



Astronomija, nov gimnazijski predmet

Rasto Snoj

Elektrotehniško-računalniška strokovna šola
in gimnazija Ljubljana (Vegova)

Povzetek

Pouk izbirnega predmeta astronomija na Tehniški gimnaziji na Vegovi v Ljubljani poteka letos že s peto generacijo gimnazijskih tretješolcev v obsegu 70 šolskih ur na letni ravni. »Uvodni« elementi astronomije so prisotni že v drugem letniku v obliki nekaterih astronomskih dejavnosti na naravoslovnem taboru. V članku, ki je nastal na osnovi mojega prispevka za slovensko astronomsko revijo *Spika* (januar 2015), opisujem nekaj značilnosti pouka astronomije, kot tudi praktičnih izkušenj poučevanja novega predmeta. Naloge na koncu naj služijo le kot primer težjih računskih nalog, ki tudi spremljajo pouk. Opisan je še primer eksperimentalne aktivnosti dijakov med nočnimi opazovanji. Pričujoče fotografije pa večinoma niso neposredno povezane s poukom, so pa lep primer, kaj z nekaj dodatnega dela še lahko naredimo na zanimivem področju astronomske fotografije z opremo, ki ni v ničemer boljša od tiste, ki bi jo lahko priporočili kot del obvezne opreme za izvedbo praktičnega dela pouka.

Ključne besede: astronomija v gimnaziji, nočno opazovanje neba

Astronomy, New Subject in General Secondary School

Abstract

The elective subject in Astronomy at the Vegova Technical Secondary School in Ljubljana is now being taught to the fifth generation of secondary school students in the extent of 70 periods per year. 'Introductory' elements of astronomy are already present in their second year as a part of certain astronomical activities at the science camp. The article, which is based on my paper published in the Slovenian astronomy magazine *Spika*, describes some of the features of teaching Astronomy, as well as the practical experience in teaching the new subject. Exercises at the end serve as an example of difficult computing tasks, which accompany the lessons. An example of experimental students' activity during night sky observations is also described. The pictures presented are for the most part not directly related to lessons, but are a good example of what can be done in the interesting field of astrophotography with additional work using equipment which is no better than the one recommended as a part of the mandatory equipment for the practical part of the Astronomy subject.

Keywords: Astronomy in general secondary school, observation of the night sky

Slika 1: Posnetek meglic M42, M43, meglice »Running Man« v ozvezdju Orion skozi majhen šolski refraktor Astro Professional APO 80 mm f/7 v skupnem trajanju 24 minut. Dodatno je bil uporabljen postopek HDR. Mejna vrednost (svetlobna onesnaženost) je bila 21,30 magnitude, kamera Canon D1100 Astro, ISO 6400. Ta s prostim očesom vidni objekt je zagotovo nekaj, kar mora videti vsakdo, že navaden binokular pričara delček lepote meglice. (Foto: Rasto Snoj)

Slika 2: Galaksije M31, M32 in M110 v Andromedi so pogost motiv astrofotografov v jesenskem času. Posnetek skozi AstroProfessional 80. (Foto: Rasto Snoj)

Začetki

S sprejetjem učnega načrta [1] 2. februarja 2012 na 147. seji Strokovnega sveta Republike Slovenije za splošno izobraževanje so se za astronomijo uradno odprla vrata v težko dostopni svet šolskih normativov, ki formalno odločajo o dejanski možnosti izvedbe pouka nekega predmeta. Tej trudoma priborjeni priložnosti se naravoslovci po gimnazijah ne bi smeli zlahka odreči, saj pomeni korak naprej v smislu povečevanja števila ur za slovensko naravoslovje in nikakor ne le za fiziko na Tehniški gimnaziji na Vegovi, kjer se je projekt vpeljave novega predmeta tudi rodil. Po mnenju mnogih naravoslovju v našem šolstvu ni namenjene dovolj pozornosti. Navsezadnje Slovenija caplja za razvitim zahodom ne le zaradi velike zbirokratiziranosti na vseh ravneh, temveč tudi zaradi slabe izrabljenosti produktivnih naravoslovno-tehniških znanosti in na splošno zaradi pomanjkanja spodbudnega okolja za vsakršno inventivnost, še posebej tisto, ki je povezana z uporabo spoznanj visokih tehnologij iz naravoslovno-tehniških znanosti.

Pri uvedbi srednješolske astronomije gre torej v prvi vrsti za povečanje števila ur pouka naravoslovja, posredno predvsem fizike. Tudi pobuda za nov predmet je nastala med nekaterimi srednješolskimi fiziki, seveda s sodelovanjem vidnih slovenskih astronomov in zdaj že upokojenega legendarnega svetovalca ZRSS za srednješolsko fiziko, mag. Mirka Cvahteta. Da pa nova pridobitev ne bi bila le muha enodnevnica, kot je bilo astronomiji žal usojeno ob njeni srednješolski promociji v sedemdesetih letih, bodo morali fiziki po srednjih šolah intenzivneje lobirati za njeno uvedbo tako med dijaki kot med skeptičnimi kolegi, ki se bodo ob tem najbrž zbal za svoj »priposestvovani vrtiček«, oziroma »nedotakljivi« fond

ur njihovega predmeta. Med dijaki obstaja interes za vse atraktivne novosti, zlasti za tiste v zvezi z vesoljem, ker so po eni strani to vedno zanimive visokotehnološke zadeve, po drugi pa je vesolje zaradi svoje neizmerne velikosti in skrivnostnosti stalni predmet zanimanja vseh ljudi, mladih pa še prav posebej. In ta dejavnik velja za pridom izrabiti.

Šolska astronomija je povezana še z drugimi splošnimi gimnazijskimi predmeti pa tudi s tistimi s področja tehniške gimnazije, zlasti z računalništvom in elektroniko, če seveda govorimo o Vegovi. Vsekakor je sodobna astronomija zelo odvisna od omenjenih znanosti, zato je tovrstna vez dobro utemeljena prav na programu tehniške gimnazije. Ne gre sicer za nekakšno neposredno povezavo, kot je pouk, ki bi ga izvajala dva predavatelja istočasno, čeprav v šolski praksi obstajajo tudi takšni poskusi. Brez dvoma je astronomija še najbolj navezana na fiziko, lahko bi celo dejali, da gre za le nekoliko drugačno fiziko, preneseno v vesolje. Zelo pomembna je še matematika, čeprav srednješolska astronomija žal ne pozna zelo uporabne sferne trigonometrije. Ni pa prav nobenih razlogov, da ne bi mogli astronomije poučevati tudi v splošnih gimnazijah.

