

Prof.dr Dragan Gajić

Kurs astrofizike





Promenljive zvezde.

Promenljive zvezde – čiji se sjaj, efektivna temperatura, radijus i drugi parametri menjaju u toku vremena, kao posledica fizičkih procesa koji se u njima dešavaju u nekoj fazi evolucije. Nestabilnosti, koje se javljaju u površinskim slojevima zvezde, ne utiču na strukturu njene duboke unutrašnjosti. Od svih zvezda oko 1% spada u promenljive. Činjenica da ih je znatno manje od **stabilnih (stacionarnih), nepromenljivih zvezda** ukazuje na to da zvezde kao nestabilne provode mnogo kraći deo svog života u nestabilnoj fazi.

Promenljive zvezde, osim onih čije su promene male, ne nalaze se na glavnoj grani H–R dijagrama.

Sve zvezde menjaju svoj sjaj, ali se kod promenljivih zvezda promene mogu pouzdano meriti, pri čemu promene nastaju kao posledice procesa u zvezdanoj atmosferi ili unutrašnjosti (eklipsne zvezde nisu promenljive u tom smislu). Podela na stacionarne i promenljive zvezde je relativna (uslovna).

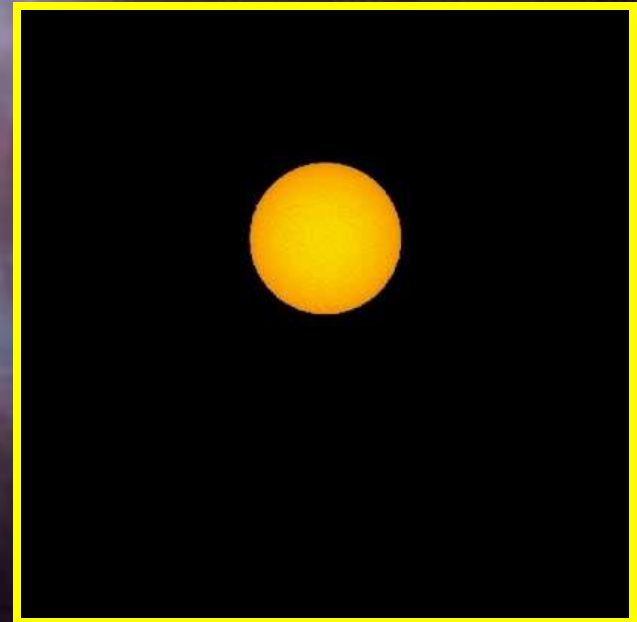
Prema uzroku i načinu promene sjaja, kao i prema obliku krive promene sjaja sa vremenom, promenljive zvezde dele se na:

- 1. Pulsirajuće promenljive***
- 2. Katakliزمične promenljive***

Zvezde promenljivog sjaja, prema nekim autorima, dele se na pravilno (sa prepoznatljivim periodom), polupravilno i nepravilno promenljive.

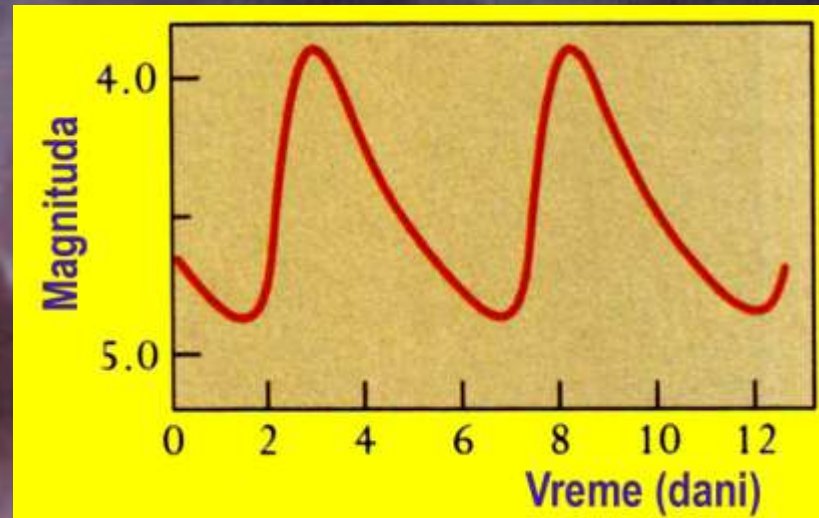
Pulsirajuće promenljive zvezde

Imaju, manje–više, pravilne periode promene sjaja (to se može videti na osnovu periodičnog pomeranja linija u njihovom spektru). To je, uglavnom, izazvano pravilnim pulsiranjem površinskih slojeva zvezda (atmosfera im pulsira).



Dele se na nekoliko grupa: cefeide, RR Lyrae, RV Tauri, miride.

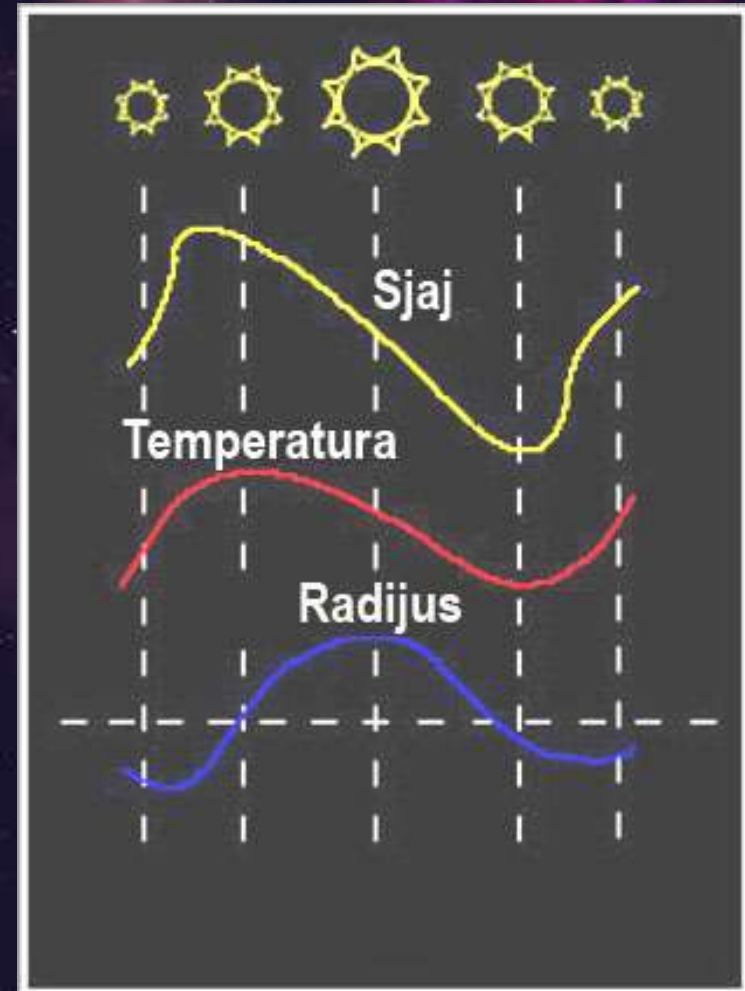
Cefeide: po zvezdi δ Cefei. To je prva otkrivena pulsirajuća zvezda (još u XVIII veku). Njen period je oko 5 dana. Period cefeida je od 1 do 50 dana, a sjaj im se menja od 0.5 do 2 magnitude.



Cefeide pripadaju džinovima i superdžinovima spektralnih klasa F i G. Zbog visokog sjaja mogu se posmatrati i u drugim galaksijama. Prilikom pulsiranja, njihov prečnik se menja oko 10%, a temperatura površine za oko 1000 K.

