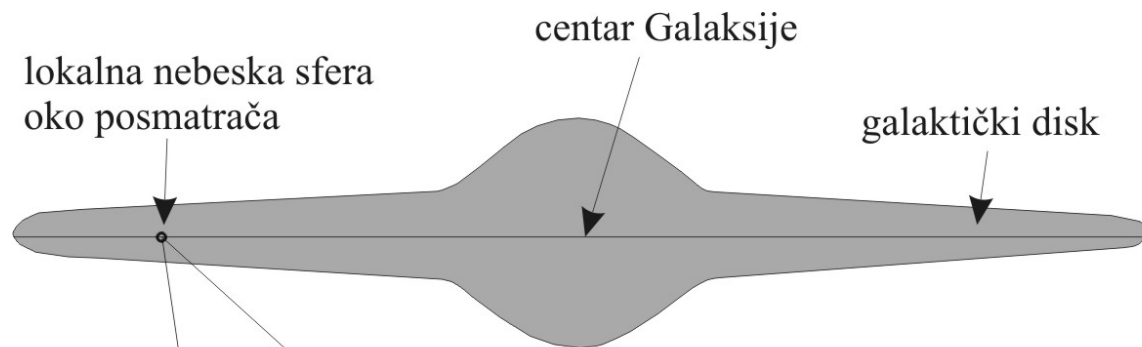
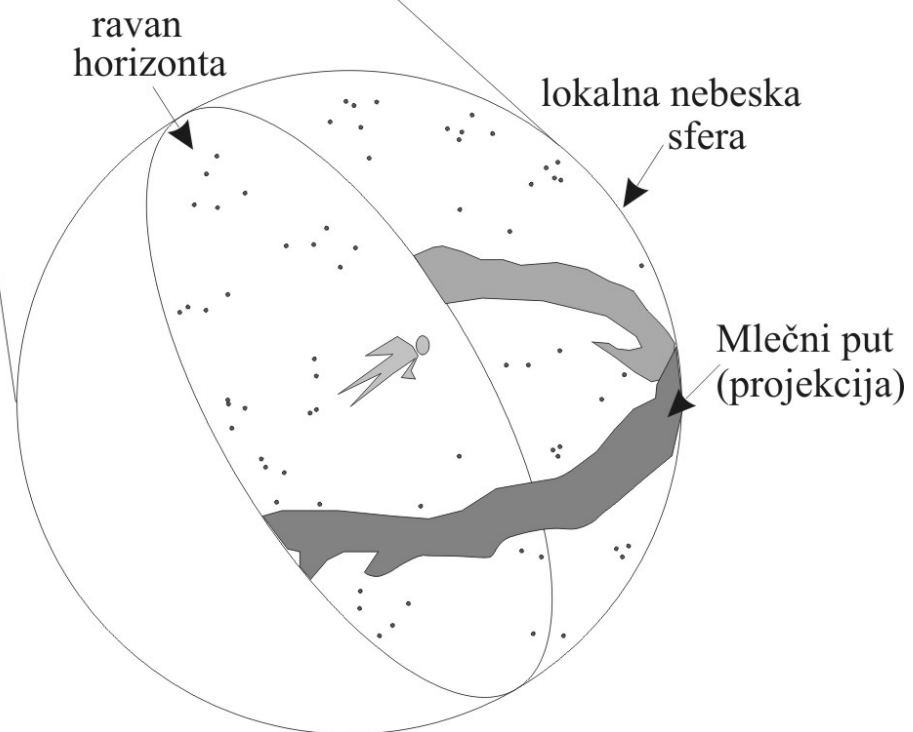


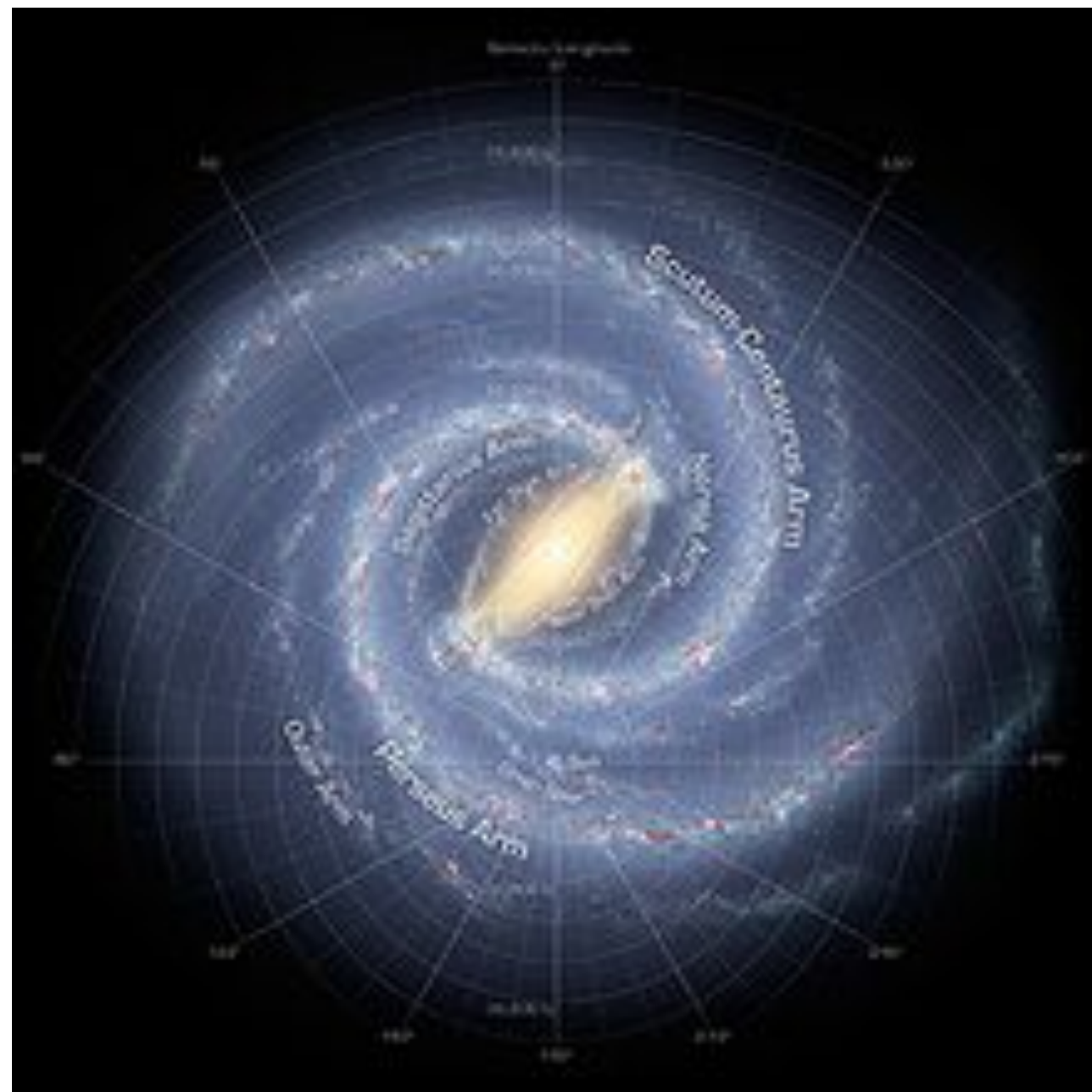
Naša galaksija: Mlečni put



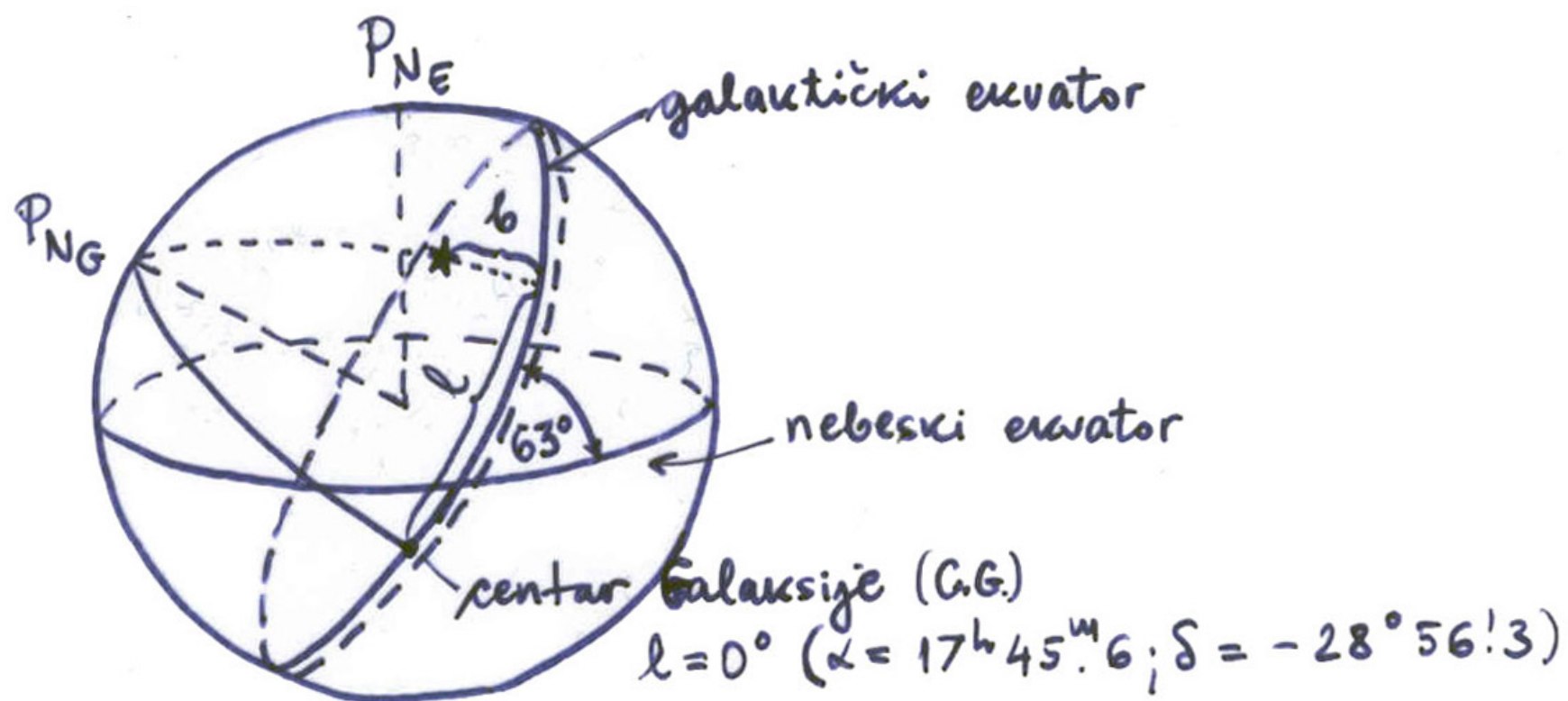


Mlečni put je projekcija naše galaksije na nebesku sferu





Galaktički koordinatni sistem



Mlečni put

Radio (0.4 GHz)

Atomic Hydrogen

Radio (2.7 GHz)