Izkušnje s poukom astronomije na Vegovi

Bralcev ne bom dolgočasil z naštevanjem ciljev, metod, povezav, kompetenc in drugih fines sodobne pedagoške latovščine, bom pa poskusil opisati nekaj izvedbenih podrobnosti pouka astronomije. Seveda dijaki s pridobljenimi znanji pri pouku astronomije razširijo in obogatijo tudi svoje formalne kompetence, kar je prav tako po-



Slika 3: Poleti nas navdušuje plinasta meglica M20 Trifid. Posnetek skozi teleskop Celestron C9.25 + reduktor 0,63, trajanje 15 min na ISO 6400, Canon D1100 Astro. (Foto: Rasto Snoj)

drobno opisano v učnem načrtu. Ne zdi pa se mi odveč poudariti, da lahko ne glede na zapisane zahteve v učnem načrtu astronomijo dovolj dobro poučuje le nekdo, ki ima do tega predmeta posebej pozitiven odnos in tudi vsaj nekaj praktičnih izkušenj.

Kot že rečeno, je večina astronomiji namenjenega časa klasično po urniku razporejen pouk v razredu. Je pa nekaj posebnosti, ki jih velja posebej izpostaviti. Ne zadošujeta »kreda in tabla«, saj pri astronomiji ne gre brez pogoste uporabe elektronske zvezdne karte – planetarija Stellarium [2], ki ga morajo dijaki obvladati vsaj na osnovnem nivoju. Seveda ne oglašujem tega izdelka, je pa res, da je to že vrsto let najboljši brezplačni elektronski planetarij, ki omogoča tudi povezavo s popularnimi amaterskimi teleskopi, kakršne najdemo po šolah. Poleg tega se morajo dijaki kmalu naučiti delati tudi s klasično vrtljivo zvezdno karto, brez katere ni niti astronomskih tekmovanj. Od preostalih učnih pripomočkov so na prvem mestu razne računalniške simulacije in animacije, namenjene predvsem vizualizaciji neba, ki je v astronomiji zelo pomembna, zastarelo risanje po tabli pa tudi ni dovolj nazorno. Najbolj se obnesejo znani programčki oz. apleti [3] ameriške Univerze v Nebraski (NAAP ali Nebraska Astronomy Applet Project). Ker sem sam pred leti vodil tudi ekspertno skupino za fizlete (fizikalni apleti [4] ameriškega Davidson College), lahko zagotovim, da so NAAP-ovi apleti neprimerno boljši izdelek tako po vizualni plati kot tudi po uporabnosti pri pouku. Zaradi popularnosti in koristnosti praktičnega (»hands-on«) pristopa dijakom omogočimo tudi samostojne vaje na računalnikih s primeri uporabe baze podatkov [5] ESA SOHO in s kratkim vpogledom v program [6] Aladin,

konkretno pa to pomeni, da morajo določiti obhodni čas Sonca pri vrtenju okoli njegove osi na različnih heliografskih širinah. Znano je namreč, da je SOHO namenjen predvsem stalnemu snemanju Sonca v različnih spektrih. Pred leti smo z ESI-nim SOHO database pregledovalnikom določali še (komponento) hitrosti gibanja kometa ISON v periheliju, kar je bilo seveda v duhu časa.

Prav navezovanje na aktualno dogajanje je namreč ena od značilnosti in močnih točk pouka astronomije, in ker nas narava vsako leto obdari s kakšnim veličastnim astronomskim dogodkom, ki pritegne pozornost javnosti, tega obvezno vključimo tudi v pouk. Tako smo se z DMFA in z nekaterimi astronomskimi društvi povezali v skupno opazovanje [7] delnega Sončevega mrka pred dvema letoma, aktivni pa smo bili tudi ob Merkurjevem prehodu Sonca lani (slika 4), ob prihodu kometa Lovejoy, sodelovali smo v svetovnem projektu merjenja svetlobnega onesnaženja [8] Globe at Night in v evropskem projektu Eratostenes. Zgodba zase je potrebna oprema za astronomsko opazovanje kot oblika praktičnega pouka, saj cenovno precej presega znamenitih astronomiji namenjenih 550 evrov, kolikor so slovenske šole v enkratnem znesku dobile v mednarodnem letu astronomije 2009.

Obravnavana učna snov je podrobneje opredeljena v učnem načrtu predmeta, a je treba priznati, da bi bila po vseh teh letih potrebna določena revizija. Pokazalo se je namreč, čemu naj bi bilo smiselno dati več poudarka in kateri snovi morda manj, saj je čas omejen. Tako na primer precej pozornosti posvetimo uporabi Keplerjevih zakonov tudi za primere iz astronautike, poglobljeno obravnavamo načine merjenja razdalj v astronomiji, od

zgodovinsko pomembnih meritev v osončju, paralakse, dinamične paralakse, preko Dopplerjevega premika, tudi relativističnega, metode merjenja razdalj s kefeidami do opazovanja supernov, kot je bila npr. 1987A. Podrobneje spoznavamo osnove geometrijske in valovne optike, seveda v zvezi s teleskopi, Wienov, Stefanov in delno tudi Planckov zakon, neizogibno Pogsonovo formulo, pojem navidezne in absolutne magnitude, distančno enačbo, Hubblov zakon, barvni indeks, lastnosti binarnih zvezdnih sistemov in še marsikaj drugega.

Delo na terenu – eksperimentalni del pouka

Ker pa dijake po učnem načrtu čaka tudi eksperimentalno delo oziroma opazovanje kot njegov obvezni del, jih pripravimo na uporabo (naših) šolskih teleskopov, ki so (trenutno) Celestron SCT6SE na azimutalni nastavitvi kot nekakšen standardni šolski teleskop, Maksutov Skywatcher 5 na Celestronovi ekvatorialni nastavitvi, uporabljajo pa tudi APO refraktor 80 mm AstroProfessional, astronomske binokularje, opremo za merjenje svet-

lobnega onesnaževanja, solarni teleskop Coronado itd. Večjih in zapletenejših modelov dijaki ne uporabljajo, saj ti zahtevajo več izkušenj, brez tega pa zlahka pride do dragih poškodb na optiki ali elektromehaniki. Navedeni teleskopi niso nujni, obstaja še kopica drugačnih, prav tako ali pa še primernejših za šolsko astronomsko delo.

