

1

Fizika v šoli

2017

Letnik 22

Poštšina plačana pri pošti 1102 Ljubljana

STROKOVNI PRISPEVKI:

**Gaia ali kako daleč
so zvezde**

**O gravitaciji teles
nepravilnih oblik**

DIDAKTIČNI PRISPEVKI:

Naravoslovni dan na temo astronomije
Astronomija, nov gimnazijski predmet
Ohlajanje



60
let
Zavod
Republike
Slovenije
za šolstvo



KAZALO

Jaka Banko
Uvodnik

1

STROKOVNA PRISPEVKA

Barbara Japelj Pavešič

Kaj nam o znanju fizike med slovenskimi osmošolci in osmošolkami lahko povedo naloge iz Mednarodne raziskave trendov znanja matematike in naravoslovja, TIMSS?

2

Tomaž Zwitter

Gaia ali kako daleč so zvezde

11

Peter Jevšenak

O gravitaciji teles nepravilnih oblik

16

DIDAKTIČNI PRISPEVKI

Tatjana Gulič

Naravoslovni dan na temo astronomije

22

Rasto Snoj

Astronomija, nov gimnazijski predmet

30

Bor Gregorčič

Odkrivanje Keplerjevih zakonov s pomočjo interaktivne table in programa *Algodoo*

41

Tine Golež

Ohlajanje

48

UPODOBITVE V FIZIKI

Mojca Čepič

Energija in delo

55

ZANIMIVOSTI

Goran Bezjak

Astronomija v žepu

60

Milenko Stiplovšek

Vse zvezde

63

Aleš Mohorič

Nova knjiga: Mala zgodovina Dopplerjevega pojava

64

Nova knjiga: Fizika 1

65



PACS 01.40. -d, 01.50. -i, 01.55. +b

ISSN 1318-6388

FIZIKA V ŠOLI
letnik XXII, številka 1, 2017

Izdajatelj in založnik:

Zavod RS za šolstvo

Predstavniki:

dr. Vinko Logaj

Odgovorni urednik:

Jaka Banko

Uredniški odbor:

dr. Vladimir Grubelnik, dr. Tomaž Kranjc,

dr. Marko Marhl, Milenko Stiplovesek,

dr. Barbara Šetina Batič, dr. Ivo Verovnik,

dr. Mojca Čepič, Goran Bezjak, Tatjana Gulič

Jezikovni pregled:

Andraž Polončič Ruparčič

Prevod povzetkov

Ensitra prevajanje, Brigita Vogrinec, s. p.

Urednica založbe:

Andreja Nagode

Oblikovanje:

Simon Kajtna, akad. slik.

Računalniški prelom in tisk:

Design Demšar d. o. o., Present d. o. o.

Naklada: 400 izvodov

Prispevke pošljite na naslov: Zavod RS za šolstvo,
Uredništvo revije Fizika v šoli, Poljanska c. 28,
1000 Ljubljana, e-naslov: fizikavsoli@guest.arnes.si.
Naročila: Zavod RS za šolstvo – Založba,
Poljanska c. 28, 1000 Ljubljana, faks: 01/30 05 199,
e-naslov: zalozba@zrss.si
Letna naročnina (2 številki): 22,00 € za šole
in ustanove, 16,50 € za fizične osebe.
Cena posamezne številke v prosti prodaji je 13,00 €.

Revija je vpisana v razvid medijev, ki ga vodi
Ministrstvo za kulturo pod zaporedno številko 570.

© Zavod Republike Slovenije za šolstvo, 2017
Vse pravice pridržane. Brez založnikovega pisnega
dovoljenja ni dovoljeno nobenega dela te revije na
kakršenkoli način reproducirati, kopirati ali kako
drugače razširjati. Ta prepoved se nanaša tako na
mehanske oblike reprodukcije (fotokopiranje) kot
na elektronske (snemanje ali prepisovanje na
kakršenkoli pomnilniški medij).

Poštnina plačana pri pošti 1102 Ljubljana.

Spoštovane bralke in bralci Fizike v šoli!

Pred vami je tematska številka revije Fizika v šoli. Rdeča nit večine prispevkov je astronomija. V tej in naslednji številki boste našli tako teoretične prispevke kot tudi izkušnje učiteljev s poučevanjem astronomskih vsebin.

Z astronomijo je povezanih mnogo zanimivih vprašanj, na katera znanost še vedno išče odgovore. Veliko je tudi zanimivih vprašanj, na katera pogosto niti ne iščemo odgovorov, saj se nam ti zdijo samoumevni ali pa že vprašanje opredelimo kot fizikalni nesmisel. Naj navedem samo dve vprašanji, na kateri smo z vzgojiteljicami iskali odgovore v sklopu delavnic Ciciban fizik. Pregledovali smo mladinsko literaturo in se ustavili ob ilustraciji, na kateri Mali princ zre v nočno nebo. Na nebu je sijala velika zvezda. Verjamem, da bodo tudi naši mali principi in princeske v šolah presenečeni nad navidezno preprostim vprašanjem, »zakaj je nočno nebo temno ali zakaj pogosto rišemo zvezde ravno take, 'zvezdaste' oblike?« Na prvi pogled trivialni vprašanji, a odgovora nista preprosta. Pogost odgovor na prvo vprašanje je: »Nočno nebo je temno, ker smo na strani Zemlje, ki je obrnjena proč od Sonca.« Odgovor na drugo vprašanje pa je pogosto vezan na umetniško svobodo avtorja ilustracij.



Kljub navidezni logičnosti učitelji fizike z odgovoroma nismo popolnoma zadovoljni. Podnevi nas obkroža modro nebo, ki je posledica sipanja svetlobe v atmosferi. Brez atmosfere bi bilo nebo, kljub Soncu, tudi podnevi videti temno. Zakaj je torej vesolje videti temno? Vprašanje je staro in pri odgovarjanju nanj ni šlo vselej gladko. Že v 19. stoletju so se mnogi astronomi ukvarjali s tako imenovanim »paradoksom temnega nočnega neba«, saj so predpostavljali, da je vesolje neskončno in enakomerno posejano z neskončnim številom zvezd. Iz te predpostavke izhaja, da moramo v vsaki smeri, v katero gledamo, opaziti zvezdo, kar pomeni, da bi moralo biti nebo svetlo. Dognanja astronomije so ovrgla predpostavko o neskončnem statičnem vesolju. Danes znanstveniki ne dvomijo, da ima naše vesolje začetek in se še vedno širi (celo pospešeno). Posledica tega je, da svetloba zelo oddaljenih zvezd še ni dosegla Zemlje ter da je spekter oddaljenih zvezd premaknjen proti očem nevidni svetlobi. Torej vesolje v resnici ni temno, ali kot bi rekel Mali princ: kdor hoče videti, mora gledati z radijskim teleskopom.

Odgovor na vprašanje, zakaj rišemo zvezde s kraki, čeprav so okrogle, lahko razložimo z znanjem gimnazijske fizike. Tako jih rišemo, ker jih tako vidimo. Celo Hubblov teleskop jih »vidi« tako.

»Kraki« so posledica uklona svetlobe na nepravilnostih v strukturi očesne leče. Pri Hubblovem teleskopu pa je oblika zvezde posledica uklona svetlobe na štirih nosilcih sekundarnega zrcala.

Vesolje je neizčrpen vir nadvse zanimivih vprašanj, navdušujočih odgovorov in poučnih zgodb. V uredniškem odboru se skupaj z avtorji trudimo spisati podobno zanimivo in poučno zgodbo.

Želimo si, da nam jo s prispevki pomagate soustvarjati, tako bo tudi vaša.



Vir: NASA

Jaka Banko, odgovorni urednik

Jaka Banko

Kaj nam o znanju fizike med slovenskimi osmošolci in osmošolkami lahko povedo naloge iz Mednarodne raziskave trendov znanja matematike in naravoslovja, TIMSS?



dr. Barbara Japelj Pavešič
Pedagoški inštitut, Ljubljana

Povzetek

Mednarodna raziskava trendov znanja matematike in naravoslovja, TIMSS 2015, je znanje fizike izmerila z 52 nalogami za osmošolce. Skupaj z vsemi zbranimi mednarodnimi podatki raziskave so sedaj dostopne tudi karakteristike posameznih nalog iz raziskave. V prispevku prikazujemo primerjavo med dosežki slovenskih fantov in deklet pri reševanju različno zahtevnih fizikalnih nalog. V spodbudo učiteljem fizike za samostojno nadaljnje raziskovanje izsledkov raziskave navajamo še pregled in dostope do objav podatkov in rezultatov raziskave.

Ključne besede: Mednarodna raziskava trendov znanja matematike in naravoslovja, TIMSS 2015

What Can We Learn about the Knowledge of Physics among Slovenian Eighth Graders from the Tasks in the Trends in International Mathematics and Science Study, TIMSS?

Abstract

The Trends in International Mathematics and Science Study, TIMSS 2015, measured the knowledge of Physics with 52 tasks for eighth graders. Along with all of the collected international data, the characteristics of individual tasks in the study are now available. This paper compares the achievements of Slovenian boys and girls in solving Physics tasks of various difficulty. In order to encourage Physics teachers to conduct further independent research into the study's findings, it also gives an overview and links to the published survey data and results.

Keywords: Trends in International Mathematics and Science Study, TIMSS 2015

Novembra 2016 so bili objavljeni prvi rezultati zadnje raziskave TIMSS 2015 (Trends in International Mathematics and Science Study). Januarja 2017 so bile nato objavljene še mednarodne baze podatkov ter obsežna tehnična dokumentacija o nastajanju informacij, ki jih sporoča raziskava, ter navodila za uporabo podatkov. Del objavljenih izsledkov sedaj omogoča tudi natančnejše vsebinsko opazovanje reševanja posameznih nalog v vsaki državi in prepoznavanje znanja, ki so ga izkazale različne skupine učencev. V Sloveniji smo pri fiziki že zaznali razlike med uspešnostjo fantov in deklet v osmem razredu (12 točk ali 2 % glede na skupni dosežek), zato se v tem prispevku posvečamo pregledu in prikazom razlik v znanju med njimi hkrati z vsebinskimi interpretacijami fizikalnih nalog iz raziskave.

Fizika je bila eno od vsebinskih področij merjenja znanja naravoslovja med osmošolci. Za vsakega sodelujočega učenca je bil ob skupnem naravoslovnem dosežku izračunan še njegov fizikalni dosežek. Dosežki so bili izračunani iz odgovorov na naloge s statističnim modelom, ki je sproti upošteval tako uspešnost posameznega učenca na celotnem preizkusu kot delež pravilnih rešitev na posamezno nalogo v celotni mednarodni množici vseh sodelujočih učencev. To pomeni, da je v izračunu dosežkov na mednarodnih lestvicah, tudi dosežka iz fizike, že upoštevana težavnost nalog. Učenci, ki so rešili tiste naloge, ki jih je v celotni mednarodni skupini rešilo manj učencev in zato veljajo za težje, so dobili več točk. Za razumevanje dosežkov iz fizike med učenci je zato poleg deleža pravilnih odgovorov na posamezno nalogo pomembno vedeti še, kako težka je bila naloga v mednarodnem merilu. Pomemben del informacije o nalogah prispevajo mejniki znanja.

Analiza mejnikov znanja je v TIMSS vključena od leta 2003. Iz nje je nastala tudi analiza nalog po barvnih območjih v naših nacionalnih preizkusih znanja. Namenjena je pojasnjevanju vsebine znanja, ki so ga izkazali manj in bolj uspešni učenci iz vseh držav skupaj. Analiza se opravi potem, ko učenci že dobijo izračunano število točk na preizkusu na mednarodni lestvici s povprečjem 500. Učence razdelimo v štiri skupine po doseženih točkah, ki določajo mejnike: 400 točk določa mejnik osnovnega znanja, 475 točk mejnik srednjega znanja, 550 točk mejnik visokega znanja in 625 točk mejnik najvišjega znanja. V posamezno skupino se uvrstijo vsi učenci, ki so dosegli od 5 točk manj do 5 točk več od določenega mejnika. Nato izračunamo odstotke pravilnih odgovorov za vsako nalogo v vsaki od zgornjih skupin učencev. Preverimo, katere naloge je pretežno znala rešiti vsaka skupina in jih hkrati ni znala rešiti skupina z nižjim dosežkom. V splošnem se naloga uvrsti v mejnik, če jo je pravilno rešilo 65 % učencev ustrezne skupine okoli mejnika in manj kot 50 % učencev v skupini okoli mejnika nižje. Dodatno so določene podrobnosti za umeščanje

nalog odprtega tipa in za naloge, ki se ne umestijo popolnoma jasno. Za vsako nalogo skupina strokovnjakov zapiše, katero znanje je učenec izkazal, da je nalogo pravilno rešil. Združeni povzetki opisov znanj za vse naloge, ki se umestijo v določen mejnik, tvorijo opise mejnikov znanja. Ti predstavljajo neke vrste mednarodne standarde znanja na štirih zahtevnostnih ravneh. Objavljeni so tudi v slovenskem poročilu o raziskavi [1].

Del zapisa o znanju fizike za mejnik visokega znanja:

Pri fiziki učenci uporabijo osnovno znanje o energijskih pretvorbah in prenosu energije, npr. določijo pretvorbo energije pri začetku gibanju avta in prepoznajo graf, ki prikazuje, kako dve snovi sočasno dosežeta enako temperaturo. Učenci razumejo preprosta električna vezja in lastnosti magnetov, npr. prepoznajo najboljšo razlago za odboj dveh magnetov. Učenci uporabijo znanje o silah in gibanju v vsakdanjih in abstraktnih situacijah, npr. določijo silo, ki deluje na predmet, ki miruje, ter analizirajo diagrame sil. Učenci razumejo svetlobo in zvok v praktičnih situacijah, npr. prepoznajo pot, ki jo prepotuje svetloba, da lahko predmet vidimo, razložijo, zakaj vidimo strelo, preden slišimo grom, ter ovrednotijo izjave o relativni hitrosti zvoka v različnih medijih.

Pregled umestitve nalog v mejnike in opisi znanja so dostopni skupaj z mednarodnimi podatkovnimi bazami od januarja 2017 [5].

Znanje fizike tako lahko presojamo natančneje kot le iz reševanja nalog TIMSS po deležu pravilnih odgovorov med vsemi učenci. Upošteevamo, koliko so uspešni učenci v mednarodnem merilu naloge večinoma pravilno rešili – to je umestitev nalog v mejnike znanja. Nekatere naloge so prikazane v poročilu o raziskavi in jih lahko opazujemo neposredno. Za vse tiste, ki ostajajo skrite za primerjavo z raziskavo TIMSS 2019, pa si moramo besedilo in zahteve naloge predstavljati iz dokumentiranih karakteristik naloge: vnaprej znanega vsebinskega in kognitivnega področja, opisa znanja, ki ga naloga meri, ter mejnika znanja, v katerega se je uvrstila. Pri opazovanju dosežka po nalogah upošteevamo še obseg obravnave snovi pri pouku, kakor so ga sporočili učitelji v odgovoru na vprašanje, ali so njihovi učenci snov pri pouku že obravnavali v šolskem letu preizkusa, pred tem letom ali pa še ne (sem šteje tudi pravkar začeta in še ne dokončana obravnava v mesecu). Navedbe slovenskih učiteljev fizike so v preglednici 1.

Za naloge iz fizike za osmošolce in osmošolke smo v preglednice zapisali umestitve nalog v mejnike znanja in opise znanja, ki ga naloge zahtevajo za pravilno rešitev. V nadaljevanju prikazujemo še druge karakteristike fizikalnih nalog. Izračunali smo razlike med odstotki pravilnih rešitev nalog med fanti in dekleti in rezultate prikazali grafično. V grafe smo za vsako nalogo vrisali točko s koordinatama, ki sta deleža pravilnih odgovorov deklet in fantov. Dodali smo premico, ki ponazarja enak dosežek pri obojih.

Preglednica 1: Obseg obravnave fizikalnih vsebin po presoji učiteljev v Sloveniji

Vsebina	Deleži učencev, za katere so učitelji poročali, da so snov		
	obravnali v predhodnih letih	obravnali v letošnjem letu	ravnokar uvedli ali je še niso obravnavali
Sile in gibanje	5,4 %	57,2 %	37,3 %
Električna vezja ter lastnosti in uporaba trajnih magnetov ter elektromagnetov	8,9 %	8,9 %	82,2 %
Osnovne lastnosti in obnašanje svetlobe ter zvoka	41,5 %	42,5 %	16,2 %
Oblike energije, energijske spremembe, toplota in temperatura	12,9 %	27,1 %	59,9 %
Fizikalna stanja in spremembe snovi	17,2 %	29,6 %	53,2 %

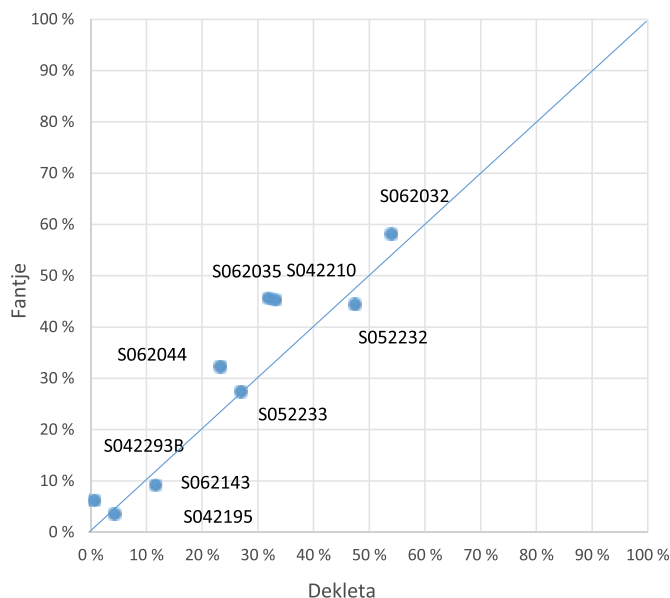
Preglednica 2: Naloge nad mejnikom najvišjega znanja

Naloga	Opis znanja, ki ga je učenec potreboval za uspešno rešitev	Vsebinsko področje	Kognitivno področje
S042293B	Prepozna, da se padajoča žoga ne bo odbila do višine, s katere je padla, in razloži, zakaj.	Sile in gibanje	Sklepanje
S042195	Izračuna upor iz toka in napetosti.	Elektrika in magnetizem	Uporaba
S062044	Interpretira prikaz prevajanja toplote, da prepozna relativno temperaturo dveh kock v vodi.	Energijske pretvorbe in prenos energije	Sklepanje
S052233	Iz prikaza predmeta, ki plava v različnih tekočinah, razloži, da je delež predmeta, ki je pod gladino, odvisen od gostote tekočine.	Sile in gibanje	Sklepanje
S062143	Razloži, kako je lahko v dani situaciji snov hkrati v dveh stanjih v isti posodi.	Fizikalna stanja in spremembe snovi	Uporaba
S042210	Prepozna, kaj se zgodi z maso in prostornino vode, ko zmrzne.	Fizikalna stanja in spremembe snovi	Dejstva
S052232	Prepozna dve pravilni izjavi o relativnem gibanju predmeta, ko ga gledamo z dveh referenčnih točk.	Sile in gibanje	Sklepanje
S062035	Prepozna, kako se temperatura vode spreminja pri segrevanju.	Fizikalna stanja in spremembe snovi	Dejstva
S062032	Prepozna grafični prikaz, kako se masa segrete kovinske kroglice spreminja ob ohlajanju.	Fizikalna stanja in spremembe snovi	Sklepanje

Preglednica 3: Dosežki deklet in fantov pri najzahtevnejših nalogah

Naloge nad mejnikom najvišjega znanja*	Delež pravilnih odgovorov med dekleti	Delež pravilnih odgovorov med fanti	Delež pravilnih odgovorov v Sloveniji	Razlika v deležih (fantje : dekleta)
S042293B j	0,7 %	6,2 %	3,4 %	5,6 %
S042195 j	4,3 %	3,6 %	4,0 %	-0,6 %
S062044 j	23,3 %	32,3 %	27,9 %	9,0 %
S052233 j	27,0 %	27,4 %	27,2 %	0,4 %
S062143	11,6 %	9,2 %	10,3 %	-2,5 %
S042210 j	33,1 %	45,3 %	39,2 %	12,2 %
S052232 j	47,4 %	44,5 %	45,9 %	-2,9 %
S062035	31,9 %	45,6 %	39,0 %	13,7 %
S062032	54,0 %	58,2 %	56,3 %	4,2 %

* Oznaka j pomeni, da je naloga javno objavljena v poročilu raziskave.



Slika 1: Dosežki fantov in deklet pri nalogah nad mejnikom najvišjega znanja.

