

ASTRONOMI V KMICI



šestindvajsetič

KAZALO

LJUBITELJSKA ASTRONOMIJA MED MLADIMI	3
FOSILIZIRANA DREVESA RAZKRIVAJO IZBRUH NA SONCU IZPRED 14.300 LET.....	4
PRIMERJAVA PROSTEGA PADA Z VELIKIH VIŠIN NA ZEMLJI, MARSU IN VENERI.....	7
ASTRONOMSKE VSEBINE V E-UČBENIKU ZA OSNOVNOŠOLSKO FIZIKO	10
DIFUZIONI MEDZVEZDNI PASOVI.....	13
ŽIVLJENJE ZVEZD	23
NASTANEK MASIVNIH ELIPTIČNIH GALAKSIJ	26
SONČEV VETER IN NJEGOV VPLIV NA RAZLIČNE POJAVE	27
NOVI UČBENIK »ASTRONOMIJA ZA GIMNAZIJE«	31
TEKMOVANJE OSNOVNOŠOLCEV V ZNANJU ASTRONOMIJE.....	33
UTRINKI Z MLADINSKEGA ASTRONOMSKEGA TABORA KMICA 2023.....	35
SONČNI MRKI IN OPAZOVANE MRKA LETA 2024.....	38

LJUBITELJSKA ASTRONOMIJA MED MLADIMI

Ljubiteljska astronomija ima v Sloveniji kar nekaj okolij, kjer se dobro razvija in je zelo aktivna. Pomurje je zagotovo eno izmed teh. V letošnji že šestindvajseti številki publikacije Astronomi v Kmici zato ob ostalih člankih, predstavljamo osrednji dogodek za mlade astronome, Kmicin astronomski tabor. Že tradicionalno se ga udeležujejo učenci, dijaki in študentje iz vse Slovenije. Na taboru se izpopolnjujejo iz znanja in astronomskih veščin, pomembno pa je navezovanje stikov, ki jih udeleženci gojijo tudi po taboru. Bodisi za astronomske vsebine, ali tudi vse druge.

V publikaciji predstavljamo zanimive članke, ki so jih avtorji pripravili na taki ravni, da so razumljivi dijakom, osnove pa so zanimive tudi učencem osnovnih šol. S tem želimo še naprej ustvarjati zanimivo dodatno čtivo vsem, ki jih astronomija bolj zanimiva.

V duhu digitalizacije je tudi letošnja publikacija postavljena ob bok dosedanjim petindvajsetim z objavo in prostim dostopom na spletni strani www.kmica.si. Ohranili smo tudi stalnega spremljevalca Astronomov v Kmici, to je stenski astronomski koledar. Tudi tokrat je fotografijo zanj prispeval **pom. akad. dr. Samo Smrke**, koledarski del pa že veliko let skrbno pripravlja **Darko Kolar**, za kar se obema iskreno zahvaljujemo. Koledar ima tudi simbolno vrednost, saj ga zmeraj

pospremimo z reko, da je Kmica povezana z zvezdami in naj vam zvezde prinesejo srečo. To je edini koledar pri nas, kjer so na enem mestu zbrani vsi najpomembnejši astronomski dogodki v tekočem letu. Še posebej utrinki, ki so prav tako napovedani v koledarju in jim tudi v svojem astronomskem društvu namenimo velik pomen. Tako pri pojasnjevanju fizikalnega ozadja za nastanek, kakor tudi samemu opazovanju. Najpomembnejši dogodek v letu 2024 bo zagotovo popolni sončni mrk v Ameriki, na katerega nas že nekaj časa opozarja in vabi naš **pom. akad. dr. Primož Kajdič**.

Lepa hvala vsem avtorjem člankov, da lahko z vašim prispevkom že **šestindvajset let** ustvarjamo publikacijo.

Vsem partnerjem in podpornikom se za pomoč in dobro sodelovanje lepo zahvaljujem, še posebej **Darji Kozar Balek** in **Suzani Čurman**, ki poskrbita, da tabor lahko nemoteno teče ter Zvezi za tehnično kulturo Slovenije za materialno podporo. **Osnovna šola Gornji Petrovci** je naš dolgoletni dom, kjer zmeraj čutimo iskreno dobrodošlico in smo kot doma, česar zagotovo ne bi bilo brez osebne podpore ravnatelja **Johana Laca**, kar potrjuje tudi s pomočjo pri izvedbi opazovanj iz radijske astronomije.

V letu, ki je pred nami, vam želim veliko sreče ter lepe astronomske dogodke.

pom. akad. dr. Mitja Slavinec,
predsednik AD Kmica

FOSILIZIRANA DREVEŠA RAZKRIVAJO IZBRUH NA SONCU IZPRED 14.300 LET

pom. akad. dr. Primož Kajdič

Oddelek za vesoljsko fiziko, Geofizikalni inštitut, UNAM

Znanstveniki so našli dokaze za neverjetno močno geomagnetno nevihto, ki se je zgodila pred 14.300 leti. Gre za dogodek, ki je bil deset krat močnejši od razvpitega Carringtonovega dogodka. Danes bi taka nevihta povzročila katastrofo nepredstavljenih razsežnosti.

Majhna alpska reka Drouzet v južni Franciji je raj za klimatologe, ki se ukvarjajo s proučevanjem preteklega podnebja. Vsako leto, še posebej pozimi, reka vedno globlje zareže v lastno strugo in razkrije nova na pol fosilizirana drevesa. Trenutno so znanstveniki našli že 172 teh, ki še danes stojijo natanko tam, kjer so rasla pred 14.300 leti. Drevesni obroči oziroma branike v njihovih deblih pričajo o tem, kakšno podnebje je vladalo v tem delu sveta konec Pleistocena.



Slika 1: Na pol fosilizirana drevesa v strugi reke Drouzet. Vir: Bard et al., 2023.

Pred kratkim so nam taiste branike razkrile še eno, doslej neznano zgodbo in sicer o ekstremni geomagnetni nevihti, ki je v njih pustila trajen pečat. Če bi se zgodila danes, bi ta manifestacija vesoljskega vremena povzročila katastrofo nepredstavljenih razsežnosti. Več mesecev trajajoči električni mrki bi zajeli celotne države, umetni sateliti bi utrpeli trajne in verjetno usodne poškodbe, onemogočen pa bi bil tudi sistem GPS, kar bi povzročilo popolno razdejnanje v letalskem in pomorskem prometu. Geomagnetna nevihta izpred 14.300 let spada med tako imenovane Miyakejine dogodke, ki so jih v zadnjih dvanajstih letih znanstveniki odkrili s pomočjo različnih radioaktivnih izotopov.

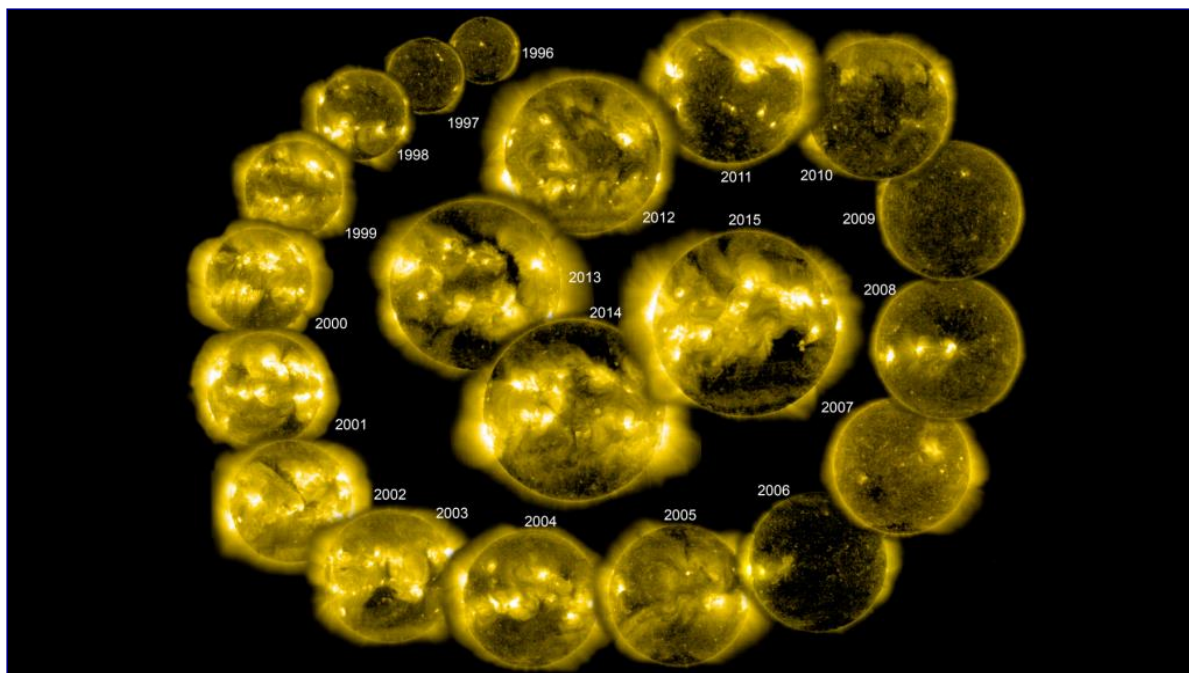
KOZMIČNI DELCI IN OGLJIK-14

Za omenjeno odkritje so odgovorni kozmični delci visokih energij, ki prihajajo bodisi iz oddaljenih kotičkov vesolja bodisi s Sonca. Približno 100.000 teh delcev, večinoma protonov in elektronov, vsako sekundo doseže vsak kvadratni meter naše atmosfere. Nekaj jih že v stratosferi trči s tamkajšnjimi atomi, kar povzroči nastanek sekundarnih kozmičnih delcev, med katerimi močno prevladujejo nevtroni. Ko slednji nekoliko nižje v atmosferi trčijo z dušikovimi atomi, nastanejo atomi ogljika-14. Gre za relativno redek ter radioaktiven izotop, saj v povprečju najdemo en atom ogljika-14 na vsakih bilijon atomov ogljika-12.

Ogljik-14 sčasoma zaide v nižje plasti atmosfere ter v tkiva živih organizmov. Od trenutka, ko organizem umre, se njegova koncentracija glede na ogljik-12 začne zmanjševati. Z meritvami te koncentracije lahko določimo koliko časa je minilo od smrti organizma. Tej metodi določanja starosti tkiv umrlih organizmov rečemo metoda C-14.

Zgodba se v resnici nekoliko zaplete, saj se relativna koncentracija ogljika-14 v naravi spreminja. Manj pomembna so nihanja med enajstletnim ciklom Sončeve aktivnosti, ko se koncentracija tega izotopa spreminja za 0,2 %. Pomembnejše so variacije skozi daljša obdobja, čemur botrujejo spremembe Sončeve aktivnosti, jakosti Zemljinega magnetnega polja in procesa kroženja ogljika, torej izmenjava tega elementa med zemeljsko skorjo, organizmi, hidrosfero in atmosfero.

Če želimo starost tkiv nekega organizma določiti zelo natančno, je treba poznati koncentracijo ogljika-14 napram ogljiku-12 v naravi za obdobje, ko je organizem še živel. Prvotna ocena starosti tkiv narejena z metodo C-14 mora biti dodatno kalibrirana, pri čemer se vsebnost ogljika-14 v tkivih organizmov neznane starosti primerja z vsebnostjo taistega elementa v tkivih katerih starost je bila izmerjena še z drugimi, neodvisnimi metodami. Ena izmed najbolj uporabljenih metod je preštevanje branik oziroma drevesnih obročev in primerjava lastnosti vzorcev, ki jih oblikujejo branike, v fosilih dreves, katerih življenjska obdobja časovno deloma sovpadajo. Znanstveniki so danes s pomočjo branik izdelali kalibracijske krivulje vsebnosti ogljika-14 za do približno 13.900 kalibracijskih let pred »sedanjostjo«, pri čemer je »sedanjost« v znanstveni literaturi definirana kot leto 1950.



Slika 2: Videz Sonca v rentgenskih žarkih med dvema cikloma Sončeve aktivnosti. Slike je posnel satelit SOHO. Vir: NASA.

Ta čas sovпада s koncem Pleistocena, obdobja, ko se je podnebje pričelo ponovno ogrevati, posledično pa so gozdovi zopet prekrili evropsko celino. Fosilov dreves iz takratnega obdobja je ogromno. V Evropi jih med drugim najdemo zakopane v poplavnih ravninah rek. Razlog za njihov obstoj je v tem, da je podnebna otoplitev privedla do povečanja količine padavin, kar je povzročilo intenzivnejšo erozijo pobočij hribov in hitrejšo nalaganje usedlin. Te so pod sabo pokopale drevesa, zaradi česar se je lahko začel proces prepojitve: majhne praznine v lesu pokopanih dreves je zapolnila voda ter vanje počasi odlagala minerale.

Fosilizacija je bila v primeru reke Drouzet predčasno ustavljena, zato omenjenim ostankom dreves rečemo subfosili. Do tega je prišlo, ker je reka sčasoma globoko zarezala v lastno strugo ter pri tem odkopala omenjena drevesa. Trenutno so na 500 metrov dolgem in 30 metrov širokem območju okoli struge reke Drouzet odkrili kar 172 subfosiliziranih dreves vrste Rdečega bora, pri čemer so v nekaterih primerih odkrite celo korenine, v drugih pa le zgornji deli debel.

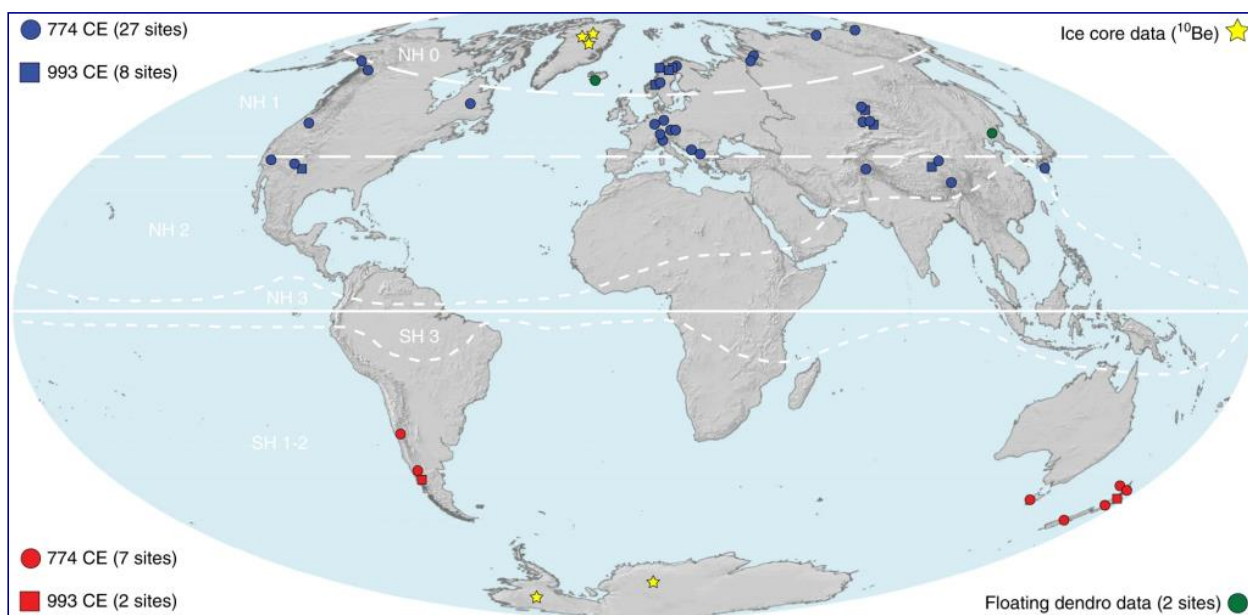
MIYAKEJINI DOGODKI

V letih 2012 in 2013 je skupina japonskih znanstvenikov odkrila nenadni močni povišanja koncentracije ogljika-14 za 1.5 % ter 1.8 % v branikah dreves iz let 774 n. št. in 993 n. št. Pozneje sta bila odkrita še dva taka dogodki, drugi štirje pa čakajo na potrditev z neodvisnimi metodami.

Nenadna povišanja koncentracije ogljika-14 v posameznih drevesnih branikah so postala znana kot Miyakejini dogodki, po vodilni znanstvenici japonske raziskovalne skupine. Do pred kratkim največje povišanje koncentracije ogljika-14 se je zgodilo leta 5259 pr. n. št. in sicer za 1.91 %.

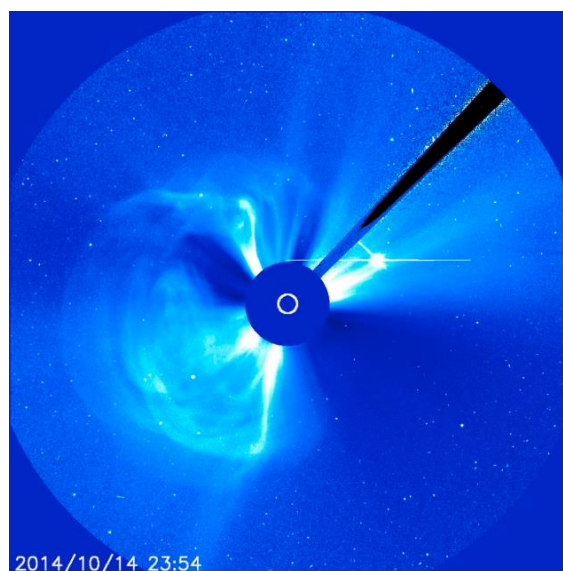
Dokaze za posamezne Miyakejine dogodke najdemo po vsem svetu, kar pomeni, da je šlo za globalen pojav in da se njihovi vzroki nahajajo izven našega planeta. V preteklosti se je kot kandidate omenjalo eksplozije supernov, izbruhe žarkov gama ter visokoenergijske delce s Sonca. Najnovejši dokazi kažejo, da jih je povzročila naša zvezda.

Sončevi kozmični delci nastanejo med Sončevimi blišči. Gre za ogromne eksplozije, zaradi katerih del Sončevega površja v medplanetarni prostor izseva ogromno energije v obliki vidne in ultravijolične svetlobe ter rentgenskih žarkov. Poleg svetlobe Sonce izstreljuje tudi hitre delce, večinoma protone in elektrone. Blišče pogosto spremljajo koronalni izbruhi snovi, ki na Zemlji povzročajo geomagnetne nevihte. Najintenzivnejša geomagnetna nevihta moderne dobe se je zgodila leta 1859. Takrat je angleški astronom Richard Carrington najprej opazil močan blišč na Soncu, le 18 ur pozneje pa so se na Zemlji dogajale nenavadne stvari. Polarni siji, ki so bili vidni vse do ekvatorja, so na severni polobli tako močno razsvetljevali nočno nebo, da se je dalo brati knjige brez uporabe umetne svetlobe. Edina tehnologija, ki jo je takrat prizadela ta nevihta je bil telegraf, ki je povezoval obe obali ZDA.



Slika 3: Kraji, kjer so bili najdeni dokazi o Miyakejinih dogodkih iz let 774 in 993 n. št.

V 20. stoletju se je zgodilo še več močnejših geomagnetnih neviht, ki so med drugim povzročile požare v telefonskih centralah, sprožile morske mine, več ur pogreznile v električni mrk celotno kanadsko provinco Quebec ter trajno onеспособile telekomunikacijske satelite. Pri tem je treba omeniti, da trenutno še ni poročil, da bi katera od njih povzročila povečanje koncentracije ogljika-14. Nenavadna povečanja koncentracije ogljika-14 v branikah fosiliziranih dreves kažejo na to, da so Miyakejine dogodke spremljale izredno intenzivne geomagnetne nevihte. Skupina francoskih znanstvenikov je zdaj odkrila dokaze za dogodek, ki je močno presegal vse ostale in ki se je zgodil pred 14.300 leti. Porast koncentracije ogljika-14 v branikah subfosilov reke Drouzet znaša neverjetne 3 %, torej več kot 50 % več od prejšnjega rekorderja. Tak dogodek bi danes povzročil nepredstavljljive posledice, saj bi onemogočil naše telekomunikacije, trajno onеспособil satelite, uničil bi praktično vse transformatorje na svetu ter ogrozil življenja astronautov v vesolju. Prizaneseno ne bi bilo nobeni sodobni tehnologiji in prekinjeno bi bilo delovanje praktično vsakega segmenta sodobne družbe. Najnovejše odkritje francoskih znanstvenikov pripoveduje zgodbo o ekstremnem in na srečo izjemno redkem pojavu, ki se je zgodil v že davno pozabljeni preteklosti. Gre za nekakšno svarilo, da sodobna družba še daleč ni izkusila vse moči, ki jo Sonce premore. Podobno močna geomagnetna nevihta se bo nekoč zagotovo ponovila. Ker bo do tega prišlo brez vnaprejšnjega opozorila, se kot tehnološka družba, ki se čedalje bolj seli v vesolje, nanjo moramo pripraviti že danes.



Slika 4: Izbruh koronalne snovi, kot ga je videl SOHO 14. oktobra 2014. Vir: NASA.

LITERATURA

Bard E, Miramont C, Capano M, Guibal F, Marschal C, Rostek F, Tuna T, Fagault Y, Heaton TJ. 2023 A radiocarbon spike at 14 300 cal yr BP in subfossil trees provides the impulse response function of the global carbon cycle during the Late Glacial. *Phil. Trans. R. Soc. A* 381: 20220206. <https://doi.org/10.1098/rsta.2022.0206>

Kuitem, M., Wallace, B.L., Lindsay, C. *et al.* Evidence for European presence in the Americas in ad 1021. *Nature* (2021). <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03972-8>

Miyake, F., Nagaya, K., Masuda, K. *et al.* A signature of cosmic-ray increase in AD 774–775 from tree

rings in Japan. *Nature* 486, 240–242 (2012).
<https://doi.org/10.1038/nature11123>
Miyake, F., Masuda, K. & Nakamura, T. Another rapid event in the carbon-14 content of tree rings. *Nat Commun* 4, 1748 (2013).
<https://doi.org/10.1038/ncomms2783>
Brehm, N., Christl, M., Knowles, T.D.J. et al. Tree-rings reveal two strong solar proton events in 7176 and 5259 BCE. *Nat Commun* 13, 1196 (2022).
<https://doi.org/10.1038/s41467-022-28804-9>
Alluvium, Wikipedia,
<https://en.wikipedia.org/wiki/Alluvium>
Alluvial Fan, Wikipedia,
https://en.wikipedia.org/wiki/Alluvial_fan

Colluvium, Wikipedia,
<https://en.wikipedia.org/wiki/Colluvium>
Sediment, Wikipedia,
<https://en.wikipedia.org/wiki/Sediment>
Ice Sheet, Wikipedia,
https://en.wikipedia.org/wiki/Ice_sheet
Last Glacial Maximum, Wikipedia,
https://en.wikipedia.org/wiki/Last_Glacial_Maximum
Fossil, Wikipedia,
<https://en.wikipedia.org/wiki/Fossil#Subfossil>

PRIMERJAVA PROSTEGA PADA Z VELIKIH VIŠIN NA ZEMLJI, MARSU IN VENERI

doc. dr. Vladimir Grubelnik¹ in doc. dr. Rene Markovič^{1,2}

¹Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerza v Mariboru

²Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Univerza v Mariboru

UVOD

Z razvojem tehnologije postaja raziskovanje vesoljskih objektov v naši bližnji okolici tudi vse bolj dostopno za razne sonde, ki lahko pristanejo na njih in s tem zbirajo podatke neposredno z njihovih površin. Za pristanek na teh objektih (planeti, lune, asteroidi) so pomembne razmere na njihovih površinah. Pri tem ima pomembno vlogo gravitacija vključno s sestavo atmosfere, če so jo objekti tekom razvoja zaradi dovolj velike gravitacije uspeli obdržati. Kot primer omenimo gostoto Venerino atmosfere, ki je sestavljena pretežno iz ogljikovega dioksida in majhnega deleža dušika [1]. Njena gosta atmosfera povzroča pritisk, ki je kar približno 90-krat večji kot pritisk na površju Zemlje. Pri potovanju skozi atmosfero gosta atmosfera z vidika upora povzroča veliko obremenitev na telo. Drugače je na Marsu, ki ima v primerjavi z Zemljo precej redkejšo atmosfero [2], kar pri gibanju skozi atmosfero povzroča majhno obremenitev na telo.

