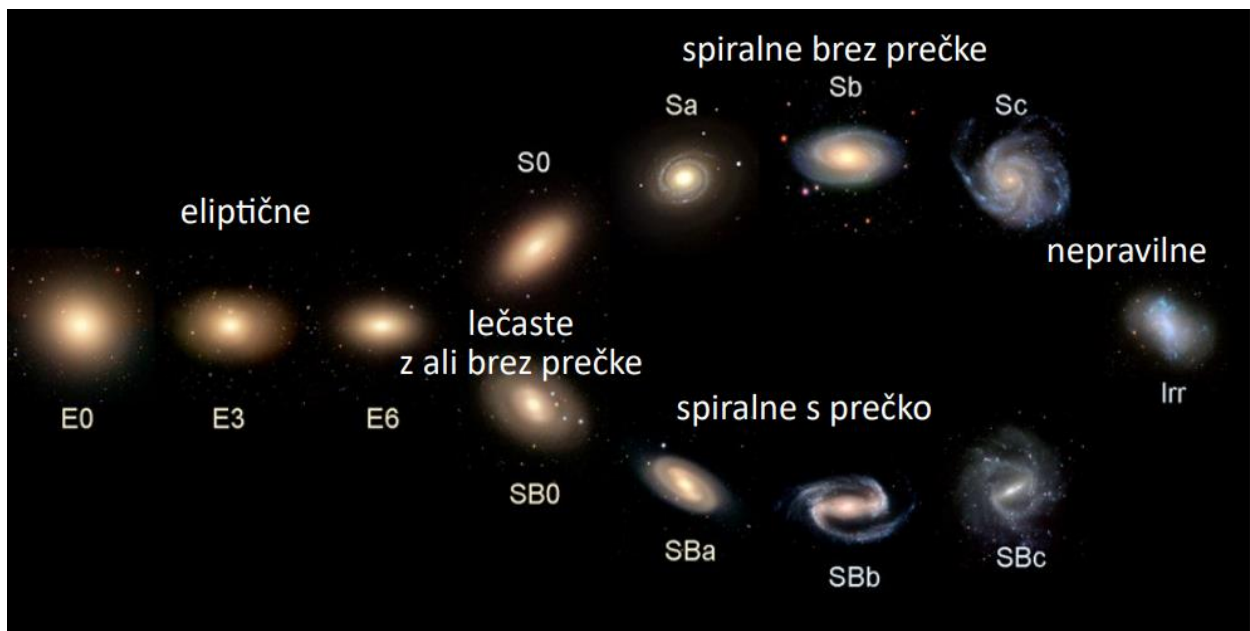


## Navadne galaksije

Galaksije so gravitacijsko vezani sistemi zvezd plina in prahu ter temne snovi. Obstaja  $\sim 10^{11}$  galaksij, vsaka z od  $10^7$  do  $10^{12}$  zvezd. Velike so lahko od  $10000 ly$  do nekaj  $100000 ly$  in so običajno milijone svetlobnih let narazen. Skušamo jih **klasificirati** glede na **morfološke lastnosti**.

## Hubbleva klasifikacijska shema

- **E** eliptične (številke za sploščenost)
- **S** spiralne (številke za zavrtost)
- **SB** spiralne s prečko (številke za zavrtost)
- **Irr** nenavadne/neppravilne



## Eliptične galaksije

### Oblika

- Oblika sploščene elipse (elipsoid oz. sferoid) ( $E0$  – okrogla,  $E7$  – najbolj sploščena)
- Posledica dejanske oblike in orientacije

### Vsebujejo

- Vsebujejo **izredno malo plina in prahu**, torej ni nastajanja novih zvezd
- Posledično vsebujejo **stare zvezde**
- Temna snov?

60% galaksij je eliptičnih (največ jih je pritlikavih eliptičnih)



## Spiralne galaksije

### Oblika

- Prisotni spiralni rokavi in središčna odebelitev
- Lahko imajo ali pa nimajo prečke
- Določimo lahko inklinacijo ravnine diska

### Poimenovanje

Iz razmerja med izsevom iz odebelitve in diska:

- *Sa, SBa* – izrazita središčna odebelitev in tesni spiralni rokavi
- *Sb, SBb* – nekaj vmes
- *Sc, SBc* – manj izrazita središčna odebelitev in široko naviti spiralni rokavi

### Vsebujejo

- **Plin in prah** v disku
- V spiralnih rokavih nastajajo **nove zvezde**
- Osrednja odebelitev je rdečkaste barve, ker je iz starih zvezd
- Prisotnost temne snovi

### Gibanje zvezd

- Gibanje zvezd je urejeno v disku
- Neurejeno pa je v središčni odebelitvi in v haloju

### Nasa Galaksija

Nasa Galaksija ima premer okoli  $100000 ly$  in je klasificirana kot *SBbc*. Skupaj je mas zvezd v njej okoli  $10^{11} M_{\odot}$ . Pri tem je plina za okoli 10% mas zvezd in prahu okoli 0.1% mas zvezd. Temne snovi je za okoli  $10^{12} M_{\odot}$ .