Seveda pa je sama priprava na astronomsko opazovanje v šolskem razredu eno, delo v mrzlem, vetrovnem in temnem okolju v naravi pa nekaj povsem drugega. Še tako dobra priprava na šoli nikoli ne nadomesti realne situacije v naravi. Opazovanja izvajamo vsako leto, tako ponoči kot podnevi. Bili smo že na Medvedjem Brdu, na Kureščku, dvakrat pa smo na planinskem domu na Krimu [9] v južni okolici Ljubljane organizirali celonočno opazovanje oz. eksperimentalno delo skupaj z dijaki Gimnazije Jožeta Plečnika, kjer je astronomski krožek pod vodstvom prof. Borisa Khama že tradicionalno dobro uveljavljen. Druženje v mrzli zimski noči je bilo zanimivo astronomsko doživetje lepot nočnega neba ter obenem kar najbolj avtentično spoznavanja dela s teleskopi in preostalo opremo. Tovrstno povezovanje je bilo koristno tudi zaradi logistike, ki zna biti prav pri nočnih



Slika 4: Prehod Merkurja preko Sonca smo opazovali kot t. i. dnevno eksperimentalno vajo 9. maja 2016. Delali smo z različnimi teleskopi, opremljenimi za varno opazovanje Sonca. Znani Coronado PST je pri takih opazovanjih skorajda obvezen (če si ne moremo privoščiti npr. Lunta).

(Foto: Jaka Mušič, Vegova)



Slika 5: Zimski čas je najprimernejši za opazovanje s prostim očesom lepo vidne zvezdne kopice Plejade v ozvezdju Bika. Posnamemo jo lahko celo z malo boljšim pametnim telefonom, čeprav je za kaj več potrebna precej bolj resna oprema. Še posebej težko zaznamo šibko modro meglico okoli nekaterih zvezd v kopici. Posnetek skozi AstroProfessional 80. (Foto: Rasto Snój)

astronomskih opazovanjih hudo zapletena zadeva, pa tudi zaradi spoznavanja več različnih teleskopov, kot jih premore le ena šola. Najprej je bilo nekaj časa namenjenega obvezni osnovni orientaciji na nebu in odkrivanju značilnih ozvezdij in zvezd, saj brez tega enostavno ne gre. Uspešno smo se spopadli tudi z osnovami planetarne astrofotografije in fotografijo globokega neba – vsaj nadaljevanje doma ob (brezplačnem) programu [10] Deep Sky Stacker je to oceno potrdilo. Seveda je resnejša astrofotografija trd oreh, ki zahteva precej več kot rutinsko izvedbo neke določene terenske vaje, možnosti za kaj takega pa se dijakom vendarle ponujajo, saj si bolj zagreti lahko del opreme tudi izposodijo.

Prav ob takih priložnostih pa se pokaže, da resno astronomsko delo, zlasti nočno, zahteva tudi dobršno mero predhodnih izkušenj in zadeva nikakor ni trivialna. Zelo prav pride, če se vsaj kakšen od dijakov tudi sam aktivno ukvarja z amatersko astronomijo in ima že praktične izkušnje. Tak je lahko nadvse uporaben terenski »laborant«, saj je delo med kopico teleskopov in druge opreme v mrazu in temi hudo naporna zadeva, obstaja pa tudi nemajhna možnost poškodbe instrumentov. Samo ena korektno izvedena astronomska nočna vaja je za večino dijakov precej trši oreh od še tako zahtevne eksperimentalne šolske vaje pri fiziki v razredu.

Od preostalega eksperimentalnega dela omenjam manj zahtevno merjenje svetlobne onesnaženosti z merilniki mejne magnitude Unihedron kot oblike domačega dela dijakov in vizualno ocenjevanje onesnaženosti neba po navodilih svetovnega projekta Globe at Night, tudi z domačih lokacij.

V okviru tako imenovanih dnevnih vaj smo se po navadi posvetili še Soncu, za kar imamo teleskop Coronado PST, ki pa žal ne omogoča astrofotografije v primarnem fokusu. Poleg tega so dijaki izvedli tudi časovno zahtevno vajo posrednega merjenja solarne konstante z vmesniki Vernier in o meritvah »poročali« tudi na Festivalu znanosti, predlani pa je bil odmeven dogodek delni Sončev mrk, katerega množično opazovanje smo tudi soorganizirali. Lansko dnevno eksperimentalno delo je bilo namenjeno spremljanju Merkurjevega prehoda preko Sončeve ploskve (slika 4), dijaki pa so ob tem za dodatno nalogo morali razmisliti, kako bi z nekaj fotografij lahko določili razmerje med oddaljenostjo Zemlje in Merkurja od Sonca. Z vsem »pridelanim« materialom so si kasneje pomagali še pri izdelavi seminarskih nalog, ki so nekakšen priljubljen nadomestek ustnega ocenjevanja. Pri pouku astronomije se je namreč treba zavedati, da je predmet izbirni in kot tak naj ne bi slovel po negativnih ocenah, ki so sicer zelo »popularne« spremljevalke sorod-

ne, a obvezne fizike, tudi zato so v ospredju alternativne oblike ocenjevanja.

Predstavitev predmeta, sklep

Aktivnosti v zvezi z novim predmetom so bile redno predstavljane na sejmu izobraževanja [11] Informativa, na prireditvah projektov Poskus v Gimnaziji in Posodabljanje programov strokovnih gimnazij, ob februarskih informativnih dneh in s članki v astronomski reviji Spika ter v šolskem glasilu pa seveda tudi s prispevki za različne elektronske medije in z izvedbo izobraževanja za učitelje ob uvedbi pouka novega predmeta na Vegovi. Na obisk smo povabili tudi televizijce, sodelovali v oddaji Gymnasium na nacionalnem radiu in v oddaji Zanimivosti nočnega neba [12], ki jo na Radiu Ognjišče vodi prof. Kham. Posebna oblika promocije je bila tudi prva [13] slovenska razstava astrofotografije za šole, ki smo jo organizirali maja 2015. Svoje posnetke so prispevali tudi nekateri slovenski in svetovni astrofotografi.