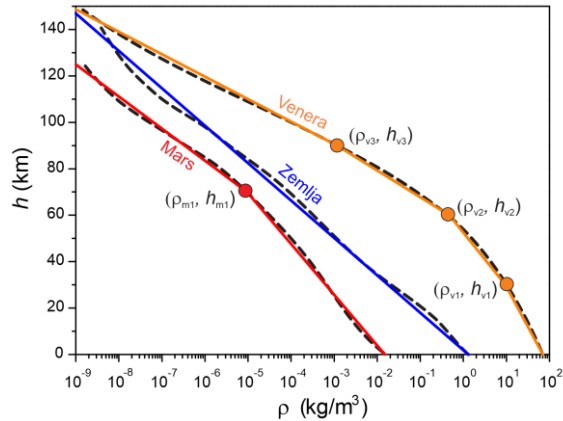
V prispevku proučujemo gibanje teles skozi atmosfero Marsa in Venere v primerjavi z atmosfero Zemlje. Telo spustimo z višine 120 km, ki na Zemlji velja za mejo z vesoljem [3], saj je atmosfera na tej višini že tako redka, da več nima vpliva na gibanje teles. Pri padanju teles na posameznem planetu upoštevamo spreminjajočo se gostoto atmosfere z višino [4]. Zanima nas kolikšni so časi padanja, največje hitrosti in s kolikšnimi hitrostmi padejo telesa na tla.

GOSTOTA OZRAČJA

Z namenom proučevanja vpliva atmosfere na gibanje teles najprej proučimo, kako se spreminja gostota atmosfere z višino. Zemlja in Venera imata podobno maso in polmer. Venera ima približno 81,5 % mase Zemlje in je v premeru nekoliko manjša. Posledično je tudi gravitacijski privlak Zemlje in Venere na atmosfero primerljiv. Obstaja pa zelo velika razlika v sestavi atmosfere. Venerina atmosfera je dejansko veliko gostejša od Zemljine. To je posledica sestave atmosfere. Večina Venerine atmosfere je sestavljena iz ogljikovega dioksida (CO₂), ki predstavlja približno 96,5 % njene atmosfere. Večina Zemljine atmosfere pa je sestavljena iz dušika (N₂) in kisika (O₂), ki predstavljata približno 78 % in 21 % celotne sestave atmosfere. Iz slike 1 lahko vidimo, da je ob površju gostota atmosfere na Veneri skoraj za dva velikostna reda večja kot na Zemlji, medtem ko je na Marsu približno za dva velikostna reda manjša. Mars je v primerjavi z Zemljo manjši in ima na površini le približno 40 % Zemljine gravitacije. Zaradi izgube magnetosfere ima na Marsovo atmosfero vpliv tudi sončev veter, ki odnaša atome iz ionosfere in s tem tanjša atmosfero.

Zaradi vpliva gravitacije, stisljivosti posameznih plinov in spremembe temperature, se gostota atmosfere z višino zmanjšuje. Na sliki 1 so s črtnimi črnimi črtami označeni podatki o gostoti

atmosfere na določeni višini za posamezen planet [4]. Za potrebe matematičnega modela smo pridobljene podatke [4] aproksimirali z različnimi eksponentnimi funkcijami, ki so podrobneje opisane pri matematičnem modelu. Na sliki 1 so, zaradi log-log diagrama, te eksponentne funkcije prikazane kot ravne črte na posameznih višinskih odsekih.



Slika 1: Spreminjanje gostote atmosfere z višino za posamezen planet. Črtkane črte prikazujejo pridobljene podatke z drugih raziskav [4]. Ravne črte prikazujejo prilagajajoče eksponentne funkcije na posameznih višinskih odsekih.

MATEMATIČNI MODEL

V nadaljevanju je predstavljen matematični model s katerim smo proučevali prosti pad teles z velikih višin, ob upoštevanju spreminjajoče se gostote atmosfere (glej sliko 1). Zanima nas, kako se spreminja lega in hitrost teles, koliko časa padajo, kolikšna je njihova največja hitrost in s kolikšno hitrostjo padejo na tla.

Spreminjanje višine $h(t)$ in hitrosti $v(t)$ določata naslednji diferencialni enačbi:

$$\frac{d\vec{h}}{dt} = \vec{v} \text{ in} \quad (1a)$$

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a}, \quad (1b)$$

pri čemer sta začetna lega in hitrost določeni z: $h(0) = h_0 = 120 \text{ km}$, $v(0) = v_0 = 0$.

Pospešek \vec{a} je odvisen od mase telesa (m) in sil, ki delujejo na padajoče telo. Upoštevamo gravitacijsko silo \vec{F}_g in silo upora \vec{F}_u ter zapišemo pospešek kot:

$$\vec{a} = \frac{1}{m} (\vec{F}_g + \vec{F}_u). \quad (2)$$

Za gravitacijsko silo \vec{F}_g upoštevamo, da se gravitacijski pospešek z oddaljenostjo od površja planeta zmanjšuje, čeprav se zaradi relativno majhne višine padajočega telesa ($h_0 = 120 \text{ km}$), v

primerjavi z velikostjo planetov, bistveno ne spremeni. Gravitacijsko silo opisuje enačba:

$$\vec{F}_g = m \cdot \vec{g}_0 \left(\frac{r_0}{r_0+h} \right)^2, \quad (3)$$

pri čemer je \vec{g}_0 gravitacijski pospešek na površju planeta s polmerom r_0 (glej tabelo 1).

Tabela 1: Polmer in pospešek na površju planeta.

planet	Zemlja	Mars	Venera
polmer r_0 (10^6 m)	6,37	3,39	6,05
pospešek g_0 (m/s^2)	9,81	3,70	8,87

Silo upora \vec{F}_u modeliramo s kvadratnim zakonom upora, pri čemer upoštevamo spreminjajočo se gostoto atmosfere $\rho(h)$:

$$\vec{F}_u = -c_D S \frac{\rho(h)v^2}{2} \hat{v}, \quad (4)$$

pri tem je S prečni presek telesa in c_D koeficient upora, ki je odvisen od oblike in hitrosti telesa (Reynoldovega števila). Za gibanje okroglih teles v atmosferi se za c_D običajno uporabi vrednost med 0,4 in 0,5 [5].

Če enačbi 3 in 4 vstavimo v enačbo 2, lahko velikost pospeška padajočega telesa zapišemo kot:

$$a = g_0 \left(\frac{r_0}{r_0+h} \right)^2 - c_D \left(\frac{S}{m} \right) \frac{\rho(h)v^2}{2}, \quad (5)$$

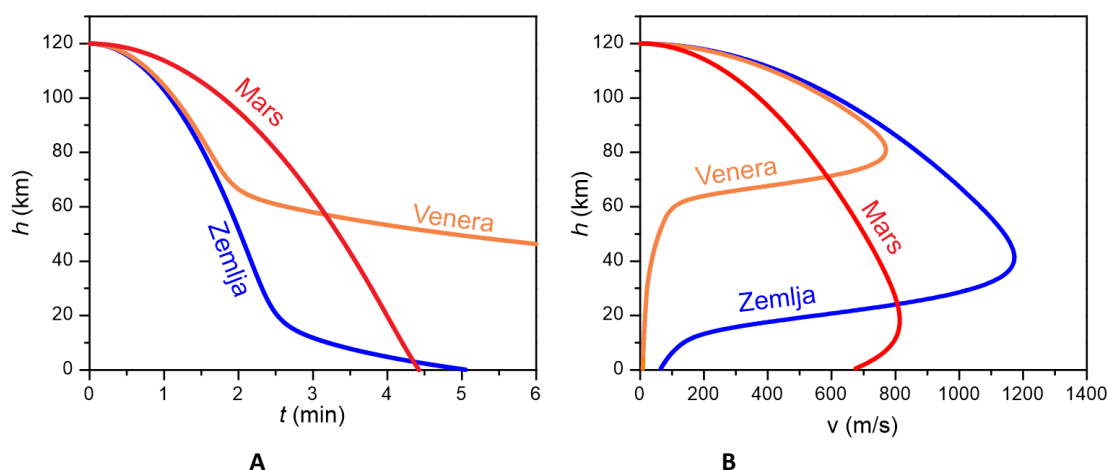
pri čemer gostoto atmosfere $\rho(h)$ modeliramo z eksponentnimi funkcijami za posamezne višinske odseke (glej tabelo 2 in sliko 1).

REZULTATI

Kot primer prostega padanja, uporabimo kroglo z maso $m = 1 \text{ kg}$ in prečnim presekom $S = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ ($S/m = 0,01 \text{ m}^2/\text{kg}$), ki jo spustimo z višine 120 km nad površjem. Spreminjanje višine s časom $h(t)$ lahko razberemo s slike 2A. Iz slike je razvidno, da na začetku, ko vpliv atmosfere še nima pomembne vloge, višina najhitreje pada na Zemlji, približno enako na Veneri, medtem ko na Marsu počasneje. To je posledica gravitacijskega privlaka, ki je na Zemlji in Veneri približno enak, na Marsu pa več kot polovico manjši (glej tabelo 1), kar ima za posledico, da na začetku prostega pada hitrost na Marsu najpočasneje narašča (glej sliko 2B). Povečevanje hitrosti in hkrati tudi gostote atmosfere poveča silo upora, kar povzroči, da se hitrost padanja začne zmanjševati (slika 2B). Hitrost se najbolj zmanjša pri Veneri, saj je tam vpliv atmosfere največji. S tem se čas padanja podaljša, ki je v tem primeru na Veneri več kot 50 min, na Zemlji dobrih 5 min, na Marsu pa 4,4 min (slika 2A).

Tabela 2: Modeliranje gostote atmosfere $\rho(h)$ za Zemljo, Mars in Venero (glej sliko 1).

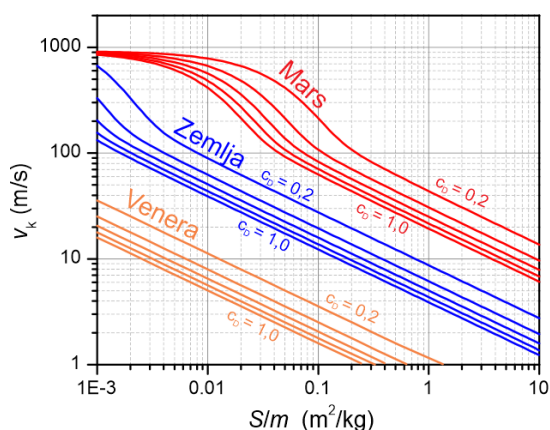
planet	gostota $\rho(h)$	parametri
Zemlja	$\rho_z(h) = \rho_{0,z} e^{-h/k_z}$	$\rho_{0,z} = 1,3 \frac{kg}{m^3}$, $k_z = 7 \text{ km}$.
Mars	$\rho_m(h) = \begin{cases} \rho_{m,0} e^{-h/k_{m,1}}, & h \leq h_{m,1} \\ \rho_{m,1} e^{-(h-h_{m,1})/k_{m,2}}, & h > h_{m,1} \end{cases}$	$\rho_{m,0} = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ kg/m}^3$, $\rho_{m,1} = 10^{-5} \text{ kg/m}^3$, $k_{m,1} = 9,2 \text{ km}$, $k_{m,2} = 6 \text{ km}$, $h_{m,1} = 70 \text{ km}$.
Venera	$\rho_v(h) = \begin{cases} \rho_{v,0} e^{-h/k_{v,1}}, & h \leq h_{v,1} \\ \rho_{v,1} e^{-(h-h_{v,1})/k_{v,2}}, & h_{v,1} < h \leq h_{v,2} \\ \rho_{v,2} e^{-(h-h_{v,2})/k_{v,3}}, & h_{v,2} < h \leq h_{v,3} \\ \rho_{v,3} e^{-(h-h_{v,3})/k_{v,4}}, & h > h_{v,3} \end{cases}$	$\rho_{v,0} = 70 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{v,1} = 9,5 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{v,2} = 4,7 \cdot 10^{-1} \text{ kg/m}^3$, $\rho_{v,3} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$, $k_{v,1} = 15 \text{ km}$, $k_{v,2} = 10 \text{ km}$, $k_{v,3} = 5 \text{ km}$, $k_{v,4} = 4,2 \text{ km}$, $h_{v,1} = 30 \text{ km}$, $h_{v,2} = 60 \text{ km}$, $h_{v,3} = 90 \text{ km}$.

**Slika 2:** Spreminjanje lege (A) in hitrosti (B) padajočega telesa pri prostem padu na Zemlji, Marsu in Veneri. Razmerje $S/m = 0,01 \text{ m}^2/\text{kg}$ in koeficiente upora $c_D = 0,4$.

Omenimo še največjo hitrost, ki jo doseže padajoče telo. Iz slike 2B vidimo, da največjo hitrost doseže telo na Zemlji in znaša skoraj 1,2 km/s. V primerjavi z Marsom je ta hitrost večja kljub temu, da ima Mars redkejšo atmosfero. Večja največja hitrost je v tem primeru posledica večje sile teže na Zemlji v primerjavi z Marsom. Tudi na Veneri je največja hitrost, v primerjavi z Zemljo, manjša, kar pa ni posledica sile teže, ampak gostejše atmosfere, saj sta gravitacijska privlaka približno enaka.

V nadaljevanju si pogledjmo še hitrost, s katero telo pade na površje planeta (v_k). Na sliki 3 so prikazani rezultati za različna razmerja površine z maso (S/m) in za različne koeficiente upora c_D (glej enačbo 5). Iz slike je razvidno, da je pri večjem razmerju S/m končna hitrost manjša, kar je posledica večjega

količnika razmerja sil F_u/F_g . Podobno velja tudi, če povečamo koeficient upora. Iz slike lahko razberemo tudi, da je pri danem razmerju S/m končna hitrost največja na Marsu, najmanjša pa na Veneri, kar je posledica vpliva atmosfere. Velike končne hitrosti na Marsu predstavljajo tudi problem tako imenovanega mehkega pristanka na površju Marsa. Za primer $S/m = 0,01 \text{ m}^2/\text{kg}$ in $c_D = 0,4$ (slika 2B in 3) je končna hitrost na Marsu skoraj 700 m/s. Za mehki pristanek na Marsu moremo torej nujno uporabiti večja padala (s tem povečamo razmerje S/m), kar pa običajno ne zadostuje in je treba uporabiti dodatno še raketne motorje, ki pomagajo pri upočasnjevanju.



Slika 3: Končna hitrost padajočega telesa pri pristanku na površju planeta za različna razmerja S/m in različne koeficiente upora c_D .

ZAKLJUČEK

V prispevku smo obravnavali prosti pad teles z velikih višin na različnih planetih. Poudarek je bil na spreminjajoči se gostoti atmosfere, ki z zmanjševanjem višine, narašča. Pokazali smo, da se posledično hitrost med padanjem začne

zmanjševati. Primerjali smo Zemljo, Mars in Venero ter pokazali, da se zaradi vpliva atmosfere hitrost najbolj zmanjša pri Veneri, najmanj pa pri Marsu, kar otežuje mehek pristonek pristajalnih teles na površju Marsa. Podobno raziskavo bi lahko naredili tudi za druge planete, katerih sestavo atmosfere poznamo.

LITERATURA:

- [1] Venerina atmosfera. <https://sl.wikipedia.org/wiki/Venera>
- [2] Marsova atmosfera. https://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere_of_Mars
- [3] Thompson A. (2009). Edge of Space Found, space.com. <https://www.space.com/6564-edge-space.html>
- [4] Pradeepkumar G. A. (2023). Comparative Study of Planetary Atmospheres and Implications for Atmospheric Entry Missions. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.1627>
- [5] Timmerman P. in Weele K. (1999). On the rise and fall of a ball with linear or quadratic drag. American Journal of Physics 67(6):538-546

ASTRONOMSKE VSEBINE V e-UČBENIKU ZA OSNOVNOŠOLSKO FIZIKO

pom. akad. dr. Eva Klemenčič^{1,2}, prof. dr. Robert Repnik¹, dr. Damjan Osrajnik³

¹Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Univerza v Mariboru

²Fakulteta za energetiko, Univerza v Mariboru

³Osnovna šola Radlje ob Dravi

UVOD

Astronomija velja za znanstveno področje z velikim interesom med splošno javnostjo, kar se odraža tako v obiskanosti poljudnih predavanj in javnih astronomskih opazovanj kot tudi v medijski izpostavljenosti določenih dogodkov in pojavov, na primer delni Sončev in delni Lunin mrk, komet C/2022 E3 (ZTF), meteorski roj Perzeidi ...

Z vključevanjem astronomskih vsebin v formalno izobraževanje naravoslovja in fizike lahko naredimo pouk zanimivejši, vzpodbudimo učenčovo radovednost in obenem povečamo zanimanje za fiziko in naravoslovne vsebine. V prispevku najprej na kratko predstavimo astronomske vsebine pri pouku fizike v osnovni šoli. Nato se osredotočimo na vključenost vsebin s področja astronomije v aktualnem e-učbeniku [1] namenjenem predmetu Fizika v 8. razredu osnovne šole. Čeprav v slovenskem prostoru e-učbeniki niso novost, prvi e-učbenik za osnovnošolsko fiziko je bil pripravljen v okviru projekta *E-učbeniki s poudarkom*

naravoslovnih predmetov v osnovni šoli že leta 2014 [2], se v osnovnih šolah še zmeraj uporabljajo predvsem tiskana učna gradiva. V primerjavi s tradicionalnimi tiskanimi učnimi gradivi imajo e-učbeniki več prednosti kot so [3,4]:

- enostavna uporabniška interakcija z možnostjo animacij,
- hitra dostopnost do informacij,
- večja avtonomija uporabnika,
- več povezav med medsebojno povezanimi temami in
- trajnostnost.

E-učbeniki z vključevanjem animacij in simulacij omogočajo interaktivno učenje, s čimer se izboljša vizualizacija kompleksnih in abstraktnih fizikalnih pojmov. Hkrati so e-učbeniki lažje dostopni in se enostavneje posodablajo, kar je v hitro napredujočem svetu še kako ključno. Zavedati se moramo, da so določene razlage, pojasnila in vizualni prikazi prilagojeni za starostno stopnjo

učencev zadnjega vzgojno-izobraževalnega obdobja osnovne šole, to je od 7. do 9. razreda.

ASTRONOMSKE VSEBINE V OSNOVNI ŠOLI

Sistematični pregled učnih načrtov [5] je pokazal, da je vključenost astronomskih vsebin v obvezne predmete osnovnošolskega izobraževanja še vedno nizka, hkrati pa je obravnava osredotočena na razlago dejstev, ne pa tudi k vzročnopolledičnem povezovanju posameznih astronomskih vsebin oziroma dejstev [6].

Osnovnošolci se z astronomskimi vsebinami sicer srečajo pri različnih predmetih. V prvi triadi se v okviru predmeta *Spoznavanje okolja* seznanijo z navideznim gibanjem Sonca, v drugi triadi pri predmetih *Naravoslovje in tehnika* ter *Naravoslovje* pa z vrtenjem Zemlje okrog svoje osi in kroženjem Zemlje okrog Sonca. Največ astronomskih vsebin je vključenih v učni načrt predmeta *Fizika* za 8. in 9. razred osnovne šole [7] v tematskem sklopu Vesolje. Operativni cilji iz učnega načrta so predstavljeni v Tabeli 1.

Tabela 1. Operativni cilji tematskega sklopa Vesolje. V poševnem slogu so zapisani izbirni operativni učni cilji.

vsebinski sklop	Učenci:
Osončje	razložijo pojme zvezda, planet, satelit, komet, meteor, galaksija ipd., spoznajo in primerjajo lastnosti posameznih planetov,
	opišejo obliko tirnice planetov okoli Sonca,
Zvezde	razložijo, da so razdalje do zvezd zelo različne in ugotovijo, da zvezde sijejo v različnih barvah,
	poiščejo ustrezne vire in poimenujejo osnovna ozvezdja,
	raziščejo, zakaj se lege ozvezdij med letom spreminjajo glede na uro opazovanja in letni čas,
	spoznajo orientacijo na nebu in uporabo zvezdnih kart,
Vesolje	<i>opazujejo nočno nebo in se s pomočjo zvezdne karte orientirajo na nebu,</i>
	opišejo zgodovinski razvoj astronomije in delo nekaterih znanih astronomov (Ptolemaj, Kopernik, Galileo, Kepler, Newton idr.), <i>poznajo osnovne zamisli o nastanku in razvoju vesolja.</i>

Kot minimalni standard znanja tematskega sklopa Vesolje sta navedena dva, in sicer:

1. Učenec pojasni razlike med planetom, zvezdo in naravnim satelitom;
2. Učenec ve, da je svetlobno leto enota za razdaljo.

Za tematski sklop Vesolje so po didaktičnih priporočilih učnega načrta predvidene le 4 šolske ure. Osnovnošolci si sicer lahko izberejo tudi izbirne predmete *Astronomija – Sonce, Luna in Zemlja*, *Astronomija – Zvezde in vesolje* ter *Astronomija – Daljnogledi in planeti* [8], vendar je njihova izvedba pogojena z interesom na posamezni osnovni šoli ter s strokovnim izpopolnjevanjem učiteljev.

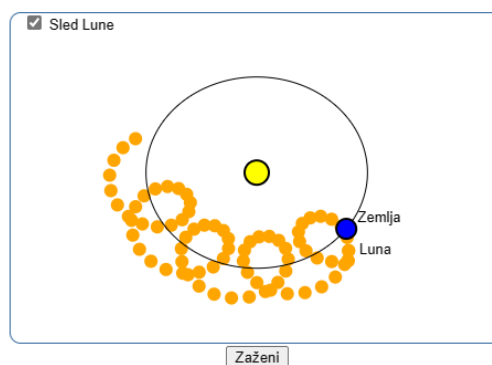
V nadaljevanju nas zanima, v kolikšni meri so v učnem načrtu predpisane astronomske vsebine vključene v izbran e-učbenik.

ASTRONOMSKE VSEBINE V E-UČBENIKU

Pregledali smo vključenost astronomskih vsebin v dveh interaktivnih e-učbenikih za predmet Fizika v 8. in 9. razredu, ki sta bila letos nadgrajena v okviru projekta »E-vsebine, e-storitve za podporo uvajanju novih pristopov v vzgoji in izobraževanju (E-torba 2023)«. Vsebine s tematskega sklopa Vesolje so vključene v e-učbenik za 8. razred in razdeljene na tri poglavja:

1. Objekti v vesolju in našem osončju,
2. Zvezde,
3. Kratka zgodovina časa.

V **1. poglavju** je predstavljeno osončje, notranji in zunanji planeti, Zemlja, Luna in asteroidi. Učenci skozi razlago spoznajo pojme zvezde, zvezdne kopice, galaksije, jate galaksij, kometi, meteorji, planeti, naravni sateliti. Spoznajo planete našega osončja, njihove ključne lastnosti in gibanje planetov okoli Sonca. Poglavje vključuje kar nekaj interaktivnih vsebin med drugim posnetek položaja planetov glede na Sonce in posnetek površine Marsa. Vključene so tudi številne animacije, ki prikazujejo gibanje Lune okrog Zemlje in Zemlje okrog Sonca (slika 1) in kroženje notranjih in zunanjih planetov okrog Sonca z dodatno možnostjo izpisa ključnih podatkov o posameznem planetu.

