

Prve srednješolske raziskovalne naloge v okviru projekta GoChile – Eksoplaneti in utripajoče zvezde

dr. Jure Japelj

Fakulteta za naravoslovje, Center za astrofiziko in kozmologijo, Univerza v Novi Gorici

dr. Andreja Gomboc

Fakulteta za naravoslovje, Center za astrofiziko in kozmologijo, Univerza v Novi Gorici

Izvelek

Za nami je prvo leto uspešnih opazovanj s teleskopoma GoChile v okviru pedagoško-raziskovalnega projekta GoChile pod okriljem Univerze v Novi Gorici in astronomske revije *Spika*. Študentje in dijaki so v tem času dodobra spoznali daljinsko vodena teleskopa, nameščena v čilskem visokogorju. Pri študijskih obveznostih in v prostem času so pridobivali izkušnje z astronomskimi opazovanji ter spoznavali raziskovalni proces. Med številnimi izvedenimi projekti smo za tukajšnjo predstavitev izbrali srednješolski raziskovalni nalogi, ki sta dosegli lep uspeh na državnem srečanju mladih raziskovalcev v organizaciji Zveze za tehnično kulturo Slovenije. Raziskovalni nalogi sta temeljili na opazovanju prehoda eksoplaneta prek gostujoče zvezde in na merjenju razdalj do oddaljenih utripajočih zvezd.

Ključne besede: slovenski teleskop v Čilu, astronomska opazovanja, raziskovalne naloge

First Secondary-School Research Projects with GoChile Telescope System: Exoplanets and Twinkling Stars

Abstract

The first successful year of observations with GoChile, an educational and research project of the University of Nova Gorica and the astronomical magazine *Spika*, has ended. Secondary-school and undergraduate students got acquainted with two telescopes in the Chilean Andes. As part of their studies and free time, the students honed their skills in astronomical observations and familiarised themselves with the research process. The article presents two of several secondary-school research projects. Both achieved notable success at the national competition of young researchers organised by the Association for Technical Culture of Slovenia. The students observed an exoplanet transit and measured distances with the help of pulsation.

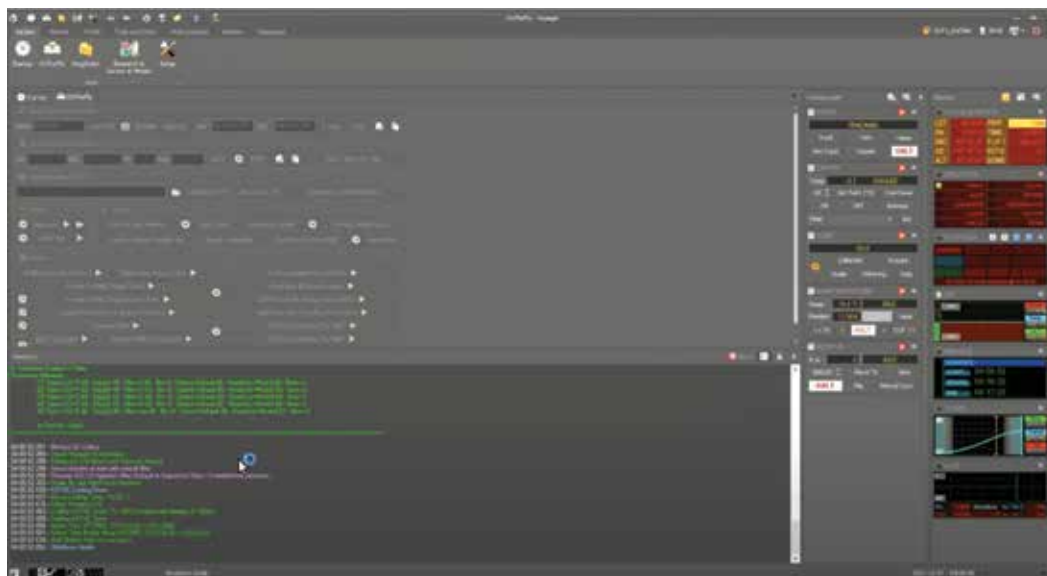
Keywords: Slovenian telescope in Chile, astronomical observations, research projects.