Pouk astronomije se je na naši šoli dobro prijel. Res je astronomija le eden od dveh izbirnih predmetov v tretjem letniku in ker je »težka« ter pouk ne poteka v slogu vesele šole, ampak precej bolj spominja na izbrana poglavja iz fizike, je tudi dijakov razmeroma malo, tipično le 15 na leto (od cca 50). Praviloma se zanjo odločajo fizikalno in matematično bolj podkovani, s katerimi je prijetno delati, saj je tudi vzdušje pri tem izbirnem predmetu drugačno kot pri urah rednega (obveznega) pouka.

Priloga – računske naloge in primer eksperimentalne vaje

V kratki prilogi je nekaj malce težjih nalog, ki dopolnjujejo pouk astronomije. Pokrivajo nekaj različnih področij, seveda gre le za zelo majhen vzorec, ki bo bralcu vendarle nekoliko osvetlil fizikalno ozadje astronomskih nalog. Ne gre pa v tem primeru za namen didaktičnega razporejanja, iskanja ciljev in povezav. Določenih bralcu morda tujih enačb v nalogah ne razlagam, so pa del pouka.

Priložena so tudi navodila za eno izmed tako imenovanih nočnih vaj. Gre za določanje premera Jupitra in dimenzij nekaterih očitnejših pojavov na površju (npr. razdalje med njegovimi ekvatorialnimi pasovi). Seveda zlahka navodila prikrojimo tudi za npr. Saturn, še posebej enostavno pa kar za »merjenje« razdalj ali velikosti kraterjev na Luni. S to vajo zlahka dokaj natančno »merimo« na Luni, na Jupitru: čeprav gre za največji planet osončja, pa je treba posebno pozornost posvetiti natančnosti. Za solidno natančnost potrebujemo teleskop z veliko goriščno razdaljo (1 m je premalo), vsaj 1,5 m (Celestron 6 ali Maksutov 127), Jupiter mora biti blizu opozicije (cca 4,2 au), če je v konjunkciji, je lahko oddaljen celo 6,2 au, kar pomeni navidezno premajhen premer. Velik vpliv ima tudi uporabljeni merilni okular (precizni izdelek je osvetljeni merilni okular Baader Planetarium 12,5 mm), ki ima linearno skalo natančno razdeljeno na več razdelkov, med najkrajšimi je razdalja 0,1 mm. Tako je mogoče precej zanesljivo izmeriti razmike za petino te vrednosti, se pravi 0,02 mm.

1. Naloga

Planet Mars je bil v opoziciji z Zemljo 29. januarja 2010. Tedaj je bil ravno na nasprotni strani Sonca, torej glede na Zemljo 180° stran od njega. Istega leta 22. aprila pa je bil od Sonca oddaljen le še 97° in viden vzhodno od Sonca (glej sliko 6). Gre za kotno razdaljo med planetom in Soncem. Izražanje s koti je v pozicijski astronomiji pogosto.

Izračunajmo razdaljo med Marsom in Soncem (v astronomskih enotah), če v poenostavitvi privzamemo, da oba krožita okoli Sonca, in sicer Mars z obhodnim časom 687 dni, Zemlja pa 365 dni (malce zaokroženi podatki so v tem primeru dovolj dobri glede na to, da Mars v resnici potuje po dokaj izraziti elipsi). Iskano razdaljo poiščimo brez uporabe III. Keplerjevega zakona.

Ko je bil Mars v opoziciji, so bili Sonce, Zemlja in Mars na isti premici. Potem se je Zemlja premaknila v Z_1 in Mars v M_1 . Ker je kotna hitrost Zemlje večja od Marsove, ga je navidezno prehitela oziroma je Mars zaostal.



Slika 6: Poenostavljena lega Sonca, Zemlje in Marsa.

Tako se je kot med Marsom in Soncem (gledano z Zemlje) s prvotnih 180° 29. januarja zmanjšal na 97° 22. aprila. Med obema datumoma je minilo 84 dni. Za izračun r_M iz znane r_Z (1 au) potrebujemo vse kote v trikotniku SZ_1M_1 , to je v trikotniku z dne 22. aprila 2010. Seveda pomaga sinusni izrek in velja: $\frac{\sin 97^\circ}{\sin \theta_M} = \frac{r_M}{r_Z} \rightarrow r_M = r_Z \frac{\sin 97^\circ}{\sin \theta_M}$.

Kot, pod katerim bi 22. aprila 2010 s Sonca videli oba planeta, smo na skici označili s θ_S , pod kotom θ_M pa bi tedaj z Marsa videli Zemljo glede na Sonce. Kot θ_M dobimo kot razliko med 180° in vsoto notranjih kotov v trikotniku SZ_1M_1 , torej je: $\theta_M = 180^\circ - \theta_S - 97^\circ = 83^\circ - \theta_S$.

Za dokončanje naloge bo treba ugotoviti, kako priti do kota θ_S , ki je očitno povezan s časom, ki je potekel od opozicije in s kotnimi hitrostmi obeh planetov. Vsak planet v času od 29. januarja 2010 dalje opiše pri kroženju okoli Sonca nek kot glede na izhodiščni položaj, ki ga označimo s φ_M oziroma φ_Z . Iskani kot θ_S je razlika teh dveh kotov, torej velja:

$$\theta_S = \varphi_Z - \varphi_M = \omega_Z t - \omega_M t = t \left(\frac{1}{t_{0Z}} - \frac{1}{t_{0M}} \right) = 84 \text{ dni} \cdot 2\pi \left(\frac{1}{365 \text{ dni}} - \frac{1}{687 \text{ dni}} \right) = 0,678 \text{ rad} = 39^\circ.$$

Kot $\theta_M = 83^\circ - \theta_S = 44^\circ$. Ko dobljeno vrednost upoštevamo v sinusnem izreku, dobimo $r_M = r_Z \frac{\sin 97^\circ}{\sin 44^\circ} = 1,43 \text{ au}$.

Vrednosti razdalje med Marsom in Soncem so sicer v razponu od 1,38 do 1,67 au.

2. Naloga

Izračunaj absolutno magnitudo zvezde Sirij, ki ima navidezno magnitudo $-1,45$ (podatek Stellarium) in je oddaljena 8,8 svetlobnega leta. Kolikokrat je njen izsev (P) večji od Sončevega z absolutno magnitudo $+4,87$? (Enota parsek je 3,26 ly (svetlobnega leta)?)