Dele se na cefeide prve populacije (klasične ili delta-cefeide) i cefeide druge populacije (cefeide loptastih jata). Cefeide istog perioda P promene sjaja imaju slične fizičke karakteristike.

Period P se lako meri iz krive sjaja, tako da se lako određuju druge karakteristike. Npr. veza između perioda P i srednje gustine zvezde ρ data je relacijom: $P\rho^{1/2}=C$, gde je C konstanta. Beta cefeide su visokotemperaturne promenljive zvezde sa kratkim periodom (3–7 sati) i malim promenama sjaja. Patuljaste cefeide imaju kratke periode i male, često neujednačene promene sjaja.



Najvažnija osobina cefeida je da postoji veza između njihove luminoznosti (srednje apsolutne magnitude) i perioda promene sjaja. Henrieta Livit je, prateći cefeide u Velikom Magelanovom oblaku od 1908. do 1912. godine otkrila da sjajnije cefeide imaju duži period promene sjaja. Šepi je 1918. godine ustanovio vezu između srednje apsolutne zvezdane veličine M i perioda promene sjaja:

$$M = a + b \log P, \text{ a i b su konstante.}$$

S druge strane, veza između M , udaljenosti zvezde r i prividne zvezdane veličine m je:

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

To omogućuje da se kod cefeida merenjem perioda promene sjaja određuju udaljenosti vrlo dalekih zvezdanih sistema u kojima su ove zvezde uočene.

RR Lyrae: vrlo brojna klasa pulsirajućih zvezda. Imaju period promene sjaja od nekoliko sati do jednog dana, sa amplitudom do 1 magnitudo. Radi se o džinovima spektralne klase A, sa srednjom magnitudom oko +0.5. Obično se nalaze u globularnim jatima.

RV Tauri: malobrojne polupravilne pulsirajuće zvezde visokog sjaja.

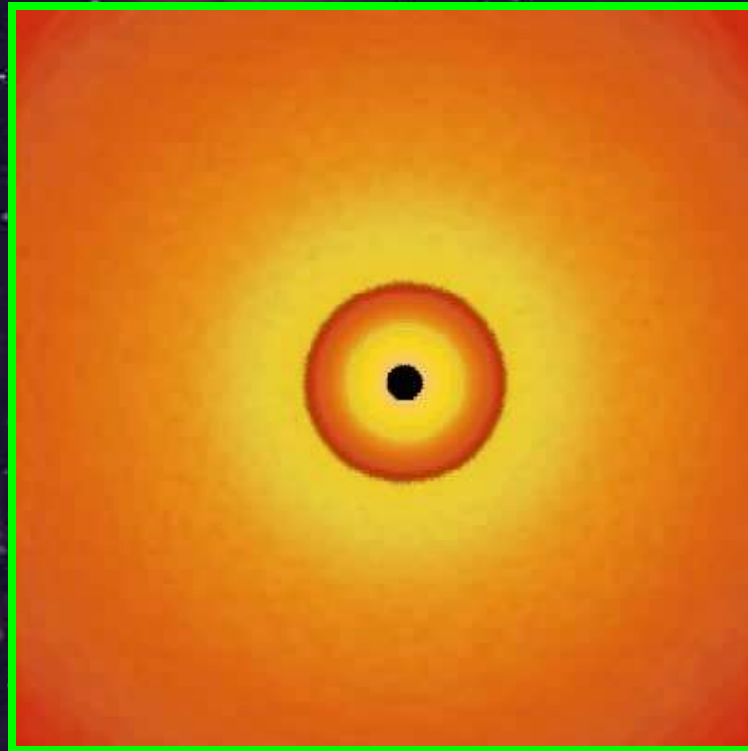
Miride: dugoperiodični crveni džinovi i superdžinovi. Period promene sjaja im je 80–1000 dana, a amplituda promene je od 2^m do 10^m .

Njihov prototip je Mira Ceti, koja je zbog promene sjaja uočena još 1596. g. Povremeno je iščezavala na nebu, da bi se ponovo videla.

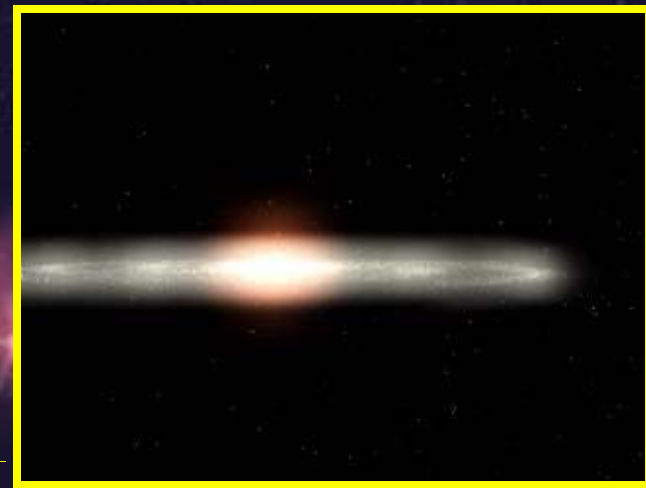


Zato je nazvana Mira Ceti – čudnovata zvezda iz sazvežđa Kita. Promene sjaja mirida nisu tako pravilne kao kod cefeida.

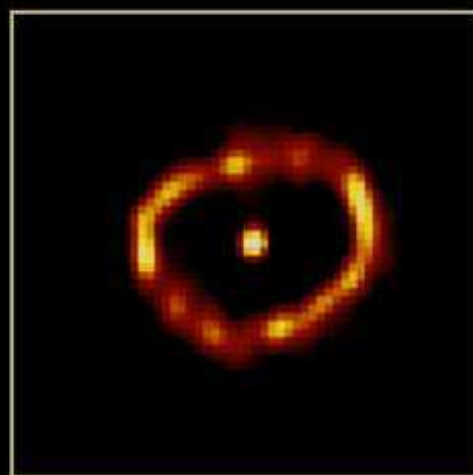
Katakliizmične promenljive: eruptivne promenljive sa iznenadnim, nepredvidivim bleskom, koji se javlja zbog erupcije ili eksplozije. Prema nomenklaturi koja je usvojena 1993. g. u ove zvezde spadaju nove i supernove.



Nove: sjaj im iznenada poraste za hiljadu, čak i milion puta. U srednjem promene sjaja su 12^m , ali i više (nova u Labudu iz 1975. je promenila sjaj za 19^m). Tiho Brahe je jednu takvu zvezdu uočio 1572. g.

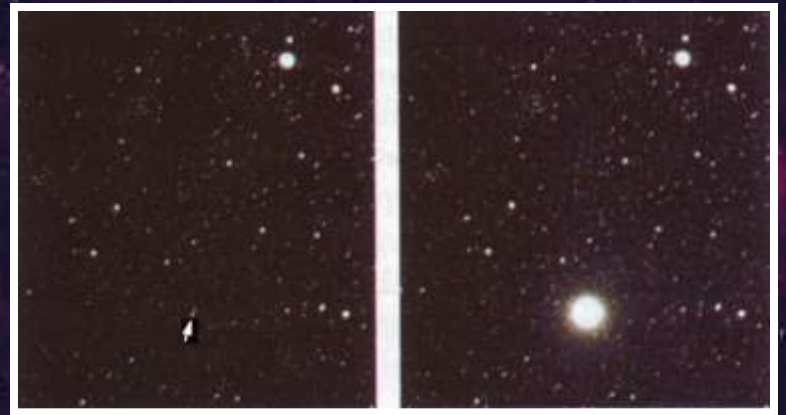


(danas znamo da se radilo o supernovoj) koju je nazvao *Stella nova*. Radi se o zvezdama malog sjaja, a do naglog rasta sjaja dolazi u roku od desetak sati do nekoliko dana. U vreme maksimuma sjaja snaga zračenja takve zvezde je 10^{31} W (kod Sunca je $3.86 \cdot 10^{26}$ W).



