

ASTRONOMI V KMICI



štiriindvajsetič

KAZALO

ČETRTO STOLETJE KMICE.....	3
GOCHILE – PRVI SLOVENSKI TELESKOP V ČILU	4
TRI GEOMAGNETNE NEVIHTE, KI SO SE VPISALE V ZGODOVINO.....	6
GIBANJE OBJEKTOV V BLIŽINI ZEMLJE.....	10
MLADINSKI ASTRONOMSKI TABOR KMICA 2021	14
HAWKINGOVA TEMPERATURA ČRNE LUKNJE.....	16
ASTRONOMSKE VSEBINE V OSNOVNI IN SREDNJI ŠOLI	19
TRKI ASTEROIDOV Z ZEMLJO	24
PREGLED SONČNEGA SISTEMA.....	26

ČETRT STOLETJA KMICE

Pred petindvajsetimi leti je bilo ustanovljeno Astronomsko društvo Kmica. Dogovor je bil sklenjen na Državnem srečanju mladih raziskovalcev, ki je potekalo na Gimnaziji Murska Sobota. Ker je srečanje potekalo pod okriljem Zveze za tehnično kulturo Slovenije, je ZOTKS upravičeno tudi boter AD Kmica. In to zelo dober boter, ki je ves čas ne le bdel, ampak tudi aktivno pomagal pri našem razvoju in delovanju. Tudi po 25 letih se zelo operativnega sestanka živo spomnim. **Marjan Čenar** mi je predlagal, naj prevzamem vodenje Kmice. Odgovoril sem, da morda ne bom dober predsednik, ker imam nekaj izkušenj le z astrofiziko, ne pa tudi s samo astronomijo. Odgovoril je, da bi mi pri tem kot dober tajnik društva želel pomagati. **Pom. akad. dr. Renato Lukač** je pristal na pomoč kot podpredsednik, vodja soboškega Regionalnega centra ZOTKS **Ludvik Filo** pa je Kmici obljubil društvene prostore na Borovnjakovi 1. V naslednjih mesecih smo uredili formalnosti in Kmica je bila tudi formalno registrirana.

Naš velik podpornik je bil tudi takratni direktor Zavarovalnice Triglav **Rudi Cipot**. Kot matematik je bil z astronomijo tudi strokovno povezan. Le z njegovo pomočjo smo skupaj z ZOTKS lahko že naslednje leto kupili naš prvi teleskop, kar nam je ob Primoževem (**pom. akad. dr. Primož Kajdič**, kasnejši tajnik Kmice) doma izdelanem teleskopu poleti 1997 omogočilo organizacijo prvega astronomskega tabora. Poudariti je treba, da so bili takrat teleskopi še zelo dragi in jih je bilo malo,

zato je bil nakup našega prvega toliko vrednejši. Organizacijsko smo na OŠ Fokovci ob razumevanju ravnateljice **Simone Grosman** naš prvi tabor odlično izvedli, strokovno pa so nam pomagali kolegi in mnogi moji sošolci na čelu z **Nikom Štritofom**.

Tabor smo naslednje leto ponovili in nadgradili s prvo številko naše publikacije Astronomi v Kmici. Bilten smo dopolnili s stenskim koledarjem, na katerem opozarjamo na najpomembnejše astronomske dogodke, nekaj časa smo izdajali žepne koledarje, v naši založbi pa je luč sveta zagledala tudi zvezdna karta. Že tretji tabor pa je bil eden od naših vrhuncev, saj je bil leta 1999 v Prekmurju viden popolni sončni mrk.

Sledilo je še veliko velikih uspehov in dogodkov, kot so nakupi teleskopov in druge opreme, organizacija izobraževanj za učence, dijake in mentorje, posebej pa vseeno kaže izpostaviti odkritje eksoplaneta **pom. akad. dr. Sama Smrketa** in ob podpori **Edite Rituper** postavitev teleskopa na streho kluba PAC.

Kmica je lahko bila uspešna zaradi dobrega sodelovanja in podpore številnih partnerjev in podpornikov, katerim se za pomoč iskreno zahvaljujem, posebna zahvala pa gre **Suzani Čurman** in **Darji Kozar Balek**, ki nam pri vseh naših aktivnostih stojita tesno ob strani.

Pom. akad. dr. Mitja Slavinec
predsednik AD Kmica

GOCHILE – PRVI SLOVENSKI TELESKOP V ČILU

Pom. akad. dr. Andreja Gomboc

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

(Prispevek je bil objavljen v reviji *Fizika v šoli*.)

Začetek projekta GoChile je bil pogovor neko sobotno dopoldne februarja 2019. Tistega leta je Mednarodna astronomska zveza praznovala stoletnico ustanovitve in nekaj astronomskih navdušencev se nas je odločilo, da v Sloveniji praznovanje pospremimo s serijo kratkih videoposnetkov o pomenu astronomije. Matej Mihelčič, strokovni sodelavec astronomske revije Spika, je prijazno pristal, da bo voluntiral kot režiser, snemalec in montažer. Ko smo končali snemanje, sva se z Matejem zapletla v pogovor o observatorijih in opazovalnih razmerah v Sloveniji. Ugotavljala sva, da obstaja v Sloveniji poleg observatorija Univerze v Ljubljani, ki stoji na Golovcu sredi osvetljene Ljubljane, lepo število društvenih in zasebnih observatorijev na astronomsko primernejših lokacijah, vendar so žal tudi tam opazovalne razmere zaradi vremena in svetlobnega onesnaženja daleč od idealnih, ljubiteljska astronomija pa ob možnostih, ki jih ponuja sodobna oprema, postaja vedno zahtevnejša. Beseda je nanesla na ljubiteljske astronome iz zahodne Evrope, ki postavljajo svoje teleskope na oddaljene, astronomsko boljše lokacije, pa tudi na to, da Univerza v Novi Gorici, ki je nekaj let pred tem razširila svoj študij v smeri astrofizike, še nima stalno postavljenega teleskopa oz. observatorija za pedagoško in raziskovalno delo študentov. Tako sva prišla do zamisli o skupnem projektu postavitve teleskopa v Čilu, ki bo daljinsko upravljan in bo služil tako ljubiteljski astronomiji kot astrofizikalnim opazovalnim projektom študentov, del njegovega opazovalnega časa pa bi lahko bil na voljo tudi radovednim dijakom.



Slika 1: Teleskop GoChile GoT1 na observatoriju El Sauce v Čilu (Foto: Obstech)

Svoje navdušenje nad zamisljo sva v naslednjih tednih razširila še na nekaj bližnjih sodelavcev in priprave so stekle: nabava teleskopa in vse spremljajoče opreme (veliko sestavnih delov in programske opreme je plod Matejevega lastnega dela, na pomoč pa so priskočili tudi nekateri sponzorji z materialnimi donacijami), najemanje prostora na observatoriju El Sauce v Čilu, ki ga upravlja podjetje Obstech, in oblikovanje imena projekta – GoChile: »Go« se navezuje na »Gorica« v imenu univerze in na angleško besedo »go« (gremo) – Gremo v Čile!

Pot v Čile in montažo na observatoriju smo načrtovali za začetek leta 2020, vendar je zaradi pandemije prišlo do zamude in sprememb. Vmesni čas je Matej izkoristil za dopolnitev opreme in temeljito preizkušanje v Sloveniji. Končno izbrana oprema je: stojalo FORNAX ONE50, na katerem sta nameščeni dve optični cevi proizvajalcev SkyPoint iz Italije in Sharpstar iz Kitajske. Manjši teleskop

(GoT2) je 76-milimetrski f/4,5 refraktor in je z zornim poljem $3,4^\circ \times 2,2^\circ$ namenjen širokokotnemu opazovanju, predvsem fotografiranju objektov, ki zavzemajo večja območja neba (na primer meglice, razsute zvezdne kopice). Večji teleskop (GoT1) je 400-milimetrski f/6,5 Ritchey-Chrétien z zornim poljem $0,8^\circ \times 0,5^\circ$ in je namenjen podrobnejšemu opazovanju galaksij, planetarnih meglic, zvezd, planetov. Na večjem teleskopu GoT1 je nameščena hlajena astronomska kamera ASI6200MM Pro s filtri LRGB, H-alfa in O3, na manjšem GoT2 pa kamera ASI2600MC Pro s filtri L in Duo-Band/H-alfa ter O3. Zraven je nameščena še vsenebna kamera Mars-C (IMX462) s 180° lečo. (V prihodnje si želimo na teleskop priključiti tudi spektroskop, s katerim bo mogoče opazovati spektre zvezd.)

Teleskop je skupaj z vso pripadajočo opremo odpotoval iz Slovenije marca 2021. Aprila je srečno pripotoval na observatorij, kjer so tamkajšnji sodelavci po Matejevih navodilih postavili stojalo, pritrdili teleskopa in priključili vso opremo. Kmalu sta sledila »prva svetloba« in pričetek opazovanj.

Prednosti lokacije

Glavna prednost projekta GoChile je odlična lokacija v Čilu – observatorij El Sauce (ime v španščini pomeni vrba) stoji na 1.560 m nadmorske višine na južnem delu puščave Atakama, kjer je eden najboljših krajev na svetu za opazovanje nočnega neba. Lokacija observatorija ima temno nebo z zelo malo svetlobnega onesnaženja in več kot 300 jasnimi nočmi na leto, ozračje pa je tako čisto, suho in mirno, da omogoča razločiti podrobnosti na nebu, ki so manjše od ene ločne sekunde ($1/3600$ kotne stopinje). Na observatoriju je že postavljenih več deset daljinsko upravljanih teleskopov. Le 20 km zračne črte stran je Cerro Pachon, ki so ga ameriški astronomi izbrali za lokacijo 8,1-metrskega teleskopa Gemini South in Observatorija Vere C. Rubin, na katerem bo na 8,4-metrskem teleskopu potekal velik mednarodni projekt Legacy Survey of Space and Time (LSST), pri katerem sodeluje tudi Univerza v Novi Gorici.

Izvrstna lokacija v Čilu daje projektu obilico opazovalnega časa in pogled na velik del severne poloble ter hkrati na celotno južno poloblo neba – na nebesne objekte, ki iz Evrope niso vidni (na primer Mali in Veliki Magellanov oblak).



Slika 2: Pogled na južno nebo z vsenebno kamero. V ospredju je vidna silhueta montaže in teleskopa GoChile. (Foto: GoChile)

Prednost je tudi časovna razlika glede na Slovenijo, zaradi katere bodo lahko študenti in dijaki na začetku, ko se bodo še učili uporabljati teleskop, neposredna opazovanja nočnega neba v Čilu izvajali v slovenskem dopoldanskem času (ko je v Čilu še noč), torej v času rednega šolskega dela. V kasnejših fazah jim bo računalniško vodenje teleskopa omogočalo tudi samodejna opazovanja, pri katerih neposredno upravljanje teleskopa in prisotnost opazovalcev za računalnikom ne bosta nujno potrebni.

Opazovanja z GoChile

Polovica opazovalnega časa pri projektu GoChile je namenjenega ljubiteljski astronomiji, polovica pa študentom študijske smeri Fizika in astrofizika na Univerzi v Novi Gorici in dijakom. Študenti in dijaki bodo v projektu pridobivali praktične izkušnje z astronomskimi opazovanji in upravljanjem sodobnih računalniško vodenih teleskopov in opreme na daljavo. Ker so teleskopa in vsa opazovalna oprema računalniško upravljeni, se bodo lahko lotevali tudi projektov, ki jih je s klasičnimi teleskopi v Sloveniji težko izvesti. Tak primer je opazovanje dolgoperiodičnih spremenljivih zvezd, ki zahteva dolga obdobja

jasnega in stabilnega vremena ter snemanje posnetkov veliko število zaporednih noči. Slednje je za opazovalca zelo naporno, z računalniško vodenim teleskopom, ki mu vnaprej določimo opazovanja, ki jih teleskop nato opravi avtonomno, pa je to izvedljivo brez bedenja ali vstajanja sredi noči. Nekateri drugi primeri mogočih opazovalnih projektov so: opazovanje vrtenja Jupitra, določanje tirnice asteroida, merjenje sprememb v svetlosti asteroida in določanje njegove rotacijske periode, določanje parametrov tira astrometričnih ali prekrivalnih dvojnih zvezd, merjenje orbitalnih parametrov eksoplaneta, opazovanje različnih vrst spremenljivih zvezd, zvezdnih kopic, planetarnih kopic, galaksij, supernov idr.