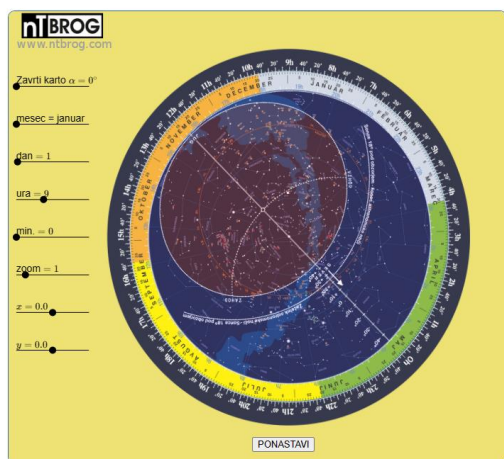


Slika 1. Animacija gibanja Zemlje okrog Sonca in Lune okrog Zemlje z vključeno sledjo za tir Lune [1].

Ob animacijah imajo učenci tudi smernice, na kaj so naj pri opazovanju posebej pozorni (na primer hitrost kroženja Zemlje okrog Sonca). Svoje razumevanje lahko učenci na koncu poglavja preverijo z interaktivnimi nalogami, vključujoč animacije.

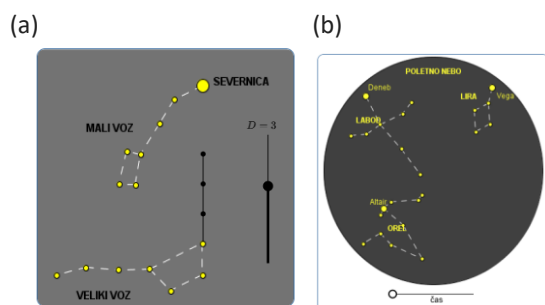
2. poglavje e-učbenika je namenjeno spoznavanju razdalj v vesolju, razlikam med zvezdami in orientaciji na nebu. Učenci po korakih in z več primeri spoznajo uporabo interaktivne vrtljive zvezdne karte (slika 2).

Interaktivna vrtljiva zvezdna karta



Slika 2. Interaktivna zvezdna karta [1].

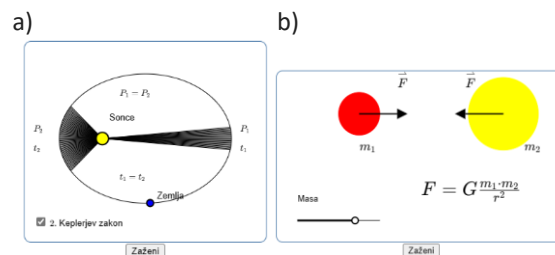
Poglavje vključuje posnetek in animacije, ki prikazujejo odvisnost barve zvezd od temperature na površini, orientacijo s pomočjo zvezde Severnice (slika 3a) in razliko v vidnih ozvezdijih na poletnem (slika 3b) in zimskem nebu. Poglavje se zaključi z interaktivnimi nalogami, kjer se učenci med drugim preizkusijo v uporabi interaktivne zvezdne karte, ter z uporabnimi viri astronomskih podatkov.



Slika 3. Animacija a) orientacije po Severnici in b) razlike v vidnih ozvezdijih na nočnem in poletnem nebu [1].

V **3. poglavju** e-učbenika najprej najdemo razlago nastanka vesolja, sledi kratka zgodovina časa, kjer je predstavljen zgodovinski razvoj astronomije. Predstavljeni so Keplerjevi zakoni in gravitacijski

zakon, razlaga pa je podprta z animacijami (slika 4). Tudi 3. poglavje se zaključi z interaktivnimi nalogami.



Slika 4. Animacija za vizualizacijo a) Keplerjevega in b) gravitacijskega zakona [1].

UGOTOVITVE

S pregledom e-učbenika lahko potrdimo, da vključuje vse z učnim načrtom predpisane astronomske vsebine. Učenci lahko skozi interaktivno razlago in naloge usvojijo vse našete operativne cilje tematskega sklopa. S pomočjo e-učbenika si tudi lažje predstavljajo gibanje planetov okrog Sonca in spreminjanje lege ozvezdij glede na čas opazovanja. V manjši meri jih sicer e-učbenik vodi k dosegu izbirnega cilja »*opazujejo nočno nebo in se s pomočjo zvezdne karte orientirajo na nebu*«. Pri primerjavi s standardi znanja v učnem načrtu ugotovimo, da e-učbenik ponuja vsebine, skozi katere lahko učenci pridobijo ustrezno znanje. V samem e-učbeniku bi morda lahko bila bolj eksplicitno poudarjena definicija svetlobnega leta, saj je slednje navedeno kot minimalni standard. Prav tako nobena naloga ni namenjena preizkusu razumevanja te definicije. Glede na zapisane standarde znanja bi se vsebine e-učbenika lahko dodatno razširile z razlago Luninega in Sončevega mrka ter teleskopa in daljnogleda kot optičnih napravah. O optičnih napravah se sicer učenci učijo v tematskem sklopu Svetloba, kjer so tudi v e-učbeniku razložene lupa, fotografski aparat in projektor.

ZAKLJUČEK

Menimo, da e-učbenik predstavlja nepogrešljiv dodatek h klasičnim tiskanim učnim gradivom, odvisno od obsega in globine predstavljene teme pa lahko predstavlja tudi glavno učno gradivo. E-učbenik učencem pomaga pri vizualizaciji abstraktnih pojmov, dinamičnih pojavov in tridimenzionalni predstavi, hkrati pa jih spodbuja k samostojnemu raziskovanju. Vsebina e-učbenika pa je po našem mnenju lahko v pomoč tudi astronomom, ki so aktivni v osnovnih ali srednjih šolah ter tudi pri neformalnem izobraževanju, kakor pri organizaciji poletnih šol ali astronomskih taborov.

LITERATURA

- [1] E-učbenik za fiziko »i-učbenik za fiziko v 8. razredu osnovne šole«, prenovljen 2023 v projektu eTorba. Dostopno na: <https://etorba.sio.si/etorba/sl/books/41/read>
- [2] I. Pesek, B. Zmazek, G. Mohorič, V. Milekšič, »Projekt e-učbeniki pri naravoslovnih predmetih v osnovni šoli«, v »Slovenski i-učbeniki«, Ljubljana: Zavod RS za šolstvo, 2014, str. 17-27.
- [3] R. Repnik, M. Ambrožič, V. Grubelnik, »Galileo on our web textbook on behalf of International year of astronomy 2009« v »Conference proceedings. 20th Central European Conference on Information and Intelligent Systems«, Varaždin: Faculty of Organisation and Informatics, 2009. Str. 29-33.
- [4] R. Repnik, M. Ambroži, M. Krašna, V. Grubelnik, "Teachers' experiences and recommendations about using E-learning Materials in Primary School," Central European Conference on Information and Intelligent Systems, str. 73-78, 2009.
- [5] R. Repnik, D. Osrajnik, V. Grubelnik, E. Klemenčič, »Astronomske vsebine v osnovni in srednji šoli«, v Astronomi v kmici: štiriindvajsetič, Murska Sobota: AD Kmica: ZOTKS, 2021, str. 19-23.
- [6] D. Osrajnik, R. Repnik, E. Klemenčič, V. Grubelnik, »Cognitive processes and astronomy education - learning about the historical development of astronomy and astronautics« v »International Scientific Conference on Philosophy of Mind and Cognitive Modelling in Education : conference abstract proceedings«, Maribor: Zavod Antona Martina Slomška, 2020. Str. 24.
- [7] Predmetna komisija Verovnik, I. et al. (2011). Učni načrt. Program Osnovna šola. Fizika. Ljubljana: Ministrstvo za izobraževanje, znanost, kulturo in šport; Zavod RS za šolstvo.
- [8] Čadež, A., Zwitter, T. (1999). Učni načrt za izbirne predmete Astronomija: Sonce, Luna in Zemlja, Daljnogledi in planeti, Zvezde in vesolje. Ljubljana: Ministrstvo za izobraževanje, znanost, kulturo in šport; Zavod RS za šolstvo.

DIFUZNI MEDZVEZDNI PASOVI

dr. Rok Vogrinčič

Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

UVOD

Difuzni medzvezdni pasovi (angl. Diffuse Interstellar Bands, oziroma na kratko DIBs) so absorpcijske črte v vidnem in bližnjem infrardečem območju valovnih dolžin, ki jih opazimo v spektrih zvezd, ki so pordečene zaradi absorpcije medzvezdnega prahu. DIBi izvirajo iz medzvezdne snovi (angl. Interstellar Medium, oziroma ISM), večina njihovih nosilcev (atomov oziroma molekul) pa še ni identificiranih [1]. Ime difuzni pasovi izhaja iz začetka 20. stoletja, ko so bili široki DIBi opaženi v spektrih zvezd skupaj z veliko ožjimi medzvezdnimi črtami, katerih izvor so znani medzvezdni atomi in molekule [2, 3].

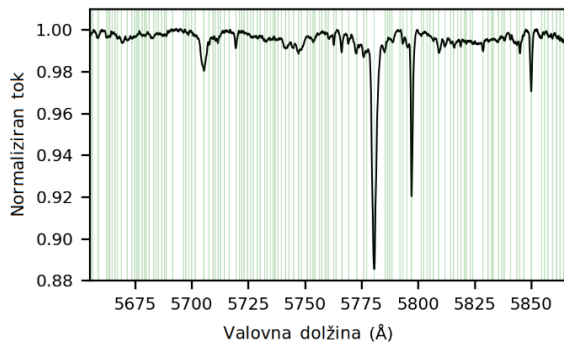
Prvi opazovalni zapis DIBov je naredila Mary Lea Heger leta 1922 [4] med svojim doktorskim študijem na Observatoriju Lick, vendar so se sistematične študije začele z delom Paula Merrilla, ki je leta 1934 zapisal naslednje:

“Nedavna opazovanja na Mount Wilsonu, opravljena predvsem za raziskovanje medzvezdnih natrijevih črt, so razkrila štiri dodatne ločene črte v rumeni in rdeči barvi, katerih približne valovne dolžine so 5780,4 Å, 5796,9 Å, 6283,9 Å oziroma 6613,9 Å. Te črte, ki jih najdemo v zvezdah tipov Oa do A4, se obnašajo kot medzvezdne črte glede pojavljanja, intenzivnosti in premika. Namesto da bi bile ozke in ostre, kot bi morale biti medzvezdne

črte, so nekoliko razširjene in imajo precej razpršene robove. Njihova kemijska struktura ni bila najdena. Zaradi razširitve črt in težavnosti identifikacije je problem njihovega atomskega izvora zanimiv [5].”

Merrill je leta 1936 opazoval spektre različnih dvojnih zvezd in ugotovil, da je radialna hitrost DIBov konstantna, kljub temu da so bile radialne hitrosti, izmerjene iz spektralnih črt zvezd, različne [6]. Zamisel o medzvezdnem izvoru DIBov je postala bolj trdna, ko je Merrill leta 1938 odkril pozitivno korelacijo med DIBi, medzvezdno pordečitvijo in močjo medzvezdnih črt natrija, Na D. Difuzna narava DIBov nakazuje na to, da ne izvirajo iz atomov. Predlagal je, da so DIBi pravzaprav absorpcijske črte energijskih prehodov v molekulah, ki še niso bile identificirane [2]. V naslednjih desetletjih je bilo odkritih še nekaj sto DIBov, šele pred kratkim pa je bil kot nosilec nekaj DIBov v bližnjem infrardečem pasu, s pomočjo laboratorijskih študij, potrjen kation fullerena C_{60}^+ [7, 8]. Pri iskanju nosilnih molekul je treba primerjati valovne dolžine znanih DIBov z izmerjenimi valovnimi dolžinami absorpcijskih črt znanih molekul. Zgolj to pa ne zadostuje za potrditev, saj se lahko pojavijo naključna ujemanja absorpcijskih črt, ki ne izvirajo nujno iz dejanskega nosilca nekega DIBa. Danes vemo, da so DIBi posledica elektronskih in

rotacijskih prehodov v medzvezdnih molekulah na osnovi ogljika, v plinasti fazi ter da njihov izvor ni v medzvezdnem prahu [9]. Danes poznamo že več kot 400 DIBov, ti so navedeni v nekaterih večjih katalogih [10, 11, 12, 13, 14]. Kljub številnim identifikacijam pa DIBi še vedno ostajajo eden najstarejših nerešenih problemov v astronomski spektroskopiji [1, 3].



Slika 1: Prikaz mnogih DIBov, izmerjenih v zelenem delu spektra, pri valovnih dolžinah med 5650 in 5870 Å. Položaji DIBov so označeni z navpičnimi zelenimi črtami. Spekter predstavlja povprečje približno 30.000 pordečenih spektrov, v katerih so prisotne le medzvezdne črte. Povprečna vrednost pordečitve je 0,55 magnituda. Spektri so pridobljeni s pregledi neba GALAH in imajo spektralno ločljivost približno 20.000. Avtor slike: Rok Vogrinčič.

DIBi se običajno razlikujejo v spektrih z zmerno do visoko ločljivostjo in imajo širok razpon intenzitet in širin [3], od najožjih s širino na polovični višini (angl. Full Width at Half Maximum, oziroma *FWHM*) približno 0,5 Å, do najširših s *FWHM* večjim od 10 Å. DIBi so pogosto označeni glede na svojo centralno valovno dolžino, zaokroženo na najbližji Å; na primer, DIB pri valovni dolžini 5780,4 Å se imenuje DIB 5780. Za boljše predstavo je na Sliki 1 prikazan spekter DIBov, ki predstavlja povprečje približno 30.000 spektrov, v katerih so prisotne le medzvezdne črte.

DIBi, ki jih obravnavamo v tem članku, so optično tanki, tj. njihova moč je linearno sorazmerna s stolpično gostoto absorbirajočega materiala. Moči absorpcijskih črt DIBov po navadi izrazimo v obliki ekvivalenčne širine (*EW*), na mesto stolpične gostote, saj oscilatorske moči njihovih prehodov niso znane [15]. Oscilatorska moč energijskega prehoda neke molekule je mera njene sposobnosti za absorpcijo svetlobe pri določeni frekvenci. Izmerjene moči DIBov se spreminjajo glede na smer opazovanja (angl. Line of Sight, oziroma LoS) in korelirajo pozitivno z medzvezdno pordečitvijo [16, 17, 18, 19, 20, 21]. Stolpično gostoto nosilcev DIBov pa lahko z znanjem prej omenjenih parametrov izračunamo po naslednji enačbi:

$$N_{DIB} = \frac{W_e m_e c^2}{\lambda^2 f \pi e^2},$$

kjer je W_e ekvivalenčna širina, $e^2/(m_e c^2)$ je klasični elektronski radij, λ je osrednja valovna dolžina DIBa, f pa je oscilatorska moč prehoda. V primeru optično tanke snovi ($\tau \ll 1$) se ekvivalenčna širina črte linearno povečuje s stolpično gostoto snovi. Ker ne poznamo ne stolpične gostote, ne oscilatorske moči nosilcev DIBov, lahko le približno ocenimo številsko gostoto nosilcev DIBa v razmerju s številsko gostoto medzvezdnega nevtralnega vodika, katerega lastnosti dobro poznamo. Zgornjo enačbo nekoliko preuredimo, stolpične gostote DIBov in nevtralnega vodika delimo in dobimo naslednjo enačbo [9]:

$$X(DIB) = 5,3 \times 10^{-9} \left(\frac{W_e}{E_{B-V}} \right) \left(\frac{6000 \text{ \AA}}{\lambda} \right)^2 \left(\frac{0,1}{f} \right).$$

E_{B-V} je barvni presežek ali pordečitev in se nanaša na razliko med intrinzično barvo in opazovano barvo zvezde, pordečeno zaradi medzvezdnega prahu, ki absorbira in sipa njeno vpadno svetlobo. Barvni presežek se uporablja za oceno količine prahu v smeri opazovanja.

S pomočjo zgornje enačbe bi radi ocenili, katere molekule so potencialni nosilci DIBov. V uvodu smo izvedeli, da so nosilci DIBov najverjetneje molekule na osnovi ogljika, kot so na primer CH molekule ali pa daljše ogljikovodikove verige. Naredimo oceno na primeru močnega DIBa 5780 (viden kot najmočnejša črta na Sliki 1). Če predpostavimo, da so oscilatorske moči večjih ogljikovih molekul med 0,01 in 1 in je razmerje $\frac{W_e}{E_{B-V}}$ za DIB 5780 približno 0,3 Å mag⁻¹, nas enačba privede do relativne stolpične gostote 10⁻⁹ glede na vodik. Ta vrednost je primerljiva z opazovanim razmerjem stolpične gostote molekul CH in CH⁺ napram stolpični gostoti nevtralnega vodika v difuznem ISM, ki znaša približno 10⁻⁸ [9]. Z uporabo povprečne vrednosti stolpične gostote nevtralnega vodika $N_H \sim 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ po celotnem nebu, pri $E_{B-V} = 1$ magnituda [18], je stolpična gostota za DIB 5780 pri pordečitvi $E_{B-V} = 1$ magnituda, približno 10¹² cm⁻². Pridobljena stolpična gostota je vsaj en red velikosti večja od zgornje meje stolpične gostote manjših ogljikovih verig, kot sta N(C₄) in N(C₅) v difuznem oblaku pri pordečitvi ene magnituda, opazovanih proti zvezdi ζ Oph [22]. Oscilatorske moči teh molekul so nizke, reda velikosti 10⁻³, zaradi česar te zelo verjetno niso nosilci DIBov [22]. Manjše verige, sestavljene iz manj kot 10 C atomov, so premajhne, da bi pojasnile prisotnost intenzivnejših DIBov, kot je na primer DIB 5780. Oscilatorska moč dovoljenega elektronskega prehoda v ogljikovi verigi narašča s številom C

atomov in je ocenjena na približno $f = 1$ za molekulo C_{16} [23].

Konec 80. let prejšnjega stoletja so predlagali nove možne nosilce DIBov, to so večje ogljikove strukture, imenovane policiklični aromatski ogljikovodiki (angl. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, oziroma PAHs). Ta predlog temelji na dveh ključnih lastnostih: pričakovano visoki gostoti PAHov v ISM in njihovi dobri odpornosti proti fotodisociaciji ultra-vijolične (UV) svetlobe, kar ohranja njihovo stabilnost. Opazovanja, predvsem v bližnjem infrardečem pasu so pokazala, da so PAHi pogosto prisotni v difuznem ISM. PAHi obstajajo v različnih oblikah, od majhnih molekul v plinasti fazi, do večjih grafiških obročev, prav tako v plinasti fazi. Delujejo kot povezava med plinom in medzvezdnim prahom in igrajo ključno vlogo pri interakciji med UV fotoni in medzvezdnim plinom [24]. Tipična PAH molekula s 50 C atomi ima relativno stolpično gostoto približno $\sim 2,7 \times 10^{-7}$ na vodikov atom [9] in oscilatorske moči najverjetnejšega elektronskega prehoda med 10^{-3} in 1 [25]. Poleg tega so absorpcije PAHov podobne nekaterim DIBom, zato bi lahko bili PAHi nosilci nekaterih DIBov [24].

Območja z več prahu običajno kažejo višjo pordečitev in močnejšo absorpcijo DIBov, zato je lahko prah prav tako povezan z DIBi. Zgodnje študije DIBov so preučevale polarizacijo njihove svetlobe pri specifičnih valovnih dolžinah. Nekateri DIBi kažejo asimetrične profile, ki bi lahko nakazovali na velike ($0,1 \mu m$) nosilce prahu, ti pa bi lahko povzročali polarizacijo svetlobe. Vendar pa polarizacija pri DIBih ni opazna, kar kaže na to, da nosilci ne morejo biti velika zrna (amorfn ogljik in silikati). Bolj verjetno je, da so nosilci DIBov povezani z majhnimi ($< 0,04 \mu m$) zrnji (grafiti in PAHi), ker so okrogli in ne kažejo polarizacije svetlobe [26, 27]. Druga možnost so primesi znotraj prašnih zrn, ki lahko povzročijo značilne absorpcije, podobne DIBom. Prisotnost primesi bi lahko pojasnila raznolikost in kompleksnost DIBov, vendar teh lastnosti še niso opazili.

Za opazovanje in preučevanje DIBov in njihovega izvora lahko uporabimo vroče zvezde (spektralni tip O, B), ker imajo njihovi spektri manj intrinzičnih absorpcijskih črt, to so absorpcijske črte, ki izvirajo iz fotosfere zvezde. Te zvezde olajšajo zaznavanje DIBov v spektrih, saj so DIBi v njih zlahka vidni, zvezdne črte pa ne motijo njihove detekcije. DIBe praviloma opazimo v smereh neba, kjer je prisotnega več medzvezdnega prahu. Njihova porazdelitev pa je napram prahu mnogo bolj difuzna in nima jasno določenih meja. Kljub temu pa je opaziti, da so DIBi v nekaterih smereh bolj zgoščeni, zato lahko rečemo, da njihovi nosilci tvorijo oblake.

Tem oblakom pravimo DIB oblaki (angl. DIB bearing clouds). Slabost vročih zvezd je v tem, da so te pogosto oddaljene, zato njihovi spektri vključujejo DIBe iz več medzvezdnih oblakov. To otežuje določitev, kateri oblaki so odgovorni za opazovane DIBe. Druga pomanjkljivost je dokaj majhno število dovolj svetlih in vročih zvezd, ki jih lahko opazujemo, kar omejuje posploševanje ugotovitev. Nosilce DIBov lahko vsaj deloma identificiramo, če opazujemo fino strukturo domnevnih nosilnih molekul DIBov v spektrih vročih zvezd, pri zelo visoki ločljivosti ($R > 100.000$) in visokem razmerju signala proti šumu (angl. Signal to Noise Ratio, oziroma *SNR*). Ta opazovanja lahko primerjamo s fino strukturo, pridobljeno iz laboratorijskih meritev. Prvi način je omejen s številom primernih zvezd, drugi pa s fizičnimi omejitvami instrumenta, kot so zagotavljanje enakih ekstremnih pogojev (nizek tlak in nizke temperature), kot v medzvezdni snovi.

Še en način za iskanje možnih kandidatov za nosilce DIBov, je merjenje njihove prostorske porazdelitve znotraj medzvezdne snovi. To je mogoče storiti z uporabo velikih pregledov neba, ki opazujejo spektre velikega števila zvezd. Z izdelavo kart prostorske porazdelitve DIBov, je mogoče izvedeti več o fizikalnih in kemijskih procesih, ki se pojavljajo v ISM ter o morebitni povezavi med DIBi in znanimi medzvezdnimi molekulami.

Na splošno je pri iskanju nosilnih molekul DIBov pomagal napredek spektroskopskih tehnik in instrumentacije (npr. visokoločljivostna spektroskopija, sočasno opazovanje več sto zvezd z uporabo optičnih vlaken, razvoj CCD detektorjev z visokim ojačenjem in nizkim šumom) ter razvoj teoretičnih modelov ISM (npr. identifikacija medzvezdnih atomov preko prehodov med njihovimi energijskimi nivoji). Kljub temu, da so DIBi dovolj močni in da jih v najdemo v mnogih smereh opazovanja (predvsem v smeri višje pordečitve), kompleksnost ISM in prisotnost velikega števila potencialnih nosilnih molekul otežuje identifikacijo nosilcev DIBov. Skrivnost DIBov zato še vedno ostaja, za popolno razumevanje pa bodo potrebna nadaljnja raziskovanja.