V splošnem je < 30% galaksij spiralnih ampak od teh je pa 60% s prečko.

## Lečaste galaksije

### Oblika

- To so galaksije z diskom ampak brez spiralnih rokavov

### Vsebujejo

- Nekaj plina
- Precej prahu
- Nastaja zelo **malo novih zvezd**, predvsem **stare (rdeče) zvezde**

## Nepravilne galaksije

### Oblika

- Nepravilna, nesimetrična

### Vsebujejo

- Zelo **veliko novih zvezd** v hitrem nastajanju

Okoli < 15% galaksij je nepravilnih.



1% galaksij ne moremo razvrstiti po tej klasifikaciji

### Posebne galaksije in galaksije v interakciji

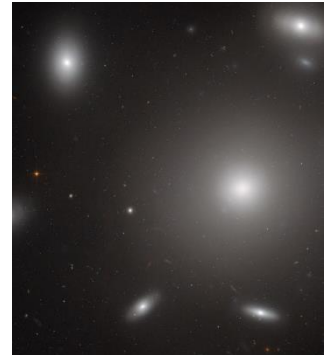
H klasifikaciji se da se *p* za **peculiar**, kot recimo za primer M87, ki je *E0p* galaksija. M87 ima curek snovi. Primeri so se *NGC 4038*, *NGC 4039* ki imata »anteni« v trku in recimo vozno kolo, ki je »raztegnjeno« zaradi trka.



### *cD* galaksije

- *c* pomeni, da gre za **orjaško galaksijo**
- *D* pomeni, da gre za difuzno območje (razsežno), ki je kot halo iz zvezd ki sveti

Običajno prisotne v sredi zgoštitev galaksij. Primer je *NGC 4874* v Berenikinih kodrih

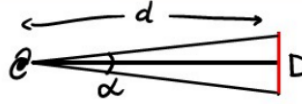


Lastnost	Eliptične	Spiralne	Nepravilne
približen delež vseh galaksij	> 60%	< 30%	< 15%
masa plina /masa zvezd	1%	5-15%	15-25%
zvezdna populacija	Pop II	Pop I in Pop II	Pop I in Pop II
masa	$10^5$ - $10^{13}$ MS	$10^9$ – nekaj $10^{12}$ MS	$10^7$ – $10^{10}$ MS
izsev	nekaj $10^5$ LS – $10^{11}$ LS	$10^9$ LS – nekaj $10^{11}$ LS	$10^7$ LS – $10^{10}$ LS
premer	(0.01-5) dG	(0.02-1.5) dG	(0.05-0.25) dG
vrtlina količina/masa	nizka	visoka	nizka
Lečaste: disk (kot spiralne), stare zvezde in malo plina in prahu (kot eliptične)			
<b>dG = premer Galaksije</b>			

## Navidezna površinska svetlost

**Površinska svetlost (intenziteta)** je količina svetlobe (na sekundo) iz dela neba na površino detektorja. Če je  $D$  velikost piksla detektorja in  $d$  oddaljenost do objekta potem vsak piksel pokrije delček objekta:

$$\alpha = \frac{D}{d}$$



Intenziteta je torej:

$$I = \frac{j}{\alpha^2} = \frac{L}{4\pi d^2} \frac{d^2}{D^2} = \frac{L}{4\pi D^2}$$

Podana je v enotah  $L_{\odot}/pc^2$  oz.  $W/arcsec^2$ . Če pogledamo Pogsonov zakon:

$$m - m_0 = -2.5 \log\left(\frac{j}{j_0}\right)$$

lahko definiramo  $\mu = mag/arcsec^2$  in tako prepišemo v zakon za intenzitete:

$$\mu - \mu_0 = -2.5 \log\left(\frac{j/\alpha^2}{j_0/\alpha_0^2}\right) = -2.5 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

V  $\mu_0 = 26.4 mag/arcsec^2$  pri  $I_0 = 1L_{\odot}/pc^2$ . Dobimo:

$$\mu = -2.5 \log I + 26.4 \Rightarrow I_V = 10^{0.4(26.4 - \mu_V)} L_{\odot}/pc^2$$

## Izofote (Isophotes) eliptičnih galaksij

Na podlagi izofot (krivulja, ki povezuje točke z enako intenziteto) lahko določimo profil svetlosti. Iz profila svetlosti, lahko določimo standardno velikost.

## Profil svetlosti galaksij

$$I(r) = I_0 \left(\frac{r}{r_c} + 1\right)^{-2}$$

V splošnem velja samo za središča eliptičnih galaksij, kjer je  $r_c$  core radius.

## Eliptične galaksije

Velja zakon  $r^{1/4}$  oz. de Vaucouleurjev zakon:

$$\log_{10} \left[ \frac{I(r)}{I(r_e)} \right] = -3.3307 \left[ \left( \frac{r}{r_e} \right)^{\frac{1}{4}} - 1 \right]$$

kjer je  $r_c$  radij znotraj katerega galaksija izseva polovico svojega skupnega izseva. Skupni izsev lahko potem zapišemo kot:

$$L = 7.125 \pi I_e r_e^2 \left(\frac{b}{a}\right)$$

kjer je  $I_e$  intenziteta pri  $r_e$  in  $(b/a)$  razmerje male in velike polosi.