1. Najzahtevnejše naloge

Nekatere naloge so bile tako težke, da jih ni rešilo dovolj učencev, ki so sicer dosegli izjemno visok dosežek okoli 625 točk, da bi se naloga uvrstila v mejnik najvišjega znanja (65 % za naloge izbirnega tipa in 50 % za naloge odprtega tipa). Zato za te naloge pravimo, da so se umestile nad mejnik najvišjega znanja. Opisi znanja, ki so ga te naloge zahtevale, so v Preglednici 2.

V Preglednici 3 so povzeti dosežki deklet in fantov. Za naloge preostalih mejnikov znanja so ti podatki dosegljivi na spletni strani raziskave pod imenom »Almanacs« [7].

Grafični prikaz reševanja nalog nad mejnikom najvišjega znanja je na Sliki 1. Na navpični osi so deleži fantov, ki so naloge pravilno rešili, in na vodoravni osi deleži deklet.

Le eno nalogo je rešila več kot polovica učencev obeh spolov, vse druge pa manj učencev. Torej so bile te naloge težke tudi pri nas. Ker večina točk leži nad premico enakih dosežkov med spoloma, lahko iz grafa razberemo, da so fantje v splošnem bolje reševali naloge kot dekleta. Tako vidimo, da je nalogo S062035 rešilo približno 45 % fantov in le okoli 32 % deklet v Sloveniji. Razlika med dosežkoma fantov in deklet je pri tej nalogi največja med vsemi prikazanimi nalogami. Iz Preglednice 2 za nalogo S062035 preberemo, da govori o spreminjanju temperature vode pri segrevanju in da je umeščena v najnižje kognitivno področje poznavanja dejstev. Ugotovimo, da sta bili najtežji nalogi S042293B o metu žogice, ki je javna naloga (Slika 2), in S042195, izračun upora. Tega se učenci pri nas ne učijo v osmem razredu (Preglednica 1). Tudi drugje se učijo računati upor kasneje, zato preverjanje tega znanja v TIMSS ne bo več zajeto.

Jaka je vrzel žogo v zrak, kot kaže spodnja slika. Žoga je dosegla najvišjo lego v točki A in potem padla naravnost navzdol na tla v točki B. Nato se je žoga odbila nazaj. A. Katera sila povzroči, da žoga pade od točke A do točke B?

B. Ali se bo žoga odbila višje, niže ali do višine točke A?

(Označi en kvadrček.)

višje od točke A

niže od točke A

do točke A

Pojasni svoj odgovor.

Slika 2: Naloga S042293B

2. Naloge za najvišje znanje fizike

Skupina fizikalnih nalog, ki so se po reševanju učencev umestile med naloge, ki opisujejo najvišje naravoslovno znanje učencev, vsebuje 21 nalog in je največja med skupinami (Preglednica 4). Celotni pregled nalog po mejnikih kaže, da skupina vseh naravoslovnih nalog za najvišje znanje sicer ni največja. To pomeni, da so bile fizikalne naloge relativno težje od drugih, predvsem od bioloških, ki so bile v večjem številu umeščene v nižje mejnike znanja.

Med nalogami, ki so se umestile v mednarodni mejnik najvišjega znanja, jih je sedem preverjalo sklepanje, osem uporabo znanja in šest poznavanje dejstev. Vidimo, da TIMSS 2015 tudi najvišje znanje meri enakomerno z nalogami vseh treh kognitivnih ravni.

Slovenski učenci obeh spolov so med temi nalogami dosegli največ dve tretjini pravih odgovorov pri nalogi o zaznani barvi predmeta, osvetljenega z določeno barvo svetlobe (S062153). Najmanj, malo čez 10 %, so jih učenci dosegli pri nalogi o elektromagnetu. To je pričakovano, saj snov ni bila obravnavana v osmem razredu. Dosegli so tudi le dobro četrtino pravih rešitev pri nalogi o razlikah v tlaku pod kvadrom (S052141). Tudi tega večina verjetno še ni obravnavala v šoli. Iz Preglednice 1 vemo, da se je polovica učencev sicer že učila o silah in gibanju.

Razlike v dosežkih med spoloma so v Preglednici 5. Fantje so bili za 10 % uspešnejši v štirih nalogah, s področja

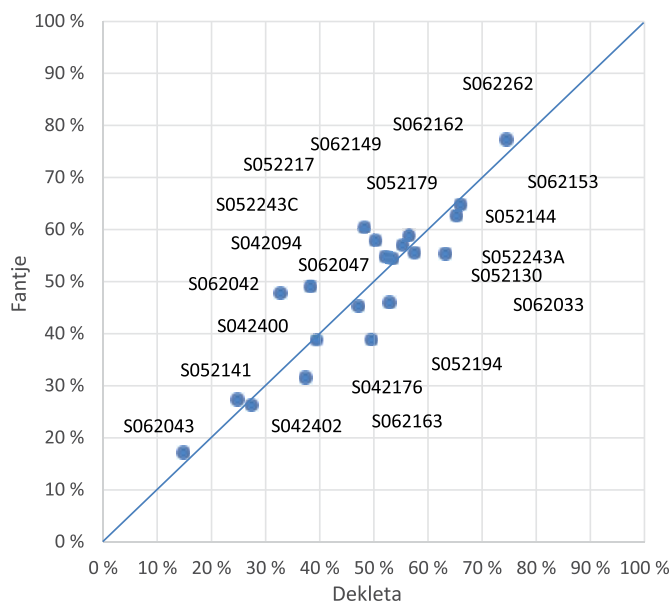
Preglednica 4: Naloge mejnika najvišjega znanja

Naloga	Opis znanja, ki ga je učenec potreboval za uspešno rešitev	Vsebinsko področje	Kognitivno področje
S042094	Uporabi znanje o raztezanju vode pri zmrzovanju, da razloži, zakaj je steklenica vode počila, ko je ostala v zamrzovalniku.	Fizikalna stanja in spremembe snovi	Uporaba
S042400	Uporabi znanje o prevajanju toplote, da razloži, zakaj bo led ostal zmrznjen v leseni posodi dalj časa kot v kovinski.	Energijske pretvorbe in prenos energije	Uporaba
S062149	Razloži, ali lahko ena oseba vidi drugo osebo v prikazani situaciji z odsevom svetlobe od ravnega zrcala.	Svetloba in zvok	Dejstva
S052194	Za dana dva neznana vzorca in z znanjem, da samo plini napolnijo razpoložljiv prostor, prepozna izjavo o razdalji med delci v vzorcih.	Fizikalna stanja in spremembe snovi	Sklepanje
S052179	Prepozna relativno temperaturo zunanje površine posod, ki so narejene iz snovi z različno toplotno prevodnostjo.	Energijske pretvorbe in prenos energije	Uporaba
S062163	Razloži, zakaj se vozilo s kolesi z večjo verjetnostjo pogrezne v blato kot vozilo z gosenicami.	Sile in gibanje	Sklepanje
S062153	Prepozna razlago, zakaj se v dani situaciji zdi žoga določene barve.	Svetloba in zvok	Sklepanje
S042402	Interpretira prikaz, da opiše smer pretakanja toplote v kovinah.	Energijske pretvorbe in prenos energije	Uporaba
S042176	Opiše postopek za ločevanje pitne in slane vode z uporabo dveh vročih plošč in brez termometra.	Fizikalna stanja in spremembe snovi	Sklepanje
S052141	Razloži, zakaj določena postavitev kvadra vodi v največji tlak med kvadrom in tlemi.	Sile in gibanje	Uporaba
S062262	Prepozna, katera lastnost zvoka živalim omogoča, da se orientirajo in najdejo hrano.	Svetloba in zvok	Dejstva
S062162	Določi in razloži, katera od treh metod bo zahtevala najmanjšo silo, da bi premaknili težek zaboj na tovornjak.	Sile in gibanje	Uporaba
S052144	Prepozna, zakaj je pline lažje stisniti kot trdne snovi in tekočine.	Fizikalna stanja in spremembe snovi	Dejstva
S062043	Uporabi diagram, da razloži način za povečanje moči elektromagneta.	Elektrika in magnetizem	Dejstva
S052130	Prepozna lastnost plina v udrti žogici za namizni tenis, ki ostane konstanten, če žogico segrevamo.	Fizikalna stanja in spremembe snovi	Dejstva
S052217	Uporabi znanje o zvezi med globino in tlakom vode, da prepozna sklep o tlaku na različnih globinah.	Sile in gibanje	Uporaba
S062033	Zapiše sklep o stanjih snovi v dveh valjih po različnem obsegu stiskanja z batom, ki je prikazano grafično.	Fizikalna stanja in spremembe snovi	Sklepanje
S052243A	Navede en razlog, zakaj žarnica v prikazu električnega kroga ne sveti.	Elektrika in magnetizem	Sklepanje
S052243C	Prepozna pravilno izjavo o življenjski dobi baterije in svetlosti žarnice v dveh danih električnih krogih.	Elektrika in magnetizem	Sklepanje
S062047	Prepozna, ali bo rdeč predmet absorbiral ali odbil svetlobo različnih barv.	Svetloba in zvok	Dejstva
S062042	Določi, ali so deli žarnice izolatorji ali prevodniki.	Elektrika in magnetizem	Uporaba

sil in gibanja (S062163 in S052141), s področja fizikalnih stanj (S042094) in elektrike ter magnetizma (S062043). Dekleta so bila za več kot 10 % uspešnejša od fantov pri nalogi iz energijskih pretvorb (S042400).

Iz grafičnega prikaza primerjave dosežkov med spoloma (Slika 3) je videti, da je večina nalog zelo blizu

premici, ki kaže enake dosežke med dekleti in fanti. Najbolje je bila med dekleti in fanti rešena naloga o zvoku in živalih, pričakovano nizki pa so odstotki rešitev za naloge o moči elektromagneta (S062043), o tlaku pod kvadrom (S052141) in smeri prehajanja toplote (S042402).



Slika 3: Dosežki fantov in deklet pri nalogah najvišjega znanja

3. Naloga za visoko znanje fizike

V skupini nalog mejnika visokega znanja prevladujejo naloge uporabe znanja (10), s področja znanja dejstev sta samo dve, sklepanje pa zahtevajo štiri naloge.

Osmošolci so pričakovano dosegli višje deleže pravilnih odgovorov na naloge, ki so merile visoko znanje glede ne prejšnji dve skupini zahtevnejših nalog. Iz grafičnega prikaza na Sliki 4 razberemo, da so največ, skoraj 90 %, pravilnih rešitev dosegli pri nalogi s področja zvoka in svetlobe. Najmanj, manj kot 40 %, pravilnih rešitev kaže naloga o vzvodu iz poglavja sil in gibanja. Obe nalogi sta dostopni. Prva prikazuje štiri slike deklice, ki bere knjigo, ter vektorja svetlobe od njenih oči do knjige in od knjige proti soncu. Učenec je moral prepoznati tisto, na kateri sta žarka pravilno usmerjena, da prikazujeta pot svetlobe, da deklica lahko bere. Druga naloga prikazuje slike kuhinjskega valjarja, odpiralca za zamaške, lestve in zadrge ter sprašuje, kaj uporabljamo kot vzvod.

Dve nalogi so izrazito bolje rešila dekleta kot fantje (Preglednica 7). Že omenjena naloga S042216 o žarku svetlobe je daleč najbolje rešena naloga med vsemi. Skrita naloga S052243B govori o električnem krogu in razlikah med vzporedno vezanima dvema in eno žarnico. Znanje zelo verjetno izhaja iz predmeta Tehnika in tehnologija, saj je tudi po navedbi učiteljev ta vsebina pri fiziki na vrsti šele v devetem razredu.

Preglednica 5: Razlika v dosežkih deklet in fantov pri nalogah za najvišje znanje

Naloga za najvišje znanje	Razlika v deležih (fantje : dekleta)
S042094 j	5,6 %
S042400 j	-0,6 %
S062149 j	9,0 %
S052194 j	0,4 %
S052179 j	-2,5 %
S062163	12,2 %
S062153	-2,9 %
S042402 j	13,7 %
S042176 j	4,2 %
S052141 j	5,6 %
S062262	-0,6 %
S062162	9,0 %
S052144	0,4 %
S062043	-2,5 %
S052130	12,2 %
S052217	-2,9 %
S062033	13,7 %
S052243A	4,2 %
S052243C	5,6 %
S062047	-0,6 %
S062042	9,0 %

4. Naloga za srednje in osnovno znanje fizike

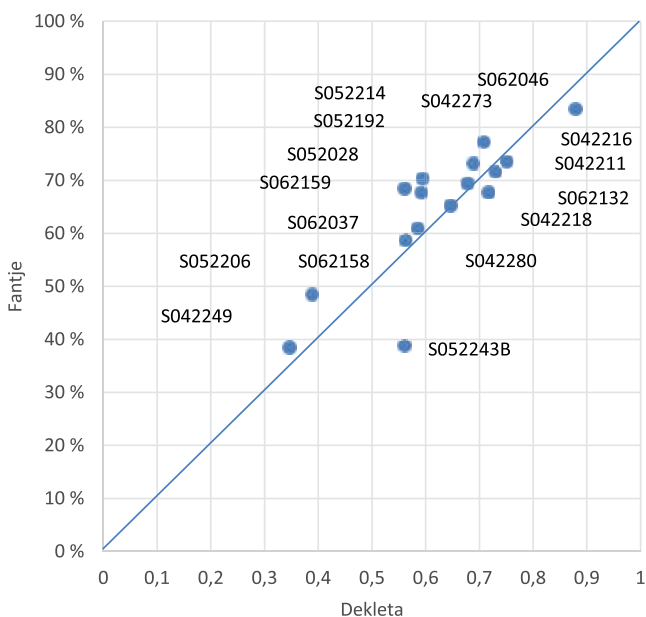
Naloga so bile umeščene v mejnike znanja glede na skupno znanje naravoslovja. Skladno z razporeditvijo fizikalnih nalog v višje mejnike znanja se je v mejnik srednjega in osnovnega znanja uvrstilo več nalog iz biologije kot iz kemije in fizike. Med 7 nalogami zadnjih dveh mejnikov znanja so štiri iz poglavja sil in gibanja (Preglednica 8).

Med nalogami za srednje znanje je ponovno ena slabo rešena. Naloga o energijski pretvorbi, ki se zgodi pri spuščanju po toboganu, je dosegla 40 % pravilnih odgovorov (S062144), enak delež kot jih je vsebino že obravnavalo. Obenem je bila to naloga, kjer je razlika v reševanju med spoloma druga največja. Nalogo je pravilno rešila tretjina deklet in slaba polovica fantov. Fantje so bili sicer izrazito uspešnejši še v nalogi o položaju najboljšega prijemališča navora za premik hloda s pomočjo kamna in dolge palice (S052159).

Iz prikaza reševanja na Sliki 5 opazimo odstopanje problematične naloge S062144, spuščanja po toboganu na

Preglednica 6: Naloge mejnika visokega znanja

Naloga	Opis znanja, ki ga je učenec potreboval za uspešno rešitev	Vsebinsko področje	Kognitivno področje
S042216	Prepozna pot svetlobe, ki je pogoj, da vidimo določen predmet.	Svetloba in zvok	Uporaba
S042249	Prepozna vsakdanji predmet, ki ga uporabljamo kot vzvod.	Sile in gibanje	Dejstva
S062046	Razloži, ali lahko v dani situaciji sklepamo o relativni moči dveh magnetov.	Elektrika in magnetizem	Sklepanje
S062132	Z znanjem o prevajanju toplote prepozna graf, ki kaže, kako dve snovi dosežeta temperaturno ravnovesje.	Energijske pretvorbe	Uporaba
S042211	Razloži, da na učenca, ki sedi na zidu, delujejo sile.	Sile in gibanje	Uporaba
S052192	Prepozna položaj skritega zrcala iz danih žarkov odbite svetlobe.	Svetloba in zvok	Sklepanje
S042280	Uporabi tabelo, ki kaže hitrost zvoka skozi različne snovi, in znanje o stanju vsake snovi, da prepozna sklep o relativni hitrosti zvoka.	Svetloba in zvok	Sklepanje
S042218	Prepozna, zakaj se helijev balon dvigne v zrak.	Sile in gibanje	Uporaba
S042273	Razloži, zakaj v nevihti vidimo blisk, preden slišimo grmenje.	Svetloba in zvok	Uporaba
S052214	Ob dani gostoti dveh predmetov in treh tekočin in prikazu, ki kaže, ali predmeti plavajo ali se potopijo v tekočinah, prepozna vsako tekočino.	Sile in gibanje	Sklepanje
S062158	Prepozna, kateri graf predstavlja ton, ki je najtišji in ima najnižjo frekvenco.	Svetloba in zvok	Uporaba
S062159	Prepozna prikaz, na katerem rezultanta sil deluje proti desni.	Sile in gibanje	Uporaba
S052028	Prepozna, kako povečati moč elektromagneta.	Elektrika in magnetizem	Uporaba
S062037	Prepozna vrsto energijske pretvorbe, ki se zgodi, ko se avto začne premikati.	Energijske pretvorbe in prenos energije	Uporaba
S052243B	Razloži, da pri vzporedni vezavi žarnic ena pregorela ne vpliva na gorenje druge.	Elektrika in magnetizem	Uporaba
S052206	Prepozna najboljšo razlago, zakaj se dva palična magneta odbijata med seboj.	Elektrika in magnetizem	Dejstva



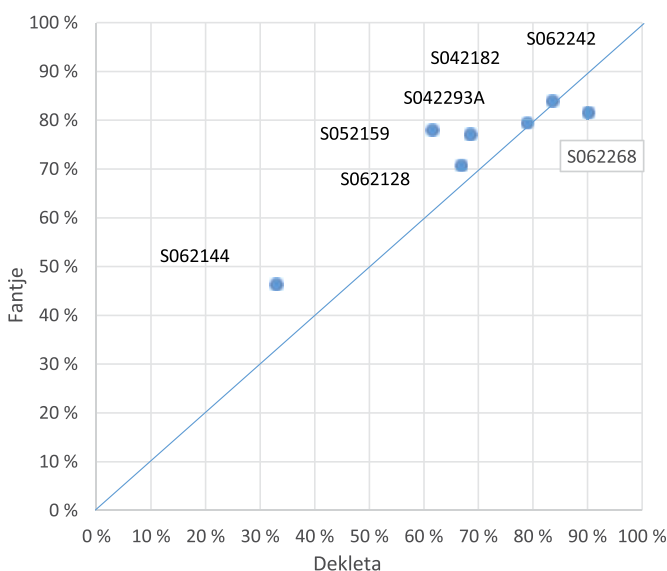
Slika 4: Dosežki fantov in deklet v nalogah visokega znanja

Preglednica 7: Razlike v dosežkih deklet in fantov pri nalogah za visoko znanje

Naloga za visoko znanje	Razlika v deležih (fantje : dekleta)
S042216 j	-4,5 %
S042249 j	3,8 %
S062046 j	6,4 %
S062132 j	-1,3 %
S042211 j	-1,6 %
S052192 j	10,8 %
S042280 j	1,6 %
S042218 j	-3,9 %
S042273 j	4,3 %
S052214	0,5 %
S062158	2,4 %
S062159	12,3 %
S052028	8,5 %
S062037	2,4 %
S052243B	-17,2 %
S052206	9,6 %

Preglednica 8: Naloge mejnika srednjega in osnovnega znanja

Naloga	Opis znanja za uspešno rešitev	Vsebinsko področje	Kognitivno področje
S042293A	Pri danem prikazu meta žogice navzgor, navede silo, ki povzroči, da žogica pade.	Sile in gibanje	Dejstva
S062268	Uporabi informacijo iz grafa, da prepozna gibanje predmeta v petih točkah.	Sile in gibanje	Uporaba
S052159	Prepozna položaj opore (vrtišča), ki zahteva najmanjšo silo za premik predmeta.	Sile in gibanje	Dejstva
S042182	Prepozna obliko energije v stisnjeni vzmeti.	Energijske pretvorbe in prenos energije	Dejstva
S062144	Prepozna vrsto pretvorbe energije, ki se zgodi, ko se otrok spusti po toboganu.	Energijske pretvorbe in prenos energije	Uporaba
S062128	Primerja znanje o gostoti, da določi vrstni red plasti treh tekočin, ko se bodo ustalile po zlitju v posodo.	Sile in gibanje	Uporaba
S062242* osn.znanje	Prepozna, ali bi elektromagnet pritegnil predmete iz različnih snovi (1 od 2 točk).	Elektrika in magnetizem	Uporaba

**Slika 5:** Dosežki fantov in deklet pri nalogah za srednje in osnovno znanje

spodnjem delu prikaza. Najbolje rešena naloga za srednje znanje, S062268, zahteva prepoznavanje vrste gibanja iz grafa odvisnosti poti od časa. Naloga za osnovno znanje je druga najbolje rešena naloga med dekleti in prva med fanti. Zahteva razvrščanje predmetov na tiste, ki jih pritegne magnet in tiste, ki jih ne.