LASTNOSTI MEDZVEZDNE SNOVI

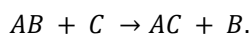
DIBe običajno opazimo v spektrih zvezd, ki se nahajajo v ali za hladnimi, gostimi območji medzvezdne snovi (ISM), kjer so temperature okoli nekaj sto K, gostota pa okoli nekaj sto atomov na cm^3 [1]. Fizični pogoji, kjer DIBi najverjetneje izvirajo, ustrezajo hladni nevtralni snovi (angl. Cold Neutral Medium, oziroma CNM) in difuzni molekularni medzvezdni snovi. Različne faze medzvezdne snovi so povzete v Tabeli 1.

Tabela 1: Značilnosti faz medzvezdne snovi. Za vsako fazo so navedene tipične številske gostote n_0 in temperature plina T ter Gaussova skalirna višina H , definirana na razdalji Sonce - središče Galaksije [9, 28]. DIBi se večinoma nahajajo v CNM in difuznem H_2 .

Faza	n_0 (cm^{-3})	T (K)	H (pc)
Vroča ionizirana snov (Hot Ionized Medium, HIM)	0,003 – 0,004	$\sim 10^6$	3000
Območja H II	$0,3 - 10^5$	10^4	70
Topla ionizirana snov (Warm Ionized Medium, WIM)	0,1	8000	900
Topla nevtralna snov (Warm Neutral Medium, WNM)	0,5 – 0,6	5000 – 8000	220 – 400
Hladna nevtralna snov (Cold Neutral Medium, CNM)	30 – 50	80 – 100	94 – 220
Difuzni H_2	~ 100	~ 50	100
Gosti molekularni oblaki H_2	$10^3 - 10^6$	10 – 50	75
Obzvezdna snov	$1 - 10^6$	$50 - 10^3$	/

Da bi bolje razumeli izvor in sestavo nosilcev DIBov, moramo obravnavati procese, ki vodijo v njihovo nastajanje in razpad. Kljub temu, da izvor DIBov ni v prašnih zrnih pa je prisotnost prahu močno povezana z močjo opazovanih DIBov. Molekule se lahko namreč tvorijo na prahu, kjer se atomi in molekule vežejo na površine zrn in nato reagirajo med seboj preko kemijskih reakcij, ki jih krepijo primesi (kovine) v zrnih. Primesi lahko delujejo tudi kot katalizatorji za tvorbo novih molekul, saj zagotavljajo reaktivno mesto za interakcijo adsorbiranih atomov in molekul. Ta proces je učinkovit v hladnih in gostih območjih ISM, kjer je temperatura dovolj nizka, da omogoča vezavo molekul na prah, gostota pa dovolj visoka za spodbujanje trkov. Stopnja tvorbe molekul je odvisna tudi od kemijske sestave plina in površine zrn. Na primer, ogljikovi atomi se lahko vežejo na površino prahu in nato reagirajo z drugimi atomi ali molekulami, kot je vodik ter tvorijo kompleksne alkohole, etre in celo aminokisliline. Poleg tega se novo oblikovane molekule na zrnih lahko vključijo v ciklične reakcije, ki tvorijo bolj kompleksne molekule, kot so PAHi in fulereni [9].

Molekule v ISM nastanejo tudi s trki dveh nevtralnih atomov ali molekul v kemijskih reakcijah tipa



Te reakcije običajno potekajo pri nizkih temperaturah, pod nekaj tisoč K in nizkih gostotah, značilnih za molekularne oblake, kjer je ionizacija redka. Ta reakcija je najpomembnejša pri nastanku

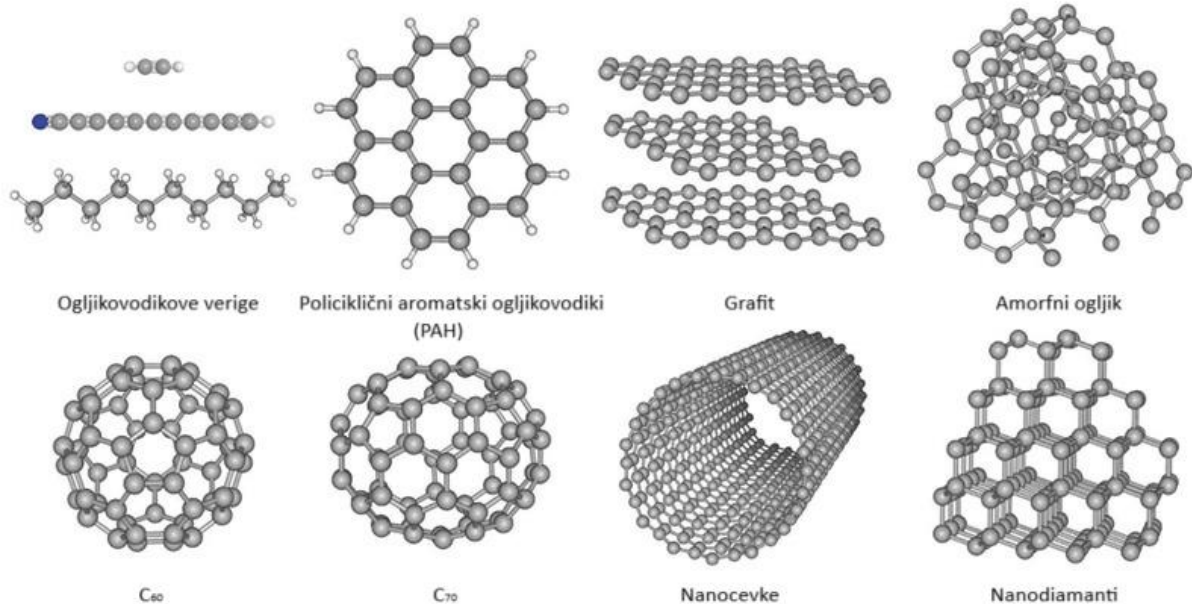
molekularnega vodika (H_2) iz dveh atomov vodika. Pogosti produkti teh reakcij so OH, CH in H_2O [9]. Glavni mehanizmi, ki vodijo v uničenje molekul v ISM, ki jih lahko dosežejo daljni ultra-vijolični (angl. far-ultraviolet, oziroma FUV) fotoni, sta fotoionizacija in fotodisociacija:



Ta proces je pomemben, saj lahko vpliva na številsko gostoto in porazdelitev molekul v ISM ter igra vlogo pri tvorbi novih molekul. Molekula se lahko vzbudi, če absorbira FUV foton. Če vzbujeno stanje ni dovolj dolgoživo, se molekula lahko disociira. Ta proces se lahko zgodi tudi, če FUV foton vzbudi molekulo v stanje, ki je nad disociacijsko energijo, kar pretrga kemijske vezi in disociira molekulo na njene sestavne atome. V območjih, kjer je gostota molekul dovolj visoka ($n_H \gtrsim 10^{20} \text{ cm}^{-2}$), se molekule zaščitijo pred delovanjem FUV fotonov tako, da jih absorbirajo, preden lahko disociirajo molekulo v njihovi bližini [29]. FUV foton se sipa na molekuli, pri čemer molekula ne postane vzbujena. Ta proces lahko druge molekule zaščiti pred disociacijo tako, da FUV foton odstrani.

V pretežno nevtralnem plinu, izven območij H II, igrajo elementi, kot so C, N, O, Si, S, Mg, pomembno vlogo pri tvorbi kompleksnih organskih molekul (pretežno sestavljenih iz ogljika in vodika), ki so najverjetnejši nosilci DIBov ali pa so z njimi povezani. Ti elementi imajo ionizacijske potencialne energije približno 10 eV. Preko fotoelektričnega procesa proizvajajo elektrone, ki s trki segrevajo plin. Plin se nato ohladi preko prehodov fine

strukture [9]. Ogljik je najbolj pogost težji element v ISM in ima za razliko od silicija in drugih elementov edinstveno sposobnost tvorbe raznolikih tridimenzionalnih struktur, obročev in dolgih verig.



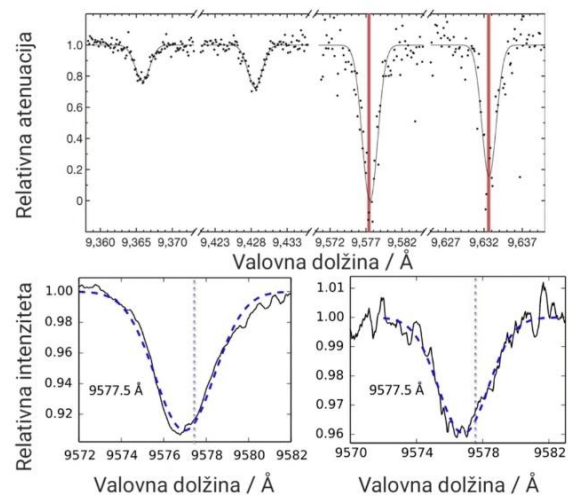
Slika 2: Raznolikost molekul ogljika, prisotnih v ISM. Ogljikovodikove verige in PAHi so verjetno vključeni v tvorbo fulerenov, amorfni ogljik je večinoma prisoten v ISM z nizko gostoto, medtem ko so grafiti in nanodiamanti pogosta spojina meteoritov. Avtor slike: Zan Peeters.

PAHi so velike, ploščate molekule, ki z več ogljikovimi obroči tvorijo obliko satovja [9]. Običajno vsebujejo približno 50 ogljikovih atomov in prispevajo približno 10% skupne vsebnosti ogljika v medzvezdni snovi [9]. V difuzni medzvezdni snovi igrajo PAHi vlogo pri segrevanju plina s fotoelektričnim učinkom, pri čemer absorpcija enega FUV fotona povzroči izsevanje infrardečih fotonov, kar segreva plin [9, 30]. PAHi naj bi nastajali s trki manjših ogljikovih molekul na površini prahu, v gostih molekularnih oblakih ali v difuzni medzvezdni snovi [9].

Fulereni so posebna skupina ogljikovih molekul z rešetkasto strukturo, sestavljeno iz ogljikovih atomov [30]. Odkrili so jih v območju planetarnih meglic Tc 1 z uporabo vesoljskega teleskopa Spitzer [31]. Te molekule bi lahko predstavljale približno 1,5% ogljika v Tc 1 in okoli 1% medzvezdnega ogljika [28]. Leta 2015 so Campbell in drugi laboratorijsko dokazali, da je kation fulerena C_{60}^+ , odgovoren za dva specifična DIBa v vidnem delu spektra, kar kaže, da so fulereni vpleteni v medzvezdno kemijo [7]. Laboratorijske absorpcijske spektre so pridobili s simulacijo trkov kationov fulerena s hladnim in gostim helijem. Ujemanje absorpcijskih spektrov z zvezdo HD 183143 je potrdilo vlogo C_{60}^+ kot nosilca

Ta vsestranskost ga naredi izjemno primerne za tvorbo širokega spektra kompleksnih molekul. Nekatere najpogostejše oblike teh molekul so opisane v nadaljevanju ter so ilustrirane na Sliki 2.

teh DIBov. Nadaljnji opazovalni podatki zvezd HD 183143 in HD 169454 so ta sklep podprli [7]. Podrobnosti tega odkritja so povzete na Sliki 3.



Slika 3: Slika prikazuje laboratorijski spekter C_{60}^+ pri 5,8 K, v plinasti fazi. V zgornjem levem kotu sta vidna dva šibkejša pasova pri 9429 in 9366 Å, ki ležita v spektralnem območju, ki je močno onesnaženo s teluriki (spektralne črte vodne pare, ki imajo izvor v Zemljini atmosferi). Močnejša DIBa pri 9632 Å in 9577 Å sta označena z rdečimi vertikalnimi črtami.

Avtorstvo zgornje slike: [7]. Spodnja slika prikazuje opazovani DIB 9577 v spektrih zvezd HD 183143 (levo) in HD 169454 (desno), s FWHM vrednostmi $3,3 \pm 0,04 \text{ \AA}$ za prvega in $3,5 \pm 0,06 \text{ \AA}$ za drugega. Navpične črtkane črte kažejo laboratorijsko referenčno valovno dolžino za absorpcijo C_{60}^+ . Razlika med njimi ustreza radialnemu premiku hitrosti, merjenem iz medzvezdne absorpcije kalija pri $7699,0 \text{ \AA}$. V primeru HD 183143 (levo) sta zaznani dve komponenti medzvezdne absorpcije kalija. Močnejša komponenta ima radialno hitrost -12 km/s , šibkejša komponenta $+4 \text{ km/s}$. Pri valovni dolžini $9577,5 \text{ \AA}$ ustreza -12 km/s premiku $-0,38 \text{ \AA}$. V primeru HD 169454 (desno) opazimo samo eno medzvezdno absorpcijo kalija z radialno hitrostjo -11 km/s , ki ustreza premiku $-0,35 \text{ \AA}$ pri $9577,5 \text{ \AA}$. Avtorstvo spodnje slike: [8].

Verige ogljikovodikov, kot so C_2 , C_3 in C_5 so bile identificirane v zvezdah in v medzvezdni snovi. Sumi se, da so odgovorne za nekatere DIBe, čeprav so zelo nestabilne, to pa zahteva hitro tvorbo teh molekul v medzvezdni snovi [32]. Visokorezolucijska spektroskopska opazovanja, ki so jih leta 2003 opravili Thorburn in drugi [33], so razkrila DIBe, povezane z medzvezdno molekulo C_2 , ki so jo zaznali v gostih molekularnih oblakih [34]. Galazutdinov in drugi so leta 2008 našli različne podstrukture v DIBih C_2 , ki so morda povezane z rotacijskimi prehodi [35], medtem ko so Oka in drugi, leta 2003 našli korelacijo med gostotami $N(C_2)$ in $N(C_3)$ [36].

MEDZVEZDNI PRAH

Medzvezdni prah je ključni del medzvezdne snovi. Delci prahu zajamejo znatno količino težkih elementov z višjimi kondenzacijskimi temperaturami. Ta prašna zrna nato zagotavljajo površino, na kateri se lahko tvorijo kompleksne molekule, kot so na primer nosilci DIBov. Pri opazovanju DIBov ugotovimo, da so ti močnejši v smereh, kjer je prisotnega več medzvezdnega prahu. Tozadevno je smiselna tudi obravnava prahu ter pojmov povezanih z interakcijo svetlobe in prahu, ki smo jih sicer že spoznali v prejšnjih poglavjih, a o njih nismo dosti povedali.

O prisotnosti medzvezdnega prahu je prvič poročal Barnard leta 1907, predlagana pa je bila iz opazovanj zvezdne kopice Plejade. Zvezdne kopice so skupine zvezd, ki se oblikujejo približno ob istem času iz istega molekularnega oblaka. Zato imajo zvezde v dani kopici na splošno podobno starost in kemijsko sestavo. Barnard je ugotovil, da so nekatere zvezde v Plejadah videti manj svetle kot druge. To je privedlo do spoznanja, da je zatemnitev povzročila absorbirajoča snov, zdaj znana kot medzvezdni prah [28]. Potrditev, ki jo je leta 1930 opravil Trumpler, je pokazala, da so zvezde v

oddaljenih razsutih kopicah videti šibkejše in bolj rdeče od pričakovanega, zaradi absorpcije in sipanja svetlobe na medzvezdnem prahu. Opisani pojav imenujemo medzvezdna ekstinkcija [28].

Precej preprost način merjenja ekstinkcije je uporaba dveh zvezd s podobnimi spektralnimi lastnostmi, pri čemer ima ena izmed njih zanemarljivo malo prahu v smeri pogleda in služi kot standardna zvezda. S pomočjo druge zvezde nato določimo, koliko se intenziteta svetlobe zmanjša zaradi prahu. Ekstinkcija A_λ merjena v magnitudah je definirana kot:

$$A_\lambda = 2,5 \cdot \log_{10} \left(\frac{F_\lambda^0}{F_\lambda} \right)$$

kjer je F_λ opazovani tok zvezde, F_λ^0 pa opazovani tok zvezde, če je zmanjšanje svetlobnega toka samo posledica obratnega kvadratnega zakona [28]. Ekstinkcija je sorazmerna z optično gostoto τ_λ , ki predstavlja količino absorpcije ali sipanja svetlobe na medzvezdnem prahu ali plinu. Visoka vrednost optične gostote pomeni, da se velika količina svetlobe absorbira ali sipa, kar otežuje opazovanje objektov za prahom ali plinom in obratno [28]:

$$\frac{A_\lambda}{mag} = 2,5 \cdot \log_{10}(e^{\tau_\lambda}) = 1,086 \cdot \tau_\lambda.$$

Ko svetloba potuje skozi prah, se svetlobni tok zvezde, v smeri opazovalca, eksponentno zmanjšuje. Svetloba interagira z medzvezdnim prahom in lahko pride do sipanja. To se zgodi, ko so delci približno enake velikosti kot valovna dolžina svetlobe. Obstajata dve glavni vrsti sipanja: Miejevo sipanje in Rayleighovo sipanje. Miejevo sipanje se zgodi, ko je velikost delcev na katerih se sipa svetloba, primerljiva ali večja od valovne dolžine svetlobe. V Zemljini atmosferi je to odgovorno za sipanje na oblakih in za belo barvo megle. Nasprotno pa se Rayleighovo sipanje zgodi, ko je velikost delcev veliko manjša od valovne dolžine svetlobe. To sipanje daje nebu modro barvo med dnevom, saj se krajše valovne dolžine modre svetlobe močnejše sipajo v primerjavi z daljšimi valovnimi dolžinami. Rayleighovo sipanje je odvisno od valovne dolžine svetlobe ($\propto \lambda^{-4}$).

V medzvezdnem prahu so delci tipično manjši od valovne dolžine vidne svetlobe, zato svetlobo sipajo prek Rayleighovega sipanja. To bolj vpliva na krajše (modre in UV) valovne dolžine, kot na daljše (rdeče) valovne dolžine, kar povzroči zmanjšanje modre svetlobe v primerjavi z rdečo svetlobo. Posledično se za opazovalca svetloba z zvezde zdi bolj rdeča. Ta pojav imenujemo medzvezdna pordečitev. Slednjo lahko ocenimo tako, da primerjamo opazovani barvni indeks $B - V$ (razlika med magnitudami,

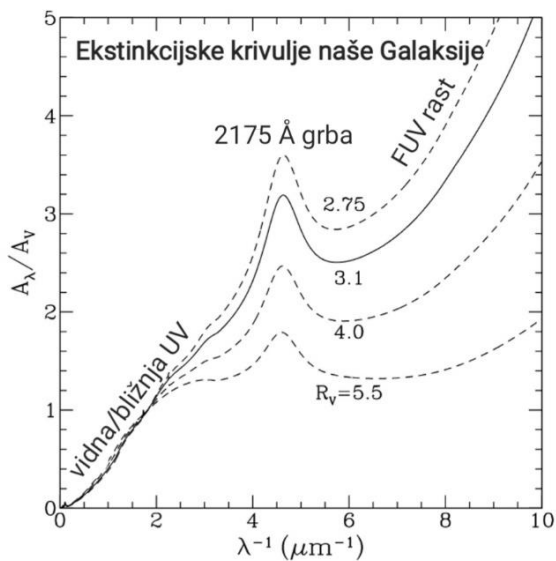
izmerjenimi v dveh filtrih, običajno B in V) objekta z njegovim resničnim barvnim indeksom $(B - V)_0$, s pomočjo naslednje enačbe:

$$E(B - V) = (B - V) - (B - V)_0.$$

Medzvezdna pordečitev in ekstinkcija sta tesno povezani. Več prahu v smeri pogleda pomeni močnejšo pordečitev in višjo ekstinkcijo. Ekstinkcija je funkcija valovne dolžine za različne vrste prahu in temelji na opazovanjih zvezd v naši in bližnjih galaksijah. Velja za širok nabor območij prahu (različna sestava in porazdelitev velikosti) in vrst zvezd. Razmerje med ekstinkcijo v vidni svetlobi in pordečitvijo je izraženo z naslednjo enačbo:

$$R_V = \frac{A_V}{A_B - A_V} = \frac{A_V}{E(B - V)},$$

kjer je A_B ekstinkcija, izmerjena med približno 4000 in približno 5000 Å, s središčem pasu pri 4405 Å (modri fotometrični pas, B), A_V je ekstinkcija, izmerjena med približno 5000 in približno 7000 Å, s središčem pasu pri 5470 Å (zeleni fotometrični pas, V), in $E(B - V)$ je pordečitev [28, 37]. Vrednost parametra R običajno variira med 2 in 5, za večino smeri pogleda v naši Galaksiji pa znaša okoli 3,1.



Slika 4: Ekstinkcijske krivulje v Galaksiji. Opazna je razlika med krivuljami v UV območjih. Krivulje so označene z različnimi R_V in kažejo različno porazdelitev velikosti prahu v različnih smereh pogleda. Krivulja, označena z neprekinjeno črto, predstavlja difuzno medzvezdno snov z $R_V \approx 3,1$. Smeri pogleda, ki gredo skozi gostejše regije, imajo običajno višje vrednosti R_V . Avtorske pravice za sliko: [37].

Da lahko preoblikujemo barvni presežek (pordečitev) v ekstinkcijo, predpostavimo, da je R konstanten, zato za večino smeri pogleda v naši Galaksiji velja $A_V = 3,1 \cdot E(B - V)$. Predpostavka, da je R konstanten, je običajno veljavna pri opazovanju svetlobe zvezd znotraj relativno enotnega območja, pri čemer predpostavimo, da lastnosti prahu ostajajo enake. Kljub temu se lahko pojavijo variacije zaradi različnih vrst prahu ali kompleksnih struktur prahu vzdolž smeri pogleda. Krivulja ekstinkcije kaže na gladko naraščanje proti UV, z izrazitim maksimumom (UV grba) pri valovni dolžini 2175 Å ($\lambda^{-1} \approx 4,6 \cdot \mu\text{m}^{-1}$) in upadom v IR, glej Sliko 4. Oblika te krivulje nam lahko poda naravo absorbirajoče snovi. UV grba pri 2175 Å \pm 9 Å ima razpon širine od približno 360 do 770 Å v različnih okoljih in tipično širino 480 Å [9]. Natančen vzrok za njo ni povsem znan, najverjetneje so za njo odgovorne velike molekule PAH [38].

LASTNOSTI DIBOV

V prejšnjih poglavjih smo izvedeli, da so DIBi zelo tesno povezani tako s plinom, kot s prahom v difuzni medzvezdni snovi. Kljub temu znanju pa je identifikacija nosilnih molekul izredno zahtevna, saj potrebuje za potrditev še neodvisne laboratorijske poskuse, kot smo videli v primeru kationa fulerena C_{60}^+ . Vseeno pa lahko za zožitev iskanja skrivnostnih nosilnih molekul DIBov, nekatere teoretične premisleke in izsledke doslej opravljenih poskusov iz različnih študij, strnemo v naslednjih točkah:

- DIBi kažejo pozitivno korelacijo s stolpično gostoto $N(H)$ in pogosto negativno korelacijo z $N(H_2)$. Opazovanja kažejo, da H_2 verjetno ni vključen v tvorbo nosilcev DIBov.
- Stabilnost DIBov glede na UV-sevanje, ki prihaja iz vročih zvezd (spektralni tipi O, B, A) se med DIBi močno razlikuje. Na moč DIBov v okolici vročih zvezd vpliva številna gostota molekul, ki pri dovolj visokih vrednostih ščiti molekule pred disipacijo. Podobno zaščito zagotavlja tudi prah, ki obkroža nosilce DIBov. Krelowski in drugi so leta 1992 ugotovili, da se moči DIBov 5797 in 5780 spreminjata v območjih, zaščiteneh s prahom, kar odraža lokalne pogoje v medzvezdnem prostoru [39]. Zaščitene smeri pogleda imenujemo ζ -tip (ime po zvezdi ζ Oph), medtem ko so nezaščitene smeri pogleda σ -tip (ime po zvezdi σ Sco). Približna vrednost prehoda med ζ in σ je pri razmerju moči absorpcijskih črt (ekvivalenčnih širin) $EW(5797)/EW(5780) = 0,3$. Zaščita pred UV igra glavno vlogo pri moči DIBa v ζ -tipu, medtem ko so pri σ -tipu pomembnejši drugi dejavniki.