Planeti, kometi, asteroidi, kopice, meglice, galaksije, zvezde in njihove eksplozije – vse to in še več smo opazovali in raziskovali v prvem letu projekta GoChile [1]. Projekt sestavljata dva teleskopa (Tabela 1), 400-milimetrski zrcalni GoT1 in 72-milimetrski lečni GoT2, ki omogočata širok nabor astrofotografskih in raziskovalnih projektov [2]. Večino opazovanj smo izvedli z večjim GoT1, ki je za raziskovalne namene primernejši. Temne in jasne noči v povezavi z oddaljenim vodenjem (Slika 1), ki ga lahko opravljamo od koderkoli z internetno povezavo, so se izkazale za odlično kombinacijo. Prva opazovanja s teleskopom smo sicer opravili že maja 2021, a pravi preizkus nas je čakal oktobra, ko so teleskopa začeli

uporabljati dijaki in študenti fizike in astrofizike na Fakulteti za naravoslovje Univerze v Novi Gorici.

Tabela 1: Osnovne lastnosti teleskopov GoT1 in GoT2

	GoT1	GoT2
Tip teleskopa	zrcalni	lečni
Zbiralna površina	400 mm	72 mm
Goriščno razmerje	f / 6.5	f / 5.6
Vidno polje	47.1' x 31.4'	3.4° x 2.2°
Kamera	Monokromatska	Barvna
Filtri	L, B, G, R, OIII, H α	B+G+R, OIII+H α



Slika 1: Teleskopa upravljamo prek oddaljenega računalnika. Slika prikazuje program Voyager, s katerim izvajamo opazovanja.

Dijaki in študentje so v tem času pri študiju, pa tudi v prostem času, opazovali številne nebesne objekte. Najprej so tu telesa Osončja. Oba teleskopa imata relativno majhni goriščni razmerji, zato nista primerna za izdelavo lepih visokoločljivih slik planetov, lahko pa opazujemo številne lune in njihovo gibanje okoli planetov (Slika 2). Opazovali smo komete, med katerimi je kraljeval komet C/2021 A1 oziroma komet Leonard, ki je bil okoli novega leta na našem nebu viden celo s prostim očesom. Ulovili smo tudi nekaj asteroidov in spremljali vesoljski teleskop James Webb pri njegovem potovanju do 1,5 milijona kilometrov oddaljene točke L2, kjer sedaj izvaja opazovanja.



Slika 2: Planet Uran s štirimi največjimi lunami, posnet s teleskopom GoT1.

Ko se ozremo proti zvezdam Galaksije in še dlje, so možnosti skoraj neomejene. Med najpriljubljenejšimi oddaljenimi cilji opazovanja so zvezde, ki gostijo eksoplanete. Dijaki so med drugim opazovali več spremen-

ljivih zvezd, to je zvezd, ki se jim navidezni sij s časom spreminja. Večini se svetlost spreminja zaradi utripanja, spremljali pa so tudi takšne, ki se jim navidezni sij spreminja zaradi gravitacijskega lečenja. Tako za znanstvene meritve kot za astrofotografijo so zanimive kroglaste in razsute zvezdne kopice, meglice in galaksije. Ujeli smo tudi nekaj supernov.

Z opazovanjem dijaki in študenti spoznavajo korake raziskovalnega procesa. Svojo projektno idejo morajo ustrezno argumentirati ter razmisliti, kaj je pravzaprav njihov cilj. Oceniti morajo, ali je zamisel izvedljiva, poiskati morajo ustrezne objekte in predhodno načrtovati opazovanje (kdaj in s katerimi filtri želijo opazovati, koliko posnetkov potrebujejo, kako dolgi naj bodo časi osvetlitve posnetkov). Po končanem opazovanju podatke obdelajo, analizirajo in predstavijo rezultate.

