

Ostatak supernove: maglica rakovica

Krešimir Pavlovski¹, Zagreb

Naziv *nova*, skraćena latinskog naziva *stella nova* sa značenjem “nova zvijezda”, potječe iz predteleskopske ere i pridjeljivao se zvijezdama koje su iznenada značajno pojačale svoj sjaj. Naizgled, na nebu gdje ranije nije bila zvijezda iznenada bi se pojavila “nova” zvijezda.

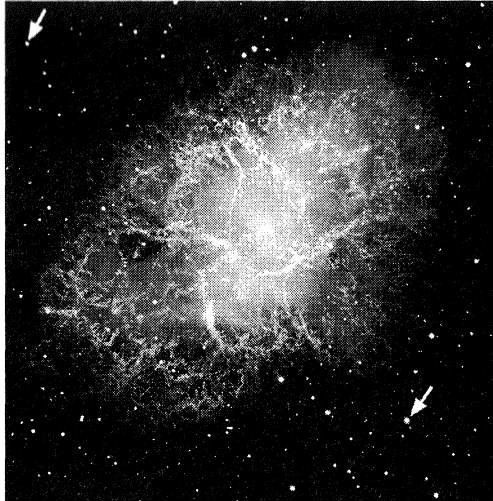
Još u prvoj polovici 20. stoljeća bilo je jasno da postoje nove s potpuno različitim svojstvima. Istraživanja udaljenih galaksija pokazala su da nove u kratkom vremenu mogu postići sjaj jednak sjaju galaksije kojeg čini oko stotinjak milijardi zvijezda! Naziv *supernove* uveo je Fritz Zwicky nakon što je Edwin Hubble procijenio udaljenost do Andromedine galaksije. Izvor njihove energije dugo je ostao zagonetka.

Supernove su konačna faza u razvoju zvijezda velikih masa kada zvijezda postaje ili neutronska zvijezda ili crna rupa. Međutim, ako je zvijezda u sastavu dvojnog zvjezdanog sustava, tada i zvijezda manje mase može eksplodirati kao supernova. Normalne zvijezde manje mase, poput Sunca, razvoj okončavaju kao *bijeli patuljci*. U dvojnog sustavu, zvijezda u konačnici razvoja u međudjelovanju sa susjednom zvijezdom, prima dodatnu tvar koja može povećati njezinu masu iznad Chandrasekharove granice od 1.4 Sunčeve mase, što je najveća moguća masa bijelog patuljka. Zbog toga se daljnji (vrlo kratki) razvoj takve zvijezde odigrava slijedom razvoja masivnih zvijezda. U eksploziji divovskih razmjera, takva će zvijezda postati neutronska zvijezda. Bljesak ćemo zabilježiti kao pojavu supernove. Stručno kao supernovu tipa I.

Samo su pojave tri supernove zabilježene u našoj galaksiji Mliječnom Putu. Kineski su astronomi 1054. godine u zviježđu Taurus opažali pojavu vrlo sjajne zvijezde koja se vidjela i danju! Sljedeću pojavu zabilježio je veliki astronom Tycho Brahe 1572. godine u zviježđu Cassiopeia, i konačno posljednju, bilježi još jedan veliki astronom, Johannes Kepler, 1604. godine u zviježđu Ophiuchus. Zanimljivo, sve su ove pojave bile prije otkrića teleskopa! Posljednje dvije pojave zbile su se nedugo jedna nakon druge i zadale su konačan udarac Aristotelovoj slici svijeta koja će nakon toga biti potpuno napuštena, iako u početku nerado, u korist Kopernikove heliocentrične teorije i Keplerovih zakona kretanja planeta.

Na mjestu gdje su kineski astronomi vidjeli pojavu sjajne nove zvijezde nalazi se blijeda maglica, u katalogu francuskog astronoma Charlesa Messiera iz 1758. godine, uvedena pod brojem 1. To je maglica Rakovica, ostatak supernove koja je eksplodirala 1054. godine. Kineski su astronomi zabilježili točan datum, 4. srpnja, jer su vrlo pažljivo i sustavno motrili zvjezdano nebo. Na samom početku, “gostujuća” je zvijezda imala sjaj planeta Venere i vidjela se na dnevnom nebu. Ostala je sjajna još tri tjedna, a trebale su gotovo dvije godine da potpuno iščezne s neba.

¹ Autor je redoviti profesor astronomije i astrofizike na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu, kresimir@phy.hr, <http://www.phy.hr/~kresimir>



Maglica Rakovica (M1, NGC 1952) snimljena pomoću VLT KUEYEN 8.2-m teleskopa i uređaja FORS-2 European Southern Observatory na brdu Paranal u Čileu, u studenome 1999. g.

Maglica je naziv dobila prema svojem izgledu (slika). Da se radi o ekspanirajućoj masi plina otkriveno je još početkom 20. stoljeća iz dopplerovskih pomaka linija u njezinom spektru.