Naloge iz TIMSS so bogat vir informacij o znanju učencev. Predvsem omogočajo povezovanje dosežkov učencev z mnogimi razlagami o obsegu vsebin v obravnavi pri pouku, za katere na tem mestu ni prostora. Obravnavanje vsebin se zdi eden od pomembnih razlogov za znanje fizike. O tem nas opominjajo tudi primerjave razlik v deležih pravih rešitev pred štirimi leti, ko so

Preglednica 9: Razlike med dosežki deklet in fantov pri nalogah za srednje in osnovno znanje

Naloge za srednje znanje	Razlika v deležih (fantje – dekleta)
S042182 j	8,5 %
S042293A j	-8,7 %
S052159 j	16,4 %
S062128	0,5 %
S062144	13,4 %
S062268 j	3,9 %
Naloga za osnovno znanje	
S062242	0,4 %

bile nekatere naloge še vključene v osmi razred. Analiza je že načrtovana. Vse kaže, da učenci pravega fizikalnega znanja ne morejo pridobiti drugače kot pri pouku fizike. Opazimo pa tudi, da so pri nalogah, ki so jih izrazito uspešno rešile deklice, slednje pogosto tudi nastopale v glavni vlogi.

Vabilo k nadaljnjemu raziskovanju rezultatov TIMSS

Pri TIMSS v Sloveniji se trudimo, da bi lahko učitelji in raziskovalci pri svojem delu uporabili čim več rezultatov raziskave TIMSS. Na spletni strani raziskave (<http://timsspei.splet.arnes.si>) so zbrane objave v slovenskem jeziku in dostopi do podatkov. Vse naloge iz raziskave so objavljene v nacionalnem poročilu »Znanje mate-

matike in naravoslovja med osmošolci v Sloveniji in po svetu« [1], poleg mnogih mednarodnih primerjav dosežkov učencev z dejavniki poučevanja. Dodane so rešitve, odstotki izbranih izbirnih rešitev ali (ne)pravilnih odprtih odgovorov učencev ter uspešnost reševanja po spolu učencev. Naloge so namenjene učiteljem za uporabo pri pouku. Originalne naloge v angleškem jeziku niso več na voljo na spletu, pač pa jih, z dovoljenjem vodstva IEA, slovenskim učiteljem in raziskovalcem posreduje nacionalni center raziskave TIMSS v Sloveniji.

Osrednji prikaz rezultatov je v spletnem poročilu [3]. Pregledna besedila o matematičnem in naravoslovnem izobraževanju v vsaki državi, tudi pregled kurikulumov za fiziko, so v »Enciklopediji TIMSS 2015« [6]. Za boljše razumevanje merjenja znanja v TIMSS je na voljo mnogo besedil pod skupnim naslovom »Metode in postopki v TIMSS 2015« [4]. Kakor je že omenjeno, razpored vseh naravoslovnih in matematičnih nalog v mejnike znanja najdete v prilogi k 13. poglavju o analizi mejnikov [5]. Odstotki pravilnih rešitev za vsako nalogo za vse države so dosegljivi na spletni strani mednarodne baze podat-

kov pod naslovom »Item percent Correct Statistics« [8]. Tam so tudi pregledi karakteristik vsake naloge in postopkov izračuna dosežkov in trendov [2]. Mednarodni vprašalniki so na voljo pod skupnim imenom »User guide«. Za računalniško podporo pri lastni analizi podatkov imajo raziskovalci več možnosti. Na voljo so orodja za spletni vpogled v podatke ter računalniški program za analize [9]. Program IDB Analyzer je vmesnik za zagon pred standardnim paketom SPSS. Skupaj poskrbita za upoštevanje vseh posebnih omejitev v podatkih pri standardnih analizah povprečij, korelacij, regresij in razlik med skupinami. Čeprav zahteva registracijo uporabnika, je dostopen brez omejitev in brezplačno. Na voljo pa so tudi knjižnice programov za analize vseh mednarodnih raziskav (TIMSS, PIRLS, PISA, PIAAC) za paket R. Uporaba obeh je prikazana v objavljeni predstavitvi »Statistika v ozadju mednarodnih raziskav znanja« na slovenski spletni strani (timsspei.splet.arnes.si, zavihek TIMSS 2015). Upamo, da bodo rezultati raziskave koristni in velikokrat uporabljeni tudi pri uspešnem razvoju pouka fizike v Sloveniji.

Viri in literatura

- [1] Japelj Pavešič, B., Svetlik, K. (2016). *Znanje matematike in naravoslovja med osmošolci v Sloveniji in po svetu. Izsledki raziskave TIMSS 2015*. Pedagoški inštitut, Ljubljana. Dostopno http://timsspei.splet.arnes.si/?page_id=714 (geslo timsslo15).
- [2] Foy P. in Liqun Yin (2017). Scaling TIMSS 2015 Achievement Data. V M. O. Martin, I. V. S. Mullis in M. Hooper (Ur.), *Methods and Procedures in TIMSS 2015*. Pridobljeno s spletne strani Boston College, TIMSS & PIRLS International Study Center, http://timssandpirls.bc.edu/publications/timss/2015-methods/T15_MP_Chap13_Scaling_Achievement_Data.pdf.
- [3] Martin, M. O., Mullis, I. V. S., Foy, P. in Hooper, M. (2016). *TIMSS 2015 International Results in Science*. Pridobljeno s strani Boston College, TIMSS & PIRLS International Study Center, <http://timssandpirls.bc.edu/timss2015/international-results/>.
- [4] Martin, M. O., Mullis, I. V. S. in Hooper, M. (Eds.). (2016). *Methods and Procedures in TIMSS 2015*. Preneseno s spletne strani Boston College, TIMSS & PIRLS International Study Center, <http://timssandpirls.bc.edu/publications/timss/2015-methods.html>.
- [5] Mullis, I. V. S., Cotter, K. E., Centurino, V. A. S., Fishbein, B. G. in Liu, J. (2016). Using Scale Anchoring to Interpret the TIMSS 2015 Achievement Scales. V M. O. Martin, I. V. S. Mullis in M. Hooper (Ur.), *Methods and Procedures in TIMSS 2015* (str. 14.1-14.47). Preneseno s spletne strani Boston College, TIMSS & PIRLS International Study Center, <http://timss.bc.edu/publications/timss/2015-methods/chapter-14.html>.
- [6] Mullis, I. V. S., Martin, M. O., Goh, S. in Cotter, K. (Ur.) (2016). *TIMSS 2015 Encyclopedia: Education Policy and Curriculum in Mathematics and Science*. Dosegljivo na spletni strani Boston College, TIMSS & PIRLS International Study Center, <http://timssandpirls.bc.edu/timss2015/encyclopedia/>.
- [7] TIMSS 2015 (2017). Almanacs. Pridobljeno s strani <http://timssandpirls.bc.edu/timss2015/international-database/>.
- [8] TIMSS 2015 (2016) Item Percent Correct Statistics. Preneseno s spletne strani <http://timssandpirls.bc.edu/timss2015/international-database/downloads>.
- [9] Software for IEA Data. Dostopno na spletni strani <http://www.iea.nl/our-data>.

Gaia ali kako daleč so zvezde

dr. Tomaž Zwitter

Fakulteta za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani

Povzetek

Razumevanje strukture in razvoja vesolja ni mogoče, če ne poznamo oddaljenosti opazovanih objektov. Te ni lahko izmeriti, zato je bila še pred 25 leti lestvica vesoljskih razdalj precej negotova. V 90. letih je satelit Hipparcos Evropske vesoljske agencije metodološko neoporečno izmeril razdaljo do 118 tisoč bližnjih in relativno svetlih zvezd. Decembra 2013 je ista agencija izstrelila satelit Gaia, ki s svojimi uspehi v temeljih spreminja naše poznavanje vesolja. Lani smo objavili razdalje do dveh milijonov zvezd, čez dobro leto sledi objava veliko točnejših razdalj do več kot milijarde zvezd, v naslednjih letih pa se bodo točnim razdaljam do teh zvezd pridružile še meritve njihovih fizikalnih lastnosti in časovne spremenljivosti. Z združevanjem teh dognanj s komplementarnimi pregledi neba z Zemlje smo na pragu poznavanja podrobne slike strukture in nastanka naše Galaksije kot ene od tipičnih galaksij v vesolju.

Ključne besede: satelit Gaia, zvezde, merjenje razdalj v vesolju, satelit Hipparcos, naša Galaksija

Slika 1: Satelit Gaia na ozadju naše Galaksije.

Gaia or How Far Away Are the Stars?

Abstract

Understanding of the structure and evolution of the Universe requires knowledge of the distances of observed objects. This is no easy task, which is why even 25 years ago the cosmic distance scale was rather uncertain. In the nineties the Hipparcos satellite of the European Space Agency took precise measurements of the distance to 118 thousand of the closest and relatively bright stars. In December 2013 the same agency launched the Gaia mission. Its success is a game changer, as far as our understanding of the Universe is concerned. The distances to 2 million stars, which have been published a few months ago, will be followed next year by a list of much more accurate distances to over a billion objects. In the years to come, these will be joined by a publication of detailed physical properties and their temporal variability. By combining this unique dataset with complementary sky surveys from the ground, we are on the verge of obtaining a detailed picture of the structure and formation of our Galaxy, as one of the typical galaxies in our Universe.

Keywords: Gaia satellite, stars, measuring distances in space, Hipparcos satellite, our Galaxy



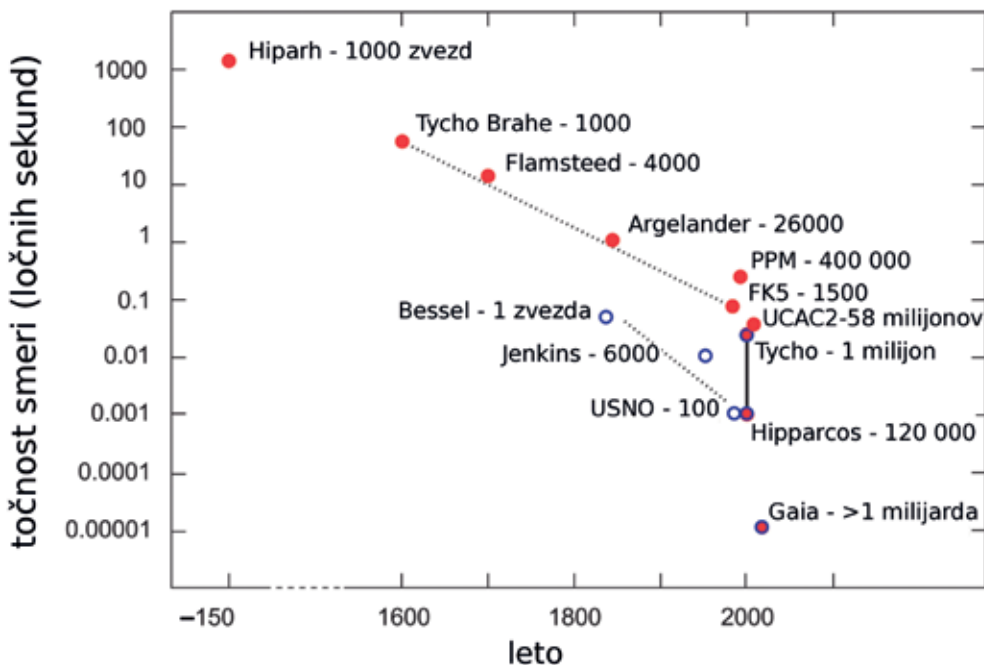
Ko opazujemo nočno nebo, nam je hitro jasno, v kateri smeri vidimo posamezno zvezdo. Če odmislimo vrtenje Zemlje, se zdi, kot da so zvezde z risalnimi žeblički pripete na nebesnem svodu. Vtis je seveda zavajajoč. Zvezde so, tako kot naše Sonce, krogle vročega in sevajočega plina in niso pri miru. V naši okolici so medsebojne hitrosti večine zvezd med 10 in 20 kilometri na sekundo. V primerjavi s hitrostmi, ki jih srečujemo na Zemlji, je to veliko. Ko pa se spomnimo, da je hitrost Zemlje, ki v enem letu potovanja okoli Sonca opiše krog s polmerom 150 milijonov kilometrov, enaka 30 kilometrom na sekundo, se hitrosti medsebojnega gibanja zvezd ne zdijo nekaj posebnega. Vtis o negibnih zvezdah na nebesnem svodu torej poraja domnevo, da so zvezde veliko bolj oddaljene od nas kot Sonce.

Uporaben trik za merjenje razdalj je opazovanje istega objekta z različnih opazovališč. Primerjamo lahko sliki levega in desnega očesa, za večje razdalje se bomo sprehodili po učilnici, razdaljo oddaljenih hribov pomerimo s primerjavo fotografij z opazovališč, ki so glede na smer opazovanega gorovja prečno zamaknjena za več kilometrov. Ker so zvezde daleč, želimo kar največji premik opazovališča. Gibanje Zemlje okoli Sonca nam omogoča, da se naše opazovališče premika z amplitudo polmera Zemljinega tira. Zaradi velike oddaljenosti je letni premik smeri proti zvezdi vseeno zelo majhen in je zato bistveno, da smer merimo čim natančneje.

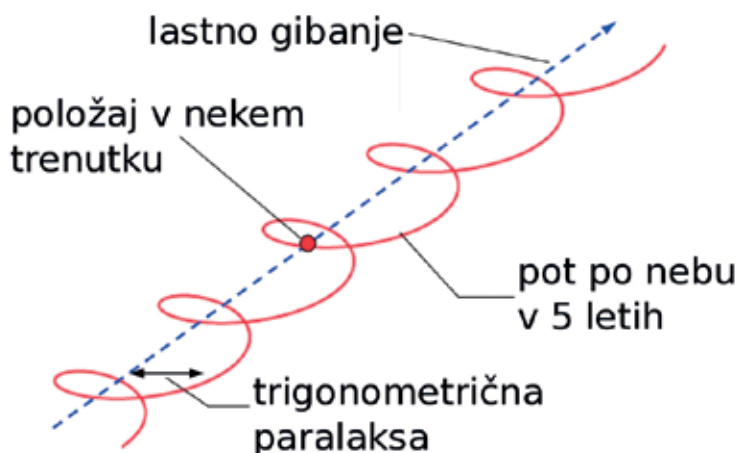
Premikanje zvezde po nebesnem svodu je sestavljeno iz dveh delov. Najprej je tu hitrost zvezde glede na Sonce, ki ima za posledico enakomerno drsenje smeri proti zvezdi, imenujemo ga lastno gibanje zvezde. Najbližjim in najhitrejšim zvezdam se zato smer spremeni za nekaj ločnih sekund letno, pri večini zvezd v naši okolici pa je

premik stokrat ali tisočkrat manjši. Drug del premikanja zvezde je njeno opletanje okrog enakomerno drsečega gibanja. Nastane zaradi kroženja Zemlje okoli Sonca. Amplituda tega opletanja, ki mu pravimo trigonometrična paralaksa, omogoča izračun oddaljenosti zvezde. Trigonometrična paralaksa je vedno zelo majhna in zato težko merljiva. Leta 1838 je prvemu na ta način uspelo določiti razdaljo do kake zvezde astronomu, matematiku in fiziku Friedrichu Besslu. Za zvezdo 61 v ozvezdju Laboda je ugotovil, da njena smer opleta s trigonometrično paralakso 0,314 ločne sekunde, kar ustreza oddaljenosti 10,3 svetlobnih let in je blizu danes sprejeti vrednosti 11,4 svetlobnih let. Ker o gibanju Zemlje okoli Sonca vemo praktično vse, je trigonometrična paralaksa konceptualno zelo čista metoda za merjenje razdalje. Profesionalni astronomi tako razdalj do zvezd ne izražajo v metrih ali svetlobnih letih, ampak v parsekih (pc), pri čemer je parsek razdalja, ki ustreza trigonometrični paralaksi ene ločne sekunde. Lahko uporabimo tudi predpone: 1 kpc = 1000 pc, 1 Mpc = 10^6 pc. Sta pa profesionalna in popularna enota po velikosti podobni: en parsek meri $3 \cdot 10^{16}$ m, medtem ko je svetlobno leto enako $9 \cdot 10^{15}$ m.

Meritev smeri s točnostjo do stotinke ločne sekunde je zahtevno opravilo, ki ga na Astronomskem-geofizikalnem observatoriju na Golovcu vadijo tudi naši študentje. Pri tem se opiram na primerjavo položaja z domnevno bolj oddaljenimi zvezdami na isti sliki, za katere domnevamo, da so njihovi premiki nezaznavno majhni. Meritev, točnejša od stotinke ločne sekunde, z zemeljskega površja ni izvedljiva, saj se smeri proti zvezdam, ko jih gledamo skozi plasti zraka z različnim lomnim količnikom, nenehno spreminjajo. Rešitev je opazovanje s satelita. Meritve smeri, točnejše od stotinke ločne sekunde,



Slika 2: Napredek v natančnosti merjenja položajev (zapolnjene rdeče pike) in oddaljenosti (modro obrobene pike) zvezd. Številka ob imenu je število zvezd v posameznem seznamu.



Slika 3: Smer proti zvezdi se spreminja zaradi premege lastnega gibanja zvezde in zaradi opletajočega paralaktičnega gibanja, ki je posledica Zemljinega kroženja okoli Sonca.

nujno potrebujemo, saj stotinka ločne sekunde ustreza razdalji komaj 100 pc, središče naše Galaksije pa je od nas oddaljeno 8 kpc ali 25 tisoč svetlobnih let. Meritve razdalj onkraj neposredne okolice Sonca torej res zahtevajo opazovanje iz vesolja.

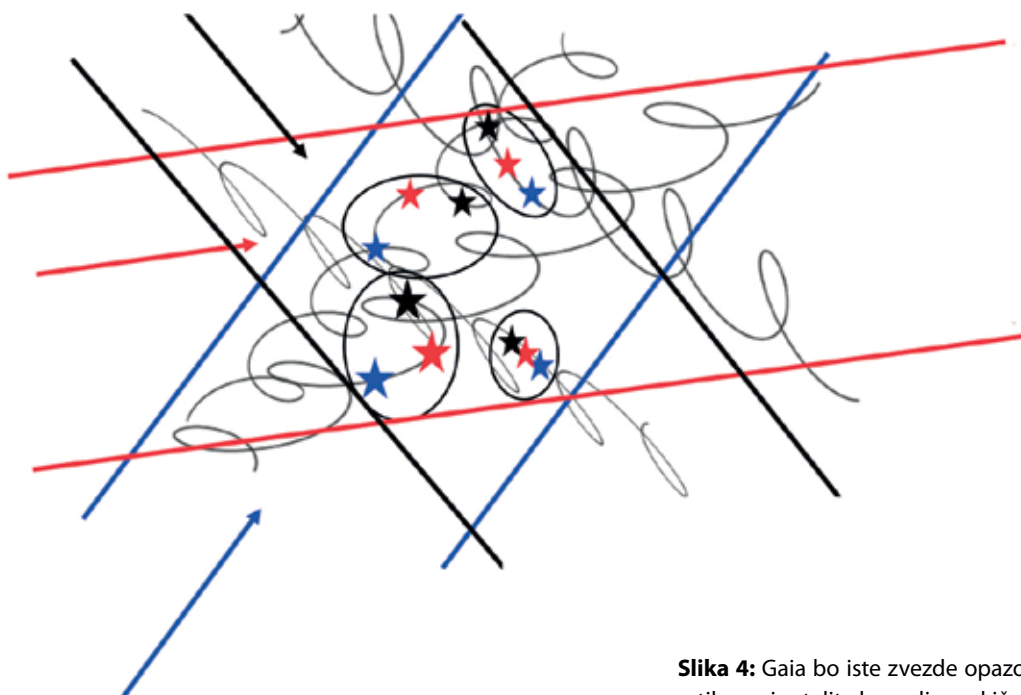
Ledino je na začetku 90. let prebil satelit Hipparcos Evropske vesoljske agencije. Trigonometrične paralakse 118 tisoč zvezd je meril s tipično natančnostjo od ene do treh tisočink ločne sekunde in tako določil razdalje do relativno svetlih zvezd, ki so oddaljene do nekaj nad 100 pc. S poznanimi razdaljami do teh zvezd v Sončevi okolici so lahko umerili izsev nekaterih standardnih tipov zvezd. Tako je lahko Hipparcos določil velikostno skalo celotnega vesolja, ki se je kot posledica teh meritev »povečalo« za deset odstotkov. To je pomenilo tudi, da so zvezde, ki jim v sredicah zmanjkuje vodika in se zato (podobno, kot se bo to zgodilo s Soncem čez pet milijard let) selijo med orjakinje, v resnici dlje in so zato v resnici svetlejše in mlajše. Tako je Hipparcos razjasnil nerodnost, ko so se nekatere zvezde zdele starejše od vesolja, za katero danes vemo, da je staro $13,80 \pm 0,02$ milijarde let, kar je približno trojna starost Zemlje in Sonca.