Molecular Hydrogen

Infrared

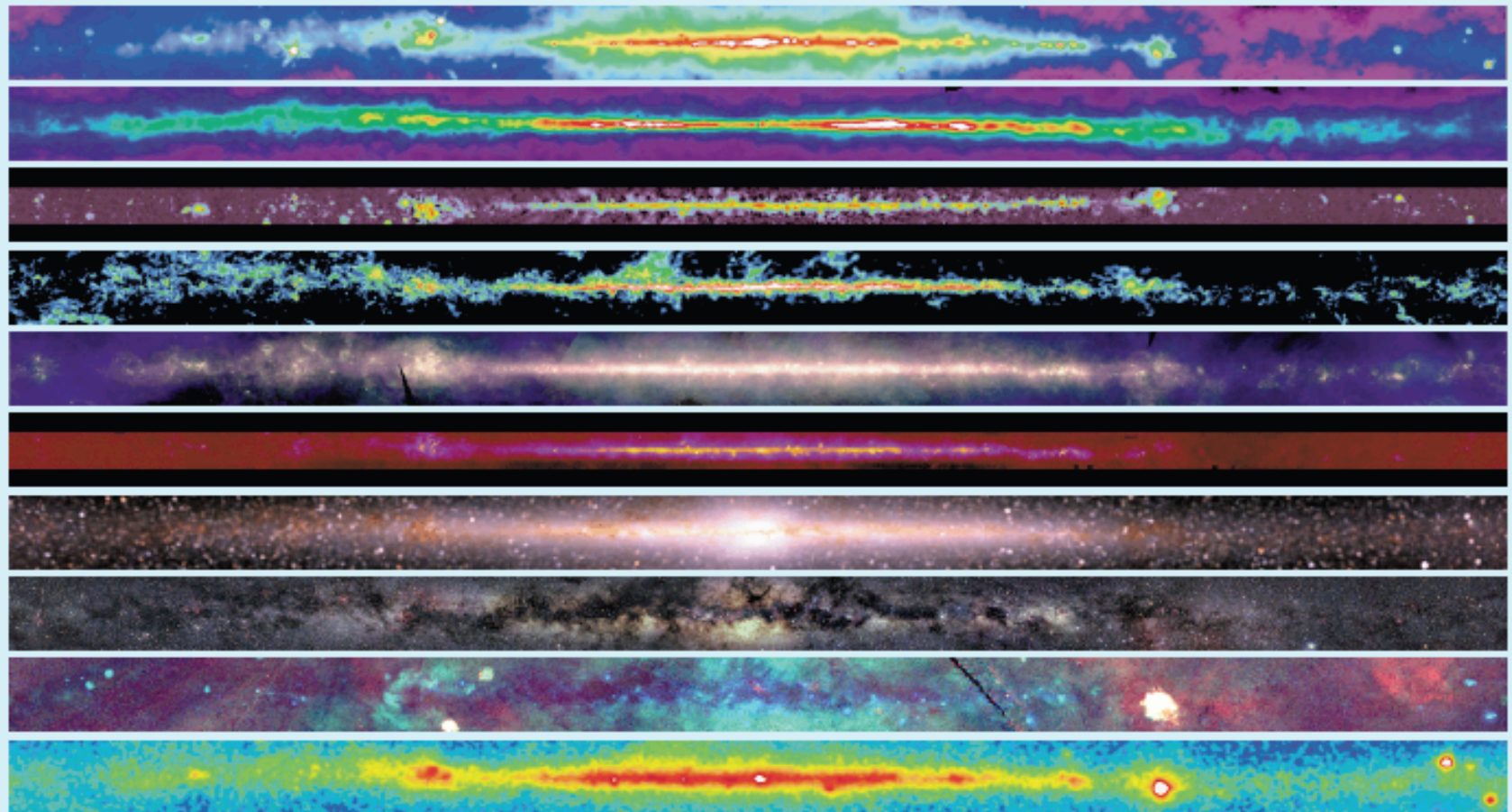
Mid Infrared

Near Infrared

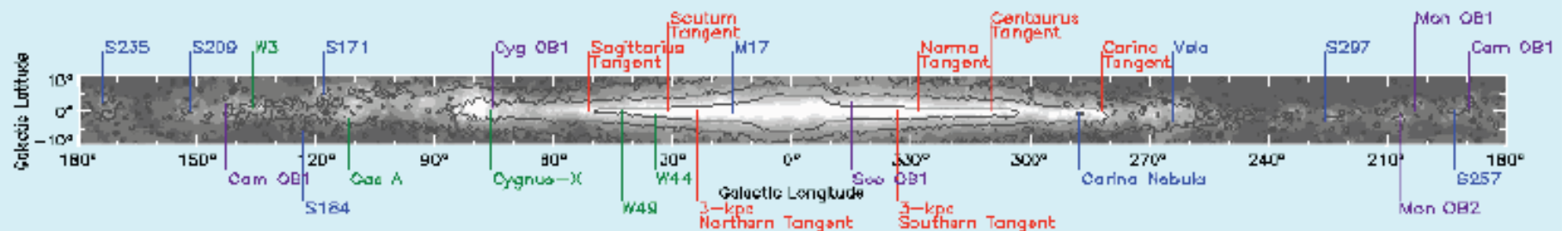
Optical

X-Ray

Gamma Ray

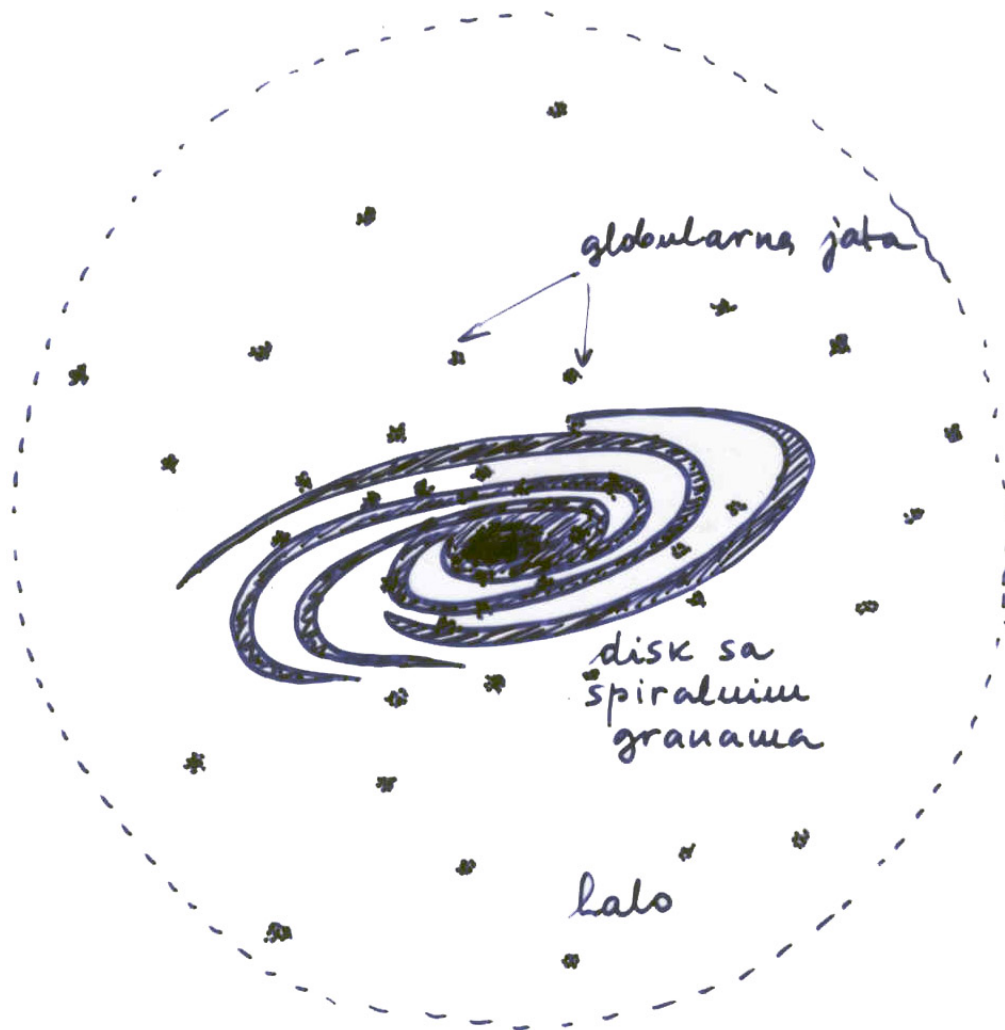


Finder



Galaktički podsistemi

(prema obliku, građi i starosti objekata):

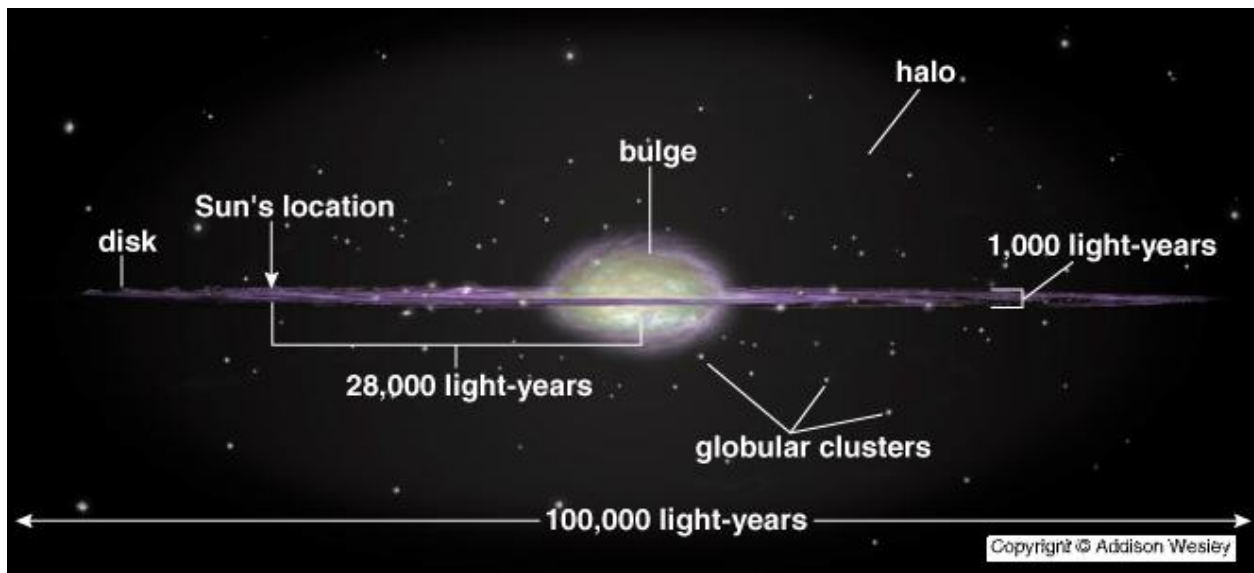


- disk
- halo
- centralna oblast

Disk

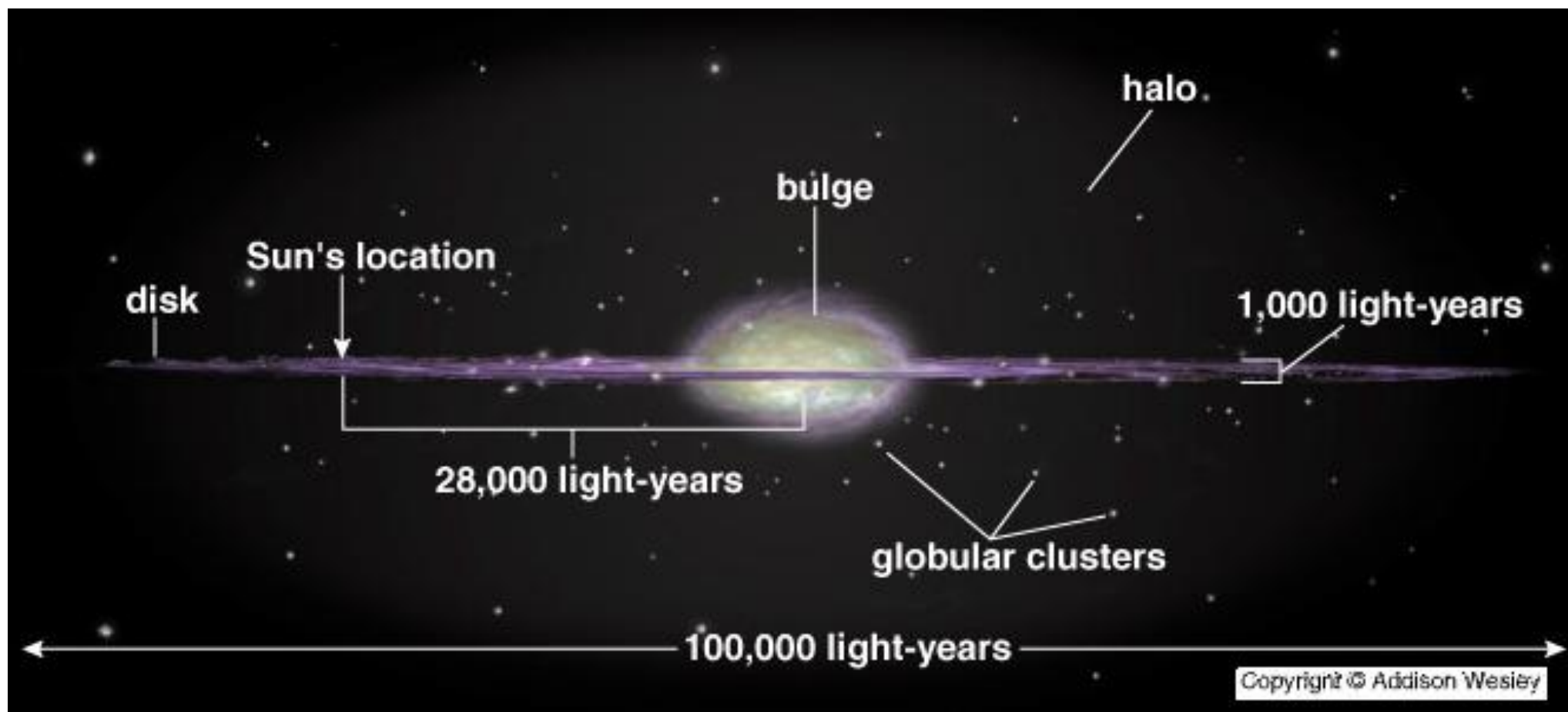
sa spiralnim granama

- zvezdani **disk** je prosečne debljine oko 2kpc, prečnika oko 30kpc
- u njemu se nalaze **objekti srednje starosti (od 1 do 5 milijardi godina)**
- unutar diska, u galaktičkoj ravni nalaze se **spiralne grane** debljine oko 200-300pc, oko 30 puta su gušće od okolne materije;
- u njima se nalazi **mnogo među-zvezdane materije (MZM) i najmlađi objekti, starosti do milijardu godina**
- u galaktičkoj ravni, unutar prstena od 4 do 8kpc od centra Galaksije nalaze se **Gigantski molekularni oblaci (GMO) – oblaci molekulskog vodonika (H_2)**

