

# PROMENLJIVE ZVEZDE

Menjaju sjaj, efektivnu temperaturu, radijus i druge parametre u nekoj fazi zvezdane evolucije.

Analiza krive promene sjaja  $m(t)$  i spektra.

Prema uzroku i načinu promene sjaja dele se na:

- 1) pulsirajuće promenljive
- 2) kataklizmične promenljive

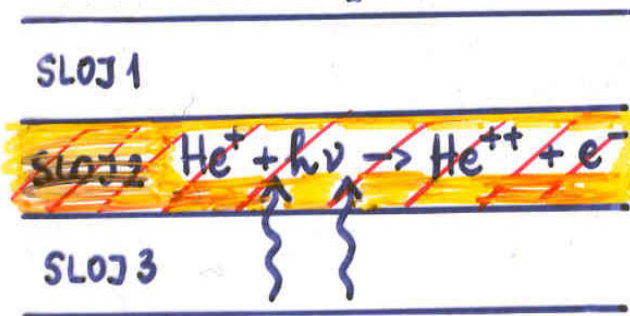
# Pulsirajuće promenljive zvezde

- Pravilne promene sjaja izazvane su pulsiranjem spoljnih slojeva
- Periodično pomeranje spektralnih linija
- Minimum sjaja odgovara najvećem pomeranju linija ka crvenom, a maksimum sjaja najvećem pomeranju linija ka plavom

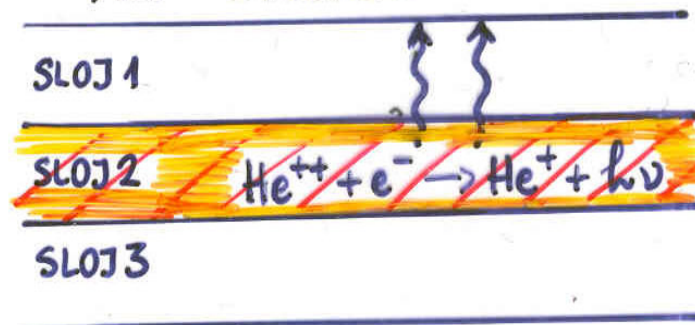
# PULSIRAJUĆE PROMENJIVE ZVEZDE

- MEHANIZAM PODRŽAVANJA ZVEZDANIH PULSACIJA → MEHANIZAM VENTILA
- ULOGU VENTILA IGRA SLOJ JONIZOVANOG HELIJUMA BLIZU POVRŠINE ZVEZDE (SLOJ U KOME HELIJUM IZ JEDNOSTRUKU JONIZACIJE PRELAZI U DVOSTRUKU). PRI SAŽIMANJU ZVEZDE ENERGIJA SE U TOM SLOJU SKLADIŠTI, A OSLOBADA PRI ŠIRENJU.

