ALTERNATOR
Misliti znanost.

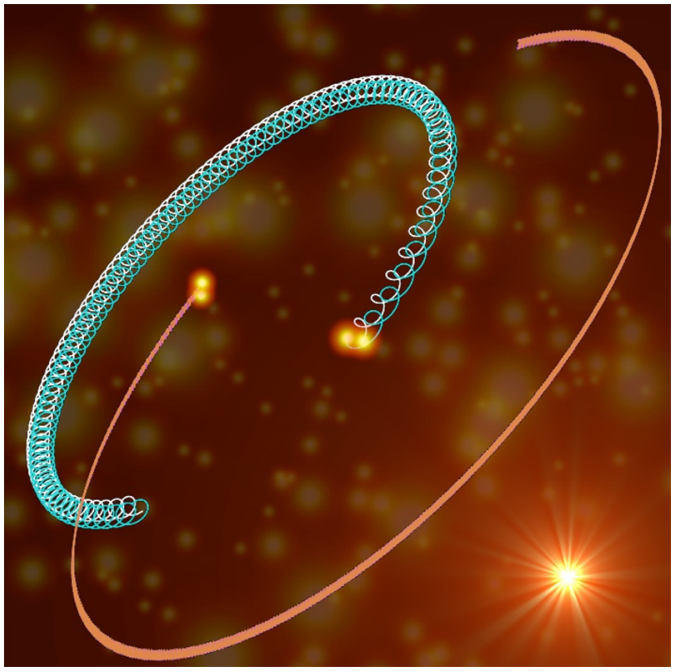
Negotova prihodnost novoodkritega četverozvezdja

21. 3. 2024

Number: 07/2024

Author:

- Gregor Traven



Ilustracija četvernega sistema HD 74438, na kateri vidimo predvideno kroženje dveh parov zvezd okoli skupnega težišča, desno spodaj pa morebitno končno stanje tega sistema, tj. supernovo tipa Ia. Vir: Merle idr. 2022 (https://rdcu.be/cNqC2)

Ko pogledamo v temno nočno nebo, opazimo veliko svetlih točk. To so večinoma zvezde, nekatere pa so tudi planeti Osončja ali pa sateliti, ki smo jih poslali v tirnico okoli Zemlje. Medtem ko se sateliti opazno premikajo čez nebo, kar bi, če bi nebo spremljali več dni, ugotovili tudi za planete, pa so zvezde videti nepremične – kot da samo so tam in se jim nič posebnega ne dogaja. V resnici pa tudi one živijo svoja življenja, pri čemer se (podobno kot ljudje) rodijo, živijo in na koncu umrejo. Lahko bi tudi rekli, da njihova življenjska pot ni prav nič manj zanimiva kot človeška. Posamezne zvezde lahko živijo različno dolgo: bolj masivne le nekaj milijonov let, najmanjše med njimi pa desetine milijard ali celo bilijonov let, torej veliko dlje, kot je trenutno staro vesolje.