Hipparcos je tako veliko točnost dosegel zato, ker je meril zunaj Zemljine atmosfere. Poleg tega so se izognili primerjavi z domnevno bolj oddaljenimi zvezdami na istem posnetku. Pri natančnih meritvah namreč gibanje Zemlje vpliva na položaje veliko zvezd pa tudi napaka meritve se, ko sestavljamo posnetke po nebesni krogli, neprijetno povečuje. Hipparcos je zato lastno gibanje in trigonometrično paralakso razbral iz hkratnih meritev položajev zvezd v dveh smereh na nebu, ki sta bili več deset stopinj narazen. Način je bil podoben ogromnemu šestilu, ki je zelo natančno merilo za kotno razdaljo med zvezdami v eni in drugi smeri. Končni rezultat velikega števila meritev s »šestilom« po celotni nebesni krogli je bila globalna določitev položajev in razdalj do opazovanih zvezd.

V osnovi enak način merjenja uporablja tudi Hipparcosov naslednik, satelit Gaia Evropske vesoljske agencije,

ki so ga 19. decembra 2013 z raketo Sojuz izstrelili iz Francoske Gvajane. Gaia ima na krovu dva enaka teleskopa z zbiralnima zrcaloma pravokotne oblike velikosti 1,45 m x 0,5 m. Med teleskopoma je kot 106,5 stopinj, odboji na dodatnih zrcalih pa združijo sliki obeh teleskopov v skupno goriščno ravnino. Tako Gaia izjemno natančno meri kote med pari zvezd, ki so na nebu približno 106 stopinj vsaksebi. Teleskopa sta usmerjena pravokotno na os vrtenja satelita, ki napravi en obrat v šestih urah. Obenem os s periodo 63 dni precesira po stožcu, ki oklepa s smerjo proti Soncu stalni kot 45 stopinj. Tako v »šestilo« pridejo vedno novi pari zvezd, končni cilj pa je globalna določitev položajev in gibanj zvezd v prostoru.

Gaia v primerjavi s Hipparcosom prinaša revolucionarne izboljšave v točnosti, števila opazovanih zvezd in popolnosti dobljenih informacij. Točnost tu pomeni, da je meritev kota med dvema zvezdama, ki sta na nebu približno 106 stopinj vsaksebi, stokrat boljše od Hipparcosovih rezultatov. Meritev z referenčno natančnostjo stotisočinke ločne sekunde pomeni, da se zmotimo kvečjemu za kot, ki ga oklepa debelina človeškega lasu, če bi ga gledali z razdalje nekaj tisoč kilometrov. To seveda ni enostavno doseči, saj je treba položaj središča zvezde določiti približno na eno tritisočinko velikosti točke posameznega detektorja CCD, in to ob tem, da je v goriščni ravnini 106 takih detektorjev, ki ob formatu 4500 x 1966 točk sestavljajo gigantsko kamero s skoraj milijardo točkami. Takšna točnost je dosegljiva le s satelitom, ki je izdelan iz silicijevega karbida, materiala prihodnosti, ki je izjemno tog, temperaturno neraztegljiv in lahek, neroden je le za oblikovanje. Ko bodo čez desetletje iz tega materiala izdelali nova letala, se boste spomnili, da smo se ta material naučili obdelovati za potrebe satelitov Gaia in Herschel Evropske vesoljske agencije. Kljub izjemnim lastnostim novega materiala mora Gaia delovati v čim bolj stalnih opazovalnih pogojih. Zato so jo izstrelili v bližino druge Lagrangeeve točke, ki je približno 1,5 milijona kilometrov oddaljena od Zemlje v smeri proč od Sonca. Skupni gravitacijski privlak Zemlje in Sonca zagotavlja, da satelit ostaja v tem položaju in tako skupaj



Slika 4: Gaia bo iste zvezde opazovala večkrat, zaradi precesije vrtilne osi satelita bo polje vsakič prečesala v drugi smeri. Barve označujejo položaje istih štirih zvezd ob treh opazovanjih.

z Zemljo obkroži Sonce enkrat letno. Prednost tega položaja je tudi v tem, da sta Zemlja in Luna dovolj daleč in gledata proti satelitu s svojo temno stranjo. Obenem pa satelit stalno vidi Sonce, kar je pomembno za njegovo temperaturno stabilnost in za proizvodnjo elektrike.

Gaia opazuje več tisočkrat temnejše zvezde od satelita Hipparcos. Takih zvezd je seveda veliko in so lahko dokaj daleč. Tako Gaia meri več kot milijardo zvezd, tudi takih na razdaljah 10 kpc, torej onkraj središča naše Galaksije. Končno pa Gaia ne meri le položaja in gibanja zvezd, ampak tudi njihovo barvo, za zvezde, svetlejšje od 12. magnitute, pa spektroskopsko določa tudi astrofizične parametre, kot sta temperatura in okvirna kemična sestava. Podatkovni tok je izjemen, v treh letih od izstrelitve je bilo skupaj zaznanih dve milijardi opazovanih objektov v 53 milijardah prehodov preko goriščne ravnine, pri tem smo dobili 618 milijard meritev položaja, 12,2 milijarde spektrov in 132 milijard meritev njihovega sija. Oddaljenost 1,5 milijona kilometrov od Zemlje pomeni, da je maksimalna hitrost pretoka podatkov s satelita na mrežo teleskopov Deep Space Network le od tri do osem megabitov na sekundo, kar je podobno vašemu domačemu internetu. Torej je razumljivo, da smo potrebovali več let za optimizacijo tega podatkovnega toka, saj skušamo spraviti na Zemljo čim več podatkov, njihova pretirana obdelava na satelitu bi namreč onemogočila kasnejše izboljšave.

Gaia zvezde z meritvijo smeri in oddaljenosti umešča v tridimenzionalni prostor. Za razkritje dinamike in zgodovine naše Galaksije manjka še njihova hitrost. Prečno

gibanje glede na Zemljo ob poznani razdalji izračunamo iz počasnega vrtenja smeri proti zvezdi s časom. Manjka še radialna hitrost približevanja oziroma oddaljevanja, ki jo Gaia izlušči z meritvijo Dopplerjevega premika s spektroskopom na krovu. Meritev brez poznavanja tipa zvezde ne bi bila dovolj natančna pa tudi sicer bi o naravi zvezd radi izvedeli kaj več, zato Gaia pomeri še porazdelitev jakosti svetlobe zvezde po vidnem in bližnjem infrardečem območju. Rezultat je popolna kinematična prostorska slika zvezd različnih tipov, iz katere lahko ugotovimo preteklost in sklepamo o prihodnosti našega galaktičnega doma. Poleg zvezd Gaia opazuje tudi desetisoče objektov v našem osončju in na stotisoče drugih galaksij. Med drugim lepo vidi kroženje zvezd v bližnjih galaksijah.

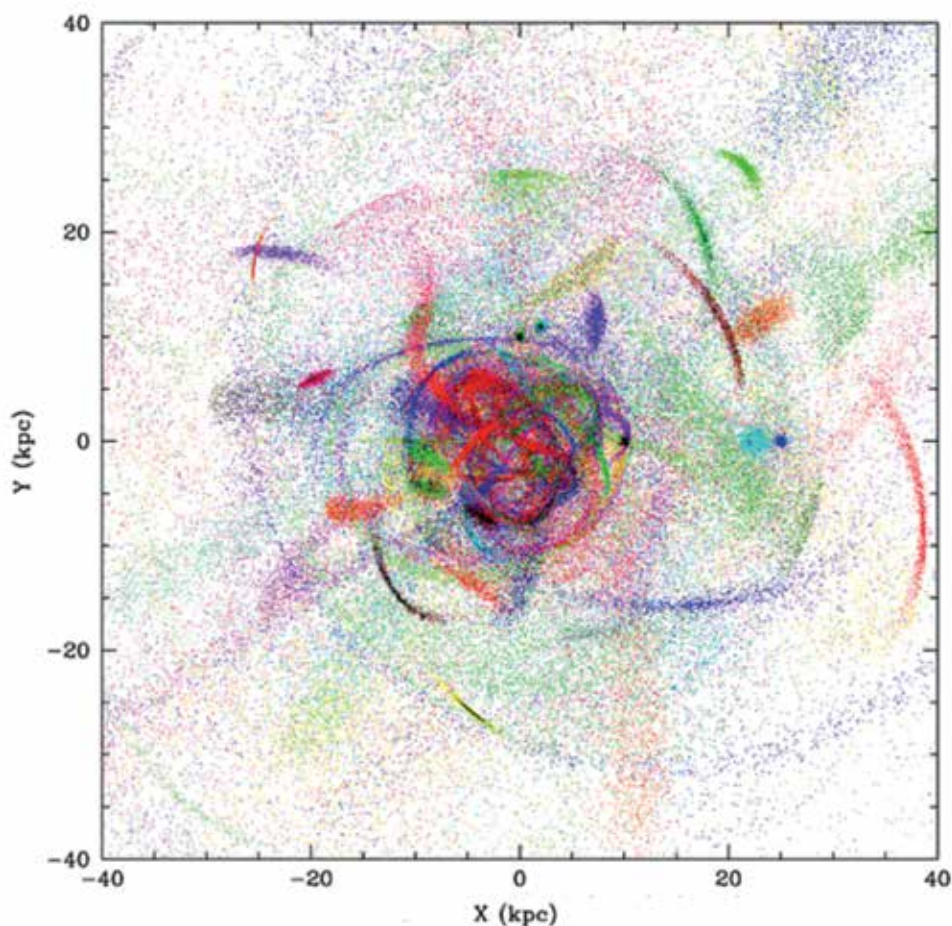
Seveda niti Gaia ne zmore vsega. Podrobna določitev kemične sestave zvezd ali iskanje primerov zvezd, ki se nahajajo v kratkoživih fazah zvezdne evolucije, je zato glavni cilj podrobnih spektroskopskih pregledov, narejenih s teleskopi na Zemlji. Pregled neba RAVE z meritvami radialne hitrosti in podrobno karakterizacijo zvezd tako predstavlja edinstveno dopolnitev trenutnih rezultatov misije Gaia, medtem ko bosta pregleda Gaia-ESO in Galah izjemno pomembna v prihodnje. Prvi je pomeril kemično sestavo več kot sto tisoč zvezd, ki so za tovrstno meritev s satelitom Gaia pretemne, drugi pa meri podrobno kemično zastopanost kar 28 elementov periodnega sistema za približno milijon zvezd.

Septembra 2016 je Gaia javno objavila prvo zbirko podatkov. To je bila preliminarna meritev smeri proti dobri

milijardi zvezd, dobrima dvema milijonoma zvezd pa smo lahko s kombinacijo opazovanj satelitov Hipparcos in Gaia določili tudi oddaljenost. Točnost teh rezultatov je za zdaj še na ravni Hipparcosa, vseeno pa je to daleč najpopolnejša zvezdna karta doslej in tudi razdalje so sedaj poznane za dvajsetkrat več zvezd. Že aprila 2018 sledi naslednja objava z veliko točnejšo določitvijo razdalje in gibanja za več kot milijardo zvezd, in to s točnostjo nekaj stotisočink ločne sekunde, ob tem pa tudi radialne hitrosti kakih petih milijonov zvezd.

Slovenci smo v misiji Gaia aktivni od leta 2000, ko smo sodelovali pri določanju njenih znanstvenih zahtev, zlasti na področju dvojnih zvezd. V preteklih letih smo prispevali del računalniške kode za obdelavo podatkov s spek-

troskopa na krovu. Ker smo edina skupina, ki sodeluje tudi v vseh zgoraj omenjenih spektroskopskih pregledih neba, kar je predvsem posledica znanja avtomatizacije obdelave in interpretacije spektroskopskih podatkov, smo tudi vezni člen med temi pregledi in misijo Gaia. Doslej se je na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani z misijo Gaia raziskovalno ukvarjalo 14 kolegic in kolegov. Akademska in raziskovalna sfera pa tudi sicer uspešno sodeluje z Evropsko vesoljsko agencijo. Poleg dela na projektih je tu še izobraževanje študentov, ki so tako v stiku z najnaprednejšimi tehnologijami in se navajajo na delo v tekmovalnem in ustvarjalnem mednarodnem okolju, rezultat pa je tudi marsikateri odmeven doktorat ali objava.



Slika 5: Simulirana projekcija haloja naše Galaksije na galaktično ravnino, izhodišče je v središču Galaksije, Sonce pa na položaju (8,0). Barve označujejo današnje položaje zvezd iz vsake od 50 pritlikavih galaksij, ki jih je naša Galaksija ujela v zadnjih desetih milijardah let in sedaj sestavljajo njen halo. Z rekonstrukcijo galaktičnih tirnic posameznih zvezd bo Gaia lahko sledila preteklim zajetjem pritlikavih galaksij in tako ugotovila razmere, v katerih je naša Galaksija nastala. Sliko so pripravili Amina Helmi in člani projekta Spaghetti survey.

O gravitaciji teles nepravilnih oblik

Peter Jevšenak

Šolski center Velenje, Gimnazija Velenje

Povzetek

Leta 2014 je vesoljska sonda Rosetta na Zemljo poslala slike nenavadnega nebesnega telesa, komet 67P, ki še najbolj spominja na sprimek dveh kep. Rosetta je na komet spustila tudi pristajalni modul Philae, ki se je po prostem padu zaradi majhne gravitacije od površine komet večkrat odbil, preden se je pritrdil na podlago. Ali se gravitacijsko polje takega nebesnega telesa razlikuje od gravitacijskega polja Zemlje le po jakosti? Ali se težni pospešek spreminja s kvadratom razdalje? Z računalniško simulacijo na poenostavljenem modelu komet smo ugotavljali lastnosti težnosti in prišli do zanimivih zaključkov.

Ključne besede: sonda Rosetta, komet 67P, gravitacijsko polje nebesnih teles

On the Gravity of Irregular Bodies

Abstract

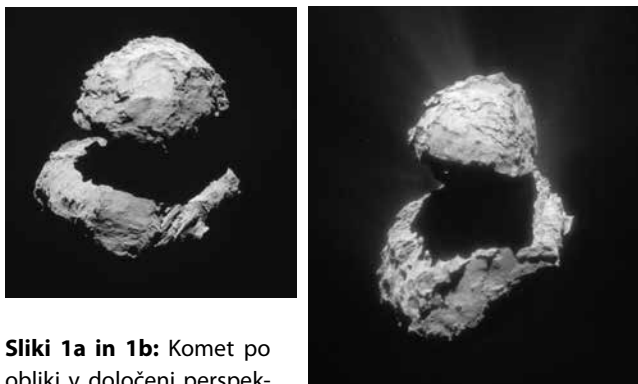
In 2014, the Rosetta space probe sent images of an unusual celestial body to Earth, the 67P comet, which resembles a conglomerate of two lumps. Rosetta also lowered the Philae lander onto the comet, which bounced off its surface several times after a free fall, before finally attaching itself to the ground. Does the gravitational field of such a celestial body differ from the gravitational field of Earth in anything other than magnitude? Does the gravitational acceleration change with the square of the distance? Using a computer simulation on a simplified model of the comet, we determined the properties of gravity and reached a few fascinating conclusions.

Keywords: Rosetta probe, 67P comet, gravitational field of celestial bodies

Uvod

Spomladi leta 2014, po desetih letih potovanja po Sončnem sistemu, je vesoljska sonda Rosetta dosegla svoj cilj – komet 67P/Churyumov-Gerasimenko (v nadaljevanju komet). Svet so obšle slike oddaljenega in nenavadnega sveta. Komet ima obliko dveh sprijetih oblastih kep. Večja kepa meri v premeru dobre štiri kilometre (slika 1). Novembra 2014 se je z Rosette odcepil modul Philae in pristal na površju komet. Pristanek ni potekal gladko, ampak se je Philae od površja večkrat odbil, preden se je končno zasedel v podlago. V okolici tako majhnega nebesnega telesa vladajo popolnoma drugačne razmere, kot smo jih vajeni na Zemlji, govorimo lahko o mikrogravitaciji. Po podatkih Evropske vesoljske agencije (ESA) se je Philae odbil od površja s hitrostjo počasne hoje, skoraj eno uro pa je trajalo, da se je ponovno dotaknil tal [1] [5]. Na Zemlji bi se to zgodilo v manj kot

sekundi. To je izzvalo začudenje in padla je odločitev, da z analizo gibanja modula Philae pridemo do težnega pospeška na mestu pristanka na kometu. Ker pa komet nima krogelne oblike kot večja nebesna telesa (zvezde, planeti, večje lune), težni pospešek verjetno odstopa od zakona $1/r^2$. V dostopni literaturi ni enostavno poiskati informacij o gravitaciji teles nepravilnih oblik ali o telesih, ki nimajo krogelne oblike. Poglavlja o gravitaciji se začno z Newtonovim gravitacijskim zakonom, kot primer pa je predstavljeno Zemljino težnostno polje. Pripisano je, da zaključki veljajo samo za telo okrogle oblike, kjer se gostota telesa spreminja izotropno z oddaljenostjo od središča. Ker se drugačna telesa ne omenjajo, smo se sami lotili izdelave računalniškega programa – simulacije gravitacijskega pospeška v izbrani točki v okolici poenostavljenega modela komet.

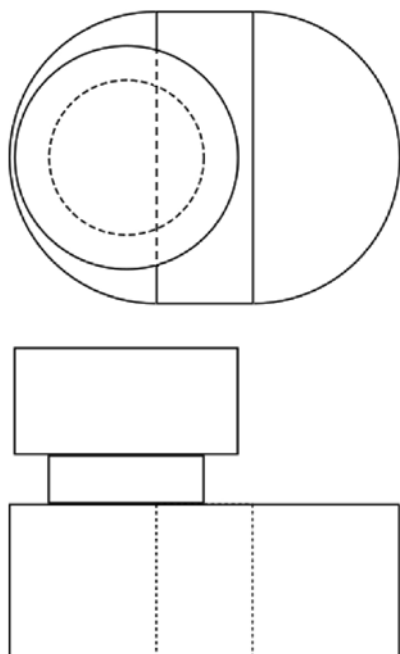


Sliki 1a in 1b: Komet po obliki v določeni perspektivi spominja na raco; zgornja manjša obla (glava) je prek vratu spojena s spodnjo večjo oblo (trupom) [4].

Geometrijski model kometa

Naš cilj je bil napisati program, ki bi na zaslonu narisal obris kometa v stranskem risu, nato pa bi izbrali poljubno točko na kometu ali v bližnji okolici in kot rezultat dobili težni pospešek v izbrani točki tako po velikosti kot po smeri. V ta namen smo morali kompleksno obliko kometa poenostaviti in ga spraviti v matematično obvladljivejšo obliko. Zamislili smo si ga takole (slika 2 in 3):

- Manjša obla – zgornji element: valj premera 2,3 km in višine 1,1 km
- Vrat – element v sredini: valj premera 1,6 km in višine 0,5 km
- Večja obla – spodnji element: kvader dimenzij 1 km x 1,6 km x 3,0 km, vrinjen med dve polovici valja premera 3,0 km in višine 1,6 km



Slika 2: Tloris in stranski ris modela kometa.

Skrajni desni rob vratu je nad središčem spodnjega elementa. Zgornji in spodnji valj sta nameščena centralno drug nad drugim. Težišče kometa je po preračunu glede na znana težišča izbranih teles na stranskem risu 0,2 km levo in 0,43 km višje od središča spodnjega elementa. Vrat in zgornjo oblo smo malo prestavili glede na original, tako da smo dobili v tlorisu ravnino simetrije, če ga prerežemo po sredini. To ravnino potem v stranskem risu vidimo na zaslonu in težni pospešek se računa v točkah te ravnine. Mere so izbrane tako, da se volumna modela in izvornika čim bolj ujemata.



Slika 3: Leseni model kometa v merilu 1 : 20 000.