Slika 3: Posnetek kroglaste zvezdne kopice NGC 5139 ali Omega Kentavra s teleskopom GoChile GoT2. 11,5

milijarde let stara meglica je od nas oddaljena okoli 16.000 svetlobnih let. (Avtor: Matej Mihelčič)

Pri projektu GoChile si želimo, da bi študenti in dijaki oblikovali tudi lastne predloge opazovalnih projektov. Z GoChile imajo priložnost, da ob strokovni podpori Univerze v Novi Gorici pridobijo raziskovalne izkušnje – se naučijo načrtovati lastne raziskovalne projekte, jih izvesti in nato obdelati in analizirati zbrane podatke ter predstaviti rezultate. Na voljo je dovolj opazovalnega časa tudi za preizkušanje neobičajnih, drznih raziskovalnih idej. Tudi če te ne bodo pripeljale do zelenega rezultata, se lahko dijaki in študenti ob njih ogromno naučijo.

Glavne znanstvene raziskave Centra za astrofiziko in kozmologijo Univerze v Novi Gorici bodo še naprej potekale v okviru mednarodnih sodelovanj, z večjimi teleskopi in sateliti, bo pa projekt GoChile zanimiv tudi za proučevanje nekaterih svetlih astrofizikalnih tranzientnih dogodkov, kot so supernove, zasiji izbruhov sevanja gama in raztrganja zvezd v bližini črnih lukenj, ki jih raziskujemo, in v te raziskave z veseljem vpeljemo tudi dijake in študente.

Spletna stran projekta GoChile: <https://gochile.si/>

FB-profil:

<https://www.facebook.com/GoChileTeleskop>

TRI GEOMAGNETNE NEVIHTE, KI SO SE VPISALE V ZGODOVINO

Pom. akad. dr. Primož Kajdič

Oddelek za vesoljsko fiziko, Geofizikalni inštitut, UNAM, Mehika

Geomagnetne nevihte so najbolj intenzivne manifestacije vesoljskega vremena. Gre za motnje magnetnega polja našega planeta, ki lahko povzročijo osupljive pojave, kot so polarni siji; ti so lahko takrat izjemoma vidni tudi iz območij, precej oddaljenih od zemeljskih magnetnih polov. Spremenljivo geomagnetno polje tekom neviht pa

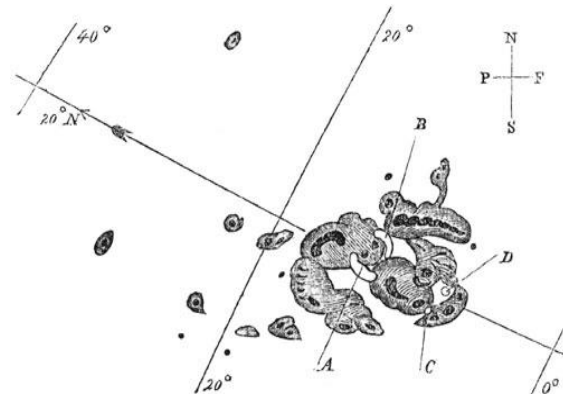
ima tudi nezaželjene posledice – takrat se na površju Zemlje inducirajo električni tokovi, ki lahko poškodujejo sisteme za prenos električne energije, visokoenergijski delci, ki tekom geomagnetnih neviht prodrejo v Zemljino magnetosfero, pa lahko onemogočijo delovanje znanstvenih ter telekomunikacijskih satelitov in celo ogrozijo zdravje

astronavtov. Tukaj bom opisal tri geomagnetne nevihte, ki so se zgodile v zadnjih 160 letih in so zaradi svoje intenzivnosti spremenile tok zgodovine. Ta prispevek je skrajšana verzija članka „*Devet geomagnetnih neviht, ki so spremenile zgodovino*“, ki je na voljo na portalu Sončni blog (<https://soncniblog.wordpress.com/>).

Carringtonov dogodek

1. septembra leta 1859 je angleški astronom Richard Carrington na svojem domačem observatoriju opazoval Sonce. Na Sončevem površju je bilo takrat več skupin Sončevih peg, ki jih je Carrington, kot ponavadi, pazljivo prerinjal na bel papir. Nenadoma je del površja, kjer se je nahajala večja skupina peg, zažarel mnogo močnejše od ostalega dela Sonca. Danes tem dogodkom rečemo blišči. Približno 18 ur pozneje so se na Zemlji začele dogajati čudne stvari.

Dokumenti iz tistega časa poročajo o tem, da so magnetni observatoriji po celem svetu ponoreli, nenavadno svetel polarni sij pa je bil ponoči viden celo na Havajih in Kubi. Delovanje telegrafskih mrež je bilo zelo moteno, tako da so bila prihajajoča sporočila popolnoma nejasna, iz gorovja Rocky Mountains pa so poročali, da se je ponoči dalo brati knjige brez pomoči umetne svetlobe. Danes vemo, da se je takrat zgodila geomagnetna nevihta, ki ji rečemo Carringtonov dogodek. Njena moč, ki jo meri indeks Dst, je bila pozneje ocenjena med -850 in -1760 nanoTesli, kar je absolutni rekord. Carrington je svoja opazovanja objavil ter celo namignil na povezavo med bliščem ter geomagnetno nevihto, vendar takrat znanost še ni mogla razložiti, kako bi pojavi na 150 milijonov kilometrov oddaljeni zvezdi lahko vplivali na dogajanje na Zemlji.

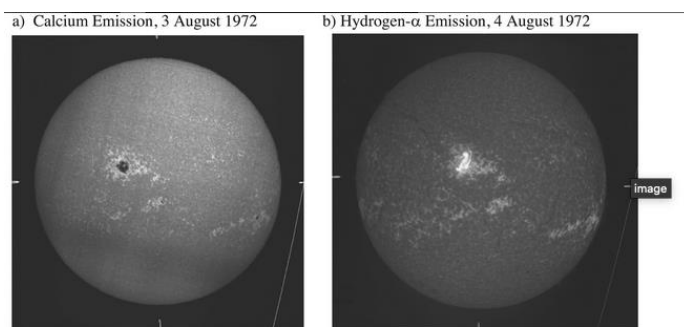


Slika 1: Sončeve pege, ki jih je 1. septembra 1859 narisal Richard Carrington. (Vir: Wikipedia)

Nevihta, ki je sprožila podmorske mine

Med 2. in 4. avgustom 1972 so se v aktivnem območju AC 11976 (na sliki) zgodili številni svetli blišči, ki so jih spremljali proti Zemlji usmerjeni koronalni izbruhi snovi. [5] Prva izbruha sta povzročila geomagnetni nevihti, a bolj kot to je pomembno dejstvo, da sta "počistila" prostor med Zemljo in Soncem, s čimer sta omogočila neovirano potovanje izbruha koronalne snovi, ki je potovanje pričel 4. avgusta ter Zemljo dosegel v rekordno kratkem času – le v 14,6 ure. Blišč, ki se je zgodil hkrati s tem dogodkom, je bil pozneje klasificiran kot X-20 [6], kar ga uvršča med najmočnejše v znani zgodovini.

4. avgusta ob 20:54 UT je nad severom ZDA zasijal svetel polarni sij. Magnetometer v Boulderju v zvezni državi Colorado je "ponorel", močne motnje Zemljinega magnetnega polja pa so izmerili v južni Indiji ter na Havajih. Na južni obali Združenega Kraljestva je polarni sij zasijal tako močno, da so se pojavile sence, videli pa so ga tudi piloti na komercialnem letu v bližini mesta Bilbao v Španiji.



Slika 2: Sončeve pege (levi) in aktivno območje (desno) na Soncu 3. in 4. avgusta 1972 (Vir [1])

Izbruh je na strani, ki je obrnjena proti Soncu (dnevna stran), dodobra potlačil Zemljino magnetno polje. Slednje tvori okoli Zemlje nekakšno votlino, ki ji rečemo magnetosfera, v katero Sončev veter le stežka prodre. Mejni plasti magnetosfere pravimo magnetopavza in je na dnevni strani od Zemlje oddaljena povprečno 10 Zemljinih polmerov. 4. avgusta 1972 se je ta razdalja zmanjšala na vsega 5,2 Zemljinega polmera. Geomagnetna nevihta je povzročila kar nekaj težav. Širom ZDA in Kanade so se zgodili manjši izpadi električne energije ter telegrafskega kabla L4 American Telephone and Telegraph, ki je povezoval zvezni državi Illinois in Iowa. Geomagnetna nevihta pa je povzročila še en dogodek, ki je edinstven.

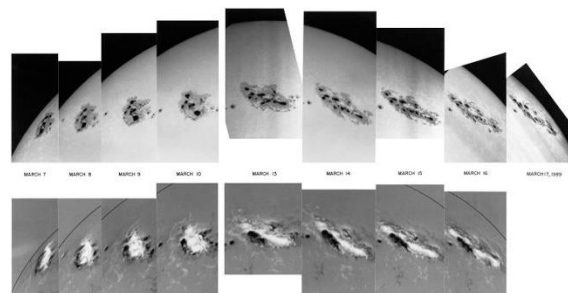
Leta 1972 so bile ZDA že sedem let vpletene v vietnamsko vojno. Svetovalci so takratnega ameriškega predsednika Richarda Nixona prepričali, da je treba morje ob obali Severnega Vietnama posejati z minami. Ta operacija se je začela 9. maja 1972 v bližini mesta Hai Phong. Skupaj je bilo tekom osmih mesecev v bližini strateških mest položenih preko 11.000 min. Nekatere od teh so bile takšne, da so jih detonirale spremembe magnetnega polja, ki jih ponavadi povzročajo vojne ladje. Sprožile so se takrat, ko je magnituda motnje preseгла določen prag.

4. avgusta je posadka ameriškega letala TF-77 poročala, da se je blizu mesta Hon La v roku 30 sekund brez očitnega razloga sprožilo približno ducat min. Poznejše analize so pokazale, da se je vsega skupaj sprožilo kar 4.000 min. Preiskava ameriške mornarice je pokazala, da so se mine

sprožile zaradi fluktuacij magnetnega polja tekom geomagnetnih neviht. Čeprav nikoli niso razkrili praga, ki je potreben za detonacijo, pa vemo, da so motnje magnetnega polja Zemlje dosegle 168 nanoTesel, kar je bilo očitno dovolj. Narediti te mine neobčutljive na vesoljsko vreme je po tem dogodku postala ena glavnih prioriteta ameriške mornarice. [5]

Nevihta, ki je prinesla temo

13. marca 1989 se je na Zemlji zgodila geomagnetna nevihta, ki se po intenzivnosti kosa s tisto iz leta 1921. [8] 'Zgodba' te nevihte se začne že 6. marca, ko se je na Soncu prikazala velika skupina Sončevih peg. Magnetna polja v tem območju so se hitro spreminjala, kar je vodilo k petnajstim Sončevim bliščem, med katerimi jih je bilo kar enajst uvrščenih v razred X. Najmočnejši izmed njih je bil opažen 6. marca in je imel magnitudo X-15. Ker se je takrat skupina peg nahajala blizu vzhodnega roba Sonca, izbruhi koronalne snovi, ki so se pojavili skupaj z blišči, niso bili usmerjeni proti Zemlji.



Slika 3: Sončne pege (zgoraj) ter njihovo magnetno polje (spodaj) v Območju 5395 med 7. in 17. marcem 1989. Slike je posnel Kitt Peak Observatory. V tem območju se je zgodil izbruh koronalne snovi, ki je 13. marca 1989 povzročil geomagnetno nevihto. (Vir [3])

Sčasoma se je skupina peg pomaknila proti sredini Sončevega diska. 13. marca sta Zemljo zadela dva izbruha koronalne snovi, ki sta proti Zemlji potovala 54,5 in 31,5 ur. Takoj po začetku nevihte je močno zažarel polarni sij na obeh polih, ki je bil viden celo na Floridi, v Texasu in na Kubi.

Ob 02:44 pa se je v Kanadi zgodilo nekaj, česar ni pričakoval nihče. Električni tokovi, ki so nastali kot posledica geomagnetne nevihte, so v dveh minutah zrušili električno omrežje v kanadski provinci

Quebec. Provinca je tako izkusila 12-urni električni mrk. Na milijone ljudi se je znašlo v temnih domovih in pisarnah, zaprta je bila podzemna železnica, prav tako pa šole ter letališče Dorval Airport.

V Evropi so imeli težave v Združenem Kraljestvu in na Švedskem predvsem v obliki kratkotrajnejših izpadov električne energije. Več vesoljskih satelitov je prav tako izkusilo težave, med drugim NASIN telekomunikacijski satelit TDRS-1. Indeks Dst, s katerim od leta 1957 merimo jakost geomagnetnih neviht, je dosegel vrednost -589 nanoTesel, kar je še danes rekordna izmerjena vrednost.

Literatura

Knipp, D. J., Fraser, B. J., Shea, M. A., & Smart, D. F. (2018). On the little-known consequences of the 4 August 1972 ultra-fast coronal mass ejecta: Facts, commentary, and call to action. *Space Weather*, 16, 1635–1643.

<https://doi.org/10.1029/2018SW002024>

M. Ohshio, 1974, Solar X-ray flares and their corresponding sudden ionospheric disturbances, *Radio Research Laboratories, Journal*, vol. 21, no. 106, 1974, p. 311-340.