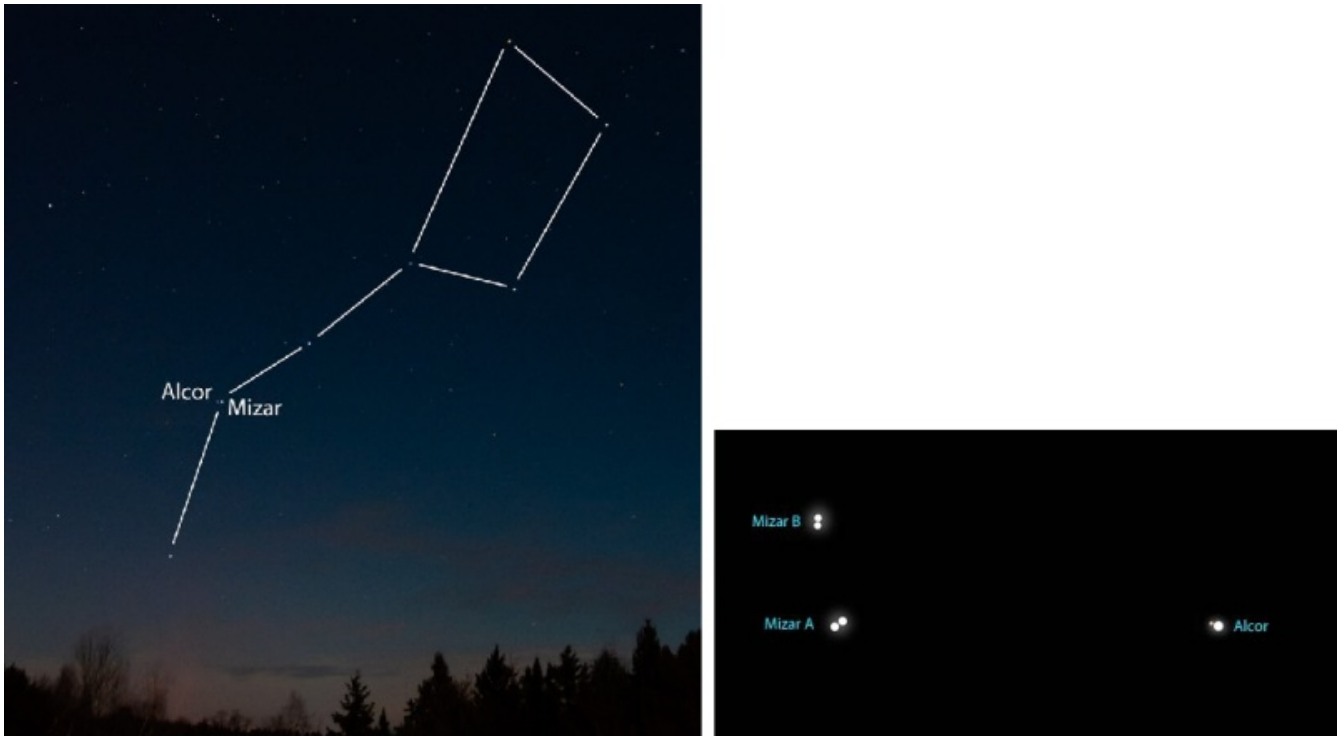
Od tega, kako masivna je zvezda, pa ni odvisna le njena dolgoživost, marveč tudi njen konec. Najmanjše zvezde se bodo sčasoma preprosto ohladile in nehale svetiti. Soncu podobne se bodo napihnile na približno stokratno velikost in na koncu odvrgle zunanje plasti, pri čemer bo ostala le vroča sredica (približno velikosti Zemlje), ki ji pravimo bela pritlikavka (https://www.nationalgeographic.com/science/article/white-dwarfs) (angl. *white dwarf*). Najbolj masivne zvezde pa bodo eksplodirale kot supernove in za seboj pustile črno luknjo ali pa izredno gost ostanek sredice, t. i. nevtronsko zvezdo (https://www.space.com/22180-neutron-stars.html) . Supernove, ki nastanejo ob smrti najbolj masivnih zvezd, pa niso edini tovrstni dogodki v vesolju. Poznamo tudi posebne eksplozije, ki jim pravimo supernove tipa Ia in so izjemnega pomena za preučevanje globin vesolja. Zaradi svojega nespremenljivega izseva nam omogočajo meritve razdalj do oddaljenih galaksij, prav tako pa v okoliški prostor odnesejo veliko elementov, med drugim litija, ki je pomemben za razumevanje celotne zgodovine vesolja (https://doi.org/10.1146/annurev-nucl-102010-130445) .