PRI SAŽIMANJU



PRI ŠIRENJU

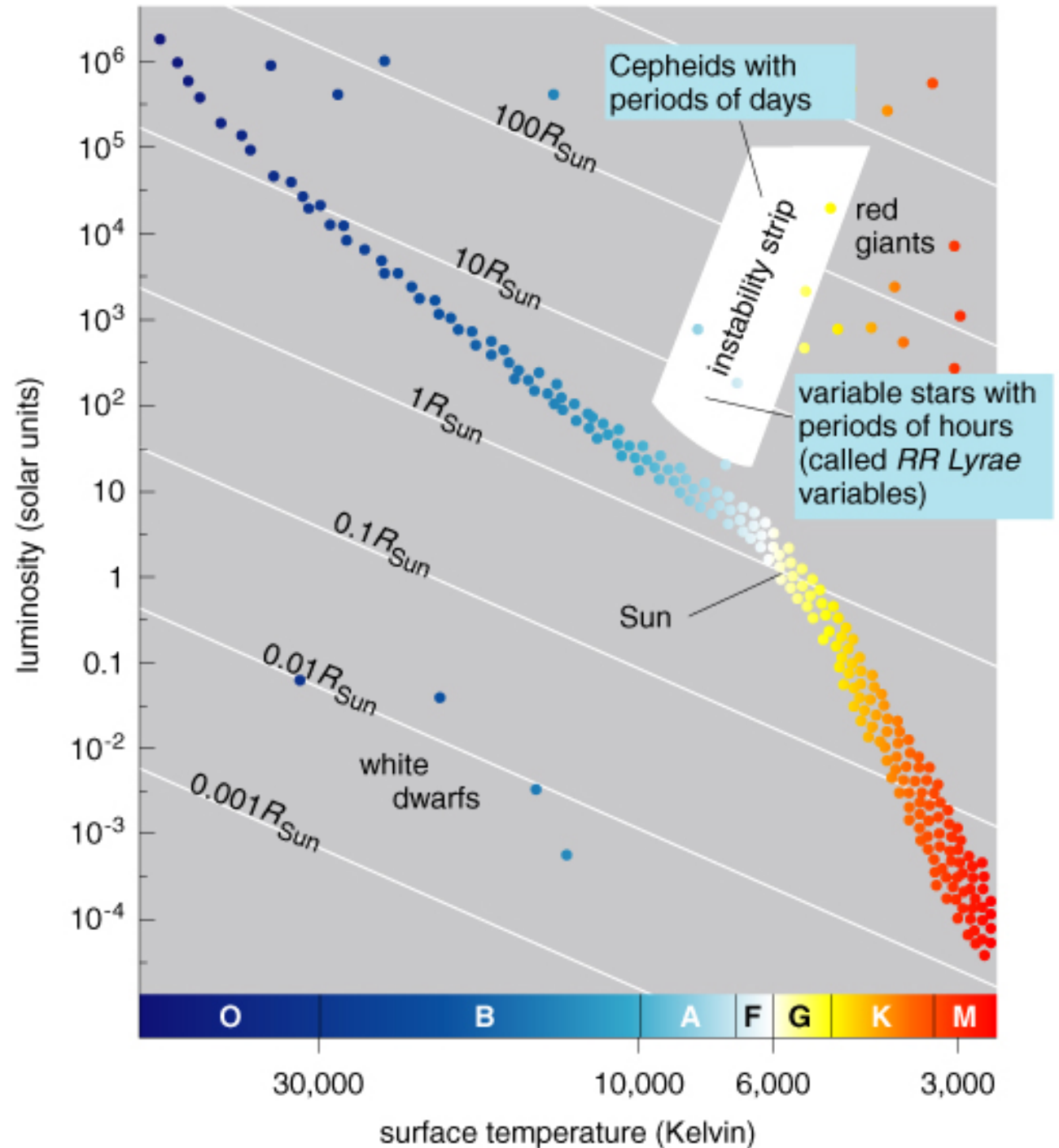


(a) RR Lyrae ( $1^h < P < 24^h$ )

(b) Cefeide ( $1^d < P < 50^d$ )

(c) Miride ( $80^d < P < 1000^d$ )

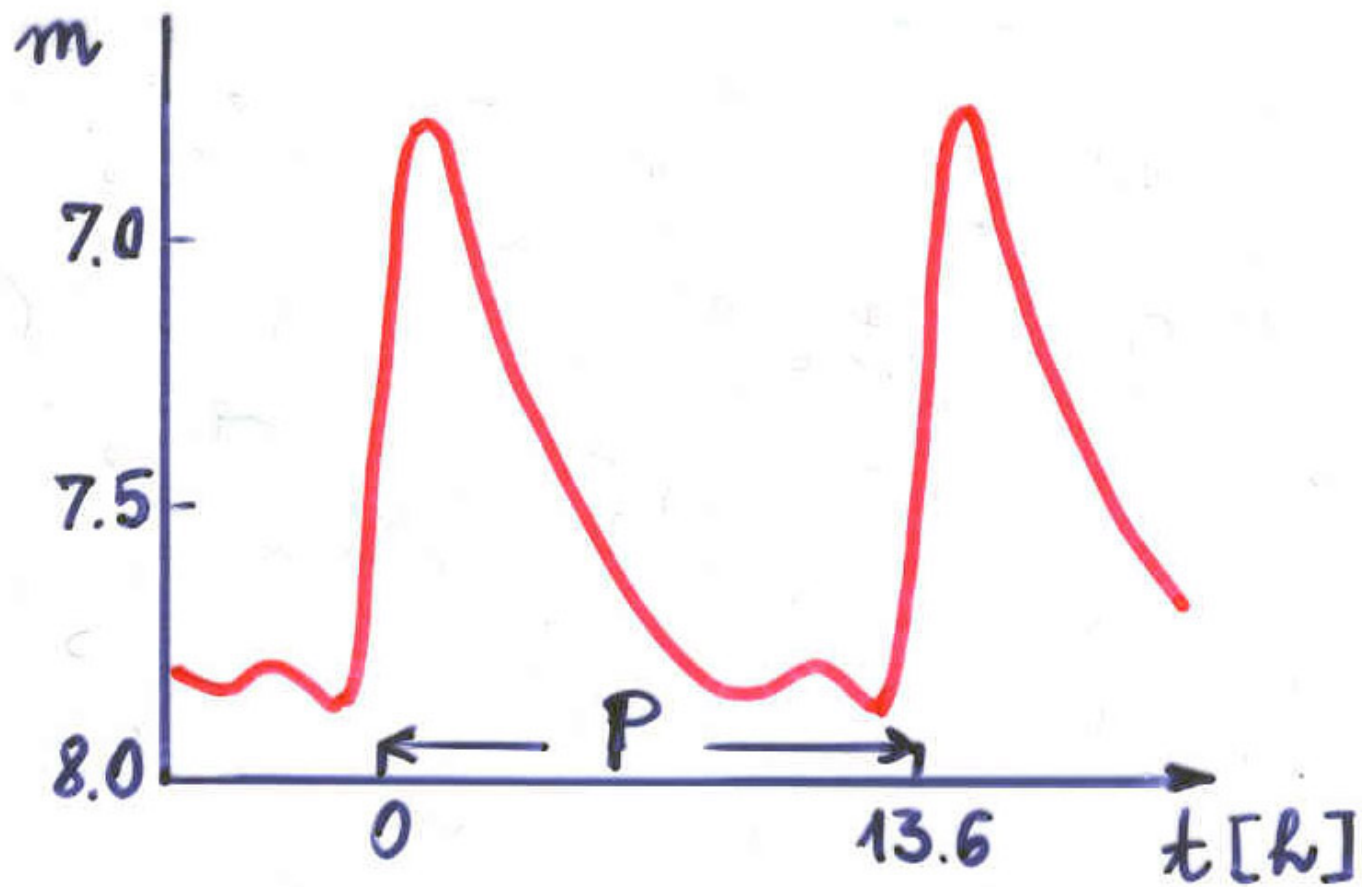
Zvezde stižu u tzv. “zonu nestabilnosti” na H-R dijagramu raznim evolutivnim putevima i mogu proći kroz nju nekoliko puta u toku svoje evolucije.



