

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik **16** (1988/1989)

Številka 1

Strani 24–30

Tomaž Zwitter:

KONČNO: SUPERNOVA

Ključne besede: astronomija, ozvezdja.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/16/923-Zwitter.pdf>

© 1988 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA – založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

ASTRONOMIJA

KONČNO: SUPERNOVA!

Uvod

Astrofiziki so v mnogočem podobni zgodovinarjem. Prvi skušajo dognati zgodovino življenja zvezd, drugi pa zgodovino človeštva. Tudi težave obeh poklicev so podobne. V teku stoletij se mnoge pomembne listine izgubijo, zato lahko zgodovinarji le sklepajo o njihovi vsebini in vplivu na nadaljnji razvoj dogodkov. Astrofiziki ne proučujejo listin, ampak svetlobo, ki prihaja z zvezd. Kot zgodovinarju odkritje pomembne listine lahko astrofiziku blisk svetlobe prinese potrditev, da se je zares zgodilo nekaj, kar je do tedaj le posredno predvideval. Najpomembnejše odkritje te vrste v zadnjem desetletju je bila supernova, ki so jo opazili 24. februarja 1987. Zato je razumljivo, da se je marsikomu izvil vzklík, s katerim smo naslovili ta sestavek.

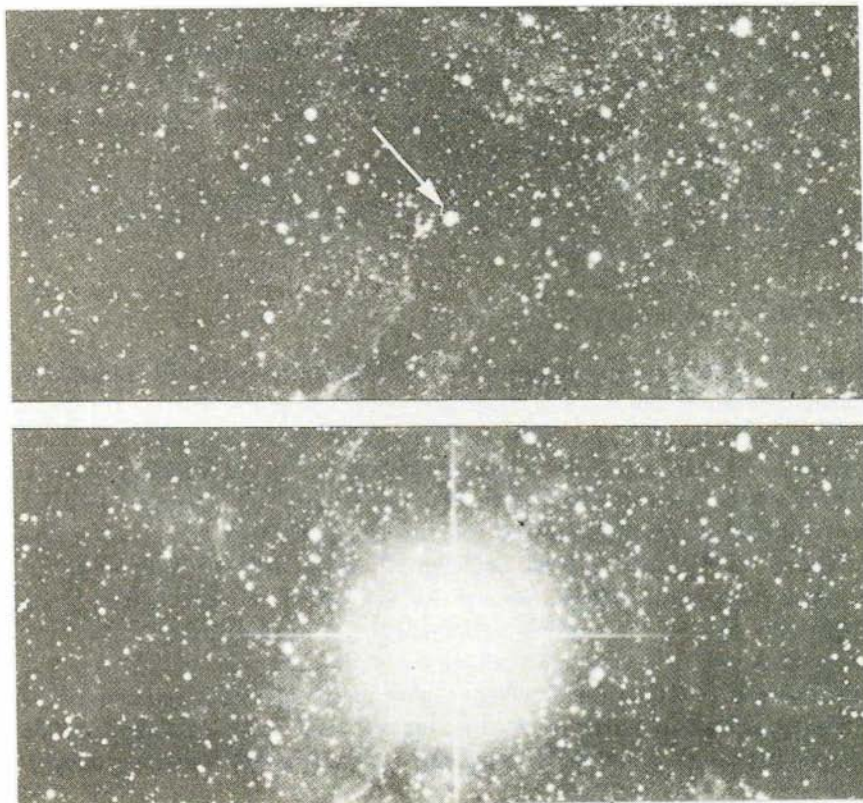
Supernova je drugo ime za eksplozijo zvezde. Njene dele raznese na vse strani, nekaj mesecev pa je zvezda tudi mnogo svetlejša kot pred eksplozijo. Takrat seva toliko svetlobe kot 300 milijonov Sonc. Če nam je dovolj blizu, jo opazimo tudi s prostim očesom. Odtod stari zapisi o "novih" zvezdah, ki so se pojavile na nebu v letih 1054, 1572 in 1604. Slednjo je opazoval Kepler. Kasneje astronomi niso imeli več take sreče. Z močnimi daljnogledi so sicer videli eksplozije zvezd v drugih galaksijah, a je bila zaradi velike oddaljenosti teh objektov njihova svetloba prešibka, da bi lahko razkrila, kaj se je v resnici zgodilo.