Astronome že dolgo vznemirja vprašanje nastanka supernov tipa Ia. Pri osnovni obliki supernove je zanjo odgovorna ena sama masivna zvezda, za nastanek supernove tipa Ia pa je domnevno potrebna dvojna zvezda oziroma sistem dveh zvezd. Glavna kandidata za nastanek supernove tipa Ia sta tako par rdeče orjakinje (https://earthsky.org/astronomy-essentials/what-are-red-giants-definition/) (angl. *red giant*) in bele pritlikavke ter par dveh belih pritlikavk. V prvem primeru je rdeča orjakinja napihnjena zvezda v zadnji fazi življenja, ki v dvojnem sistemu pretaka svojo snov na belo pritlikavko. Ko se na beli pritlikavki nabere dovolj snovi, ta eksplodira kot supernova tipa Ia. V drugem primeru se ta eksplozija lahko zgodi ob trku in zlitju dveh belih pritlikavk. Verjetnost te, druge razlage za nastanek supernov tipa Ia smo pred kratkim preučevali (https://rdcu.be/cNqC2) na primeru večzvezdja HD 74438 in njegove prihodnosti, čemur se bomo posvetili malo kasneje, najprej pa si oglejmo nekaj značilnosti večzvezdij.

Večzvezdja ali večkratni sistemi zvezd

Življenje zvezd je zelo raznoliko že zaradi njihovih različnih mas in kemične sestave snovi, iz katere nastanejo. Bistveno

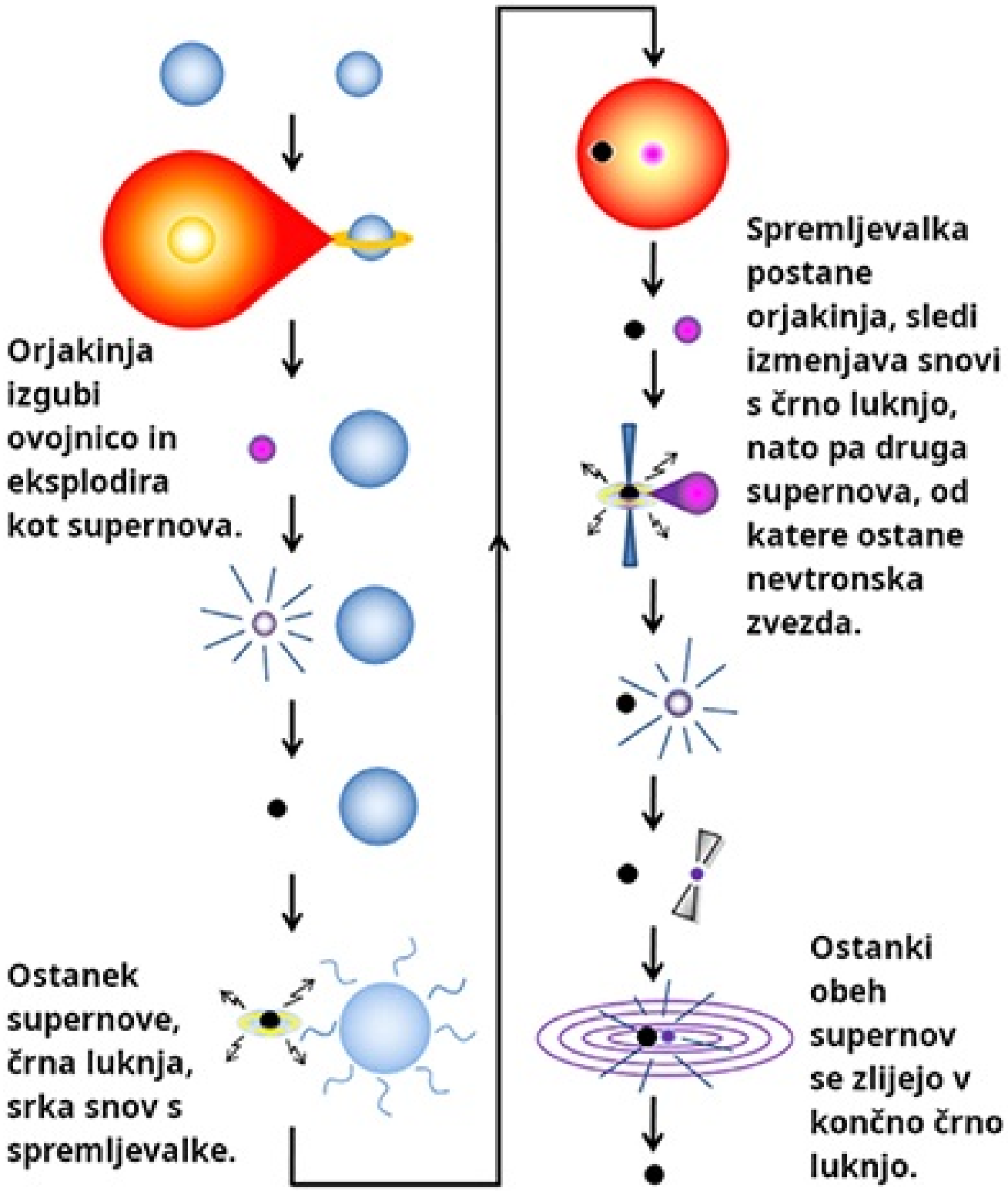
pestrost pa doda tudi življenje v dvoje ali celo z več partnerji, kar imenujemo večzvezdja ali večkratni sistemi zvezd. Če pogledamo v nebo, je takih kar približno polovica vseh svetlih točk, navadno pa jih kljub njihovi večkratni sestavi vidimo kot eno zvezdo. Med bolj poznanimi so Severnica (trozvezdje), Alfa Kentavra (trozvezdje), Albireo (nos ozvezdja Labod – tro- ali dvozvezdje), Mizar in Alkor (Slika 1).