- DIBi so razvrščeni v tri osnovne družine glede na njihovo sestavo ter občutljivost na UV sevanje vzdolž smeri pogleda [1]. To so ζ , σ in C_2 družine, ki kažejo korelacije z gostotami H_2 , H in C_2 [1, 33, 34]. ζ in C_2 DIBi imajo ožje profile [1, 34, 40],

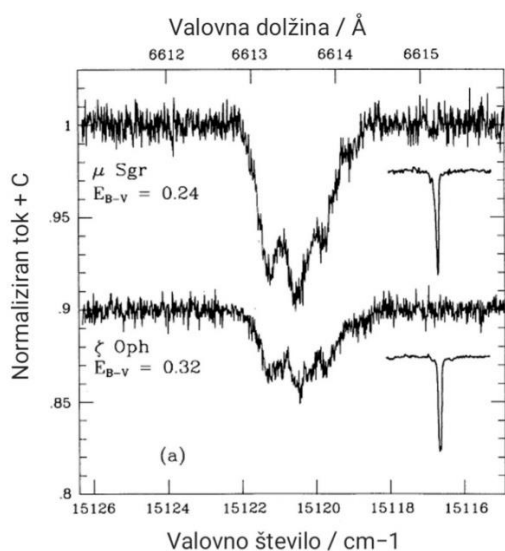
medtem ko so σ DIBi, ki so manj občutljivi na UV sevanje, širši ($FWHM > 1.1 \text{ \AA}$) [41, 42]. Omont in drugi so leta 2020 povzeli raziskave DIBov, jih razdelili v tri družine [41], kot je navedeno v Tabeli 2.

Tabela 2: Nekateri identificirani člani družin DIBov.

DIB družina	DIB (Å)
σ	4428, 4502, 4762, 4885, 5487, 5705, 5778, 5780, 5845, 6010, 6196, 6202, 6204, 6270, 6283
ζ	4964, 5494, 5545, 5797, 5850, 6090, 6196, 6376, 6379, 6613, 6660
C_2	4727, 4969, 4985, 5176, 5419, 5513, 5542, 5546, 5763, 5793, 6729

- Močni DIBi, kot sta DIB 5780 in 5797, so povezani z difuznim medzvezdnim prostorom v plinasti fazi, s pragom za ionizacijo/disociacijo $> 5.1 \text{ eV}$, medtem ko so šibkejši C_2 DIBi povezani z gostejšim molekularnim plinom. Moč C_2 DIBov namreč raste z naraščajočo stolpično gostoto molekularnega vodika.
- DIBi dobro in pozitivno korelirajo s pordečitvijo in stolpično gostoto nevtralnega vodika, vendar pa je korelacija slabša med posameznimi DIBi. Nekateri pari DIBov sicer močno pozitivno korelirajo, vendar je potrebna previdnost pri pripisovanju skupnih nosilcev.
- Oka in drugi so leta 2013 ugotovili, da so DIBi 5780, 5797 in 6613 izrazito razširjeni proti rdečem delu spektra (angl. Extended Toward Red, oziroma ETR) [43]. Ta pojav na spektru izgleda tako, kot da je absorpcijska črta nagnjena bolj proti višjim valovnim dolžinam, oziroma izgleda kot asimetrična Gaussova krivulja. Razlike v ETR so opazili med smermi pogleda proti gostim molekularnim oblakom Her 36 in 9 Sgr. Za ta pojav so odgovorne polarne molekule z 2 do 6 C atomi. Močni DIBi 5850, 6196 in 6379 nimajo ETR, zato so njihovi nosilci verjetno manjše nepolarne molekule. Nosilci DIBov z močno izraženim ETR ne morejo biti simetrične ogljikovodikove verige, simetrični PAHi, fulereni in njihovi ioni.
- Nekateri DIBi se pojavijo tudi v območju (bližnje) infrardeče oziroma NIR/IR (1 - 2 μm) valovnih dolžin. Prvi znani NIR/IR DIBi, pri 1,18 in 1,31 μm , so bili odkriti leta 1990 v smereh pogleda proti optično svetlim zvezdam [44]. Hamano in drugi so leta 2015 ugotovili, da se DIBi v NIR in IR območju ne ujemajo tako dobro z ekstinkcijo svetlobe zaradi prahu, kot se optični DIBi, kar nakazuje na močnejši vpliv UV sevanja [45]. Zasowski in drugi so v članku iz leta 2015 uporabili najmočnejši NIR/IR DIB pri $\lambda \approx 1,527 \mu\text{m}$ za kartiranje porazdelitve medzvezdne snovi v Galaktični ravnini do razdalje 15 kpc, pri čemer so uporabili približno 60.000 zvezd z različnimi vrednostmi pordečitve svetlobe zaradi prahu ($A_V \leq 30 \text{ mag}$) [17]. NIR/IR DIBi so dragoceno orodje za kartiranje medzvezdne snovi v območjih močno pordečenih zaradi prahu.
- Pojav Dopplerjevega razcepljanja absorpcijskih črt lahko opazujemo v DIBih, če smer pogleda prečka več oblakov z nosilci DIBov, ki se premikajo z različnimi radialnimi hitrostmi glede na opazovalca. To povzroči, da se absorpcijske črte razcepijo na več komponent, vsaka pri nekoliko drugačni valovni dolžini. Dopplerjevo razcepljanje je enostavno zaznati v profilih medzvezdnih črt, na primer v Ca II in Na I, saj so njihovi profili po naravi zelo ozki. Opazovanje Dopplerjevega razcepljanja v DIBih, ki so običajno veliko širši od medzvezdnih črt, zahteva uporabo spektrov visoke ločljivosti in visokega razmerja med signalom in šumom. Dopplerjevo razcepljanje v DIBih lahko opazimo v smereh pogleda proti oddaljenim, precej močno pordečenim ($E(B - V) > 1 \text{ mag}$) zvezdam [46].
- Tipična razcepljenost molekulske fine strukture zaradi različnih rotacijskih ali vibracijskih stanj znaša nekaj stotink nanometra ali manj. Da bi opazovali fino strukturo profilov DIB-ov, moramo uporabiti spektre zelo visoke ločljivosti ($R > 100.000$) in spektre vročih zvezd z visokim razmerjem signala proti šumu (SNR) [35, 47]. Slabost je omejeno število pordečenih vročih zvezd, kjer fino strukturo lahko opazujemo ter možen zabris fine strukture zaradi različnih radialnih hitrosti nosilcev DIBov vzdolž smeri pogleda. Sarre in drugi so leta 1995 opazovali fino strukturo v profilih DIB 6613 in DIB 5797 z ultra-visoko ločljivostnim ($R = 600.000$) spektrografom proti zvezdam $\mu \text{ Sgr}$ ($E(B - V) = 0,24 \text{ mag}$) in $\zeta \text{ Oph}$ ($E(B - V) =$

0,32 mag) [48], glej Sliko 5. Galazutdinov in drugi so leta 2003 opazovali podstrukture v profilih DIBov 5795, 5850, 6196 in 6379 pri ločljivosti $R = 300.000$, proti pordečeni zvezdi ζ Per ($E(B - V) = 0,31$ mag) ter okrepili hipotezo o plinski fazi molekularne narave nosilcev DIBov [49]. Pod-strukture opazovanih molekul lahko razkrijejo P, Q in R veje, ki se nanašajo na rotacijske prehode v molekuli, ki se pojavijo, ko je molekula v določenem elektronskem stanju. Te prehode je mogoče opazovati v plinski fazi pri nizkem tlaku, običajno v procesu absorpcije [50, 51]. P, Q in R veje so pod-stanja rotacijskega spektra in so posledica sprememb v rotacijskih energijskih nivojih molekule. Prehodi med rotacijskimi nivoji so povezani z istim vibracijskim nivojem ($v = 0$).



Slika 5: Ultra-visoko-ločljivostni spektri DIB 6613 proti zvezdama μ Sgr in ζ Oph, pri ločljivosti $R = 600.000$ in s časom ekspozicije 5400 sekund. Trojna podstruktura (P, Q, R) je jasno razločena. Medzvezdna črta K I (prikazana spodaj desno pri vsakem spektru) je bila uporabljena za določitev valovnih dolžin DIBov. Vir slike: [48].

Za identifikacijo nosilnih molekul, odgovornih za nastanek DIBov, so potrebne nadaljnje raziskave, ki vključujejo napredne spektroskopske analize, kot so obsežni pregledi neba in ultra-visoko-ločljivostni spektri. Poleg tega so ključni laboratorijski poskusi, ki vključujejo merjenje absorpcijskih spektrov organskih molekul pod pogoji, podobnimi tistim v medzvezdnem prostoru, ter teoretično modeliranje, ki raziskuje povezave med opazovanimi absorpcijami in modelskimi opisi fine

strukture. S temi pristopi želimo pridobiti globlji vpogled v sestavo in razmere medzvezdne snovi. To bo izboljšalo naše razumevanje temeljnih procesov, ki oblikujejo vesolje, od kemijske sestave vesolja do nastanka in razvoja nebesnih teles. Poleg tega bodo imele raziskave praktične posledice za interpretacijo spektrov zvezd ter za izboljšanje modelov astrofizikalnih pojavov.

LITERATURA

1. G. H. Herbig, The Diffuse Interstellar Bands, 33, 19 (1995).
2. P. W. Merrill and O. C. Wilson, Unidentified Interstellar Lines in the Yellow and Red, 87, 9 (1938).
3. P. J. Sarre, The diffuse interstellar bands: A major problem in astronomical spectroscopy, Journal of Molecular Spectroscopy 238, 1 (2006).
4. M. L. Heger, Note on the spectrum of gamma Cassiopeiae between 5860Å and 6600Å., Lick Observatory Bulletin 10, 148 (1922).
5. P. W. Merrill, Unidentified Interstellar Lines, 46, 206 (1934).
6. P. W. Merrill, Stationary Lines in the Spectrum of the Binary Star Boss 6142, 83, 126 (1936).
7. E. K. Campbell, M. Holz, D. Gerlich et al., Laboratory confirmation of C+60 as the carrier of two diffuse interstellar bands, 523, 322 (2015).
8. G. A. H. Walker, D. A. Bohlender, J. P. Maier et al., Identification of More Interstellar C+60 Bands, 812, L8 (2015).
9. A. G. G. M. Tielens, The Physics and Chemistry of the Interstellar Medium (2010).
10. L. M. Hobbs, D. G. York, J. A. Thorburn et al., Studies of the Diffuse Interstellar Bands. III. HD 183143, 705, 32 (2009).
11. T. Weselak, M. Schmidt and J. Krełowski, A new survey of diffuse interstellar bands (5650 - 6865 Å), 142, 239 (2000).
12. S. Ó. Tuairisg, J. Cami, B. H. Foing et al., A deep echelle survey and new analysis of diffuse interstellar bands, 142, 225 (2000).
13. G. A. Galazutdinov, F. A. Musaev, J. Krełowski et al., Narrow Diffuse Interstellar Bands: A Survey with Precise Wavelengths, 112, 648 (2000).
14. P. Jenniskens and F. X. Desert, A survey of diffuse interstellar bands (3800-8680 Å), 106, 39 (1994).
15. J. Kos, Spatial structure of several diffuse interstellar band carriers, 468, 4255 (2017).
16. J. Krełowski, G. Galazutdinov, V. Godunova et al., On the Relation between Interstellar Spectral Features and Reddening, 69, 159 (2019).
17. G. Zasowski, B. Ménard, D. Bizyaev et al., Mapping the Interstellar Medium with Near-infrared Diffuse Interstellar Bands, 798, 35 (2015).

18. T.-W. Lan, B. Ménard and G. Zhu, Exploring the diffuse interstellar bands with the Sloan Digital Sky Survey, 452, 3629 (2015).
19. J. Kos and T. Zwitter, Properties of Diffuse Interstellar Bands at Different Physical Conditions of the Interstellar Medium, 774, 72 (2013).
20. S. D. Friedman, D. G. York, B. J. McCall et al., Studies of Diffuse Interstellar Bands V. Pairwise Correlations of Eight Strong DIBs and Neutral Hydrogen, Molecular Hydrogen, and Color Excess, 727, 33 (2011).
21. A. Megier, J. Kręłowski and T. Weselak, Correlation patterns between 11 diffuse interstellar bands and ultraviolet extinction, 358, 563 (2005).
22. J. P. Maier, G. A. H. Walker and D. A. Bohlender, On the Possible Role of Carbon Chains as Carriers of Diffuse Interstellar Bands, 602, 286 (2004).
23. J. K. G. Watson, Homologous Series of Diffuse Interstellar Bands, 437, 678 (1994).
24. F. Salama, E. L. O. Bakes, L. J. Allamandola et al., Assessment of the Polycyclic Aromatic Hydrocarbon–Diffuse Interstellar Band Proposal, 458, 621 (1996).
25. X. Tan, L. Bernstein, J. Cami et al., On Estimating Interstellar Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Abundances with Calculated Oscillator Strengths, 728, 62 (2011).
26. R. Siebenmorgen, N. V. Voshchinnikov and S. Bagnulo, Dust in the diffuse interstellar medium. Extinction, emission, linear and circular polarisation, 561, A82 (2014).
27. P. Martin, Interstellar Polarization, in *The Diffuse Interstellar Bands, Astrophysics and Space Science Library*, Vol. 202, edited by A. G. G. M. Tielens and T. P. Snow (1995) p. 263.
28. B. T. Draine, *Physics of the Interstellar and Intergalactic Medium* (2011).
29. J. Lequeux, *The Interstellar Medium* (2005).
30. S. Kwok, *Organic Matter in the Universe* (2011).
31. J. Cami, J. Bernard-Salas, E. Peeters et al., Detection of C60 and C70 in a Young Planetary Nebula, *Science* 329, 1180 (2010).
32. A. E. Douglas, Origin of diffuse interstellar lines, 269, 130 (1977).
33. J. A. Thorburn, L. M. Hobbs, B. J. McCall et al., Some Diffuse Interstellar Bands Related to Interstellar C2 Molecules, 584, 339 (2003).
34. M. Elyajouri, R. Lallement, N. L. J. Cox et al., The EDIBLES survey. III. C2-DIBs and their profiles, 616, A143 (2018).
35. G. A. Galazutdinov, G. LoCurto and J. Kręłowski, High-Resolution Profiles of Diffuse Interstellar Bands, 682, 1076 (2008).
36. T. Oka, J. A. Thorburn, B. J. McCall et al., Observations of C3 in Translucent Sight Lines, 582, 823 (2003).
37. A. Li, Dust in Active Galactic Nuclei, in *The Central Engine of Active Galactic Nuclei, Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, Vol. 373, edited by L. C. Ho and J. W. Wang (2007) p. 561.
38. C. Cecchi-Pestellini, G. Mallocci, G. Mulas et al., The role of the charge state of PAHs in ultraviolet extinction, 486, L25 (2008).
39. J. Kręłowski, T. P. Snow, C. G. Seab et al., Spatial correlation between CH, CN and the diffuse interstellar band carriers., 258, 693 (1992).
40. P. J. Sarre, Diffuse Interstellar Band Profiles, in *The Diffuse Interstellar Bands*, Vol. 297, edited by J. Cami and N. L. J. Cox (2014) pp. 34–40.
41. A. Omont and H. F. Bettinger, Correlation between UV resilience and wavelength of narrow diffuse interstellar bands, 637, A74 (2020).
42. A. P. Jones, Dust evolution, a global view: II. Top-down branching, nanoparticle fragmentation and the mystery of the diffuse interstellar band carriers, arXiv e-prints , arXiv:2111.04512 (2021).
43. Oka, D. E. Welty, S. Johnson et al., Anomalous Diffuse Interstellar Bands in the Spectrum of Herschel 36. II. Analysis of Radiatively Excited CH⁺, CH, and Diffuse Interstellar Bands, 773, 42 (2013).
44. C. Joblin, J. P. Maillard, L. D’Hendecourt et al., Detection of diffuse interstellar bands in the infrared, 346, 729 (1990).
45. S. Hamano, N. Kobayashi, S. Kondo et al., Near-infrared Diffuse Interstellar Bands in 0.91-1.32 μm , 800, 137 (2015).
46. T. Weselak, G. A. Galazutdinov, I. Han et al., Doppler splitting in diffuse interstellar bands, 401, 1308 (2010).
47. G. A. H. Walker, D. A. Bohlender and J. Kręłowski, Further Evidence for Carbon Isotopic Structure in the $\lambda\lambda 5797$ and 6614 Diffuse Interstellar Bands, 530, 362 (2000).
48. P. J. Sarre, J. R. Miles, T. H. Kerr et al., Resolution of intrinsic fine structure in spectra of narrow diffuse interstellar bands, 277, L41 (1995).
49. G. A. Galazutdinov, F. A. Musaev, A. V. Bondar et al., Very high resolution profiles of four diffuse interstellar bands, 345, 365 (2003).
50. J. M. J. M. Hollas, *Modern spectroscopy*, 3rd ed. (J. Wiley, Chichester, 1996).
51. A. G. Davies, D. Phillips and J. D. Woollins, *Basic Atomic and Molecular Spectroscopy*, edited by E. W. Abel, *Tutorial Chemistry Texts* (The Royal Society of Chemistry, 2002) pp. X001–X004.

ŽIVLJENJE ZVEZD

Darko Kolar

Center za astrofiziko in kozmologijo, Univerza v Novi Gorici

UVOD

Že pred nastankom prvih visokih civilizacij se je človek zavedal pomena Sonca za svoje preživetje. Njegovo razumevanje procesov, ki poganjajo Sonce in astrofizike na splošno je največji razcvet doživelo v 20. stoletju. Odkril je, da je Sonce večinoma sestavljeno iz vodika in sveti zaradi jedrskih reakcij, ki potekajo v njihovem središču, da je Sonce le ena izmed milijarde različnih zvezd, ki poleg plina in prahu sestavljajo našo Galaksijo, ter da se zvezde, podobno kot človek, rojevajo in umirajo. V nadaljevanju je tako predstavljeno današnje razumevanje življenja zvezd v odvisnosti od njihove mase, podane pa so tudi časovne skale pomembnejših obdobj.

ROJSTVO ZVEZD IN GLAVNA VEJA

Nove zvezde se rojevajo v hladnih in gostih območjih medzvezdne snovi – molekularnih oblakih, sestavljenih iz plina in prahu. Tipične velikosti takšnih oblakov se gibljejo od nekaj pa vse do sto parsekov (pc), z masami od 10^4 do 10^7 mas Sonca M_{\odot} [1].

Oblaki nastajajo v območjih medzvezdnega prostora preko različnih procesov, kot so postopno nabiranje materiala iz tokov, ki jih poganjajo udarni valovi supernov ter zvezdni vetrovi in z združevanjem manjših komponent pod vplivom gravitacijskega potenciala spiralnih rokavov naše Galaksije [2]. Na notranjo dinamiko oblakov vplivata privlačna gravitacijska sila in odbojna tlačna sila, ki oblak že kmalu po njegovi formaciji dokaj dobro premešata in homogenizirata. V primeru, da neka zunanja, lahko pa tudi notranja gravitacijska motnja, poruši hidrostatično ravnovesje oblaka, se gostota snovi na določenih mestih nekoliko poveča, spet drugje pa zmanjša. Oblak fragmentira glede na gostotne nehomogenosti in v primeru, da v nehomogenosti prevlada gravitacijska sila, se bo leta začela lokalno krčiti. Tekom krčenja se sproščena gravitacijska potencialna energija pretvarja v notranjo energijo in sevanje. Ker je gostotna nehomogenost sprva redka in prosojna za sevanje, se večina sproščene energije izseva, temperatura pa

ostane ista. Gostota in tlak najhitreje naraščata v bližini središča nehomogenosti, hkrati pa snov postaja vse manj prosojna za sevanje. Posledično se večji del sproščene energije pretvori v toploto, temperatura naraste, z njo pa tudi tlak. Izoblikuje se gosto in vroče jedro, obdano z redkejšo in hladnejšo ovojnico, v kateri snov še vedno pada proti središču – objekt, ki se imenuje protozvezda.

Proces krčenja nehomogenosti do protozvezde se odvija na časovni skali dinamičnega relaksacijskega časa, to je časa, ki bi ga nehomogenost rabila za popoln gravitacijski kolaps v primeru, da bi se porušilo hidrostatično ravnovesje. Ocenimo ga lahko iz časa, ki ga delec na robu nehomogenosti potrebuje, da prosto pade do središča le-te

$$t_d = \sqrt{\frac{2R^3}{GM}}, \quad (1)$$

kjer sta R in M polmer in masa nehomogenosti, G pa gravitacijska konstanta. Za objekt kot je Sonce, se velikostni razred dinamičnega relaksacijskega časa giblje okoli ene ure. Po začetnem obdobju hitrega gravitacijskega kolapsa protozvezda preide v bistveno daljše obdobje počasnejšega krčenja, ki se odvija na časovni skali termičnega relaksacijskega časa, to je časa, ki bi ga protozvezda z izsevom L rabila, da bi izsevala vso svojo notranjo energijo, sproščeno iz gravitacijske potencialne energije. Čas lahko ocenimo iz zveze:

$$t_t \approx \frac{GM^2/2R}{L}, \quad (2)$$

in za Sonce znaša približno dvajset milijonov let. Ker se protozvezda še vedno krči, temperatura in tlak v jedru rasteta, vrednosti, ki jih lahko dosežeta pa so odvisne od mase protozvezde. V jedrih protozvezd z masami, manjšimi od $0,08 M_{\odot}$, se hidrostatično ravnovesje ponovno vzpostavi že preden temperatura doseže vrednosti, potrebne za fuzijo vodika v helij. Ta masa tako predstavlja spodnjo mejo mase zvezd, protozvezde z manjšimi masami pa se imenujejo rjave pritlikavke. Prav tako obstaja tudi zgornja meja za maso zvezd. Pri protozvezdah z masami večjimi od $120 M_{\odot}$ namreč velik sevalni tlak

že kmalu po režimu hitrega kolapsa jedru protozvezde onemogoči dodatno nabiranje mase iz hladnejše ovojnice.

Iz posameznega molekularnega oblaka se običajno razvije razsuta kopica – skupina od nekaj 10 do nekaj 100 zvezd, ki jih med sabo veže šibka gravitacijska sila, podobne pa so si tudi po zastopanosti kemijskih elementov [3]. Rzsute kopice niso stabilne zvezdne skupine. Zaradi medsebojnih ali zunanjih gravitacijskih sil se običajno razpršijo po galaksiji v nekaj sto milijonih let. Začetno masno porazdelitev take generacije zvezd dobro opiše Kroupova verzija Saltpetrove empirične funkcije začetne mase

$$N(M)dM \propto M^{-\alpha}, \quad (3)$$

ki pravi, da je število posameznih zvezd z maso v intervalu od M do $M + dM$ ($N(M)dM$) znotraj izbranega območja (v našem primeru molekularnega oblaka) sorazmerno brezdimenzionalnemu faktorju α , s tipično vrednostjo $\alpha \sim 2,3$ za zvezde z maso $M > 0,5 M_{\odot}$ in $\alpha \sim 1,3$ za zvezde z maso $0,5 M_{\odot} > M > 0,08 M_{\odot}$ [4]. Številski delež manj masivnih zvezd bo torej za dan molekularni oblak bistveno večji od številskega deleža masivnejših zvezd.