Vzroki eksplozije

Preden spregovorimo o lanskem dogodku, se spomnimo članka Energija in zvezde v 10. letniku Preseka. Tam smo se naučili, da zvezda, ki se je rodila z zgoščevanjem oblaka medzvezdnega plina, dolgo časa mirno živi. Gravitacijski privlak bi jo sicer rad stisnil skupaj, a gretje zaradi jedrskih reakcij, ki potekajo v njeni sredici, poskrbi za tlačno razliko, ki uravnoveša gravitacijsko silo. Jedrska reakcija, ki poteka pri okoli 15 milijonih stopinj v zvezdni sredici, je spajanje vodikovih jeder v helijeva. Ta reakcija poteka v večini zvezd in tudi v našem Soncu. Sčasoma vodika v zvezdni sredici zmanjka. Helijeva sredica se prične krčiti in segrevati. To segreje tudi plast nad sredico. Spajanje vodika v helij v tej plasti je zaradi dodatnega gretja "od spodaj" celo burnejše od reakci-

je, ki je potekala v zvezdni sredici, ko je ta vsebovala še dovolj vodika. Del dodatno sproščene energije počasi širi zunanje plasti, ne zadostuje pa, da bi jih vzdrževal na konstantni temperaturi. Zvezda je zato vedno večja, ohlajanje vrhnjih plasti pa ji da rdečkasto barvo. Takim zvezdam pravimo rdeče orjakinje.

Krčenje segreva helijevo sredico in, ko temperatura doseže sto milijonov stopinj, se helij prične spajati v ogljik. Sčasoma helija v jedru zmanjka, podobno kot je v vodikovem jedru zmanjkalo vodika. Če ima zvezda maso blizu Sončevi, se skrči in potemni. Če pa je okrog desetkrat težja, je teža zunanjih plasti, ki pritiskajo na sredico, dovolj velika, da se po krčenju v sredici vname ogljik. Ko se ogljik spremeni v železo, pride v življenju zvezde do katastrofe. Za



Slika 1. Videz zvezdnega neba v okolici supernove SN 1987 A pred eksplozijo in po njej. (iz New Scientist 5. nov. 1987 str. 56 zgoraj)

razliko od lažjih elementov potrebuje železo za spajanje zunanjo energijo. Spajanje železa ne segreva središča zvezde, ampak ga celo dodatno ohlaja. Zato se tlačna razlika zmanjša (spomni se, da je za idealni plin tlak sorazmeren s temperaturo), gravitacija zmaga in zvezda zgrmi skupaj.

Krčenje se ustavi šele, ko gostota v srediči doseže tisočbilijonkratno gostoto vode. Če bi dali na eno stran tehtnice za kavno žličko tako goste snovi, bi jo uravnotežila šele teža vseh ljudi na Zemlji. V običajni snovi imamo v atomskih jedrih dve vrsti delcev: protone in nevtrone. Pri tako velikih gostotah pa se protoni spremenjajo v nevtrone. Nastala nevtronska snov je še mnogo trša od železa. Zato se zunanje plasti zvezde, ki padajo proti središču, odbijejo na površini novo nastale nevtronske sredice in odletijo navzven. Ko se proton spremeni v nevtron, odda delec, ki mu pravimo nevtrino. Ta ima prav čudne lastnosti. Leti s hitrostjo svetlobe in se zlepa ne ustavi v tarči, ki mu jo nastavimo. Celo skozi Zemljo gre kot za šalo. A iz nenavadne zvezde, o kateri govorimo, tudi nevtrini ne morejo zlahka uiti. Če se kje zaustavijo, porinejo kos snovi navzven, podobno kot svinčenka porine leseno klado. Tako tudi nevtrini pomagajo spremeniti krčenje v eksplozijo.

Zvezda lahko eksplodira tudi v drugačnih okoliščinah od tistih, ki smo jih opisali zgoraj. A te za našo supernovo niso pomembne, zato končno že povejmo, kaj so opazili lansko leto.

SN 1987A

Upam, da vaš tale naslov ni prestrašil. Ta kratica je namreč uradno ime, ki ga uporabljajo astronomi za našo supernovo. Pove, da je bila to prva supernova (A), ki so jo opazili v letu 1987. Nekaj podatkov o odkritju najdete v prvem vstavku. SN 1987A je članica galaksije z imenom Veliki Magellanov oblak. Zvezde v tem oblaku so zelo daleč od nas. Svetloba z njih potuje do Zemlje kar 170000 let. Torej je supernova dejansko eksplodirala v času, ko je bila na Zemlji starejša kamena doba. Šele čez 170000 let, to je 23. februarja 1987, je njena svetloba pripotovala do nas. Žal je v Sloveniji nismo videli. Veliki Magellanov oblak leži na južnem nebu, daleč pod našim obzorjem. Supernovo so lahko opazili le iz krajev na južni polobli. Ni bila sicer najsvetlejša zvezda na nebu, vseeno pa so jo lahko videli s prostim očesom. Ker supernove brez dragega potovanja v južne kraje ne moremo videti, se raje vprašajmo, koliko energije je bilo potrebno, da je prej povprečno svetla zvezda nenadoma zasvetila več kot tisočkrat močneje.