Distančna enačba $D = 10^{(m - M + 5)/5}$ da pravilne vrednosti, če razdaljo najprej pretvorimo v parseke, torej je $D = 8,8/3,26 \text{ pc} = 2,70 \text{ pc}$. Po logaritmiranju distančne enačbe sledi:

$$\log D = \frac{(m - M + 5)}{5} \rightarrow M = m + 5 - 5 \log D = -1,45 + 5 - 5 \log 2,7 = +1,39.$$

Ker gre pri absolutnih magnitudah vedno za enako razdaljo 10 pc, je primerjanje gostot energijskih tokov j_{Sirij} in j_{Sonce} enako, kot če bi primerjali izseva P_{Sirij} in P_{Sonce} .

Torej zadostuje Pogsonova formula $j_{\text{Sirij}} = j_{\text{Sonce}} 10^{-2,5(M_{\text{Sirij}} - M_{\text{Sonce}})}$, z vstavljanjem podatkov sledi:

$$\frac{P_{\text{Sirij}}}{P_{\text{Sonce}}} = 10^{-\frac{2}{5}(1,39 - 4,87)} = 10^{1,39} = 24,7 \rightarrow P_{\text{Sirij}} = 24,7 P_{\text{Sonce}}.$$

3. Naloga

Barvni indeks ($m_B - m_V$) zvezde Fomalhaut (α PsA), ki je najsvetlejša zvezda jesenskega ozvezdja Južne ribe in znana tudi po tem, da so z vesoljskim teleskopom Hubble v njeni bližini celo z neposrednim posnetkom zaznali eksoplanet, je 0,13 (podatek Stellarium), njena navidezna magnituda m pa 1,15. Izračunaj zvezdino temperaturo T in izsev P ter še absolutno magnitudo M in oddaljenost D , če je njena paralaksa φ enaka 0,13". Paralaksa je razmeroma velika, zato ne gre za zelo oddaljeno zvezdo, številka vrednost pa se zgolj po naključju ujema z barvnim indeksom. Oцени še njeno velikost v primerjavi s Soncem. Za referenčno vrednost zvezde z navidezno magnitudo $+1,00$ vzamemo gostoto energijskega toka $j_{\text{ref}} = 9,8 \cdot 10^{-9} \text{ W/m}^2$. Izsev Sonca je $3,8 \cdot 10^{26} \text{ W}$.

Absolutno temperaturo lahko povežemo z barvnim indeksom po empirični enačbi vesoljske agencije ESA (<http://sci.esa.int/science-e/www/object/doc.cfm?foobjectid=35462>)

$\log T = (14,551 - (m_B - m_V))/3,684$, torej je

$\log T = (14,551 - 0,13)/3,684 = 3,914$, torej je $T = 8200 \text{ K}$. Zvezda je modre barve, kar sledi iz Wienovega zakona, ki povezuje valovno dolžino vrha spektra λ_{max} in absolutno temperaturo T . Vrh Fomalhautovega svetlobnega

spektra je torej pri $\lambda_{\text{max}} T = 0,0029 \text{ Km} \rightarrow \lambda_{\text{max}} = \frac{0,0029 \text{ Km}}{8200 \text{ K}} = 353 \text{ nm}$.

Maksimum je sicer v UV delu spektra, vendar je Fomalhaut človeškemu očesu videti modre barve.

Izsev P lahko dobimo, če poznamo razdaljo do zvezde D in njeno navidezno magnitudo m . Razdaljo dobimo s paralakso. Ker je $1 \text{ pc} / D = \varphi$, če je le kot podan v ločnih sekundah, sledi

$$D = 1 \text{ pc} / 0,13 = 7,7 \text{ pc, oziroma } 3,26 \text{ krat toliko svetlobnih let ali } 25,1 \text{ ly.}$$

V naslednjih izračunih se ne bomo izognili metrom, zato je najbolje, da naredimo preračunavanje kar takoj, torej je $D = 3,1 \cdot 10^{16} \cdot 7,7 \text{ m} = 2,4 \cdot 10^{17} \text{ m}$.

Zdaj uporabimo še distančno enačbo, kjer za D obvezno upoštevamo vrednost v pc:

$$D = 10^{(m-M+5)/5} \text{ in dobimo } 5 \log D = m - M + 5 \rightarrow M = m + 5 - 5 \log D = 1,15 + 5 - 5 \log 7,7 = 1,72.$$

Izsev P zvezde Fomalhaut izračunamo, če najprej pretvorimo njeno navidezno magnitudo 1,15 v gostoto energijskega toka j po Pogsonovi enačbi. Dobimo:

$$j = j_{\text{ref}} 10^{-0,4(1,15 - 1,00)} = 9,8 \cdot 10^{-9} 10^{-0,06} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 8,54 \cdot 10^{-9} \text{ W/m}^2.$$

Zaradi izotropnosti sevanja velja:

$$P = j 4\pi D^2 = 8,54 \cdot 10^{-9} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} 4\pi (2,4 \cdot 10^{17} \text{ m})^2 = 6,18 \cdot 10^{27} \text{ W.}$$

To je precej več kot pri Soncu, in sicer $\frac{6,18 \cdot 10^{27}}{3,8 \cdot 10^{26}}$ -krat toliko, kar pomeni okroglo 16-krat več.

Izračunajmo še premer te zvezde, pri čemer lahko privzamemo, da za izsevano gostoto energijskega toka j^* velja Stefanov zakon in je zato energijski tok z zvezde povezan z njenim polmerom R , torej je:

$$P = j^* 4\pi R^2 = \sigma T^4 4\pi R^2.$$

$Z j^*$ smo označili s površja Fomalhauta izsevano gostoto energijskega toka (in ne tiste, ki jo zaznamo na Zemlji preko navidezne magnitude!).

Izrazimo R in končno izračunamo:

$$R = \sqrt{\frac{P}{\sigma T^4 4\pi}} = \frac{1}{2T^2} \sqrt{\frac{P}{\sigma \pi}} = \frac{1}{2(8200 \text{ K})^2} \sqrt{\frac{6,18 \cdot 10^{27} \text{ W m}^2 \text{ K}^4}{5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W } \pi}} = 1,38 \cdot 10^6 \text{ km.}$$

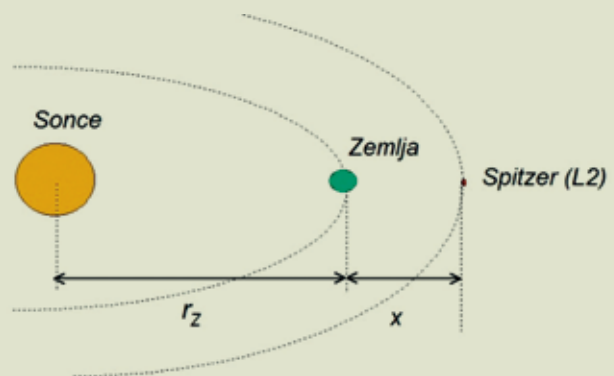
To je skoraj dvakrat toliko kot pri Soncu.