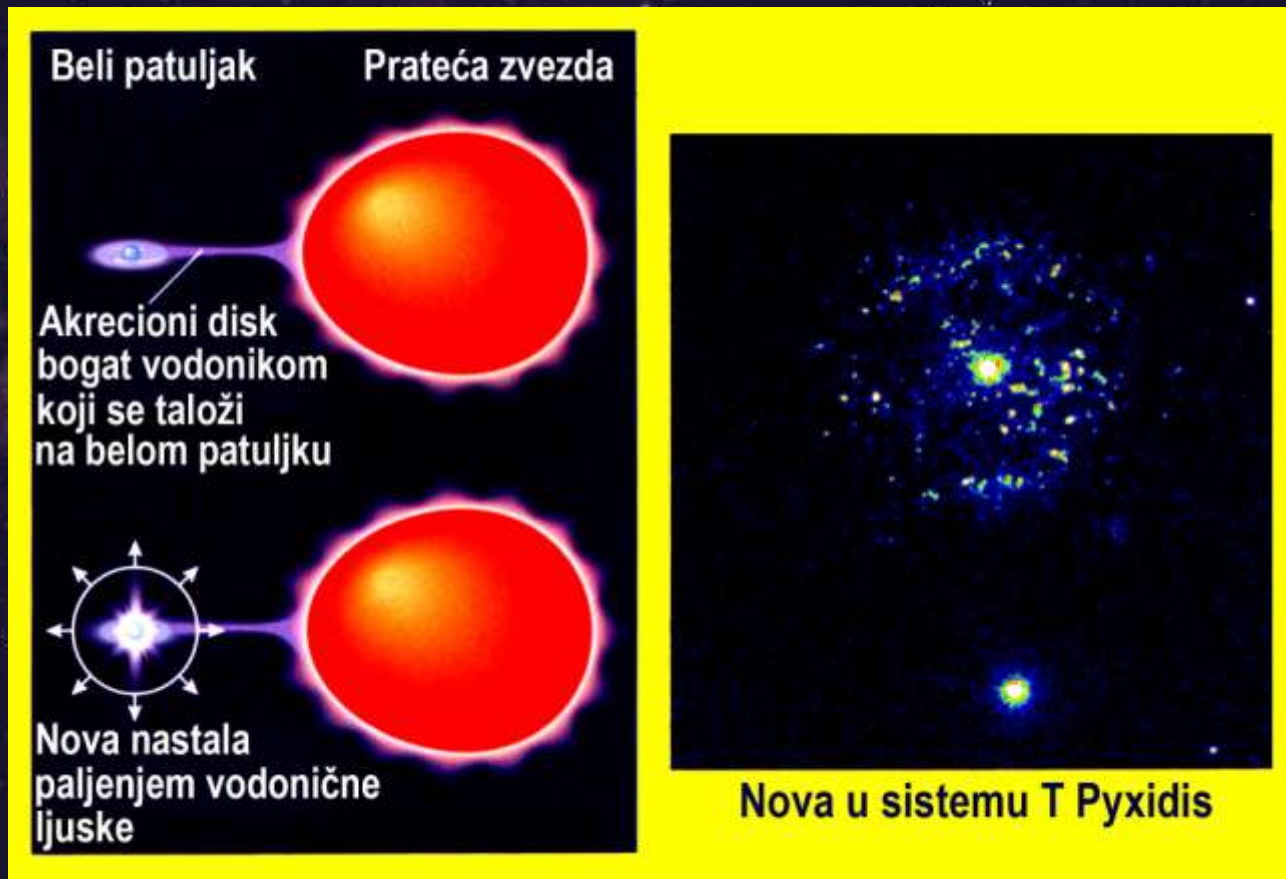
Nakon prolaza kroz maksimum, sjaj se sporo vraća na početni nivo (nakon više meseci i godina). Oko zvezde se formira omotač.

Omotač se širi (1000km/s) i postepeno se rastače u međuzvezdanom prostoru. S obzirom na karakter porasta i opadanja sjaja razlikuju se brze i spore nove. Sa bleskom dolazi i do promena u spektru.

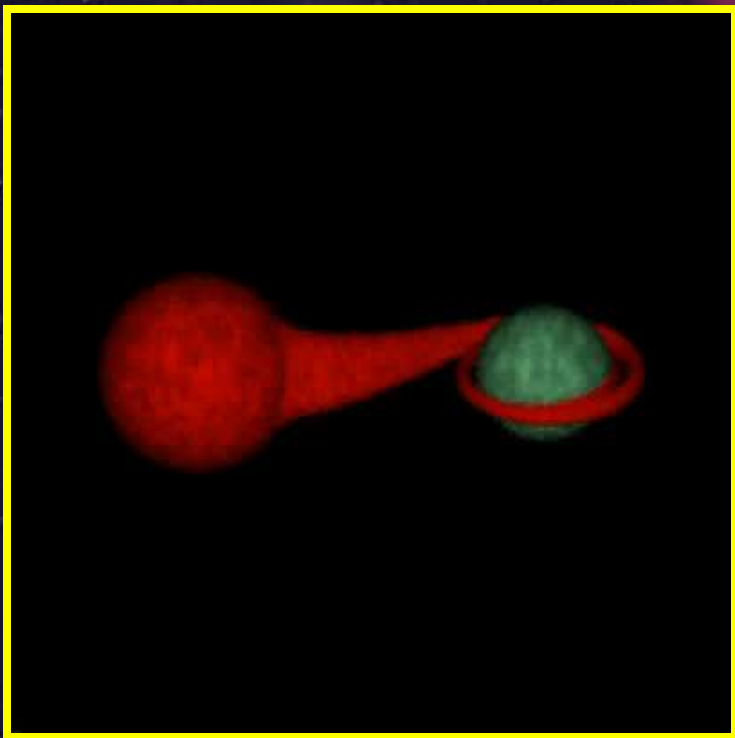
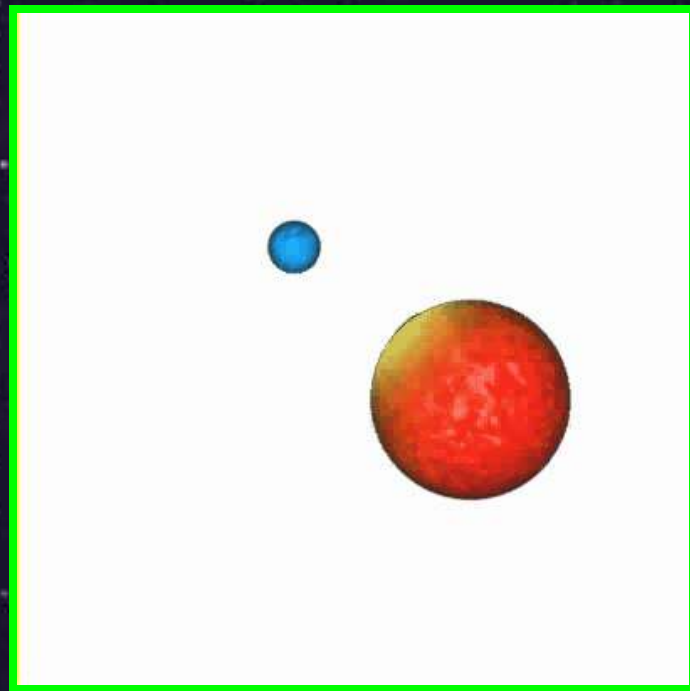


Za poslednjih 150 g. u Galaksiji je zabeleženo nekoliko stotina novih, 3–6 godišnje. Bilo je godina kada nije primećena ni jedna. Skoro polovina ih je uočena u pravcu Strelca. Uočavaju se i u drugim galaksijama.