Slika 1: Mizar in Alkor kot primer večkratnega sistema s šestimi zvezdami. Levo je prikaz Mizarja in Alkorja v Velikem vozu (avtor: Daniel Johnson (https://skyandtelescope.org/)), desno je model šestzvezdja (avtor: Bob King (https://skyandtelescope.org/)). To, da je Mizar vsaj dvozvezdje, nam razkrije že manjši teleskop, vseh šest komponent pa lahko zaznamo z drugimi tehnikami opazovanja.

V nasprotju z našim Soncem, ki je samotar, so večzvezdja skupine zvezd, ki so med seboj povezane s silo gravitacije. Pri tem je pomembno, da je sila med zvezdami v sistemu močnejša od tiste med njimi in vsemi drugimi zvezdami v okolici. To tudi pomeni, da so razdalje med zvezdami v teh večkratnih sistemih veliko manjše kot razdalje do okoliških zvezd. Kaj bi se zgodilo, če to ne bi bilo tako? Večkratni sistem bi lahko razpadel, saj bi ga okoliške zvezde preveč motile s svojim gravitacijskim privlakom.

Za stabilnost in posledično dolgoročno preživetje večkratnih sistemov je izjemno pomembna urejena hierarhija. Vsi opaženi večkratni sistemi imajo zvezde zložene tako, da lahko vsak hierarhični nivo opišemo kot dvojni sistem, pri čemer vsako od obeh komponent sestavlja ena ali več zvezd, te pa so na nižjih ravneh hierarhije naprej zložene v bolj tesne dvojne sisteme.



Slika 2: Prikaz razvoja dvojnega sistema z razmeroma masivnima zvezdama. Prirejeno po Kruckow idr. 2018 (https://doi.org/10.1093/mnras/sty2190) .

Kljub temu, da so večkratni sistemi hierarhični in tesno zloženi, lahko mirno življenje njihovih članic zmotijo notranji gravitacijski ali drugi vplivi. Za ponazoritev pestrosti življenja masivnih zvezd v dvojnem sistemu poglejmo ilustracijo razvoja take dvojnice na Sliki 2. Vidimo, da zvezdi v sistemu mirno živita, ob razvoju ene ali druge v orjakinjo pa se lahko med njima zgodi pretok snovi, ki mu sledijo eksplozije (supernove). Na koncu se lahko zelo gosti ostanki zvezd – v splošnem črne luknje, nevtronske zvezde, bele pritlikavke – med seboj združijo v eno gmoto snovi.