Med projekti velja izpostaviti dve raziskovalni nalogi, ki sta se uvrstili na državno srečanje mladih raziskovalcev v organizaciji Zveze za tehnično kulturo Slovenije (ZOTKS) [3]. Obe nalogi sta bili zelo uspešni in kažeta na potencial projekta GoChile pri izobraževanju mladih, poglobljanju njihovega znanja in ustvarjalnosti ter pridobivanju raziskovalnih izkušenj.

Merjenje razdalj do utripajočih zvezd

Damjan Dovnik in Hana Brumec, dijaka 3. letnika Srednje šole Slovenska Bistrica, sta ob pomoči mentorjev mag. Marka Žigarta in dr. Jureta Japlja izmerila razdalje do petih utripajočih zvezd. Naloga z naslovom »Merjenje oddaljenosti kefeid tipa Delte Ščita« je na državnem srečanju mladih raziskovalcev prejela zlato priznanje.

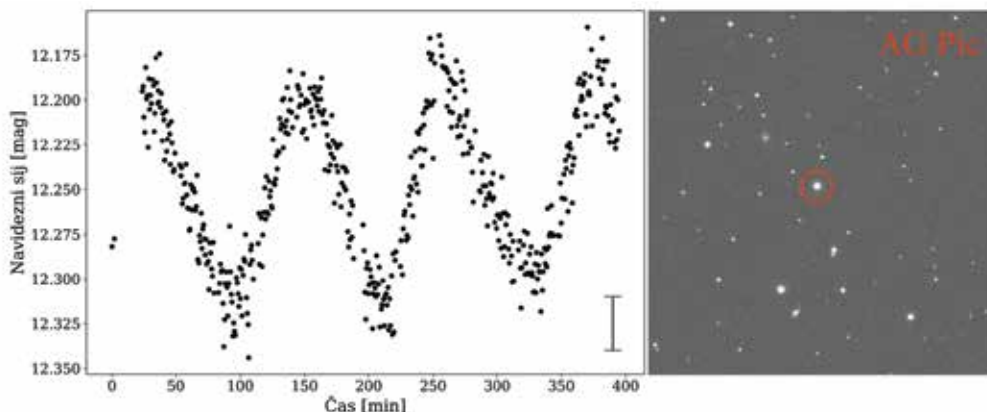
Poznavanje oddaljenosti nebesnih teles je izjemno pomembno. Dve zvezdi na nebu sta lahko videti podobno svetli – imata podoben navidezni sij – čeprav se njuni oddaljenosti od nas razlikujeta za več tisoč svetlobnih

let. Le znana razdalja do opazovanega objekta nam torej njegove lastnosti (med katerimi je zelo pomembno poznavanje izseva) postavi v pravi kontekst. A ogromnih razdalj v vesolju ni enostavno izmeriti. Izkaže se, da si pri tem lahko pomagamo s posebnim razredom utripajočih zvezd.

Na začetku dvajsetega stoletja je ameriška astronomka Henrietta Leavitt opazovala kefeide, zvezde s periodičnim spreminjanjem sija, v bližnji galaksiji Veliki Magellanov oblak. Opazila je, da so zvezde z daljšimi periodami videti svetlejše. In ker so bile vse kefeide v isti galaksiji, torej na bolj ali manj enaki oddaljenosti, je ugotovila, da kefeide z daljšo periodo utripanja izsevajo več svetlobe. Povezava med periodo in izsevom kefeid, ki jo je odkrila Henrietta Leavitt, je danes zelo dobro umerjena, zato jo lahko uporabimo za merjenje razdalj do oddaljenih kefeid. To naredimo tako, da poljubni kefeidi izmerimo povprečni navidezni sij in periodo, nato pa iz povezave med periodo in izsevom preberemo izsev zvezde. S primerjavo izseva in navideznega sija zvezde naposled izračunamo njeno oddaljenost [4].