## Spiralne in lečaste galaksije

Za sferno središčno odebelitev uporabimo de Vaucouleurjev zakon. Za disk pa velja:

$$I(r) = I_0 \exp\left(-\frac{r}{h}\right)$$

kjer je  $h$  karakteristična dolžina diska in za  $I_0$  vzamemo:

- $I_0 = 21.67 \text{ magB/arcsec}^2$
- $I_0 = 22.5 \text{ magB/arcsec}^2$  za galaksije z nizko površinsko svetlostjo.

Skupni izsev lahko zapišemo kot:

$$L = 4\pi h^2 I_0$$

Skupna porazdelitev (Sérsicov indeks)

Skupaj to lahko opišemo kot:

$$\log_{10} \left[ \frac{I(r)}{I(r_e)} \right] = -b_n \left[ \left( \frac{r}{r_e} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right]$$

kjer je  $n$  Sérsicov indeks in je  $b_n$  normalizacija.

- $n = 4$  dobimo tako kot prej de Vaucouleurjev zakon  $r^{1/4}$  za **eliptične, središčne odebelitve**
- $n = 1$  dobimo eksponentni zakon za **spiralne**

## Masa galaksij

*Ali gre res za gravitacijsko vezane sisteme?*

Poglejmo crossing time  $t_{cr} = R/\bar{v}$ . Recimo:

$$t_{cr} = \frac{2\pi R_{\odot}}{v_{\odot}} \approx 2.5 \cdot 10^8 \text{ let} \ll 1.3 \cdot 10^{10} \text{ let}$$

Iz tega, da je crossing time krajši od starosti nase galaksije lahko sklepamo, da smo v gravitacijsko vezanem sistemu.

## Virialni teorem

Virialni teorem pravi:

$$\Xi_i = -\frac{1}{2} \langle \vec{r}_i \cdot \vec{F}_i \rangle$$

kjer je  $\Xi_i$  povprečna kinetična energija sistema. Naj ima  $i$ -ti delec maso  $m_i$  in naj interagira z ostalimi preko gravitacije:

$$\ddot{\vec{r}}_i = \sum_{j \neq i} \frac{Gm_j(\vec{r}_j - \vec{r}_i)}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|^3}$$

Naredimo skalarni produkt z  $m_i \vec{r}_i$ :



$$m_i(\ddot{\vec{r}}_i \cdot \dot{\vec{r}}_i) = \sum_{j \neq i} Gm_i m_j \frac{\dot{\vec{r}}_i \cdot (\vec{r}_j - \vec{r}_i)}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|^3}$$

Poglejmo se par odvodov:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}(\dot{\vec{r}}_i \cdot \dot{\vec{r}}_i) &= 2\dot{\vec{r}}_i \ddot{\vec{r}}_i \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} \frac{d}{dt}(\dot{\vec{r}}_i \cdot \dot{\vec{r}}_i) \right) &= \frac{d}{dt}(\dot{\vec{r}}_i \cdot \dot{\vec{r}}_i) = \dot{\vec{r}}_i \ddot{\vec{r}}_i + \ddot{\vec{r}}_i \dot{\vec{r}}_i \end{aligned}$$

in

$$\frac{1}{2} \frac{d^2}{dt^2} \sum_i (m_i r_i^2) - \sum_i m_i \dot{r}_i^2 = \sum_i \sum_{j \neq i} Gm_i m_j \frac{\dot{\vec{r}}_i \cdot (\vec{r}_j - \vec{r}_i)}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|^3}$$

iz česa sledi:

$$Gm_i m_j \left[ \frac{\dot{\vec{r}}_i \cdot (\vec{r}_j - \vec{r}_i)}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|^3} + \frac{\dot{\vec{r}}_j \cdot (\vec{r}_i - \vec{r}_j)}{|\vec{r}_j - \vec{r}_i|^3} \right] = - \frac{Gm_i m_j}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|^3}$$

In tako dobimo torej:

$$\frac{1}{2} \frac{d^2}{dt^2} \sum_i m_i r_i^2 - \sum_i m_i \dot{r}_i^2 = - \frac{1}{2} \sum_i \sum_{j \neq i} \frac{Gm_i m_j}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|^3}$$

V prvem členu je vrtilna količina, ki je v ravnovesju enaka nič. Tako dobimo:

$$2W_k = W_g$$

Uporaba virialnega teorema za tehtanje

Merimo lahko radialne hitrosti. Recimo, za **jate galaksij** privzamemo:

$$\begin{aligned} \langle v^2 \rangle &= 3\langle v_r^2 \rangle \\ \Rightarrow W_k &= \frac{1}{2} \sum_i m_i \dot{r}_i^2 = \frac{1}{2} M 3\langle v_r^2 \rangle \quad W_g = - \frac{GM^2}{R} \end{aligned}$$