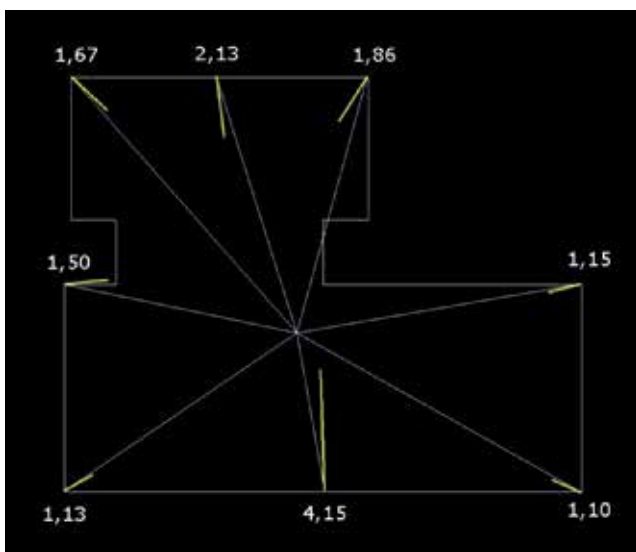
Gravitacijsko polje kometa

Z besedo komet mislimo na model kometa iz slike 3. Program je računal z naslednjimi podatki: masa je $1,0 \cdot 10^{13}$ kg, volumen (modela) je $21,7 \text{ km}^3$ ter gostota 463 kg/m^3 [2]. K odločitvi, da računamo težni pospešek samo v točkah simetrijske ravnine, sta prispevala predvsem dva dejavnika. Prvi je ta, da vektor težnega pospeška v izbrani točki te ravnine tudi leži v tej ravnini in ga lahko prikažemo dvodimenzionalno. Drugi pa je dejstvo, da se je modul Philae gibal približno po simetrijski ravnini, ko je pristajal na temenu zgornje oble kometa.

Programirali smo v računalniškem jeziku C++, ker je zelo primeren za reševanje matematičnih problemov. Ker pa ne vključuje grafike, smo si pomagali s knjižnicami SFML, ki služijo kot zvokovna in grafična razširitev jezika C++. Program deluje tako, da preučevano telo razreže na manjše dele, ki jih potem upošteva kot točkasta telesa, nato pa izračuna prispevek vsake take točke k težnemu pospešku v izbrani točki simetrijske ravnine po enačbi $\vec{g} = \frac{GM}{r^2} \frac{\vec{r}}{\|\vec{r}\|}$. Pospešek razstavi na pravokotni komponenti (po z-osi oz. v smeri pravokotno na središč-

ni prerez stranskega risa se zaradi simetrije komponente izničijo) in prispevke vseh točk sešteva po komponentah. Na koncu iz komponent izračuna velikost in smer in to se grafično prikaže na zaslonu.

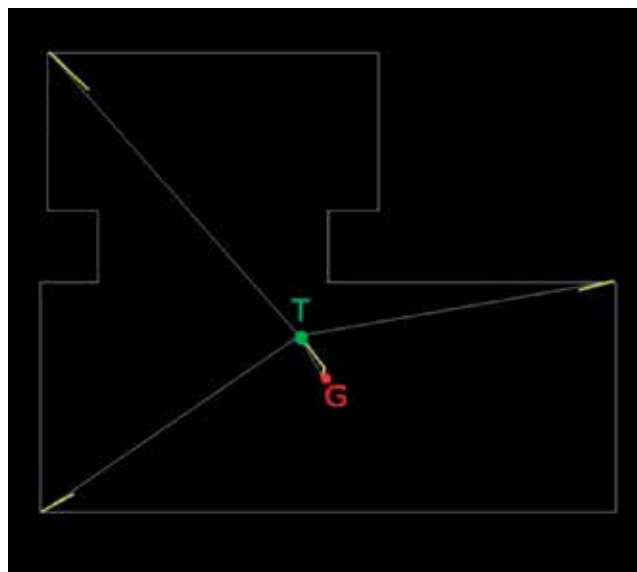
Program najprej določi položaj in maso vseh kosov. V našem primeru smo komet razdelili na 500.000 kosov, kar zadošča za natančnost približno 1 %. Nato se na zaslonu odpre grafično okno z obrisom kometa v stranskem risu kot na sliki 4. Izberemo poljubno točko grafičnega okna, znotraj, zunaj, na površini kometa, nakar se po končanem izračunu za lažjo orientacijo izriše zveznica med izbrano točko in težiščem kometa, hkrati pa se iz izbrane točke z rumeno barvo nariše še vektor težnega pospeška. Dolžina črte predstavlja relativno velikost, lega v ravnini pa smer težnega pospeška. Številčna vrednost težnega pospeška v izbrani točki se izpiše v sosednjem oknu, ki se odpre vzporedno h grafičnemu. Ko izberemo naslednjo točko, se stara slika ohrani in doda se težni pospešek v novi točki. Tako lahko spremljamo, kako se z razdaljo oziroma s premiki spreminja težni pospešek.



Slika 4: Težni pospešek v izbranih točkah na površini kometa; številčne vrednosti so prepisane iz vzporedno odprtega okna in jih je treba pomnožiti s faktorjem 10^{-4} m/s^2 . Točka v sredini, ki leži na sečišču črt, je težišče kometa.

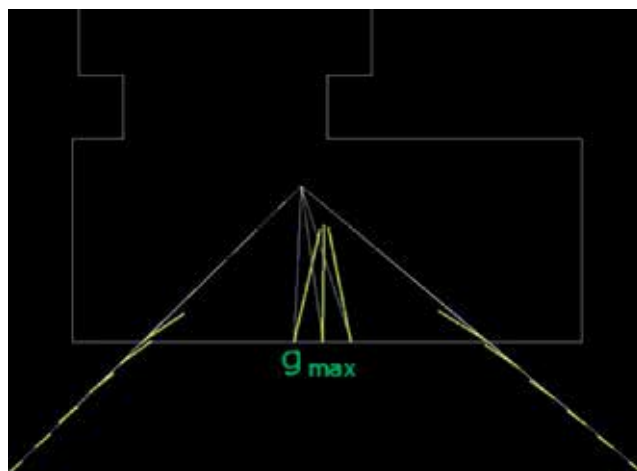
S slike 4 razberemo, da se težni pospešek spreminja, ko se premikamo po površju kometa. Rumene črte, ki predstavljajo velikost in smer pospeška, pa jasno nakazujejo, da težni pospešek **ne** kaže vedno proti težišču.

Za Zemljo velja, da je težišče tudi gravitacijsko središče, točka, kjer je težni pospešek enak nič. Na kometu pa težni pospešek v težišču znaša $1,34 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2$. Če izberemo v nadaljevanju točko ob koncu rumene črte, ki predstavlja vektor težnega pospeška v težišču, pridemo na področje, kjer zabeležimo nenaden upad jakosti gravitacije, tudi za dva velikostna reda. Tukaj lahko iščemo gravita-



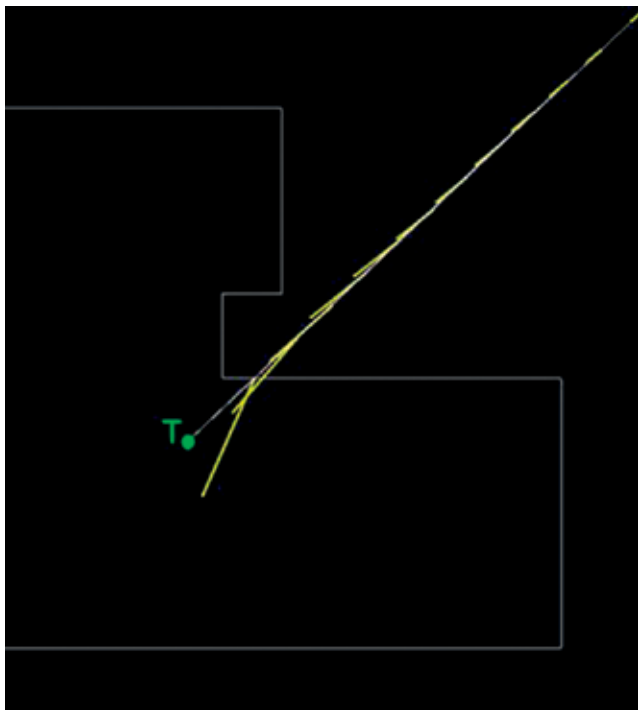
Slika 5: Točka G – gravitacijsko središče kometa; točka T – težišče.

cijsko središče kometa – točko G. To področje zavzema kvader, ki predstavlja centralni del spodnje oble kometa. Ta je razdeljen po vsaki dimenziji na 50 delov, kar pomeni 125.000 kosov dimenzij 20 m x 32 m x 60 m. Program vsak kvader upošteva kot točkasto telo z maso, zbrano v središču. Natančno lego točke G bi s poskušanjem našli le, če bi točka G sovpadala s središčem enega od kvadrov, kar pa je skrajno neverjetno. Poleg tega še velja, da premik za eno slikovno piko na grafičnem zaslonu pomeni premik za 6 m v merilu kometa. Če bi hoteli natančneje locirati gravitacijsko središče, bi morali spremeniti merilo na zaslonu in še precej bolj na drobno razdeliti telo. Vseeno pa lahko ocenimo, da sta točki G in T na kometu oddaljeni približno 330 m.



Slika 6: Področje okrog sredine spodnje ploskve je območje največjega težnega pospeška na kometu. Prikazane so tudi spremembe v smeri težnega pospeška pri približevanju spodnji ploskvi.

Največja težnost kometa je po sliki 6 na sredi spodnje ploskve, $g_{\max} = 4,16 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2$. Pospešek na tem delu kaže izrazito proti središču spodnjega elementa in ne proti težišču kometa. Če bi v sistemu dveh teles spustili (v primerjavi s kometom majhno) telo, da prosto pada iz točke v vogalu slike 6 desno spodaj, se to telo ne bi gibalo po premici. V bližini površja se smer težnega pospeška vse bolj odmika od težišča in telo bi blago zavilo levo. Analizo smeri pospeška, ko se približujemo »vratu« kometa, kaže slika 7.



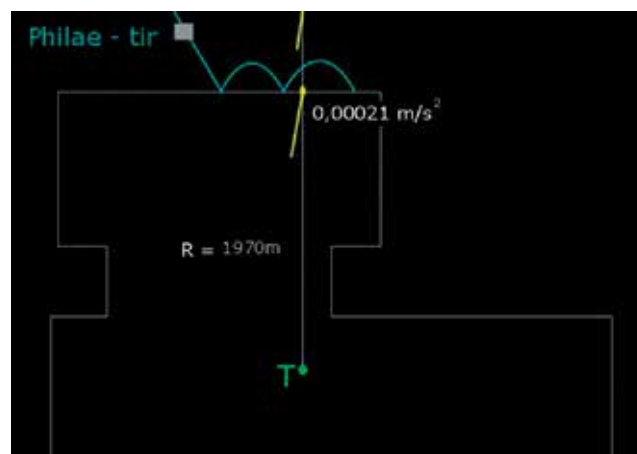
Slika 7: Smeri težnega pospeška pri približevanju proti »vratu« kometa.

S slike 7 razberemo, da oddaljeno telo pada proti težišču, bližje kometu pa posamezne masne gmote lokalno preglasijo celoto. Tako bi telo začelo rahlo zavijati proti valju, ki predstavlja zgornjo oble, nato pa bi pot nadaljevalo v nasprotni smeri, ko bi se dovolj približalo spodnjemu elementu. Točen potek tira ni bil cilj naše raziskave.

Preverjanje veljavnosti zakona $1/r^2$ v okolici kometa

Iz Newtonovega gravitacijskega zakona sledi, da težni pospešek pada s kvadratom razdalje od točkastega masnega telesa. Za takšno odvisnost od razdalje se je uveljavil izraz »zakon $1/r^2$ «. Sonda Rosetta je novembra 2014 izvedla poseben manever, da se je približala težišču kometa 67P na 22,5 kilometra. V ustreznem trenutku se je od Rosette odcepil pristajalni modul Philae in se pričel spuščati na komet. Spust je potekal balistično – brez po-

gona in vodenja, samo padajoče v šibki gravitaciji komete. Ob pristanku naj bi posebne noge s svedri in harpune poskrbele za pritrnitev modula na površino, vendar pritrnitev ni uspela. Philae se je prvič dotaknil površine na temenu zgornje oble, potem pa se je odbijal v smeri, kot približno kaže tir na sliki 8.

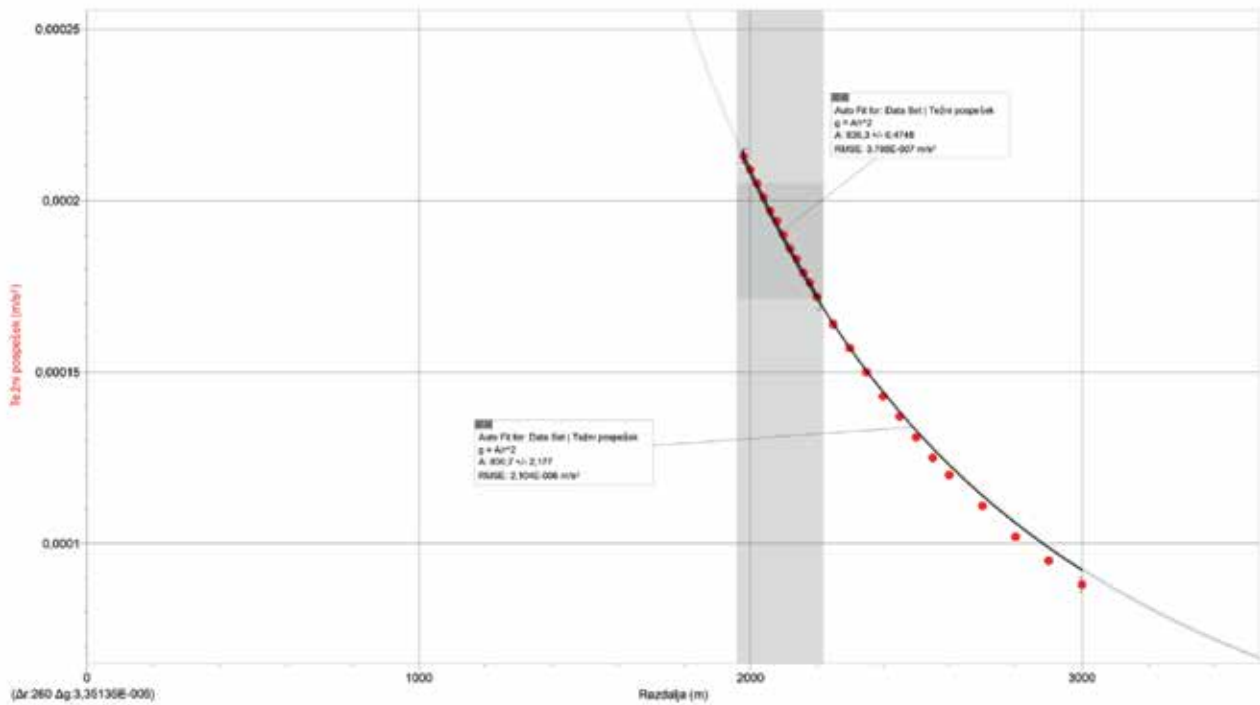


Slika 8: Področje preverjanja veljavnosti zakona $1/r^2$: tir je samo približen in ni v merilu.

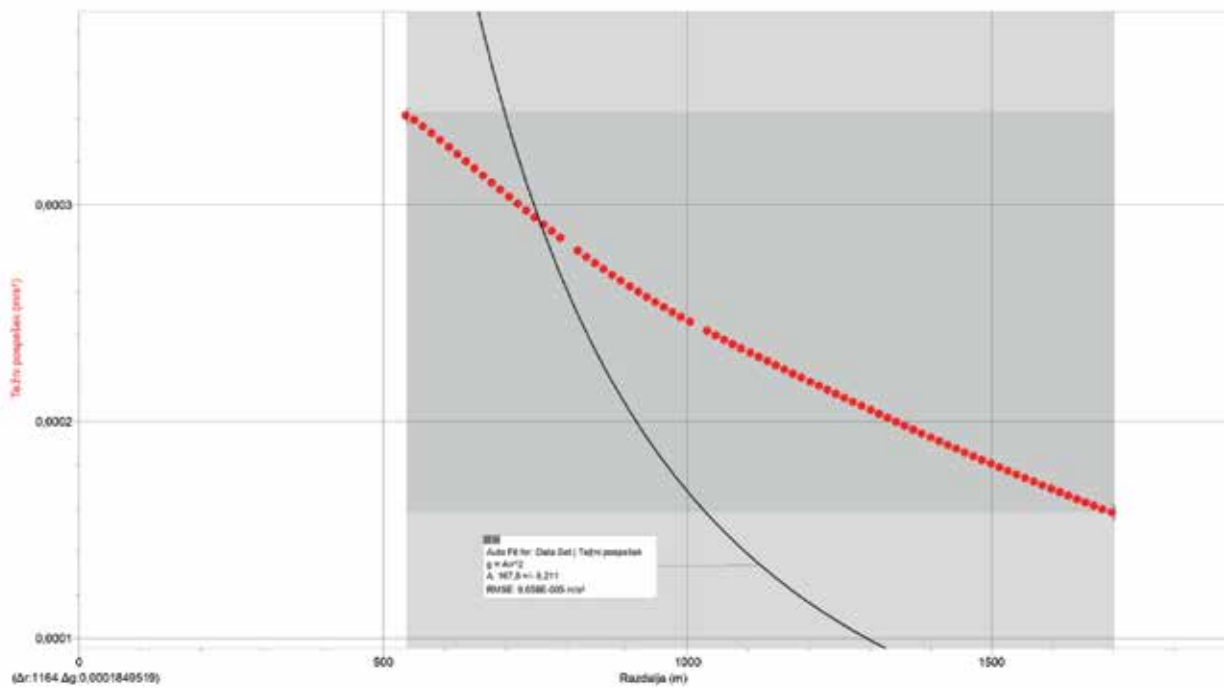
Program za izračun težnega pospeška smo prilagodili tako, da v poljubni smeri iz težišča navzven po izbranih korakih računa težni pospešek. Smer v programu smo nastavili navpično navzgor (razdalja od težišča do zgornje ploskve je 1970 m), ker tako na površini pridemo približno na mesto gibanja modula Philae. Za analizo njegovega gibanja – tako padanja proti kometu kot odbojev – moramo vedeti, kako se težni pospešek spreminja z razdaljo. Težni pospešek smo računali v 20-metrskih korakih, zanimalo so nas vrednosti od površja naprej. Izračunane podatke iz programa smo vnesli v program LoggerPro in nastal je graf 1. LoggerPro omogoča prilagajanje funkcij skozi vstavljene točke. Izbrali smo prilagoditveno funkcijo Ax^{-2} in jo uporabili enkrat na vseh točkah od površja do oddaljenosti 1 km (na razdaljah od težišča med 1970 m in 3000 m), drugič pa samo na točkah do oddaljenosti 220 m od površja (maksimalna višina po odboju) – sivo področje.

Vidimo, da obeh krivulj skoraj ne ločimo in da se krivulji na grafu 1 dobro prilegata točkam. Koefficient A v prilagoditveni krivulji je konstantni del enačbe $g = g_0 \frac{R^2}{r^2}$. S podatki $g_0 = 2,13 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2$ in $R = 1970 \text{ m}$ dobimo za $g_0 R^2$ vrednost $827 \text{ m}^3/\text{s}^2$. Prilagoditev za vse točke je pokazala vrednost za A $831 \text{ m}^3/\text{s}^2$, za bližnje točke pa $836 \text{ m}^3/\text{s}^2$. Kaže, da zakon $1/r^2$ v tej smeri dobro velja tudi blizu površine.

Veljavnost zakona $1/r^2$ smo preverili v različnih smereh. Rezultati v smeri diagonale (podobno kot na sliki 7) so prikazani na grafu 2. Točke prikazujejo težni pospešek



Graf 1: Preverjanje veljavnosti zakona $1/r^2$ – smer navpično navzgor.



Graf 2: Preverjanje veljavnosti zakona $1/r^2$ – smer diagonala.

(g) od površine naprej, polna črta pa je prilagoditvena funkcija Ax^{-2} .

Površina je v tej smeri oddaljena od težišča za $R = 523$ m. V preučevani razdalji več kot kilometer od površja točke niti približno ne sledijo prilagoditveni krivulji in lahko rečemo, da tu zakon $1/r^2$ ne velja.

Zaključek

Z raziskavo smo spoznali, da težišče telesa v gravitacijskem polju blizu telesa ni tako pomembno, kot smo sprva mislili. V bližini komete ima na telo največji vpliv lokalno dominantna masa ob tiru. Posledica tega je spreminjanje smeri težnega pospeška in posledično telo ne pada po premici. Točko, kjer je težni pospešek enak nič, smo poimenovali gravitacijsko središče. V modelu komete 67P jo najdemo približno na zveznici med težiščem celotnega komete in težiščem spodnjega elementa (večje

oble). Zanimiva je tudi ugotovitev, da na izbočenih delih komete razmeroma dobro velja zakon $1/r^2$ za težni pospešek že od površine naprej, čeprav komet niti približno nima oblike krogle. Za večja vbočena področja (okrog vratu komete) pa zakon ne velja.

Ker smo potrdili veljavnost zakona $1/r^2$, smo lahko z analizo gibanja odbojev modula Philae (znana višina in čas) izračunali realni težni pospešek na mestu pristanka, $g_0 = 1,17 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2$. S tem podatkom smo lahko izračunali maso komete, ki je $1,00 \cdot 10^{13} \text{ kg}$. Naš izračun se sklada z vrednostjo mase, ki jo navaja ESA.