Nove se javljaju kod dvojnih zvezda. Veća zvezda je sa glavnog niza H-R dijagrama. Sa nje teče gas (akrecija) na manju zvezdu, koja je beli patuljak.

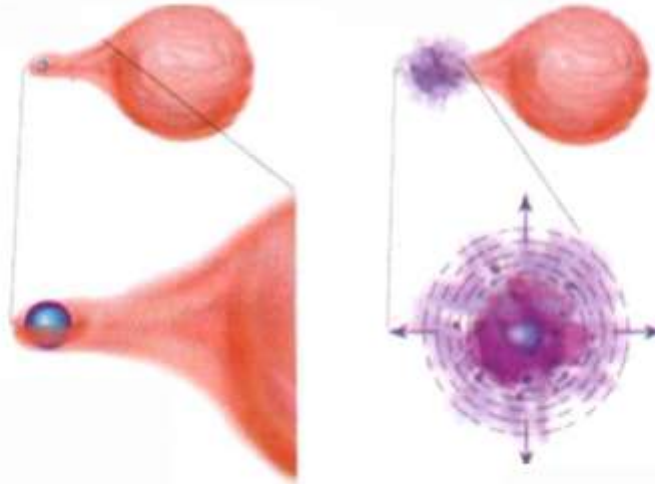


Gas se ne “pretače” direktno, već iz vrtložnog (akrecionog) diska, koji se stvara oko patuljka. Sleganjem svežeg vodonika na površini zvezde, njegova koncentracija raste, uz porast temperature.



Kada masa prispelog vodonika dostigne kritičnu vrednost, dolazi do fuzionih reakcija u spoljašnjim slojevima belog patuljka i do oslobađanja ogromne količine energije. Spoljašnji slojevi zvezde bivaju obačeni. Pritom se ne menja unutrašnja građa zvezde.

Eksplodizija nove



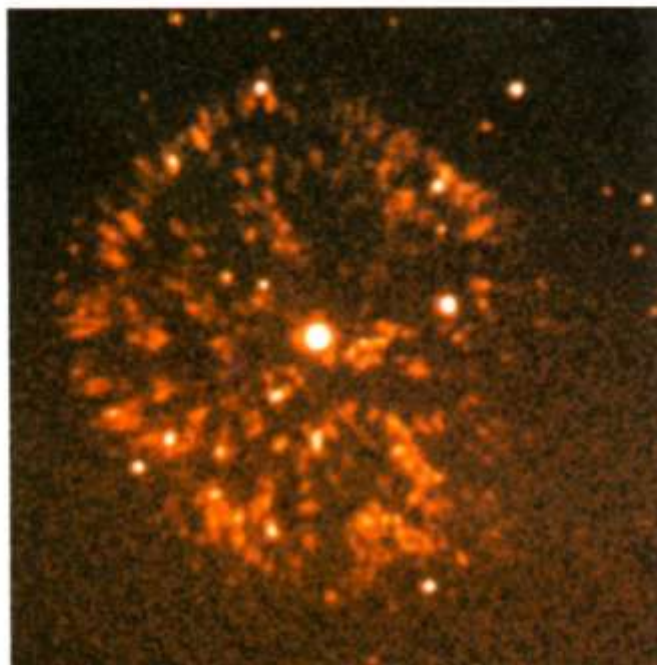
nova zvezda
na nebu

Nakon eksplozije i odbacivanja omotača, proces akrecije gasa na belog patuljka se nastavlja, tako da se kod klasičnih nova proces može ponoviti nakon 10^5 godina.

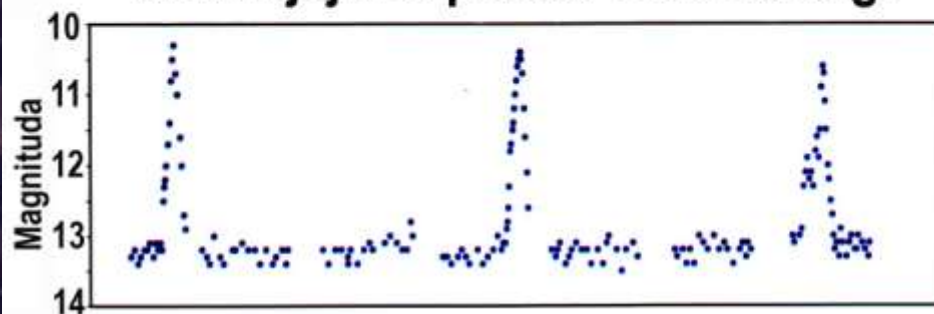
Povratne (rekurentne) nove se ponavljaju na 20 do 50 godina. Slične su klasičnim novim, ali su manjeg sjaja. I kod njih se javlja omotač, ali je manje uočljiv.



Nova Persei 1905. posle 100 godina



Kriva sjaja za period 1998-2005.g.

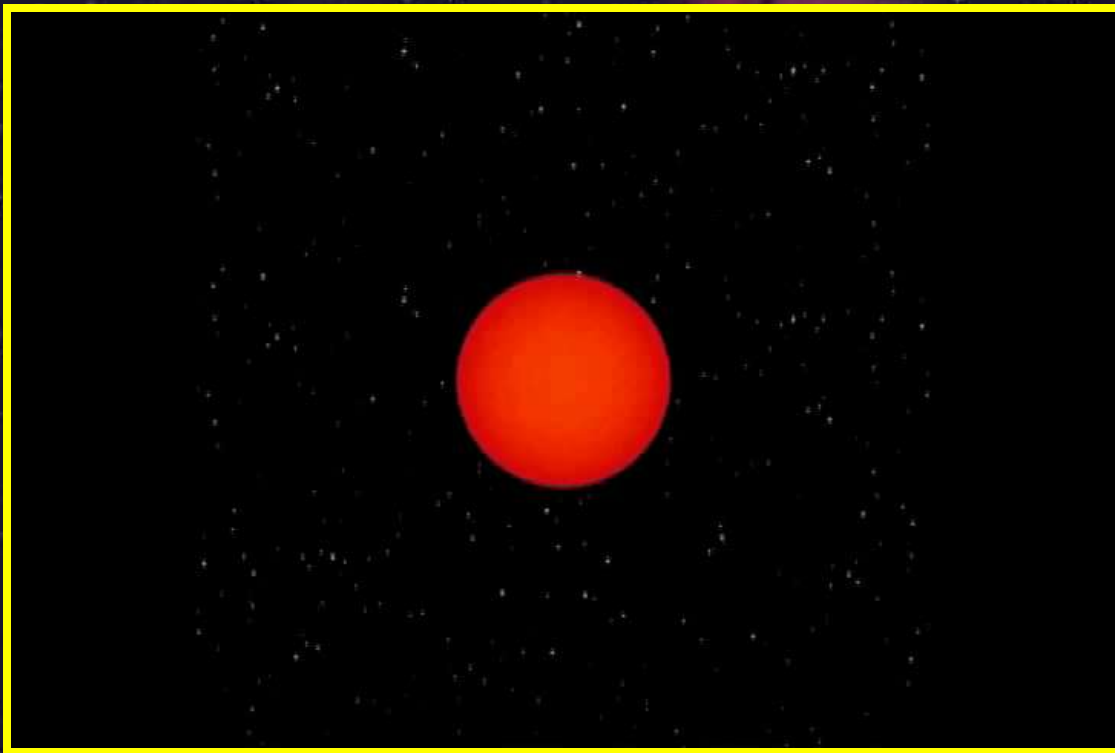


Patuljaste nove su praćene slabijim eksplozijama koje se ponavljaju u periodu od 10 do 100 dana. Porast sjaja je 20 do 100 puta. Povećan sjaj traje nekoliko dana. Prilikom “pretakanja” gasa dolazi do porasta temperature, što je praćeno rastom sjaja.