Tako dobimo skupno enačbo:

$$3M\langle v_r^2 \rangle = G \frac{M^2}{R} \Rightarrow M = \frac{3\langle v_r^2 \rangle R}{G}$$

Rotacijske krivulje spiralnih galaksij

Iz rotacijske krivulje lahko izračunamo razmerje **masa-izsev**. Velja:

$$M(\leq r) = \frac{v_{rot}^2(r)r}{G}; \quad M \propto r$$



Kar pa je v nasprotju s porazdelitvijo svetlobe v disku. Prisotna je temna snov. Če izračunamo razmerje samo za vidni del galaksije dobimo:

$$M/L \sim 1 - 10 M_{\odot}/L_{\odot}$$

V resnici pa ugotovimo, da je mase veliko več kot bi pričakovali za izmerjen izsev (posledica DM):

$$M/L \sim 10 - 20 M_{\odot}/L_{\odot}$$

### Disperzija hitrosti eliptičnih galaksij

Upoštevamo Dopplerjevo razširitev absorpcijskih črt, da dobimo hitrosti zvezd v galaksiji. Tako izmerimo:

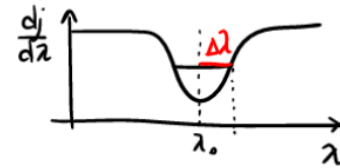
$$M/L \sim 10 - 20 M_{\odot}/L_{\odot}$$

### Vroči plin okoli orjaških galaksij (eliptičnih)

## Lastnosti eliptičnih galaksij

### Disperzija hitrosti

$$\sigma = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} c$$



### Faber-Jacksonova relacija

$$L \propto \sigma^x; x = 3, \dots, 5$$

Disperzija hitrosti v središču eliptičnih galaksij:

$$L \propto \sigma^4$$

### Fundamentalna ravnina

Fundamentalna ravnina povezuje izsev, središčno disperzijo hitrosti in površinsko svetlost.

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

kjer je  $\langle I_e \rangle$  povprečna površinska svetlost znotraj radija polovičnega izseva:

$$\Sigma_e \equiv \langle I_e \rangle = \frac{L(\leq r_e)}{\pi r_e^2}$$

### Od kod F-J relacija?

Za eliptične galaksije velja  $M \propto \sigma^2 r_e$  in  $L \propto I_e r_e^2$ . Iz tega dobimo  $r_e \propto M/\sigma^2$ .

$$L \propto I_e \frac{M^2}{\sigma^4} \quad | : L^2$$

$$\frac{1}{L} \propto I_e \frac{M^2}{L^2} \frac{1}{\sigma^4} \Rightarrow L \propto \frac{\sigma^4}{I_e (M/L)^2}$$

$I_e$  in  $(M/L)$  sta konstanti za vse eliptične galaksije. Tako dobimo relacijo.

## Lastnosti spiralnih galaksij

En del se premika proti nam drug pa stran od nas

### Tully-Fisherjeva relacija

$$v_{max} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} c$$

kjer je  $v_{max}$  maksimalna hitrost rotacijske krivulje spiralne galaksije.

Relacija pravi:

$$L \propto v_{max}^x; \quad x = 4$$

### Meritev širine emisijske črte

$$W = 2v_{max} \sin i$$

kjer je  $i$  inklinacija in  $W$  širina črte. Iz premika črte lahko ugotovimo se hitrost galaksije oz. njeno oddaljenost.

### Interpretacija Tully-Fisherjeve relacije za eksponentni disk

Vemo da za disk velja:

$$I(r) = I_0 e^{-r/h}; \quad n \propto e^{-r/h}$$

Privzemimo da velja  $M/L \approx 1$

$$M \propto \int_0^\infty 2\pi r I(r) dr = 2\pi I_0 \int_0^\infty x h I_0 e^{-x} h dx \quad | \quad x = r/h$$

$$\Rightarrow 2\pi I_0 h^2 \int_0^\infty x e^{-x} dx = 2\pi I_0 h^2$$

Velja:

$$\frac{GM}{h^2} \cong \frac{v_{max}^2}{h}$$

$$\frac{G2\pi I_0 h^2}{h^2} \cong \frac{v_{max}^2}{h} \rightarrow v_{max} \propto (I_0 h)^{1/2}$$

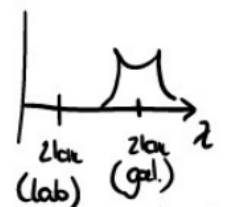
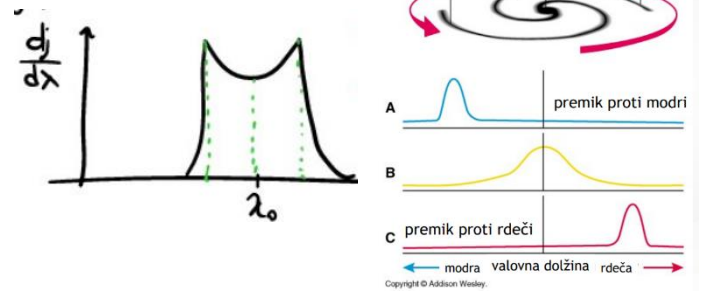
Tako imamo torej:

$$M \propto 2\pi I_0 h^2 \quad v_{max}^4 \propto I_0^2 h^2$$

$$\Rightarrow M \propto \frac{2\pi}{I_0} v_{max}^4 \rightarrow \frac{M}{L} \propto \frac{2\pi}{I_0} v_{max}^4$$