Opis potrošnje energetskih zalog zvezde ob eksploziji najdete v drugem vstavku. Za tiste, ki ste manj veščji v računstvu, povzemimo rezultate z bese-

KRONOLOGIJA DOGODKOV

srednjeevropski čas
170.000 pr.n.š.

23. februar 1987 ob 8³⁵

V Magellanovem oblaku je eksplodirala zvezda. Na Zemlji tega ni mogel nihče opaziti.

Informacija o eksploziji je dosegla Zemljo. Detektorji na Japonskem in v ZDA so zabeležili prihod nevtrinov. Naprave pod goro Mont Blanc so zaznale nevtrine skoraj pet ur prej, vendar mnogi tej meritvi pripisujejo manjši pomen.

24. februar 1987 zjutraj

Kaj se dogaja, so se astronomi zavedeli, ko sta Ian Shelton in Oscar Duhalde na observatoriju Las Campanas v Čilu s prostim očesom opazila "novo" zvezdo v Magellanovem oblaku. Sheltona je na dogodek opozorila svetla pega na fotografiji, ki jo je rutinsko posnel tisto noč.

24., 25. februar 1987

Tisk, radio in televizija so novico posredovali svetu. Astronomi so vse razpoložljive daljnogleda usmerili proti supernovi. Ponudbe: "Odstopi mi daljnogled za to noč, jaz pa ti v zameno odstopim štirinajst noči v septembru," so bile nekaj običajnega.

20. maj 1987

Tega dne je bila supernova najsvetlejša. Dolgotrajno naraščanje sija po začetni eksploziji nekateri razlagajo z jedrskimi reakcijami v razpenjajoči se ovojnici zvezde. Supernova je vedno temnejša. Skozi koprene razpenjajoče se ovojnice vidimo vedno globlje proti središču supernove, zato jo bodo astronomi še dolgo z zanimanjem opazovali.

1987, 1988 ...

GROBA OCENA ENERGIJSKE BILANCE OB EKSPLOZIJII (za tiste, ki bi želeli računati)

Pridobljena energija:

Jedro zvezde se močno skrči. Zaradi razlike med gravitacijsko energijo jedra pred krčenjem in po njem pridobimo: $W_1 \approx G m^2 / R_{po} - G m^2 / R_{pred} = 3 \cdot 10^{46}$ joulov.

Potrošena energija:

za izsev v prvem dnevu po eksploziji: $W_2 \approx 10^{39}$ joulov

(izračunamo iz zmerjenega sija in poznane oddaljenosti),

za razpenjanje ovojnice zvezde: $W_3 < Mv^2 / 2 + GMm / R_{pred} = 2 \cdot 10^{44}$ joulov,

preostanek, ki ga odnesejo nevtrini: $W_4 \geq W_1 - (W_2 + W_3) = 3 \cdot 10^{46}$ joulov.

Podatki:

$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Jm/kg}^2$

$M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

$m = 1,4 M_{\odot}$

$M = 19 M_{\odot}$

$v = 2000 \text{ km/s}$

$R_{pred} = 100\,000 \text{ km}$

$R_{po} = 20 \text{ km}$

gravitacijska konstanta

masa Sonca

masa jedra zvezde

masa ovojnice zvezde

povprečna hitrost širjenja ovojnice

polmer jedra pred eksplozijo

polmer nevtronskega jedra

dami. Najprej se vprašajmo, kakšne zaloge energije zvezda tedaj sprosti. Kot smo že omenili, odnese ob eksploziji ovojnico zvezde navzven, njeno jedro pa se močno skrči in spremeni v izredno gosto nevtronsko snov. Ob krčenju se sprošča potencialna energija. Dva porabnika te energije hitro uganemo. Prvi je svetloba, ki uide iz zvezde ob eksploziji. Drugi je kinetična in potencialna energija razpenjajoče se ovojnice. Očitno pa mora energijo odnesti še nekdo tretji, saj je vsota energije, ki jo zvezda odda v obliki svetlobe, in tiste, ki jo vsrka ovojnica, mnogo manjša od potencialne energije, ki je na razpolago.