Kod ovih zvezda nije uočeno odbacivanje omotača.

Supernove su mnogo spektakularnije. Amplitude promene sjaja su i po 20 magnituda. Neke od takvih zvezda mogle su da se vide i po danu, golim okom. Oslobodi se 1000 do 100 000 puta više energije u odnosu na nove. Za vreme eksplozije, apsolutna zv. veličina dostiže -15^m , čak i do -21^m . Ponekad su sjajnije i od integralnog sjaja galaksije u kojoj su nastale.



U galaksijama se supernove u proseku dešavaju jednom u 200 godina. Do danas ih je u raznim galaksijama uočeno više stotina.

Dele se na supernove I i II tipa (SN I i SN II).

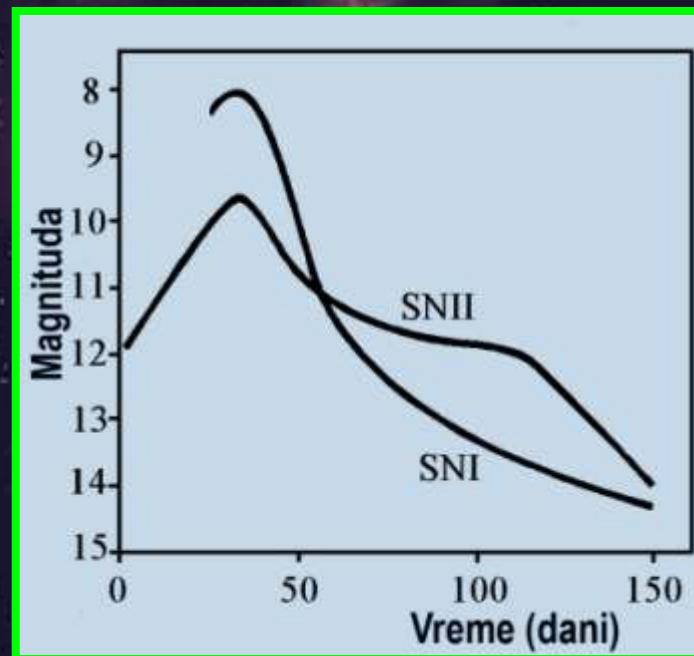
SN I: snaga u maksimumu je 10^{35}W . Masa ovih zvezda je manja od 1.2 mase Sunca. Nastaju pretakanjem mase sa jedne na drugu zvezdu dvojnog sistema. U središtu ekspandirajuće magline nema ostatka zvezde. Nakon maksimuma sjaja, koji traje nekoliko dana, sjaj opada za 0.1^m na dan 20–30 dana, a kasnije 0.01^m na dan. Uočavaju se kod galaksija svih tipova, kod starih zvezda.



U vreme maksimuma sjaja fotosfera im premašuje dimenzije Z. orbite oko Sunca. Ekspandirajući oblak širi se brzinom (5000–20 000)km/s. Sreću se dosta retko.

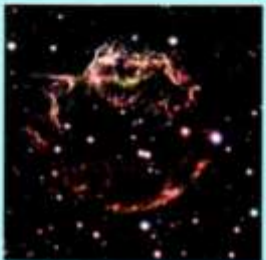
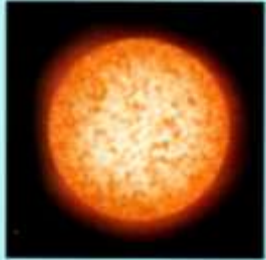


SN II: češće su od onih tipa I. U odnosu na njih su manjeg sjaja u maksimumu (-17^m). U početku (prvih 100 dana) sjaj opada sporo, ali kasnije brže nego kod SN I. Masa izbačenog gasa je i do 10 puta veća od mase Sunca. Nastaju na masivnim zvezdama.



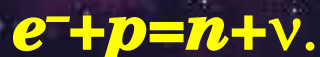
Javljaaju se kod spiralnih galaksija, kod masivnih zvezda koje brzo evoluiraju.

Eksplzija supernove

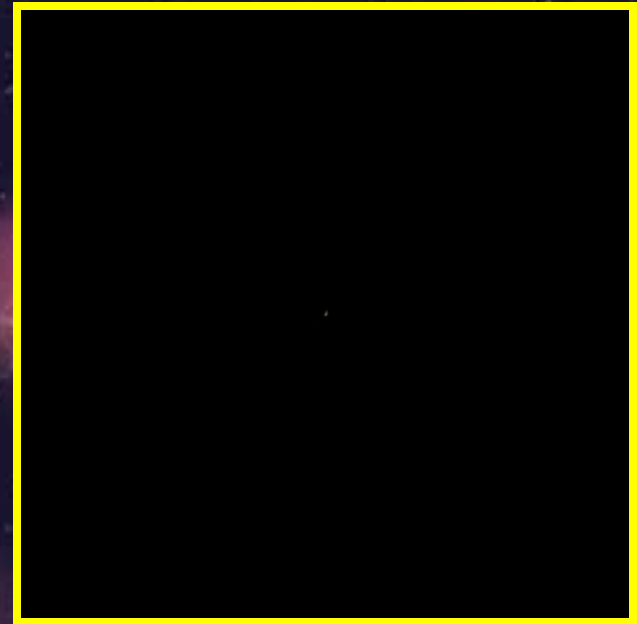


Na kraju evolucije one su izgrađene u obliku ljuski, sa gvozdenim jezgrom.

Kada masa jezgra dostigne 1.44 masu Sunca (Čandrasekarova granica) hidrostatički pritisak nadvladava gasni pritisak i jezgro urušava. T-ra i pritisak rastu, ali se reakcije fuzije više ne mogu da odigravaju. Jezgro se sažima do dimenzija reda veličine 10 km. Dolazi do neutronizacije jezgra:



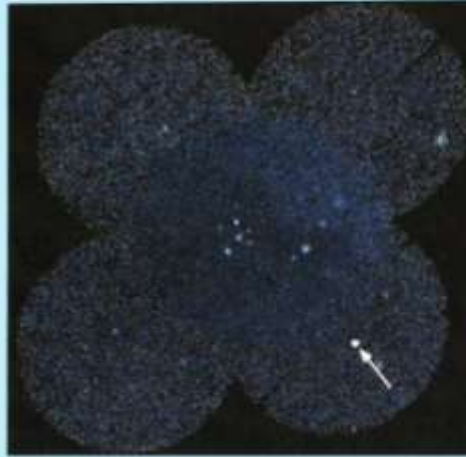
Tada pritisak neutronske gasa sprečava dalje sažimanje jezgra.