Ta članek je izvleček iz raziskovalne naloge Mikrogravitacija kometov [3], ki je bila v šolskem letu 2015/16 izdelana na Gimnaziji Velenje. Na 50. Srečanju mladih raziskovalcev v Murski Soboti je bila razglašena za najboljšo nalogo s področja fizike ali astronomije. V nalogi lahko najdemo še podrobno analizo gibanja modula Philae med spustom na komet in odbojev od površine.

Viri in literatura

- [1] Arhiv člankov za misijo Rosetta na spletni strani ESA
http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/%28archive%29/0 (10. 5. 2016).
- [2] Getting to know Rosetta's comet
http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/Getting_to_know_Rosetta_s_comet (28. 4. 2016).
- [3] Jevšenak, L. (2016). *Mikrogravitacija kometov*. Raziskovalna naloga. Velenje: Šolski center Velenje.
- [4] Rosetta's target
<http://sci.esa.int/rosetta/14615-comet-67p/> (28. 4. 2016).
- [5] The Rosetta lander
http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/The_Rosetta_lander (27. 4. 2016).

Naravoslovni dan na temo astronomije

Tatjana Gulič

Osnovna šola Preska

Povzetek

V prispevku je opisanih nekaj poskusov, ki jih izvajajo učenci osmega razreda. Običajno vsebinski sklop o astronomiji začnemo s pogovori o zgodovini astronomije, prikažemo nekaj modelov geocentričnega in heliocentričnega sistema in se pogovorimo o drugih zgodovinskih dejstvih ter o merjenju razdalj v vesolju. Učenci samostojno v literaturi poiščejo, kdo je avtor ugotovitev in njihovih zapisov. Pogovorimo se tudi o nekaterih drugih astronomskih odkritjih ter njihovih avtorjih. Preostale vsebine učenci usvojijo prek samostojnega skupinskega dela pri pouku ali v sklopu naravoslovnega dne. S samostojnim raziskovanjem dosežemo, da bo znanje učencev trajnejše.

V prispevku so opisane tri vaje, v katerih je zajeto samostojno delo z besedilom, delo z modeli, izračuni in eksperiment. Končni izdelek prve vaje je trak, na katerega so v izbranem merilu nalepljeni planeti. V nadaljevanju je opisan eksperiment, pri katerem učenci na šolskem igrišču ponazorijo kroženje planetov in s tem povezane pojave. Na koncu je opisan še model, s katerim učenci ponazorijo kroženje Lune okrog Sonca in raziščejo nastanek luninih men.

Ključne besede: naravoslovni dan, astronomija, planeti, Luna, lunine mene

Science Day on the Topic of Astronomy

Abstract

This paper describes a few experiments conducted by students in the eighth grade. We usually introduce astronomy content by discussing the history of astronomy, showing a few models of the geocentric and heliocentric system, and talking about other historical facts and about measuring distances in space. Students search the literature on their own to find out the author of the findings and of the written records. We also discuss a few other discoveries in astronomy and their authors. Students learn the rest of the contents through independent group work during lessons or during Science Day. Independent research leads to more permanent knowledge of students.

This paper describes three exercises which encompass independent work with a text, work with models, calculations and an experiment. The end product of the first exercise is a strip to which the planets have been glued at the chosen scale. The paper then describes an experiment during which the students demonstrate the orbiting of planets and the phenomena connected with it in the school playground. In the end it describes the model used by students to demonstrate the orbiting of the Moon around the Sun and research the origin of lunar phases.

Keywords: Science Day, astronomy, planets, Moon, Lunar phases

Uvod

Naravoslovni dan razdelimo na tri dele. V prvem delu učenci raziščejo dejstva o posameznem planetu našega Osončja in pripravijo trak z modelom dela našega Osončja s planeti. V drugem delu spoznajo pojave, povezane s kroženjem planetov okoli Sonca, kot je na primer navidezni prehod planeta čez Sončevo ploskev in podobno. Tretji del je namenjen raziskovanju kroženja Lune in Zemlje okrog Sonca ter s tem povezanih luninih men.

Cilji naravoslovnega dneva

V učnem načrtu za fiziko v osmem razredu najdemo naslednje učne cilje.

Učenci:

- razložijo pojme zvezda, planet, satelit, komet, meteor, galaksija ipd.,
- spoznajo in primerjajo lastnosti posameznih planetov,
- opišejo obliko tirnice planetov okoli Sonca.

Učni cilji so v tem delu zelo skopi in jih lahko nekoliko razširimo in dopolnimo.

Učenci vedo:

- da ima Zemlja en sam naravni satelit,
- da ta kaže Zemlji ves čas več ali manj isto stran, z drugimi besedami, da se v enakem času, kot obkroži Zemljo, enkrat zavrti okoli svoje osi,
- da sta ravnini kroženja Zemlje okoli Sonca in Lune okoli Zemlje skoraj poravnani, kar pomeni, da lahko opazujemo lune mene in mrke,
- da se planeti, ki so bližje Sonca, gibljejo hitreje kot planeti, ki so dlje od Sonca.

1. vaja: O planetih

Naloga učencev je, da v merilu pripravijo trak s planeti. Seveda najprej ugotovijo, da je razmerje velikosti planetov in razdalje med njimi praktično nemogoče prikazati v enakem merilu, pač pa lahko razmerje velikosti planetov predstavimo v enem, razdalje med njimi pa v drugem merilu. Če do te ugotovitve ne pridejo sami, jih pri tem vodimo.

Običajno najprej pripravijo planete. Velikosti planetov lahko v izbranem merilu izračunajo sami, v časovni stiski pa si lahko pomagajo z delovnim listom (List 1).

Več o planetih najdete v učbeniku (Beznec, 2013) ali na spletu (Hipschman, 1997); (NASA, 2017).

Za dodatno raziskavo jim damo delovni list, ki ga izpolnijo s podatki o posameznih planetih (List 2).

Nalogo nadaljujejo z risanjem grafa. Lahko jim priložimo milimetrski primer ali pa si graf narišejo v zvezek.

Naloga: V zvezek nariši graf. Na vodoravno os nanesi imena planetov kot si sledijo po oddaljenosti od Sonca, na navpično pa njihove velikosti.

V nadaljevanju učenci poiščejo razdalje od Sonca do izbranega planeta. Če tega niso naredili že prej, jim prepustimo, da podatke poiščejo v literaturi ali na internetu.

Sami naj si izberejo enoto, v kateri bodo razdalje zapisali. Seveda pomagamo, če katera skupina učencev to potrebuje. Najverjetneje bodo pomoč potrebovali pri preračunu razdalj v ustreznem merilu. Priporočljivo je, da na en konec traku, sestavljenega na primer iz dveh ali treh pet centimetrov širokih trakov šelehamerja, zlepljenih skupaj po dolžini, narišejo rob Sonca, na drugi konec pa nalepijo Saturn, saj so razdalje do preostalih dveh planetov prevelike. V enakem merilu naj preračunajo še oddaljenost drugih planetov od Sonca [3, 5].

Seveda lahko nalepijo tudi vse planete, odločitev o tem prepustimo posamezni skupini.

Navodila za ta del naloge so na Listu 3. Primer modela je prikazan na sliki 1.

2. vaja: Model kroženja planetov

Nalogo izvedemo na šolskem igrišču ali bližnjem travniku. Za izvedbo potrebujemo modele planetov: Merkurja, Venere, Zemlje in Marsa ter model Sonca. Za model Sonca lahko uporabimo žogo za pravilno sedenje ali telovadbo, s premerom nekaj več kot meter. Planete naj učenci oblikujejo iz plastelina, ki ga pričvrstijo na konico bučike. Velikosti naj preračunajo sami. Potrebujemo tudi količke, ki jih učenci zabodejo v zemljo po navodilu, zapisanem v nadaljevanju.

Prikaz gibanja planetov:

V sredini je učenec z veliko žogo, ki predstavlja Sonce. Nato pripravimo »tire« planetov. V ta namen učenci naredijo kroge. Za vsak planet potrebujemo toliko učencev, kolikor mesecev potrebuje planet za pot okoli Sonca. Tako za Merkur potrebujemo tri, za Venere sedem, za Zemljo dvanajst in Mars štiriindvajset učencev.

Tire pripravimo tako, da se (npr. za Merkur) trije učenci primejo za roke ter sklenejo krog okoli »Sonca«. Roke izpustijo in naredijo tri ali štiri korake nazaj. Vsak učenec



Slika 1: Model Osončja.

nato predse v zemljo zabode količek in se umakne. Nadaljujemo s sedmimi učenci in tako naprej. Ko so količki nameščeni, pošljemo na vsak »tir« k enemu od količkov učenca z izbranim planetom. Učitelj ali eden od učencev prične počasi ploskati. Ob vsakem plosku se vsi učenci, vsak po svojem tiru, premaknejo od enega do drugega količka. Ploskanje in premikanje nadaljujejo. Učitelj in preostali učenci se pomaknejo na rob in opazujejo »gibanje planetov«. Dogajanje lahko posnamejo. Zanimivo je istočasno opazovati posnetke »od zgoraj« in »od strani«. Lahko uporabijo na primer kvadrokopter, če je na voljo. Primer poskusa je na ogled na tej povezavi na YouTube: <https://youtu.be/6GHng300eE8>.

3. vaja: Lunine mene

Opisana je dejavnost, kjer učenci z raziskovanjem ugotavljajo navidezno spreminjanje videza Lune – lunine mene.

Primer vprašanj za uvod:

- Opiši gibanje Zemlje in Lune po vesolju? Kako imenujemo ravnino, po kateri se navidezno giblje Zemlja?

Odgovor: Zemlja se vrti okoli svoje osi in hkrati kroži okoli Sonca. Ravnina, po kateri se giblje, se imenuje ekliptika. Luna kroži okoli Zemlje po tiru, ki je za približno 5° nagnjen glede na ekliptiko. Lunin tir seka zemljin tir dvakrat na svojem obhodu; če je to ob mlaju ali ščipu, se zgodi lunin ali sončni mrk.

- Zemlja ima stalno spremljevalko – satelit Luno. Koliko je oddaljena od Zemlje in v kolikšnem času jo obkroži? V kolikšnem času se zavrti okoli svoje osi? Kaj je posledica tega?

Odgovor: Luna je od Zemlje oddaljena približno 384.000 km in jo obkroži v približno 27 dneh. Ker sočasno tudi Zemlja kroži okoli Sonca, se medsebojni položaj Sonca, Zemlje in Lune ponovi približno vsakih 29 dni. Luna se tako kot Zemlja vrti tudi okoli svoje osi. To vrtenje je usklajeno z gibanjem okoli Zemlje, tako da nam Luna

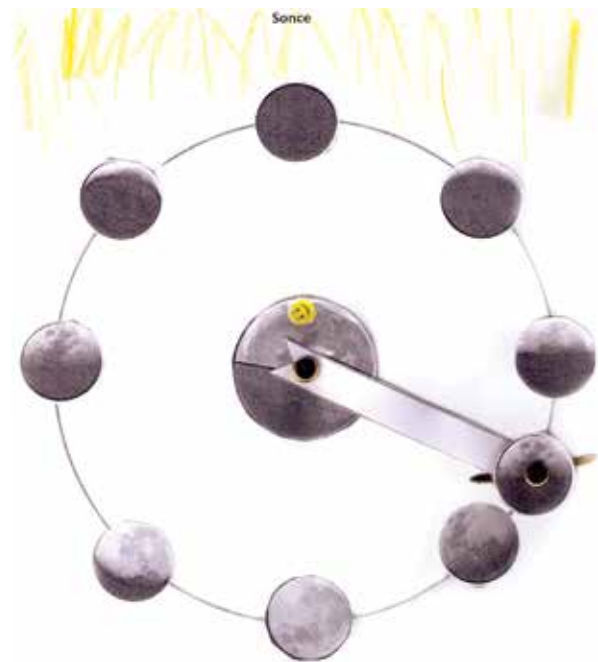
kaže vedno isto stran. Luno lahko vidimo zato, ker jo osvetljuje Sonce [1].

Učencem razdelimo naslednjo predlogo na Listu 4.

Iz Lista 5 učenci izrežejo vse dele in jih na rdečih pikah spojijo s sponkami, ki omogočajo vrtenje. Z uporabo tega modela naj si učenci pomagajo pri reševanju nalog. Učence opozorimo, da je svetla stran (polovica) Lune vedno obrnjena proti Soncu. Učenci naj izrežejo tudi lunine mene (List 5); izrežejo naj še smeška in ga prilepijo na mesto, kjer živimo. Potem naj list vsakič zasukajo tako, da bodo videli, kolikšen svetli del Lune se iz naših krajev vidi, in prilepijo ustrezno lunino meno na pravo mesto na tirnici.

Na sliki 2 si lahko ogledate primer rešitve.

V nadaljevanju lahko učencem ponudite vprašanja iz priročnika »Posodobitve pouka v osnovnošolski praksi za fiziko« (Božič, Bajc idr., 2013, str. 103).



Slika 2: Prikaz kroženja planetov.

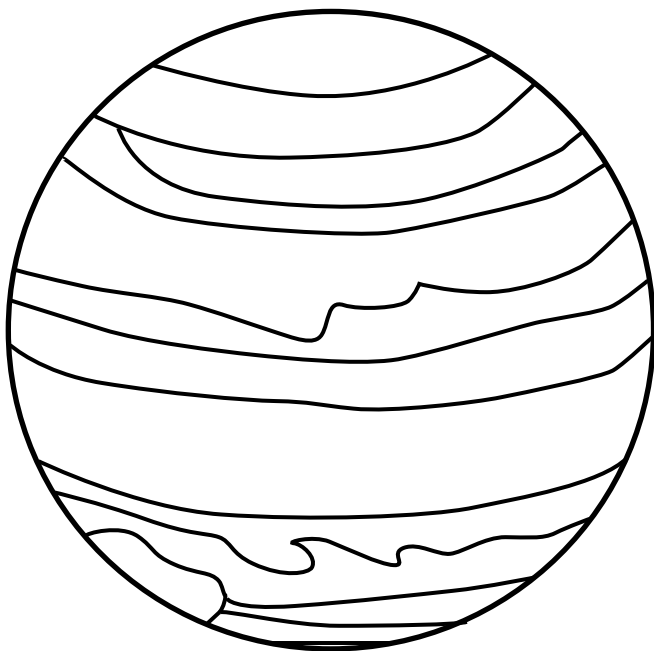
Viri

- [1] Beznec, B. idr. (2013). Moja prva fizika 1. Ljubljana: Modrijan.
- [2] Božič, S., Bajc, J. idr. (2013). Posodobitve pouka v osnovnošolski praksi. Fizika. Ljubljana: Zavod RS za šolstvo.
- [3] Hipschman, R. (1997). Exploratorium. Pridobljeno 19. 1. 2017 iz Exploratorium: http://www.exploratorium.edu/ronh/solar_system/
- [4] NASA. (2017). NASA. Pridobljeno 1. 1. 2017 iz NASA Space place: http://spaceplace.nasa.gov/external/http://www.messenger-education.org/Interactives/ANIMATIONS/Planet_Mass_Comparison/planet_mass_comp.php
- [5] Pacifik, A. S. (2017). Hands-On Astronomy Activities. Pridobljeno 19. 1. 2017 iz Astronomical Society of the Pacific: <https://www.astrosociety.org/education/hands-on-astronomy-activities/>
- [6] www.icsm.gov.au (CC by 3.0 AU)

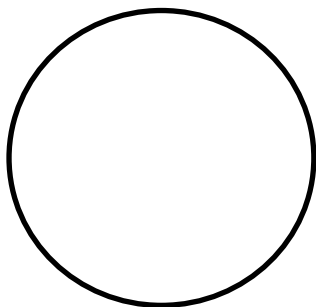
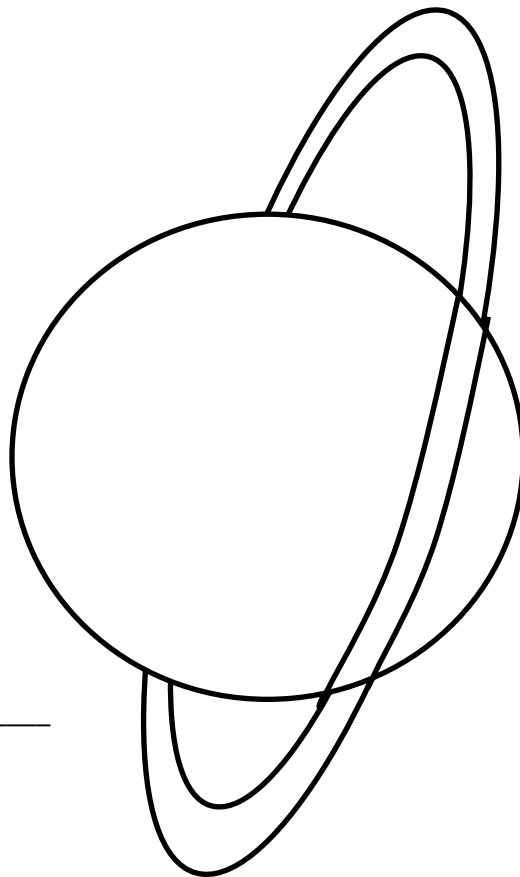
List 1: Planeti našega osončja v merilu.

Na sliki so planeti našega Osončja. Poleg vsakega zapiši njegovo ime in planet ustrezno pobarvaj.

1. _____



2. _____



3. _____

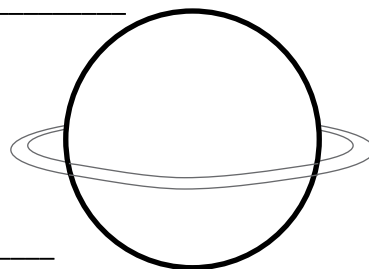
4. _____



5. _____



6. _____




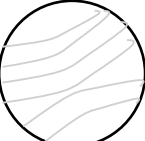



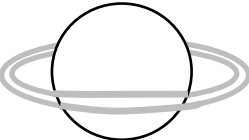
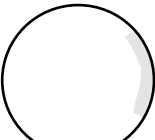
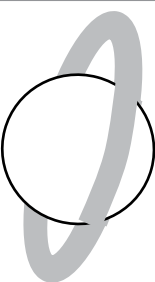
7. _____



8. _____

List 2: Lastnosti planetov našega osončja.

Planeti so razvrščeni glede na oddaljenost od Sonca. Poišči ustrezne podatke v učbeniku ali na spletu ter izpolni tabelo.

	Ime planeta	Oddaljenost od Sonca	Premer	Število lun	Površje	Atmosfera	Klima
							
							
							
							
							
							
							
							

List 3: Tabela za preračun lastnosti planetov v merilu.

