Alan Ćatović

ALHEMIČARI UNIVERZUMA

Alan Ćatović
ALHEMIČARI UNIVERZUMA
Najzanimljivije zvijezde na nebu

Izdavač
TDP Sarajevo

Za izdavača
Narcis Pozderac

Tehničko uređenje, prijelom i štampa
TDP Sarajevo

Sarajevo, 2018.

© Alan Ćatović

Sva prava zadržana. Ni jedan dio ove knjige ne može biti objavljen ili preštampan bez prethodne saglasnosti izdavača i vlasnika autorskih prava.

CIP - Katalogizacija u publikaciji
Nacionalna i univerzitetska biblioteka Bosne i Hercegovine, Sarajevo

524

ĆATOVIĆ, Alan

Alhemičari univerzuma : najzanimljivije zvijezde na nebu / Alan Ćatović. - Sarajevo : TDP, 2018. - 334 str. : fotogr. ; 20 cm

Ukratko o autoru: str. [335]. - Bibliografija: str. 333-334.

ISBN 978-9926-422-12-7
COBISS.BH-ID 25446150

Alan Ćatović

ALHEMIČARI UNIVERZUMA

Najzanimljivije zvijezde na nebu

TDP Sarajevo
Sarajevo, 2018.

Slika na naslovnoj strani: *"Via Lactea (Mliječni put)"* (copyright: Alan Ćatović)

Slika, snimljena 17. jula 2017, obuhvata stećke (Kaurska nekropola) na prečanskom polju kod Dejčića i Mliječni put. U kadru se vide: Saturn blizu centra galaksije, galaktički disk, međuzvjezdana materija i tamniji molekularni oblaci prašine, različite magline i porodilišta zvijezda (Laguna, Trifid, Orao, Omega...). U prednjem dijelu kadra vide se dijelovi Bjelašnice i Treskavice. Snimano je sa modificiranim (za IC dio spektra) aparatom Canon 1100D na postolju Star Adventurer, objektivom Tokina 11mm f2.8. Ukupno vrijeme ekspozicije je bilo 25 min (5x5 min).

Slika na zadnoj strani: *"Sol regit omnia (Sunca upravlja svime)"* (copyright: Alan Ćatović)

Snimak naše zvijezde (Sunca) sa Hidrogen alfa filterom. Prominencije (mlazovi usijanog plina) su vidljive po obodu Sunca, a granule unutar njega. U centralnom dijelu vidi se i karakteristična Sunčeva pjega. Snimak je načinjen 2016. godine, pomoću solarnog teleskopa Lunt LS60, aparatom Canon 650D, uz barlow 2x.

Sadržaj

Sadržaj 5
Predgovor 11

O zvijezdama

1. Šta su to zvijezde? 17
2. Kako nastaju zvijezde? 17
3. Šta se dešava u jezgri zvijezde? 20
4. Koliko ima zvijezda na nebu? 22
5. Šta su sazviježđa? 24
6. Zašto zvijezde na noćnom nebu trepere? 26
7. Kako su zvijezde dobila imena? 27
8. Kako definišemo udaljenost zvijezda? 28
9. Kako definišemo sjaj zvijezde? 31
10. Kako klasificiramo zvijezde? 35
11. Kako zvijezde stvaraju elemente? 44
12. Da li čovjek može stvoriti elemente? 56
13. Od kojih elemenata se sastoje zvijezde? 58
14. Kolike su mase zvijezda? 61
15. Šta su varijabilne zvijezde? 65

16. Šta su to zvjezdani skupovi? 67
17. Kakva je sudbina zvijezda? 71
18. Šta je međuzvjezdana materija? 79
19. Zvjezdani ekstremi 80
20. Zvijezde, kolijevke života? 84

Najzanimljivije zvijezde na nebu

1. Sunce 89
2. Vega 102
3. Alfa (i Proksima) Kentaura 106
4. Sirius 110
5. Betelgez 115
6. Polaris (trenutna Sjevernjača) 120
7. Deneb 125
8. Kastor 129
9. Antares 132
10. Rigel 136
11. Algol 140
12. Kapela 144
13. Arktur 148
14. Aldebaran 152
15. Spika 158
16. Meropa 162
17. Tychova zvijezda 167
18. Mira 175
19. Procion 182
20. Altair 186
21. Tuban 188
22. Mizar (i Alkor) 192

23. Albireo 197
24. Rasalgeti i Korneforos. 201
25. Alferat, Mirah i Almah 206
26. Eta Kobilice (Eta Carinae) 211
27. Regulus i Denebola 217
28. Maglina Rak 221
29. Mintaka. 231
30. Adhara. 234
31. Crna udovica 237
32. Kanopus 241
33. Ro Zmijonosca. 245
34. Alfard 249
35. X-1 Labuda (Cygnus X-1) 252
36. Theta-1 Oriona 257
37. HD 4113 260
38. W Hidre 266
39. VV Kefeja 271
40. RR Lire 274
41. T Bika 278
42. Gama Zmaja 284
43. Hi Labuda 288
44. Delta Kefeja 292
45. Epsilon Eridana 296
46. GD 165B 300
47. Lich 303
48. R Sjeverne krune 306
49. 61 Labuda 310
50. CW Lava 314

Atlas sjevernog neba 319
Literatura 341
Ukratko o autoru 343

Atoms With Consciousness, Matter With Curiosity

There are the rushing waves
mountains of molecules
each stupidly minding its own business
trillions apart
yet forming white surf in unison
Ages on ages
before any eyes could see
year after year
thunderously pounding the shore as now.
For whom, for what?
On a dead planet
with no life to entertain.
Never at rest, tortured by energy
wasted prodigiously by the Sun
poured into space.
A mite makes the sea roar.
Deep in the sea
all molecules repeat
the patterns of one another
till complex new ones are formed.
They make others like themselves
and a new dance starts.
Growing in size and complexity
living things
masses of atoms
DNA, protein
dancing a pattern ever more intricate.
Out of the cradle
onto dry land
here it is standing:
atoms with consciousness;
matter with curiosity.
Stands at the sea,
wonders at wondering: ***I***
a universe of atoms
an atom in the Universe.

(Richard Feynman)

Predgovor

Alhemija je drevna tradicija praktikovana u Evropi, Africi i Aziji. Predstavlja umijeće postizanja dugovječnosti ili fizičke besmrtnosti pomoću eliksira načinjenog od neplemenitih metala pretvorenih u zlato ili zlatu slične supstance. Iako su alhemičari imali značajnu ulogu u razvoju rane nauke (posebno hemije), alhemija je davno odbačena kao pseudonauka.

Međutim, šta ako vam kažem da u svemiru postoje mašine koje stvaraju zlato iz drugih elemenata? Te mašine su zvijezde! U avgustu 2017. godine naučnici su detektovali sudar dvije neutronske zvijezde u svemiru. Neutronske zvijezde su kolapsirane jezgre zvijezda "umrlih" u supernovoj (eksploziji masivnih zvijezda), objekti najveće gustine u svemiru. Ako bi stavili materijal neutronske zvijezde u malu kašikicu, njegova masa bi iznosila 10 miliona tona! Sudar ovih zvijezda nije samo običan vatromet ili zakrivljenje prostora. To je ujedno i svemirska fabrika teških elemenata.

Pomoću teleskopa koji snimaju u infracrvenom dijelu spektra, astronomi su otkrili da oblak nastao sudarom ovih zvijezda sadrži mnogo novoformiranih teških elemenata – zlato, srebro, platinu, itd. Procjenili su da njihova masa iznosi oko 10000 masa teških elemenata na Zemlji! Naime, kad se neutronske zvijezde sudare, oslobađa se veliki broj neutrona. Zagrijani do ekstremno visokih temperatura, neutroni bombarduju okolne atome i formiraju teže elemente koji postaju sastavni dio univerzuma, iz čega kasnije nastaju nove zvijezde i planeti kao što je naš.

Malo ljudi je u potpunosti svjesno koliko značajnu ulogu imaju zvijezde u evoluciji novog života. Mnogima od nas zvijezde su nezanimljive, možda dosadne i beznačajne (pogotovo onima koji žive u ve-

ćim gradovima i ne vide noćno zbog svjetlosnog zagađenja), ali to ne može biti dalje od istine.

Prije svega, svaka zvijezda je drugačija, specifična na svoj način. One se kontinuirano "rađaju", "žive" i "umiru". U svojoj "smrti" ili sudarima zvijezde kreiraju hemijske elemente koji obogaćuju svemir. Iz te, materijom obogaćene, međuzvjezdane prašine, organskih molekula i gasa, rađaju se opet nove zvijezde i bezbrojni planetarni sistemi. Jedan od takvih je i naš, solarni sistem. I taj se životni ciklus ponavlja milijardama godina. Zvijezde su svemirski alhemičari, mašine za recikliranje, pećnice koje rađaju hemijske elemente i, ultimativno, novi život.

Mi smo, kao što je to poetski rekao veliki Karl Sagan, "zvjezdani prah" koji je nakon 4,5 milijarde godina razvio svijest i inteligenciju, i u mogućnosti je da proučava svemir iz kojeg je ponikao. Mi smo možda način univerzuma da upozna samog sebe.

Zastanite na trenutak i razmislite o ovim riječima. One nose dublji smisao nego što to može izgledati na prvi pogled. Da li ste u školi učili u tome? Sumnjam. Upravo to je razlog što sam počeo pisati ovu knjigu, kako bih razbio predrasude o zvijezdama kao nezanimljivim i beznačajnim objektima na noćnom nebu. Moj otac je, na svoj karakterističan način, jednom prilikom u šali o zvijezdama rekao: "Šta će im ovolike zvijezde, nije mi jasno?"

Ova knjiga je napisana jezikom razumljivim za sve generacije. U prvom poglavlju opisuju se karakteristike zvijezda, a u drugom poglavlju date su osobine najzanimljivijih zvijezda na nebu. Knjiga može poslužiti i kao podsjetnik o osobinama pojedinih zvijezda, da je npr. nosite sa sobom na astro-posmatranja i uz pomoć nje upoznajete najzanimljivije zvijezde na nebu. Nadam se da će čitaoce potaknuti na razmišljanje i obnoviti naše (straho)poštovanje prema zvijezdama. Nakon moje prve knjige *Naš svemir,* želja mi je da kroz ovu knjigu ljudi bolje upoznaju i zavole zvijezde koje nas okružuju i kojim dugujemo mnogo toga.

Šta su nama zvijezde? Naša krv je crvena zbog hemoglobina, a glavni sastojak hemoglobina je željezo. To željezo nastalo je u utrobi su-

pernove. Supernove u prosjeku kreiraju toliko željeza da bi se moglo napraviti preko 5000 Zemalja samo od željeza. Kalcijum u našim kostima je nastao u supernovoj. Zlato u prstenu? Kataklizmički sudar neutronskih zvijezda. Olovo na ribarskoj udici? Supernova. Aluminijum u kuhinjskoj foliji. Supernova, uz malu pomoć zvjezdanih vjetrova sa crvenih divova. Vanadijum u alatu? Supernova, kolaps jezgre ogromne zvijezde.

Dugujemo li naše postojanje zvijezdama koje su davno umrle? Naša planeta i mi napravljeni smo od materijala izbačenog iz velikog broja kolapsirajućih zvijezda. Mi smo uistinu potomci zvijezda. Ima li ljepše (a u isto vrijeme i istinite) bajke koju možete ispričati svojoj djeci?

Alan Ćatović

O zvijezdama

"Think not of our ignorance but of what we have learned. As we stand under the stars admiring the Milky Way, we can now ponder its meaning and its powerful relation to the Earth and to ourselves. The Galaxy is a vast recycling engine, its magnetic field instrumental in the formations of stars. The heavy atoms out of which we are made came from aeons of stellar evolution and mass loss. We now know we are not only citizens of our town or even of the world, but are truly residents of the Galaxy. We are no more separate from it than we are from our own planet." (J. Kaler)

1. Šta su to zvijezde?

Šta je više inspirativno i zadivljujuće, veliki, možda beskrajni svemir koji nas okružuje, ili skoro infinitezimalno mali atomi koji ga ispunjavaju materijom? Bez malog, ni veliko ne bi imalo mnogo smisla. Mi smo veoma mali u poređenju sa galaksijom, ali, s druge strane, imamo moć da shvatimo njenu skoro nepojmljivo veličinu. Ne treba miješati veličinu sa važnošću. Tako je i sa zvijezdama koje ispunjavaju noćno nebo. Čini se da ih je bezbroj, ali ne treba miješati ni količinu sa važnošću. Svaka zvijezda je važna na svoj način, baš kao i svaki čovjek na Zemlji.

Zvijezde su, generalno govoreći, samoosvjetljavajuća masivna gasovita tijela koja ispunjavaju međuzvjezdani prostor.

Zvijezde se mogu opisati i kao ogromne, masivne sfere plina sačinjene uglavnom od plazme (plazma je najčešći oblik materije u svemiru – to je jonizovana gasovita materija koja je toliko električki provodljiva da električna i magnetna polja u njoj dominiraju).

Zvijezde su komprimirane i zagrijane pod uticajem vlastite mase sve dok temperature i gustoća njene unutrašnjosti ne budu toliko visoke da se zvijezde stabiliziraju. Stabilizacija dolazi zahvaljujući termonuklearnoj fuziji, procesu u kojem se lakši atomi spajaju u teže pod uvjetima visoke temperature i pritiska, oslobađajući pri tome ogromnu energiju.

Sunce je, dakle, velika termonuklearna bomba čija energija je zauzdana njenom masom koja pritišće jezgro.

2. Kako nastaju zvijezde?

Zvijezda se rađa u hladnom oblaku prašine, raspršenom do te mjere da je praktično "prazniji" od vakuuma na Zemlji. U tom će se oblaku čestice početi skupljati. To skupljanje privlači druge čestice te gomila postaje toliko masivna da gravitacija počinje djelovati i čitav gasoviti oblak se urušava u sebe, pri čemu se materija kreće prema središ-

njem dijelu. Oblak postaje sve gušći i kompaktniji, temperatura raste i masa se komprimira u protozvijezdu. Takve zvijezde moguće je i vidjeti. Iako su skrivene u prašnjavim nakupinama koje onemogućavaju put vidljivoj svjetlosti, one se ipak pokazuju kao karakteristične nakupine koje zrače u infracrvenom dijelu elektromagnetnog spektra. U protozvijezdi se urušavanje nastavlja. Atomi se kreću u svim pravcima i gasovi počinju da svjetle. Kad temperatura dosegne oko 10 miliona K pokreće se u jezgri zvijezde proces nuklearne fuzije. Lišeni elektrona, atomi vodika se međusobno sudaraju tako žestoko da nastaje helijum. Prije nego što zvijezda velika kao Sunce bude spremna za "paljenje", znaju proći i milioni godina, ali protozvijezdi petnaest puta većoj od Sunca dosta je i 10000 godina da upali svoju nuklearnu peć. U tom trenutku može se reći da je zvijezda "rođena".

Elektromagnetno zračenje zvijezde je kombinacija oscilirajućeg električnog i magnetnog polja koji zajedno putuju kroz prostor u obliku međusobno okomitih talasa. Čestice koje prenose elektromagnetno zračenje su fotoni, energetski paketi (kvanti) određene frekvencije. Fotoni se smatraju nekad kao čestica, nekad kao talas.

Fotoni se smatraju dijelom kao čestica, dijelom kao talas. Osobine zbog kojih se foton ponaša kao čestica se mogu primijetiti u fotoelektričnom efektu (proces kod kojeg djelovanjem elektromagnetnog zračenja dovoljno kratke talasne dužine dolazi do izbijanja elektrona iz obasjanog materijala, obično metala), dok su osobine zbog kojih se smatra kao talas primjetne kroz difrakciju (pojava koja nastaje zbog skretanja talasa iza ruba prepreke na koju talasi naiđu) i interferenciju (međudjelovanje dva ili više talasa, obično iste talasne dužine, koji istodobno prolaze kroz isti prostor) svjetla kroz otvor.

Osobine elektromagnetnog zračenja zavise od njegove talasne dužine. Cijeli opseg talasnih dužina naziva se elektromagnetni spektar i on obuhvata gama zračenje, rendgensko zračenje, ultraljubičasto zračenje, vidljivu svjetlost, infracrveno zračenje, mikrotalasno zračenje i radiotalase.



Talasne dužine elektromagnetnog talasa (izvor: zvjezdarnica.com)

Elektromagnetni talasi posjeduju određenu visinu (amplituda), sa određenim brojem talasa u vremenskoj jedinici (frekvencija) i sa karakterističnom brzinom. Prema Planckovom zakonu (u kojem figurira i Planckova konstanta), što je veća temperatura zvijezde, to je veća frekvencija, a time i energija fotona. Udaljenost dva susjedna brijega talasa je talasna dužina. Talasi niske energije imaju veće talasne dužine (npr. radio talasi), i obrnuto (gama zračenje, UV zračenje). Talasi većih energija su opasni za čovjeka (npr. gama talasi koji mogu oštetiti DNK ljudske ćelije zbog visoke energije koju imaju).

Na sreću, atmosfera Zemlje blokira većinu štetnog zračenja za ljude, a djelimično propušta IC i UV zračenje. Potpuno je transparentna za vidljivi dio spektra i veliki dio radio spektra.

Brzina elektromagnetnog talasa je jednostavno brzina svjetlosti (299792 km/s u vakuumu) koja nam je poznata, a različite talasne dužine svjetlosti manifestuju nam se kao različite boje.

Ljudi i većina živog svijeta na Zemlji vide samo uski dio elektromagnetnog spektra (nama poznatog kao svjetlost) zato što Sunce ima maksimalni intenzitet zračenja upravo u tom dijelu spektra. Naše oči su evoluirale tako da maksimalno iskoriste Sunčevu svjetlost. Površinska temperatura Sunca T = 5770K odgovara maksimumu zračenja pri 550 nm. Dijelovi elektromagnetnog spektra koje ne vidimo (rendgenski zraci, gama zračenje, IC talasi, UV talasi, radio talasi) su

sakriveni od nas jer osciluju prevelikim ili premalim brzinama da bi ih receptori u našem oku mogli detektovati.

Šta je sa ljudskim tijelom? Naše tijelo ima prosječnu temperaturu od oko 310 K, što znači da zračenje našeg tijela ima maksimum u infracrvenom dijelu elektromagnetnog spektra. Mi druge ljude vidimo samo zbog toga što oni reflektuju vidljivu svjetlost. Ako ugasimo sva svjetla u sobi, sve postaje crno. Ne možemo vidjeti druge ljude jer ljudi ne zrače u vidljivom dijelu spektra, već pri svojoj temperaturi od oko 310 K emituju u infracrvenom području. Upalite infracrvenu kameru i vidjećete ljude kako zrače jako upravo u IC području spektra. Maksimum emisije zračenja ljudi je pri talasnim dužinama od 0,001 cm. Luminozitet čovjeka (po cijeloj površini) može se odrediti na osnovu Stefan-Bolzmanovog zakona i iznosi oko 1000W.

3. Šta se dešava u jezgri zvijezde?

Zvijezde sadrže sve hemijske elemente, od vodika do uranijuma pa čak i iznad uranijuma.

Hemijski element je skup svih istovrsnih atoma u prirodi (svemiru), koji u jezgri imaju isti broj protona. Hemijski element ne može se hemijskim metodama rastaviti na jednostavnije atome. Vodik (H) ima tri vrste atoma odnosno izotopa: ^{1}H – procij, ^{2}H – deuterij i ^{3}H – tricij, koji se razlikuju po broju neutrona u jezgri atoma dok je protonski broj 1.

Elementarna materija je jedan od oblika postojanja nekog hemijskog elementa u prirodi. Do danas je poznato 118 vrsta atoma hemijskih elemenata ali je poznato preko 600 njihovih elementarnih materija. Tako npr. hemijski element ugljik (C) ima više oblika elementarne materije, a od četiri alotropske modifikacije najpoznatije su dvije: dijamant i grafit.

Atom je osnovna građevna jedinica materije. Atom se sastoji od jezgre (koju čine protoni i neutroni) i elektrona koji se nalaze u elektronskom omotaču. Jezgra čini 99.99% mase atoma. Ako bi se atom

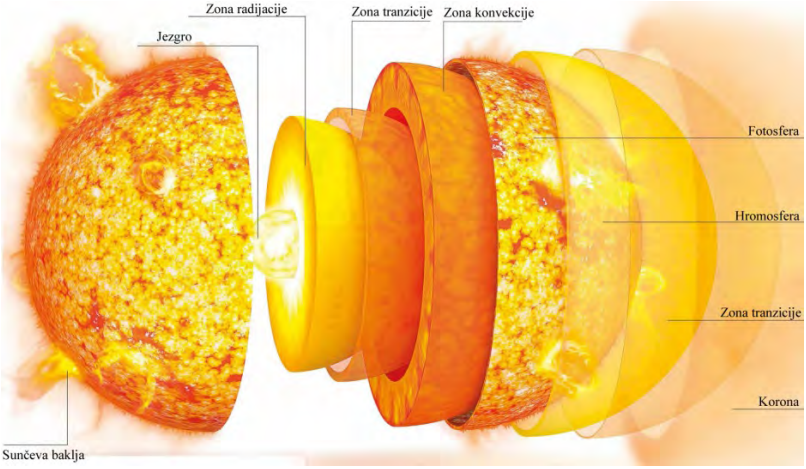
uvećao toliko da jezgra bude prečnika jabuke, a elektroni veličine bobice grožđa, prečnik atoma bi bio 1 kilometar. Dakle, većinu atoma zauzima prazan prostor. Prečnik jezgre je 100000 puta manji od prečnika atoma.

Većina lakših atoma imaju nekoliko stabilnih izotopa, ali ako postoji previše ili premalo neutrona, atom postaje nestabilan i raspada se, oslobađajući zračenje.

Dok su najjednostavniji i najlakši elementi, vodik i helijum, rijetki na Zemlji, oni potpuno dominiraju u zvijezdama. Sunce sadrži oko 92% vodika i 8% helijuma, kao i većina drugih zvijezda dok svi ostali poznati hemijski elementi čine tek 0,15% zvijezde.

Hemijski elementi se mogu transformirati jedan u drugi. Teški radioaktivni elementi oslobađaju snažnu energiju prilikom cijepanja jezgre atoma (nuklearna fisija), dok je lakši elementi oslobađaju spajanjem više atomskih jezgri (nuklearna fuzija). Oba procesa imaju ulogu u formiranju željeza i nikla, i to je razlog što postoji toliko mnogo željeza i nikla u svemiru. Zvijezdana fuzija se može dogoditi samo kada su temperatura i pritisak tako veliki da se protoni mogu zaletati jedan u drugi, prevladavajući njihovu prirodnu električnu odbojnost i povezati se međusobno preko jake sile. Velika gravitacijska kompresija u jezgru zvijezde osigurava neophodne uvjete za to. U centru Sunca temperatura je oko 16 miliona K, a gustina je 150 puta veća od gustine vode. Iz središta do otprilike četvrtine radijusa Sunca, protoni se sekvencijalno sudaraju i proizvodi se helijum – proces poznat kao "proton-proton lanac". Dok se protoni spajaju, pri tome se oslobađa visokoenergetsko zračenje i na kraju zvjezdano svjetlo koje vidimo.

Nuklearni su procesi po proizvodnji energije oko sto miliona puta jači od hemijskih procesa. Sagorijevanje jednog kilograma običnog hemijskog goriva proizvodi samo toliko energije da npr. održi u radu jedan sat grijalicu od 1000W, ali potrošnja jednog kilograma (najefektivnijeg) nuklearnog goriva održala bi u radu istu grijalicu oko deset hiljada godina.



Presjek zvijezde (copyright: The Stars, DK Publishing, 2016)

4. Koliko ima zvijezda na nebu?

Ljudi misle da kada pogledaju u tamno noćno nebo vide milione zvijezda. Ustvari, mogli bi preobrojati sve zvijezde koje vidimo na nebu za pola sata. Bez svjetlosnog zagađenja sa cijele Zemlje golim okom je vidljivo maksimalno deset hiljada zvijezda. Koliko zvijezda ima u cijelom svemiru teško je procijeniti, jer nismo sigurni da li je svemir beskonačan. Einstein bi dodao da za svemir nije siguran da je beskonačan, ali ljudska glupost zasigurno jeste.

Smatra se da u našoj galaksiji ima oko 200 milijardi zvijezda. Koliko je milijarda? Recimo to ovako: kada ste stari 31 godinu, 7 mjeseci, 9 sati, 4 minute i 20 sekundi – proživjeli ste svoju prvu milijardu sekundi života. Prema istraživanjima, mjereći infracrveni dio spektra između galaksija, došlo se do zaključka da pola zvijezda u svemiru možda prebiva van galaksija, pri čemu se došlo do grube brojke od 100 kvadrilijardi (10^{29}), broj koji niko od nas ne može ni zamisliti. Neki spominju cifru od 10^{21} zvijezda (N. Tyson). Ovaj broj je nezamislivo veliki. Ako pokušamo procijeniti koliko zrnaca pijeska ima

na svima plažama na Zemlji, dobit ćemo sličan broj, pa je zaključak da zvijezda u vidljivom svemiru ima otprilike kao i zrnaca pijeska na svima plažama na Zemlji. Sjetite se ovoga kad sljedeći put odete na neku plažu i u ruku zagrabite malo pijeska.

Kao mala digresija, smatra se da u univerzumu ima 10^{81} atoma. Jacob Bekenstein je izračunao maksimalni broj različitih kvantih stanja koji bi mogli imati masu sličnu našem univerzumu. To je broj, broj mogućih univerzuma, od kojih su neki opasni – puni crnih rupa i drugih opasnosti do onih koji su vrlo slični našem.

Neki ljudi misle da je dosta zvijezda koje vidimo na nebu već odavno mrtvo, nestalo, tj. vidimo samo njihove slike (svjetlost) koje dolaze stotinama i hiljadama godinama do nas. Ovo ne može biti istina jer se prosječan život zvijezda mjeri milijardama godina. Šanse da neka zvijezda umre u veoma kratkom periodu (100-1000 godina) tokom kojih njena slika putuje do Zemlje su minimalne. Pomnožite to sa brojem vidljivih zvijezda (npr. 10000) i još uvijek su izgled 1 na prema nekoliko stotina da čak i jedna zvijezda nije tamo.



Zvjezdani tragovi iznad Sarajeva u magli (copyright: Alan Ćatović)

Kada gledamo u zvijezde, uvijek gledamo u prošlost zbog toga što svjetlost ima konačnu brzinu. Svjetlosti sa udaljenih zvijezda treba toliko vremena da dođu do nas da ih ustvari vidimo ne kakve su sada nego kakve su bile u prošlosti, tj. gledamo nazad u prošlost. Npr. Sunčevoj svjetlosti treba oko 8,5 minuta da dođe do nas, što znači da u svakom trenutku gledamo u Sunce kakvo je bilo prije 8,5 minuta. Ako bi se iz nekog razloga (hipotetički govoreći) Sunce ugasilo, trebalo bi 8,5 minuta da ta informacija dođe do nas. Najbliža zvijezda od nas, Proksima Kentaura, udaljena je oko 4,2 svjetlosne godine od Zemlje, što znači da je vidimo onakvu kakva je bila prije 4,2 godine. A najbliža galaksija (Andromeda) je od nas udaljena 2,5 miliona godina, što implicira da sada gledamo Andromedu kakva je bila prije 2,5 miliona godina. Andromeda nam se približava i u dalekoj budućnosti će se sudariti sa našom galaksijom. Smatra se da će solarni sistem ostati neoštećen u ovom duelu.

5. Šta su sazviježđa?

Na vedrom nebu, prepunom blistavih zvijezda, uz malo mašte mogu se vidjeti i "likovi" ljudi, životinja i objekata, što ih obrazuju zvijezde međusobnim rasporedom, Tako je nastao pojam sazviježđa. Još i danas se najčešće služimo nazivima koje su dali pojedinim rasporedima zvijezda stari Grci, Arapi i Rimljani.

Sazviježđa ili konstelacije su skupine zvijezda koje su prividno povezane u posebne zvjezdane skupove. U trodimenzionalnom prostoru većina zvijezda koje vidimo su relativno povezane, ali se nerijetko grupišu u nebeskoj sferi noćnoga neba. Ljudi su kroz historiju grupisali zvijezde u sazviježđa prema tome koliko su daleko jedna od druge. "Neslužbeno" sazviježđe je poznato kao asterizam.

Zvijezde u sazviježđu ili asterizmu rijetko imaju bilo kakve veze jedna s drugom, a kad se gledaju sa Zemlje čini se da su vrlo blizu jedna drugoj, iako su na velikim međusobnim udaljenostima. Grupisanje zvijezda u sazviježđa je proizvoljno, jer su razne kulture na razne načine imenovale sazviježđa.

Internacionalna Astronomska Unija (IAU) dijeli nebo na 88 službenih sazviježđa sa preciznim granicama, tako da se svaki pravac pridružuje tačno jednom sazviježđu. Većina naziva su preuzeta iz antičke grčke tradicije i tako prešla u upotrebu u srednjem vijeku. Dvanaest sazviježđa iz južne nebeske hemisfere Grci nisu bili u stanju posmatrati, te su njihove nazive u upotrebu uveli moreplovci u XVI vijeku, a prvi ih je katalogizirao Johann Bayer u svom djelu Uranometria.



Moderna sazviježđa na nebu (izvor: space.com)

Zbog kretanja Zemlje, nagnutosti Zemljine ose i ovisno o geografskoj širini na kojoj se nalazimo, u određeno doba godine bit će vidljiv različit dio neba i različita sazviježđa. Tokom noći zvijezde prividno izlaze na istočnom nebu i zalaze iza horizonta na zapadnom nebu, što je posljedica rotacije Zemlje oko vlastite ose u suprotnom smjeru, od zapada ka istoku. Prividno se sve zvijezde kreću po kružnicama oko spojnice sjevernog i južnog nebeskog pola i iz naše perspektive čine kuglu koju nazivamo nebeska sfera.

Ukoliko se nalazimo na sjevernom ili južnom Zemljinom polu uvijek vidimo iste zvijezde koje se paralelno sa horizontom okreću oko tačke tačno iznad nas. Pomjerajući se sa polova ka manjim geografskim širinama, izgled neba se mijenja. Što se krećemo bliže ekvatoru, sve više zvijezda počinje izlaziti i zalaziti, a sve manje ih je vidljivo tokom cijele noći. Zvijezde i drugi objekti koji su za određenog posmatrača uvijek iznad horizonta nazivaju se cirkumpolarnim.

Za posmatrača na sjevernom polu cijelo sjeverno nebo je cirkumpolarno, dok je cijelo južno nebo anticirkumpolarno (nikada ne izlazi iznad obzora). Iz naših krajeva vidljiva su sazviježđa sjevernog neba, a u ljetnim mjesecima i dio južnog neba. Sazviježđa koja vidimo kao cirkumpolarna su: Veliki i Mali medvjed, Zmaj, Kefej, Kasiopeja, Žirafa, te dijelovi sazviježđa Perzej, Ris.

Posmatrač na ekvatoru jedini je u stanju vidjeti cijelo nebo, za njega niti jedan dio neba nije cirkumpolaran ni anticirkumpolaran. Sjevernjača se vidi tačno na horizontu (u pravcu sjevera), a nebeski ekvator prolazi kroz zenit, odakle se spušta na istočnu i zapadnu točku horizonta.

Zvijezda Sjevernjača (Polaris) nalazi se gotovo tačno u smjeru sjevernog nebeskog pola, udaljena od njega nešto manje od 3/4 stepena, zbog čega se već dugo vremena koristi pri orijentaciji u prostoru, uvijek pokazujući smjer sjevera.

6. Zašto zvijezde na noćnom nebu trepere?

Zvijezde se prepoznaju kao svijetleće tačkice na noćnom nebu koje trepere (tzv. scintilacija). U kratkim vremenskim intervalima (reda dijela sekunde) zvijezda prividno mijenja intenzitet sjaja i boju.

Uzrok treperenja je naša atmosfera i prividni prečnik samih zvijezda. Atmosfera, naime, nije nikada potpuno mirna; u njoj se neprestano miješaju topliji i hladniji zrak, a uvijek postoji i strujanje vazduha. Kad zraka svjetlosti prolazi kroz Zemljinu atmosferu ona skreće sa svog puta, prelama se svaki put kod prelaza iz gušćeg dijela u rjeđi i

obrnuto. Put zrake svjetlosti kroz samu atmosferu traje dosta kratko (reda 1/300 sekunde) i za to vrijeme zraka svjetlosti naiđe na mnogo mjesta gdje se njen smjer mijenja. Zvijezdu vidimo u onom pravcu kojim je zraka svjetlosti stigla u naše oko. U slijedećem momentu stiže druga zraka, čiji je smjer nešto različit od prve zrake i mi vidimo zvijezdu nešto pomaknutu od prijašnjeg mjesta. To se događa cijelo vrijeme dok je posmatramo.

Slika zvijezde u našem oku, dakle, neprestano mijenja svoje mjesto, a pojedine točke se slijevaju u linije raznih smjerova, u krakove karakterističnog zvjezdastog oblika.

Sunce je izuzetak među zvijezdama. To je jedina zvijezda dovoljno bliska Zemlji da se može vidjeti kao disk i osigurati nam dnevnu svjetlost i život. Ni planeti ne trepere zbog toga što su blizu pa im možemo vidjeti disk.

7. Kako su zvijezde dobila imena?

Većina zvijezda dobila je ime prije 500 do 2000 godina. Dok sazviježđa obično nose imena ljudi i životinja iz mitova (uz izuzetak nekoliko novijih kao što su Kompas, Peć i druga), porijeklo imena zvijezda mnogo je raznolikije.

Dio zvijezda nosi imena vezana uz sazviježđe u kojem se nalaze, pa tako Deneb u Labudu i Denebola u Lavu označavaju repove tih životinja. Neke zvijezde nose imena koja su vezana uz njih same, npr. Sirius čiji bi se naziv mogao prevesti kao "blješteći" – vrlo prikladno za najsjajniju zvijezdu na nebu. Neke zvijezde čak nose nazive preostale iz starijih naziva sazviježđa, pa tako Nihal u Zecu u prevodu znači "Deve koje utažuju žeđ". Dobar dio zvijezda nosi arapska imena i počinju sa određenim članom "al", a primjeri su Algol (u Perzeju), Altair (u Orlu), Algieba (u Lavu), Aldebaran (u Biku) i drugi. Dio arapskih naziva izgubio je određeni član "Al".

Tek nekoliko stotina zvijezda ima svoje vlastito ime, pa je bilo potrebno uvesti i neku vrstu oznake. Astronom Johann Bayer uveo je 1603.

godine označavanje zvijezda slovima grčkog alfabeta. Bayerova oznaka zvijezde sastoji se od grčkog slova i latinskog naziva sazviježđa u genitivu, pa se Alfa sazviježđa Kentaur naziva Alfa Kentaura (α Cen). Bayer je zvijezdama pridodavao slova grčkog alfabeta po kriteriju sjaja, na način da je najsjajnija zvijezda bila označena slovom alfa, druga po sjaju beta, itd. Ovdje astronomi često nisu bili dosljedni, te su primjenjivali i druge kriterije, pa su tako u sazviježđu Velikog Medvjeda zvijezde poredali po položaju, a ne po sjaju. U nedostatku grčkih slova, u nekim su sazviježđima kasnije korištena i latinska slova.

Vremenom se pokazalo da je premalo slova, pa astronom John Flamsteed 1712. godine uvodi brojeve na način da najzapadnija zvijezda dobije broj 1. Flamsteed je ukupno pobrojao 2682 zvijezde. U novije vrijeme napravljeno je mnogo kataloga zvijezda i svaka zvijezda ima nekoliko oznaka, pa tako Sirius možete zvati još i Alfa Velikog psa (Alfa Canis Majoris), 9 Velikog psa, BD-16 1591, SAO 151881, PPM 217626, itd. Neki od poznatijih kataloga su Henry Draper Catalogue (HD i HDE), Smithsonian Astrophysical Catalogue (SAO), Hubble Space Telescope Guide Star Catalog (HST GSC), itd.

Na internetu ćete često naići na mogućnost imenovanja zvijezde po vašoj volji, za cijenu od oko $50. Ovakve ponude su varanje ljudi. Samo Međunarodna Astronomska Unija (IAU) ima pravo imenovanja nebeskih objekata.

8. Kako definišemo udaljenost zvijezda?

Za procjenu parametara zvijezde, podatak o udaljenosti zvijezde od velikog je značaja. Ovi podaci nam omogućuju da procjenimo luminozitet (količina energije koju tijelo izrači u jedinici vremena; data u W) i masu zvijezde. A koristeći podatke o udaljenosti zvijezda, možemo konstruirati i širu sliku o našem okruženju u svemiru.

Osim luminoziteta važna veličina je i iradijansa ili gustina snage koja pokazuje koliko energije prima neko tijelo po jedinici površine (W/m^2). Tako npr. na Neptunu, koji je 30 puta udaljeniji od Sunca nego Zemlja, Sunce se čini tek 1/900 svjetlim kao na Zemlji. Naime, lumi-

nozitet Sunca je konstantan, ali se iradijansa mijenja jer se mijenja udaljenost tijela od Sunca. Budući da iradijansa opada sa kvadratom razdaljine, to znači da ako npr. imamo na nebu dvije zvijezde istog sjaja, a znamo da je jedna 10000 puta luminoznija od druge, to znači da luminoznija zvijezda mora biti udaljenija nego prva, i to tačno 100 puta.

Sunce je udaljeno od Zemlje oko 150 miliona kilometara, udaljenost koju nazivamo astronomska jedinica (AJ). Svjetlosna godina ($9{,}5 \cdot 10^{12}$ km) je, s druge strane, udaljenost koju svjetlost pređe za godinu dana (63240 AJ).

Najbliži zvjezdani sistem – Alfa Kentaura – udaljen je oko 4,4 svjetlosne godine (ili oko 270000 AJ) od nas, a većina zvijezda koje vidimo golim okom nalazi se unutar 100 svjetlosnih godina od nas.

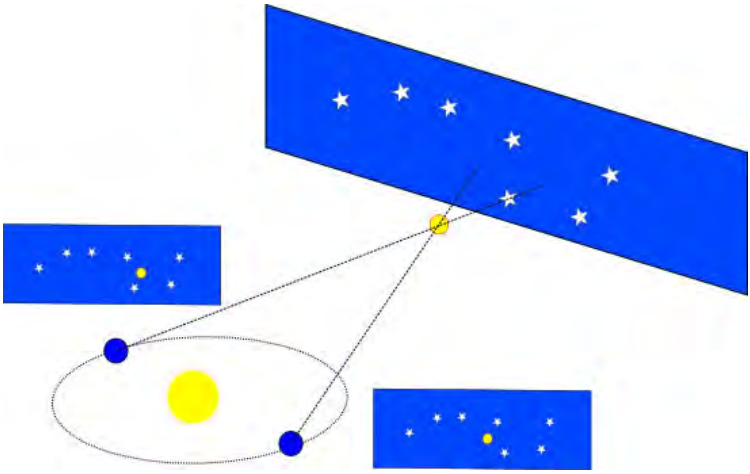
Mjerenjem udaljenosti zvijezda shvatili smo da su sve zvijezde koje noću možemo vidjeti dio naše galaksije. Oblikovana poput diska sa ispupčenjem u sredini, naša galaksija sadrži oko 200 milijardi zvijezda, i proteže se barem 80000 svjetlosnih godina od jedne do druge strane. Sunce je udaljeno oko 25000 svjetlosnih godina od centra galaksije i leži u galaktičkom disku dok nas zvijezde iz tog diska okružuju. Njihova zajednička svjetlost pravi karakterističnu bijelu traku na noćnom nebu koju zovemo Mliječni put (sinonim za našu galaksiju).

Na tamnoj lokaciji (gdje nema puno svjetlosnog zagađenja), Mliječni put izgleda spektakularno, posebno u smjeru centra galaksije. Astronomi tvrde sa velikom dozom samopouzdanja da se u središtu naše galaksije nalazi supermasivna crna rupa, u regiji koja se zove Strijelac A*.

Prilikom rotacije galaktičkog diska, svaka zvijezda ima zasebnu orbitu, a našem Suncu je potrebno oko 225 miliona godina da bi obišao jedan krug oko centra galaksije. Uslijed različitih orbita, zvijezde prolaze jedne pored drugih, i one koje su nam bliže idu naizgled brže na nebu nego one koje su udaljenije. Tokom vremena će, kad se zvijezde dovoljno odmaknu jedne od drugih, nama poznata sazviježđa nestati (rasformirati). To znači da su sazviježđa koja sada vidimo samo privremeno na nebu, ali zbog kratkoće ljudskog života nismo u stanju da uočimo promjene u njima.

Udaljenosti zvijezda prvi su izmjerili Friedrich Bessel (1784 – 1846), Friedrich von Struve (1793 – 1864) i Thomas Henderson (1798 – 1844) u razdoblju od 1835. do 1838. godine. Iako su osnovne metode bile poznate još od antike (triangulacija), otkriće je kasnilo jer su zvijezde veoma daleko i mjerni instrumenti nisu bili precizni.

Udaljenosti zvijezda su utvrđene uglavnom preko paralakse. Da bi vizualizirao ovaj koncept, dovoljno je premjestiti glavu s jedne strane na drugu dok posmatramo obližnje objekte – izgledaće kao da se objekti pomiču, zavisno od njihove udaljenosti.

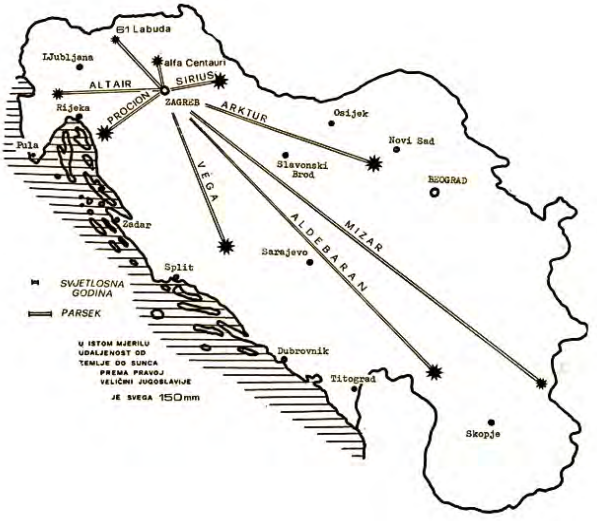


Prividno kretanje zvijezda uslijed godišnje paralakse (izvor: space.com)

Da bi se izmjerila paralaksa zvijezda, potrebno je uzeti najveću geodetsku bazu koja je čovjeku na raspolaganju, a to je orbita Zemlje oko Sunca. Tehnički, paralaksa zvijezde je polovina najvećeg ugaonog pomaka zvijezde bilježenog u razdoblju od jedne godine.

Udaljenost definisana kao *parsek* je astronomska jedinica koja je jednaka inverznoj vrijednosti paralakse, data je u lučnim sekundama (1/3600 dio stepena) i iznosi 206265 AJ. Jedna svjetlosna godina iznosi 0,307 parseka, što znači da jedan parsek iznosi 3,257 svj. go-

dine. Sadašnja praktična granica za mjerenje paralakse je oko 10000 svjetlosnih godina, a za veće udaljenosti koristimo druge, neizravne metode, koje su uglavnom kalibriraju (podešavaju) metodom paralakse.



Skale udaljenosti zvijezda; Sunce je skalirano na 1,5mm
(izvor: T. i G. Kren, Čovjek i svemir br. 6, 1976.)

Prve zvijezde kojima su bile određene udaljenosti su 61 Labuda (dvojna zvijezda), Vega i Alfa Kentaura (dvojna zvijezda sa dodatnim praticem). Najbliža zvijezda nama je Proksima Kentaura, zvijezda u spomenutom trostrukom sistemu Alfa Kentaura.

9. Kako definišemo sjaj zvijezde?

Magnituda (^{m}) zvijezde, planete ili drugog nebeskog tijela je mjera njegovog sjaja. Razlikujemo prividnu i apsolutnu magnitudu. Magnituda se može skraćeno pisati kao malo slovo m u eksponentu broja koji označava sjaj zvijezde.

Ljestvica kojom se mjeri magnituda potiče još iz helenskih vremena kad su se zvijezde vidljive golim okom dijelile u šest magnituda. Najsvjetlije zvijezde bile su prve magnitude, a najtamnije šeste magnitude, što je granica ljudske moći opažanja (bez pomoći teleskopa). Ovaj donekle grub način označavanja sjaja zvijezda popularizirao je Ptolomej u svom Almagestu, a smatra se da ga je osmislio Hiparh. Spomenuti sistem nije mjerio magnitudu Sunca. Kako je osjetljivost oka na svjetlost logaritamska, i rezultirajuća ljestvica je logaritamska.

Norman R. Pogson je 1856. godine formalizirao ovaj sistem definirajući tipičnu zvijezdu prve magnitude kao zvijezdu koja je stotinu puta svjetlija od tipične zvijezde šeste magnitude; stoga je zvijezda prve magnitude oko 2,512 puta svjetlija od zvijezde druge magnitude. Stotinu puta manje sjajan objekt ima magnitudu otprilike za pet veću; 2,512 puta tamniji objekt ima magnitudu za jedan veću. Razlika u sjaju dva objekta jednaka je broju 2,512 podignutom na stepen razlike njihovih magnituda. To praktično znači, ako npr. uporedimo sjaj Sunca ($-26{,}5^{m}$) i Mjeseca ($-12{,}5^{m}$), vidimo da je Sunce svjetlije 398359 puta od Mjeseca ($2{,}512^{mM - mS}=398359$). Golim okom možemo vidjeti zvijezde do magnitude 6,5.

Moderni sistem više nije ograničen na 6 magnituda. Izuzetno svijetli objekti imaju negativne magnitude. Na primjer, Sirius, najsvjetlija zvijezda neba, ima prividnu magnitudu od -1.44 do -1.46. Teleskopi Hubble i Keck zabilježili su zvijezde s magnitudama od +30 (zvijezde koje su 4 milijarde puta manje sjajne od zvijezde koju možemo vidjeti golim okom). Sunce, jer je tako blizu nama i stoga intenzivno svijetli, ima magnitudu -26,5!

Pogsonova ljestvica originalno je fiksirana tako da Sjevernjača ima magnitudu 2. Astronomi su kasnije otkrili da je Sjevernjača (Polaris) varijabilna zvijezda pa su najprije prešli na Vegu kao referentnu zvijezdu, da bi danas definirali nultu točku prema čitavom nizu zvijezda.

Naše oči ne vide cjelokupno zračenje koje proizvode zvijezde jer zračenje zvijezda nije ograničeno samo na vidljivu svjetlost. Iako je većina zvijezda gasovita, može se smatrati da one imaju "površine" na

kojima su gasovi neprozirni. Ovisno o vrsti zvijezde, njihove površine mogu imati širok raspon temperatura, od oko 1000K do nekoliko stotina hiljada Kelvina.

Zvijezde manjih temperatura zrače u infracrvenom dijelu elektromagnetnog spektra, što ih čini nevidljivim za ljudske oči. Zanimljivo je spekulirati o tome da li neke životinje koje vide u IC dijelu spektra vide na nebu zvijezde koje zrače u tom dijelu spektra i kako za njih izgleda noćno nebo. S druge strane, zvijezde veoma visokih temperatura zrače u većem dijelu elektromagnetnog spektra (od infracrvenog do rendgenskog zračenja). To znači da zvijezda manje temperature ne može proizvesti visokoenergetsko zračenje, ali zvijezda veće temperature može, pa je zbog svega toga "hladnija" zvijezda, koja može biti veoma svjetla infracrvenom detektoru, ljudskom oku nevidljiva. Budući da su Hiparhove magnitude vidljive okom, one se nazivaju prividne (vizuelne) magnitude.

Prividna magnituda zvijezde ovisi o njenoj udaljenosti, a zvijezde se mogu međusobno porediti samo ako znamo njihov stvarni luminozitet (luminozitet obične sijalice iznosi 100 W dok je luminozitet Sunca $3{,}8 \cdot 10^{26}$ W), pa je potrebno na neki način kompenzirati uticaj različitih udaljenosti zvijezda od nas. Zbog toga je uveden sistem apsolutnih magnituda, pri čemu se zvijezde (vještački) postavljaju na (standardnu) udaljenost od 10 parseka (32,57 svjetlosne godine). Tek tada dolazi do izražaja zapanjujući raspon njihovih apsolutnih magnituda (-10 do +20). Naše, naizgled sjajno, Sunce ima apsolutnu magnitudu 4,82. To znači da bi sa udaljenosti od 10 parseka Sunce izgledalo kao zvijezda magnitude 4,82. Budući da raspon od 15 magnituda predstavlja omjer luminoziteta od 1 milion, najsjajnije zvijezde su milion puta svjetlije od Sunca, a najmanje svjetle zvijezde i do milion puta manje luminozne!

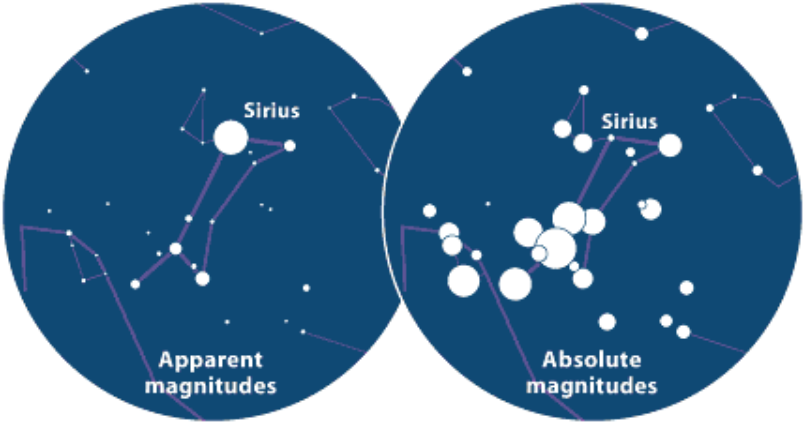
Temperatura zvijezde, koja se može odrediti na osnovu njene boje ili njenog spektra, može se koristiti za proračun "nedostajućeg" zračenja i korigovanje prividne magnitude. Ovo podešavanje naziva se bolometrijska korekcija, a dobijena veličina bolometrijska magnituda.

Naziv zvijezde	Sazviježđe	Prividna magnituda (*varijabilna)	Apsolutna magnituda	Udaljenost od Zemlje
Sunce	pojas Zodijaka	-26,72	4,2	150 miliona km
Sirius	Veliki pas	-1,46	1,4	8.6 svj. god.
Kanopus	Kobilica	-0,72	-2,5	74 svj. god.
Alfa Kentaura	Kentaur	-0,27	4,4	4.3 svj. god.
Arktur	Volar	-0,04	0,2	34 svj. god.
Vega	Lira	0,03	0,6	25 svj. god.
Kapela	Kočijaš	0,08	0,4	41 svj. god.
Rigel	Orion	0,12	-8,1	1400 svj. god.
Procion	Veliki pas	0,38	2,6	11,4 svj. god.
Ahernar	Eridan	0,46	-1,3	69 svj. god.
Betelgez	Orion	0,50*	-7,2	1400 svj. god.
Hadar	Kentaur	0,61*	-4,4	320 svj. god.
Alfa Krsta	Krst	0,76	-4,6	510 svj. god.
Altair	Orao	0,77	2,3	16 svj. god.
Aldebaran	Bik	0,85*	-0,3	60 svj. god.
Antares	Škorpion	0,96*	-5,2	520 svj. god.
Spika	Djevica	0,98*	-3,2	220 svj. god.
Poluks	Blizanci	1,14	0,7	40 svj. god.
Fomalhaut	Južna Riba	1,16	2,0	22 svj. god.
Beta Krsta	Krst	1,25*	-4,7	460 svj. god.
Deneb	Labud	1,25	-7,2	1500 svj. god.
Regulus	Lav	1,35	-0,3	69 svj. god.
Adhara	Veliki pas	1,50	-4,8	570 svj. god.
Kastor	Blizanci	1,57	0,5	49 svj. god.
Gama Krsta	Krst	1,63*	-1,2	120 svj. god.

Najsjajnije zvijezde na noćnom nebu (izvor: space.com)

Budući da se za zvijezde koje su slične Suncu većina zračenja nalazi u vidljivom dijelu spektra, bolometrijske korekcije za njih su dosta male (apsolutna bolometrijska magnituda Sunca je 4,75, a apsolutna magnituda 4,82). S druge strane, kod zvijezda ekstremno velikih ili malih temperatura ove korekcije mogu biti značajne.

Kad su bolometrijske magnitude zvijezda poznate, one se mogu pretvoriti u stvarni luminozitet zvijezde, izražen u solarnim jedinicama, tj. u odnosu na luminozitet Sunca ($3{,}8 \cdot 10^{26}$ W).



Poređenje prividnih i apsolutnih magnituda zvijezda u sazviježđu Veliki pas (izvor: skyandtelescope.com)

10. Kako klasificiramo zvijezde?

Zvijezde se u astronomiji klasificiraju u spektralne tipove koji su direktno vezani uz njihove boje. Boja zvijezde govori nam kolika je temperatura na njenoj površini. Više podataka, naime, možemo dobiti ako svjetlost koja stiže sa zvijezda posmatramo kroz spektroskop. Spektroskopija je naučna disciplina koja se bavi proučavanjem interakcije između elektromagnetskog zračenja i materije. To je jedan od temeljnih alata za proučavanje objekata koji su nevidljivi okom kao što su atomi ili molekule, ili su previše udaljeni, kao što su zvijezde i drugi astronomski objekti.

Ako se spektroskopom dovoljno rastegne, u spektru zvijezde se vide tanke tamne okomite linije. One nastaju kada atomi i joni u vanjskim slojevima zvijezde apsorbuju svjetlost koja napušta zvijezdu. Raspored apsorpcijskih linija dosta govori o evolucijskom stadiju zvijezde i procesima u njoj. Svaka vrsta atoma ima specifičan niz (tamnih) apsorpcijskih linija, a dosad ih je identificirano na stotine hiljada.

Kod nekih zvijezda dominiraju tamne i široke apsorpcijske linije vodika dok druge pokazuju jake apsorpcijske linije metala (u astronomiji se izraz metal odnosi na elemenate većeg atomskog broja od helijuma). Treće zvijezde uopšte nemaju linije vodika, pokazujući molekularne apsorpcije. Da bi razumjeli ova otkrića, astronomi su prvo morali da grupišu zvijezde u određene kategorije, koristeći njihove spektre.

Moderni sistem klasifikacije zvijezda poznat je kao Morgan-Keenan (MK) klasifikacija. Svaka zvijezda ima oznaku iz Harvardskog sistema spektralne (temperaturne) klasifikacije i oznaku za klasu luminoziteta koristeći rimske brojeve.

Harvardski sistem klasifikacije

Prva naučna klasifikacija zvijezda izvršena je na Harvardu krajem 19-tog i početkom 20-tog vijeka. Jedan od tamošnjih astronoma, Annie J. Cannon, sama je klasificirala preko 250000 zvijezda! Konačna klasifikacija, koja se i danas koristi, sastojala se od sedam glavnih spektralnih klasa OBAFGKM. Ovo se naziva i spektralni niz, a važan je jer je to ujedno i temperaturni niz. U spomenutom nizu O zvijezde su najtoplije, a M najhladnije zvijezde. Radi veće temperaturne preciznosti, astronomi su svaku klasu podijelili na deset podklasa. Npr. spektralna klasa A sastoji se od podklasa A0, A1, A2,... A8, A9. Zatim ide F0, F1, F2, itd. Ova finija podjela omogućava preciznost definisanja temperatura zvijezda do oko 5%. Sunce npr. nije samo zvijezda klase G, već G2 zvijezda.

Astronomi su 1999. godine u ovu klasifikaciju dodali još dva slova L i T, koji pokazuju prisustvo metalnih hidrida i metana, nakon što su

astronomi otkrili nove vrste ultrahladnih zvijezda (tzv. smeđi patuljci) koje zrače pretežno u infracrvenom području spektra.

Dodatna tri slova R, N i S nekad se dodaju da pokažu hemijske varijacije u zvijezdama.

Spektralni niz se proteže od temperatura preko 30000K (do 50000K) za zvijezde u klasi O do oko 2000K za zvijezde u klasi M. Klase L i T su ograničene isključivo na smeđe patuljke i imaju temperature od oko 2000K (L klasa) do oko 1000K (T klasa). Kod Wolf-Rayet zvijezda koji se smatraju podtipovima klase O, temperature dostižu i do 100000K.

Zašto je temperatura zvijezde važna? Generalno govoreći, pri nižim temperaturama zvijezda (ispod 4000K) mogu se formirati molekule. Kako se temperatura povećava, molekule se kreću sve brže i brže, sudarajući se s drugim atomima i molekulama, pretvarajući ih u neutralne atome. Ako se još više poveća temperatura, atomi se intenzivnije međusobno sudaraju, pri čemu elektroni napuštaju atome i počinje formiranje jona. Jon je naelektrisana čestica ili grupa čestica, a proces stvaranja jona iz neutralnih čestica naziva se jonizacija. Ma kako nastalo, jonsko naelektrisanje potiče od gubitka ili dobitka elektrona. Pri određenoj temperaturi zvijezde postoji mješavina neutralnih atoma i različitih jona. Tek iznad 10000K stvaraju se joni vodika, a iznad 20000K joni helijuma. Za određeni jon, intenzitet apsorpcije najviše zavisi od temperature. Na nižim temperaturama, apsorpcija zračenja vodikom je tako neučinkovita da se vodikove linije uopšte ne vide u spektru zvijezde. Kako se temperatura penje, apsorpcija zračenja vodikom dramatično raste, i dostiže svoj maksimum kod zvijezda klase A.

Zvijezde klase O, plave boje, veoma su rijetke, sjajne, masivne i vruće. Na svakih 32000 zvijezda dolazi jedna razreda O. Prosječna O zvijezda svjetlija je od Sunca nekoliko stotina hiljada puta, pa čak i do nekoliko miliona puta. Veliku količinu zračenja ove zvijezde ispuštaju u UV dijelu spektra. Spektar zvijezda klase O karakterističan je po neutralnom i jonizovanom helijumu i vodiku, te višestruko jonizovanim

atomima silicijuma, nitrogena i kisika. Zbog svoje velike mase, gorivo troše veoma brzo te im je životni vijek relativno kratak. Ovakve zvijezde često završavaju kao supernove. Nastanak životvornih planeta uz ovakve zvijezde je malo vjerovatan zbog snažnog zračenja zvijezda i kratkog životnog vijeka. Primjeri zvijezda klase O su: Alnitak, Mintaka, Theta[1] Oriona C, Sigma Oriona, itd.

Zvijezde klase B, plavo-bijele boje, su vruće, sjajne i masivne. Klasa B karakteriše se dominantnim linijama jonizovanog helijuma (nekad se nazivaju i helijumske zvijezde) i izraženijim linijama vodika, te trostruko jonizovanim silicijumom. Kao i zvijezde klase O, vrlo su masivne, relativno kratko žive i zbog toga se često nalaze u blizini područja gdje su nastale. Zvijezde razreda B mogu se naći i u grupacijama koje se zovu OB asocijacije koje su povezane sa velikim međuzvjezdanim molekularnim oblacima. Asocijacija Orion OB1 zauzima veći dio našeg spiralnog kraka u galaksiji i sadrži neke od najsvjetlijih zvijezda u sazviježđu Orion. Zvijezde tipa B čine 0,13% zvjezdane populacije glavnog niza. Primjeri su: Rigel, Spika, Regulus, zvijezde u Plejadama, itd.

Zvijezde razreda A, bijele boje, čine najveći dio zvijezda vidljivih golim okom. Spektrom zvijezda klase A dominiraju linije vodika (ova činjenica se koristi npr. prilikom kalibracije instrumenata u spektroskopiji koristeći spektar Vege). Kod njih se pojavljuju magnezijum i silicijum, a tu su i apsorpcijske linije željeza, titanijuma i kalcijuma. Ove zvijezde čine 0,63% populacije zvijezda glavnog niza. Primjeri su: Vega, Sirius, Deneb.

Zvijezde klase F, bijelo-žute boje, sjajne su i vruće, ali ne toliko masivne. Zato ih se veliki broj nalazi u glavnom nizu. Spektar zvijezda klase F karakteriše se linijama dvostruko jonizovanog kalcijuma i jonizovanog željeza. Njihov udio u populaciji zvijezda glavnog niza iznosi 3,1%. Primjeri zvijezda F klase su: Kanopus, Procion.

Idući dalje nizom, kod zvijezda manje temperature nailazimo na pojavu metalnih jona; Zvijezde klase G, žute boje, pokazuju jake apsorpcijske linije jonizovanog kalcijuma i neutralnog natrijuma. Zvi-

jezde klase G najbolje poznajemo zbog činjenice da i Sunce spada u ovu klasu. Zvijezde klase G su većinom zvijezde glavnog niza jer superdivovi često mijenjaju spektar između razreda O i B te razreda K i M, kratko se zadržavajući u klasi G. Ukupno 8% svih zvijezda glavnog niza spada u ovaj spektralni razred. Primjeri su: Sunce, Kapela, Alfa Kentaura A.

U klasu K spadaju narandžaste zvijezde, nešto hladnije nego Sunce. Neke od zvijezda razreda K su superdivovi kao Arktur, a neke članovi glavnog niza kao Alfa Kentaura B. Klasa K pokazuje široke linije kalcijuma, a pojavljuje se i titanijum oksid. K zvijezde čine 13% populacije zvijezda glavnog niza. Primjeri su: Arktur, Alfa Kentaura B, Aldebaran.

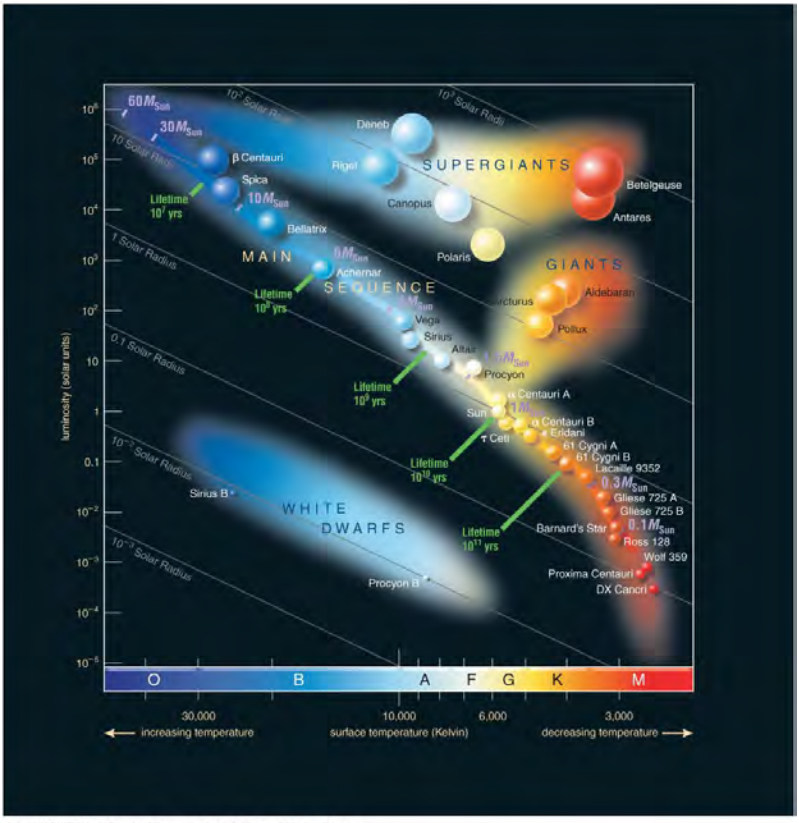
Zvijezde klase M, crvene boje, najbrojnije su zvijezde u galaksiji. Smatra se da oko 78% svih zvijezda spada u crvene patuljke, poput Proksime Kentaura. Zvijezde klase M mogu biti i superdivovi poput Antaresa ili Betelgeza, kao i promjenljive zvijezde tipa Mira. Kasniji stadiji klase M također sadržavaju i smeđe patuljke. Zvijezde klase M, zbog niže temperature, karakterišu se molekularnim apsorpcionim linijama, posebno titanijum oksidom. Prema Stefan-Bolzmanovom zakonu (ukupna količina energije koju idealno crno tijelo zrači po jedinici površine u jedinici vremena direktno je proporcionalna sa četvrtom potencijom termodinamičke temperature T), ako crvena zvijezda ima temperaturu npr. od 2000K, da bi imala luminozitet kao Sunce (temperature oko 6000K) potrebno je da ima 9 puta veći radijus! Primjeri su: Antares, Proksima Kentaura, Gliese 581.

Spektrom zvijezda klasa R i N (ugljične zvijezde) dominiraju linije molekularnog ugljika i njegovih spojeva, dok klasom S (npr. R Andromede) dominira linija cirkonijum oksida.

Klase luminoziteta zvijezda

Temperaturna spektralna klasa sama po sebi nije dovoljna za karakterizaciju zvijezde – potrebno je poznavati i njen luminozitet. Odnosi luminoziteta i spektralne klase najbolje se vide na Hertzsprung-Rus-

sellovom (HR) dijagramu, nazvanom po danskom astronomu Ejnaru Hertzsprungu i amerikancu Henry N. Russellu.



Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley.

Hertzsprung-Russellov dijagram (copyright: Paerson Education Inc.)

Pokazano je da velika većina zvijezda spada u tzv. patuljke, što je pogrešan naziv jer su to normalne zvijezde kao i naše Sunce. Patuljci formiraju tzv. glavni niz zvijezda ("patuljak" i "zvijezda glavnog niza" su obično sinonimi) na HR dijagramu. Na krajnjoj lijevoj strani niza gdje su najveće temperature na HR dijagramu nalaze se O zvijezde, koje su veoma luminozne. Na dijelu koji počinje sa zvijezdama klase

O3, zvijezde mogu zračiti gotovo milion puta (!) više nego Sunce, pri čemu njihov radijus može biti i do 20 puta veći od Sunčevog. Kako se temperatura smanjuje duž glavnog niza na HR dijagramu, kroz klase B i A, luminozitet se dramatično smanjuje. Kod zvijezda klase A, luminozitet je tek do oko 50 puta veći od Sunčevog. S druge strane, zvijezde klasa M, L i T su veoma "tamne", i nijedna se ne može vidjeti golim okom; zvijezde klase T zrače tek sto hiljaditi dio zračenja Sunca. Ovo je u korelaciji sa već spomenutim razlikama u apsolutnim magnitudama ekstremnih zvijezda u odnosu na Sunce.

Glavni niz Hertzsprung-Russellovog dijagrama je zapravo niz zvijezda koje vrše termonuklearnu fuziju vodika, i imaju mase na jednom kraju do 100 Sunčevih, a na drugom do jedne desetine mase Sunca. Nazivaju se patuljcima kako bi ih razlikovali od mnogo luminoznijih i većih zvijezda koje nazivamo divovi, a koje se nalaze u razredima O do M (klase L i T su ograničene na smeđe patuljke). Kao što se može vidjeti na HR dijagramu, razlike koje razdvajaju patuljke od zvijezda divova su najveće u klasama zvijezda manje temperature, klasama M i K divova (npr. Betelgez, Antares) koje nazivamo crveni divovi.

Izraz "div" za neke zvijezde je potpuno opravdan. Generalno govoreći, količina energije koja se emituje po kvadratnom metru površine čvrstog tijela ili vrućeg gasa pod visokim pritiskom povećava se rapidno povećavanjem temperature. Udvostručavanjem temperature, površina tijela emituje 16 puta više zračenja. To praktično znači da ekstremnu luminoznost zvijezda male temperature mora kompenzirati ogromnim radijusom. Tako npr. ekstremni div klase M može imati ukupni (bolometrijski) luminozitet 20 magnituda (100 miliona puta!) veći od luminoziteta M patuljka. Treba uočiti da se ovdje radi o istoj klasi. U ekstremnom slučaju, oni mogu imati prečnike preko 100 puta veće od prečnika Sunca, i ako bih ih postavili unutar Sunčevog sistema umjesto naše zvijezde, ove zvijezde bi se protezale do orbite Marsa. Idući prema klasama zvijezda veće temperature, razlika između divova i patuljaka postaje sve manja, a u blizini klase A ona praktično nestaje.

Još veći i luminozniji od divova su zvijezde superdivovi. Unutar klase M, oni mogu biti i do stotinu puta (!) luminoziniji od samih divova. Najveći superdivovi bi, kada bi stajali umjesto Sunca, dosezali čak do Saturnove orbite, i imali zapreminu u koju bi moglo stati više od milijardu Sunaca! Dok superdivovi obuhvataju čitav niz spektralnih klasa, poput divova i oni postaju postupno manji idući prema zvijezdama veće temperature. Iznad superdivova su iznimno luminozni hiperdivovi (npr. V1489 Labuda ili VY Velikog psa) zvijezde poznate po tome što rapidno gube svoju masu i imaju životni vijek tek nekoliko miliona godina.

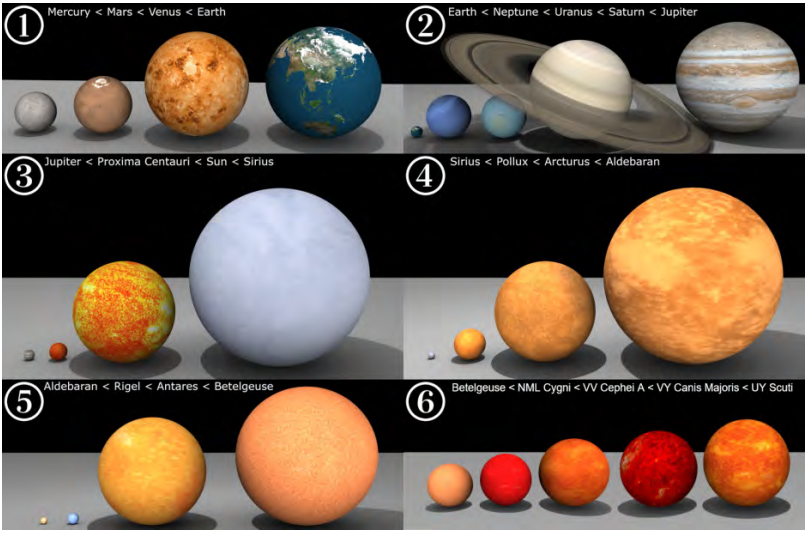
Između divova i patuljaka po luminoznosti i radijusu nalaze se tzv. subdivovi, dok su samo malo manje luminozniji od patuljaka (pri istoj temperaturi) – subpatuljci.

Na dnu ove ljestvice veličina su zvijezde koje nisu mnogo veće od Zemlje. Prva pronađena ovakva zvijezda izgledala je bijele boje pa im je dat naziv "bijeli patuljci", kako bi se razlikovali od običnih patuljaka kao što je Sunce. Jedan od najpoznatijih bijelih patuljaka je druga, manja zvijezda u binarnom zvjezdanom sistemu Sirius. Temparatura bijelih patuljaka se kreće od oko 3000K do oko 100000K, što znači da postoje crvene i plave varijante bijelih patuljaka. Ono što ih spaja je njihova mala veličina.

Kao što je već rečeno, astronomi upotrebljavaju rimske brojeve kako bi opisali luminozitet zvijezda. Na vrhu, rimski I, su superdivovi. Superdivovi imaju tako širok raspon, da su podijeljeni na svjetlije Ia i tamnije Ib. Odatle se spuštamo kroz luminozne divove (II), divove (III), subdivove (IV) do patuljaka/zvijezda glavnog niza (V). Iza oznake V postoje i oznaka sd (subdivovi) i D (bijeli patuljci). Sve ove oznake se dodaju nakon spektralne klasifikacije kako bi dobili potpuniji opis zvijezde.

Sunce je G2 V zvijezda patuljak, Vega A0 V patuljak, Antares M2 Iab superdiv (između klasa Ia i Ib), Arcturus K1 III div. Nakon što su definisani ovi nazivi, otkriveni su rijetki hiperdivovi i pošto u rimskom pismo nema broja 0, oni se označavaju dodatno sa "0", pri čemu ne

treba miješati spektralnu klasu "O" oznakom "0" koja pokazuje luminozitet hiperdiva.



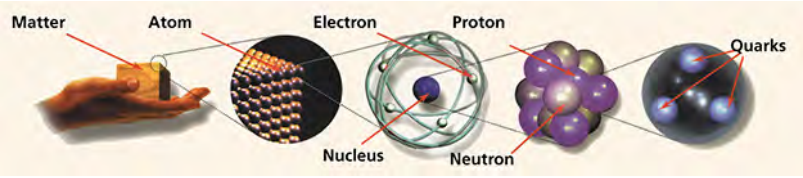
Relativne veličine planeta i nekoliko zvijezda (izvor: wikipedia)

Sunce klase G, iako se po danu čini svjetlim (nama jeste), na udaljenosti od 100 svjetlosnih godina ne bi se moglo vidjeti bez teleskopa. To se odnosi i na manje luminozne zvijezde. Dakle, zvijezde koje vidimo golim okom na noćnom nebu su većinom luminoznije od našeg Sunca. Sazviježđa se uglavnom sastoje od divova klasa A i B (čak i poneki superdiv). Ali realnost je mnogo drugačija. Velika većina zvijezda na nebu su patuljci klasa M, L i T koje ne možemo vidjeti golim okom, a oni čine čak oko 80% svih zvijezda. Penjući se glavnim nizom na HR dijagramu, brojevi zvijezda rapidno opadaju; manje od jedne u milion zvijezda je zvijezda klase O.

Sve ovo govori da je većina zvijezda na nebu sjajnija od Sunca, ali većina zvijezda u svemiru je manje sjajna od Sunca! Noćno nebo prepuno je objekata koje ne možemo vidjeti golim okom, a koji dominiraju nebom.

11. Kako zvijezde stvaraju elemente?

Sve što vidimo izgrađeno je od atoma koji se sastoje od jezgre i elektronskog omotača, dok se sama jezgra sastoji od protona i neutrona, a ovi od kvarkova. U Velikom sudaraču hadrona u CERN-u trenutno se ispituje da li se kvarkovi sastoje od nečeg još misterioznijeg. Dosad smo otkrili šest kvarkova s neobičnim imenima koje su im dali ne previše maštoviti fizičari: dolje i gore, strani i šarmantni, dno i vrh. Generalno govoreći, da bismo napravili jedan proton ili neutron, trebaju nam tri kvarka iz skupine gore i dole. Kvarkovi su nastali na samom početku svemira, u Velikom prasku prije 13,8 milijardi godina.



Konstituenti materije (izvor: wikipedia)

U djeliću sekunde nakon Velikog praska temperatura je iznosila oko 100 milijardi Kelvina (10^{11} K) – toliko visoka temperatura da atomi, pa čak ni jezgra ne mogu da egzistiraju. Materija se sastojala od elementarnih čestica: elektrona, pozitrona, neutrina, fotona i male količine protona i neutrona.

Za otprilike par sekundi, kako je svemir postajao hladniji i njegova gustina opadala, kvarkovi su se počeli ujedinjavati u protone i neutrone. Ovi protoni i neutroni su se slijedećih dvadesetak minuta sjedinjavali u jezgre deuterijuma, tricijuma, helijuma, litijuma i berilijuma, ili su ostajali kao pojedinačni protoni, tj. jezgre vodika. Neki od tih protona, u obliku jezgre vodika, dio su i našeg tijela, pa je otprilike 10% (procentualna količina vodika u tijelu čovjeka) našeg tijela staro 13,8 milijardi godina!

Što se tiče atoma, postoje tri glavna procesa u kojima su se stvarali (ili se i dalje stvaraju) atomi: prvobitna nukleosinteza lakih elemena-

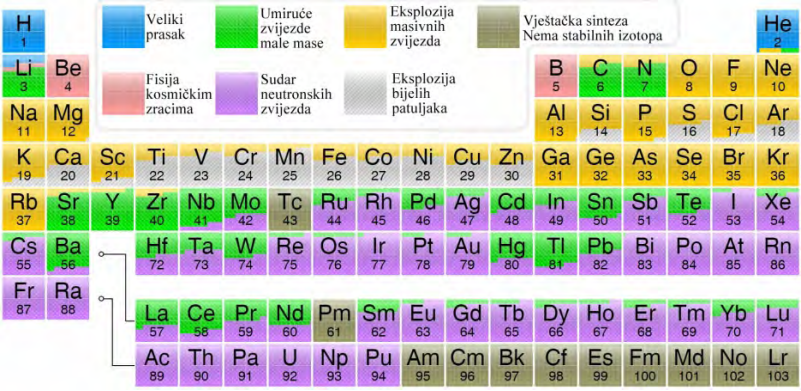
ta koja se odvijala neposredno nakon Velikoga praska, nukleosinteza koja se u kasnijoj historiji svemira odvijala (i još uvijek odvija) u zvijezdama, a jedan dio elemenata nastaje nakon što zvijezde okončaju svoj životni vijek (u eksplozijama supernovih ili pri sudaru neutronskih zvijezda).

Prvobitna nukleosinteza (stvaranje elemenata) se dogodila kada se svemir širenjem toliko ohladio da je postalo moguće da opstanu prva jezgra. Iako je sama nukleosinteza trajala nekih 5 minuta, prvi atomi su morali da sačekaju još 380000 godina kako bi se svemir uslijed širenja ohladio na 3000 K. Svemir je postao pun neutralnih atoma, a fotoni su tada počeli da se slobodno prostiru i kosmos je postao prozračan.

Proračuni su pokazali da bi svemir danas trebalo da bude ispunjen mikrotalasnim zračenjem koje bi trebalo da dolazi iz svih pravaca, a koje potiče od fotona oslobođenih upravo pri rekombinaciji. Zato je otkriće mikrotalasnog pozadinskog šuma 1965. godine na temperaturi od oko 3K predstavljalo jedno od najznačajnih otkrića dvadesetog vijeka.

Penzias i Wilson su, mada sasvim slučajno, detektovali signal iz svemira za koji se ispostavilo da dolazi iz svih pravaca. To je govorilo o tome da je svemir 380000 godina nakon Velike eksplozije (Big Bang) bio prilično homogen i izotropan. Zanimljiva je spoznaja da su neki fotoni, nastali kad je svemir bio star 380000 godina, putovali svemirom 13,8 milijardi godina i sada padaju na našu kožu i sudaraju se s nama.

Nastanak hidrogena i helijuma omogućio je rađanje prvih zvijezda, otprilike 550 miliona godina nakon Velikog praska. Samo ta dva laka elementa mogla su da prežive i izrone iz nevjerovatnog vrtloga rađanja ovog veličanstvenog svemira. Ali svima je poznato da je svijet oko nas sastavljen od mnogo težih elemenata. Tu ima kiseonika i nitrogena u vazduhu koji udišemo, kalcijuma i kalijuma u našim kostima i u koži, a željezo je u krvi koja teče našim venama.



Periodni sistem nukleosinteze
(copyright: Jennifer Johnson, Ohio State University)

Smatra se da je primordijalna nukleosinteza (prvobitno stvaranje hidrogena i helijuma) trajala relativno kratko. Formiranjem prvih zvijezda iz oblaka vodika i helijuma, stvorile su se i fabrike za proizvodnju težih hemijskih elemenata. Zvijezde su postale svojevrsni alhemičari, mašine za recikliranje materije i kreatori potencijalnog života.

Hemijski elementi do željeza se stvaraju proton-proton ciklusom, CNO procesom, alfa procesom, litijumskom fuzijom, karbonskom fuzijom, neonskom fuzijom, fuzijom kisika i silicijumskom fuzijom. Elementi teži od željeza stvaraju se neutronskim zahvatom (prihvatima neutrona u težim jezgrama), protonskim zahvatom (prihvatima protona), te fotodezintegracijom (kojom mogu nastati i lakši elementi).

Proces stvaranja hemijskih elemenata u zvijezdama počinje u tzv. proton-proton ciklusu. Ovaj lanac reakcija odigrava se u jezgrima zvijezda u mirnom stadijumu svog evolutivnog razvoja (kao npr. kod Sunca). Ovaj niz reakcija odgovoran je za nastanak energije koja je omogućila početak života na Zemlji.

U proton-proton ciklusu, na temperaturi iznad 4 miliona K, odigrava se lanac nuklearnih reakcija u kojima reaguju četiri jezgra vodika

koja se ujedinjuju u jezgru helijuma-4 i pri tome još stvaraju dva fotona, dva neutrina i dva pozitrona (anti-elektrona). Zanimljivo je da ovim fotonima treba nekoliko stotina hiljada godina da se probiju do vanjske površine Sunca, da bi potom do Zemlje stigli za samo 8 minuta. S druge strane, neutrinima treba ukupno samo 8 minuta da izravno dođu od središta Sunca do nas jer materija za njih ne predstavlja prepreku. Mjerenjem ovih neutrina, što je tehnološki izuzetno kompleksan proces i odvija se u napuštenim rudnicima na par hiljada metara dubine u ogromnim spremnicima vode i uz pomoć super osjetljivih fotodetektora, možemo zaključiti šta se događa u središtu Sunca. Zanimljivo je da Sunce u ovom procesu pretvara masu u energiju, kroz poznatu Einsteinovu relaciju $E=mc^2$, te svake sekunde 4 milijarde kilograma pretvori u energiju. Dakle, svake sekunde Sunce je lakše za 4 milijarde kilograma. U jezgri Sunca svake sekunde oslobađa se energija veća od energije 100 milijardi nuklearnih bombi.

Kod većih zvijezda (min. za oko 30% većih od Sunca), i pri temperaturama većim od 15 miliona K, počinje tzv. CNO proces (ugljik-nitrogen-kisik niz), kojim zvijezde, također, pretvaraju vodik u helijum. U odnosu na proton-proton ciklus, kod CNO niza je potreban katalizator (izotopi ugljika, nitrogena i kisika služe kao katalizatori).

Kod CNO niza, četiri protona (jezgre vodika) se spajaju, koristeći izotope ugljika, nitrogena i kisika kao katalizatore, i stvaraju jednu alfa česticu, dva pozitrona i dva elektronska neutrina. Pozitroni će odmah nestati reagirajući s elektronima, oslobađajući energiju u obliku gama zračenja (fotoni velike energije), a neutrini napuštaju zvijezdu, također noseći dio energije. Ovaj proces predstavlja dominantan izvor energije za zvijezde 1,3 puta veće od Sunca, posebno pri temperaturama jezgre većim od 17 miliona K. Sunce sa temperaturom svoje jezgre oko 15,7 miliona K, tek 1,7% helijuma proizvodi preko CNO niza.

Kada se istroši vodik, dolazi do narušavanja ravnoteže između pritiska i gravitacije pa dolazi do sažimanja zvijezde uslijed čega se povećava njena temperatura. Sada glavnu ulogu ima helijum koji se gomila u jezgru zvijezde. Kada temperatura jezgre zvijezde dostigne 100

miliona K (npr. kod crvenih divova i crvenih superdivova), jezgre helijuma počinju da se sudaraju (pri čemu njihova energija postaje veća od energije odbojnih elektrostatičkih sila) i počinju procesi fuzionih reakcija, tzv. trojni alfa proces i alfa proces (alfa stepenice).

U trojnom alfa procesu helijum se pretvara prvo u (nestabilne atome) litijum i berilijum, a potom u ugljik i nešto kisika. Na ovoj temperaturi i gustini, alfa čestice mogu se spajati dovoljno brzo da proizvedu značajne količine ugljika i vrate termodinamičku ravnotežu jezgri zvijezde.

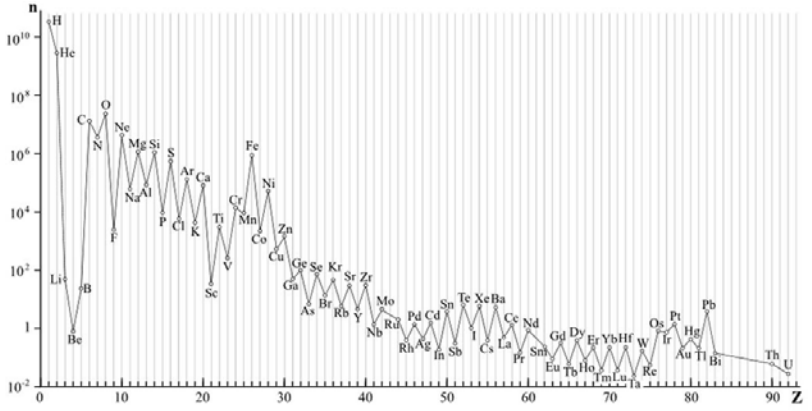
S druge strane, u alfa procesu (jezgre helijuma su alfa čestice) se stvaraju elementi teži od ugljika, sve do nikla, i to fuzijom pojedinačnih elemenata sa helijumom.

Zbog većeg broja protona u jezgrima težim od ugljika, fuzija težih elemenata zahtijeva veoma visoke temperature. Zato elementi teži od ugljika nastaju uglavnom na lakši način, spajanjem sa helijumom. Odbojna sila između dva jezgra ugljika je npr. tri puta veća nego odbojna sila između ugljika i helijuma, pa se fuzija ugljika i helijuma odigrava na nižim temperaturama nego fuzija dva jezgra ugljika.

Tako na temperaturi od 600 miliona K, jezgro ugljika-12 sa jezgrom helijuma-4 proizvodi kiseonik-16, uz oslobađanje energije. Na temperaturi većoj od 1,2 milijarde K može doći do sudara dvije jezgre kiseonika-16 i njihove fuzije u sumpor-32, ali i ovdje je veća vjerovatnoća da jezgro kiseonika reaguje sa helijumom i pri tome nastane neon-20.

Elementi sa masenim brojem djeljivim sa 4 (ugljik-12, kisik-16, neon-20, magnezijum-24, itd) su najrasprostranjeniji upravo zato jer je fuzija težih elemenata sa jezgrom helijuma dosta učestala. Ovi elementi predstavljaju maksimume na grafikonu rasprostranjenosti elemenata u svemiru.

Eksperimenti pokazuju da se jezgre, koje se po masi nalaze između onih nastalih fuzijom helijuma (npr. fluor-19, natrijum-23, fosfor-31, itd), stvaraju reakcijama oslobođenih (uslijed visoke temperature) protona i neutrona sa drugim jezgrama.



Grafikon rasprostranjenosti hemijskih elemenata u svemiru
(osa z predstavlja atomski broj; izvor: astronoo.com)

Proizvodnja elemenata težih od (stabilnog) nikla zahtijeva energiju, umjesto da je oslobađa, pa se ovdje završava alfa proces.

Međutim, fuzija težih elemenata (do željeza) može se, osim trojnih alfa i alfa procesa, odvijati i pomoću litijumske, karbonske, neonske, oksigenske i silicijumske fuzije.

Litijumska fuzija je nuklearna reakcija u nekim manjim zvijezdama (smeđi patuljci) koja obično pokazuje da zvijezda rapidno gubi litijum. Litijumski lanac počinje reakcijom litijuma-6 i protona, nakon čega se u međufazi stvaraju berilijum-6, berilijum-7 i litijum-7, i u konačnici helijum-4 i energija.

Karbonska fuzija predstavlja nuklearnu reakciju unutar jezgri masivnih zvijezda (početne mase preko 8 masa Sunca), temperature jezgre preko 600 miliona K, pri kojoj se međusobno spajaju (uz oslobađanje energije) atomi ugljika-12 da bi nastali neon-20, natrijum-23, magnezijum-23, magnezijum-24 i kiseonik-16.

Neonska fuzija je reakcija, takođe, unutar masivnijih zvijezda (mase preko 8 masa Sunca), temperature jezgre preko 1,2 milijarde K. Pri ovim temperaturama dolazi do tzv. fotodezintegracije, tj. gama zraci

imaju dovoljnu energiju da izbace jedan ili više neutrona, protona ili alfa čestica iz jezgre, što dovodi do toga da se mogu stvarati novi atomi. Kod neonske fuzije spajaju se atomi neona-20 i neona-21 sa helijumom-4 ili gama zracima ili neutrinima, da bi nastali kiseonik-16 i magnezijum-24. Neonska fuzija nastupa nakon što karbonska fuzija potroši sav ugljik iz jezgre, stvarajući jezgru u kojoj će dominirati kiseonik, magnezijum i neon.

Fuzija kisika, koja se isto javlja u masivnim zvijezdama, nastupa nakon neonske fuzije i slična je karbonskoj fuziji, uz temperaturu preko 1,5 milijardi K. Elementi koji nastaju u procesu fuzije kisika su silicijum-28, sumpor-32 (33, 34), hlor-35 (37), argon-36 (38), kalijum-39 (41), i kalcijum-40 (42). Od ovih najviše otpada na silicijum-28 i sumpor-32, oko 90%.

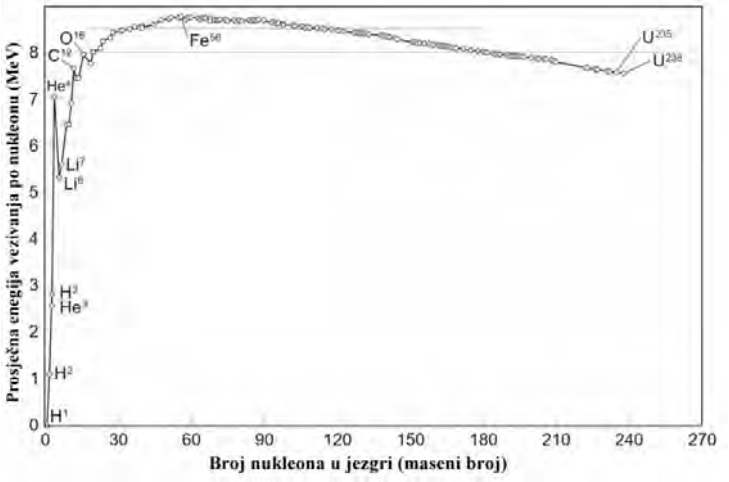
Silicijumska fuzija je veoma kratka, ali važna, sekvencija nuklearnih reakcija koja se događa u jezgrama masivnih zvijezda (mase između 8 i 11 Sunčevih), a slijedi nakon faze fuzije kisika. Dešava se pri temperaturama preko 2,7 milijarde K, pri kojoj dolazi do fotodezintegracije, čime se kreiraju novi elementi dodavajući oslobođenu alfa česticu (jezgro helijuma) u svakom koraku procesa. Ovaj proces odigrava se u nekoliko etapa pri čemu nastaju sumpor-32, argon-36, kalcijum-40, titanijum-44, hrom-48, željezo-52 i kao krajnji produkt nikl-56. Kada zvijezda završi sa fazom silicijumske fuzije, daljnja fuzija nije moguća i zvijezda eksplodira (supernova tipa II).