*Spoljašnji slojevi zvezde urušavaju se ka jezgru nadzvučnom brzinom. Nastali udarni talas ih odbacuje. Nastaje maglina koja se širi, a u njenom središtu je mala (10 km) **neutronska zvezda**. Ona brzo rotira (z.o.m.i.), ima jako magnetno polje i ogromnu gustinu.*

Neutronska zvezda

snimak u X oblasti

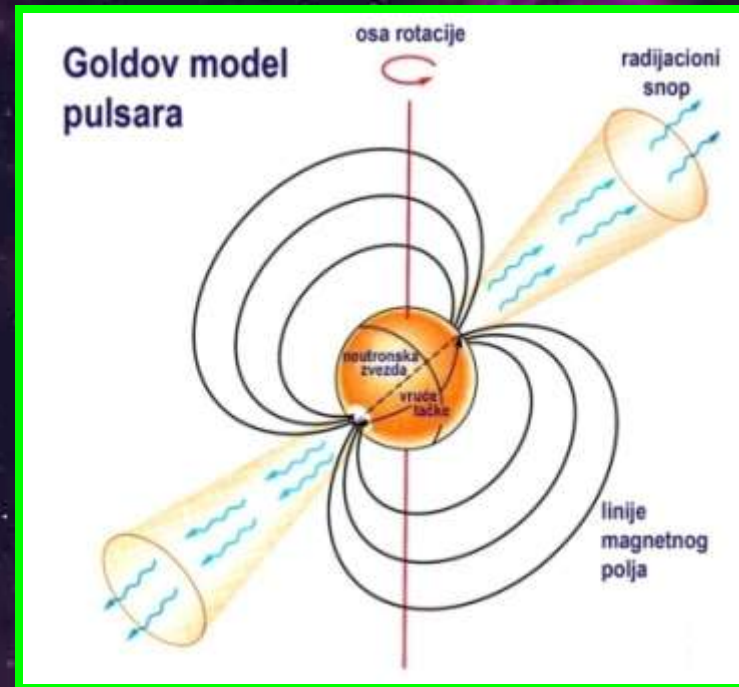


snimak u vidljivoj oblasti



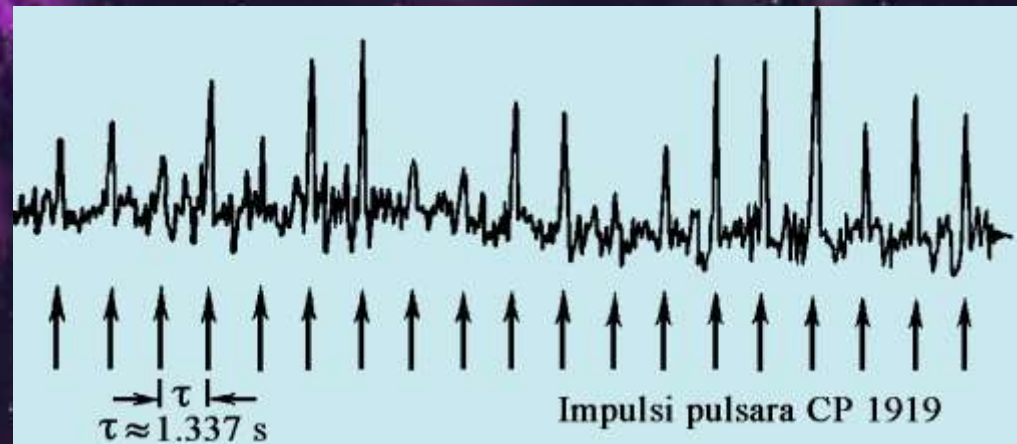
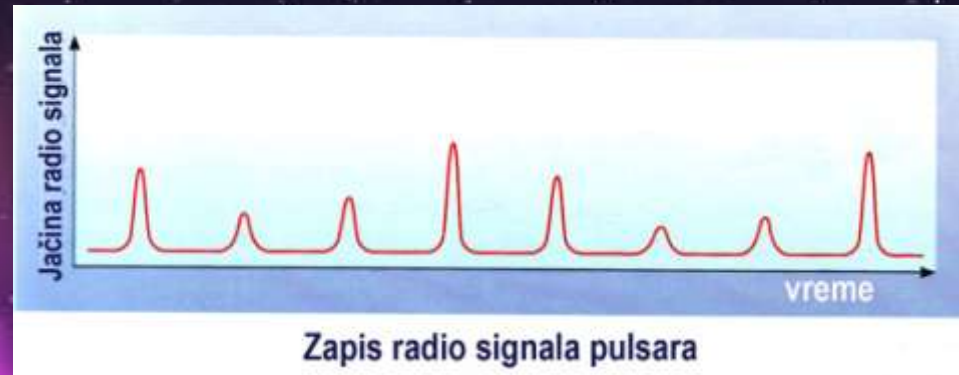
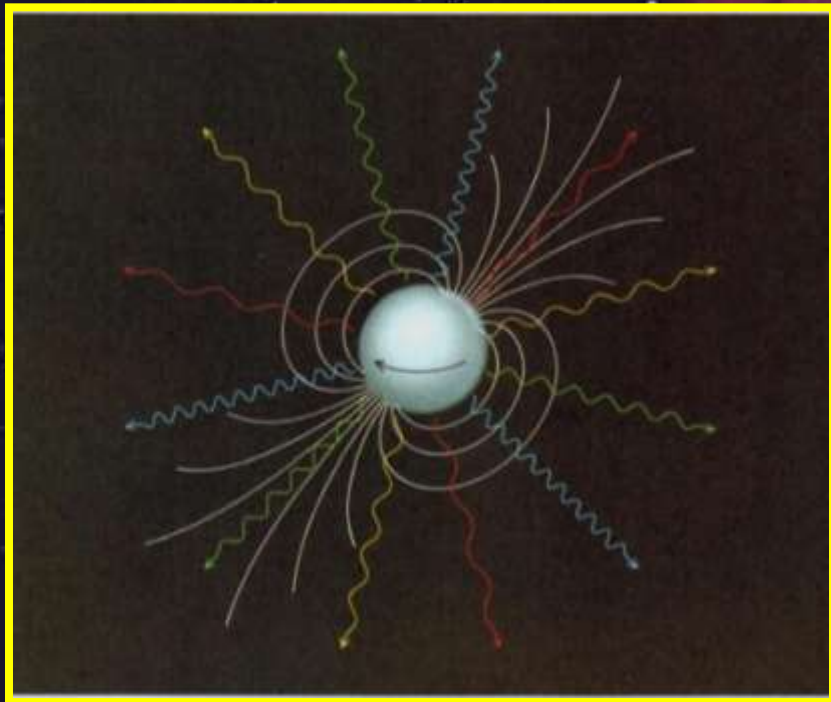
*Ukoliko se ose magnetnog polja i rotacije zvezde ne podudaraju, nutronsku zvezdu uočavamo kao **pulsar**.*

Duž linija m. polja po spiralama padaju naelektrisane čestice. Zbog ubrzanog kretanja one emituju zračenje. Ukoliko nas ono osvetli pulsar se detektuje.

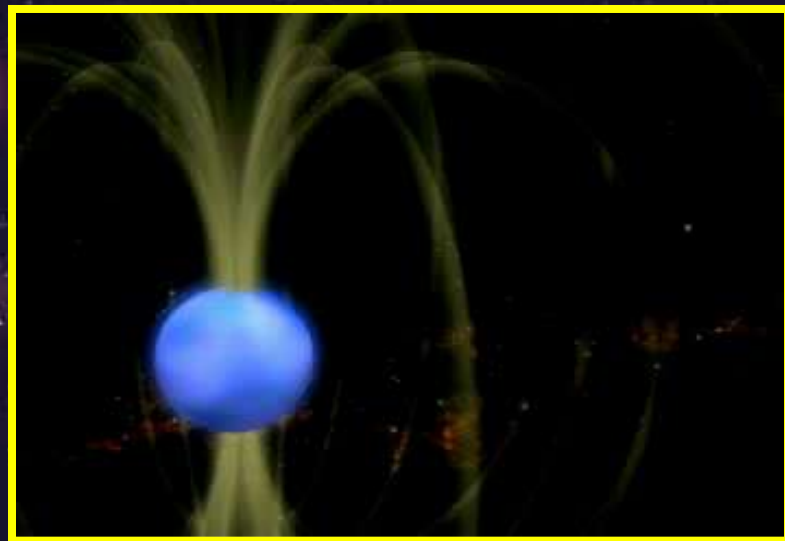


Zbog brze rotacije zvezde i nagiba magnetne i ose rotacije, kao kod svetionika, snop zračenja nas periodično osvetljava.

