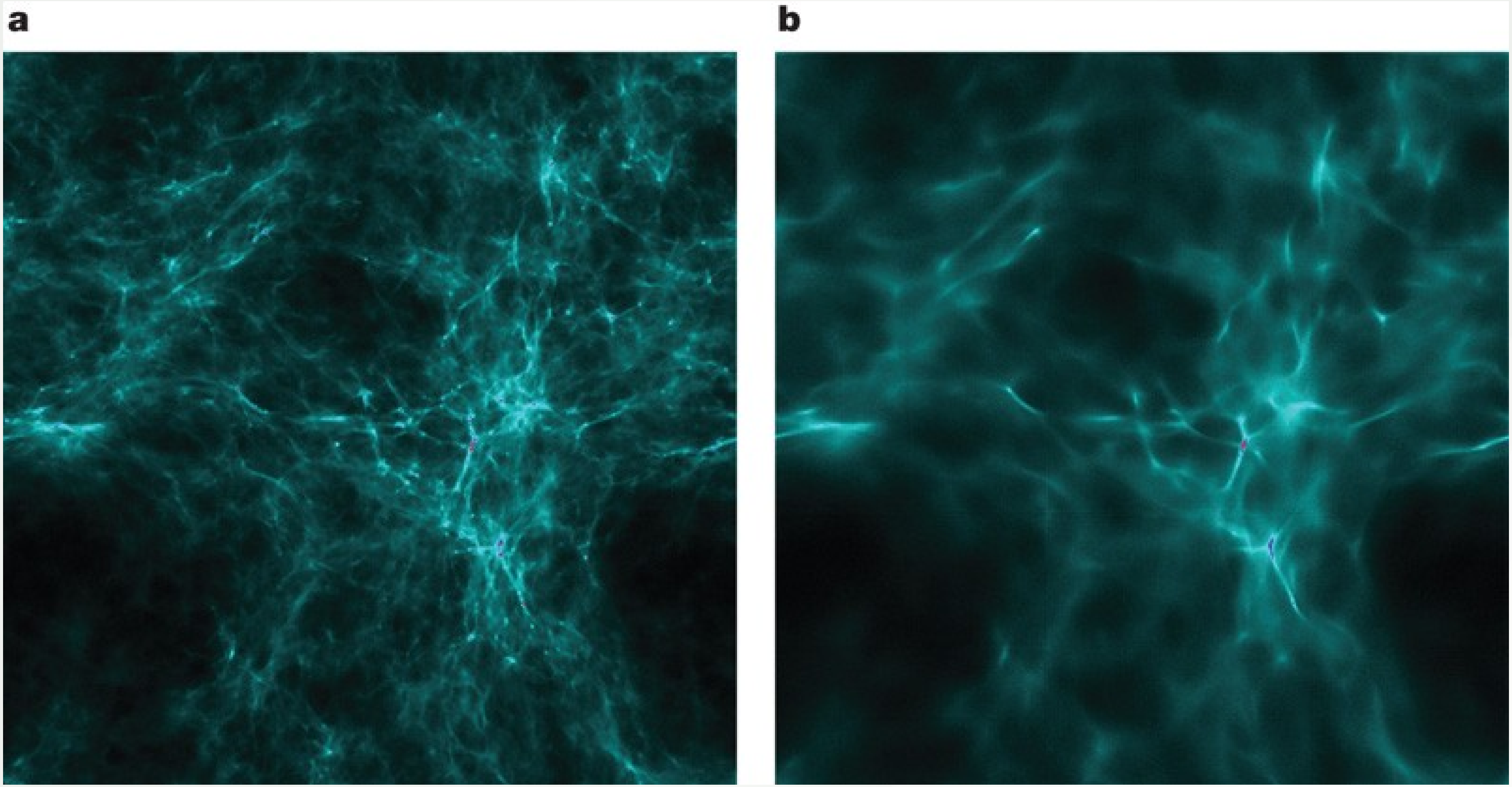
z=0 (t = 13.6 Gyr)