## (a) RR Lyrae

- Džinovi spektralne klase A
- Sve RR Lyrae imaju istu srednju apsolutnu magnitudu = +0.5
- Merenjem srednje prividne magnitude može da se odredi rastojanje do njih, tj. do zvezdanih sistema kojima pripadaju (standardne sveće!)
- Period promene sjaja: od 1 do 24 časa
- Amplituda promene sjaja: do 1 magnitude
- RR Lyrae se nalaze obično u globularnim jatima.
- To su objekti Populacije II

# RR Lyrae

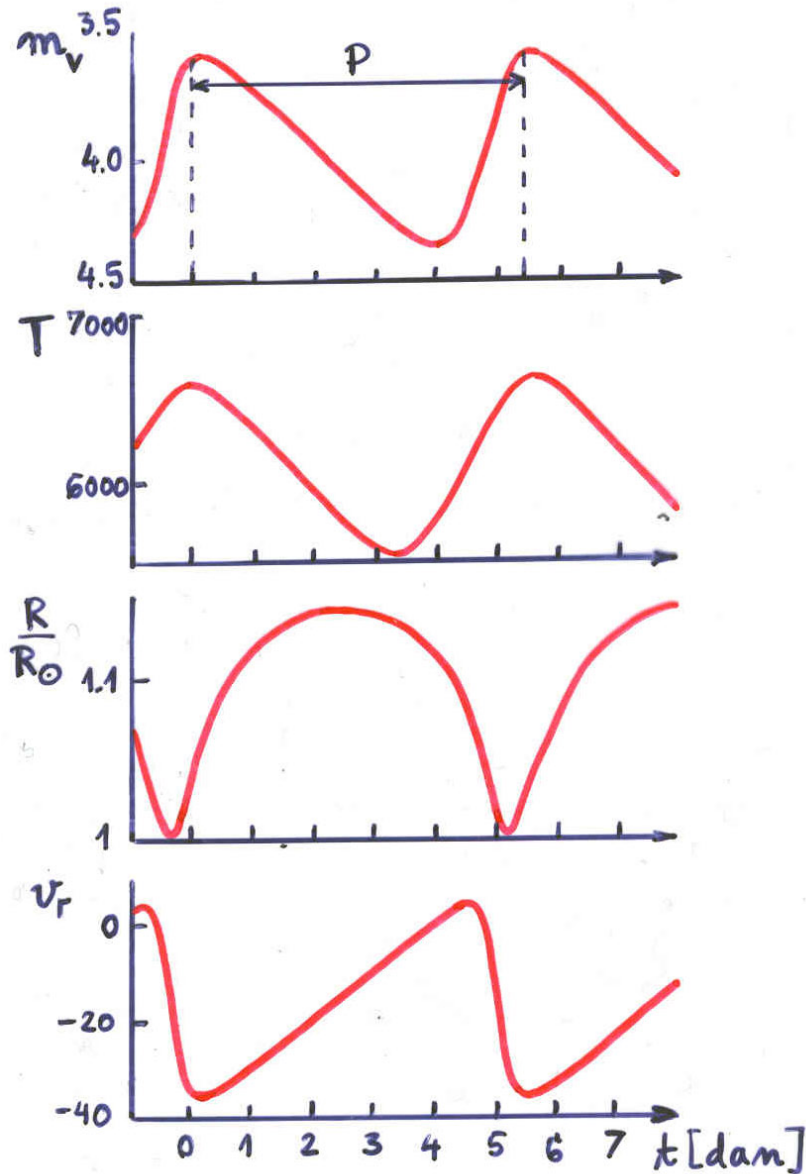


## (b) Cefeide

- Džinovi i superdžinovi spektralnih klasa F i G
- Periodi promene sjaja: od 1 do 50 dana
- Relacija “period – sjaj” omogućava da se iz merenog perioda promene sjaja odredi srednja apsolutna magnituda cefeida. Sa poznatom srednjom prividnom magnitudom može se odrediti rastojanje do njih, tj. do zvezdanog sistema kome pripadaju (standardne sveće !)
- Amplitude promene sjaja: od 0.5 do 2 magnitude
- Promene efektivne temperature i do 1000K

zvezda  $\delta$  Cephei

$$P = 5.366 \text{ dana}$$





• Cefeide istog perioda promene sjaja sličnih su fizičkih karakteristika

◆  $P\sqrt{\bar{p}} = \text{const}$  'period - gustina'