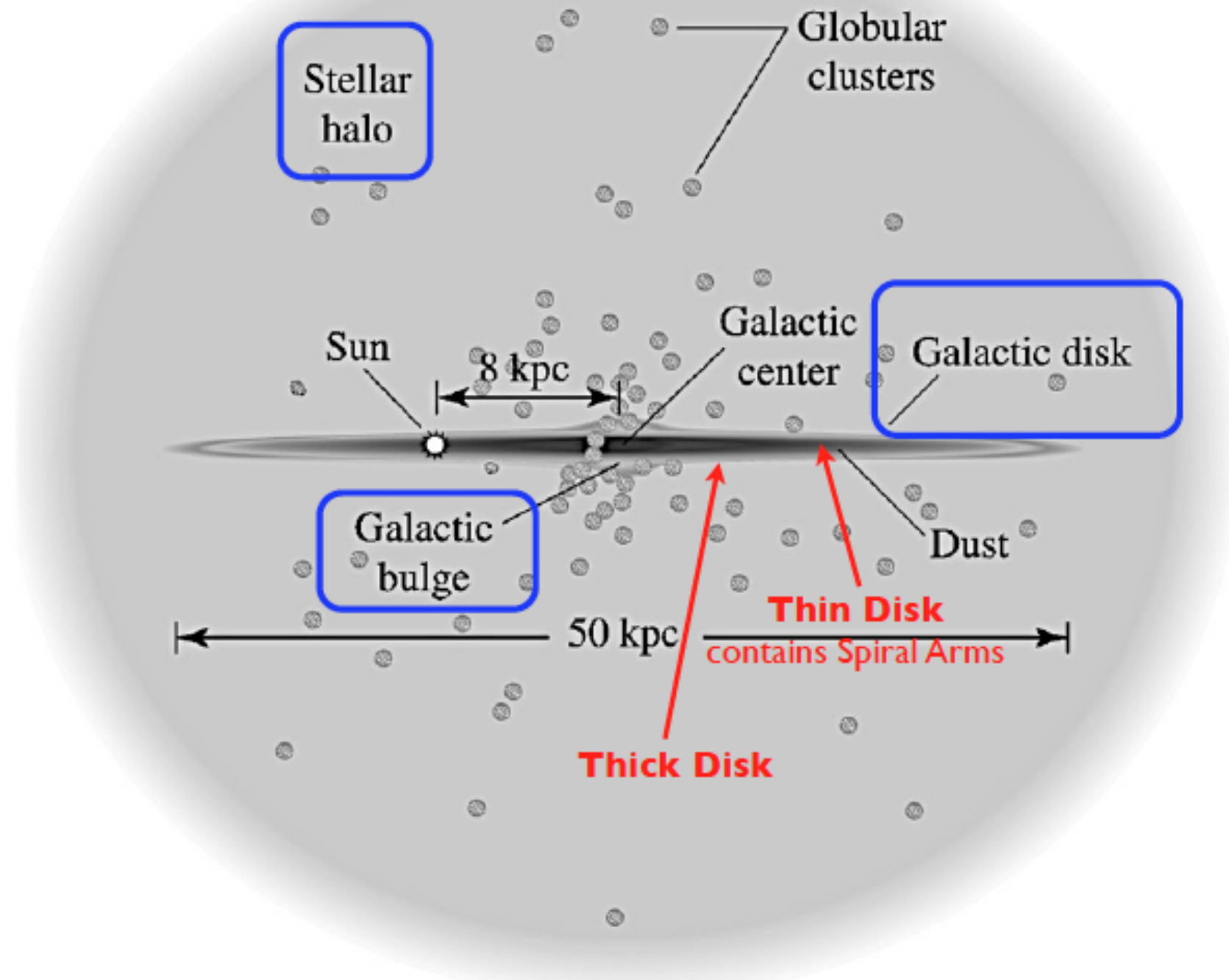


Halo

- **sadrži stare objekte** (stare, promenljive zvezde i globularna jata, starosti oko 13 milijardi godina)
- homogen je i sferan
- **tamni (nevidljivi) halo – korona** verovatno po dimenzijama znatno premašuje luminozni (vidljivi) halo. O njegovom postojanju zaključujemo po krivoj rotacije Galaksije i gravitacionim efektima.

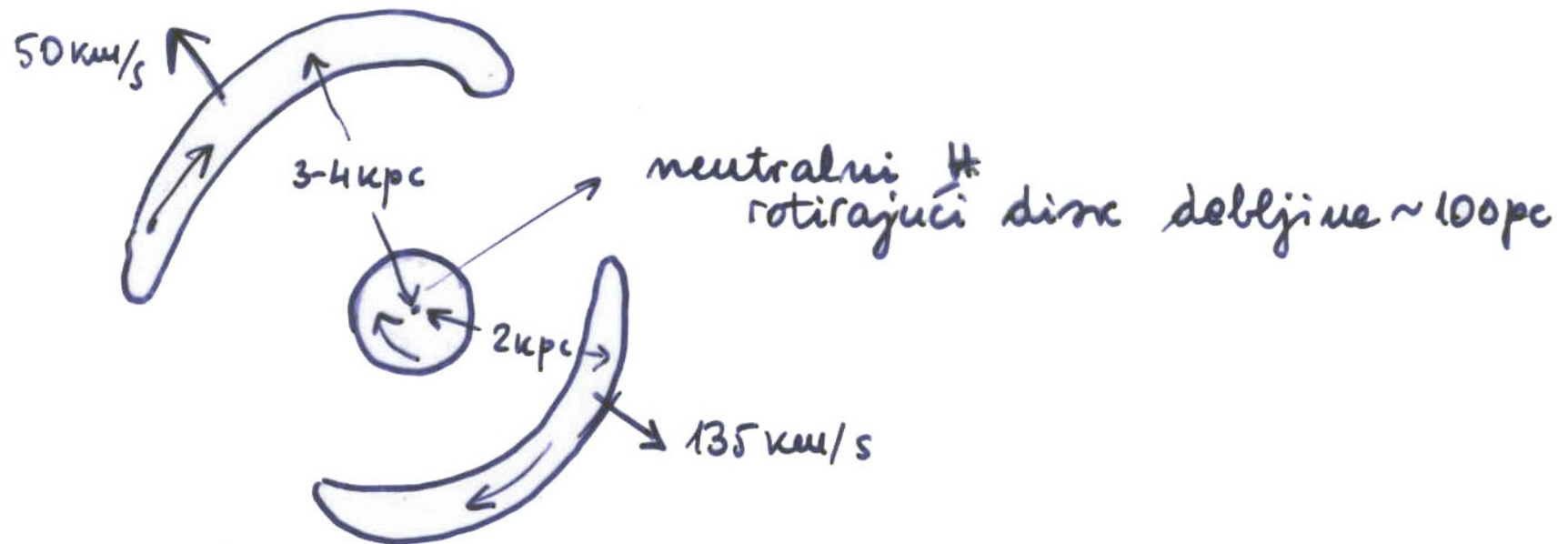


The Morphology of the Galaxy



Centralna oblast

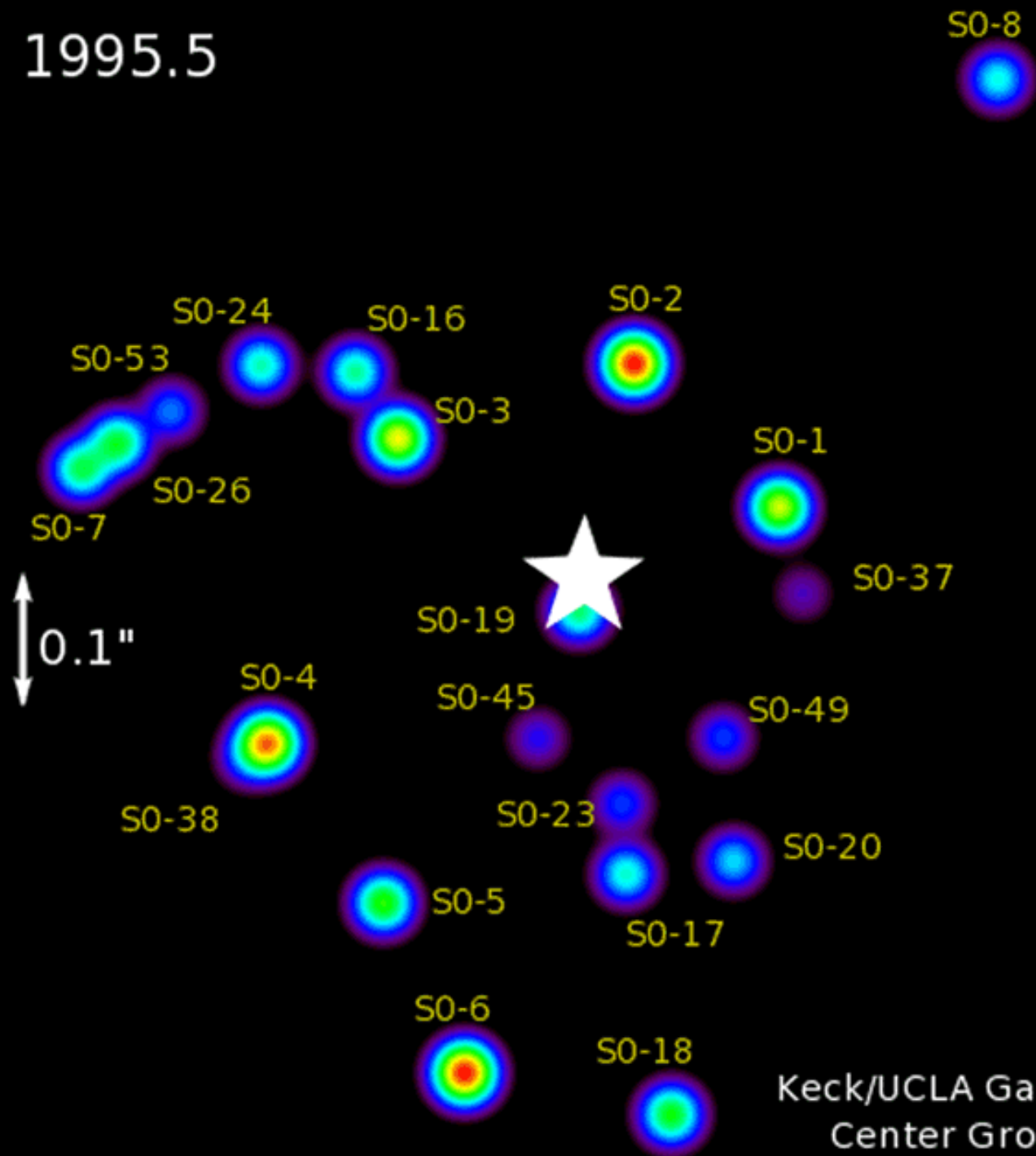
- Oblast najveće koncentracije zvezda, džinovskih molekularskih oblaka, globularnih jata, planetarnih maglina



Galaktički centar

- 70ih i 80ih godina XX veka – merenja u radiofrekventnom i IC području
- 1974.god. – otkriven je tačkasti **intenzivni radio-izvor** na talasnoj dužini od 1.35 cm u centru Galaksije – **Sagittarius A (Sgr A)**. Sgr A West je u samom centru – intenzivan, kompaktan i promenljiv radio-izvor
- 1984. god. na istom mestu – **IC izvor netermalnog zračenja IRS16** (masa u centru iznosi oko 10^6 Sunčevih masa unutar radijusa od 2pc)
- Centar Mlečnog puta je i **najintenzivniji izvor gama zračenja**

1995.5



Keck/UCLA Galactic
Center Group

Zvezdane populacije

W. Baade (1944) je izvršio klasifikaciju objekata prema njihovoj starosti, pripadnosti podsistemima (položaju u galaksiji) i hemijskom sastavu :

- Objekti populacije I su mlade, sjajne zvezde koje se nalaze u spiralnim granama; simetrično su raspoređeni u odnosu na galaktičku ravan i sadrže veći procenat metala
- Objekti populacije II su stare, manje sjajne zvezde; koncentrisani su u galaktičkom jezgru i halou (sferno simetrično u odnosu na galaktički centar) i sadrže mali procenat metala

2 tipa rotacije :

(1) rotacija krutog tela (ravnomerno raspoređene mase)

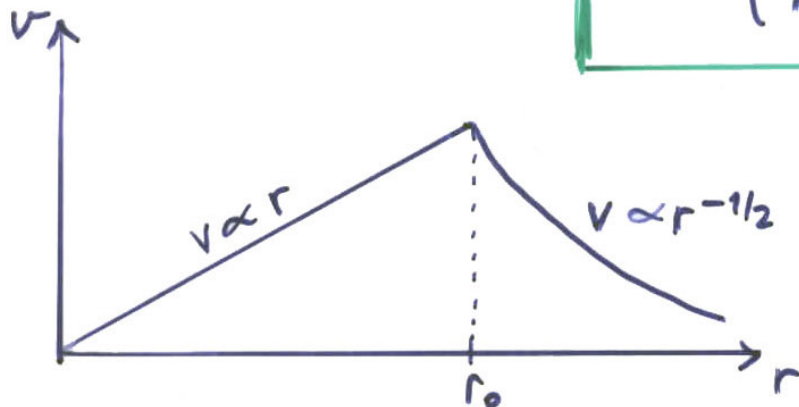
$$\omega = \text{const}, \quad v = \omega r \quad (\underline{v \propto r}), \quad \underline{F = \frac{v^2}{r} = \frac{\omega^2 r^2}{r} \propto r}$$

(2) Keplerovska rotacija oko centralnog tela u kome je skoncentrisana sva masa

$$\frac{mv^2}{r} = G \frac{m M(r)}{r^2} \rightarrow \underline{v \propto \frac{1}{\sqrt{r}}}, \quad \omega \propto \frac{1}{r^{3/2}}, \quad \underline{F \propto \frac{1}{r^2}}$$