Faza	Potrebna temp.	Potrebna prosj. gustina	Trajanje
Fuzija vodika	$4 \cdot 10^7$ K	5 g/cm^3	7 miliona godina
Fuzija helijuma	$2 \cdot 10^8$ K	700 g/cm^3	700 hiljada godina
Fuzija ugljika	$6 \cdot 10^8$ K	200 000 g/cm^3	600 godina
Fuzija neona	$1{,}2 \cdot 10^9$ K	4 milliona g/cm^3	1 godina
Fuzija kisika	$1{,}5 \cdot 10^9$ K	10 million g/cm^3	6 mjeseci
Fuzija silicijuma	$2{,}7 \cdot 10^9$ K	30 million g/cm^3	1 dan

Faze, potrebna teperatura, gustina i trajanje pojedine faze za zvijezdu mase 25 masa Sunca (izvor: Cornell University)

Zbog čega daljna fuzija nije moguća? To ima veze sa tzv. energijom vezivanja – energijom potrebnom da se jezgro atoma rastavi na dijelove. Energija vezivanja po nukleonu (proton ili neutron) mijenja se za različite elemente. Laki elementi kao što je vodik oslobađaju veliku količinu energije (veliko povećanje energije vezivanja) kada se spajaju u teže elemente. S druge strane, teški elementi kao što je uranijum oslobađaju energiju kada se raspadaju na lakše elemente – proces nuklearne fisije. Iako jezgre željeza-58 i nikla-62 imaju najveću energiju vezivanja po nukleonu, pretvaranje nikla-56 (14 alfa čestica) u slijedeći element cink-60 (15 alfa čestica) predstavlja smanjenje energije vezivanja po nukleonu i troši energiju umjesto da je oslobađa. U skladu s tim, nikl-56 je posljedni element koji se proizvedi fuzijom u zvijezdama velike mase.

Izotop nikla-56 je nestabilan i brzo se raspada, prvo na kobalt-56 koji kasnije daje stabilno željezo-56. Jezgro željeza-56 je najstabilnije atomsko jezgro, sadrži 26 protona i 30 neutrona koji su povezani jače nego u bilo kojem drugom atomskom jezgru. Budući da željezo-56 ima najveću energiju veze jezgra, elementi iz grupe željeza rasprostranjeniji su u odnosu na neke lakše elemente.



Energija vezivanja za različite atome (izvor: space.com)

Stigli smo do proizvodnje elemenata težih od željeza koji se proizvode neutronskim zahvatom – nastanak težih jezgri apsorpcijom neutrona (s- i r-procesi), protonskim zahvatom (Rp i p procesi), te fotodezintegracijom.

S-proces je, uz r-proces, prevladavajući mehanizam za proizvodnju teških elemenata, a predstavlja nukleosintezu pomoću sporih zahvata neutrona. S-proces prvenstveno se događa unutar AGB zvijezda (eng. Asymptotic Giant Branch), gdje je kontinuirani fluks neutrona dovoljan da uzrokuje reakcije u jezgri zvijezde, ali je prespor za r-proces. S-proces je sekundarni proces, što znači da zahtijeva već postojeće teške izotope kao jezgre koja se pretvaraju u druge teške jezgre. Zamislimo da imamo dovoljne zalihe željeza-56 i da imamo na raspolaganju difuzan izvor slobodnih neutrona gdje je prosječna brzina hvatanja (pri kojoj jezgro hvata neutrone) mnogo sporija od prosječne brzine beta raspada (radioktivni raspad pri kojem se brzi elektroni, pozitroni i neutrina emituju iz jezgra atoma). Ustanovljeno je (Pagel 1997) da u prosjeku stotine do hiljade godina mogu proći između pojedinačnih neutronskih zahvata. S-proces je zaista spor. U ovakvoj situaciji, jezgro će sporo hvatati neutrone, npr. može doći do slijedeće sekvencije: željezo-56 > željezo-57 > željezo-58 > željezo-59, nakon čega slijedi reakcija željezo-59 > kobalt-59 (beta raspad). Ovaj proces se nastavlja, gradeći jezgra sve dok se ne dođe do olova-208 i bizmuta-209. Iza ove tačke, nijedno jezgro nije dovoljno stabilno da bi se mogli efikasno hvatati neutroni. Dakle, aktinidi (skupina od 15 elemenata koji leže između aktinijuma i lorensijuma s atomskim brojevima od 89-103 u periodnom sistemu) se ne mogu sintetizirati s-procesom. Proračuni bazirani na količini elemenata nastalih s-procesom doveli su do specifičnih detalja (temperatura, trajanje, gustina neutrona) o astrofizičkom okruženju u kojem se vrši taj proces. Takva okruženja su AGB zvijezde, stare, uglavnom istrošene zvijezde sa jezgrom od ugljika i kiseonika. Održavaju se fuzijom helijuma u ljuski oko jezgre. Nakon što se elementi formiraju s-procesom, zvijezda ih konvekcijom izbaci na površinu, a potom ih zvjezdani vjetar ili supernova raspršе po svemiru i time se obogaćuje međuzvjezdana materija.

S-proces može da objasni nastanak elemenata zaključno sa bizmutom-209, najtežim neradioaktivnim elementom, ali ne može da odgovori na pitanje kako su nastali elementi kao što su npr. torijum-232, uranijum-238, plutonijum-242, osmijum-192 itd. Svaki pokušaj nastanka jezgre teže od bizmuta u s-procesu je nemoguć zbog toga što se novonastalo jezgro raspada za isto ili čak kraće vrijeme nego što je potrebno za njegovo formiranje. Naučnici su došli do zaključka da mora postojati još jedan proces nukleosinteze koji omogućava nastanak tih težih elemenata. Taj proces nazvan je r-proces ili proces brzog hvatanja neutrona. To je skup nuklearnih reakcija koje su odgovorne za stvaranje otprilike polovine atomskih jezgri težih od željeza. Proces podrazumijeva niz brzih prihvata neutrona u teškim jezgrama, tipično od željeza-56 pa dalje. Zahvati moraju biti brzi u smislu da jezgra nema vremena da prođe kroz radioaktivno raspadanje prije nego što drugi neutron stigne da bude zarobljen. R-proces se zato događa na mjestima gdje postoji velika gustina slobodnih neutrona. To uključuje materijal koji je izbačen iz jezgre kolapsirane zvijezde (supernove) i dekompresije materije bogate neutronima izbačene iz tzv. kilonove (proces spajanja binarnog sistema neutronskih zvijezda ili crnih rupa koji oslobađa veliku količinu energije i uzurpira samo tkivo svemira). Posljedica kratkog trajanja eksplozije, tj. kratkog vremenskog intervala u kome postoje povoljni uslovi za odigravanje r-procesa je da je mogućnost nastajanja teških elemenata, težih od željeza, vrlo mala i zbog toga je njihova rasprostranjenost oko milijardu puta manja nego rasprostranjenost vodika i helijuma u svemiru. R-proces također se pojavljuje u manjoj mjeri u eksplozijama termonuklearnih oružja. To je dovelo do otkrića elementa einsteinijum (element 99) i fermijum (element 100) u ostacima eksplozije nuklearnih bomba.

Drugi način, pored neutronskih zahvata, stvaranja težih jezgri je protonski zahvat gdje razlikujemo Rp-procese i p-procese.

Rp-proces (brzi proces hvatanja protona) sastoji se od uzastopnog hvatanja protona u atomske jezgre kako bi se proizveli teži elementi. To je proces nukleosinteze koji, zajedno sa s-procesom i r-procesom, može biti odgovoran za stvaranje mnogih teških elemenata prisutnih

u svemiru. Krajnja tačka Rp-procesa (najteži element koji može stvoriti) još uvijek nije sasvim jasna, ali nedavna istraživanja pokazuju da u neutronskim zvijezdama ne može napredovati dalje od telurijuma-105. Proces se mora odvijati pri vrlo visokim temperaturama (iznad milijardu K), tako da protoni mogu prevladati veliku Coulombovu barijeru (energetska barijera zbog elektrostatskog međudjelovanja između dvije jezgre, koje one trebaju savladati da bi se ostvarila nuklearna fuzija te dvije jezgre). Okoliš bogat vodikom je preduvjet zbog velikog fluksa protona koji je potreban. Smatra se da se jezgre potrebne za taj proces pojavljuju tokom reakcija CNO ciklusa u zvijezdi.

Smatra se da akrecijski binarni sistemi (gdje jedna zvijezda "proždire" masu druge zvijezde) u kojima je jedna od zvijezda – neutronska zvijezda predstavljaju povoljno mjesto za Rp-procese. Akrecijski materijal je obično bogat vodikom i helijumom jer potiče sa vanjskih slojeva zvijezde "donora". Budući da tako kompaktne zvijezde imaju jaka gravitacijska polja, materijal pada velikom brzinom prema kompaktnijoj zvijezdi u sistemu, obično se sudarajući sa nagomilanim materijalom na svom putu, formirajući tako akrecijski disk. U slučaju akrecije na neutronsku zvijezdu, budući da se ovaj materijal polako nakuplja na njenoj površini, imaće visoku temperaturu, reda oko 100 miliona K. Konačno, vjeruje se, u toj vrućoj atmosferi javljaju se termonuklearne nestabilnosti, omogućavajući temperaturi da raste sve dok ne dođe do termonuklearne eksplozije vodika i helijuma. Tokom bljeska, temperatura se brzo povećava i postaje dovoljno visoka da se započne Rp-proces. Iako početni bljesak vodika i helijuma traje samo sekundu, Rp-proces obično traje do 100 sekundi. Zato se Rp-proces opaža kao sastavni dio izbačaja rendgenskih zraka.

P-proces (p označava proton) je proces hvatanja protona od strane nekih jezgri pri čemu se formiraju izotopi bogati protonima (od selena do žive). Te jezgre nazivaju se p-jezgre i njihovo porijeklo još uvijek nije sasvim rasvjetljeno. Jezgre bogate protonima mogu se proizvesti sekvencijalnim dodavanjem jednog ili više protona atomskoj jezgri. Takva nuklearna reakcija naziva se reakcijom prihvata protona. Dodavanjem protona u jezgru, element se mijenja jer je hemij-

ski element definiran brojem protona u jezgri. Istodobno, mijenja se omjer protona i neutrona, što rezultira izotopom bogatim protonima. To je dovelo do izvorne ideje o formiranju p-jezgri: slobodni protoni (jezgre vodikovih atoma prisutne u zvjezdanoj plazmi) trebali bi biti uhvaćeni od strane teških jezgri (prethodno proizvedene s-procesom i/ili r-procesom) koje su, također, već prisutne u zvjezdanoj plazmi. Ovdje, međutim, postoje određene nejasnoće. Takvi protonski zahvati na stabilnim jezgrima, naime, nisu vrlo učinkoviti u proizvodnji p-jezgri, posebno težih jezgri, jer se električni naboj povećava sa svakim dodatnim protonom, što dovodi do povećanog odbijanja sljedećeg protona, prema Coulombovom zakonu. Što je Coulombova barijera veća, potrebna je veća kinetička energija protona da se približi jezgri i postane dio nje. Prosječna energija raspoloživih protona zavisi od temperature zvijezdane plazme. Čak i ako bi se ta temperatura proizvoljno mogla povećati (što nije slučaj kod zvijezda), protoni bi se prije uklonili iz jezgre fotodezintegracijom nego što bi ih jezgra mogla uhvatiti pri visokoj temperaturi. Moguća alternativa bi bila vrlo veliki broj protona koji bi bili dostupni, bez da se previše podigne temperatura. Takvi uvjeti, međutim, nisu pronađeni u supernovim čija jezgra kolapsiraju, a za koje se pretpostavlja da predstavljaju mjesto gdje se odigrava p-proces.

Fotodezintegracija (nazvana i fototransmutacija) je nuklearni proces u kojem atomska jezgra apsorbira visokoenergetsku gama zraku, pobuđuje se i odmah se raspada emitiranjem subatomske čestice. Dolazna gama zraka učinkovito izbacuje jedan ili više neutrona, protona ili alfa čestice iz jezgre. Fotodezintegracija je endotermna (zahtijeva energiju) reakcija za atomska jezgra lakša od željeza, a egzotermna (oslobađa energiju) za jezgra teža od željeza. U eksplozijama ekstremno velikih zvijezda (mase oko 250 masa Sunca) fotodezintegracija je veoma bitan proces.

Kako zvijezda stiže do kraja svog života, ona doseže temperature i pritiske u kojima fotodezintegracijski efekti apsorpcije energije privremeno smanjuju pritisak i temperaturu unutar jezgre zvijezde. To uzrokuje da se jezgra počinje raspadati dok se energija oduzima foto-

dezintegracijom, a urušavanje jezgre dovodi do formiranja crne rupe. Dio mase napušta zvijezdu u obliku relativističkih mlazova (mlazovi jonizovane materije brzine bliske brzini svjetlosti) koji raspršuju metale u svemir. Iz tih metala formiraće se novi planetarni sistemi.



Ostaci supernove (Simeis 147, maglina Špagete)
(copyright: Rogelio Bernal Andreo)

Svaka eksplozija supernove označava smrt jedne ogromne zvijezde, ali supernova nije samo simbol nestanka, ona je i znak novog stvaranja, novog početka. Ove snažne eksplozije obogaćuju međuzvjezdani prostor svim teškim elementima. Od tih novonastalih hemijskih elemenata stvaraju se nove generacije zvijezda, a oko tih zvijezda planete na kojima može nastati i neki oblik života.

12. Da li čovjek može stvoriti elemente?

U posljednjih 75 godina znanstvenici su dodali još 24 elementa u periodni sistem elemenata i stvorili još nekoliko drugih koji su tako rijetki da možemo samo nagađati o njihovom postojanju u prirodi.

Rub katastrofe za velike zvijezde je prag života za ostatak periodnog sistema. U posljednjoj sekundi života zvijezde, njezina jezgra se tako

čvrsto zbije da postaje gusta kao atomska jezgra. Kada se ne može više materije stisnuti u jezgru, zvijezda eksplodira energijom 10^{27} većom od energije atomske bombe. U ovoj nasilnoj eksploziji rađa se više od polovine elemenata periodnog sistema. Intenzivna toplota eksplozije katalizira nuklearne reakcije koje nisu bile moguće u jezgri. Elementi koji su bombardirani neutronima, guraju se unutar jezgre između protona i elektrona, stvarajući nove jedinstvene elemente. Željezo se pretvara u zlato, zlato se pretvori u olovo, i tako dalje sve do uranijuma, najtežeg prirodnog elementa koji se generira iz pepela zvijezda.

Ova spektakularna izmjena života i smrti stvara skoro sve što vidimo u svemiru. Pa, gotovo sve. Postoji još 27 elemenata periodnog sistema nakon uranijuma koje nisu stvorile zvijezde. Malo nekih elemenata je proizvedeno raspadom drugih elemenata. Ali čak ni dugi radioaktivni lanac raspadanja nije dovoljan da proizvede ultra teške elemente periodnog sistema. Periodni sistem bi se tu okončao da naučnici nisu pomakli granice prirodne fizike i ušli dublje u svijet super teških elemenata.

Da bi stvorili nove elemente, naučnici su posudili tehnike sa neba. Transuranijumski elementi vještački su kreirani bombardiranjem uranijuma neutronima i čekajući da impregnirana jezgra postane radioaktivna i pretvori svoj dodatni neutron u proton, elektron i antineutrino bez naboja i skoro bez mase. Ali nakon fermijuma (element 100), tehnika zračenja i čekanja prestaje funkcionisati. Fizičari visoko-energetskih čestica "pojačali su igru" i stvorili još težih elemenata. Trik je bio da jezgre dva atoma spoje u jednu veliku jezgru, stvarajući jedinstven atom. Naučnici su krenuli malim koracima – bombardirali su einsteinijum (99) helijumom (2) kako bi stvorili mendelevijum (101); lansirali su neon (10) na uranijum (92) kako bi stvorili nobelijum (102). Konačno, naučnici su "izvadili velike topove" i bombardirali olovo (82) sa cinkom (30) kako bi stvorili kopernicijum (112) i kalifornijum (98) kojeg su "gađali" kalcijumom (20) kako bi se stvorio element 118, koji se privremeno naziva ununoktijum.

Ali zašto naučnici uspijevaju tamo gdje zvijezde ne uspijevaju? Istina je da zvijezde uvijek uspijevaju. U oluji njihove smrti neke zvijezde vjerojatno stvaraju i super teške elemente – čak i elemente teže od onoga što smo mi stvorili u laboratorijama – ali ti elementi ne preživljavaju dugo u burnom haosu supernove. Vrlo teški elementi su tako krhki da žive samo nekoliko mikrosekundi prije nego što se raspadnu u sablazan otpadnih metala.

Postoji granica broja protona i neutrona koji se mogu stisnuti unutar atomske jezgre, ali mi je još nismo pronašli. Protoni su pozitivno naelektrisani, a zbog toga što se ista naelektrisanja odbijaju, protoni su u kontinualnom duelu koji se može nazvati "ova jezgra nije dovoljno velika za oboje". Neutroni nemaju naboj i donekle smiruju ovaj dvoboj protona.

Čitavu jezgru drži na okupu jaka sila – tajanstvena sila koja djeluje poput bungee kabla i drži sve zajedno na okupu. No, kad tad, protonska repulzija nadvlada jaku silu, pa ni neutralni neutroni ne mogu spriječiti emigriranje alfa čestica (dva neutrona i dva protona) iz jezgre. Dakle, pravo pitanje je: do koliko velikog atomskog broja elementa možemo ići?

Dok smanjujemo jaz između onoga što postoji i onoga što može postojati, zakoni fizike na kraju će nas sigurno zaustaviti da uđemo još dublje u svijet sintetičke materije. Naučnici će nastaviti gurati granicu "fizički mogućeg", ali za sada se čini da se periodični sistem približava završetku.

13. Od kojih elemenata se sastoje zvijezde?

Zvijezde su gasovita tijela, sastavljena pretežno od dva hemijska elementa, vodika i helijuma.

Kada se zvijezde formiraju u našoj galaksiji one se, gledajući po masi, u prosjeku sastoje od oko 71% vodika i 27% helijuma (Sunce se trenutno po masi sastoji od oko 74% vodika i 24% helijuma, te manje od 2% ostalih elemenata), uz manji maseni procenat težih elemena-

ta. Obično se udio težih elemenata mjeri prema sadržaju željeza u atmosferi zvijezde, jer je željezo relativno zastupljen element i njegove apsorpcione linije se lako uočavaju. Udio težih elemenata može biti indikator da li zvijezda ima planetarni sistem.

Zvijezda sa najnižim sadržajem željeza ikad izmjerenim je patuljak HE1327-2326 koji ima samo 1/200000 dio željeza koje ima Sunce. S druge strane, zvijezda Rasalas (u sazviježđu Lav) ima duplo više željeza nego naše Sunce, a zvijezda 14 Herkula (koja ima potvrđen planetarni sistem) skoro tri puta više željeza. Postoje i neke specifične zvijezde koje imaju neobične količine određenih elemenata u spektru, npr. hrom ili rijetke zemne elemente (petnaest lantanoida uz skandijum i itrijum). U zvijezdama manje temperature mogu postojati molekule, a u Suncu su, između ostalih, pronađene i slijedeće molekule: MgH, CaH, FeH, CrH, NaH, OH, VO i TiO.

Hemijski sastav zvijezda glavnog niza na HR dijagramu zapreminski je sličan sastavu Sunca – oko 90% otpada na vodik, 10% na helijum i tek 0,15% na ostale elemente. Od ostalih elemenata najviše otpada na kiseonik, nakon čega slijede ugljik, neon i nitrogen. Nasuprot tome, Zemlja, skoro potpuno lišena vodika i helijuma, izgrađena je pretežno od težih elemenata. Međutim, u Suncu ima 1300 puta manje kiseonika nego vodika. Jednu trećinu Zemlje čini željezo (koncentrisano pretežno u njenoj jezgri) dok Sunce ima 32000 puta manje atoma željeza nego atoma vodika. A željezo je u poređenju sa ostalim elementima u zvijezdama dosta zastupljeno. Npr. uranijum u prosjeku čini tek jedan bilioniti dio (milion milijarditi dio) vodika u zvijezdama.

Kod zvijezda koje nisu patuljci, osim njihove temperature, varijacija hemijskog sastava zvijezde značajno utiče na razlike u njihovim spektrima. Većina zvijezda divova npr. ima oko dva puta više kiseonika nego ugljika. Međutim, kod nekih je situacija obrnuta – to su tzv. karbonske zvijezde – zvijezde koje zrače u infracrvenom dijelu spektra, i čiji spektri su prepoznatljivi po apsorpcijskim linijama ugljika i njegovih jedinjenja. Naravno, i kod ovih zvijezda vodik dominira kao gorivo. Takve divovske zvijezde označene su slovima R i N. Klasa R

ima temperature slične kao zvijezde divovi klase G i K, dok klasa N ima temperature slične temperaturi zvijezda klase M.

Između zvijezda divova klase M (u kojima ima više kiseonika nego ugljika) i zvijezda klase N (gdje ima više ugljika nego kiseonika), nalaze se zvijezde divovi klase S koje sadrže otprilike istu količinu kiseonika i ugljika. Zvijezde klase S i N obogaćene su i drugim elementima, uključujući i cirkonijum koji pomaže pri formiranju zvijezda klase S. Spektri zvijezda klase S su karakteristični upravo po apsorpcijskim linijama cirkonijum oksida.

Kod divova i superdivova nalazimo zvijezde kod kojih skoro da i nema vodika – one su bogate helijumom, ugljikom, nitrogenom i drugim elementima.

U astronomiji i kozmologiji, metaličnost (metalicitet) predstavlja udio mase zvijezde (ili bilo kojeg drugog svemirskog objekta) koji nije vodik ili helijum. Većina poznate materije u svemiru u obliku je vodika i helijuma, pa se astronomi služe izrazom metali kao pogodnim za sve elemente osim vodika i helijuma. Ova se upotreba razlikuje od obične fizičke definicije krutog metala. Zvijezde i magline s visokim udjelom ugljika, nitrogena, kiseonika i neona smatraju se bogatim metalima u astrofizičkom smislu, iako se u hemiji ti elementi smatraju nemetalima.

Metalicitet zvijezda (i drugih astronomskih objekata) se vremenom mijenja mehanizmima zvjezdane evolucije i stoga daje indikaciju njihove starosti. U kozmološkim uvjetima, svemir se hemijski konstantno razvija. Prema teoriji Big Banga (Veliki prasak), rani svemir prvobitno se sastojao od vodika i helijuma, s tragovima litijuma i berilijuma, ali bez teških elemenata.

Kroz proces zvjezdane evolucije, zvijezde prvo generiraju energiju sintetiziranjem metala iz vodika i helijuma nuklearnim reakcijama, zatim raspršuju većinu svoje mase zvjezdanim vjetrovima ili eksplodiraju kao supernova, raspršujući nove elemente u svemir. Vjeruje se da starije generacije zvijezda obično imaju niži metalicitet od zvijezda

mlađih generacija koje su bile formirane u metalom veoma siromašnom ranom svemiru.



Molekularni oblaci prašine snimljeni ekspozicijom od oko 60h
(copyright: Rogelio Bernal Andreo)

Kako zvijezde stare i kreiraju teške elemente (od ugljika do uranijuma), razbacuju ih po međuzvjezdanom prostoru i okolnom gasu, iz čega se kasnije rađaju nove zvijezde (i planetarni sistemi oko njih). Kao rezultat toga, sadržaj teških elemenata u galaksiji se vremenom povećava. Starije zvijezde zato imaju manji sadržaj težih elemenata (metala), pa zato npr. subdivovi sa niskim sadržajem metala predstavljaju veoma stare zvijezde. To su zvijezde koje se obično nalaze izvan galaktičkog diska (prepoznaju se po velikim brzinama), a neke se nalaze i u galaktičkom "halou" za koji se procjenjuje da je star barem 13 milijardi godina.

14. Kolike su mase zvijezda?

Procjena mase zvijezda olakšana je postojanjem binarnih zvjezdanih sistema (dvije zvijezde u međusobnoj orbiti).

S druge strane, ako je zvijezda samostalna, za grubu procjenu njene mase možemo koristiti HR dijagram. Naime, dijagram luminoziteta u odnosu na temperature zvijezda (H-R dijagram) pokazuje da se većina zvijezda nalazi na glavnom nizu. Ovaj niz je ustvari maseni niz u kojem su masivnije zvijezde toplije i luminoznije od zvijezda manje mase. Ako znamo gdje se zvijezda nalazi na glavnom nizu, to znači da poznajemo i njenu masu.

Kako se određuje masa zvijezda koristeći višestruke sisteme zvijezda? Generalno govoreći, zvijezde se često nalaze u skupinama (dvostruki, trostruki, četverostruki sistemi, itd). Kod trostrukog sistema zvijezda često udaljenija zvijezda pratilac orbitira oko dvostrukog sistema u kojem su zvijezde bliže jedna drugoj. Ili dva bliska dvostruka sistema zvijezda orbitiraju jedan oko drugog, a može i peta zvijezda (koja opet može biti novi dvostruki sistem) da orbitira oko ova dva sistema. Stvarni višestruki sistemi zvijezda kod kojih zvijezde međusobno oribitiraju jedna oko druge postoje (<3% zvijezda), ali su im orbite veoma nestabilne. Najbolji primjer je poznati Orionov trapez koji sadrži Theta[1] Orionis (sistem od četiri zvijezde). Kastor je još jedan višestruki sistem, sa šest zvijezda. Kako se broj zvijezda povećava oni postaju skupovi zvijezda. Otvoreni skupovi dominiraju galaktičkim diskom, dok se sferni (globularni) skupovi zvijezda nalaze u vanjskom "halou" galaksije.

Više od polovine sjajnijih zvijezda ima jednog pratioca ili više njih, i dugo se smatralo da većina zvijezda na nebu pripada nekom sistemu zvijezda. Međutim, otkrićem manjih zvijezda (crveni patuljci) koji čine 2/3 svih zvijezda na nebu, astronomi su došli do zaključka da tek ¼ njih ima pratioca. To znači, govoreći općenito, da je većina zvijezda na nebu samostalna (nema pratioca). Moderna istraživanja pokazuju da u galaksiji ima oko 56% samostalnih zvijezda, 33% binarnih (dvostrukih) sistema, 8% trostrukih sistema, te 3% višestrukih sistema zvijezda. Također je poznato da je oko 45% zvijezda klase G i oko 75% zvijezda klase M samostalno. Novi teleskopi i buduća istraživanja pružiće nam dodatne informacije o ovim odnosima.

Najvažnija karakteristika dvostrukih sistema zvijezda je to što omogućavaju određivanje mase zvijezda. To je veoma važno jer se teorija evolucije zvijezda vrti oko podataka o masi zvijezda. Komponente binarnog sistema su uvijek u uzajamnoj orbiti jedna oko druge, tj. kreću se oko zajedničkog težišta (tzv. baricentra). Neke su udaljene hiljadama AJ jedna od druge, dok se neke praktično dotiču, tj. okreću se jedna oko druge u roku od nekoliko sati. Orbite zvijezda u binarnom sistemu opisuju se zakonima kretanja i gravitacije koje je postavio Newton na temelju Keplerovog rada. Za dato rastojanje, Newton je pokazao da orbitalni period zavisi od zajedničke mase zvijezda. Budući da su orbite uvijek uzajamne (svaka zvijezda se okreće oko zajedničkog težišta), relativne veličine orbita omogućavaju proračun odnosa masa. Tako nam kombinacija sume i odnosa masa zvijezda u binarnom sistemu daje podatke o masi zvijezda u odnosu na masu Sunca.

Postoji nekoliko tipova dvostrukih sistema zvijezda: vizuelni, spektroskopski i pomračujući. Zvijezde vizuelnih binarnih sistema mogu se posmatrati direktno (teleskopom), omogućavajući nam da vidimo njihovo kretanje oko zajedničkog centra mase. Spektroskopski binarni sistemi su, s druge strane, obično preblizu da možemo vidjeti pojedinačne zvijezde. Ali budući da su relativno blizu, imaju kratke periode i velike orbitalne brzine. Kretanje zvijezde se tada može detektovati preko Doplerovog efekta, koji uzrokuje da su talasne dužine svjetlosti kraće kod tijela koje se približava a duže kod onog koje se udaljava. Doplerov efekat se kod zvijezda detektuje posmatranjem promjena talasne dužine u apsorpcionim linijama spektra. U idealnom slučaju, bliske binarne će proizvesti dva seta apsorpcija koji se mijenjaju naizmjenično kako zvijezde orbitiraju jedna oko druge. Ovaj pomak daje nam brzine, orbitalne karakteristike i informacije o masama zvijezda. Nažalost, ne možemo znati kako je nageta ravan orbitiranja spektroskopskog binarnog sistema prema nama, što znači da možemo odrediti samo donje granice brzina i masa tih zvijezda. Međutim, ako orbitalna ravan leži u pravcu posmatranja, zvijezde mogu da pomračuju jedna drugu. Na osnovu trajanja pomračenja,

ove binarne daju nam informaciju o dimenzijama zvijezda, njihovoj orbiti i masi.

Binarni sistemi zvijezda sadržavaju različite tipove zvijezda – patuljke glavnog niza, divove, superdivove, bijele patuljke, itd. Tako možemo proučavati mase različitih tipova zvijezda (i onih samostalnih) i korelirati masu zvijezda sa njihovom klasom i luminozitetom. Studije pokazuju da glavni niz zvijezda u HR dijagramu predstavlja maseni niz zvijezda. Što je veća masa, veće su unutrašnje temperature, i veća je luminoznost zvijezda. Luminozni patuljci klase O su na vrhu dijagrama, sa masom do 100 masa Sunca. Idući prema dole u HR dijagramu, masa opada do 10 masa Sunca za zvijezde klase B, i dalje do zvijezda klasa A i F – čija masa je tek nekoliko puta veća od mase Sunca. Zvijezde klase M imaju masu manju od polovine mase Sunca. Ispod klase F, zvijezde patuljci vrše fuziju vodika u helijum direktno preko "proton-proton lanca". Zvijezde većih temperatura vrše fuziju preko "karbonskog ciklusa". Kod njih se ugljik pretvara u izotope nitrogena i kiseonika, a potom se, izbacivanjem helijuma, vraća nazad do ugljika. Karbonski ciklus takođe pokreće "nuklearne motore" divova i superdivova i može značajno promjeniti sadržaj nitrogena i ugljika u zvijezdama.

Kako se smanjuje luminozitet zvijezda idući od klase M do klase L, patuljci dolaze do 0,08 mase Sunca. Ispod ove granice, masa zvijezde je premala da bi se generisalo dovoljno unutrašnje toplote da se održava "proton-proton lanac". Zato zvijezde manje mase od ove ne mogu vršiti fuziju vodika. Iako one i dalje mogu vršiti fuziju svog prirodnog deuterijuma (vodik sa jednim prikačenim neutronom) u helijum, one se primarno održavaju zahvaljujući gravitacijskoj kontrakciji. Takve zvijezde nazivaju se smeđi patuljci. Ove zvijezde često se miješaju sa stvarnim patuljcima klase L, i čine ekskluzivnu populaciju klase T (ponekad se nazivaju i metanski smeđi patuljci). Donja granica mase za formiranje takvih zvijezda nije poznata. Općenito, donja granica za bilo koju vrstu fuzije je 1/80 mase Sunca, ili oko 13 masa Jupitera. Pri manjim masama, definicija zvijezda postaje mutnija. U univerzumu ovakve male zvijezde nastaju direktno iz među-

zvjezdanog oblaka veličine planeta (akumuliraju se iz prašnjavog diska oko novih zvijezda). Da li priroda može napraviti planete koji su tako masivni da počnu vršiti fuziju vodika i ponašati se kao zvijezde niko zasad ne zna.



Zamišljeni binarni zvjezdani sistem na planetu Tatooine u filmu Star Wars, Episode IV – A New Hope (izvor: wikipedia)

Posmatranja bijelih patuljaka u dvojnim sistemima pokazuju da imaju mase slične masi Sunca, uglavnom između 0,5 i 1,5 mase Sunca, a zapreminu tijela komparabilnu sa zapreminom Zemlje. Rezultat je ogromna prosječna gustina od oko 1 T/cm^3. Jedna kockica čokolade od ovog materijala imala bi masu od 1 tone!

15. Šta su varijabilne zvijezde?

Promjenljiva zvijezda je zvijezda čija se promjena sjaja može uočiti tokom, u astronomskim razmjerama, kratkog vremenskog intervala (sati, dani, godine), a nije uzrokovana pojavama u atmosferi Zemlje. Većina zvijezda sjaji skoro stalnim sjajem, samo 1% od svih zvijezda su promjenljive zvijezde. Naše Sunce je dobar primjer zvijezde koja svijetli gotovo stalnim sjajem (sjaj se mijenja svega 0,01% tokom 11-godišnjeg Sunčevog ciklusa).

Promjenljive zvijezde proučavaju se primjenom fotometrije, spektrofotometrije i spektroskopije. Najpoznatije metode vizualne fotometrije su Pogsonova, Pickeringova i Argelanderova. Sve se zasnivaju na uspoređivanju sjaja promjenljive zvijezde s jednom ili više poredbenih zvijezda konstantnog sjaja. Navedene metode razlikuju se prema načinu kojim se to uspoređivanje vrši.

Kada se prikupi više pojedinačnih podataka o sjaju promjenljive, može se pristupiti konstruiranju krivulje sjaja. Na horizontalnu osu se nanosi vrijeme posmatranja, najčešće u julijanskim danima, a na vertikalnu osu se stavljaju vrijednosti sjaja u prividnim magnitudama. Sa krivulje je moguće odrediti mnoge važne parametre kao što je period promjene sjaja, trenutke maksimuma (najveći sjaj promjenljive) za fizičke promjenljive, odnosno minimuma za pomrčinske zvijezde koji se daje u julijanskim danima, amplitudu promjene sjaja i dr.

Razvijene su metode posmatranja, čijom primjenom te organiziranim, kontinuiranim radom i astronomi amateri mogu postići rezultate velike naučne vrijednosti. Primjer za to je American Association of Variable Star Observers (AAVSO) iz Cambridgea (MA). Ovo međunarodno društvo posmatrača promjenljivih zvijezda raspolaže jedinstvenom bazom podataka koja se sastoji od preko 14 miliona posmatranja prikupljenih od 1911. godine do naših dana.

U atlasima i katalozima promjenljive zvijezde se obilježavaju velikim slovima, počevši od R. Tako se nižu R, S, T, U itd. Uz slovo se stavlja drugi padež latinskog naziva sazviježđa u kojem se promjenljiva nalazi, tako npr. R Draconis označava promjenljivu zvijezdu R u sazviježđu Zmaja (Draco). Kad se iskoriste sva slova do kraja abecede, prelazi se na dupliranje pa tako npr. imamo AB, AZ, BB, BR, RS, TT itd. Nakon što se iscrpe sve kombinacije sa slovima, prelazi se na oznaku V uz koju dolazi neki broj nakon broja 334. Tako npr. V1016 Cygni označava 1016-u promjenljivu zvijezdu u sazviježđu Labuda (Cygnis).

Sjaj zvijezda se mijenja iz mnogo razloga. On se može mijenjati nekoliko magnituda, ali i tako slabo da to opažamo samo osjetljivim foto-

metrom. Nekim se zvijezdama sjaj mijenja pravilno ili skoro pravilno, druge najednom izblijede ili nenadano "planu". Promjena se može odvijati u višegodišnjim ciklusima, ali i u samo nekoliko sekundi.

Generalno, sve zvijezde su promjenjive, jer tokom svog životnog ciklusa prolaze različite faze razvoja prema Hertzsprung-Russellovom dijagramu, mijenjajući temperaturu, boju, spektralni sastav itd. U slučaju Sunca, to se odnosi na put zvijezde glavnoga niza koja završava svoj život kao crveni div.

Astronomi su svrstali promjenjive zvijezde u određene razrede. Dva osnovna razreda čine intrinzične i ekstrinzične zvijezde.

Intrinzične ili fizičke promjenjive zvijezde su one čija promjena sjaja nastaje zbog promjena u samoj zvijezdi, poput pulsirajućih zvijezda (npr. Cefeide, Miride, RR Lyrae, Delta Scuti), eruptivnih promjenljivih (T-Tauri, Wolf-Rayetove zvijezde), te kataklizmičkih i eksplozivnih promjenljivih zvijezda (Supernove, Nove, Simbiotske zvijezde).

Ekstrinzične zvijezde mijenjaju sjaj zbog promjena izvan same zvijezde, kao što je npr. slučaj kod pomrčinskih (binarni sistemi) zvijezda (ili tranzita planeta) ili zbog rotacije (rotirajuće promjenljive). Promjene sjaja mogu varirati od hiljaditog dijela magnitude, pa sve do dvadeset magnituda, tokom perioda od jedne sekunde do više godina, ovisno o samoj vrsti promjenjive zvijezde. Zabilježeno je preko 100000 promjenjivih zvijezda, uz hiljade zvijezda koje tek čekaju potvrdu tog statusa.

16. Šta su to zvjezdani skupovi?

Zvjezdani skupovi su grupa zvijezda koje zajedno na okupu drži sila gravitacije, a koje su često istog porijekla i koje se kreću u galaktičkom gravitacijskom polju kao jedna cjelina. Neki zvjezdani skupovi, također, sadrže osim zvijezda i oblake međuzvjezdanog gasa i prašine. Dijelimo ih obično na dvije vrste: kuglaste i otvorene.

Kuglasti skup (npr. M3, M5, M13) je sferičan skup zvijezda koji orbitira oko središta galaksije. Kuglasti skupovi su nastali u područji-

ma gdje je formiranje zvijezda olakšano većom gustinom materijala. Kada zvijezde nastanu one počnu gravitacijski uticati jedna na drugu međusobno. Zvijezde u kuglastim skupovima su čvrsto povezane gravitacijom što daje skupovima njihov karakterističan sferoidan oblik. Zbog uticaja gravitacije, gustina zvijezda u skupu je velika i raste prema središtu. Kuglasti skupovi se većinom nalaze u "halou" oko galaksije i mnogo su stariji, veći i gušći od otvorenih skupova u disku galaksije. U našoj galaksiji dosad ih je otkriveno oko 150. Veće galaksije, poput Andromede sadrže i po 500 skupova. Divovske eliptične galaksije poput M87 sadrže i do 10000 kuglastih skupova.



Kuglasti skup M13 (izvor: NASA)

Kuglasti skupovi se sastoje uglavnom od starih zvijezda s malo metala. Zvijezde s malo metala se inače nazivaju Populacija II zvijezda. Prosječan kuglasti skup sastoji se od oko 100000 zvijezda. Vjeruje se da neki kuglasti skupovi s veoma gustim jezgrama sadrže crne rupe. Prema posmatranjima teleskopa Hubble, čini se da kuglasti skup M15

u svom središtu skriva crnu rupu 4000 puta veće mase od Sunca. U kuglastom skupu Mayall II u galaksiji Andromeda vjerojatno se nalazi crna rupa mase 20000 veće od Sunčeve.

Otvoreni skup (npr. M44, M45, M67) je grupa mladih zvijezda nastala iz istog molekularnog oblaka. Skupovi mogu sadržavati od desetak do nekoliko hiljada zvijezda koje su slabo povezane gravitacijskim uticajem. Otvoreni skupovi se nalaze samo u spiralnim i nepravilnim galaksijama u kojima se događa proces aktivnog formiranja zvijezda. Većina otvorenih skupova je mlađa od sto miliona godina. Zbog slabe gravitacijske povezanosti, otvoreni skupovi se brzo raspadaju zbog interakcije s oblacima plina, prašine i drugih zvijezda.



Otvoreni skup Plejade (copyright: Ivan Jevremović)

Mladi otvoreni skupovi mogu sadržavati ostatke molekularnog oblaka iz kojeg su nastale, pri čemu nastaju magline uslijed dejstva zvijezda na okolni gas i prašinu. Intenzivno zračenje mladih zvijezda razbija te oblake i zato su oni kratkog vijeka. Sve zvijezde nastale su u otvorenim skupovima. Veliki oblak prašine i plina s masom nekoliko

desetina Sunčeve urušit će se i formirati više zvijezda, a ne samo jednu masivnu. Formiranje otvorenih skupova započinje urušavanjem dijela molekularnog oblaka, gustog oblak plina i prašine s masom nekoliko hiljada puta većom od Sunčeve.

Mnogi faktori mogu izazvati urušavanje oblaka ili dijela oblaka koji će izazvati formiranje otvorenog skupa. Među te faktore ubrajamo udarne talase izazvane obližnjom supernovom (eksplozija masivne zvijezde) ili sudar s drugim molekularnim oblakom. Kada se oblak počne urušavati pojavit će se u njemu gušće nakupine materijala. Te nakupine će se dijeliti u sve manje i manje grudvice i na kraju će to rezultirati nastankom zvijezda. Vjeruje se da u našoj galaksiji svakih nekoliko hiljada godina nastane jedan otvoreni skup. Kada skup nastane, mlade, sjajne i najmasivnije zvijezde (koje pripadaju spektralnim klasama O i B) počet će zračiti ogromne količine UV zračenja. Zračenje uzrokuje brzu jonizaciju ostatka molekularnog oblaka iz kojeg su nastale zvijezde. Jonizacija uzrokuje nastanak HII regija (međuzvjezdani oblak joniziranog vodika). Zvjezdani vjetrovi masivnih zvijezda i radijacijski pritisak tjeraju te oblake dalje od otvorenog skupa. Za nekoliko miliona godina otvoreni skup će doživjeti prvu supernovu koja će ubrzati istjerivanje gasa iz skupa. Nakon nekoliko desetaka miliona godina u otvorenom skupu neće više biti gasa. U tipičnom slučaju, na formiranje otvorenog skupa se potroši tek 10% dostupnog materijala. Nije neobično naći nekoliko otvorenih skupova nastalih iz istog molekularnog oblaka. Među otvorenim skupovima moguće je naći primjerke s tek nekoliko zvijezda razbacanih po velikom prostoru ili kao suprotnost, guste skupove s nekoliko hiljada članova.

Postoji oko 1000 poznatih otvorenih skupova u našoj galaksiji ali njihov stvarni broj možda je i deset puta veći. U spiralnim galaksijama otvoreni skupovi se mogu pronaći u spiralnim krakovima, gdje je gustina plina i prašine najveća, kao i intenzitet formiranja zvijezda.

U našoj galaksiji mlađi otvoreni skupovi se nalaze bliže središtu, gdje su plimne sile jače i molekularni oblaci gušći. Stariji otvoreni skupovi

nalaze se u vanjskim dijelovima galaksijskog diska. Kako se otvoreni skupovi raspršе prije nego što zvijezde u njima dosegnu naprednije evolucijske stadije, svjetlošću otvorenih skupova dominira svjetlost mladih, plavih zvijezda. Te zvijezde su najmlađe i najmasivnije te je njihov životni vijek tek nekoliko desetaka miliona godina. Stariji otvoreni skupovi zato sadrže većinom žute starije zvijezde.

Kada se otvoreni skup raspadne iza njega će ostati grupa zvijezda s sličnim smjerom kretanja i brzinama. Takve grupe zvijezda se zovu zvjezdane asocijacije, pokretni skupovi ili pokretna grupa. Najsjajnije zvijezde u sazviježđu Veliki medvjed primjer su takve grupe.

17. Kakva je sudbina zvijezda?

Sudbina zvijezde zavisi prije svega od njene mase. Iako zvijezde veće mase imaju više vodika na raspolaganju, njihove unutrašnje temperature, pritisci i gustine su veće, pa one troše zalihe goriva brže. Zato masivnije zvijezde "umiru" ranije nego zvijezde male mase. Preciznije rečeno, u odnosu na Sunce, životni vijek zvijezde inverzno je (i nelinearno) proporcionalan njenoj masi M podignutoj na potenciju 2,5 ($\sim 1/M^{2,5}$ u odnosu na životni vijek Sunca).

Zvijezda mase 40 puta veće od mase Sunca živjeće tek oko milion godina, zvijezda mase 100 masa Sunca oko sto hiljada godina, dok će zvijezda mase 1/10 mase Sunca živjeti 3000 milijardi godina ili 3 biliona (10^{12}) godina. Kako vizuelizirati broj kao bilion? Ako biste brojali svake sekunde do bilion, trebalo bi vam 31000 godina.

Pronalaskom najstarijeg skupa zvijezda i najstarije zvijezde u njemu (u skupu zvijezda u kojem se nalaze zvijezde različitih klasa najprije će umrijeti zvijezde klase O, a zadnje zvijezde klase L) možemo procjeniti i starost naše galaksije! Naša galaksija je stara oko 13,6 milijardi godina i jedna je od najstarijih u univerzumu.

Sredina glavnog niza (zvijezde patuljci) HR dijagrama obuhvata zvijezde mase od 0,8 mase Sunca do 1,5 mase Sunca, pokrivajući zvijezde od klase G do klase B. Zvijezda glavnog niza mase jednake 10

masa Sunca (npr. klasa B1) živjeće oko 30 miliona godina, a zvijezda klase G2 kao što je naše Sunce 10 milijardi godina. Ali uprkos razlici u trajanju života, unutrašnji procesi su im dosta slični.

Kada se potroši osnovno gorivo – vodik u jezgri zvijezde, helijumom bogata jezgra se komprimira (uslijed gravitacije) i zagrijava – što dovodi do fuzije vodika oko jezgre. Pri tome se oslobađa ogromna energija, zvijezda postaje svjetlija i širi se, zbog čega se smanjuje njena površinska temperatura. Zvijezda postaje subdiv, a potom i crveni div klase M. Sunce će u ovoj fazi npr. postati 1000 puta sjajnije i proširiće se do orbite Venere. Ako se civilizacija nije uništila dotad, tada će sigurno biti uništena. Sunce bi u ovoj fazi moglo promjeniti i orbitu Zemlje, pa čak je i izbaciti iz solarnog sistema.

Kad se u jezgri zvijezde dosegne temperatura od 100 miliona K, helijum se postepeno pretvara u ugljik i kisik. Oslobođena energija tokom tih procesa zaustavlja dalje skupljanje jezgre i daje zvijezdi određenu stabilnost u periodu od oko milijardu godina. Mnogo takvih zvijezda nalazimo na noćnom nebu, a većina su divovi klase K, karakteristične narandžaste boje.

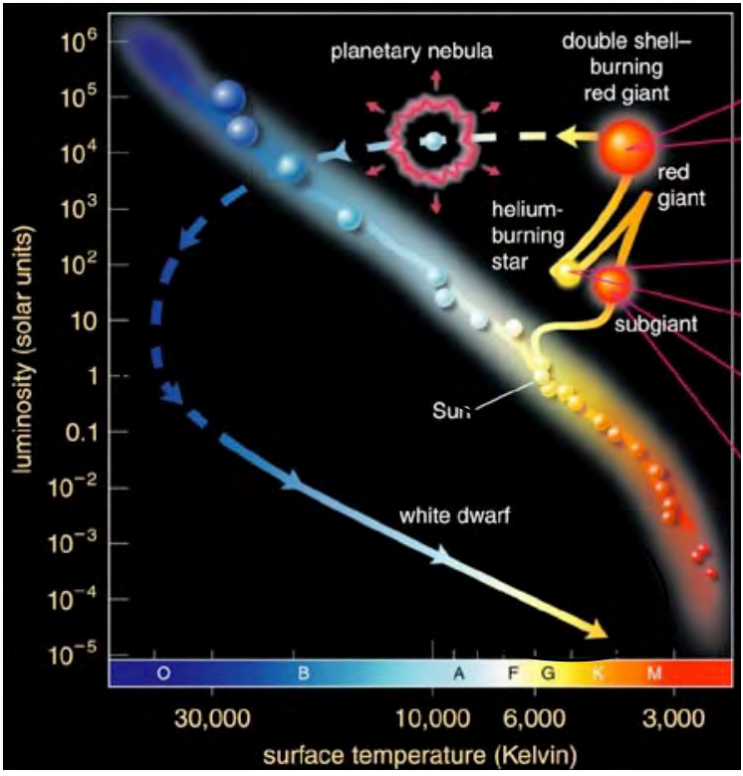
Kada se potroši helijum u jezgri, jezgro od ugljika i kisika se dalje zagrijava i komprimira. Pri tom se zvijezda ponovo širi, postaje još svjetlija, i sloj helijuma fuzioniše se ispod vanjskog sloja vodika. Neke od zvijezda u ovoj fazi se prošire toliko da kada bi ih stavili umjesto Sunca – dosegle bi orbitu Marsa i imali luminozitet 10000 puta veći od Sunčevog. Zbog svoje veličine, ove zvijezde postaju nestabilne i počinju pulsirati, mijenjajući svoj radijus, temperaturu i prividnu magnitudu. Tako npr. zvijezda Mira, u svom drugom usponu u fazu diva u jednom trenutku izgleda kao najsvjetlija zvijezda sazviježđa (2^m), a u drugom potpuno nestaje (10^m), pri čemu ciklus traje 334 dana.

Ove zvijezde postepeno odbacuju svoju masu kroz zvjezdani vjetar i tako obogaćuju univerzum materijom. Uprkos svom uticaju na solarni sistem (kreirajući aurore, ometajući nam komunikacije i dajući kometama rep), vjetar sa Sunca je tako "nježan" da bi, pri trenutnom tempu gubitka svoje mase, Suncu trebalo više od deset biliona godina

da ispari – vrijeme hiljadu puta duže od životnog vijeka samog Sunca. Zvjezdani vjetrovi se, generalno govoreći, pokreću pritiskom radijacije i kontrolisani su magnetnim poljem zvijezde. Kao dar kosmosu od zvijezda, iz ove obogaćene materije nastaće nove zvijezde i planeti, a negdje i život. Većina ugljika i nitrogena na Zemlji, i veliki broj drugih elemenata (stroncijum, cirkonijum, molibden) nastala je upravo u ovakvim zvijezdama prije nego što je Sunce (a kasnije i Zemlja) rođeno. Kako materijal napušta ovakve zvijezde, počinje da se otkriva ugljično jezgro koje jonizuje i pobuđuje odlazeću masu. Za kratko vrijeme, jezgra se okruži svjetlećom ljuskom, pogrešno nazvanom planetarna maglina. Analiza emisionih linija ovih "maglina" pokazuje svježi helijum, nitrogen i ugljik. Ukoliko imamo binarni sistem zvijezda, oblik ovih maglina je još kompleksniji.

Planetarne magline imaju vijek trajanja oko sto hiljada godina, nakon čega se gas toliko razrijedi da se više ne može vidjeti. Ono što preostaje je komprimirano jezgro zvijezde, bijeli patuljak malih dimenzija koji se sastoji uglavnom od ugljika i kiseonika, i čija sudbina je da se hladi do vječnosti. Galaksija je puna starih bijelih patuljaka, previše tamnih da bi se vidjeli golim okom. Sunce, koje će u budućnosti biti komprimirano na polovicu svoje mase će doživjeti istu sudbinu jednog dana.

Posmatranje planetarnih maglina može biti zanimljivo iskustvo. Malo je reći da smo se kolega Džan Jašarević i ja oduševili kada smo kroz 8" SC teleskop gledali planetarnu maglinu Uteg (M27).



Sudbina Sunca prikazana shematski na HR dijagramu (izvor: astro.umd.edu)

Kako se mase ovih zvijezda (misli se na zvijezde srednjih masa) povećavaju, tako rastu i mase bijelih patuljaka koji nastaju od njih. Bijeli patuljci nemaju unutrašnji nuklearni reaktor kako bi se održavale. Njihova stabilizacija potiče od vanjskog pritiska slobodnih, tzv. degenerisanih elektrona. Elektroni se, naime, mogu ponašati kao sićušni talasi, i njihova talasna priroda ograničava koliko elektrona može biti smješteno unutar zapremine uporedive sa veličinom atoma. Ako ih se ne može smjestiti više, zvijezda je stabilizovana. Dalje sabijanje kršilo bi tzv. Paulijev princip isključenja – dva elektrona ne mogu zauzimaju jedno te isto mjesto, tj. isto kvantnomehaničko stanje.



Planetarna maglina Eskim u čijoj sredini se nalazi malo, vruće jezgro zvijezde veličine Zemlje (izvor: Hubble Telescope)

Ali čudna stvar se dešava sa zvijezdama čija je početna masa veća od 10 masa Sunca. Pri ovim masama, bijeli patuljak koji nastaje iz takve zvijezde dostiže kritičnu masu od 1,4 mase Sunca (tzv. Chandrasekharova granica), pri kojoj su masa, gustina i temperatura toliko velike da čak i degenerisani elektroni gube sposobnost da stabilizuju zvijezdu. Zvijezda početne mase iznad 10 masa Sunca zato ne može postati bijeli patuljak već samo umrijeti nasilnom, eksplozivnom smrću.

U početku se zvijezde glavnog niza veće mase (npr. klasa O, lijevi gornji dio HR dijagrama) ponašaju kao i zvijezde srednje mase. U samrtnom hropcu, proizvode jezgru od helijuma koja se komprimira, pri čemu se stvaraju ugljik i kiseonik. Ali, umjesto da postaju divovi (kao zvijezde srednje mase), ove zvijezde postaju superdivovi. Zvijezde najvećih masa postaju hiperdivovi kao što je npr. Eta Kobilice (η Carinae). I

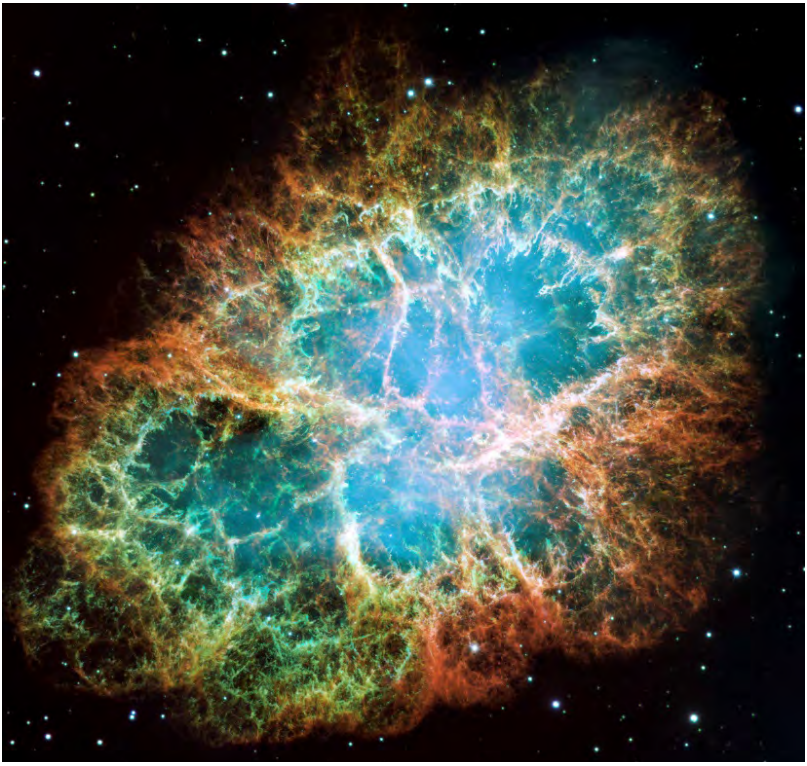
zvijezde velikih masa gube svoju masu vjetrovima, ali u mnogo većem obimu nego zvijezde manjih masa. Ako su izgubile dosta mase, sastav njihove površine može se dramatično izmjeniti jer se svježe proizvedeni ugljik i nitrogen nakupljaju konvekcijom po površini. Kada fuzija helijuma kreira jezgro od ugljika i kiseonika, pri temperaturama od nekoliko stotina miliona K, jezgra se skuplja i zagrijava.

Nakon što je dostignuta slijedeća kritična temperatura (preko milijardu K), jezgro počinje da fuzioniše mješavinu neona, magnezijuma i kiseonika. Jezgro se dalje skuplja i ponovo zagrijava, pri čemu dolazi do fuzije u mješavinu silicijuma i sumpora, pri temperaturama većim od 2 milijarde K. Jezgra od silicijuma i sumpora ponavlja ovaj obrazac i dolazi do fuzije u željezo, pri čemu sada svaka faza traje sve kraće. Kao što je rečeno u poglavlju o nukleosintezi, željezo se ne može fuzionirati u neki drugi element i kao rezultat toga oslobađati energiju, tako da zvijezda postaje nestabilna.

Kada (željezno) jezgro ovakve zvijezde pređe masu od oko 1,5 mase Zemlje, počinje u sekundama da se urušava na veličinu usporedivu sa veličnom ostrva površine 60 km^2 (tj. na sferu poluprečnika oko 5 km). Željezo se rastavlja na svoje elementarne dijelove (protone i neutrone); pozitivno naelektrisani protoni sastavljaju sa slobodnim negativno naelektrisanim elektronima, pri čemu se kreira veliki broj neutrona. Kada kugla neutrona dosegne kritičnu gustinu od oko 100 T/cm^3 (zamislite da vam tenk stoji na prstu), stabilizuje se iz istog razloga iz kojeg se stabilizuje bijeli patuljak, ali ovog puta zbog talasne prirode neutrona, a ne elektrona. Jezgra tada proizvede udarni talas koji se kreće dalje kroz vanjske slojeve zvijezde i dovodi do eksplozije nepojmljive energije (tzv. supernova tipa II). Na ultra visokoj temperaturi dolazi do nuklearnih reakcija unutar ekspandirajućih slojeva supernove, pri tome kreirajući većinu poznatih hemijskih elemenata. Ovi elementi se izbacuju u svemir i miješaju sa svježim elementima koje su napravile manje masivne zvijezde.

Tipična supernova može proizvesti željeza u iznosu 1/10 mase željeza u Suncu. Ostaci zvijezde koji se šire svemirom brzinom od nekoli-

ko desetina hiljada kilometara u sekundi proizvode svjetleći "oblak", ostatak supernove koji se kao udarni talas kreće unutar međuzvjezdanog prostora i može potaknuti formiranje novih zvijezda. U centru tog oblaka, suviše velike gustine da bi bila uništena, nalazi se neutronska zvijezda. Kako se željezno jezgro raspalo, brzina rotacije nastale neutronske zvijezde se povećala, što rezultira tijelom koje može rotirati velikim brzinama. Dosad najveća brzina rotacije neutronske zvijezde koja je otkrivena iznosi 716 obr/s za zvijezdu koja nosi oznaku PSR J1748-2446ad. Treba dosta mašte da se zamisli ovolika brzina rotacije za ovako gusto tijelo.



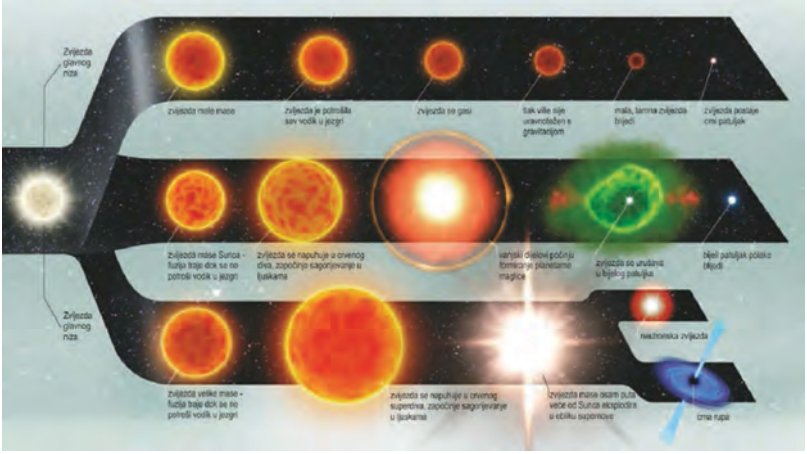
Ostaci Supernove SN 1054 u čijem središtu se nalazi pulsar prečnika 30 km koji svakih 30 ms (period rotacije) odašilje puls gama i radio zračenja
(izvor: Hubble telescope)

Kako zamisliti i sebi predočiti ogromnu gustinu neutronske zvijezde (100 tona po kubnom centimetru) koje se okreću brzinom i do 700 obr/s? Ako sakupite 100 miliona slonova i nagurate ih na vrh igle za šivanje, dobićete neku predstavu o tome. Ili možda da zamislite koliko bi vam trebalo da se "popenjete" na samo jedan list papira na neutronskoj zvijezdi. Trebalo bi vam 22 godine ako biste se penjali 24 sata dnevno! Na ovakvim zvijezdama definitivno nema života. Možda eventualno za Supermena.

Magnetno polje neutronskih zvijezda, barem bilion puta veće nego kod Zemlje, poravnava se sa osom rotacije zvijezde. Radijacija koja se odašilje uzduž magnetne ose leluja u svemiru kao po konusnoj površini. Ako Zemlja leži unutar površine konusa energije koju generiše rotirajuća neutronska zvijezda, astronomi objavljuju otkriće još jednog "pulsara". Poznajemo ih više od 2000. Kada je mlad, pulsar zrači u cijelom spektru, od radio do gama zraka. Tokom vremena, neutronska zvijezda gubi energiju i sve sporije rotira. Pulsar na koncu emituje samo nisko-energetske radio talase i konačno nestaje iz vidokruga.

Kao što bijeli patuljci imaju graničnu masu od 1,4 mase Sunca, tako neutronske zvijezde imaju sličnu granicu, 2-3 mase Sunca. Ako supernova proizvede jezgru veće mase od spomenute, ona mora kolapsirati, ali ovaj put nepovratno. Naime, kako se radijus zvijezde povećava, povećava se i gravitacija. Konačno, gravitaciono polje postaje tako jako da ni svjetlost ne može da napusti zvijezdu i ona "nestaje", kolapsirajući unutar površine nazvane horizont događaja. Gravitacija ovakve "crne rupe" ostaje ista, ali je više ne možemo vidjeti. Da Sunce kojim slučajem postane crna rupa (što nije moguće), Zemlja bi se i dalje kretala istom orbitom oko njega.

Situacija je dosta složenija kada se razmatra evolucija binarnih zvjezdanih sistema. Ako su dvije zvijezde blizu jedna drugoj, može doći do prenosa materijala između njih i stvaranja akrecijskog diska između njih. Kada svježi vodik sa jedne od zvijezda (tzv. donora) dospije na bijelog patuljka ili neutronsku zvijezdu u tom dvojnom sistemu, dolazi do eksplozivne erupcije.



Šematski prikaz evolucije zvijezda prema njihovoj masi
(copyright: The Stars, DK Publishing, 2016)

U ekstremnom slučaju bijeli patuljak može biti toliko obogaćen materijom sa susjedne zvijezde da može dosegnuti masu veću od granične za bijele patuljke (1,4 mase Sunca), pri čemu dolazi do gigantske eksplozije (tzv. supernova tipa Ia), eksplozije veće od one koja je zvijezdu dovela do statusa bijelog patuljka.

18. Šta je međuzvjezdana materija?

Međuzvjezdana materija je razrijeđena materija između zvijezda. U našoj galaksiji čini 10 do 15% vidljive materije, a njenoj masi pridonose najviše gasovi (99%) i vrlo malo prašina (1%). Zbog upijanja i raspršenja svjetlosti u međuzvjezdanoj materiji, pri čemu se plava boja raspršuje jače od crvene, udaljenije zvijezde manjeg su sjaja i svjetlost im je crvenija. Tako na primjer u pojasu Mliječne staze, na udaljenosti od oko 3000 svjetlosnih godina, svjetlost oslabi 5 puta.

Međuzvjezdana materija nastaje iz neutralnog i jonizovanog gasa u atomskom i molekulnom obliku, prašine i kozmičkih zraka. Igra bitnu ulogu u astrofizici, budući da zvijezde nastaju iz međuzvjezdane

materije koju zvjezdani vjetar i supernove raznose dalje u međuzvjezdani prostor. Međuzvjezdana materija ispunjava prostor između zvijezda i polako se širi u međugalaktički prostor.

U međuzvjezdanoj materiji ima najviše atoma vodika, zatim helijuma, a sadrži većinu poznatih hemijskih elemenata. Također, pronađemo je više od stotinu vrsta molekula, među kojima ima vrlo složenih, a prevladavaju molekule ugljikovodika. Pronađene su i molekule koje čine sastavni dio aminokiselina, gradivnog materijala života kakav poznajemo.

Prisutnost praha otkriva polarizacija svjetlosti zvijezda koja nastaje kada svjetlost prolazi kroz oblak čestica. Veličina čestica praha je oko 0,1 μm, a hemijski im sastav nije precizno utvrđen; jezgra im se može sastojati od silikata, ugljika i željeza, a plašt od leda. Ustanovljeno je da čestice ugljika nastaju u najvećem obimu iz zvjezdanog vjetra crvenih divova.

Međuzvjezdana materija raspoređena je nejednoliko, pa se vide npr. gušći dijelovi prečnika od nekoliko svjetlosnih godina do nekoliko stotina svjetlosnih godina, a tipičan primjer su međuzvjezdane magline. U njih se ubrajaju svjetle i tamne difuzne magline, planetarne magline i ostaci supernovih. Hladni oblaci veće gustine mjesta su stvaranja zvijezda (tzv. Herbig-Haro objekti), a posebno to važi za divovske molekularne oblake čiji primjer je područje u sazviježđu Oriona. Međuzvjezdana materija nalazi se u stalnim promjenama: ugrađuje se u mlade zvijezde prilikom njihovog nastanka, a napušta zvijezde tokom njihovog razvoja ili eksplozivnog raspada.

19. Zvjezdani ekstremi

Među zvijezdama nailazimo na sve moguće ekstreme, od veličine, luminoziteta, mase, magnetizma i temperature, pa do ekstrema koji se javljaju specifično u binarnim sistemima.

Tako zvijezde variraju od onih koje bi veličinom ispunile cijeli naš solarni sistem do zvijezda koje su veličine manjeg grada: u zvijezdu

VV Kefeja moglo bi stati npr. 10^{24} pulsara iz magline Rak. To je broj koji je veći od broja svih zvijezda u univerzumu. Sirius B ima veličinu sličnu Zemlji, ali masu Sunca i, skladno tome, ogromnu gustinu, neshvatljivu čovjeku (kubni centimetar bi imao masu nekoliko desetina tona, a još uvijek bi bio gas).

Najsjajnije zvijezde imaju apsolutnu (vizuelnu) magnitudu blizu -10, a najtamnije blizu 21. Ovaj opseg magnituda odgovara razlici u luminozitetu od 2,5 biliona. Tako bi zvijezda RG 0050 bila vidljiva okom samo ako bi nam bila bliže od 0,006 svj. godina (400 AJ; ili npr. ako bi bila u Oortovom oblaku – pretpostavljenom sfernom oblaku kometa koji se nalazi na spoljnoj granici Sunčevog sistema na udaljenosti od 5000 AJ do 100 000 AJ od Sunca). S druge strane, zvijezda OB2-12 Labuda bi se vidjela golim okom i na udaljenosti od 50000 svj. godina, ako ne bi bilo mnogo međuzvjezdane prašine da ga zaklanja.

Temperaturni ekstremi su takođe veliki. Neke zvijezde postaju neobično tamne jer većinom zrače u nevidljivom dijelu spektra: hladne zvijezde kao npr. Mira proizvode većinu svoje svjetlosti u infracrvenom području spektra, dok npr. zvijezda NGC 2440 emituje 90% svog zračenja u visoko-energetskom UV dijelu elektromagnetnog spektra. Jedna od najluminoznijih zvijezda u galaksiji, HD 93129A, ima temperaturu oko 50000K, ali ta temperatura se ne može porediti sa temperaturom jezgra planetarne magline čija temperatura ide i do 220000 K (NGC 2440). Vidjećemo kasnije da temperatura neutronske zvijezde ide i do milion K.

Ekstremne razlike u masi među zvijezdama nisu tolike kao što je to slučaj sa luminozitetom. Tako najmasivnije zvijezde imaju maksimalno 100 masa Sunca, dok najmanje masivne zvijezde imaju masu tek 1/10 mase Sunca i mnogo su manjeg luminoziteta od Sunca. Luminozitet je, generalno, nelinearno proporcionalan masi, tj. proprocionalan je masi podignutoj na potenciju 3,5. To znači da dvije zvijezde koje se malo razlikuju u masi imaju veoma različite luminozitete.

Životni vijek zvijezda je takođe zanimljiv. Zvijezde mase 0,2 mase Sunca imaju životni vijek čak 560 biliona godina – duži od vijeka ga-

laksije (univerzum je star "tek" 13,8 milijardi godina). Zato ih i ima mnogo u našoj galaksiji (drugi razlog je to što priroda "voli" da ih pravi, za razliku od zvijezda patuljaka klase O). S druge strane, zvijezda mase 100 puta veće od Sunca ima životni vijek tek oko sto hiljada godina.

Zvijezde mijenjaju svoj sastav tokom svoje evolucije. Tako najhladniji divovi mogu mijenjati svoj sastav, mijenjajući se od kisikom bogate do ugljikom bogate zvijezde, postajući karbonska zvijezda kao npr. R Zeca (R Leporis). Divovi niske temperature su toliko proširili svoj prečnik da isparavaju praktično pred našim očima. Materija se kreće sa karbonske zvijezde IRC+10216 takvim tempom (preko 10^{-5} masa Sunce godišnje, sto miliona puta više nego kod Sunca) da taj kondenzat prašine praktično sakriva cijelu zvijezdu. Eta Kobilice (η Carinae) gubi hiljaditi dio mase Sunca svake godine i takođe je "zakopana" u oblaku prašine koju sama proizvodi.

Neke zvijezde imaju magnetno polje milionima puta jače od Zemljinog. A one su ništa prema neutronskim zvijezdama i pulsarima koji imaju bilion puta jača magnetna polja nego na Zemlji, i koja proizvode elektromagnetne snopove takvog intenziteta da se mogu vidjeti sa jednog kraja galaksije na drugi. Takve zvijezde su toplije i od jezgara planetarnih maglina, dosežući temperaturu i do milion K. Ako se radi o ovakvim binarnim sistemima, uvjeti su još ekstremniji, gdje milisekundni pulsari s lakoćom uništavaju svoje pratioce. Sudar neutronskih zvijezda dovodi do kreiranja mnogih teških elemenata (zlato, platina, itd). Smatra se da u našoj galaksiji ima preko 100 miliona mrtvih neutronskih zvijezda.

Što se tiče brojnosti, tu primat imaju tamni crveni patuljci koji se ne mogu vidjeti golim okom. Neke, kao npr. ona najbliža Zemlji – Proksima Kentaura, proizvode moćne baklje koje okružuju cijelu zvijezdu i mogu joj značajno povećati sjaj. Slijedeći po brojnosti su smeđi patuljci, "pale" zvijezde koje nisu nikad postigle dovoljnu temperaturu u jezgri da se započnu termonuklearne reakcije. One predstavljaju most između zvijezda i planeta.

Zapanjujuće su i transformacije zvijezda. Tako najhladnije zvijezde, divovi klase M, isplivavaju iz svoje prašinaste čahure kako bi postale najtoplije zvijezde, obmotane planetarnom maglinom. Zatim te iste zvijezde postaju najmanje "normalne" zvijezde – bijeli patuljci. Najsvjetlije zvijezde, plavi O patuljci, skoro magično, pretvaraju se u najveće zvijezde – crvene superdivove klase M. U nekom obliku, npr. kao luminozne plave promjenljive ili vruće plave Wolf-Rayet zvijezde, ove zvijezde eksplodiraju, kreirajući najmanja nebeska tijela – neutronske zvijezde, ili, ultimativno, crne rupe – puknuće u samom prostor-vremenu. Transformacije su nevjerovatno simetrične; što je veća zvijezda u početnoj fazi, manji je prečnik zvijezde prilikom njene smrti. To je i logično, s obzirom da gravitacija upravlja evolucijom zvijezda.

Stvari su još ekstremnije u slučaju višestrukih sistema zvijezda. Transfer mase sa jedne zvijezde na drugu (npr. bijelog patuljka) može dovesti, kao što je ranije rečeno, do supernove. Ako se masa prebacuje sa diva na simbiotsku zvijezdu (npr. CH Labuda), ova druga može zasjati kao nebeski vatromet. Sistemi u kojima se nalaze divovi u poznoj fazi mogu biti odgovorni za različite oblike planetarnih maglina. Neke dvojne zvijezde su toliko blizu da se praktično dotiču (npr. W Velikog medvjeda). Sudar neutronskih zvijezda dovodi do pojave gravitacionih talasa (detektirali smo ih tek 2017. godine). Kod binarnih sistema pomračenja su uobičajena. Naš Mjesec može na tri sata pomračiti Sunce, a tranzit Venere (preko Sunca) traje samo jedan dan. S druge strane, superdiv binarnog sistema VV Kefeja je toliki da njegov pratilac, zvijezda klase O, ostaje tokom tranzita sakrivena 1,2 godine.

Svi ekstremi, od najvećeg do najmanjeg, najhladnijeg do najtoplijeg, najtamnijeg do najsvjetlijeg, moraju da se rode, tako da sve zvijezde prolaze kroz fazu "najmlađih" zvijezda, a među njima su, uz klasične T Tauri zvijezde, najsjajnije zvijezde koje umiru veoma brzo. Tako su najtamnije i najhladnije zvijezde ujedno i najstarije zvijezde, a na osnovu njih možemo istraživati starost i historiju naše galaksije, pa čak i starost cijelog svemira.

20. Zvijezde, kolijevke života?

Sada, konačno, možemo da sagledamo cijelokupnu sliku. Zvijezde se kontinuirano rađaju, žive, umiru, i u svojoj smrti kreiraju novi život. Zvijezde su svemirske kuhinje, alhemičari univerzuma. U njima se stvaraju svi hemijski elementi osim vodika. Ovi elementi postaju sastavni dio gasova i prašine koja čini međuzvjezdanu materiju iz koje se razvijaju nove zvijezde i planeti.

Najčešći element u svemiru je vodik, koji čini oko 90% svih atoma, a nakon njega slijedi helijum sa nešto manje 10% atoma u svemiru. Svi ostali elementi čine tek 0,015% atoma ili (zbog svoje mase) 1% ukupne mase svemira. Na Zemlji, s druge strane, postoji veoma malo vodika. Iako se okeani čine kao velika količina vode (i vodika), njihova prosječna dubina je tek 3km na planetu prečnika oko 13000 km. Okeani praktično nisu ništa drugo nego ultratanki vanjski sloj našeg planeta. Još je manje helijuma, koji je gotovo u potpunosti proizvod radioaktivnog raspada unutar stijena na Zemlji.

U poređenju sa Suncem, elementi koji čine Zemlju su teži, od ugljika pa nadalje (gledajući po atomskom broju). Zemljina kora koja čini oko trećinu Zemljine mase sastoji se od 90% željeza i oko 10% nikla. Vanjska kora koja čini ostatak Zemlje sastoji se uglavnom od silicijuma i kisika u formi silikatnih stijena – uz još poneki metal. Zemlja je solidificirani distilat solarne magline iz koje su nastali Sunce i planete prije 4,5 milijarde godina. Skoro svi lakši elementi, posebno vodik i helijum su odbačeni na terestrijalnim planetama (kao što je Zemlja) zbog velikih temperatura u blizini Sunca.

Odakle dolazi ovi teški elementi kojih je toliko na Zemlji? Dolaze iz zvijezda koje evoluiraju, iz divova, planetarnih maglina i posebno iz supernovih. Supernove su izvor svog željeza u svemiru, svog silicijuma, vjerovatno većine kisika i velikog udjela ostalih teških elemenata. Ako pretpostavimo da se jedna supernova pojavi svakih 50 godina u galaktičkom disku starom 10 milijardi godina, dosad ih je bilo barem 200 miliona. Ako dalje pretpostavimo da je Zemlja, mase $6 \cdot 10^{24}$ kg, kreirana prvenstveno od ostataka supernovih koje su tome unifor-

mno doprinijele, tada je svaka supernova Zemlji donirala oko 10^{16} kg materije: otprilike masa povelike planine, što čini vezu između Zemlje i svemira još fascinantnijom. Naš planet je, dakle, distilat ne samo Sunčeve magline već i bezbroj supernovih, masivnih zvijezda koje su eksplodirale.

Nedavno su detaljno analizirani ostaci supernove Kasiopeja A, ostatka zvijezde (koji ima veličinu od oko 100 milijardi kilometara, a širi se brzinom od oko 5000 kilometara u sekundi) koja je eksplodirala oko 1680. godine, a koja je udaljena od nas oko 11000 svjetlosnih godina. Otkrili su da je eksplozija te zvijezde u svemir poslala količinu sumpora koja odgovara masi oko 10000 puta većoj od same Zemlje, silicijuma mase oko 20000 masa Zemlje, željeza oko 70000 masa Zemlje i kisika oko milion masa Zemlje! U prethodnim istraživanjima Kasiopeje A pronađeni su nitrogen, ugljik, vodik i fosfor, pa se može zaključiti da su tokom eksplozije ove zvijezde u svemir razasuti svi sastavni dijelovi naše DNK molekule. Sav kisik u Sunčevom sistemu npr. mogao je doći iz ovakve eksplozije, kao i na primjer polovina kalcijuma i 40% željeza.

Odlutajte naveče negdje gdje je nebo tamno i pogledajte Mliječni put, disk naše galaksije. Kao što se može vidjeti uživo, a pogotovo na astrofotografijama veće ekspozicije, to nije glatka traka puna zvijezda već područje ispunjeno tamnim šupljinama. To nisu područja gdje nema zvijezda već tamni oblaci gasa i prašine, mjesta rođenja zvijezda. Prostor između zvijezda je ispunjen međuzvjezdanom materijom koju čine gasovi i prašina koji su ovdje dospjeli pomoću vjetrova sa zvijezda divova i superdivova (silikati iz divova bogatih kiseonikom, ugljična zrnca, pepeo, pa i dijamanti iz zvijezda bogatih karbonom). Ova materija se dalje obogaćuje apsorpcijom gasova koji sadržavaju hemijske elemente teže od helijuma (metale), a potom i ledom. Kad je međuzvjezdani gas zagrijan zračenjem za zvijezda, u gušćim oblacima prašina apsorbuje svjetlo i hladi okolni gas. Gusti čvorovi unutar ovih oblaka, možda sabijeni uslijed prolaska udarnog talasa supernove, prisiljeni su da se komprimiraju uslijed vlastite gravitacije. Kako se ove nakupine materije skupljaju i pri tome proizvode nove

zvijezde, ova materija rotira sve brže i brže, kreirajući rotirajući disk prašine i gasa. Ovaj disk bi se raspao uslijed rotacije da nije uticaja galaktičkog magnetnog polja koje djeluje kao kočnica i formiranja mlazeva koji se kreću okomito na disk. U mnogim slučajevima, novoformirajuće zvijezde se zaista rasplinu uslijed rotacije i tada nastaju višestruki sistemi zvijezda (dvojni, trojni i sl).

Osim ako nešto ne omete razvoj ovih cirkumstelarnih diskova, prašina unutar njih može se akumulirati u veća čvrsta tijela, i to je proces koji je proizveo planete u Sunčevom sistemu prije 4,5 milijarde godina. U unutrašnjem dijelu Sunčevog sistema, gdje je bilo vruće, razvili su se planeti bez značajnijih gasovitih omotača i leda. Oni se sastoje uglavnom od metala i stijena. U hladnijem dijelu Sunčevog sistema, međutim, planeti su mogli biti veći, tj. sastojati se i od lakših materijala (gasova). Tako su nastali Jupiter i Saturn. Još dalje, gdje se solarni disk istanjuje, mogle su se formirati manje gasovite planete kao što su Uran i Neptun. Tako je nastao naš planetarni sistem i tako nastaju bezbrojni planetarni sistemi širom svemira, a na njima možda i neki oblik inteligentnog života.

Mi smo zvjezdani prah koji je razvio svijest i proučava svemir iz kojeg je nastao. Naša krv je crvena zbog željeza nastalog u utrobi supernove. Kalcijum u našim kostima nastao je u supernovoj. Zlato u prstenu nastalo je sudarom neutronskih zvijezda, pri tom oslobađajući nezamislivu energiju. Dugujemo naše postojanje davno "umrlim" zvijezdama. Ljudi su uistinu potomci zvijezda.

Slijedeći put kada ugledate zvjezdano nebo u tamnoj noći, zastanite i pomislite na sve te silne zvijezde koje su tokom svog života i u svojoj smrti posijale (i još uvijek zasijavaju) svemir hemijskim elementima i materijom iz koje je iznikao i život kakav poznajemo. Možda je najbolji način da im se zahvalite to što ćete ih bolje upoznati. A budući da će i naše Sunce jednog dana postati bijeli patuljak i rasuti svoju masu u svemir, možda će neka nova generacija života daleko od nas gledati ostatke Sunca i, poznavajući sudbinu zvijezda, osjećati zahvalnost kakvu danas osjećamo mi.

Najzanimljivije zvijezde na nebu

"Znaš, ja sam stvarno sa zvijezda.
Sav sam od svjetlosti stvoren." (M. Antić)

"Što vas duže gledam, o zvijezde, sve mi je veća tajna vaša,
jer se treptav sjaj vaš spliće u zlatan neproziran veo.
Šta nagoviješta vaše sijanje?" (Ivo Andrić)

1. Sunce



Sunce snimljeno sa H-alfa filterom
(copyright: Alan Ćatović; Lunt 60mm, Canon 650D)

Lokacija:	Pojas Zodijaka (Ovan-Ribe)
Drugi nazivi:	-
Klasa	Patuljak klase G
Prividna magnituda:	-26,75
Apsolutna magnituda:	4,82
Udaljenost:	1 AJ (7,9 svj. minuta)
Značaj:	Naša zvijezda

Većina ljudi vjerovatno misli da dobro poznaju Sunce. Svijetlo je, vruće je, može nam obojiti kožu u tamniju varijantu ili nam pružiti bolne opekline. Što još trebamo znati? Reagirajući s tkivom naše kože, Sunčeva svjetlost proizvodi vitamin D – najveći antikancerogeni agent koji ikada otkriven. I to je to. Gotovo. Zašto ne ostaviti sva druga znanja o Suncu naučnicima?

Sunce vlada našim životima, koliko plaćamo za stvari, gdje se konačno odlučujemo živjeti, hoće li naš sljedeći let odstupiti od određene trase, pa čak i hoće li ljudi ikada kolonizirati druge svjetove. Njegovo promjenljivo ponašanje utiče na nas mnogo više od vulkana i potresa na samoj Zemlji. Sunce utiče na prinos usjeva, globalne temperature, okeanske struje i ljudsko raspoloženje.

Koliko naših prijatelja zna da postoji "sunce unutar Sunca"? Ili bizarna, nova pronađena zona ispod solarne površine, tzv. tahoklin, isključivo odgovorna za njegovo "nasilno ponašanje"? Ili da smo nedavno doživjeli neuobičajen solarni ciklus u više od dvjesto godina koliko ga posmatramo – što je vjerovatno utjecalo i na globalno zatopljenje? Ili da Sunce ima puls čiji se ritam mijenja svakih 11 godina. Ili zastrašujuće stvari, kao što je vladin konzorcij koji upozorava da određena vrsta solarne oluje može u svakom trenutku učinkovito uništiti našu mrežu napajanja, s popravkom vrijednom od jedne do dvije milijarde dolara?

Azteci i Egipćani nisi bili jedini koji su obožavali Sunce. Perzijanci, Inke i Tamili (južna Indije) također su postavljali Sunce u središte svog duhovnog života. Sunce je za njih bilo davatelj života, nositelj najveće moći, zagonetka koja nadilazi sve zemaljske tajne.

Danas je za nas to samo obično "Sunce". Upoznavanje je neprijatelj strahopoštovanja, i ljudi uglavnom hodaju ulicama bez da ijednom pogledaju prema nebu i zapitaju se šta je to ustvari Sunce. Zapravo, jedan od najčešćih savjeta o Suncu je da ga ne bismo trebali nikada gledati.

U osnovi, Sunce je jedini izvor našeg života i energije. Nedavno su medicinski naslovi najavili da se previše skrivamo od Sunca u razumljivoj želji da izbjegnemo rak kože. Taj savjet se sada mijenja: bolje je više Sunčeve svjetlosti nego premalo. To je zato što vitamin D ak-

tivno spriječava karcinom. Naravno, treba paziti u koje doba dana se Sunčamo – najbolje ujutro i poslijepodne kad je UV zračenje smanjeno. Sunčeva svjetlost, dakle, nije samo dobra za nas, ona nam može spasiti život.

Ono što svi znamo je da je Sunce veoma sjajno. To znači da emitira puno energije. Znamo npr. da daje ultraljubičastu svjetlost. To je ono što stvara opekline na plaži, i ako dobijemo previše toga, mogli bismo zaraditi fatalni melanom. Svakih 1 posto povećanja UV zračenja u životu neke osobe povećava za 1 šanse da će ta osoba biti žrtva najsmrtonosnijeg raka kože. I zaista, visoka razina melanoma u Australiji ima svoje jednostavno porijeklo u njenom karakteristično sunčanom nebu.

Ne treba nam stručnjak da nam kaže da vrućina, ti dugački infracrveni valovi, također dolazi sa Sunca. Osjećamo je na našim licima, čak i kada smo iza stakla i na taj način ne primamo ultraljubičastu svjetlost. Ali šta Sunce najviše emitira? Toplinu? Ultraljubičasto zračenje? Gama zrake?

Većina ljudi ne bi pogodila odgovor. To je zelena svjetlost, svjetlost u kojoj Sunce ima maksimum zračenja! Zelena dominacija se manifestuje u dugama i u spektru koji na zidu baca prizma, pri čemu se zelena uvijek čini najsvjetlijom bojom. Ipak, Sunce samo ne izgleda zeleno. To je zato što su naše oči prirodno evoluirale tako da kada Sunčeva primarna boja – zelena, crvena i plava – dođe do mrežnice oka, ta mješavina svjetlosti uvijek se percipira kao bijela boja.

Gledajući prirodu uglavnom pomislimo da svijet biljaka najviše voli zelenu komponentu Sunčeve svjetlosti. Ali lišće, biljke, trava ustvari ne vole nimalo "zeleni" dio spektra. Oni se hrane uglavnom plavim i crvenim dijelom Sunčeve svjetlosti. Trava reflektuje nazad zeleni dio Sunčeve svjetlosti, i upravo to je razlog što travu vidimo kao zelenu. Suprotno intuiciji, jedina stvar koju vidimo kada posmatramo nešto su Sunčeve "neželjene" talasne dužine.

Voda, s druge strane, upija UV zračenje kad je mirna dok valovita voda reflektuje većinu UV zračenja. To znači da piknik pored jezera ili mora kada je vjetrovit dan nosi više rizika za opekotine od Sunca

nego kad nema vjetra. S druge strane, biljke upijaju skoro svo UV zračenje koje stiže sa Sunca. Obožavaju ga. Većina vegetacije upija preko 90% UV zračenja. Dakle, okolina dosta utiče na to hoćete li izgoriti na Suncu ili ne. Dok pjesak i snijeg reflektuju velike količine UV zračenja prema vama, trava to ne radi. Ako ste osoba sa svijetlim tenom, planirajte svoj izlet u parku, ne pored jezera.

Zašto vidimo samo tzv. vidljivu svjetlost, a ne recimo radio talase ili gama zračenje? To je zato što Sunce ima maksimalni intenzitet zračenja upravo u tom ("vidljivom") dijelu spektra, i naše oči su evoluirale tako da maksimalno iskoriste Sunčevu svjetlost. Površinska temperatura Sunca T = 5770K odgovara piku zračenja pri 5500 Å (550 nm). Dijelovi elektromagnetnog spektra koje ne vidimo (rendgenski zraci, gama zračenje, UV talasi, radio talasi) su sakriveni od nas jer osciluju prevelikim ili premalim brzinama da bi ih naši receptori u oku mogli detektovati. Postavlja se pitanje – zašto oči nisu evoluirale tako da možemo gledati i u IC dijelu spektra – što bi nam pomoglo da uveče npr. špijuniramo komšinice na balkonu (i lovimo druge životinje po noći). Pretpostavlja se da bi tada oči imale manju rezoluciju, bilo bi više šuma u signalu, i veća energetska potrošnja očiju koje i sada crpe dobar dio ukupnih energetskih resursa čovjeka.

Pomislite samo koliko bi nam svijet izgledao bogatiji ili koliko bismo ranije otkrili temeljnu prirodu svemira da imamo visoko precizne, frekventno podesive očne jabučice. Prebacite se na radiovalni dio spektra i dan se istog trena pretvara u noć, osim u nekim pravcima. Središte naše Galaksije, na primjer, postaje jedno od najblistavijih mjesta na nebu, žarko sjajeći iza glavnih zvijezda u sazviježđu Strijelac. Prebacite se na mikrovalno područje i cijeli svemir sjaji tinjajućim ostacima iz najranijeg vremena; odjednom se nalazite suočeni sa zidom zračenja koje je krenulo na putovanje samo 380 000 godina poslije Velikog praska. Prebacite se na rendgensko područje i odmah ćete uočiti mjesta gdje se nalaze crne jame u koje materija spiralno upada. Prebacite se na područje gama zračenja i uživajte u prizoru divovskih eksplozija koje se javljaju na raznim mjestima u svemiru približno jednom dnevno. Promatrajte utjecaj ovih eksplozija na okolnu

međuzvjezdanu materiju koja se zagrijava i emitira rendgensku, infracrvenu i vidljivu svjetlost.

Da u mrežnjači imamo spektroskop, uopće se ne bismo pitali od čega se sastoji atmosfera. Bilo bi dovoljno baciti pogled i odrediti sadrži li dovoljno kisika za opstanak životinja. Na isti način, okom bismo otkrili još prije mnogo hiljada godina da se zvijezde i magline u našoj Galaksiji sastoje od istih hemijskih elemenata kao i Zemlja.

A da smo rođeni s velikim, osjetljivim očima u koje su ugrađenidetektori Dopplerovog efekta, primjetili bismo, još dok smo bili troglodditi, da se cijeli svemir širi – da se sve galaksije udaljuju od nas.