Tu upoštevamo se  $M/L = 1/I_0$  in dobimo Tully-Fisherjevo relacijo:

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





## Relacija Izsev-Kovinskost

**Bistvo:** Obstaja veliko količin, kjer nam korelacija med njimi omogoči veliko oceniti o galaksijah.

## Rdeča in modra sekvenca galaksij

*Pomembna pregleda neba:*

- **SDSS** (Sloan Digital Sky Survey)
- **2dF Galaxy Redshift Survey**

Oba zelo velika vzorca, kjer se je naredila računalniška analiza slik in spektrov.

**Rdeča sekvenca** je sestavljena iz masivnih sferoidnih galaksij, v katerih ne nastajajo nove zvezde.

**Modra sekvenca** je sestavljena iz galaksij v katerih nastajajo nove zvezde.

Populacijo lahko delimo na podlagi starosti zvezdnih populacij in koncentracije svetlobe v središču.

Indikatorji:

- $D4000$  – Balmerjeva diskontinuiteta  
Stara populacija ima visok  $D4000$
- $H\delta$  – indeks moči absorpcijske črte  
Visok v galaksijah z izbruhom nastanka zvezd
- $C$  – indeks koncentracije  $C = R90/R50$ 
  - $C > 2.6$  za eliptične
  - $C > 2.6$  za spiralne
- $\mu$  – povprečna gostota zvezd znotraj radija polovičnega izseva

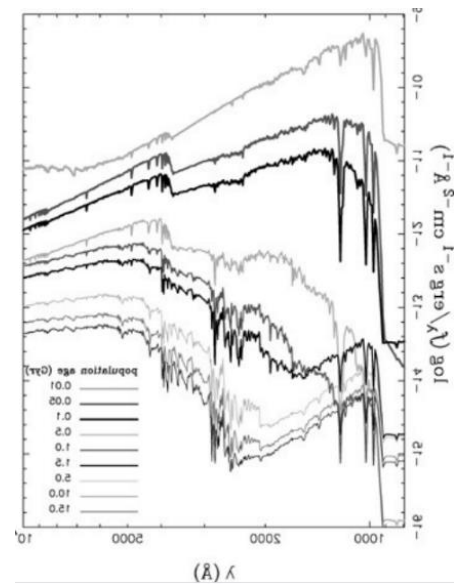
## Sestava Galaksij

Sklepamo, da imajo vse galaksije vse spektralne tipe zvezd in zraven ostanke zvezd ipd.

Populacijska sinteza in integriran spekter galaksij

Gledamo evolucije intrinzične spektralne porazdelitve energije (SED- Spectral energy distribution) v kateri so zvezde nastale v istem času in predstavljajo enotno zvezno populacijo. Ta zvezna populacija ima skupno maso  $10^{10} M_{\odot}$ .

Ta sintetično generiran spekter primerjamo z spektri, ki jih izmerimo v naravi. Tako lahko ocenimo kakšno porazdelitev zvezd imamo v galaksiji in kakšna je njena starost.



## Določanje razdalj do galaksij

Imamo na voljo različne metode:

- Geometrijske metode
- Standardni svetilniki
- Rdeči premik

## Geometrijske metode

Cisto preprosto:

$$d = \frac{l}{\theta}$$

kjer je  $\theta$  kotna velikost in  $l$  razseznost. Problem je, da  $l$  ni znan za veliko objektov.

### Primer Veliki Magelanov Oblak in SN1987A

Eksplozija je osvetlila plin (light echo) in smo dobili znan premer,  $\theta$  pa se je izmeril.

$$x = c\Delta t$$

$$(2a)^2 = x + (2b)^2 \rightarrow 4 = \left(\frac{x}{a}\right)^2 + 4\left(\frac{b}{a}\right)^2 \rightarrow \left(\frac{x}{a}\right)^2 = 4\left(1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2\right)$$

$$c\Delta t = x = 2a\sqrt{1 - (b/a)^2}$$

Zanima nas prava velikost  $2a$ :

$$2a = \frac{c\Delta t}{\sqrt{1 - (b/a)^2}} \Rightarrow d = \frac{2a}{\theta}$$

kjer  $\Delta t$  in  $b/a$  izmerimo. V tem primeru  $\Delta t = 340$  dni,  $\theta = 1.66''$  in  $b/a \cong 0.69$ . Dobimo  $d = 48.2$  kpc.