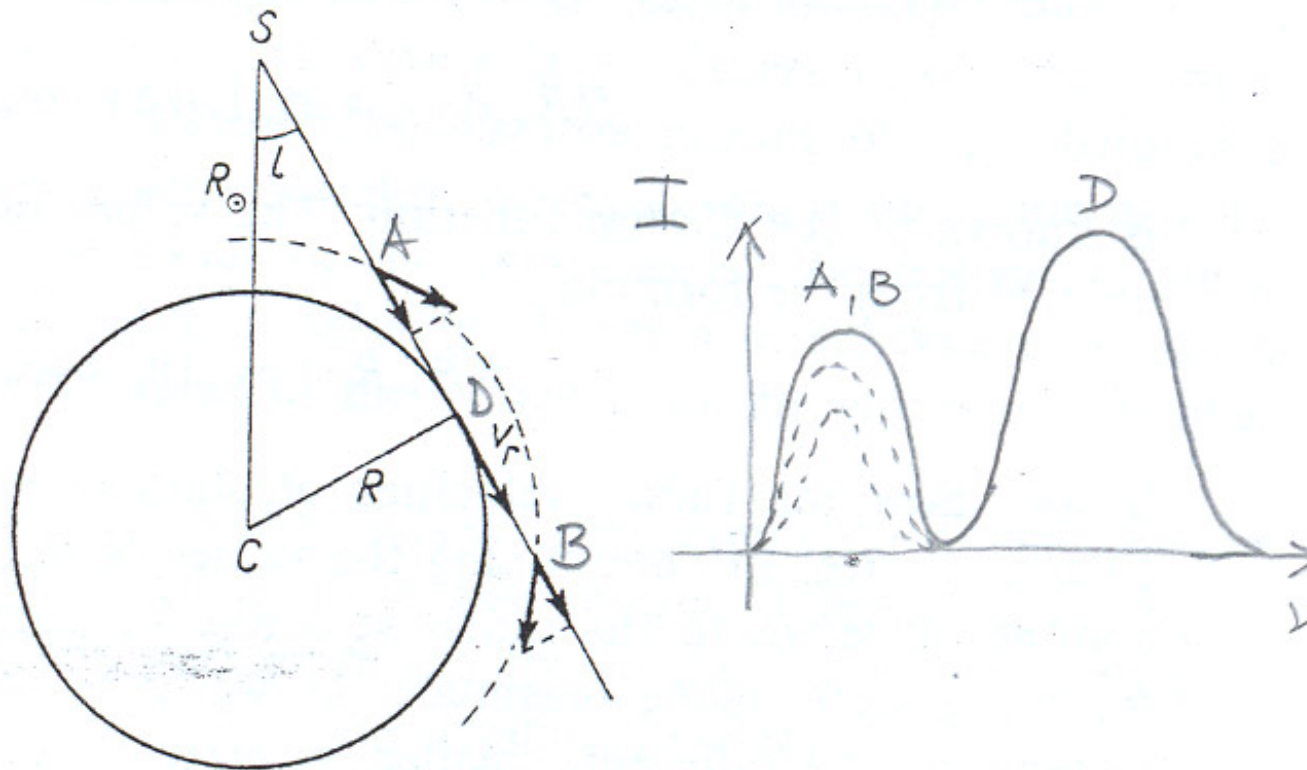
$$\bar{g}(r) = \text{const}$$

$$v \propto \begin{cases} r & , r \leq r_0 \\ r^{-1/2} & , r > r_0 \end{cases}$$



određivanje krive rotacije iz
kretanja zvezda i emisije neutralnog
vodonika na 21cm

- Iz analize oblika linije na 21cm i Doplerovih pomaka maksimuma nalazi se struktura, raspored i radijalna brzina oblaka MZ gasa u odnosu na Sunce. Kada pravac vizure prolazi kroz više oblaka različitih radijalnih brzina duž raznih prstenova ili odsečaka spiralnih grana javlja se nekoliko maksimuma.
- Ako se gas kreće po kružnim orbitama oko centra galaksije maksimalnu radijalnu brzinu u datom pravcu (na datoj longitudi l) ima gas koji rotira na rastojanju $R=R_{\odot} \sin l$ od centra Galaksije.



$$\Delta v_r = r_0 [\omega(r) - \omega(r_0)] \sin l$$

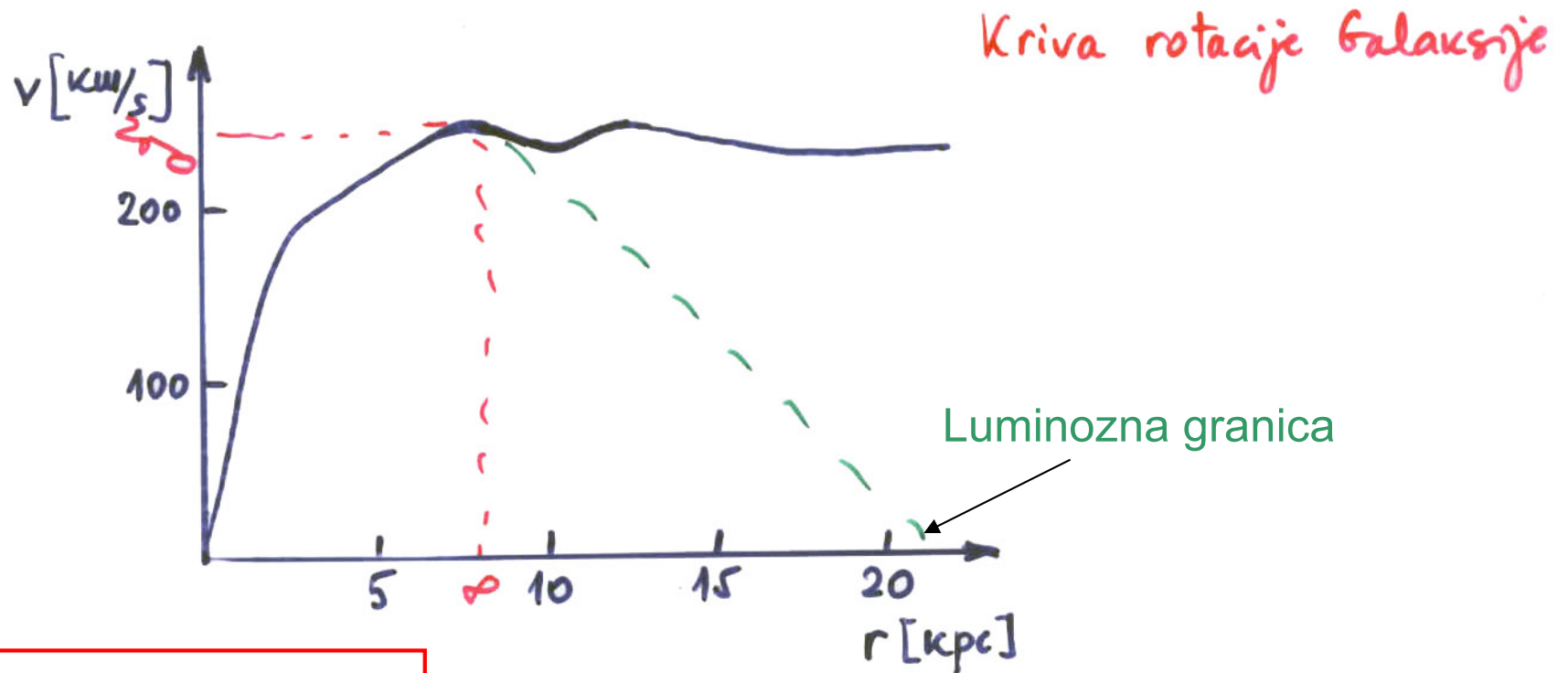


$$\omega(r)$$



$v(r)$ kriva galaktičke rotacije

$v(r)$ kriva galaktičke rotacije



$$M \frac{v^2}{r} = G \frac{M(r)}{r^2}$$

Velike brzine na velikim
rastojanjima od centra
Galaksije zahtevaju znatno
veću masu od one koja je
posmatrana !!!

Rotacija Galaksije

Rotacija Galaksije se vrši u smeru kazaljki na satu gledano sa severnog galaktičkog pola

Ugaona brzina rotacije $\omega(r)$ se smanjuje sa udaljavanjem od centra ali je to smanjenje sporije nego kod Keplerovske rotacije

Linearna brzina rotacije $v(r)$ prvo naglo raste, zatim sporije do $v_{\max} \approx 250$ km/s na $r = 8$ kpc, potom sporo opada i fluktuiraju ostajući na velikim r skoro konstantna

Sunce i zvezde u njegovoj okolini izvrše pun krug oko centra Galaksije za oko 230 miliona godina (galaktička godina)

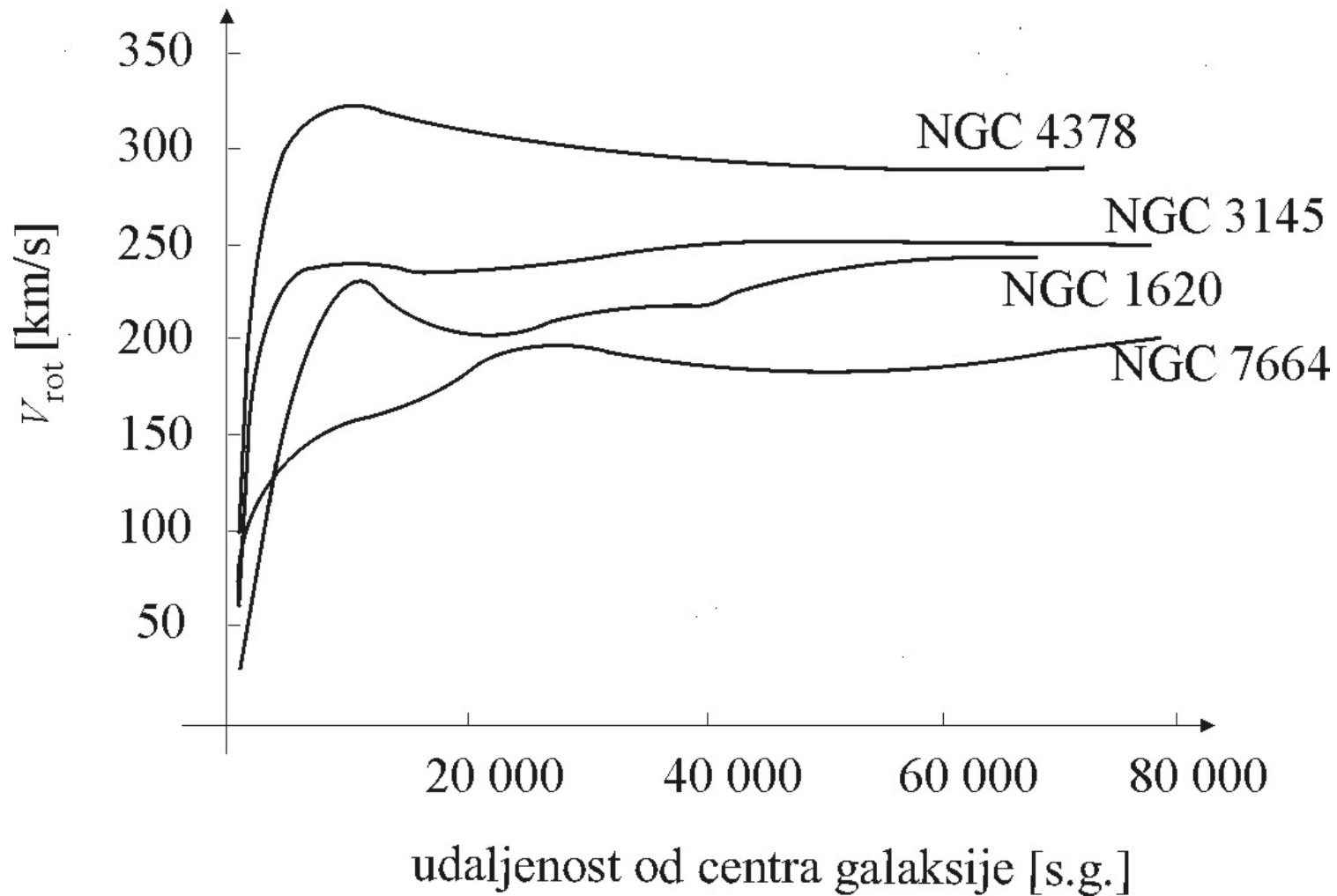
MASA GALAKSIJE I PROBLEM TAMNE MATERIJE

MODEL TAČKASTE MASE: $\frac{v_0^2}{r_0} = G \frac{\mu_G(r_0)}{r_0^2} \Rightarrow \mu_G = \frac{r_0 v_0^2}{G} =$
 $= 3 \cdot 10^{44} \text{ g} = 1.5 \cdot 10^{11} M_\odot$

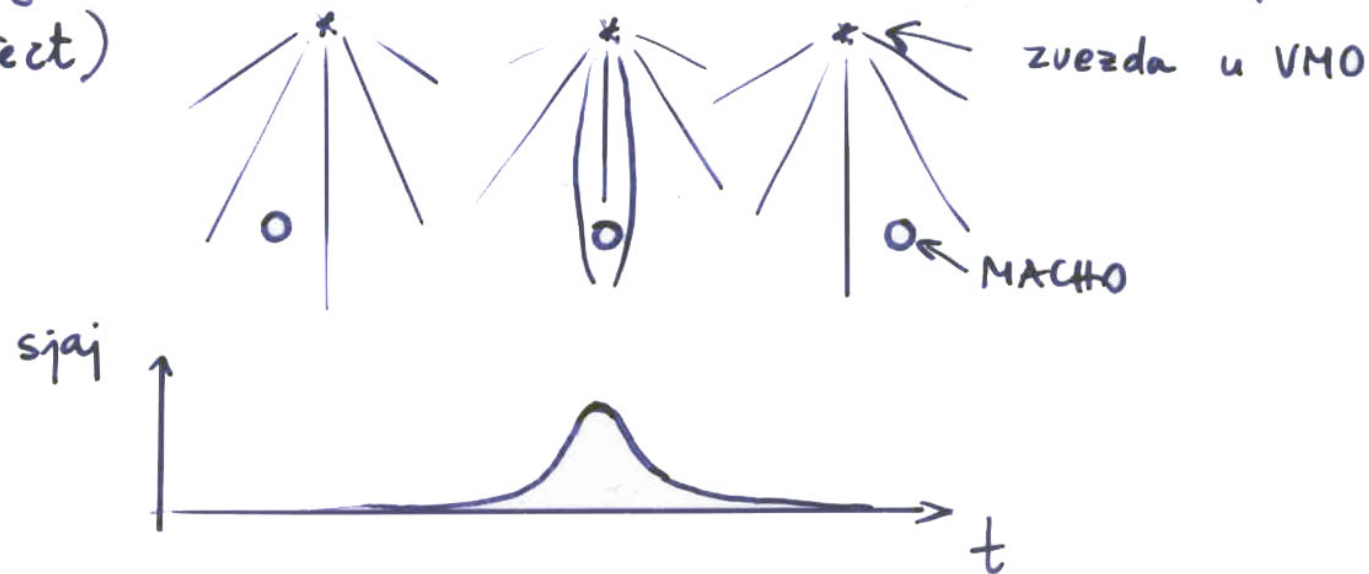
$\mu_G \approx 2 \cdot 10^{11} M_\odot$

- Iz krive rotacije Galaksije $\rightarrow$ raspodela mase
- Na radijumu r od C.G. $v(r)$ ima veliku vrednost.
- Iz $\frac{v^2}{r} = G \frac{\mu(r)}{r^2} \Rightarrow$ poznata masa je na radijumu r nedovoljna da održi ravnotežu i dinamičku stabilnost.
 $\Rightarrow$ Mora postojati neka nevidljiva, masivna tamna korona.