Poznamo več tipov utripajočih zvezd. Poleg klasičnih kefeid so tu tudi zvezde tipov RR Lire in Delta Ščita. Še posebej slednje so zanimive za merjenje razdalj, saj jih je v vesolju ogromno. A vprašanje je, kako dobra je povezava med izsevom in periodo teh zvezd. Damjan in Hana sta v svoji nalogi želela preveriti trdnost te povezave. V katalogu sta poiskala pet zvezd tipa Delta Ščita, ki so bile na začetku leta vidne na čilskem nebu. Pri izbiri sta bila pozorna na navidezni sij zvezd in na periodo ter amplitudo nihanja sija – temnim zvezdam z majhno amplitudo bi bilo težko natančno izmeriti periodo. Pet izbrank je utripalo s periodo okoli dveh ur. Dijaka sta vsako zvezdo opazovala vsaj eno periodo nihanja, nato sta obdelala podatke, izmerila navidezni sij zvezd ter izrisala svetlobne krivulje, to je spreminjanje navideznega sija s časom (Slika 3).

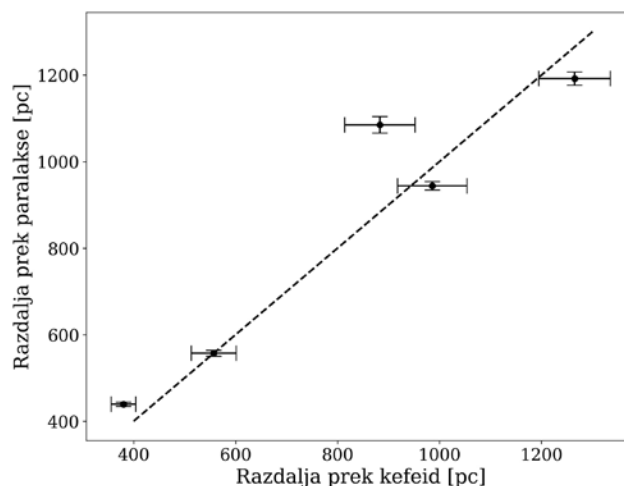
Ugotovila sta, da spreminjanje sija treh zvezd precej dobro opiše sinusna funkcija. Periodo sta v tem primeru izmerila s prilagajanjem sinusne funkcije podatkom.



Slika 3: Levo. Periodično spreminjanje svetlosti zvezde AG Pic, predstavnice tipa Delta Ščita. Znak desno spodaj označuje običajno vrednost napake meritev. Desno. Zvezdno polje okoli zvezde AG Pic.

Spreminjanje sija preostalih dveh zvezd je bilo bolj zapleteno, zato sta v tem primeru odčitala periodo na roke neposredno z grafa. Izmerila sta povprečni navidezni sij zvezd in vsem meritvam ocenila napako. Nato sta v strokovni literaturi poiskala izmerjeno povezavo med periodo in izsevom zvezd tipa Delta Ščita, s katero jima je uspelo izračunati razdaljo do zvezd. Dodajmo še, da sta morala izmerjeno vrednost navideznega sija pred tem nekoliko popraviti. Svetloba zvezd se pri potovanju skozi medzvezdni prostor siplje na delcih prahu, zato se del svetlobe na poti od zvezde do nas izgubi. Dijaka sta z zemljevidov prahu v Galaksiji odčitala, koliko prahu je med nami in posamezno zvezdo, ter dobljeno vrednost uporabila za popravek navideznega sija zvezd.

Nato je prišel čas za test. Kako dobre so bile pravzaprav njune izmerjene vrednosti? Vse zvezde, ki sta jih dijaka opazovala, se nahajajo v Galaksiji. In vsem zvezdam je satelit Gaia izmeril oddaljenost na neodvisen način prek



Slika 4: Primerjava razdalj do zvezd, izmerjenih z uporabo dveh tehnik. Na abscisni osi so razdalje, ki sta jih dijaka dobila z uporabo utripanja kefeid, na ordinatni osi pa razdalje, izmerjene s satelitom Gaia. Črtna črta označuje enake vrednosti na oseh.

letne paralakse.¹ Dijaka sta primerjala svoje meritve s tistimi, ki jih je ponudil satelit, in ugotovila, da se vrednosti ne razlikujejo za več kot 20 % (Slika 4). Meritve bi lahko izboljšala z daljšim opazovanjem posameznih zvezd, s čimer bi natančneje izmerila periode. Ugotovila sta, da je vsaj za njune zvezde povezava med periodo in izsevom precej dobra. Da bi povezavo lahko zares potrdila ali ovrgla, bi morala opazovati veliko več zvezd – to je naloga, s katero se ubadajo različne raziskovalne skupine po vsem svetu.