The Millenium Simulation Project

Vir: http://www.mpa-garching.mpg.de/galform/virgo/millennium/

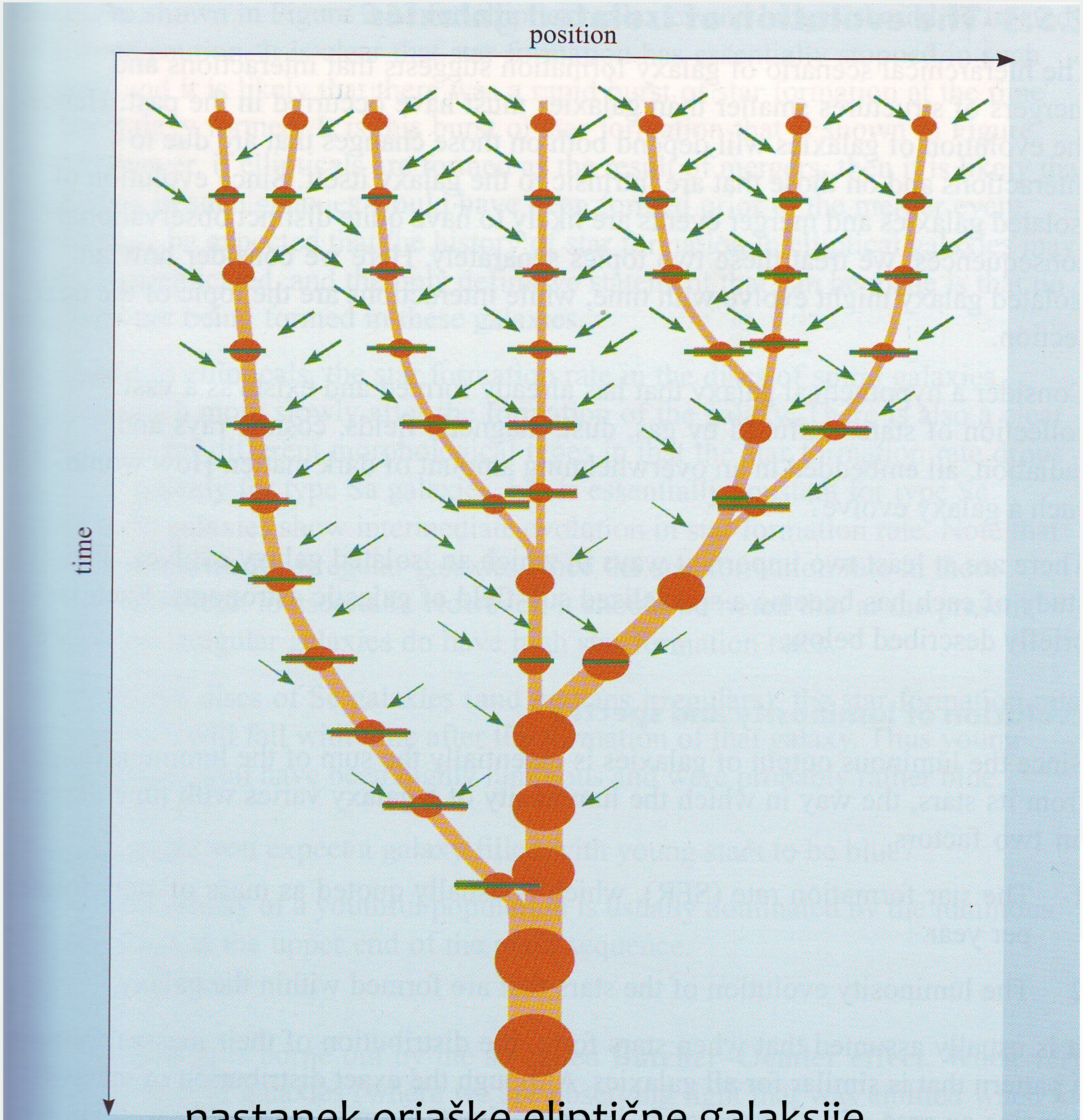
Temna snov (hladna in vroča)