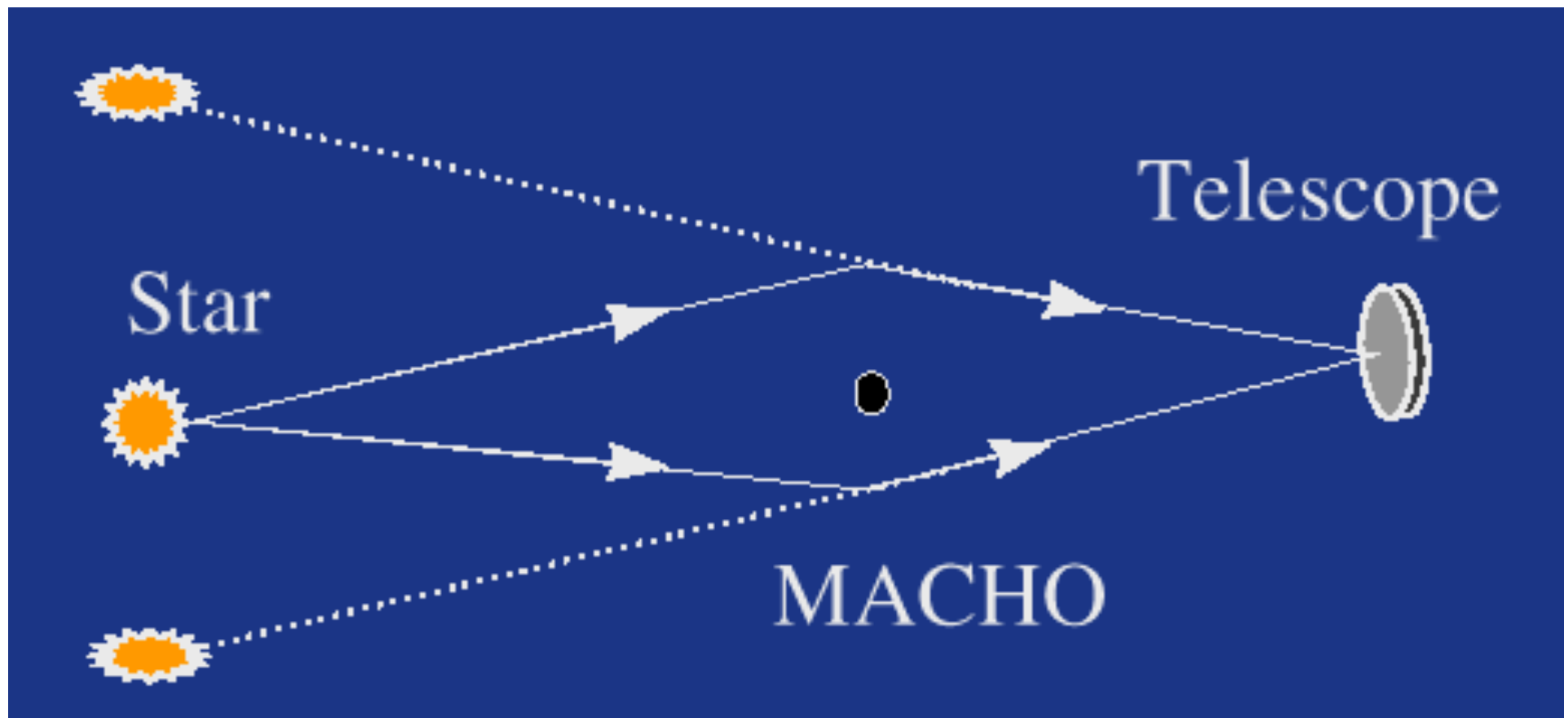
Rotacione krive nekoliko spiralnih galaksija



- Kandidati za tamnu materiju: crne rupe, ugašene zvezde, planete, WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles).
- 3 indirektna posmatračka dokaza: (1) rotacione krive spiralnih galaksija; (2) kretanje galaksija u jatuima gal. (3) vreli gasovi u jatuima galaksija.
- I direktni dokaz postojanja tamne materije u halou naše Galaksije - efekat microlensing-a - gravitaciono fokusiranje svetlosti zvezde MACHO-om (Massive Compact Halo Object)



Efekat gravitacionih sočiva



Međuzvezdana materija

MEĐUZVEZDANA MATERIJA

Čini ~10% ukupne mase Galaksije

Ekstremno retka sredina: 1čestica/cm³

Temperatura: 1-100K, 10⁴K, 10⁵-10⁶K

Komponente:

- Gas
- Prašina
- Kosmički zraci
- Elektromagnetno zračenje
- Magnetno i gravitaciono polje

MEĐUZVEZDANA MATERIJ (MŽM)

- ČINI $\sim 10\%$ UKUPNE MASE GALAKSIDE
- EKSTREMNO RETKA SREDINA : $\bar{n} \approx 1 \text{ čestica/cm}^3$, $\bar{\rho} \approx 10^{-24} \text{ g/cm}^3$
- TEMPERATURA $10-100 \text{ K}$; $\approx 10^4 \text{ K}$; 10^5-10^6 K
- KOMPONENTE :
 - GAS (MOLEKULI, ATOMI, IONI) ; $\sim 67\% \text{ H}$, $\sim 30\% \text{ He}$, $\sim 2\% \text{ metali}$
 - PRAŠINA ($\sim 1\%$ MASE MŽM)
 - KOSMIČKI ZRACI
 - ELEKTROMAGNETNO ZRAČENJE (OD RADIO DO γ)
 - MAGNETNO POJE
 - GRAVITACIONO POJE

- RADIO-ASTRONOMIJA JE DALA NAJVEĆI DOPRINOS IZUČAVANJU MŽM.
- SAZNANJA O MŽM UPOTPUNJENA KASNIJE IC, UV I X-MERENJIMA.
- ZNATNO IZUČAVANJE MŽM

Gasna komponenta MZM

- Vodonik je najobilniji hemijski element i u MZM
- Nalazi se najvećim delom u atomskom (H I) i molekulskom (H₂) stanju
- U okolini vrelih zvezda je u jonizovanom stanju (H II regioni)
- Hemijski sastav MZM: 67% H, 31% He, 2% metala

1. GASNA KOMPONENTA

- HARTMANN 1904. GODINE (LINIJE CaII U SPEKTRU DVOJNIH ZV.)
- 20-ih i 30-ih GOD. OTKRIVENI NaI , CaI , KI , FeI , CH , CN U MZM
- ? VODONIK

VAN DE HULST 1944. GOD. : ZRAČENJE HI NA $\lambda 21\text{cm}$ KAO
POSLEDICA HIPERFINE STRUKTURE OSNOVNOG STANJA (NIVOA)

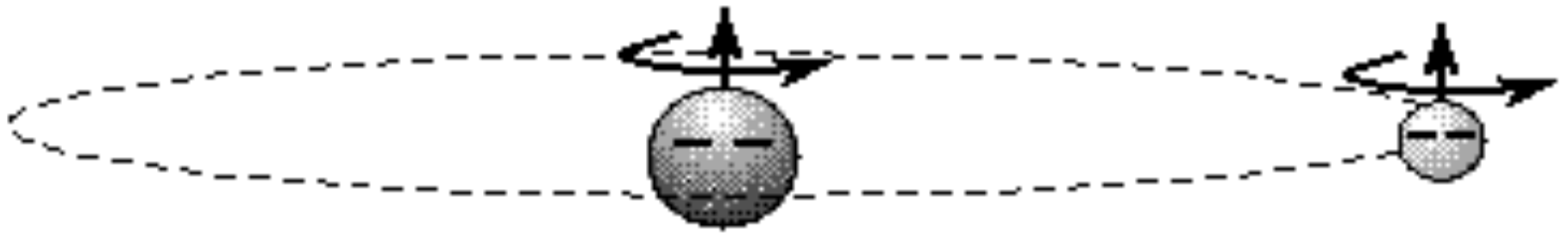
$$E = 6 \cdot 10^{-6} \text{ eV} \quad \lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{hc}{h\nu} = 21.1 \text{ cm}$$



1951. GODINE I PUT DETEKTOVANO ZRAČENJE NA 21cm HI
(NA HARVARDU) U MEĐUZVEZDANOJ MATERIJI

Detekcija neutralnog vodonika u Galaksiji pomoću linije na 21cm

Neutral atomic Hydrogen creates 21 cm radiation



Zračenje na 21cm posledica je hiperfine struktura osnovnog nivoa atoma vodonika – postojanja dva podnivoa malo različitih energija

- KRAJEM 70-ih OTKRIVENE SU VELIKE KOLIČINE H_2
POSREDNO, DETEKCIJOM CO NA $\lambda = 2.6 \text{ mm}$ I KORIŠĆENJEM
POZNATOG ODNOSA $n(H_2)/n(CO) \approx 10^4$.
- DETEKTOVAN JE VELIKI BROJ MOLEKULA (VIŠE OD 120),
OD JEDNOSTAVNIJIH ($OH, H_2O, SiO, NH_3, H_2CO, \dots$) DO VEOMA
SLOŽENIH KOJI SE SASTOJE I OD 13 ATOMA ($HC_{11}N$)
- 3/4 SVIH MOLEKULA SU ORGANSKI (SADRŽE UGLJENIK)

STRUKTURA I RASPORED U GALAKSIJI

- KONCENTRACIJA MZM RASTE KA GALAKTIČKOJ RAVNI

(1) GAS NISKE TEMPERATURE ($\sim 10-100$ K) SE JAVLJA NAJČEŠĆE U OBLIKU ATOMSKIH I MOLEKULSKIH OBLAKA

- SUPEROBLACI $M \sim 3 \cdot 10^7 M_{\odot}$, $D \sim 5$ kpc

- GMO H_2 $M \sim 3 \cdot 10^5 M_{\odot}$, $D \lesssim 100$ pc

$T \sim 20$ K, $\bar{n} \sim 10^3 \text{ cm}^{-3}$

Najbrojniji su (5-6000) i sadrže pola mase gasne komponente Galaksije.

- OBLACI ATOMSKOG VODONIKA $M \sim 100 M_{\odot}$, $D \sim 10$ pc
 $T \sim 80$ K

- TAMNI OBLACI - BOK-OVE GLOBULE $D \sim 0.3$ pc
 $T \sim 10$ K

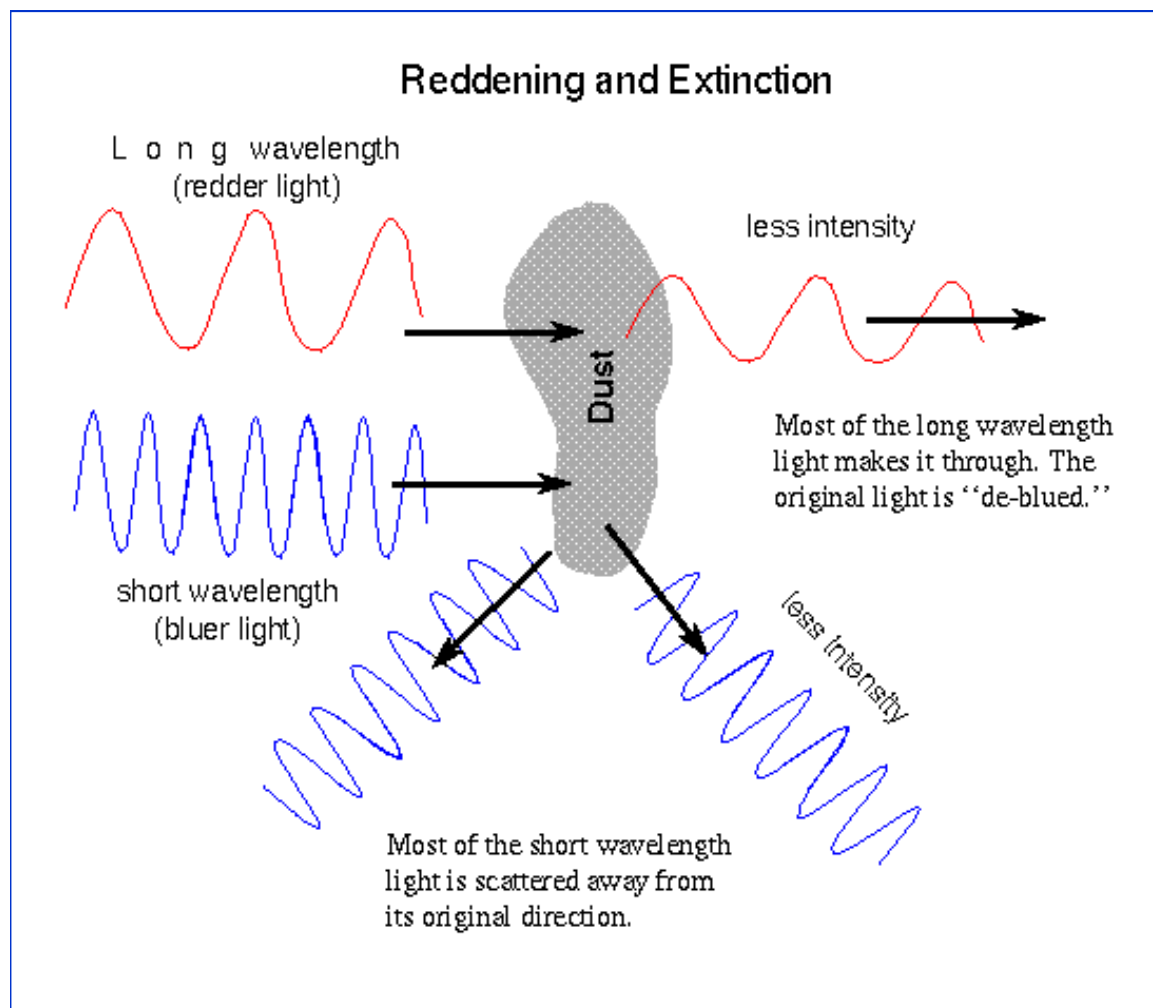
Molekulski oblaci $\rightarrow$ kolevke zvezda! $\bar{n} \sim 10^4 - 10^5 \text{ cm}^{-3}$