◆ P - L 'period - sjaj'

1908 - 1912. Henrietta Leavitt :

sjajnije Cefeide imaju duži period promene sjaja

$\bar{m} = f(P) \Rightarrow \bar{M} = \psi(P)$  H. Shapley (1918)

$$\bar{M} = a + b \log P$$

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

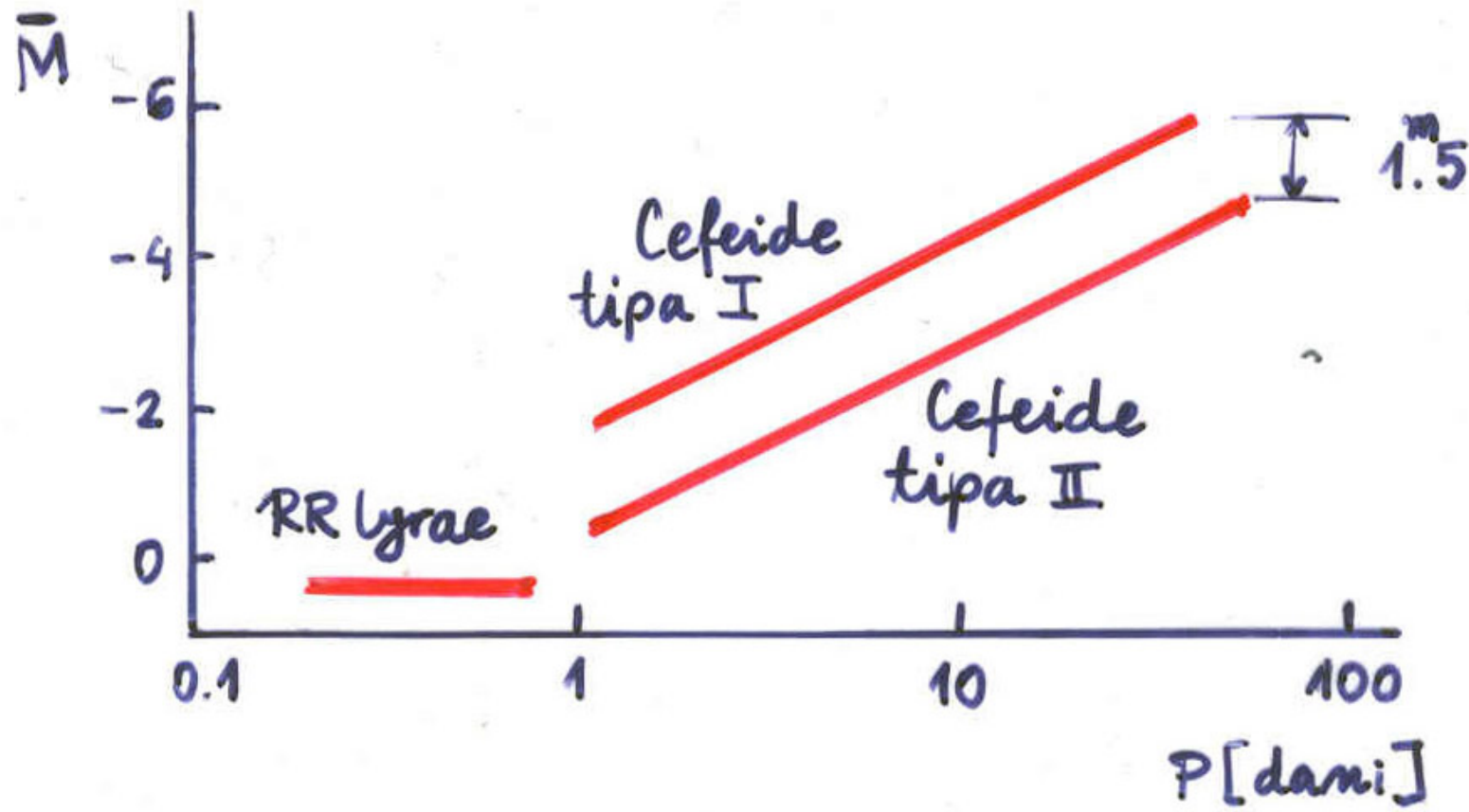
W. Baade (1952) proučavajući objekte u M31 ustanovio postojanje 2 tipa zvezdanih populacija (i 2 tipa Cefeida)

- klasične Cefeide (Cefeide tipa I) /sjajnije i mlađe/
- W Virginis zvezde (Cefeide tipa II) /manje sjajne, starije/  
za oko 1.5<sup>m</sup> slabije od klasičnih Cefeida istog P