Nova zvezda se rodi, ko v jedru protozvezde steče jedrska reakcija zlivanja vodika v helij. Sevalni tlak v jedru ustavi nadaljnje krčenje, ponovno se vzpostavi hidrostatično ravnovesje, zvezda pa se ustali v stabilnem stanju, imenovanem obdobje glavne veje. To je hkrati tudi najdaljše obdobje zvezdinega življenja, ki se odvija na časovni skali jedrskega relaksacijskega časa – časa, v katerem bi zvezda izsevala vso energijo, sproščeno v jedrskih reakcijah. Na podlagi predpostavke, da se le 10 % vsega razpoložljivega vodika lahko zlije v helij, pri zlitju pa se v energijo pretvori 0,7 % relativistične mase, lahko jedrski relaksacijski čas ocenimo kot:

$$t_j \approx \frac{0,007 \times 0,1 M c^2}{L}. \quad (4)$$

V primeru Sonca se velikostni razred jedrskega relaksacijskega časa tako giblje okoli deset milijard let. Masa in izsev zvezde sta tesno povezana, za zvezde na glavni veji pa veljata še zvezi:

$$\frac{L}{L_{\odot}} = \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right)^{3,5} \text{ in} \quad (5)$$

$$t_{GV} = 10 \text{ Gyr} \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right)^{-2,5}, \quad (6)$$

kjer je L_{\odot} izsev Sonca in t_{GV} , čas, ki ga zvezda preživi na glavni veji. Izsev zvezde na glavni veji z maso $10 M_{\odot}$ je tako približno 3000-krat večji od izseva Sonca, a bo na glavni veji preživela približno 300-krat manj časa, medtem ko bo izsev zvezde na glavni veji z desetino Sončeve mase približno 3000-krat manjši od Sončevega, na glavni veji pa bo preživela približno 300-krat več časa.

STARANJE IN SMRT

Obdobje glavne veje se konča, ko zvezda izčrpa zaloge vodika v jedru. Ker fuzija še naprej poteka v lupini, ki obdaja jedro, se masa helijevega jedra večja, večata pa se tudi tlak in temperatura v središču. Zunanje plasti se posledično razširijo in ohladijo – zvezda se premakne v fazo orjakinje. Za zvezde z maso $M > 0,26 M_{\odot}$ sčasoma ponovno steče tudi fuzija v jedru, zvezda pa postopoma zliva vse težje in kompleksnejše elemente v procesu nukleosinteze. Najmasivnejše zvezde z maso $M > 15 M_{\odot}$ zlivajo elemente vse do železa, medtem ko se za zvezde z maso $M \leq 0,26 M_{\odot}$ fuzija konča že pri heliju. Sledovi fuzijskih produktov se tekom življenja zvezde pojavijo tudi v njeni fotosferi, a so njihove zastopanosti bistveno manjše v primerjavi z zastopanostmi elementov, ki so sestavljali molekularni oblak iz katerega se je zvezda rodila.

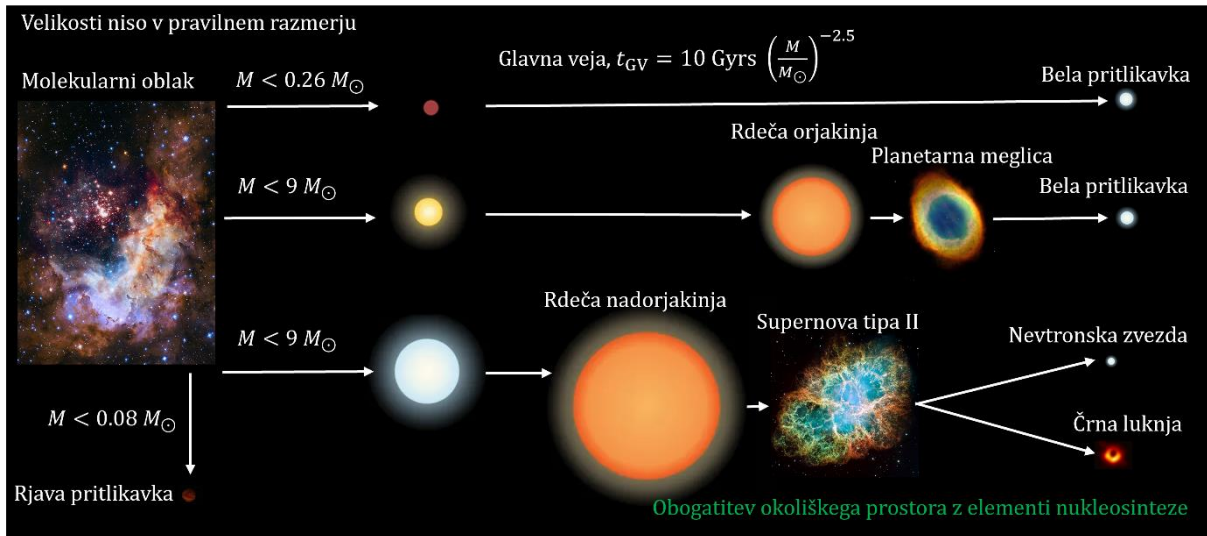
Ko zvezda v svojem jedru ne more več vzdrževati fuzije, se premakne v zadnjo stopnjo svoje evolucije – zvezdno smrt. Pri zvezdah z maso $M < 9 M_{\odot}$ njihova sprva še vedno zelo vroča in gosta jedra – bele pritlikavke, tekom časa počasi odpihnejo zunanje plasti zvezde in tako ustvarijo planetarno meglico, medtem ko je smrt zvezd z maso $M > 9 M_{\odot}$ bistveno burnejša. Njihova jedra implodirajo in formirajo ali nevtronsko zvezdo ali črno luknjo, njihove zunanje plasti pa eksplodirajo kot supernova tipa II, obenem pa se v ekstremnih pogojih sintetizira še več kompleksnejših elementov preko procesa zajetja nevtronov.

Oba načina zvezdne smrti tako obogatita okoliški prostor z večino elementov, ki so kompleksnejši od vodika, helija in litija (znanimi tudi kot elementi nukleosinteze velikega poka). Izjeme so berilij, bor in tehnecij, katerih stabilni izotopi večinoma nastajajo s fisijo kozmičnih žarkov, in nekaj elementov, ki nastanejo pri zlitju nevtronskih zvezd

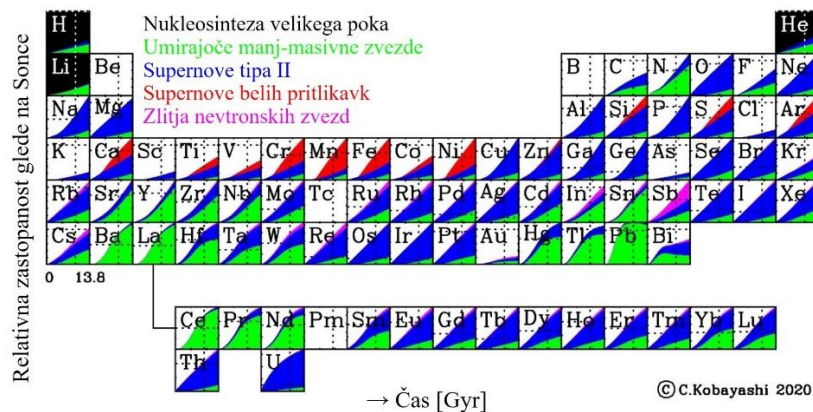
in eksplozijah supernov belih pritlikavk (supernove tipa I), sliki 1 in 2.

Poznejše generacije zvezd se rojevajo iz obogatenih oblakov, kemija naše Galaksije pa tako skozi čas

postaja vse bolj kompleksna, saj različni predeli občutijo različne obogatitve.



Slika 1: Shematski prikaz zvezdne evolucije od rojstva oziroma formacije na levi do načina smrti na desni za različne mase zvezd.



Slika 2: Časovni razvoj izvora elementov v periodičnem sistemu: elementi nukleosinteze velikega poka (črna), umirajoče manj masivne zvezde (zelena), supernove tipa II (modra), supernove belih pritlikavk (rdeča) in zlitja nevtronskih zvezd (vijolična). Vrednosti, ki se vrnejo tekom procesov zvezdne evolucije, so prav tako vključene. Črtkana črta označuje opazovane vrednosti za Sonce. Povzeto po [6].

LITERATURA:

[1] N. Murray, Star Formation Efficiencies and Lifetimes of Giant Molecular Clouds in the Milky Way, The Astrophysical Journal 729, 133 (2011).
 [2] C. L. Dobbs et al, Formation of Molecular Clouds and Global Conditions for Star Formation, v Protostars and Planets VI (University of Arizona Press, 2014).

[3] J. Bovy, The chemical homogeneity of open clusters, The Astrophysical Journal 817, 49 (2016).
 [4] P. Kroupa, On the variation of the initial mass function, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 322, 231 (2001).
 [5] K. Lodders, Solar Elemental Abundances (2019).
 [6] C. Kobayashi, A. I. Karakas in M. Lugaro, The Origin of Elements from Carbon to Uranium (2020).

NASTANEK MASIVNIH ELIPTIČNIH GALAKSIJ

doc. dr. Milan Svetec

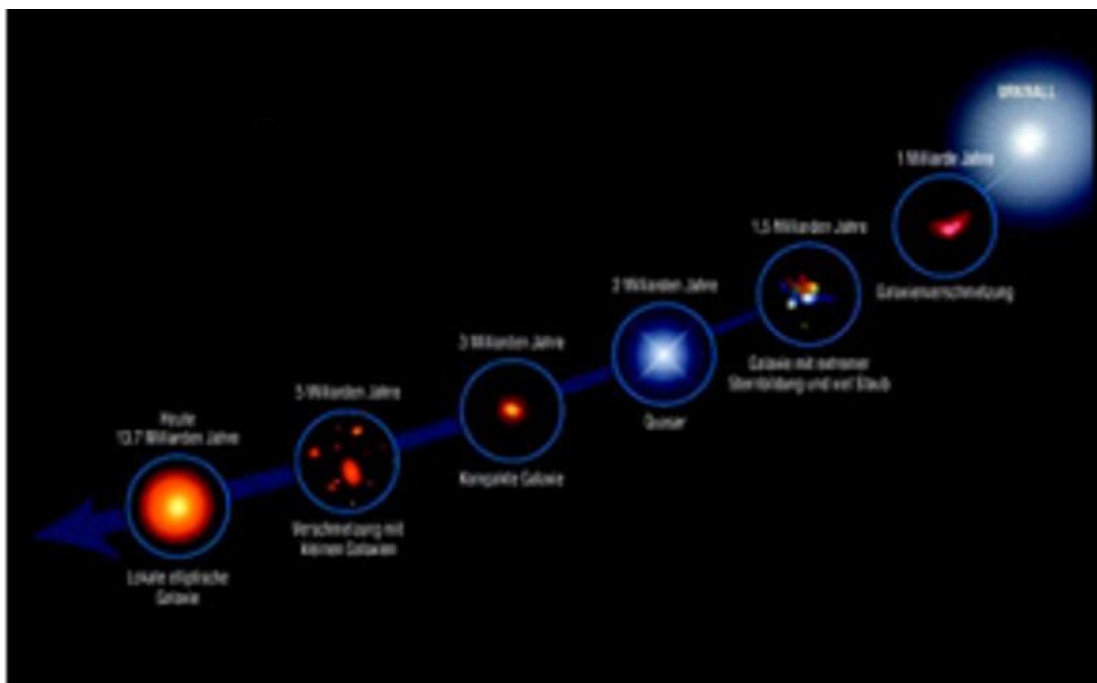
Znanstveno in inovacijsko središče Pomurje,
Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Univerza v Mariboru

Galaksije rastejo, ko se v njih oblikuje vedno več zvezd. Vendar pa ta "rodnost" med razvojem vesolja ni bila enakomerna: pri posebej težkih galaksijah je zgodnjemu razmahu kmalu po velikem poku, hitro sledila stagnacija kot je ugotovila mednarodna raziskovalna skupina, vključno z Univerzo v Bonnu. Pogled na nočno nebo to pokaže: zvezde niso enakomerno razporejene, temveč tvorijo številne galaksije, od katerih nekatere, kot je Andromedina galaksija, lahko vidimo z daljnogledom. Vendar pa se zbirke zvezd, planetarnih sistemov ter oblakov plina in prahu niso razvijale neprekinjeno od velikega poka pred približno 13,7 milijardami let. "V zelo zgodnjem vesolju, pred desetimi do enajstimi milijardami let, že vidimo zelo masivne in kompaktne galaksije, ki so hitro ustavile svojo hitro rast," pravi Alexander Karim z Inštituta za astronomijo Argelander na Univerzi v Bonnu. Do

zdaj ni bilo jasno, kako so te zgodnje galaksije nastale in kako so se naprej razvijale.

Študija mednarodne skupine raziskovalcev zdaj ponuja odgovor na to vprašanje. Za rekonstrukcijo evolucije galaksije so znanstveniki uporabili posnetke približno ducata vodilnih svetovnih teleskopov, vključno s Hubblovim vesoljskim teleskopom. Vsi teleskopi so se osredotočili na določen del neba: polje COSMOS. »Z dodatnimi meritvami s teleskopom smo lahko pogledali še posebej globoko v skrite dele zgodnjega vesolja,« pravi Karim.

Kar je na prvi pogled videti kot divja mešanica različnih struktur neba, so raziskovalci razdelili na posamezne slike, od katerih vsaka prikazuje galaksije na določeni razdalji od Zemlje. S pomočjo posnetkov teleskopa so astronomi pregledali strukturo, oddaljenost in starost galaksij ter jih razvrstili v različne stopnje razvoja.



Slika 1 Evolucijsko zaporedje rasti masivnih eliptičnih galaksij v 13 milijardah let (Slika: NASA / ESA / S. Toft / A. Karim)

Izkazalo se je, da je približno eno do milijardo let in pol po velikem poku dejansko dovolj galaksij, ki so lahko v kozmično kratkem obdobju od ene do dveh

milijard let rodile tako velike količine zvezd, da so se lahko razvile in narasle v masivne in kompaktne galaksije. Astronomi pripisujejo ta "kozmični baby

boom" dejstvu, da je v zgodnji fazi prišlo do trkov med dvema galaksijama, ki sta bili zelo bogati s plinom in prahom.

»Med takšnimi kozmičnimi porokami so idealni pogoji za rojstvo zvezd,« pojasnjuje Karim. Fazi razcveta je očitno hitro sledila stagnacija: »rodnost« v teh zgodnjih galaksijah je močno padla. Toda tudi danes mnoge od teh največjih galaksij še vedno rastejo. "Te velike galaksije, ki so zdaj postale pasivne, vključujejo manjše galaksije in postajajo

vse večje zaradi teh "kozmičnih napadov," pravi Karim.

LITERATURA:

- 1) S. Toft et al.: Submillimeter galaxies as progenitors of compact quiescent galaxies, *Astrophys. J.* 782, 2 (2014); DOI: 10.1088/0004-637X/782/2/68
- 2) Argelander-Institut für Astronomie, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

SONČEV VETER IN NJEGOV VPLIV NA RAZLIČNE POJAVE

pom. akad. dr. Petra Cajnko

Fakulteta za naravoslovje in matematiko, UM

UVOD

Sončev veter je tok nabitih delcev, predvsem elektronov in protonov, ki izvirajo iz najbolj zunanje plasti Sončeve atmosfere, imenovane korona. Gre za neprekinjen tok s hitrostmi nekaj sto kilometrov na sekundo. Sončev veter je posledica visokih temperatur in močnih magnetnih polj v Sončevi koroni, ki omogočajo, da delci premagajo gravitacijsko privlačnost Sonca in se razpršijo v vesolje [10].

Sončev veter ter strukture v njem povzročajo nekatere spektakularne pojave, kot so polarni siji. Po drugi strani lahko močno zmotijo Zemljino okolico ter posledično ogrozijo delovanje nekaterih tehnoloških sistemov na Zemlji in vesolju, morda pa celo vplivajo na meteorološko vreme.

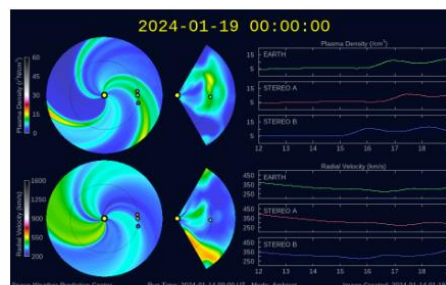
V prispevku predstavimo omenjene izzive, ki jih povzročata Sončev veter ter izpostavimo raziskovalce, ki ga proučujejo. Nazadnje se dotaknemo, kako bi s pomočjo Sončevega vetra prišli do vode na Luni.

VPLIV SONČEVEGA VETRA NA VESOLJSKO OKOLJE IN TEHNOLOGIJO

Sončev veter ima pomemben vpliv na vesoljsko okolje in tehnologijo. Interakcija sončevega vetra z Zemljino magnetosfero lahko povzroči **geomagnetne nevihte**. To so spremembe v Zemljinem magnetnem polju, ki vplivajo na delovanje električnih omrežij ter drugih tehnoloških sistemov. Med geomagnetnimi nevihtami se spremenijo tudi lastnosti **ionosfere**, torej zgornje

plasti Zemljine atmosfere. To lahko privede do kratkotrajnih motenj potovanja z radijskih signalov, še posebej na daljših razdaljah ter do prekinitve signalov s komunikacijskih ter navigacijskih satelitov.

Vesoljska plovila, še posebej tista v visoko zemeljskih tirnicah, so veliko bolj izpostavljena delcem sončevega vetra. Visoko energijski delci v njem lahko povzročijo **radiacijske poškodbe** na elektronskih komponentah satelitov. To lahko privede do okvar ter njihove krajše življenjske dobe. Ti delci povzročajo tudi **površinske poškodbe plovil** ter tako potencialno vplivajo na njihovo delovanje. Ogroženo je lahko tudi zdravje astronautov saj imajo taisti delci podoben vpliv na naša tkiva, kot radioaktivno sevanje. Tudi zato je spremljanje Sončeve aktivnosti med vesoljskimi misijami izjemnega pomena [3].



Slika 1: ENLIL je najbolj uporabljan matematični model, ki se uporablja za napoved lastnosti Sončevega vetra ter medplanetarnega magnetnega polja [2].

To aktivnost nenehno spremljajo znanstveniki in vesoljske agencije, ki hkrati iščejo načine za zaščito tehnologije pred morebitnimi negativnimi vplivi. Razvoj boljših napovednih modelov in tehnologij za zaščito pred sončevim vetrom je ključen za ohranjanje zdravja in delovanja vesoljskih sistemov.

VPLIV SONČEVEGA VETRA NA OZRAČJE TER VREME NA ZEMLJI

Sončev veter vpliva na Zemljino ozračje na več načinov, predvsem zaradi njegove interakcije z magnetosfero, ionosfero in plastmi atmosfere. Sončev veter povzroča svetlobni pojav, ki mu pravimo aurora ali polarni sij.

Ko nabiti delci s sončevega vetra prodrejo v Zemljino atmosfero, trčijo z atomi in molekulami v zgornji plasti atmosfere, kar povzroča svetlobno sevanje.

Ker sončev veter dovaja energijo v atmosfero, se njene zunanje plasti med geomagnetnimi nevihtami lahko nekoliko ogrejejo. Zaradi tega se atmosfera malenkost napihne, kar lahko privede do tega, da se na določeni višini poveča njena gostota. To pa lahko vpliva na tamkajšnje satelite, ki so tako izpostavljeni povečanemu zračnemu uporu.

Čeprav so ti vplivi pogosto majhni in ne predstavljajo neposredne nevarnosti za ljudi na Zemlji, so pomembni za razumevanje Zemljine atmosfere in njenega odziva na Sončevo aktivnost.

SONČEV VETER IN NJEGOV VPLIV NA POČUTJE LJUDI

Čeprav vpliv sončevega vetra na počutje ljudi še ni nedvoumno dokazan, pa obstajajo raziskave, katerih rezultati kažejo da se morda nekateri posamezniki dejansko odzivajo na spremembe v sončevi aktivnosti.

Nekatere raziskave trdijo, da motnje v Zemljinem magnetnem polju vplivajo na določene biološke procese, vključno s spanjem in razpoloženjem. Nekateri posamezniki poročajo o povečanju glavobolov med obdobji geomagnetnih neviht. Čeprav mehanizem ni popolnoma razumljen, so nekateri študije predlagale, da bi lahko magnetna aktivnost vplivala na možganske procese [3, 11].

Četudi se izkaže, da Sončev veter neposredno ne vpliva na posameznikovo počutje, pa lahko to stori posredno zaradi že omenjenega vpliva na tehnološke sisteme. Tako bi lahko bilo ogroženo zdravje ljudi zaradi izpada električne energije ali motenj v komunikacijah [3].

Pomembno poudariti, da gre pri neposrednem vplivu Sončevega vetra na počutje ljudi predvsem za anekdotska pričevanja, da pa so raziskave na to temo še vedno v razvoju, in ni soglasja med znanstveniki o obstoju tega vpliva.

RAZISKAVE SONČEVEGA VETRA

1. EUGENE PARKER IN TEORIJA SONČEVEGA VETRA

Eugene Parker (1927-2022) je bil ameriški astrofizik, ki je igral ključno vlogo pri razumevanju Sončevega vetra. Leta 1958 je Parker objavil teorijo Sončevega vetra, v kateri je opisal razloge za njegov obstoj [4]. Parkerova teorija sončevega vetra temelji na dejstvu, Sončeva korona izjemno vroča zaradi česar so hitrosti delcev v njej dovolj visoke, da lahko delci premagajo Sončevo gravitacijsko silo ter uidejo v medplanetarni prostor [4].

Eugene Parker je s svojo teorijo prispeval k razumevanju sončevega vetra in njegovega vpliva na telesa v Osončju. Leta 2018 je bila izstreljena vesoljska misija, na čast Parkerju imenovana Parker Solar Probe. Gre za prvo misijo, ki se Soncu na trenutke približa tako močno, da se potopi v korono. Njena naloga je pridobiti podatke, ki bodo pomagali razumeti izvor Sončevega vetra in Sončevo aktivnost [4].

Zahvaljujoč Parkerjevi teoriji je bilo v 20. stoletju v vesolje izstreljenih več znanstvenih misij, katerih meritve so pokazale da:

- Sončev veter potuje v smeri od Sonca v medplanetarni prostor s tipičnimi hitrostmi med 200 in 800 kilometri na sekundo. Hitrost sončevega vetra ni konstantna, saj je odvisna njegovega izvora v koroni.
- Sončev veter prenaša s seboj medplanetarno magnetno polje, ki prav tako izvira s Sonca.
- Interakcija sončevega vetra z medzvezdno snovjo ustvari votlino okoli naše zvezde, ki ji pravimo heliosfera. Ta se razteza veliko dlje od Osončja [4].

2. RUSSELL A. HOWARD IN SODELOVANJE V MISIJAH

Russell A. Howard je ameriški astrofizik, specializiran za raziskave sončeve aktivnosti in sončevega vetra. Njegovo delo je pomembno prispevalo k razumevanju dinamike sončeve korone, sončevih izbruhov in njihovega vpliva na medplanetarno okolje. Howard je del ekipe

znanstvenikov, ki sodeluje pri različnih vesoljskih misijah in opazovalnih projektih, namenjenih preučevanju Sonca.