Opazovanje prehoda eksoplaneta prek gostujoče zvezde

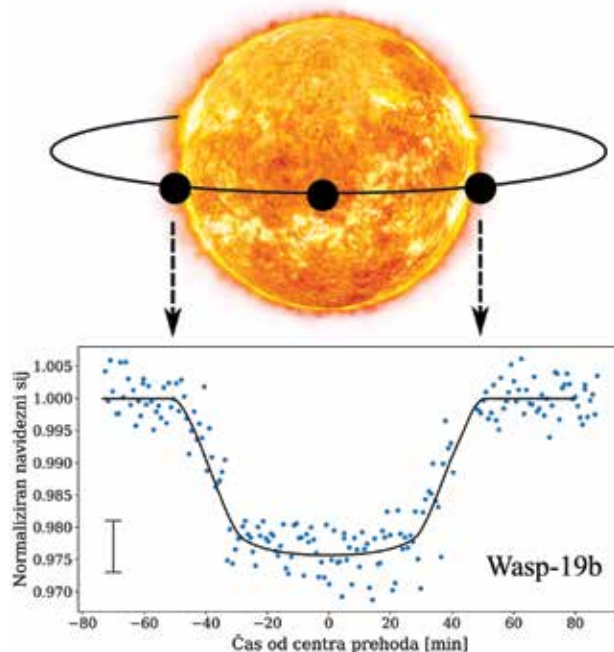
Dejan Kokanović, dijak 4. letnika I. gimnazije v Celju, je ob pomoči mentorjev prof. Romana Ocvirka in dr. Jureta Japlja opazoval in modeliral prehod eksoplaneta Wasp-19b. Z nalogo, naslovljeno »Smo v vesolju sami?«, si je prislužil srebrno priznanje na državnem srečanju mladih raziskovalcev.

Eksoplanet Wasp-19b spada med vroče jupitre, to je skupino orjaških plinastih planetov, ki krožijo izredno blizu svojih zvezd. Medtem ko glavna polos Jupitrove rahlo eliptične orbite meri približno 780 milijonov kilometrov, se Wasp-19b giblje po praktično krožni orbiti s polmerom vsega 2,5 milijona kilometrov. Wasp-19b potrebuje nekaj manj kot 19 ur, da obide zvezdo, kar ga uvršča med rekorderje v tej kategoriji. Raziskovalci so na njegovi dnevni strani izmerili temperaturo okoli 1970 stopinj Celzija.

Eksoplanete odkrivamo na različne načine. Velike in od zvezde zelo oddaljene planete lahko slikamo neposredno. Zvezda, okoli katere se giblje eksoplanet, obenem ni povsem pri miru: planet in zvezda se gibljeta okoli skupnega masnega središča. Takšno periodično gibanje zvezde lahko opazimo z daljšim in izredno natančnim merjenjem njenega položaja. Periodično premikanje zvezde razkrije tudi njen spekter visoke ločljivosti – v njem lahko opazimo, da se absorpcijske spektralne črte, ki nastanejo v zvezdni atmosferi, periodično premikajo, kar je posledica Dopplerjevega premika. Omenjene tehnike zahtevajo profesionalne instrumente in velike teleskope. Potem je tu še četrta tehnika, ki jo izkoriščajo predvsem manjši teleskopi. V določenih primerih je orbita planeta postavljena tako, da planet včasih potuje med nami opazovalci in zvezdo. Ko planet zakrije del površine zvezde, zvezda navidezno nekoliko potemni. Prehod planeta torej pusti v svetlobni krivulji zvezde edinstven odtis, iz katerega lahko preberemo podatke tako o planetu kot o njegovi orbiti.