Relacija 'period - sjaj':

$$\bar{M} = -1.5 - 1.74 \log P \quad (\text{Cefeide tipa I})$$

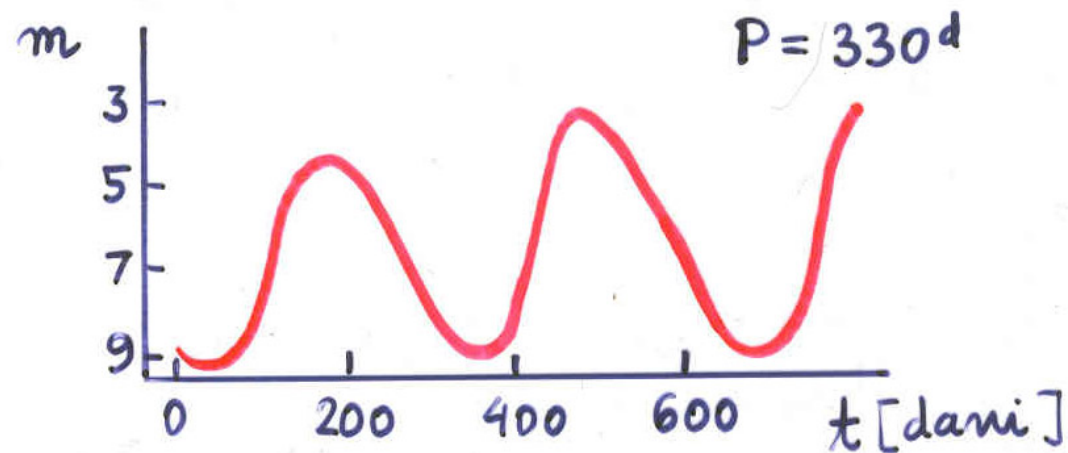
$$\bar{M} = -0.2 - 1.5 \log P \quad (\text{Cefeide tipa II})$$



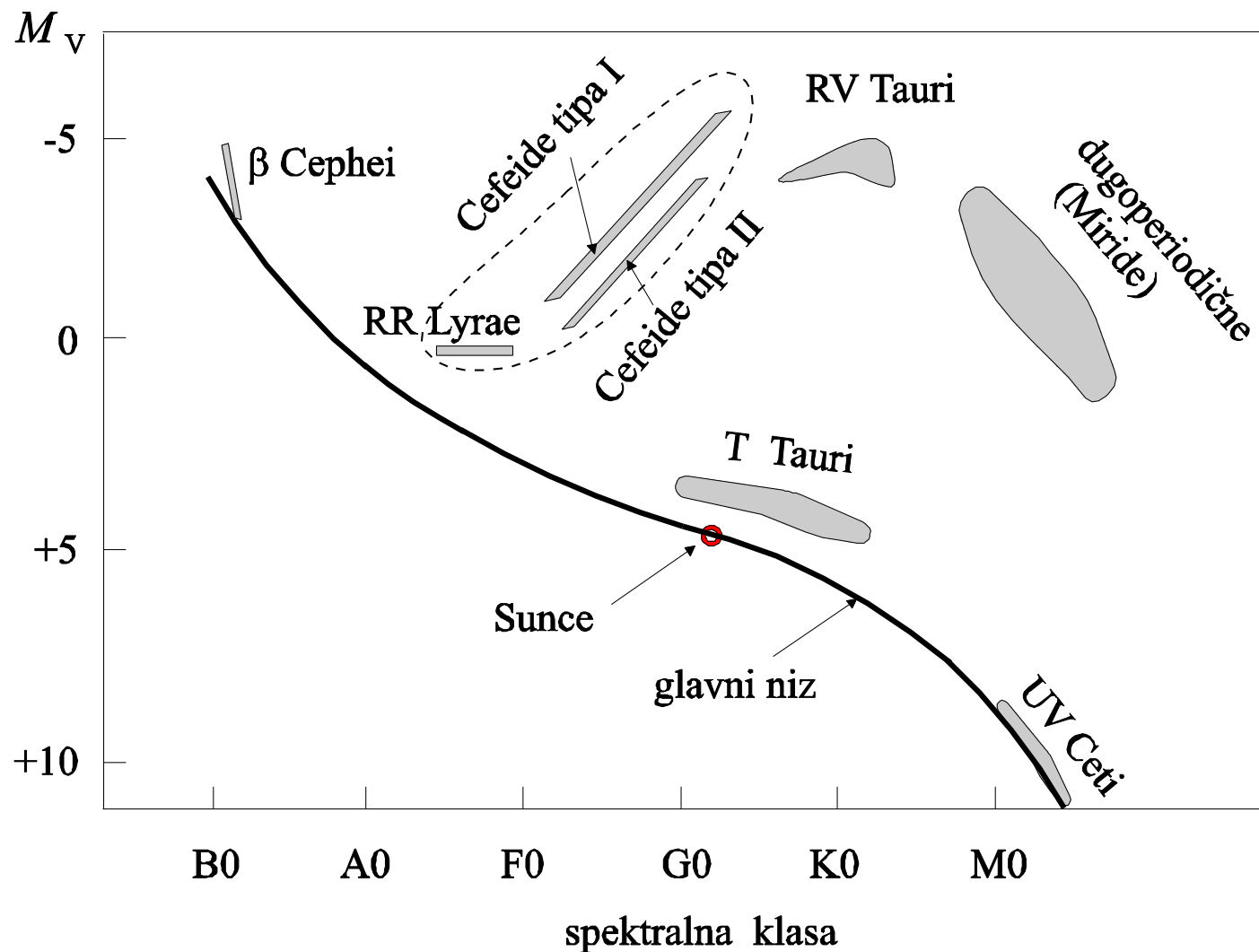
## (c) Miride

### (c) Miride (dugoperiodične promenljive)

o Ceti (Mira Ceti) - prva zvezda kod koje je primećena promena sjaja (1596. godine)



- džinovski i superdžinovski sp. klasa M, R, N, S
- $80 \text{ d} < P < 1000 \text{ d}$
- amplituda : do  $10^m$



Pored starih promenljivih zvezda koje su napustile glavni niz i nalaze se u poznim fazama svoje evolucije, postoji niz mladih promenljivih zvezda koje iz različitih razloga menjaju svoj sjaj (T Tauri, UV Ceti, Be zvezde,...)