Boteler, D. H. (2019). A 21st century view of the March 1989 magnetic storm. *Space Weather*, 17, 1427–1441. <https://doi.org/10.1029/2019SW002278>

GIBANJE OBJEKTOV V BLIŽINI ZEMLJE

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

¹*Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, UM*

²*Fakulteta za naravoslovje in matematiko, UM*

1. Uvod

Astronomi že več kot dve desetletji sistematično spremljajo večje objekte, kot so kometi in asteroidi, ki bi se lahko nevarno približali Zemlji. [1] V okolici Zemlje se gibljejo tudi številni manjši objekti, med katerimi nekateri zaidejo tudi v Zemljino ozračje. Poleg tega v okolici Zemlje krožijo še številni umetni sateliti. V prispevku se osredotočamo na gibanje Zemlji bližnjih objektov, pri čemer predpostavljamo, da imajo ti precej manjšo maso, kot je masa Zemlje. Gibanje obravnavamo z vidika Zemlje in upoštevamo gravitacijski privlak med Zemljo in bližnjim objektom. Narediti želimo preprost matematični model, s katerim bi ponazorili tire gibanja. Ti so določeni s Keplerjevimi zakoni [2, 3], ki jih v prispevku ne bomo posebej obravnavali. Osredotočili se bomo le na vpliv gravitacijske sile, zapisali II Newtonov zakon ter izvedli simulacijo gibanja objektov v bližini Zemlje. Takšen pristop nam omogoča obravnavo primerov tudi na stopnji srednješolskega izobraževanja, kjer je analitična izpeljava tirov prezahtevna.

Na začetku prispevka se bomo osredotočili na Zemlji bližnje objekte, nato bomo zapisali matematični model in na podlagi simulacije prikazali tire gibanj za različne začetne pogoje. Pri tem se bomo osredotočili predvsem na pogoje, pri katerih telo pade na Zemljo.

2. Zemlji bližnji objekti

Objekti, ki se gibljejo v bližini Zemlje, včasih zaidejo tudi v njeno atmosfero. Pri opazovanju nočnega neba nam ob tem nebo razsvetlijo meteorji. Ti so posledica različno velikih delcev oziroma meteoridov, ki vstopijo v Zemljino atmosfero z zelo veliko hitrostjo in zaradi trenja z molekulami zraka razpadejo in zgorijo. V določenih obdobjih [4], ko Zemlja zaide v območje delcev, ki jih je za seboj

pustil komet, lahko opazimo tudi več deset meteorjev na uro.

Glede na to, da nam pri opazovanju nočnega neba meteor velikokrat spodbudi misel na kakšno neuresničljivo željo, pa na nebu ne želimo videti sledi, ki bi jo pustila velika skala, ki v atmosferi ne bi v celoti zgorela. Takšni objekti so kometi in asteroidi, ki jih je v osončju kar precej, vendar je zaradi velikih razsežnosti srečanje z njimi zelo malo verjetno. Po ocenah v povprečju v Zemljo vsako leto trešči en asteroid v velikosti manj kot štiri metre, medtem ko asteroidi velikostnega reda deset metrov na Zemljo padejo vsakih nekaj sto let. [5] Kot primer omenimo 20 metrov velik asteroid, ki je leta 2013 eksplodiral nad ruskim mestom Čeljabinsk. [6] Asteroidi velikosti več sto metrov, ki predstavljajo tudi resno grožnjo s trajnimi posledicami, pa treščijo v Zemljo le vsakih nekaj tisoč let. Kljub temu, da so takšni asteroidi v primerjavi z nekaj metriskimi zelo redki, jih velja spremljati. Astronomi že več kot dve desetletji sistematično spremljajo in kartirajo asteroide in komete v našem osončju. [1] V kolikor tirnica objekta pokaže, da se bo ta približal Zemlji na razdaljo manj kot 1,3 razdalje Zemlje od Sonca, objekt označimo za Zemlji bližnji objekt. Tako danes poznamo že blizu 30.000 bližnjih objektov, od katerih jih je okoli 10.000 večjih od 140 m. [7] Seveda je verjetnost, da bi ti objekti treščili ob Zemljo, izredno majhna oziroma zanemarljiva. [8]

3. Matematični model

Gibanje objekta v bližini Zemlje opišemo na podlagi gravitacijske sile, ki deluje med objektom in Zemljo. Gibanje obravnavamo z vidika Zemlje in pri tem predpostavimo, da je masa Zemlje precej večja kot masa objekta v njeni bližini ($M \gg m$). Gravitacijska sila, ki deluje na gibajoče se telo, je:

$$\vec{F}_g = -G \frac{Mm}{|\vec{r}|^2} \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|} \quad (1)$$

pri čemer je \vec{r} lega telesa glede na središče Zemlje (glej sliko 1) in G gravitacijska konstanta ($G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$). Zaradi delovanja gravitacijske sile \vec{F}_g se telo giblje s pospeškom $\vec{a} = \vec{F}_g/m$, na podlagi katerega lahko določimo hitrost $\vec{v}(t)$ in tir $\vec{r}(t)$ gibanja:

$$d\vec{v}/dt = \vec{a}, \quad d\vec{r}/dt = \vec{v}. \quad (2a, 2b)$$

Omenjen primer je analitično rešljiv, pri čemer je tir gibanja običajno podan v polarnih koordinatah [3]. Analitičnih rešitev v nadaljevanju ne bomo posebej obravnavali, osredotočili se bomo na numerično rešitev, kjer bomo s pomočjo računalnika izvedli numerično simulacijo za različne začetne pogoje. Takšen pristop je mogoč tudi na stopnji srednješolskega izobraževanja, kjer je izpeljava analitičnih rešitev prezahtevna.

Z namenom numeričnega reševanja diferencialnih enačb (2a in 2b) z uporabo preproste Eulerjeve metode [9] zapišimo enačbe v diferenčni obliki po posameznih komponentah:

$$v_x(t + \Delta t) = v_x(t) + a_x(t) \cdot \Delta t, \quad (3a)$$

$$v_y(t + \Delta t) = v_y(t) + a_y(t) \cdot \Delta t, \quad (3b)$$

$$x(t + \Delta t) = x(t) + v_x(t) \cdot \Delta t, \quad (4a)$$

$$y(t + \Delta t) = y(t) + v_y(t) \cdot \Delta t, \quad (4b)$$

pri čemer je pospešek gibajočega se telesa po posameznih koordinatah (a_x, a_y):

$$a_x = -\frac{GM}{|\vec{r}|^3} x, \quad a_y = -\frac{GM}{|\vec{r}|^3} y. \quad (5a, 5b)$$

Ob upoštevanju ustreznih začetnih pogojev $x(0)$, $y(0)$, $v_x(0)$, $v_y(0)$ dobimo hitrost in lego gibajočega se telesa v nekem trenutku.

Začetno lego telesa (x_0, y_0) izberemo tako, da je ta na veliki razdalji, kjer je gravitacijska sila med telesom in Zemljo še zanemarljiva. Pri tem usmerimo koordinatni sistem glede na začetno hitrost telesa tako, da bi telo letelo mimo Zemlje na razdalji x_0 , če gravitacijska sila ne bi delovala. Zaradi delovanja gravitacijske sile pa se telo Zemlji približa na bližnjo razdaljo, pri čemer iščemo najmanjšo razdaljo $|\vec{r}_{\min}|$ (glej sliko 1).

Lego telesa izrazimo s polmerom Zemlje ($x_z = x/r_z$, $y_z = y/r_z$; $r_z = 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$), pri čemer začetno oddaljenost od Zemlje v pravokotni smeri glede na začetno hitrost reguliramo s parametrom k_r :

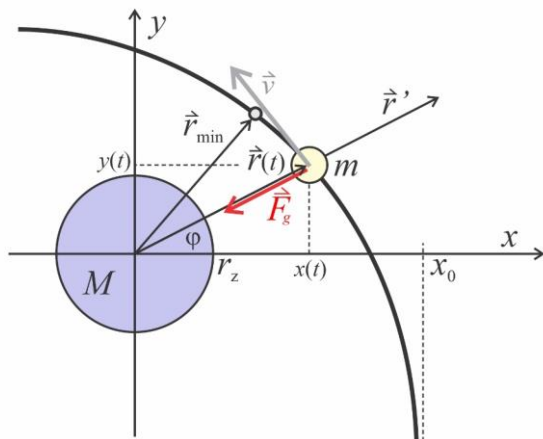
$$x_0 = k_r \cdot r_z, \quad y_0 = -100 \cdot r_z. \quad (6a, 6b)$$

Z vidika velikosti Zemlje je $y_0 = -100 \cdot r_z$ velika razdalja in gravitacijski pospešek je na začetku manjši kot 10^{-4} gravitacijskega pospeška na površju Zemlje. Pri tem pa velja opozoriti, da je ta razdalja le nekoliko večja od razdalje Lune od Zemlje, ki je $d = 60 \cdot r_z$.

Hitrost telesa izrazimo z ubežno hitrostjo ($v_{II} = 11,2 \text{ km/s}$ [10]), ki je potrebna, da telo pobegne s površja Zemlje, pri čemer velikost začetne hitrosti reguliramo s parametrom k_v :

$$v_{0,x} = 0, \quad v_{0,y} = k_v \cdot v_{II}. \quad (7a, 7b)$$

Velikost ubežne hitrosti ($v_{II} = 11,2 \text{ km/s}$) je primerljiva s hitrostjo objektov, ki vstopajo v Zemljino atmosfero. Ti objekti pa lahko dosežejo hitrost tudi do več kot 70 km/s . [11]

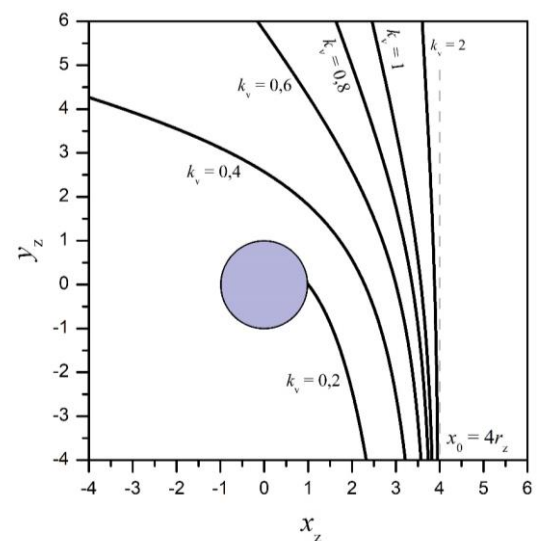
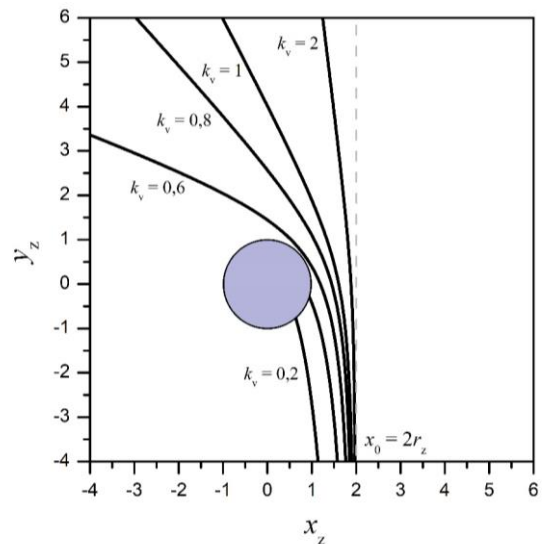


Slika 1: Gibanje objekta z maso m pod vplivom gravitacijske sile \vec{F}_g v bližini Zemlje z maso $M = 6 \cdot 10^{24}$ kg. Objekt se na začetku nahaja na oddaljenosti od Zemlje $(x_0, y_0) = (k_r \cdot r_z, -100 \cdot r_z)$ in ima začetno hitrost $(v_{0,x}, v_{0,y}) = (0, k_v \cdot v_{II})$, pri čemer je polmer Zemlje $r_z = 6,4 \cdot 10^6$ m in ubežna hitrost $v_{II} = 11,2$ km/s.

4. Rezultati

Za različne začetne lege $(x_0, y_0) = (k_r \cdot r_z, -100 \cdot r_z)$ in hitrosti $(v_{0,x}, v_{0,y}) = (0, k_v \cdot v_{II})$ želimo proučiti, na kolikšno najmanjšo razdaljo se bo nebesno telo približalo Zemlji ($|\vec{r}_{\min}|$, glej sliko 1). Pri tem nas še posebej zanima, pri katerih pogojih telo pade na Zemljo ($|\vec{r}_{\min}| < r_z$).