Planet Wasp-19b je zaradi svoje orbite in velikosti, ki nekoliko presega Jupitrovo, idealna tarča za opazovanje z manjšim teleskopom. Dejan je planet našel v spletnem katalogu ameriške Nase [5], kjer je med drugim izvedel, kdaj bo prehod viden iz observatorija El Sauce, kjer stojita teleskopa GoChile. Našel je tudi podatek, da naj bi planet pokril nekaj več kot 2 % zvezdne površine. To se ne sliši veliko, a so običajne vrednosti za eksoplanete še veliko manjše. Zadnji pomemben podatek je navidezni sij zvezde: le dovolj svetla zvezda nudi dovolj svetlobe, da lahko natančno merimo tako majhne spremembe sija.

Dejan je opazovanje izvedel 13. januarja 2022. Nebo je osvetljevala skoraj polna Luna. Ker je svetlobno onesnaženje zaradi Lune manjše pri daljših valovnih dolžinah, je Dejan opazovanje izvedel skozi filter, ki prepusti le rdečo svetlobo. Opazovanje je pričel nekoliko pred napovedanim začetkom prehoda in končal nekoliko po njem. Po opazovanju je obdelal slike, izmeril navidezni sij zvezde na seriji posnetkov in izrisal svetlobno krivuljo (Slika 5).



Slika 5: Prehod eksoplaneta Wasp-19b prek njegove zvezde, posnet s teleskopom GoT1. Modre točke predstavljajo posamezne meritve navideznega sija zvezde, črna krivulja pa najbolje prilega teoretični model. Orbita, planet in zvezda na zgornji skici niso narisani v pravem razmerju. Znak levo spodaj označuje običajno vrednost napake meritev.

Oblika in globina potemnitve zvezde nam povesta veliko o sistemu. Iz globine potemnitve na sredini mrka preberemo, kolikšno je razmerje med polmeroma planeta in zvezde. S pomočjo podatkov iz literature – perioda planeta, tip in velikost zvezde – ter oblike krivulje lahko izmerimo tudi veliko polos orbite in inklinacijo orbite.

¹ Letna paralaksa je navidezen premik položaja bližnjih objektov glede na ozadje bolj oddaljenih objektov, ki je posledica potovanja Zemlje okoli Sonca. Če poznamo Zemljin položaj v trenutku posameznih opazovanj bližnjih zvezd, lahko uporabimo izmerjeno paralakso za izračun njihove oddaljenosti.

Dejan je za modeliranje uporabil program AstroImageJ [6]. Izmeril je, da je polmer planeta 1,43-krat večji od polmera Jupitra, da velika polos meri 2,79 milijona kilometrov in da je kot med ravnino orbite planeta in zveznico Zemlja–zvezda 7,8 stopinje. Izmerjene vrednosti za manj kot 10 % odstopajo od vrednosti iz kataloga. Zanimivo je bilo tudi opažanje, da se je prehod planeta začel deset minut pred napovedanim časom, kar kaže na to, da so dodatna opazovanja sistema smiselna, saj bomo s tem lahko natančneje določili orbito.

Možnosti za izboljšave je še veliko. Žal program, ki ga je uporabljal Dejan, ne omogoča ocene napak modeliranih vrednosti. Obenem je opazoval le en prehod planeta, zato ni mogel izmeriti periode. To je bil prvi eksoplanet, ki smo ga opazili v okviru projekta GoChile. Izkušnje, ki smo jih pridobili, smo že uporabili pri opazovanju šte-

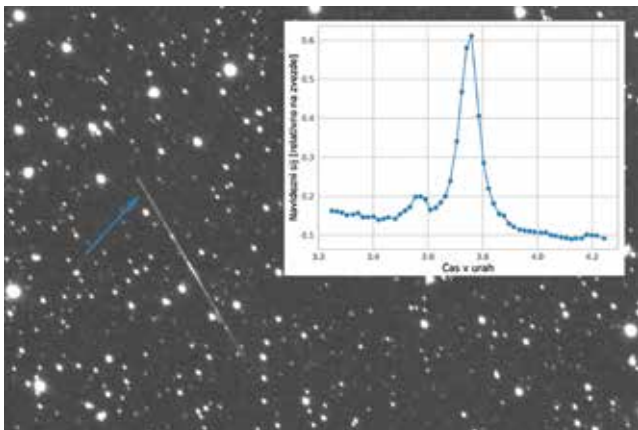
vilnih drugih prehodov eksoplanetov. Oziramo se proti eksoplanetom, ki prekrijejo manj površine zvezde, obenem pa izvajamo tudi večkratna opazovanja prehodov istih eksoplanetov, s čimer želimo izboljšati izmerjene vrednosti orbitalnih parametrov.