Da naše oči raspolažu razlučnom moći dobrih mikroskopa, niko nikada ne bi pojavu kuge i drugih zaraza pripisivao srdžbi bogova. Bakterije i virusi zbog kojih se razbolijevate ne bi bili skriveni vašem pogledu dok gmižu po hrani koju jedete ili ulaze u vaš organizam kroz otvorene rane. Poduzevši jednostavne eksperimente, lako biste mogli ustanoviti koje su od tih klica opasne, a koje nisu. A problemi postoperativnih infekcija bili bi objašnjeni i riješeni prije puno stotina godina. Kad bismo mogli otkriti visokoenergetske čestice, uočili bismo radioaktivnu tvar već na velikoj udaljenosti. Ne bi nam bio potreban Geigerov brojač. Mogli biste čak vidjeti kako plin dolazi iz podruma kroz jame u podu.

Proces pomoću kojeg se iz "dosadnog" oblaka vodikovog plina rađa zasljepljujuća vatrena lopta je epskih razmjera. Rezultat, stabilna zvijezda poput Sunca sa četrnaest milijardi godina životnog vijeka, namijenjena stvaranju krava i šipuraka, svakako zaslužuje vlastiti praznik. Ipak nijedan narod sada ne slavi rođenje Sunca. U teoriji to radimo svake nedjelje (eng. Sunday). U praksi, veći dio vremena nedeljom koristimo za spavanje što je moguće duže i time svodimo na minimum svijest o Suncu.

Šta da smo bili prisutni u trenutku stvaranja Sunca, prije 4,6 milijardi godina? Antropomorfno razmišljajući, Sunce je imalo istinsku majku i oca, potpuno različitih "osobina". Majčinska strana bila je ogromna "utroba" vodikovog plina stvorenog oko 380 000 godina nakon velikog praska. Ova je maglina vjerojatno deset miliona puta veća od

Sunca kojeg je proizvela, što se može uporediti sa fudbalskim stadionom koji rađa jedno sjeme jabuke. U toj hladnoj, mirnoj praznini došao je, sa velike udaljenosti, "otac". Masivna plava zvijezda eksplodirala je u tzv. Perzejevom spiralnom kraku naše galaksije. Ostaci ove supernove, očinska strana solarne DNK, uključivala je nove supstance, potpuno nepoznate u nostalgičnim danima velikog praska, devet milijardi godina ranije. Susret i mješavina tih različitih materijala stvorili su zvijezdu koja je bila predodređena da postane naša.

Unutar velikog oblaka vodika i helija – magline – svaki grumen materije utiče vlastitom gravitacijom i privlači okolni plin. Tokom ove kontrakcije, početno kretanje se razvija u ležernu rotaciju, i kako se materija zgušnjava, kao balerina koja povlači ruke prema sebi, brzina rotacije se povećava. Gravitacijski kolapsi uvijek stvaraju toplinu, tako da centar postaje sve topliji. U međuvremenu, maglina se oblikuje u kuglu. Zvijezde i planete su sfere, jer sfere imaju najmanje površine od bilo kojeg geometrijskog oblika. U cijelom kosmosu, samo vrlo mali objekti poput asteroida izbjegavaju okrugle oblike.

S dovoljno plina i time dovoljnom gravitacijom, rotirajuća jezgra se komprimira i postaje bijela. Toplina jednostavno znači "kretanje atoma", tako da se svaki atom vodika sada kreće prema susjedu s takvom silom da se njihovi protoni udružuju zajedno: fuzija. To je oblik alhemije, osim što umjesto zlata, spajanje vodikovih protona stvara helij. U svakoj sekundi, Sunce proizvodi i emitira energije kao šest biliona (10^12) Hirošimskih atomskih bombi. Ova fuzija će se nastaviti samostalno sve dok ima goriva u Suncu.

Masa kolapsirajuće magline određuje sve. Premalo mase i fuzija se nikad ne događa. Sasvim dovoljno mase, i niski pritisak u jezgri čini fuziju veoma sporom: zvijezda sjaji slabo kao hladni crveni patuljak. Sa samo jedanaestim dijelom solarne mase, takve zvijezde zrače slabim narandžastim sjajem. To su ulični psi galaksije; oni su posvuda. Četrdeset tri od pedeset zvijezda najbližih Zemlji su ove tamne, crvenkaste sorte, koje astronomi, bez ikakve prividne logike, nazivaju tip M. Ti "metuzalemi" koriste gorivo tako rijetko da nadživljuju sve drugo, pa možda čak i sam svemir.

Na drugoj strani su masivne zvijezde. Kad one implodiraju i upale se, gravitacija je toliko moćna da se fuzija u jezgri odigrava nevjerovatno brzo, nastavljajući u ludom ritmu, gotovo poput bombe: pregrijavanje i velika toplina stvaraju plavo blještavilo. Takvi zasljepljujući svjetionici rijetki su, ali se neproporcionalno pojavljuju na noćnom nebu jer ih vidimo na velikoj udaljenosti. Njihovo gorivo brzo se troši, bez razmišljanja o budućnosti. Ove zvijezde ne traju dugo.

Upravo takva plava zvijezda koja "živi za trenutak" je bila "otac" našem Suncu. Rigel, poznata zvijezda u Orionu slična je Sunčevu "ocu". To je zvijezda tipa B, 17 puta masivnija od Sunca, što ga čini preko 65 000 puta svjetlijim. Živi sretno samo 7 milijuna godina, transformacijom vodika u helij. Kako se Rigelov vodik iscrpljuje, sve više će "gorjeti" helij, koji stvara ugljik i kisik, proces koji će trajati samo 700 000 godina. No stvari i dalje idu nizbrdo. Sljedeći korak, transformirajući dio novorođenog kisika u silikon, kupit će Rigelu samo jednu godinu. Konačna metamorfoza silicija do željeza zadržat će zvijezdu živom još samo jedan dan. Željezo je kraj linije. Izrada atoma težih od željeza troši energiju, a ne proizvodi je.

Zatim, bez goriva i bez sreće, bez unutrašnjeg pritiska iz jezgre, zvijezda će konačno popustiti gravitaciji. Sama težina svih njenih slojeva dovešće do kolapsa zvijezde, brzo povećavajući temperaturu sve dok cijela stvar ne završi kao supernova – najintenzivnija svjetlost koju priroda stvara.

Jezgra će ostati kao sićušna, zgnječena kugla široka dvadesetak kilometara, koja se vrtoglavo vrti. Ostatak zvijezde će biti izbačen prema okolini, dvije hiljade puta brže od puščanih metaka. U svemir će se izbaciti materijala dovoljno za dva miliona planeta sličnih Zemlji – sve svježe pečeni kisik, silicij, željezo i ostatak – ova materija letjet će preko svemira u bljesku svjetlijem od milion Sunčevih.

No, više od toga, nevjerojatna toplina supernove dovodi do spajanja novih ultrateških atoma. Doista, jedini mogući način prirode za stvaranje joda, olova, urana i svih ostalih elemenata teži od željeza nalazi se u kotlu supernove. Dakle, ono što sada leti kroz prostor su svih

devedeset i nešto prirodnih elemenata, velika promjena od pukog vodika i helija i daška litija u primordijalnoj maglini. Masivna zvijezda bila je tvornica koja je stvorila svaki element, uključujući i kisik koji dišemo u ovom trenutku.

Pri susretu sa primordijalnom maglinom, ostaci supernova guraju taj plin u guste niti, stvarajući čvorove plinovitih kuglica koje se urušavaju i obrazuju nove zvijezde. Ove tzv. zvijezde druge generacije djelomično su sastavljene od težih elemenata sada već umrle plave zvijezde. To su zvijezde koje astronomi nazivaju zvijezde bogate metalima.

Neke od tih zvijezda druge generacije su velike masivne plave zvijezde tipa O i B koje prolaze kroz svoje životne cikluse dvostruko brže. Kada one postaju supernove, još jača eksplozija se širi diljem galaksije. Kada se ovaj "poboljšani" materijal sastane sa nekom maglinom (ove magline su gotovo posvuda), on stvara zvijezde treće generacije, koje su do sada najnoviji modeli zvijezda. Takve zvijezde, i sve ostale tvari koje se kondenziraju u planete oko njih, bogate su kisikom i ugljikom. Oni postaju igrališta za kreativno eksperimentiranje prirode.

Naše Sunce je upravo zvijezda treće generacije. Planeti koji kruže oko njega odražavaju ovu činjenicu. To što imamo imamo jod u našim štitnjačama dokazuje da su naša tijela oblikovana supernovom. Željezo u našoj krvi došlo je iz jezgri prethodnih generacija zvijezda. Sunce sadrži nešto fluorescentne natrijeve pare, elementa naslijeđenog od svog oca, plave zvijezde tipa O ili B. Sunca ima dovoljne količine vodika koji će mu biti gorivo za održavanje života milijardama godina koje dolaze, i to je naslijedilo od svoje majke, gasovite magline. Njihovi bračni zavjeti su razmijenjeni prije 4,6 milijardi godina. Otada se galaksija okrenula oko dvadeset puta, i ne možemo saznati iz koje magline tačno je nastalo Sunce (razrijeđena je tokom vremena), niti vidimo tragove supernove koja je bila druga komponenta geneze Sunca.

Mehanizam rođenja Sunca gleda nas u lice. Čak i sa jeftinom spektroskopom, vidi se da Sunce ima veoma složenu kompoziciju. Njegov visoki sadržaj metala je uvjerljiv dokaz da, za razliku od tolikih drugih zvijezda u svemiru, Sunce nije nastalo od primordijalnog materijala.

Svemir ima mnogo misterija, od velikog praska do prirode svijesti, no način kako se Sunce rodilo nije među njima.

Sunce je udaljeno od nas tek 150 miliona km (1 AJ), pa ga možemo vidjeti (i snimiti) u zapanjujućim detaljima. Slijedeća najbliža zvijezda sličnog sjaja je Alpha Centauri, udaljena od nas 271000 puta više nego Sunce.

Sunce je zvijezda u odnosu na koju poredimo sve ostale zvijezde, i njihovi parametri su najčešće izraženi preko solarnih jedinica. Prečnik Sunca je 1,4 miliona km, ili 109 Zemalja poredanih jedna do druge. Unutar Sunca može se smjestiti 1,3 miliona Zemlji. Masa mu je 2×1030kg ili 2 miliona biliona biliona kg ili 330 000 masa Zemlje. Sunce čini 99,86% mase cijelog solarnog sistema. Gustina Sunca otprilike je jednaka gustini vode (1000 kg/m3).

Zapanjiv je luminozitet Sunca koji iznosi oko 400 biliona biliona W. Ogromna energija koja se oslobađa sa njegove bijelo-žute "površine" (ustvari prozirnog gasa) pri 5777K, proizvodi se termonuklearnom fuzijom u jezgri Sunca koja čini polovinu Sunčeve mase. Temperatura Sunca u jezgri dostiže približno 16 miliona K i ima gustinu 14 puta veću od gustine olova. Bez obzira na gustinu, jezgro je, kao i ostatak Sunca, potpuno gasovito. Sunčevo jezgro slobađa svake sekunde energiju jednaku energiji koju ukupno oslobađa 100 milijardi nuklearnih bombi. Zrno pjeska ove temperature bi ubilo čovjeka koji stoji 150 km udaljen od njega. Dok ovo pročitate (5 sekundi) Sunce će nuklearnom fuzijom u jezgru pretvoriti 3000 miliona tona hidrogena u 2980 miliona tona helijuma. Energija koju Sunce emitira u nekoliko sekundi veća je od cjelokupnog iznosa energije koju je čovječanstvo potrošilo u cijeloj svojoj historiji. Po ukupnoj enegiji, Sunčevu svjetlost čini oko 50% vidljiva svjetlost, 40% infracrvena svjetlost, a 10% ultraljubičasta svjetlost.

Vanjski slojevi Sunca koji su konvekcijski nestabilni i kontinualno se kreću, sastavljeni su od oko 92% vodika, 8% helijuma i oko 0,15% ostalih elemenata (od kojih su kiseonik, ugljik, neon i nitrogen najzastupljeniji).

Pri ogromnim temperaturama i pritisku u jezgri, vodik se polako pretvara u helijum, pri čemu se mala količina mase gubi i pretvara u

energiju. Nakon 4,5 milijarde godina, polovinu jezgre Sunca (sada) čini helijum, a ostalo je dovoljno vodika da Sunce živi još oko 5 milijardi godina.

Zanimljivo je da fotonima koji se proizvode u centru Sunca treba nekoliko stotina hiljada godina pa čak i do milion godina da dođu do površine Sunca, što znači da je svjetlo koje gledamo na Suncu nastalo najvjerovatnije prije milion i kusur godina. Čak i dok gledamo Sunce, mi praktično gledamo u prošlost.

Sunce se okreće relativno sporo, sa periodom od 25 dana na svom ekvatoru, i ova rotacija proizvodi magnetno polje koje je pet puta jače od Zemljinog. Rotacija Sunca "obmotava" magnetno polje u moćne "konopce" čije magnetno polje je jače hiljadama puta od Zemljinog, pri tome sprečavajući konvekciju, lokalno hladeći Sunce i kreirajući Sunčeve pjege.

Ovaj magnetizam zagrijava tanki vanjski sloj – koronu – do temperature od oko 2 miliona K. Budući da je tanka, korona nije naročito sjajna i vidljiva je tek pri totalnom pomračenju Sunca, kad se površina Sunca prekrije Mjesečevom.

Slabi "vjetar", kontrolisan magnetizmom i luminozitetom Sunca, kreće se sa Sunca, prolazi pored Zemlje i ide dalje u svemir, često stvarajući rep na kometama koje vidimo. Erupcije solarnog vjetra nastaju u kolapsirajućim magnetnim poljima Sunca, proizvodeći pri tome na Zemlji slikovitu sjevernu i južnu polarnu svjetlost (aurore). Sunce svake sekunde gubi preko milion tona svoje mase uslijed solarnih vjetrova.

Plimni uticaj Mjeseca konstantno usporava Zemlju pa se Sunce kreće sve sporije i sporije preko neba. U dalekoj budućnosti dan na Zemlji će zbog toga trajati kao današnjih 40 dana.

Na sjevernoj hemisferi Sunce se kreće nadesno, a na južnoj nalijevo. Stanovnici ekvatorijalnog područja Zemlje vide Sunce kako izlazi ravno prema gore sve dok se u podne ne nađe tačno iznad njihovih glava. Tokom poslijepodneva Sunce u ovim područjima pada kao olovna kugla ravno dole. Zbog ovoga su ovdje vrlo kratki zalasci Sunca. Nema puno romantičnih pjesama o zalascima Sunca na ekvatoru.

Tokom godine dužine dana i noći nisu izbalansirane. Zahvaljujući atmosferi koja refraktuje (lomi) svjetlost, Sunce se čini kao da je na horizontu kada je zapravo zašlo. Tada vidimo tzv. solarni fantom, lažno Sunce. Ovaj trik atmosfere omogućava dodatnih 7 minuta Sunca dnevno. To je 40 dodatnih sati Sunca godišnje.

Prelazeći nebo Sunce pređe vlastiti prečnik za tačno 2 minute. Kretanje Sunce je analogno kretanju minutne kazaljke na kuhinjskom satu kada se posmatra sa jednog metra udaljenosti.

Budući da mnoge zvijezde pokazuju slične fenomene, Sunce nam omogućava da razumijemo ponašanje zvijezda. Zvijezde, zauzvrat, pomažu nam da bolje razumijemo naše Sunce.

Prividnu površinu Sunca nazivamo fotosferom. Ovdje se temperature kreću oko 5800 K. Vrući plin izvire iz unutrašnjosti na površinu, zbog čega nam se čini da površina ima granulastu (zrnatu) strukturu. Granule su prečnika oko 1000 km, u stalnom su pokretu (poput vrenja vode), a vrijeme trajanja im je nekoliko minuta. Ponekad nastaju takozvane supergranule prečnika 30000km koje traju i do 24 sata.

U fotosferi se nalaze Sunčeve pjege (makule), Sunčeva baklja (fakule), granule i supergranule. Sunčeve pjege, tamnija, i do 1500 K hladnija područja fotosfere, posljedica su kvaziperiodične evolucije Sunčevog magnetskog polja. Ono je proizvedeno strujanjima Sunčeve plazme ispod fotosfere, pretežno u konvektivnoj zoni, te na granici radijativne i konvektivne zone, a nastaje takozvanim dinamo mehanizmom, podržavanim konvekcijom i rotacijom. Polje se stalno razvija i mijenja oblike. Na početku Sunčevog ciklusa aktivnost polja je slaba i ima oblik dipola. Zbog diferencijalne rotacije polje se deformira i silnice se u blizini ekvatora izdužuju; polje se razvija u niz petlji. Na prodoru petlji iz fotosfere javljaju se skupine pjega.

Kromosfera je niži sloj Sunčeve atmosfere: proteže se iznad fotosfere do visine oko 2000 km, i niže je temperature od fotosfere. Znatno je rjeđa od fotosfere i nepravilnog je oblika. Sa Zemlje se može vidjeti samo za vrijeme potpune pomrčine Sunca.

U kromosferi se događaju izboji plina stvarajući učinke koje nazivamo prominencije i Sunčeve baklje. Prominencije (protuberance) su oblaci ili mlazovi usijanog plina izbačenog u vis. Mogu se uzdići do visine 150000 km iznad fotosfere, kroz kromosferu i koronu. Gušće su od okolne tvari i dostižu temperaturu oko 20000 K. Njihov jonizirani plin podržavan je tlakom magnetskoga polja. Mirne prominencije preživljavaju i više mjeseci.

Na sličan način dolazi do pojave baklji, mlazova plina koji se brzo podižu unutar kromosfere i padaju nazad. Vrijeme trajanja jedne baklje je oko 10 minuta. Iz nje se podižu i bodlje (spikule), mali izbačaji plina koji se dižu do visine od 7000 do 9000 km. Spikule nisu razmještene po cijelom Suncu, već su stiješnjene na rubovima supergranula.

Svemu dođe kraj, pa će tako i naše Sunce jednom "umrijeti". Za nekih 5 milijardi godina Sunce će ući u fazu crvenog džina. Većina vodika u jezgri biće pretvorena u helijum, proces fuzije će prestati, što će dovesti do poremećaja između pritiska usmjerenog ka spoljnim slojevima i gravitacione sile usmjerene ka jezgri. Jezgro Sunca će postepeno kolapsirati zbog gravitacije, pri ćemu će gravitaciona energija biti pretvorena u toplotnu energiju koja će dovesti do zagrijavanja spoljnih slojeva tako da će Sunce sve više rasti, njegova površina će se hladiti (do oko 3000 K) i postati crvena. Nekoliko stotina miliona godina nastaviće se ovo širenje spoljnih slojeva Sunca koje će u toj fazi progutati planetu Merkur, a temperature na Veneri i Zemlji će se drastično povećati. Nuklearna fuzija helijuma u ugljik koja će se tada odvijati prouzrokovaće još veću ekspanziju spoljnih slojeva. Tada će se Sunce sastojati iz tri sloja: u spoljnjem sloju odvijaće se fuzija vodika u helijum, u unutrašnjem fuzija helijuma u ugljik, a u sredini će se nalaziti "inertno" jezgro sastavljeno od ugljika i kiseonika.

Ovaj proces širenja i sažimanja Sunca može se ponoviti više puta. Milenijumi prolaze između ovih pulseva koji u konačnici postaju tako moćni da se spoljni slojevi zvijezde odvajaju od jezgre i počinju da se kreću kroz prostor. Sunce će izbaciti polovinu svoje mase u ovom procesu nastanka planetarne magline koja će možda biti ukras nekoj

drugoj civilizaciji na nebu. Ove planetarne magline obogaćuju međuzvjezdani prostor materijom.

Sunčevo jezgro će se skupljati i hladiti (sa temperature preko 100000 K), a o njegovoj sudbini odlučivaće gravitacija koja će sve više i više zbijati atome u jezgri. Kad se jezgra Sunca sabije do veličine Zemlje, elektroni će zaustaviti kontrakciju jer bi dalje sabijanje značilo da dva elektrona zauzimaju jedno te isto mjesto što zabranjuje tzv. Paulijev princip isključenja. Rezultujući pritisak naziva se pritisak degenerisanih elektrona. Na ovaj način Sunce će postati bijeli patuljak, tijelo malih dimenzija, ogromne gustine, temperature oko 50000 K.

Sunce, sada bijeli patuljak, poslije plavičasto-bijele svjetlosti počeće da emituje žutu, a kasnije i crvenu svjetlost. Postepeno će se ohladiti na temperaturu međuzvjezdanog prostora i prestaće da emituje svjetlost. Bogat ugljikom i kiseonikom, crni patuljak nastaviće da kruži oko centra naše galaksije. Možda će to crno, hladno i beživotno tijelo milijardama godina kružiti oko centra galaksije. A možda jednog dana prođe kroz neki gasoviti oblak, uzburka ga i onda sve počne iz početka.

Sunce je izvor je života na Zemlji. Naša supa, komad hljeba, piće – sve je to Sunčeva energija u oblicima koje naše tijelo može da iskoristi. Biljke jedino mogu direktno iskoristiti Sunčevu svjetlost u procesu fotosinteze, pri čemu nastaje kiseonik i grožđani šećer. Energija koja je bila u svjetlosti Sunca sada se nalazi u šećeru. Ljudi to ne mogu uraditi (uzimati energiju iz Sunca kao hranu) i prinuđeni su da jedu biljke ili životinje koje se hrane biljkama. Zato kada uživamo u zasluženom objedu i sakupljamo novu snagu, treba zahvaliti Sunčevoj energiji koju smo unijeli u sebe.

Naši vlastiti roditelji bili su prva generacija ljudi za koje Sunčevo porijeklo više nije zahtijevalo očajna nagađanja filozofa ili misterije teologa. Sjaj plinovitih metala pridonosi Sunčevoj svjetlosti koja reflektira bijelo perje galebova koji lete iznad naše glave i dječija lica dok se igraju u dvorištu. Sunčeva geneza osvjetljava i oblake iznad nas i mnoštvo valova ispod mora. Svuda je oko nas. Zapravo, na mnogo načina, to smo sami mi.

2. Vega



Veličanstvena Vega
(copyright: Fred Espenak; Takahashi Epsilon 180 HA, Canon 550D mod)

Lokacija:	Sazviježđe Lira
Drugi nazivi:	Alfa Lire
Klasa	Patuljak klase A
Prividna magnituda:	0,03
Apsolutna magnituda:	0,582
Udaljenost:	25 svjetlosnih godina
Značaj:	Kalibracijska zvijezda

Vega (ar. padajući orao) ili Alfa Lire, nazvana i "najvažnijom zvijezdom nakon Sunca", jedna je od najsjajnijih zvijezda na nebu (peta najsjajnija), prividne magnitude +0,03, u sazviježđu Lira. Prepoznatljiva je na sjevernoj polulopti. Udaljena je od nas tek oko 25 svjetlosnih godina. Apsolutne veličine +0,582 i luminoziteta oko 40 puta većeg

od našeg Sunca. Procjenjena starost joj je oko 450 miliona godina i "proživjela" je već oko 50% svog života. Nakon što napusti glavni niz (HR dijagram), Vega će postati crveni div M tipa, koji će odbaciti veći dio svoje mase i postati bijeli patuljak. Relativno brzo se okreće oko svoje ose (274 km/s na svom ekvatoru), što dovodi do značajne spljoštenosti na polovima.

Tri sjajne zvijezde: Vega, Arktur i Kapela dijele sjeverni dio neba na trećine. Sa Altairom i Denebom, Vega čini Veliki ljetnji trokut. Mase je oko 2,5 puta veće od Sunca, i bijela je stabilna zvijezda spektralnog tipa A0V, te Delta Scuti varijabilna sa periodom od 0,107 dana, površinske temperature oko 9600K.

Zvijezde tipa A su, inače, poznate po dominantnim linijama Balmerove serije i veoma "urednom" spektru (neki bi rekli i estetski lijepom spektru). Ovakvi spektri su odlični kao didaktičko sredstvo za uvod u praktičnu spektroskopiju. Takođe, uzorci jakih Balmerovih (H) linija su odlični za prvobitnu kalibraciju uređaja. Generalno, ove linije se pojačavaju kod B tipa zvijezda i dosežu maksimum kod zvijezda tipa A2. Vega se koristi kao standard za kalibraciju fotometrijskih skala, i bila je jedna od zvijezda korištena za definisanje srednjih vrijednosti za UBV fotometrijski sistem.

Neke od najpoznatijih i najmarkatnijih zvijezda na nebu su upravo zvijezde tipa A (Sirius, Vega, Kastor, Deneb, Denebola, Altair, Rukba, većina zvijezda u asterizmu Veliki Medvjed, itd). One generalno imaju masu od 2-3 mase Sunca, ostaju na glavnom nizu Hertzsprung Russell dijagrama 450 miliona – 3 milijarde godina, temperatura fotosfere im je 7500 – 10 000K, radius 1,7 – 2,7 radijusa Sunca, a luminozitet 8 – 55 puta veći od luminoziteta Sunca.

Prije 14000 godina nalazila se na mjestu današnje sjevernjače i biće ponovo oko 13700. godine N.E., a danas se u njenoj blizini nalazi tačka prema kojoj se kreće Sunčev sistem. Vega nam se približava brzinom od oko 15 km/s. Na geografskim širinama iznad 51° N, Vega je uvijek iznad horizonta (tzv. cirkumpolarna zvijezda). Na južnoj polulopti se vidi iznad 51° S (ne vidi se nikad npr. u Čileu).

Vega je karakteristična po vrlo maloj količini metala (misli se na elemente sa većim atomskim brojem od helijuma), tj. tek 32% u odnosu na Sunce. Za razliku od npr. Siriusa koji ima metalicitet 3 puta veći do Sunca. Vega ima tek 0,54% elemenata koji imaju veći atomski broj od helijuma, što je čini tzv. Lambda-Boötis tipom zvijezde. Moguće je da je Vega nastala iz interstelarne mase neobično siromašne metalima. Smatra se da je kod nje odnos helijuma prema vodiku tek 0,03 (3%).

Oko Vege je 1984. godine lociran disk hladne prašine (temperature 75K), koji se proteže do 70 AJ (astronomskih jedinica) od zvijezde. Naš Solarni sistem ima takav disk sastavljen od ostataka nakon formiranja planeta, smrvljenih asteroida ili kometske prašine. Disk oko Vege ima rupu u centru, što znači da možda ima i planeta. Ali čak i da ima planeta, život (kakav poznajemo) se vjerovatno tamo ne bi mogao razviti. Sa procjenjenom starosti od tek nekoliko stotina miliona godina, to znači da se tamo vjerovatno još dešavaju masovna bombardiranja planeta od strane kometa i asteroida, kao što je to bio slučaj i sa Zemljom. Dok se život (eventualno) pojavi tamo, Vega će već početi umirati.

U mnogim kulturama Vega je dio kulturnog naslijeđa (stari Egipat, stara Indija, stara Arabija, stara Engleska, Polinezija, Asirci, Kinezi, Zoroastrijanci, itd). Vega je centar dešavanja i u kultnoj knjizi (i filmu) Contact (Carl Sagan), za mene najboljim Sci-fi filmom ikad.

Slijedeći put kad pogledate u nebo i ugledate Vegu, možete vašem djetetu (djevojci/roditeljima/drugovima) ispričati nešto više o ovoj markantnoj zvijezdi koja je karakteristična za sjeverno nebo.



Određivanje spektra Vege i procjena njene klase i temperature
(copyright: Alan Ćatović)

3. Alfa (i Proksima) Kentaura



Zvijezde α Kentaura i β Kentaura, sa Proksimom Kentaura zaokruženom crvenom bojom (izvor: wikipedia)

Lokacija:	Sazviježđe Kentaur
Drugi nazivi:	Rigil Kent, Toliman, Bungula
Klasa	Patuljci klasa G, K i M
Prividna magnituda:	-0,01; 1,33; 11,05
Apsolutna magnituda:	4,34; 5,68; 15,50
Udaljenost:	4,22 do 4,39 svjetlosnih godina
Značaj:	Najbliži zvjezdani sistem

Uz određene iznimke, astronomi moraju koristiti ono što nam priroda da. Rezultat je problem "opservacijske selekcije". Na prvi pogled, nebom dominiraju relativno rijetke ali veoma luminozne zvijezde koje se mogu vidjeti sa velike udaljenosti. Od 50 najsvjetlijih zvijezda, sve osim jedne su barem sedam puta luminoznije od Sunca, a većina je 100 do 1000 puta luminoznija od Sunca.

Izuzetak je Alfa Kentaura, arapski "Kentaurovo stopalo". Nalazi se na trećem mjesto po sjajnosti, iza Siriusa i Kanopusa. To nam je najbliži zvjezdani sistem. Golim okom se čini kao jedna zvijezda, ali su to, ustvari, dvije zvijezde, α i β. Ovaj duo orbitira oko zajedničkog centra mase (baricentra) svakih 79,9 godina, a međusobno je udaljen u prosjeku oko 24 AJ (varira između 11,2 i 35,6 AJ) – udaljenost nešto veća nego udaljenost između Urana i Sunca. Obadvije zvijezde su patuljci slični Suncu, sa prividnim magnitudama -0,01 i 1,33. Ako bi ih mogli razdvojene vidjeti golim okom, svjetlija bi i dalje bila treća najsjajnija zvijezda na nebu, dok bi druga zvijezda pala na 21. mjesto. Ova druga zvijezda je klase K, nešto hladnija od Sunca, temperature oko 5000K. Sa masom od oko 0,85 mase Sunca, njen luminozitet je tek oko 40% Sunčevog. Svjetlija zvijezda u ovom paru je klase G2V, skoro pa kopija Sunca, sa masom tek 10% većom od mase Sunca, 22% većeg radijusa i luminoznošću za oko 50% većom nego kod Sunca. Ne znamo da li postoje planeti oko neke od ovih zvijezda (2013. je predloženo ali još nije potvrđeno), ili da li bi takvi planeti uopšte preživjeli dvojni sistem zvijezda. Ali, pretpostavljajući da postoji naseljen planet, njegovi stanovnici bi vidjeli naše Sunce kao osmu najsjajniju zvijezdu na nebu, sa magnitudom 0,48 na potezu između zvijezda u Kasiopeji i Perzeju. Zanimljivo je da je prečnik atoma manji od prosječne visine čovjeka onoliko koliko je prosječna visina čovjeka manja od razdaljine između nas i sistema Alfa Kentaura.

Nešto preko 2° jugozapadno i nekih 10000AJ bliže nama (udaljenost između Alfa Kentaura sistema i Proksime je oko 13000 AJ – oko 430 puta veće udaljenosti nego između Zemlje i Neptuna) nalazi se treći član ovog trostrukog zvjezdanog sistema, zvijezda Proksima Kentaura (lat. "najbliža od Kentaura") koja je dosta manje luminozna od prethodne dvije. Orbitirajući oko sistema Alfa Kentaura periodom od pola miliona godina, ne primjećuje se nikakvo relativno kretanje. Smatra se da pripada sistemu Alfa samo zato što se prividno kreće zajedno sa njim kroz svemir, istom brzinom i smjerom (2017. je pokazano da su gravitacijski povezani). Iako udaljena od nas tek 4,2 svjetlosne godine (40 biliona kilometara) i među svjetlijim patuljcima

klase M (od kojih se nijedan ne može vidjeti golim okom), to je još uvijek zvijezda 11 magnitude, preko 60 puta manje sjajna nego što naše oko može detektirati, zračeći tek 1/18000 dio vizuelnog zračenja Sunca. Svojom prosječnom brzinom od 30000 km/h, Space Shuttle-u bi trebalo oko 150000 godina da dođe do ove zvijezde. Udaljenost do nama najbliže zvijezde može se vizuelizirati tako što se može poredati 30 miliona Sunaca, jedno do drugog, ili 3 milijarde Zemalja jedna do druge. A ako bi vozili auto brzinom 110 km/h, do najbliže zvijezde bi došli za 365 milijardi godina.



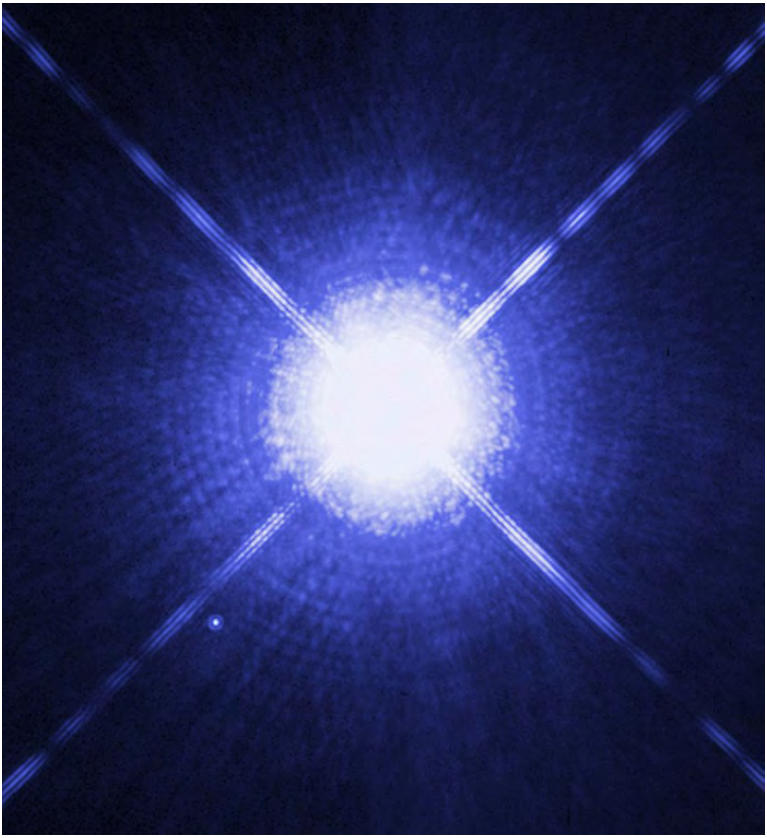
Relativne veličine zvijezda α i β Kentaura i Proksima u odnosu na Sunce
(izvor: wikipedia)

Da bi Proksimu vidjeli golim okom, morala bi se nalaziti osam puta bliže nama (udaljenost 800 puta veća nego udaljenost do Plutona). Čak i sa svjetlijeg sistema Alfa Kentaura, Proksima bi bila tek zvijezda 5 magnitude, i svjetlila bi kao najmanje svijetla zvijezda asterizma Mala kola koji vidimo na nebu. Mala luminoznost ove zvijezde rezultat je njene male mase, tek oko 1/8 mase Sunca. Gledano sa pozitivne strane, nuklearne reakcije koje je održavaju tako se sporo odvijaju da će zvijezda živjeti barem bilion godina, nadživjevši svoje svijetle susjede (od kojih se svakako može i ranije odvojiti uslijed galaktičkih interakcija). Da bi primili istu količinu energije sa Proksime kao što primamo od Sunca (uzevši u obzir IC zračenje sa njene hladne površine od 3500 K), trebali bi orbitirati na udaljenosti od 6 miliona km, i periodom od tri zemaljska dana. Život bi, međutim, vjerovatno bio nemoguć. Rotirajuća zvijezda bi proizvodila magnetna polja koja

bi prilikom svog kolapsa kreirala jake baklje rendgenskog zračenja – velike kao sama Zemlja. Vremenska prognoza bi na Proksimi glasila: "Toplo i sunčano, sa mogućnošću iznenadnog povećanja sjaja naše zvijezde do tri puta, pa ponesite šešir da ne izgorite."

Pretpostavlja se da će sistem Alfa Kentaura biti prva meta interstelarnog istraživanja (bez ljudske posade). Uz sadašnju tehnologiju trebali bi nam milenijumi da dođemo do tog sistema, ali uz eventualne inovacije (propulzija nuklearnim pulsevima, solarna jedra, nano-letjelice) mogli bi tamo doći (najvjerovatnije samo obilazak planeta oko Proksime i snimanje) unutar nekoliko desetina godina.

4. Sirius



Snimak Hubble teleskopa zvijezda Sirius A i Sirius B (vidi se lijevo) (izvor: HST)

Lokacija:	Sazviježđe Veliki pas
Drugi nazivi:	Pseća zvijezda
Klasa	patuljak klase A + bijeli patuljak
Prividna magnituda:	-1,47
Apsolutna magnituda:	1,43
Udaljenost:	8,6 svjetlosnih godina
Značaj:	Najsvjetlija zvijezda i bijeli patuljak

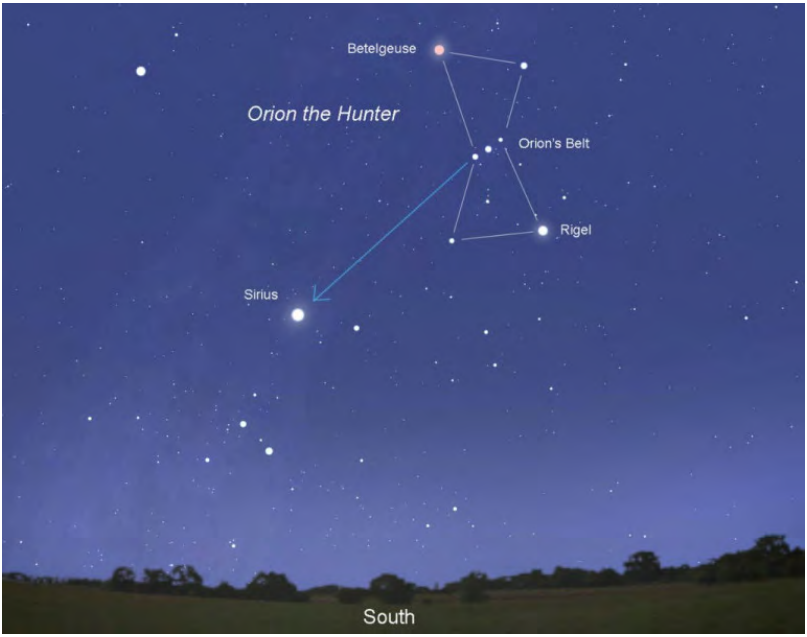
Zimska sazviježđa su nekima ljepša nego ljetna zbog mnoštva sjajnih zvijezda u njima i nekih spektakularnih maglina (npr. maglina Orion). Jedna od zvijezda koja se svojim sjajem izdvaja od ostalih i dominira među zimskim nebeskim objektima je zvijezda Sirius.

Sirijus (α CMa, alfa Velikog psa) je najsjajnija zvijezda noćnog neba posmatrano sa Zemlje (i biće takva slijedećih 200 hiljada godina), sa prividnom magnitudom od -1,47. Nalazi se u pravcu sazviježđa Veliki pas (Canis Major), a udaljena je od nas oko 8,6 svjetlosnih godina. Upravo zbog svoje blizine čini nam se svjetlom zvijezdom. Ime Sirius dolazi od grčke riječi blistav (svjetleći, pržeći). Sirius sa Procionom i Betelgezom stvara tzv. zimski trougao.

Sirijus je vidljiv u kasnu jesen pred jutro, zimi i u rano proljeće nakon sumraka, sa sjeverne hemisfere na geografskim širinama do 75°. Na zimskom nebu se može lako pronaći ako pratimo pravac određen preko tri zvijezde u pojasu sazviježđa Orion.

Sirius je dvojna zvijezda (binarni sistem) koja se sastoji od zvijezda Sirius A i njegovog pratioca Sirius B. Sirijus A je bijela zvijezda, spektralne klase A1V, mase dva puta veće od Sunčeve i 23 puta veće luminoznosti, temperature oko 9500K. Relativno je mlada zvijezda, stara oko 200 miliona godina, kao i njen pratilac. Alvin Klark, američki astronom i konstruktor teleskopa, otkrio je u blizini Siriusa zvijezdu magnitude 8,5. Kasnije je utvrđeno da se ova zvijezda kreće po izduženoj eliptičnoj putanji oko Siriusa u periodu od oko 50 godina. Sirius B je težak za osmatranje zbog zaslepljujućeg sjaja Siriusa A. Ipak, pomoću dobrog teleskopa i sa specijalnom blendom, moguće ga je snimiti. Masa Siriusa B, temerature oko 25000K, neznatno je manja od mase Sunca, a sjaj 500 puta manji od sjaja Sunca (10000 puta manji od Siriusa A). U rendgenskom dijelu spektra Sirius B je ipak sjajniji. Sirius B, zvijezda klase B, je u početku bio masivniji od Siriusa A, mase 5 puta veće od Sunca. Apsolutni sjaj Siriusa B je sada prilično mali jer je i prečnik ove zvijezde mali: iznosi oko 32000 km (prečnik Zemlje je 12756 km). Tako velika masa u malom prečniku rezultira ogromnom gustinom. Gustina Siriusa B je više od 100 hiljada puta

veća od gustine vode. Jedna kašika toliko zgusnute materije na Zemlji bi imala masu oko 2,5 tone (bilijarska kugla ove gustine bi imala masu oko 70 tona, kao vojni tenk)! Iz svega ovog se može zaključiti da je Sirius B bijeli patuljak (tipa DA). Bijeli patuljak je postao prije oko 120 miliona godina. Za astrofiziku je ova zvijezda od velikog značaja jer je to najznačajniji bijeli patuljak koji je otkriven (prvi je bio 40 Eridani). Gustina Siriusa B je tolika da se sav helijum spustio u unutrašnjost zvijezde, a na površini je čisti vodik. Uslijed helijumske fuzije, sastoji se uglavnom od ugljika i kisika, sa lakšim elementima u vanjskim slojevima zvijezde. Sirius B je na izdisaju, nalazi se pri kraju svog života jer je potrošio svoje nuklearno gorivo. Ova zvijezda još uvijek svjetli samo zato što je još uvijek vruća. Bijeli patuljci predstavljaju sudbinu svih zvijezda mase do 10 masa Sunca. I naše Sunce će doživjeti takvu sudbinu.



Položaj Siriusa na nebu (izvor: Stellarium)

Pošto leži ispod nebeskog ekvatora Sirius je uvijek prilično nisko nad našim horizontom, što znači da njegova svjetlost prolazi kroz debele slojeve Zemljine atmosfere. Zbog toga ga rijetko kad vidimo u punom sjaju, a treperenje vazdušnih slojeva često uzrokuje promjene u boji Siriusa. Sve zvijezde trepere, ali nijedna kao Sirius.

Kod nas se za Sirius zna od davnina. Pošto je označavala vrijeme kada se izvodila stoka na pašu, odnosno svinje na jasle, nazvan je i Volujarka, Volarica, Volujarica, Svinjaruša.

Po sazviježđu u kome se nalazi, Sirius se još od antičkih dana zvao Pasja zvijezda. U starom svijetu se dugo najtopliji period ljeta vezivao za pojavu Siriusa (jula i avgusta) pa se još od tada (čak i kod nas) sačuvao izraz "pasja vrućina". "Pasji dani" predstavljaju onaj sparni dio ljeta kada psi od vrućine "pobjesne". Smatralo se da Sirius koji sredinom ljeta izlazi sa Suncem dodaje Suncu svoju toplotu što uzrokuje ekstremno toplo vrijeme. Isto tako vjerovalo se da Sirius utiče i na ljude koje u vrijeme pojave ove zvijezde muči tromost i mrzovolja.

Stari Egipćani Sirius su zvali Sotis. Vjerovali su da ova zvijezda izaziva poplave Nila jer su poplave počinjale njenom pojavom na nebu. Sezonsko pojavljivanje Sirusa na nebu označavalo je i početak nove godine. Egipatska božica Siriusa i plodnosti zvala se Sopdet. U odnosu na tadašnji period, Sirius se sada pojavljuje kasnije u godini radi precesije Zemlje koja u isto vrijeme pomjera ravnodnevnicu (trenutak kada Sunce u prividnom godišnjem kretanju nebom stigne na nebeski ekvator) kroz zodijak (pojas na nebeskoj sferi koji se rasprostire 8° sjeverno i 8° južno od ekliptike, a po njemu se prividno kreću Sunce, Mjesec i većina planeta Sunčevog sistema) i mijenja smjer nebeskog pola.

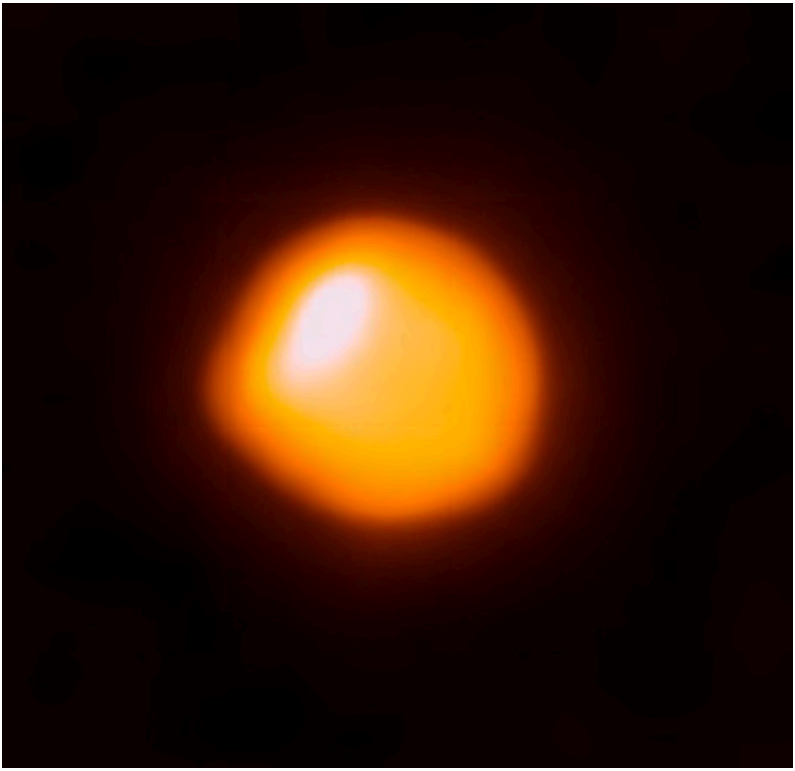
Heleni i Rimljani su Sirius dovodili u vezu sa Orionom, divovskim lovcem čije se sazviježđe nalazi u blizini. U susjedstvu je i sazviježđe Mali Pas. I veliki i Mali pas prema mitu predstavljaju lovačke pse lovca Oriona. Zato nije iznenađenje što astronomi Sirius B zovu Kuče, odnosno Štene.

Letjelica Voyager 2 će za oko 300 hiljada godina proći na udaljenosti 4,3 svj. godine od Siriusa.

Ovako je Homer u Ilijadi opisao prilazak Ahila Troji:

“Sirius izlazi kasno u noći, tečno nebo
U ljetnim noćima, zvijezda nad zvijezdama,
Orionov pas zovu ga, najsvjetliji
Od svih, ali zlog omena, donosi vrućinu
I groznice za čovječanstvo koje pati. “

5. Betelgez



Betelgez snimljen sa ALMA teleskopom (copyright: ALMA)

Lokacija:	Sazviježđe Lovac (Orion)
Drugi nazivi:	Alfa Lovca (Oriona)
Klasa	Crveni superdiv klase M
Prividna magnituda:	0,55
Apsolutna magnituda:	-5,1
Udaljenost:	430-650 svjetlosnih godina
Značaj:	Crveni superdiv sa ogromnim oblakom prašine i prva zvijezda kojoj je snimljena površina

Betelgez (α Oriona, 58 Oriona) je sjajna narandžasto-crvenkasta zvijezda u sazviježđu Orion (Lovac). Porijeklo imena, vezano za loše prevedenu verziju sa arapskog jezika, nije još sasvim razjašnjeno ali najčešća interpretacija je "ruka Oriona". Kada gledamo prema Orionu možemo je vidjeti sa lijeve gornje strane (desno rame) Oriona.

Jedna je od najvećih i najluminoznijih zvijezda vidljivih golim okom. Budući da je varijabilna, sedma je najsjajnija zvijezda na nebu kada ima najveći sjaj, a dvadeseta najsjajnija kada ima najslabiji sjaj. Od septembra do marta vidljiva je sa svih naseljenih područja na Zemlji (izuzev nekih istraživačkih stanica na Antarktiku).

Betelgez je crveni superdiv (u ovoj fazi je tek nekih 40 hiljada godina) spektralne klase M, temperature od 3250 do 3690 K. Zbog relativno niske površinske temperature, zvijezda najviše zrači u infracrvenom dijelu spektra, a tek oko 13% ukupnog zračenja zvijezde emituje kao vidljivu svjetlost. Da su ljudske oči osjetljive na radijaciju pri svim talasnim dužinama, Betelgeza bi bila najsjajnija zvijezda na nebu!

Prva je zvijezda kojoj je izmjerena ugaona širina diska, i to 1920. godine. Mjerenje su izvršili Michelson i Pease sa interferometrom (instrument koji elektromagnetske talase izvora prima pomoću dva ili više detektora pa se pomoću interferencije talasa vrše precizna mjerenja) postavljenim ispred 2,5m teleskopa na opservatoriji Mount Wilson.

Prema teoriji, njena početna masa je bila vjerovatno između 15 i 20 masa Sunca, a njena prosječna gustina je sada približno jednaka gustini vazduha. Započela je svoj život kao vruća zvijezda klase O prije otprilike 8,5 miliona godina (odnosi se na zvijezdu početne mase 20 masa Sunca) iz molekularnog oblaka gasa u Orionu (tzv. OB1 asocijacija), ali je njen razvoj tekao relativno brzo zbog velike mase zvijezde. Trenutna masa se procjenjuje na oko 11,6 masa Sunca.

Postoje različiti podaci o udaljenosti Betelgeza, od 430 svjetlosnih godina (Hipparcos satelit) do 650 svjetlosnih godina (VLA teleskop). Ako se uzme kompromisna udaljenost od 550 svj. godina, luminozitet ove zvijezde je 85 hiljada puta veći od Sunčevog. Ako se razmatra veća udaljenost, luminozitet se penje i do 150 hiljada Sunčevih.

John Herschel je 1836 godine otkrio da ova zvijezda ne sija uvijek istim sjajem, već da se njen sjaj mijenja sa određenom pravilnošću. Astronomi danas znaju da je ova promjena sjaja posljedica promjene dimenzija njene atmosfere. Vjeruje se da promjena sjaja Betelgeza nastaje zbog toga što se spoljni slojevi zvijezde polako udaljavaju od jezgre, a zatim se zvijezda sažima. Na ovaj način mijenja se površina zvijezde, temperatura opada i raste, a zvijezda postaje sjajnija ili tamni.

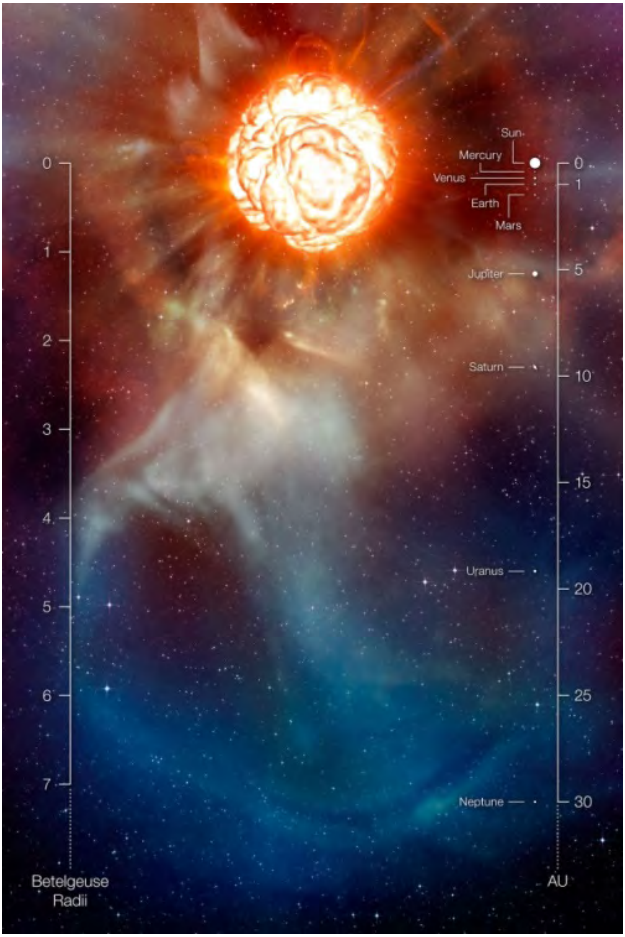
Betelgez je jedina promjenljiva zvijezda prve magnitude. Mijenja prividnu magnitudu od 0,0 do 1,3. Po karakteristikama promjene sjaja Betelgez spada u djelimično pravilno promjenljive, pulsirajuće zvijezde sa periodom od oko 5,7 godina. Zbog promjene sjaja, vodi se kao najsjajnija zvijezda Oriona jer je periodično svjetlija od Rigela.

Uslijed gubitka mase tokom velikog vremenskog perioda, Betelgez je okružen ogromnim ljuskama prašine i gasa koje je oduvao jak zvjezdani vjetar. Jedan prsten prašine nalazi se na rastojanju tri puta većem od prečnika, a drugi, veći, pronađen je na rastojanju od 650 AJ. Na rastojanjima 12000 AJ i 36000 AJ pronađeno je još gasa i prašine. Još jedan veliki, asimetrični pojas prašine nalazi se na 3,3 svetlosne godine od zvijezde. Ovi podaci, uz činjenicu da Betelgez pulsira, otežavaju precizno određivanje prečnika ove zvijezde. Vanjski slojevi Betelgeza su tako male gustine da su nazvani vrući crveni vakuum.

U literaturi se spominju podaci da se prečnik Betelgeza kreće između 550 i 1200 prečnika Sunca. Prečnik zavisi u kojem dijelu elektromagnetnog spektra posmatramo Betelgez. Posmatran u crvenom dijelu spektra (na 720 nm) prečnik zvijezde iznosi 7,2 AU (kada bi se ova zvijezda nalazila u centru našeg sistema, površina bi joj dosezala do asteroidnog pojasa). Mjerenja vršena u ultraljubičastom dijelu spektra pokazala su da je prečnik ove zvijezde 16 AU. U radio oblasti prečnik zvijezde je toliko veliki da prevazilazi orbitu Saturna. Konačno, snimci napravljeni u UV dijelu spektra pokazuju hromosferu zvijezde prečnika čak 35 AJ (udaljenost od Sunca do negdje između orbite Neptuna i Plutona).

Ukoliko se kao radijus Betelgeza uzme vrijednost od 5,5 AJ ili 1180 prečnika Sunca, to znači da u Betelgez može stati $2{,}15 \cdot 10^{15}$ Zemalja

ili više od 1,6 milijardi Sunaca. To takođe znači, plastično govoreći, ako bi Betelgez bio Wembley stadion u Londonu, Zemlja bi bila kliker prečnika 1mm koji orbitira oko Sunca veličine narandže.



Umjetnički doživljaj Betelgeza (izvor: wikipedia)

Nova istraživanja pokazuju da Betelgez proizvodi udarni talas (prečnika 4 svj. godine) koji se kreće kroz međuzvjezdani prostor brzinom od oko 30 km/s. Zvijezda je takođe nesferična (ovalnog oblika), kon-

vektivna i neregularno gubi svoju masu brzinom od 500 hiljaditog dijela mase Sunca u godini.

U vanjskim slojevima Betelgeza (na otprilike pola prečnika zvijezde) otkriveni su molekularni slojevi koji uključuju vodenu paru, ugljik monoksid, silicijum oksid, aluminijum oksid, itd.

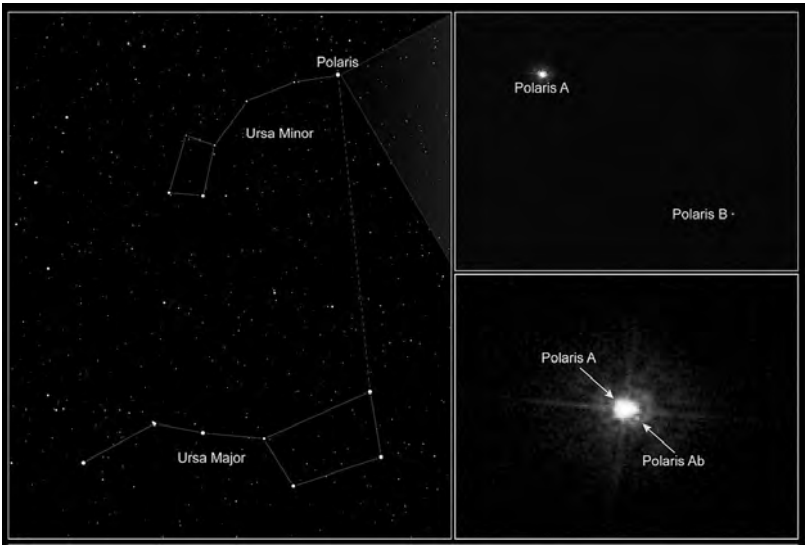
Posmatranja iz 2000 godine pokazala su da je pulsiranje Betelgeza nesimetrično jer vjerovatno postoje svjetle vruće tačke (temperature veće za 2000K od okoline) – neobično velike konvekcione ćelije, u atmosferi ove zvijezde. Istraživanja (Goddard High Resolution Spectrograph) pokazuju da su ove vruće tačke možda polovi rotacije Betelgeza.

Teleskop ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) je 2017. godine napravio snimak Betelgeza najveće rezolucije, na kojem se vidi vruća svjetla tačka.

Betelgez je zvijezda koja je evoluirala (istrošila zaliha vodika u jezgri) i bliži se kraju svog života. Pretpostavlja se da trenutno vrši fuziju helijuma u ugljik i kisik, nakon čega će stvarati i teže elemente. Zato što kreira sve teže i teže elemente (do željeza) u svom jezgru, NASA je Betelgez prozvala "vrijedni crveni div".

Zvijezda će okončati svoj život gigantskom eksplozijom (supernova tipa II), i pri tome će obogatiti svemir novom materijom. Smatra se da će nakon eksplozije od nje nastati neutronska zvijezda prečnika oko 20 km. Ako je masa Betelgeza manja od procjenjene, najvjerovatnije će završiti kao bijeli patuljak veličine Zemlje. Čak bi i tada bila zanimljiva jer je većina bijelih patuljaka načinjena od ugljika i kisika, ali Betelgez bi zbog svoje veće mase mogao postati rijetko viđeni tzv. neonsko-oksigenski bijeli patuljak. U slučaju da ova zvijezda postane supernova, što se može desiti večeras ili u slijedećih milion godina (zavisno od početne mase zvijezde), njen sjaj bi nadmašio sjaj punog Mjeseca (magnitude veće od -12), pravila bi sjene na Zemlji i vidjela bi se čak i tokom dana nekih 2-3 mjeseca. Suprotno mišljenjima nekih opskurnih portala, ne postoji opasnost za Zemlju od eksplozije Betelgeza.

6. Polaris (trenutna Sjevernjača)



Lociranje Polarisa (sjevernjače) na nebu – prvo se pronađe asterizam Velika kola (7 zvijezda), a zatim se od zadnje dvije zvijezde produži linija (oko 5 dužina) prema Polarisu. Druga slika: višestruki zvjezdani sistem Polaris (izvor: wikipedia)

Lokacija:	Sazviježđe Mali Medvjed
Drugi nazivi:	Alfa Malog medvjeda, Cynosura, Lodestar, Navigatoria, Mismar
Klasa	Zvjezdani sistem klase F
Prividna magnituda:	1,98
Apsolutna magnituda:	-3,59
Udaljenost:	323-433 svjetlosnih godina
Značaj:	Sjevernjača, najsjajnija cefeida, skoro tačno zvijezda 2 magnitude

Polaris (trenutna Sjevernjača, Alfa Malog medvjeda) je najsjajnija zvijezda sazviježđa Mali medvjed. Polaris je vrlo blizu sjevernog ne-

beskog pola, pa je pomoću nje lako odrediti pravac sjevera. Sjevernjača rotira oko nebeskog pola po krugu prečnika 1,5°. Elevacija polarisa (ugao između horizonta i Polarisa) odgovara geografskoj širini lokacije. Za naše oči Polaris izgleda kao da stoji nepomično u središtu polja zvijezda koje okružuju nebo iznad Sjevernog pola. Zbog toga se stiče dojam kako sve ostale zvijezde kruže oko nje, što joj daje jedinstvenu ulogu na nebu.

Latinski naziv Polaris dolazi od Stella Polaris (Polarna zvijezda). Sadašnja polarna zvijezda, osim imena Polaris, bila je poznata i kao "Zvijezda vodilja", "Upravljačka zvijezda", "Brodska zvijezda", te "Stella Maris" (Zvijezda mora). U Kini su je zvali Tou Mu, po imenu boginje Sjeverne zvijezde. Kormilari starogrčkih brodova su joj pak dodijelili ime Cynosoura, što u prijevodu znači "Pseći rep". U skandinavskoj mitologiji bogovi su stvorili svijet od tijela ubijenih neprijatelja. Kako bi dovršili posao, zabili su veliki klin u središte svemira i na taj način učinili da se nebo okreće oko njega. Vrh tog klina bio je napravljen od dragulja, tako da se presijavao u mraku. Naravno, to je bila zvijezda Polaris.

Na južnom nebeskom polu trenutno nema tako sjajne zvijezde u blizini da bi se mogla nazvati Južna Polarna zvijezda. Najbliža zvijezda je Sigma Oktanta (σ Octantis) koja se ponekad naziva i Južna zvijezda.

Ponekad se u narodu može čuti da je Sjevernjača najsjanija zvijezda na nebu, što je zabluda. U stvarnosti je tek 45. po sjaju na noćnom nebu (posljedica velike udaljenosti od nas), a već smo rekli da je najsjajnija zvijezda noćnog neba Sirius. Često Sjevernjaču brkaju i sa Venerom na zapadnom nebu nakon zalaska Sunca. Venera zalazi prema zapadu i mnogo je sjajnija od Sjevernjače.

Sjevernjača je od nas udaljena otprilike 433 svjetlosnih godina (Hipparcos). Novija istraživanja spominju podatak od 323 svjetlosne godine. Vidi se samo sa sjeverne hemisfere, na kojoj je cirkumpolarna (uvijek vidljiva).

Polaris ustvari nije jedna zvijezda već višestruki (trojni) zvjezdani sistem. Najsjajnija zvijezda ovog sistema je Polaris A, žuti superdiv,

klase F7, mase 5,4 masa Sunca, prečnika 32 puta većeg nego prečnik Sunca, temperature oko 7000K, i 2200 puta sjajnija od Sunca.

Oko Polarisa A orbitiraju druge dvije zvijezde – bliža Polaris Ab i dalja Polaris B. Polaris B je zvijezda klase F3V, pripada glavnom nizu, i ima masu oko 1,4 mase Sunca. Kreće se na oko 2400 AJ oko Polarisa A, tako da se može vidjeti i manjim teleskopima. Period Polarisa B je 42 hiljade godina. Otkrio ju je Vilhelm Herschel već 1779. godine.

S druge strane, postojanje Polarisa Ab je pretpostavljeno tek 1929. godine analizom spektra Polarisa A, a potvrđeno 2006. nakon što je svemirski teleskop Hubble snimio sve tri komponente sistema. Polaris Ab se kreće na oko 18 AJ (udaljenost otprilike od Sunca do Urana) oko Polarisa A, zbog čega ga je teško razlučiti. Polaris Ab je, inače, zvijezda glavnog niza, klase F6, mase 1,26 masa Sunca. Orbitalni period mu je oko 30 godina.

Novija istraživanja sugerišu da je ovaj trojni sistem zapravo dio otvorenog zvjezdanog skupa sastavljenog od zvijezda klasa A i F.

Polaris A, glavna komponenta zvjezdanog sistema Polaris, je nisko-amplitudna klasična varijabilna cefeida tipa I. Cefeide su važne za određivanje udaljenosti, tako da je Polaris A, kao najbliža takva zvijezda, temeljito istraživan. Na varijabilnost Polarisa sumnja se od 1852. godine, a varijaciju je konačno potvrdio Ejnar Hertzsprung 1911. godine. Sjaj Polarisa varira za tek $0{,}03^{m}$ (3%) tokom periodom od oko 4 dana.

Inače, cefeide, nazvane po zvijezdi Delta Kefeja (Delta Cephei), imaju nestabilnu strukturu, zbog čega pulsiraju. Volumen, temperatura i sjaj ovih zvijezda variraju tokom fiksnog perioda. Cefeide emitiraju desetak do stotine hiljada puta više energije nego Sunce, te se mogu uočiti na velikim udaljenostima. Henrietta Leavitt je 1912. otkrila vezu između njihovog stvarnog sjaja i perioda pulsiranja, po kojoj važi da što su cefeide (apsolutno) sjajnije to im je potrebno više vremena za njihove promjene (pulsaciju). To svojstvo cefeida koristi se za procjenu udaljenosti galaksija u kojim se otkriju. Otkriće omo-

gućava da na osnovu prividne magnitude m i perioda pulsiranja P (određenih fotometrijskim mjerenjima) odredimo apsolutnu magnitudu zvijezde M, a potom i udaljenost zvijezde d (u parsecima) izrazom: m-M=5log(d)-5.

U našoj galaksiji otkriveno je preko 700 Cefeida. Zahvaljujući teleskopu Hubble danas ih možemo posmatrati do udaljenosti od 25 miliona parseka. Za komparaciju, tip Ia supernove možemo uočiti na udaljenostima od nekoliko stotina miliona parseka. Upravo zahvaljujući otkriću cefeida u galaksiji Andromeda, Edwin Hubble je pouzdano odredio njenu udaljenost.

Poslije Sunca, Polaris je možda najpoznatija i najvažnija zvijezda za nas, bar u zadnjih nekoliko vijekova. Kako idete na sjever ona je sve viša na nebu, a na sjevernom polu je u zenitu. Sjeverni nebeski pol će nastaviti da se približava Polarisu sve do 2105. godine nakon čega će početi da se udaljava od nje.

Naime, precesija Zemlje uzrokuje kretanje ose Zemlje za ugao od oko 47° (zbog čega se mjenjaju "sjevernjače" tokom različitih vremenskih perioda) pri čemu jedan (precesioni) obrtaj Zemlje traje 25780 godina.

Udaljenost od Polarisa do Vege može se iskoristiti kao prikaz precesionog kruga koji pravi osa Zemlje tokom 26 milenija.

Sedam hiljada godina prije izgradnje piramida, Vega i Deneb su se mijenjale u ulozi sjevernjače, i ponovo će za nekih 12 hiljada godina.

U doba Mojsija i piramida, zvijezda Tuban je bila sjevernjača. O tome postoji i zapis iz 2849. godine prije naše ere. Zvijezda Tuban je od sjevernog nebeskog pola tada bila udaljena oko 2° i vjerovatno je imala jači sjaj nego danas (4^m) jer inače ne bi bila dovoljno uočljiva za orijentaciju – za koju se inače koristila pri zidanju piramida.

Tri hiljade godina kasnije Odisej se, kako pripovijeda Homer, već upravljao po drugoj zvijezdi. To je bila zvijezda Kohab (beta Malog medvjeda), tada oko 7° udaljena od nebeskog pola. U isto vrijeme naša današnja Sjevernjača (Polaris) od iste tačke na nebu bila je udaljena oko 15°.



Ako dugom ekspozicijom snimite sjeverni nebeski pol na snimku ćete vidjeti prividno kretanje zvijezda oko Polarisa
(copyright: Alan Ćatović)

Ulogu polarne zvijezde Sjevernjača dobija u XV vijeku pošto se tada približila nebeskom polu na 4°.

Ukoliko se prebacimo u budućnost, za nešto više od 5000 godina sjevernjača će postati Alderamin, najsjajnija zvijezda u sazviježđu Kefej. Štafetu će zatim za 7000 godina preuzeti Deneb, najsjajnija zvijezda u sazviježđu Labud. Kraj sadašnjeg i početak budućeg ciklusa biće za 12000 godina kada će iznad Sjevernog pola zasjati Vega, zvijezda šest puta sjajnija od Polarisa.

7. Deneb



Deneb i magline Sh2-112 i Sh2-115 (copyright: Davide De Martin)

Lokacija:	Sazviježđe Labud
Drugi nazivi:	Alfa Labuda
Klasa	Superdiv klase A
Prividna magnituda:	1,25
Apsolutna magnituda:	-8,4
Udaljenost:	2600 svjetlosnih godina
Značaj:	Najsjajnija A zvijezda u galaksiji

Deneb je jedna od najvećih zvijezda u našoj galaksiji i vjerovatno najveličanstvenija zvijezda koju možete vidjeti golim okom, a za koju možda niste ni čuli. Ime zvijezde potiče od arapske riječi za rep. Zvijezda Deneb je veoma udaljena od nas, otprilike 2600 svjetlosnih godina. To znači da je svjetlost koju sada vidimo sa Deneba pošla prema nama još u doba stare Grčke. Zbog precesije Zemljine ose, Deneb će postati zvijezda sjevernjača oko 9800. godine.

Kao plavkasto-bijela zvijezda klase A2, prve magnitude, mase oko 19 Sunčevih, temperature 8500 K, Deneb predstavlja najsjajniju zvijezdu u sazviježđu Labud (Cygnus) – upečatljivog sazviježđa na ljetnjom nebu u obliku ptice koja leti prema jugu, niz Mliječni put.

Postoji još nekoliko "Deneba". Tu je zvijezda Deneb Kaitos (u sazviježđu Kit), potom Deneb Algedi (najsjajnija zvijezda u Jarcu), Denebola (druga najsjajnija zvijezda u Lavu). Sve ove zvijezde prikazuju rep životinja koje njihovo sazviježđe predstavlja.

Najsjajnije zvijezde sazviježđa Labud obrazuju karakterističan asterizam nazvan Sjeverni krst, pri čemu se Deneb nalazi na vrhu. Sjeverni krst čine zvijezde Deneb, Sadr, Epsilon Labuda, Delta Labuda i Albireo. Tokom ljeta, oko ponoći, Sjeverni krst se nalazi tačno iznad naših glava i nikad na zalazi iza horizonta na geografskim širinama većim od 45°.

Deneb, takođe, obrazuje i asterizam Ljetnji trougao, skupa sa Vegom i Altairom. Sve tri zvijezde ovog trouglastog asterizma su klase A. Deneb je od ove tri zvijezde najslabijeg sjaja, ali to je samo privid. Naime, lako je zaboraviti udaljenost zvijezda kada ih posmatramo, a Deneb je preko 100 puta udaljeniji nego Vega (udaljena oko 25 svjetlosnih godina) i 165 puta udaljeniji nego Altair (udaljen 16 svj. godina). Da bi na toj udaljenosti bila zvijezda prve magnitude, zvijezda mora imati ogromnu luminoznost. I zaista, na osnovu njegove udaljenosti može se izračunati da je po apsolutnom sjaju Deneb 200000 (!) puta sjajniji od Sunca, i to ga čini, zajedno sa Rigelom, najsjajnijom zvijezdom prve magnitude u cijeloj našoj galaksiji. Kada bi Deneb bio na mjestu Vege, bio bi 10000 puta sjajniji sa magnitudom od čak -8. Deneb bi tada svjetlio jače od Mjesečeve prve četvrti i pravio sjene na Zemlji. Da je na mjestu Siriusa, s druge strane, Deneb bi bio svjetliji od punog Mjeseca. Zamislite kakvi bi se mitovi tada pričali o Denebu.

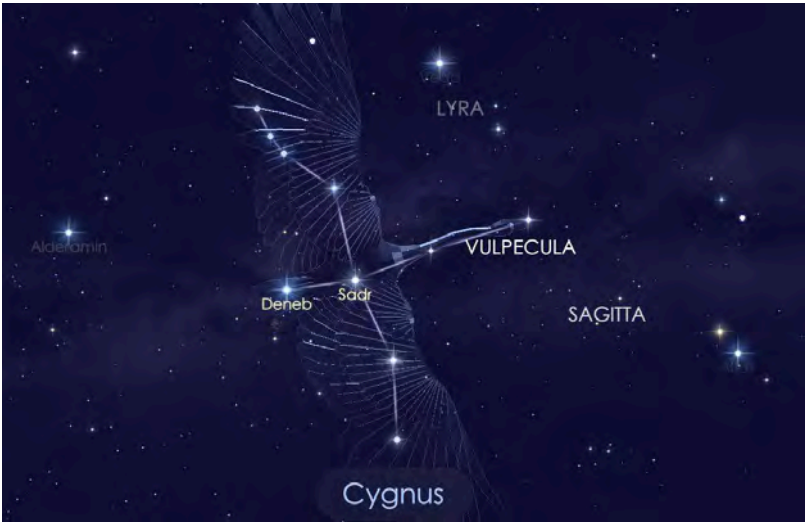
Kada bi Deneb bio na mjestu Sunca, da bi život kakav poznajemo preživio radijaciju takve zvijezde, Zemlja bi morala biti udaljena 400 puta više od Sunca nego što je sada. Dakle, na udaljenost 10 puta većoj nego što je Pluton sada. Biti tako luminozna zvijezda, a imati otprilike temperaturu Vege, znači da Deneb polako umire. Prestala je fuzija vodika u jezgri Deneba (pretpostavlja se da se trenutno vrši fuzija helijuma u ugljik u vrućoj jezgri) i zvijezda je postala superdiv, prečnika 200 puta većeg od prečnika Sunca. Kada bi se Deneb nalazio

na mjestu Sunca, Zemlja bi se približno našla na njegovoj površini! To je najveća poznata bijela zvijezda.

Pažljiva posmatranja pokazuju da Deneb gubi masu vjetrovima u iznosu 100000 puta većem nego što to radi Sunce. Prosječno gubi masu Zemlje svakih 500 godina.

Deneb je prototip klase varijabilnih zvijezda, poznatih kao varijabilne alfa Labuda (eng. Alpha Cygni variables). Njegova površina fluktuira, što uzrokuje promjenu sjaja zvijezde do $0{,}15^{m}$ bez vidljivog perioda.

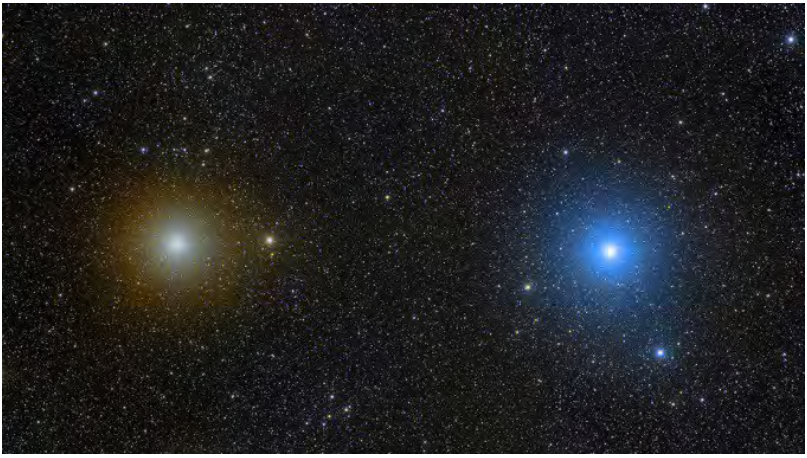
Kako je svoj životni put Deneb počeo kao zvijezda mase oko 23 Sunčevih masa, postaće luminozni crveni superdiv, nakon čega će eksplodirati, u narednih milion godina. Zavisno od početne mase i brzine gubitka mase, može eksplodirati kao žuti hiperdiv ili luminozna plava varijabilna, ili čak postati Wolf-Rayet zvijezda prije nego što skonča supernovom. Ako to uradi u skorije vrijeme, ta svjetlost (eksplozija) kreirana je nedugo nakon što je Odisej krenuo na putovanje starim svijetom, i praviće sjenke na Zemlji.



Vizuelizacija sazviježđa Labud (izvor: wikipedia)

Zvijezda Deneb (i hipotetski planeti oko nje) mnogo su puta korišteni u književnosti, filmu, elektronskim igrama i muzici. Primjeri uključuju nekoliko epizoda serije "Star Trek", strip "Srebrni Surfer", albumi Rusha "Zbogom kraljevi" i "Hemisfere", kompjuterska igra "Descent: FreeSpace – The Great War", igra "Stellaris", naučno-fantastični roman "Hyperion" i roman "The Martian" koji je nedavno napisao Andy Weir.

8. Kastor



Poluks (lijevo) *i Kastor* (desno)*, najsjajniji nebeski Blizanci*
(copyright: Rogelio Bernal Andreo)

Lokacija:	Sazviježđe Blizanci
Drugi nazivi:	Alfa Blizanaca
Klasa	Zvijezde klasa A, K i M
Prividna magnituda:	1,58
Apsolutna magnituda:	0,59
Udaljenost:	50 svjetlosnih godina
Značaj:	Šestorostruki zvjezdani sistem

Kastor (Alfa Blizanaca, α Geminorum), u mitologiji poznat kao sin kralja Sparte Tindareja i kraljice Lede i smrtni blizanac Poluksa (sina Zeusa i spartanske kraljice Lede), jedna je od najsjajnijih zvijezda na nebu i druga najsjajnija zvijezda u sazviježđu Blizanci. Kastorova mitološka i nebeska veza sa Poluksom uvrstile su ovu zvijezdu u zvijezde prve magnitude, mada je on ustvari najsjajnija zvijezda druge magnitude i manjeg je sjaja od Poluksa (Beta Blizanaca).

Kastor i Poluks su zanimljive zvijezde. Iako su ove dvije zvijezde mitološki povezane, Kastor nema fizičke veze sa Poluksom. Na sjevernom kraju sazviježđa Blizanci nalazi se Poluks, narandžasti div, prividne magnitude 1,14, mase oko 2 mase Sunca, prečnika 9 puta većeg od Sunčevog, luminoziteta 43 Sunčevog, i najsjajnija zvijezda u Blizancima. Poluks, spektralne klase K, ima površinsku temperaturu oko 4700 K, a udaljen je 34 svjetlosne godine od nas. To je ujedno i Suncu najbliža zvijezda div. Oko njega je 2006. godine otkriven egzosolarni planet Pollux b (nazvan Thestias), mase oko 2,3 puta veće od mase Jupitera, sa orbitalnim periodom od oko 600 dana.

Kastor je, s druge strane, bijela zvijezda glavnog niza slična Vegi, temperature između 8000 K i 10000 K, udaljena oko 50 svjetlosnih godina od nas. Teleskopska posmatranja, međutim, pokazala su da je Kastor zanimljiv višestruki sistem zvijezda.

Naime, zvjezdani sistem Kastor sastoji se iz para zvijezda Kastor A i Kastor B, spektralne klase A, prividnih magnituda $1,9^m$ i $2,9^m$ respektivno. Zvijezde kruže jedna oko druge na udaljenosti oko 15 svjetlosnih godina, sa periodom od oko 450 godina. Spektrograf, međutim, pokazuje da su obje ove zvijezde, takođe, binarne zvijezde! Pratilac Kastora A je skoro tri puta masivniji od Sunca, prečnika 2,4 puta većeg od Sunca, sa peridom orbite oko Kastora A od 9,2 dana, pri čemu je rastojanje između njih približno deseti dio rastojanja između Merkura i Sunca. Pratilac Kastora B, mase oko 3 mase Sunca, i 3,3 puta veći od Sunca, ima orbitalni period 2,9 dana. Kastor A i b stari su oko 370 miliona godina.

U blizini Kastora A i Kastora B nalazi se i treća zvijezda, hladni crveni patuljak, Kastor C ($9,8^m$) koji je ujedno i varijabilna zvijezda (YY Geminorum), starosti između 30 i 85 miliona godina. I Kastor C je, takođe, dvojna zvijezda koja se sastoji od dvije zvijezde, mase oko pola mase Sunca, spektralne klase M, sa temperaturom od oko 4000 K i luminoziteta tek 10% Sunčevog. Rastojanje između njih je oko dva puta veće od prečnika Sunca, a period obilaska je oko 20 sati.

Da bi se stvar još više zakomplikovala, sistem zvijezda Kastor C, udaljen oko 1000 AJ od sistema Kastor A i Kastor b, okreće se oko sistema zvijezda Kastor A i Kastor B sa periodom od 14000 godina. Najzanimljivije od svega je to što je ljudski um u stanju otkriti sve ove karakteristike zvijezda i parametre njihovih orbita u prostoru.

Dakle, jedan od "blizanaca", Kastor, sastavljen je ustvari od tri posebna para blizanaca. Kastor je, dakle, šesterostruka zvijezda, trostruki blizanac. Kombinovana prividna magnituda svih šest zvijezda zajedno je 1,58.

Posmatrači sa sjeverne polulopte mogu posmatrati zvijezde sazviježđa Blizanci od januara do početka maja, kada su one relativno visoko na nebu. Najbolje vrijeme za posmatranje Kastora i Poluksa je u januaru i februaru.

Kastor i Poluks su kod Rimljana bili povezani sa legendarnim blizancima Romulom i Remom, koji su osnovali grad Rim.

Prema mitologiji, kada je Kastor ubijen, Poluks je molio Zeusa da podijeli sa svojim bratom blizancem dio svoje besmrtnosti kako bi ostali zajedno, i oni su transformisani u sazviježđe Blizanci.

9. Antares



Snimak površine Antaresa (copright: VLTI, Chile)

Lokacija:	Sazviježđe Škorpija
Drugi nazivi:	Alfa Škorpije
Klasa	Crveni superdiv klase M
Prividna magnituda:	0,96
Apsolutna magnituda:	-5,4
Udaljenost:	620 svjetlosnih godina
Značaj:	Crveni div prve magnitude u blizini ekliptike

U ljetnjem Mliječnom putu, blizu pravca prema centru galaksije, nalazi se još jedan biser, crvenkasta zvijezda Antares. Smještena je u velikom sazviježđu – Škorpiji, jednom od malobrojnih sazviježđa koja izgledom opravdavaju svoje ime. Antares, srce Škorpije i njena najsjajnija zvijezda (15. najsjajnija na nebu), predstavlja praktičnu šalu univerzuma. Naime, zvijezda je skoro iste boje i prividnog sjaja kao planet Mars, koji se također kreće Zodijakom, što zbunjuje početnike koji često miješaju ova dva tijela. Ime Antares potiče iz grčkog "Ant Ares", što u prevodu znači "kao Ares". Ares je grčka verzija boga rata. Mars je, s druge strane, rimski bog rata. Neki istraživači smatraju da je ime moglo nastati iz riječi Antar, prema Antarahu ibn Shaddadu, arapskom ratniku iz predislamskog doba.

Za razliku od ostalih sazviježđa, Škorpija nije samo slučajni skup zvijezda. Većina su vruće i plave, i dio su veće asocijacije (skupa) masivnih zvijezda (OB asocijacija). Sve su na sličnoj udaljenosti i rođene su vjerovatno iz istog međuzvjezdanog oblaka gasa i prašine. Po tome dosta podsjećaju na zvijezde iz Oriona. Antares je iz ovog skupa prva evoluirala i graciozno obasjava okolne zvijezde.

Antares, zvijezda klase M, mase oko 12 masa Sunca, stara oko 12 miliona godina, jedna je od dvije zvijezde prve magnitude koje su superdivovi. Druga je Betelgez u Orionu. Obadvije su veličanstvene zvijezde koje druge zvijezde čine patuljcima. Budući da su sa suprotnih strana (gledano u odnosu na Zemlju), jedna od njih je uvijek vidljiva tokom noći.

Procjenjuje se da je Antares od nas udaljen između 550 i 680 svjetlosnih godina. To znači da je svjetlost koju sada gledamo sa Antaresa vjerovatno krenula kada je Richard II vladao Engleskom.

Stvarni sjaj Antaresa je ogroman – oko 10000 puta veći od Sunčevog. Zbog niske površinske temperature od 3400 K Antares zrači veliku količinu elektromagnetnog zračenja u infracrvenom dijelu spektra. Ako se i ovo zračenje uzme u obzir, Antares je i do 100000 puta sjajniji od našeg Sunca. Niska površinska temperatura, zajedno sa ogromnom energijom zračenja, ukazuje na to da su dimenzije Antaresa

ogromne, toliko velike da astronomi čak mogu da mjere i dimenzije prividnog diska ove zvijezde.

Život je započeo kao plava zvijezda glavnog niza, mase 15 do 20 Sunčevih. Smatra se da se sada u jezgri pretvara helijum u ugljik. Radijus mu je čak 800 puta veći neko kod Sunca, što znači da bi površina Antaresa dosezala skoro do Jupitera kada bi bio na mjestu Sunca. Ovo širenje zvijezde uzrokuje nestabilnost i pulsiranje (sporo neregularna varijabilna zvijezda) pa zvijezda mijenja svoj sjaj (od $0{,}6^{m}$ do $1{,}6^{m}$) i prečnik do 20%. Istraživanje iz 2017. pokazuje da su Aboriđini iz Južne Australije posmatrali promjenljivost Antaresa i inkorporirali ga u svoju usmenu tradiciju pod imenom Waiyungari.

Antares je vidljiv na nebu cijelu noć oko 31. maja svake godine, kada je zvijezda u opoziciji sa Suncem (na suprotnoj strani nebeske sfere). Tada se sa ekvatora vidi Antares koji izlazi u sumrak i zalazi u zoru. Otprilike dvije do tri sedmice prije i poslije 30. novembra, Antares nije vidljiv na noćnom nebu, jer je blizu konjunkcije sa Suncem. Konjunkcija je, generalno govoreći, položaj u kojem se nebesko tijelo Sunčevog sistema nalazi na približno istom pravcu sa Zemljom i Suncem. U konjunkciji ne mora doći do pomračenja, odnosno okultacije. U donjoj konjunkciji tijelo je između Sunca i Zemlje, a u gornjoj je Sunce između tijela i Zemlje. Izrazom konjukcija označava se i najmanji razmak između dva nebeska tijela.

Antares je jedna od četiri zvijezde prve magnitude koje se nalaze unutar 6,5° od ekliptike (ostale su Spika, Regulus i Aldebaran) i stoga ih Mjesec može okultirati. Antares je 31. jula 2009. bio okultiran Mjesecom. Događaj je bio vidljiv u velikom dijelu Južne Azije i Bliskog istoka. Svake godine oko 2. decembra Sunce prolazi 5° sjeverno od Antaresa. Antares može biti okultiran i planetama (npr. Venerom), ali su takvi događaji veoma rijetki.

Antares polako isparava pod uticajem zvjezdanog vjetra koji duva sa njegove površine i odnosi određene količine materijala (milioniti dio mase Sunca godišnje) koji obrazuje manju refleksionu maglinu oko zvijezde. Antares i njegova maglina sakrivaju jedno iznenađenje, vru-

ću plavu zvijezdu Antares B, magnitude 5.5, klase B, udaljenu 224-450 AJ od Antaresa. Ova zvijezda izgleda zelenkasto (vjerovatno uslijed miješanja svjetlosti ove dvije zvijezde) kada se posmatra teleskopom. Može se nekad vidjeti teleskopom prečnika većeg od 150mm. Orbitalni period Antaresa B je između 1200 i 2560 godina.



Antares između σ i τ Škorpije. Antares je ovdje bijele boje jer je snimano u infracrvenom dijelu spektra (copyright: Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE) | NASA)

Crvena boja zvijezde pokazuje da je zvijezda evoluirala. Antaresu najverovatnije nije ostalo još mnogo vremena. On je dovoljno masivan da jednog dana u njemu nastane jezgro bogato željezom i da eksplodira kao supernova. Do ovog događaja možda prođe još milion godina, ali možda se to desi ove noći.

10. Rigel



Svjetlo sa Rigela reflektuje se u prašini magline Vještičija glava (IC 2118)
(copyright: Rogelio Bernal Andreo)

Lokacija:	Sazviježđe Orion
Drugi nazivi:	Beta Oriona, Aldžebar
Klasa	Plavo-bijeli superdiv klase B
Prividna magnituda:	0,12
Apsolutna magnituda:	-7,84
Udaljenost:	860 svjetlosnih godina
Značaj:	Jedna od najbližih zvijezda koja bi mogla postati supernova, višestruki zvjezdani sistem

Rigel (Beta Oriona) je plavo-bijeli superdiv klase B, udaljen između 700 i 900 svjetlosnih godina od nas, star tek 10 miliona godina, mase

oko 18 masa Sunca, i najsjajnija zvijezda u sazviježđu Orion (Lovac). Za nas on predstavlja lijevo stopalo Lovca. Iako je Rigel u Orionu Beta zvijezda (druga najsjajnija), ova zvijezda nulte magnitude ($0{,}12^m$) je nešto svjetlija od Betelgeza, sugerišući da je varijabilni Betelgez nekad možda bio svjetliji od Rigela (ili je Bayer koristio samo njihove pozicije pri imenovanju). Usput rečeno, Rigel je i intrinzički mnogo svjetliji od Betelgeza. Kad bi ih stavili na istu udaljenost, Rigel bi bio 5 puta sjajniji.

Ime zvijezde potiče od njene lokacije unutar sazviježđa Oriona. Na arapskom puni naziv bio mu je Ridžl Džauza al-Jusra, odnosno "Lijeva noga centralnog (sazviježđa)". Drugo arapsko ime je Ridžl-Džabar ("Noga velikog diva"), što je izvor druge varijante imena Rigela – Aldžebar ili Eldžebar, mada se ove varijante rjeđe koriste.

Rigel spada u red najsjajnijih zvijezda našeg lokalnog regiona galaksije (7. po prividnom sjaju, odmah iza Kapele), a najbliža sjajna zvijezda Rigelu je Deneb. Ako se pretpostavi udaljenost od 860 svjetlosnih godina, kada se uzme u obzir i ultraljubičasti dio spektra, Rigel ima luminozitet oko 85000 Sunčevih. Kad bi se jedna ovakva zvijezda nalazila na udaljenosti Siriusa, njen sjaj bi bio jednak petini sjaja punog Mjeseca, odnosno bila bi 150 puta sjajnija od Venere.

Rigelova luminoznost je tolika da se njegova svjetlost raspršuje u susjednoj maglini, nazvanoj Vještičina glava, udaljenoj oko 40 AJ (udaljenost od Sunca do Plutona). Zbog svoje veličine i luminoziteta, očekuje se da će jednog dana završiti kao supernova (tipa II). Prije toga će postati crveni superdiv, slično kao Betelgez. Rigel je jedna od najbližih zvijezda koja bi mogla postati supernova.