## S standardnimi svetilniki

**Standardni svetilnik:** objekt z znanim izsevom:

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

Težave nam povzroči absorpcija in meritve v ožjem spektralnem območju. Primeri standardnih svetilnikov:

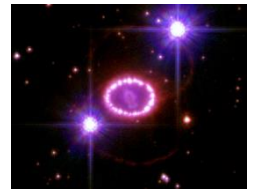
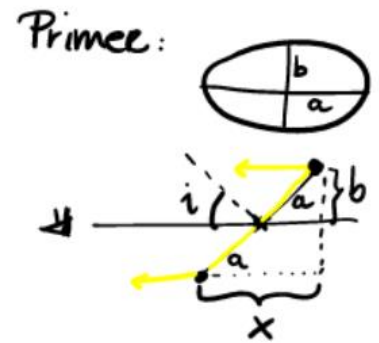
- **Spremenljivke** (RR Lire, Kefeide)
- **Supernove tipa Ia, II**
- **Galaksije kot standardni svetilniki**

### Supernove tipa II

Ob različnih časih izmerimo  $j$  in  $T$  (iz spektra) in predpostavimo, da je eksplozija sferno simetrična in seva kot črno telo. Iz  $R$  lahko izračunamo  $L$ :

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

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



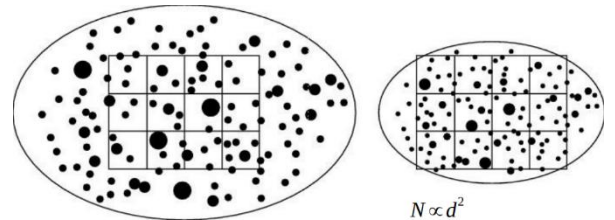
### Galaksije kot standardni svetilniki

- Za spiralne galaksije relacija Tully-Fisher  $L \propto v_{max}^4$
- Za eliptične galaksije:
  - Relacija Faber-Jackson  $L \propto \sigma^4$
  - Fundamentalna ravnina  $L \propto \sigma^{\frac{8}{3}} \langle I_e \rangle^{\left(-\frac{3}{5}\right)}$

### Površinska svetlost galaksij

$N \propto d^2$  je število zvezd na enoto detektorja in  $\sigma$  so Poissonsove fluktuacije gostote svetlobnega toka. Bolj je oddaljena galaksija večje bo število zvezd na enoto detektorja:

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



### Metoda rdečega premika

Imamo korelacijo med izmerjeno oddaljenostjo do galaksij in izmerjenim spektralnim rdečim premikom črt.

$$z \propto d$$

$$\Delta\lambda = \lambda_{obs} - \lambda_{em} \quad \frac{\lambda_{obs}}{\lambda_{em}} = \frac{\lambda_{em} + \Delta\lambda}{\lambda_{em}} \Rightarrow 1 + \frac{\Delta\lambda}{\lambda_{em}} = 1 + z \Rightarrow z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_{em}}$$

Hubble-Lemaitrov zakon:

$$z = H_0 \frac{d}{c} \quad v = cz = H_0 d; \quad H_0 = 100h \frac{km}{sMpc}; \quad h = 0.67$$

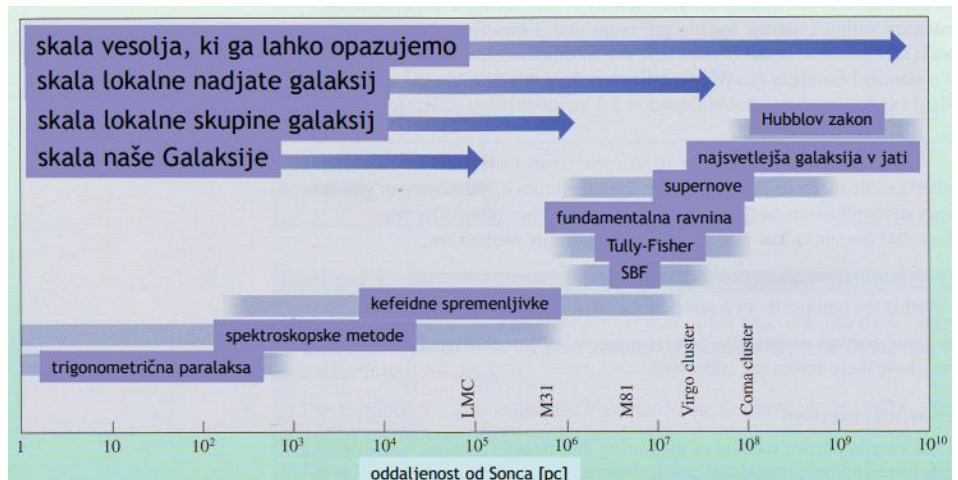
kjer je  $h$  **Hubbleov parameter**.

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

Linearna zveza velja le do  $z \approx 0.2$ . Gre za **sirjenje vesolja** in ne za Dopplerjev efekt. Za  $z > 0.2$  moramo poznati kozmološki model, če želimo določiti oddaljenost.