# Katakližmične promenljive zvezde

- Zvezde sa iznenadnim, nepredvidivim bljeskom koji se javlja zbog erupcije ili eksplozije
- Dve vrste katakližmičnih promenljivih:
  - Nove
  - Supernove

# Nove

- Zvezde čiji se sjaj naglo (za nekoliko sati do dana) poveća i do 100,000 puta, da bi se mesecima i godinama vraćao na prvobitni.
- Promene sjaja i do 10-12 magnituda.
- U maksimumu sjaja  $M$  dostiže i do  $-8^m$ .
- Sve nove su tesno dvojni sistemi u kojima je primarna komponenta BELI PATULJAK i u kojima dolazi do pretakanja materije sa pratioca.

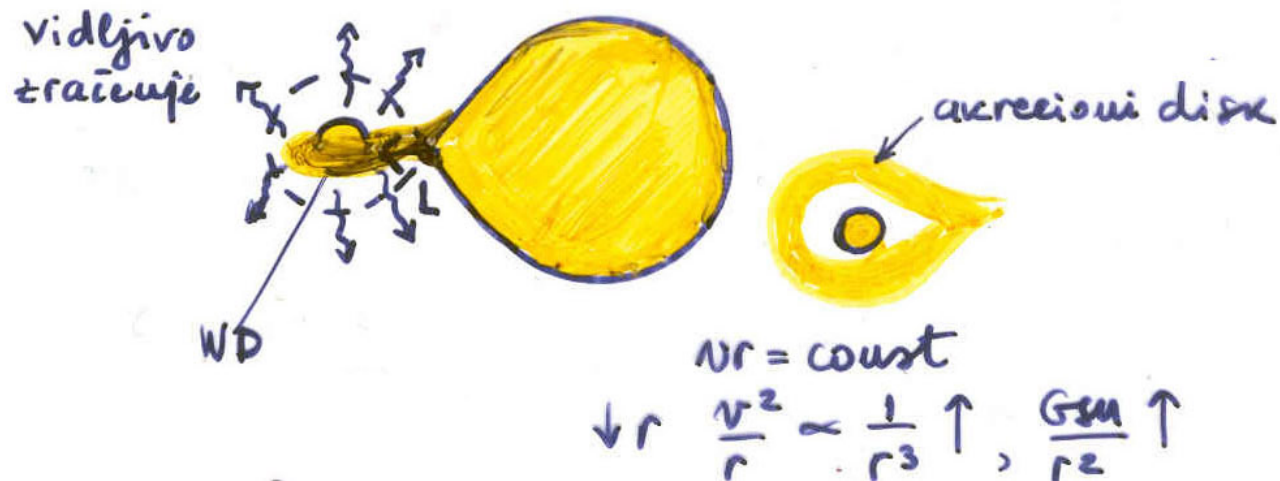
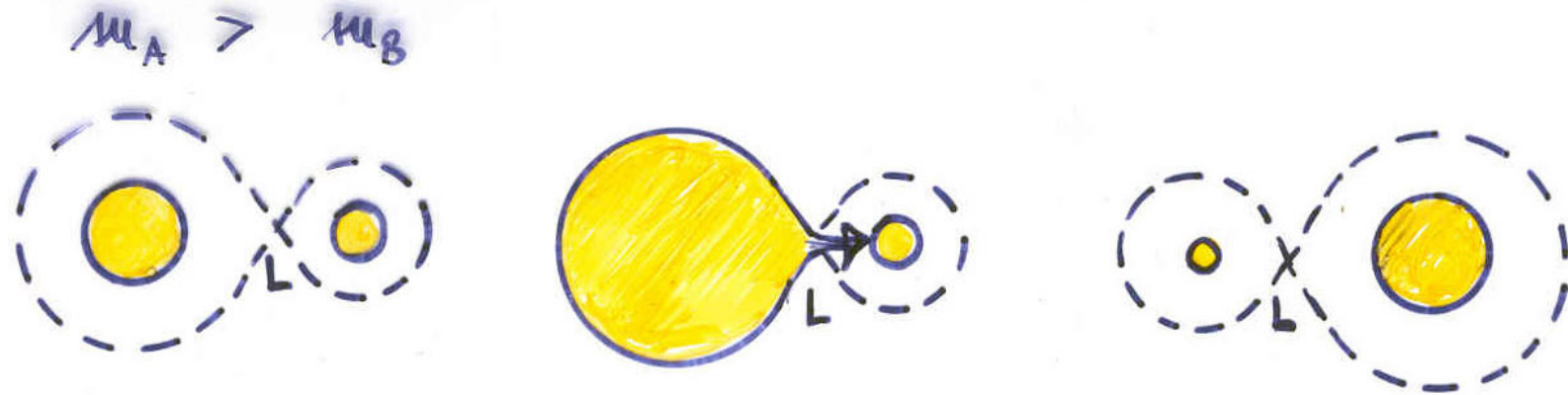
- **Brze nove** – sjaj poraste  $10^5$  puta za nekoliko dana, a zatim opada, najpre vrlo brzo, tokom nekoliko meseci
- **Spore nove** – dostižu maksimalan sjaj sporije, povećanje sjaja je manje nego kod brzih novih, a opadanje sjaja mnogo sporije
- **Ukupna oslobođena energija je**, međutim, skoro **ista** u oba slučaja.
- Pre eksplozije nove, vreo, turbulentni disk je najsjajniji deo sistema i čini da pre-nova izgleda kao plavičasta, nepravilno fluktuirajuća ‘zvezda’