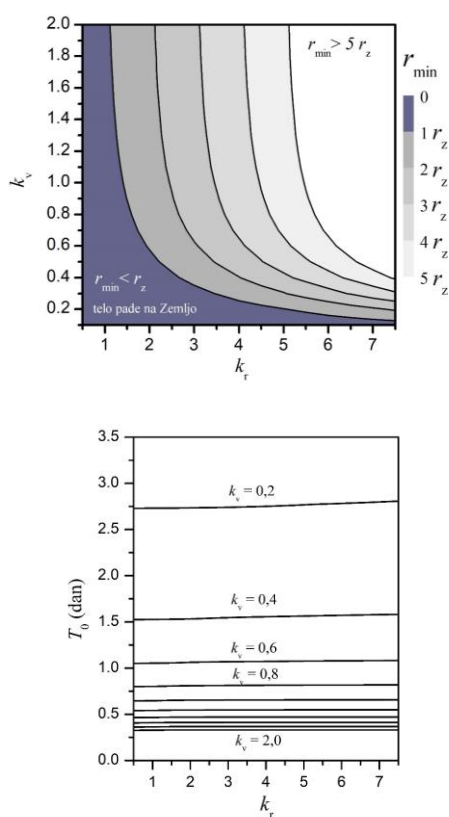
Na sliki 2 najprej prikažemo nekaj oblik tirov za različne začetne pogoje. Na sliki 2A postavimo telo na razdaljo $x_0 = 2 r_z$, na sliki 2B pa na razdaljo $x_0 = 4 r_z$ in pri tem spreminjamo začetno hitrost $0,2 v_{II} < v_{0,y} < 2 v_{II}$. Vidimo lahko, da telo pri manjših začetnih hitrostih v bližini Zemlje bolj spremeni prvotno smer gibanja in se s tem bolj približa Zemlji. Iz slike 2A razberemo, da telo, ki se začne približevati Zemlji na razdalji $x_0 = 2 r_z$, zadane Zemljo pri začetnih hitrostih $v_{0,y} = 0,2 v_{II}$ in $v_{0,y} = 0,4 v_{II}$, medtem ko se pri hitrosti $v_{0,y} = 0,6 v_{II}$ že giblje mimo Zemlje. Iz slike 2B pa lahko razberemo, da so zaradi večje začetne lege ($x_0 = 4 r_z$) minimalne razdalje $|\vec{r}_{\min}|$ pri enakih hitrostih (enakih vrednostih k_v) nekoliko večje, kar je posledica šibkejšega delovanja gravitacijske sile.



Slika 2: Tir gibanja telesa v bližini Zemlje za različne začetne pogoje. Začetna hitrost telesa je $(v_{0,x}, v_{0,y}) = (0, k_v \cdot v_{II})$. **A)** Telo se približuje Zemlji na razdalji $x_0 = 2 \cdot r_z$ **B)** Telo se približuje Zemlji na razdalji $x_0 = 4 \cdot r_z$.

Nadalje prikažemo območja, ki so določena z vrednostmi k_r in k_v , pri katerih se telo približa na določeno minimalno razdaljo $|\vec{r}_{\min}|$. Iz slike 3A vidimo, da se pri nižjih začetnih hitrostih $v_{0,y} = k_v \cdot v_{II}$ poveča začetna razdalja od Zemlje $x_0 = k_r \cdot r_z$, gledano pravokotno na smer hitrosti, pri kateri telo pade na Zemljo ($|\vec{r}_{\min}| < r_z$). Podobno velja tudi za druga območja, določena z vrednostmi $|\vec{r}_{\min}|$.

Manjša začetna hitrost namreč pomeni, da se telo dlje časa približuje Zemlji (slika 3B) in s tem tudi dlje časa pospešuje proti središču Zemlje, kar ima lahko za posledico, da telo pade na Zemljo. Iz slike 3B vidimo, da se čas približevanja T_0 od začetne lege $(x_0, y_0) = (k_r \cdot r_z, -100 \cdot r_z)$ do najbližje razdalje Zemlji oziroma trka z Zemljo ($|\vec{r}_{\min}| \geq r_z$) precej razlikuje od začetne hitrosti ($v_{0,y} = k_v \cdot v_{II}$). V primeru $k_r = 2$ in $k_v = 0,2$ je čas približevanja 2,75 dneva, pri $k_v = 0,4$ je 1,53 dneva, pri $k_v = 0,8$ pa le še 0,81 dneva.



Slika 3: A) Območja, določena z vrednostmi k_r in k_v , pri katerih telo doseže določeno minimalno razdaljo $|\vec{r}_{\min}|$. Pri $|\vec{r}_{\min}| < r_z$ telo pade na Zemljo. **B)** Čas približevanja telesa od začetne lege $(x_0, y_0) = (k_r \cdot r_z, -100 \cdot r_z)$ do najbližje razdalje Zemlji oziroma trka z Zemljo ($|\vec{r}_{\min}| \geq r_z$).

5. Diskusija

V prispevku smo se osredotočili na gibanje Zemlji bližnjih objektov pod vplivom gravitacijske sile. Naredili smo preprost matematični model,

primeren za obravnavo tudi na stopnji srednješolskega izobraževanja. Na podlagi numerične simulacije smo prikazali tire gibanja za različne začetne lege in hitrosti telesa. Prikazali smo tudi območja, določena z začetno lego in hitrostjo telesa, pri katerih se telo približa Zemlji na določeno minimalno razdaljo. Posebej smo se osredotočili na pogoje, pri katerih telo pade na Zemljo, pri čemer smo pokazali, da se z zmanjševanjem začetne hitrosti povečuje začetna oddaljenost objektov od Zemlje v pravokotni smeri glede na smer začetne hitrosti, pri kateri objekt še pade na Zemljo. Pokazali smo tudi čas približevanja telesa, ki je za določeno razdaljo seveda odvisen od začetne hitrosti telesa. S predstavljenim modelom bi lahko obravnavali tudi številne druge primere, pri katerih predpostavimo, da je masa gibajočega se objekta precej manjša od mase telesa, okoli katerega se gibljejo. Primeri takšnih gibanj so: gibanje kometov in planetov okoli zvezd, gibanje lun in satelitov okoli planetov, pospeševanje vesoljskih sond s pomočjo planetov itd. Pri obravnavi teh primerov velja poudariti, da omenjen matematični model ostaja enak, spreminjajo se le mase in dimenzije objektov ter začetni pogoji lege in hitrosti teles.

Literatura:

- [1] Center for Near Earth Object Studies, NASA. Povzeto s strani: <https://cneos.jpl.nasa.gov/>
- [2] Kladnik R. (1994) *Fizika za srednješolce 1 – Gibanje, sila, snov*, DZS, Ljubljana.
- [3] Kibble T. W. B., Berkshire F.H. (1996) *Classical mechanics*, Longman, Harlow.
- [4] Meteorski roj, Wikipedija. Povzeto s strani: https://sl.wikipedia.org/wiki/Meteorski_roj
- [5] Japelj J. (2020) Zemlji bližnji objekti – nevarnost in priložnost. Povzeto s strani: <https://kvarkadabra.net/2020/08/zemlji-bliznji-objekti/>
- [6] Howell E. (2019) Chelyabinsk Meteor: A Wake-Up Call for Earth. Povzeto s strani: <https://www.space.com/33623-chelyabinsk-meteor-wake-up-call-for-earth.html>
- [7] Center for Near Earth Object Studies, NASA (2021) Near-Earth Asteroids Discovered. Povzeto s strani: <https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/totals.html>

- [8] Center for Near Earth Object Studies, NASA (2021) Impact Risk Data. Povzeto s strani: <https://cneos.jpl.nasa.gov/sentry/>
- [9] Bohte Z. (1987) *Numerične metode*, DMFA, Ljubljana.
- [10] Escape velocity, Wikipedija. Povzeto s strani: https://en.wikipedia.org/wiki/Escape_velocity
- [11] American Meteor Society. Meteor Faqs. Povzeto s strani: <https://www.amsmeteors.org/meteor-showers/meteor-faq/>

MLADINSKI ASTRONOMSKI TABOR KMICA 2021

1. Splošni utrinki s tabora

Ana Mištrafovič

Astronomski tabor Kmica je potekal od ponedeljka, 28. junija 2021, do sobote, 3. julija 2021. Na taboru so se zbrali udeleženci iz cele Slovenije s skupno željo po širjenju svojega znanja astronomije. Udeleženci so imeli vsak dan predavanja in delavnice po tematskih skupinah. Sami so lahko izbirali med skupinami: *osnove astronomije*, *astrofizika*, *astrofotografija* in *radijska astronomija*. Predavali so nam Darko Kolar o spektroskopiji, Rok Vogrinčič o kozmičnih delcih, Simon Ülen o sončevih pegah in dr. Renato Lukač o gravitaciji. Prvi dve noči smo imeli tudi lepo vreme za nočna opazovanja. Za popestritev so udeleženci v skupinah tekmovali v raznih športih, kvizu, družabni igri Activity in izdelavi vodne rakete. V četrtek so tudi obiskali Sončni sistem v pravih razmerjih v Strehovcih in si ogledali film *Fast and Furious*. Dneve nam je polepšala tudi odlična hrana iz šolske jedilnice. Ob koncu tabora so udeleženci staršem predstavili pridobljeno znanje in pridobljene izkušnje z uporabo teleskopa ter veliko nepozabnih dogodivščin.

2. Osnove astronomije

Jon Judež

Skupina *osnove astronomije* je bila namenjena udeležencem, ki so začetniki v astronomiji. Mentorji Jon Judež, Ana Mištrafovič in Nino Stanič smo udeležencem predstavili zanimiva dejstva o

astronomiji in jim pomagali osvojiti osnovne opazovalne veščine, ki jih poznajo ljubiteljski astronomi. V sklopu delavnic smo čez dan z modeli vizualizirali medsebojne položaje in gibanje Zemlje, Lune in Sonca. Spoznavali smo zanimive lastnosti planetov in razjasnili pojme o vesolju. Udeleženci so bili navdušeni nad izdelavo sončne ure na dvorišču ter opazovanjem Sonca skozi posebni teleskop. Ko je vreme dopuščalo, pa smo se pridružili ostalim skupinam ter se odpravili na opazovanje nočnega neba. Navdušil nas je soj Rimske ceste ter podobe planetov in kopic, ki smo jih opazovali s teleskopi.

3. Astrofotografija

Jurij Šumak

V delavnici za *astrofotografijo* smo potek dela razdelili na dve različni temi. Prva je bila snemanje posnetkov različnih astronomskih objektov, druga pa obdelava posnetkov in pridobitev končnih slik. Prvi dan smo se pridružili *osnovam astronomije* in si skupaj ogledali, kako se sestavi teleskop ter kako se pravilno namesti kamera v primarno gorišče teleskopa. Drugi dan smo predstavili postopek zajemanja posnetkov in opozorili, na kaj moramo biti pazljivi pri fotografiranju. Zaradi slabega vremena nam ni uspelo narediti dovolj kakovostnih posnetkov, zato smo za obdelavo uporabili arhivske posnetke s prejšnjih taborov in z observatorija Golovec v Ljubljani. Četrty dan so udeleženci pripravljali zaključno predstavitev, s katero so pokazali, kaj vse so delali na taboru. Rad bi pohvalil vse udeležence te skupine, saj so pripravo

predstavitve končali izjemno hitro, zato smo imeli na voljo še dovolj časa za obdelavo nekaj zanimivih arhivskih posnetkov, udeleženci pa so kazali ogromno želje po novem znanju.

4. Astrofizika

Darko Kolar

Skupino *astrofizika* sva vodila študenta fizike Darko Kolar in Mario Pezer. Po nekaj letih nabiranja izkušenj sva prišla do delovnega programa, v katerem sva poskušala povzeti čim več uporabnih veščin in trikov programiranja ter jih pokazati udeležencem skupine. Programiramo v prosto dostopnem programskem jeziku Python, tako da lahko udeleženci tabora napisane programe testirajo in po svoji potrebi spreminjajo tudi doma. V začetku smo se spoznali z osnovnimi pojmi, kot so podajanje in shranjevanje spremenljivk, seznamov, zapis računskih operacij ter odpiranje tekstovnih datotek, v katerih so shranjeni primeri realnih astronomskih meritev. Slednje podatke/meritve smo prikazali še grafično, pri risanju grafov pa smo le-te poskušali zajeti v čim širšem smislu – od imen osi in naslova grafa pa vse do izbire barve in sloga črt. Poleg navadnih grafov smo se naučili risati še 2D histograme, ki so zelo uporabni za prikaz porazdelitve gostote zvezd na nebu. Sledil je uvod v numerično integracijo, kjer smo na primeru Planckovega zakona za sevanje črnega telesa prikazali, da je integral spektralne gostote (diferencialna enačba, $dj/d\lambda = (2hc^2)/\lambda^5 * (1/(np.exp((h*c)/(\lambda*k*T)))-1)$).