### Distance ladder (lestvica razdalj)

Natančnost metod za daljše razdalje določimo preko poznavanja prejšnje metode.



## Nastanek in razvoj galaksij

Poznamo dva komplementarna pristopa:

- Opazovanja galaksij na različnih  $z$  (omogoča »pogled v preteklost«)
- Teorija/modeli (narejeni iz različnih začetnih pogojev)

### Kratek opis zgodnjega vesolja

- Vesolje je nastalo pred okoli 14 milijardami let
- Hitrost sirjenja vesolja je bila različna
- V zgodnjem vesolju imamo izjemno visoki  $T, \rho$ . Sta zelo enakomerni v vsakem trenutku
- Vesolje se siri in s tem ohlaja
- Pojavijo se kvarki, ki sestavijo protone in nevtrone (protonov je enako kot elektronov)
- V nekaj minutah so nastala jedra 76%  $H$ , 24%  $He$  in sledi  $Li$  in  $D$
- Nastanejo tudi nebarionski delci  $\rightarrow$  nebarionska temna snov
- Vedno deluje gravitacijska sila
- **Prisotne majhne fluktuacije v gostoti  $\rho$**

### Lookback time

Lookback time  $t_l$  je čas, ki je pretekel od nastanka (npr. emisije fotona) do opazovanja danes.

$$z = 1 \quad t_l \sim 8 \cdot 10^9 \text{ let}$$
$$z = 10 \quad t_l \sim 13.5 \cdot 10^9 \text{ let}$$

Starost vesolja pa je  $13.8 \cdot 10^9 \text{ let}$ . Če nas recimo zanima starost vesolja pri  $z = 1$ :

$$(13.8 - 8) \cdot 10^9 \text{ let} \cong 5.8 \text{ Gyr} \quad \frac{5.8}{13.8} \cong 0.42$$

Tako je vesolje staro 42% svoje današnje starosti.

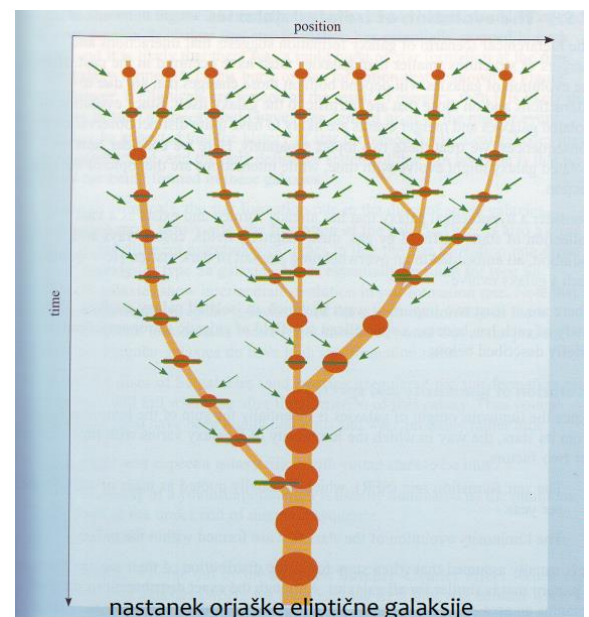
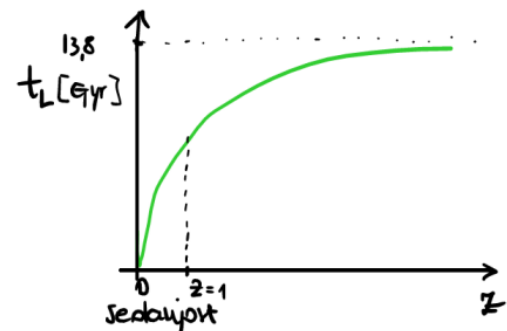
### Temna snov

Trenutno sprejet je model hladne temne snovi (termične hitrosti počasne v primerjavi s svetlobo). Modeli pokažejo, da se taka temna snov združuje v vedno večje strukture. Imamo hierarhični/bottom-up scenarij.

Druga opcija je pa vroča temna snov, kjer pa pride do fragmentacije in imamo ravno obratni monolitni/top-down scenarij.

### Trki in interakcije med galaksijami

Trki galaksij običajno potekajo na skali od 10 do 100 milijonov let. Po trku dveh približno enako velikih galaksijah dobimo običajno eliptično galaksijo (**major merger**). Če je pa ena dosti manjša od



druge (in je recimo večja spiralna) pa se lahko ohrani disk po trku (**minor merger**). Primer minor mergerja je recimo trk nase Galaksije z pritlikavo satelitsko galaksijo.

Vemo, da je vrtilna količina na enoto mase visoka za spiralne oklicne. Plin ima lahko dovolj vrtilne količine, da nastane disk okoli eliptične in rata iz nje spiralna oz. lečasta galaksija. Večje galaksije nastanejo preko mergerjev in interakcij.

Z računalniškimi modeli, ki upoštevajo vse razne učinke preučujemo lahko nastanek na velikih skalah (npr. 10 Mpc ali pa na malih samo za eno galaksijo recimo).