Impulsi su, uglavnom, pravilni, sa periodom od nekoliko ms do nekoliko s. S vremenom period pulsara se povećava (zvezda usporava rotaciju).



Kod nekih pulsara uočene su nagle promene perioda, a kod snažnih magnetara zapaženi su i iznenađujući bleskovi. Radi se o nedovoljno razjašnjenim procesima.

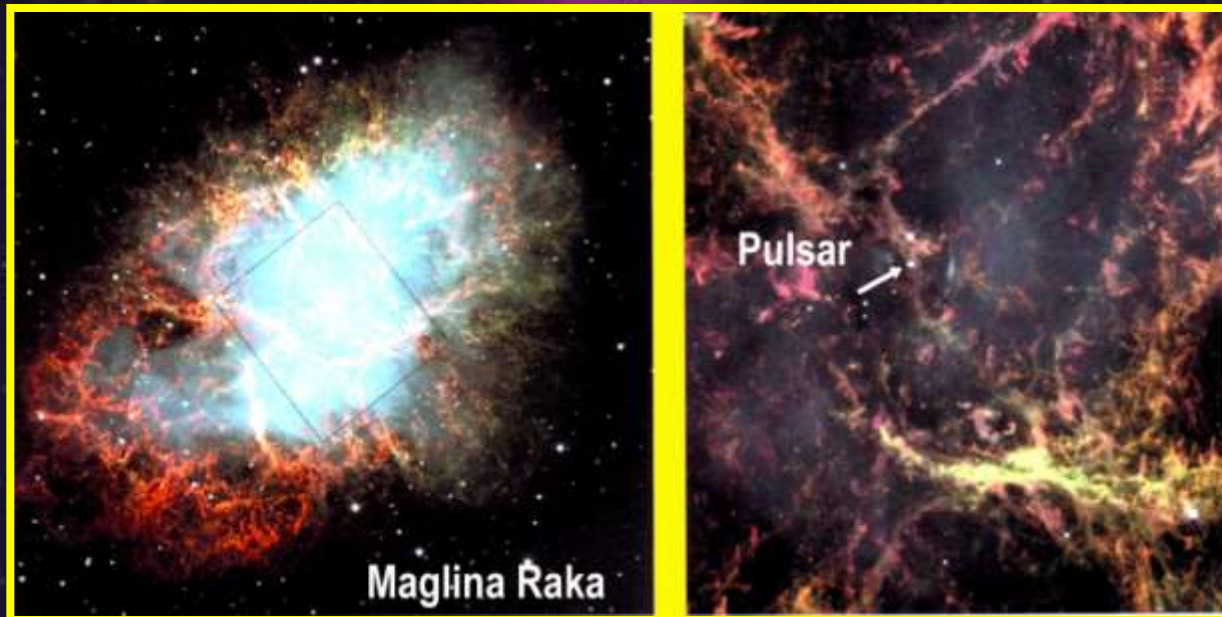


Smrt jedne zvezde u obliku supernove može da dovede do rađanja nove zvezde. Udarni talas sa supernove može da inicira sažimanje protostelarnog oblaka koji se nađe na njegovom putu. To je početna faza u nastanku nove zvezde.



U našoj Galaksiji je za poslednjih 1000 g. viđeno nekoliko supernovih: 1006. g. (Lupus, kaluđeri u Italiji i Švajcarskoj), 1054. g. (Taurus, japanski i kineski anali), 1181. g. (Kasiopeja, arapski astronomi), 1572. g. (Kasiopeja, Tiho Brahe), 1604. g. (Serpens, Kepler).

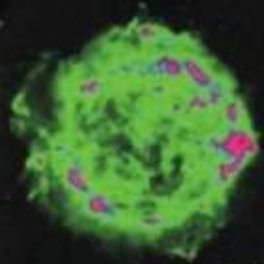
U sazvežđu Bika 1054 g.: mogla je da se vidi golim okom i po danu mesec dana nakon eksplozije. Bila je sjajnija od Venere. Oko nje se formirala maglina Raka, koja se i danas širi. Njene dimenzije su oko 2 pc.



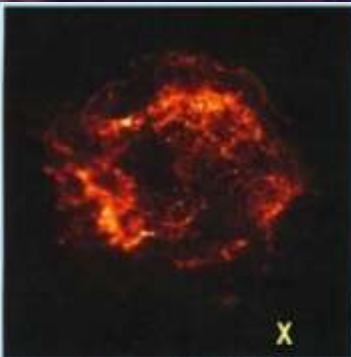
Keplerova supernova u Zmijonoši (1604. god.)