Da bi život na Zemlji preživio sa takvom zvijezdom, Zemlja bi trebala biti 200 puta dalje od centralne zvijezde nego što je danas (5 puta dalje od Plutona). Čak ni tada svjetlost ne bi bila ista, već bi imala maksimum pri manjim talasnim dužinama.

Njegova površina ima temperaturu od oko 11500 K. Prečnik mu je oko 74 veći od prečnika Sunca, i kada bi bio na njegovom mjestu, njegova površina došla bi do orbite Merkura.

Rigel je ustvari višestruki zvjezdani sistem. Smatra se da Rigel A, plavi superdiv, apsolutne magnitude -7,84, spektralne klase B, ima luminoznost oko 120000 Sunčevih (negdje se spominje i do 280000 Sunčevih), masu oko 12 Sunčevih, i prečnik 80 Sunčevih (negdje i do 115 Sunčevih).

Rigel ima pratioca, Rigel B koji je ustvari spektroskopski binarni sistem. Rigel B se nalazi na udaljenosti od oko 2500 AJ, i treba mu minimalno 18000 godina za jednu orbitu. Iako Rigel B, spektralne klase B, i nije toliko slabog sjaja sa magnitudom 6.7, njegova blizina glavnoj zvijezdi – Rigelu A koji je preko 500 puta sjajniji – predstavlja veliku prepreku u njegovom posmatranju manjim teleskopima. U binarnom sistemu Rigel B zvijezde su udaljene oko 100 AJ i treba im 400 godina za jednu orbitu. Obje zvijezde pripadaju spektralnoj klasi B9V. Rigel Ba ima masu 4 puta veću od Sunčeve, a Rigel Bb 3 puta veću od mase Sunca. Neka istraživanja pokazuju i da Rigel Bb, takođe, može biti binarni sistem, sa periodom rotacije oko zajedničkog težišta od oko 10 dana.

Da stvar bude zanimljivija, tu je i četvrta zvijezda, Rigel D, magnitude 15, koja takođe, čini se, pripada ovom sistemu. Na udaljenosti od oko 11500 AJ, ovoj zvijezdi patuljku klase K treba oko 250000 godina da obiđe unutrašnji zvijezdani trio.

Pošto je Rigel luminozan i kreće se kroz region prepun maglina, osvjetljuje nekoliko magličastih oblaka u svojoj neposrednoj blizini, od kojih je najizrazitija maglina Vještičija glava. Rigel je također povezan i sa maglinom Oriona, koja se nalazi u gotovo istoj ravni kao i on, ali je skoro dvostruko više udaljena od Zemlje. Usprkos toj udaljenosti, projekcije kretanja Rigela u toku njegovog očekivanog životnog vijeka, pokazuju da će se ova zvijezda u dalekoj budućnosti značajno približiti maglini Orion. Rezultat toga je da se Rigel ponekad klasificira kao udaljeni član Orionove grupe OB1, zajedno sa mnogim drugim sjajnim zvijezdama u tom regionu neba.

Rigel je neznatno varijabilan (tip Alpha Cygni kao i Deneb), na nepravilan način koji je karakterističan za zvijezde superdivove. Magnituda

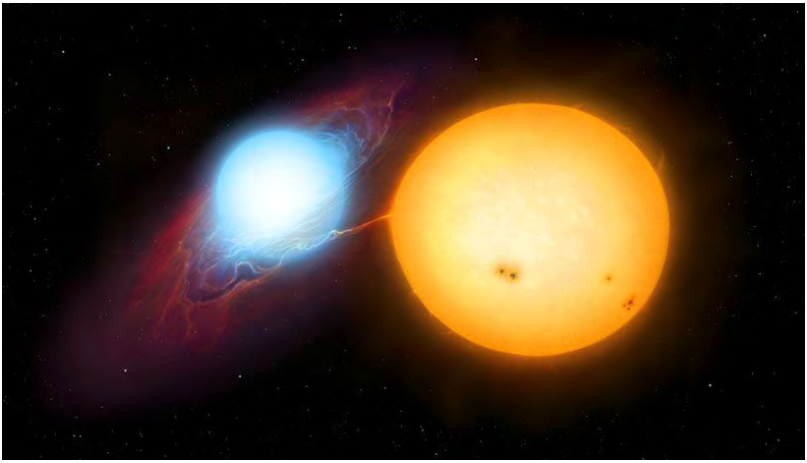
mu se mijenja od 0,05 do 0,18. Zbog njegovog pulsiranja i zvjezdanih vjetrova, Rigel je okružen ljuskom otpuštenih gasova. Smatra se da je Rigel dosad izgubio oko 3 mase Sunca, počevši život kao zvijezda mase veće 24 puta od mase Sunca, prije 7 do 9 miliona godina.

U pomorskoj navigaciji, Rigel je jedna od najvažnijih navigacijskih zvijezdi, jer je veoma sjajna, veoma lako se može locirati te je vidljiva sa gotovo svih geografskih širina.

Kulminirajući na nebu u decembru i januaru, Rigel je na sjevernoj hemisferi najbolje posmatrati tokom zimskih noći.

Rigel se često spominje u naučnoj fantastici (npr. u seriji "Star Trek", u "Autostoperskom vodiču kroz galaksiju"), a takođe spominje se i u kompjuterskim igrama (npr. "Rescue at Rigel," "Rigel's Revenge" i "Duke Nukem II"), serijama ("The Simpsons") i stripovima ("Justice League", "Thor", "Transformers" i "Monty").

11. Algol



Umjetnički doživljaj binarnog sistema zvijezda Algol
(copyright: Mark A. Garlick)

Lokacija:	Sazviježđe Perzej
Drugi nazivi:	Beta Perzeja, Gorgona, demonska zvijezda, El Gul
Klasa	Trojni sistem, klase A, B i K
Prividna magnituda:	2,12 (varijabilna)
Apsolutna magnituda:	-0,10
Udaljenost:	93 svjetlosne godine
Značaj:	Prva i najsvjetlija pomračujuća

Algol (Beta Perzeja) je veoma zanimljiva promjenljiva zvijezda u sazviježđu Perzej, prototip svoje klase promjenljivih. Ime zvijezde potiče iz arapskog jezika – Ra's Al Ghul u prevodu znači "glava demona", jer prema mitologiji predstavlja oko Meduze čiju glavu drži Perzej, heroj koji je spasio Andromedu od morske nemani. Zvijezda je, nepravedno, stoljećima smatrana kao znakom nesreće i vjerovalo se da donosi zlu sudbinu.

Uveče kada gledate sazviježđe Perzej, idući prema jugu (prema Andromedi) naići ćete na Algol, nebeski dragulj koji svakih 2,867 dana (2 dana, 20 sati i 49 minuta) potamni na nekoliko sati, pri čemu mu sjaj opadne na 70% početnog sjaja. Naime, Algol – demonska zvijezda, primjer je pomračujućeg (binarnog sistema zvijezda čije se orbite nalaze skoro u istoj ravni prema nama. Kako (glavni) par zvijezda orbitira oko zajedničkog težišta, svaka od zvijezda djelimično zaklanja svog pratioca, što dovodi do međusobnih (parcijalnih) pomračenja različitog intenziteta. Prema tome, Algol ima dva minimuma sjaja: primarni minimum se dešava kada manje sjajna zvijezda u sistemu zakloni sjajniju, i vidljiv je golim okom (magnituda pada sa 2,1 na 3,4); dok se sekundarni minimum javlja kada sjajnija zvijezda zakloni manje sjajnu, ali se tada magnituda smanjuje za svega 0,06.

Primarna komponenta Algol A, vidljiva golim okom (prividne magnitude 2,12, a apsolutne -0,07), je zvijezda glavnog niza, spektralne klase B8V, oko 100 puta luminoznija od Sunca u vidljivom dijelu spektra i 180 puta ako se posmatra i zračenje u ultraljubičastom dijelu spektra, tri puta veća od Sunca i oko tri puta masivnija. Površinska temperatura Algola A je oko 12000 K. Ova zvijezda se nalazi u stabilnoj fazi svog evolutivnog razvoja.

Sekundarna komponenta – Algol B je žuto-narandžasti subdiv spektralne klase K0IV, 5-7 puta svjetliji od Sunca (apsolutne magnitude 2,9), i 3,5 puta veći od Sunca. Površinska temperatura Algola b je oko 4900 K. Ovaj subdiv više ne proizvodi vodik u jezgri u kojoj je sada pretežno helijum, i pokušava bezuspješno da se proširi. Naime, Algol B je manje mase od Algola A (mase tek 70% mase Sunca), a dalje je odmakao u evolucionom smislu, što je dugo predstavljalo enigmu, jer masivnije zvijezde brže evoluiraju. Međutim, detaljnijim analizama utvrđeno je da je A zvijezda u početku imala masu 2,5 masa Sunca, a B komponenta 2,8 mase Sunca, te da je tokom evolucije sekundarna komponenta odbacila svoje spoljašnje slojeve koje je djelimično preuzela A zvijezda, a materijal mase oko 0,8 masa Sunca je izgubljen. Proces je na kraju promjenio originalni omjer masa. Efekti toka gasa koji okružuje i udara u zvijezdu klase B su vidljivi i nastaviće se.

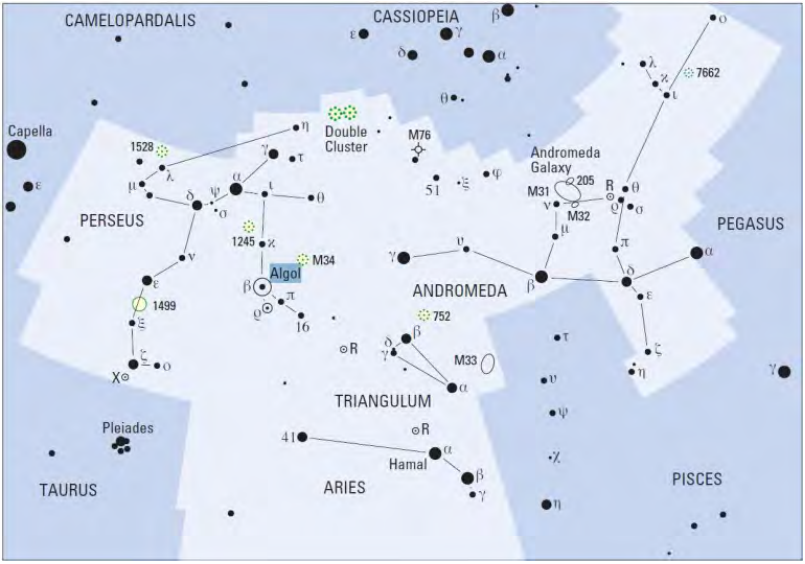
Većina zvijezda srednje početne mase završiće kao bijeli patuljci od ugljika i kisika. Tamna zvijezda u sistemu Algol, međutim, vjerovatno neće dogurati do tog stadija jer unutrašnji helijum neće postati dovoljno vruć i gust da bi od njega nastao ugljik, i Algol B će vjerovatno završiti svoj životni puta kao rijetki helijumski bijeli patuljak.

Algol A i Algol B nalaze se na rastojanju samo za 40% većem od njihovih prečnika (tj. oko 10 miliona kilometara, 20% udaljenosti Merkura od Sunca). Kao posljedica ovako malog rastojanja i snažnog međusobnog gravitacionog uticaja, između ove dvije zvijezde postoji razmjena materijala koji se kreće sa Algola B prema Algolu A.

Da stvar bude zanimljivija, postoji i treća komponenta, Algol C koji je je oko 1,7 puta veći i 1,7 puta masiviniji do Sunca, 10 puta luminozniji od Sunca, i ima površinsku temperaturu oko 7500 K. Algol C je otkriven kada je ustanovljeno da se period između dva primarna minimuma mijenja sa vremenom. Ustanovljeno je da je period ove varijacije oko 680 dana (1,86 godina). Algol C je zvijezda prividne magnitude 12,5 (apsolutna magnituda iznosi 2,3), spektralne klase A7m, a nalazi se na približno 3 AJ od Algola A i B, što se – posmatrano sa Zemlje – ne može razlučiti vizuelnim metodama.

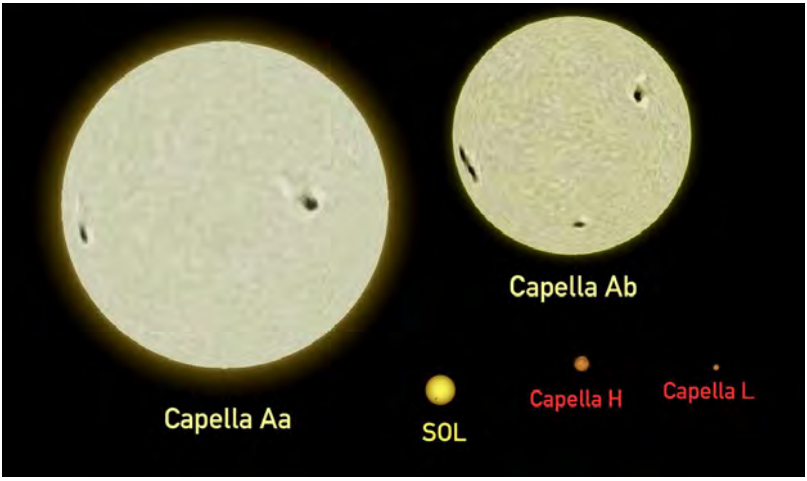
Ovakve zvijezde su značajne jer na osnovu podataka koje dobijemo tokom njihovih pomračenja, možemo dosta saznati o masama, dimenzijama i orbitama zvijezda. Iz dijagrama magnitude u funkciji vremena, možemo procjeniti nagib orbite zvijezda. Spektroskopski podaci daju nam orbitalne brzine, na osnovu kojih možemo odrediti i mase zvijezda. A na osnovu trajanja pomračenja možemo procjeniti i dimenzije zvijezda.

Algol nije demon već iskonski prijatelj koji nas podučava kako se zvijezde ponašaju i kako umiru. A sve to možete vidjeti i najobičnijim teleskopom iz svog dvorišta.



Položaj Algola u Perzeju
(copyright: Patrick Moore, Atlas of the Universe)

12. Kapela



Komponente Kapele u poređenju sa Suncem (izvor: wikipedia)

Lokacija:	Sazviježđe Kočijaš
Drugi nazivi:	Alfa Kočijaša
Klasa	Žuti div, dvojni sistem klase G
Prividna magnituda:	0,08
Apsolutna magnituda:	-0,47
Udaljenost:	42 svjetlosne godine
Značaj:	Zvijezda prve magnitude najbliža sjevernom nebeskom polu

Kapela, koja još iz rimskim vremena označava (malu) kozu, najsjajnija je zvijezda sazviježđa Kočijaš (lat. Auriga), dominantnog sazviježđa u obliku nepravilnog pentagona. Ljudi su, naime, u prošlosti zamišljali kako kočijaš u naručju nosi kozu (Kapelu). Ispod Kapele je trougao koji čine tamnije zvijezde, asterizam nazvan "Djeca". U ovom asterizmu nalazi se Epsilon Kočijaša, jedna od najčudnijih varijabilnih zvijezda na nebu. Kapela je ustvari sistem od dva para binarnih zvijezda.

Kapela, udaljena 42 svjetlosne godine od nas, je najsjajnija zvijezda u blizini sjevernog nebeskog pola. Na cijelom nebu ona je po sjaju šesta zvijezda. Prije oko 200000 godina, Kapela je bila najsjajnija zvijezda na nebu sa prividnom magnitudom oko -1,8.

Kapela izlazi na sjeveroistočnom horizontu emitujući toplu zlatnu svjetlost. Cirkumpolarna je zvijezda za sve koji žive na sjevernim geografskim širinama iznad 44°.

Zbog velike sjeverne deklinacije, Kapela je vidljiva tokom cijele godine. Tokom zimskih noći (najbolje početkom decembra) na srednjim geografskim širinama sjeverne hemisfere (kao što je npr. BiH), Kapela se nalazi gotovo tačno iznad naših glava. Jedna je od tri najsjajnije zvijezde sjevernog neba (druge dvije su Arktur i Vega). Arktur je hladan i narandžast, Vega vrela i bijela, a Kapela žuto-bijela zvijezda, negdje u sredini temperaturnog raspona (oko 5000 K), luminoziteta u prosjeku oko 130 Sunčevih.

Kapela je jedna od najpoznatijih dvojnih zvijezda na nebu. Još 1899. godine William Wallace Campbell utvrdio je da je ovo spektroskopska dvojna zvijezda. Godine 1920. John A. Anderson je koristeći interferometar na teleskopu Mount Wilson (prečnika 100 inča) odredio orbitu dvojnog sistema. Bila je ovo prva upotreba interferometra za određivanje orbita zvijezda.

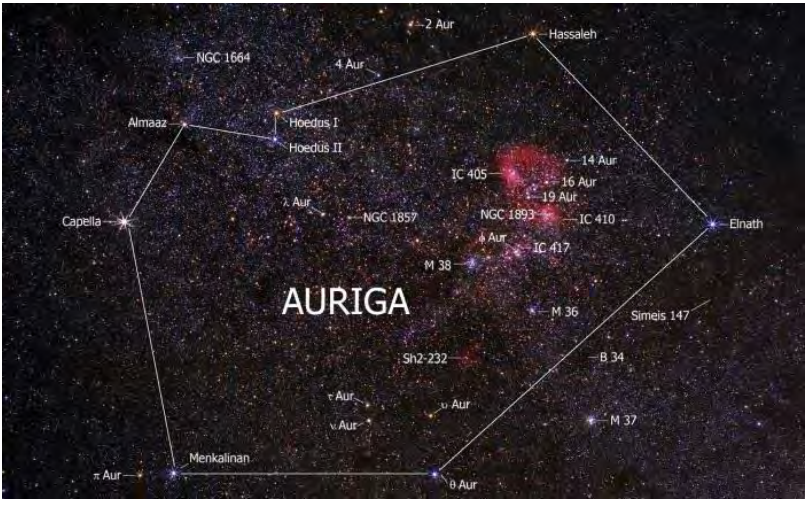
Obje zvijezde su žute i pripadaju klasi G, sa približno istom temperaturom kao Sunce, ali su mnogo veće i sjajnije – jedna je 73 puta sjajnija (Kapela Ab, magnitude 0,91, temperature 4900 K) od Sunca, druga preko 79 puta (Kapela Aa, magnitude 0,76, temperature 5700 K), a obje imaju preko 10 puta veći prečnik nego naša zvijezda. Rastojanje između njih je oko 100 miliona kilometara, tj. otprilike rastojanje između Sunca i Venere, i kruže jedna oko druge sa periodom od samo 104 dana. Kada bi Kapela bila umjesto Sunca, ako bi živjeli na Jupiteru – na nebu bi vidjeli dva Sunca, ugaone širine oko 0,5° (današnji ugaoni prečnik Sunca).

Na osnovu perioda i orbita saznalo se da tamnija zvijezda ima masu od 2,48 a masivnija 2,56 masa Sunca. Prečnik sjajnije zvijezde je oko

12-14 puta veći od Sunčevog, dok je prečnik tamnije oko 9-11 puta veći od prečnika Sunca.

Obje zvijezde su divovi stari između 590 i 650 miliona godina, nekada patuljci – zvijezde klase B, koji su potrošili vodik iz jezgra što znači da polako umiru. Sjajnija zvijezda je više evoluirala (zvijezda veće mase uvijek prva evoluira), i u njenom jezgru već je počela fuzija helijuma u ugljik i kisik, dok se u tamnijoj komponenti i dalje odvija kontrakcija helijumom bogate jezgre. Kapela je izvor rendgenskog zračenja koje najvjerovatnije nastaje uslijed površinske magnetne aktivnosti, slične onoj na površini Sunca. U budućnosti će na mjestu Kapele astronomi vidjeti par skoro identičnih bijelih patuljaka kako orbitiraju oko zajedničkog težišta.

U ovom zvjezdanom sistemu nađena je i treća zvijezda, poznata kao Kapela H. To je takođe dvojni sistem koji se sastoji od dvije patuljaste zvijezde klase M, desete magnitude. Udaljen je oko jedne svjetlosne godine od primarnog sistema sa periodom orbite koji se mjeri hiljadama godina. To znači da je cijeli sistem ustvari četverostruki zvjezdani sistem.



Kapela i sazviježđe Kočijaš (Auriga) (izvor: universetoday.com)

Smatra se da je Capella spomenuta u akadskom natpisu iz 20. vijekova prije nove ere. Naime, njen simbolizam kao koza potiče još iz Mezopotamije – kao sazviježđe pod nazivom GAM, koje je vjerovatno predstavljalo iskrivljeni pastirski štap koji je simbolizirao kozje stado ili pastira. Kasnije su beduini kreirali sazviježđa koja su predstavljala skupine životinja, gdje je svaka zvijezda predstavljala jednu životinju. Zvijezde Kočijaša su činile stado koza, mitologija koja je također prisutna u staroj grčkoj. Kapela se spominje i u vezi sa starim narodima koji su živjeli u 3 vijeku pne na području današnjeg Meksika (Oaxaca). Kapela u engleskoj književnosti naziva i pastirska zvijezda.

13. Arktur



Snimak Arktura u vidljivom dijelu spektra
(DSS2 / MAST / STScI / NASA) (izvor: wikipedia)

Lokacija:	Sazviježđe Volar
Drugi nazivi:	Alfa Volara, Al Simak
Klasa	Narandžasti div klase K
Prividna magnituda:	-0,04
Apsolutna magnituda:	-0,30
Udaljenost:	37 svjetlosnih godina
Značaj:	Najsjajnija zvijezda sjeverne hemisfere

Arktur (Alfa Volara) je najsjajnija zvijezda sjevernog neba, najsjajnija zvijezda u sazviježđu Volar (stočar koji upravlja volovima), najsjajniji div klase K i četvrta po sjaju na nebu (nakon Siriusa, Kanopusa i Alfa Kentaura koji je dvojna). U sazviježđu predstavlja lijevo stopalo volara. Ime je dobio prema "arcturus", što se sa grčkog može prevesti kao "čuvar medvjeda" – budući da je najsjajnija zvijezda koja slijedi sazviježđe Veliki Medvjed oko sjevernog nebeskog pola.

Zajedno sa Spikom (Alfa Djevice) i Denebolom (Beta Lava) čini asterizam nazvan Proljetni trougao, a ako se doda i zvijezda Cor Caroli (Alfa Lovačkih pasa) onda ove četiri zvijezde čine asterizam Veliki dijamant. Sa Vegom i Kapelom formira trio koji dijeli sjeverno nebo.

Arktur je najuočljiviji u proljeće jer kulminira 27 aprila, a možete ga pronaći tako što ćete krenuti od sazviježđa Veliki Medvjed. Pratite pravac zvijezda Mizar i Alkaid i kada naiđete na jako sjajnu narandžasti zvijezdu – pronašli ste Arktur. Zvijezda je dovoljno južno na nebu da je mogu vidjeti svi sjeverno od Antarktika.

Prividna magnituda Arktura je -0,04. Sa apsolutnom magnitudom -0,30 Arktur je luminozniji od Sunca 170-220 puta (oko 110 puta u području vidljive svjetlosti), i udaljen 37 svjetlosnih godina od nas. Najbliže nama biće oko 4000. godine. Smatra se da je Arktur postao vidljiv golim okom prije oko 500 hiljada godina i da je od tada postepeno postajao sjajniji. Za otprilike 500 hiljada godina, Arktur se neće vidjeti golim okom.

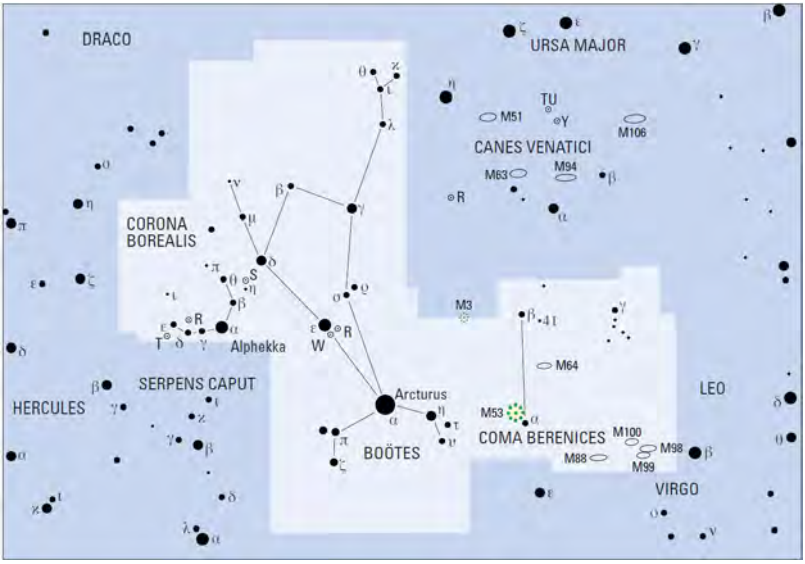
Arktur je narandžasta zvijezda površinske temperature oko 4300°K, div spektralnog tipa K2, mase 1 – 1,2 puta veće od Sunca i prečnika oko 25 puta većeg od Sunca.

Arktur oscilira sa relativno malom promjenom magnitude i periodom od 8,3 dana. Ima relativno veliku brzinu u odnosu na druge zvijezde i približava nam se brzinom od oko 5 km/s.

Procjenjuje se da je Arktur star između 6 i 8,5 milijardi godina i jedna je od važnijih referentnih zvijezda u astronomskoj spektroskopiji. Spada u zvijezdu populacije II (zvijezde siromašne metalima) iz ga-

laktičkog haloa i ima tek 20% željeza u odnosu na vodik kada se poredi sa Suncem. Kao i svi divovi, to je zvijezda koja umire. U njegovoj jezgri je prestala fuzija vodika i pretpostavlja se da je već počela fuzija helija u ugljik. Kada potroši sav helijum, Arktur će postati planetarna maglina i završiti svoj život kao bijeli patuljak, slično kao Sunce.

Zbog velikog sjaja i zanimljive boje, mnogi narodi (Mezopotamci, Grci, Rimljani, Kinezi, Japanci, Arapi, Indijci, Siuksi, Indonežani, Polinežani (Tahićani, Havajci, Maori), Kuri, Inuiti, itd) imaju svoje nazive i mitove vezane za Arktur.



Arktur koji dominiria sazviježđem Volar (Boötes)
(copyright: Patrick Moore, Atlas of the Universe)

Arktur je doživio slavu kada je njegova svjetlost postala mehanizam da se otvori Svjetski sajam u Čikagu 1933. godine. Naime, svjetlosni zraci sa Arktura su fokusirani na fotoelektrične ćelije u astronomskoj opservatoriji Yerkes u Čikagu (40" teleskop) i transformisani u električnu energiju koja je prenešena u Čikago da se otvori sajam. Arktur

je izabran jer se (pogrešno) mislilo da je svjetlost sa Arktura počela svoj put prema nama u vrijeme prijašnjeg sajma u Čikagu 1893. godine. U stvarnosti je svjetlost krenula 1896. godine jer je Arktur udaljen od nas 37 svj. godina.

Dosad nije pronađen nijedan planet oko Arktura, iako je ta tematika dosta puta spominjana u naučnoj-fantastici. Jedan od ranih primjera je knjiga "Put do Arktura" koju je napisao David Lindsay 1920. godine, u kojoj glavni protagonist knjige putuje do Tormansa, fikcijskog planeta oko Arktura. Arktur se pojavljuje i u Asimovoj seriji "Foundation", potom u "Doctor Who", "Star Trek", filmu "Aliens", u "The Hitchhiker's Guide to the Galaxy" itd.

14. Aldebaran



Aldebaran i skup Hijade, a na slici je i komet C/2016 R2 PanSTARRS
(copyright: Rogelio Bernal Andreo)

Lokacija:	Sazviježđe Bik
Drugi nazivi:	Alfa Bika
Klasa	narandžasti div klase K
Prividna magnituda:	0,85
Apsolutna magnituda:	-0,63
Udaljenost:	43 svjetlosne godine
Značaj:	Narandžasti div koji se može okultirati

Aldebaran ili alfa Bika (α Tau) je najsjajnija zvijezda sazviježđa Bik (Taurus) i spada među 15 najsjajnijih zvijezda noćnog neba. Njegovo ime potiče od arapskog Al-Dabarān i znači "pratilac" jer prati poznati otvoreni zvjezdani skup Plejade. Po tradiciji Aldebaran predstavlja oko bika u sazviježđu Bik. Inače, Bik je jedno od najstarijih doku-

mentovanih sazviježđa na nebu i njegovi korijeni vežu se čak za Bronzano doba (2200. godine pne).

Aldebaran se naizgled nalazi u otvorenom zvjezdanom skupu Hijade, ali samo prividno jer je od Sunca udaljen oko 65 svjetlosnih godina dok se Hijade nalaze na oko 150 svjetlosnih godina od Sunca. Aldebaran praktično leži na pola puta između nas i Hijada.

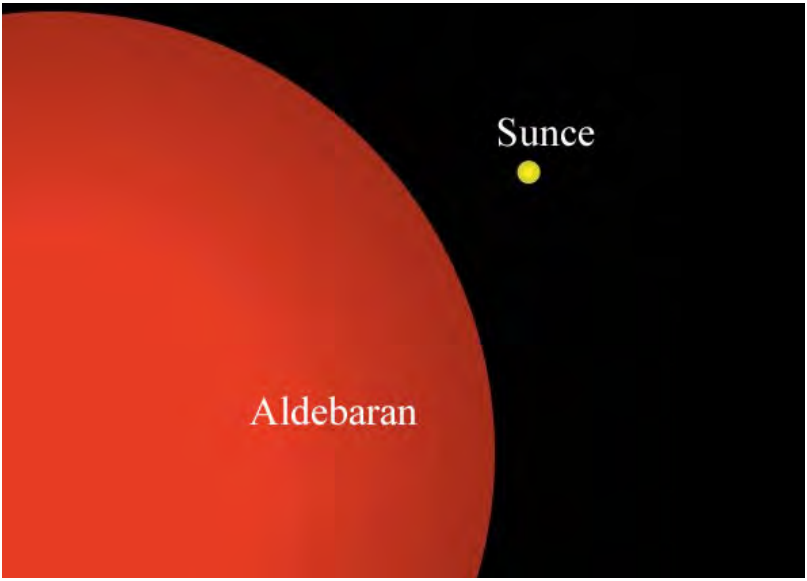
Aldebaran se može lako locirati koristeći Orion kao putokaz. Jednostavno nađite pojas Oriona i povucite zamišljenu liniju kroz zvijezde pojasa Oriona prema desno. Prva sjajnija zvijezda na koju naiđete biće Aldebaran. Donekle podsjeća na Betelgez u Orionu, iako nije ni približne te veličine niti te udaljenosti. Najlakše ga je posmatrati zimi i u proljeće.

Aldebaran je narandžasti div (boje slične Marsu, pored kojeg nekad prođe na nebu) spektralne klase K, temperature površine približno 4000 K. Približno je 150 puta luminozniji od Sunca u vizuelnom dijelu spektra, a oko 425 puta luminozniji ako se računa i infracrveni dio spektra. Apsolutna magnituda mu iznosi -0,63. Na osnovu luminoznosti se može izračunati prečnik Aldebarana koji iznosi oko 43 prečnika Sunca, dok se iz okultacija Mjesecom dobija vrijednost od 44 Sunčevih prečnika (skoro do orbite Merkura ako bi se Aldebaran postavio na mjesto Sunca), što ukazuje na odlično slaganje teorijskih predviđanja sa stvarnim stanjem.

Masa Aldebarana iznosi između 1-1,7 masa Sunca, a karakteriše ga i relativno jak zvjezdani vjetar (brzine oko 30 km/s) koji je raspuhao izgubljenu masu Aldebarana do udaljenosti oko 100 AJ. Svakih 300 hiljada godina Aldebaran izgubi mase u vrijednosti mase Zemlje.

Aldebaran je nepravilna promjenljiva zvijezda, prividne magnitude 0,85, ali osciluje između manituda 0,75 i 0,95, najvjerovatnije uslijed pulsiranja površine. Fotosfera Aldebarana pokazuje obilje ugljika, kisika i nitrogena. Zbog sporije rotacije (oko 5 km/s; sa periodom rotacije između 400 i 650 dana) nema značajno magnetno polje (jačine tek oko 20% jačine Sunčevog magnetnog polja), pa ne zrači jako u rendgenskom dijelu spektra.

Iznad hromosfere (između 1,2 i 2,8 prečnika Aldberana) nalazi se atmosfera niže temperature (reda 1000 – 2000 K) u kojoj su otkrivene neke molekekule (karbon monoksid, voda, titanijum oksid). Metalicitet (procenat elemenata osim vodika i helijuma) Aldebarana iznosi oko pola vrijednosti metaliciteta Sunca.



Poređenje veličine Aldebarana i Sunca (izvor: wikipedia)

Aldebaran je stariji od Sunca (smatra se da je star preko 6,6 milijarde godina) i fuzija vodika u njegovom jezgru je završena, pa se jezgra trenutno komprimira dok se čitava zvijezda širi. U toku narednih nekoliko miliona godina luminoznost će mu porasti na oko 800 puta veću od luminoznosti Sunca, a u jezgri će početi fuzija helijuma u ugljik i kisik.

Aldebaran ima relativno veliku brzinu u odnosu na druge zvijezde. Edmond Haley je 1718. godine pokazao da su se Sirius, Arktur, Betelgez i Aldebaran značajno pomakli od vremena Ptolomejevog "Almagesta". Prije približno 300000 godina Aldebaran je bio najbliži Suncu

na svom putu, na svega 21,5 svjetlosnih godina, i imao je prividnu magnitudu od -1,5, tako da je bio najsjajnija zvijezda noćnog neba.

Aldebaran je dovoljno blizu ekliptike da može biti okultiran (prikriven) Mjesecom. Od 29. januara 2015. do 3. septembra 2018. Aldebaran će biti okultiran Mjesecom 49 puta. Svaka od ovih okultacija je vidljiva sa različitog mjesta na Zemlji, ali uvijek na sjevernoj hemisferi ili u blizini ekvatora. To znači da ljudi u npr. Australiji ili Južnoj Africi nikada ne mogu posmatrati okultaciju Aldebarana. To je zbog činjenice da je Aldebaran dosta južno od ekliptike. Okultacija Aldebarana Mjesecom korištena je za precizniju procjenu visine Mjesečevog terena na lokacijama gdje se dešava okultacija.

Aldebaran je u konjunkciji sa Suncem svake godine oko 1. juna. Okultacije Aldebarana od strane planeta trenutno nisu moguće, budući da svaki planet prolazi sjeverno od Aldebarana. Sljedeća okultacija Aldebarana od strane planeta, Venere, dogodiće se tek 5366. godine. Aldebaran je (zvjezdanom) okultacijom iza Saturnovih prstenova korišten za procjenu sastava ovih prstenova i koncentracije čestica u njima (letjelica Cassini).

Stari narodi poštovali su Aldebaran i za njega vezivali različite mitove. Prema nekim izvorima, u Perziji je 3000 godina pne Aldebaran bio poznat kao Tašeter (Čuvar istoka), i imao je čast da bude jedna od četiri kraljevske zvijezde (ostale tri su bile Regulus, Antares i Formalhaut. Rimljani su ga zvali Palilicium, stari Grci su prozvali Lampadias (u prevodu Nosilac baklje), u srednjem vijeku je bio poznat kao Cor Tauri (u prevodu Srce Bika), Hindusi su ga zvali Rohini (u prevodu Crvena), a Kinezi su ga zvali Bì Xiù wǔ (u prevodu Peta zvijezda mreže). U meksičkoj kulturi Aldebaran je predstavljao svjetlo za sedam žena koje se porađaju (Plejade), a lunarni mjesec koji odgovara našem oktobru su nazvali Queeto yaao (u prevodu Put Aldebarana). Kod Aboridžina, Aldebaran je bio stari predak Karambal koji je ukrao ženu jednom čovjeku. Muž žene ga je našao i spalio žbun u kojem se sakrio. Vjeruje se da je na nebo došao kao dim i postao zvijezda. Neki narodi povezivali su Aldebaran sa kišom. Siuksi u Sjevernoj Americi

su vjerovali da je pad ove zvijezde uzrokovao nastanak rijeke Misisipi. Astronom Jack Eddy smatra da su stari narodi Sjeverne Amerike u Wyomingu koristili vrhove planina i kružne kamene strukture da posmatraju Aldebaran prije izlaska Sunca u junu, kako bi predvidjeli ljetni solsticij.

Aldebaran je bilo ime jednog od konja koji je vukao kočije u filmu Ben Hur. U franšizi Star Wars, jedan od planeta zove se Alderaan.

Moguće je da Aldebaran ima planet koji se kreće oko centralne zvijezde. Prema istraživanjima iz 1993. godine (potvrđenim 2015. godine), Aldebaran b je vrući egzoplanet mase oko 6,5 puta mase Jupitera. Kruži na udaljenosti 45% većoj nego udaljenost Zemlje od Sunca. Temperatura ovog planeta vjerojatno iznosi oko 1500 K (1230° C) zbog prečnika njegove zvijezde. Život na njemu, ako je i postojao, sada vjerovatno nije moguć. Ako bi se sa potencijalne planete oko Aldebarana posmatralo Sunce, ono bi imalo prividnu magnitudu od 6,4 i nalazilo bi se između sazviježđa Zmijonosac (Ophiuchus) i Škorpija.



Položaj Aldebarana u sazviježđu Bik (izvor: earthsky.org)

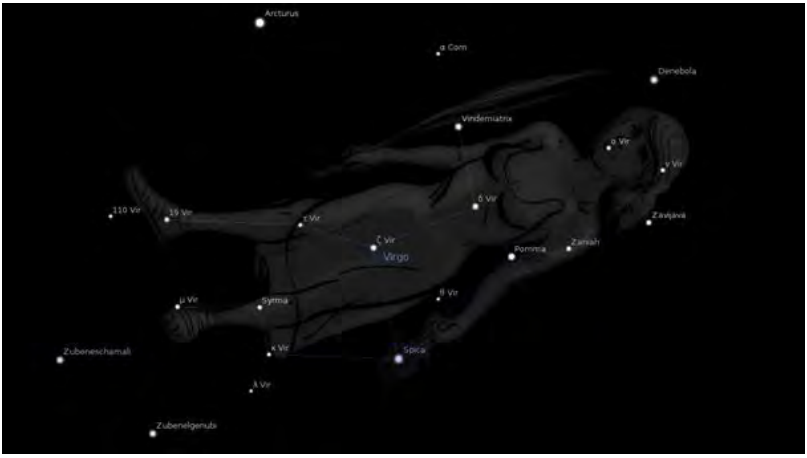
Za oko dva miliona godina, američka svemirska letjelica Pioneer 10, koja se sada kreće prema dubokom svemiru, proći će blizu Aldebarana.

U svojoj pjesmi Aldebaran, Enya kaže:

"Long sleep,
Deep sleep.
Rise! Look down
Aldebaran.

Walk with me through the red star.
The end, end of the journey.
Star, red star."

15. Spika



Položaj Spike u sazviježđu Djevica (izvor: wikipedia)

Lokacija:	Sazviježđe Djevica
Drugi nazivi:	Alfa Djevice, Arista, Azimeh
Klasa	Patuljci klase B
Prividna magnituda:	0,98
Apsolutna magnituda:	-3,55
Udaljenost:	260 svjetlosnih godina
Značaj:	Sjajna zvijezda u blizini ekliptike

Spika ili alfa Djevice (lat. Spica, α Virginis) je plavkasto-bijela zvijezda u sazviježđu Djevica (najsjajnija u sazviježđu) i 15. najsjajnija zvijezda na nebu. Njeno ime na latinskom jeziku znači "klas". Zvijezda tradicionalno predstavlja simbol plodnosti. Spika je od nas udaljena oko 260 svjetlosnih godina.

Spiku je lako pronaći na nebu sjeverne hemisfere, posebno u proljeće. Može se krenuti od asterizma Velika kola, pratiti njegovu krivinu i preko Arktura doći do Spike. Sa Denebolom, Arkturom i Cor Caroli formira tzv. Dijamant Djevice.

Spika leži oko 10° južno od nebeskog ekvatora, praktično na ekliptici (2° južno) te je često okultirana Mjesecom, a nekad i planetom. Posljedni put je okultirana planetom (Venerom) 10. novembra 1783. godine, a slijedeća planetarna okultacija (Venerom) će biti 2. septembra 2197. godine. Sunce prelazi preko Spike u jesen, kada su žetve.

Spika je spektroskopski binarni sistem (pojedinačne zvijezde ne vide se odvojeno golim okom), koja se sastoji od zvijezda spektralnih klasa B1III-IV (plavi subdiv – div) i B2V (zvijezda glavnog niza). Udaljenost između komponenti je 0,12 AJ (12% udaljenosti između Zemlje i Sunca). Period rotacije oko zajedničkog centra mase iznosi oko 4 dana. Nekad se smatralo da varijacija sjaja (koji se kreće između 0,95 i 1,05) posljedica djelimičnog pomračivanja komponenti, ali sada se smatra da je to posljedica plimne distorzije zvijezda uslijed njihove blizine. Zvijezde Spike su, naime, toliko blizu da dolazi do međusobnog plimnog uticaja i zato su blago ovalne.

Bliskost komponenti dovodi do snažnog sudara zvjezdanog vjetra jedne i druge zvijezde, zbog čega je Spika snažan izvor rendgenskog zračenja. Spika, kao dvojni sistem, ima oko 2000 puta veću luminoznost od Sunca, u vizuelnom dijelu spektra. Pojedinačno posmatrano, primarna komponenta ima temperaturu od 22400 K, ukupnu luminoznost 12100 puta veću od Sunca (kada se uračuna i ultraljubičasta svjetlost), radijus jednak 7 radijusa Sunca i masu oko 10 Sunčevih masa (što je vjerovatno dovoljno da evoluira u supernovu). Primarna komponentna odgovorna je za 80% svjetla sa Spike. Ova primarna komponenta je jedna od najbližih zvijezda koje imaju šansu da završe kao supernova tipa II. Sekundarna komponenta ima temperaturu od 18500 K, luminoznost oko 1500 puta veću od luminoznosti Sunca, radijus 4 puta veći od Sunčevog i masu oko 7 puta veću od Sunca. Jedna je od najbližih masivnih dvostrukih zvijezda našem Sunčevom sistemu. Postoji mogućnost da ovo nije samo dvojna već višestruka zvijezda i da se ona sastoji od još tri tamnije komponente. Ta saznanja dobivena su iz okultacije Spike Mjesecom. I sama primarna komponenta Spike je promjenljiva, i to pulsirajuća promenljiva tipa Beta

Velikog psa (ili Beta Kefeja), sa periodom od oko 4,2 sata. Primarna komponenta rotira oko svoje ose velikom brzinom, oko 200 km/s.

Smatra se da je Spika nalazi između 22500 i 24400 svjetlosnih godina od centra galaksije. U odnosu na Sunce, kreće se brzinom od 19 km/s.

Timocharis, grčki astronom, je oko 280. godine pne uradio precizna mjerenja položaja nekih zvijezda, a među njima i Spike. Vjeruje se da je Hiparh, 150 godina kasnije, uz pomoć Spike otkrio precesiono kretanje Zemlje.

Spika je bila poštovana još 3000. godine pne. U Egiptu su je poistovjećivali sa boginjom Isis (smatrali su da zvijezda nosi instrument lutnju). Zvali su je Repa (u prevodu Gospodar). Istraživači (Lockyer et al) smatraju da su neke građevine starog Egipta (npr. hram Sunca u Tel el-Amarni) i stare Grčke (npr. jedan od hramova u Tebi, par hramova u Tegei i Ramnusu, hramovi u Argosu i Girgenti, hram Atene Nike, itd) bile orijentirane prema Spiki, pridajući joj veliki značaj. Sazviježđe Djevica su u staroj Grčkoj poistovjećivali sa boginjom žetve, Demeter, a u starom Rimu sa boginjom plodnosti Ceres. Ovidije i Seneca spominju vezu sazviježđa Djevica sa djevicom Astreom, boginjom pravde iz Zlatnog doba Zemlje, kada su ljudi živjeli u izobilju.

Spiku su poštovali i u staroj Kini (gdje je bila poznata kao Jiao Xiu 1 ili Kio), u Babilonu (gdje su je povezivali sa boginjom Ishtar), u staroj Indiji (sa imenom Chitra). Rimljani su je zvali Spicum, stari Grci Stachys, Kopti Khoritos, u Perziji je bila poznata kao Chushe, u Siriji kao Shebbelta, u Turskoj kao Salkim, a Arapi su je zvali Al-Simak al-A'zal (kasnije kao Alzameh, Azimeh). Njemački astronom Johann Bayer nazvao je u 16. vijeku ovu zvijezdu Arista.

Američki brodovi USS Spica (AK-16), USNS Spica (T-AFS-9) i USS Azimech (AK-124) su dobili imena po Spiki. Spika se nalazi na zastavi Brazila, iznad natpisa na Portugalskom "Ordem e Progresso" (u prevodu Red i Napredak).

Veća zvijezda u sistemu Spika je pri kraju perioda u kojem vrši fuziju vodika. Da su same, svaka zvijezda bi evoluirala u bijelog patuljka, pri

čemu bi veća bila na samoj granici za bijele patuljke (1,4 mase Sunca). Ali na njihovu sudbinu utiče to što su dvostruki sistem zvijezda. Kada veća zvijezda počne da se širi, doći će bliže do druge zvijezde i počeće intenzivnija razmjena materijala. Možda će se one spojiti u jednu zvijezdu. A možda će masena razmjena sa bijelim patuljkom dovesti do Nove (kao kod DQ Herkula) ili supernove (kao kod Tychove zvijezde), ako bijeli patuljak bude prelazio masenu granicu od 1,4 mase Sunca. Potencijalni planeti oko zvijezda koje se nalaze blizu Spike imaće tada nezaboravan prizor na nebu.

16. Meropa



Najsjajnije zvijezde koje čine Plejade
(copyright: Australian Astronomical Observatory)

Lokacija:	Sazviježđe Bik
Drugi nazivi:	23 Bika (23 Tauri)
Klasa	Subdiv klase B
Prividna magnituda:	4,18
Apsolutna magnituda:	-1,39
Udaljenost:	385 svjetlosnih godina
Značaj:	Sjajna zvijezda u skupu Plejade i iluminator magline Meropa

Plejade (kod nas se zovu i Vlašići) su jedan od najljepših dragulja noćnog neba. To je otvoreni zvjezdani skup (u sazviježđu Bik) kojim dominiraju vruće, plave, luminozne zvijezde spektralne klase B. Smatra se da ovaj skup sadrži preko 1000 zvijezda, sa ukupnom masom

preko 800 Sunčevih masa i jedan je od najbližih otvorenih skupova zvijezda.

Sedam najsjajnijih zvijezda u skupu su Alciona (Eta Bika), Elektra (17 Bika), Maja (20 Bika), Meropa (23 Bika), Tajgeta (19 Bika), Celena (16 Bika) i Asteropa (dvojna, 21 i 22 Bika).

Ove zvijezde dobile su ime po sestrama koje su, prema grčkoj mitologiji, bile kćerke boga Atlasa i smrtnice Pleione. Kao kćerke Atlasa, Hijade (još jedan otvoreni skup u sazviježđu Bik) predstavljaju sestre Plejada. Postoji nekoliko hipoteza o porijeklu naziva otvorenog zvjezdanog skupa Plejade. Prva hipoteza je da ime "Plejade" potiče od grčke riječi "plein" (ploviti) ili riječi "pleidos" (mnogobrojno). Druga hipoteza je da je ime izvedeno od imena (mitske) majke Pleione, čije ime nosi i jedna od najsvjetlijih zvijezda u skupu.

Najraniji zapisi o Plejadama potiču od Hesoida, oko 1000 godine pne, a vezani su za poljoprivredu i smjenu godišnjih doba. Homer spominje Plejade u svojoj Odiseji, a spomenute su tri puta i u Bibliji. Neki istraživači smatraju da su Plejade spomenute i u Kur'anu, u suri An-Najm (Zvijezda).

Spominju se u mnogobrojnim kulturama širom svijeta. Maori su ih zvali Matariki, Aboridžini su za njih vezali tradicije, Arapi su ih zvali Thurayya, Kinezi su ih nazivali Mao, Hindusi su ih zvali Krittika. U grupu naroda koji su ih poštovali spadaju i Babilonci, Maje, Azteci, Siuksi i Čeroki, Quechua narod, Perzijanci, itd. U havajskom jeziku poznate su kao sedam malih očiju.

Njihovo japansko ime je "Subaru", što je kasnije postala i marka japanskih automobila. Stari evropski nazivi pokazuju da su Plejade upoređivane sa kokoškom i njenim pilićima. Starogrčki filozofi Endokus iz Knidosa i Aratos iz Phainomena, smatrali su ih posebnim sazviježđem.

Plejade se najbolje vide u zimsko doba kada se nalaze blizu zenita. Jedan su od rijetkih objekata dubokog svemira koji se može lako promatrati golim okom. Najčešće je šest zvijezda Plejada vidljivo golim

okom. Pri boljim uslovima posmatranja ovaj broj raste na devet, a na potpuno čistom noćnom nebu može se vidjeti i do dvanaest zvijezda.

Plejade je najbolje posmatrati dvogledom. U dobrom dvogledu na postolju, skup će izgledati kao grupa od tridesetak plavih bisera na crnoj podlozi. Posmatrači sa teleskopima mogu pronaći refleksione magline ali za njih će trebati dobre uvjete i dobru transparentnost neba. Veliki teleskopi pokazat će tamnije članove skupa ali neće moći pokazati cijeli skup.

Smatra se da se među zvijezdama Plejada nalazi i veliki broj smeđih patuljaka koji čine možda i 25% populacije Plejada, ali sudjeluju samo s 2% mase.

U Plejadama jedino Alciona ima naziv po grčkom slovu Eta, a ostale sadrže Flamsteedove brojeve. Flamsteed je zvijezde ovog skupa pobrojao idući od zapada prema istoku. Kao rezultat toga, Meropa je nazvana 23 Bika.

Kao i ostatak skupa, Meropa je udaljena oko 380 svjetlosnih godina od nas. To je subdiv klase B6IV, temperature površine oko 14000 K i ukupnog luminoziteta oko 630 puta većeg od Sunčevog. Od sjajnijih zvijezda u Plejadama samo su Pleiona i Asteropa klasificirani kao zvijezde patuljci.

Meropa se veoma brzo okreće oko svoje ose, nekih 280 km/s, tj. 140 puta brže od Sunca. Sa radijusom od 4,3 Sunčevih, zvijezdi treba oko 18 sati da se jednom okrene oko svoje ose. Kao i Alciona, Elektra i Pleiona, Meropa uslijed velike brzine rotacije kreira tanki luminozni gasoviti disk koji je dovoljno vruć i gust (uslijed udarnih talasa) da proizvodi rendgensko zračenje. Zbog velike brzine rotacije, ove zvijezde su nalik sferoidima.

Meropa ima masu oko 4,5 Sunčevih i radijus 4 puta veći od radijusa Sunca. Klasificira se kao varijabilna tipa Beta Kefeja (sjaj joj varira za 1%).

Meropa je slavna i zbog svog okruženja. Plejade su obavijene oblakom prašine i gasa koji izgleda vrlo lijepo na astrofotografskim snimcima.

Zvijezde u Plejadama, međutim, nisu dovoljno vruće da jonizuju gas kao što to radi npr. Theta-1 Oriona C u maglini Orion (M42). Umjesto toga, mala zrnca prašine u ovim oblacima se raspršuju i reflektuju svjetlost sa zvijezda. Na taj način kreiraju poznatu refleksionu maglinu M45 (maglina Plejade). Budući da čvrsta zrnca raspršuju kratko-talasno svjetlo (ljubičasto i plavo) efikasnije nego dugo-talasno žuto i crveno svjetlo, i budući da su zvijezde u Plejadama svakako plavo-bijele, ova maglina svjetli plavičastom bojom. Refleksiona maglina je najupečatljivija upravo oko Merope. Toliko je sjajna da ima i svoje ime: maglina Meropa ili IC 349, pri čemu IC označava Index Catalogue koji predstavlja dodatak standardim katalozima NGC (koji je opet, s druge strane, dodatak starijem Herschelovom Opštem katalogu – GC).

Dugo se smatralo da je maglina oko ovih zvijezda mjesto njihovog rađanja, i tek upotrebom spektroskopije (kada je uočeno da spektar magline predstavlja preciznu kopiju spektara zvijezda iz njene okoline) otkriveno je da je maglina tu slučajno. Naime, Plejade trenutno samo prolaze kroz međuzvjezdani oblak kojeg osvjetljavaju. Maglina i Plejade se mimoilaze brzinom od 11 km/s.

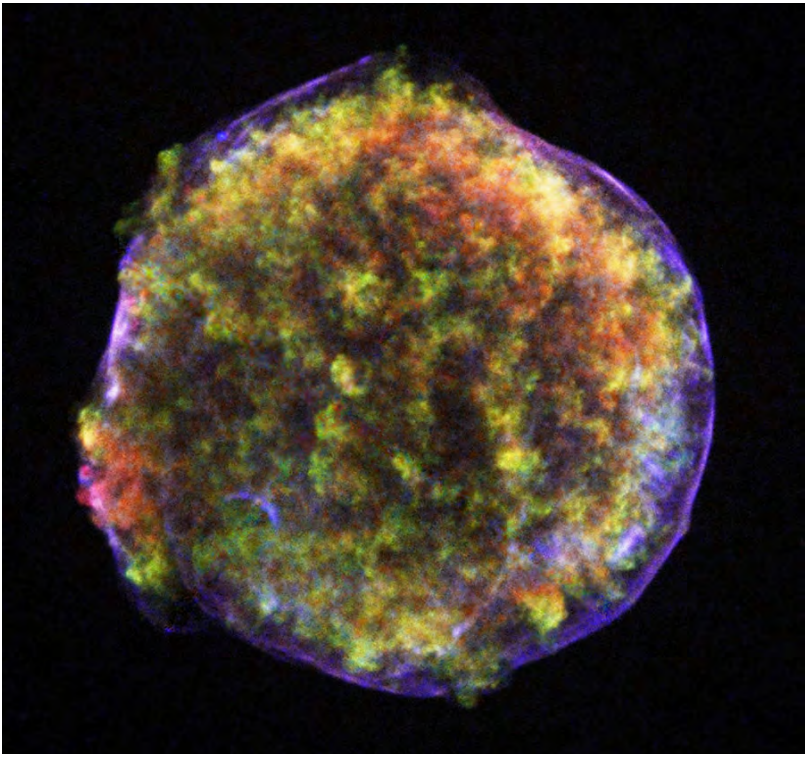


Plejade iz grčke mitologije (izvor: wikipedia)

Procjenjeno je da će Plejade kao skup postojati još samo oko 250 miliona godina. Poslije tog perioda raširiće se kao pojedinačne zvijezde ili višestruki sistemi zvijezda.

Budući da masivnije zvijezde umiru prve, možemo datirati skup koristeći teoretski izračunatu starost najmasivnijih zvijezda patuljaka koje su ostale. Tako Meropa i ostale zvijezde Plejada ne mogu biti starije od 100 miliona godina. Svjetle i predivne, ove sestre su još uvijek galaktička djeca.

17. Tychova zvijezda



Ostaci supernove SN 1572 viđeni u rendgenskom dijelu spektra
(copyright: Chandra X-ray Observatory)

Lokacija:	Sazviježđe Kasiopeja
Drugi nazivi:	SN 1571, B Cas, 3C 10
Klasa	Supernova tipa Ia
Prividna magnituda:	-4 (maksimum)
Apsolutna magnituda:	-19,1 (maksimum)
Udaljenost:	11500 svjetlosnih godina
Značaj:	Supernova koja je promjenila astronomiju i svijet

Tychova zvijezda (SN 1572, Tychova Supernova, B Cassiopeiae (B Cas), 3C 10) bila je supernova tipa Ia u sazviježđu Kasiopeja, jedna od osam supernovih vidljivih golim okom u historijskim zapisima. Pojavila se početkom novembra 1572. godine. Iznimni sjaj Tychove zvijezde sugerira da je to zaista bila supernova, kao i Keplerova zvijezda iz 1604. godine ili kineska "zvijezda gost" iz 1054. godine čiji ostaci se danas nazivaju maglina Rak.

Pojava supernove na nebu 1572. godine spada među najvažnije događaje u historiji astronomije. Naime, pojava ove "nove zvijezde" pomogla je revidirati drevne modele neba i ubrzati revoluciju u astronomiji koja je započela shvatanjem potrebe za kreiranjem boljih astrometrijskih kataloga zvijezda (a time i potrebe za preciznijim astronomskim instrumentima). Također je direktno izazvala sumnju u aristotelovu dogmu o nepromjenjivosti noćnog neba i zvijezda.

Supernova iz 1572. godine često se zove Tychova supernova, zbog njegovog opsežnog djela "De nova et nullius aevi memoria prius visa stella" (u slobodnom prevodu: "Što se tiče nove zvijezde, nikada prije viđene"), objavljenog 1573. godine, sa ponovnim izdanjima koje je nadgledao Johannes Kepler 1602. i 1610. godine. Ovo djelo je sadržavalo Braheova vlastita zapažanja ali i analizu mnogih drugih zapažanja (Wolfgang Schuler, Thomas Digges, John Dee, Francesco Maurolico, Jerónimo Muñoz, Tadeáš Hájek, Bartholomäus Reisacher, itd). Tycho nije bio prvi koji je posmatrao supernovu 1572. godine, ali je vjerojatno bio njen "najprecizniji" posmatrač. Naime, Tycho Brahe je otkrio ovu supernovu pet dana nakon što ju je prvi otkrio W. Schuler iz Wittenberga, vjerovatno zbog dosta oblaka koji su karakteristični za ova područje zimi. Na osnovu podataka Brahea, Kepler je kasnije definisao zakone planetarnog kretanja koji su u konačnici pomogli Newtonu da postavi zakon gravitacije.

U Engleskoj je kraljica Elizabeta pozvala matematičara i astrologa Thomasa Allena da "izloži svoje mišljenje o novoj Zvijezdi koja se pojavila u Kasiopeji i o kojoj je on vrlo učtivo dao svoj sud", kako je kasnije zabilježio John Aubrey.

U kineskoj dinastiji Ming, zvijezda je stvorila problem između Zhang Juzhenga i cara Wanlija: prema kozmološkoj tradiciji, car je upozoren da razmisli o svom neprimjerenom ponašanju budući da je nova zvijezda protumačena kao loš znak.



Slika obuhvata nekoliko zanimljivih objekata u sazviježđu Kasiopeja, od kojih se nijedan ne vidi dobro u vidljivom dijelu spektra. Ostaci Tychove supernove vide se u lijevom gornjem dijelu slike. U centralnom dijelu vidi se područje stvaranja zvijezda i maglina S175. (copyright: NASA Wide Field Infrared Survey Explorer)

Pouzdanija savremena izvješća tvrde da se nova zvijezda prikazala na nebu negdje između 2. i 6. novembra 1572. godine, kada je po sjajnosti nadmašila i Veneru, i vidjela se i po danu. Supernova je bila vidljiva golim okom do 1574.

Udaljenost do ostatka supernove procjenjuje se na između 800 i 13000 svjetlosnih godina. Smatra se da prečnik ostataka supernove iznosi oko 20 svjetlosnih godina.

Potraga za ostatkom supernove trajala je sve do 1952. godine, kada su Brown i Hazard (Jodrell Bank Observatory) izvijestili o njenoj detekciji u radio području, na frekvenciji od 158,5 MHz. To su potvrdili i Baldwin i Edge 1957. godine koji su još preciznije izmjerili njen položaj pomoću radio teleskopa (Cambridge) koji radi na talasnoj dužini od 1,9 m. Ostatak supernove je označen (u drugom Cambridge-ovom katalogu radio-izvora) kao objekt "2C 34", a u trećoj Cambridge-ovoj listi (Edge et al, 1959) sa "3C 10". Nema sumnje da je 3C 10 ostatak supernove posmatrane 1572. – 1573. godine. Nakon članka Minkowskog (1964), oznaka 3C 10 ostala je kao najčešće korištena oznaka za ostatak supernove B Cas, iako neki autori i dalje koriste tabličnu oznaku G120.7 + 2.1 (Green 1984), a mnogi je jednostavno nazivaju "ostatkom Tychove supernove". Budući da je ostatak supernove zabilježen u radio spektru prije nego što su optički otkriveni ostaci supernove, oznaku 3C 10 neki koriste da označe ostatak supernove na svim talasnim dužinama.

U vidljivom dijelu spektra, ostatke supernove B Cas kao dosta tamnu maglinu otkrili su tek 1960-ih američki naučnici koristeći teleskop na planini Palomar. Kasnije su ovi ostaci fotografirani teleskopom na međunarodnoj svemirskoj letjelici ROSAT. Potvrđeno je da je supernova bila tipa Ia – bijeli patuljak je sakupljao akrecijom materijal sa pratioca sve dok nije došao do Čandrasekarove granice (1,4 mase Sunca) i eksplodirao. Ova vrsta supernove obično ne stvara spektakularne magline koje su tipičnije za supernove tipa II, kao što je npr. supernova SN 1054 (maglina Rak). Ljuska plina supernove B Cas još uvijek se širi, brzinom između 5000 i 9000 km/s.

Supernove se generalno dijele na dvije glavne kategorije. Supernove tipa II nastaju kolapsom željeznog jezgra masivnih zvijezda i ostavljaju iza sebe gasovite ostatke i (obično) neutronske zvijezde. Supernove tipa Ia su jače i nastaju uslijed prisustva bijelih patuljaka koje akrecijom "kradu" materijal sa svog susjeda u binarnim sistemima zvijezda. Kada pređu Čandrasekarovu granicu mase, eksplodiraju i bivaju uništene. Obadvije vrste supernovih stvaraju ultra-jake udarne talase koji se velikim brzinama šire svemirom i zrače od radio do rendgen-

skog dijela spektra. Zbog svog sjaja, supernove tipa Ia se koriste pri procjeni udaljenosti u dubokom svemiru i pri procjeni parametara širenja svemira.

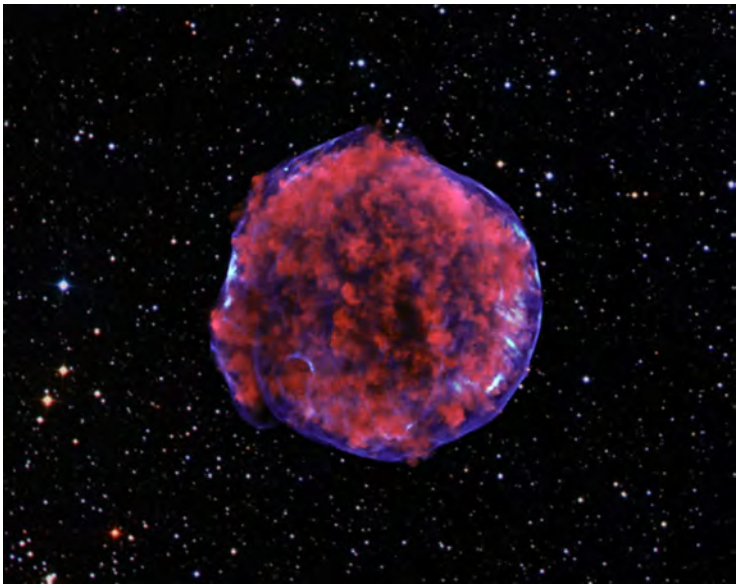
U oktobru 2004. godine, zanimljivo istraživanje objavljeno u međunarodnom žurnalu Nature ukazalo je na moguće otkriće zvijezde koja je bila pratilac bijelog patuljka koji je eksplodirao. Zvijezda je slična našem Suncu, klase G2, i nazvana je Tycho G. Smatra se da je materijal sa ove zvijezde akrecijom povećao masu bijelog patuljka što je u konačnici dovelo do supernove.

Naknadna studija, objavljena u martu 2005. godine, otkrila je više detalja o ovoj zvijezdi: Tycho G vjerovatno je bio zvijezda glavnog niza ili subdiv prije eksplozije, ali dio mase ove zvijezde bio je izgubljen, a njeni vanjski slojevi bili su zagrijani udarnim talasom supernove. Trenutačna brzina Tycho G zvijezde je možda najjači dokaz da je ona bila stvarni pratilac bijelog patuljka koji je eksplodirao jer se kreće brzinom od oko 136 km/s, što je više od četiri puta brže od prosječne brzine ostalih zvijezda u susjedstvu. Neki autori se ne slažu sa ovim zaključcima jer zvijezda ne pokazuje značajnu rotaciju koja se očekuje u ovakvim slučajevima.

Istraživači su uz pomoć opservatorije Chandra 2009. godine čak 200 sati snimali ostatke Tychove supernove. Kada su pregledali snimke u rendgenskom dijelu spektra, uočili su neobične linije u blizini fronta udarnog talasa. Ove linije mogu pomoći da se razjasni kako zvijezde koje eksplodiraju mogu ubrzati čestice do tako nevjerovatnih energija. Naučnici pretpostavljaju da su u ovim područjima magnetska polja zapetljanija nego u okolnim područjima i da je tu kretanje čestica turbulentnije. U tim područjima, protoni i elektroni postaju zarobljeni i kreću se spiralno oko linija magnetskog polja; elektroni u tom procesu emitiraju puno rendgenskih zraka.

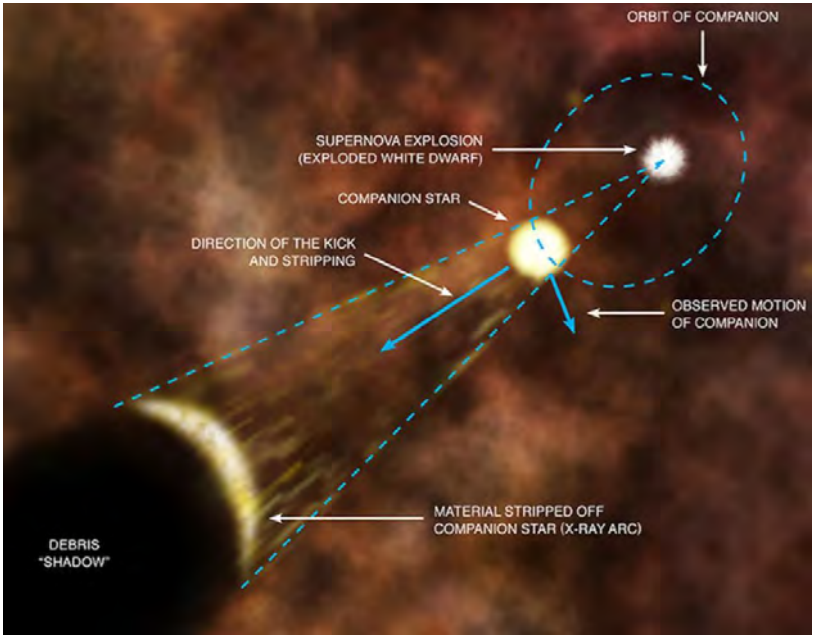
Razmak između ovih traka pokazuje da je energija protona oko 100 puta veća od onih dostignutih na Zemlji – u najsnažnijem akceleratoru čestica (Large Hadron Collider). Smatra se da odatle vode porijeklo kosmičke zrake najveće energije u galaksiji. Ti rezultati podupiru

i prethodnu teoriju jer se ostaci supernove već dugo smatraju najboljim kandidatom za proizvodnju najsnažnijih kosmičkih zraka u galaksiji. Ovi rezultati podupiru i predviđanje da se magnetska polja u međuzvjezdanom prostoru pojačavaju u ostacima supernove.



Slika ostataka Tychove supernove. Niskoenergetske rendgenske zrake (crvene boje) *na slici prikazuju ekspanziju supernove i širenje krhotina, a visokoenergetske rendgenske zrake* (plave boje) *pokazuju udarni talas – ljusku elektrona velike energije.* (copyright: Rendgenski dio spektra: NASA/CXC/Rutgers/K.Eriksen; Optički dio spektra: DSS)

Dok su proučavali ostatke Tychove supernove, istraživači iz NASA-e su 2011. godine, uz pomoć Chandra opservatorije, pronašli luk rendgenske emisije u ostatku supernove. Ovaj luk, istraživači smatraju, stvorio je udarni talas generiran kada je eksplodirao bijeli patuljak i izbacio materijal sa površine zvjezde pratilioca. Ovaj izbačeni zvjezdani materijal je najbolji dokaz da je supernova nastala u binarnom sistemu zvijezda.



Shematski prikaz koji pokazuje naučno objašnjenje porijekla luka rendgenskih zraka u ostatku Tychove supernove
(copyright: NASA/CXC/M.Weiss)

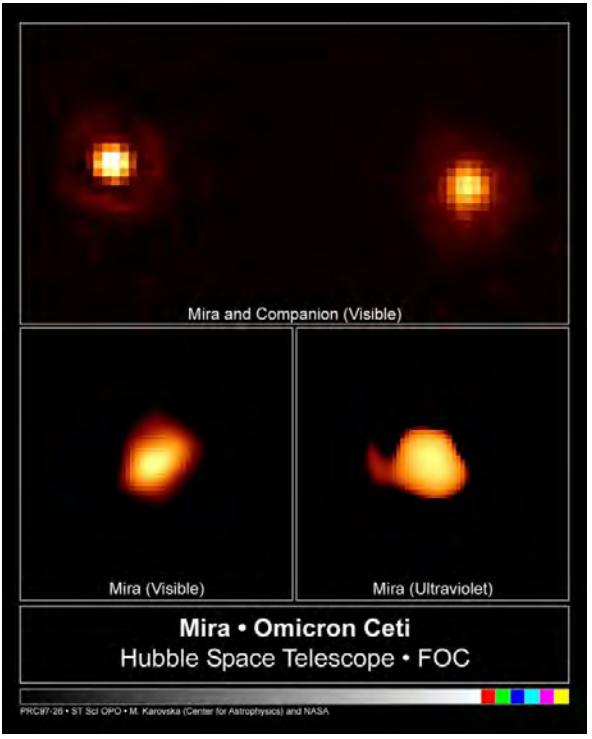
Tychova zvijezda se spominje i u literaturi. U devetoj epizodi Ulyssesa Jamesa Joycea, Stephen Dedalus povezuje pojavu ove supernove sa mladim Williamom Shakespeareom, a u novembarskom izdanju magazina Sky & Telescope iz 1998, tri istraživača iz Southwest State State University, Don Olson i Russell Doescher sa Odjela fizike i Marilynn Olson sa Odjela književnosti, utvrdili su da je ova supernova vjerovatno opisana u Shakespeareovom Hamletu, konkretno od strane Bernarda u Činu I (Scena I).

Protagonist kratke priče "The Star" Arthura C. Clarka iz 1955. takođe spominje ovu supernovu. A supernova se spominje i u članku Frederika Pohla "The Martian Star-Gazers", koji je prvi put objavljen u časopisu Galaxy Science Fiction 1962. godine.

Neil DeGrasse Tyson također spominje ovu supernovu (1572) i supernovu iz 1604. godine u njegovoj knjizi "Astrophysics for People in a Hurry" (2017). Naglašava da, iako su se ove supernove vizuelno mogle vidjeti, niko nije vidio nevidljive rendgenske zrake ili gama zrake kada se supernova pojavila.

Smrt bijelog patuljka koja je viđena prije 400 godina izbacila je u međuzvjezdani prostor željeza mase jednake 1/3 mase Sunca, pomogla nam da promjenimo shvatanje o univerzumu i ostavila iza sebe svjetleći prsten (u rendgenskom dijelu spektra) kao dokaz jednog nebeskog spektakla.

18. Mira



Mira nije okrugla (vjerovatno zbog uticaja svog pratioca – bijelog patuljka) (izvor: wikipedia)

Lokacija:	Sazviježđe Kit (Cetus)
Drugi nazivi:	Omikron Kita (o Ceti)
Klasa	Div klase M
Prividna magnituda:	3 – 10
Apsolutna magnituda:	-3 do -5
Udaljenost:	420 svjetlosnih godina
Značaj:	Grandiozna promjenljiva po kojoj su ostale slične zvijezde dobile ime

Kada sebi postavimo pitanje koja je najzanimljivija zvijezda na nebu ili možda koja je pojedinačno najvažnija zvijezda na nebu, najčešće se sjetimo Polarisa koji određuje pravac sjevera ili Siriusa – najsvjetlije zvijezde. Možda je to Tychova zvijezda, koja se pojavila na nebu pa nestala. Ili Betelgez, nebeski div. Međutim, sasvim je moguće da ta nagrada pripada Miri čije samo ime na latinskom znači "čudesna".

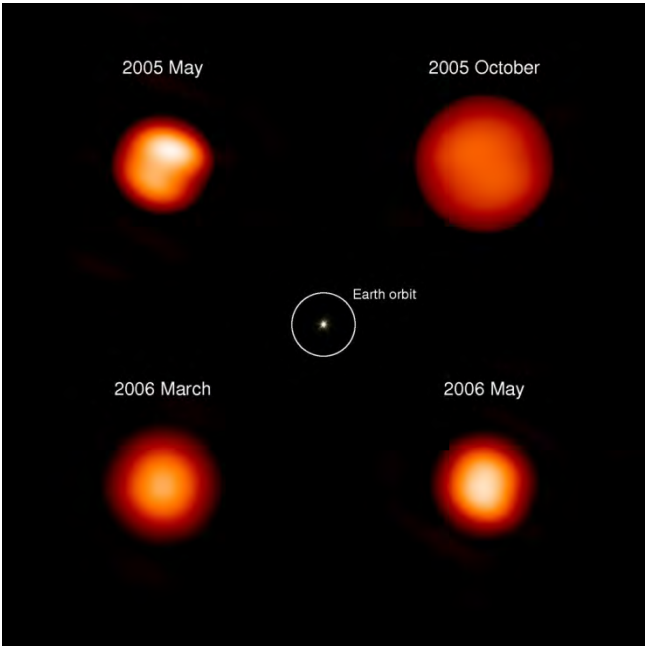
Za razliku od Tychove zvijezde koja se pojavila pa nestala, Mira se nakon nestanka ponovo pojavila. Pa onda ponovo nestala. I tako se vraća svake godine, pri čemu je dosad nestajala preko 450 puta (nakon prvobitnog otkrića). I možemo biti sigurni da će se vratiti još barem stotinu hiljada puta.

Mira je dugoperiodična promjenljiva zvijezda u sazviježđu Kit, i uz Algol je prva promjenljiva zvijezda koja je otkrivena. Mira je dosad jedina zvijezda kod koje otkriven "rep" sličan kao kod kometa.

Njemački teolog i astronom-amater David Fabricius (prijatelj Tycho Brahea) otkrio je Miru (u početku je mislio da je to Merkur) u trenutku kada je bila treće magnitude, 1596. godine. Johann Bayer je 1603. godine u svojoj Uranometriji Miru označio slovom omikron (o) i naveo je kao zvijezdu četvrte magnitude. Holwarda je 1630. godine otkrio njenu varijabilnost. Johannes Hevelius je u svojoj Historiola Mirae Stellae (1662) zvijezdu nazvao Mira (latinski za "čudesna", "divna", "zapanjujuća").

Sa sjevernih geografskih širina, Mira se generalno ne vidi od kraja marta do juna zbog blizine Suncu pa ponekad može proći i nekoliko godina da se Mira ne može vidjeti golim okom. Kada se vidi, Miru možemo posmatrati nekoliko sedmica.

Procjenjuje se da starost Mire iznosi preko 6 milijardi godina. Ima masu sličnu Suncu pa se smatra da će i Sunce doživjeti sličnu sudbinu.



Mira varira po veličini i sjaju tokom vremena
(copyright: Harvard-Smithsonian Center For Astrophysics)

Mira je crveni div kod kojeg dolazi do promjene sjaja uslijed pulsiranja, odnosno oscilacija u prečniku. Srednji period između dva maksimuma iznosi oko 332 dana (približno 11 mjeseci), ali je podložan promjenama. Takođe, i magnituda u maksimumu i minimumu varira: maksimalna magnituda je između 1,7 i 4,9 dok se minimalna kreće između 8,6 i 10,1. Kriva sjaja je takva da je porast sjaja po pravilu brži nego njegovo opadanje. Osim što je prva otkrivena, Mira je vjerovatno i najposmatranija promjenljiva zvijezda jer je svaki maksimum od 1638. godine zabilježen.

Mira je najbliža i najsjajnija (u svome maksimumu) među dugoperiodičnim pulsirajućim promjenljivim zvijezdama, i predstavlja prototip ove klase, po njoj nazvane miride. Do sada ih je otkriveno oko 6000-7000. U pitanju su crveni divovi u čijem spektru su prisutne emisione

linije. Period im varira od 80 do preko 1000 dana, a varijacije u sjaju mogu da budu i preko 10 magnituda (magnituda ekstremnog slučaja Hi Labuda (χ Cygni) se kreće između 3,3 i 14,2). Ni trajanje perioda ni magnituda minimuma i maksimuma kod ovih zvijezda nisu konstantni, i one nemaju dva potpuno jednaka ciklusa.

Spektralna klasa Mire varira između M5e i M9e, što ukazuje na to da je u pitanju hladna zvijezda. U spektru se uočavaju izražene linije titanijum-oksida, kao i linije neutralnih metala. Osim toga, u spektru Mire se nalaze i emisione linije (zbog čega nosi oznaku "e" u spektralnoj klasi), prije svega vodika.

Određivanje temperature i radijusa zvijezda poput Mire je problematično, jer ovi parametri zavise kako od toga u kojem se dijelu ciklusa zvijezda nalazi, tako i od talasne dužine na kojoj se vrši procjena. Zahvaljujući blizini Mire, moguće je odrediti ugaonu veličinu (pa na osnovu udaljenosti i njen prečnik) direktnim mjerenjem. Mjerenja svemirskim teleskopom Hubble dala su ugaoni prečnik od 60 mililučnih sekundi. Smatra se da se poluprečnik Mire mijenja od 330 (pri maksimalnom sjaju) do 400 poluprečnika (pri minimalnom sjaju Mire) Sunca. Kada bi je stavili umjesto Sunca, Mira bi dosezala u najširoj fazi skoro do orbite asteroida u pojasu između Marsa i Jupitera.

Luminoznost Mire se mijenja od približne vrijednosti luminoznosti Sunca do oko 10000 puta veće luminoznosti nego kod Sunca. Temperatura površine joj takođe varira, između 2000K i 3000 K. Prisustvo željeza na Miri iznosi oko 93% u poređenju sa Suncem.

Mira se kreće brzinom od oko 150 km/s u odnosu na Sunce. Dok se kreće kroz svemir, Mira ostavlja za sobom trag odbačenog materijala vidljiv u ultraljubičastom dijelu spektra, dug 13-15 svjetlosnih godina. Ovaj "rep" (sličan repu komete) je otkriven uz pomoć Galaxy Evolution Explorera i sadrži materijal koji se odvojio zadnjih 30000 godina od komponente Mire A. Smatra se da vrući talas komprimiranog plina uzrokuje nastanak repa; zakrivljeni udarni talas je rezultat interakcije zvjezdanog vjetra iz Mire sa gasom međuzvjezdanog prostora.

Mira je ustvari dvojna zvijezda, pri čemu je i druga komponenta sistema promjenljiva (vjerovatno bijeli patuljak, mada neki istraživači smatraju da je to zvijezda glavnog niza mase oko pola mase Sunca), i nosi oznaku VZ Kita (VZ Ceti) ili Mira B. Postojanje pratioca slabog sjaja u blizini Mire je prvi put predviđeno 1920. godine na osnovu periodičnih varijacija u spektru Mire. Robert G. Aitken je 1923. prvi vidio ovu zvijezdu. VZ Kita je vidljiva samo u vrijeme minimalnog sjaja Mire. Njena magnituda varira između 12 i 9,5, a period rotacije ovog bijelog patuljka oko Mire (tj. oko zajedničkog težišta) iznosi oko 400 godina. Mira A i Mira B su međusobno udaljene približno 70AJ.



Mira u UV dijelu spektra (vidi se udarni talas i "rep" Mire) i dole u vidljivom dijelu spektra (copyright: NASA Galaxy Evolution Explorer – GALEX)

U januaru 2007. grupa astronoma koji koriste opservatorij Keck na Havajima i Gemini South teleskop u Čileu izvjestili su o otkriću protoplanetarnog diska oko Mire B, što upućuje na dosad neočekivane mogućnosti da se planete mogu formirati iz materijala koji su odbacile zvijezde na samrti. Premda je stvaranje planeta malo vjerovatno dok je akrecijski disk aktivan, do njega može doći relativno brzo nakon što Mira A prođe kroz svoju divovsku fazu i postane bijeli patuljak. Ako se ovdje formiraju planete, imat će svakako veoma bogat izvor sirovina potrebnih za život, uključujući ugljik. Iako je ovo prvi protoplanetarni disk za koji se zna da je nastao na ovaj način, možda on nije neuobičajen. Dvije trećine zvjezdanih sistema su binarni, a oko četvrtina njih bi se trebala razvijati u sisteme kao što je Mira, sa crvenim divom koji donira materijal običnoj zvijezdi. Disk oko Mire B trenutno sadrži materijal mase manje od mase Jupitera ali ta masa će se vjerovatno povećati do između tri i pet masa Jupitera prije završetka procesa akrecije – otprilike mase potrebne za formiranje planetarnog sistema poput našeg. Osim svjetlosti obične zvijezde, svi planeti koji bi se formirali ovdje bili bi okupani i blijedim sjajem bijelog patuljka, koji bi na nebu imao sjaj mladog Mjeseca.

Mira je, takođe, jedna od najpoznatijih divova u fazi "drugog uspona" (eng. second ascent giants), nespretno nazvanih ogranak asimptotskih divova (eng. asymptotic giant branch) na HR dijagramu. Uz nju u ovu skupinu spadaju i Hi Labuda i R Zeca (R Leporis). Ove zvijezde (tzv. AGB zvijezde), mase 0,6 -10 Sunčevih, nalaze se u kasnoj fazi evolucije. AGB zvijezde imaju karakteristike crvenih divova uz jako izraženo gubljenje mase, jak vjetar vjetar i promjenljiv sjaj uslijed širenja i pulsiranja. Tako kad je Mira najtoplija (3000 K), sjaji dobrim dijelom i u vizuelnom dijelu spektra, a kad joj temperatura padne ispod 2500K, svjetlost je većinom u infracrvenom dijelu spektra i zvijezda tamni. Ovo tamnjenje je potpomognuto u dobroj mjeri molekulama titanijum oksida koje dobro apsorbuju vizuelno zračenje.

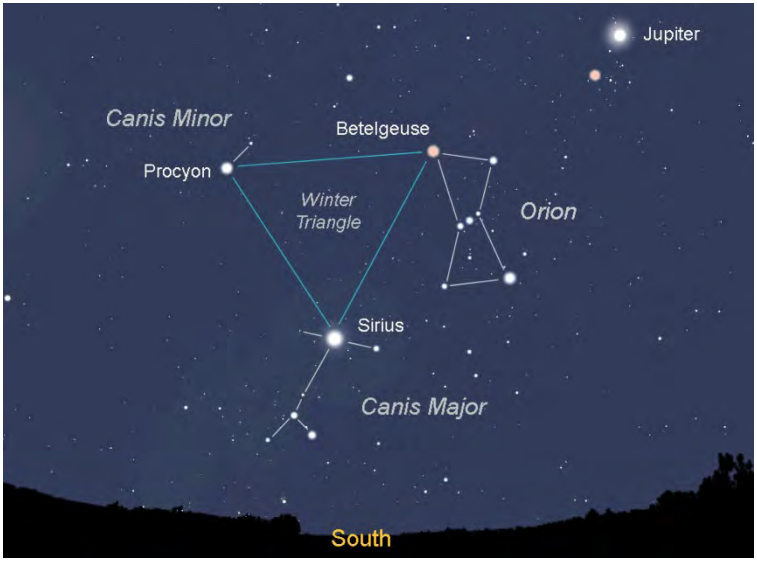
Mira je tolika da smo joj uspjeli snimiti i disk. Umjesto da je okrugla, zvijezda izgleda više kao istegnuti vodeni balon. Smatra se da je to uslijed dejstva pratioca, bijelog patuljka.

Pulsiranje Mire kreira jake udarne talase kroz zvijezdu i dolazi do formiranja jakih zvjezdanih vjetrova. Ovo je važno jer većina međuzvjezdanih regiona (punih gasa i prašine) u kojima se formiraju zvijezde i planete dolazi upravo sa ovih čudnovatih zvijezda.

Mira gubi svoju masu umjerenim tempom, otprilike jedan milioniti dio Sunčeve mase u godini (što je opet milion puta više nego što Sunce gubi masu). Kako odbacuje vanjske slojeve, oko zvijezde se sve više nakupljaju molekularne ljuske. Posmatranja u radio-talasnom području pokazuju da se ove ljuske prostiru otprilike do 200 radijusa zvijezde. Vjetar je u interakciji sa pratiocem (bijelim patuljkom), što Miru čini donekle i simbiotskom zvijezdom.

U jezgri Mire je davno prestala fuzija vodika u helijum, a helijum je takođe potrošen fuzijom u ugljik i kisik. Veličina i nestabilnost Mire uzrok su snažnog zvjezdanog vjetra. U skorijoj budućnosti (u astronomskim okvirima), Mira će odbaciti svoje spoljašnje slojeve od kojih će nastati planetarna maglina, dok će jezgro ostati u obliku bijelog patuljka. Čudesna Mira će se pridružiti svom pratiocu da postanu dvojni sistem bijelih patuljaka. Možda će u tom procesu, kao što smo vidjeli, nastati i neki novi planet, možda pogodan za život. Pri svemu tome Mira će značajno obogatiti svemir novim hemijskim elementima i materijalom za izgradnju drugih zvjezdanih sistema i možda nekog novog života.

19. Procion



Položaj Prociona u asterizmu Zimski trougao (copyright: space.com)

Lokacija:	Sazviježđe Mali pas
Drugi nazivi:	Alfa Malog psa, Antecanis
Klasa	Subdiv klase F i bijeli patuljak
Prividna magnituda:	0,34/10,7
Apsolutna magnituda:	2,66/13
Udaljenost:	11,4 svjetlosnih godina
Značaj:	Poznata spektropska dvojna

Procion ili alfa Malog psa (lat. α Canis Minoris, α CMi) je spektroskopska dvojna zvijezda, najsjajnija zvijezda u svom sazviježđu i osma najsjajnija zvijezda noćnog neba. Naziv ove zvijezde potiče još od Ptolomejevog Almagesta. Na starogrčkom Προκύων (Prokyon) znači "prije psa", jer izlazi prije sazviježđa Veliki pas i zvijezde Sirius, koja je kao najsjajnija zvijezda Velikog psa poznata kao "Pseća zvijezda".

U sazviježđu Mali pas Procion predstavlja tijelo psa, a zvijezda koja predstavlja glavu psa je Gomeisa (Beta Malog psa). U grčkoj mitologiji, Procion je povezan s Maerom, psom Erigone, kćerke Ikariusa iz Atene koji je nepravedno ubijen. Procion ujedno predstavlja manjeg psa Oriona (veći je Sirius).

Procion je od Sunca udaljen svega 11,4 svjetlosnih godina (14. po udaljenosti od nas – što objašnjava njegov veliki sjaj). Kada bi se Sunce posmatralo iz ovog zvjezdanog sistema, činilo bi se kao zvijezda prividne magnitude 2,55 u pravcu sazviježđa Orao (Aquila).

Procion predstavlja istočno tjeme asterizma Zimski trugao (druga dva tjemena su Sirius i Betelgez). Kulminira polovinom januara kada ga je najbolje posmatrati.

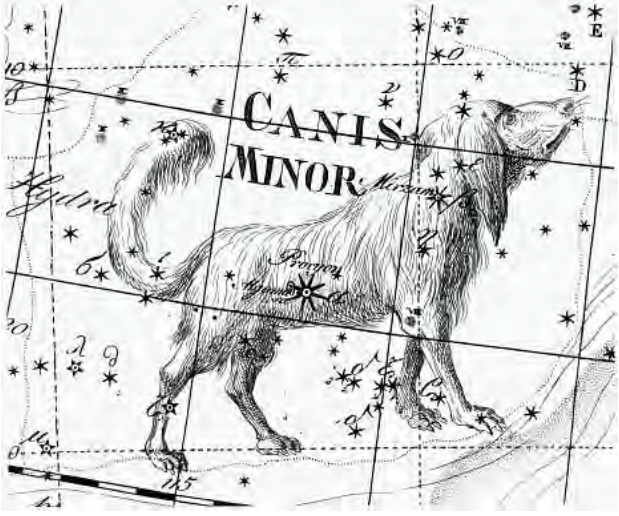
Procion je od posebnog interesa za astronome jer ima pratioca – malu, vruću zvijezdu (bijeli patuljak). Slučajnost je da i druga pseća zvijezda, Sirius, također ima pratioca bijelog patuljka.

Činjenicu da je Procion dvojna zvijezda otkrio je Friedrich Bessel 1844. godine, mjerenjem promjene položaja zvijezde (koja se kreće oko zajedničkog centra mase sa svojim pratiocem). Procion i Sirius su prve zvijezde čiji je pratilac otkriven ovom tehnikom, koja se danas – zahvaljujući povećanju preciznosti instrumenata – koristi za otkrivanje planeta i smeđih patuljaka u orbiti oko vidljivih zvijezda.

Pored ove dvije, gravitaciono vezane komponente, Procion ima i optičkog pratioca (samo prividno se nalaze na istom dijelu neba) prividne magnitude 11,7.

Primarna komponenta sistema (Procion A) je subdiv-patuljak spektralne klase F5, temperature 6530 K i 7 puta luminozniji od Sunca. Mase je 1,42 puta veće od mase Sunca, a radijusa 2,1 Sunčevog radijusa. Rotira brzinom od 3,2 km/s, pa mu je period rotacije 33 dana. Procjenjene starosti oko 3 milijarde godina, Procion A je pri kraju fuzionisanja vodika u helijum u svom jezgru, i postepeno prelazi stadijum hladnijeg i sjajnijeg subdiva, da bi svoju evoluciju završio kao bijeli patuljak.