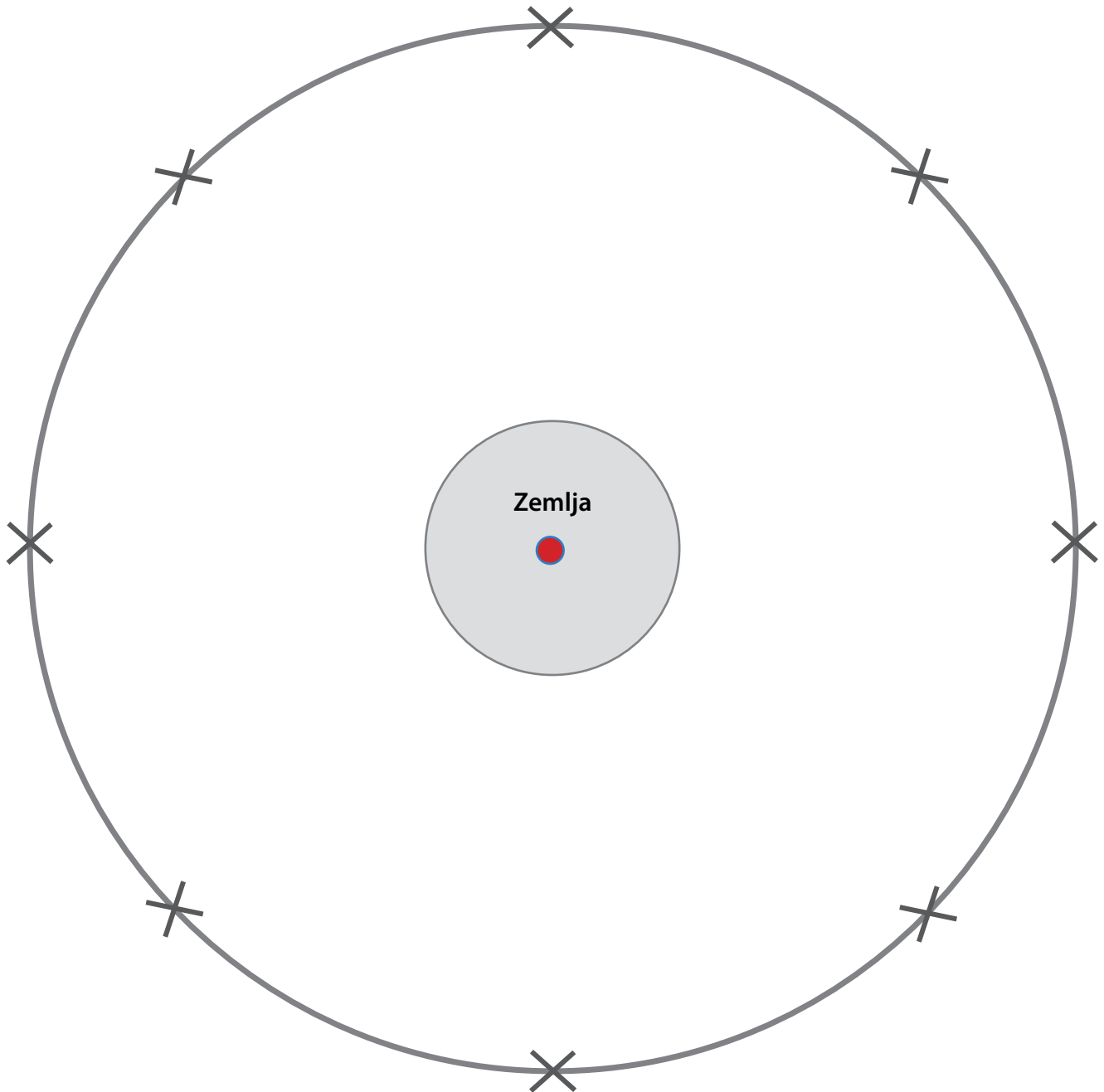
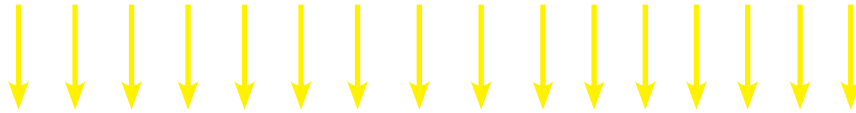
Izberi primerno merilo in preračunaj razdalje do planetov. Glede na izbrano merilo pobarvane planete nalepi na trak. Trak sestavi iz več kosov pet centimetrov širokih trakov šelešamerja, ki so po dolžini zlepljeni skupaj.

Podatke, ki si jih zbral, zapiši še v tabelo in v izbranem merilu preračunaj potrebne podatke.

Podatki			Model	
Nebesno telo	Premer [...]	Razdalja od Sonca [...]	Premer [cm]	Razdalja od Sonca [cm]
Sonce				
Merkur				
Venera				
Zemlja				
Mars				
Jupiter				
Saturn				
Najbližja zvezda		4,3 sv. l.	(ne lepite je, le preračunajte)	

List 4: Predloga za določanje Lunine mene.

Sonce



Legenda:

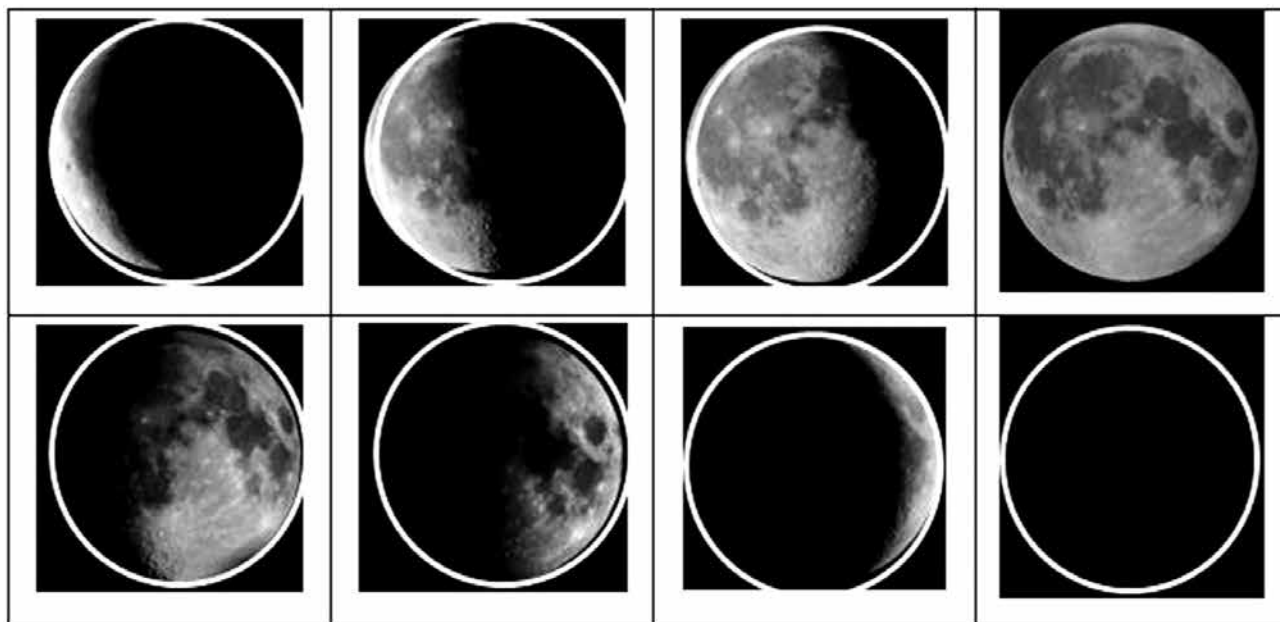
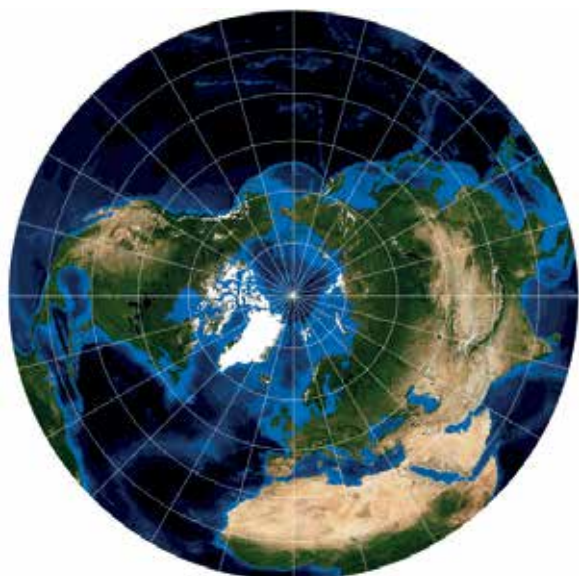
- × ... mesto, kjer prilepiš ustrezno lunino meno
- ... prilepi Zemljo

List 5: Kazalo – puščica, Zemlja in Luna za izrez.

Navodilo za delo:

Izrežite vse slike (sliko Zemlje [6], Lune, luninih men in tudi puščico ter smeška) iz lista.

Skozi sredino Zemlje in rdečo piko na puščici ter sredino Lune in drugo rdečo piko potisni sponki tako, da se lahko puščica z Luno vrti okoli Zemlje. Pri tem obračaj Luno tako, da je svetla stran vedno obrnjena proti Soncu.





Astronomija, nov gimnazijski predmet

Rasto Snoj

Elektrotehniško-računalniška strokovna šola
in gimnazija Ljubljana (Vegova)

Povzetek

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

Ključne besede: astronomija v gimnaziji, nočno opazovanje neba

Astronomy, New Subject in General Secondary School

Abstract

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

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

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

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

Začetki

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

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

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

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

Izkušnje s poukom astronomije na Vegovi

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



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

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

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

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

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

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

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

Delo na terenu – eksperimentalni del pouka

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

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

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



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

(Foto: Jaka Mušič, Vegova)



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

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

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

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

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

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

Predstavitev predmeta, sklep

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

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

Priloga – računske naloge in primer eksperimentalne vaje

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

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

1. Naloga

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

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

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



Slika 6: Poenostavljena lega Sonca, Zemlje in Marsa.

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

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

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

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

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

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

2. Naloga

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

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

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

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

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

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

3. Naloga

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

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

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

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

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

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

Izsev P lahko dobimo, če poznamo razdaljo do zvezde D in njeno navidezno magnitudo m . Razdaljo dobimo s paralakso. Ker je $1 \text{ pc} / D = \varphi$, če je le kot podan v ločnih sekundah, sledi $D = 1 \text{ pc} / 0,13 = 7,7 \text{ pc}$, oziroma 3,26 krat toliko svetlobnih let ali 25,1 ly.

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

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

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

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

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

Zaradi izotropnosti sevanja velja:

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

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

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

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

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

Izrazimo R in končno izračunamo:

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

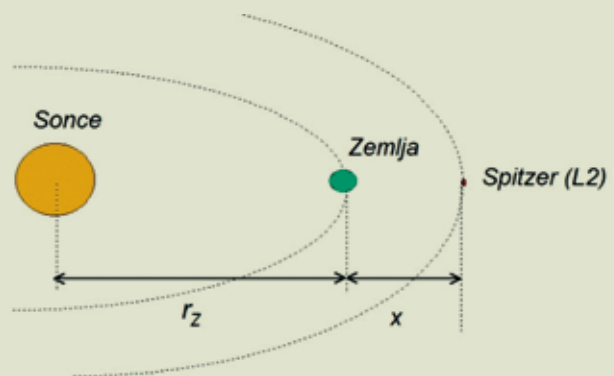
To je skoraj dvakrat toliko kot pri Soncu.

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

4. Naloga

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

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



Slika 7: Skica Sonca, Zemlje in Spitzerja.

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

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

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

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

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

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

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

$a = x/r_Z$, katerega vrednosti ne poznamo, upravičeno pa sklepamo, da je precej manjši od 1 (zakaj?), se enačba po krajšanju z r_Z^3 v imenovalcu zapiše kot: $\frac{k}{r_Z^3} = \left(\frac{k}{r_Z^3(1+a)^3} + \frac{1}{a^2 r_Z^3(1+a)} \right) \rightarrow k = \left(\frac{k}{(1+a)^3} + \frac{1}{a^2(1+a)} \right)$.

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

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

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

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

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

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

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

Lagrangeeva točka 1 se nahaja pred Zemljo (v smeri k Soncu) skoraj toliko, kot je izračunana L2 stran od Sonca.

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

Eksperimentalna vaja

Opazovanje Jupitra – nočna astronomska vaja

Namen vaje:

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

Pribor:

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

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

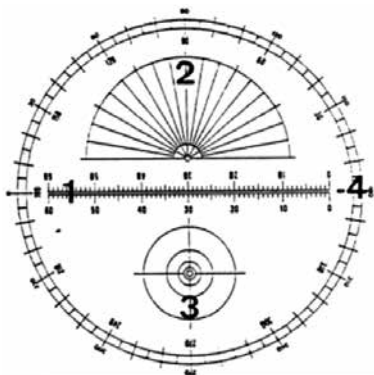
Potek vaje:

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

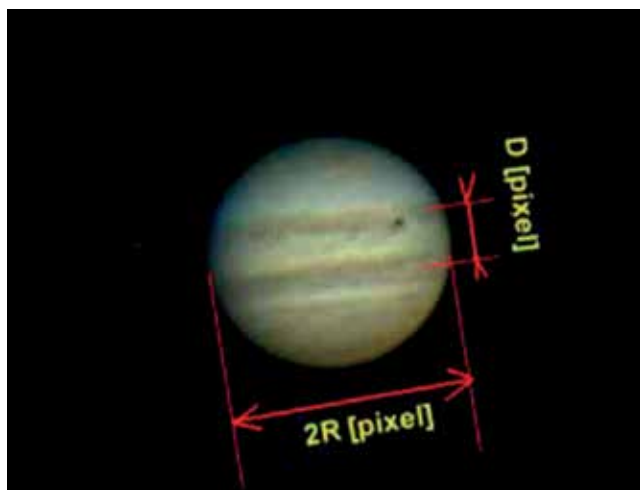
dodanim Barlowovim lečjem zlahka dosežeš stanje jalove povečave, saj je povečava teleskopa $M = \frac{f_{\text{objektiv}}}{f_{\text{okular}}}$, in če je večja od $2 \cdot D_{\text{objektiva v mm}}$, slika izgubi ostrino zaradi uklona svetlobe. V praksi se to zgodi še precej prej, predvsem pri nerefraktorskih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

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

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

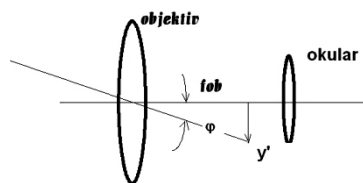


Slika 8: Merilni okular ima stekleno ploščico z različnimi kotnimi skalami, najpogosteje uporabljamo linearno skalo 1.



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

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



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

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

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

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

Primer:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Preostale iskane dimenzije odčitamo s posnetka s podobnim postopkom.

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

Viri

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

Odkrivanje Keplerjevih zakonov s pomočjo interaktivne table in programa *Algodo*

dr. Bor Gregorčič

Oddelek za fiziko in astronomijo, Univerza v Uppsali, Švedska

Povzetek

V zadnjih desetih letih so interaktivne table v slovenskih šolah postale precej razširjene. Čeprav gre pravzaprav za velike zaslone na dotik, se pogosto uporabljajo podobno kot navaden projektor, povezan z računalnikom, in običajna tabla za pisanje, le da je »črnilo« elektronsko. V članku predstavim način uporabe interaktivne table, ki izkorišča njen veliki zaslon na dotik. Z uporabo programa *Algodo* se lahko tabla prelevi v okolje, ki omogoča interaktivno raziskovanje gibanja planetov okrog Sonca. Dijaki oz. učenci lahko ustvarjajo planete in jih mečejo v tire okrog Sonca. Pri tem se odprejo nove možnosti za učenje o gibanju nebesnih teles in odkrivanje Keplerjevih zakonov na nekoliko drugačen način.

Ključne besede: Keplerjevi zakoni, interaktivna tabla, program *Algodo*, interaktivno raziskovanje gibanja planetov okrog Sonca, gibanje nebesnih teles

Discovering Kepler's Laws Using an Interactive Whiteboard and *Algodo* Software

Abstract

In the last decade interactive whiteboards have become widespread in Slovenian schools. Although they are essentially large touchscreens, their use is often limited to what appears to be a combination of a traditional computer projector and an ordinary whiteboard with electronic "ink". In this article I present a way of using the interactive whiteboard that takes advantage of its large touch-sensitive screen. Combining the interactive whiteboard with *Algodo* software can enable interactive exploration of the motion of planets around the Sun. Students can create planets and send them into orbits around the Sun by throwing them. In the process, new possibilities arise for learning about celestial motion and discovering Kepler's laws in a new and unconventional way.

Keywords: Kepler's laws, interactive whiteboard, *Algodo* software, interactive exploration of the motion of planets around the Sun, celestial motion

Uvod

Interaktivne table so marsikje že lep čas del šolskega inventarja. Ponekod so na voljo zgolj v določenih učilnicah, drugod pa so nameščene kar v vseh ali skoraj vseh učilnicah. Kljub začetnemu navdušenju in upom nekaterih, da bo interaktivna tabla spremenila pouk in ga ponesla v 21. stoletje, se je pogosto izkazalo, da interaktivne table niso prinesle velikih sprememb načina

poučevanja. Pogosto jih učitelji uporabljajo kot neprestano vklopljeni projektor, na katerem lahko prikazujejo slike, video vsebine in animacije, včasih pa celo predstavitve v Powerpointu. Čeprav je zaslon interaktivne table občutljiv na dotik (s prstom ali posebnim peresom), se njegova uporaba pogosto ne razlikuje veliko od uporabe navadne table za pisanje in risanje. Možnosti drugačne uporabe, ki jih učiteljem in tistim, ki sprejemajo odloči-

tve o nakupu nove tehnologije, predstavljajo trgovci, so morda vizualno privlačne in na prvi pogled obljublajo popestritev pouka. Toda če novih možnosti ne spremlja tehtna vsebinska in pedagoška osvežitev, lahko uporaba bleščečih trikov po nekaj učnih urah izgubi čar. Uporaba interaktivne table se seveda razlikuje od šole do šole, od predmeta do predmeta in od učitelja do učitelja. Ciljni uporabniki mnogih možnosti interaktivne table so učitelji in učenci v nižjih razredih osnovne šole. Učitelj fizike, ki ima v glavnem opravka z nekoliko starejšimi mladostniki, se tako lahko povsem upravičeno vpraša, ali interaktivna tabla ponuja kakšno pomembno prednost ali možnost, ki je ne bi ponujala veliko cenejša kombinacija navadne table in običajnega projektorja. Navsezadnje lahko prek projekcije rišemo in pišemo tudi, če računalniški zaslon projiciramo na navadno belo tablo.

V tem prispevku bom predstavil način uporabe interaktivne table, ki izkorišča njen zaslon na dotik za dejavnost, pri kateri lahko učenci ali dijaki z metanjem planetov v tire okrog Sonca odkrivajo Keplerjeve zakone [1]. Moj namen je učitelju fizike predstaviti način uporabe interaktivne table, ki izkorišča tisto, kar takšno tablo resnično loči od navadnega projekcijskega platna. Obenem želim poudariti, da bo takšna uporaba zares dodala vrednost pouku le, če bodo učenci ali dijaki aktivno vpleteni v upravljanje interaktivne table. Metanje planetov v tire okrog Sonca je dober primer učenja z gibanjem. Najrazburljivejše pri tem pa je, da se lahko s pomočjo interaktivne table z gibanjem učimo o pojavih, ki več velikostnih redov presegajo naše vsakdanje okolje in izkušnje.

Algodoo

Algodoo (www.algodoo.com) je prosto dostopen program, ki uporabniku omogoča izgradnjo dvodimenzionalnih prizorov, ki se podrejajo zakonom klasične mehanike [2]. *Algodoo* je videti podobno kot mnogim bolj poznani *Slikar*, le da se v prvem ob pritisku na gumb »Play« pred nami odvijajo prizori, ki so mehanska posledica tega, kar smo pred tem zgradili z uporabo grafičnih orodij. Tako bodo na primer v zraku narisane oblike padle na tla in se tam prevračale, dokler se ne ustavijo, ali pa se skotalile po ustvarjeni poševni podlagi, če le niso preveč oglate. Telesom lahko spreminjamo lastnosti, kot sta gostota in elastičnost, pa tudi videz – barvo in prosojnost. Spreminjamo lahko tudi splošnejše parametre, kot sta zračni upor in težni pospešek.

Algodoo nam lahko pomaga pri razlagi, razčiščevanju ali raziskovanju preprostih modelov fizikalnih pojavov. Ker se vsak prizor lahko shrani kot majhna datoteka, lahko učenci ali dijaki v šolo prinesejo prizore, ki so jih ustvarili doma, na svojem računalniku lahko nadaljujejo delo, ki so ga pričeli v šoli, ali pa med seboj in z učiteljem preko elektronske pošte izmenjujejo interaktivne prizore v obliki majhnih datotek. Po mojih izkušnjah se mladi zelo hitro priučijo uporabe programa *Algodoo*. Ta

jim dopušča možnost ustvarjalnega udejstvovanja, kar pogosto privede do zanimivih stvaritev in izumov. Glavni izziv za učitelja pa je, kako tovrstni ustvarjalni zagon uporabiti za učenje.

Keplerjevi zakoni v programu Algodoo

Da bi program *Algodoo* lahko uporabili za odkrivanje in preučevanje Keplerjevih zakonov in nebesne mehanike, moramo najprej pripraviti primeren »prizor« v samem programu. Najprej moramo izklopiti homogeno težnostno polje, ki kaže navzdol. To storimo s klikom na gumb, na katerem je narisano jabolko (desno spodaj na sliki 1). Izklopiti moramo tudi zračni upor. To storimo s klikom na sosednji gumb, na katerem je zelena kroglica. Nato se moramo znebiti tal. To lahko storimo s preprostim klikom na tla in s pritiskom na tipko »Delete« ali »Backspace« na tipkovnici ali pa z desnim klikom na tla in izbiro možnosti »Erase«.

Z desnim klikom na katerokoli telo dostopamo do menija lastnosti tega telesa. V meniju »Material« lahko spremenimo njegovo gostoto, elastičnost in, najpomembneje za naš primer, kako močno privlači druga masivna telesa. To je s fizikalnega vidika tako, kot da bi lahko vsakemu telesu posebej nastavili gravitacijsko konstanto. Upoštevati moramo, da je *Algodoo* le program, ki nam omogoča modeliranje nekaterih pojavov. Z učenci in dijaki lahko tudi spregovorimo o pomembnih razlikah med modeli, ki jih znanstveniki ustvarijo, in o njihovih omejitvah.