Sledil je uvod v numerično integracijo, kjer smo na primeru Planckovega zakona za sevanje črnega telesa $dj/d\lambda = (2hc^2)/\lambda^5 * (1/(e^{(hc)/(\lambda*k_b T)})-1)$

prikazali, da je integral le tega po valovni dolžini enak Štefanovemu zakonu $j = \sigma T^4$, natančnost rezultata pa je seveda odvisna od velikosti numeričnega koraka ($d\lambda$). Za konec smo z uporabo numerične integracije in uporabo Newtonovega zakona izračunali in še orbite sistema Sonce-Zemlja-Luna in si ogledali, kako se le te spreminjajo ob drugačnih začetnih pogojih.

5. Radijska astronomija

Maj Pintarič in Rok Vogrinčič

Radijska astronomija je področje astronomije, ki se ukvarja z opazovanjem v radijskem delu elektromagnetnega spektra svetlobe. Skupino sva vodila Rok Vogrinčič in Maj Pintarič. Prvi dan tabora smo imeli nočno opazovanje z ostalimi skupinami, drugi dan pa smo izdelali anteno in z njo merili aktivnost Sonca. Iz lesenih palic smo sestavili ogrodje antene, ki je bilo v obliki križa, okoli katerega smo nato napeljali izolirano žico. Anteno smo nato preko koaksialnega kabla povezali s sprejemnikom SID monitor, ta pa je signal vodil naprej na zvočno kartico računalnika. Merili smo jakost signalov zelo nizkih frekvenc (okoli 30 kHz) ter preko njih poskušali detektirati blišče na Soncu. V sredo smo se lotili zahtevnejšega projekta – postavitve dipolne antene, s katero smo merili radijsko aktivnost Jupitra pri frekvenci okoli 20 MHz. Dvojna antena je imela površino okoli 50 m², signal pa je sprejemala s pomočjo sprejemnika RTL-SDR. V jasni, zvezdnati noči smo poslušali zvoke radijskih postaj s celega sveta in dolgo upali, da bi slišali še kaj z Jupitra. Na žalost se to ni zgodilo, smo pa uspeli posneti signal z oddajnika časovne kode. To je bil mnogim udeležencem vrhunec tabora, saj smo se v iztekajočih urah noči počutili, kot da smo vohuni.

HAWKINGOVA TEMPERATURA ČRNE LUKNJE

Pom. akad. dr. Milan Svetec
Fakulteta za naravoslovje in matematiko, UM

Črne luknje lahko okarakteriziramo kot območja prostora-časa, iz katerih niti svetloba ne more pobegniti. Meja takega območja se imenuje »dogodkovni horizont«. Leta 1974 je angleški fizik in matematik Stephen Hawking pokazal z uporabo kvantne teorije polja in teorije relativnosti, da črne luknje sevajo, kar pomeni, da počasi izparevajo in izginjajo. V tem sestavku bomo poskušali podati razlago omenjene teorije samo z uporabo srednješolske matematike.

Razlago, ki jo bomo poskušali podati, bomo oprli na znanje osnovnih principov mehanike, termodinamike in kvantne mehanike, enačbe, s katerimi bomo opisali fizikalno zelo zahtevno tematiko, pa bomo skušali »uganiti«, brez da bi se poglobili v potrebne fizikalne modele in iz njih izpeljevali potrebne zaključke. Osnovno orodje, ki ga bomo uporabili pri našem pristopu, je dimenzijska analiza. Pri njeni uporabi lahko po eni strani pridemo do približnih enačb relativno preprosto, po drugi strani pa obstaja velika nevarnost, da bomo pri »ugibanju« strukture fizikalnih količin, ki naj bi na fenomen, ki ga želimo opisati, vplivale, pozabili katero izmed njih.

DIMENZIJSKA ANALIZA

V našem primeru bomo pri dimenzijski analizi uporabljali sledeče osnovne količine: L – dolžina, T – čas, M – masa in θ – temperatura. Na začetku podajmo preprost primer, da bomo kasneje lažje sledili razvoju teoretičnih konceptov.

Hitrost je definirana kot razdalja, ki jo opazovano telo premaga, ulomljeno s časom, v katerem se tak premik zgodi. Matematično to zapišemo kot

$$\text{hitrost} = \frac{\text{razdalja}}{\text{čas}}. \quad (1)$$

Vsaka fizikalna količina ima tudi dimenzijo. Razdaljo merimo v metrih, čas pa v sekundah, zato je dimenzija hitrosti m/s. Hitrost na kratko zapišemo kot razmerje med dolžino L in časom T takole:

$$[\text{hitrost}] = \frac{L}{T}, \quad (2)$$

kjer oglati oklepaji pomenijo dimenzijo. Nekatere enačbe vsebujejo naravne konstante. Take enačbe so posebne. Tukaj lahko omenimo najslavnejšo enačbo, v kateri nastopa svetlobna hitrost c , namreč Einsteinovo enačbo $E = mc^2$. Tedaj lahko zapišemo $[E] = M \left(\frac{L}{T}\right)^2$. Pri gravitacijski potencialni energiji velja

$$E = -\frac{G M m}{r}, \quad (3)$$

kjer je G splošna gravitacijska konstanta. Iz zgornjega zapisa sledi $G = -\frac{E r}{M m}$ in iz tega dobimo

$$[G] = \frac{L^3}{M T^2}. \quad (4)$$

Tu smo upoštevali, da je $[E] = M \left(\frac{L}{T}\right)^2$. Poznamo tudi tipično energijo pri kvantnih prehodih. Velja namreč $E = \hbar \omega$, kjer je \hbar Planckova konstanta. Dimenzija Planckove konstante je tedaj

$$[\hbar] = \frac{[E]}{[\omega]} = \frac{M L^2}{T}. \quad (5)$$

Zadnja naravna konstanta, ki nas zanima, spada na področje termodinamike. Tam je kinetična energija N molekul idealnega plina enaka $E = \frac{3}{2} N k_B T$, kjer je k_B Boltzmannova konstanta. Njena dimenzija je torej

$$[k_B] = \frac{[E]}{[T]} = \frac{M L^2}{\theta T^2}. \quad (6)$$

Sedaj se lahko lotimo sestavljanja enačb, ki vsebujejo osnovne konstante. Pri tem pa moramo upoštevati nekaj pravil:

- V enačbo vstavljamo hitrost svetlobe, če gre za gibanje, ki je zelo hitro (ali pa imamo opravka s svetlobo).
- Če gre za masivna telesa, vključimo gravitacijsko konstanto.
- Če gre za kvantne pojave, vključimo Planckovo konstanto.
- Če je za opazovani sistem pomembna temperatura, vključimo Boltzmannovo konstanto.

Za enačbe črnih lukenj je značilno, da so za opis potrebne samo tri fizikalne količine: masa, naboj in vrtilna količina. Vse ostale informacije so skrite za dogodkovnim horizontom. V nadaljevanju bomo obravnavali samo Schwarzschildove črne luknje, ki nimajo naboja in vrtilne količine. Tako črno luknjo lahko opišemo samo z njeno maso.

ENTROPIJA ČRNE LUKNJE

Pri iskanju entropije črne luknje lahko najprej odgovorimo na vprašanje o velikosti površine dogodkovnega horizonta. Črna luknja je masivna, zato bomo v predvideno enačbo vključili gravitacijsko konstanto G , maso M in svetlobno hitrost c , saj gre za pojave, kjer je svetlobna hitrost pomembna. To pomeni, da bomo površino dogodkovnega horizonta A zapisali kot

$$A \sim G^\alpha c^\beta M^\gamma. \quad (7)$$

Če sedaj vstavimo dimenzije in primerjamo obe strani, sledi

$$L^2 = L^{3\alpha+\beta} T^{-2\alpha-\beta} M^{-\alpha+\gamma}. \quad (8)$$

Dimenzije na obeh straneh se morajo ujemati, zato končno dobimo

$$A \sim \frac{G^2 M^2}{c^4}. \quad (9)$$

Podroben račun, kjer se dobljeni rezultat razlikuje od našega samo za konstantni faktor, nam da natančno vrednost

$$A = \frac{16\pi G^2 M^2}{c^4}. \quad (10)$$

Glede na to, da nič ne more pobegniti iz dogodkovnega horizonta, je s klasičnega stališča možno le, da se površina A povečuje (in nikoli zmanjšuje), kar je podobno kot pri entropiji. Entropija je določena kot $dS = \frac{dQ}{T}$, kjer je dQ absorbirana toplota pri temperaturi T . Ker toplota teče vedno iz mesta z višjo proti mestu z nižjo temperaturo, je sprememba entropije vedno pozitivna (za zaprt sistem). Do podobnega sklepanja pridemo tudi z drugega stališča. Boltzmann je določenemu makroskopskemu stanju priredil veliko število mikroskopskih stanj; makroskopsko stanje z večjim številom možnih mikroskopskih stanj je v določenem trenutku najbolj verjetno, da se bo vzpostavilo. Podobno lahko pripišemo črni luknji. Določenemu makroskopskemu stanju pripišemo veliko možnih »notranjih« stanj (notranjih – zato ker so za dogodkovnim horizontom in jih ne vidimo). S tem ko snov pada v črno luknjo, se dogodkovni horizont širi, s tem pa tudi površina dogodkovnega horizonta. Torej lahko entropijo povežemo z velikostjo dogodkovnega horizonta na sledeč način $S = \eta A$, kjer je η sorazmernostna konstanta. Njene dimenzije so tedaj

$$[\eta] = \frac{[S]}{[A]} = \frac{M}{T^2 \theta}. \quad (11)$$

Ker je η konstanta, jo skušajmo formirati iz drugih konstant. Uporabimo take, ki spadajo h gravitaciji in črnim luknjam. To sta splošna gravitacijska konstanta in svetlobna hitrost ter tudi Boltzmannova konstanta in Planckova konstanta. Velja naj torej:

$$\eta \sim G^\alpha \hbar^\beta c^\gamma k_B^\delta. \quad (12)$$

Sledi primerjava dimenzij leve in desne strani enačbe in nato določanje potenc konstant v (12). Na koncu dobimo

$$S \sim \left(\frac{k_B c^3}{\hbar G} \right) A. \quad (13)$$

Stephen Hawking je 1974. z natančnim izračunom pokazal, da je resnična vrednost entropije črne luknje enaka

$$S = \left(\frac{k_B c^3}{4\hbar G} \right) A. \quad (14)$$

HAWKINGOVO SEVANJE

To sevanje vključuje kvantne fluktuacije ob dogodkovnem horizontu, ko se tvori par delec-antidelec, od katerih enega »potegne« v črno luknjo, za dogodkovni horizont, drugi pa se pomika v nasprotno smer, v stran od dogodkovnega horizonta, in ga smatramo kot Hawkingovo sevanje. Glede na to, da je Hawking predvidel, da se črnim luknjam lahko pripiše temperatura (Hawkingova temperatura), začnimo pri prvem zakonu termodinamike, kjer se notranja energija spreminja z dovajanjem toplote in dela $dE = dQ + dW$. Predpostavimo, da ni sil, ki bi opravile delo, zato je $dW = 0$. Sledi $dE = dQ = T dS$. Od tod sledi za

temperaturo $T = \frac{dE}{dS}$. Če energijo pripišemo masi, ki je zbrana v črni luknji in upoštevamo Einsteinovo enačbo, sledi

$$T = c^2 \left(\frac{dM}{dS} \right) = c^2 \left(\frac{dS}{dM} \right)^{-1}. \quad (15)$$

Odvajati moramo torej Hawkingovo entropijo črne luknje po masi, zato moramo entropijo izraziti z maso. V ta namen združimo enačbi (14) in (10) ter dobimo

$$S = \frac{4\pi k_B G M^2}{\hbar c}. \quad (16)$$

Sledi

$$\frac{dS}{dM} = \frac{8\pi k_B G M}{\hbar c}. \quad (17)$$

To sedaj vnesemo v enačbo (15) in dobimo

$$T = \frac{\hbar c^3}{8\pi k_B G M}. \quad (18)$$

Hawkingovo temperaturo črne luknje. Povezujemo jo s sevanjem, ki ga oddaja črna luknja. Vidimo, da je sorazmerna z $1/M$. Manjša črna luknja ima višjo temperaturo. Bolj črna luknja seva maso, bolj se segreva. Kolikšna je torej ta temperatura? Združimo vse konstante v eno in ohranimo odvisnost od mase. Tedaj dobimo

$$T = \frac{1,227 \cdot 10^{23}}{M}. \quad (19)$$

Najmanjše črne luknje imajo maso okrog treh mas Sonca, kar znaša okoli $6 \cdot 10^{30}$ kg. Če vstavimo to v zgornjo enačbo, dobimo temperaturo take črne luknje, ki znaša $2 \cdot 10^{-8}$ K. Povprečna temperatura vesolja je nekje 2,7 K, kar pomeni, da bi taka črna luknja morala toploto absorbirati, ne pa je celo oddajati. Naše vesolje se bo torej moralo še kar

močno razširiti, da bo povprečna temperatura padla na dovolj nizko vrednost, da bodo črne luknje lahko sevale.