Opomba: dobljene vrednosti so lahko malce drugačne od pravih, predvsem zaradi podatkov iz različnih virov.

4. Naloga

Izračunaj oddaljenost Nasinega infrardečega vesoljskega teleskopa Spitzer, ki se nahaja v orbiti okoli Sonca blizu Lagrangeve točke L2 tako, da mu Zemlja stalno (delno) zakriva pogled na Sonce. Na ta način ga Sonce kot močan vir sevanja ne moti preveč, olajšano je opazovanje v IR valovnih dolžinah. Če Zemlja potuje okoli Sonca na razdalji $150 \cdot 10^6 \text{ km}$, kje mora biti satelit, da bo za pot okoli Sonca prav tako porabil 1 leto in bil ves čas na strani Zemljine sence? Masa Zemlje m_Z je $6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, masa Sonca m_S pa $2,0 \cdot 10^{30} \text{ kg}$.

Na sondo delujeta gravitacijska sila Sonca in Zemlje, obe v isti smeri. Zato je sila, ki jo sonda zaznava, večja, kot če bi nanjo delovalo le Sonce. To pomeni, da čuti vpliv efektivno večje mase, kot je le masa Sonca. Kot vemo iz Keplerjevih zakonov, pa ta poveča hitrost sonde na dani orbiti. Tako lahko prepotuje daljšo pot v enakem času kot Zemlja in je »synchronizirana« z Zemljo. Uporabiti moramo gravitacijski zakon:



Slika 7: Skica Sonca, Zemlje in Spitzerja.

$$F = m\omega^2(r_Z + x) = Gm \left(\frac{m_S}{(r_Z + x)^2} + \frac{m_Z}{x^2} \right).$$

V enačbi takoj krajšamo maso satelita m , kar pomaga pri preglednosti. Upoštevamo še »prirejeni« III. Keplerjev zakon, ki pravi

$$m_Z \omega^2 r_Z = G \frac{m_Z m_S}{r_Z^2} \rightarrow \omega^2 = G \frac{m_S}{r_Z^3}.$$

Po vstavljanju ω^2 v prvo enačbo dobimo $G \frac{m_S}{r_Z^3} (r_Z + x) = G \left(\frac{m_S}{(r_Z + x)^2} + \frac{m_Z}{x^2} \right)$.

Ta enačba je polinom pete stopnje. Pri reševanju pomaga, če upoštevamo še veliko vrednost razmerja mas Sonca in Zemlje $m_S / m_Z = (2,0 \cdot 10^{30}) / (6,0 \cdot 10^{24}) = k = 333000$. Krajšamo še G in delimo z maso Zemlje, sledi:

$$\frac{k}{r_Z^3} (r_Z + x) = \left(\frac{k}{(r_Z + x)^2} + \frac{1}{x^2} \right).$$

Levo in desno stran delimo še z $(r_Z + x)$. Tako ostane $\frac{k}{r_Z^3} = \left(\frac{k}{r_Z^3 \left(1 + \frac{x}{r_Z}\right)^3} + \frac{1}{r_Z x^2 \left(1 + \frac{x}{r_Z}\right)} \right)$. Če vpeljemo še količnik

$a = x/r_Z$, katerega vrednosti ne poznamo, upravičeno pa sklepamo, da je precej manjši od 1 (zakaj?), se enačba po krajšanju z r_Z^3 v imenovalcu zapiše kot:

$$\frac{k}{r_Z^3} = \left(\frac{k}{r_Z^3 (1+a)^3} + \frac{1}{a^2 r_Z^3 (1+a)} \right) \rightarrow k = \left(\frac{k}{(1+a)^3} + \frac{1}{a^2 (1+a)} \right).$$

Izračunati moramo a , ki vsebuje iskano razdaljo x . V nadaljevanju aproksimiramo $\frac{1}{(1+a)^3} \approx 1 - 3a$ in podobno

$\frac{1}{1+a} \approx 1 - a$, kot je pač znano iz matematike. Sledi $k = k - 3ka + \frac{1}{a^2} - \frac{1}{a} \rightarrow 0 = -3ka^3 + 1 - a$. Ker je pričakovana

vrednost koeficienta a (tretji člen) precej manjša od 1, je očitno, da sta prvi in drugi člen približno enako velika. Če ju izenačimo, dobimo

$$3ka^3 = 1 \rightarrow a = \sqrt[3]{\frac{1}{3k}} = \sqrt[3]{\frac{m_Z}{3m_S}} \rightarrow x = r_Z \sqrt[3]{\frac{m_Z}{3m_S}}.$$

Ko v to trudoma (!) pridelano enačbo vstavimo konkretne vrednosti, dobimo

$$x = r_Z \sqrt[3]{\frac{m_Z}{3m_S}} = 150 \cdot 10^6 \text{ km} \sqrt[3]{\frac{6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{6,0 \cdot 10^{30} \text{ kg}}} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ km}.$$

Lagrangeeva točka L1 se nahaja pred Zemljo (v smeri k Soncu) skoraj toliko, kot je izračunana L2 stran od Sonca.

Točki L1 in L2 nista dinamično stabilni in že najmanjša gravitacijska ali drugačna motnja bi satelit, ki bi ga utirili natanko v tej točki, pregnala stran. Majhni odkloni bi eksponentno s časom lahko narastli do velikih vrednosti in satelit ne bi bil več v želenem položaju, njegov obhodni čas okoli Sonca pa ne več enak obhodnemu času Zemlje. V praksi satelit zdrži dovolj blizu teh točk kakšen mesec, potem pa z majhnimi raketnimi motorji na satelitu naredijo neznatne korekcije orbite. Podobno nestabilnost kaže tudi točka L3 na drugi strani Sonca, le da v primeru sistema Sonce-Zemlja telo tam zdrži 150 let.