(2) MAGLINE: $T \sim 10^4 - 10^5 \text{ K}$, $\bar{n} \sim 10^2 - 10^3 \text{ cm}^{-3}$

(3) KORONALNI GAS: $T \sim 3 \cdot 10^5 - 10^6 \text{ K}$

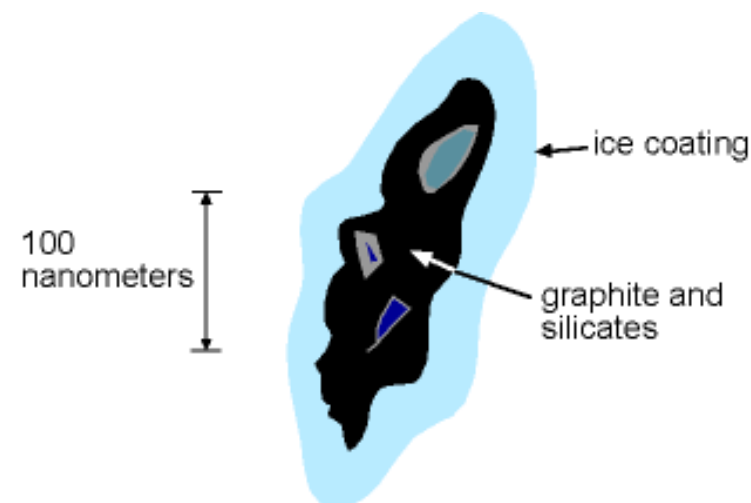
- u disku: $\bar{n} \sim 10^{-3} - 10^{-2} \text{ cm}^{-3}$
- u halou: $\bar{n} \sim 10^{-4} \text{ cm}^{-3}$
- ispunjava suvatan deo zapremine Galaksije
- otkriven je sa prvim sistematskim registrovanjem X zracenja u Galaksiji

Prašina (čestična komponenta)

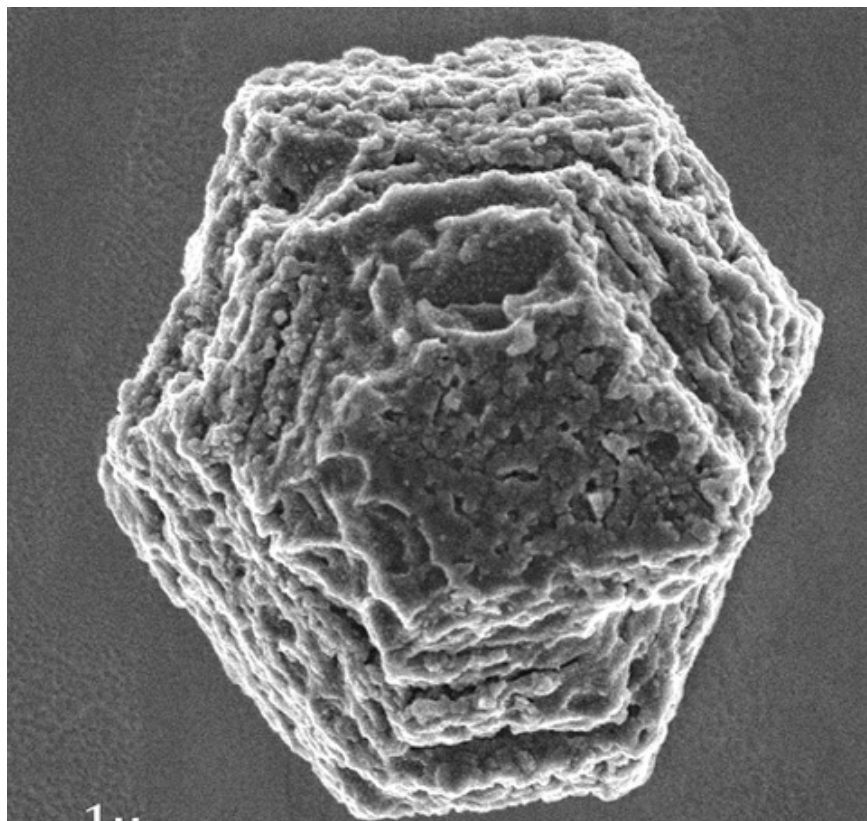


O njenom prisustvu, količini i rasporedu saznajemo iz uticaja koji ima na svetlost zvezda

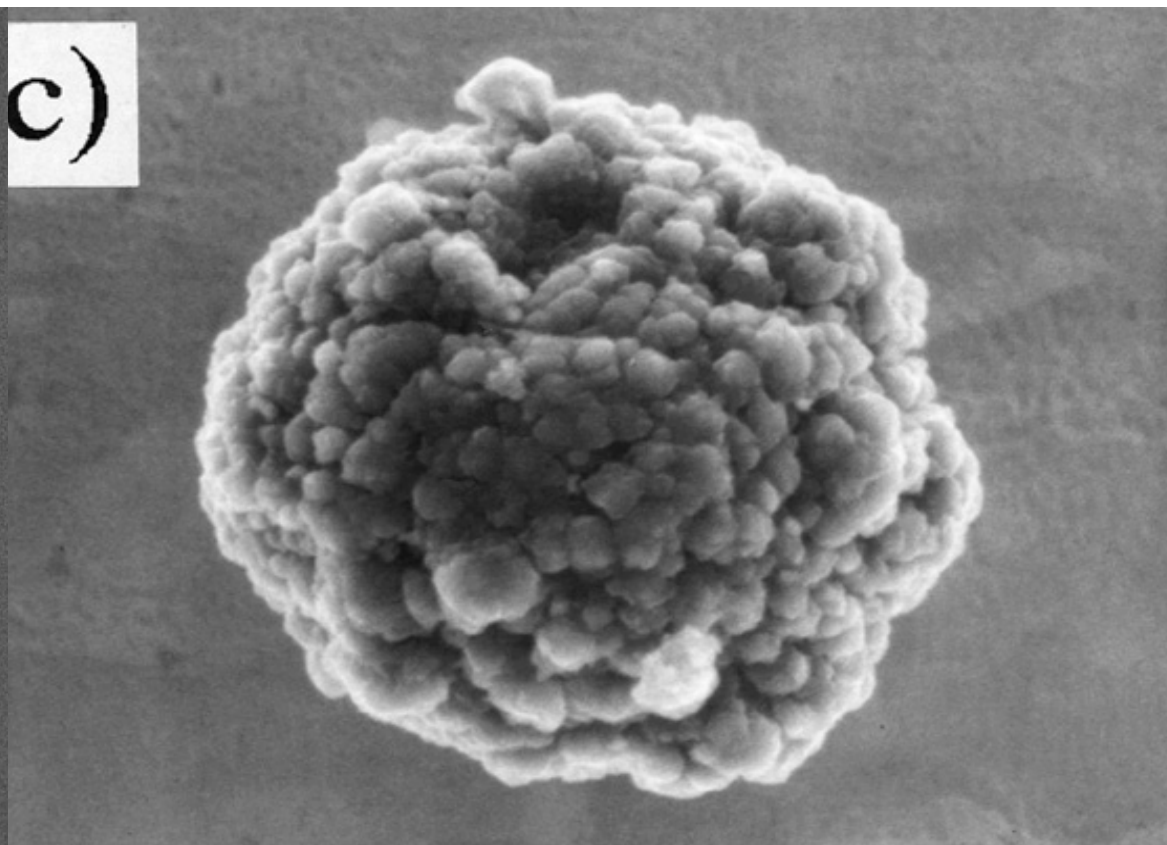
Čini 1% mase MZM



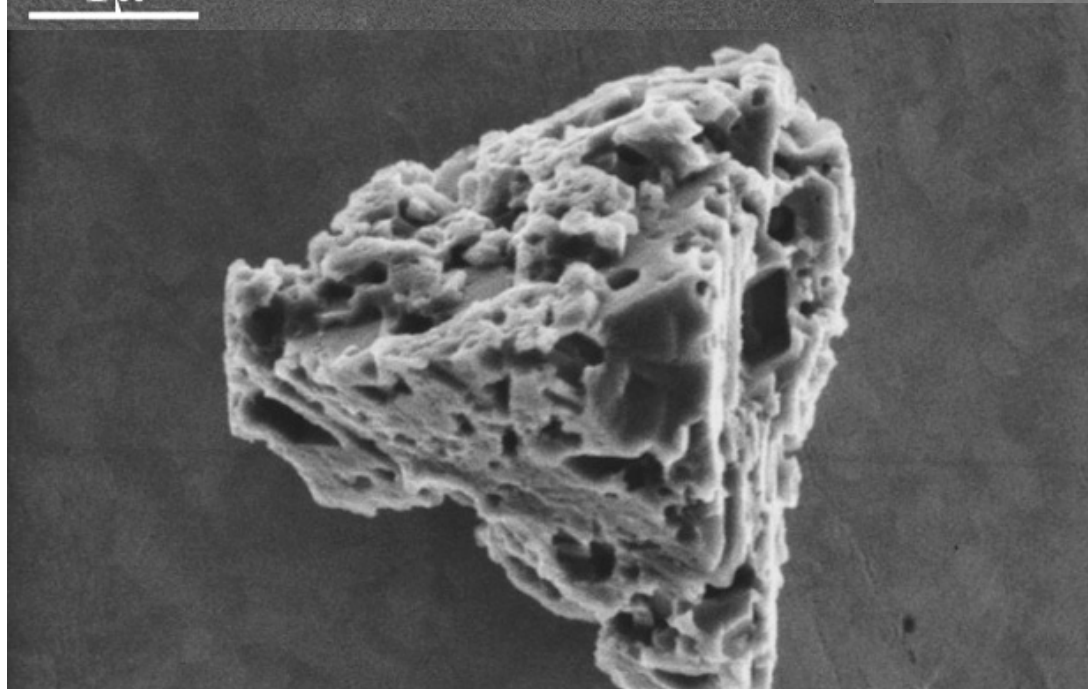
A typical dust grain (note the tiny scale!).



c)



5KV X14,000 1μm WD 8



Prašina

Uticađ ekstinkcije na određivanje rastojanja

$$\underline{M = m + 5 - 5 \log r - A \cdot r}$$

Ako zanemarimo ekstinkciju:

$$\underline{M = m + 5 - 5 \log r'}$$

mereći prividni sjaj m i znajući stvarni sjaj M dobijamo rastojanje r' koje je veće od stvarnog r

$$M = m + 5 - 5 \log r' = m + 5 - 5 \log r - A \cdot r$$

↓

$$\underline{r' = r \cdot 10^{0.2 A \cdot r}}$$

Primer:

$r [\text{pc}]$	$A \cdot r$	$r' [\text{pc}]$	(za $A = 1^m/\text{kpc}$)
10	0.01	10	
100	0.1	105	
500	0.5	630	
1000	1.0	1580	