VIRI

1. Hawking, Stephen W. (1974). "Black hole explosions?". *Nature*. 248 (5443): 30–31.

2.

https://www.youtube.com/watch?v=QUdHX_Og3A (2. 12. 2021)

ASTRONOMSKE VSEBINE V OSNOVNI IN SREDNJI ŠOLI

Prof. dr. Robert Repnik¹, asist. mag. Damjan Osrajnik^{1,2}, doc. dr. Vladimir Grubelnik^{1,3}, pom. akad. dr. Eva Klemenčič^{1,4}

¹*Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Univerza v Mariboru*

²*Osnovna šola Radlje ob Dravi*

³*Fakulteta za računalništvo, elektrotehniko in informatiko, Univerza v Mariboru*

⁴*Fakulteta za energetiko, Univerza v Mariboru*

UVOD

Vesolje, raziskovanje vesolja in želja po razumevanju nebesnih pojavov že od nekdaj vznemirjajo našo domišljijo in vzpodbujajo radovednost. Astronomija velja za znanstveno področje, ki mu splošna javnost namenja veliko zanimanje. Slednje se odraža tudi v zanimanju za poljudna predavanja o astronomiji, večji udeležbi na javnih astronomskih opazovanjih in velikem deležu mladinskih raziskovalnih nalog, vezanih na vsebine iz astronomije, tako med osnovnošolci kot srednješolci. Pričakovali bi, da to vodi v vključenost vsebin iz astronomije v formalno izobraževanje v osnovnih in srednjih šolah, vendar je raziskava [1] pokazala, da več kot polovica učiteljev in učencev v 176 osnovnih in srednjih šolah v Sloveniji meni, da je vključenost astronomskih vsebin premajhna. Od leta 2015 naprej je sicer na sekundarni stopnji izobraževanja prišlo do spremembe, saj imajo dijaki na programu splošne in strokovne gimnazije možnost izbire izbirnega predmeta astronomija. [2] V prispevku predstavimo, v kolikšni meri in pri katerih predmetih so vsebine iz astronomije

vključene v formalno izobraževanje na osnovnošolskem in srednješolskem nivoju, pri slednjem se osredotočimo na program splošne gimnazije.

ASTRONOMSKE VSEBINE V OSNOVNI ŠOLI

V osnovni šoli se učenci z vsebinami iz astronomije seznanijo v okviru pouka pri obveznih predmetih spoznavanje okolja, naravoslovje in tehnika, naravoslovje, geografija in fizika. Učenci lahko izberejo tudi izbirne predmete astronomija – Sonce, Luna in Zemlja, astronomija – zvezde in vesolje ter astronomija – daljnogledi in planeti.

Obvezni predmeti

Pri predmetu spoznavanje okolja [3], ki se izvaja v 1., 2. in 3. razredu, najdemo astronomske vsebine pri tematskem sklopu »čas«, kjer se učenci seznanijo z razlikovanjem dneva in noči ter povežejo navidezno gibanje Sonca z dnevnim časom. Kot del neobveznih vsebin lahko spoznajo tudi gibanje Lune in Lunine mene. Pri predmetu naravoslovje in tehnika [4] v 4. in 5. razredu so vsebine iz astronomije zajete

predvsem v okviru tematskega sklopa »sile in gibanje«, kjer učenci obravnavajo silo teže in gibanje Zemlje. Kot del neobveznih vsebin lahko spoznajo tudi Lunin in Sončev mrk. V okviru tematskega sklopa »pojavi« učenci povežejo letne čase s kroženje Zemlje okrog Sonca. Oba predmeta, spoznavanje okolja ter naravoslovje in tehnika, poučujejo učitelji razrednega pouka. Zavedati se je potrebno, da si osnovnošolci v 1. in 2. vzgojno-izobraževalnem obdobju težko predstavljajo razsežnost vesolja, velike razdalje v vesolju in velikost planetov Osončja, zato je v razlago smiselno vključiti preproste modele in didaktične igre, kot je na primer »Sadna kupa Osončje«, predstavljena v [5].

Po osnovnošolski vertikali naprej imajo učenci v 6. in 7. razredu predmet naravoslovje [6], pri katerem pa ni učnih ciljev, ki bi bili neposredno povezani z astronomijo. Učenci sicer spoznajo lastnosti svetlobne energije in svetlobe ter eksperimentirajo z lečami. Učni cilji, povezani z vsebinami iz astronomije, so prisotni tudi v učnem načrtu za geografijo v 6. razredu. Učenci obravnavajo Zemljo, njeno obliko in zgradbo, vrtenje Zemlje okrog svoje osi in kroženje Zemlje okrog Sonca.

Največ vsebin, vezanih na astronomijo, je po pričakovanju v učnem načrtu za fiziko (8. in 9. razred), največ v tematskem sklopu »vesolje«, ki je razdeljen na tri vsebinske sklope: »Osončje«, »zvezde« in »vesolje«. [7] Učenci spoznajo nebesna telesa (zvezde, planete, satelite, komete, meteorje, ozvezdja, galaksije), obravnavajo gibanje planetov okoli Sonca, spoznajo, da so zvezde različno oddaljene in sijajo v različnih barvah, spoznajo orientacijo na nebu in uporabo zvezdne karte, s pomočjo katere se orientirajo na nebu. Prav tako spoznajo zgodovinski razvoj astronomije skozi delo pomembnih astronomov (Ptolemaj, Kopernik, Galilejo, Kepler, Newton ...). Veliko ciljev iz drugih tematskih sklopov se prav tako navezuje na astronomijo, na primer v tematskem sklopu »uvod v fiziko« je učni cilj »učenci razložijo svetlobno leto«

obvezen, učni cilj »učenci v virih poiščejo razsežnosti v vesolju« pa izbiren. Učenci v okviru tematskega sklopa »svetloba« obravnavajo tudi preslikave z lečami in spoznajo delovanje nekaterih optičnih naprav. Kot didaktično priporočilo so v učnem načrtu za obravnavo tematskega sklopa »vesolje« predvidene 4 ure, kar glede na število vseh ur pri predmetu fizika (skupaj v 8. in 9. razredu 134 ur) predstavlja 3 %. Učitelj lahko seveda po želji nameni posameznemu tematskemu sklopu več ur, prav tako niso vse ure razporejene. Kljub temu menimo, da bi bilo delež ur, predvidenih za obravnavo vsebin iz astronomije pri predmetu fizika, smiselno povečati, še posebej zaradi izkazanega zanimanja s strani učencev. Priložnost vidimo tudi v medpredmetnem povezovanju. [8] Pri predmetu tehnika in tehnologija lahko učenci izdelajo preprost sekstant [9], katerega potem preizkusijo v okviru predmetov fizika, matematika ali astronomija.

Izbirni predmeti

Učenci, ki jih astronomija posebej zanima, imajo možnost izbire treh enoletnih izbirnih predmetov: *astronomija – Sonce, Luna in Zemlja; astronomija – zvezde in vesolje* ter *astronomija – daljnogledi in planeti*. [10]

V okviru predmeta astronomija – Sonce, Luna in Zemlja učenci spoznajo vsebine o Soncu kot viru svetlobe, obliki in reliefu nebesnih teles, oddaljenosti nebesnih teles in razmerjih med velikostmi Sonca, Lune, Zemlje, heliocentričnem modelu, pogledu iz Zemlje in vesolja ter posledicah kroženja in vrtenja Zemlje.

Predmet astronomija – daljnogledi in planeti obravnava lastnosti svetlobe, projekcijo predmetov na zaslon, opazovanje predmetov z lupo, koncept daljnogleda, kroženje planetov okrog Sonca, pogled na Osončje iz vesolja, umetne satelite in polete v vesolje, dotakne se tudi planetologije.

Vsebine predmeta astronomija – zvezde in vesolje zajemajo oddaljenost zvezd, metodo paralakse,

opazovanje gruč zvezd, Rimske ceste, predstavo o sestavi in razsežnosti vesolja ter vesolje kot celoto. Vsak predmet obsega 35 ur in predvideva tudi poskuse in opazovanja. Slednje vodi v materialne pogoje za izvedbo predmeta, in sicer mora šola razpolagati z nekaj dvogledi, astronomskim daljnogledom, kamero obskuro, fotografskim aparatom ipd. Predmet lahko izvajajo diplomirani fiziki, matematiki in inženirji fizike, pri čemer je zahtevan 16-urni seminar v okviru stalnega strokovnega spopolnjevanja za vsak sklop. V pomoč je tudi delovni učbenik za strokovno izpopolnjevanje učiteljev. [11] Rezultati raziskave [12] z učitelji in ravnatelji osnovnih šol, na katerih izvajajo izbirni predmet astronomija, kažejo na pozitiven učinek izvedbe predmeta na drugih naravoslovnih področjih. Učenci so bolj motivirani in kažejo več razumevanja pri pouku fizike. Učitelji sicer izpostavljajo težavo izvedbe opazovanj, ki so odvisna od vremena, lokacije šole in materialne opremljenosti.

ASTRONOMSKE VSEBINE V SREDNJI ŠOLI

Na sekundarni stopnji izobraževanja se osredotočimo na program splošne gimnazije, kjer se dijaki z vsebinami iz astronomije v največji meri seznanijo v okviru pouka fizike. Od šolskega leta 2015/2016 naprej imajo dijaki programa splošne in strokovne gimnazije možnost izbire izbirnega predmeta astronomija.

Obvezni predmeti

Iz učnega načrta predmeta fizika [13] za program splošna gimnazija lahko razberemo, da se vsebine, vezane na astronomijo, neposredno obravnavajo v okviru tematskega sklopa »astronomija«, ki mu namenjajo 3 ure. Pričakovani obvezni učni cilji, ki jih dijaki dosežejo, so: 1) opisati sončni sistem, njegovo lego in velikost v galaksiji, 2) opisati procese, ki potekajo na Soncu, in 3) opisati glavne objekte v

vesolju (planete, satelite, zvezde, zvezdne kopice, galaksije). Pod izbirnimi cilji dijaki opišejo spektralne tipe zvezd, življenje zvezd, galaksij in vesolja, pojasnijo meritve oddaljenih zvezd s paralakso, izračunajo maso Sonca in temperaturo površine Sonca s podatki astronomskih opazovanj, opišejo vidni del spektra Sončevega sevanja, pojasnijo pomen in obstoj absorpcijskih spektralnih črt ter opišejo zvezo med barvo zvezd in njihovo temperaturo. Učni načrt za fiziko zajema tudi izbirni tematski sklop »teorija relativnosti«, ki vključuje obravnavo meritev svetlobne hitrosti, relativistično podaljšanje časa in skrčenje dolžin, četrverce gibalne količine in polno energijo relativističnih delcev. V kolikor učitelj nameni vsebinam iz astronomije le priporočene tri ure, slednje predstavlja le 1,4 % vseh ur predmeta fizika.

Nekatere vsebine, ki so posredno povezane z astronomijo, se obravnavajo tudi pri predmetu geografija (v okviru tematskega sklopa »nastanek in zgradba Zemlje«).

Izbirni predmet astronomija

Majhno število ur, namenjenih astronomiji v okviru predmeta fizika v zadnjih letih, lahko opravičimo z dejstvom, da imajo zainteresirani dijaki možnost izbrati izbirni predmet astronomija v obsegu 70 ur. [2] Vendar pa je pomembno poudariti, da vse šole zaradi kadrovskih ali materialnih pogojev nimajo možnosti izvedbe predmeta. Materialni pogoj za izvedbo je specializirana fizikalna učilnica z naslednjo opremo: osebni elektronski GPS planetarij, dvogledi, solarni teleskop, očala za opazovanje Sonca, vrtljive zvezdne karte, teleskop. Za eksperimentalni del je predvidenih 10 ur. Dijaki pri predmetu obravnavajo naslednje tematske sklope: 1) pregled zgodovine astronomije, 2) nebesna sfera, 3) dinamika, 4) astronomski opazovalni instrumenti, 5) osončje, 6) zvezde, 7) razvoj zvezd in planetarnih sistemov, 8) nezvezdna vesoljska telesa, 9) galaksije,

10) kozmologija – vesolje kot celota in
11) raziskovanje in izraba vesolja.

ZAKLJUČEK

Na podlagi sistematičnega pregleda učnih načrtov lahko potrdimo, da se vsebinam iz astronomije še zmeraj namenja malo pozornosti. Vsebine so razporejene po vertikali med različne predmete, kar pomeni, da jih poučujejo različni učitelji (učitelji razrednega pouka, fizike, matematike, geografije ...). Po drugi strani astronomija od učitelja zahteva poglobljeno znanje in zajema različne naravoslovne vsebine. [14] Hkrati smo opazili, da učni načrti običajno temeljijo na razlagi posameznih dejstev, pri čemer so procesi, ki so privedli do določenih spoznanj, in problemi, ki smo jih z določenimi spoznanji odpravili, manj poudarjeni. [15] Še več, študija [16] je pokazala, da učitelji, ki poučujejo vsebine iz astronomije, dobro poznajo podatke in osnovne koncepte astronomskih vsebin, vendar jim primanjkuje znanja v smislu vzročno-posledičnega povezovanja posameznih astronomskih vsebin oziroma dejstev.