Sodeloval je pri:

- **SOHO (Solar and Heliospheric Observatory):** Projekt SOHO je skupna vesoljska misija vesoljski agencij NASA in ESA. Izstreljena je bila leta 1995, njena naloga pa je namenjena neposrednemu preučevanju Sonca in korone, vključno z opazovanjem sončevih izbruhov in sončevega vetra [2].
- **STEREO (Solar Terrestrial Relations Observatory):** Izstreljena je bila leta 2006. Sestavljata jo dve identični vesoljski plovili (A in B), ki preučujeta Sonce iz različnih zornih kotov. Ko sta sondi relativno blizu ena drugi, njuni posnetki omogočajo tridimenzionalen pogled na sončne izbruhe [2,5].

Howard je bil vključen prav tako v misijo Parker Solar Probe. S svojim prispevkom na področju vesoljskih misij je pomagal razširiti naše znanje o Soncu in njegovem vplivu na vesoljsko okolje. Njegovo delo je pomembno za razvoj tehnologij in metodologij za opazovanje in razumevanje sončeve aktivnosti.

3. BERNHARD FLECK IN MISIJA SOHO

Bernhard Fleck je nemški znanstvenik, ki je imel pomembno vlogo pri vesoljski misiji SOHO. Vodil je znanstveno skupino, ki je koordinirala operacije in znanstvene naloge sonde SOHO. Fleck je bil ključna osebnost pri uspehu misije, ki je še vedno ena izmed najuspešnejših misij za preučevanje Sonca. S svojim delom je prispeval k raziskavam Sončevega vetra ter poglobil naše razumevanje Sončeve aktivnosti in njenih vplivov na medplanetarno okolje. Njegov prispevek je bil ključen za napredek v astrofiziki in vesoljskem vremenu [6].

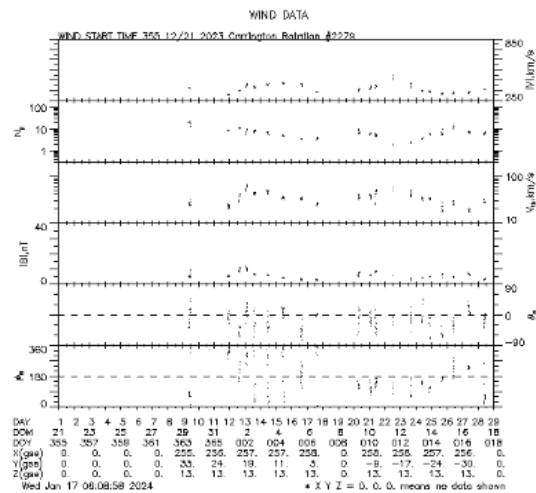
4. EDWARD J. SMITH IN MISIJA ULYSSES

Edward J. Smith je ameriški znanstvenik in inženir, ki je imel pomembno vlogo pri vesoljski misiji Ulysses. Ulysses je bila skupna misija Evropske vesoljske agencije (ESA) in NASA, izstreljena leta 1990, z namenom preučevanja Sončevega vetra in sončevih polov. Misija je bila poimenovana po junaku iz grške mitologije, Odiseju (Ulysses v latinščini) [7].

Ulysses je uporabljal orbitalni manevrski trik, imenovan gravitacijski ples z Jupitrom, ki mu je omogočil, da je z letalom prešel čez Sončev ekvator in nato nad poloma Sonca. Tako je bila misija prva, ki je neposredno preučila Sončevo okolico na tako višjih kot tudi nižjih heliografskih širinah [7].

Edward J. Smith je bil vodja misije Ulysses pri NASA. S svojim vodenjem in prispevkom je bil odgovoren za uspeh misije ter za koordinacijo med NASA in ESA. Misija Ulysses je pridobila ključne podatke o Sončevem vetru in njegovih polih, ki so pomagali razumeti sončev cikel in vpliv Sončevega vetra na medplanetarno okolje [7].

Ulysses je delovala do leta 2009 in medtem je prinesla veliko pomembnih ugotovitev o Sončevem vetru, Sončevem magnetnem polju in vplivu Sonca na medplanetarno okolje [7].



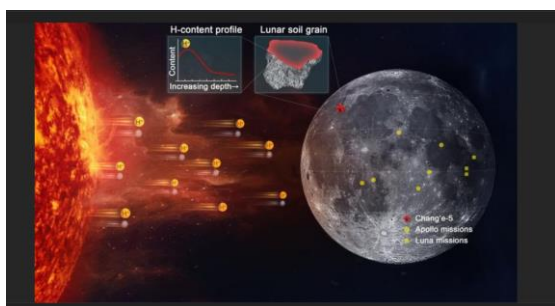
Slika 2: Hitrost ter gostota Sončevega vetra in jakost ter smer medplanetarnega magnetnega polja [2].

S POMOČJO SONČEVEGA VETRA DO VODE NA LUNI

V zadnjih letih so znanstveniki raziskovali možnosti za uporabo sončevega vetra za pridobivanje vode na Luni. Na Luni so bile zaznane sledi vode v obliki ledu, na dnu kraterjev, ki jih nikoli ne obsije Sonce, zaradi česar so tam temperature dovolj nizke za obstoj vodnega ledu [12, 13].

Drugi vir vode na Luni je bil odkrit šele pred kratkim [1, 8]. Na Luninem površju namreč obstaja mnogo majhnih steklenih delcev, imenovanih mikrotektiti. Ko protoni s Sončevega vetra trčijo z mikrotektiti, reagirajo s kisikom v njih, kar privede do nastanka vodnih molekul. Tako znanstveniki ocenjujejo, da se

v mikrotektitih na Luni skriva kar 200 milijard ton vode.



Slika 3: Sončni veter ustvarja vodo na površini Lune [13].

To dejstvo bi lahko prišlo prav bodočim vesoljskim misijam na Luni in morda tudi za nadaljnje raziskovanje vesolja. Vendar pa so takšne tehnologije še vedno v razvoju, in implementacija takšnih postopkov na Luni bi zahtevala nadaljnje raziskave in razvoj tehnologije.

REZULTATI

Raziskave o Sončevem vetru so prinesle številne rezultate, ki so bistveno povečali naše razumevanje tega kompleksnega pojava. V nadaljevanju navajamo nekatere od ključnih rezultatov:

- Odkritja so potrdila, da je Sončev veter tok nabitih delcev, oziroma plazme in da s sabo nosi magnetno polje Sonca.
- Raziskave so pomagale identificirati izvor sončevega vetra v zunanji atmosferi Sonca, imenovani korona. Visoke temperature omogočijo delcem, da uidejo gravitacijskemu privlaku Sonca.
- Študije so pripomogle k boljšemu razumevanju dinamike sončeve korone, vključno s sončevimi izbruhi.
- Raziskave so tudi razkrile kompleksno strukturo sončevega vetra, vključno s hitrostmi delcev, smermi toka in magnetnimi polji. To je pomembno za razumevanje vpliva na medplanetarno okolje.
- Vesoljske misije, kot sta Parker Solar Probe in Solar Orbite, so omogočile neposredno opazovanje in pridobivanje podatkov o Sončevem vetru ter Sončevi koroni.
- Znanje o Sončevem vetru je bistveno za napovedovanje vesoljskega vremena, kar je ključno za varno delovanje satelitov, vesoljskih plovil in komunikacij na Zemlji [3,9].

Ključni rezultati teh raziskav so izboljšali naše znanje o Soncu, sončevem vetru in njegovem vplivu na vesoljsko okolje. Te informacije so ključne za napredovanje vesoljskih raziskav, tehnologije in zaščite infrastrukture na Zemlji pred morebitnimi negativnimi vplivi sončevih pojavov.

ZAKLJUČEK

Sončev veter je posledica visokih temperatur in močnih magnetnih polj v Sončevi koroni, ki omogočajo, da delci premagajo gravitacijsko privlačnost Sonca in uidejo v vesolje.

Raziskovanje Sončevega vetra omogoča boljše razumevanje Sonca, njegove sestave, strukture in aktivnosti. Različne vesoljske misije, kot je Parker Solar Probe, so bile izvedene za neposredno preučevanje Sončevega vetra in Sončeve korone. Sončev veter ima potencial za prihodnje vesoljske misije, saj se razmišlja o uporabi sončeve energije za pogon vesoljskih plovil, kar bi omogočilo potovanje do oddaljenih ciljev v vesolju.

Zaradi svoje raznolike vloge je Sončev veter ključen za razumevanje vesoljskega okolja, vplivov na Zemljo in razvoj tehnologij za vesoljsko raziskovanje.

LITERATURA:

- [1] Izobilje vode na Luni? Sončni blog. <https://soncniblog.com/izobilje-vode-na-luni/>.
- [2] Sončni blog. <https://soncniblog.com/about/>.
- [3] Kajdič, P. (2014). Geomagnetne nevihte lahko povzročijo pravo razdejanje. <https://old.delo.si/znanje/znanost/geomagnetne-nevihte-lahko-povzrocijo-pravo-razdejanje.html>
- [4] Senica, S. (2018) Dotik Sonca: Pripravite se na presenečenja. <https://www.delo.si/novice/znanoteh/dotik-sonca-pripravite-se-na-presenecenja/>
- [5] Russell, A. H. (2006). The SECCHI Experiment on the STEREO Mission. https://www.researchgate.net/publication/260954800_The_SECCHI_Experiment_on_the_STEREO_Mission
- [6] Fleck, B. (2019). Soho project scientist. <https://sci.esa.int/web/soho/-/30394-bernhard-fleck-soho-project-scientist>
- [7] B. Tsurutani, B. in Neugebauer, M. M. (2020). Pioneer in space plasma research and AGU

- Fellow (1992). <https://eos.org/articles/edward-j-smith-1927-2019>
- [8] 24ur.com, (2023). Vodo bi na Luno lahko ponesel tudi Sončev veter. <https://www.24ur.com/novice/znanost-in-tehnologija/vodo-bi-na-luno-lahko-ponesel-tudi-soncev-veter.html>
- [9] Sončni blog, (2023). Zgodbe iz vesolja. <https://soncniblog.com/zgodbe-iz-vesolja/>
- [10] Wikipedia, (2023). https://sl.wikipedia.org/wiki/Son%C4%8Dev_veter
- [11] Tevč, M. (2011). Primerjava uspešnosti različnih metod obravnave gibanj sonca, zemlje in lune v vrtcu. https://www.google.com/search?q=Raziskave+so+pokazale%2C+da+lahko+magnetna+aktivnost%2C+povezana+s+son%C4%8Devim+vetrom%2C+vpliva+na+dolo%C4%8Dene+biolo%C5%A1ke+procese&gs_lcrp=EgZiaHJvbWUyBggAEEUYODlBCDkyMGowajE1qAIAAsAIA&sourceid=chrome&ie=UTF-8
- [12] Lanese, N. (2019). How to Make Moon Water: Add Solar Wind, Tiny Meteorites, and Then Heat. <https://www.space.com/making-moon-water-in-the-lab.html>
- [13] Universe today, (2023). The Solar Wind is Creating Water on the Surface of the Moon. https://www.universetoday.com/159420/the-solar-wind-is-creating-water-on-the-surface-of-the-moon/#google_vignette

NOVI UČBENIK »ASTRONOMIJA ZA GIMNAZIJE«

pom. akad. dr. Renato Lukač
Gimnazija Murska Sobota

ASTRONOMIJA V SLOVENSKEM ŠOLSTVU

Človeštvo se je že od nekdaj zanimalo za gibanje nebesnih objektov in za pojave povezane z njimi. Astronomija se pogosto smatra kot ena najstarejših znanstvenih ved. Skozi zgodovino se je razvila v vedo, ki preko interdisciplinarnih raziskav narekuje razvoj naj sodobnejših tehnologij. Mladina je zainteresirana za astronomske pojave, zato je izbirni predmet astronomija v osnovnih šolah zelo priljubljen. V srednjih šolah je stanje drugačno, saj samo gimnazijski program omogoča ta izbirni predmet, pa še ta se zelo redko izvaja zaradi usmerjenosti učnih aktivnosti v maturo in (do zdaj) nerazpoložljivosti primerne učbenika.

Strokovni svet RS za splošno izobraževanje je 11. 2. 1999 potrdil učni načrt za enoletne izbirne predmete v osnovnih šolah:

- Astronomija Sonce, Luna in Zemlja (35 ur),
- Astronomija Daljnogledi in planeti (35 ur),
- Astronomija Zvezde in vesolje (35 ur).

Pedagogom na osnovnih šolah so na razpolago učbeniki in ostala strokovna literatura ter vse bolj priljubljena elektronska gradiva. Izvedba teh predmetov je odvisna predvsem od kadrovskih pogojev in vodstva določene osnovne šole, če sploh ponudi učencem možnost izbire tega predmeta. V naši pokrajini se ta izbirni predmet dokaj pogosto

izvaja na določenih osnovnih šolah, kar se odraža v uspehih njihovih učencev na tekmovanjih v znanju astronomije.

Strokovni svet RS za splošno izobraževanje je 2. 2. 2012 potrdil še učni načrt Astronomija, izbirni predmet (70 ur) za splošno in strokovno gimnazijo. Na žalost je na gimnazijah stanje bistveno slabše kot na osnovnih šolah. Izvedba tega predmeta je prava redkost, saj so gimnazije osredotočene na pripravo na maturo in uspešen zaključek šolanja, ki potem dijakom odpira vrata na fakultete. Povrh je do nedavnega manjkal sodoben učbenik, na katerega bi se lahko opirali pri izvedbi predmeta. Mnogi uspehi dijakov v tekmovanjih v znanju astronomije, ki segajo vse do izjemnih dosežkov na mednarodnih olimpijadah iz astronomije in astrofizike pa kažejo, da mladi tudi v prehodu v srednje šole ohranijo interes za astronomijo in da nekateri svoje znanje nagradijo na vrhunsko raven.

Kljub temu, da mladina uporablja vse več digitalnih gradiv, je učbenik še vedno temeljno podporno gradivo za izobraževanje in spodbuja zanimanje za to področje. Kot omenjeno, se je izbirni predmet astronomija izvajal bolj izjemoma, zato so dijaki prišli v stik z astronomijo predvsem pri pouku fizike

in pri pripravah na tekmovanje v znanju astronomije. Do zdaj je bila uvodna priprava študiranje osnovnošolskih učbenikov in Male astronomije, za bolj poglobljeno znanje pa smo se posluževali starega učbenika Astronomija in spletnih gradiv. Nenehno se je izkazovala potreba po posodobitvi obstoječe literature ali nekaj novem.

NOVI UČBENIK

Jeseni 2023 smo se razveselili sodobnega učbenika ASTRONOMIJA za gimnazije. Avtor učbenika je Rasto Snoj, izdala in založila ga je Zveza za tehnično kulturo Slovenije v nakladi 1000 izvodov. Obsega 224 strani. Vsebina je usklajena z aktualnim potrjenim učnim načrtom za izbirni predmet astronomija v gimnazijah.



Slika 1: Novi učbenik Astronomija za gimnazije

Deli se v enajst poglavij:

1. Astronomija – stara znanost,
2. Nebesna kroglja,
3. Magnituda,

4. Zakoni sevanja,
5. Opazovanje skozi atmosfero,
6. Razdalje v astronomiji,
7. Osnove nebesne mehanike,
8. Astronavtika – vesoljski poleti,
9. Sončev sistem in globoko vesolje,
10. Teleskopi,
11. Osnove astrofizike.

Učbenik je pregleden, kakovosten in sodoben. Obravnava tudi najnovejša odkritja. Opremljen je z mnogimi barvnimi fotografijami in kvalitetnimi risbami. Pohvalna je popestritev o pomembnih osebnostih za določeno področje - dodan je kratek zapis o osebi in fotografija. Novi pojmi so dobro vpeljani, fizikalne količine pred prvo uporabo natančno definirane, pomembna dejstva izpostavljena z odebeljeno pisavo. Učbenik bogatijo razumljive matematične izpeljave.

Posebna dodana vrednost učbenika so rešene naloge, s katerimi je možno preveriti pravilnost razumevanja podane snovi. Nalog bodo še posebej veseli dijaki, ki se bodo pripravljali na tekmovanje v znanju astronomije. Njim omogoča učbenik kvalitetno usvajanje znanj in odlično pripravo, katero lahko zaokrožijo z reševanjem nalog s portala DMFA, kjer imajo na voljo naloge in rešitve z minulih tekmovanj. Obsežen seznam virov in literature je odlično izhodišče za vse, ki bodo želeli izvedeti več kot je v učbeniku.

ZAKLJUČEK

V zaključku želimo poudariti, da smo navdušeni nad novim učbenikom, ki je usklajen z učnim načrtom izbirnega predmeta. Prepričani smo, da bo ta sodoben učbenik vnesel svežino v gimnazijske izobraževalne aktivnosti in slovenski astronomiji dal nov opazen zagon.

LITERATURA

- Marijan Prosen, Mala astronomija, MATH, d. o. o., 1991
- France Avsec in Marijan Prosen, Astronomija, DMFA-založništvo, 2006 (5. natis)
- Rasto Snoj, ASTRONOMIJA za gimnazije, Osnove astronomije z rešenimi nalogami, ZOTKS, 2023

TEKMOVANJE OSNOVNOŠOLCEV V ZNANJU ASTRONOMIJE

Bojan Jandrašič
Osnovna šola Turnišče

O TEKMOVANJU

Začetki tekmovanj iz znanja astronomije segajo v leto 2009, ko so v okviru praznovanja Mednarodnega leta astronomije v Društvu matematikov, fizikov in astronomov podprli idejo o uvedbi novega tekmovanja. Tekmovanje se je med učitelji in učenci zelo dobro uveljavilo, se nadgrajevalo s sodelovanjem na mednarodnih tekmovanjih in prineslo tudi izvrstne rezultate na astronomskih olimpijadah. S tem je pridobljen status selekcijskega tekmovanja s področja znanstvene discipline povezane z učnimi načrti. V osnovni šoli je tekmovanje dvostopenjsko (šolsko, državno), v srednji šoli pa si najboljši lahko prislužijo še sodelovanje na mednarodnih tekmovanjih. Izpeljanih je bilo 15 tekmovanj, ki so se organizacijsko tudi dvakrat preoblikovala. Tri leta so 7., 8. in 9. razredi tekmovali v isti kategoriji, četrto leto pa smo dobili posamezne kategorije po razredih. S šolskim letom 2021/2022 je prišlo do novih sprememb: tekmovanje osnovnošolcev za Dominkova priznanja je sedaj namenjeno le 8. in 9. razredom OŠ, 6. in 7. razredi pa tekmujejo v interesni kategoriji Utrinek.

VSEBINSKI PROGRAM

Učenci morajo poznati:

- osnove orientacije na Zemlji (smeri neba, zemljepisna širina in dolžina, vrtenje Zemlje in čas, koledar in letni časi);
- osnove orientacije po nebu in glavne točke ter kroge na nebesni krogli (nebesni poli, zenit in nadir, višina nebesnih teles, višina polov v danem opazovališču, nebesni ekvator, ekliptika, nebesni meridijan);
- dinamiko neba (kulminacija, vzid in zaid nebesnih teles)
- rabo vrtljive zvezdne karte - razbrati videz neba v določenem trenutku, odčitavanje vzhodov in zahodov nebesnih teles, kulminacija nebesnih teles, položaj Sonca in ozvezdij;
- osnovne pojme splošne astronomije (položaji planetov v prostoru – zgornja in spodnja konjunkcija, opozicija, elongacija);
- različna vesoljska telesa (planeti, kometi, asteroidi, lune, zvezde, zvezdne kopice, meglice, različni tipi galaksij);
- osnovne pojme astrofizike (zgradba planetov, Sonca, barva zvezd in njihova temperatura);

- osnovno zgradbo optičnih teleskopov (refraktor, reflektor).

Pri računskih nalogah je potrebno poznati:

- osnove geometrije (podobni trikotniki, Pitagorov izrek, obseg in ploščina kroga);
- osnovne enačbe za enakomerno gibanje (pot, čas, definicija hitrosti);
- pretvarjanje osnovnih in sestavljenih fizikalnih enot za pot, čas in hitrost.



V pripravi na tekmovanje so zelo pomembna večerna opazovanja neba. (Foto: B. Jandrašič)

15. DRŽAVNO TEKMOVANJE IZ ASTRONOMIJE

Tekmovanje je potekalo 13. 1. 2024 na Gimnaziji Murska Sobota, razen tega pa še na štirih lokacijah po državi. V Murski Soboti je tekmovalo 79 mladih astronomov, spremljalo pa jih je 32 mentorjev. Učenci osnovnih šol so tekmovali v štirih skupinah (6., 7., 8. in 9. razred), dijaki pa dveh skupinah (1. in 2. letniki ter 3. in 4. letniki). Čas za reševanje je bil 120 minut.

Pomurski osnovnošolci so se ponovno izkazali z zlatimi priznanji, v kategoriji srednjih šol je enemu dijaku zlato priznanje ušlo za las. Prejemnika zlatih Dominkovih priznanj sta **Eva Lapoša** iz OŠ Turnišče (2. mesto v 8. razredu) in **Aleksej Lutar** iz OŠ Beltinci (5. mesto v 9. razredu). **Tijana Lovenjak** iz OŠ Puconci (9. mesto v 7. razredu) je prejemnica zlatega priznanja v znanju astronomije Utrinek.

USPEŠNOST POMURSKIH TEKMOVALCEV

Ker osnovnošolci nimajo možnosti sodelovanja na mednarodnih tekmovanjih, je najvišja stopnja zlato priznanje na državnem tekmovanju. Pomurski osnovnošolci so na 15 izvedbah tekmovanja osvojili 41 zlatih priznanj: po 11 OŠ Turnišče in OŠ Gornja Radgona, 8 OŠ Beltinci, po 3 OŠ II MS in OŠ III MS, 2

OŠ Gornji Petrovci in po 1 OŠ Puconci, OŠ Veržej in OŠ Fokovci.

Po tri zlata priznanja na državnih tekmovanjih so osvojili: **Tanja Holc** in **Marcel Maier** iz OŠ Gornja Radgona, **Jakob Ritlop** iz OŠ Turnišče in **Aleksej Lutar** iz OŠ Beltinci.

Zmagovalca v svojih kategorijah sta bila **Darko Kolar** iz OŠ Turnišče (2011) in **Aleksej Lutar** (2022).

Darko Kolar je osvojil 4 zlata priznanja tudi kot dijak Gimnazije Murska Sobota, bil je član olimpijske ekipe in udeleženec astronomske olimpijade leta 2015 v Indoneziji.