Poleg tovrstnih interakcij med dvema zvezdama se lahko denimo sistem dveh zvezd in tretje spremljevalke medsebojno moti tudi tako, da se oblika tirnice zvezd v sistemu splošči ali razširi v bolj okroglo obliko, kot med ravnino kroženja dvojnega sistema ter ravnino, po kateri potuje tretja zvezda, pa se poveča ali zmanjša. To se lahko dogaja tudi izmenjaje in razmeroma dolgo časa, čemur pravimo Kozai-Lidova nihanja (https://doi.org/10.1093/mnras/stv1552) . V nekaterih

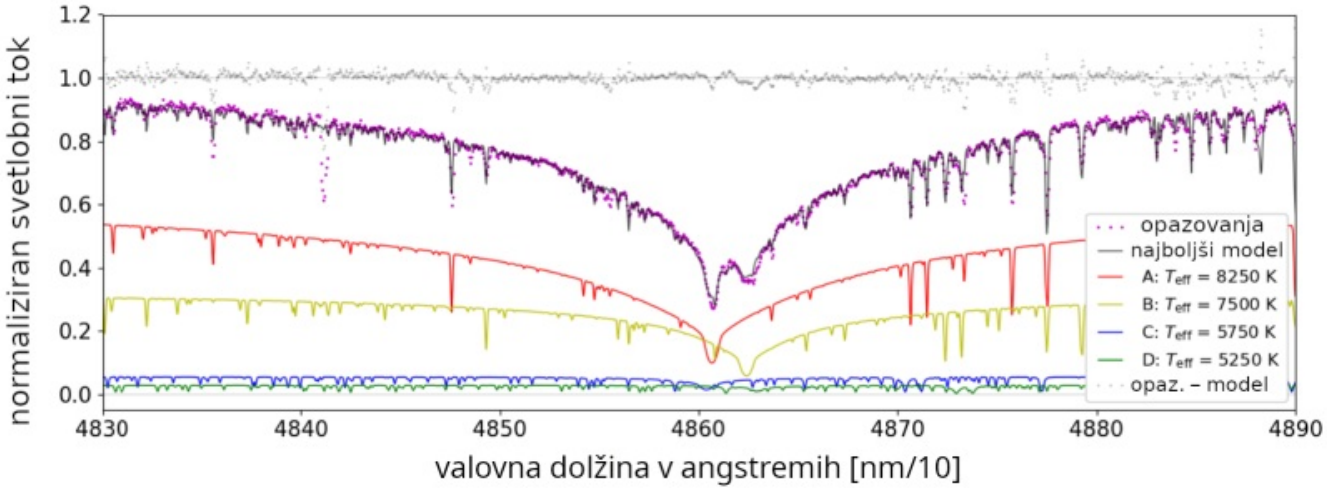
primerih lahko ta nihanja privedejo do bližnjih srečanj med zvezdami in morebitnih trkov. Vse te različne poti razvoja smo preučili tudi za novoodkriti sistem štirih zvezd HD 74438; poskušali smo ugotoviti, kako verjetno je, da bo v prihodnosti iz njega nastala supernova tipa Ia. Članek (https://arxiv.org/pdf/2205.05045.pdf) o tem je bil leta 2022 objavljen v reviji *Nature Astronomy*, v nadaljevanju pa bomo predstavili ključne ugotovitve.

Nedavno odkrito četverozvezdje HD 74438

Četverozvezdje z oznako HD 74438 smo v mednarodni skupini odkrili leta 2017, in sicer pri analizi podatkov spektroskopskega pregleda neba Gaia-ESO (https://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2022/10/aa43141-22.pdf) , ki je zajemal spektre zvezd z 8-metrskim teleskopom VLT v Čilu. Gaia (https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Gaia) je vesoljski observatorij, ki zelo dobro meri oddaljenosti in s tem tudi tridimenzionalni položaj zvezd v naši galaksiji. Projekt Gaia-ESO je bil zasnovan z namenom pridobitve dodatnih informacij o teh zvezdah s pomočjo zajema njihovih spektrov, da bi tako bolje razumeli nastanek in razvoj naše galaksije. Člani astronomske skupine Fakultete za matematiko in fiziko (FMF) pri tem sodelujemo že vrsto let. Odkrili smo več sto dvojnih in nekaj deset trojnih zvezd, sistemi štirih zvezd pa so sorazmerno redki – domnevamo, da jih je med vsemi zvezdami v galaksiji le nekaj odstotkov. Odkritje četvernice je torej redkost, tak zvezdni sestav pa je tudi veliko bolj zanimiv kot na primer sistemi dveh zvezd.