Ostatak Keplerove supernove



Radio



X



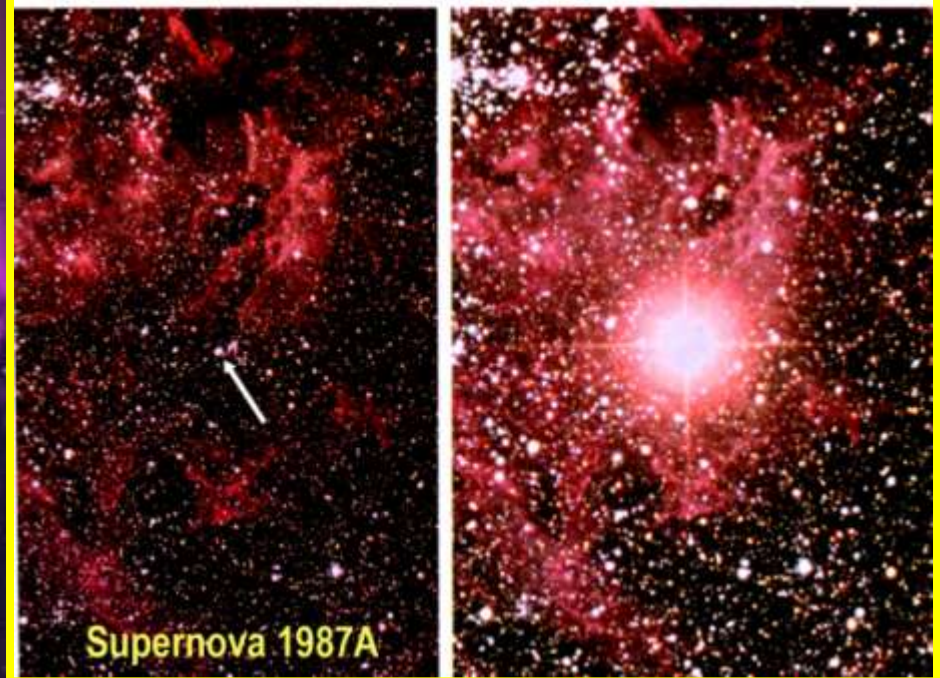
Vidljivo

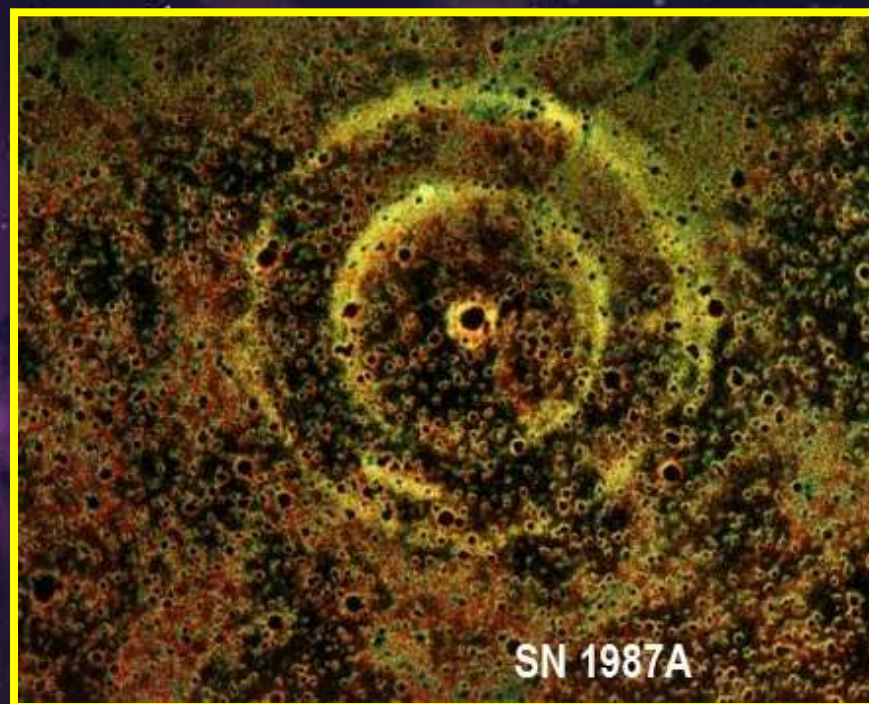
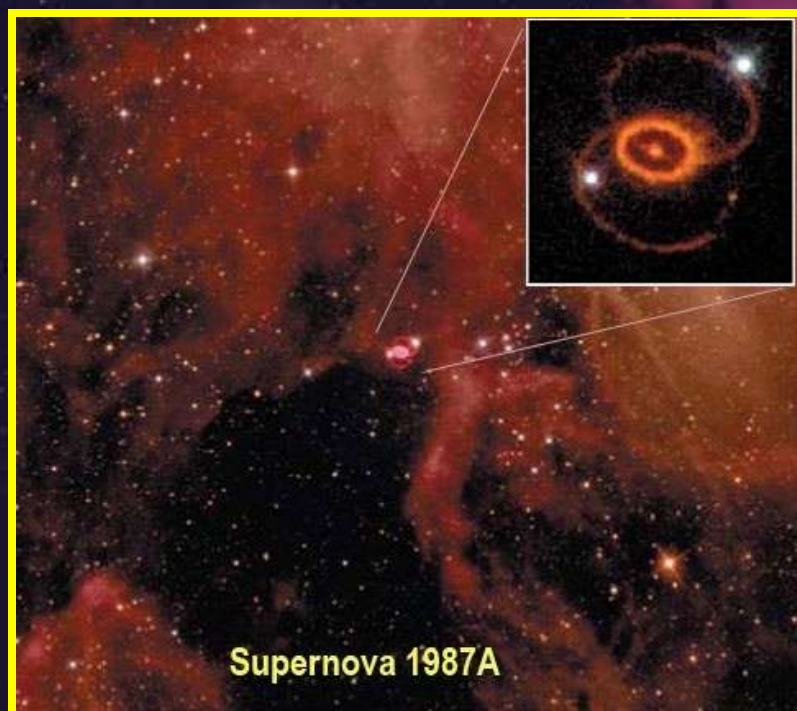
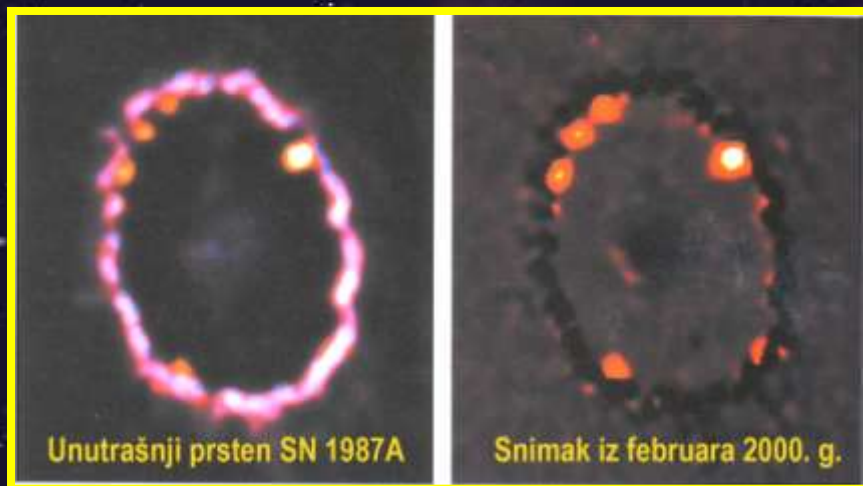
Kasiopeja A (XVII vek)



Supernova II tipa SN 2001 u NGC 5921

U Velikom Magelanovom oblaku (pratilac naše Galaksije, udaljen 52 kpc) 1987. g. viđena je SN 1987A. Po mnogim svojim karakteristikama ona je atipična. Detektovano je snažno X zračenje i intenzivan fluks neutrina.

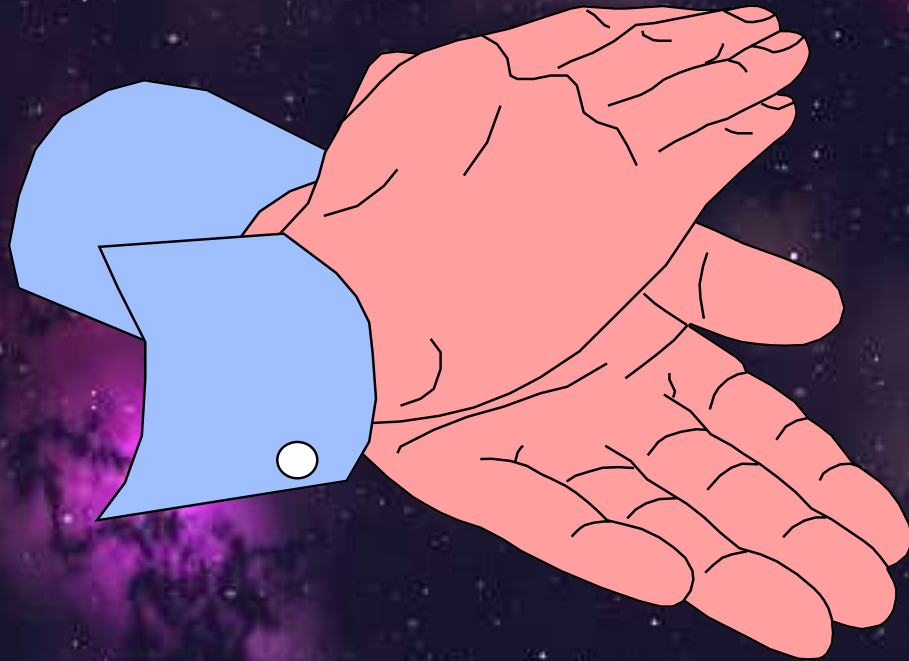






Supernove u NGC 1316

Hvala na pažnji!



To be continued...