# Nova



# Nove



- **Klasične nove (N)** – samo **1 eksplozija**, promena sjaja 8-12<sup>m</sup>, u TDS-u primarna komponenta je evoluirala u WD, sekundarna – ispunjava Rošov oval i omotač bogat vodonikom pretače u akrecioni disk oko belog patuljka. Pad materije na površinu WD, sabijanjem i zagrevanjem gasa dolazi do TN proton-proton reakcija i eksplozije koja raznosi akrecionu ljusku.
- **Rekurentne nove (RN)** – eksplozije se ponavljaju **svakih 20-50 godina**, manjeg su sjaja od novih, promene sjaja su 5-8<sup>m</sup>, javlja se odbačeni omotač - uzrok eksplozije je isti kao kod klasičnih novih, ali se ponovo formira akreciona ljuska.
- **Patuljaste nove (DN)** – ponavljaju se na **10-100 dana**, male promene sjaja (2-5<sup>m</sup>), omotač nije registrovan – možda bljesak potiče iz akrecionog diska  
(2 modela: (a) model nestabilnosti transfera mase – sekundarna ima nepravilnu ekspanziju i povremeno ispunjava svoj Rošov oval  
(b) model nestabilnosti diska – povremene termalne nestabilnosti u akrecionom disku koji se stalno puni transferom mase sa pratioca)

# Supernove

- u maksimumu sjaja i do  $M = -19^m$
- promena sjaja oko 20 magnituda, . za samo nekoliko dana oslobodi se energija od oko  $10^{44}$  J (do milion puta veća nego kod novih)
- izbačena materija predstavlja veći deo zvezdane mase – struktura zvezde se potpuno promeni
- odbačeni omotač je maglina koja se širi (SNR), a kolapsirajuće jezgro zvezde (ako nije razorena cela zvezda) je neutronska zvezda (NS) ili crna rupa (BH)

U našoj galaksiji je za poslednjih 1000 godina posmatrano nekoliko SN:

- 185 – (Kina)
- 1006 – Lupus (Švajcarska, Italija)
- 1054 – Taurus (Kina, Japan)
- 1181 – Cassiopeia (arapski astronomi)
- 1572 – Cassiopeia (T. Brahe)
- 1604 – Serpens (J. Kepler)
- 1680 – Cas A ?

# Spektroskopska klasifikacija supernovih

Prema izgledu spektra u optičkom domenu, SN se dele na:

- SN tipa I (odsustvo linija vodonika u spektru)
- SN tipa II (izražene linije vodonika u spektru)