Procion B je već ušao u stadijum bijelog patuljka, a kako masivnije zvijezde brže stare, to znači da je svoju evoluciju započeo kao masivnija komponenta ovog sistema (sa masom procjenjenom na 2,1 mase Sunca), ali je tokom evolucije odbacio oko 75% svoje mase, tako da sada ima 0,6 mase Sunca. Mada se već 1844. godine znalo za postojanje Prociona B, prvi ga je vizuelno posmatrao Johan Šeberle tek 1896. godine, zbog slabog sjaja i male udaljenosti od primarne komponente. Temperatura Prociona B je veća od temperature A komponente i iznosi 7740 K. Magnituda Prociona B je 10,82, pa je preko 15000 puta slabijeg sjaja od primarne komponente. Luminoznost Prociona B iznosi svega 0,00049 luminoznosti Sunca, a radijus svega 1,35 radijusa Zemlje, tako da posmatran sa Prociona A sija tek nekoliko puta sjajnije nego pun Mjesec posmatran sa Zemlje. Srednja udaljenost sekundarne komponente od primarne iznosi 15 AJ (nešto manje nego udaljenost između Urana i Sunca), a kreće se između 8,9 i 21 AJ, a period revolucije iznosi 40,8 godina.

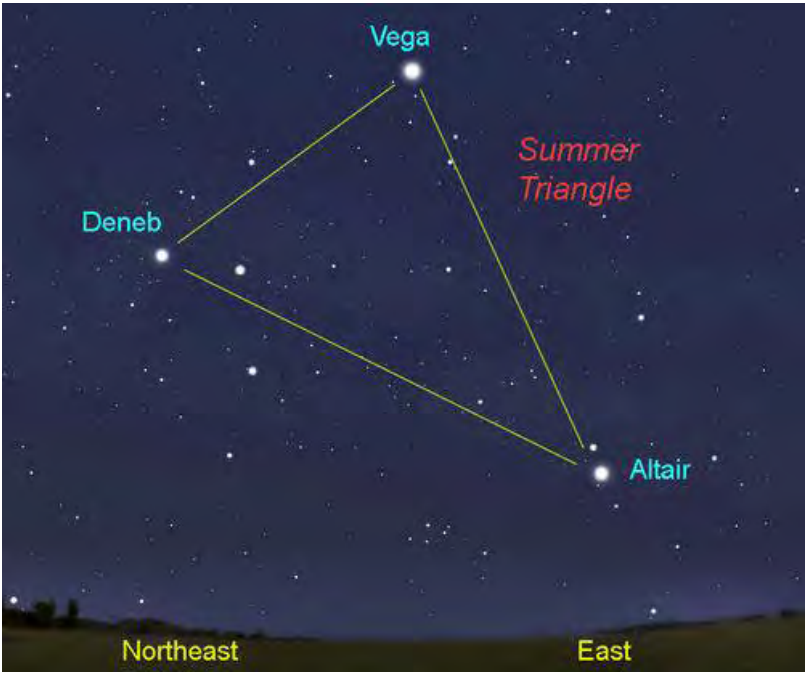


Sazviježđe Mali pas predstavljeno na karti XII Uranografije Johanna Bodea (1801). Na tijelu psa nalazi se sjajna zvijezda Procion. Na ovoj slici Mirzam predstavlja Beta Malog psa, ali danas je to arapski naziv za Beta Velikog psa
(izvor: ianridpath.com)

Postoje dvije osnovne vrste bijelih patuljaka: oni s tankim vodikovim ljuskama na njihovoj površini (teži elementi tonu pod djelovanjem gravitacije) i oni sa helijumskom atmosferom kod kojih je vodik nestao najvjerojatnije zvjezdanim vjetrovima. Bijeli patuljak Sirius B spada u prvu vrstu, a Procyon B u drugu.

Mnogi narodi poštovali su Procion i pratili njegovo kretanje na nebu: Babilonci, Egipćani (podizanje Prociona na nebu signaliziralo je početak plavne sezone), Arapi, Kinezi, Rimljani, Inuiti, Polinežani, itd. Procion se nalazi na zastavi brazilske države Amazonas.

20. Altair



Položaj Altaira u asterizmu Ljetni trougao (copyright: space.com)

Lokacija:	Sazviježđe Orao
Drugi nazivi:	alfa Orla
Klasa	Zvijezda glavnog niza klase A
Prividna magnituda:	0,77
Apsolutna magnituda:	2,22
Udaljenost:	16,7 svjetlosnih godina
Značaj:	Spljoštena zvijezda, promjenljiva tipa δ Scuti

Altair ili alfa Orla (lat. α Aquilae, α Aql) je najsjajnija zvijezda sazviježđa Orao i dvanaesta najsjajnija zvijezda noćnog neba. Od zvijezda prve magnitude, od Altaira su bliže samo alfa Kentaura, Sirius i Pro-

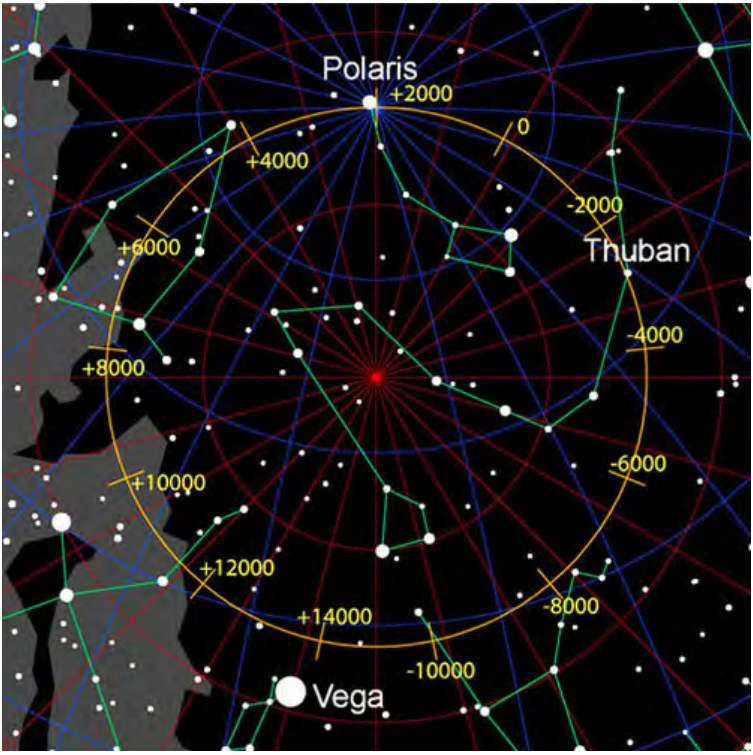
cion. Naziv Altair potiče od arapske riječi al-nasr al-ta'ir, što znači "leteći orao". Orlom ili orlovom zvijezdom su ga nazivali još drevni Babilonci i Sumeri. Mnogi drevni narodi su poštovali Altair, a u novije vrijeme Altair 8800 je bio naziv jednog od prvih računara za kućnu upotrebu. Altair je južno tjeme asterizma Letnji trougao; druga dva tjemena trougla su Vega i Deneb. Altair je najhladnija od ove tri zvijezde. Udaljen je od nas oko 16,7 svjetlosnih godina.

Altair je zvijezda glavnog niza H-R dijagrama, spektralne klase A7V, temperature 7550 K. Od Sunca je udaljen 16,7 svjetlosnih godina, što znači da je 10,6 puta luminozniji od Sunca. Masa Altaira iznosi između 1,7 i 1,8 masa Sunca, a radijus mu je također 1,7-1,8 puta veći od radijusa Sunca. Altair rotira brzinom od oko 210 km/s, tako da mu je za jednu rotaciju potrebno približno 10 sati, naspram Sunčevih 2 km/s i perioda rotacije od gotovo mjesec dana. Ova brzina rotacije dovodi do toga da je ekvatorijalni radijus Altaira 15-20% veći od polarnog. Zahvaljujući brzoj rotaciji, Altairova površinska gravitacija i temperatura trebaju biti niži na ekvatoru, što znači da je ekvatorijalno područje zvijezde manje luminozno nego polarno. Ova pojava poznata je kao gravitaciono zatamnjenje.

Altair je promjenljiva zvijezda tipa δ Scuti, sa sjajem koji varira nekoliko hiljaditih dijelova magnitude. Promjena sjaja Altaira je kombinacija 9 različitih perioda u trajanju od 50 minuta do 9 sati. Neki od ovih perioda su vjerovatno povezani sa brzom rotacijom Altaira.

Iako je star svega nekoliko stotina miliona godina, zbog velike mase Altair će za oko milijardu godinu potrošiti vodik u jezgri, nakon čega će preći u stadij crvenog diva prije nego što odbaci spoljašnje slojeve i ogoli svoje jezgro u vidu bijelog patuljka.

21. Tuban



Krug koji opisuje Zemljina osa tokom precesije. Zvijezda Tuban je bila sjevernjača oko 3000. godine pne (najbliža sjevernom nebeskom polu 2787. pne). Sada je sjevernjača Polaris. (copyright: astrobob.com)

Lokacija:	Sazviježđe Zmaj
Drugi nazivi:	Alfa Zmaja, Adib
Klasa	Div klase A
Prividna magnituda:	3,65
Apsolutna magnituda:	-1,23
Udaljenost:	310 svjetlosnih godina
Značaj:	Prošla i buduća sjevernjača

Tuban (α Dra, α Draconis) je zvijezda (tačnije zvjezdani sistem) u sazviježđu Zmaj. Iako danas relativno neprimjetna zvijezda na noćnom nebu sjeverne hemisfere, kroz historiju je bila važna kao sjeverna polarna zvijezda u drevnim vremenima (između 4 i 2 milenijuma pne). Tuban je jedna od najmanje svjetlih zvijezda koje imaju vlastito ime. Zanimljivo je da je ime Tuban (u prevodu zmija sa arapskog) greškom izvedeno iz pogrešnog prevoda originalnog arapskog naziva za Rastaban (beta Zmaja) – i onda primjenjeno na pogrešnu zvijezdu.

Oznaka alfa se u slučaju Tubana koristi samo zbog njene historije kao drevne polarne zvijezde. Naime, iako Tuban koristi Bayerovu oznaku alfa Zmaja, sa svojom prividnom magnitudom 3,65 ova zvijezda je manje svjetla od najsjajnije zvijezde u sazviježđu, gama Zmaja (Eltanin), čija je prividna magnituda 2,23. Kao mali kuriozitet, za nekih 1,5 miliona godina Eltanin će biti udaljen oko 28 svjetlosnih godina od nas i biće najsjajnija zvijezda na nebu.

Tuban nije dovoljno sjajan da bi se mogao dobro vidjeti iz oblasti gdje ima dosta svjetlosnog zagađenja. Kada su prilike za posmatranje dobre, Tuban se relativno lako može vidjeti na noćnom nebu, zahvaljujući svojoj lokaciji u odnosu na asterizam Velika kola u Velikom medvjedu. Dobro je poznato da dvije vanjske zvijezde Velikih kola usmjeravaju na današnju polarnu zvijezdu Polaris, ali je manje poznato da dvije unutrašnje zvijezde Fekda i Megrez, usmjeravaju na Tuban.

Zahvaljujući precesiji Zemljine ose, Tuban je bila zvijezda najbliža sjevernom nebeskom polu od 3942. pne do 1793. pne. Polu je najbliže bila 2787. pne, kada je od njega bila udaljena manje od dvije i pol ugaone minute. Tuban se smatrao polarnom zvijezdom sve do 1900. pne, kada se polu počela približavati zvijezda Kohab koja je bila sjevernjača u doba Homera. Tuban će ponovo biti sjevernjača 25300 godine.

Tuban je spektroskopska binarna zvijezda, sa zvijezdom-pratiocem (najvjerovatnije klase A2, nešto hladnija nego primarna komponenta) u orbiti oko zajedničkog težišta. Period rotacije je oko 50 dana, a udaljeni su oko 0,46 AJ (malo veća udaljenost nego od Merkura do

Sunca). Pratilac nije direktno opažen, i smatra se da ima masu oko 2,6 masa Sunca i luminozitet oko 40 puta veći od Sunčevog.

Tuban A ima spektralnu klasu A0III, što ukazuje na sličnost s Vegom po temperaturi i spektru, ali je od nje masivniji. Tuban A nije zvijezda glavnog niza; prestala je fuzija vodika u njegovoj jezgri i sada se fuzioniše helijum. Ima masu oko 3 puta veću od Sunčeve, preko 290 puta je luminozniji od Sunca, temperature oko 10000K i radijusa oko 3,5 puta većeg nego kod Sunca.

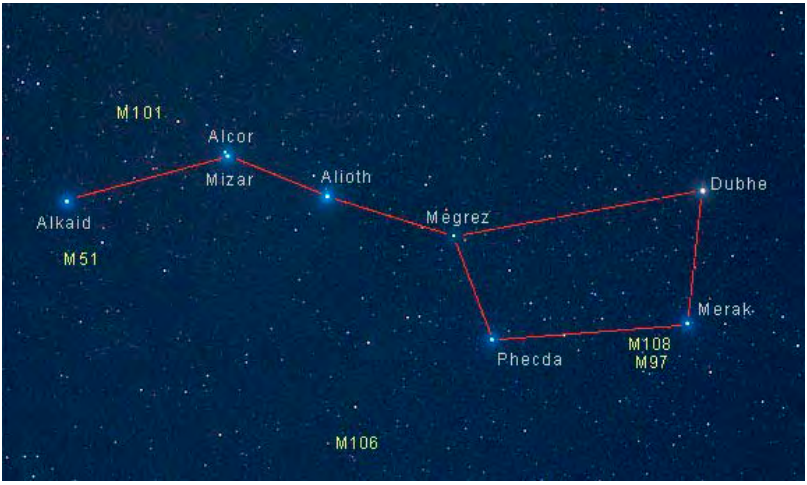
Kako se veća zvijezda u sistemu bude povećavala, može doći do slične situacije kao kod Algola. Ako se manja zvijezda pretvori u bijelog patuljka, možda doći i do nove. Generalno, nova (lat.) je naziv za promjenjive zvijezde koje bez ikakvih prethodnih znakova bljesnu; sjaj im se u tom slučaju poveća i do sto hiljada puta (obično oko 25 hiljada puta). Nova, dakle, ne predstavlja eksploziju zvijezde u cjelini, nego eksploziju u njenim vanjskim slojevima. Odbačena masa gasova iznosi tek jedan stohiljaditi dio mase zvijezde.

Trenutno prihvaćem model nastanka nove je model binarne zvijezde, bijelog patuljka i divovskog pratitelja, gdje bijeli patuljak na račun svoje velike gustoće i mase izvlači sa površine diva vodik, koji na površini patuljka fuzijom prelazi u helijum. Proces je kumulativan, temperatura se oslobađa na račun oslobođene energije, vodik stalno dolazi, pa u određenom trenutku nestaje i daljnja fuzija i stvaranje novih elemenata (npr. ciklus ugljik-nitrogen), što uzrokuje još brže i veće povećanje temperature, dok ne dođe do eksplozivnog širenja gornjih slojeva bijelog patuljka, slično kao i kod modela supernove, (ali tamo eksplodira praktično cijela zvijezda). Proračuni pokazuju da je za eksploziju tipa supernove potrebna masa od najmanje 10 masa Sunca, a za pojavu nove, prema opisanom modelu, dovoljno je da sloj koji sudjeluje u eksploziji ima jedan hiljaditi dio mase Sunca.

Preko 150 godina se vjerovalo da je ulazni tunel u veliku Keopsovu piramidu namjerno okrenut prema Tubanu (izlazni put Faraonove duše), što bi omogućavalo istraživačima da datiraju piramidu. Ulaz je podignut za ugao od oko 26,5° u odnosu na horizont (ali ne prema

polu), i postojale su navodno dvije ere kada bi zvijezda mogla prolaziti kroz pravac tog tunela, jednom kad je Tuban prilazio sjevernom nebeskom polu, a drugi put kad se udaljavao od njega. Međutim, ova hipoteza se, prema trenutno prihvaćenom mišljenju, pokazala netačnom. Tunel je, naime, naget onako kako su blokovi postavljani jedni na druge a ne namjerno prema sjevrnjači, i blizina pravca tunela prema pravcu ka Tubanu je najvjerovatnije slučajnost.

22. Mizar (i Alkor)



Asterizam Velika kola u sazviježđu Veliki Medvjed (copyright: J. Lodriguss)

Lokacija:	Sazviježđe Veliki medvjed
Drugi nazivi:	Zeta Velikog medvjeda (Alkor: 80 Velikog medvjeda)
Klasa	Zvjezdani sistem klase A
Prividna magnituda:	2,06 (Alkor: 4,01)
Apsolutna magnituda:	0,99/0,99/2,68/2,68 (Alkor: 2,03)
Udaljenost:	83 svjetlosne godine
Značaj:	Najpoznatiji binarni sistem vidljiv golim okom, šestostruki sistem

Mizar ili Zeta Velikog medvjeda (Zeta UMa, ζ Ursae Majoris) je zvijezda u sazviježđu Veliki medvjed, a pripada i asterizmu Velika kola. Mizar je višestruka zvijezda i ima još 5 pratilaca. Ovaj šestostruki sistem se zapravo sastoji od četvorostrukog sistema Mizar, i dvojnog sistema Alkor. Imena zvijezda Mizar i Alkor su modifikovane verzije arapskih imena zvijezda Merak ("prepona" medvjeda) i Aliot ("crni konj").

Mizar je sistem od četiri zvijezde, odnosno dvije spektroskopske dvojne zvijezde, Mizar A i Mizar B. Mizarova kombinovana prividna magnituda iznosi 2,06 i njegove zvijezde spadaju u spektralnu klasu A. To su bijeli divovi sa visokom površinskom temperaturom (8000 – 10000 K).

Alkor (80 Velikog Medvjeda) ima kombinovanu prividnu magnitudu 4,01 i takođe spada u spektralnu klasu A. Alkor je na nebu oko 12 ugaonih minuta udaljen od Mizara. Do 2009. nije bilo poznato da je i Alkor višestruka zvijezda i da se sastoji iz komponenti Alkor A i Alkor B.

Više komponenti Mizara otkriveno je tek pojavom preciznih instrumenata i spektroskopije. A o pretpostavci da Alkor i Mizar čine jedan sistem zvijezda prvi put se govorilo u Italiji. Smatra se da je pretpostavku prvi postavio Benedetto Castelli, astronom iz doba renesanse.

Pojavom spektroskopije 1889. godine pokazano je da je Mizar dvojna zvijezda (Edward Pickering i Annie Cannon). To je bila prva spektroskopska dvojna zvijezda ikad zabilježena.

Često se postavlja pitanje da li su Alkor i Mizar dva odvojena zvjezdana sistema koja se samo na nebeskoj sferi vide zajedno, ili zaista čine šestostruki sistem zvijezda. Primjećeno je da se zvijezde zajedno kreću, približno istom brzinom i u istom smjeru, što znači da su možda gravitacijski vezane. Novija istraživanja pokazala su da su sistemi Alkor i Mizar udaljeni jedan od drugog 0,5 do 1,5 AJ. Ukoliko se nalaze na istoj udaljenosti od nas, njihova međusobna udaljenost možda je samo 0,3 AJ.

Cijeli šestrostruki sistem Mizar/Alkor je udaljen prosječno oko 83 svjetlosne godine od nas. Smatra se da su sve zvijezde u sistemu istog porijekla i da su približno iste starosti. Zvijezde pripadaju pokretnoj grupi Veliki medvjed, zajedno sa još nekim svjetlijim zvijezdama u sazviježđu Veliki medvjed.



Šestostruki zvjezdani sistem Mizar i Alkor (copyright: B. King)

Dvije komponente sistema Mizar A, radijusa oko 2,4 Sunčevih, mase oko 2,5 masa Sunca, temperature 9000 K, su oko 35 puta luminoznije od Sunca i okrenu se oko zajedničkog težišta svakih 20 dana 12 sati i 55 minuta. Međusobno su udaljene oko 0,3 AJ. Zvijezde sistema Mizar A su bogate silicijumom i stroncijumom. Stare su tek oko 370 miliona godina.

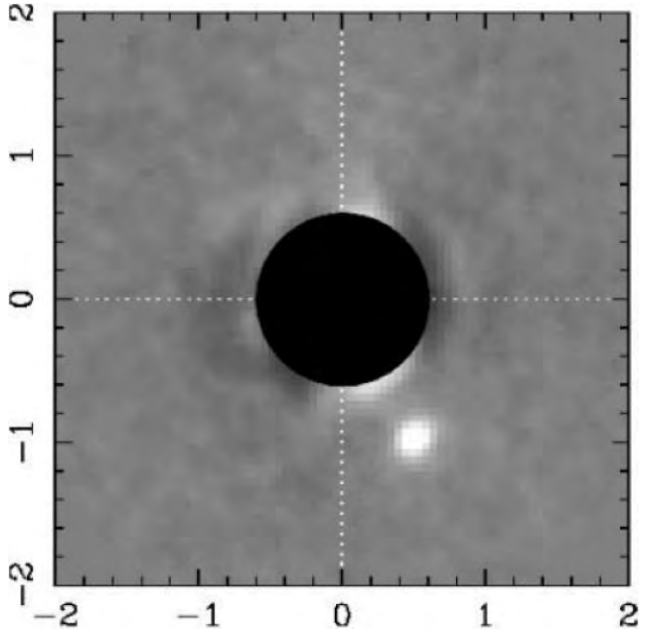
Sistem Mizar B se sastoji od nešto hladnijih i blijeđih zvijezda, mase oko 1,6 puta veće od Sunca. Mizar B je spektroskopski dvojna zvijezda sa orbitalnim periodom komponenti od oko pola godine. Zvijezde u ovom sistemu su međusobno udaljene oko 3,12 AJ. Zvijezde sistema Mizar B su bogate silicijumom, cerijumom i samarijumom, a siromašne kalcijumom i aluminijumom.

Smatra se da je udaljenost između Mizara A i Mizara B oko 8 puta veća nego udaljenost od Plutona do Sunca i treba im nekoliko hiljada godina da naprave jedan krug oko zajedničkog težišta (baricentra).

Sistem Alkor, koji se sastoji od zvijezde klase A5 i crvenog patuljka klase M3, obiđe četverostruki sistem Mizar svakih 750000 godina. Alkor A, mase oko 1,8 masa Sunca, ima temperaturu oko 8000 K i luminozitet oko 12 puta veći nego Sunčev. Masa Alkora B iznosi oko

0,25 masa Sunca. Udaljenost između Alkora A i Alkora B je oko 25 AJ, i Alkoru B (manjoj zvijezdi u sistemu) treba barem 90 godina za jedan obrtaj oko masivnije zvijezde.

Više drevnih civilizacija, uključujući i arapsku – odakle imena Mizar i Alkor potiču, koristili su ove zvijezde za provjeru vida. Prema starim arapskim spisima, samo oni sa najoštrijim vidom mogli su da vide i Alkor i Mizar, a oni sa lošim ili prosječnim vidom vidjeli su samo Mizar. Obje zvijezde (tačnije zvjezdani sistemi) su veoma dobro vidljive i osoba sa prosječnim vidom trebala bi ih razlučiti na nebu kao zasebne objekte. Zato neki autori smatraju da dvije zvijezde koje se spominju u spisima nisu Mizar i Alkor, već Mizar i manje vidljiva zvijezda koja se na nebeskoj sferi nalazi između Alkora i Mizara ali ne pripada njihovom sistemu. Sir Patrick Moore je predložio da se to možda odnosilo na zvijezdu Sidum Ludovicianum ("Ludwigova zvijezda"), u čast Ludwiga V iz Darmstadta (1577-1626).



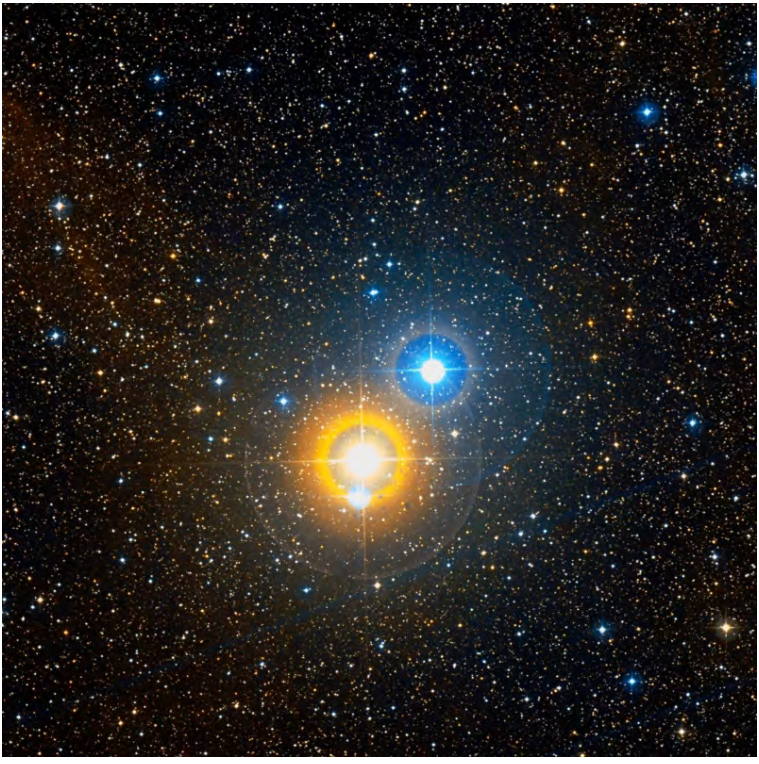
Alkor A i Alkor B (copyright: University of Rochester)

U indijskoj kulturi Alkor i Mizar su poznati kao Vasista i Arundati i simboliziraju brak. U japanskoj mitologiji smatralo se da ako osoba nema dovoljno oštar vid da uoči Alkor, umrijeće vrlo brzo. Arapi su ove zvijezde zvali "jahač i konj" i služile su, kao što je već rečeno, za provjeru vida. Alkor su zvali Al Kavar (u prevodu "blijeda zvijezda"). Persijski pisari zapisivali su da je Alkor bilo dosta teško uočiti i da je zato služio za provjeru vida. Danas Alkor nije težak za uočiti, pa zato neki autori smatraju da su se spisi odnosili ili na drugu zvijezdu, ili se prividno na nebeskoj sferi Alkor udaljio od Mizara. Smatra se da starim Grcima zvijezda Alkor uopšte nije bila poznata i ne postoje zapisi o njoj. Pronađena je samo jedna priča koja govori da je Alkor nekada bio dio sedam sestara (Zvjezdano jato Plejade) ali se odvojio i postao Alopeks (u prevodu "lisica", a na latinskom Eques Stellula). U Njemačkoj historiji Alkor i Mizar zvani su Konj (Mizar, kao sjajnija zvijezda) i jahač (Alkor, kao blijeđa zvijezda). U Engleskoj su ove dvije zvijezde bile poznate kao Džek (Mizar) i njegov konj (Alkor).

Mizar i Alkor se spominju u literaturi ("Way Station" – Clifford D. Simak, "Star King, Demon Princes" – Jack Vance, "On the Sand Planet" – Cordwainer Smith, "The Trigon Disunity" – Michael P. Kube-McDowell, "Forever Free" – Joe Haldeman), igricama (BattleTech, Frontier: Elite II, Frontier: First Encounters) i filmografiji ("Allegiance" (1990) – epizoda Star Trek: The Next Generation, Yu-Gi-Oh! Zexal, Deep Impact). USS Alcor (AD-34) i USS Alcor (AK-259) su brodovi vojske SAD.

Izađite pod vedro noćno nebo i testirajte svoj vid na Mizaru i Alkoru, veličanstvenom sistemu od šest zvijezda koje vrše složeno kretanje u prostoru. Bilo bi veoma zanimljivo živjeti na nekom od potencijalnih planeta (ako postoje) u ovom šestostrukom sistemu. Zamislite samo zalazak ili izlazak svih tih zvijezda na nebu...

23. Albireo



Albireo na noćnom nebu (copyright: Palomar Observatory/STScI/WikiSky)

Lokacija:	Sazviježđe Labud
Drugi nazivi:	Beta Labuda
Klasa	dvojna, narandžasti div klase K i plavo-bijeli patuljak klase B
Prividna magnituda:	3,08 i 5,11
Apsolutna magnituda:	-2,26 i -0,20
Udaljenost:	380-430 svjetlosnih godina
Značaj:	Spektakularna dvojna zvijezda sa predivnim bojama

Jedan od dragulja noćnog neba, Albireo (beta Labuda, β Cyg, β Cygni) je peta najsjajnija zvijezda u sazvježđu Labud (Cygnus). Iako je po Bayerovoj oznaci beta, slabijeg je sjaja od zvijezda Alfa Labuda (Deneb), Gama Labuda (Sadr), Delta Labuda i Epsilon Labuda (Gienah). Albireo se golim okom čini kao jedna zvijezda, ali se kroz teleskop, čak i na niskom povećanju, pretvara u dvostruku zvijezdu. Udaljen je od Zemlje 380-430 svjetlosnih godina.

Ime zvijezde nastalo je iz arapskog, uz nesporazum i pogrešan prijevod. Naime, ime zvijezde izvorno je bilo Minqar el dejaja ("kokošiji kljun"). Latinski učenjaci pogrešno su ga interpretirali kao ab ireo. Kasnije su ovaj naziv smatrali greškom u pisanju arapskog izraza i označili ga konačno kao al-bireo.

Albireo je jedna od najljepših dvostrukih zvijezda na nebu za posmatranje manjim teleskopima. Sjajnija zvijezda je zlatno-žute boje (boje minerala topaza), dok je manja zvijezda plavkaste boje (boje minerala safira). Ugaona udaljenost između zvijezda je oko 34 lučne sekunde što je laka meta za teleskope i dvoglede pod uslovom da je dvogled na solidnom nosaču. Albireo je poznat po izuzetnom kontrastu boja.

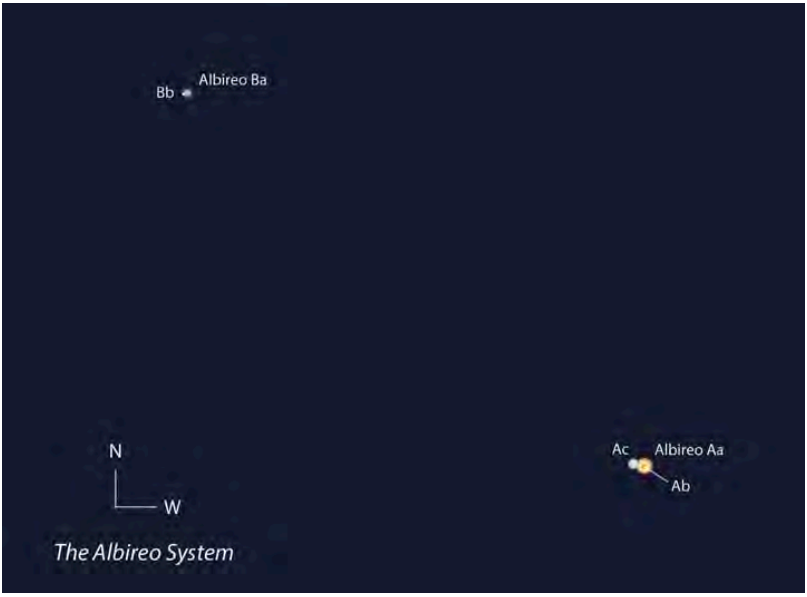
Njegova deklinacija pomaže da Albireo bude vidljiv veći dio godine, a najbolji period za posmatranje je rana jesen.

Za Albireo se veruje da je fizički par zvijezda. Ako je tako, udaljenost komponenti je dosta velika pa smatra se da im treba oko 75000 do 100000 godina da naprave jednu orbitu.

Albireo je ustvari trostruki sistem. Albireo A, pored vizuelno uočljivog pratioca, ima i pratioca (uočen interferometrijom) koji je suviše blizu zvijezdi da bi se mogao razdvojiti i uočiti manjim teleskopom. Jednu komponentu sistema Albireo A predstavlja div klase K3 (magnitude 3,3) koji vrši fuziju helijuma, a drugu toplija ali manje svjetla zvijezda (magnitude 5,5) patuljak klase B9. Div klase K3 ima temperaturu oko 4200-4400 K, masu oko 5-15 masa Sunca, luminozitet 950-1200 Sunčevih i radijus 50-70 puta veći nego Sunce. Njen pratilac, patuljak klase B9, ima temperaturu oko 11000-12000 K, lumino-

zitet oko 950 Sunčevih i 3-4 puta je masivniji od Sunca. Prosječno su udaljeni međusobno oko 40 AJ, i treba im 100 do 200 godina za jednu (krajne ekscentričnu) orbitu.

Vizualno uočljiva plava zvijezda u sistemu, Albireo B, slična je drugoj zvijezdi sistema Albireo A. To je patuljak klase B8, prividne magnitude 5,11, radijusa oko 2,6 radijusa Sunca, sa temperaturom od oko 12000-13000 Kelvina, luminozitetom od 190-230 Sunčevih i mase 3-4 puta veće od mase Sunca. Smatra se da je stara oko 100 miliona godina. Zanimljiva je po tome što vrlo brzo rotira oko svoje ose, ekvatorijalnom brzinom od najmanje 250 kilometara u sekundi i periodom jedne rotacije oko 15 sati. Kao što je to često slučaj kod zvijezda koje brzo rotiraju, Albireo B je tzv. B-emisiona zvijezda (B zvijezda čiji spektar ima ili je imao Balmerove emisione linije) koja rapidno gubi materiju i okružena je diskom gasa koji je sama proizvela.



Shematski prikaz zvjezdanog sistema Albireo (copyright: Bob King)

Sa Albirea B, sistem zvijezda Albireo A bi izgledao kao dvije sjajne zvijezde na nebu, jedna narandžasta, a druga plava, udaljene oko pola stepena na nebu, pri čemu bi div klase K imao sjaj kao 35 punih Mjeseci, a njegov pratilac bio upola manjeg sjaja.

Ali to nije sve jer je 2002. godine uočeno da je i Albireo B binarni sistem zvijezda. Sekundarna komponenta sistema, magnitude 9,2, nalazi se na nebu oko 0,4" od primarne zvijezde, prema jugoistoku. S obzirom na veliku razliku u magnitudama, nju je praktično nemoguće vidjeti amaterskim teleskopima.

U novije vrijeme, Albireo (AK-90) je bio vojni brod mornarice SAD.

24. Rasalgeti i Korneforos



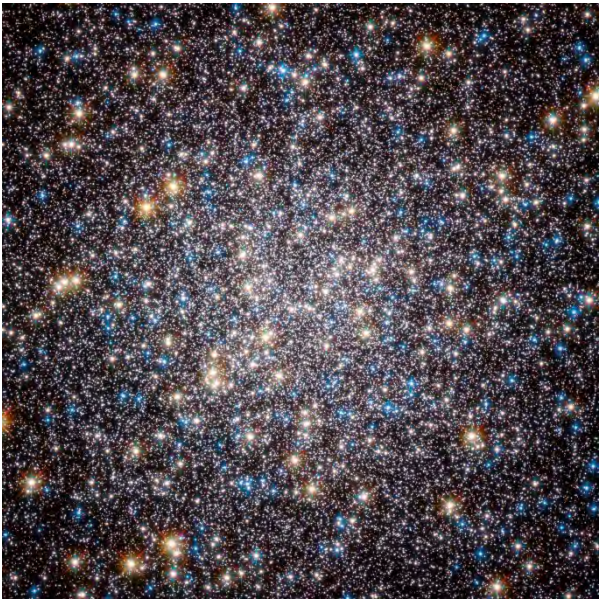
Umjetnički dojam zvjezdanog sistema Rasalgeti (izvor: imagekind.com)

Lokacija:	Sazviježđe Herkul
Drugi nazivi:	Alfa i Beta Herkula
Klasa	Rasalgeti (Superdiv klase M, div klase G i binarni patuljak klase F); Korneforos (div klase G)
Prividna magnituda:	3,5 (varijabilna); 2,77
Apsolutna magnituda:	3,48 i 5,39; -0,49
Udaljenost:	380; 148 svjetlosnih godina
Značaj:	Rasalgeti (Trostruki sistem sa jakim zvjezdanim vjetrom)

Sazviježđe Herkul jasno se ističe na nebu između Vege i Arktura, bez obzira što je najsjajnija zvijezda ovog sazviježđa tek druge magnitude.

Poznato je po spektakularnom sfernom skupu M13 koji sadrži preko 300000 zvijezda, odličnoj meti za astrofotografe.

Kurt Vonnegut (1922 – 2007), poznati američki književnik, jednom je u šali rekao: "Svakim satom Sunčev sistem približi se sfernom skupu zvijezda Herkul (M13) za oko 70000 km – a još uvijek postoje ljudi koji insistiraju na tome da čovječanstvo ne napreduje."



Centralni dio sfernog zvjezdanog skupa Herkul (M13)
(copyright: ESA/Hubble and NASA)

Herkul (lat. Hercules) je peto najveće od 88 modernih sazviježđa. Herkul je i jedno od originalnih Ptolomejevih 48 sazviježđa. Ime je dobilo po rimskoj verziji imena grčkog mitološkog heroja Herakla. Heraklo je bio sin velikog boga Zeusa i zemaljske kraljice Alkmene. Ova veza je razbjesnila Heru, Zeusovu ženu božicu, koja je htjela uništiti dječaka. On je, međutim, preživio, a kasnije je izveo osam herojskih djela i izvršio dvanaest naizgled nemogućih zadataka. Na kraju

svog zemaljskog života postao je besmrtni bog, a Zeus je postavio njegovu sliku na nebo kao sazviježđe.

Budući da ime zvijezde Rasalgeti na arapskom označava glavu čovjeka koji kleči (okrenutim prema donjoj, južnoj strani sazviježđa), ovo sazviježđe se često vizuelizira kao klečeći čovjek na nebu. Sazviježđe se naziva Herkul nekih 500 godina, ali prije 5000 godina u Babilonu ovo je sazviježđe bilo poznato kao čovjek koji kleči. U toj mitologiji on nije bio Heraklo, već Gilgameš, glavni lik u babilonskom Postanku. Gilgameš je stajao na glavi zmaja (sazviježđe Zmaj ispod Herkula). Manilius je sazviježđe zvao Engonasin, a Ptolomej Geniculator – oba naziva mogu se prevesti kao klečeći čovjek.

Feničani su ovu zvijezdu zvali Melkart, po jednom od njihovih bogova (jedna od zvijezda, Mu Herkulesa, još uvijek se zove Melkart). Astronomi svećenici Eufratske doline povezivali su ovo sazviježđe sa svojim bogom Sunca.

Sunčev apeks, tačka na nebu prema kojoj se Sunce prividno kreće, nalazi se upravo u Herkulu, blizu zvijezde Vega u susjednom sazviježđu Lira. Najsjajnija zvijezda sazviježđa je Beta Herkula.

Alfa Herkulesa, Rasalgeti, tek je peta zvijezda po sjaju u sazviježđu, pa je čudno zašto je nazvana Alfa. Vjerovatno je uzrok ovakvog odstupanja od standarda davanja oznaka zvijezdama to što se ona nalazi južnije od ostalih zvijezda u sazviježđu. Bez obzira na to što je, gledano sa Zemlje, ova zvijezda tek 3 magnitude, ona je vrlo sjajna. To je crveni superdiv, početne mase vjerovatno oko 7-8 masa Sunca, klase M5, sa površinskom temperaturom od oko 3300 K. Nalazi se na rastojanju od oko 380 svjetlosnih godina, i ljudskom oku je oko 475 puta sjajnija od Sunca. Sunce prolazi blizu Rasalgetija 8. decembra svake godine.

Rasalgeti je promjenljiva zvijezda i njen sjaj varira za skoro jednu magnitudu u intervalima od nekoliko godina. Ako bi u ukupan sjaj ove zvijezde uračunali i zračenje koja ona emituje u infracrvenom dijelu spektra, ona bi bila još sjajnija. Poluprečnik zvijezde je skoro dva puta veći nego rastojanje Zemlje od Sunca (1,9 AJ), i kada bi se nalazio

na mjestu Sunca, Rasalgeti bi dopirao iza Marsove orbite (asteroidni pojas). To znači da je luminoznost ove zvijezde čak 17000 puta veća nego kod Sunca.

Rasalgeti je, zapravo, višestruki sistem zvijezda, star između 0,4 i 1,3 milijarde godina. U sistemu se uz pomoć teleskopa može vidjeti jedna zvijezda pete magnitude kako kruži oko crvenog diva. Ovaj pratilac je i sam dvojni sistem. U ovom sistemu nalazi se zvijezda mase 4 mase Sunca, klase G5, sa površinskom temperaturom približnom onoj na Suncu, a druga zvijezda je patuljak klase F2, mase 2,5 mase Sunca. Ove zvijezde su međusobno udaljene oko 0,4 AJ. Vrijeme za koje ove zvijzde obiđu jedna oko druge iznosi 52 dana. Ovom patuljastom dvojnom sistemu treba 3000-3600 godina da jednom obiđe superdiva u svom sistemu.

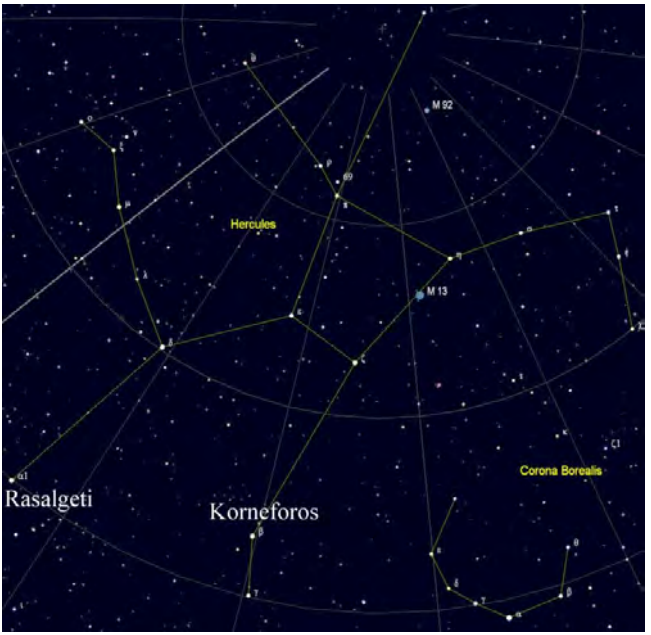
Sa sjajnog superdiva "duva" vrlo snažan zvjezdani vjetar. Gasoviti oblak se oko zvijezde prostire daleko iza zvijezde pratioca koja se nalazi na rastojanju od oko 500 AJ, što je 275 puta veće od samih dimenzija superdiva, ili na 14 puta većem rastojanju od dimenzija našeg cijelog Sunčevog sistema. Stopa kojom Rasalgeti gubi masu je oko deset milionitih dijelova solarne mase godišnje.

Ovaj superdiv, inače druga najbliža AGB zvijezda Suncu, trenutno ima masu 2-3 mase Sunca i ili je završio fuziju helijuma u jezgri ili će to uskoro uraditi i najvjerovatnije će završiti kao masivni bijeli patuljak jer nema dovoljnu početnu masu da eksplodira kao supernova.

Najsjajnija zvijezda u sazviježđu Herkul je Korneforos (Beta Herkula, Rutilicus), ali ona ipak ne nosi oznaku Alfa Herkula. Mase 3 puta veće od Sunčeve, od nas je udaljen oko 148 svjetlosnih godina, a prečnik mu je 20 puta veći od Sunčevog. Prividne magnitude 2,77, Korneforos (grčki "čovjek koji nosi oružje", aludirajući na Herkula) je žuti, relativno hladni div površinske temperature oko 4900 K, klase G7.

Njegov sjaj je oko 175 puta veći nego sjaj Sunca. Na osnovu tih podataka može se zaključiti da mu je prečnik 20 puta veći od Sunčevog. Masa ove zvijezde je oko tri puta veća od mase Sunca. Ova zvijezda vrlo brzo evoluira i sada se vjerovatno u njenom jezgru vrši fuzija he-

lijuma u ugljik i kisik. U doba kada se nalazila u stabilnom stadijumu ovo je bila zvijezda spektralne klase B, kao i zvijezda Zubenešamali (Beta Vage). Ustvari, ova zvijezda sada izgleda onako kako će Zubenešamali izgledati za oko 200 miliona godina.



Rasalgeti i Korneforos u Herkulu

Korneforos je vrlo jak izvor rendgenskog zračenja, a čudno je to što je zastupljenost nitrogena u njenoj atmosferi veća od zastupljenosti ugljika.

Kao dosta drugih zvijezda, i ova zvijezda ima svog pratioca, ali do sada tu zvijezdu koja kruži oko glavne zvijezde još niko nije vidio, i o njoj se zna samo na osnovu njenog gravitacionog uticaja na centralnu zvijezdu. Ovaj pratilac vjerovatno ima masu nešto veću od mase Sunca.

Korneforos nije dovoljno veliki da eksplodira i svoj život će vjerovatno završiti kao masivni bijeli patuljak, slično kao Sirius B.

25. Alferat, Mirah i Almah



Položaj Alferata Miraha i Almaha u sazviježđu Andromeda (desno je Pegaz)

Lokacija:	Sazviježđe Andromeda
Drugi nazivi:	Alfa, Beta i Gama Andromede
Klasa	Subdiv klase B, divovi klase M i K
Prividna magnituda:	2,06; 2,06; 2,26
Apsolutna magnituda:	-0,19; -1,76; -2,9
Udaljenost:	97, 200 i 350 svjetlosnih godina
Značaj:	Najljepše zvijezde Andromede

Sazviježđe Andromeda (mitološki kćerke kralja Kefeja i kraljice Kasiopeje) izgleda kao niz bisera sjeverno od Velikog četvorougla u Pegazu. Budući da tri najvažnije zvijezde ovog sazviježđa imaju približno isti sjaj, Bayer ih je jednostavno označio sa Alfa, Beta i Gama, redom od Velikog četvorougla.

Alfa Andromede, magnitude 2,06, poznata je kao Alferat ili Sirah i ona povezuje Andromedu sa Pegazom, mitskim krilatim konjem koji nosi Perzeja da spasi Andromedu. Alferat je, ujedno, i sjeveroistočna zvijezda Velikog četvorougla Pegaza.

Porijeklo imena Alferata je pomalo nejasno ali pretpostavlja se da označava "rame konja" (negdje se spominje i prevod "pupčana vrpca kobile") pa je vjerovatno ova zvijezda prije pripadala sazviježđu Pegaz, ali danas se formalno smatra dijelom Andromede. Zanimljivo za ovu zvijezdu je i to što se nalazi na granici dva sazviježđa pa se može imenovati i na drugi način – kao Delta Pegaza, ali ovo ime više nije u upotrebi (postoji još jedna slična zvijezda, to je Elnat – ona se nalazi na granici između sazviježđa Bik i sazviježđa Kočijaš, pa se označava kao Beta Bika ili Gamma Kočijaša).

Ako se povuče linija kroz Alferat i Algenib (Gama Pegaza na jugu), linija će prolaziti veoma blizu tačke proljetne ravnodnevnice – u kojoj se sjeku ekliptika i nebeski ekvator (u sazviježđu Ribe). Alferat je na sjevernim geografskim širinama visoko na nebu u noćima od avgusta do oktobra.

Alferat je spektroskopska dvojna zvijezda, pri čemu se njegove komponente mogu uočiti samo posmatranjem crvenog i plavog pomaka u spektru. Period orbitiranja ovog para zvijezda iznosi oko 97 dana.

Primarna zvijezda sistema je subdiv, mase 3,8 masa Sunca, radijusa 2,7 Sunčevih, spektralne klase B8, temperature 13000-13800 K. Starost joj se procjenjuje na oko 60 miliona godina. Nalazi se na daljini od 97 svjetlosnih godina, a njen ukupni sjaj (uključujući i zračenje u UV dijelu spektra) je 200-240 puta veći nego sjaj Sunca.

Sekundarni član sistema je zvijezda klase A3, mase 1,8 Sunčevih, radijusa 1,65 Sunčevih, temperature oko 8500 K i luminoziteta oko 13 Sunčevih. Njena starost se procjenjuje na oko 70 miliona godina.

Kada posmatramo ovu zvijezdu golim okom, mi praktično vidimo samo sjajnijeg člana ovog dvojnog sistema. Ovaj svjetliji član hemijski je vrlo zanimljiva zvijezda, i predstavlja najsvjetliju zvijezdu neobične klase nazvane živa-manganske zvijezde – zvijezde bogate fosforom, manganom, galijumom, stroncijumom, itrijumom, cirkonijumom, europijumom, platinom i živom u svojoj atmosferi. U poređenju sa našim Suncem, i velikom većinom drugih zvijezda, atmosfera ovih

zvijezda je značajno obogaćena spomenutim elementima, pri čemu npr. žive ima deset hiljada puta više nego na Suncu. I drugi elementi, kao što su ksenon, galijum i europijum također su prisutni u značajnim količinama, dok je opet nekih drugih elemenata manje nego na Suncu. Vjerovatno je došlo do odvajanja elemenata kao rezultat gravitacijske sile i vanjskog pritiska radijacije koji djeluju drugačije na različite elemente.

Binarni sistem Alferat ima i optički vidljivog pratioca kojeg je otkrio William Herschel 1781. godine. Označen je kao ADS 94 B u Aitkenovom katalogu dvojnih zvijezda, a riječ je o zvijezdi klase G, prividne magnitude 10,8. Iako se pojavljuje blizu Alferata na nebu, ova zvijezda nije povezana s njim.

Sjeveroistočno od Alferata je Mirah, Beta Andromede. Zanimljivo je da Alferat i Mirah imaju istu magnitudu (2,06), što je jedinstven slučaj – ni u jednom drugom sazviježđu ne postoje dvije zvijezde sa istom prividnom magnitudom. Ove dvije zvijezde, osim iste prividne magnitude, nemaju ništa zajedničko. Alferat je vrela, plava zvijezda klase B, dok je Mirah crveni div koji pripada hladnoj M klasi zvijezda.

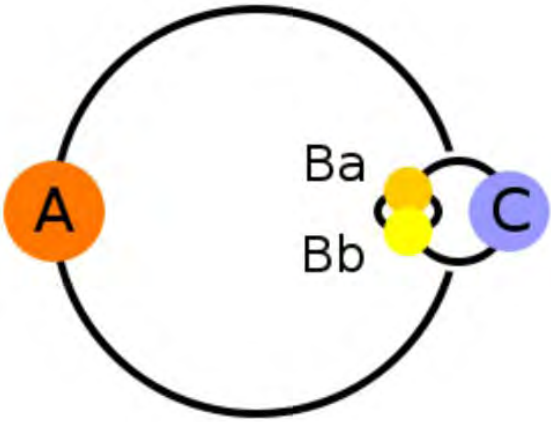
Ime Mirah je nastalo kao greška. Originalno ime ove zvijezde bilo je "Mizar", ali ovo ime je danas vezano za drugu zvijezdu (u Velikom Medvjedu), ali greške u zapisivanju imena zvijezda doveli su do oblika imena kojeg danas koristimo.

Kao i svi divovi, zvijezda Mirah je ogromna i sjajna. Nalazi se na daljini od oko 200 svjetlosnih godina od nas, a njena temperatura iznosi oko 3800 K. Sjaj ove zvijezde je 1900 puta veći nego sjaj Sunca. Na osnovu temperature i sjaja zvijezde znamo da je prečnik Miraha oko 0,8 astronomskih jedinica (AJ), otprilike kao veličina orbite Merkura. Tesko je reći u kojoj fazi se nalazi ova zvijezda. Ona je vrlo masivna, mase 3 – 4 puta veće nego masa Sunca, ali nije jasno da li je njeno jezgro izgrađeno od helijuma ili ugljika. Bez obzira na trenutni stadijum, uskoro će ova zvijezda nestati kao bijeli patuljak.

Mirah, kao i mnogi drugi hladni divovi M klase, izgleda kao da je blago promjenljiva zvijezda, ali promjene u sjaju nisu dobro zabilje-

žene. Mirah ima i manjeg pratioca, vrlo tamnu zvijezdu na kojoj se odvija fuzija vodika u helijum. To je zvijezda male mase, prividne magnitude 14, više od 60000 puta manjeg sjaja nego Mirah. Minimalno rastojanje između ove dvije zvijezde iznosi 1700 astronomskih jedinica, preko 40 puta veće nego rastojanje od Sunca do Plutona. Sa Miraha ovaj pratilac sjaji približno kao što mi sa Zemlje vidimo Veneru, dok sa ovog pratioca zvijezda Mirah izgleda 120 puta sjajnija od punog Mjeseca.

Osim Alferata i Miraha, tu je i Almah (Gama Andromede), treća najsjajnija zvijezda ovog sazviježđa i jedan od najzanimljivijih zvjezdanih sistema na nebu.



Zvjezdani sistem Almah (izvor: wikipedia)

Arapsko ime ove zvijezde označava jednu vrstu divlje mačke (pustinjski ris). Kroz teleskop Almah izgleda neuobičajeno lijepo; čak i kroz mali teleskop moguće je vidjeti par zvijezda na rastojanju od 10 ugaonih sekundi – sjajnija je zlatno žute, a tamnija plave boje ("narandžasta i smaragdno zelena"). Sjajnija, Gamma[1] Andromede, je zvijezda druge magnitude. To je topla zvijezda klase K3, temperature od oko 4500 K i trenutno se nalazi u zadnjoj fazi života. Udaljena je oko 350

svjetlosnih godina, a njen ukupni sjaj je oko 2000 puta veći nego Sunčev, dok joj je prečnik 80 puta veći od prečnika Sunca (otprilike kao orbita Venere).

Tamnija, plavo-zelena komponenta, Gamma^2 Andromede, je trostruki zvjezdani sistem zvijezda. U njemu dvije zvijezde, temperature 12000 k i 10000K, pete i šeste magnitude, orbitiraju jedna oko druge sa periodom od oko 64 godine, a međusobno su udaljene 33 AJ. Sjajnija komponenta ovog sistema je takođe binarni sistem, ali njega je moguće detektovati samo spektroskopski; zvijezde ovog sistema, zvijezde glavnog niza klase B, su prilično blizu jedna drugoj i orbitiraju sa periodom od 2,7 dana. Kombinovana masa ove tri zvijezde (Gamma^2 Andromede) je oko 8,7 masa Sunca.

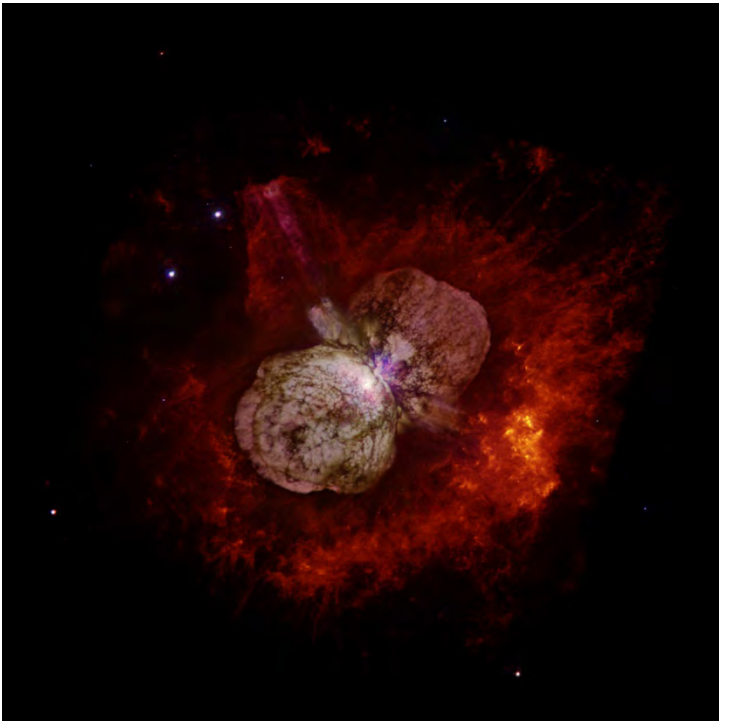
Ovaj četverostruki zvjezdni sistem (Almah) svakako spada u najzanimljivije sisteme zvijezda na nebu.

Kad smo već u sazviježđu Andromeda, spomenimo i prelijepu galaksiju Andromeda koja je malo veća od naše galaksije i udaljena je 2,5 miliona svjetlosnih godina. Astronautima kojima je trebalo tri dana da stignu do Mjeseca trebalo bi 500 milijardi godina da dođu do Andromede. Sada gledamo Andromedu kakva je bila prije više od 2,5 miliona godina, tj. gledamo najdalju strukturu koje naše oči mogu vidjeti. Udaljenost da galaksije Andromeda može se vizuelizirati tako što ćemo poredati 25 naših galaksija, jednu do druge.

Broj zvijezda u Andromedi je znatno veći nego u našoj galaksiji. Rezultat toga je dvostruko veći ukupan sjaj cijele galaksije Andromeda od naše galaksije. Treba napomenuti da je brzina stvaranja zvijezda u našoj galaksiji višestruko veća nego u Andromedi.

U vanjskim dijelovima Andromede nalazi se 460 kuglastih skupova. Najsjajniji od njih, nazvan Mayall II, najsjajniji je kuglasti skup u Lokalnom jatu galaksija.

26. Eta Kobilice (Eta Carinae)



Ekstremna ekspanzija oblaka gasa i prašine oko Ete Kobilice
(copyright: Hubble telescope, NASA)

Lokacija:	Sazviježđe Kobilica
Drugi nazivi:	Nova Kobilice 1843 (Nova Carinae 1843), ranije Eta Argus
Klasa	Hiperdiv klase B
Prividna magnituda:	-1 do 7,6
Apsolutna magnituda:	-8,6
Udaljenost:	8000 svjetlosnih godina
Značaj:	Najpozantiji hiperdiv, zvijezda gornje masene granice, spremna da eksplodira

Eta Kobilice/Pramca (Eta Carinae,η Carinae, η Car) je zvjezdani sistem u sazviježđu Kobilica (Pramac), udaljen 7500 do 8000 svjetlosnih godina od Sunca. Sistem sadrži najmanje dvije zvijezde od kojih je primarna η Car A luminozna plava varijabilna (LBV) zvijezda, koja je prvobitno imala 150-200 masa Sunca, a od kojih je izgubila najmanje 30. Vreli supergigant zvijezda η Car B, mase 30-80 Sunčevih masa kruži oko primarne zvijezde, mada ogromna (slabo prozirna) crvena maglina okružuje zvijezdu, onemogućavajući optičko posmatranje pratioca. Sistem Eta je okružen maglinom Homunkulus, koja je zapravo dio otvorenog skupa Trumpler 16, a koji je opet dio mnogo veće magline Eta Kobilice (Eta Carinae) – velikog porodilišta zvijezda. Nije vidljiva na sjevernoj polulopti sjevernije od 30°S geografske širine, a na južnoj je cirkumpolarna južno od 30°J geografske širine.



Otvoreni skup Trumpler 16 (izvor: wikipedia)

Eta Kobilice (Eta Carinae) je hiperdiv, zvijezda nezamislivo velikog luminoziteta – 5 miliona puta sjajnija od Sunca! Ona je čak 500 mili-

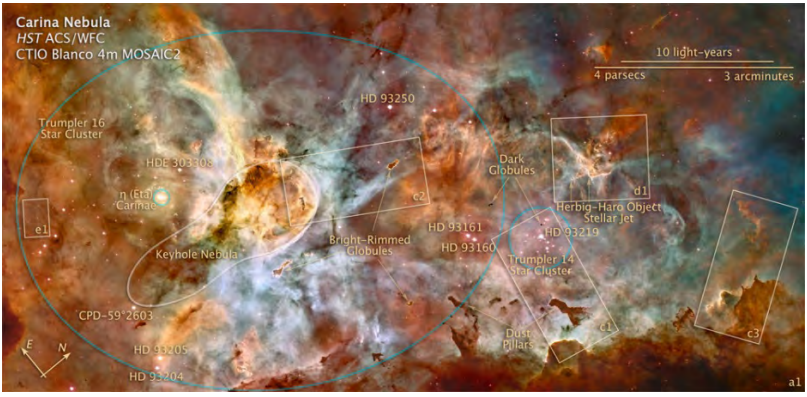
jardi puta sjajnija od najtamnijeg bijelog patuljka! To je svakako jedna od najmasivnijih zvijezda u galaksiji. Pored toga, ona je krajnje nestabilna, sklona ogromnim bljeskovima i vrtoglavim promjenama sjaja. Ova zvijezda liči na vulkan neposredno pred erupciju, ali za koji se ne zna kada će tačno eruptirati. Eta gubi hiljaditi dio mase Sunca godišnje, što je svojevrsni rekord.

Prvi put, na ovu zvijezdu je obraćena pažnja 1677. godine kada je bila katalogizirana i kada je bila jedva vidljiva golim okom (za posmatrače dosta južnije od nas). Međutim, 1730. godine posmatrači su primijetili uočljivi porast njenog sjaja, kada je po svojoj magnitudi postala jedna od najupadljivijih zvijezda u sazviježđu. Od 1782. godine njen sjaj polako slabi, ali počevši od 1820. godine njen sjaj ponovo počinje rasti, tako da je do 1827. njen sjaj udesetostručen, a 1843. je dostigla toliki sjaj da je postala druga najsjajnija zvijezda na nebu poslije Siriusa (treba imati u vidu da je Sirius 1000 puta bliži Zemlji). U to vrijeme nije se znao razlog ovog neobičnog ponašanja, a do razjašnjenja tajne došlo je tek 1994. godine, zahvaljujući teleskopu Hubble.

Na osnovu snimaka ovog moćnog teleskopa, shvaćeno je šta se dogodilo 150 godina ranije. Ova zvijezda je, naime, izbacila dva, enormno velika "oblaka" vrelog, blistavog gasa. Još i danas je moguće primijetiti "kretanje" ove materije, brzinom od preko 400 km/s!

Ovi gusti oblaci u koje je zakopana Eta (i koje je sama stvorila) su upravo Homunkulus maglina koja izgledom podsjeća na ljudsku figuru. Homunkulus maglina se sastoji od dva dijela čiji je prečnik preko jedne svjetlosne godine i koji su presječeni napola u centralnom dijelu (tzv. bipolarni tok) u eksploziji 1840. godine kada je Eta izbacila materije ekvivalentne 10-40 masa Sunca. Mnogo odbačene materije pretvorilo se u prah koji je sakrio zvijezdu. Trenutno povećanje sjaja je vjerovatno posljedica istanjenja tog sloja gasa i prašine.

Homunkulus maglina je bogata nitrogenom i ugljikom, ali deficitarna kisikom. Takav sastav se očekuje na zvijezdi koja završi karbonski ciklus (ciklus u kojem se vrši fuzija helijuma, pri čemu je ugljik katalizator).



Maglina Eta Kobilice (izvor: wikipedia)

Eta Kobilice je binarni sistem sa orbitalnim periodom oko 5,5 godina. To je ustvari jedan od najmasivnijih binarnih sistema. Smatra se da je udaljenost između zvijezda između 1,6 AJ (slično udaljenosti između Marsa i Sunca) do 30 AJ (slično udaljenosti od Sunca do Neptuna).

Procjenjuje se da primarna zvijezda u sistemu ima trenutnu masu preko 100 Sunčevih, prečnik 60-800 Sunčevih, a temperaturu 9400-35000K. Starost ove zvijezde procjenjuje se na manje od 3 miliona godina. Ono što je naučnicima poznato je da ovakve zvijezde umiru mlade.

Druga zvijezda u sistemu ima masu 30-80 masa Sunca, radijus 14-23 Sunčevih, luminozitet oko milion Sunčevih, temperaturu oko 37000 K i starost takođe manju od 3 miliona godina.

Eta je veoma jak izvor rendgenskog zračenja. Zbog svoje mase i faze životnog ciklusa, smatra se da će eksplodirati u bližoj astronomskoj budućnosti. Smatra se da će Eta proizvesti hipernovu, grandiozniju verziju supernove pri kojoj jezgro zvijezde kolapsira u crnu rupu. U tom procesu će zvijezda kreirati gama zračenje koje će biti vidljivo u cijelom univerzumu i potencijalno opasno.



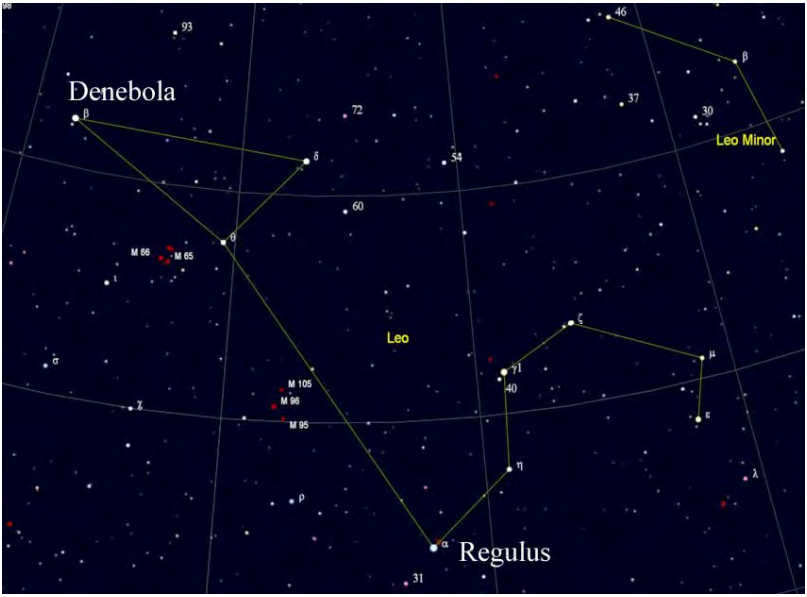
Maglina Eta Kobilice; zvijezda Eta Kobilice je najsjajnija zvijezda lijevo na slici (izvor: wikipedia)

Naime, eksplozije zvijezda (supernove, hipernove) su veoma nasilni događaji koji mogu sjajem zasjeniti čitave galaksije. Supernove se mogu približiti planetima zahvaljujući kretanju galaksija, ali planeti mogu biti i u sastavu tog ili bliskog zvjezdanog sistema. Ako je preblizu, ova eksplozija može lako progutati i spržiti planet ili ga izbaciti iz orbite (osuđen da vječno luta tamom), a ako je nešto dalje može uništiti ozonski sloj i sterilizirati život. Supernova koju smo zabilježili 1054. godine (maglina Rak) oslobodila je veću količinu energije nego što će je osloboditi Sunce tokom cijelog života (12 milijardi godina). Da možemo vidjeti očima rendgensko zračenje, maglina Rak bi bila najsjajniji objekt na noćnom nebu. Što se tiče Zemlje, supernova bi morala biti udaljena minimalno 25-50 svjetlosnih godina da bi mogla ozbiljno ugroziti život ljudi.

Ali, zahvaljujući sretnoj okolnosti da je ova zvijezda od nas dovoljno udaljena (8000 svjetlosnih godina prema dosadašnjim saznanjima), eventualna eksplozija (hipernova) Ete mogla bi oštetiti vještačke satelite i eventualno ugroziti ljudsku posadu u svemiru, dok bi život na

Zemlji najvjerovatnije bio zaštićen od smrtonosnog gama zračenja zahvaljujući atmosferskom štitu i magnetosferi (mada ima mišljenja da bi ovakav kataklizmički događaj u našem "kosmičkom susjedstvu" mogao naškoditi Zemljinom ozonskom omotaču).

27. Regulus i Denebola



Regulus i Denebola u Lavu

Lokacija:	Sazviježđe Lav
Drugi nazivi:	Alfa i Beta Lava
Klasa	Hiperdiv klase B
Prividna magnituda:	1,35; 2,14
Apsolutna magnituda:	-0,5; 1,92
Udaljenost:	77; 36 svjetlosnih godina
Značaj:	Regulus (četverostruki sistem zvijezda); Denebola (planetarni disk)

Regulus (let. Mali kralj) je zvijezda "u srcu" Lava, jednom od najvećih sazviježđa zodijaka. Po sjaju se ova zvijezda nalazi pred sami kraj liste zvijezda prve magnitude. Po sjaju je 21. zvijezda na noćnom nebu. Udaljena je od nas oko 77 svjetlosnih godina, a njen sjaj na nebu (pri-

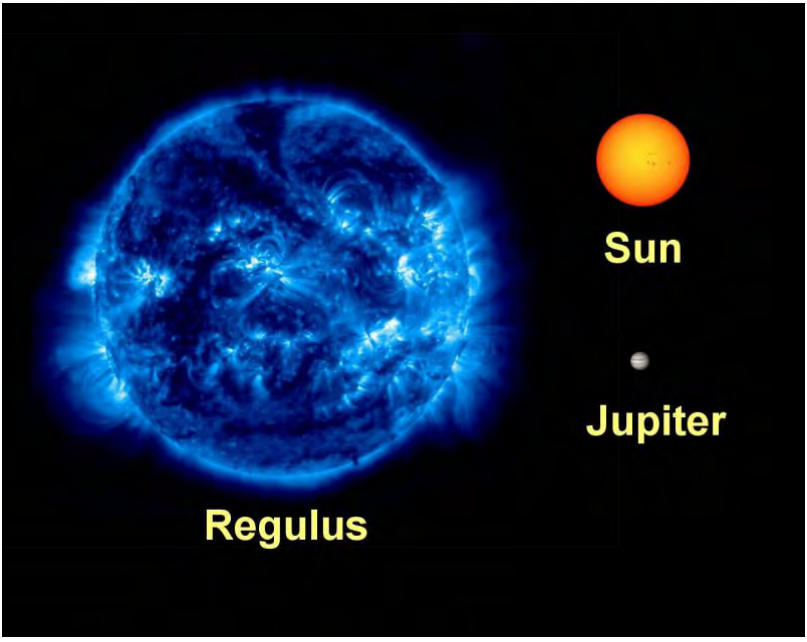
vidna magnituda) iznosi 1,35. Regulus se nalazi skoro tačno na ekliptici i često je okultiran Mjesecom. Lijevo, prema dole od Regulusa nalazi se Spika. Tačka jesenje ravnodnevnice, kada Sunce u septembru presjeca ekliptiku, nalazi se tačno između ove dvije zvijezde.

Regulus je ustvari četverostruki sistem zvijezda. Primarna zvijezda (Regulus A), mase 3,8 Sunčevih, je zvijezda glavnog niza, klase B8, u stabilnom stadiju evolucije. Vizuelno je Regulus oko 150 sjajniji od Sunca. Radijus mu je oko 3 Sunčevih. Regulus ima veliku brzinu rotacije oko svoje ose (preko 300 km/s, sa periodom rotacije oko 16h), pa mu je prečnik za 30% manji preko polova u odnosu na ekvatorijalni. Zbog ovoga mu je temperatura na polovima (15400 K) veća nego na ekvatoru (10200 K). Ukupni luminozitet mu je 280-360 puta veći od Sunčevog. Starost mu se procjenjuje na oko 250 miliona godina.

Glavna zvijezda ima pratioca, Regulus B, manje mase, udaljenog oko 4200-5000 AJ (100 puta dalje nego Pluton od Sunca) od glavne zvijezde. Potrebno je barem 125000 godina da ovaj pratilac obiđe jednom oko primarne zvijezde (oko baricentra orbite). Pratilac je, takođe, dvojna zvijezda, sa komponentama koje su međusobno udaljene minimalno 95 AJ i orbitiraju jedna oko druge sa periodom od oko 880 godina.

Obje zvijezde su tamnije i manje mase od Sunca (0,8 i 0,3 masa Sunca). Sjajnija je narandžasti patuljak klase K2, a tamnija crveni patuljak klase M4. Sa ovog manjeg binarnog sistema, primarna zvijezda sistema bi izgledala kao vrlo sjajna zvijezda, četiri puta sjajnija nego pun Mjesec sa Zemlje.

Dosta zanimljiviji je četvrti pratilac glavne zvijezde, otkriven spektroskopski. Ovaj pratilac obiđe glavnu zvijezdu sistema za 40 dana. Analiza pokazuje da je to bijeli patuljak sa neobično malom masom (0,3 mase Sunca). Udaljen je oko 0,35 AJ od glavne zvijezde sistema. Smatra se da je ovaj bijeli patuljak bio luminozni div (veći i svjetliji od Regulusa sada), ali je prebacio većinu svoje mase zvijezdi koju sada nazivamo Regulus, te joj na taj način i povećao brzinu rotacije. Slično se događa Algolu.



Komparacija veličine (i boje) *Regulusa sa Suncem i Jupiterom*
(izvor: EarthSky.com)

Denebola (arapski "danab al-asad" – "rep lava") je Beta Lava (najistočnija zvijezda uočljivog trougla u Lavu – istočno od Regulusa). To je 62. najsjajnija zvijezda noćnog neba. Denebola je tipična bijela zvijezda (patuljak), klase A3, temperature 8500-8750 K, koji vrši fuziju vodika u helijum. Masa joj je oko 1,8 puta veća od Sunčeve. Nalazi se na rastojanju od 36 svjetlosnih godina od nas.

Denebola rotira oko svoje ose brzinom od oko 125 km/s, sa periodom od oko 0,65 dana.Kao i sve druge sjajne zvijezde na nebu, Denebola je sjajnija od Sunca (riječ je o apsolutnom sjaju) i emituje 14 puta više energije nego naša zvijezda. Radijus joj je oko 1,7 Sunčevih.

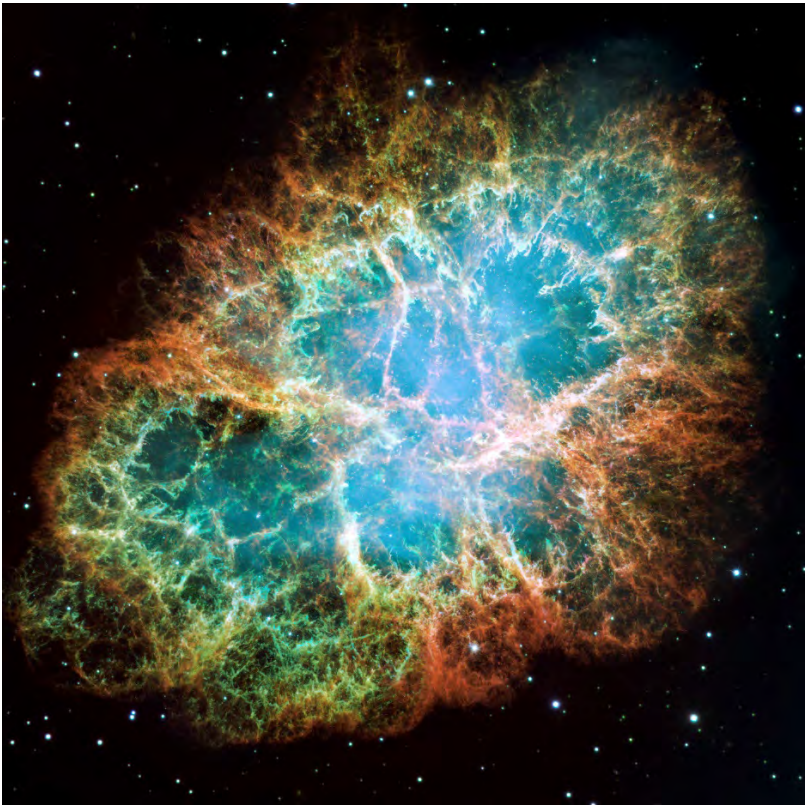
Ovo je jedna od rijetkih zijezda klase "Vega" – zvijezdi koje su okružene diskom prašine koji značajno emituje infracrveno zračenje.

Pošto su planete Sunčevog sistema najvjerovatnije nastale iz jednog ovakvog diska, to ukazuje na mogućnost da oko Denebole postoje planete, bez obzira što nijedan planet još nije pronađen. Starost joj se procjenjuje na 100-380 miliona godina.

Denebola je takođe i promjenljiva zvijezda tipa "Delta Scuti". Ovakve zvijezde vrlo malo mijenjaju svoj sjaj, a i period promjene im je kratak. Zasada ne postoje dokazi koji ukazuju na to da je ovo dvojna zvijezda.

Denebola sa Spikom i Arkturom čini asterizam Proljetni trougao.

28. Maglina Rak



Ostaci supernove SN 1054 (izvor: wikipedia)

Lokacija:	Sazviježđe Bik
Drugi nazivi:	SN 1054, NP 0532
Klasa	Supernova i pulsar
Prividna magnituda:	16 (pulsar)
Apsolutna magnituda:	5
Udaljenost:	6500 svjetlosnih godina
Značaj:	Poznata supernova i prvi optički pulsar

Supernova je katastrofalna eksplozija zvijezde pri kojoj se oslobađa dovoljno energije da supernova svojim sjajem zasjeni ostatak galaksije. Prvu od njih spomenuo je grčki astronom Hiparh (190 – 120 pne). Pored energije elektromagnetskog zračenja, mnogo više energije se oslobodi u vidu kinetičke energije čestica i u vidu neutrina. Supernova se događa kada masivna zvijezda potroši svoje nuklearno gorivo, pri čemu jezgra postaje nestabilna, pa kolapsira. Ukoliko bi se nalazili blizu ovakve zvijezde koja eksplodira, ne bi se dugo divili prizoru jer bi i nas eksplozija raznijela. Ovako, sa sigurne udaljenosti, mi tu eksploziju vidimo kao pojavu nove "zvijezde" na nebu neko vrijeme.

Prije ere teleskopa, u zadnjih 1500 godina uočeno je tek pet supernovih, i to 1006., 1054, 1181, 1572 i 1604 godine. Svaki put to su učinili kineski ili drugi istočno-azijski astronomi (Japan ili Koreja). U arapskoj literaturi spominju se samo dvije supernove (iz 1006. i 1054. godine). Najsjajnija od ovih supernovih bila je ona iz 1006. godine (u sazviježđu Zec), a smatra se da je imala magnitudu oko -7,5 i bila vidljiva tri godine.

Maglina "Rak" (M1, NGC 1952, LBN 833, Sh2-244, CED 53, Taurus A) predstavlja ostatak supernove SN 1054 i nalazi se u pravcu sazviježđa Bik. Supernova je sa Zemlje postala vidljiva 1054. godine. U literaturi se najčešće spominje da je prvi put viđena 4. jula 1054. godine, a negdje se spominje da je prvi put viđena u aprilu (ili maju) 1054. godine i da joj se sjaj postepno povećavao do 4. jula 1054. godine kada je postala i najsvjetlija. Supernove, naime, imaju karakteristične krive (ustvari, dva ili više tipova krivih) koje pokazuju kako im se mijenja luminozitet. Od početne niske vrijednosti (vjerovatno april/maj u slučaju supernove iz 1054. godine), luminozitet naglo raste i doseže maksimum za 20-40 dana (vjerovatno početak jula za supernovu iz 1054. godine), a potom opet opada u periodu od 40-60 dana.

Ostatke ove supernove je prvi uočio John Bevis 1731. godine. Tek 1921. godine moderni astronomi (Knut Lundmark) otkrili su vezu između magline Rak i ostataka ove supernove. Radio talasi iz supernove su detektovani 1949 godine, a pulsar unutar nje 1968. godine.

Supernova je bila vidljiva golim okom dvije godine nakon što se pojavila (do 17. aprila 1056. godine), a po danu je bila vidljiva 23 dana. Za ova 23 dana dnevne vidljivosti, iako je bila dosta svjetla, moguće je da ju je u nekim dijelovima svijeta bilo teško vidjeti po danu zbog blizine Suncu (konjunkcija ove supernove sa Suncem). Naime, koordinate ove Supernove su RA 5h34m, Dec 22 stepena. Ako se otvori bilo koji planetarium program (npr. Cartes du Ciel – Sky Charts) i ubaci datum pojave ove supernove, vidi se da je supernova tokom dana bila dosta blizu Sunca, što je sigurno smanjivalo njenu dnevnu vidljivost u nekim dijelovima svijeta. Na datum 4. jula 1054 godine, Supernova je bila 35 stepeni zapadno od Sunca.

Kineski astronomi (posebice Yang Wei-te, Sung opservatorija) opisali su ovu supernovu (nazvali su je "T'ien-kuan gostujuća zvijezda") kao 4 puta sjajniju od Venere, što znači da je imala prividnu magnitudu vjerovatno oko -6 (sjajnija od bilo kojeg tijela na noćnom nebu osim Mjeseca), a spominju se procjene da joj je magnituda bila u opsegu između -7 i -4,5 (negdje se spominje i da je njena maksimalna vizuelna magnituda bila između -3,5 i -4). Navodi se da je bila žute boje (negdje i "crvenkasto-bijela"). Vidjeli su je prvi put na istočnom nebu u ranim jutarnjim satima. Neki stariji izvori navode da je ova eksplozija možda čak imala magnitudu blizu -12 (sjaj punog Mjeseca), budući da se vidjela po danu cijela 23 dana nakon prve pojave (ovo je vjerovatno pogrešno mišljenje). Supernova je bila tako moćna, da u slučaju da se desila u prečniku od 50 svjetlosnih godina od Zemlje, sav život na Zemlji bio bi izbrisan!

Osim kineskih, supernovu su zabilježili i japanski (Meigetsuki –The Record of the Clear Moon: The Diary of Fujiwara Sadaie, koji napominje da je zvijezda bila sjajna kao Jupiter i da se pojavila 28 juna 1054. godine), i (možda) arapski astronomi. Neki autori dovode u sumnju da su arapski astronomi zabilježili ovaj događaj, ali postoji zapis iz 13 vijeka (Ibn Abi Usaibia, sirijski doktor u 13 vijeku) o izvješću Ibn Butlana, kršćanskog doktora u Bagdadu u to vrijeme (1038 – 1075) koji je (vjerovatno) zabilježio događaj (tačnije okrivio je supernovu za kugu u Egiptu i Konstantinopolu). Ibn Butlan piše: "Jedna

od najpoznatijih epidemija našeg vremena je ona koja se desila kada se spektakularna zvijezda ("athari kawkab") pojavila u Blizancima godine 446 po Hidžri." (12 april 1054 – 1 april 1055. godine). Ovo odgovara istini jer astrološki znak Blizanci, kojeg Ibn Butlan spominje, implicira da je zvijezda ustvari bila u sazviježđu Bik (u astrologiji su sazviježđa pomjerena u odnosu na originalno zamišljena zbog precesije Zemlje).

Ovdje treba napomenuti i to da je astronomija bila rizičan posao u srednjem vijeku jer su astronomi mogli izgubiti život ako ne bi predvidjeli neki astronomski događaj. Tako su npr. kineski astronomi Ho i Hsi (braća) izgubili glavu jer nisu predvidjeli pomračenje Sunca.

Zanimljivo je da u Indiji nije zabilježen ovaj događaj (barem nemamo dokaza), iako su u to vrijeme imali dosta razvijenu astronomiju. U periodu kad je ova supernova bila najsjajnija, u Indiji su bili monsuni, ali to ne opravdava izostanak bilo kakvog obilježja događaja.

Takođe je vrlo interesantno da ovaj događaj nije zabilježen u Evropi. Postoji nekoliko mogućih razloga. Kao prvi navodi se slabo poznavanje astronomije u to doba. Kao drugi mogući razlog, historičar nauke George Sarton navodi da su tadašnji Evropljani nebesa smatrali savršenim i nepromjenljivim, dakle, u pitanju je bila neka vrsta spiritalne inercije. Međutim, i Evropljani su zabilježili supernovu iz 1006. godine, za koju se smatra da je bila 3,4 puta sjajnija od one iz 1054. godine. Treći razlog može biti produženi period lošeg vremena – moguće je, naime, da je u Evropi, u periodu kad je ova supernova bila najsjajnija, bilo dosta loše vrijeme, što je moglo doprinijeti tome da se ova supernova ne primijeti u određenom vremenskom periodu. Međutim, postoji još jedno moguće objašnjenje za ovo, vjerovatno najubjedljivije. Naime, supernova iz 1054. godine pojavila se tačno u periodu kada su se dešavale pripreme za tzv. Veliku šizmu (raskol pravoslavne i katoličke crkve), događaj koji se desio 16. jula 1054. godine. Tokom tih dana bilo kakvo "komešanje" bilo bi veoma opasno, posebno obilježavanje nekog novog kosmičkog događaja, nešto kao "znak sa neba" da ne dolazi do razdvajanja Crkvi. I zato ne treba biti

mnogo pametan da se shvati kako Crkva (koja je i tada bila moćna, i opasna) nije željela nikakve "nove zvijezde" niti bilo kakve nove pojave na nebu (kao moguća znamenja), a vrlo je moguće da su svi takvi dokazi (ako su i postojali) potpuno uništeni. Dakle, neka vrsta političke svrsishodnosti (ne ideologija) je najvjerovatniji razlog.

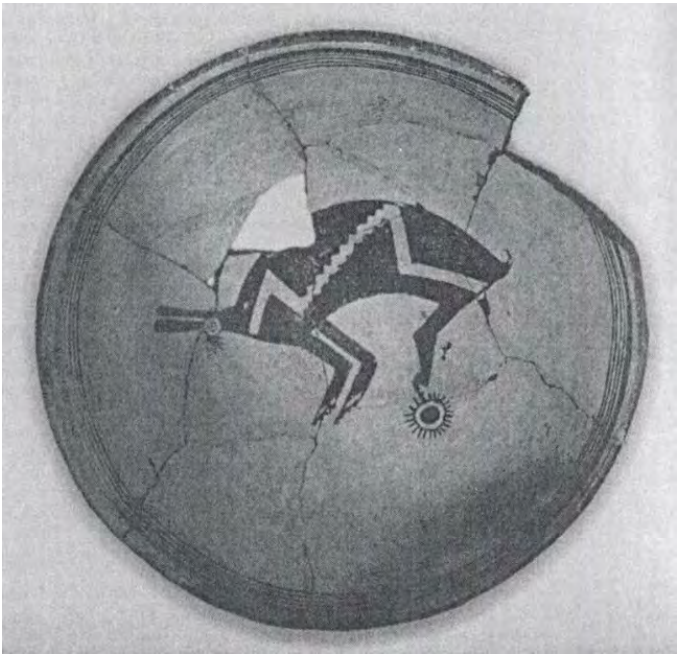
Postoje mišljenja da su ovu supernovu zabilježili i Anasazi (narod koji je živio u području gdje su sada Arizona i New Mexico), na što upućuju nalazišta u Navaho kanjonu i mjestu White Mesa (Arizona, pronašao 1953-54 William C. Miller), kao i u nacionalnom parku Chaco kanjon (New Mexico).



Petrograf Anasaza (Chaco kanjon)*: moguća supernova iz 1054. godine* (sada maglina Rak) *iznad, i vjerovatno Halley-ev komet ispod, lijevo od mladog mjeseca* (copyright: Ron Lussier). *U jutro 5 jula mladi Mjesec je bio svega 3 stepena od položaja Supernove.*

Anasazi (potomci sadašnjeg naroda Pueblo) su poštovali nebeske fenomene, i imali su hram za posmatranje Sunca (Chaco kanjon) sa pogledom na zalazak Sunca tokom godine. Posmatrali su solsticije kako bi napravili kalendar, prije svega zbog poljoprivrede, ali ne treba zanemariti i sociološku komponentu.

Ralph Robert Robbins (University of Texas) je 1990. godine objavio potencijalno otkriće obilježja ove supernove na komadu grnčarije koji su pravili Mimbres Indijanci (sadašnji New Mexico).



Mogući prikaz supernove iz 1054. na grnčariji Indijanskih plemena Mimbres, a iznad je figura zeca koja u njihovoj mitologiji predstavlja Mjesec. (copyright: Ralph Robbins)

Što se tiče same supernove, pretpostavlja se da je SN 1054 bila supernova tipa II, a vjeruje se da je masa zvijezde koja je tada eksplodirala bila između 8 i 12 Sunčevih masa. Ovo je, inače, prvi objekat koji je identificiran kao ostatak supernove. Supernova je iza sebe ostavila oblak užarenog plina koji se polako širi. Na udaljenosti od 6500 svjetlosnih godina (negdje se spominje udaljenost od 4000 svj. godine) to odgovara prečniku od oko 11 svjetlosnih godina. Plin koji danas vidimo se većinom sastoji od jonizovanog vodika i helijum,a sa primje-

sama ugljika, kisika, neona, nitrogena, željeza i sumpora. Fotografije otkrivaju njenu vlaknastu strukturu, specifičnu za ostatke supernove, sjajnije središte i pulsar (brzo-rotirajuća neutronska zvijezda)! Temperatura gasa je 11000 – 18000 K. Smatra se da je masa magline (filamenata) jednaka oko 5 Sunčevih masa. Uspoređujući s prijašnjim fotografijama, otkrivena je i brzina širenja magline od 1500 km/s.

Prvi radiovalovi iz ove magline otkriveni su 1949. godine. Rendgensko zračenje je iz ovog izvora otkriveno 1963. godine, a pravo iznenađenje je bilo otkrivanje pravilnih pulseva elektromagnetskog zračenja iz središta magline. U početku su naučnici mislili da se radi o izvanzemaljskoj civilizaciji. Dodatna istraživanja su 1968. godine potvrdila postojanje pulsara.

Vjeruje se da je pulsar u ovoj maglini tijelo prečnika oko 30 km koje svake 33 milisekunde (period rotacije) odašilje puls zračenja (od gama do radio zračenja). Period pulsiranja se polako usporava zbog interakcije magnetnog polja s okolnom materijom. Danas se zna da su pulsari brzo-rotirajuće neutronske zvijezde koje imaju snažna magnetna polja iz kojih se probija uski snop zračenja (posebno jako gama i rendgensko zračenje).

Nedavno se u našoj zemlji pojavilo mišljenje da je ova supernova možda zabilježena i u našim krajevima. Ova hipoteza (postavio je kolega amater astronom Miro Ilić), na prvi pogled, zvuči dosta primamljivo, pogotovo nama koji se aktivnije bavimo amaterskom astronomijom i zbog činjenice da su starim narodima nebeska tijela bila čest religijski ornament (Sunce, Mjesec i zvijezde). Čakštaviše, imponuje ideja da bi naši preci možda obilježili jedan vrlo važan kosmički događaj, kada niko drugi u Evropi to nije uradio. Međutim, da parafraziram nobelovca Richarda Feynman – ako je hipoteza privlačna, ne znači da je tačna. Ne treba nikada upasti u zamku samodopadljivosti, posebno ako za to nema čvrstih dokaza.

Ima dosta stvari koje se mogu zamjeriti ovoj hipotezi, i praktično niti jedan dokaz u njen prilog, osim relativno bliskog položaja sazviježđa

Orion (nije nikada uspostavljena veza sazviježđa na nebu sa stećcima) i supernove u trenutku njene pojave na nebu.