SASTAV I GRADA ČESTICA PRAŠINE

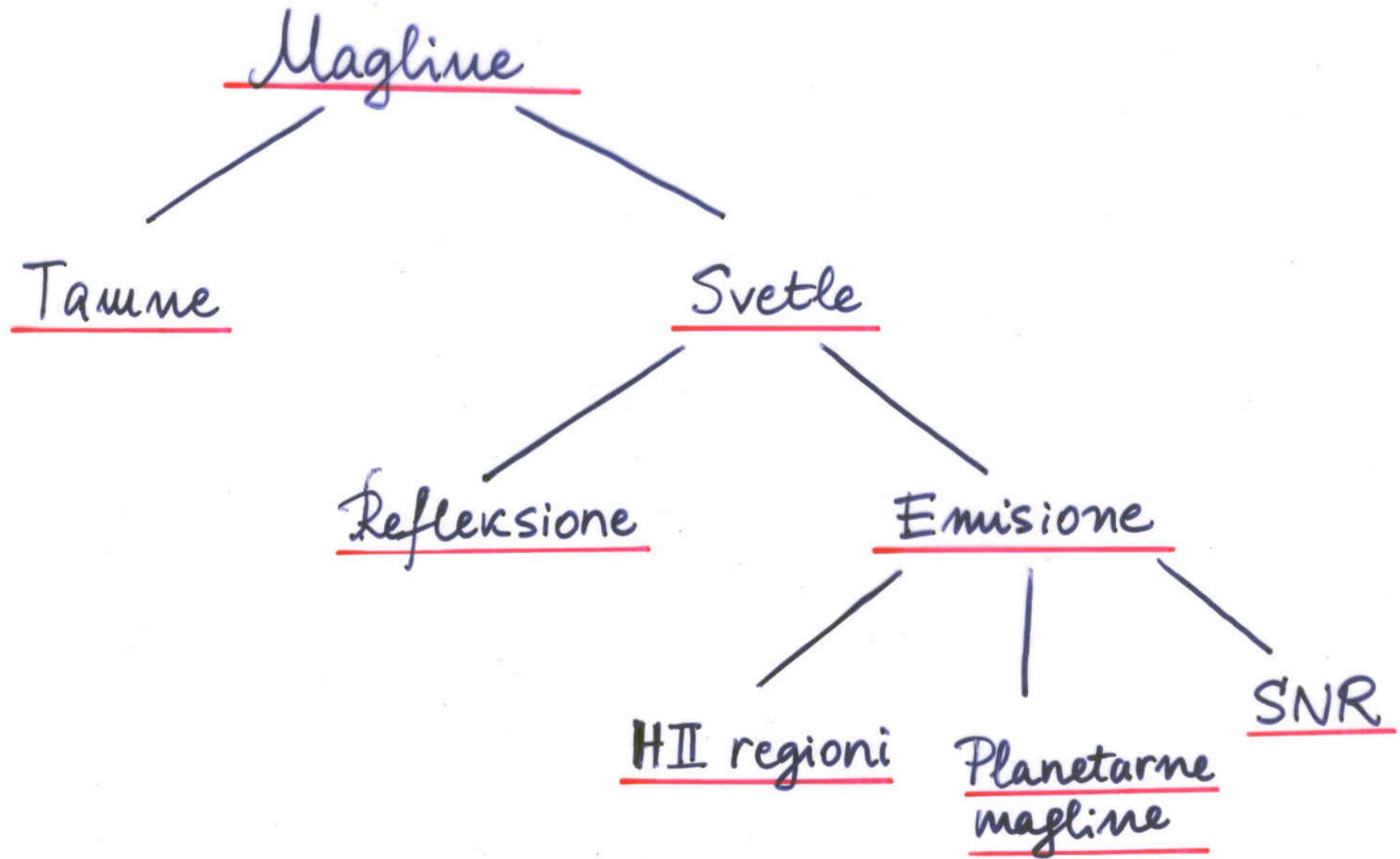
- DIMENZIJE ČESTICA $d \approx 10^{-5} - 10^{-4} \text{ cm}$
- HEMIJSKI SASTAV : C, Si, oksidi Fe i drugih teških elemenata
- NASTAJU U OBJEKTIMA KOD KOJIH DOLAZI DO ISTICANJA MATERIJE UZ BRZO HLAĐENJE (NOVE, SUPERNOVE, ZVEZDE SA JAKIM ZVEZDANIM VETROM). PROIZVODE SE PRVO ZAMETCI BUDUĆIH ČESTICA - KRISTALI $d \approx 10^{-6} \text{ cm}$ NA KOJE SE U MEĐUZV. PROSTORU LEPE ATOMI I MOLEKULI OBRAZUJUĆI OMOTAČ OD "PRJAVOG LEDA" (SMRZNUTI MOLEK. VODE SA PRIMESAMA).
- RAZARAJU SE : SUBLIMACIJOM (ISPARAVANJE OMOTAČA NA $\uparrow T$), I EROZIJAMA PRI SUDARIMA.





Katalog magličastih objekata Charles Messier-a (XVIII vek)

- Od 103 objekta:
 - 38 galaksija
 - 29 globularnih jata
 - 27 rasejanih jata
 - 9 maglina



Tamne magline

- Zgušnjjenja MZM u kojima nema zvezda
- Premer: maglina Konjska glava u Orionu

Maglina Konjska glava u Orionu



Refleksione magline

- Okružuju zvezde spektralnih klasa od B2 do M
- Svetle kao posledica rasejanja svetlosti zvezda na česticama prašine
- Spektri ovih maglina i zvezda koje okružuju su slični (apsorpcioni)
- Primer: refleksione magline oko sjajnih zvezda u Plejadama (Vlašićima)

Refleksione magline u Vlašićima





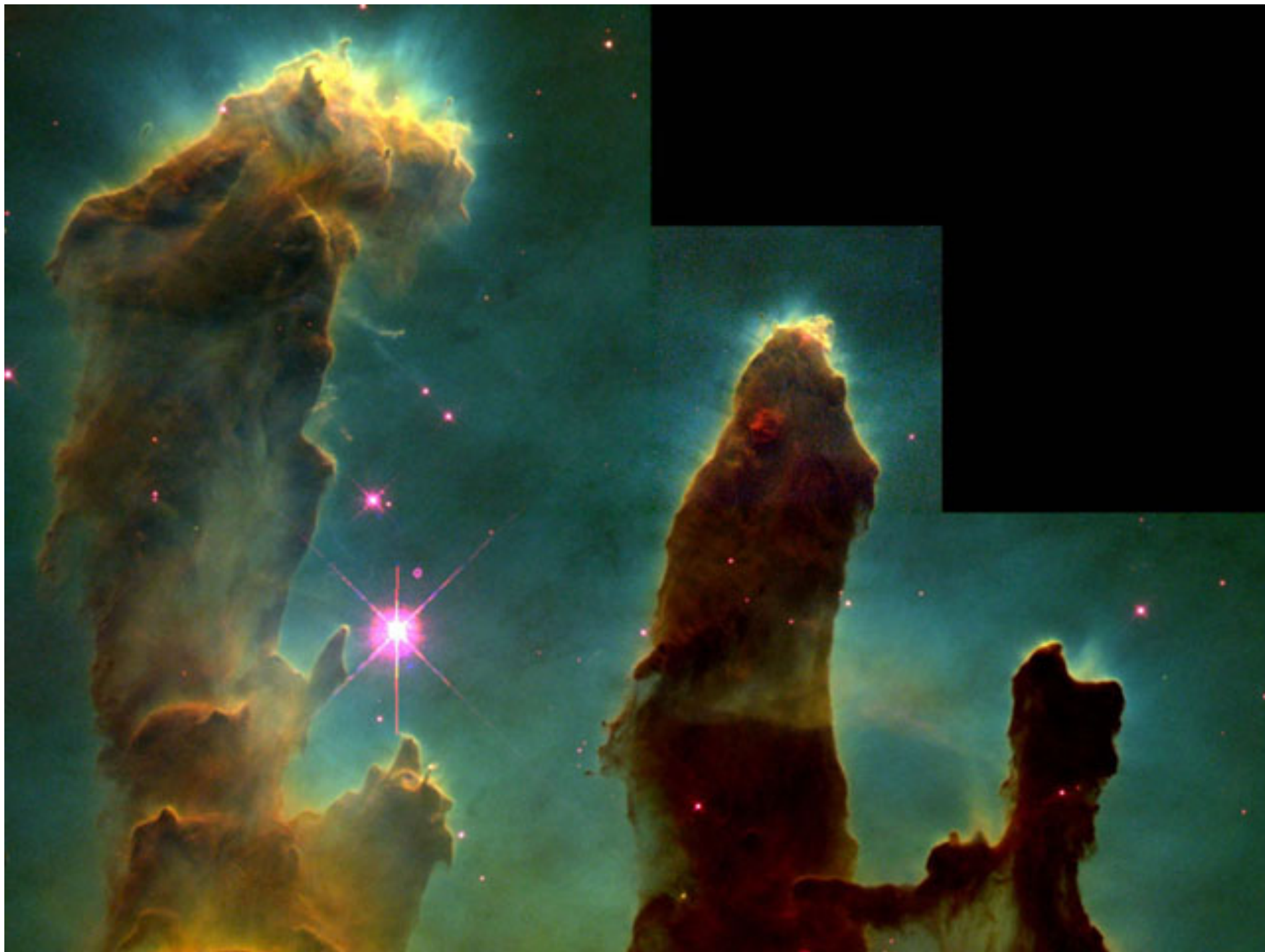
Emisione magline

- Magline koje svetle sopstvenom svetlošću (fluorescencija)
- Spektri ovih maglina su emisioni
- Prema poreklu dele se na:
 - HII regione,
 - planetarne magline i
 - ostatke supernovih (SNR)

HII regioni

- Najsjajniji oblici MZM ($T=10^4\text{K}$, $n=10^2\text{ cm}^{-3}$)
- Okružuju mlade, vrele zvezde O i B1, čije UV zračenje jonizuje vodonik (fotoni talasne dužine manje od 91.2nm)
- Pri rekombinaciji naseljavaju se visoki ekscitacioni nivoi sa kojih se vrše kaskadno prelazi naniže uz emisiju zračenja
- Karakteristične su linije vodonika (Balmerove serije) i zabranjene linije OIII i NeIII (“nebulijum”)
- Objekti populacije I (primer: maglina M42 u Orionu)
- Oblasti u kojima se rađaju zvezde