Glede na primanjkljaj vsebin, vezanih na astronomijo, v formalnem izobraževanju in večji izkazan interes za to področje tako med učenci kot tudi med dijaki menimo, da je smiselno ponujati astronomske vsebine v okviru neformalnega izobraževanja, na primer organizacija dni dejavnosti, sodelovanja na tekmovanjih iz astronomije, mentorstvo pri mladinskih raziskovalnih nalogah, ustanovitev astronomskega krožka, sodelovanja na astronomskih taborih. [17] Posledično lahko s tem ohranimo in vzpodbudimo radovednost učečih ne le za astronomijo, ampak za naravoslovne vsebine v splošnem.

LITERATURA

[1] Gomboc, A. (2010). *Rezultati ankete Astronomija v šolah, izvedene v okviru projekta Ugotavljanje prisotnosti astronomskih tem in uporaba teleskopov v šolah* (Raziskovalno poročilo). Ljubljana: Pedagoški inštitut.

[2] Predmetna komisija Snój, R. et al. (2012). *Učni načrt. Gimnazija, strokovna gimnazija. Izbirni predmet. Astronomija*. Ljubljana: Ministrstvo za izobraževanje, znanost, kulturo in šport; Zavod RS za šolstvo.

[3] Predmetna komisija Kolar, M. et al. (2011). *Učni načrt. Program Osnovna šola. Spoznavanje okolja*. Ljubljana: Ministrstvo za izobraževanje, znanost, kulturo in šport; Zavod RS za šolstvo.

[4] Predmetna komisija Vodopivec, I. et al. (2011). *Učni načrt. Program Osnovna šola. Naravoslovje in tehnika*. Ljubljana: Ministrstvo za izobraževanje, znanost, kulturo in šport; Zavod RS za šolstvo.

[5] Repnik, R., Osrajnik, D. Model planetnega sistema. Razvoj naravoslovnih kompetenc: izbrana gradiva projekta: strokovna monografija. Maribor: FNM, 2011.

[6] Predmetna komisija Skvarč, M. et al. (2011). *Učni načrt. Program Osnovna šola. Naravoslovje*. Ljubljana: Ministrstvo za izobraževanje, znanost, kulturo in šport; Zavod RS za šolstvo.

[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] Antos, A.J., Repnik, R. Astronomy and physical education lesson plan: a multidisciplinary approach for primary education: X. mednarodna znanstvena konferenca Prehrana, gibanje in zdravje, RIS Rakičan, 2019.

[9] Repnik, R., Grubelnik, V., Osrajnik, D., Brecl, J. Izdelava in uporaba preprostega sekstanta. *Astronomi v Kmici : enajstič*. AD Kmica: ZOTKS, 2008.

[10] 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.

[11] Grubelnik, V., Repnik, R. Priprava učitelja na pouk astronomije v osnovni šoli : delovni učbenik za

strokovno izpopolnjevanje učiteljev. Maribor: FNM, 2009.

[12] Ribič, A. Primerjava eksperimentalnega dela v učilnici in opazovanj v naravi pri poučevanju astronomskih vsebin v interesni dejavnosti osnovne šole: magistrsko delo. Maribor: 2016.

<https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=58284>.

[13] Planinšič, G., et al. (2015). *Učni načrt. Program srednja šola. Fizika: gimnazija : splošna gimnazija*. Ljubljana: Ministrstvo za izobraževanje, znanost, kulturo in šport; Zavod RS za šolstvo, 2. pop. Izd.

[14] Tascan, M., Unal, I. A research for basic astronomy knowledge level of science teachers. *Oxid. Commun.* 2015, 38(1A), 520-529.

[15] Osrajnik, D., Repnik, R., Klemenčič, E., Grubelnik, V. Cognitive processes and astronomy

education - learning about the historical development of astronomy and astronautics. *4th International Scientific Conference on Philosophy of Mind and Cognitive Modelling in Education: conference abstract proceedings: September 2020, Maribor, Slovenia.*

<https://en.calameo.com/read/005830753d9be1e874c21>

[16] Besson, U. Some features of causal reasoning: common sense and physics training. *Res. Sci. Technol. Educ.* 2010, 22(1), 113-124.

[17] Jagodič, U. Didaktična analiza E-učbenika astronomskih vsebin pri pouku fizike v osnovni šoli: diplomsko delo. Maribor, 2013.

<https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=40930>.

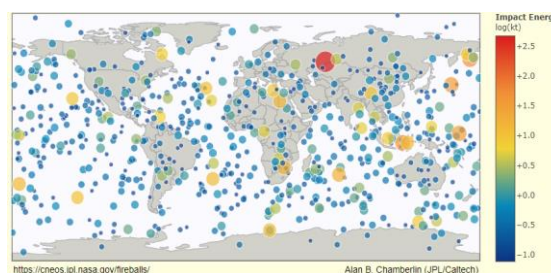
TRKI ASTEROIDOV Z ZEMLJO

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

UVOD

V filmski industriji je tematika znanstvenofantastičnih filmov pogosto povezana z vesoljem, ena od bolj priljubljenih idej pa se poigrava tudi s trkom asteroida z Zemljo, ki bi vodil v apokaliptične razmere. Pred približno 66 milijoni let je trk asteroida, katerega premer je ocenjen na 10–15 km, povzročil izumrtje dinozavrov in 75 % ostalih živalskih vrst. [1] Slednje dodatno podpira idejo, da asteroidi predstavljajo realno grožnjo našemu planetu in človeštvu.

V Zemljino atmosfero je v njeni zgodovini vstopilo že veliko asteroidov različnih velikosti (slika 1). Z večanjem velikosti asteroida se večja sproščena energija, a manjša verjetnost za vstop v ozračje in trk s površino. Leta 2013 je zabeležen zadnji trk asteroida z Zemljo, ki je vodil v večje posledice. Asteroid s premerom okrog 20 m in maso 10.000 ton je vstopil v ozračje s hitrostjo okrog 54.000 km/h. Eksplozija nad ruskim mestom Čeljabinsk je bila ekvivalentna eksploziji 500.000 ton TNT-ja. [2] Po oceni znanstvenikov pričakujemo trke asteroidov te velikosti vsakih 100 let. V ta namen se namenja veliko finančnih sredstev v razvoj sistema za obrambo pred trki asteroida z Zemljo. Sistemi temeljijo na preusmerjanju potencialno nevarnega asteroida, za kar pa je ključno najprej delektirati asteroida in nato natančno razumeti in določiti tire gibanja v prihodnosti.

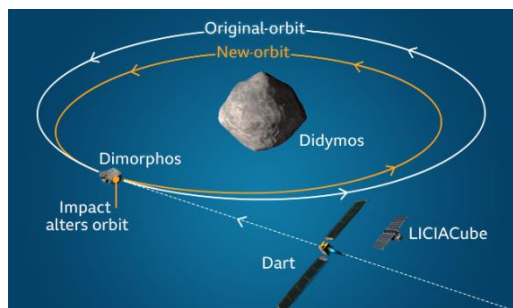


Slika 1: Zemljevid prikazuje lokacije zabeleženih vstopov asteroidov v ozračje in trkov ter ocenjeno sproščeno energijo od leta 1988 do leta 2021. [3]

V prispevku bomo predstavili aktualno misijo DART (iz ang. »double asteroid redirection test«), katere namen je preizkusiti sistem za preusmerjanje asteroida, da v prihodnosti ne bi vstopil v Zemljino atmosfero ali trčil z Zemljo. Nato bomo ocenili, v kolikšni meri lahko s trkom spremenimo tir gibanja.

MISIJA DART

24. novembra 2021 smo lahko spremljali vzlet rakete Falcon 9 iz NASINE baze v Kaliforniji. Raketa nosi plovilo DART, katerega naloga je trčiti v asteroid in spremeniti njegov tir gibanja (slika 2). Izbrana tarča je binarni asteroidni sistem, in sicer asteroid Dimorphos s premerom 163 m, ki kroži okrog asteroida Didymos in je od Zemlje oddaljen 11 milijonov kilometrov. Pomembno vlogo pri misiji ima avtonomni navigacijski sistem plovila DART, ki mora identificirati oba asteroida in usmeriti plovilo proti manjšemu. [4]



Slika 2: Prikaz binarnega asteroidnega sistema, plovila DART in načrtovane spremembe orbite [5]

Nekaj dni pred trkom, ki se bo po načrtih zgodil v septembru 2022, se bo iz plovila DART ločila LICIA Cube (iz ang. »Light Italian Cubesat for Imaging of Asteroids«), ki bo posnela dogajanje med trkom. Plovilo DART bo nato s hitrostjo 6,6 km/s trčilo v Dimorphos. Če bo trk plovila DART z asteroidom uspešen, bo prišlo do spremembe v orbiti, ki bo merljiva. Dogodek bo imel zgodovinski pomen, saj bo to prva s strani človeštva spremenjena orbita nebesnega telesa. Posledice trka bo preiskala misija HERA, ki jo vodi Evropska vesoljska agencija. Vzlet rakete je predviden leta 2024, binarni asteroidni sistem pa bo HERA dosegla leta 2026. [6]

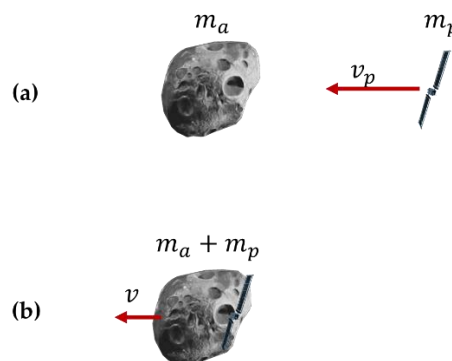
TRK Z ASTEROIDOM

Natančna obravnava trka plovila z asteroidom Dimorphos je zapletena, saj moramo pri spremembi gibalne količine upoštevati spremembo vrtilne količine, učinkovitost trka in energijske izgube. Razviti so številni numerični modeli in simulacije, ki napovedujejo dogajanje med trkom in po njem.

Poglejmo si poenostavljeno obravnavo trka za opazovalca na asteroidu. Predpostavimo, da se plovilo z maso $m_p = 600$ kg in s hitrostjo $v_p = 6,6$ km/s giblje proti asteroidu z $m_a = 10^{11}$ kg (slika 3a). Gibalna količina pred trkom je:

$$G_{pred} = G_{plovilo} + G_{asteroid}, \quad (1a)$$

$$G_{pred} = m_p v_p + 0. \quad (1b)$$



Slika 3. Sistem (a) pred trkom in (b) po njem

Pri trku se skupna gibalna količina ohrani, plovilo in asteroid pa se po trku gibljeta z novo, neznano hitrostjo v (slika 3b). Gibalno količino sistema po trku izračunamo kot:

$$G_{po} = (m_p + m_a)v. \quad (2)$$

Če združimo enačbi (1b) in (2), dobimo izraz za neznano hitrost:

$$v = \frac{m_p v_p}{(m_p + m_a)}. \quad (3)$$

Iz podatkov izračunamo, da je hitrost sistema po trku $4 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Vrnimo se k binarnemu asteroidu Dimorphos, ki obkroži Didymos v času 11 ur in 55 minut. Če privzamemo krožni tir s polmerom 1,19 km, je obodna hitrost kroženja 0,627 km/h. Trk s plovilom bi po oceni spremenil obodno hitrost za 0,02 %. Pričakuje se, da se bo zaradi trka orbita spremenila za 1 %, kar bodo lahko preverili z merjenjem časa enega obhoda Dimorphosa okrog Didymosa. Če je sedaj perioda 11,90 h, je po trku pričakovana perioda med 11,75 h in 11,33 h.

Na enak način bi lahko ocenili spremembo hitrosti gibanja Zemlje ob trku asteroida. Z vidika opazovalca na Zemlji bi določili hitrost po trku po enačbi (3):

$$v = \frac{m_a v_a}{(M + m_a)}, \quad (4)$$

kjer je $M = 5,98 \cdot 10^{24}$ kg masa Zemlje in v_a hitrost gibanja asteroida. Če privzamemo enako hitrost asteroida, kot jo bo imelo plovilo DART pri trku ($v_a = v_p = 6,6$ km/s), izračunamo hitrost $1,1 \cdot 10^{-11}$ m/s, kar je 3,48 mm/leto.

ZAKLJUČEK

Vstop asteroidov v Zemljino ozračje ima res lahko katastrofalne posledice za življenje na Zemlji. Na podlagi izračunov lahko sklepamo, da večjo nevarnost za Zemljo predstavlja energija, sproščena pri vstopu v ozračje in ob trku. Obramba planeta pred trki asteroida je zato upravičena, a še v fazi razvoja. Trenutna misija DART in načrtovana misija HERA bosta pokazali, ali je trenutno razvit sistem učinkovit za obrambo pred asteroidi in kaj je možno še nadgraditi.