Astralni reljefi na našim stećcima, pri čemu su Mjesec, Zvijezda i Sunce dominantni simboli, imaju religijsko-simboličko značenje. Simbol kruga i(ili) kružnog prstena, recimo, za koji kolega Ilić pretpostavlja da bi možda mogao biti obilježje supernove, u naučnim krugovima smatra se kao relikt starog slavenskog kulta Sunca kao izvora cjelokupnog života. Zasada ne postoji nikakav konkretan dokaz koji ukazuje na vezu ovog kruga i obilježavanja Supernove.



Stećak sa figurom lovca i "spornim" krugom
(copyright: Alojz Benac, Stećci)

Veoma bitna stvar u ovoj priči je da se stećci, prema svim relevatnim naučnim podacima, nisu uopšte postavljali 1054. godine (XI vijek). Naprotiv, najranije datirani stećci su iz druge polovine XII vijeka, i takvi stećci su uglavnom oskudno ukrašeni i najčešće predstavljaju pločaste stećke. Ovu konstataciju potvrđuju natpisi na stećcima i historijski događaji koji se vežu za njih.

Podatak da ovaj događaj nije zabilježen nigdje u Evropi, takođe, dovodi u sumnju ovu hipotezu. Malo je, naime, vjerovatno da se od svih mjesta u Evropi ovo obilježje pojavi baš kod nas. Naime, srednjovjekovna Evropa nije baš bila poznata po izučavanju astronomije (tzv. mračno doba Evrope). U tom smislu, tadašnje područje Bosne bilo je vjerovatno u "potpunom mraku" (astronomska saznanja bila su generalno na veoma niskom nivou).

Supernova iz 1054. godine bila je, prema pretpostavkama, nešto sjajnija od Venere, ali to tadašnjim stanovnicima Bosne ne bi puno značilo. Ne bi vjerovatno ni primijetili promjenu na nebu jer nisu znali položaje nebeskih tijela (posebno planeta). Naime, Venera se u julu nije vidjela na noćnom nebu u jutarnjim satima kada se pojavila ova supernova (ovo se za dati datum može provjeriti u bilo kojem stelarijum programu), pa se svjetlost supernove mogla lako zamjeniti za Veneru (za one koji su tada uopšte znali kako izgleda Venera na nebu).

Takođe, ova supernova se vidjela tek u ranim jutarnjim satima, pa je mogla i zbog toga biti neprimjećena. Moguće je i da je vrijeme bilo loše u tim danima (ruku na srce, budući da je početak jula, malo je vjerovatno da se loše vrijeme zadržalo duži vremenski period).

Nadalje, u slučaju da se radi o obilježju supernove na stećcima, pretpostavljam da bi ostao i neki pisani zapis o tome (na stećku ili drugdje) jer nekome kome je ovaj događaj toliko bitan ne bi ostavio takvu stvar nerazjašnjenu.

Konačno, prema referentnoj literaturi, stećci u Radimlji prikazuju ljudsku figuru sa podignutom desnom rukom (figure sa podignutom rukom tumače se najčešće kao gestovi molitve, a uz takvo gledište,

može doći u obzir i pretpostavka o podignutoj ruci kao simbolu društvenog ugleda, vlasti, a možda i spremnosti na neku osvetu) sa lukom i strijelom, a kružni vijenac je stara slavenska oznaka za Sunce.

Svaka veza, pa i simbolična, figure ratnika na stećcima sa sazviježđima na noćnom nebu pati od hroničnog nedostatka dokaza (nigdje se, naime, u literaturi to ne spominje). Ovaj relativno bogato ukrašen stećak je nastao u periodu između XIV i XVI vijeka, što je minimalno 300 godina nakon supernove iz 1054 godine!

Dakle, generalno govoreći, hipoteza kolege Ilića je interesantna, ali bojim se da se veza između naših stećaka i obilježja supernove SN 1054 teško može (ili nikako) naučno uspostaviti i dokazati.

29. Mintaka



Zvijezde Orionovog pojasa; slijeva Alnitak, Alnilam i Mintaka
(izvor: wikipedia)

Lokacija:	Sazviježđe Orion
Drugi nazivi:	Delta Oriona
Klasa	Bliska dvojna, klase O i B
Prividna magnituda:	2,21 (kombinovano)
Apsolutna magnituda:	-4,3 svaka
Udaljenost:	900 svjetlosnih godina
Značaj:	"Zvijezda nebeskog ekvatora" koja nam je otkrila međuzvjezdanu materiju

Mintaka (δ Orionis, δ Ori) je zanimljiva zvijezda u sazviježđu Orion. Ime Mintaka potiče od arapske riječi za pojas. Često se izgovara i kao Mantaka, u zavisnosti od prijevoda. Takođe, različiti narodi za Mintaku često imaju vlastiti naziv koji na nešto asocira. U Meksiku na primjer, Mintaka je stekla naziv Mojet (vrsta ovce sa velikim rogo-

vima). U hrišćanskoj mitologiji, ova zvijezda poznata je kao Baltazar, kao jedan od mudraca koji putuju prema Betlehemu (Sirius).

Iako je prividne magnitude 2,21, Mintaka je sedma zvijezda po sjaju u Orionu. I pored toga, Bayer ju je označio kao Delta Oriona.

Od svih sjajnih zvijezda na nebu (od prve do treće magnitude), Mintaka je najbliža nebeskom ekvatoru (nalazi se oko 0,25° južno od njega), što znači da zvijezda izlazi i zalazi skoro tačno na istoku i zapadu.

Zvijezda je neobično kompleksna. Sa malim teleskopom možemo vidjeti zvijezdu pratioca sedme magnitude, koja se nalazi na udaljenosti od oko 915 svjetlosnih godina od Mintake. Između njih je tamnija zvijezda magnitude 14.

Sjajna zvijezda koju zovemo Mintaka je sama po sebi dvojna koja se sastoji od zvijezde diva klase B (temperature 30000 K) i nešto toplije zvijezde klase O. Svaka ima luminozitet veći za 90000 puta od Sunčevog i svaka ima masu barem 20 puta veću od Sunčeve. Par je preblizu da bi se mogao optički razlučiti. Spektroskopska analiza je pokazala da ove zvijezde imaju orbitalni period oko 5,7 dana.



Panoramski pogled na zvijezde pojasa Oriona, maglinu Konjska glava (centar) i maglinu Orion (desno). Ukupna ekspozicija snimka je bila 11 sati. (copyright: Terry Hancock)

Mintaka je najpoznatija po tome što je uz pomoć nje njemački astronom Johannes Hartman 1904. godine otkrio međuzvjezdani gas na

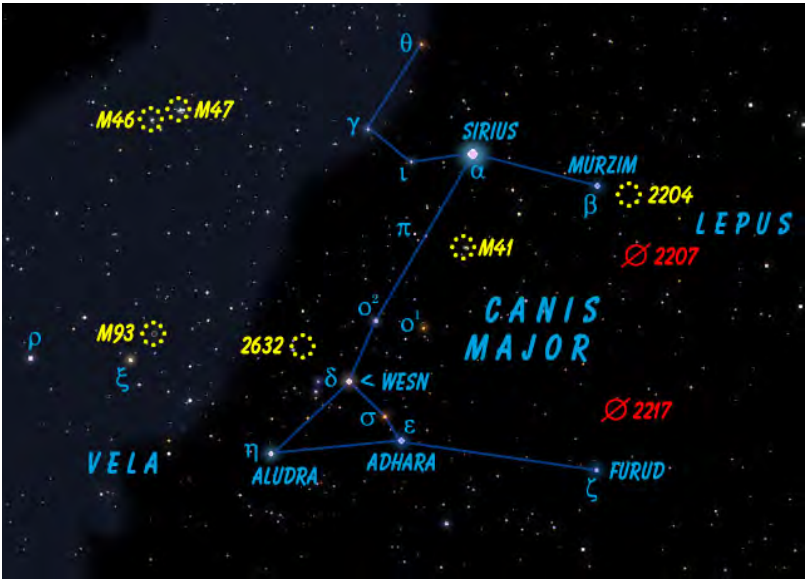
osnovu apsorpcija u spektru zvijezde. Na osnovu ovog otkrića sada pouzdano znamo da međuzvjezdani prostor sadrži enormno kompleksnu mješavinu, gasa i prašine, koja predstavlja mjesto rađanja novih zvijezda (i vjerovatno života). Smatra se da će Mintaka, zbog mase svojih zvijezda, završiti kao supernova.

Mintaka se nalazi u desnom dijelu Orionovog pojasa koji sačinjavaju još dvije zvijezde: Alnilam i Alnitak.

Alnitak je, takođe, arapska riječ i označava pojas odnosno kaiš. Alnitak je Zeta Oriona, prividne magnitude 1,77, a nalazi se oko 1260 svjetlosnih godina daleko od nas. To je višestruki zvjezdani sistem. Primarna zvijezda sistema je vrući plavi superdiv apsolutne magnitude -6,0 i najsjajnija je zvijezda klase O na noćnom nebu, sa vizualnom magnitudom od 2,0. Ima masu 33 puta veću od Sunčeve, radijus 20 puta veći i luminozitet 250000 puta veći od Sunčevog. Površinska temperatura joj je oko 30000K, a stara je oko 6 miliona godina. Ova primarna zvijezda sistema ima dva plavkasta pratioca, četvrte magnitude, od kojih se jedan može optički razlučiti, a drugi se može detekovati samo interferometrijski i spektroskopski. Prva zvijezda ima masu oko 14 Sunčevih i luminozitet veći 32000 puta od Sunčevog. Alnitak je član grupe Orion OB1 i grupe Collinder 70. U blizini Alnitaka nalazi se čitav niz maglina, a među njima je i čuvena NGC 2024 (maglina Konjska glava).

Alnilam (Epsilon Oriona) je naziv velike centralne zvijezde Orionovog pojasa. Mase 40 puta veće od Sunčeve, radijusa 32 puta većeg od Sunčevog i luminoziteta čak 275000 – 832000 puta većeg od Sunčevog, ovo je zaista posebna zvijezda. Temeratura joj je oko 27500K, a stara je oko 5,7 miliona godina. Prividna magnituda joj je svega 1,69 jer se Alnilam nalazi daleko od nas. Svjetlosti je potrebno 2000 godine da stigne do nas od Alnilama. Plave je boje, a njena spektralna klasa je B0.

30. Adhara



Položaj Adhare u Velikom psu (izvor: sciencecenter.com)

Lokacija:	Sazviježđe Veliki pas
Drugi nazivi:	Epsilon Velikog psa
Klasa	Plavi, svjetli div klase B
Prividna magnituda:	1,50
Apsolutna magnituda:	-4,07
Udaljenost:	400-430 svjetlosnih godina
Značaj:	Najsjajnija zvijezda druge magnitude i najsjajnija u UV dijelu spektra

Iako je označena kao Epsilon Velikog psa (peta po redu), Adhara je druga najsjajnija zvijezda u ovom sazviježđu (19. po sjaju na nebu), odmah iza Siriusa. Formira zapadnu "nogu" Velikog psa. Nalazi se na desnoj strani sjajnog zvjezdanog trougla ispod Siriusa. Pri imenovanju, Bayer se vjerovatno koristio položajem, a ne sjajem zvijezda.

Smatra se da su Arapi ovaj trougao zvali "Djevice", ime koje se odnosi i na Adharu. Niko ne zna stvarno porijeklo imena.

Iako pomalo zanemarena, Adhara, svjetli div klase B2, je ustvari vrlo zanimljiva zvijezda. Ima temperaturu od oko 22000-29000 K što joj daje plavkasti sjaj. Budući da je udaljena 400-430 svjetlosnih godina, vidljivi sjaj joj je oko 3500 puta veći od Sunčevog. Kad bi bila na udaljenosti na kojoj je Sirius, Adhara bi sijala prividnom magnitudom -7, i bila 7 puta sjajnija od Venere.

Zbog visoke temperature, zvijezda zrači dobrim dijelom u, oku nevidljivom, ultra-ljubičastom (UV) dijelu spektra. Kada se i to zračenje uzme u obzir, Adhara je oko 38000 puta sjajnija od Sunca. Kad bi imali oči osjetljive na UV dio spektra, Adhara bi bila najsjajnija zvijezda na nebu. Možda vaši kućni ljubimci (psi, mačke), čije oči su dobrim dijelom osjetljive i na ovaj dio elektromagnetnog spektra, tokom zimskih šetnji gledaju Adharu ispod Siriusa i pomišljaju kako je veličanstveno ovo svjetlo na nebu.

Adhara ima prečnik oko 10,4 Sunčeva. Brzina rotacije oko svoje ose iznosi oko 38 km/s, što znači da joj treba oko 14 dana za jedan obrtaj. Masa joj je 11-12 puta veća od Sunčeve, što znači da će jednog dana vjerovatno eksplodirati kao supernova (ili barem postati rijetki neonski bijeli patuljak).

Budući da je završila sa fuzijom vodika u svojoj jezgri, Adhara polako ulazi u zadnju fazu svog života. Starost joj se procjenjuje na oko 22 miliona godina.

Adhara je popularna među istraživačima međuzvjezdane materije jer se njen jednostavni i sjajni spektar koristi da se ispita šta sve leži (kakva materija) između nje i Sunca.

U njenoj blizini nalazi se i pratilac, zvijezda 8 ili 9 magnitude, koja vjerovatno spada u spektralnu klasu A ili F. Međusobno su udaljeni oko 900 AJ i treba im barem 7500 godina za jednu orbitu.

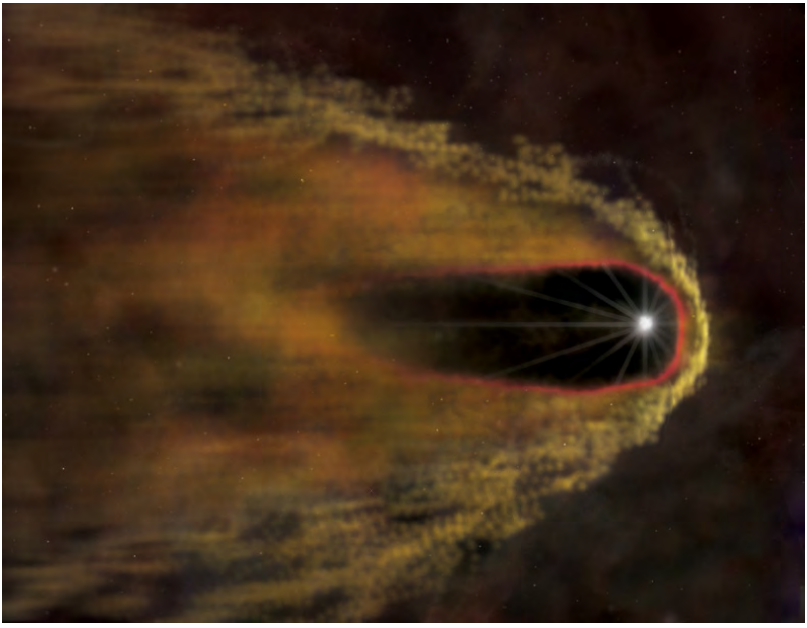
Prije nekoliko miliona godina, Adhara je bio mnogo bliža Suncu nego što je sada, pa je bila puno svjetlija na noćnom nebu. Prije ne-

kih 4,7 miliona godina Adhara je bila 34 svjetlosne godine udaljena od Sunca, i bila je najsjajnija zvijezda na nebu, prividne magnitude -3,99. Nijedna druga zvijezda nije postigla ovaj sjaj niti će ga postići u slijedećih pet miliona godina.

Adhara se pojavljuje na nacionalnoj zastavi Brazila, simbolizirajući državu Tocantins. Adhara se također pojavljuje kao lik u animiranom filmu Nocturna (2007. godina).

Slijedeći put kad tokom zimskih noći izađete sa vašim ljubimcem u šetnju, prisjetite se da je njima najsjajnija zvijezda na nebu vjerovatno Adhara.

31. Crna udovica



Umjetnički dojam pulsara i udarnog talasa. Bijele zrake upućuju na činjenicu da se čestice materije i antimaterije izbacuju sa zvijezde. Pratioc je preblizu pulsaru da bi bio vidljiv u ovoj razmjeri. (izvor: wikipedia)

Lokacija:	Sazviježđe Strelica
Drugi nazivi:	PSR B1957 +20
Klasa	Neutronska zvijezda (pulsar)
Prividna magnituda:	20
Apsolutna magnituda:	11
Udaljenost:	2500 svjetlosnih godina
Značaj:	Pulsar velike brzine rotacije koji proždire zvijezdu pratioca

Kad pomislite da ste vidjeli ili čuli za neke od najčudnijih stvari u svemiru, nešto još čudnije se vrlo brzo pojavi.

Pulsari su napravili senzaciju kad su otkriveni 1967. godine. Čudili smo se kako neutronska zvijezda, komprimirana na masu Sunca i prečnika oko 20 km, može da rotira brzinom od nekoliko obrtaja u sekundi, šaljući nam bljeskove radio energije. Astronomi su se 80-tih godina XX vijeka još više začudili kada su pronašli pulsar koji se okreće brzinom od 640 obr/s! Pulsari generalno rotiraju oko svoje ose brzo radi očuvanja momenta količine kretanja. Kako željezno jezgro nakon supernove supernove kolapsira u neutronsku zvijezdu, ono rotira sve brže i brže. Ali na ovaj način ne može nastati pulsar koji se okreće ovako velikom brzinom (640 obr/s). Također, "obični" pulsari usporavaju kako vrijeme prolazi, ali ovaj ne pokazuje znake usporavanja.

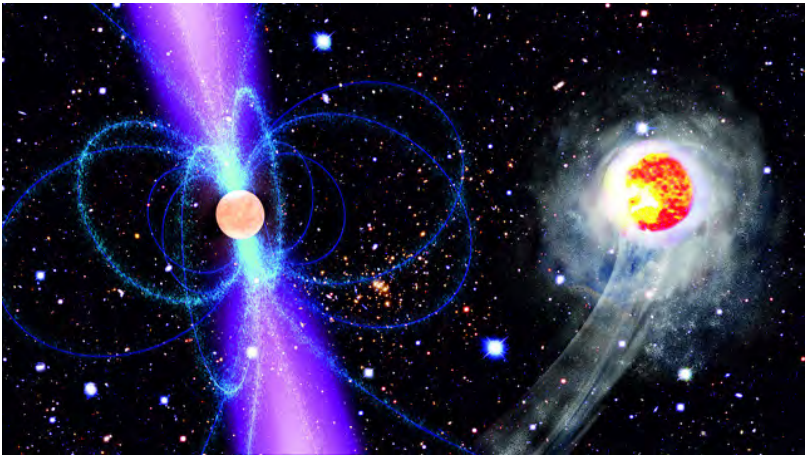
Zbog čega onda ovi milisekundni pulsari rotiraju tako brzo oko svoje ose? Šta se ustvari dešava? Prije svega, znamo da transfer mase sa jedne zvijezde binarnog sistema na drugu može promjeniti brzinu rotacije zvijezda. Možda na pulsare utiču same zvijezde u binarnim sistemima, i to one zvijezde koje prežive eksploziju (supernovu) koja je stvorila pulsar. Znamo da odmah nakon svog nastanka, pulsar vremenom počinje da se okreće sve sporije i sporije, zračeći na ovaj način energiju, i u konačnici nestajući potpuno iz vidokruga. U ovoj situaciji mogu se desiti dvije stvari. Ako je pratilac blizu pulsara, biće privučen još bliže jer gubi orbitalnu energiju kroz magnetizirani vjetar. Ako je pratilac udaljeniji, pulsar strpljivo "čeka" da zvijezda evoluira i proširi se, kada se počinje dešavati ista stvar kao u prvom slučaju. Kako se materija, koja se kreće velikom brzinom, sudara sa pulsarom, pulsar se sve brze i brze okreće. Kao preporođen, pulsar dobija sve veću i veću brzinu rotacije, i do nekoliko stotina obrtaja u sekundi.

Neki milisekundni pulsari zaista imaju pratioce. Pratioc se otkriva pomjeranjem pulsara naprijed i nazad u pravcu prema nama, jer su dvije zvijezde u orbiti jedna oko druge, i kretanje utiče na brzinu pri kojoj primamo pulseve. Drugi pulsari, međutim, su bez pratioca. Kako onda zavrtiti pulsar tako brzo bez zvijezde pratioca?

PSR B1957 +20 koji ima jednog pratioca rješio je problem i dao nam uvid u nasilnost astrofizičkih procesa. Pulsar je vidljiv samo u radio

dijelu spektra. Na lokaciji pulsara nalazi se zvijezda pratilac, magnitude 20. Njihova orbitalna ravan je u pravcu prema nama, tako da dolazi do međusobnog pomračenja ovih zvijezda svakih 9 sati (orbitalni period). Pomrčina traje oko 20 minuta. Pratilac prolazi ispred neutronske zvijezde, i na jedan sat pulsevi nestaju. Iz njihove orbite smo shvatili da je pratilac veličine Sunca, ali mase tek 2% Sunčeve. Daleko ispod granice za respektabilne zvijezde. Nadalje, pratilac gubi sjaj tokom pomračenja, iako je pulsar previše mali da uzrokuje pomračenje. Umjesto toga, vjerovatno vidimo stranu zvijezde (koju je zagrijao pulsar), okrećući se naizmjenično prema nama i od nas. Pulsar, kojeg je zavrtila materija sa susjedne zviejzde, sada polako erodira ("jede") svog pratioca.

Pratioc će uskoro nestati, kanibal pulsar će ga "pojesti" cijelog, nakon čega će pulsar ostati sam, vrteći se eonima bez partnera koji ga je pratio od rođenja.



Umjetnički doživljaj pulsara Crne udovice i zvijezde pratioca
(copyright: arstechnica.com)

U 2010. godini procjenjeno je da je masa neutronske zvijezde u ovom sistemu 1,6 – 2,4 mase Sunca. Ako je ova druga procjena tačna, to bi bila jedna od najmasivnijih neutronskih zvijezda ikad detektovanih.

Kasnijim posmatranjima ovog objekta (Chandra svemirskim teleskopom) pokazalo se da u blizini zvijezde postoji i udarni talas, te da se objekat kreće brzinom od oko milion km/s kroz svemir.

Kada je otkriven PSR B1957 +20, to je prvi pulsar te vrste. Nakon toga otkriveni su i drugi objekti sličnih osobina, pa je ime (Crna udovica) primjenjeno na sve klase millisekundnih pulsara koji erodiraju pratioca. Možemo ih nazvati i svemirskim kanibalima.

32. Kanopus



Položaj Kanopusa na nebu (copyright: Fred Espenak)

Lokacija:	Sazviježđe Kobilica (Pramac)
Drugi nazivi:	Alfa Kobilice
Klasa	Bijeli superdiv klase F
Prividna magnituda:	-0,72
Apsolutna magnituda:	-5,63
Udaljenost:	310 svjetlosnih godina
Značaj:	Druga najsjajnija zvijezda i lijep primjer rijetkih superdivova klase F

Kanopus (Canopus, α Carinae) je najsjajnija zvijezda sazviježđa Kobilica i druga najsjajnija zvijezda noćnog neba. Ime je dobila po Canopusu, mitskom Menelajevom navigatoru koji je odveo grčku flotu do Troje, i koji je navodno umro pri povratku nazad u Egipat. U njegovu čast podignut je spomenik na mjestu gdje je kasnije nastao grad. Ovaj grad, koji se nalazi na delti Nila, iznenada je nestao ispod vodene površine uslijed nekog kataklizmičkog događaja, a nedavno

su nađeni i njegovi ostaci. Osim toga za ovu zvijezdu u upotrebi je i naziv Suhail koji potiče od arapske riječi za zakletvu.

Zanimljivo je da su sve tri najsjajnije zvijezde neba (Sirius, Kanopus i Alfa Kentaura) na južnoj hemisferi, dok su tri slijedeće najsjajnije zvijezde (Arktur, Vega i Kapela) na sjevernoj.

Dok je Sirius sjajan samo zbog svoje blizine, Kanopus je sjajan (magnitude -0,72) jer je veoma luminozna zvijezda. Iako je udaljen preko 310 svjetlosnih godina (36 puta dalje nego Sirius), Kanopus, temperature oko 7000-7300 K, ima luminozitet 10000-13000 puta veći od Sunčevog. Kada bi Kanopus bio naše Sunce, čak bi i Pluton bio spržen, a Zemlja bi se morala nalaziti na udaljenosti tri puta većoj nego što je Pluton udaljen od Sunca da bi primala količinu toplote koju danas prima od Sunca. Sa prečnikom od oko 0,6 AJ, Kanopus bi na mjestu Sunca dosezao skoro do orbite Merkura. U prošlosti je Kanopus bio često najsjajnija zvijezda na noćnom nebu, a za nekih 480000 godina Kanopus će ponovo biti najsjajnija zvijezda na nebu i ostaće tako slijedećih 500000 godina.

Kanopus je zvijezda južnog neba koja nije vidljiva sjevernije od 37° sjeverne geografske širine (skoro cijela Evropa). To znači da nije bila vidljiva starim Grcima i Rimljanima, ali se vidi npr. iz Aleksandrije (Egipat). Eratosten i Ptolomej su je zvali Konobos. Ptolomej ju je postavio kao dio sazviježđa Argo navis (brod Argo). Kada je Nicolas-Louis de Lacaille podjelio Argo navis na današnja sazviježđa Kobilica (Carina), Krma (Puppis) i Jedra (Vela), Kanopus je postao dio Kobilice, njena Alfa. Kanopus se nalazi 53° južno od nebeskog ekvatora. Cirkumpolarna (uvijek vidljiva) je zvijezda za lokacije na Zemlji koji su južnije od 37° južne geografske širine (npr. Victoria i Tasmania u Australiji, Auckland u Novom Zelandu, Bahía Blanca u Argentini; Valdivia u Čileu i južnije od ovih mjesta).

Zbog svog sjaja, antičkim moreplovcima sjeverne hemisfere koji su se nalazili dovoljno južno da ga vide, Kanopus je ukazivao na smjer juga. S obzirom na to da se nalazi dovoljno ispod ravni ekliptike, posmatrano iz svemira Sunce ga nikada ne zaklanja, zbog čega ga mnogi

savremeni sateliti koriste za orijentaciju tako što imaju posebnu "kameru za praćenje Kanopusa" (engl. Canopus Star Tracker).

Kanopus je u osnovi bijela zvijezda, klase F0 (u novije vrijeme A9), a neki autori je opisuju i kao žuto-bijelog superdiva. Ne znamo da li je nekad bio crveni div ili superdiv (kao Betelgez) pa se sada zagrijava i postaje plavkast ili se sada hladi i postaje crveniji. Prisustvo željeza iznosi oko 77% u poređenju sa Suncem.

Većina svjetlosti sa njegove površine zrači u vidljivom i nešto u UV dijelu spektra. Takođe je jak izvor rendgenskog i radio zračenja, ne zbog velike temperature već zbog magnetski veoma zagrijane korone (nešto slično kao kod Sunca, s tim da je korona Kanopusa zagrijana na 15 miliona stepeni K – 10 puta više nego kod Sunca).

Kreće se brzinom oko 25 km/s u odnosu na Sunce. Za približno 3 miliona godina približit će se našem Suncu na razdaljinu od 172 svj. godine. Tada će prividna magnituda Kanopusa iznositi -1,88.

Divovi klase F mogu biti i u fazi prelaska u crvenog diva ili izlaska iz te evolucione faze. Masa Kanopusa je procjenjena na 8 do 9 masa Sunca. Fuzija vodika u helijum u jezgri Kanopusa je završena, i u toku je fuzija helijuma u ugljik i kisik. Jedan od mogućih scenarija je da će se fuzija nastaviti i fuzijom ugljika, ali da neće doći do stvaranja željeza – u tom slučaju bi Kanopus završio kao (rijetki) neonski bijeli patuljak.

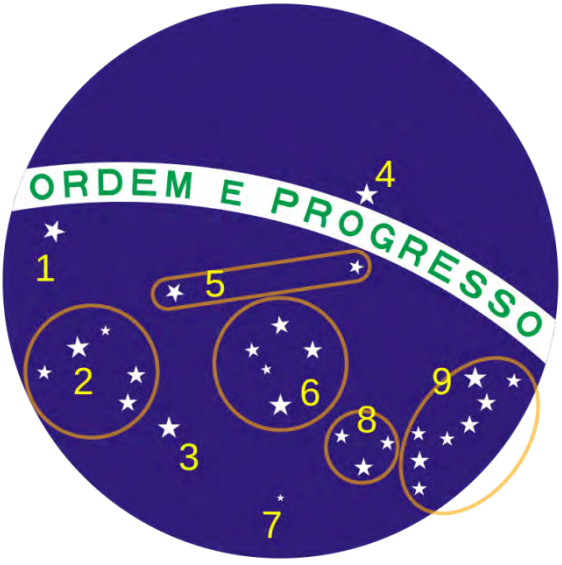
Mnogi narodi su poštovali ovu zvijezdu: u Africi Egipćani; u Aziji Japanci, Kinezi, Hindusi, Tibetanci i Perzijci, u Australiji Koori, Booring, Pirt-Kopan-noot, Kulin i Wailwun narodi kao i tasmanijski Aboridžini; u Sjevernoj Americi Navajo narod; na Bliskom istoku Mezopotamci i Arapi; a na Polineziji Tuamotu narod i Maori.

Kanopus se nalazi na zastavi Brazila, simbolizirajući državu Goias. U SAD-u i Velikoj Britaniji davali su brodovima ime Kanopus. Na Antarktici postoji planina Mount Canopus, a u Tasmaniji Canopus Hill (lokacija opservatorije istog imena).

U mnogim naučno-fantastičnim novelama, igrama, serijama i filmovima spominje se Kanopus: novela "Star Kings" (E. Hamilton),

novela “Star Birdge” (J. Gunn), novela “Shikasta (D. Lessing), novela “The Stars – My Destination (1956)” (A. Bester), “Dune” (F. Herbert), “Where No Man Has Gone Before” (TV serija Star Trek), “The Kidnappers” (TV serija), “The Ultimate Computer” (TV serija Star Trek), “The Eye of the Beholder” (TV serija Star Trek), “BattleTech” (igra), “Frontier: Elite II” i “Frontier: First Encounters” (igra), “Shin Megami Tensei: Devil Survivor 2 Record Breaker” (igra).

Stanovnici južne hemisfere imaju sreću i sa zvijezdama, ali i sa Mliječnim putem. Naime, sa juga se bolje vidi centralni (najzanimljiviji) dio Mliječnog puta (mi dio centra vidimo samo ljeti). Nama na sjeveru ostaje da se zadovoljimo Andromedom, najljepšom galaksijom u našoj blizini ili maglinama Orion (M42) ili Ro Zmijonosca (Rho Ophiuchi), spektakularnim zvjezdanim porodilištima.



Lista zvijezda i sazviježđa na zastavi Brazila: 1 – Procion, 2 – sazviježđe Veliki pas (najsjajniji Sirius), 3 – Kanopus, 4 – Spika, 5 – sazviježđe Hidra (najsjajnija Alfard), 6 – sazviježđe Južni krst, 7 – Sigma Oktanta (južna polarna zvijezda), 8 – sazviježđe Južni trougao, 9 – sazviježđe Škorpija (najsjajniji Antares) (izvor: wikipedia)

33. Ro Zmijonosca



Molekularni oblaci, prašina i magline regije Ro Zmijonosca. Na vrhu slike je zvjezdani sistem Ro Zmijonosca i plava maglina IC 4604. Istočno se vide trake (eng. streamers). *U centralnom dijelu je tamni region u kojem se formiraju zviejzde. Dole lijevo je sjajni Antares, dole u centru je skup zvijezda M4, a lijevo je zvijezda Al-Niyat* (Sigma Škorpije) *oko koje je crvenkasta maglina.* (copyright: Idir Saci)

Lokacija:	Sazviježđe Zmijonsca
Drugi nazivi:	5 Ophiuchi
Klasa	Subdiv i patuljak klase B
Prividna magnituda:	5,0; 5,9
Apsolutna magnituda:	-2,5; -1,6
Udaljenost:	360-390 svjetlosnih godina
Značaj:	Prototip tamnih oblaka prašine i mjesto kreiranja zvijezda

Većina ljudi divi se u Škorpiji Antaresu ili obližnjim sjajnim zvijezdama koje čine glavu Škorpije, ali u blizini (oficijelno u sazviježđu Zmijonosac) se nalazi još jedan pomalo zapostavljeni dragulj.

Sistem Ro Zmijonosca (Rho Ophiuchi AB) sastoji se od para zvijezda klase B2, udaljenih od nas 360-390 svj. godina. Međusobno su udaljeni 340-400 AJ i treba im 2000-2400 godina za jednu orbitu (oko zajedničkog težišta). Temperature oko 22400 K, emituju zračenje većinom u UV dijelu spektra. Svjetlija komponenta, mase 9 Sunčevih, je 4900 puta luminoznija od Sunca, a tamnija (mase 8 Sunčevih) oko 2100 puta. Obadvije zvijezde vjerovatno još uvijek vrše fuziju vodika u jezgri. Imaju velike rotacione brzine (oko 300 km/s) i na putu su da postanu emisione zvijezde koje značajno gube masu, poput Gama Kasiopeje.

Međutim, ništa od spomenutih karakteristika ne čini ovaj sistem specijalnim. Ono što izdvaja zvjezdani sistem Ro Zmijonosca je to što nalazi u veoma kompleksnim i vizuelno neobičnim maglinama, najbližim regionima formiranja novih zvijezda.

Zvijezde sistema Ro Zmijonosac nalaze se sjeverno od Antaresa, i okružene su plavom refleksionom maglinom (IC 4604) koja, kao i maglina Meropa, sjaji zbog obližnje zvjezdane svjetlosti raspršene zrncima prašine. Maglina IC 4604, koja ima prečnik oko 10 svjetlosnih godina, samo je dio gustih, tamnih, oblaka punih prašine. Toliko prašine se nalazi između nas i zvjezdanog sistema Ro Zmijonosca da je njegova svjetlost smanjena čak za šest puta.

Nadalje, ova prašina je veoma čudna. Generalno, međuzvjezdana zrnca prašine su obično manja od hiljaditog dijela milimetra (reda mikrometra), i ona apsorbuju i raspršuju plavu svjetlost mnogo bolje nego crvenu. Kao rezultat toga, svjetle refleksione magline su najčešće plavkaste boje, a zvijezde iza oblaka prašine su crvenije (tzv. crvenjenje, eng, reddening) nego što bi trebale biti na osnovu njihove temperature. Količina apsorpcije (koju vrši prašina) procjenjuje se standardnom formulom na osnovu zvjezdanog prividnog "crvenjenja". Naime, u fotometrijskim sistemima se međuzvjedano crvenjenje

(eng. interstellar reddening) može procjeniti kao razlika između posmatranog indeksa boje objekta i njegovog stvarnog (intrinzičkog) indeksa boje. UBV fotometrijski sistem (eng. Ulraviolet, Blue, Visual), nazvan Johnsonov sistem (ili Johnson-Morganov sistem), je širokopojasni fotometrijski sistem za klasificiranje zvijezda na osnovu njihove boje. Filteri u ovom sistemu su odabrani tako da su srednje talasne dužine: 364 nm za U filter, 442 nm za B filter i 540 nm za V filter. U UBV sistemu, crvenjenje se može dobiti formulom: $E_{B-V} = (B - V)_{posmatrano} - (B - V)_{intrinzičko}$. Prašina prema sistemu Ro Zmijonosca apsorbuje više svjetla nego što se očekuje, što znači da su zrnca prašine dosta veća od prosjeka. Niko zasad ne zna zašto.

Oko ove refleksione magline nebo postaje prašinasto (skoro crno). Idući kao istoku nalazi se zanimljiva grupa tamnih "traka" (eng. streamers), dugačkih oko 100 svjetlosnih godina. Kontrast plavih, crvenih i tamnih maglina, sa pozadinskim osvjetljenjem miliona zvijezda u Mliječnom putu je nevjerovatan prizor na nebu i česta meta astrofotografa.

Tamni oblaci su ovdje rashlađeni prašinom koja blokira svjetlost sa zvijezda (koja bi ih inače zagrijavala). Hlađenje rezultira formiranjem molekula kao što su karbon dioksid i voda, ali i mnogih drugih, kompleksnijih molekula. Unutar ovih molekularnih oblaka nalaze se regioni većih gustina, gdje se formiraju zvijezde. Posmatranja u radio i infracrvenom dijelu spektra (ovi dijelovi spektra mogu se probiti kroz prašinu) pokazuju guste čvorove materije koja uslijed gravitacije počinje da se sažima u zvijezde – od protozvijezda gdje je proces formiranja već počeo do aktivnih mladih zvijezda T Bika (T Tauri).

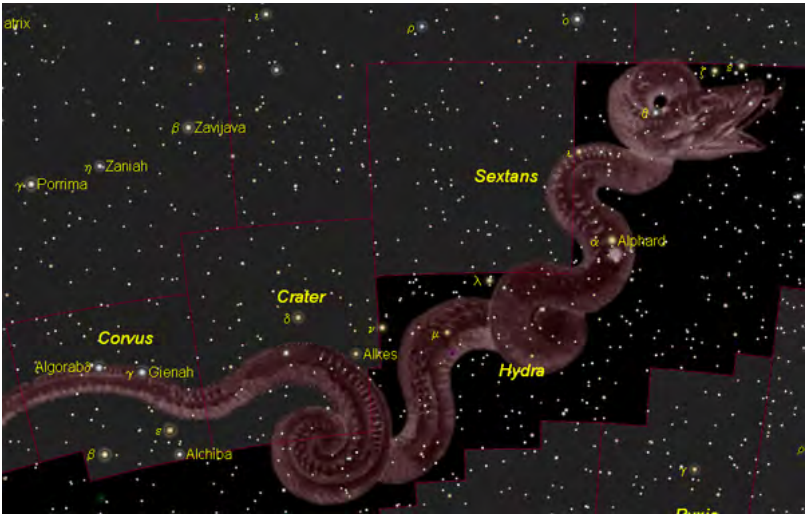
Posebno je zanimljiv tamni region na istočnoj strani ovog kompleksnog oblaka, oko 50 svjetlosnih godina udaljen (u pozadini) od refleksione magline IC 4604. Ovdje se u prostoru prečnika nekoliko svjetlosnih godina nalazi nekoliko zvijezda koje se upravo rađaju.

Kako zvjezdani sistem Ro Zmijonosca bude evoluirao, završiće kao par masivnih bijelih patuljaka koje će zamjeniti neke nove zvijezde.

One će jednog dana napustiti svoje "gnijezdo" (porodilište) kako bi zauzele svoje mjesto u Mliječnom putu.

Iako naše oči ne mogu vidjeti kroz ove kompleksne molekularne oblake, gasove i prašinu, možemo se diviti ljepoti vidljivog dijela Ro Zmijonosca, ali i onome što se događa duboko u njegovoj unutrašnjosti.

34. Alfard



Sazviježđe Hidra (Vodena zmija) *sa Alfardom u svom centralnom dijelu* (izvor: earthsky.org)

Lokacija:	Sazviježđe Hidra (Vodena zmija)
Drugi nazivi:	Alfa Hidre, Cor Hydrae
Klasa	Narandžasti div klase K
Prividna magnituda:	1,98
Apsolutna magnituda:	-1,69
Udaljenost:	180 svjetlosnih godina
Značaj:	Jedna od najsvjetlijih barijumskih zvijezda

Alfard se slučajno nalazi u dijelu neba na kojem se prividno ne vidi mnogo zvijezda (jugozapadno od Regulusa). U skladu sa tim, njeno ime na arapskom znači "usamljena". To je najsjajnija zvijezda sazviježđa Hidra (najdužeg sazviježđa na nebu), mitske Vodene zmije koja se migolji nebom (u proljeće je najbolje vidljiva sa naših područja). Na prvi pogled, Alfard je još jedan narandžasti div klase K, kao Arktur, ali luminozniji. Prividne magnitude 1,98, starosti oko 420 miliona

godina, mase 4,5 masa Sunca, udaljen je od nas oko 180 svjetlosnih godina. Uključujući infracrveno zračenje sa svoje površine temperature 4260K, luminoznost mu je 750-950 puta veća od Sunčeve. Da bi bio tako sjajan, zvijezda mora biti veoma velika. I zaista, Alfard je 50-60 puta veći od Sunca, i ako bi se postavio na njegovo mjesto u solarnom sistemu, njegova površina bi dosezala skoro do 2/3 orbite Merkura.

Zvijezda ne bi bila od naročitog interesa da nema zanimljiv spektar. Alfard je primjer tzv. barijumske zvijezde. One imaju neobično jake apsorpcije u plavo-ljubičastom dijelu spektra, uzrokovane jonizovanim barijumom (element rednog broja 56 u periodnom sistemu elemenata). Uz barijum, primjetne su i značajne količine ugljika, stroncijuma i još nekih elemenata.

Trijumf astrofizike XX vijeka je otkriće da svi elementi osim vodika, helijuma i nešto litijuma nastaju u zvijezdama. Naša Zemlja je formirana od ostataka ranih zvijezda.

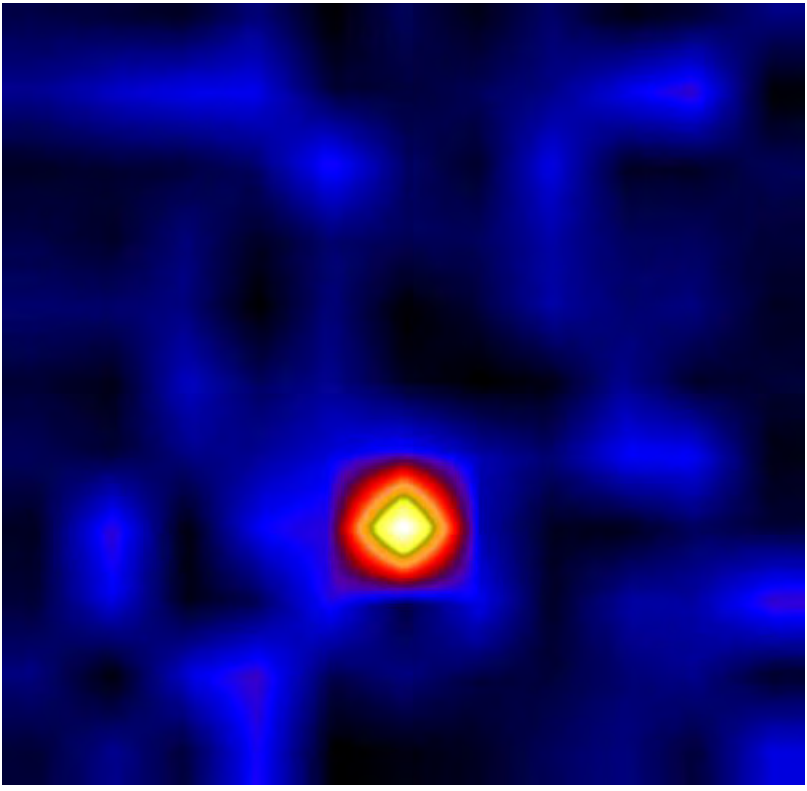
Barijum se, generalno, kreira duboko u unutrašnjosti divovskih zvijezda koje imaju "izgorena" karbonska jezgra okružena ljuskama u kojima se helijum još uvijek pretvara u ugljik. Unutar takvih ljuski, atom teži od željeza može "uhvatiti" slobodne neutrone (jedan po jedan), što povećava izotopski broj atoma. Kada uhvati dovoljno neutrona, atom postaje radioaktivan. Tada se neutron u jezgri atoma pretvara u proton, izbacujući pri tome negativno naelektrisani elektron, što uzrokuje da se originalni atom pretvori u slijedeći teži hemijski element. Kroz ovaj (spori) proces hvatanja neutrona, cezijum postaje barijum, barijum postaje lantan, itd. Ovi svježe kreirani hemijski elementi konvekcijom kasnije dolaze do površine zvijezde.

Međutim, Alfard (i grupa barijumskih zvijezda općenito) imaju specifičnu strukturu. Umjesto ljuski helijuma, one imaju jezgre od helijuma. Strukture potrebne za spori proces hvatanja neutrona su rezervisane za masivnije (i evolucijski napredovale) zvijezde, kao što je Mira. Odakle onda dolazi barijum?

Analize barijumskih zvijezda pokazale su da su one vjerovatno dvojne zvijezde u kojima glavnu zvijezdu prati bijeli patuljak (poput Siriusa B) – zvijezda koja je nekad bila "normalna" (kao Sunce). Da bi postala bijeli patuljak, zvijezda mora proći cijeli životni ciklus, uključujući i fazu kada se u njoj nakupljaju elementi kao što su ugljik, barijum i drugi. Dok je ova zvijezda pratilac bila u fazi diva, vjerovatno je prenijela dio materije na susjednu (sada glavnu) zvijezdu (tada normalnu zvijezdu patuljka) slično kao što se sada dešava u sistemu Algol, obogaćujući je težim elementima. Zvijezda koju danas vidimo kao Alfard zaočela je proces vlastite smrti nakon što je pratilac već postao bijeli patuljak, i sada vidimo po površini Alfarda ostatke ove zvijezde pratioca. I Alfard će završiti kao bijeli patuljak (mase 0,8 Sunčevih), prije čega će svemir počastiti još jednom planetarnom maglinom.

Ovaj proces je još jedan rezultat razmjene materijala među zvijezdama koja ne samo da može voditi do obogaćenja susjedne zvijezde novim elementima, već i do nezamislivo nasilnih (ekstremnih) fizikalnih procesa.

35. X-1 Labuda (Cygnus X-1)



Rendgenski snimak Cygnus X-1
(copyright: High Energy Replicated Optics (HERO) project; NASA)

Lokacija:	Sazviježđe Labud
Drugi nazivi:	HDE 226868
Klasa	Superdiv klase O i crna rupa
Prividna magnituda:	8,8
Apsolutna magnituda:	-9,3
Udaljenost:	6000-7000 svjetlosnih godina
Značaj:	Jedan od najpoznatijih kandidata za crnu rupu

Generalno govoreći, za dato gravitacijsko polje i položaj, kosmička brzina (brzina oslobađanja) je brzina koju treba postići tijelo kako bi se bez dodatne sile potiska oslobodilo gravitacijskog polja nekoga nebeskog tijela i počelo udaljavati u međuplanetarni prostor. Da bi tijelo napustilo Zemlju, potrebno je da ima početnu brzinu (druga kosmička brzina) veću od 11,2 km/s (za Mjesec ona iznosi oko 2 km/s). Da bi napustili Sunčev sistem, potrebno je da letjelica ima početnu brzinu (treća kosmička brzina) veću od 16,2 km/s. Pri početnim brzinama većim od 290 km/s tijelo može napustiti i našu galaksiju (četvrta kosmička brzina). Druga kosmička brzina za Jupiter iznosi 61 km/s, a za Sunce 617 km/s.

Situacija se komplikuje kada zvijezde umiru. U stadiju bijelog patuljka (prečnika sličnog Zemljinom), potrebno je da, uslijed velike gustine zvijezde, (hipotetsko) tijelo ima početnu brzinu veću od 5000 km/s, a u slučaju neutronske zvijezde (prečnika oko 20 km) ta brzina iznosi 200000 km/s.

Ali kada se zvijezda sabije na prečnik oko 10 km, tada ni svjetlost ne može pobjeći sa zvijezde jer je potrebna brzina preko 300000 km/s da tijelo napusti zvijezdu. Ove zvijezde su toliko guste da ne mogu podržavati same sebe i postaju crne rupe. Imaju prečnik (horizonta događaja) 10 – 100 km. Uz izuzetak gravitacije, ove zvijezde "nestaju". Tačnije objašnjenje, prema teoriji relativnosti (A. Einstein), je da ove zvijezde predstavljaju puknuće samog prostor-vremenskog kontinuuma. Da li takve zvijezde stvarno postoje?

Zamislite dvije masivne zvijezde u međusobnoj orbiti (svaka mase veće od 10 Sunčevih masa), nešto slično kao u sistemu Gama-2 Jedra (Gamma-2 Velorum). Masivnija zvijezda prva evoluira, njeno jezgro kolapsira i zvijezda eksplodira kao supernova. Jezgro ove zvijezde može postati neutronska zvijezda. Međutim, ako je početna masa zvijezde odgovarajuća (pretpostavlja se iznad 40 Sunčevih masa), jezgro može kolapsirati u crnu rupu. Kako pratilac evoluira i širi se, plimni uticaji mogu razvući tijelo u ovalni oblik, iz kojeg otiče materija i kreće se u obliku diska oko ostataka umrle zvijezde. Ovi sistemi su

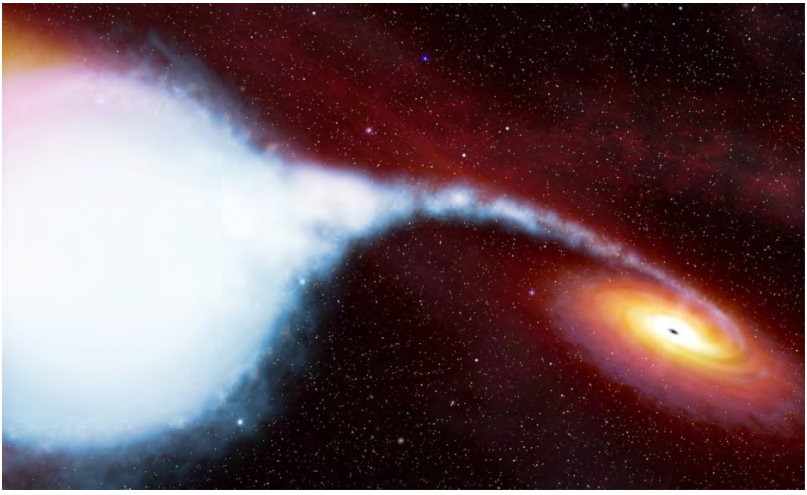
poznati i kao mikro-kvazari (kvazari se odnose na supermasivne crne rupe u centrima galaksija). Materija se u ovom slučaju toliko zagrije da emituje rendgensko zračenje. Još uvijek ne znamo ni za jedan drugi proces koji može proizvesti takve količine zračenja visoke energije.

Rentgenske zrake se, dakle, najvjerovatnije stvaraju trenjem u plinu i prašini usisnog lijevka oko Cyg X-1 koji akrecijom "siše" svog susjeda superdiva. Bilo šta što se spiralno kreće prema crnoj rupi obrće se tolikim brzinama da pri tome nastaje rendgensko zračenje. I zaista, skoro da možete vidjeti kosti na svojoj ruci kada podignete ruku u pravcu Cygnus X-1.

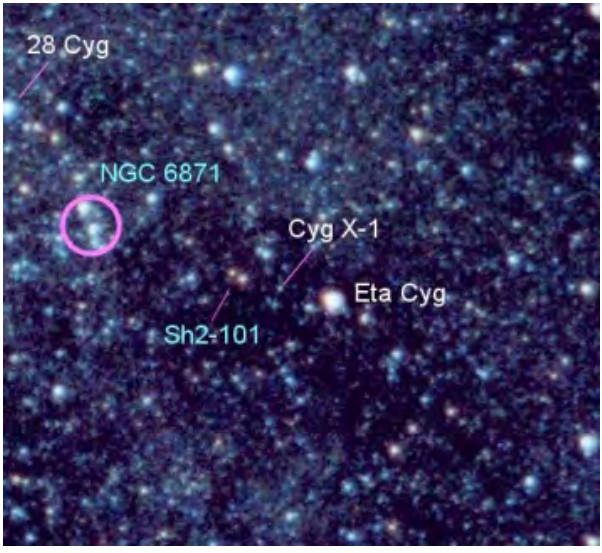
Postoje zvijezde koje odgovaraju upravo tom scenariju. X-1 Labuda (Cygnus X-1) se čini kao superdiv klase O. Naziva se i HDE (Henry Draper Extension) 226868 i ne može se vidjeti golim okom. Za razliku od normalnih zvijezda, ovaj div emituje rengdenske zrake visoke energije. Njegov spektar koji se kontinualno mijenja govori nam da se zvijezda kreće oko nevidljivog pratioca. Analiza kretanja ovog superdiva pokazuje da ima masu 25-35 Sunčevih, temperaturu oko 30000 K, 23 Sunčeva radijusa i luminozitet oko 400000 puta veći od Sunčevog. Masa pratioca se procjenjuje na 13-23 Sunčevih, daleko iznad teoretske granice za neutronske zvijezde (3 mase Sunca). Taj pratilac može samo biti crna rupa. Ove dvije zvijezde su u međusobnoj orbiti perioda 5,6 dana. Međusobno su udaljene oko 0,24 AJ (52 Sunčeva radijusa) – dvostruka vrijednost radijusa superdiva u sistemu. Veća zvijezda u sistemu akrecijom (temperatura zagrijane materije mjeri se milionima K) gubi oko tri milionita dijela mase Sunca godišnje. Zvijezde ovog binarnog sistema, početne mase 80-100 i 40-50 Sunčevih, stare su 3-4 miliona godina. Od nas su udaljene 6000-7000 svj. godina.

Za razliku od nekih drugih, ovaj zvjezdani sistem (tačnije superdiv u sistemu) možete vidjeti teleskopom.

Tamna međuzvjezdana prašina koja leži na pravcu od nas prema zvijezdi HDE 226868 djelimično sakriva zvijezdu (smanjuje joj sjaj 25 puta). Da nema prašine i međuzvjezdane materije, ova zvijezda bi bila vidljiva golim okom, prividne magnitude 5,34.



Umjetnički doživljaj HDE 226868 (binarni sistem X-1 Labuda)
(copyright: ESA/Hubble)



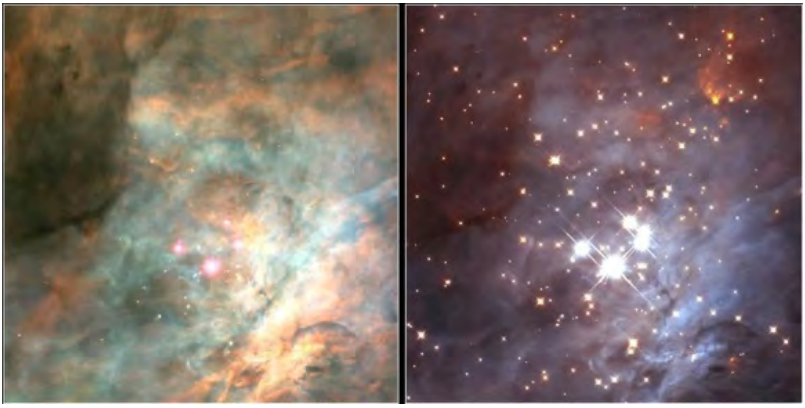
Položaj X-1 Labuda na nebu. Da nema prašine i međuzvjezdane materije, zvijezda bi bila vidljiva golim okom
(izvor: stars.astro.illinois.edu)

Crna rupa X-1 Labuda je bila tema prijateljske (naučne) opklade između fizičara Stephena Hawkinga i Kipa Thorna iz 1974. godine, u kojoj se Hawking kladio da ovo nije crna rupa. Hawking je priznao poraz 1990. godine i kao nagradu dobio godišnju pretplatu na erotski časopis Penthouse. Hipoteza o ovoj crnoj rupi još uvijek nije prihvaćena jer nema direktnih dokaza, ali se generalno smatra dovoljno tačnom zbog mnoštva indirektnih dokaza.

Astronomi smatraju da se u centru naše galaksije nalazi supermasivna crna rupa udaljena od nas 26000 svjetlosnih godina, u regiji koja se zove Strijelac A* (Sgr A*). Strijelac A* je svjetli i kompaktni radio izvor (u vidljivom dijelu spektra se ne vidi zbog galaktičke prašine koja ga sakriva) u središtu galaksije, blizu granice sazviježđa Strijelac i Škorpija. To je dio većeg područja na nebu poznatog kao Strijelac A. Jedan od najjačih dokaza za ovu tvrdnju je zvijezda S2 koja prati eliptičnu orbitu (kreće se brzinom preko 5000 km/s oko crne rupe) sa orbitalnim periodom od 15,2 godine, sa pericentrom (najbliža udaljenost) koji je od središnjeg objekta udaljen 17 svjetlosnih godina (120 AU). Iz kretanja zvijezde S2 možemo procijeniti masu središnjeg objekta na 4,1 miliona Sunčevih masa. Poluprečnik središnjeg objekta mora biti dosta manji od 17 svjetlosnih sati jer bi se zvijezda S2 s druge strane sudarila sa crnom rupom ili bi bila smrvljena zbog plimnih sila. Nedavna promatranja ukazuju da poluprečnik nije veći od 6,25 svjetlosnih sati što je u usporedbi sa poluprečnikom Uranove orbite. Prema tome, samo je crna rupa dovoljno gusta da u tom volumenu prostora sadrži 4,1 miliona Sunčevih masa.

Približni položaj centra naše galaksije (i supermasivne crne rupe) najbolje je tražiti uz pomoć asterizma zvanog "Strijelčev čajluk" (Sagittarius teapot) kojeg svi prepoznajemo na nebu, i to u periodu od jula do septembra. Ovaj asterizam je na sjevernoj polulopti najviši na nebu početkom jula. To ujedno znači i da je astrofotografsko snimanje Mliječnog puta najbolje raditi u tom periodu.

36. Theta-1 Oriona



Trapez u vidljivom (lijevo) *i IC dijelu spektra* (desno)
(copyright: Hubble teleskop; NASA)

Lokacija:	Sazviježđe Orion
Drugi nazivi:	Trapez
Klasa	Zvijezde klase B i O
Prividna magnituda:	6,7; 8,0; 5,1; 6,7; 4,7 zajedno
Apsolutna magnituda:	-3,2; -1,9; -4,8; -3,2
Udaljenost:	1400 svjetlosnih godina
Značaj:	Centralne zvijezde koje stvaraju maglinu Orion, 11 zvijezda

Ispod Orionovog pojasa, nalazi se Orionov "mač", u čijem centru leži jedan od najljepših prizora noćnog neba – maglina Orion. Ovo nebesko porodilište, udaljeno 1500 svjetlosnih godina od nas, ima prečnik oko 20 svjetlosnih godina, osvjetljeno je vrućim zvijezdama sistema Theta-1 Oriona koje se nalaze tačno ispred njega. Maglina je dio mnogo veće strukture, poznate kao Orionov molekularni oblak koji uključuje cijelo sazviježđe Orion, tzv. "Barnardovu petlju", maglinu "Konjska glava", M43, M78, i maglinu "Plamen".

Teleskopom se vidi da je Theta-1 Oriona kvartet zvijezda (približan oblik trapeza) označenih kao Theta-1 A, B, C i D, idući od zapada ka istoku. Smještene na prostoru od oko 10000 AJ, ovo su vruće zvijezde klase O i B koje zajedno imaju prividnu magnitudu 4,7. Odvojeno, one imaju prividne magnitude 6.7, 8.0, 5.1, i 6.7, i klase B1, B0, O6, i B0.5. Zajednički luminoziet im je oko 250000 puta veći od Sunčevog. Sve zvijezde trapeza doprinose svojom svjetlošću u UV području spektra, visokoenergetskim zračenjem koje jonizuje okolne atome (pretežno vodik), stvarajući pri tome maglinu Orion. Hvatanje ovih odbjeglih elektrona od strane protona i drugih jezgri uzrokuje da maglina svjetli, na sličan način kao što je to npr. slučaj sa planetarnim maglinama NGC 6543 i NGC 7027.

Lider grupe je Theta-1 C, mase oko 40 Sunčevih, temperature oko 40000 K (najtoplija zvijezda neba vidljiva golim okom), sa luminozitetom 210000 puta većim od Sunčevog (85% luminoziteta cijelog trapeza, i 95% zračenja u UV dijelu spektra). Zvjezdani vjetrovi na ovoj zvijezdi su brzine preko 1000 km/s i brzina toka im je 100000 puta veća nego kod Sunca. Energija zračenja ove zvijezde je tolika da dovodi do isparavanja protoplanetarnih diskova sa okolnih mladih zvijezda (tip T Tauri).

Ostale zvijezde sistema, mase nešto preko 10 Sunčevih, su manje "radikalne". Ono što ih izdvaja je njihova brojnost, tj. pripadnost odvojenim zvjezdanim sistemima. Theta-1 A je pomračujuća dvojna poznata kao V 1016 Ori. Svakih 65 dana dolazi do pada u sjaju zvijezde uslijed međusobnog orbitiranja (srednja udaljenost 1 AJ). Ovaj sistem ima i pratioca udaljenog oko 100 AJ, što sistem čini trostrukim. Theta-1 D takođe ima pratioca. Međutim, šampion je Theta-1 B koji ima pratioca nazvanog B1. Obje ove zvijezde, koje se nalaze na međusobnoj udaljenosti oko 60 AJ i periodom orbite od oko 6,5 dana, su takođe dvojni sistemi. Uključujući sve zvijezde u sistem (i zvijezdu Theta-1 E koja je blizu), trapez je sistem od 11 zvijezda.

Jedan rad iz 2012. sugeriše da bi se u trapezu mogla nalaziti crna rupa mase preko 100 puta veće od Sunca, čime bi se objasnile velike razlike u brzinama zvijezda.



Maglina Orion (M42). *Trapez se nalazi u centralnom dijelu slike i ne vidi se jasno* (radi ekspozicije). (copyright: Ivan Jevremović)

To nije sve jer se smatra da je trapez jezgro većeg, gustog skupa u kojem se nalazi preko 2000 zvijezda. Trapez je gravitaciono nestabilan jer su zvijezde preblizu jedna druge. Kao rezultat toga, jedna za drugom biće izbačene iz sistema. Za nekoliko miliona godina, njihov lider Theta-1 Oriona prvi će eksplodirati kao supernova, a vjeruje se da će i ostale slijediti sličan put (neke bi mogle postati bijeli patuljci). To će dovesti do još većeg osvjetljenja gasova i prašine oko njih i formiranja udarnih talasa koji će dovesti do rađanja novih zvijezda u lokalnim molekularnim oblacima.

37. HD 4113



HD 4113 je zvijezda u centru slike (copyright: Wikisky / SETI)

Lokacija:	Sazviježđe Kipar
Drugi nazivi:	GC 858, HIP 3391, SAO 192693
Klasa	Patuljak klase G
Prividna magnituda:	7,88
Udaljenost:	136 svjetlosnih godina
Značaj:	Ima planetu velikog ekscentriciteta i smeđeg patuljka u orbiti

HD 4113 je zvijezda koja sama po sebi možda ne bi predstavljala veliku zanimljivost. Pomalo podsjeća na naše Sunce: to je G5 zvijezda, što znači da je riječ o zvijezdi mase slične masi Sunca, ali ovdje se radi o nešto hladnijoj zvijezdi (manje površinske temperature). Njena starost se procjenjuje na između 5 i 8 milijardi godina. Zvijezda nije pretjerano udaljena od nas, oko 136 svjetlosnih godina, ali još uvijek vam je potreban (barem) dvogled da je vidite. Ne bi bilo loše ni da se nalazite što više prema jugu jer se zvijezda nalazi u sazviježđu Kipar (Sculptor) i ne prolazi značajno iznad horizonta za većinu nas na

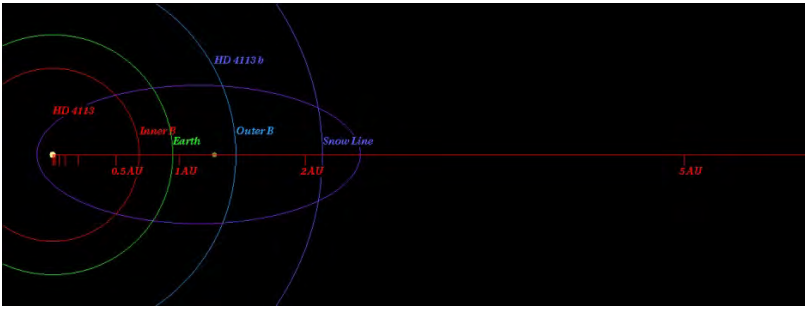
sjevernoj hemisferi. Zanimljivo je da je Lacaille sazviježđu dao ime Kipar kao znak zahvalnosti kiparu koji mu je napravio skulpturu jer navodno nije bio u stanju da mu plati.

Poznato je da zvijezda HD 4113 ima pratioca: tamnog crvenog patuljka mase oko pola mase Sunca. Patuljak kruži oko veće zvijezde na priličnoj udaljenosti, oko 300 milijardi kilometara daleko. To je gotovo 70 puta više nego udaljenost od Neptuna od Sunca!

Veliki dio zvijezda u galaksiji su dio binarnih sistema, tako da ni ova činjenica ne svrstava HD 4113 u posebnu kategoriju (u sistemu sa više zvijezda, najsjajnija zvijezda dobiva oznaku A, sljedeća najsjajnija B i tako dalje). Dakle, zvijezda nalik Suncu u ovom sistemu je HD 4113A, a crveni patuljak je HD 4113 B. Sam naziv zvijezde predstavlja 4113. unos u Henry Draperovom katalogu zvijezda.

Međutim, stvari postaju malo zanimljivije kad saznate da glavna zvijezda HD 4113A ima planet koji se kreće oko nje. Mnoge, ako ne i većina zvijezda u galaksiji, imaju planete, ali ovaj planet je čudan. Orbita mu je izuzetno eliptična, ima ekscentricitet od oko 0,9, što znači da planet u jednom trenutku bude dosta daleko od zvijezde, a u drugom prilično blizu zvijezde. U periastronu (najmanja udaljenost tijela od zvijezde) ta udaljenost iznosi tek 19 miliona kilometara, što je bliže nego udaljenost Merkura od Sunca. U apastronu (najudaljenijem položaju tijela oko zvijezde) udaljenost iznosi 365 miliona kilometara, što je dalje nego udaljenost Marsa od Sunca!

To znači da u najbližoj tački od zvijezde HD 4113A, ovaj planet dobija oko 360 puta više svjetlosti i topline od zvijezde nego kada je u najdaljoj tački. Zamislite godišnje doba na tom planetu! Zimi je vjerovatno dovoljno hladno da se ugljični dioksid zamrzne u atmosferi kao suhi led, a ljeti je dovoljno vruće da se istopi olovo! Jedan obilazak ove planete oko matične zvijezde traje oko 1,5 zemaljskih godina, tako da se ti ekstremi smjenjuju prilično brzo.



Orbita egzoplaneta HD 4113Ab (ljubičasta boja) iznimno je eliptična, dovodeći planet vrlo blizu i vrlo daleko od njegove zvijezde (žuta tačka, lijevo). Zemljina je orbita u ovom dijagramu zelena, unutrašnji crveni i vanjski plavi krug predstavljaju zonu pogodnu za nastanak života, a ljubičasta vanjska linija je tzv. "snježna linija" – udaljenost od zvijezde gdje se voda smrzava. Udaljenost 1 AU je udaljenost između Zemlje i Sunca. (copyright: Kyoto University Extrasolar Planet Catalog / CC BY-NC 4.0)

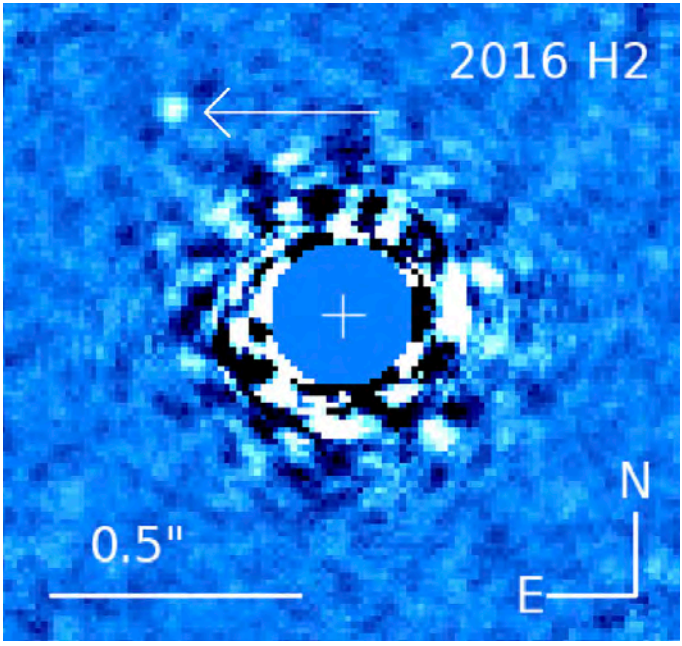
Planet, nazvan HD 4113Ab (planeti se imenuju po matičnim zvijezdama s malim slovom, počevši od b, po redoslijedu otkrića), vjerojatno je gasoviti div sa masom 1,5 puta većom nego kod Jupitera. Teško je i pokušati zamisliti kako te ekstremne temperature utiču na atmosferu planeta. Jupiter ima divlje atmosferske uslove, a njegova orbita je skoro pa kružna!

Planet HD 4113Ab je otkriven u istraživanju obližnjih zvijezda sličnih Suncu: astronomi su posmatrali 1650 zvijezda na udaljenosti do oko 160 svjetlosnih godina, pri čemu su pažljivo ispitivali gravitacijski uticaj okolnih planeta na zvijezde. Gravitacija zvijezde uzrokuje da se planet kreće oko nje, ali i planet ima gravitaciju. Zbog toga se zvijezda kreće po (mnogo manjem) krugu (zapravo, elipsi) – vrši tzv. refleksiono kretanje koje se može otkriti pomoću Dopplerovog efekta. Pomoću ove metode mogu se pronaći ne samo planete, već i veličina i oblik njihovih orbita, kao i procjeniti masu samih planeta.

Planeta je potvrđena 2008. godine, nakon nekoliko godina posmatranja zvijezde. Odmah je uočeno da je to vrlo zanimljiv planet, budući

da ima neobično ekscentričnu orbitu; samo dva poznata egzoplaneta imaju orbitu većeg ekscentriciteta – HD 20782b i HD 80606b.

Ali otkriveno je i nešto drugo, nešto tajanstveno: refleksiona brzina zvijezde mijenjala se i tokom vremena. Ova promjena pokazivala se superponirano uz dosta brže kretanje koje je posljedica uticaja planete na zvijezdu. To praktično znači da se još nešto kreće oko zvijezde, nešto što se nalazi na još većoj udaljenosti od zvijezde. To ne može biti crveni patuljak, koji je previše udaljen od zvijezde da utiče na nju na ovaj način. Zato mora postojati još jedan član ovog zvjezdanog sistema. Kao bonus, to bi također moglo objasniti ekscentričnu planetarnu orbitu; planet je vjerovatno formiran na kružnoj orbiti, ali mu je taj misteriozni objekt orbitu pretvorio u izduženu elipsu.



Smeđi patuljak HD 4113C može se vidjeti na gornjoj lijevoj strani ovog infracrvenog snimka zvijezde HD 4113A. Njegovo postojanje bilo je pretpostavljeno prije gotovo deset godina, a sada je potvrđeno.
(copyright: Cheetham et al)

Šta bi taj objekt mogao biti? Pretraživanja u početku nisu donijela nikakve rezultate. Ali, koristeći se visoko-razlučivom kamerom pod nazivom SPHERE (European Southern Observatory's Very Large Telescope), astronomi su otkrili misteriozno tijelo: smeđi patuljak, objekt mase na granici između mase zvijezde i mase planete. Vidjeli su ga izravno, tj. dobili su stvarnu sliku ovog objekta u okolini zvijezde!

Gornja slika je snimljena u bliskom infracrvenom području spektra, dijelu spektra koji se nalazi izvan onoga što ljudsko oko može vidjeti. Primarna zvijezda, HD 4113A, izuzetno je svjetla (više od 150000 puta svjetlija od smeđeg patuljka na ovoj talasnoj dužini) pa je digitalno uklonjena sa snimka. Smeđi patuljak, nazvan HD 4113C, može se vidjeti na gornjoj lijevoj strani slike kao bijela tačka. Udaljen je oko 3 milijarde km od zvijezde (to je njegova projicirana udaljenost, a mogao bi biti i dalje). Za jedan obrtaj oko zvijezde treba mu oko 200 godina, što znači da se nalazi na udaljenosti od zvijezde sličnoj kao udaljenost Urana od Sunca. Orbita mu je eliptična, premda nije toliko ekscentrična poput orbite planete HD 4113Ab.

Ali to još uvijek nije sve! Boja ovog smeđeg patuljka (određena posmatranjem kroz različite filtere) pokazuje da mu je masa vjerovatno oko 30 puta veća nego masa Jupitera, što znači da ima vrlo nisku temperaturu, između 225 – 325° C. Ali gledajući na to kako masa utiče na planet gravitacijski, svi su izgledi da ovaj planet ima dosta veću masu, oko 60 puta veću od Jupiterove. Kako riješiti ovaj problem? Pa... možda je u pitanju binarni smeđi patuljak! Ako su dva smeđa patuljka u bliskoj orbiti, svaki mase od oko 30 puta veće od Jupiterove, onda bi boja svakog patuljka izgledala ispravno, a kombinirana masa bila bi im 60 Jupitera. To još nije dokazano, ali čini se kao najjednostavnije objašnjenje.

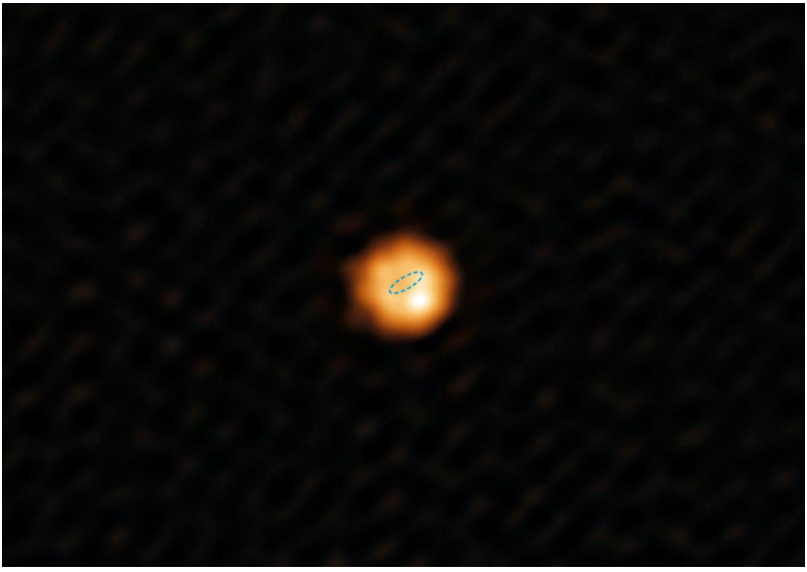
Iznenađujuće, kada su astronomi izračunali kako ovaj smeđi patuljak (ili možda patuljci?) utiče na planetu, otkrili su da može promijeniti orbitu planete iz gotovo savršenog kruga u izduženu elipsu i natrag u samo nekoliko stotina hiljada godina! To je relativno kratko vrijeme u kozmičkoj vremenskoj skali. A također utiče i na orbitalni nagib planete.

Dakle, da sumiramo: imamo zvijezdu sličnu Suncu, koju orbitira crveni patuljak koji je prilično daleko. Planet mase slične Jupiteru orbitira veću zvijezdu mnogo bliže u ekstremno eliptičnoj orbiti koja se mijenja (kozmički) u vrlo kratkom vremenskom intervalu, zbog smeđeg patuljka na 200 godišnjoj orbiti, a ovaj patuljak bi zapravo mogla biti dva smeđa patuljka koja kruže oko zajedničkog težišta u isto vrijeme.

Ovaj sistem je zaista veoma zanimljiv. A evo što je najzanimljivije od svega: vjerovatno ovaj sistem nije ni po čemu poseban. U našoj galaksiji vjerovatno postoji mnogo zvjezdanih sistema poput ovog. Koliko god ovaj sistem izgledao čudan, on ustvari nije čudan. Vjerovatno nije ni rijedak. Možda se treba zapitati: koliko smo mi kao solarni sistem čudni? Još uvijek nismo pronašli planetarni sistem poput našeg. Pronašli smo one s puno planeta, ali još uvijek postoje velike razlike između tih sistema i našeg. Pronalaženje sistema poput našeg pomoću postojećih metoda nije lagan zadatak i vjerojatno ćemo u tom procesu naići na mnogo čudnih sistema.

Proveli smo, dakle, čitavu našu historiju misleći da zvjezdani sistemi moraju biti poput naših. A sada učimo da nisu. Zapravo su potpuno drugačiji. Postoji vjerovatno mnogo sistema poput naših koji još uvijek čekaju da ih pronađemo, ali u našoj galaksiji ima ogroman broj sistema sa veoma različitim strukturama. I to je ono što je tako zanimljivo u ovom sistemu. Ne ono što on jest, već ono što on implicira: da smo i mi možda čudni.

38. W Hidre



W Hidre sa orbitom Zemlje oko Sunca ucrtane u centru slike (ALMA teleskop) (izvor: SyFy Wire)

Lokacija:	Sazviježđe Hidra (Vodena zmija)
Drugi nazivi:	W Hidre
Klasa	Crveni div klase M
Prividna magnituda:	5,7 – 10
Apsolutna magnituda:	-1,7
Udaljenost:	375 svjetlosnih godina
Značaj:	Zvijezda koja se proširila više od 100 puta u odnosu na početnu veličinu

Kako će izgledati naše Sunce kada dođe u fazi crvenog diva u dalekoj budućnosti za nekoliko milijardi godina? Izgledaće najvjerovatnije kao zvijezda na gornjoj slici. Upoznajte W Hidre, ogromnu zvijezdu koja se proširila više od 100 puta u odnosu na svoju početnu veličinu.

W Hidre je varijabilna zvijezda (tipa Mira), spektralne klase M7.5III, u sazviježđu Hidra (Vodena zmija) sa periodom varijabilnosti 361 dan. Zvijezda se nalazi na oko 375 svjetlosnih godina od Sunca. Ima prividnu magnitudu u opsegu od 5,7 do 10.

Gornja slika prikazuje snimak zvijezde W Hidre teleskopom ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) u Čileu. Teleskop ALMA snima objekte daleko izvan opsega ljudskog oka. Posmatra talasne dužine od oko 1mm (otuda i ime), hiljaditi dio najcrvenijeg svjetla koje možemo vidjeti. Ovaj tip zvijezda odaje dosta svjetlosti pri tim talasnim dužinama, tako da je ALMA odličan alat za njihovo posmatranje.

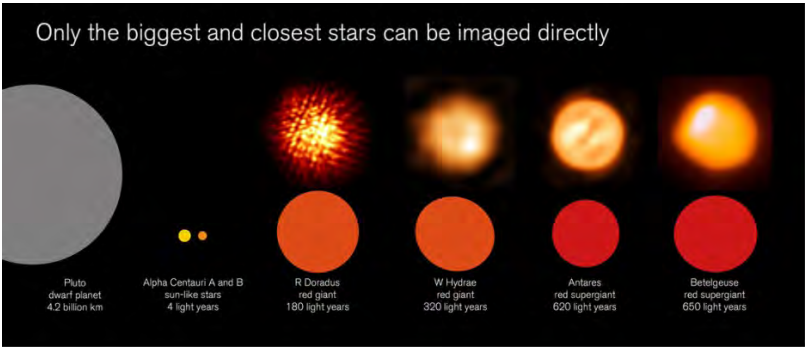
ALMA teleskop koristi nekoliko antena raspoređenih na ogromnom prostoru i kombinira njihovu snagu, u osnovi djelujući kao jedna antena prečnika nekoliko kilometara. To ovom teleskopu daje nevjerovatnu rezoluciju, čak i za snimanje fenomenalno malih objekata. Iako je W Hidre velika zvijezda, na udaljenosti većoj od preko 370 svjetlosnih godina ona je veoma mala. Trebate nešto poput ALMA teleskopa da biste je mogli vidjeti kao nešto veće od tačke.

W Hidre je veoma zanimljiva zvijezda. Mase otprilike jednake Suncu, ali mnogo je starija. Već je potrošila svoje gorivo (vodik) i proširila se do nevjerovatne veličine. Na gornjoj slici ucrtana elipsa predstavlja orbitu Zemlje, ali W Hidre je dvostruko veća od toga, prečnika preko 600 miliona kilometara. To je zaista jedna gigantska zvijezda.

S druge strane, zvijezda praktično uopšte nije tamo. Vanjski slojevi zvijezde su se toliko proširili da je njihova gustoća znatno pala. Čak i ako ste bili fizički unutar zvijezde, odmah ispod njene vidljive "površine", tamo ima toliko malo atoma po kubnom centimetru, da bi bilo kao da je vakuum. Veoma vrući vakuum.

Astronomi su očekivali da će vanjski dio zvijezde biti prilično gladak, ali zapravo se može vidjeti nekoliko svjetlih mjesta. To su vruće tačke, uključujući i onu vrlo svjetlu u donjem desnom dijelu zvijezde. Nije sasvim jasno što uzrokuje ove tačke. To bi mogli biti udarni taalsi

unutar zvijezde stvoreni magnetizmom i drugim procesima, iako je sjaj tačaka za takvo nešto previsok. Moguće je da zvijezda ispaljuje baklje, slično kao što to i Sunce radi. To se događa kada "zapetljane" linije magnetskog polja odjednom ispuštaju svoju pohranjenu energiju.



Samo se nekoliko površina zvijezda može snimiti teleskopom. Kao skala na slici je prikazana veličina orbite Plutona i zvijezde sistema Alfa Kentaura. Ostali snimci su stvarni snimci površine nekoliko zvijezda (copyright: ESO/K. Ohnaka (Antares); ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/E. O'Gorman/P. Kervella (Betelgeuse);ESO (R Doradus); ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/W. Vlemmings (W Hydrae))

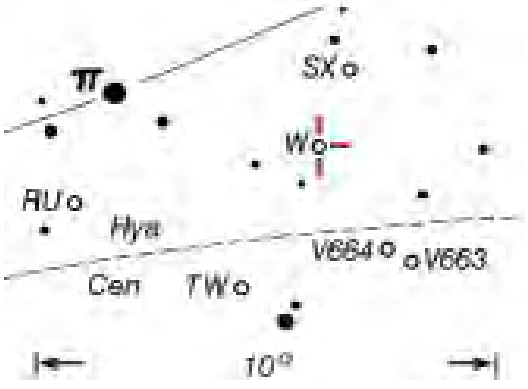
Upravo zbog ovakvih problema se i snimaju ovake slike. Udarni talasi u vanjskoj atmosferi zvijezde pomažu astronomima razumjeti fizičke uvjete unutar same zvijezde, uključujući i hemijski sastav materijala i kako se on kreće. Oni su kritični u razumijevanju kako se zvijezde ponašaju. To je dobro znati zbog same nauke i razumijevanja procesa, ali s obzirom da ova zvijezda predstavlja uvid u budućnost Sunca, poznavanje ovih stvari je dosta osobno. Pogotovo zato što je W Hidre veća od orbite Zemlje. Nije teško zaključiti zašto je to važno znati.

Imamo sreću da je W Hidre relativno blizu nama. Zbog toga možemo snimati njenu površinu, a samo nekoliko zvijezda spada u ovu kategoriju. Naravno, za ovakve snimke potrebna je sofisticirana tehnologija. Sve smo bolji u tome i sada možemo napraviti teleskopske nizove koji su prilično veliki. U budućnosti ćemo to možda moći napraviti i

u svemiru i imati teleskope velikih prečnika, možda milione kilometara! Zamislite što ćemo tada moći vidjeti.

Zvijezda W Hidre je potvrđeni MASER (eng. Microwave Amplification by the Stimulated Emission of Radiation), emisioni izvor u mikrotalasnom dijelu spektra. Maseri su slični laserima, s tim da laseri zrače samo u vidljivom dijelu spektra. Maseri su, dakle, dugotalasni ekvivalenti lasera. Kod W Hidre maserska emisija je uočena iz molekula OH, H_2O, i SiO. Maserska emisija SiO primjećena je na udaljenosti između 2 i 3 radijusa zvijezde. "Ljuske" H2O masera uočene su na oko 15 AJ od zvijezde, a OH maseri na udaljenostima od nekoliko stotina AJ.

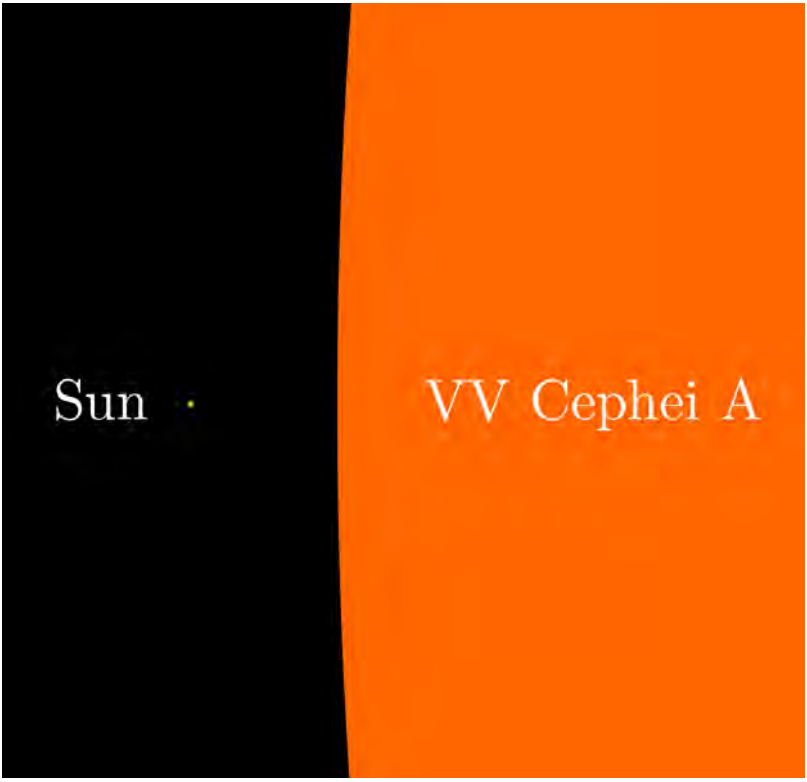
W Hidre se nalazi oko 5° jugozapadno od svjetle zvijezde π Hidre, u zadnjem dijelu Hidre – najvećeg sazviježđa na nebu. Hidra je zapravo bila još veće sazviježđe, ali je podijeljena na četiri dijela od strane kartografa poput Flamsteeda i Heveliusa. Rezultat su sazviježđa Sekstant, Čaša (Pehar), Gavran i smanjeno sazviježđe hidra. Hidra i dalje dominira najvećim dijelom neba koji graniči sa 13 drugih sazviježđa i pokriva više od 3% neba – raspon jednak 172 punih Mjeseci, jedan uz drugog! Sazviježđe je potpuno vidljivo iz geografskih širina +55° do -83°, dok su samo dijelovi vidljivi diljem svijeta.



Položaj W Hidre na nebu (izvor: aavso.org)

Sazviježđe Hidra u grčkoj mitologiji predstavlja stvorenje sa zmijskim tijelom i mnogo zmijskih glava, te otrovnim dahom. Hidra je Tifonov i Ehidnin potomak, a odgojila je Hera. Hidra je živjela u Lernejskom jezeru u Argolidi, a ubio ju je Heraklo, ispunivši jedan od svojih zadataka.

39. VV Kefeja



Poređenje VV Kefeja i Sunca (izvor: wikipedia)

Lokacija:	Sazviježđe Kefej (Cefej)
Drugi nazivi:	HR 8383
Klasa	Superdiv klase M i patuljak klase B
Prividna magnituda:	4,9
Apsolutna magnituda:	-6,8
Udaljenost:	2000 svjetlosnih godina
Značaj:	Najveća poznata zvijezda i dugoperiodična pomračujuća

Iako samo po sebi ne toliko impresivno sazviježđe, Kefej je dom za dvije fantastične zvijezde koje spadaju među najveće zvijezde koje poznajemo: crveni superdivovi Mu Kefeja (Herschelova Garnet zvijezda) i VV Kefeja. Zvijezde su 4. i 5. prividne magnitude, i da nije međuzvjezdane prašine koja ih sakriva, imale bi sjaj 2. i 3. magnitude (i možda vlastito sazviježđe).

Obadvije zvijezde su dio grupe (asocijacije) OB2 u Kefeju, velike grupe zvijezda klasa O i B, udaljenih 2000-2400 svjetlosnih godina od nas. Uzimajući u obzir apsorpciju međuzvjezdanim prahom, VV Kefeja sjaji apsolutnom magnitudom od -6,8. Mu Kefeja ima radijus 1450-1650 puta veći od Sunčevog (6,7-7,7 AJ), a smatra se da je radijus VV Kefeja još veći (7,5-8,8 AJ), 1050 – 1800 radijusa Sunca!

Za razliku od Mu Kefeja, VV Kefeja nije sama i kroz svemir je prati vrući patuljak čija se klasa (pretpostavlja se između O i A) ne zna sigurno. VV Kefeja je primjer pomračujućeg binarnog sistema u kojem se vrši razmjena materijala (pretpostavlja se nekoliko stotih dijelova mase Sunca u godini). U njemu je napuhani crveni superdiv klase M (M2) u orbiti sa manje sjajnom ali mnogo toplijom zvijezdom – plavo-bijelim patuljkom klase B.

Na vizuelnim talasnim dužinama, crveni superdiv u sistemu dominira, obezbjeđujući 80% ukupnog zračenja. Površinske temperature 3300-3650K, ovaj div ima luminozitet skoro 400000 puta veći od Sunčevog. Na osnovu ovih osobina, znamo da ima prečnik barem 8 AJ (85% orbite Saturna oko Sunca), što ovu zvijezdu čini jednom od najvećih poznatih. Slične veličine je i UY Štita (UY Scuti) i VY Velikog psa (VY Canis Majoris).

Svakih 20,2 godine, patuljak klase B (radijusa 13-25 Sunčevih) bude 250 dana potpuno sakriven iza primarne zvijezde. U vidljivom dijelu spektra smanjenje sjaja zvijezde tokom pomračenja je neprimjetno (20%), ali u UV dijelu spektra (kojim dominira pratilac klase B) ukupni sjaj padne čak za 2,5 magnitude. Pri još nižim talasnim dužinama VV Kefeja praktično nestane na cijelu godinu.