Spomnimo se na nevtrine, nenavadne delce, ki nastanejo pri spremembi jedra zvezde v nevtronsko snov, kot smo opisali v prejšnjem poglavju. Očitno prav ti delci odnesejo večino energije, ki se sprosti pri eksploziji supernove.

Svetlobo s supernove smo lahko videli s prostim očesom. Ali smo lahko opazili tudi roj nevtrinov, ki nosi s seboj še mnogo večjo energijo od svetlobe? Odgovor je pritrdilen in tega so bili znanstveniki najbolj veseli. Kot smo že omenili, je nevtrine izredno težko opaziti. Skozi človeško telo in celo skozi zemeljsko oblo gredo brez sledu. Včasih, čeprav skrajno poredkoma, pa se kateri le zaustavi. Tako se je v 8000 tonah vode v bazenu, ki je zgrajen globoko pod zemljo pri kraju Cleveland v ameriški zvezni državi Ohio, ustavilo 8 nevtrinov iz supernove. To je le neznaten delež roja kakih 300 bilijonov nevtrinov, ki so zdrveli skozi bazen. Značilne bliske svetlobe, ki so nastali pri tem, so za beležili detektorji, nameščeni ob robu bazena. Podobna rezultata sta dobili tudi raziskovalni skupini na Japonskem in v Italiji. Svetlobo z zvezd opazujejo ljudje že od nekdaj. Nevtrine pa so (z izjemo tistih iz Sonca) opazili prvič. Zato mnogi imenujejo opazovanje lanske supernove tudi rojstvo "nevtrinske astronomije".

Nevtrini, ki so jih opazili, so prišli iz notranjosti supernove. Kot smo omenili, nastanejo ti delci v jedru zvezde, kjer se običajna snov spreminja v nevtronsko. Torej je njihovo odkritje neposredna potrditev teorije o tvorbi nevtronske zvezde, ki jo opazimo na mestu supernove potem, ko eksplozija odpihne ovojnico. Lanski dogodek pa je prevetрил tudi druge teorije, povezane s supernovami. S starih posnetkov Velikega Magellanovega oblaka so ugotovili, kakšna je bila zvezda pred eksplozijo. Za razliko od nevtrinskih opazovanj se tu merjenja niso povsem skladala s teoretskimi napovedmi. Pred eksplozijo je bila ovojnica modra in zato mnogo bolj vroča od rdeče, relativno hladne ovojnice rdeče orjakinje, kakršno so pričakovali teoretiki. Po začetnem razburjenju so ugotovili, da teorije o vzrokih in poteku eksplozije ni potrebno spreminjati. Burna dogajanja, ki smo jih opisali v prejšnjem poglavju, potekajo namreč globoko v zvezdni notranjosti, skrita našim pogledom. Vidimo le zvezdno ovojnico, ki na dogajanja v jedru bistveno ne vpliva. Jedro SN 1987A je bilo pred eksplozijo na moč podobno jedru rdeče orjakinje. Da pa je bila ovojnica drugačna, je le zanimivost, zaradi katere pa ni treba, da bi nas bolela glava.

Eksplozija supernove je svojevrstna "vesoljska kuhinja". Verjamemo, da je večina težkih kemičnih elementov nastala z jedrskimi reakcijami, ki lahko tečejo le pri izjemnih tlakih in temperaturah med eksplozijo. Tudi večina elementov, iz katerih smo. Ni čudno, da je zato raziskovanje jedrskih reakcij ena najbolj privlačnih tem, povezanih s supernovami. Tudi tu je opazovanje SN 1987A razširilo naše znanje. Do lanskega leta so menili, da se lahko novi

elementi tvorijo le neposredno po eksploziji. Sij take zvezde naj bi se ob eksploziji v nekaj dneh močno povečal, nato pa bi se enakomerno zmanjševal. Nasprotno pa je bila SN 1987A po začetnem izbruhu vedno bolj svetla. Šele po treh mesecih je začel njen sij upadati. To pojasnjujejo s sproščanjem energije jedrskih reakcij, ki verjetno potekajo v razpenjajoči se ovojnici. Ideja je zanimiva, zato jo bodo skušali potrditi z merjenji. Letos naj bi se meglene plasti ovojnice že toliko "razkadile", da bodo merski instrumenti lahko opazili svetlobo, ki prihaja s področja jedrskih reakcij.

Supernova SN 1987A počasi temni na južnem nebu. Novice o njej so izginile s časopisnih naslovnih. Nasprotno pa astronome supernova zanima vedno bolj. Sčasoma bodo videli vedno globlje proti središču in tako razumeli, kako je potekala eksplozija, na katero so čakali skoraj 400 let.

Tomaž Zwitter