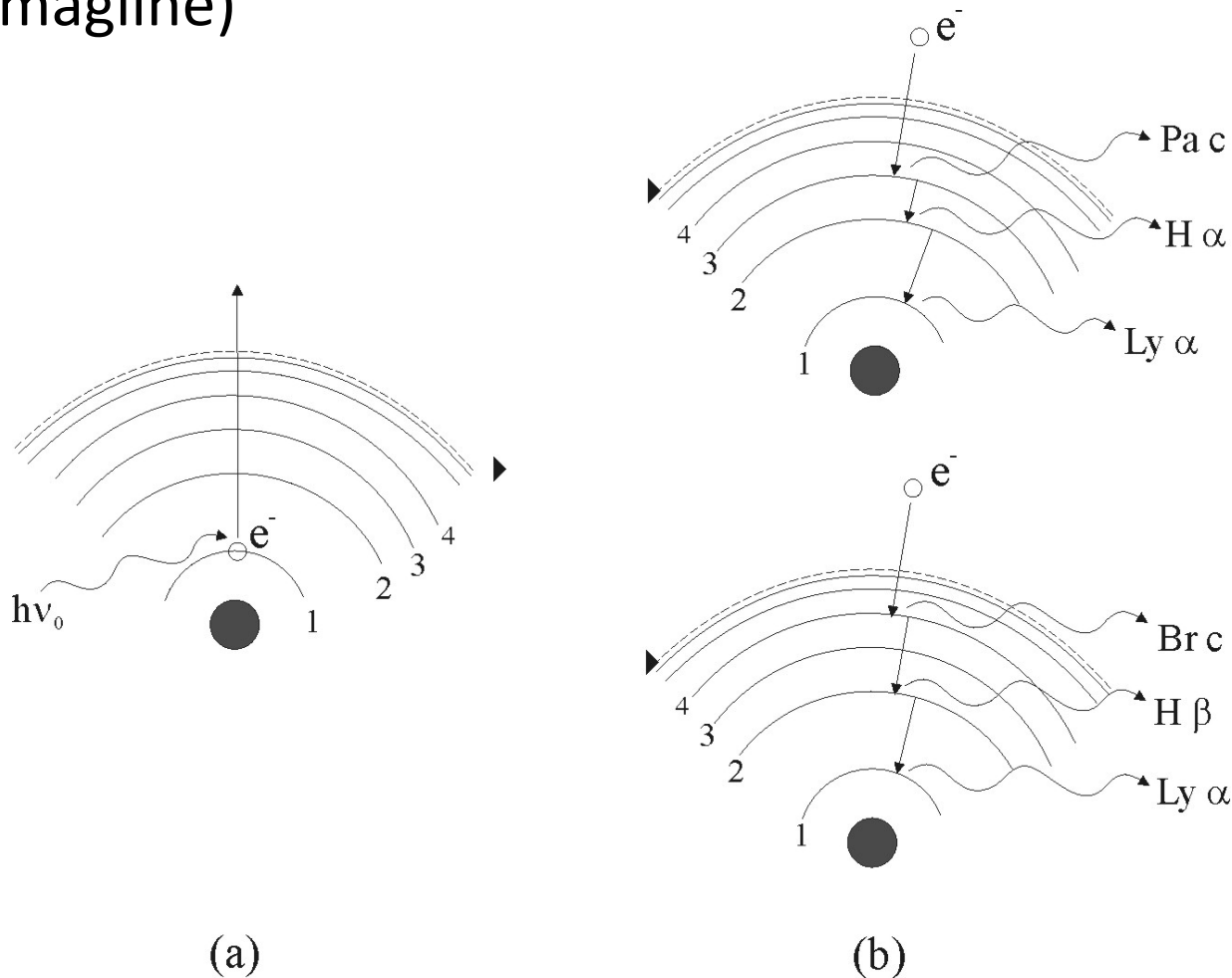




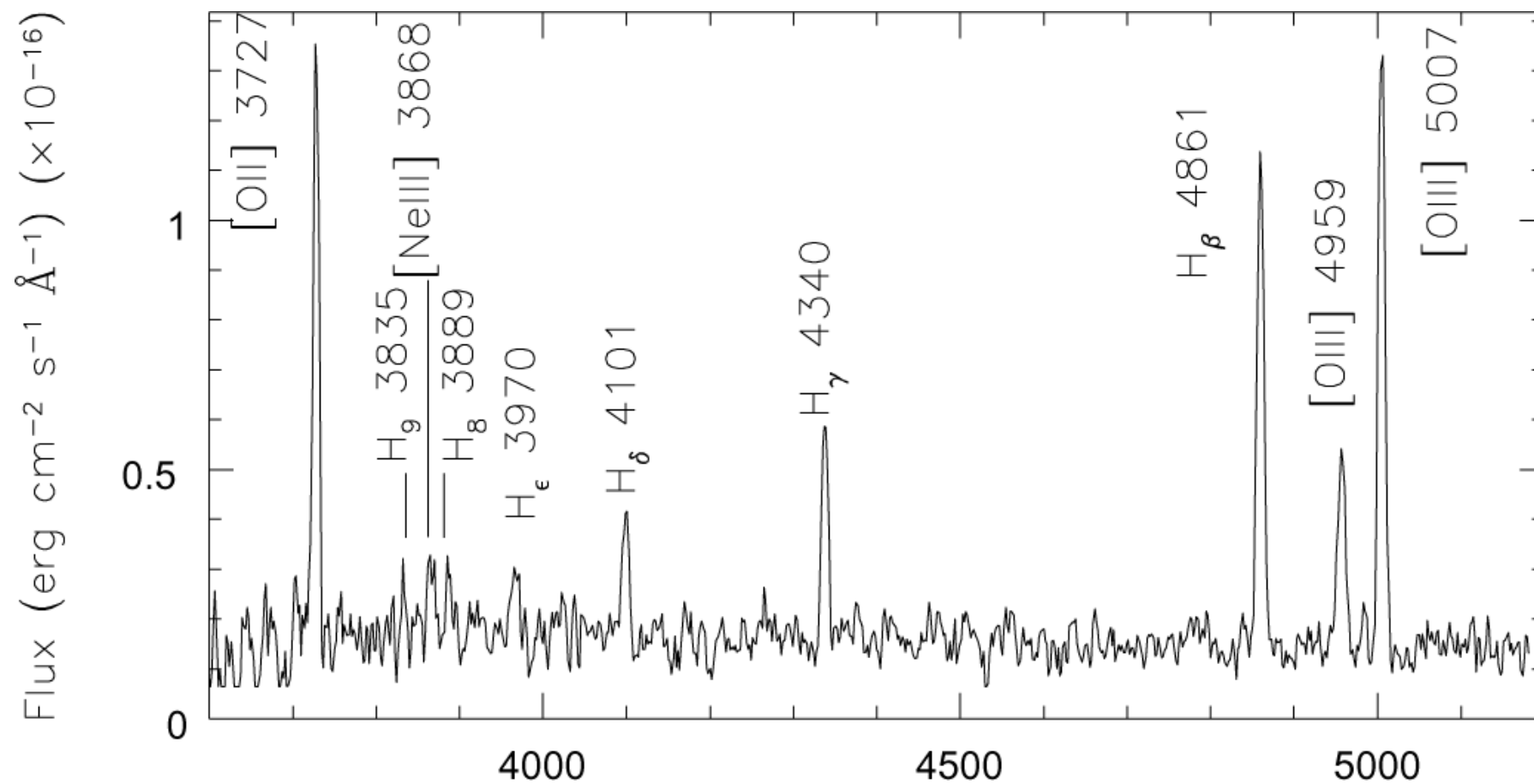


Proces fluorescencije

Jonizacija pod dejstvom UV fotona vrelh O i B1 zvezda
praćena rekombinacijom i kaskadnim prelazima na niže nivoe
uz emisiju fotona na raznim talasnim dužinama (emisioni
spektar magline)



Spektar HII regiona



Spektri emisionih maglina

Linijski emisioni spektri

- **Jake emisione linije** posmatrane u spektrima maglina nisu odgovarale nijednom poznatom elementu na Zemlji. Novi element je nazvan **nebulijum**. Bowen 1927. godine otkriva da te linije u stvari odgovaraju tzv. zabranjenim prelazima **OIII**.
- U ekstremno razređenoj sredini kakva je međuzvezdana materija mogući su **prelazi sa metastabilnih ekscitovanih stanja** (stanja sa izuzetno dugim vremenom života) koji se u Zemaljskim laboratorijama ne mogu ostvariti (**zabranjeni prelazi**).

HII region



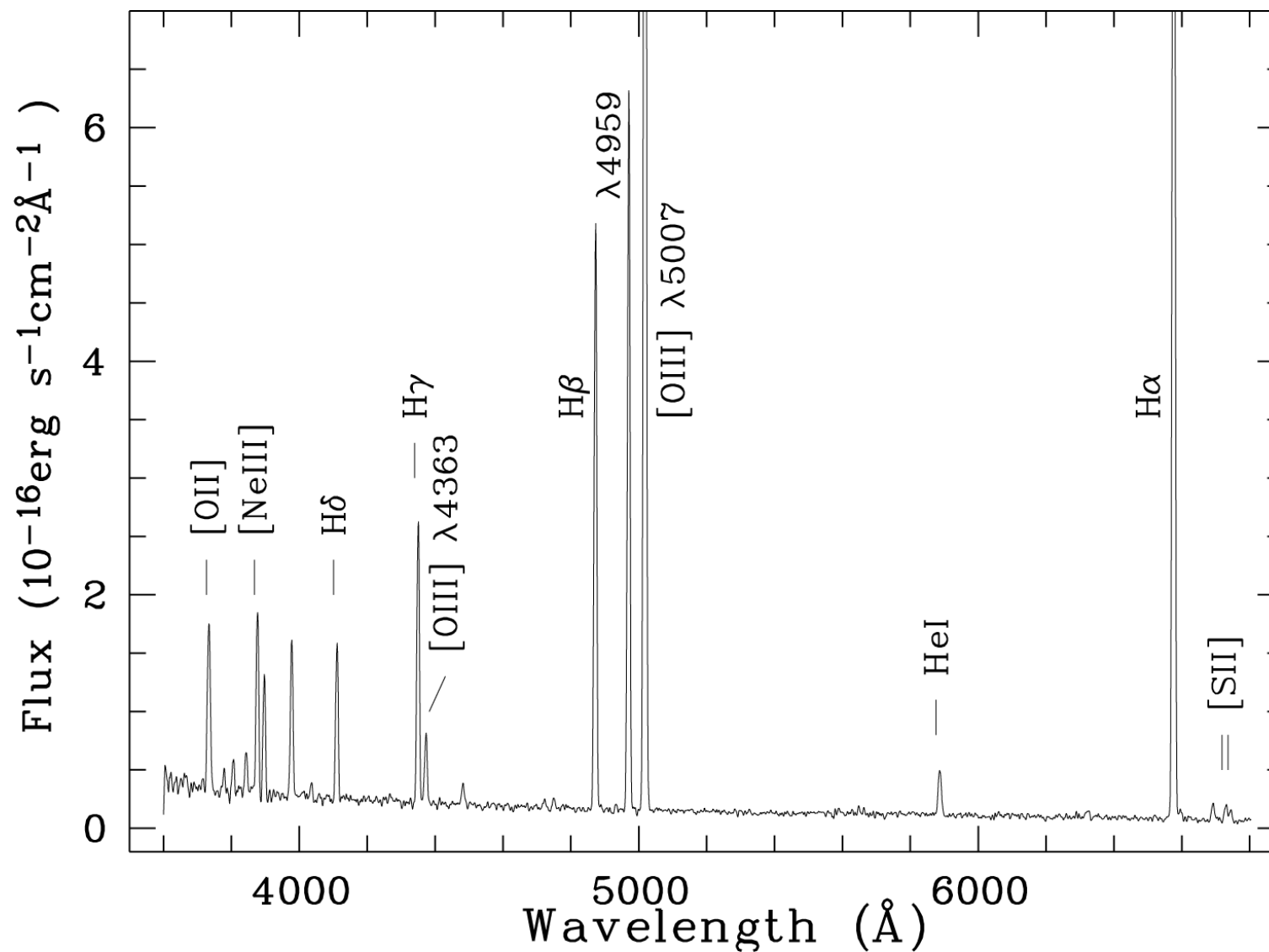
Planetarna maglina



Zabranjeni prelazi (linije)

- Malo verovatni spontani prelazi sa metastabilnih nivoa
- Metastabilni nivoi (stanja) u atomu su oni u kojima je srednje vreme života atoma znatno duže (reda 10^2 s) nego u drugim ekscitovanim stanjima (reda 10^{-8} s)

Zabranjene linije u maglinama



Planetarne magline

- Daleki objekti, ogromnih dimenzija, slabog sjaja, objekti između pop. I i II, žive kratko (oko 10000 godina)
- Zvezde u centru magline su najtoplije zvezde ($T=10^5\text{K}$) – vreli beli patuljci čije UV zračenje jonizuje maglinu - odbaćeni omotač umiruće zvezde ($v=10\text{-}30\text{km/s}$)
- Mehanizam svetljenja – fluorescencija kao kod HII regiona
- $T=10^4\text{K}$, $n=10^2\text{ cm}^{-3}$
- Spektar sličan spektru HII regiona (Balmerove linije vodonika i zabranjene linije)
- Primer: prstenasta maglina u Liri, u Vodoliji



Emisione magline

Planetarne magline

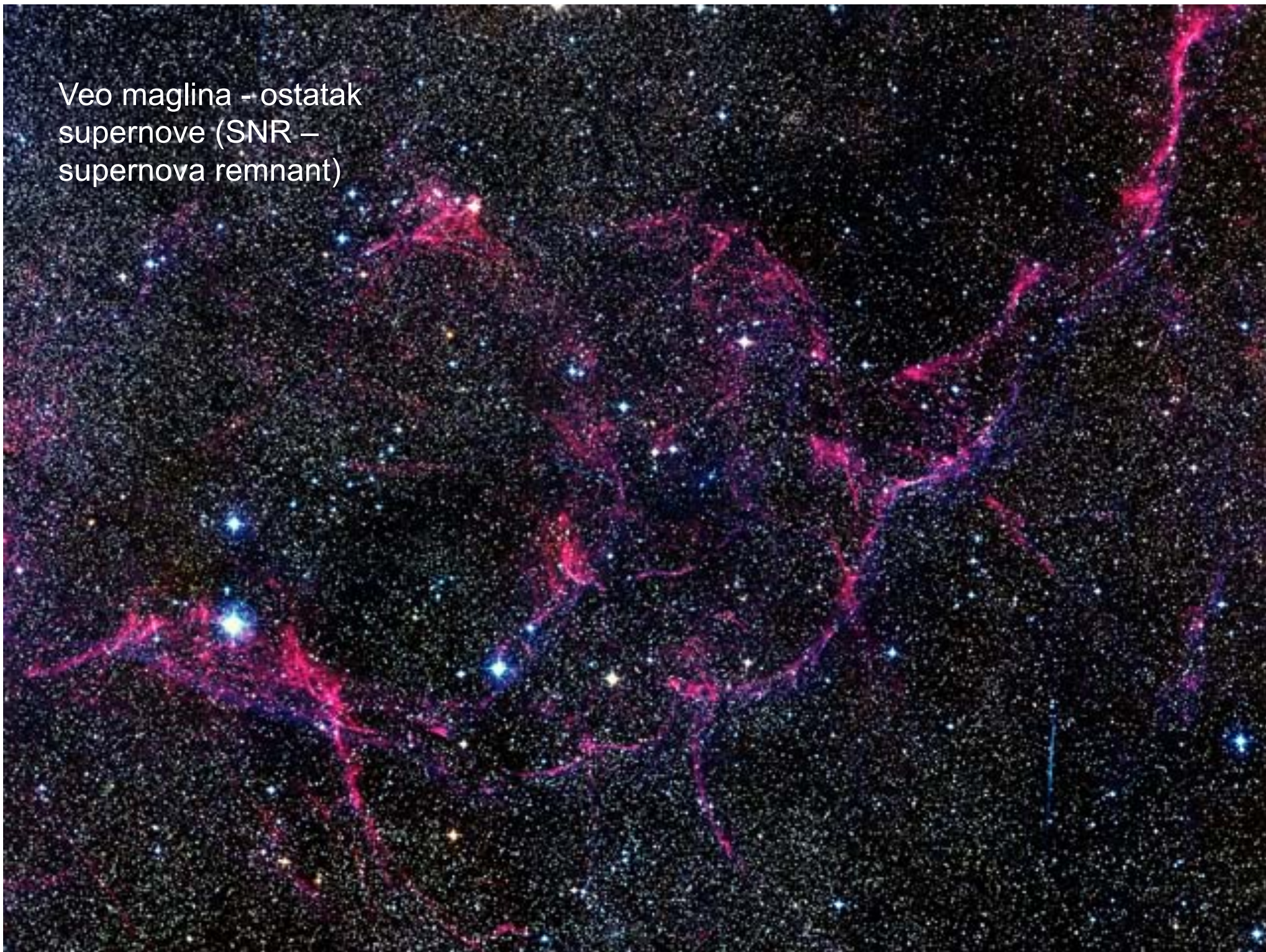


Helix maglina
u Vodoliji

Ostaci supernovih (SNR)

- Omotači bivših zvezda ili ostaci zvezda koje su se pri eksploziji SN potpuno raspale
- $v=1000\text{km/s}$
- Zračenje je netermalno (postojanje jakog magnetnog polja)
- 90% su shell tipa – u vidu ljuski ili vlakana (Veo maglina)
- 10% su popunjene (pleione) i imaju centralni pulsar (Krab maglina)

Veo maglina - ostatak
supernove (SNR –
supernova remnant)



Krab maglina – ostatak
supernove