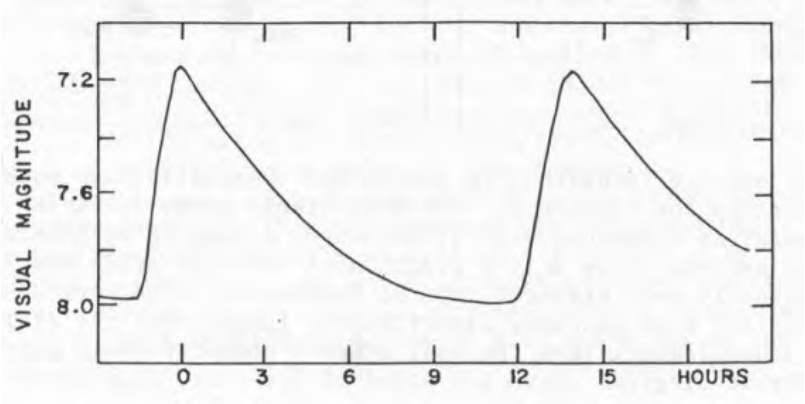
Ove zvijezde su međusobno udaljene između 17 i 34 AJ, što orbitu čini dosta eliptičnom. One su toliko blizu jedna druge da plimne sile uzrokuju maseni protok materije sa diva prema patuljku. Prije nego dospije do patuljka, ta materija kruži po akrecijskom disku prečnika preko 2 AJ. Toliko mase se gubi da im se mijenja i orbita.

Trajanje pomračenja ukazuje na približan radijus superdiva od 8,8 AJ (veći nego radijus izračunat na osnovu luminozieta i temperature). Ovaj superdiv je toliko veliki da njegova površina dolazi do pola orbite pratioca klase B. Tako velike zvijezde su nestabilne, pa se crvena zvijezda dodatno klasificira kao polu-regularna promjenljiva čiji vizuelni sjaj se mijenja tokom perioda od dva mjeseca za oko 0,3 magnitude.

Pretpostavlja se da obadvije zvijezde imaju masu 20-35 Sunčevih. U jednom periodu one su bile par plavo-bijelih patuljaka. Masivnija je prva evoluirala i sada je crveni superdiv koji vrši fuziju helijuma u ugljik. Sigurno je da će eksplodirati, i možda tako gurnuti pratioca od sebe, a možda će postati neutronska zvijezda koja će biti pratilac zvijezdi klase B.

Onda dolazi red na zvijezdu klase B – doći će, takođe, do supernove, i ovaj par zvijezda možda postane par neutronskih zvijezda. Ali to je u budućnosti. VV Kefeja je zasada kralj naše galaksije.

40. RR Lire



RR Lire je prototip zvijezda klase RR Lire, koje pulsiraju (mijenjaju radijus i sjaj) *tokom kratkih perioda. Sama zvijezda RR* (Lire) *mijenja sjaj za oko jednu magnitudu svakih 13,6 sati.* (izvor: Burnham's Celestial Handbook, R. Burnham, Jr., Dover Publications, NY, 1978.))

Lokacija:	Sazviježđe Lira
Drugi nazivi:	HD 182989
Klasa	klasa F
Prividna magnituda:	7,8
Apsolutna magnituda:	1,0
Udaljenost:	850 svjetlosnih godina
Značaj:	Prototip pulsirajućih promjenljivih tipa RR Lire

Kada gledamo zvijezde najčešće nas zanimaju samo one najsjajnije na nebu, ali mnogo je zanimljivih zvijezda koje se slabo ili nikako ne vide golim okom (npr. binarni sistem sa crnom rupom X-1 Labuda devete magnitude, Barnardova zvijezda desete magnitude koja se najbrže kreće na nebu od svih zvijezda, i sl.).

RR Lire (RR Lyrae), zvijezda magnitude 7,8 u sazviježđu Lira, 10° sjeveroistočno od Vege, spada u ovu grupu zvijezda. To nije samo

poznata promjenjiva zvijezda nego, kao najsjajnija od njih, prototip brojne i veoma važne grupe zvijezda "RR Lyrae", koje su često prisutne u velikom dijelu sfernih skupova zvijezda. Grupa RR Lyrae predstavlja kratkoperidoične verzije (i sa malim sadržajem metala) divovskih/superdivovskih promjenljivih Cefeida (npr. Delta Cephei, Zeta Geminorum i Eta Aquilae).

Sama zvijezda RR, div koji vrši fuziju helijuma (prošla je kroz fazu crvenog diva i ušla je u evolucionu fazu zvanu horizontalni ogranak), ima vizualnu magnitudu koja varira između 7,06 do 8,12 i natrag tokom razdoblja od samo 13,6 sati. Pulsiranje se pokreće dijelovima djelomično joniziranog gasa ispod zvjezdane površine, koji se ponašaju kao ventil za toplotu koja se oslobađa. Ova zvijezda ima masu oko 0,65 Sunčevih, i apsolutnu magnitudu 0,6. Promjenljivu prirodu RR Lire je otkrila Williamina Fleming na Harvardskoj opservatoriji 1901. godine.

Većina takvih divova spada u klasu K ili u "hladniji" dio klase G. Ali zbog male količine željeza (zapravo, metala generalno) – samo 7% količine u odnosu na Sunce – RR je manja i toplija zvijezda nego obični divovi, što znači da nominalno spada u klasu F (F5) zvijezda. Ali, budući da je to pulsirajuća promjenljiva, temperatura njene površine također varira, pa je možemo svrstati u raspon od klase A8 do F7 (tipično za cijeli raspon RR Lyrae zvijezda). Njena temperatura nije precizno utvrđena, ali se čini da je između 6200-7000 K. Satelit Hipparcos procjenio je udaljenosti ove zvijezde od nas na oko 940 svjetlosnih godina, a Hubble na 850 svjetlosnih godina. Luminozitet ove zvijezde iznosi između 30 i 85 puta Sunčevog, a radijus – negdje između 4 i 8 Sunčevih.

RR Lyrae grupa zvijezda nisu "stanovnici" tankog diska naše galaksije (koji je domaćin Suncu i većini zvijezda oko nas – tzv. zvijezde Populacije I), već, kao i sferni skupovi zvijezda, pripadaju ogromnom galaktičkom "halou", slično kao i Kapteynova zvijezda (tzv. zvijezde Populacije II). Kao takve, one predstavljaju evoluirale potomke zvi-

jezda nižih masa nego kod Sunca, tj. zvijezda koje su izgubile dobar dio svojih masa.

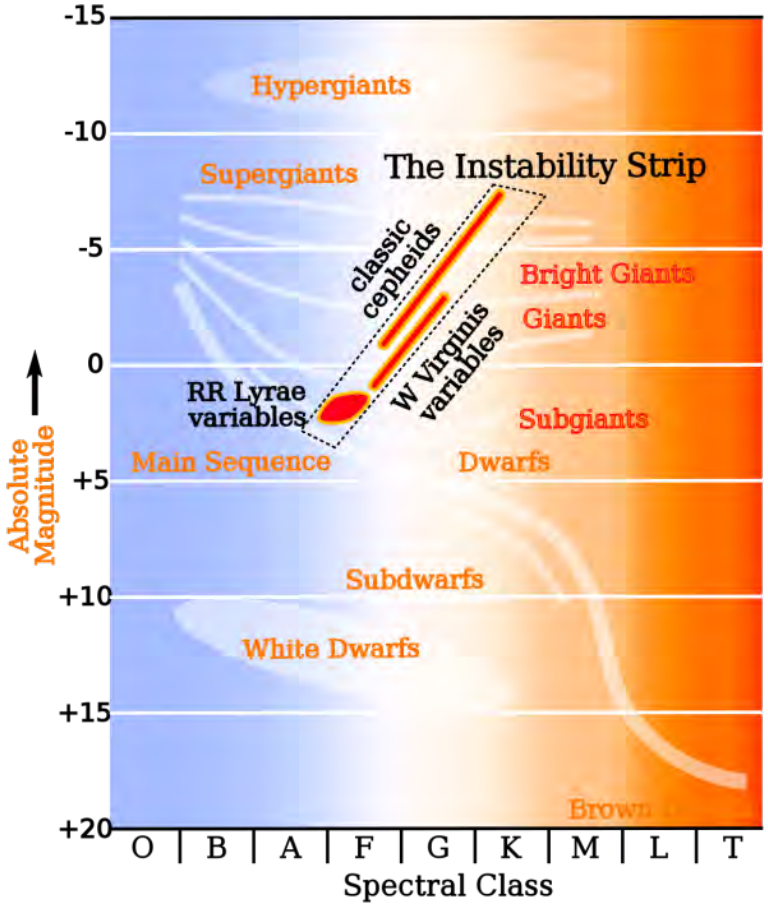
Zvijezde koje se nalaze na galaktičkom disku (poput Sunca) imaju relativno kružne orbite oko centra galaksije i niske relativne brzine jednih u odnosu na druge. Orbite zvijezda u galaktičkom "halou" su, s druge stane, vrlo eliptične, pa se zvijezde i sferni skupovi zvijezda (u kojima može biti nekoliko hiljada pa i milioni zvijezda) iz toga regiona kreću kroz galaktički disk relativno velikim brzinama.

RR Lire nije iznimka. U odnosu na nas kreće se brzinom od 285 km/s, skoro 20 puta veća brzina nego što je "normalno" za zvijezde na galaktičkom disku. Iako su RR Lyrae zvijezde "pouzdane" promjenljive, njihovi periodi i amplitude (rasponi magnituda) mogu se mijenjati tokom nekoliko sedmica i godina. Grupa zvijezda RR Lyree je osjetljiva na te promjene, te su njihove varijacije uzrokovale dalje varijacije (promjene) na tim zvijezdama, i to u periodu od 41 dan i 4 godine, a izvor tih daljih promjena (nakon gotovo jednog stoljeća istraživanja) je još uvijek nepoznat.

Sferni skupovi zvijezda su toliko stari (12 do 13 milijardi godina) da više ne sadrže zvijezde patuljke koje još uvijek vrše fuziju vodika i imaju masu veću od 0,8 Sunčevih. Te zvijezde, mase nešto ispod mase Sunca, su zapravo preci RR Lyrae grupe zvijezda. Kada bi ove zvijezde imale sadržaj metala kao kod Sunca, razvile bi se u hladne divove klase K, sa luminozitetom preko 50 Sunčevih.

Bez obzira na njihove temperature ili periode pulsiranja koji se kreću od 0,2 do 0,8 dana, RR Lyrae grupacija zvijezda ima slične apsolutne magnitude što ih čini indikatorima udaljenosti kada se mogu vidjeti u skupovima ili u drugim galaksijama.

Period pulsiranja RR Lyrae promjenljivih zvijezda ovisi o njihovoj masi, sjaju i temperaturi, i razlika između izmjerenog luminoziteta i njihovog stvarnog luminoziteta omogućuje da se procjeni njihova udaljenost. Zato razumijevanje odnosa između perioda i luminoziteta kod bližih zvijezda tipa RR Lyrae omogućava preciznije određivanje udaljenosti daljih zvijezda ove vrste.



Nestabilni pojas je uski pojas u Hertzsprung-Russellovom dijagramu gdje se nalaze pulsirajuće promjenljive zvijezde. Budući da zvijezde različitih masa, hemijskih sastava i starosti prolaze kroz ovaj pojas tu se nalaze razni tipovi promjenljivih (npr. Cefeide, RR Lyrae promjenljive). (izvor: wikipedia)

41. T Bika



Širokokutni snimak refleksione magline i oblaka prašine oko T Tauri sistema (copyright: Adam Block)

Lokacija:	Sazviježđe Bik
Drugi nazivi:	T Tauri, HD 284419
Klasa	Protozvijezda T Tauri
Prividna magnituda:	9,6 (promjenljiva)
Apsolutna magnituda:	2,0 (promjenljiva)
Udaljenost:	460 svjetlosnih godina
Značaj:	Prototiv novih zvijezda

T Bika (T Tauri, HD 284419) je varijabilna zvijezda u sazviježđu Bika, prototip mladih zvijezda T Tauri. Otkrio je u oktobru 1852. godine John Russell Hind. Sa Zemlje se čini da se T Tauri pojavljuje u skupu Hijade, nedaleko od zvijezde ε Tauri, ali zapravo se nalazi 420 svjetlosnih godina iza njega i nije formirana zajedno sa ostatkom zvijezda u skupu.

Kao i sve zvijezde tipa T Tauri, i ova zvijezda je veoma mlada, starosti oko milion godina. Njena prividna magnituda varira (nepredvidivo) od oko 9.3 do 14, a od nas je udaljena oko 460 svjetlosnih godina.

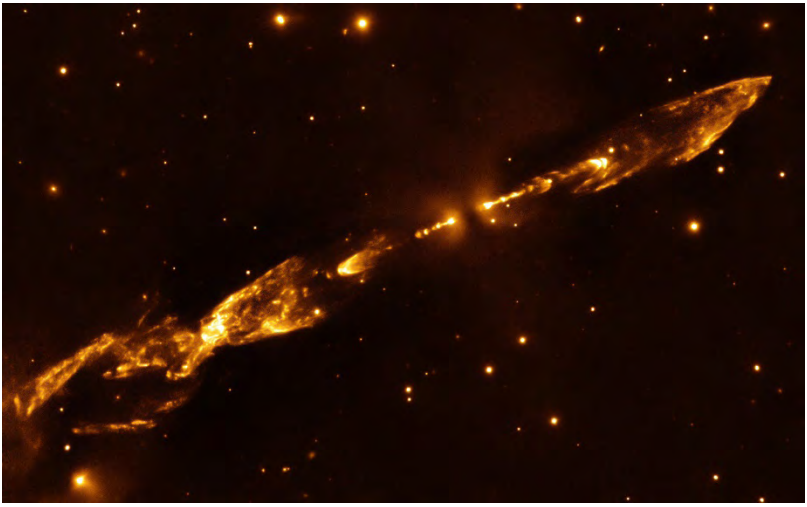
Sistem T Tauri sastoji se od najmanje tri zvjezde, od kojih je samo jedna vidljiva (na talasnim dužinama vidljivim okom); druge dvije zrače u infracrvenom dijelu spektra, a jedna od njih također emitira i radio talase. Kroz radio opažanja (VLA), otkriveno je da je mlada zvijezda (sama zvijezda T Tauri) dramatično promijenila svoju orbitu nakon bliskog susreta s jednim od pratioca (i možda je izbačena iz ovog sistema).

Na prvi pogled, zvijezda liči na naše Sunce, klase G, ali je mnogo luminoznija od Sunca (što znači da je mlađa). Zbog toga što je još uvijek u fazi sakupljanja (akrecije) materijala i gravitacione kompresije, njen sjaj varira za oko 3 magnitude, u periodu od nekoliko sedmica i mjeseci. Čak joj se i spektralna klasa mijenja od G4 do G8. Izražene su emisione linije litijuma, čije prisustvo pokazuje na mladost zvijezde.

Ova zvijezda zrači jako i u UV dijelu spektra. Ovo visoko-energetsko zračenje uzrokovano je cirkumstelarnim diskom, iz kojeg zvijezda vrši akreciju mase, a čiji hladniji, dalji dijelovi zrače u IC (infra-crvenom) dijelu spektra.

Zvijezda T Bika je povezana sa dvije magline, refleksionom Hindovom maglinom (NGC 1555) i bližom Burnhamovom maglinom. Osvjetljava ih T Tauri, pa se i sjaj maglina mijenja. Unutrašnja regija je nered, vjerovatno rezultat mlazova materije sa zvijezda i udarnih talasa. Jednog dana prašina će se raščistiti i u dalekoj budućnosti ovdje će se vidjeti obične zvijezde u trostrukom sistemu, gdje će dvije zvijezde (vjerovatno klase F) biti u orbiti sa trećom zvijezdom sistema.

George Herbig i Guillermo Haro su 1950. otkrili neobične magline koje naizgled nisu imale izvor osvjetljenja. Sada se zna da Herbig-Haro objekti dolaze u paru sa T Tauri zvijezdama koje se nalaze između njih. Ovi objekti su regioni gasa koji se nalaze na putu masivnih bipolarnih mlazova molekularnog gasa koji nastaju na polovima T Tauri zvijezda. Ovi divovski mlazovi dugi su preko 5 svjetlosnih godina.



Herbih-Haro mlazovi (izvor: wikipedia)

T Tauri vjetar, nazvan po tome što je mlada zvijezda trenutačno u ovom stadiju razvoja, je faza zvjezdanog razvoja između nakupljanja materijala sa usporavajućeg rotirajućeg materijala zvjezdane magline i termonuklearnog "paljenja" vodika koji se nakupio u protozvijezdi. Protozvijezda je gušći dio jezgre ovog oblaka, obično mase oko 10000 Sunčevih, u obliku plina i prašine, koja se urušava uslijed vlastite mase i nastavlja privlačiti materiju oko sebe.

Protozvijezda u početku ima samo oko 1% svoje konačne mase. Ali, obvojnica zvijezde i dalje raste kako se akrecioni materijal nakuplja. Nakon nekoliko miliona godina, termonuklearna fuzija počinje u njenoj jezgri, a potom se stvara jak zvjezdani vjetar koji zaustavlja dalju akreciju nove mase. Protozvijezda se sada smatra mladom zvijezdom jer je njena masa konstantna, i njena evoluciona budućnost je zacrtana.

I vjetrovi i mlazovi materijala sa T Tauri zvijezda posljedica su akrecije materijala ka centralnoj zvijezdi. Oko ovih zvijezda najčešće se nalaze i protoplanetarni diskovi (u IC dijelu spektra mogu se često

uočiti šupljine u disku) u kojima će se vjerovatno formirati planete, a na nekima možda i život.

Generalno, T Tauri zvijezde su tip vrlo mladih zvijezda u ranoj fazi evolucije gdje se još uvijek događa gravitacijsko sažimanje. Ove zvijezde spadaju u nepravilno promjenjive (uslijed nestabilnosti akrecionog diska i pojave mnoštva pjega po zvijezdama). Dobile su naziv upravo po protozvijezdi T Tauri u sazviježđu Bik. Česte su u zvjezdanim maglinama. To su mlade zvijezde (starosti manje od 10 miliona godina) koje mogu dati odgovor i o načinu nastanka našeg Sunca i planeta.

Zvijezde T Tauri su najmlađe vidljive zvijezde klasa F, G, K, M (mase manje od 2 Sunčeve). Njihove temperature su slične onima zvijezda glavnog niza iste mase, ali su značajno svjetlije jer su njihovi radijusi veći. Temperature u njihovoj jezgri preniske su za fuziju vodika. Umjesto toga, one se "pokreću" gravitacijskom energijom koja se oslobađa sažimanjem zvijezde. "Kreću" se prema glavnom nizu, koji dosežu nakon oko 100 miliona godina. Period rotacije im je obično između jednog do dvanaest dana (Sunce ima period rotacije oko mjesec dana), i vrlo su aktivne (i promjenljive).

Postoje dokazi da se na ovim zvijezdama javljaju velike površine pokrivene zvjezdanim pjegama, a imaju i intenzivno zračenje u rendgenskom i radio dijelu spektra (oko 1000 puta više od Sunca). Mnoge imaju izuzetno snažne zvjezdane vjetrove, a neke, kao što je rečeno, izbacuju plin u bipolarnim tokovima velike brzine, reda nekoliko km/s. Dodatni izvor varijabilnosti sjaja su nakupine (protoplanete i planetezimale) na diskovima koji okružuju zvijezde T Tauri.

T Tauri zvijezde pronalaze se u raznim fazama nastanka zvijezda. Njihov spektralni tip kao i masa slični su našem Suncu. Njihov prividni sjaj, koji se mijenja, kreće se u opsegu oko 3 magnitude. Analiza spektra ovih zvijezda pokazuje izražene emisione linije kalcijuma, vodika i kalijuma, te jake Balmerove linije vodika. Njihova spektralna klasa se obično kreće od F5 do G5, a kod prvih se nalaze i linije litijuma. Obično se povezuju sa tamnim maglinama. Temperatura površine im

može varirati između 3500 i 7000 K. T Tauri zvijezde su mnogo svjetlije od zvijezda iste temperature sa glavnog niza. Labave grupacije ovih zvijezda zovu se T-asocijacije.

Njihovi spektri pokazuju veću količinu litijuma nego kod Sunca i ostalih zvijezda glavnog niza jer se litijum uništava na temperaturama iznad 2500000 K. Iz proučavanja obilnih količina litijuma kod pedesetak zvijezda tipa T Tauri, utvrđeno je da fuzija litijuma može biti jedan od glavnih izvora energije za T Tauri zvijezde. Brzo rotacija poboljšava miješanje i ubrzava prenos litijuma u dublje slojeve gdje se on kasnije uništava. T Tauri zvijezde općenito povećavaju brzinu rotacije kako stare, kroz kontrakciju (očuvanje momenta količine kretanja). To uzrokuje povećanu stopu gubitka litijuma kako zvijezda stari. Litijumska fuzija se intenzivira porastom temperature i mase, i traje maksimalno do 100 miliona godina na ovakvim zvijezdama.

Najbliže T Tauri zvijezde nama su one u molekularnim oblacima Bika i Zmijonosca (Ro Zmijonosca), udaljene oko 400-460 svjetlosnih godina od nas.

Oko polovine zvijezda T Tauri imaju kružne diskove, koji se u ovom slučaju nazivaju protoplanetarni diskovi jer predstavljaju početak stvaranja planetarnih sistema poput Sunčevog. Procjenjuje se da se ovi cirkumstelarni diskovi raspršuju u periodu do 10 miliona godina.

Većina zvijezda T Tauri nalaze se u binarnim sistemima zvijezda. U različitim fazama svog života zovu se Mladi zvjezdani objekti (eng. Young Stellar Objects). Smatra se da su aktivna magnetska polja i snažni solarni vjetar T Tauri zvijezda jedan od načina kojim se moment količine kretanja prenosi sa zvijezde na protoplanetarni disk.

Zvijezde slične T Tauri zvijezdama, ali veće mase (2-8 Sunčevih), spektralnih tipova A i B, zovu se Herbig Ae/Be zvijezde. Masivnije zvijezde (mase preko 8 Sunčevih) u fazi prije ulaska u glavni niz se ne primjećuju na nebu jer evoluiraju veoma brzo: kada postanu vidljive (npr. kad se izvrši disperzija okolnih cirkumstelarnih diskova), vodik u njihovoj jezgri se već fuzioniše i one se nalaze na glavnom nizu u HR dijagramu.

Dosad je otkriveno nekoliko planeta oko zvijezda tipa T Tauri: HD 106906 b oko zvijezde klase F, 1RXS J160929.1-210524 oko zvijezde klase K, Gliese 674 b oko zvijezde klase M, V830 Tau b oko zvijezde klase M, itd.

Proučavajući ove zvijezde, proučavamo i vlastitu prošlost.

42. Gama Zmaja



Položaj Eltanina na nebu (izvor: wikipedia)

Lokacija:	Sazviježđe Zmaj
Drugi nazivi:	Eltanin
Klasa	Div klase K
Prividna magnituda:	2,23
Apsolutna magnituda:	-1,05
Udaljenost:	148-154 svjetlosnih godina
Značaj:	Historijska "Zvijezda zenita" koja je potvrdila heliocentrični sistem

Zbog toga što je bila polarna zvijezda tokom vremena drevnog Egipta, Tuban je najpoznatija zvijezda sazviježđa Zmaj, i s pravom je dobila Bayerovu alfu oznaku, iako po sjaju (četvrta magnituda) teško da je najsjajnija zvijezda sazviježđa. Ova čast pripada Eltaninu, zvijezdi prividne magnitude 2,23, koja se nalazi u glavi zamišljenog Zmaja. Zvijezda se ipak označava kao Gamma iako je značajno sjajnija (za pola magnitude) od druge svjetle zvijezde glave Zmaja, Rastabana, koji je označen kao Beta Zmaja. Značaj zvijezde Eltanin, međutim, vidi se u njenom imenu, koji označava cijelo sazviježđe (arapska riječ za zmiju).

Zvijezda je značajna i iz nekoliko drugih razloga. To je najbliža sjajna zvijezda do "zimske" tačke "solsticijskog kolura". Koluri su satne kružnice na nebeskoj sferi koje prolaze kroz tačke ravnodnevice (ekvinocijski kolur prolazi proljetnom i jesenskom točkom) ili suncostaja (solsticijski kolur prolazi ljetnom i zimskom točkom). Solsticijski kolur je, dakle, kružnica na nebu koja prolazi kroz polove i tačke zimskog i ljetnog solsticija, a Eltanin se nalazi tačno 75° sjeverno od tačke zimskog solsticija u Strijelcu.

Nadalje, visoki sjeverni položaj Eltanina (51,5° sjeverno od nebeskog ekvatora) zvijezdu vodi skoro kroz zenit, tačku iznad glava, kako se vidi iz Londona, zbog čega je zvijezda i dobila nadimak "Zvijezda zenita". Kao rezultat toga, zvijezda je bila dosta proučavana tokom historije. London je početkom 18. vijeka bio središte preciznog određivanja položaja zvijezda. Najveća poteškoća u tome bilo je to što atmosferska refrakcija uzrokuje da se zvijezde pojavljuju na nebu više nego što je to slučaj u stvarnosti. Čak i kada su uzimali u obzir refrakciju atmosfere, astronomi nisu dobijali precizne položaje zvijezda. Rješenje je bilo u proučavanju zvijezde koja je bila skoro u zenitu. Tako je Eltanin postao slavan.

Tokom pokušaja pronalaska zvjezdane paralakse, godišnjeg pomaka u poziciji zvijezde uzrokovanog promjenom položaja posmatranja sa Zemlje (odakle dobijamo zvjezdanu udaljenost), 1728. godine James Bradley je otkrio "aberaciju svjetla zvijezde". Zvijezda je, naime, "še-

tala" na nebu sezonski, ali u pogrešnom smjeru da bi paralaksa bila uzrok. Bradley je utvrdio da je ova "aberacija" uzrokovana brzinom kretanja Zemlje u odnosu na konačnu brzinu svjetlosti koja dolazi sa zvijezde.

Ovo veoma važno otkriće je zacementiralo mišljenje da je Kopernik bio u pravu i da se Zemlja zaista kreće oko Sunca (po eliptičnoj putanji), što Eltanin čini značajnim u razvoju moderne astronomske misli.

Ali Bradley još nije završio sa ovom zvijezdom. Mjesec i Sunce djeluju na Zemlju tako što uzrokuju precesiju Zemlje, "lelujanje" Zemljine ose sa periodom od oko 26000 godina. Uslijed precesije, već je rečeno, različite zvijezde su bile sjevernjače tokom vremena. Dalja posmatranja Eltanina dovela su do otkrića nutacije, dodatnog kretanja Zemljine ose uzrokovanog varijacijama Mjesečeve orbite. Kada se svi ovi "efekti" uzmu u obzir, može se precizno odrediti položaj zvijezda.

Eltanin, koji se na nebu može locirati sjeveroistočno od Vege, se također kreće prema nama. Za približno 1,5 miliona godina Gama Zmaja (Eltanin, Gama Draconis) će se približiti Zemlji na 28 svjetlosnih godina udaljenosti i time izvjesno postati najsvjetlija zvijezda našeg neba, preuzimajući sadašnju titulu od Sirijusa.

Eltanin je hladna zvijezda (4000 K) klase K (K5), narandžasti div udaljen 148-154 svjetlosnih godina od nas, luminoziteta 470-600 puta većeg od Sunčevog. Jedna od karakteristika koja ga čini zanimljivim je mala količina željeza (u odnosu na Sunce). Na osnovu temperature i luminoziteta, kao i izmjerenog ugaonog prečnika, čini se da je Eltanin oko 50 puta veći od Sunca (nešto više od polovine veličine Merkurove orbite).

Varijacije u sjaju (desetina magnitude) pokazuju da je zvijezda možda na putu da postane promjenljiva tipa Mire.

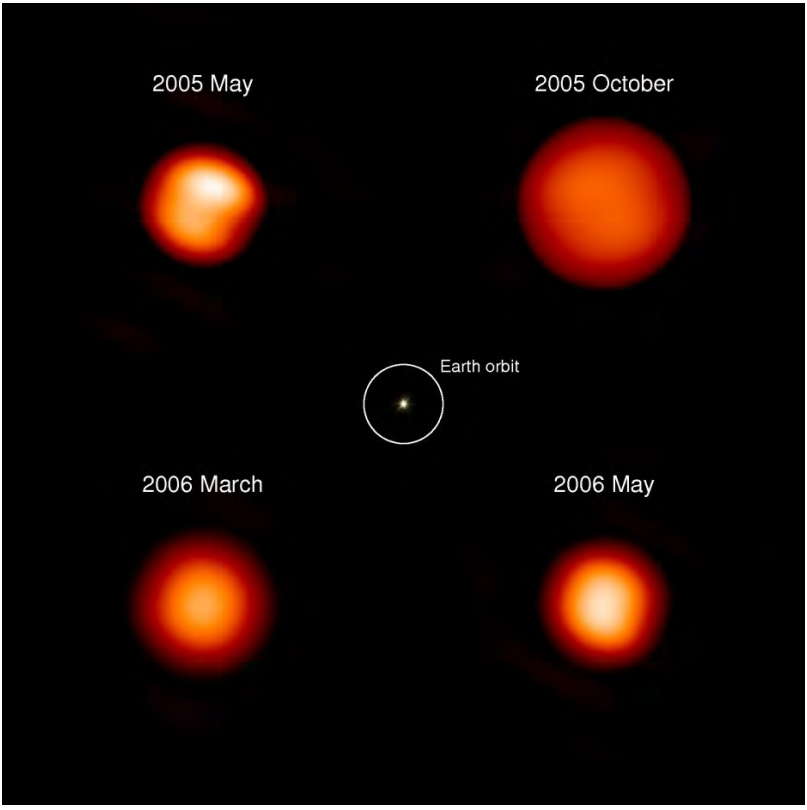
Postoje pretpostavke da Eltanin ima pratioca, udaljenog oko 1000 AJ. Luminozitet pratioca sugeriše da je riječ o crvenom patuljku.

Budući da je zvijezda div, Eltanin polako umire, i fuzija vodika u njegovoj jezgri je odavno završena. Počeo je svoj život kao zvijezda mase

oko 1,7 puta veće od mase Sunca, a sada vjerovatno polako povećava svoj sjaj dok se priprema da "zapali" helijum u unutrašnjosti.

USS Etamin (AK-93) je bio brod mornarice vojske SAD-a koji je dobio ime po ovoj zvijezdi

43. Hi Labuda



Promjenljivost zvijezde Hi Labuda (copyright: Sylvestre Lacour)

Lokacija:	Sazviježđe Labud
Drugi nazivi:	HR 7564, HD187796 , SAO68943
Klasa	Div klase S
Prividna magnituda:	4 (maksimalni sjaj)
Apsolutna magnituda:	-1 (maksimum)
Udaljenost:	350-590 svjetlosnih godina
Značaj:	Najsjajnija zvijezda klase S

Hi Labuda (Chi Cygni), koja se nalazi u sazviježu Labud, je divovska zvijezda, dugo-periodična promjenljiva (eng. LPV) tipa Mire, koja može da dostigne magnitudu 3,5 unutar perioda od 409 dana, a zatim joj sjaj pada na magnitudu 14,2 – 10000 puta manji sjaj. To je najveća zabilježena varijacija sjaja bilo koje pulsirajuće promjenljive zvijezde.

Smještena unutar Mliječnog puta, centralnog diska naše galaksije, Chi Cyg se nalazi na udaljenosti 350-590 svjetlosnih godina od nas. Promjenljive tipa Mire su sve divovske zvijezde u fazi drugog uspona u HR dijagramu (eng. second ascent giant stars). Budući da više ne vrše fuziju helijuma (koja pretvara helijum u ugljik i kisik) koja pokreće "obične" divove, ove zvijezde, čije je jezgro od ugljika i kisika već "mrtvo", polako povećavaju svoj prečnik i postaju sve sjajnije. Kad postanu dovoljno velike, počinju da pulsiraju i značajno variraju u sjaju jer im se na površini pojavljuju jaki vjetrovi. Odbačeni slojevi materije (godišnje gubi milioniti dio mase Sunca) sa ovih zvijezda će na kraju postati svjetleći prstenovi i ljuske osvjetljenog plina pod nazivom "planetarne magline", dok će im se jezgre pretvoriti u mrtve ugljiko-kiseonične bijele patuljke poput Siriusa B i Prociona B.

Ono što Chi Cyg čini fascinantnom je činjenica da je to prilično rijetka vrsta zvijezda klase S (S6). Generalno govoreći, kako zvijezde tipa Mire evoluiraju, one mogu na površinu izvući svježi ugljik iz svoje untrašnjosti, što znači da ovdje ugljika ima više nego kisika (obrnuto od onoga što vidimo u "normalnijim" zvijezdama poput Sunca ili zvijezdi tipa Mire klase M) što u konačnici rezultira nastankom karbonskih zvijezda klase C, poput Y Canum Venaticorum i R Leporis. Zvijezde klase S su negdje u sredini, tamo gdje je količina ugljika otprilike jednaka količini kisika. Ova točka ravnoteže ugljika i kisika, zajedno sa obogaćenjem zvijezde cirkonijumom, koja je rezultat nuklearnih procesa duboko u jezgri zvijezde, daje S zvijezdama njihovu posebnu spektralnu karakteristiku – jake apsorpcijske linije cirkonijevog oksida, umjesto uobičajenog titanijum oksida koji se primjećuje u običnim zvijezdama klase M.

Teoretičari znaju da se cirkonijum kreira hvatanjem neutrona u atome itrijuma, pri čemu se postojeći cirkonijum u isto vrijeme pretvara u niobijum. Zvijezda kreira teže atome u svojoj ljusci u kojoj se vrši fuzija helijuma i dovodi ih dalje na površinu. Najbolji dokaz za to je što S zvijezde sadrže apsorpcijske linije tehnecijuma, elementa tako radioaktivnog (ima vrlo kratko vrijeme poluraspada) da praktično ne postoji na Zemlji. Skoro sav cirkonijum – i drugi slični elementi koji se dosta koriste u industriji – dolaze sa ranijih generacija ovih zvijezda.

Mjerenje temperature karbonskih i S zvijezda, a time i procjena njihovih luminoznosti, je veoma kompleksno. Osim toga, ne znamo precizno koliko je svjetlost sa ovih zvijezda "prigušena" međuzvjezdanom prašinom. Interferometarska mjerenja daju nevjerovatan prosječni radijus ovih zvjezda od 2,2 AJ, 470 puta veći od Sunčevog, gotovo polovica veličine orbite Marsa oko Sunca. Ako pretpostavimo da su im temperature oko 3000 K (ili niže), to znači da im je luminozitet najmanje 16000 Sunčevih. Masa im se procjenjuje na 2-3 Sunčeve.

Pulsiranje uzrokuje da se radijus ovih zvijezda mijenja od 1,3 AJ do 3,1 AJ, s istodobnim promjenama u sjaju i temperaturi, što uzrokuje veliku količinu varijacije u oku vidljivom dijelu spektra – rezultat zračenja emitovanog pretežno u IC području spektra.

Zvijezdu Chi Cygni prati druga zvijezda, 12. magnitude (11,85). Ako je gravitaciono vezana, ova zvijezda – slična Suncu, udaljena je oko 28000 AJ od glavne zvijezde i treba joj više od 2,7 miliona godina kako bi napravila jedan obrtaj.

Generalno, zvijezde tipa Mire su divovi veličine koja se poredi sa orbitama Zemlje ili Marsa. Kako ove zvijezde stare, počinju da rastu i uslijed toga pulsiraju, da bi na svojoj samrti postale poznate "Mire".

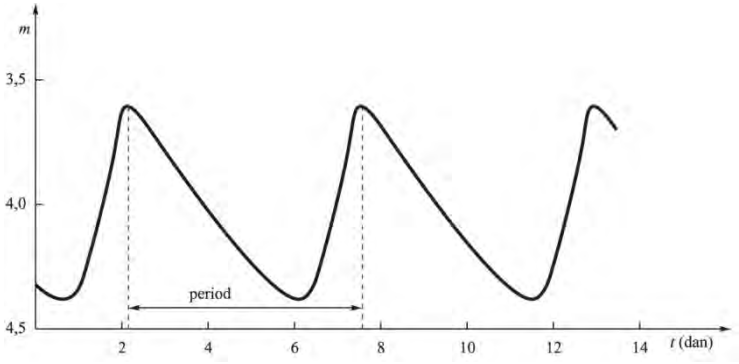
Hi Labuda je jedan od ekstremnijih primjera iz ove grupe. Kada je "najsjajnija", ova zvijezda 15000 puta je vizuelno tamnija nego kad je najtamnija. To je zato što tada dolazi do rashlađivanja zvijezde, što znači da zvijezda pretežno zrači u nevidljivom dijelu spektra (IC).



Ilustracija sazviježđa Labud (Hi/χ Labuda je označena na vratu nebeskog labuda kao promjenljiva) (izvor: wikipedia)

Kada posmatramo Hi Labuda, znamo da je to zvijezda koja kreira nove teške hemijske elemente. Izbačeni u svemir zvjezdanim vjetrovima, možda će ove elemente u dalekoj budućnosti koristiti neka nova civilizacija.

44. Delta Kefeja



Promjena sjaja zvijezde Delta Kefeja (izvor: enciklopedija.hr)

Lokacija:	Sazviježđe Kefej (Cefej)
Drugi nazivi:	27 Kefeja
Klasa	Super div klase F do G
Prividna magnituda:	4,3 do 3,5
Apsolutna magnituda:	-3,1 do -3,9
Udaljenost:	800-890 svjetlosnih godina
Značaj:	Najpoznatija varijabilna tipa Cefeide

Ako bi ubrzali vrijeme milion puta, na nebu bi vidjeli veliki broj zvijezda koje se "pale i gase" kao svjetionici. Neke bi to radile brzo (reda nekoliko puta u sekundi), a neke svakih nekoliko sekundi. Jedna od zvijezda ove druge grupe je Delta Kefeja, svakako jedna od najvažnijih zvijezda na nebu.

Delta Kefeja (δ Cephei) se nalazi se na jugo-istočnom kraju sazviježđa Kefej. Zbog svog relativno slabog sjaja ona čak nema ni vlastito ime. Ali to ne umanjuje njenu važnost.

Tretira se kao žuto-bijeli superdiv, klase F (F5); zvijezda ustvari mijenja klasu od F5 do G2, sinhronizovano sa promjenom sjaja i promjenom temperature (od 6800K do 5500K).

Delta Kefeja je sedma zvijezda po sjaju u sazviježđu Kefej (Cefej), pravilno promjenljive prividne magnitude između 3,48 i 4,37, sa periodom od 5,366 dana (5 d, 8 h, 47 m i 32 s). Po njoj su pulsirajuće promjenljive zvijezde nazvane Cefeidama.

Delta Kefeja je, čini se, dio asocijacije Kefej OB6, koja uključuje u zvijezdu Zeta Kefeja. Asocijacije zvijezda su labavo vezane grupe zvijezda za koje se smatra da imaju isto porijeklo. Uz polaris, ova zvijezda je najbliža zvijezda iz klase Cefeida.

Delta Kefeja je udaljena od Zemlje 800-890 svjetlosnih godina. Dvojni je sistem zvijezda, međusobno udaljenih 11000 astronomskih jedinica (AJ) koje obilaze oko zajedničkog težišta s periodom od oko 6 godina.

Promjenljiva zvijezda Delta Kefeja A, starosti 80-100 miliona godina, div je klase F, mase 4,5 Sunčeve, oko 40 Sunčevih prečnika, 2000 puta većeg sjaja nego Sunce, i površinske temperature 5500 – 6800 K.

Delta Kefeja B je plavi div, klase B, mase 0,1-1,2 puta veće od Sunčeve, 500 puta većeg sjaja i površinske temperature 8800 K. Sa potencijalnih planeta u orbiti oko Delta Kefeja A, komponeta Delta Kefeja B bi izgledala sjajno na nebu poput Venere na našem nebu. Naravno, na ovim potencijalnim planetama najvjerovatnije ne postoji nikakav oblik života jer su zvijezde premlade.

Delta Kefeja se kreće brzinom 31,2 km/s u odnosu na Sunce. Njena udaljenost od centra galaksije iznosi oko 19200-24400 svj. godine. Za približno 6,4 miliona godina približit će se našem Suncu na udaljenost od 552 svj. godina. Tada će njen prividni sjaj iznositi 3,1 mag.

Generalno govoreći, Cefeide su žuti i crveni superdivovi (spektralnog tipa A – M) koji pulsiraju vrlo pravilno, sa periodom od 1 – 50 dana. Prečnik im se mijenja za oko 10%, a temperatura površine za oko 1000 K. Cefeide zrače do stotine hiljada puta više energije nego Sunce, pa se mogu uočiti na velikim razdaljinama. Pokazano je da postoji veza između stvarnog sjaja i perioda pulsiranja cefeida, po kojoj važi da što su cefeide (apsolutno) sjajnije to im je potrebno više

vremena za njihove promjene (pulsaciju). To svojstvo koristi se za procjenu udaljenosti galaksija. Na osnovu prividne magnitude m i perioda pulsiranja P određuje se apsolutna magnituda zvijezde M, a potom i udaljenost zvijezde d.

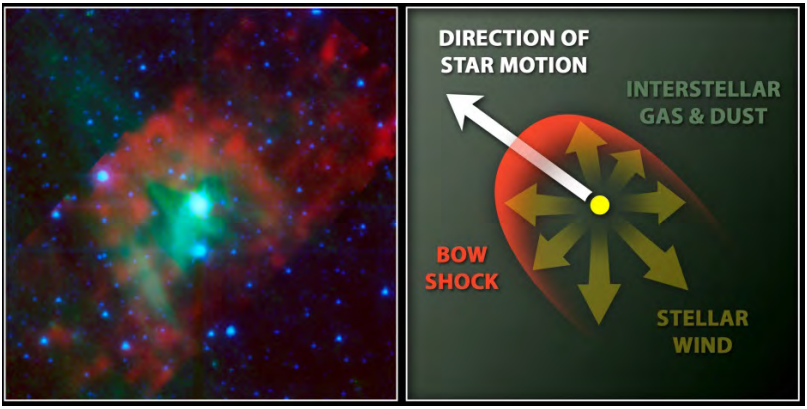
Dijele se na cefeide prve populacije – klasične (delta cefeide) i cefeide druge populacije – cefeide kuglastih skupova. Postoje još i beta cefeide koje čine malu grupu visoko-temperaturnih promjenljivih zvijezda s kratkim periodom (3-7 sati) i malom promjenom sjaja. Tu su i patuljaste cefeide slabijeg sjaja i kratkog perioda (1-5h), čija je promjena sjaja mala i često neujednačena, baš kao i njihov period.

Delta Cefeide se odlikuju vrlo postojanim i dugim periodima promjene sjaja koji mogu biti između 1,5 i 50 dana. U novije vrijeme pronađene su cefeide s periodima dužim od 100 dana. Amplitude promjene sjaja – razlika prividnih veličina u maksimumu i minimumu sjaja – mogu se kretati u intervalu 0,2-2,0 mag. Delta cefeide pripadaju zvijezdama spektralnog tipa F, G i K, a njihove apsolutne magnitude dosežu do -6 (što znači da mogu biti 10000 puta sjajnije od Sunca

U našoj galaksiji otkriveno je preko 700 Cefeida. Zahvaljujući teleskopu Hubble danas ih možemo posmatrati do udaljenosti od 25 miliona parseka. Za komparaciju, tip Ia supernove možemo uočiti na udaljenostima od nekoliko stotina miliona parseka. Zahvaljujući otkriću Cefeida u galaksiji Andromeda, Edwin Hubble je pouzdano odredio njenu udaljenost. Posmatranje Cefeida u udaljenijim galaksijama je bio glavni projekt teleskopa Hubble, na osnovu čega su uspostavljene tačnije skale udaljenosti objekata u svemiru.

Kako se Delta Kefeja kreće kroz svemir, ona i njen vjetar (brzine preko 35 km/s) kreiraju udarni talas koji se širi međuzvjezdanim prostorom i prilikom sudara sa međuzvjezdanom materijom kreira zakrivljeni udarni talas.

Najveći sjaj zvijezde Delta Kefeja zavisi od temperature i radijusa, i otkriveno je (Dopler mjerenjem) da je zvijezda najsjajnija ne kada je najveća ili najmanja već kada se širi najvećom brzinom (sukladno tome, najtamnija je kad se skuplja).



Zakrivljeni udarni talas oko zvijezde Delta Kefeja
(copyright: Spitzer Space Telescope, NASA)

U blizini Delta Kefeja je još jedna zvijezda, magnitude 7,5 (HD 213317), vidljiva i manjim teleskopima. To je sam po sebi binarni sistem, klase B7-8. Zagrijava materiju koju izbacuje Delta Kefeja, zbog čega okolni materijal zrači u IC dijelu spektra.

45. Epsilon Eridana



Položaj Epsilon Eridana na nebu (izvor: stars.astro.illinois.edu)

Lokacija:	Sazviježđe Eridan
Drugi nazivi:	18 Eridana, Ran, HD 22049
Klasa	Patuljak klase K
Prividna magnituda:	3,7
Apsolutna magnituda:	6,2
Udaljenost:	10,5 svjetlosnih godina
Značaj:	SETI zvijezda i jedna od najbližih sa potvrđenim planetarnim sistemom

Epsilon Eridana (ε Eri, ε Eridani) je zvijezda u sazviježđu Eridan (9,5° južno od nebeskog ekvatora, što je čini vidljivom skoro sa svih dijelova Zemlje). Eridan je bio sin boga Heliosa. Smrtno je stradao kada je upravljao na nebu Sunčevim kolima s kojima je pao u rijeku. Po njemu je ta "nebeska rijeka" i dobila ime. Drevni rimski pisci navode da se ustvari radi o rijeci Po, egipatski pisci spominju Nil, a grčki Eufrat. Epsilon Eridana se ubraja u zvijezde glavnog niza i ima prividan sjaj od 3,7.

Udaljena je oko 10,5 svjetlosnih godina od Sunca (deveta je po udaljenosti od Sunca, a treća zvijezda po udaljenosti vidljiva golim okom).

Epsilon Eridani je zvijezda klase K (K2), apsolutne magnitude 6,2, relativno mladi patuljak (radijusa 0,73 Sunčevih), mase 0,82 Sunčeve, koji vrši fuziju vodika. Temperatura od 5080 K (88% Sunčeve) i nizak luminozitet (34% Sunčevog) ukazuju na zvijezdu manje mase (83% Sunčeve). Period rotacije ove zvijezde oko vlastite ose je 11,2 dana,

Epsilon Eridani je mlađa zvijezda od Sunca (stara 200-800 miliona godina, za razliku od Sunca koje iza sebe ima 4,6 milijardi godina) i pokazuje značajnu aktivnost. Pošto je mlađa, ima nešto jaču magnetnu aktivnost i jači zvjezdani vjetar nego Sunce.

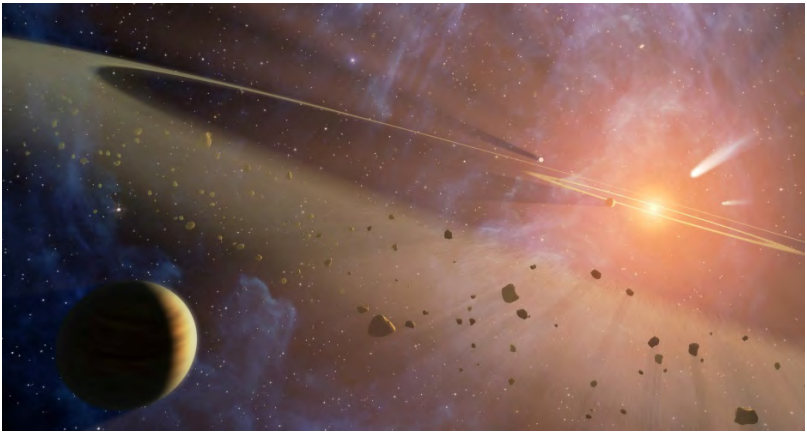
Za razliku od mnogih zvijezda na kojima su do sada pronađene planete, Epsilon Eridani nije bogata metalom (oko 80% u odnosu na Sunce). Na udaljenosti 1600 AJ od zvijezde detektiran je zakrivljeni udarni talas koji uzrokuje vjetar sa zvijezde.

Zvijezda je postigla slavu kao jedna od prvih kod koje se u jednom trenutku smatralo da je možda bila izvor signala koji je proizvedeo inteligentni oblik života, kada je Frank Drake uperio radio teleskop Tatel prema njoj i zvijezdi Tau Kita (Tau Ceti) 1960. godine (projekt Ozma). Nije utvrđen nikakav vanzemaljski signal.

Pretpostavlja se (neki autori još uvijek sumnjaju u otkriće) da zvijezda ima planet koji se kreće oko nje sa periodom oko 7 godina, veličine Jupitera, i koji gotovo sigurno ne podržava oblik života kakav poznajemo. To je treća najbliža zvijezda sa potvrđenim planetarnim sistemom.

Planeta Epsilon Eridani b definitivno je potvrđena 2000. godine. Zbog svoje blizine i našeg znanja o položaju planete u odnosu na zvijezdu, planet Epsilon Eridani b možda bude jedan od prvih koji će se moći snimiti izbliza budućim (modernim) tehnikama. Planeti je 2016. godine dato ime Ægir, a zvijezdi Ran. Obadva imena su iz nordijske mitologije: Ran je božica mora, a Ægir njen suprug, bog okeana.

S prosječnim orbitalnim radijusom 3,4 puta većim od udaljenosti između Sunca i Zemlje (65% udaljenosti od Sunca do Jupitera), planeti treba 6,85 godina za jedan obrtaj oko zvijezde. Kombinacija mjerenja brzine zvijezde i njenog položaja ukazuju na to da planet ima masu oko 1,5 Jupiterovih.



Umjetnički doživljaj Epsilon Eridana i mogućih planeta oko nje
(izvor: wikipedia)

Orbitalna inklinacija planete od 30° u odnosu na ravan ekliptike dobro se slaže sa procjenjenim nagibom prašnjavog cirkumstelarnog diska oko zvijezde. Za razliku od Jupitera, planet je u iznimno ekscentričnoj orbiti koja ga vodi od čak 5,8 AJ od zvijezde (nešto dalje nego Jupiter od Sunca) do 1,1 AJ (slično orbiti Marsa oko Sunca).

Promjene u orbiti sugeriraju da možda postoji još jedan planet (Epsilon Eridani C) sa orbitalnim periodom većim od 280 godina (što bi ga smjestilo barem 40 AJ od zvijezde).

U okolini je snimljen (u IC dijelu spektra) disk prašine sličan našem sistemu u kojem možda postoje i drugi planeti. Smatra se da je disk u konačnoj fazi formiranja planeta (česti sudari tijela).

Posmatranja sugerišu da Epsilon Eridani ima dva asteroidna pojasa. Struktura ovih pojasova ukazuje da vjerovatno postoji više od dva planeta kako bi se ova konfiguracija pojaseva održala.

Smatra se da je naseljiva zona oko zvijezde Epsilon Eridana 0,5-1 AJ. Starenjem primarne zvijezde, ova zona će se širiti na 0,6-1,4 AJ. Prisustvo velikog planeta u relativno eliptičnoj orbiti oko zvijezde gotovo sigurno isključuje postojanje planete u ovoj naseljivoj zoni. Osim toga, budući da je relativno mlada zvijezda, planete na ovoj udaljenosti bi primale značajne količine, opasnog za život, UV zračenja.

Epsilon Eridani se pojavljuje u mnogim pričama iz naučne fantastike, u serijama i filmovima, kao i igricama, a predložena je i kao moguće odredište za međuzvjezdana putovanja.

Sa planeta oko Epsilona Eridani, Sunce izgleda kao zvijezda magnitude 2,4 u pravcu sazviježđa Zmija.

46. GD 165B



Umjetnički doživljaj potencijalnog planeta u orbiti oko sistema zvijezda bijeli patuljak/smeđi patuljak (izvor: searchoflife.com)

Lokacija:	Sazviježđe Volar
Klasa	Smeđi patuljak klase L i bijeli patuljak
Prividna magnituda:	24
Apsolutna magnituda:	21,5
Udaljenost:	103 svjetlosne godine
Značaj:	Prvi otkriveni smeđi patuljak i prototip za zvijezde klase L

GD 165 je zanimljivi zvjezdani sistem koji čine bijeli patuljak i smeđi patuljak, spektralnih klasa DA4 i L4. Nalazi se u sazviježđu Volar (Boötes), udaljen od nas 103 svjetlosne godine. GD u imenu znači Giclas Degenerate (u čast Henry Giclasu, američkom astronomu i pronalazaču malih planeta i kometa; degenerisane zvijezde su sinonimi za bijele patuljke).

Komponentu B sistema s GD 165 u otkrili 1988. Becklin i Zuckerman. To je bio prvi ikad otkriveni smeđi patuljak, i generalno, prvi otkriveni smeđi patuljak hladniji od patuljaka klase M. Otkriće je priznato tek nekoliko godina kasnije, nakon što su otkriveni i drugi

slični objekti (npr. Gliese 229 B). U početku je klasificiran kao objekt klase M10, ali uspostavljanjem nove spektračne klase L, zvijezda GD 165 B je ušla u klasu L4. Temperatura zvijezde GD 165 B iznosi između 1800-1900 K.

Općenito govoreći, zvijezde "hladnije" od klase K7, pri masama sličnim Sunčevim, tako su "tamne" da se ne mogu vidjeti golim okom. Smanjenjem mase, gravitacijsko sažimanje i unutrašnja temperatura zvijezde opada, pa zvijezde male mase ne mogu generisati mnogo energije.

Pri masama od oko 0,075 Sunčevih, temperatura unutrašnjosti zvijezde nije dovoljna da se generišu potrebne brzine atoma da bi zvijezda mogla vršiti fuziju. Kod spektralnih klasa M9 ili M10 tako stižemo do dna glavnog niza, pri kojem su zvijezde vizuelno milionima puta manje sjajne od Sunca (u IC dijelu spektra zrače značajnije, čime vraćaju dio izgubljenog ponosa).

Potraga za zvijezdama ispod ove granice je bila dugotrajna. Prva zvijezda koja je konačno potvrđena kao smeđi patuljak bila je zvijezda GD 165B. Uočena je blizu zvijezde bijelog patuljka GD 165, 17. magnitude. Par je međusobno udaljen barem 125 AJ i treba im preko 1700 godina za jedan obrtaj.

Spektar zvijezde GD 165B je odmah na prvi pogled bio potpuno drugačiji od svih dotadašnjih zvijezda. Zvijezde male mase generalno su u spektru pokazivale apsorpcione linije titanijum- i vanadijum-oksida, ali GD 165B nije pokazivala uopšte vanadijum-oksid i bilo je tek nešto malo titanijuma. Umjesto toga, njen spektar je pokazivao velike količine hidrida željeza i hroma, kršeći sva pravila koja smo dotad znali o zvijezdama. Da bi imala takav spektar, astronomi su znali da zvijezda mora imati temperaturu oko 1900 K, toliko "hladnu" površinu (i malu veličinu) da joj je luminozitet skoro 5 miliona puta manji od Sunčevog.

Susjedna zvijezda sistema, bijeli patuljak GD 165, ima temperaturu oko 12500 K, predstavlja promjenljivu tipa ZZ Ceti, i ima masu 0,56 –

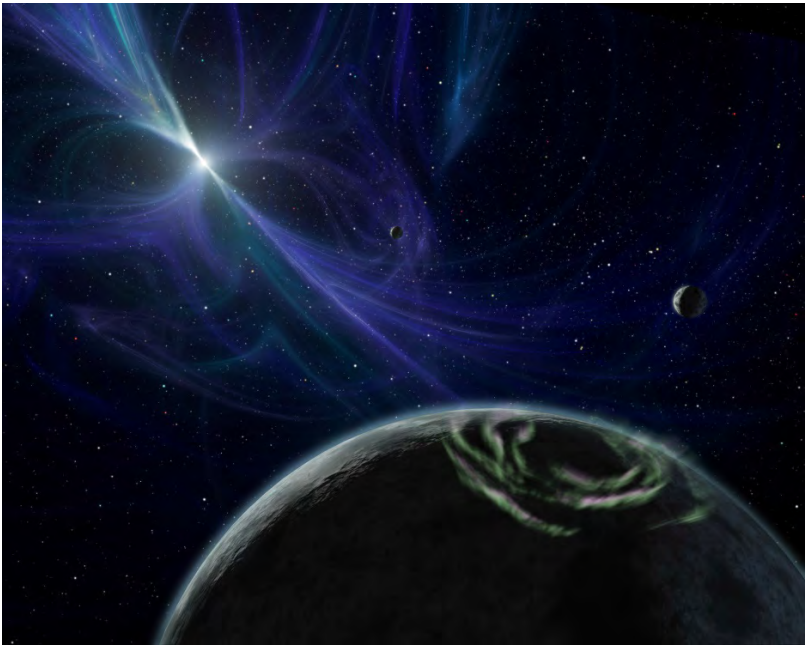
0,65 Sunčevih. To znači da je imao početnu masu između 1,2 i 3 Sunčeve (ostatak mase je vjerovatno izgubio kroz zvjezdane vjetrove).

Potrebno je između 1,2 i 5 milijardi godina da se takva zvijezda pretvori u bijelog patuljka. Generalno, kako se zvijezda male mase iz glavnog niza razvija, ona postaje tamnija i fuzijom vodika se konačno stabilizuje. Smeđi patuljci, međutim, sa masom ispod masene granice od 0,075 Sunčevih vremenom postaju samo tamniji. Na osnovu starosti bijelog patuljka u ovom sistemu i luminoziteta smeđeg patuljka, dobija se masa smeđeg patuljka – oko 0,073 mase Sunca (nešto manja od spomenute masene granice). To znači da ako GD 165B nije stvarni patuljak, onda je vjerovatno prelazni oblik koji bi eventualno mogao vremenom započeti sa fuzijom vodika. Međutim, budući da je evolucija zvijezda ekstremno male mase veoma spora, to se neće desiti u doglednoj budućnosti (možda ne i do kraja univerzuma!).

Da bi stvar bila još zanimljivija, postoje indicije da je masivnija zvijezda sistema (bijeli patuljak GD 165) ustvari i sam binarni sistem, što cijeli ovaj sistem značajno usložnjava i čini izazovnijim za istraživanje.

Zvijezda GD 165B već dvadesetak godina predstavlja glavni fokus istraživanja o smeđim patuljcima, i s njom smo zakoračili u svijet još tamnijih i neobičnijih objekata, kakav je npr. Gliese 229B, smeđi patuljak udaljen 19 svj. godina, mase 20-50 puta (0,02 – 0,05 Sunčeve) veće od Jupitera i površinske temperature 950 K. Tijelo koje nije ni planet, a ni zvijezda sposobna da vrši fuziju vodika (može vršiti fuziju deuterijuma u helijum-3).

47. Lich



Umjetnički doživljaj planeta u orbiti oko pulsara PSR B1257+12 (izvor: wikipedia)

Lokacija:	Sazviježđe Djevica
Drugi nazivi	PSR B1257+12
Klasa	Pulsar
Prividna magnituda:	-
Apsolutna magnituda:	-
Udaljenost:	2300 svjetlosnih godina
Značaj:	Prvi poznati pulsar sa planetama koje orbitiraju oko njega

Milisekundni pulsari, zarotirani akrecijom materijala sa zvijezde pratioca u binarnim sistemima, najtačniji su prirodni satovi koje poznajemo. Pulsar Crna udovica, o kojem je već bilo riječi u knjizi, rotira

brzinom od 640 obrtaja u sekundi i pri tome odašilje radio pulseve prema nama. Sporiji pulsar Lich (PSR B1257+12), udaljen 2300 svjetlosnih godina od nas, s druge strane, okrenuo je život svojim planetama naglavačke.

Generalno govoreći, ako je pulsar u međusobnoj orbiti sa drugim tijelom, pomjeraće se naprijed – nazad u pravcu prema nama. Kao svjetlost specifične talasne dužine, pulsevi se "Doplerski" pomjeraju. Stepen pomjeranja pokazuje brzinu pulsara tokom kretanja oko pratioca. To i orbitalni period daju informaciju o masi pratioca i njegovoj orbiti. Milisekundni pulsari su tako precizni da se mogu odrediti i veoma male mase.

Pulsar PSR B1257+12 je otkrio poljski astronom Aleksander Wolszczan 9. februara 1990. pomoću Arecibo radio teleskopa. To je millisekundni pulsar, vrsta neutronske zvijezde, sa periodom rotacije od 6,22 milisekunde.

Procjenjuje se da pulsar ima masu 1,4 Sunčeve što je tipično za većinu neutronskih zvijezda i pulsara. Također se procjenjuje da mu je radijus oko 10 kilometara, također uobičajen za pulsare. Pulsar je izuzetno vruć, s površinskom temperaturom oko 28850 K. Pulsar je nastao prije otprilike jedne do tri milijarde godina, kao rezultat transformacije iz bijelog patuljka u neutronsku zvijezdu koja se brzo okreće.

Pulsar Lich tetura sporadično. On nema jednog pratioca već tri. Još bolje, to nisu zvijezde već planete mase slične masi Zemlje. Otkrili smo da pulsari mogu imati planete.

Tri poznata ekstrasolarna planeta oko ovog pulsara su: "Draugr" (PSR B1257+12b ili PSR B1257+12A), "Poltergeist" (PSR B1257+12c ili PSR B1257+12B) i "Phobetor" (PSR B1257+12d ili PSR B1257+12C). Oni su bili ujedno i prvi ekstrasolarni planeti i prvi pulsarski planeti koji su ikad otkriveni; B i C 1992. godine, a A 1994. godine (planet dosad najmanje mase otkriven bilo kojom opservacijskom tehnikom, mase nešto manje od dvostruke mase Zemljinog mjeseca).

Vanjski planet u sistemu, mase barem 3,9 Zemljinih, na udaljenosti 0,46 AJ od zvijezde (nešto kao Merkur oko Sunca), ima orbitalni pe-

riod 98,2 dana. Unutrašnje tijelo, mase barem 4,3 Zemljine, ima orbitalni period 66,5 dana (na udaljenosti 0,36 AJ). Kasnija istraživanja otkrila su i treći planet mase barem 0,02 Zemljinih, na udaljenosti 0,19 AJ sa periodom od oko 25,2 dana. Ovaj sistem vjerovatno ima i asteroidni ili Kuiperov pojas.



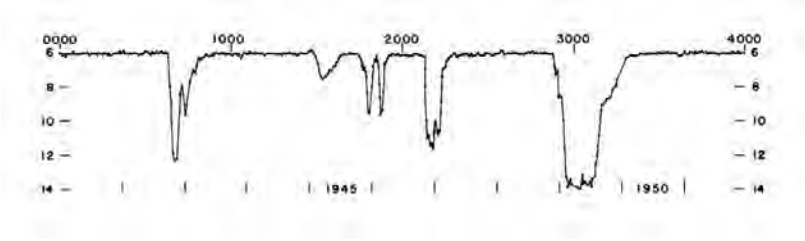
Poređenje veličine planete PSR B1257+12b (Draugr) *sa Zemljom*
(izvor: wikipedia)

Zanimljivo je da je od svih zvijezda koje su posmatrane, ovaj pulsar bilo prvo tijelo oko kojeg su pronađene planete. Kako je to moguće? Prema vodećoj hipotezi, smatra se da su planeti rezultat spajanja dva bijela patuljka u pulsar, pri čemu je ostatak materijala započeo orbitu oko pulsara i konsolidovao se u planete. Ako postoji izvor materijala, planeti će se izgleda formirati bilo gdje, čak i oko pulsara, što je dobar dokaz da brojni planetarni sistemi moraju biti prisutni oko zvijezda svuda oko nas.

Ali u ovom slučaju ne treba očekivati razvoj života. Visoke temperature neutronskih zvijezda čine okolne planete veoma vrućim i nepogodnim za život. Čak i da nije tako, jedan bljesak sa rotirajućeg pulsara bi bio smrtonosan za život kakav poznajemo.

Zasad poznajemo tek nekoliko pulsara (npr. PSR B1620-26) oko kojih orbitiraju planete. Ali iako rijetki, oni su važni jer pokazuju da se planete mogu formirati gotovo bilo gdje.

48. R Sjeverne krune



Četiri hiljade dana u životu R Sjeverne krune. Svakih nekoliko godina, nekad više, nekad manje, sjaj ove zvijezde naglo se smanji, a onda postepeno opet poveća. Smatra se da je uzrok izbacivanje sloja karbonske prašine koja se nalazi na pravcu prema nama i dramatično smanjuje sjaj zvijezde (copyright: AAVSO)

Lokacija:	Sazviježđe Sjeverna kruna
Drugi nazivi:	HR 5880
Klasa	Superdiv klase F – G
Prividna magnituda:	4,9 do 15
Apsolutna magnituda:	-5
Udaljenost:	4700 svjetlosnih godina
Značaj:	Pepeljasta zvijezda koja nestaje

Neke zvijezde eksplodiraju, čime im se poveća sjaj. Obično vidimo "novu", površinsku detonaciju na bijelom patuljku uslijed akrecije materije sa bliskog pratioca. U rijetkim slučajevima cijela zvijezda završi kao supernova (koja se nije vidjela u našoj galaksiji od 1604. godine). Uglavnom razumijemo te procese, ali kako to da neke zvijezde potpuno nestaju? Ne u potpunosti, naravno, ali barem u vidljivom dijelu spektra; čak i one koje vidimo kroz mali teleskop.

Možete vidjeti upravo takvu zvijezdu, najsvjetliju zvijezdu i prototip rijetke grupe zvijezda zvanih R Sjeverne krune (R Coronae Borealis), od kojih je tek 50 poznato, ali ni o jednoj se ne zna mnogo.

Sjeverna kruna je zanimljiv polukrug zvijezda koji se najbolje vidi na sjevernim geografskim širinama u proljeće i na ljeto. Među njima se nalazi jedna od najčudnijih i najrijeđih zvijezda koje možete vidjeti golim okom.

Sama zvijezda R Sjeverne krune se može lako naći na nebu; nalazi se u južnom dijelu krive koja čini sazviježđe Sjeverna kruna (Corona Borealis).

Prvi put je spomenuta prije više od 200 godina. Obično je ovaj impresivni superdiv klase G (G0) prividne magnitude 5,9, a onda, u prosjeku svakih nekoliko godina, s nevjerojatnom nepredvidljivošću, "R Cor Bor" (kako je ljubitelji nekad zovu) počinje da se krije, smanjujući sjaj na 12. magnitudu, pa čak i do 15. magnitude (postaje čak 4000 puta tamnija) i nakon godinu dana se polako "oporavi". Uz ove promjene, dolazi i do malih polu-periodičnih (3,5-godišnjih) fluktuacija.

R Sjeverne krune je previše daleko za izravno mjerenje paralakse, ali slične zvijezde u Velikom Magelanskom Oblaku (najveća od naših obližnjih satelitskih galaksija, čija je udaljenost poznata) imaju luminozitet oko 10000 puta veći od Sunca. Ako je slična, R Cor Bor mora biti udaljena između 4500 i 5000 svjetlosnih godina od nas. Procjenjuje se da joj je temperatura između 5000 i 5500 K, luminoziet i do 20000 Sunčevih, te da joj je radijus oko 100 Sunčevih, što predstavlja pola udaljenosti između Zemlje i Sunca.

Budući da nije obični superdiv velike mase, R Cor Bor ima 0,8 Sunčevih masa, a njegov veliki luminozitet potiče od njegove, još uvijek misteriozne, evolucione faze. Spektar zvijezde otkriva samo tragove vodika, što dovodi do zaključka da su njeni vanjski slojevi uglavnom od helijuma, a da su vodikove ljuske davno odbačene sa zvijezde. Ono što podupire ovu hipotezu je to što je ova zvijezda iznimno bogata ugljikom, koji je rezultat fuzije helijuma.

Ova zvijezda značajno gubi masu, oko 100000 puta više nego Sunce. Oko jedan posto ovog odbacujućeg gasa se kondenzira u ugljičnu prašinu, ali u diskretnim "oblačićima". Ako se jedan ovakav nađe na

putu između nas i zvijezde, ova "čađava zvijezda" nestaje na nebu. Otkrili smo da je temperatura unutrašnje prašinaste ljuske (prečnika 100 radijusa ove zvijezde) oko 900 Kelvina, i da je ona okružena ogromnim, hladnim "oblakom" prečnika oko 25 svjetlosnih godina. Zašto zvijezda izbacuje ove oblake još uvijek je nepoznato. Osim toga, prašina bi trebala biti formirana tamo gdje je plin dovoljno rashlađen, na udaljenosti većoj od 20 radijusa zvijezde. Međutim, spektar pokazuje da ona nastaje na 10 puta manjoj udaljenosti, možda kao rezultat izlaznih udarnih talasa.

R Cor Bor, ili inverzna nova – kako je neki zovu, je nebeski dimnjak koji svojim dimom jednom godišnje, ili svakih nekoliko godina, potpuno zakopa (sakrije) zvijezdu. Ovaj ugljična prašina se praktično pred našim očima pretvara u čađ.

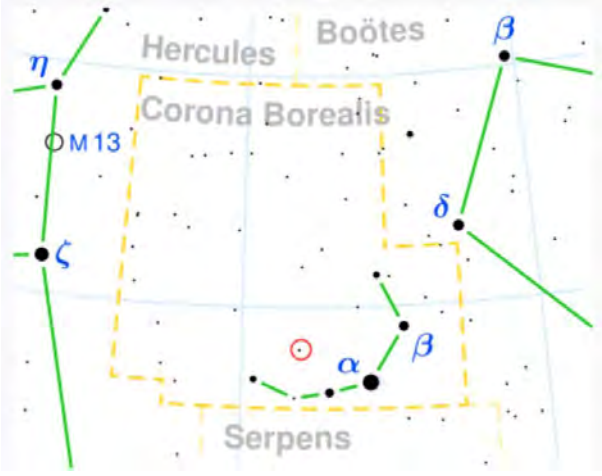
R Coronae Borealis sadrži oko 90% helijuma i manje od 1% vodika. Većina ostatka je ugljik. Kvalificira se kao ekstremna helijumska zvijezda obogaćena ugljikom.

Porijeklo ovakvih zvijezda je nepoznato. Jedna hipoteza tvrdi da im, dok se razvijaju u obične bijele patuljke, unutrašnjost iznenada postaje poprište uznapredovale helijumske fuzije (u ugljik) koja proširuje vanjske slojeve do divovskih proporcija. Druga hipoteza je da su zvijezde tipa R Cor Bor rezultat spajanja dva bijela patuljka u orbitirajućim binarnim sistemima, sa istim krajnjim učinkom.

R Cor Bor je možda potomak zvijezda kao što je FG Strelice (FG Sagittae). FG Strelice je centralna zvijezda planetarne magline, koja je na putu da postane bijeli patuljak. Neobične promjene u hemijskom sastavu ove zvijezde pokazuju da zvijezda vrši fuziju helijuma. Kao rezultat toga, zvijezda se širi i pretvara u diva bogatog helijumom i ugljikom ili čak u superdiva (kao što je npr. zvijezda R Cor Bor). Mala masa R Cor Bor (0,8 Sunčevih) podupire ovu hipotezu, jer jedino zvijezde koje nastaju iz promjenljivih tipa Mire da bi postale planetarna magline mogu biti tako sjajne, sa tako malo masom. Davno je R Cor Bor izgubila većinu atmosfere bogate vodikom i dovela produkte nuklearne fuzije (ugljik i ostale elemente) na svoju površinu.

U konačnici će postati bijeli patuljak, i završiti neslavno kao i većina zvijezda glavnog niza.

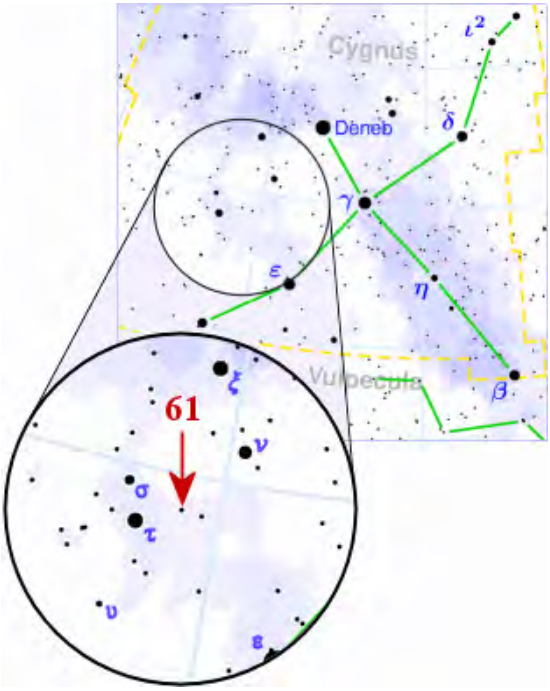
Zvijezda R Sjeverne krune je bila prva zvijezda kojoj je (1935. godine) spektroskopijom određeno da ima drugačiji sastav od Sunca. Ona je jedna od samo dvije zvijezde (uz RY Sagittarii) tipa R Coronae Borealis koje su dovoljno sjajne da se mogu vidjeti golim okom.



Lokacija zvijezde R Cor Bor na nebu (izvor: wikipedia)

Prijateljski nastrojena, zvijezda R Cor Bor nam očigledno pokušava nešto reći. Još uvijek ne znamo šta, ali to nas ne sprečava da je posmatramo i uživamo u njenom nestanku.

49. 61 Labuda



Položaj 61 Labuda u sazviježđu Labud (izvor: wikipedia)

Lokacija:	Sazviježđe Labud
Drugi nazivi:	HR 8085 i 8086, Beselova zvijezda
Klasa	Patuljci klase K
Prividna magnituda:	5,21 i 6,03
Apsolutna magnituda:	7,49 i 8,31
Udaljenost:	11,4 svjetlosne godine
Značaj:	Prva zvijezda kojoj je izmjerena udaljenost

Dokazati da se Zemlja kreće je veoma teško. Čak je lakše dokazati suprotno. Ako okrećete stolicu, slike na zidu se kreću naprijed i nazad. Ako se Zemlja kreće oko Sunca, zvijezde bi trebale mijenjati svoju

poziciju. Međutim, na prvi pogled, one to ne rade. Znači li to da smo mi centar svemira?

Srećom, Kopernik nam je pomogao da shvatimo cijelu tu zbrku. Kada gledamo planete kako se kreću, oni se uglavnom kreću prema istoku kroz zodijak. Ali kada se Mars približava opoziciji (u odnosu na Sunce), on mijenja svoj smjer i kreće se prividno unazad, prema zapadu. Kopernik nam je objasnio da se Zemlja kreće oko Sunca, i da kada prolazi pored Marsa, samo nam se čini da Mars ide unazad (retrogradno). Ako je to tako, ako se Zemlja kreće, a zvijezde ostaju stacionarne, onda one moraju biti veoma daleko. I ako je tako, njihova godišnja kretanja, njihove paralakse, trebaju, uz odgovarajuće teleskope, biti uočljivi.

Poboljšanjem teleskopa, kretanja zvijezda postala su donekle jasnija i nešto preciznije određena. Uprkos tome, paralaksa se nikako nije mogla izmjeriti; zvijezde su bile dalje nego što je iko mogao zamisliti. Usput je, kao što je već rečeno ranije u knjizi, Bradley otkrio, posmatrajući Gama Zmaja, aberaciju svjetlosti te zvijezde – pomjeranje položaja Gama Zmaja uslijed orbitalne brzine Zemlje i konačne brzine svjetlosti, što je pokazalo da je Kopernik bio u pravu.

Dvadeset godina kasnije, Bradley je otkrio i nutaciju, ali čak i sa ovim otkrićima, paralaksa je ostala neuhvatljiva. Moralo je proći skoro cijelo stoljeće da bi konačno Friedrich Bessel (njemački astronom, matematičar i fizičar) riješio ovaj problem. Shvatio je da je najbolji način da se ovo postigne – posmatranje zvijezde koja nam je blizu. Činilo mu se da je 61 Labuda dobar kandidat. Njeno vlastito kretanje (eng. proper motion) – pomak zvijezde na nebeskoj sferi (ugaoni pomak, koji se iskazuje kao ugaona brzina koju mjerimo ugaonim sekundama po godini) – je bilo preko 5 lučnih sekundi po godini, slično kao i kod Barnardove zvijezde.

Tako je Besell je 1838. godine objavio da paralaksa ove zvijezde iznosi oko 2/3 lučne sekunde (lučna sekunda je 1/3600 dio stepena) – udaljenost od 10,3 svj. godine. Sada znamo da ova paralaksa iznosi 0,29

lučnih sekundi, na osnovu čega je određena udaljenost do zvijezde od oko 7210000 AJ ili 11,4 svjetlosne godine.

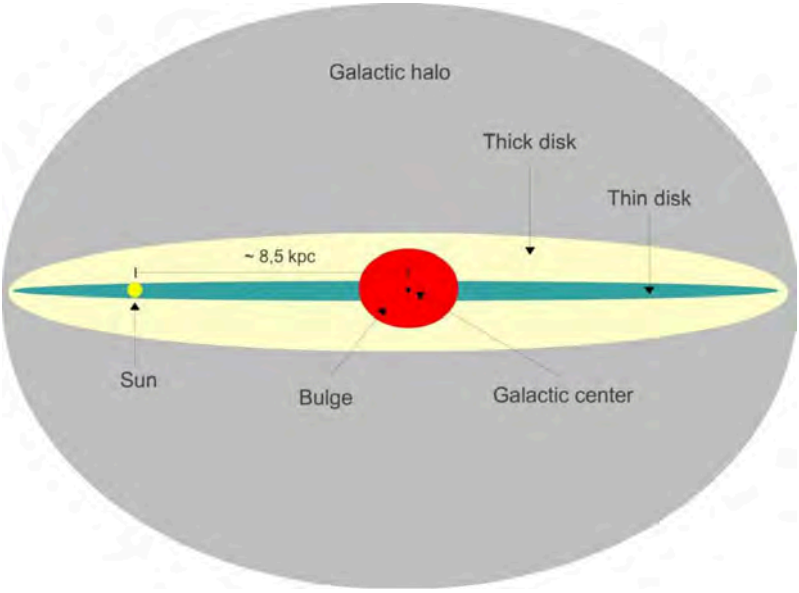
I pored toga, ova zvijezda je pomalo zanemarena. Ne samo da nema svoje ime, nego nema ni grčko slovo, samo Flamsteedov broj, 61 Labuda (61 Cygni). Ipak, svi koji su svjesni historije astronomije znaju koliko je ovo važna zvijezda.

Ne samo da je ova zvijezda binarni sistem, već dvije komponente, s magnitudama 5,2 i 6,0 (zajedno 4,8; mogu se vidjeti na tamnijim lokacijama), spadaju među najhladnije i najtamnije obične patuljke koji vrše fuziju vodika (odgovarajućih klasa K5 i K7), vidljive golim okom. S temperaturama od 4450 i 4120 K, njihovi luminoziteti su tek 15 i 9 % Sunčevog, njihove mase samo 60 i 50 % Sunčeve, a radijus 65 i 60 % Sunčevog.

Dva člana ovog binarnog sistema su prosječno međusobno udaljeni 85 AJ (nešto više od dvostruke udaljenosti Plutona od Sunca), a potrebno im je oko 650 godina za jedan obrtaj. Kao tamnije verzije zvijezda sličnih Suncu, ove dvije zvijezde imaju magnetske cikluse slične Sunčevim: svjetlija zvijezda 8 godina, a tamnija 11 godina. Kako se zvjezdane pjege (koje nisu vidljive) pomiču preko površine zvijezde, sjaj im varira, što daje brzinu rotacije ose od 35 dana. Kao magnetski aktivne zvijezde, svaka komponenta je sposobna proizvesti moćnu "baklju" koja uzrokuje iznenadno povećanje sjaja zvijezde.

61 Labuda A je tipična promjenljiva zvijezda tipa BY Zmaja (BY Draconis) označena kao V1803 Cyg, dok je 61 Labuda B vrsta promjenjive zvijezde (eng. Flare variable) pod nazivom HD 201092.

Par je također poznat po relativno visokoj brzini u odnosu na zvjezdanu pozadinu. Iako su nam ove zvijezde blizu, one se također kreću i velikom brzinom u odnosu na Sunce (108 km/s – više od pet puta brže nego Sunce u odnosu na svoje susjede), što znači da 61 Labuda nije član tankog diska naše galaksije (ova zvijezda potiče iz debljeg dijela diska naše galaksije i imaju starost veću nego naše Sunce), već samo posjetitelj koji se slučajno našao u komšiluku.



Dijelovi naše galaksije. 61 Labuda potiče iz debljeg dijela diska (eng. thick disk) (izvor: wikipedia)

61 Labuda je četvrta najbliža zvijezda vidljiva golim okom na sjevernim geografskim širinama, nakon Siriusa, Epsilon Eridana i Prociona. Za 20000 godina, 61 Labuda će od nas biti udaljena 9 svjetlosnih godina.

50. CW Lava



CW Lava u UV dijelu spektra, pri čemu se vidi zakrivljeni udarni talas
(izvor: wikipedia)

Lokacija:	Sazviježđe Lav
Drugi nazivi:	Irc +10216, RAFGL 1381
Klasa	Promjenljiva tipa Mire
Prividna magnituda:	ne vidi se u vidljivom dijelu spektra
Apsolutna magnituda:	nepoznata
Udaljenost:	500 svjetlosnih godina
Značaj:	Karbonska zvijezda zakopana u oblaku prašine i gasa punom raznih atoma i molekula

Iako je zvijezda CW Lava (Irc +10216) skoro na istoj udaljenosti kao zvijezda Mira (čijoj grupaciji promjenljivih zvijezda i pripada), ova zvijezda se, za razliku od Mire ne može vidjeti golim okom. Niko nije ni znao da je ona tamo, sve dok 1969. godine nije otkriveno da je to jedan od najsjajnijih objekata u IC dijelu spektra za koji znamo.

CW Lava (CW Leonis, IRC +10216) je relativno dobro istražena karbonska zvijezda koja je okružena debelom obvojnicom (omotačem) prašine. Ovu zvijezdu je prvi put 1969. otkrila grupa astronoma predvođenih Ericom Becklinom, posmatranjem u infracrvenom dijelu spektra (sa Caltechovim infracrvenim teleskopom prečnika 62", na opservatoriji Mount Wilson). Zvijezda zrači energiju uglavnom na infracrvenim talasnim dužinama.

CW lava je zapravo ogroman oblak gasa i prašine, prečnika 1,5 svjetlosne godine. Zakopana u tom oblaku je zvijezda CW Lava, hladna promjenljiva tipa Mire, sa temperaturom oko 2000K.

Vjeruje se kako je CW Lava u kasnoj fazi svog života, odbacujući svoju vlastitu čađavu atmosferu, što će dovesti do toga da se u dalekoj budućnosti konačno ovdje ukaže bijeli patuljak. Utvrđeno je da je početna masa ove zvijezde između 3-5 Sunčevih masa. Masa jezgre zvijezde, i konačna masa zvijezde nakon što postane bijeli patuljak, iznosi oko 0,7-0,9 Sunčevih masa. Njena bolometrijska luminoznost varira tokom ciklusa pulsiranja od 649 dana, u rasponu od 6250 Sunčevih luminoziteta do oko 15800 Sunčevih luminoziteta. Ogromni luminozitet zvijezde potpuno je apsorbovan od strane gasa i prašine (mase skoro kao masa Sunca) koji okružuju zvijezdu. Da nije oblaka, ova zvijezda bi imala sjaj sličan Miri.

Gasoviti omotač bogat ugljikom koji okružuje ovu zvijezdu star je najmanje 69000 godina i zvijezda gubi oko 10^{-5} Sunčevih masa godišnje. Proširen omotač zvijezde sadrži materijala mase barem 1,4 Sunčeve mase. Posmatranje iz 1999. godine pokazuju složenu strukturu ovog prašinastog omotača, uključujući lukove i nedovršene ljuske. Ovo može biti uzrokovano magnetskim ciklusom u zvijezdi koji je usporediv sa Sunčevim ciklusom i rezultira povremenim povećanjem gubitka mase.

Ako se pretpostavi da je udaljenost ove zvijezde 500 svjetlosnih godina, onda se atmosfera zvijezde proteže na 84000 AJ. Zvijezda i njen omotač kreću se kroz okolnu međuzvjezdanu materiju brzinom od preko 90 km/s.

Nekoliko je istraživanja sugeriralo da CW Lava ima bliskog pratioca. Astrometrijska mjerenja, u kombinaciji sa modelom koji uključuje pratioca, daju vrijednost paralakse koja pokazuje da je CW Lava dosad najbliža karbonska zvijezdi Zemlji.

Kako gas bogat ugljikom napušta ovu zvijezdu, on se hladi i jedan njegov dio se kondenzira u ugljičnu prašinu (nešto slično grafitu). Zračenje zvijezde gura ovaj oblak prašine naprijed. Oblak prašine sa sobom vuče gas i cijeli omotač se postepeno širi oko zvijezde.

Smatra se da prašina čini 1% mase ovog oblaka. Većina ostatka je vodik. Budući da ovaj oblak sadrži mnogo ugljika, u njemu nastaju mnoge kompleksne molekule. Oko 50 molekula otkriveno je u njemu, neke nikad viđene dotad. Neki od njih su nitrogen, kisik, voda, silicijum i željezo. Jedna je hipoteza je da je zvijezda nekad bila okružena kometama koje su se rastopile kada se zvijezda počela širiti, ali sada se čini da se voda prirodno formira u atmosferama svih karbonskih zvijezda.

Ovdje su nađeni i hidrogen-cijanid (HCN), etilen (C_2H_4), metil cijanid (CH_3CN), neobični lanci ugljika (npr. cijano-heksatrien, HC_7N) – od kojih neki sadrže i po 23 atoma ugljika. U nekim slučajevima ugljik nije prisutan: pronađen je npr. silikon dikarbid, a nađena je i so koju koristimo na Zemlji.

Proces gubitka mase kod ove zvijezde je kompleksan. Čini se da je brzina odbacivanja materije bila sporija u prošlosti, kada su tek formirani vanjski slojevi oblaka. Nadalje, oblak prašine i gasa nije kontinualan i možda dolazi do pulsiranja, pri čemu se deblje ljuske izbacuju svakih nekoliko stotina godina.

Snimanja većim ekspozicijama pokazuju formiranje unutrašnje bipolarne strukture koja donekle podsjeća na protoplanetarne magline (kao npr. kod magline Jaje) kao i na "obične" planetarne magline.

Čini se da je zvijezda CW Lava pri kraju faze drugog uspona (u HR dijagramu) i u procesu uklanjanja vanjskih slojeva, nakon čega će nastati planetarna maglina i ukazati se bijeli patuljak koji se vješto krije od svijeta.

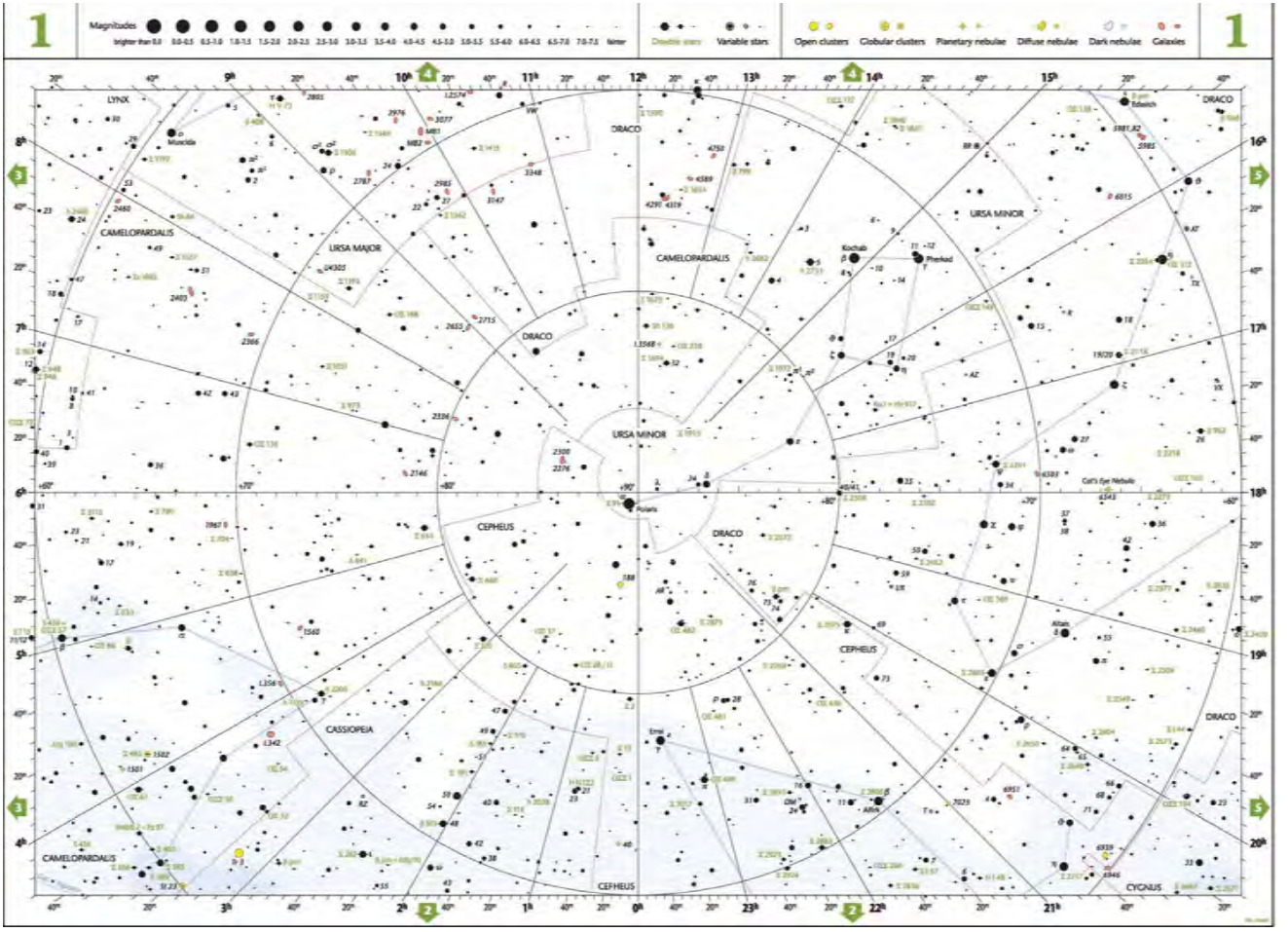
Ono što je ključno je da će nova generacija zvijezda biti formirana od materijala sa različitim hemijskim sastavom, jer materija sa zvijezda poput IRC +10216 sadrži elemente teže od vodika i helijuma, elemente poput ugljika, nitrogena, željeza, silicijuma.