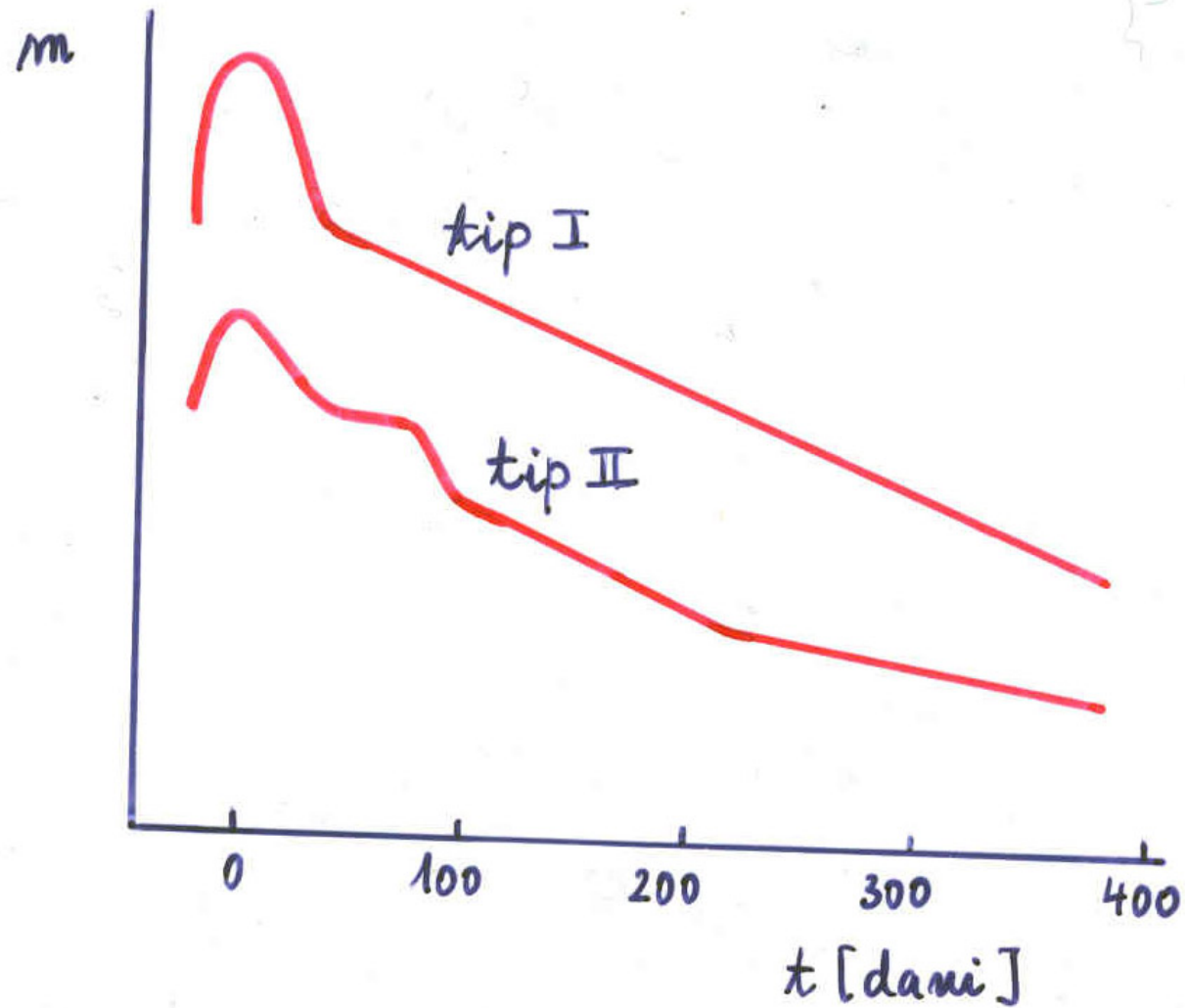
Potpodela SN tipa I:

SN Ia – imaju jake linije silicijuma (Si II), odsustvo linija He, jake emisione linije Fe

SN Ib – izražene linije helijuma (He I)

SN Ic – odsustvo linija H, Si, linije He odsutne ili slabe

- Razlike su i u obliku krive sjaja :



# SN tipa Ia

- Sve krive sjaja međusobno liče
- Sjaj u maksimumu je isti:

$$M_v = -18.59 \pm 0.06$$

pa se koriste kao **standardne sveće**

- Nalaze se i u spiralnim i u eliptičnim galaksijama
- Članovi su TDS u kome WD primajući materiju od pratioca poveća svoju masu iznad Čandrasekarove granice i kolapsira uz eksploziju.



# SN tipa II

- Samo u spiralnim granama galaksija
- Verovatno nastaju kolapsom jezgra vrlo masivnih zvezda
- Mladi objekti populacije I
- Maksimum sjaja obično ne prelazi -17
- Spektar ima jake linije vodonika. Ne vide se linije silicijuma, jer su svi elementi od ljuski Si do ljuske Ne utrošeni na sintezu težih elemenata (nikla (Si+S) i kobalta)

# Dva mehanizma eksplozije SN:

- 1) Eksplozivno paljenje degenerisanog jezgra stare usamljene zvezde ili eksplozivno paljenje (detonacija ugljenika) belog patuljka koji je transferom mase sa pratioca u TDS prešao Čandrasekarovu granicu (SN Ia)
- 2) Kolaps nedegenerisanog jezgra vrlo masivne zvezde (SN II, SNIb, SNIc).

U oba slučaja javlja se jaka eksplozija, udarni talasi, jak neutrinski fluks, oslobođena ogromna radijativna energija, kosmički zraci, odbacivanje omotača i maglina u širenju, ponekad pulsar

# Klasifikacija supernovih

Termonuklearne supernove (bez ostatka):

SN Ia – odsustvo linija H, imaju jake linije silicijuma (Si II),  
odsustvo linija He, jake emisije linije Fe

Kolapsirajuće supernove:

SN II - izražene linije H u spektru

SN Ib – odsustvo linija H, izražene linije helijuma (He I)

SN Ic – odsustvo linija H, linije He odsutne ili slabe

Krab maglina – ostatak  
supernove nastale  
kolapsom jezgra



# Značaj izučavanja supernovih

- sinteza težih hemijskih elemenata (eksplozivna nukleosinteza)
- karika u životnom ciklusu zvezda
- nastanak neutronske zvezde i crnih rupa
- nastanak kosmičkih zraka
- iniciranje procesa formiranja zvezda
- određivanje vangalaktičkih rastojanja (SN Ia)
- kosmološke hipoteze