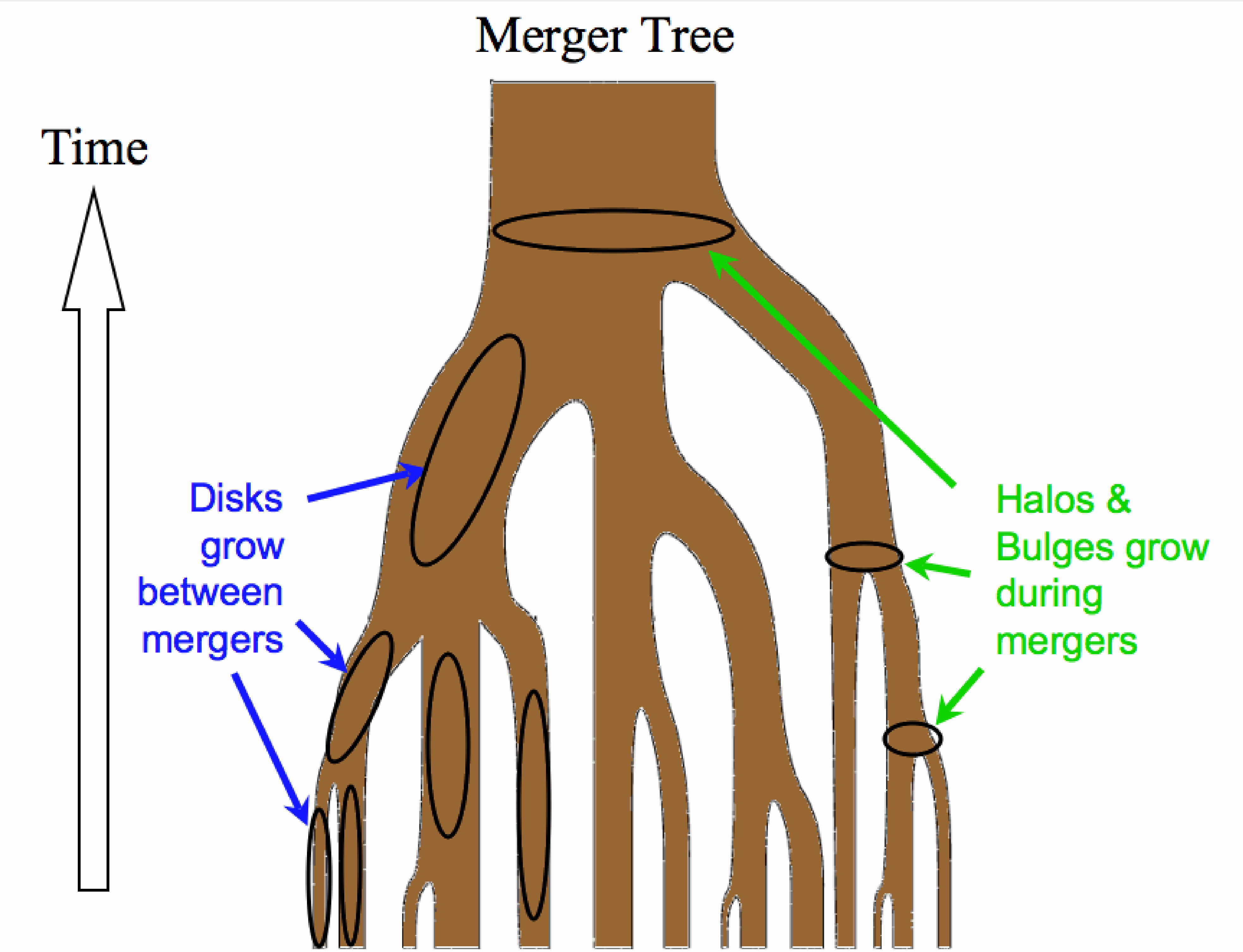
CDM (cold dark matter)
hierarhični scenarij (bottom-up)
→ združevanje

HDM (hot dark matter)
monolitni scenarij (top-down)
→ fragmentacija

V. Bromm et al. Nature 459, 49-54 (2009)



nastanek orjaške eliptične galaksije


Merger Tree
Time
Disks grow between mergers
Halos & Bulges grow during mergers

https://www.illustris-project.org/movies/illustris_movie_cube_sub_frame.mp4