Ekipe OŠ Turnišče pred začetkom tekmovanja, v prvi vrsti od leve proti desni: Luka Hozjan, Eva Lapoša, Anja Hozjan. (Foto: B. Jandrašič)

Tabela 1: Najboljši rezultati pomurskih šolarjev na dosedanjih državnih tekmovanjih iz astronomije:

	Uvrst.	Tekmovalec/ka	Razred	Šola
2023/24	2.	Eva Lapoša	8.	OŠ Turnišče
	5.	Aleksej Lutar	9.	OŠ Beltinci
2022/23	2.	Matic Novak	9.	OŠ G. Petrovci
	3.	Aleksej Lutar	8.	OŠ Beltinci
2021/22	1.	Aleksej Lutar	7.	OŠ Beltinci
	2.	Luka Hozjan	7.	OŠ Turnišče
	4.	Jakob Ritlop	9.	OŠ Turnišče
2019/20	3.	Maj Pintarič	9.	OŠ Turnišče
	5.	Jakob Ritlop	7.	OŠ Turnišče
	5.	Ješe Salnajs	7.	OŠ II MS
2017/18	5.	Marcel Maier	7.	OŠ G. Radgona
2014/15	2.	Miša Zemljič	9.	OŠ G. Radgona
2012/13	5.	Tanja Holc	7.	OŠ G. Radgona
2010/11	1.	Darko Kolar	9.	OŠ Turnišče

LITERATURA

Komisija za tekmovanje v znanju astronomije, DMFA:

<https://www.dmfa.si/Tekmovanja/AsOS/OpisTekmovanj.aspx>

<https://www.dmfa.si/Tekmovanja/AsOS/ArhivDosezkov.aspx>

UTRINKI Z MLADINSKEGA ASTRONOMSKEGA TABORA KMICA 2023

dr. Rok Vogrinčič in Ana Mištrafovič
Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

Od ponedeljka, 26. junija, do petka, 30. junija, je na Osnovni šoli Gornji Petrovci potekal tradicionalni Mladinski astronomski tabor Kmica, ki ga je izvedlo Astronomsko društvo Kmica iz Murske Sobote, v sodelovanju z Zvezo za tehnično kulturo Slovenije. Tabora se je letos udeležilo kar 40 otrok iz vseh koncev Slovenije, od teh je bila večina osmošolcev in devetošolcev. Gre za drugi največji tabor v zgodovini mladinskih taborov Kmica. Za udeležence je skrbelo devet mentorjev, ki so udeležence glede na njihovo predznanje in zanimanje razdelili v štiri tematske skupine: Osnove astronomije, ki jo je vodila Ana Mištrafovič, Astrofotografija, ki jo je vodil Jurij Šumak, Astrofizika, ki jo je vodil Darko Kolar in Radijska astronomija, ki jo je vodil Rok Vogrinčič.



Slika 1: Predavanje Darka Kolarja z naslovom Kemično označevanje.



Slika 2: Udeleženci sestavljajo anteno za opazovanje bliščev na Soncu.

Tabor je skupaj z mentorji otvoril ravnatelj šole, g. Johann Laco. Že prvi večer je poljudno-znanstveno predavanje na temo kemičnega označevanja zvezd, pripravil mentor Darko Kolar. V predavanju smo spoznali, kako lahko iz vsebnosti kemijskih elementov v različnih zvezdah, izvemo iz katere meglice so te zvezde nastale. Po predavanju smo skupaj z udeleženci sestavili tri različne teleskope in jih pripravili na prvo nočno opazovanje. Naredili smo sprehod po nebu in spoznali poletna ozvezdja

ter mite in legende o njihovem nastanku in poimenovanju.



Slika 3: Večerno nebo nad Gornjimi Petrovci.

Naše navdušenje nad jasnim, nočnim nebom pa so zjutraj prekinile močne nevihte. Po kratkem spancu smo si z obilnim kosilom nabrali moči in začeli s prvimi delavnicami. Skupina Osnove astronomije je spoznala zanimive naravne pojave na Zemlji, Luni in Soncu. Skupina Astrofotografija je spoznala osnove fotografskih tehnik, delovanja kamer in potek fotografiranja astronomskih objektov. Pri Astrofiziki so obdelali osnove programiranja v jeziku Python. Skupina Radijska astronomija pa je sestavila zankasto anteno za merjenje bliščev na Soncu. Po večerji smo prisluhnili predavanju Jurija Šumaka na temo Zemlji nevarnih asteroidov ter kako se pred njimi obraniti. Zaradi slabega vremena smo dan zaključili z zdaj že tradicionalno igro Astroctivity, pri kateri so skupine pokazale svoje astronomsko znanje in povezanost.

Naslednji dan so nas prebudili sončni žarki in nam dali upanje, da bomo zvečer opazovali prekrasno

Goričko nočno nebo. Na delavnicah so udeleženci skupine Osnove astronomije spoznali planete našega Osončja ter življenje zvezd. Pri astrofotografiji so se udeleženci naučili obdelave astronomskih slik, pridobljenih s teleskopskimi opazovanji. Skupina astrofizike je spoznala Planckov zakon ter naredila simulacijo kroženja Zemlje okoli Sonca. Skupina Radijska astronomija je na bližnjem travniku postavila anteno Radio JOVE za opazovanje Jupitra in Sonca. Po delavnicah je potekalo javno predavanje na temo temne snovi, ki ga je pripravil mentor Mario Pezer. Ob začetku noči so se na nebu še zadrževali oblaki, a ti so se k sreči okoli polnoči razkropili, zato smo se vsi skupaj odpravili na bližnji travnik ter opazovali do zgodnjih jutranjih ur. Noč smo zaključili presrečni in polni novega znanja.



Slika 4: Opazovanje Sonca na bližnjem travniku.

V četrtek smo delavnice začeli že pred kosilom, na bližnji travnik smo odšli opazovat Sonce. Za opazovanje smo uporabili očala iz posebne Mylar folije, s teleskopom pa smo naredili projekcijo Sonca na papir. Sonce smo si s posebnim teleskopom Coronado ogledali tudi v H-alfa svetlobi, z njim pa smo uspeli videti Sončeve pertuberance. Po kosilu smo se z avtobusom odpravili na ekskurzijo. V Strehovcih smo si ogledali model našega osončja,

udeleženci iz skupine Osnove astronomije pa so za nas pripravili kratke predstavitve delov našega osončja. Potem smo obiskali podjetje Roto v Puconcih, kjer je mentor Rok Vogrinčič predstavil radijski teleskop, ki bo kmalu postavljen na Goričkem. Nato smo se preizkusili v veslanju z Rotojevimi kajaki v tamkajšnjem vadbenem bazenu in si ogledali predstavitev helikopterja, ki ga hranijo v hangarju. Ekskurzijo smo popestrili z bowlingom in pico, potem pa še s filmsko dogodivščino Indiana Jones. V šolo smo se vrnili v poznih večernih urah. Kljub napornemu dnevu pa smo imeli še vedno dovolj energije, zato smo se okoli polnoči odpravili opazovat zvezde.



Slika 5: Udeleženci tabora na ogledu modela Osončja v Strehovcih.



Slika 6: Veslanje s kajaki v podjetju Roto.

Zadnji dan je bil precej pester, a tudi stresen. Udeleženci so, kolikor se je dalo hitro, pripravili predstavitev svojega dela pridobljenega na taboru ter izdelali vodne rakete za zadnjo bitko skupin. Udeleženci so se namreč tekom tabora pomerili v različnih športnih disciplinah, kot so zajemanje deževnice, sprehod po Osončju, kamen-škarje-papir in drugo. Teden je hitro minil in sledil je samo še zaključek, ki so se ga udeležili tudi starši

udeležencev. Nagovoril nas je predsednik Astronomskega društva Kmica, dr. Mitja Slavinec, ki je vsem udeležencem in mentorjem podelil Kmicina priznanja za sodelovanje. Temu je sledilo slavnostno predavanje o vetru s Sonca, ki ga je na daljavo, iz daljnje Mehike, pripravil dolgoletni član Astronomskega društva Kmica, dr. Primož Kajdič. Po predavanju so udeleženci s kratkimi nastopi predstavili svoje delo na taboru, temu pa je sledilo še tekmovanje v spuščanju vodnih raket. Tabor smo zaključili z manjšo pogostitvijo, najbolj vztrajni pa smo se družili vse do zgodnjih jutranjih ur.

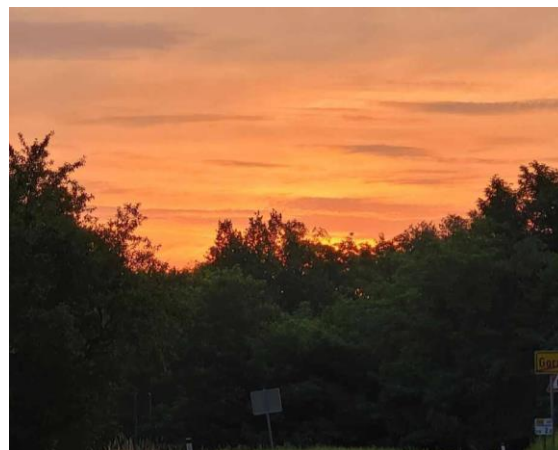


Slika 7: Udeleženci predstavljajo zanimivosti našega Osončja.

Mladinski astronomski tabor Kmica 2023 je bil po mnenju udeležencev zelo uspešen. Udeleženci so odnesli veliko novega znanja in uporabnih veščin, ki jim bodo zagotovo koristile v življenju. Najbolj pomembno pa je, da so našli nove prijatelje, s katerimi se bodo lahko spet srečali na naslednjem Kmicinem taboru.



Slika 8: Tekmovanje – nabiranje deževnice.



Slika 9: Sončni vzhod.



Slika 10: Udeleženci tabora.

SONČNI MRKI IN OPAZOVANE MRKA LETA 2024

*pom. akad. dr. Mitja Slavinec, pom. akad. dr. Petra Cajnko in pom. akad. dr. Eva Klemenčič
Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Univerza v Mariboru*

UVOD

Sončni mrk je najbolj spektakularen pojav, ki nam ga vesolje lahko pričara na nebu. Mnogi se še spomnimo popolnega sončnega mrka, ki smo ga v Prekmurju in na Madžarskem opazovali 11. avgusta 1999. Po tisti izkušnji sem vsem priporočal, naj izkoristijo vsako priložnost, ki se jim morda ponudi in gredo na lokacijo popolnega sončnega mrka. Nekaj kolegov iz AD Kmica smo se leta 2006 res odpravili v Turčijo in si 29. marca ogledali popolni sočni mrk.

Leta 2024 bo v delu Mehike, Amerike in Kanade viden popolni sončni mrk. Glede na to, da je v Mehiki naš **pom. akad. dr. Primož Kajdič**, ki nas že nekaj časa vabi na ogled, je priložnost več kot idealna. Primož po toliko letih ukvarjanja z astronomijo v Mehiki, ve bolje od domačinov ali kakršne koli turistične agencije priporočiti, kje in kako gledati mrk. Izbral je lokacijo **Mazatlán**, ki je najbolj obetavna, tako glede vremena, kot dolžine trajanja in drugih pomembnih okoliščin.

FIZIKALNO OZADJE MRKOV

Sončni mrk je nebesni pojav, ko je Luna med Zemljo in Soncem in na Zemlji lahko opazujemo Lunino senco. Luna ima približno 400 krat manjši premer od Sonca in je tudi približno 400 krat bližje Zemlji od Sonca, tako da oba vidimo pod približno enakim zornim kotom, to je 0,5 kotne stopinje. To je ugodno naključje, da je Luna dovolj velika in dovolj blizu Zemlje, da v določenih okoliščinah lahko na nekaterih mestih na Zemlji popolnoma zakrije Sonce. Če bi Luna bila malo manjša, Sonca več ne bi zakrila v celoti in opazovali bi lahko le kolobarjaste mrke. Prav tako Sonca ne bi v celoti zakrila, če bi bila nekoliko bolj oddaljena od Zemlje. Ker del energije, ki jo Luna ima zaradi gibanja okrog Zemlje, prenaša na Zemljo v obliki plimovanja, se počasi oddaljuje od Zemlje (vsako leto za približno 4 cm). To pomeni, da so mrki v povprečju zmeraj krajši, dokler čez čas ne bo Luna tako daleč od Zemlje, da popolnih mrkov na

Zemlji ne bo več, o čemer smo v Astronomih v Kmici že pisali.

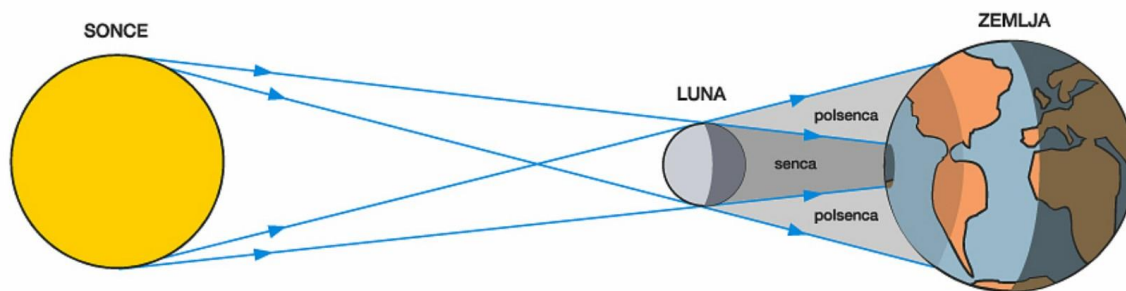
Na tem mestu omenimo tudi obraten pojav, to je Lunin mrk, ko Zemlja zakrije Luno, ki pa ni tako spektakularen in zanimiv za opazovanje. Sončni in Lunin mrk si sledita v razmiku pol Lunine periode tj. pol meseca. Je pa na Zemlji pogosteje viden, saj je Zemlja veliko večja od Lune in je njena senca veliko večja in z veliko večjega območja na Zemlji lahko opazujemo zakrito Luno. Za pogostost mrkov neugodna okoliščina pa je, da Luna ne kroži okrog Zemlje v isti ravnini kot Zemlja okrog Sonca, ampak je Luna večino časa "nad" ali "pod" Soncem. Zaradi tega le redko pride do take postavitve teh treh nebesnih teles, da je Luna res vmes med Soncem in Zemljo. Ker ob mrku gledamo Lunino neosvetljeno stran, Sončni mrk vedno nastopi ob tistem mlaju, ko je Luna dovolj blizu ravnine Zemljinega tira okoli Sonca. Če pa bi se Luna in Zemlja okrog Sonca gibali v isti ravnini, bi mrke lahko opazovali vsak mesec. Po vsej Zemlji sta običajno dva Lunina in dva Sončna mrka na leto. Sončni mrki se na nekem kraju ponavljajo v povprečju vsake 3-4 stoletja.

TIP IN DOLŽINA MRKOV

Luna se okoli Zemlje giblje po elipsi, ki ima izsrednost 0,05 oz. numerično ekscentričnost $\epsilon = 0,95$:

$$\epsilon = \frac{e}{a} = \frac{384000 \text{ km}}{406000 \text{ km}} = 0,95,$$

kjer je e povprečna oddaljenost in a največja oddaljenost Lune od Zemlje. Elipsa, po kateri se Zemlja giblje okrog Sonca, je veliko manj sploščena, njena izsrednost je le 0,017. Na to kakšen mrk se bo pojavil in kako dolgo bo trajal vpliva, kje na svoji tirnici je Luna. Če je blizu Zemlje, je njena senca velika in bo mrk trajal dlje časa, tudi več kot sedem minut. Če pa je Luna v oddaljeni legi (apogeju) pa Sonca niti ne bo zakrila v celoti in nastal bo tki. kolobarjasti mrk.



Slika 1: Medsebojna lega Sonca, Lune in Zemlje med mrkom. Kjer je senca, je viden popolni mrk, na področjih polumesce pa delni mrk.

Od oddaljenosti Lune od Zemlje je torej odvisno, kakšen mrk bo nastal in kako dolgo ga bomo lahko opazovali. V najbolj idealnih razmerah nastane **popolni mrk** z največjo senco, ki zato na nekem mestu tudi najdalj traja.

Delni Sončni mrk nastane, če je medsebojna lega Sonca Lune in Zemlje taka, da senca ne pade na Zemljo, na Zemljo pa pade polumesca. Delni mrk pa lahko opazujemo tudi ob vsakem popolnem mrku. Ta je viden pred ali po popolnem mrku ali v krajih izven popolne sence. Dlje kot smo od popolne sence, manjši del Sonca je pokrit, kot je razvidno tudi iz slike 5.

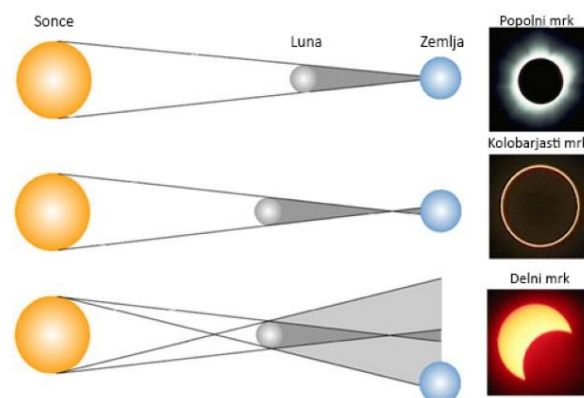
Omenili pa smo že tudi **kolobarjast mrk**, ki pa nastane, če je Luna preveč oddaljena od Zemlje, da bi njena ploskev v celoti zakrila Sonce.

Včasih lahko nastopi tudi **hibridni mrk**, ki je mešanica kolobarjastega in popolnega mrka, odvisno kje na Zemlji ga opazujemo.

OPAZOVANE MRKOV

Sončni mrk lahko opazujemo s prostim očesom le v fazi popolnega zakritja. Moramo pa tudi pri tem biti zelo pazljivi, saj je zaradi mraka ob mrku zenica v očesih odprta, ko pa Sonce prvič posije izza Lune, kar imenujemo tudi **Bailyjevi biseri**, pa bi ta neposredna Sončna svetloba lahko poškodovala oči. Pred in po popolnem pokritju, moramo mrk obvezno opazovati z zaščitnimi očali z Mylar folijo. Nikoli Sonca ne glejte z daljnogledi, ker vam bo v oči usmerilo toliko svetlobe, da vam jih bo trajno poškodovalo! Izjema so daljnogledi, ki so prelepljeni z Mylar folijo, vendar je tudi to početje lahko nevarno, če se npr. folija poškoduje ali odlepi. Zato se priporoča veliko bolj varen način opazovanja s projekcijo. V karton izvrtajte majhno luknjico, sliko

Sonca pa projicirajte na nekaj decimetrov oddaljen bel papir. Luknjic lahko naredite več, in dobite napis, sestavljen iz delnih »sonc«, kot npr. na sliki 2.



Slika 2: Medsebojne lege Sonca, Lune in Zemlje pri različnih tipih sončnih mrkov.



Slika 3: Napis »KMICA«, posnet v Turčiji leta 2006 v fazi delnega mrka, ko Luna še ni popolnoma zakrila Sonca.

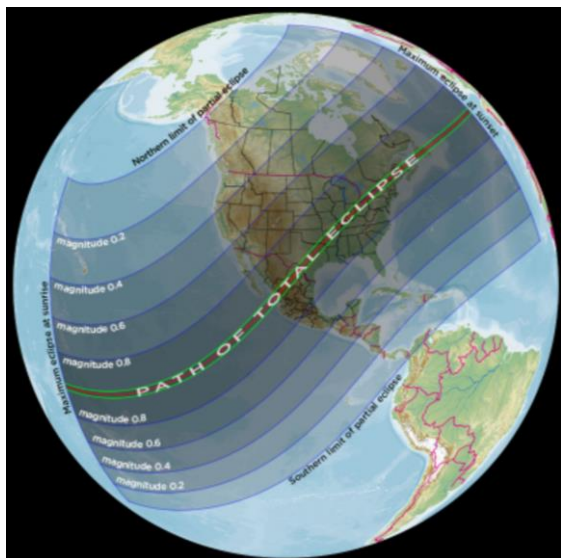
Zanimivo je tudi dogajanje v okolici, še posebej med popolno fazo. Ptice in kokoši mislijo, da prihaja noč, in se odpravljajo spat. Ker senca potuje zelo hitro, približno s hitrostjo približno 1 km/s, lahko po tleh

vidimo hitro se premikajoče temne in svetle pasove, kar so sence neravnin na robu Lune. Ker se zaradi odsotnosti sonca tudi ohladi ozračje, to lahko povzroči lokalni veter. Baylijeve bisere na robu Lune smo že omenili, zelo znamenita pa ja korona, ki jo lahko s prostim očesom opazujemo v fazi popolnega pokritja. **Korona** so vroči plini, ki segajo več premerov stran od Sonca, zato jih Luna ne zakrije. Sipana svetloba še vedno prihaja iz predelov, kjer mrk ni popoln, zato ne nastopi popolna tema, vseeno pa se dovolj stemni, da na nebu lahko opazimo najsvetlejš zvezde.

SONČNI MRK 8. APRILA 2024

Popolni sončni mrk bo v ponedeljek, 8. aprila 2024. Senca bo imela premer okrog 200 kilometrov in bo potovala od Pacifika do Atlantika, preko Mehike, ZDA (od Teksasa do Maina) in v Kanadi, kot je razvidno na sliki 4. Kot zanimivost povejmo, da je to prvi mrk, viden kjer koli v Kanadi po tistem daljnega 1979 in prvi v Mehiki po letu 1991. Celotna pot sence bo skoraj 15.000 km.

Ker bo mrk le en dan po perigeju, bo Lunin navidezni premer za 5,5 % večji od povprečja, zato bo mrk med daljšimi (skoraj dvakrat daljši od kot je bil leta 1999 pri nas), saj bo na sredini sence najdlje trajal štiri minute in pol (v Mehiki blizu mesta Torreón). Za opazovanje se priporočajo lokacije na sredini sence, da ga bo mogoče opazovati čim dalj.



Slika 4: Pot sončnega mrka 8. aprila 2024.

Mrk bo delno viden tudi v Evropi, na Svalbardu (Norveška), Islandiji, Irski, zahodnih delih Velike Britanije, severozahodnih delih Španije in Portugalske, Azorih in Kanarskih otokih.

Aprila je vreme v krajih, kjer bo mrk, praviloma spremenljivo, zato je pri izbiri lokacije za opazovanje toliko bolj pomembno raziskati tudi vremenske obete. Mehika je glede tega najugodnejša in je satelitsko izmerjena oblačnost v povprečju med 25%, na meji s Teksasom pa se že dvigne nad 50 odstotkov. Primož nam je sporočil, da je temu namenil posebno pozornost in izbral kraj z največ sončnimi dnevi.



Slika 5: Pot popolnega sončnega mrka in magnitudo delnega mrka.

ZAKLJUČEK

Mrki so zelo redki in vidni na majhnem območju, zato je vredno izkoristiti vsako priložnost za opazovanje. Vsi, ki smo jih že videli, to toliko bolj vemo. Pri tem izbiramo lokacije, ki so blizu ali sicer dostopne in kjer je verjetnost za sončno vreme velika. Mehika nam geografsko ni blizu, je pa članom AD Kmica blizu zaradi tega, ker je tam naš član Primož Kajdič, ki bo poskrbel za vse in še več, kar je treba pri opazovanju sončnega mrka.

Nekaj nas je že namenjenih na opazovanje, če se pa še kdo odloči, pa naj čim prej prične s pripravami in kontaktira Primoža.

LITERATURA

N. Štritof, Mrk 11. 8. 1999, Astronomi v Kmici prvič
 T. Zwitter, Ko mine mrk, Astronomi v Kmici drugič
 I. Vidav, Matematika 1,
https://bostjankop.si/wp-content/uploads/vrste_mrkov1.jpg
https://sl.wikipedia.org/wiki/Son%C4%8Dev_mr

Urednik:

pom. akad. dr. Mitja Slavinec

Strokovni pregled:

Pom. akad. dr. Primož Kajdič

pom. akad. dr. Milan Svetec

pom. akad. dr. Mitja Slavinec

dr. Rok Vogrinčič

Oblikovanje in prelom:

pom. akad. dr. Mitja Slavinec

pom. akad. dr. Petra Cajnko

Tisk:

AIP Praprotnik

Naklada:

250 izvodov

Založnik:

AD Kmica, Murska Sobota, 2023

zanj: pom. akad. dr. Mitja Slavinec

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Univerzitetna knjižnica Maribor

520/524:379.825-053.6(497.4-18)(082)

ASTRONOMI v Kmici : šestindvajsetič / [urednik Mitja Slavinec]. - Murska Sobota : AD Kmica, 2023

ISBN 978-961-95235-3-7 (AD Kmica)

COBISS.SI-ID 181137667