Na poti v novo šolsko leto

Prek leta smo izvedli več spletnih tečajev, kjer smo udeležencem predstavili teleskopa, potek tipičnega opazovanja, kalibracijo podatkov in osnovne astronomske meritve (kot je na primer fotometrija). Sledila so prva samostojna opazovanja, pri katerih smo uporabnikom pomagali, nato pa so bili običajno že pripravljeni vzeti vajeti v svoje roke in začeti izvajati lastna opazovanja brez nadzora. Vodenje teleskopov se je izkazalo za zanesljivo z malo tehničnimi težavami. Število noči, do-



Slika 6: Spiralna galaksija M83, posneta aprila 2022 s teleskopom GoT1. Avtor: Matej Mihelčič.



Slika 7: Komet C/2021 A1 (Leonard), posnet 27. decembra 2021 s teleskopom GoT2. Avtor: Matej Mihelčič.



Slika 8: Spremljanje vesoljskega teleskopa James Webb na poti do točke L2. Navidezni sij teleskopa se med potovanjem spreminja, ker se spreminja kot med Soncem in odsevno površino teleskopa. Vesoljski teleskop smo opazovali 7. januarja, ko je bil oddaljen približno milijon kilometrov.

deljenih posameznemu projektu, je seveda odvisno od cilja, giblje pa se od pol noči (tipični čas za opazovanje enega prehoda eksoplaneta) do štirih noči (opazovanje več objektov kot v primeru spremenljivih zvezd). Redki primeri, kot je dolgotrajno zasledovanje tranzientnih pojavov (supernove, gravitacijsko mikrolečenje), potrebujejo več časa. Zanimivo je opažanje, da imajo tako študenti kot dijaki največ težav s pripravi na opazovanje. Poiskati objekt, ki bo ustrezen za izvedbo zamišljenega projekta in bo obenem zadostil tehničnim pogojem (lo-

kacija in lastnosti teleskopa), zahteva precej znanja.

Teleskopa smo dodobra spoznali in nestrpno pričakujemo vstop v novo opazovalno leto. Ob tem vas vabimo, da projekt GoChile predstavite svojim dijakom, tako začetnikom kot izkušenejšim. Astronomskim navdušencem bomo z veseljem pomagali, da spoznajo teleskopa GoChile, ju uporabijo za potep po nebu ali celo izvedejo svoj opazovalni projekt.

Poštni naslov: gochile@ung.si

Literatura

- [1] GoChile, <https://gochile.si/> (5. 9. 2022).
- [2] Gomboc, A. (2021). GoChile – prvi slovenski teleskop v Čilu. *Fizika v šoli*, 26 (2), 49–51.
- [3] ZOTKS, <https://www.zotks.si/raziskovalci/rezultati> (5. 9. 2022).
- [4] Kefeide in P-L povezava, <http://www.astro.sunysb.edu/metchev/PHY515/cepheidpl.html> (5. 9. 2022).
- [5] Katalog eksoplanetov, <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/> (5. 9. 2022).
- [6] Collins idr. (2017). AstrolmageJ: Image Processing and Photometric Extraction for Ultra-precise Astronomical Light Curves. *The Astronomical Journal*, 153, 1–13.

Iz digitalne bralnice ZRSŠ

www.zrss.si/digitalna-bralnica/

V digitalni bralnici lahko prelistate najrazličnejše strokovne publikacije: monografije in priročnike, ter druge publikacije, ki so izšle na Zavodu RS za šolstvo in so vam BREZPLAČNO dosegljive tudi v PDF obliki.