Eksperimentalna vaja

Opazovanje Jupitra – nočna astronomska vaja

Namen vaje:

Opazovanje Jupitra, delo s teleskopom, astrofotografija s planetarno kamero, delo z merilnim okularjem, določanje ekvatorialnega in polarnega premera, opazovanje Jupitrovih Galilejevih lun. Navodila so pisana za uporabo merilnega okularja in tudi planetarne kamere.

Pribor:

Teleskop Maksutov 5 ali teleskop C6 na azimutalni nastavitvi (montaži), (kamera NexImage5 s programsko podporo ICap in Registax ali merilni okular Baader Pla-

netarium), apokromatični Barlow 2, prenosni računalnik z dodatnimi akumulatorji (zaželeno) in nameščnim Stellariumom (položaj lun v trenutku opazovanja in identifikacija).

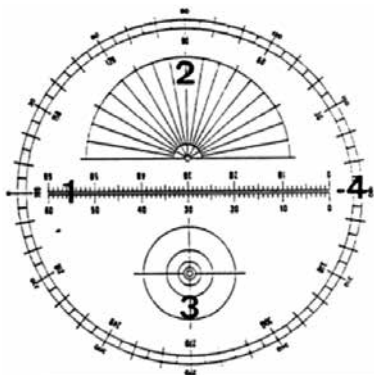
Potek vaje:

Postavi teleskop na azimutalno nastavitvev C6 GoTo in pred opazovanji izvedi vse potrebne začetne postopke (kolimiranje iskalca LED z OTA, ostrina na neskončnost). Upoštevaj, da je slika v okularju lahko obrnjena (odvisno od pribora), preveri datum, čas in lokacijo na kontrolerju! Teleskop naravnaj s postopkom identifikacije dveh znanih zvezd (2 star alignment). Če delaš z merilnim okularjem, zamenjaj standardni okular z merilnim in na novo izostri sliko Jupitra. Upoštevaj, da z

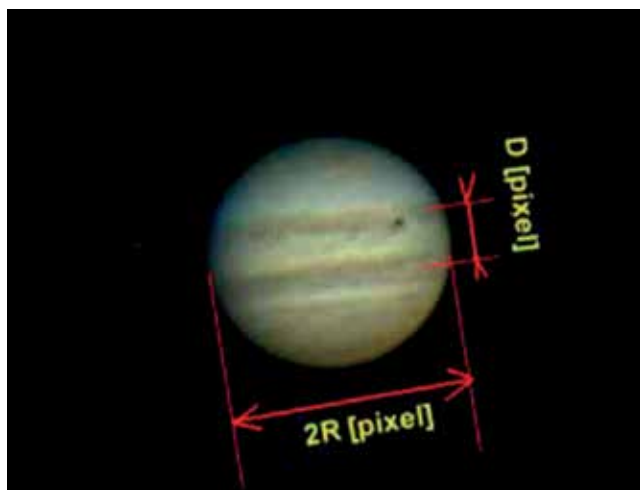
dodanim Barlowovim lečjem zlahka dosežeš stanje jalove povečave, saj je povečava teleskopa $M = \frac{f_{\text{objektiv}}}{f_{\text{okular}}}$, in če je večja od $2 \cdot D_{\text{objektiva v mm}}$, slika izgubi ostrino zaradi uklona svetlobe. V praksi se to zgodi še precej prej, predvsem pri nerefraktorskih teleskopih. Konkretno: Če imamo teleskop Maksutov 127 s 1500 mm goriščne razdalje in uporabimo okular s $f = 12,5$ mm, to pomeni osnovno povečavo 120. Z dodatkom Barlow lečja se ta poveča na 240, kar je na meji jalove povečave.

Potem s stikalom na okularju vklopi rdečo LED osvetlitev in s potenciometrom nastavi osvetljenost merilne skale na srednjo vrednost. S posebnim vrtljivim obročem na okularju izostri sliko merilne skale. Če uporabljaš planetarno kamero, izostri sliko s pomočjo programa ICap, ki ga po zagonu nastaviš na Live View.

- a) Z merilnim okularjem lahko v ugodnih razmerah izmerimo polarni in ekvatorialni premer Jupitra, lahko pa tudi (projekcije) razdalje lun do planeta. Pazi! Z uporabo Barlow lečja goriščno razdaljo objektivna efektivno povečaš za faktor, ki je naveden na Barlow lečju!

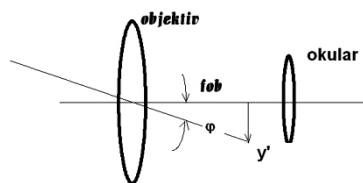


Slika 8: Merilni okular ima stekleno ploščico z različnimi kotnimi skalami, najpogosteje uporabljamo linearno skalo 1.



Slika 9: Posnetek Jupitra s planetarno kamero, štejemo piksele – slikovne elemente, ki ločijo posamezne podrobnosti med seboj [D_{pixel}], štejemo pa tudi piksele, ki ustrezajo ekvatorialnemu premeru $2R$ [$2R_{\text{pixel}}$].

Velikost opazovane podrobnosti na Jupitru (npr. razdalje med ekvatorialnimi pasovi) označimo z y (oziroma D na zgornjem posnetku Jupitra), na posnetku (ali na skali merilnega okularja) pa je to y' . Slednjo vrednost s pomočjo merilnega okularja zlahka preračunamo v mm, če upoštevamo, da je razdalja med dvema črticama – zareza linearnе skale enaka 0,1 mm. Razdalja do planeta naj bo a , goriščna razdalja objektivna teleskopa f_{ob} , slika pa zaradi velike oddaljenosti Jupitra nastane kar v primarnem fokusu teleskopa. S podobnimi trikotniki dobimo:



S sklepnim računom dobimo y , slika planeta nastane v goriščni ravnini objektivna na razdalji f_{ob} in je velika y' .

$$\frac{y}{y'} = \frac{a}{f_{\text{ob}}} \Rightarrow$$

$$y = y' \frac{a}{f_{\text{ob}}}$$

Velikost premera planeta $2R$ ali kakšno drugo zanimivo dimenzijo (npr. premer velike rdeče pege, če je vidna) dobimo kot y v zgornji enačbi. S Stellariumom pred tem poiščemo vrednost a (pretvorimo iz au v metre) v trenutku opazovanja.