Recimo en povratni efekt je supernova, ki segreje okoliški plin s svojim shockwave-om ampak hkrati »odpihne« plin, ki bi se lahko gostil v zvezdo iz svoje okolice.

Ob trku lahko nasajajo nove zvezde, če imata obe galaksiji ki trčita veliko prahu (**wet merger**). Lahko pa tudi ni dovolj plina in ne pride do nastanka zvezd (**dry merger**).

### Evolucija izolirane galaksije

SFR se spreminja skozi čas:

- eliptične hitro porabijo svoj plin
- Spiralne pa imajo lahko skoraj konstanten SFR

Imamo tudi kemično evolucijo. Ker gre za izoliran sistem vemo, da so na začetku vse zvezde samo iz *H* in *He*. Ob smrti z supernovami obogatijo svojo okolico s produkti nukleosinteze in imajo tako nadaljnje zvezde večjo kovinskost.

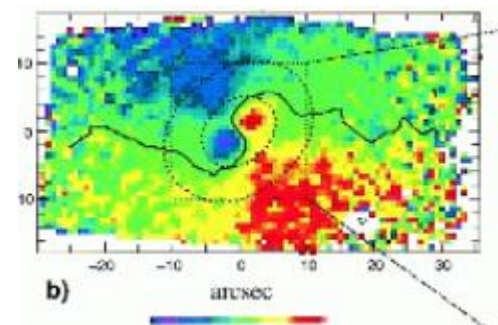
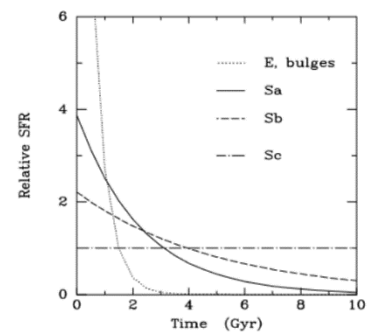
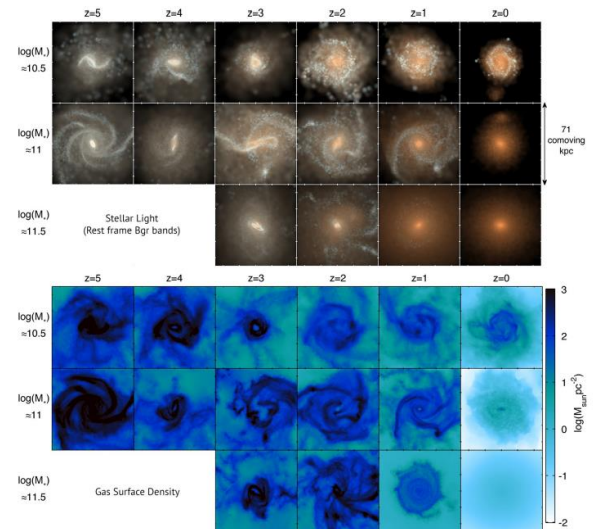
### Razvoj galaksij v združevanju/trčenju

Brata Toomre sta objavila prve numerične kalkulacije. Ugotovitev, da so interakcije pomembne je ugotovil IRAS satelit, ki je ugotovil, da nekatere galaksije veliko bolj sevajo v IR kot v vidnem.

To so **starburst galaksije**. V njih je veliko plina in ko pride do interakcije med galaksijami, nastane iz plina veliko zvezd tipa O,B. Prah absorbira UV svetlobo in potem močno sveti v IR. (Neki je omenjala tudi Ultra Luminous IR Galaxies).

### Od morfologije do kinematskih lastnosti

Npr. NGC 4365 zglada kot normalna E3 eliptična galaksija a iz opazovanja hitrosti zvezd v središču, da je posledica trka dveh spiralnih galaksij.



## Globoka polja

Preko pogleda na velike rdece vesolje vidimo vedno bolj zgodnjo obliko vesolja, dlje kot pogledamo.

*Primer Hubble extreme deep feeld (z = 8 – 10)*

Problema:

- Veliko objektov ima nizko površinsko svetlost (težko izmeriti spektre)
- Veliko galaksij je komaj nad resolucijo (ne moremo določiti morfologije)

*Redshift spektrov*

$$z = 1 \quad \lambda_{obs} = 500 \text{ nm}$$

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

$$\Rightarrow \lambda_{em} = \frac{500 \text{ nm}}{2} = 250 \text{ nm}$$

Galaksija je oddala v UV ampak zaradi rdečega premika to opazujemo v vidnem.

*Morfološka sprememba z rdečim premikom*

Gledamo delež masivnih galaksij glede na redči premik.

- Peculiar/Irregular galaksij je več v preteklosti
- Early type galaksij je malo
- Late type galaksij je kar veliko

*Zgodovina nastanka zvezd v odvisnosti od z*

Opazimo, da je SFR imel maksimum pri rdečem premiku  $z = 2$ . Skozi čas se bistveno spremeni. 50% do  $z = 1.3$  kasneje pa le 25% maksimuma.