Položaj snažnog radio izvora, Taurus A, otkrivenog 1949. godine podudara se s položajem Rakovice, dok je 1969. godine nađeno, također radio-astronomskim mjerenjima, da se u njezinom središtu nalazi pulsar. Pulsari su neutronske zvijezde, ostaci nekada masivnih i velikih zvijezda. Pulsar u maglici Rakovica u jednoj se sekundi okrene oko svoje osi čak tridesetak puta. Jedan je od vrlo rijetkih pulsara koji se doista vide u optičkom dijelu elektromagnetskog spektra. Materijal koji je zvijezda u trenutku gravitacijskog kolapsa odbacila vidimo kao maglicu. Maglica se širi u među zvjezdani prostor pritom se razrjeđujući i obogaćujući među zvjezdani prostor težim elementima. Veći dio zračenja maglica dolazi od *sinhrotronskog* zračenja što središnjem dijelu maglice daje blijedo plavičastu boju. Elektroni ubrzani do velikih, relativističkih brzina imaju spiralnu stazu oko silnica magnetskog polja. Slijedeći zakrivljene linije polja, relativistički se elektroni ubrzavaju i zrače elektromagnetske valove. Energetska se raspodjela sinhrotronskog zračenja značajno razlikuje od spektra zračenja crnog tijela. Također, jako je linearno polarizirano u ravnini kružnog kretanja oko silnica magnetskog polja. Ruski astrofizičar I. Shklovsky otkrio je 1953. godine porijeklo zračenja Rakovice.

Sa slike se vidi da maglica nije sferičnog oblika i da širenje maglice u međuzvjezdani prostor nije jednoliko u svim smjerovima. Sa slike ćemo odrediti kutnu veličinu maglice uzduž njezinih glavnih osi. Izmjerit ćemo duži i kraći promjer maglice sa slike pomoću ravnala s točnošću do desetinke milimetra. Treba posebno paziti da se zaista izmjere rubovi maglice. Skalu snimka odredit ćemo mjerenjem razmaka između poznatih zvijezda. Kutni razmak zvijezda koje su na slici označene strelicama iznosi $437''$ (lučnih sekundi). Dijeljenjem s vremenskim intervalom koji je protekao od pojave supernove (srpanj 1054. godina po kineskim ljetopisima) do trenutka kada je zabilježen snimak (studen 1999. godine) izračunat ćemo brzinu širenja maglice u ravnini neba u lučnim sekundama po godini. To je poprečna brzina. Napisat ćemo to kao

$$\mu = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

gdje smo s grčkim slovom μ označili kutnu brzinu (ili vlastito kretanje). Vremenski interval Δt znamo zahvaljujući kineskim astronomima, dok je Δx promjena kutne

dimenzije maglice. Pretpostavljamo da se maglica tijekom cijelog vremenskog intervala širila istom brzinom.

Međutim, kada bismo znali stvarnu, prostornu brzinu širenja maglice mogli bismo odrediti udaljenost do maglice (a time i udaljenost do pulsara u njezinom središtu!). Veza između kutne brzine μ , i prostorne v je

$$\frac{\mu}{360^\circ} = \frac{v}{2\pi d},$$

gdje je d udaljenost do objekta (provjeri izraz!). Kada bi μ bilo u stupnjevima po godini, v u svjetlosnim godinama po godini dobili bismo d u svjetlosnim godinama. Astronomi najčešće izražavaju μ u lučnim sekundama po godini, i v u kilometrima po sekundi. U tim jedinicama za udaljenost d do maglice dobivamo izraz

$$d = 0.69 \cdot \frac{v}{\mu} \text{ [sv. god.]},$$

gdje je d izraženo u svjetlosnim godinama. Iz Dopplerove je pojave pomaka spektralnih linija u spektru Rakovice utvrđeno da se vanjski dijelovi maglice šire brzinom od $1.5 \cdot 10^6$ m/s.

Zadatak za vježbu. Iz poznatih podataka odredi udaljenost do maglice Rakovica. Iz njezine kutne veličine koju ste izmjerili sa slike odredite njezinu stvarnu veličinu u svjetlosnim godinama. (*Rješenje:* približne su vrijednosti za udaljenost $d = 5700$ sv. god., i linearni promjer $r = 4.5$ sv. god.).

Nadahnuće je potrebno poeziji kao i geometriji.

*Aleksandr Sergejevič Puškin (1799. – 1837.),
ruski pjesnik*

Kad bi matematika prestala biti prava istina, mnoge smiješne stvari bi postale najozbiljnije.

*Louis Poinsot (1777. – 1859.),
francuski matematičar i fizičar*

Logika koja može dati sigurnost je instrument dokaza; intuicija je instrument invencije.

*Jules Henri Poincaré (1845. – 1912.)
francuski matematičar*

Moderna analiza sve više nastoji da račun zamijeni idejama, ali postoje izvjesne grane matematike gdje račun zadržava svoja prava.

*Peter Gustav Lejeune Dirichlet (1805. – 1859.),
njemački matematičar francuskog porijekla*