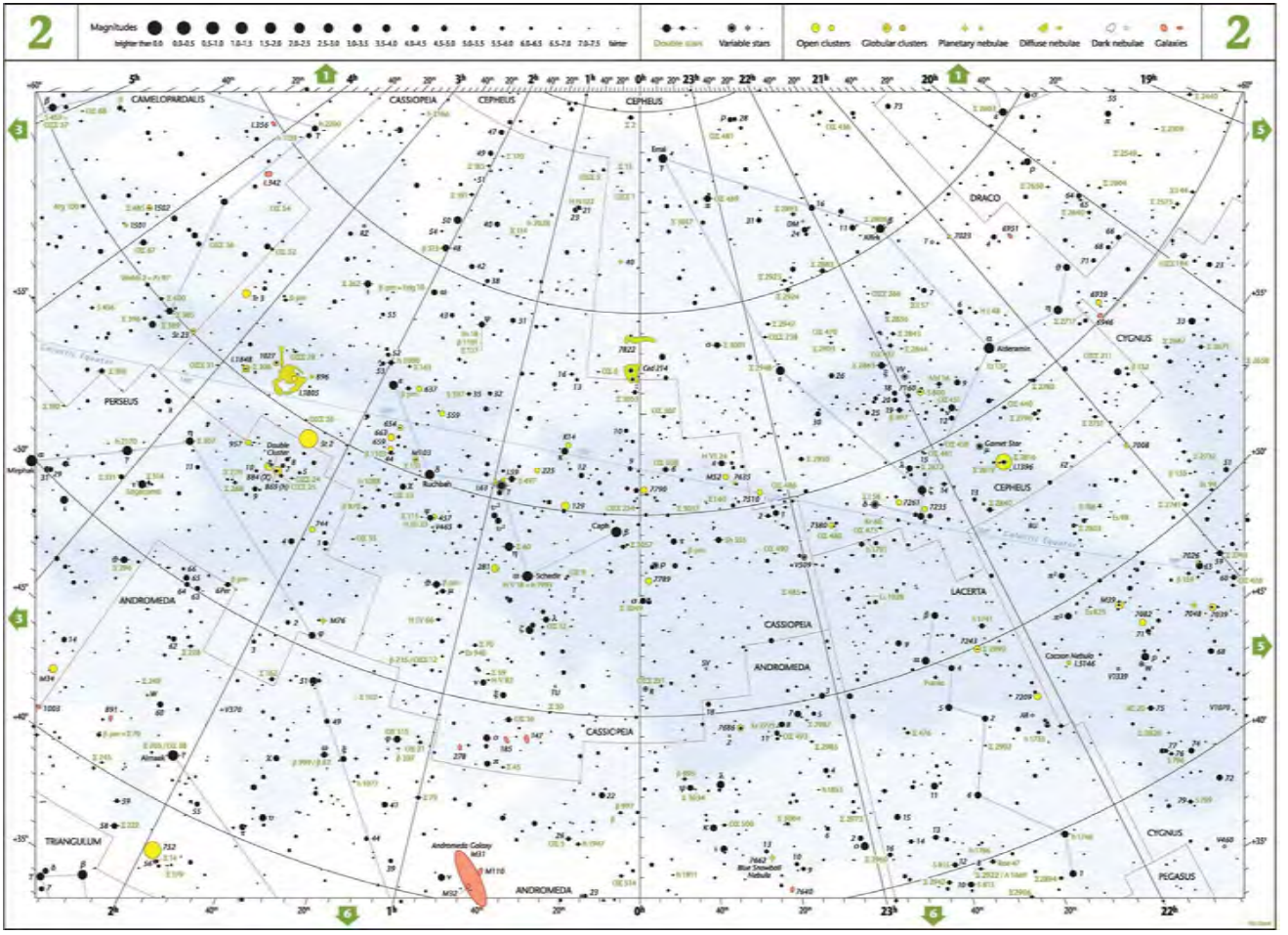
Da nema ovih umirućih zvijezda koje obogaćuju galaksiju novom materijom, ne bi bilo ni stjenovitih planeta, ne bi bilo metala i ne bi bilo života. Većina materije koja čini svako ljudsko tijelo, ako se vratite nekoliko milijardi godina unazad, morala je biti dio prašinastog oblaka umiruće zvijezde baš kao što je ovaj.

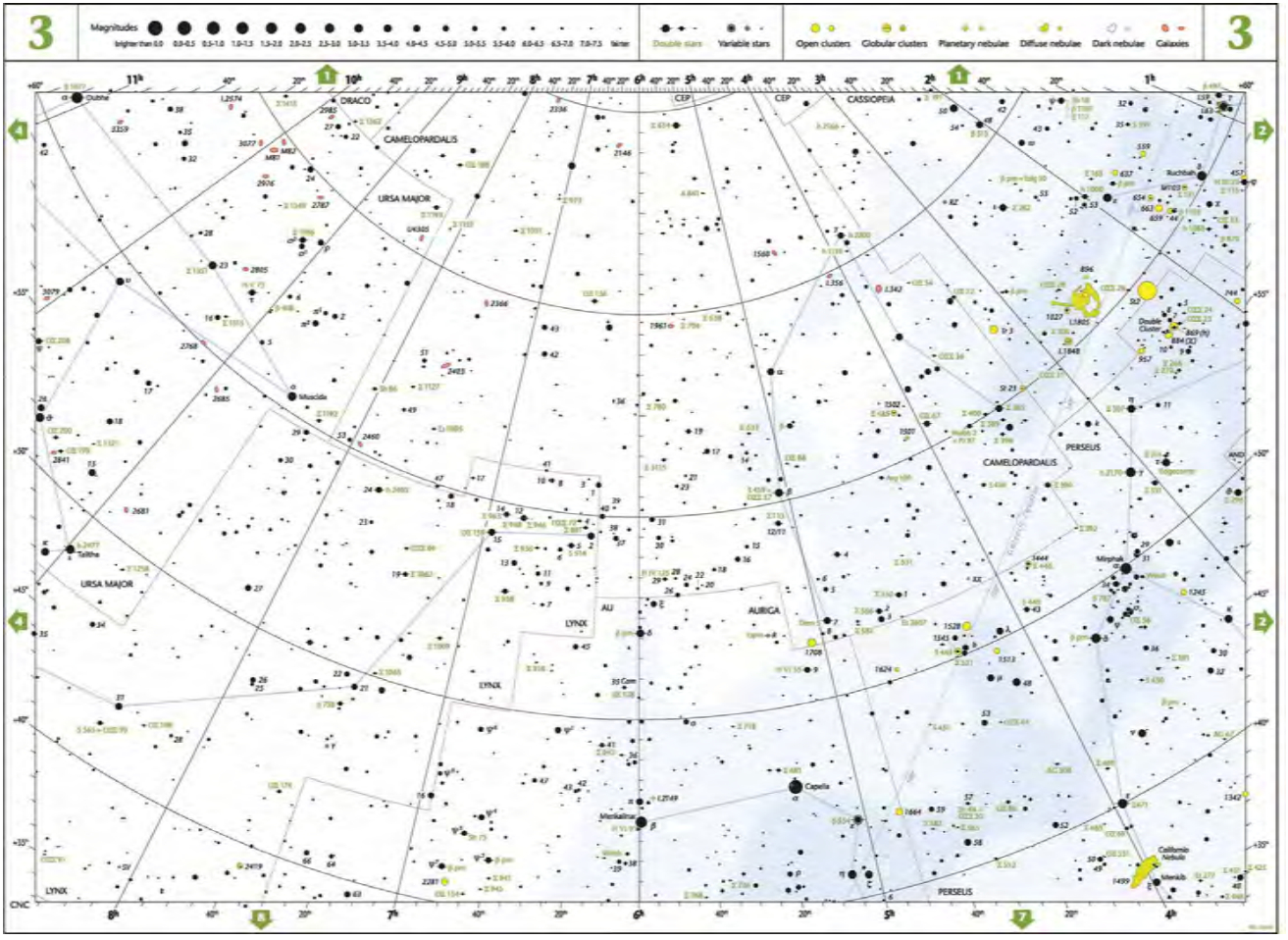
Atlas sjevernog neba

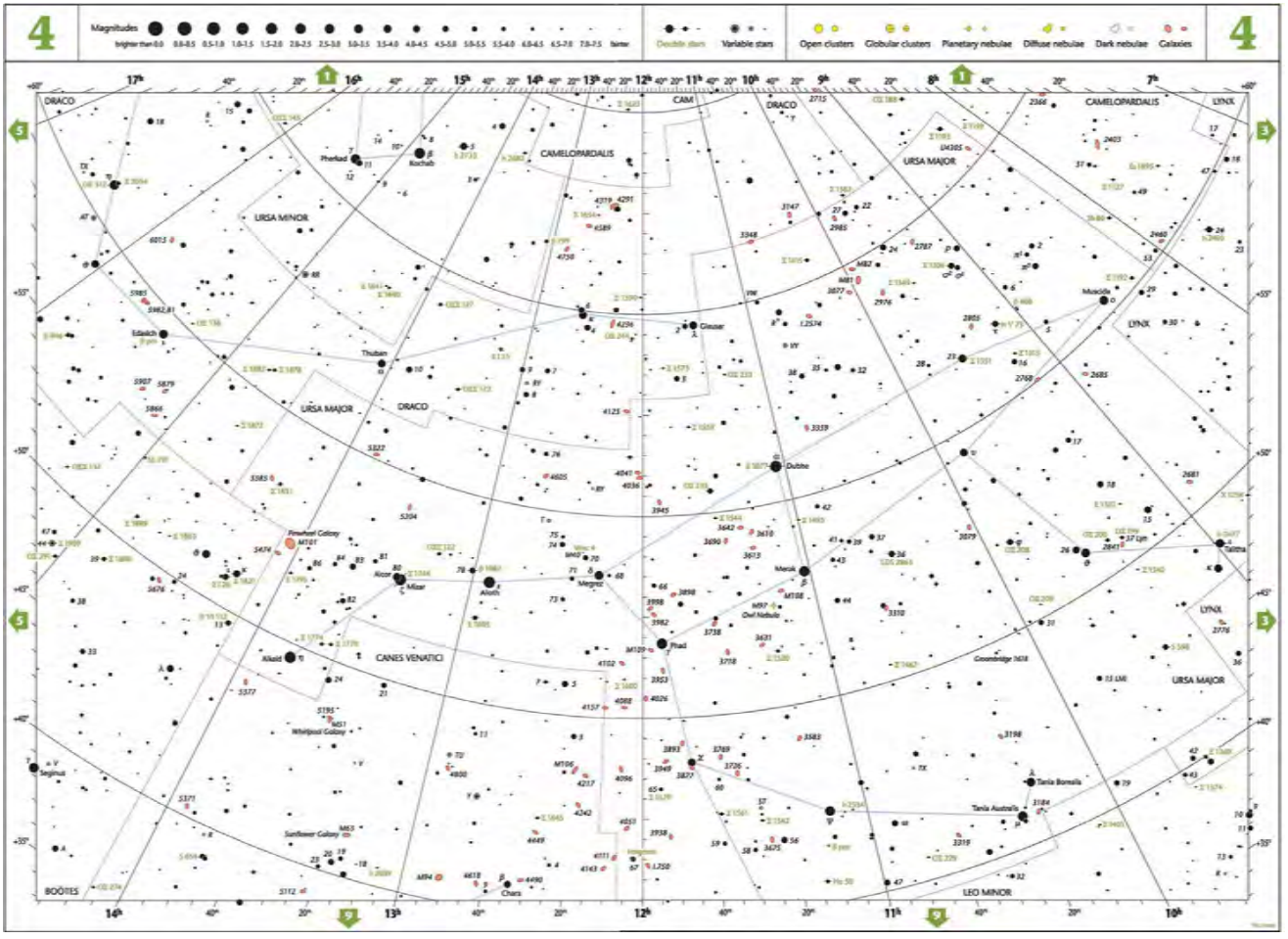
CHART INDEX
Northern hemisphere

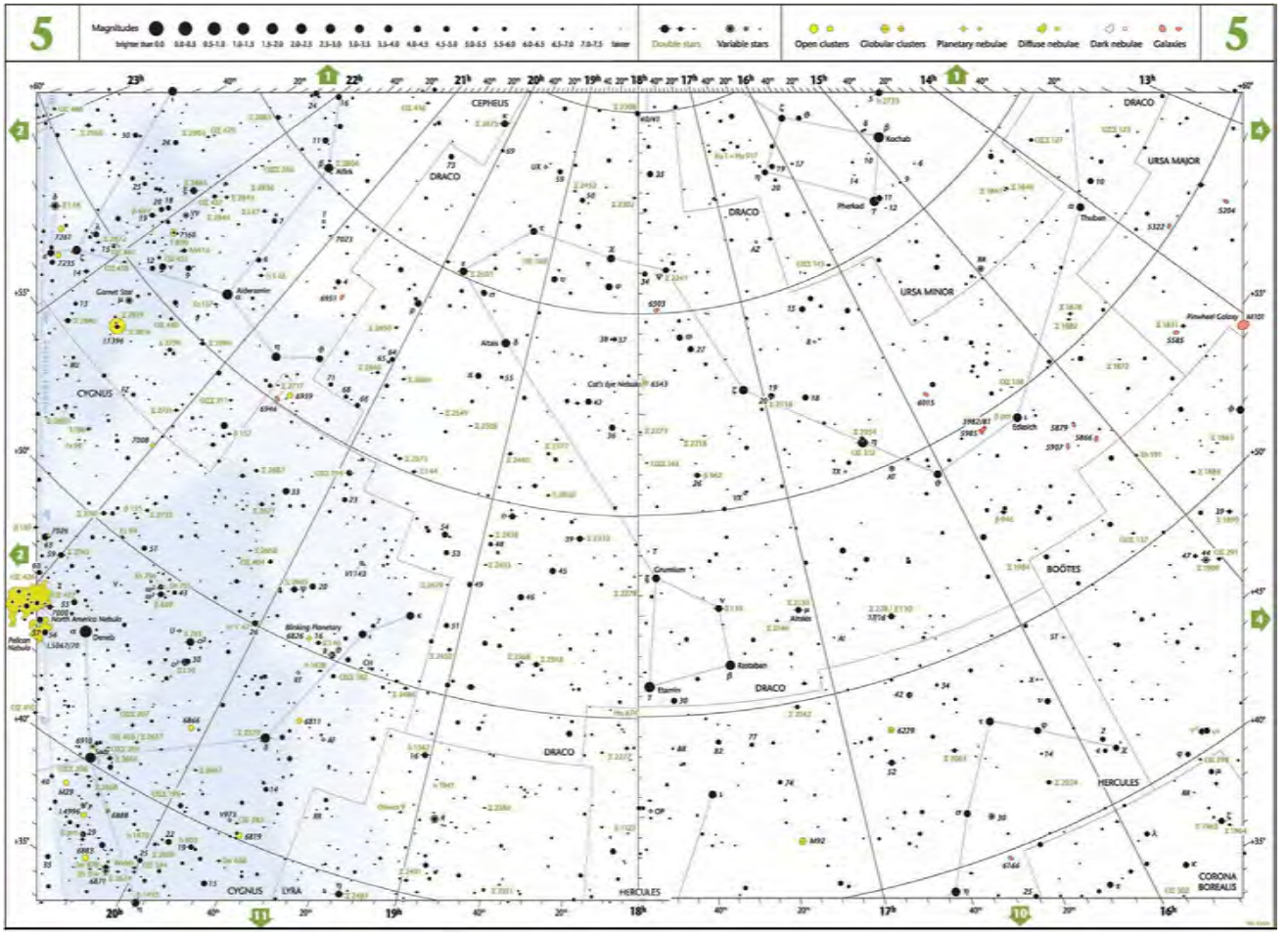


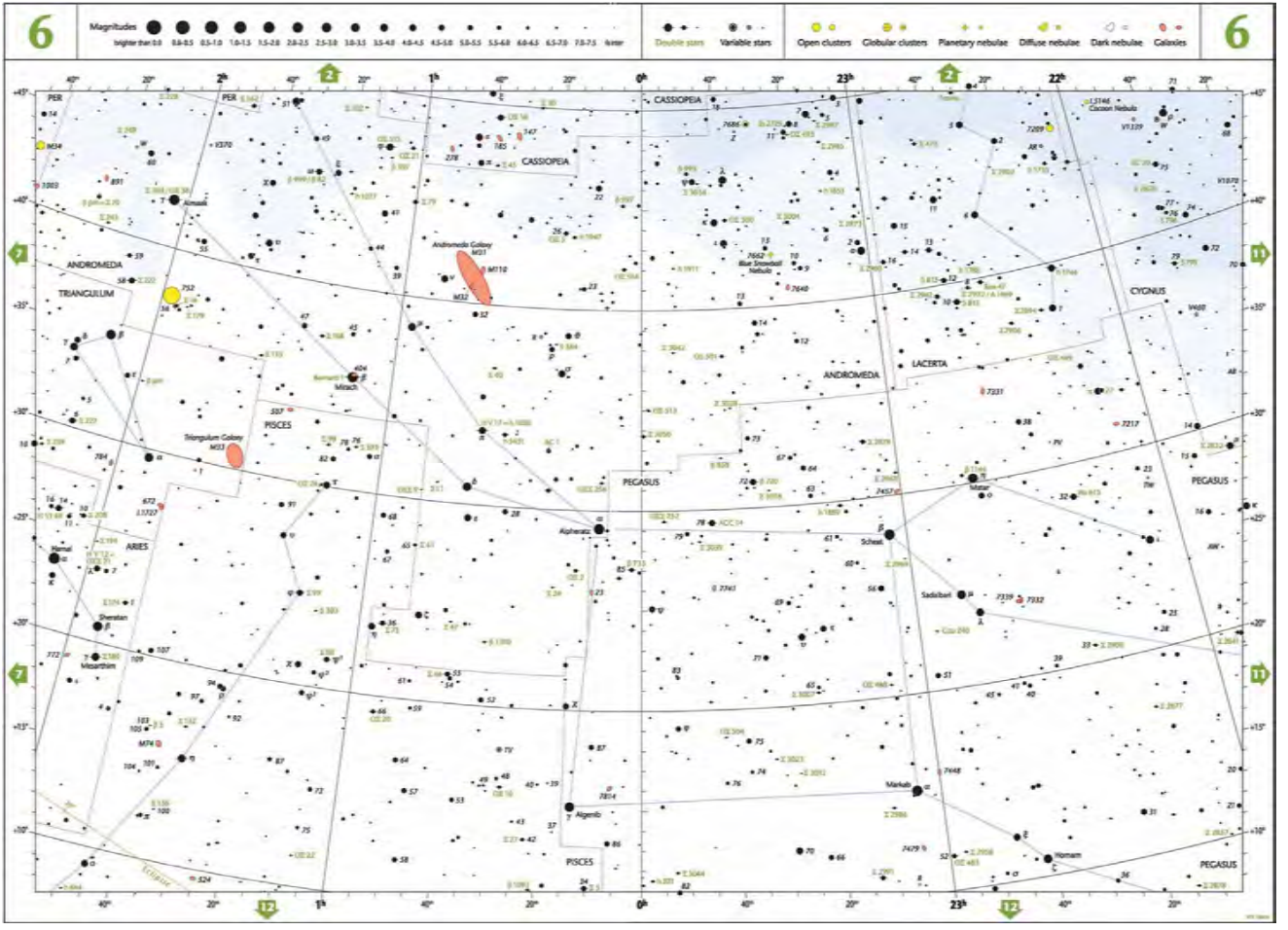

1
Magnitudes
brighter than 0.0
0.0-0.5
0.5-1.0
1.0-1.5
1.5-2.0
2.0-2.5
2.5-3.0
3.0-3.5
3.5-4.0
4.0-4.5
4.5-5.0
5.0-5.5
5.5-6.0
6.0-6.5
6.5-7.0
7.0-7.5
fainter
Double stars
Variable stars
Open clusters
Globular clusters
Planetary nebulae
Diffuse nebulae
Dark nebulae
Galaxies
1
LYNX
Muscida
CAMELOPARDALIS
URSA MAJOR
DRACO
URSA MINOR
Kochab
Pherkad
Polaris
Eltanin
Edasich
Cat's Eye Nebula
CEPHEUS
Alrai
Errai
CASSIOPEIA
CYGNUS

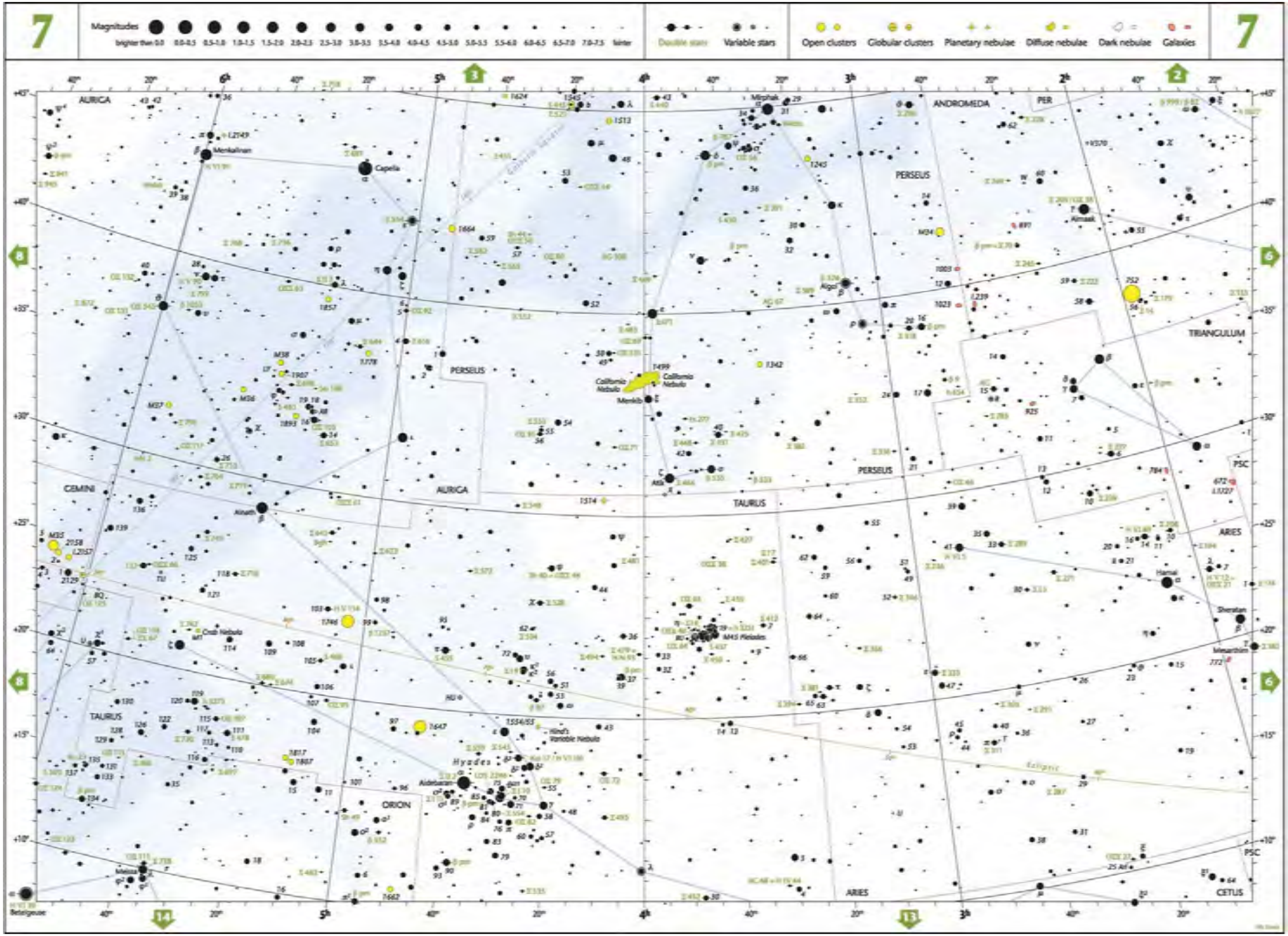

2
Magnitudes
brighter than 0.0
0.0-0.5
0.5-1.0
1.0-1.5
1.5-2.0
2.0-2.5
2.5-3.0
3.0-3.5
3.5-4.0
4.0-4.5
4.5-5.0
5.0-5.5
5.5-6.0
6.0-6.5
6.5-7.0
7.0-7.5
fainter
Double stars
Variable stars
Open clusters
Globular clusters
Planetary nebulae
Diffuse nebulae
Dark nebulae
Galaxies
2
CAMELOPARDALIS
CASSIOPEIA
CEPHEUS
DRACO
CYGNUS
PERSEUS
ANDROMEDA
LACERTA
TRIANGULUM
PEGASUS
Mirfak
Ruchbah
Schedir
Caph
Alderamin
Deneb Kaitos
Algenib
Double Cluster
Andromeda Galaxy M31
M110
M32
M103
M52
M76
M39
Cocoon Nebula
Blue Snowball Nebula
Comet Stor
Enif
Gal 254
5h
4h
3h
2h
1h
0h
23h
22h
21h
20h
19h
+60°
+55°
+50°
+45°
+40°
+35°

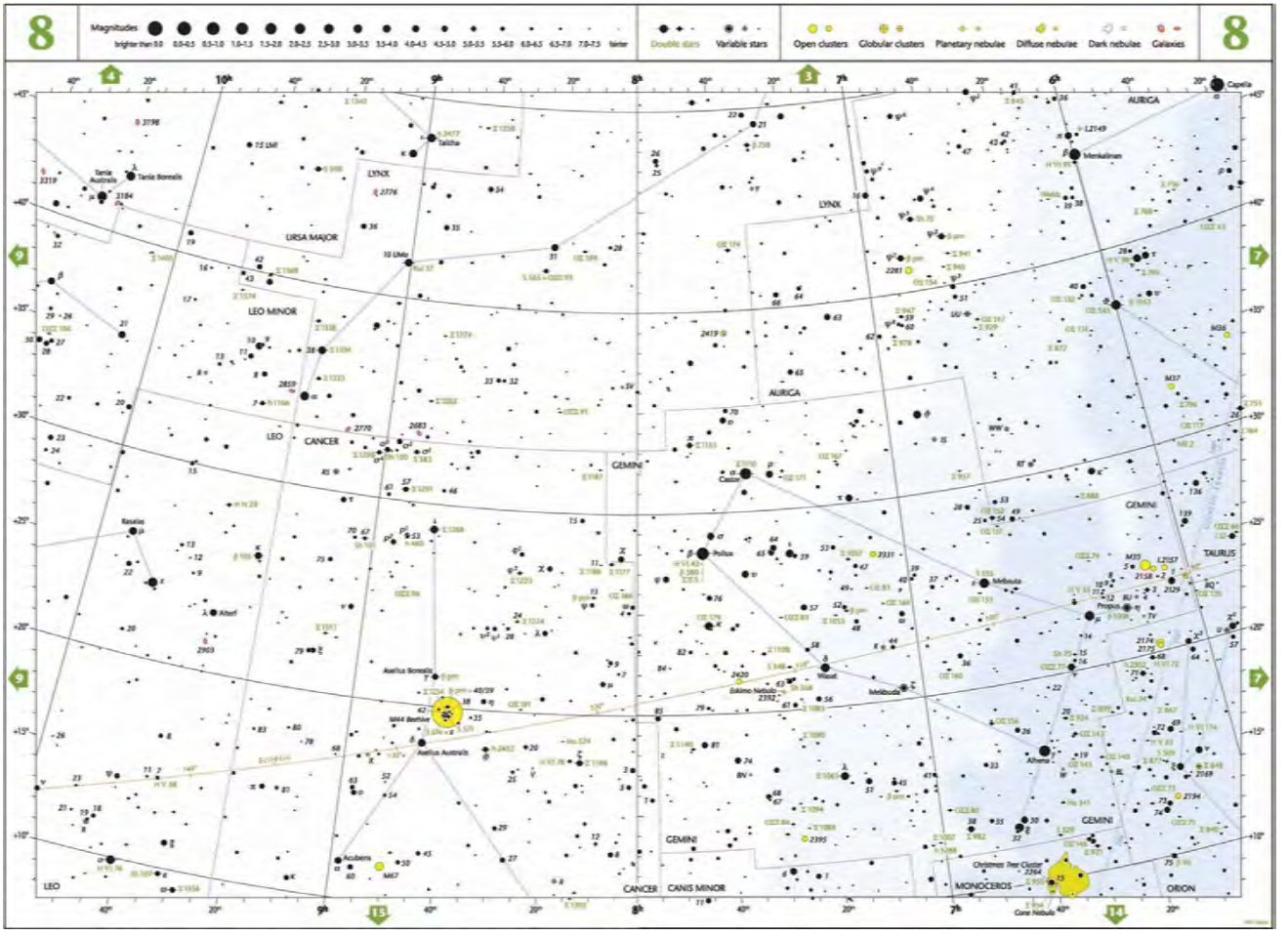

3
Magnitudes
brighter than 0.0
0.0-0.5
0.5-1.0
1.0-1.5
1.5-2.0
2.0-2.5
2.5-3.0
3.0-3.5
3.5-4.0
4.0-4.5
4.5-5.0
5.0-5.5
5.5-6.0
6.0-6.5
6.5-7.0
7.0-7.5
fainter
Double stars
Variable stars
Open clusters
Globular clusters
Planetary nebulae
Diffuse nebulae
Dark nebulae
Galaxies
3
DRACO
CAMELOPARDALIS
URSA MAJOR
CEP
CASSIOPEIA
PERSEUS
LYNX
AU
AURIGA
CNC
Dubhe
Muscida
Talitha
Capella
Mirphak
Ruchbah
Double Cluster
Cocoon Nebula
Caldwell 5
Merkeb
Menkalinan
M81
M82
11h
10h
9h
8h
7h
6h
5h
4h
3h
2h
1h
+60°
+55°
+50°
+45°
+40°
+35°
+30°

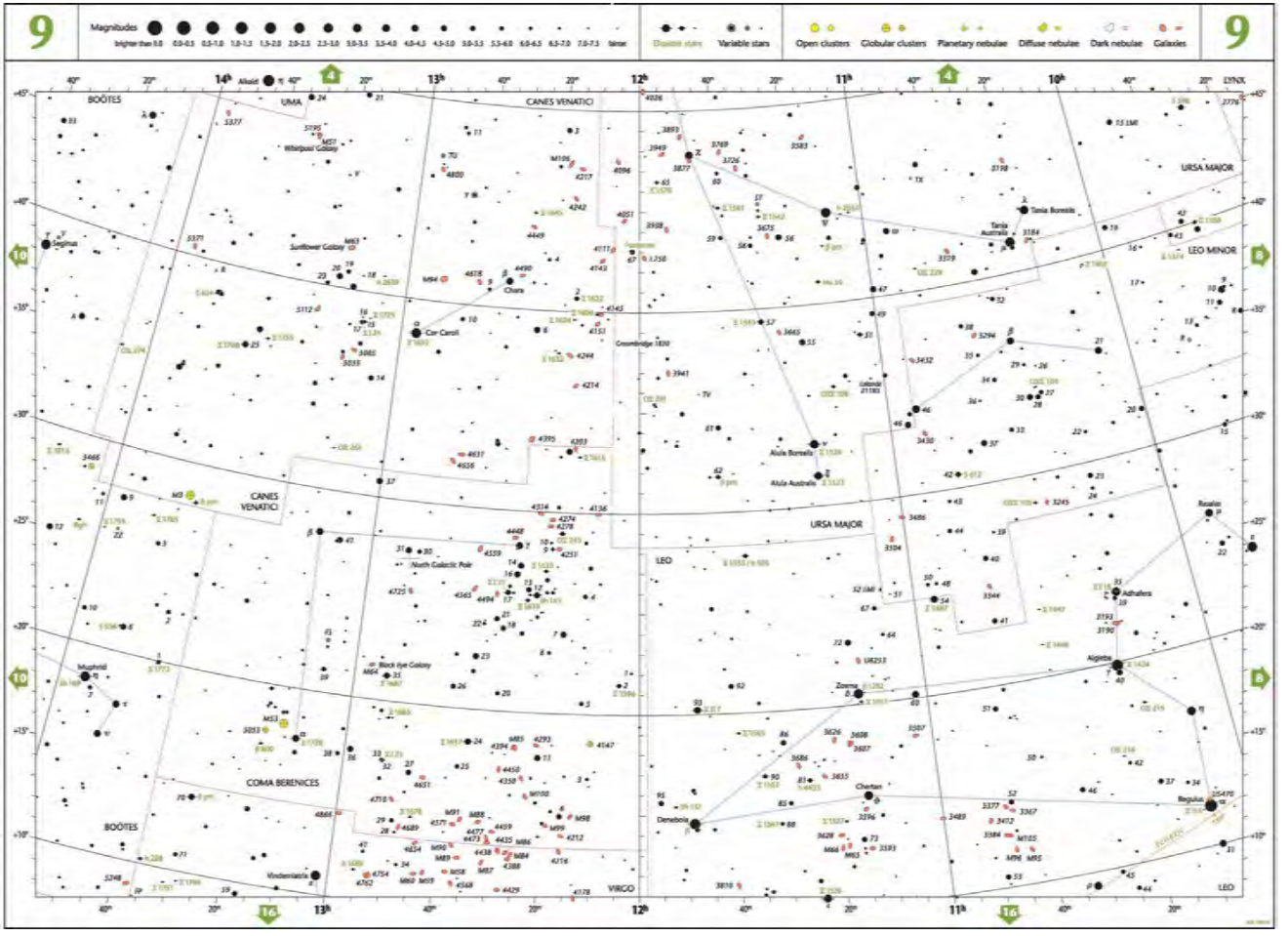

4
Magnitudes
brighter than 0.0
0.0-0.5
0.5-1.0
1.0-1.5
1.5-2.0
2.0-2.5
2.5-3.0
3.0-3.5
3.5-4.0
4.0-4.5
4.5-5.0
5.0-5.5
5.5-6.0
6.0-6.5
6.5-7.0
7.0-7.5
fainter
Double stars
Variable stars
Open clusters
Globular clusters
Planetary nebulae
Diffuse nebulae
Dark nebulae
Galaxies
4
DRACO
CAMELOPARDALIS
URSA MINOR
URSA MAJOR
CANES VENATICI
BOÖTES
CAM
LYNX
LEO MINOR
Pherkad
Kochab
Edasich
Thuban
Alkaid
Mizar
Alcor
Megrez
Phad
Merak
Dubhe
Ginsan
Muscida
Seginus
Chara
Tania Borealis
Tania Australis
Whirlpool Galaxy
Pinwheel Galaxy
Sunflower Galaxy
Owl Nebula
Cocoon Nebula
Coathanger
17h
16h
15h
14h
13h
12h
11h
10h
9h
8h
7h
+60°
+55°
+50°
+45°
+40°
+35°

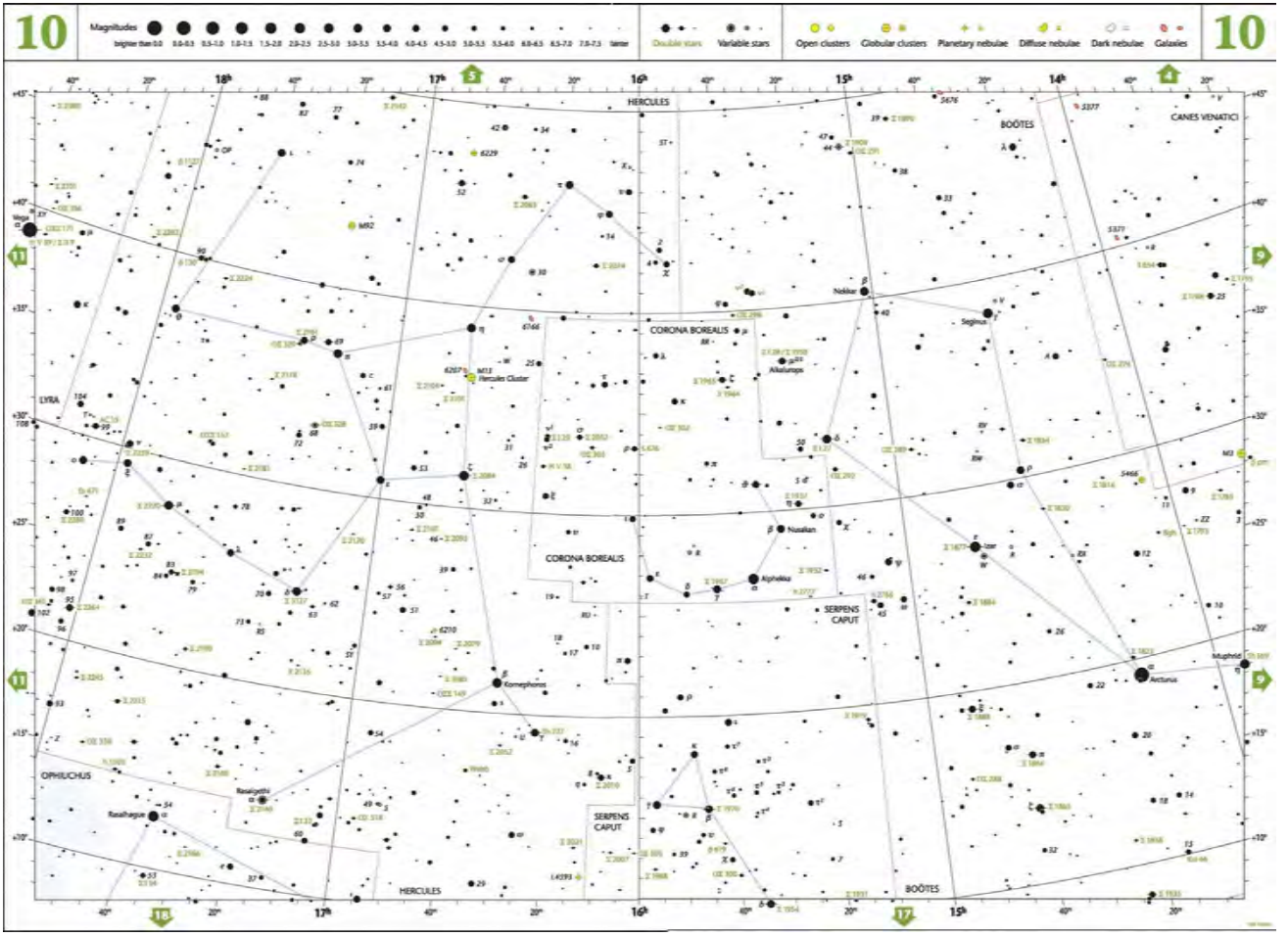

5
Magnitudes
brighter than 0.0
0.0-0.5
0.5-1.0
1.0-1.5
1.5-2.0
2.0-2.5
2.5-3.0
3.0-3.5
3.5-4.0
4.0-4.5
4.5-5.0
5.0-5.5
5.5-6.0
6.0-6.5
6.5-7.0
7.0-7.5
fainter
Double stars
Variable stars
Open clusters
Globular clusters
Planetary nebulae
Diffuse nebulae
Dark nebulae
Galaxies
5
CEPHEUS
DRACO
URSA MAJOR
URSA MINOR
CYGNUS
BOÖTES
HERCULES
LYRA
CORONA BOREALIS
Kochab
Pherkad
Thuban
Alderamin
Alrai
Gamet Star
Pinwheel Galaxy
M101
Cat's Eye Nebula
Eltanin
Rastaban
Etamin
Grumium
Altais
North America Nebula
Pelican Nebula
Deneb
Blinking Planetary
M29
M92
M56
23h
22h
21h
20h
19h
18h
17h
16h
15h
14h
13h
+60°
+55°
+50°
+45°
+40°
+35°

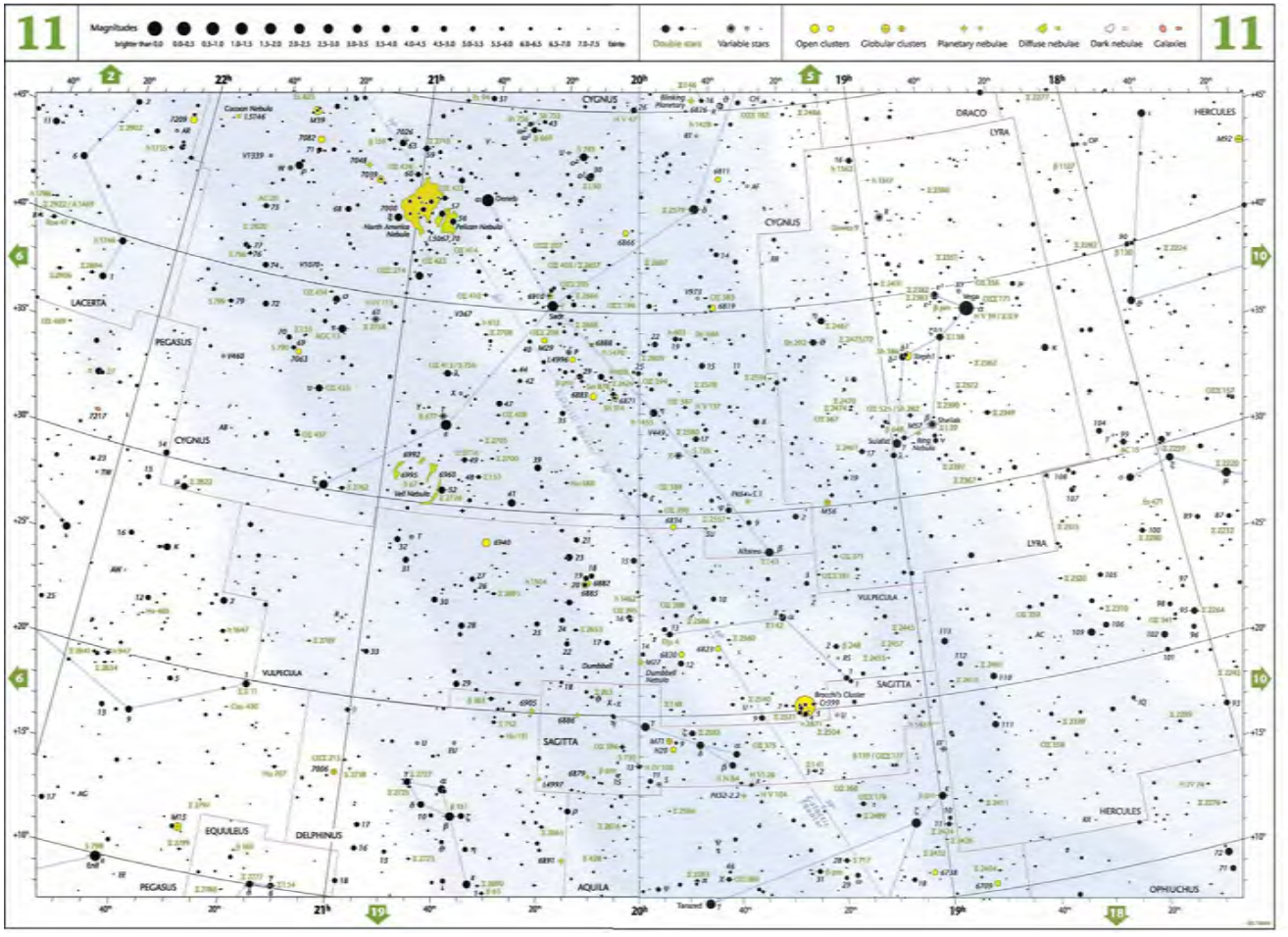

6
Magnitudes
brighter than 0.0
0.0-0.5
0.5-1.0
1.0-1.5
1.5-2.0
2.0-2.5
2.5-3.0
3.0-3.5
3.5-4.0
4.0-4.5
4.5-5.0
5.0-5.5
5.5-6.0
6.0-6.5
6.5-7.0
7.0-7.5
fainter
Double stars
Variable stars
Open clusters
Globular clusters
Planetary nebulae
Diffuse nebulae
Dark nebulae
Galaxies
6
PER
CASSIOPEIA
ANDROMEDA
TRIANGULUM
PISCES
ARIES
PEGASUS
CYGNUS
LACERTA
Andromeda Galaxy
M31
M110
M32
Triangulum Galaxy
M33
Almach
Alpheratz
Algenib
Markab
Schedar
Sadalbari
Mirfak
Hamal
Sheratan
Mesarthim
Ecliptic

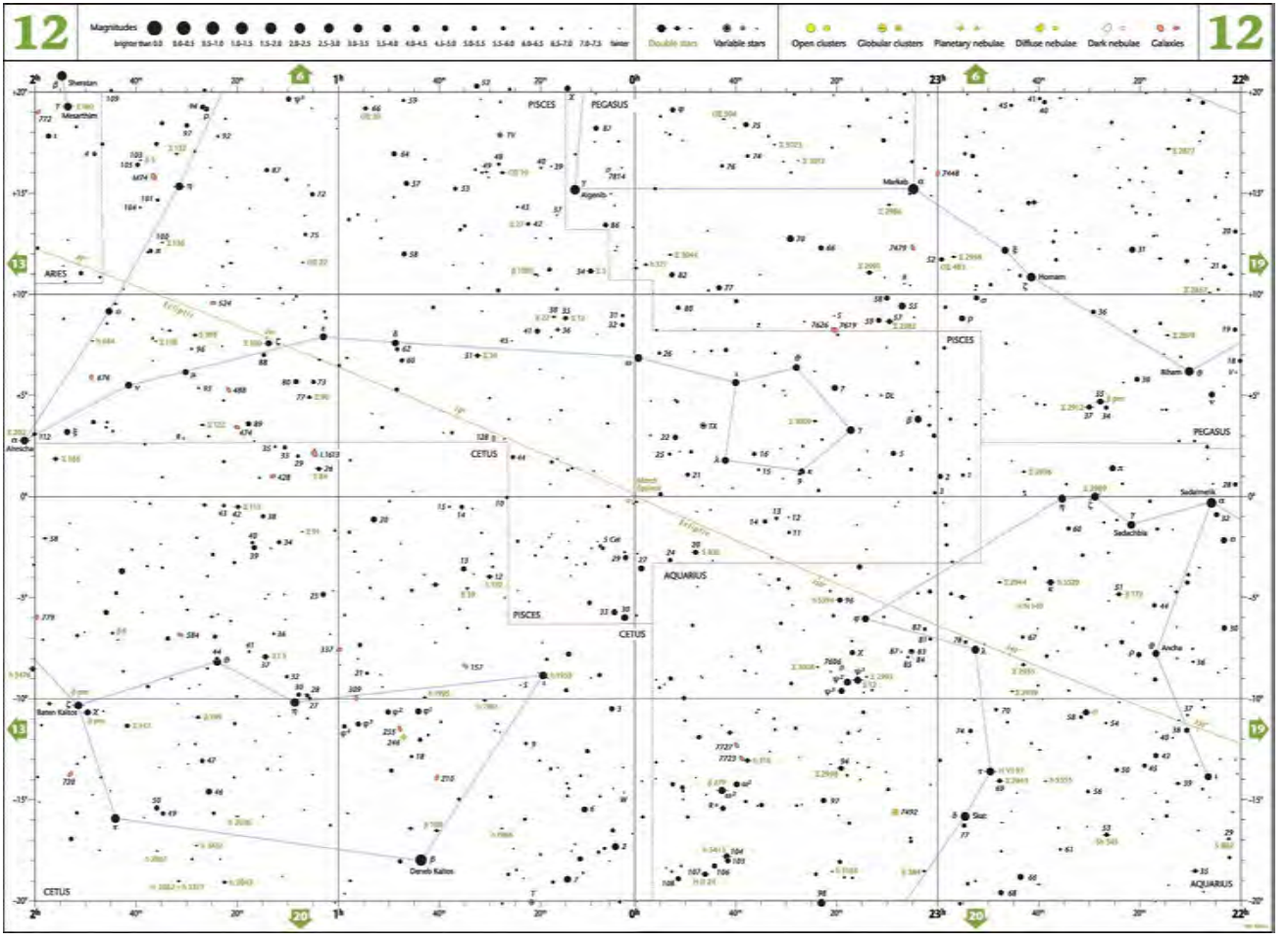

7
Magnitudes
brighter than 0.0
Double stars
Variable stars
Open clusters
Globular clusters
Planetary nebulae
Diffuse nebulae
Dark nebulae
Galaxies
AURIGA
ANDROMEDA
PER
PERSEUS
TRIANGULUM
GEMINI
TAURUS
ORION
ARIES
PSC
CETUS
Capella
Menkalinan
Mirphak
Algol
Almaak
Hamal
Sheratan
Mesarthim
Menkib
California Nebula
Elnath
Aldebaran
Hyades
Hind's Variable Nebula
M45 Pleiades
Crab Nebula
Betelgeuse
Ecliptic

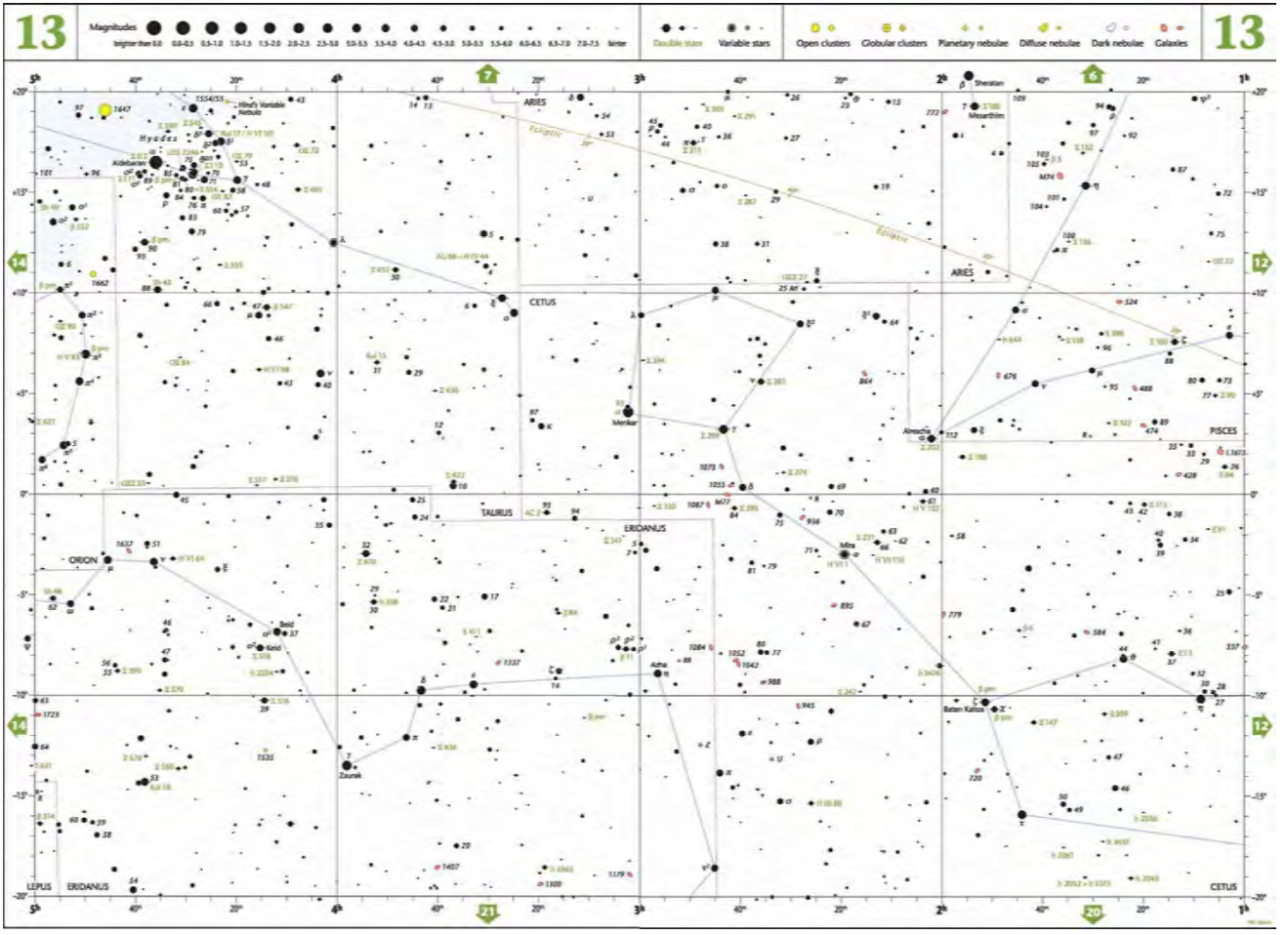

8
Magnitudes
brighter than 0.0
0.0–0.5
0.5–1.0
1.0–1.5
1.5–2.0
2.0–2.5
2.5–3.0
3.0–3.5
3.5–4.0
4.0–4.5
4.5–5.0
5.0–5.5
5.5–6.0
6.0–6.5
6.5–7.0
7.0–7.5
fainter
Double stars
Variable stars
Open clusters
Globular clusters
Planetary nebulae
Diffuse nebulae
Dark nebulae
Galaxies
8
Capella
AURIGA
Menkalinan
LYNX
URSA MAJOR
Talitha
Tania Australis
Tania Borealis
10 UMa
LEO MINOR
M36
M37
LEO
CANCER
GEMINI
Castor
Pollux
Rasalas
Alterf
Asellus Borealis
Asellus Australis
M44 Beehive
Wasat
Mebsuta
Propus
TAURUS
M35
Algenubi
Acubens
M67
CANIS MINOR
MONOCEROS
Christmas Tree Cluster
Cone Nebula
ORION
Alhena
13
14

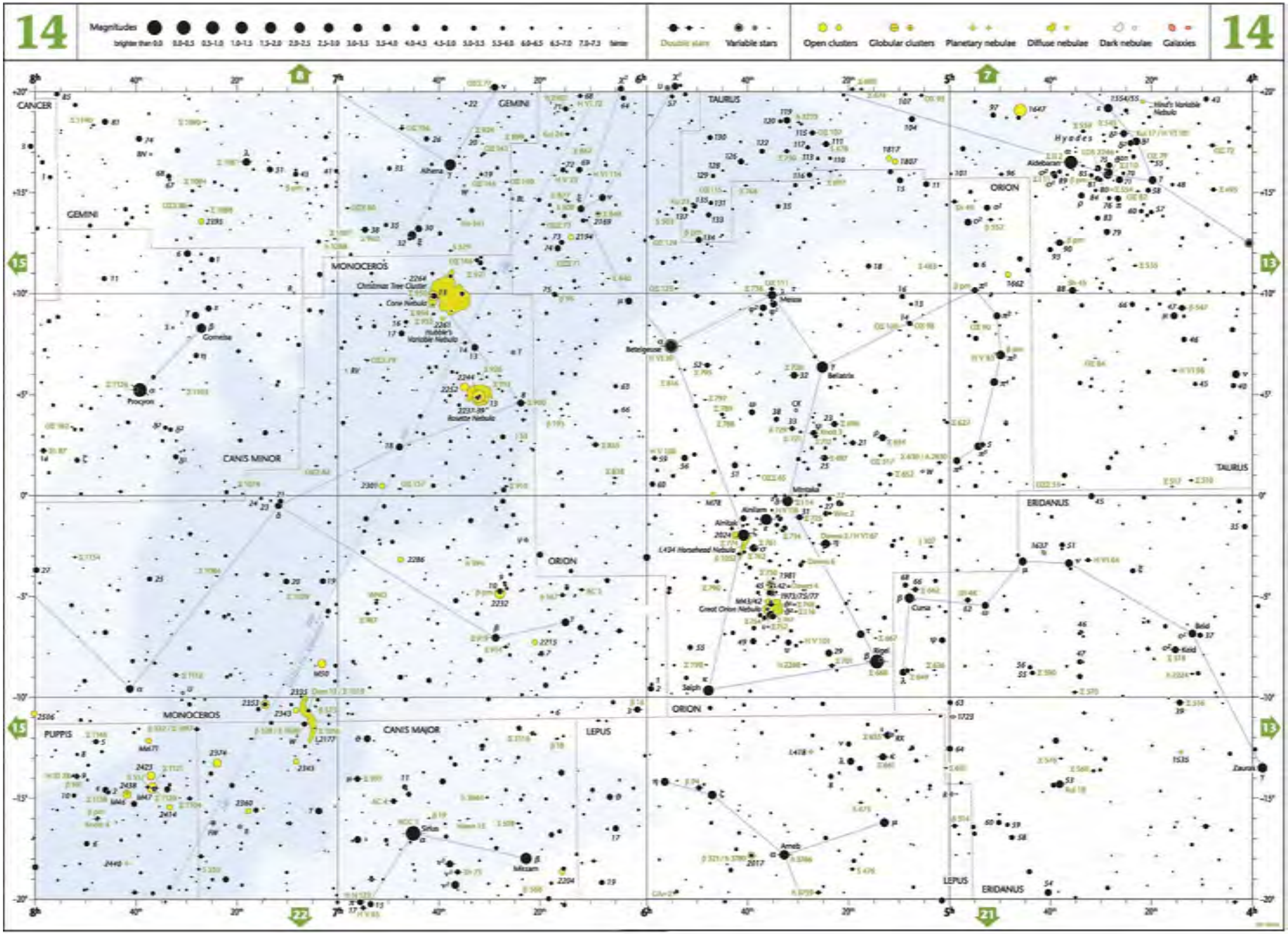

9
Magnitudes
brighter than 0.0
0.0-0.5
0.5-1.0
1.0-1.5
1.5-2.0
2.0-2.5
2.5-3.0
3.0-3.5
3.5-4.0
4.0-4.5
4.5-5.0
5.0-5.5
5.5-6.0
6.0-6.5
6.5-7.0
7.0-7.5
fainter
Double stars
Variable stars
Open clusters
Globular clusters
Planetary nebulae
Diffuse nebulae
Dark nebulae
Galaxies
9
BOÖTES
UMA
CANES VENATICI
URSA MAJOR
LEO MINOR
LEO
COMA BERENICES
VIRGO
Alkaid
Arcturus
Cor Caroli
Chara
Whirlpool Galaxy
Sunflower Galaxy
Cebalrai
Kochab
Tania Borealis
Tania Australis
Alula Borealis
Alula Australis
North Galactic Pole
Black Eye Galaxy
Muphrid
Vindemiatrix
Denebola
Algieba
Adhafera
Rasalas
Chertan
Regulus
Zosma
14h
13h
12h
11h
10h
+45°
+40°
+35°
+30°
+25°
+20°
+15°
+10°

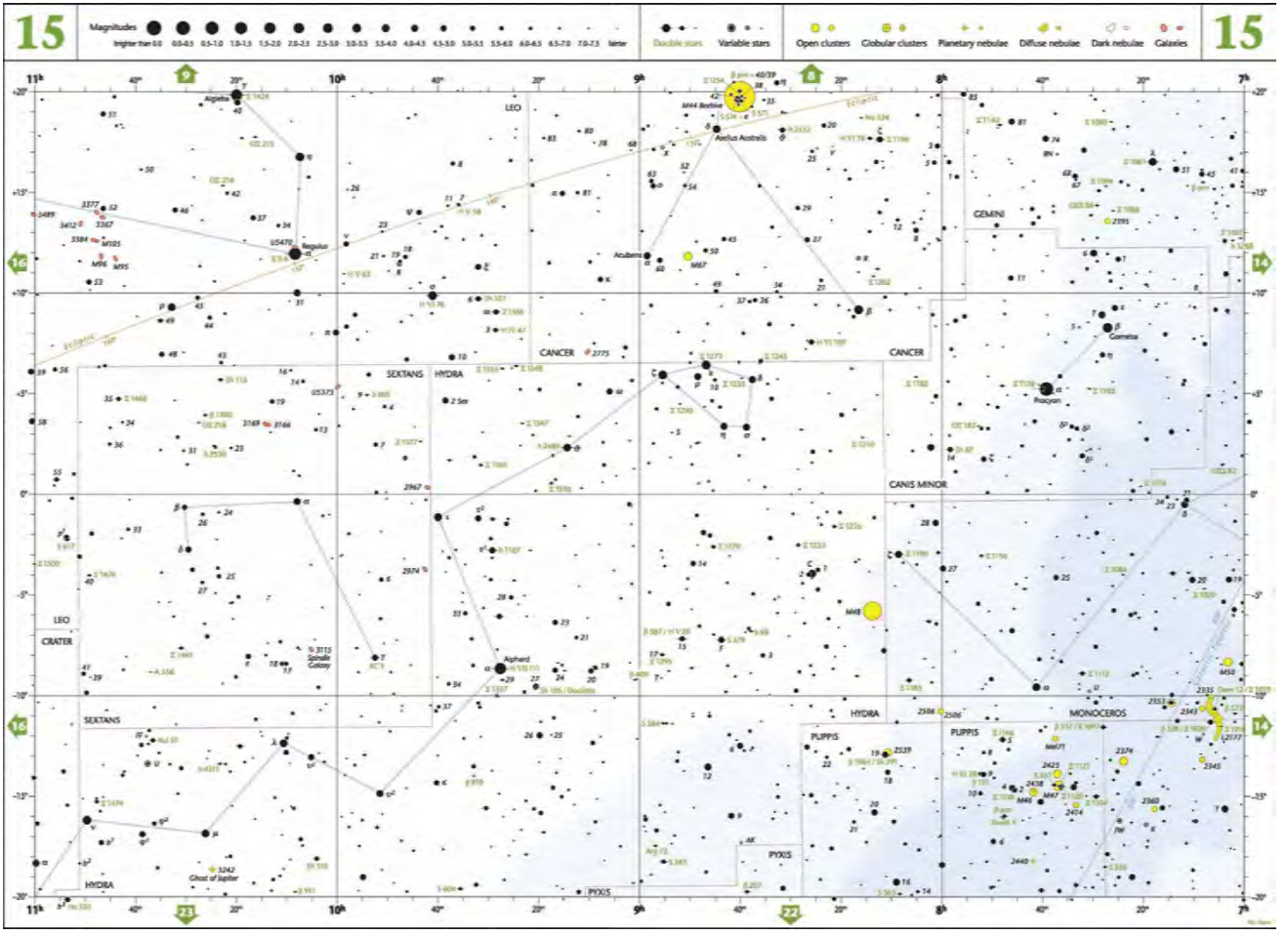

10
Magnitudes
brighter than 0.0
0.0-0.5
0.5-1.0
1.0-1.5
1.5-2.0
2.0-2.5
2.5-3.0
3.0-3.5
3.5-4.0
4.0-4.5
4.5-5.0
5.0-5.5
5.5-6.0
6.0-6.5
6.5-7.0
7.0-7.5
fainter
Double stars
Variable stars
Open clusters
Globular clusters
Planetary nebulae
Diffuse nebulae
Dark nebulae
Galaxies
10
HERCULES
BOÖTES
CANES VENATICI
CORONA BOREALIS
LYRA
OPHIUCHUS
SERPENS CAPUT
M92
M13
Hercules Cluster
Vega
Nekkar
Seginus
Alkalurops
Nusakan
Alphekka
Izar
Arcturus
Rasalgethi
Rasalhague
Kornephoros
Muphrid
S
4
11
9
18
17
+45°
+40°
+35°
+30°
+25°
+20°
+15°
+10°
40m
20m
18h
17h
16h
15h
14h


11
Magnitudes
brighter than 0.0
0.0-0.5
0.5-1.0
1.0-1.5
1.5-2.0
2.0-2.5
2.5-3.0
3.0-3.5
3.5-4.0
4.0-4.5
4.5-5.0
5.0-5.5
5.5-6.0
6.0-6.5
6.5-7.0
7.0-7.5
fainter
Double stars
Variable stars
Open clusters
Globular clusters
Planetary nebulae
Diffuse nebulae
Dark nebulae
Galaxies
11
CYGNUS
DRACO
HERCULES
LYRA
LACERTA
PEGASUS
VULPECULA
SAGITTA
EQUULEUS
DELPHINUS
AQUILA
OPHIUCHUS
Cocoon Nebula
North America Nebula
Pelican Nebula
Dumbbell Nebula
Ring Nebula
Sheliak
Sulafat
Albireo
Brocchi's Cluster
Deneb
Vega
Tarazed
Altair

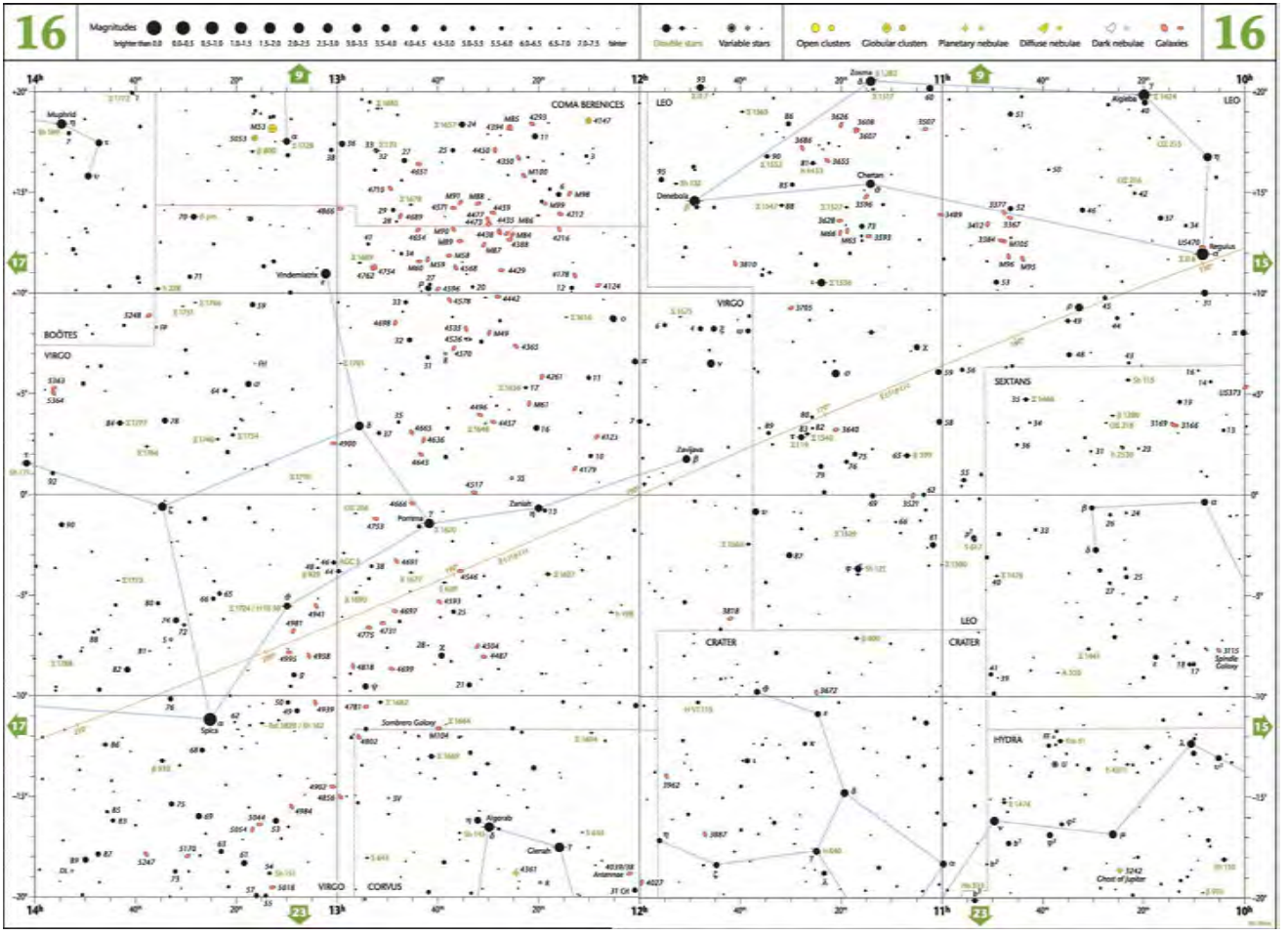

12
Magnitudes
brighter than 0.0
0.0–0.5
0.5–1.0
1.0–1.5
1.5–2.0
2.0–2.5
2.5–3.0
3.0–3.5
3.5–4.0
4.0–4.5
4.5–5.0
5.0–5.5
5.5–6.0
6.0–6.5
6.5–7.0
7.0–7.5
fainter
Double stars
Variable stars
Open clusters
Globular clusters
Planetary nebulae
Diffuse nebulae
Dark nebulae
Galaxies
12
PISCES
PEGASUS
ARIES
CETUS
AQUARIUS
Sheratan
Mesarthim
Algenib
Markab
Homam
Alrescha
Menkar
Sadalmelik
Sadachbia
Ancha
Baten Kaitos
Deneb Kaitos
Sisr
Ecliptic
Celestial Equator

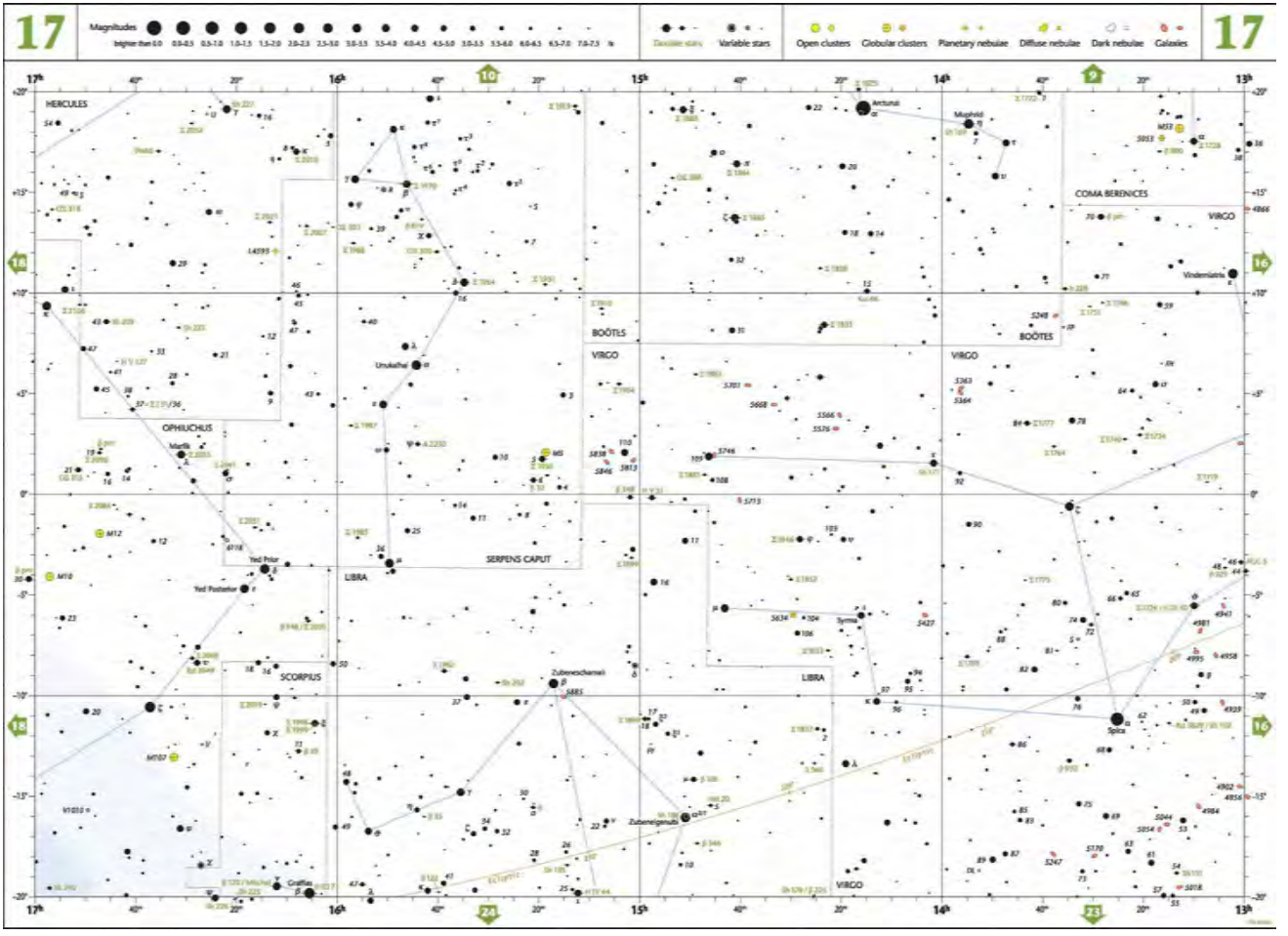

Magnitudes
brighter than 0.0
0.0-0.5
0.5-1.0
1.0-1.5
1.5-2.0
2.0-2.5
2.5-3.0
3.0-3.5
3.5-4.0
4.0-4.5
4.5-5.0
5.0-5.5
5.5-6.0
6.0-6.5
6.5-7.0
7.0-7.5
fainter
Double stars
Variable stars
Open clusters
Globular clusters
Planetary nebulae
Diffuse nebulae
Dark nebulae
Galaxies
ARIES
CETUS
TAURUS
ERIDANUS
ORION
PISCES
LEPUS
Hind's Variable Nebula
Aldebaran
Menkar
Mesarthim
Sheratan
Almaaz
Mira
Achernar
Baten Kaitos
Zaurak
Rigel
Saiph
Hyades
Ecliptic


14
Magnitudes
brighter than 0.0
Double stars
Variable stars
Open clusters
Globular clusters
Planetary nebulae
Diffuse nebulae
Dark nebulae
Galaxies
14
CANCER
GEMINI
MONOCEROS
CANIS MINOR
CANIS MAJOR
PUPPIS
LEPUS
ORION
TAURUS
ERIDANUS
Procyon
Gomeisa
Alhena
Christmas Tree Cluster
Cone Nebula
Hubble's Variable Nebula
Rosette Nebula
Betelgeuse
Meissa
Bellatrix
Mintaka
Alnilam
Alnitak
L434 Horsehead Nebula
Great Orion Nebula
Saiph
Rigel
Cursa
Sirius
Mirzam
Arneb
Aldebaran
Hyades
Hind's Variable Nebula
Zaurak
Beid
Keid

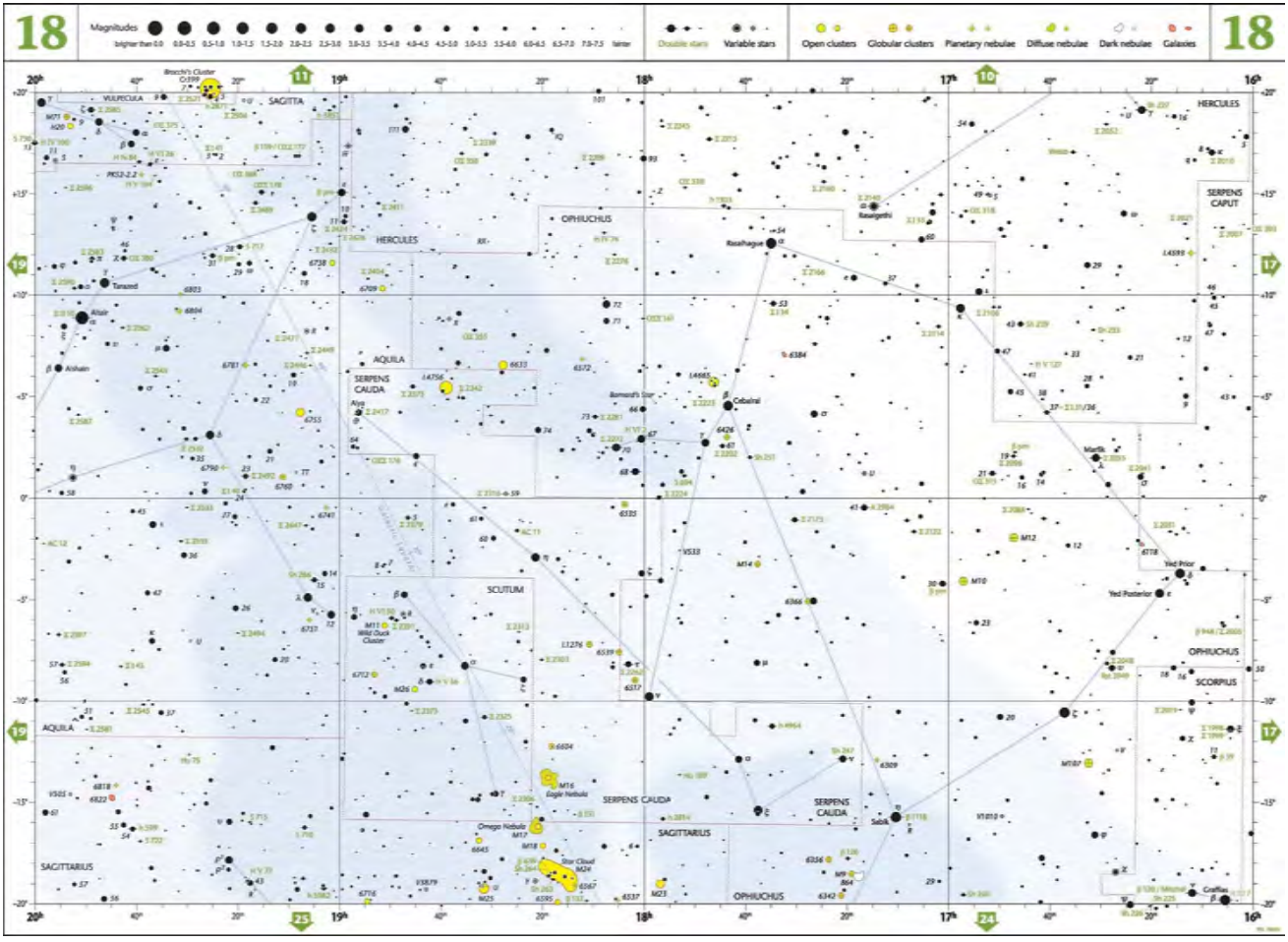

Magnitudes
Brighter than 0.0
0.0-0.5
0.5-1.0
1.0-1.5
1.5-2.0
2.0-2.5
2.5-3.0
3.0-3.5
3.5-4.0
4.0-4.5
4.5-5.0
5.0-5.5
5.5-6.0
6.0-6.5
6.5-7.0
7.0-7.5
fainter
Double stars
Variable stars
Open clusters
Globular clusters
Planetary nebulae
Diffuse nebulae
Dark nebulae
Galaxies
LEO
CANCER
GEMINI
SEXTANS
HYDRA
CANIS MINOR
CRATER
MONOCEROS
PUPPIS
PYXIS
Algieba
Regulus
Acubens
Asellus Australis
Procyon
Alphard
Ghost of Jupiter
Spindle Galaxy
M44 Beehive
M67
M48
M50
M46
M47
M93
M95
M96
M105

15

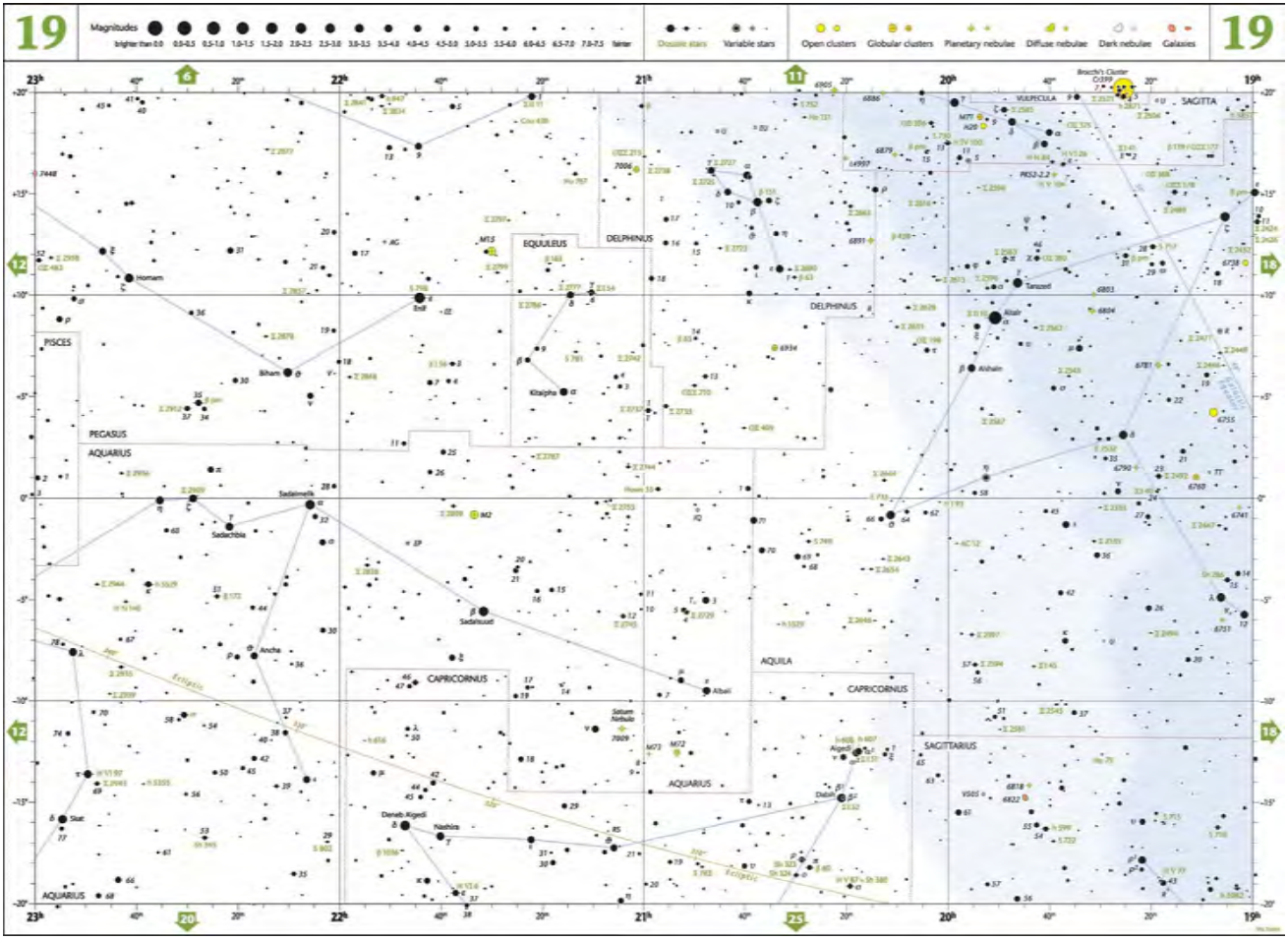

Magnitudes
brighter than 0.0
0.0-0.5
0.5-1.0
1.0-1.5
1.5-2.0
2.0-2.5
2.5-3.0
3.0-3.5
3.5-4.0
4.0-4.5
4.5-5.0
5.0-5.5
5.5-6.0
6.0-6.5
6.5-7.0
7.0-7.5
fainter
Double stars
Variable stars
Open clusters
Globular clusters
Planetary nebulae
Diffuse nebulae
Dark nebulae
Galaxies
COMA BERENICES
LEO
VIRGO
BOÖTES
SEXTANS
CRATER
CORVUS
HYDRA
Muphrid
Vindemiatrix
Spica
Zavijava
Porrima
Zaniah
Denebola
Chertan
Algieba
Regulus
Zosma
Sombrero Galaxy
Algorab
Cleonah
Ghost of Jupiter
Spindle Galaxy
14h
13h
12h
11h
10h
+20°
+15°
+10°
+5°
0°
-5°
-10°
-15°
-20°


Magnitudes
brighter than 0.0
0.0-0.5
0.5-1.0
1.0-1.5
1.5-2.0
2.0-2.5
2.5-3.0
3.0-3.5
3.5-4.0
4.0-4.5
4.5-5.0
5.0-5.5
5.5-6.0
6.0-6.5
6.5-7.0
7.0-7.5
fainter than 7.5
Double stars
Variable stars
Open clusters
Globular clusters
Planetary nebulae
Diffuse nebulae
Dark nebulae
Galaxies
HERCULES
OPHIUCHUS
SERPENS CAPUT
LIBRA
SCORPIUS
BOÖTES
VIRGO
COMA BERENICES
Arcturus
Unukalhai
Yed Prior
Yed Posterior
Zubeneschamali
Zubenelgenubi
Spica
Vindemiatrix
Mizar
Sarin
Syrma
Graffias
M12
M10
M107
M53
M5
M3
M9
M64
M63
M51
M94
M85
M88
M100
M98
M49
M87
M84
M86
M104
M68
M83
M5
M4
M6
M7
17h
16h
15h
14h
13h
+20°
+15°
+10°
+5°
0°
-5°
-10°
-15°
-20°
Z4
Z3

17


Magnitudes
brighter than 0.0
0.0–0.5
0.5–1.0
1.0–1.5
1.5–2.0
2.0–2.5
2.5–3.0
3.0–3.5
3.5–4.0
4.0–4.5
4.5–5.0
5.0–5.5
5.5–6.0
6.0–6.5
6.5–7.0
7.0–7.5
fainter
Double stars
Variable stars
Open clusters
Globular clusters
Planetary nebulae
Diffuse nebulae
Dark nebulae
Galaxies
SAGITTA
VULPECULA
HERCULES
OPHIUCHUS
SERPENS CAPUT
AQUILA
SERPENS CAUDA
SCUTUM
SAGITTARIUS
SCORPIUS
Altair
Tarazed
Alshain
Rasalgethi
Rasalhague
Cebalrai
Sabik
Yed Prior
Yed Posterior
Graffias
Eagle Nebula
Omega Nebula
Star Cloud
Wild Duck Cluster
Barnard's Star
Milky Way
20h
19h
18h
17h
16h
+20°
+15°
+10°
+5°
0°
-5°
-10°
-15°
-20°

18


19
Magnitudes
brighter than 0.0
0.0-0.5
0.5-1.0
1.0-1.5
1.5-2.0
2.0-2.5
2.5-3.0
3.0-3.5
3.5-4.0
4.0-4.5
4.5-5.0
5.0-5.5
5.5-6.0
6.0-6.5
6.5-7.0
7.0-7.5
fainter
Occulting stars
Variable stars
Open clusters
Globular clusters
Planetary nebulae
Diffuse nebulae
Dark nebulae
Galaxies
19
PISCES
PEGASUS
AQUARIUS
EQUULEUS
DELPHINUS
VULPECULA
SAGITTA
AQUILA
CAPRICORNIUS
SAGITTARIUS
Homam
Enif
Biham
Kitalpha
Sadalmelik
Sadachbia
Sadalsuud
Ancha
Albali
Saturn Nebula
Deneb Algedi
Nashira
Skat
Altair
Tarazed
Alshain
Dabih
Algedi
Bnacich's Cluster
M71
M72
M73
M2
M15
23h
22h
21h
20h
19h
+20°
+15°
+10°
+5°
0°
-5°
-10°
-15°
-20°

Literatura

Knjige:

1. Michael A. Seeds, Dana Backman: *Foundations of Astronomy*, 12th Edition, Brooks Cole; 12th edition (January 1, 2012).
2. Patrick Moore, Robin Rees: *Data Book of Astronomy*, Cambridge University Press, 2011.
3. Patrick Moore: *Atlas of the Universe*, Philip's; Revised edition, 2007.
4. Patrick Moore: *Philip's Astronomy Encyclopaedia*, 2002.
5. Paul Murdin: *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*, Institute of Physics Publishing, 2011.
6. Neil deGrasse Tyson, Michael A. Strauss, J. Richard Gott: *Welcome to the Universe – An Astrophysical Tour*, Princeton University Press (September 20, 2016).
7. Bob Berman: *The Sun's Heartbeat – And Other Stories from the Life of the Star That Powers Our Planet*, Back Bay Books (July 17, 2012).
8. Keith Robinson: *Starlight: An Introduction to Stellar Physics for Amateurs*, Springer, 2009.
9. Carl Sagan: *Cosmos*, Ballantine Books; Reissue edition (October 12, 1985).
10. Erika Bohm-Vitense: *Introduction to stellar astrophysics, Stellar structure and evolution*, Cambridge, 1992.
11. Jay B. Holberg: *Sirius, Brightest Diamond in the Night Sky*, Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK, 2007.
12. James B. Kaler: *Extreme stars, At the Edge of Creation*, Cambridge, 2001.
13. James B. Kaler: *The Hundred Greatest Stars*, Copernicus; 2002 edition (June 19, 2002).
14. Fred Hoyle: *Astronomija*, Marjan tisak, Split, 2005.
15. *The Stars: Definitive Visual Guide to the Cosmos*, DK; 1 edition, Sept. 2016.
16. Richard H. Allen: *Star Names: Their Lore and Meaning,* Dover Publications; Revised edition (June 1, 1963).
17. Marcia Bartusiak: *The Day We Found Universe*, Vintage Books; 1st edition (March 9, 2010)

18. Robin Hard: *The Routledge Handbook Of Greek Mythology*, Routledge, 2004.
19. Michelle Houle: *Gods And Goddesses In Greek Mythology*, Enslow Publishers Inc, 2001.

Web poveznice:

1. NASA, https://www.nasa.gov/
2. Space.com, http://www.space.com/
3. Astronomy, http://www.astronomy.com/
4. Universe Today, http://www.universetoday.com/
5. APOD, https://apod.nasa.gov/apod/astropix.html
6. J. Kaler – Stars, http://stars.astro.illinois.edu
7. Livescience, http://www.livescience.com/
8. Astronomija, http://www.astronomija.org.rs/
9. Svet nauke, http://www.svetnauke.org/
10. Wikipedia, https://www.wikipedia.org/
11. Universe Guide, https://www.universeguide.com
12. SyFy Wire, http://www.syfy.com/
13. AAVSO, http://www.aavso.org/

Ukratko o autoru



Alan Ćatović rođen je u Sarajevu 1979. god. Diplomirao je 2003. godine na mašinskom fakultetu u Sarajevu. Magistrirao tehničke nauke 2007. godine. Doktorant tehničkih nauka. Dosad je objavio 20 naučnih radova.

U slobodno vrijeme bavi se astronomijom, astrofotografijom, aerofotografijom, planinarenjem i aforistikom. Autor je popularno-naučne knjige o astronomiji *Naš svemir.*