Četverozvezdje HD 74438 se je izdajalo za enojno zvezdo. Šele s pomočjo spektra, posnetega v projektu Gaia-ESO, smo ugotovili, da pravzaprav opazujemo štiri različne izvore svetlobe. Zvezdni spekter je v bistvu kot mavrica, iz katere razberemo ne le to, koliko svetlobe prihaja do nas pri določeni valovni dolžini ali barvi, temveč tudi veliko zanimivih podrobnosti o sestavi in lastnostih površja zvezde. To lahko preučujemo s pomočjo absorpcijskih črt, ki se kažejo kot pomanjkanje svetlobe pri določenih valovnih dolžinah. Te črte nastanejo zaradi absorpcije fotonov svetlobe v določenih atomih in molekulah, ko fotoni potujejo od površja skozi atmosfero zvezde in vse do nas. Spekter je zaradi Dopplerjevega pojava (https://scienceatyourdoorstep.com/2018/05/11/spectroscopic-binary-stars/) podobno opazimo višji ali nižji ton sirene, ki se približuje/oddaljuje) navadno premaknjen proti daljšim ali krajšim valovnim dolžinam, velikost tega premika pa je odvisna od medsebojne hitrosti gibanja našega opazovališča (teleskopa) in opazovane zvezde. Premik spektra pomeni tudi premik absorpcijskih črt, in če v enem spektru gledamo združeno svetlobo štirih zvezd, pri čemer se vsaka glede na naš položaj giblje z drugačno hitrostjo, potem lahko zaznamo štiri skupine absorpcijskih črt, zamaknjene ena glede na drugo (Slika 3).

En sam spekter je potrdil obstoj štirih zvezd in nakazoval nekatere njihove lastnosti, vendar pa je bilo za natančno določitev drugih značilnosti in predvsem njihovega medsebojnega gibanja ter oddaljenosti potrebnih še veliko dodatnih opazovanj. Avtorji raziskave tega sistema so dodatne meritve oziroma visokoločljivostne spektre pridobili z opazovanji v Observatoriju Mount John Univerze v Canterburyju na Novi Zelandiji ter s teleskopom SALT v Južni Afriki. Tako smo ugotovili, da sistem štirih zvezd sestavljata dve dvojni zvezdi, ki pa sta sami tudi gravitacijsko povezani in se zavrtita okoli skupnega težišča vsakih 6 let (ilustracija sistema je prikazana na naslovni fotografiji). Posamezni dvojnici se vrtita s periodo 4 in 21 dni.



Slika 3: Spekter četvernega sistema HD 74438. Vijolične točke predstavljajo opazovani spekter, črna črta pa predstavlja najboljši fizikalni model, ki je sestavljen (seštet) iz štirih delov, po enega za vsako od štirih zvezd v sistemu (A, B, C, D). Prirejeno po Merle idr. 2022 (https://rdcu.be/cNqC2) .