LITERATURA

[1] Osterloff, E. *How an asteroid ended the age of the dinosaurs*, National History museum. London.

Dostop: November, 2021: <https://www.nhm.ac.uk/discover/how-an-asteroid-caused-extinction-of-dinosaurs.html>
[2] Howell, E. *Chelyabinsk Meteor: A Wake-Up Call for Earth*. Space.com. Dostop: November, 2021: <https://www.space.com/33623-chelyabinsk-meteor-wake-up-call-for-earth.html>
[3] Chamberlin, A. B. *Fireball and Bolide Data*. CNEOS. Dostop: December, 2021: <https://cneos.jpl.nasa.gov/fireballs/>
[4] Talbert, T. *Planetary Defense Coordination Office*. National Aeronautics and Space Administration. Dostop: December, 2021: <https://www.nasa.gov/planetarydefense/dart>
[5] Dobrijevic, D. *DART asteroid mission: NASA's first planetary defense spacecraft*. Space.com. Dostop: December, 2021: <https://www.space.com/dart-asteroid-mission>
[6] The European Space Agency. *HERA. ESA's planetary defence mission*. Dostop: December, 2021: https://www.esa.int/Safety_Security/Hera

PREGLED SONČNEGA SISTEMA

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

Uvod

Naš sončni sistem ob Soncu sestavlja osem planetov in še veliko manjših nebesnih teles. Do leta 2006 je bil med planeti tudi Pluton s svojo luno Haron; ker pa obstoji možnost, da bi v osončju imeli podobna telesa, ki pa so tako daleč, da jih še nismo odkrili, je po novi definiciji za planete Pluton ta status izgubil. Planet je namreč nebesno telo, ki se giblje po svoji tirnici okoli zvezde in ne proizvaja energije z

zlivanjem jeder. Biti mora dovolj masivno, da ga lahko gravitacija oblikuje v krogelno telo in da nase pritegne drobna telesa v okolici svoje tirnice. Planeti naj bi nastali iz meglic v okolici zvezde. Te meglice so se zaradi gravitacije sesedale do oblike planeta. V nadaljevanju si bomo ogledali Sonce in osem planetov našega osončja, bežno pa se dotaknili tudi Plutona.

Sončni sistem

Naš sončni sistem sestavljajo Sonce, planeti in veliko manjših astronomskih teles. Planete v našem osončju se glede na oddaljenost od Sonca deli na notranje (štirje najbližji Soncu: Merkur, Venera, Zemlja in Mars) in zunanje (Jupiter, Saturn, Uran in Neptun).

Notranje planete imenujemo tudi zemeljski planeti, ker je njihova zgradba podobna zgradbi Zemlje. Notranji planeti so manjši od zunanjih, imajo trdno skorjo in nimajo obročev.

Zunanje planete imenujemo planeti orjaki, ker so vsi veliko večji od notranjih planetov in imajo večino vse mase, ki kroži okrog Sonca.

Med notranjimi in zunanjimi planeti je asteroidni pas z veliko majhnimi nebesnimi telesi. Največji med asteroidi je Ceres s premerom malo manj kot 1000 km, zato ga uvrščajo med pritlikave planete. Razdalje v našem sončnem sistemu običajno izražamo z razdaljo med Soncem in Zemljo, ki jo imenujemo ena astronomska enota (1 a.e.) in znaša $3 \cdot 10^8$ m (300.000 km). To je razdalja, ki jo svetloba prepotuje v 500 s ali malo več kot osmih minutah. Za lažjo predstavbo bomo tudi nekatere druge količine, kot sta npr. masa, polmer in podobno, primerjali z vrednostmi za Zemljo. Masa Zemlje je približno $6 \cdot 10^{24}$ kg.

Sonce

Sonce je zvezda v središču našega sončnega sistema. Je osnovni vir energije, ki na Soncu nastaja z zlivanjem helija v vodik. V Soncu je večina vse mase našega sončnega sistema (99,8 %). Masa Sonca je približno 330.000-krat večja od mase Zemlje. Polmer Sonca je 109-krat večji od polmera Zemlje, gostota Sonca pa je 4-krat manjša od gostote Zemlje. Temperatura na površini Sonca je približno 5.800 stopinj Kelvina oz. 5.500 stopinj Celzija. Težnost na površini Sonca je zaradi njegove velike mase kar 28-krat večja kot na površini Zemlje.

Planeti

V nadaljevanju si bomo ogledali osnovne značilnosti planetov v našem osončju. Našteli jih bomo po vrsti od Sonca navzven, edino pri Zemlji bomo naredili izjemo, ker bomo večino podatkov primerjali s podatki za Zemljo. Zemlja je tudi edini planet, na katerem je življenje, ni pa izključeno, da v preteklosti ni bilo življenja na še katerem planetu; največ raziskav glede tega je usmerjenih proti Marsu.

Zemlja

Zemlja je tretji planet od Sonca. Polmer Zemlje je približno 6.400 km, gostota pa 5.500 kgm^{-3} , kar je največja gostota izmed vseh planetov v osončju. Težni pospešek na površini Zemlje je 10 ms^{-2} , temperatura pa med 250 K in 300 K. Za pot okrog Sonca potrebuje eno leto, okrog lastne osi pa se zavrti v enem dnevu.

Merkur

Merkur je najbližje Soncu, zato je na njem tudi zelo visoka temperatura, ki se giblje od 400 K do 700 K (stopinje Celzija dobimo tako, da od stopinj Kelvina odštejemo 273). Od Sonca je oddaljen približno eno tretjino astronomske enote (0,39 a.e.), njegova masa pa je približno 0,06 mase Zemlje. Polmer je približno 0,4 polmera Zemlje. Gostota je nekoliko manjša od Zemljine (0,98 povprečne gostote Zemlje), težnost pa je približno 0,4 zemeljskega težnega pospeška. Sonce obkroži v četrto leta, ima pa tisočkrat redkejšo atmosfero od Zemlje.

Venera

Venera je Zemlji najbližji planet, od Sonca pa je oddaljena približno dve tretjini astronomske enote (0,72 a.e.). Je malo manjša od Zemlje z maso 0,8 Zemljine mase in polmerom, ki znaša 0,95 Zemljinega polmera. Gostota je 0,95 Zemljine gostote, težni pospešek pa znaša 0,9 Zemljinega. Temperatura na Veneri je do 770 K. Sonce obkroži v 0,7 leta, se pa zelo počasi vrti okrog svoje osi, saj dan

na Veneri traja 1,6 leta. Ima atmosfero. Njena značilnost pa je, da se kot edini izmed planetov okrog svoje osi vrtil v nasprotni smeri v primerjavi z vsemi ostalimi

Mars

Mars je zadnji izmed notranjih planetov in je od Sonca oddaljen 1,5 a.e. Ima za polovico manjši polmer od Zemlje in le desetino Zemljine mase. Gostota je 0,7 Zemljine gostote, manjši je tudi težni pospešek, ki znaša 0,4 zemeljskega težnega pospeška. Najvišje temperature so podobne kot na Zemlji, ker pa nima atmosfere (stokrat redkejša kot na Zemlji), zelo nihajo in se gibljejo od 100 K do 700 K. Za pot okrog Sonca potrebuje 1,9 leta. Čeprav je Mars od Zemlje bolj oddaljen kot Venera, so prve človeške odprave na planete usmerjene prav proti Marsu, saj na Veneri ni primernih življenjskih pogojev (agresivna atmosfera in visoke temperature). Mars ima dva naravna satelita, to sta Deimos in Fobos.

Jupiter

Jupiter je prvi od zunanjih planetov in je od Sonca oddaljen približno 5 a.e. Njegova masa je 320-krat večja od Zemljine, polmer pa 11-krat večji. Gostota je le četrtina Zemljine, težni pospešek pa 2,5-krat večji kot pri nas. Temperature so zaradi večje oddaljenosti nižje in se gibljejo med 110 K in 150 K. Prav njegove 4 največje lune (Io, Evropa, Ganimed in Kalisto) so zelo znamenite, saj jih je kot prvi opazoval Galileo Galilei s svojim teleskopom. To je bilo odkritje edinih satelitov, z izjemo naše Lune. Skupaj ima še 59 drugih lun, ki pa so zelo majhne. Za pot okrog Sonca potrebuje 12 let, ima pa močno magnetno polje.

Saturn

Saturn zaradi njegovih obročev, lepo vidnih z Zemlje, mnogi smatrajo za najlepši planet. Od Sonca je oddaljen 10 a.e. Ima skoraj 10-krat večji polmer in 100-krat večjo maso od Zemlje. Ker je plinast, ima

10-krat manjšo gostoto, težnost pa približno enako, kot je pri nas. Temperatura je približno 130 K (ker nima trdne površine, je temperatura odvisna od tega, kje na planetu jo merimo; običajno se navaja tam, kjer je tlak 1 bar, kot na zemeljski površini). Za pot okrog Sonca potrebuje 30 let. Skupaj ima 34 naravnih satelitov, med njimi tudi luno Titan, ki je edina luna našega osončja z atmosfero.

Uran

Uran je od Sonca oddaljen 19 a.e. Ima 4-krat večji polmer od Zemlje in 15-krat večjo maso. Gostota je približno četrtina Zemljine, težnost pa podobna kot pri nas (0,9 zemeljske težnosti). Temperatura je približno 76 K. Za pot okrog Sonca potrebuje 84 let. Ima 27 satelitov. Njegova tirnica je nagnjena za 90 stopinj in se okrog Sonca kotali.

Neptun

Neptun je od Sonca najbolj oddaljen planet (30 a.e.). Po velikosti je primerljiv z Uranom, ima tudi približno štirikrat večji polmer od Zemlje, nekoliko večjo gostoto od Urana, 0,3-kratnik gostote Zemlje, zato pa tudi nekoliko večjo maso od Urana, 17-kratnik Zemljine mase. Težnost na površini Neptuna je 10-krat manjša kot na površini Zemlje, temperatura na površini pa je nizka, 59 K. Za svojo pot okrog Sonca potrebuje 164 let. Ima atmosfero, ki vsebuje metan, in 13 satelitov.

Zaključek

V tabeli 1 lahko vidimo zbrane osnovne fizikalne lastnosti planetov v našem sončnem sistemu. Vidimo, da so notranji planeti veliko manjši od zunanjih, imajo pa večjo gostoto od zunanjih planetov.

Najmanjši planet je Merkur, največji pa Uran, in sicer tako po velikosti polmera kakor tudi po masi.

	ODALJ.	MASA	POLMER	GOSTOTA	TEŽNOST	TEMP.
MERKUR	0,39	0,056	0,38	0,98	0,38	100–700
VENERA	0,72	0,815	0,95	0,95	0,90	230–770
ZEMLJA	1	1	1	1	1	250–300
MARS	1,51	0,11	0,53	0,71	0,38	130–300
JUPITER	5,2	318	11,2	0,24	2,54	110–150
SATURN	9,5	95	9,45	0,13	1,07	130
URAN	19	14,6	4,01	0,23	0,90	76
NEPTUN	30	17,2	3,96	0,30	1,14	59

Tabela 1: Planeti našega osončja z osnovnimi fizikalnimi lastnostmi, izraženimi glede na vrednosti za Zemljo (razen temperature, ki je izražena v stopinjah kelvina)

Enako je tudi glede težnosti na površini planeta, najmanjša je na Merkurju. Zemlja ima izmed vseh planetov največjo gostoto, najmanjšo ima Saturn. Najhladneje je na najbolj oddaljenem Neptunu, ni pa najbolj vroče na Merkurju, ki je Soncu najbližji, temveč na Veneri, katere atmosfera ima učinek tople grede in se zato površina dodatno segreje.

Literatura

- [1] M. Prosen, *Leksikon astronomije*, Mladinska knjiga 2004.
- [2] T. Jackson, *Astronomija*, Tehniška založba Slovenije, 2019.
- [3] S. Mitton, J. Mitton, *Astronomija*, Didakta, 1994.

Urednik:

pom. akad. dr. Mitja Slavinec

Strokovni pregled:

pom. akad. dr. Milan Svetec

pom. akad. dr. Mitja Slavinec

Darko Kolar

Oblikovanje in prelom:

Sanja Strupar

Jezikovni pregled:

Sanja Strupar

Tisk:

AIP Praprotnik

Naklada:

250 izvodov

Založnik:

AD Kmica in ZOTKS, Murska Sobota, 2021

zanju: 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: štiriindvajsetič / [urednik Mitja Slavinec]. - Murska Sobota : AD Kmica: ZOTKS, 2021

ISBN 978-961-95235-0-6 (AD Kmica)

I. Slavinec, Mitja

COBISS.SI-ID 42836739