Primer:

Če je Jupiter v opoziciji (ugodna lega za opazovanje), je oddaljen od Zemlje 4,2 au, torej $6,3 \cdot 10^{11}$ m. Če je opazovana podrobnost na skali merilnega okularja velika npr. 1/5 najmanjšega razdelka (gre pa še natančneje!), torej 0,02 mm, in efektivna goriščna razdalja (z Barlow lečjem) našega teleskopa 3000 mm, potem po zgornji enačbi dobimo za resnično velikost podrobnosti na Jupitru:

$$y = 0,02 \text{ mm} \frac{6,3 \cdot 10^{11} \text{ m}}{3000 \text{ mm}} = 4200 \text{ km} .$$

Ker ima Jupiter v opoziciji ekvatorialni kotni premer okoli 50" in ekvatorialni premer 142.000 km, pomeni najmanjša še izmerjena podrobnost 3 % premera ali v kotu 1,5", kar je sicer nekaj slabše od Rayleighevega kriterija za tako velik premer objektivna, v praksi pa povsem zadovoljivo. Zavedati se je treba, da so za točno oceno zelo usodne razne neizogibne motnje, od »seeinga« (povezanega s turbulencami v ozračju) do šolsko cenene in nestabilne (neobservatorijske) montaže, treslajev pri dotikanju teleskopa, okularja in tako dalje.

Poznavanje v praksi zelo spremenljive razdalje do planeta a pa niti ni nujno. Lahko si pomagamo tudi drugače, poznati pa moramo npr. resnični premer ($2R$) planeta.

Ekvatorialni polmer R Jupitra je 71.500 km. Naredimo sklepni račun (glej zgornjo desno sliko v navodilih za vajo) in določimo neznanu razdaljo D [km]:

$$\frac{D[\text{črtic}]}{2R[\text{črtic}]} = \frac{D[\text{km}]}{2R[\text{km}]} \rightarrow$$

$$D[\text{km}] = \frac{D[\text{črtic}]}{2R[\text{črtic}]} 2R[\text{km}].$$

b) Meritev s pomočjo posnetkov s kamere **Celestron Neximage5**

Delo je podobno kot v a), le da teleskopu odstraniš okular in v »visual back« vstaviš kamero s privitim nosom (sodčkom), ki jo pred izpadanjem obvezno zavaruješ s fiksirnimi vijaki na »visual backu«. **Nikakor se ne dotikaj občutljivega okenca kamere!** Kamero z mini USB-kablom poveži s PC-jem, na katerem narediš nekaj map za filme, delaš pa s Celestronovim programom **ICap**.

Kamera lahko računalniku pošilja posamezne posnetke ali filme v formatu avi, ki jih lahko kasneje obdelaš v programu **Registax**, s čimer se močno izboljša kakovost. Izberi primeren čas osvetlitve (exposure time), ojačanje (gain) ter slikovni format (število pikslov). Film naj ima vsaj sto posnetkov, čas med njimi pa naj bo primerno

kratek, npr. 1/25 sekunde (25 fps), vendar pazi, da ne pride do motečega zaznavanja zaklopa (temna črta na posnetku). Kratek čas pomaga programu Registax določiti ostro sliko, na kateri ni opaznejših sledi motečih atmosferskih turbulenc.

Na končnem posnetku lahko določiš razdalje med podrobnostmi D [km], po sklepnem računu, prav tako kot zgoraj za merilni okular, le da v izračunu za D zdaj šteješ piksele. Pri tem opravilu uporabimo osnovni Windows program iz skupine pripomočkov Slikar (Paint), seveda pa gre tudi s Photoshopom, Aladinom in drugimi programi za obdelavo fotografij. Kurzor (slednik) nastavimo na npr. levi rob Jupitra v ekvatorialni ravnini, odčitamo pikselo koordinato točke (x_1, y_1) , postopek ponovimo še na desnem robu, kjer dobimo (x_2, y_2) , premer $2R$ [piksel] pa je določen s Pitagorovim izrekom:

$$2R[\text{pixel}] = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}.$$

Preostale iskane dimenzije odčitamo s posnetka s podobnim postopkom.

Ne glede na to, ali delaš z merilnim okularjem ali s kamero, na koncu obvezno oceni še merske napake! Pri kameri je ta vsaj ± 1 piksel!

Viri

- [1] Učni načrt za predmet astronomija: http://eportal.mss.edus.si/msswww/programi2016/programi/media/pdf/un_gimnazija/2015/UN-IP-ASTRONOMIJA.pdf
- [2] Stellarium, odličen brezplačni planetarijski program za različne operacijske sisteme, tudi za Android (tam stane nekaj evrov): <http://www.stellarium.org/>
- [3] Astronomski apleti NAAP: <http://astro.unl.edu/naap/>
- [4] Fizleti:
http://www2.arnes.si/~ljzss2s/fvs/fvs_2006_1.html
<https://www.amazon.com/Physlet-Physics-Illustrations-Explorations-Introductory/dp/0131019694>
- [5] Arhivi sonde SOHO: <http://ssa.esac.esa.int/ssa/ssa.jnlp>
- [6] Program Aladin: <http://aladin.u-strasbg.fr/>
- [7] Sončev mrk 2015 – soorganizacija opazovanja za širšo javnost: <https://www.youtube.com/watch?v=wg4YHsrt40c>
- [8] Svetovni okoljski projekt zmanjšanja svetlobnega onesnaževanja Globe at Night: <https://www.globeatnight.org/downloads>
- [9] Sodelovanje na taboru: <http://www.gjp.si/vtisi-s-tabora-ison/>
- [10] Brezplačni program Deep Sky Stacker: <http://deepskystacker.free.fr/english/index.html>
- [11] Ena izmed mnogih javnih predstavitev novega predmeta na Informativi: <http://www.vegova.si/S201/D964/ODLI%C4%8CNA+PREDSTAVITEV+VEGOVCEV+NA+INFORMATIVI+2014>
- [12] O uvajanju astronomije na Vegovi v Ljubljani – oddaja prof. Khama na Radiu Ognjišče: http://www.portalvvesolje.si/index.php?option=com_content&view=article&id=1315:zanimivosti-nonega-neba-junij-15-astronomija-na-vegovi&catid=5:dogodki&Itemid=7
- [13] Razstava šolske astrofotografije na Vegovi: <http://www.vegova.si/S201/D1372/Fotografski+nate%C4%8Daj+astronomske+fotografije+Telesa+Oson%C4%8Dja+in+globoko+nebo>