Skupno sicer poznamo nekaj več kot štiristo četvernih sistemov, le manjše število pa je tako dobro analizirano in ima vse štiri zvezde tako tesno nagnetene v prostoru. To tudi pomeni, da sistem HD 74438 morda čaka precej razburljiva prihodnost. Zato se je porodilo vprašanje o tem, ali bi lahko HD 74438 nekoč postal supernova tipa Ia. Kot smo omenili, je združitev dveh belih pritlikavk eden od dveh mogočih scenarijev nastanka oziroma sprožitve tovrstne eksplozije. Koliko supernov tipa Ia zares nastane na ta način, pa ostaja uganka. Zanima nas torej, kolikšna je verjetnost, da bi se večkratni zvezdni sistemi na koncu svojega življenja znašli v položaju, ko bi v sistemu ostali dve beli pritlikavki, ki bi se zaradi sevanja gravitacijskih valov na koncu tako približali, da bi trčili. Pri tem moramo upoštevati tudi dodatni pogoj za eksplozijo, ki pravi, da mora njuna skupna masa znašati približno 1,44 mase Sonca ali več.

S sodobnimi orodji lahko preverimo, kaj se bo z našo četvernico zgodilo v prihodnjih milijonih ali milijardah let. Za to potrebujemo računalniške simulacije, ki vključujejo gibanje in razvoj vseh štirih zvezd ter seveda tudi medsebojne vplive, kot so na primer Kozai-Lidova nihanja in prenašanja mase z ene zvezde na drugo. Zaradi sorazmerno majhnih razdalj med zvezdami v tem četvernem sistemu bo med posameznimi članicami v prihodnosti zelo verjetno veliko dogajanja, ki lahko vodi do sprememb njihovih tirnic in posledično njihovih združevanj. Vse to lahko na koncu privede do končne podobe sistema, v katerem ostane le ena bela pritlikavka z maso blizu kritične 1,44 mase Sonca, s tem pa možnost za eksplozijo supernove tipa Ia.

Kot povsod v znanosti moramo tudi tukaj upoštevati mersko natančnost začetnih pogojev za tovrstno simulacijo. Zato smo ustvarili 10 tisoč četvernic, ki so si v okviru natančnosti izmerjenih lastnosti sistema HD 74438 zelo podobne, nato pa smo čas zavrteli v prihodnost in prešteli različne izide. Ugotovili smo, da v približno četrtini primerov dobimo končno stanje sistema z eno belo pritlikavko, ki lahko vodi v supernovo tipa Ia, kar nakazuje, da so morda ravno četverni sistemi tisti, ki so odgovorni za velik del teh silovitih eksplozij. Sedaj načrtujemo dodatna opazovanja, ki bodo razkrila nekatere druge, za zdaj skrite lastnosti tega sistema, na podlagi česar bomo lahko s še večjo natančnostjo napovedali njegovo prihodnost.

Predstavljena analiza četvernega sistema HD 74438 je seveda le košček v sestavljanki razumevanja nastanka supernov tipa Ia. Opazovati in izmeriti moramo lastnosti veliko več takih in tudi drugačnih večkratnih sistemov zvezd, se pravi dvojnic, trojnic, peternic itn., ter ugotoviti, kakšna je njihova prihodnost. Za izvedbo simulacij oziroma pogledov v prihodnost je treba vsakemu sistemu slediti dovolj dolgo in zbrati dovolj natančne podatke. Poleg usod posameznih večzvezdij moramo tudi vedeti, koliko je takih sistemov zvezd v splošni zvezdni populaciji ter koliko je dogodkov supernov tipa Ia. Na prvo vprašanje lahko že kar dobro odgovorimo, pri čemer nam pomaga Gaia, ki je v zadnji objavi (https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/dr3-non-single-stars) podatkov prinesla zaznavo več milijonov dvojnih zvezd. Z opazovanji bo kmalu pričel tudi Observatorij Vere Rubin v Čilu, ki bo zelo učinkovito zaznaval supernove tipa Ia, ki ob eksploziji presvetlijo celotno galaksijo, v kateri se nahajajo. Za boljše razumevanje vesolja, v katerem živimo, zlasti pa vprašanj, ki smo jih tukaj omenili, je poleg razumevanja posameznih astrofizikalnih sistemov in pojavov bistvena tudi zadostna količina opazovalnih podatkov, k čemur danes stremimo tako v astronomiji kot tudi v drugih vedah.

https://www.alternator.science/en/long/negotova-prihodnost-novoodkritega-cetverozvezdja/