Model, kjer ima vsako telo svojo »gravitacijsko konstanto«, je primeren, saj lahko le-to nastavimo le za Sonce. Na novo ustvarjeni planeti z gravitacijsko konstanto nič se bodo tako privlačili le s Soncem, ne pa med sabo. To je dobro, če se želimo od začetka izogniti motnjam, ki bi »kvarile« lepe eliptične tire planetov okrog Sonca.

Naslednji korak, ki ga upravičimo z vidika idealizacije modela osončja, je, da Sonce »pripnemo« na ozadje (to storimo v meniju »Geometry actions«, prav tako dostopnem z desnim klikom na Sonce – glej sliko 1). S tem Soncu preprečimo majhne premike zaradi sil, s katerimi nanj delujejo krožeči planeti. Na ta način ponovno preprečimo motnje v tirih planetov, ki bi nastopile zaradi spreminjajoče se lege Sonca v primeru več sočasno krožečih planetov. Tako tiri ostanejo nespremenjeni ves čas. Z razmislekom in poenostavitvijo modela osončja na zgornja načina smo bili primorani ozavestiti dva mehanizma, ki povzročita majhne motnje v tirih planetov – privlak drugih planetov in gibanje Sonca samega. Morda pa to ni nekaj, s čimer bi učence in dijake radi spoznali že na samem začetku obravnave gibanja planetov.

Ker ima program svoje tehnične omejitve in najboljše deluje pri telesih in parametrih določene velikosti, je pomembno, kako veliko Sonce ustvarimo in kako velika je njegova »gravitacijska konstanta« (pravilna izbira velikosti parametrov pride do izraza zlasti pri trkih teles,



Slika 1: Sonce (rumene barve) z odprtim menijem, v katerem lahko spreminjamo njegove lastnosti. Na desni strani je planet (sive barve). Ob pritisku na gumb »Play« (sredina spodaj) bo planet padel in obmiroval na površju Sonca. Tam ga lahko poberemo z orodjem »Grab« (levo, pod svinčnikom, je označeno z roko z iztegnjenim prstom).

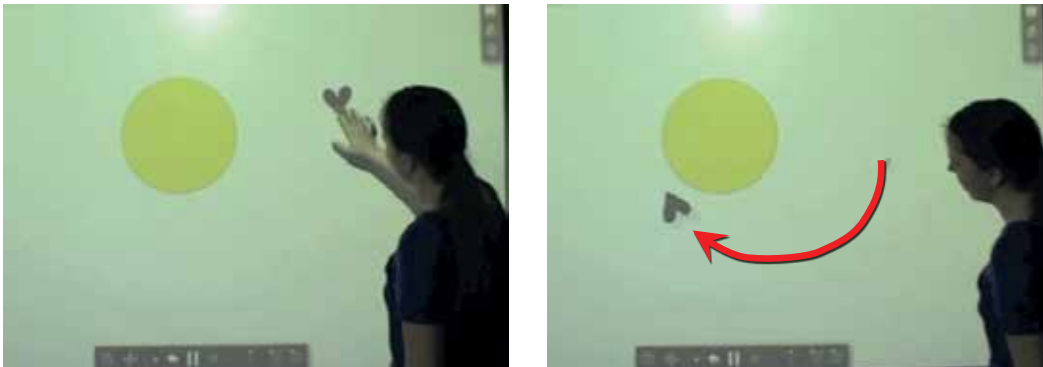
kjer program »pobežlja«, če so telesa premajhna in sile prevelike). Za lažji začetek priporočam, da v programu *Algodoo* odprete spletno knjižnico prizorov (gumb s planetom Zemlja na levi strani) in v iskalno vrstico vpišete »Kepler«. Iskanje vam bo med nekaj prizori prikazalo tudi prizor, ki sem ga ustvaril sam (avtor: Bor Gregorčič, naslov: Orbital motion). Trenutno se prizor nahaja na drugi strani zadetkov. Druga možnost dostopa do prizora je, da ga prenesete z naslednje povezave [3]. V prizoru je že vse pripravljeno za risanje in metanje planetov v tire okrog Sonca na sredini prizora. Če vas zanimajo natančne vrednosti mase, velikosti in »gravitacijske konstante« za Sonce v prizoru, ki sem ga pripravil, si jih lahko ogledate v meniju, do katerega dostopate z desnim klikom na Sonce (glej sliko 1).

Metanje planetov

Ko pritisnemo »Play« in narišemo planet na neki oddaljenosti od Sonca, bo ta padel naravnost proti Soncu. Z izbiro orodja, označenega s prstom v orodni vrstici (»Grab«), lahko na Soncu ležeči planet poberemo ter ga enostavno vržemo. Pri tem se lahko naučimo, da planeti,

ki jih vržemo naravnost proti ali stran od Sonca, potujejo po ravni črti, in če jih ne vržemo stran od Sonca s preveliko hitrostjo, znova padejo na Sončevo površino. Če želimo planet spraviti v tir okrog Sonca, ga moramo vreči tako, da ima njegova hitrost neničelno komponento tudi v tangentialni smeri (slika 2). Tudi to ni zadosten pogoj. Kmalu ugotovimo, da planeta ni tako zelo lahko spraviti v eliptični tir. Pogosto ga vržemo s premajhno ali preveliko hitrostjo. Pomembno je tudi, kje ga izpustimo. Če ga izpustimo blizu Sončevega površja, ga moramo vreči hitreje, kot pa če ga izpustimo daleč stran od Sonca. Skoraj gotovo nam bo planet po kakšnem premočnem metu ušel iz vidnega polja. Z orodjem »Zoom« lahko oddaljimo pogled in preverimo, kje je in ali nam je povsem ušel. Če ga ne najdemo več, lahko ustvarimo nov planet ali pa prikličemo starega nazaj z uporabo gumba »Undo« (ob gumbu »Play«), ki bo prizor povrnil v stanje pred metom.

Ko planet spravimo v tir, ki nam je všeč, lahko njegovo pot opazujemo tudi s pomočjo orodja slednik (tracer). Slednik je orodje, ki ga dodamo na planet in za seboj na ozadju pušča sled poljubnega trajanja. Na planet ga dodamo preko menija »Geometry actions«, dostopnega z desnim klikom na planet (desni klik lažje izvedemo, če



Slika 2: Na interaktivni tabli lahko planete zgrabimo kar z dotikom (s prstom ali posebnim peresom). Ta način interakcije z digitalnim okoljem omogoča, da planete vržemo v tir in se pri tem učimo s telesno dejavnostjo. Tovrstna interakcija je veliko bolj preprosta kot metanje z miško. Parametri, ki določajo tir planeta (smer, velikost hitrosti in lokacija meta), so tako lahko neposredno utelešeni prek izvedbe samega meta. Na sliki je študentka s prstom vrgla planet v tir okrog Sonca. Rdeča puščica prikazuje njegovo pot v prvi sekundi po metu.

simulacijo za krajši čas ustavimo s ponovnim pritiskom na »Pause« spodaj). Trajanje slednika lahko določimo v njegovem meniju, ki je dostopen z desnim klikom na slednik. Po mojih izkušnjah učenci ali dijaki pogosto sami predlagajo uporabo slednika oz. vprašajo, ali tovrstno orodje obstaja.

Prvi Keplerjev Zakon

Za namen odkrivanja prvega in drugega Keplerjevega zakona je dobro, če je tir opazovanega planeta dovolj izrazita elipsa, da jo od kroga lahko razločimo že na pogled. Če trajanje slednika dovolj podaljšamo, bo izrisal sklenjeno elipso, po kateri planet vedno znova obhaja Sonce. Da gre res za elipso, lahko tudi preverimo. Dva ali trije učenci ali dijaki lahko z uporabo kosa vrvice in pisala (ali pa zgolj prsta) poskusijo doseči ujemanje elipse na zaslonu interaktivne table in elipse, ki jo sami izrišejo na tablo s programom *Algodo*. Pri tem morajo ugotoviti, kam morajo postaviti gorišča (prste, ki držijo konca vrvice na tabli) in kako dolga mora biti vrstica.

Risanje elipse na tablo preko oblike, ki jo izrisuje slednik, je dejavnost, pri kateri lahko učenci ali dijaki preverijo hipotezo, da je tir eliptičen. Več kot to: pri risanju postane očitno, da mora biti eno izmed gorišč elipse, ki jo narišejo s pomočjo vrvice, v središču Sonca. Več različnih primerov elips ko narišejo na tak način, večje je lahko njihovo zaupanje v hipotezo, da so tiri planetov elipse in da je eno od gorišč teh elips vedno tam, kjer je Sonce. Tako lahko odkrijejo prvi Keplerjev zakon.

Drugi Keplerjev zakon

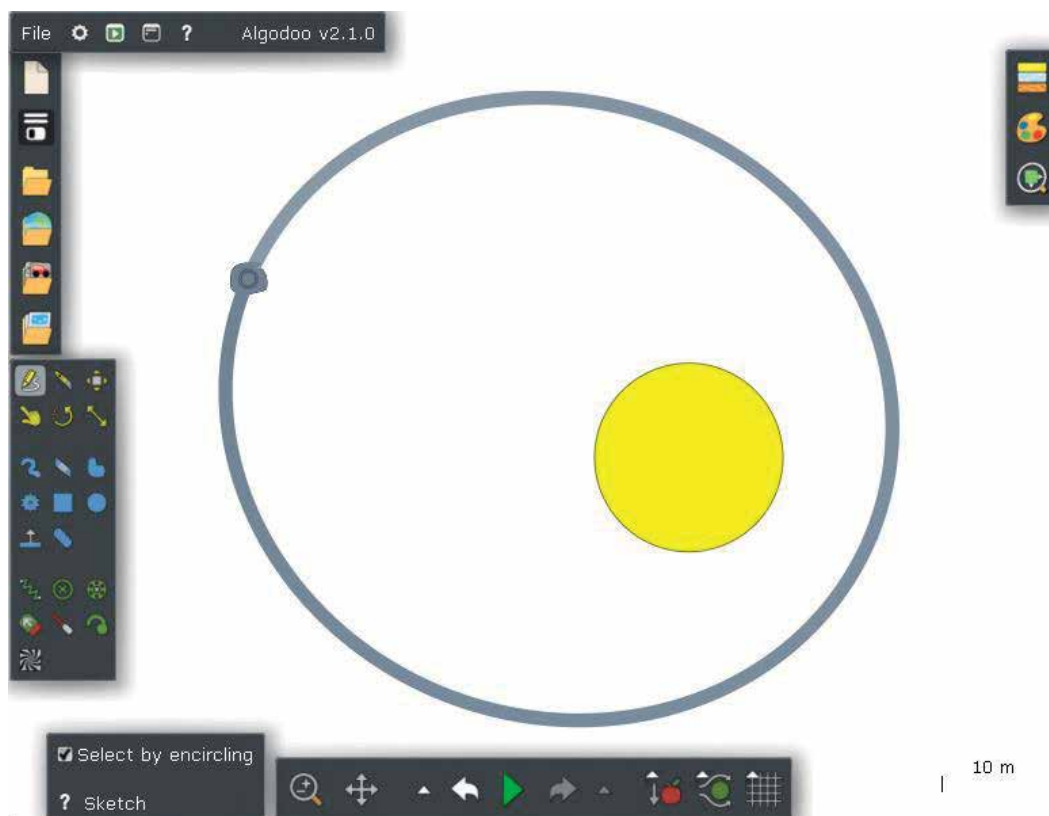
Uporabnost slednika se ne konča pri prvem Keplerjevem zakonu. Če njegovo trajanje zmanjšamo, lahko opazujemo spreminjanje njegove dolžine, ko se planetu spre-

minja hitrost. To je opazno zlasti pri bolj ekscentričnih tirih, kjer se hitrost planetu močno spreminja v odvisnosti od njegove oddaljenosti od Sonca. Kvalitativnemu opazovanju spreminjajoče se hitrosti planeta lahko dodamo še meritev ploščine, ki jo zveznica med planetom in Soncem opiše v določenem časovnem intervalu. Pri tem si spet pomagamo s slednikom. Tega nastavimo na kratek čas (zgolj nekaj sekund ali še manj) in z njegovo pomočjo narišemo obliko, kot je to prikazano na sliki 4. Pri tem uporabimo orodje, označeno s svinčnikom (levo zgoraj v orodni vrstici), in poskrbimo, da ni izbrana možnost »Select by encircling« v spodnjem levem kotu. Med risanjem mora biti simulacija začasno ustavljena. Narisano obliko lahko začasno umaknemo in priprnemo na ozadje nekje, kjer ne bo motila nadaljnega gibanja planeta, nato pa ponovimo postopek na drugem mestu. Z desnim klikom na narisano obliko in izbiro menija »Information« (glej sliko 1) lahko razberemo ploščino narisane oblike. Če smo pri risanju natančni, se lahko prepričamo, da imajo različne oblike, narisane po istem postopku za isti planet, res zelo podobno ploščino, v skladu z drugim Keplerjevim zakonom.

Tretji Keplerjev Zakon

Algodo omogoča preprosto pošiljanje planetov v krožne tire s pomočjo vgrajenega orodja, saj je krožne tire z metanjem precej težko doseči. Tretji Keplerjev zakon za primer krožnih tirov je najlažje raziskati, če okrog Sonca sočasno kroži več planetov na različnih razdaljah. Zakon povezuje radij kroženja planetov (r) ter njihove obhodne čase (t_0) ($r^3/t_0^2 = \text{konst.}$, za vse planete, ki krožijo okrog Sonca).

Narišemo lahko več planetov na različnih razdaljah (morda na začetku celo poravnane v isti črti, ki poteka skozi središče Sonca) in jih izberemo z obkrožanjem z



Slika 3: Na sliki je planet s pripetim slednikom, ki za seboj pušča sled, ki je dovolj dolgotrajna, da izriše celoten eliptični tir planeta. Z opazovanjem gibanja in sledi, ki jo pušča, lahko opazimo, da planet vedno znova potuje po istem tiru.

orodjem svinčnik (tokrat mora biti možnost »Select by encircling« izbrana). Nato z desnim klikom izberemo kateregakoli izmed izbranih planetov in v meniju »Velocities« (glej sliko 1) kliknemo na gumb »Send into orbit«. To bo vse izbrane planete poslalo v krožne tire okrog Sonca. Ko poženemo simulacijo s pritiskom na gumb »Play«, lahko opazimo, da so obhodni časi planetov različni. Z uporabo ročne štoparice (program na žalost nima vgrajene štoparice) in vgrajene mreže, s katero si lahko pomagamo meriti razdalje (gumb desno spodaj, zraven gumba za zračni upor in težnost), pa lahko izvedemo celo meritve in ustvarimo tabelo obhodnih časov in pripadajočih polmerov kroženja. Odločitev za kvantitativno obravnavo tretjega Keplerjevega zakona z uporabo *Algodooja* je seveda prepuščena učitelju. Morda je na tem mestu zanimivejša uporaba meritev dejanskih obhodnih časov pravih planetov in njihove oddaljenosti od Sonca, osončje v programu *Algodoo* pa lahko služi kot zanimiva vizualizacija, ki jo soustvarijo dijaki in učitelj.

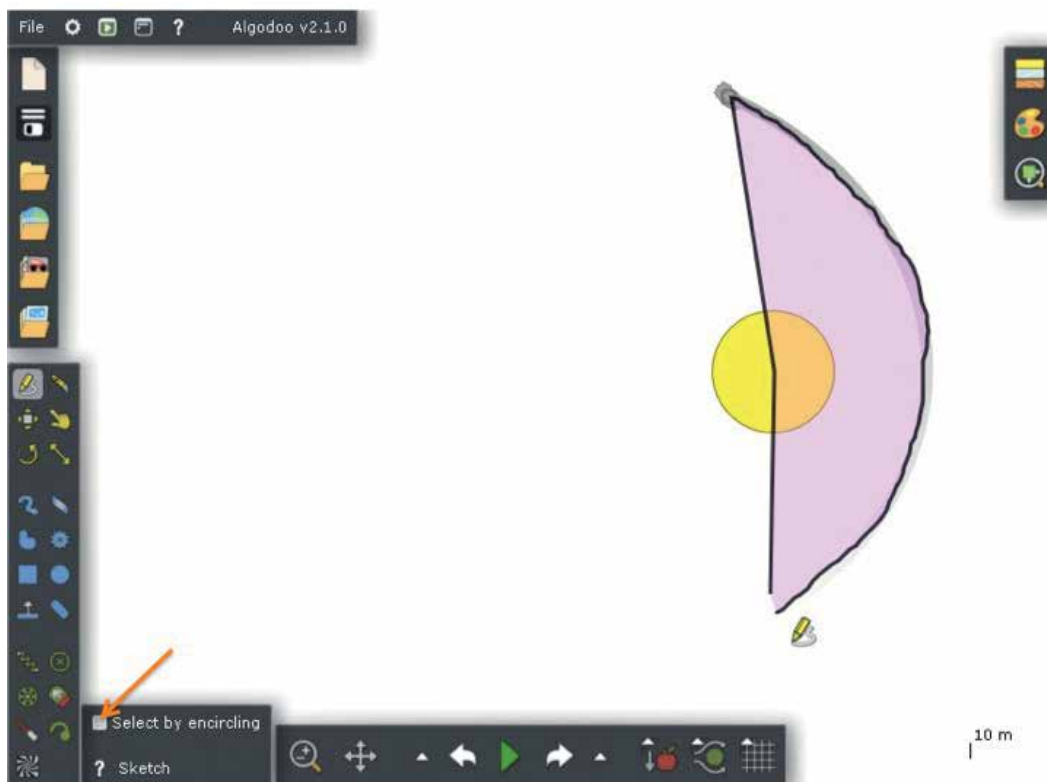
Vključitev učencev in dijakov v proces raziskovanja in ustvarjanja

V članku je predstavljena zbirka dejavnosti, ki jo lahko v razredu skupaj izvedejo dijaki oz. učenci in učitelj. Pri

vsaki od predstavljenih dejavnosti lahko aktivno vključujemo učence in dijake. Ti lahko rišejo in mečejo planete v tire, rišejo elipse na interaktivno tablo preko programa *Algodoo*, rišejo oblike za primerjavo ploščin pri drugem Keplerjevem zakonu in rišejo ter izbirajo lokacijo in barvo planetov pri dejavnosti, povezani s tretjim Keplerjevim zakonom.

Če se odločimo uporabiti interaktivno tablo in program *Algodoo* pri pouku fizike, ne smemo pozabiti na idejo soustvarjanja. Učenci in dijaki se bodo počutili bolj vključene in bodo z večjim zanimanjem spremljali učno uro, če bodo imeli možnost in priložnost prispevati k izgradnji in oblikovanju virtualnega sveta na interaktivni tabli. Učiteljem fizike priporočam, da se s programom seznanijo dovolj dobro, da bodo hitro prepoznali produktivne ideje dijakov in jim dovolili, da jih uresničijo, ter jim pri tem pomagali. Hkrati pa morajo učitelji poznati tudi omejitve predstavljene tehnologije, da se lahko izogonejo neželenim izidom ali tehničnim težavam. Te bodo najlažje spoznali z eksperimentiranjem s programom *Algodoo*.

Po mojih izkušnjah se dijaki na program *Algodoo* hitro privadijo in čeprav so sprva morda sramežljivi, se vedoželjni dijaki po navadi opogumijo in izkoristijo priložnost za novo izkušnjo. Najbolj zanimivo pri tem je, da



Slika 4: Če je trajanje slednika nekoliko krajše (zgolj nekaj sekund), si z njim lahko pomagamo pri risanju oblik, katerih ploščine bomo primerjali, ko bomo preverjali drugi Keplerjev zakon. Ko rišemo takšno obliko, mora biti izklopljena možnost »Select by encircling« (levo spodaj označena s puščico).

dijaki, ki pograbijo priložnost za uporabo interaktivne table na nov način, niso nujno tisti, ki jim gre fizika najbolj od rok.

Reševanje problemov na tabli je za mnoge dijake in učence stresno in neprijetno. Uporaba table na tukaj predstavljen način je lahko nekakšna osvežitev in prevetritev vloge table pri pouku fizike in ima potencial, da pritegne tudi tiste dijake, ki si pri fiziki po navadi ne želijo stopiti pred tablo. Pri tovrstni uporabi interaktivne table dijakom lahko pomaga poznavanje sodobnih tehnologij, kot so pametni telefoni in tablice, s katerimi so večinoma seznanjeni že iz otroštva. Preko izkušenj z uporabo tovrstnih naprav so mnogi pravzaprav že dobro pripravljeni na uporabo interaktivne table, ki v tem primeru spominja bolj na naprave z zaslonom na dotik kot pa na klasično šolsko tablo. Morda je to tudi eden od mehanizmov, ki lahko interaktivno tablo približa dijakom oz. učencem in jih po nekoliko drugačni poti pritegne k sodelovanju pri pouku fizike.

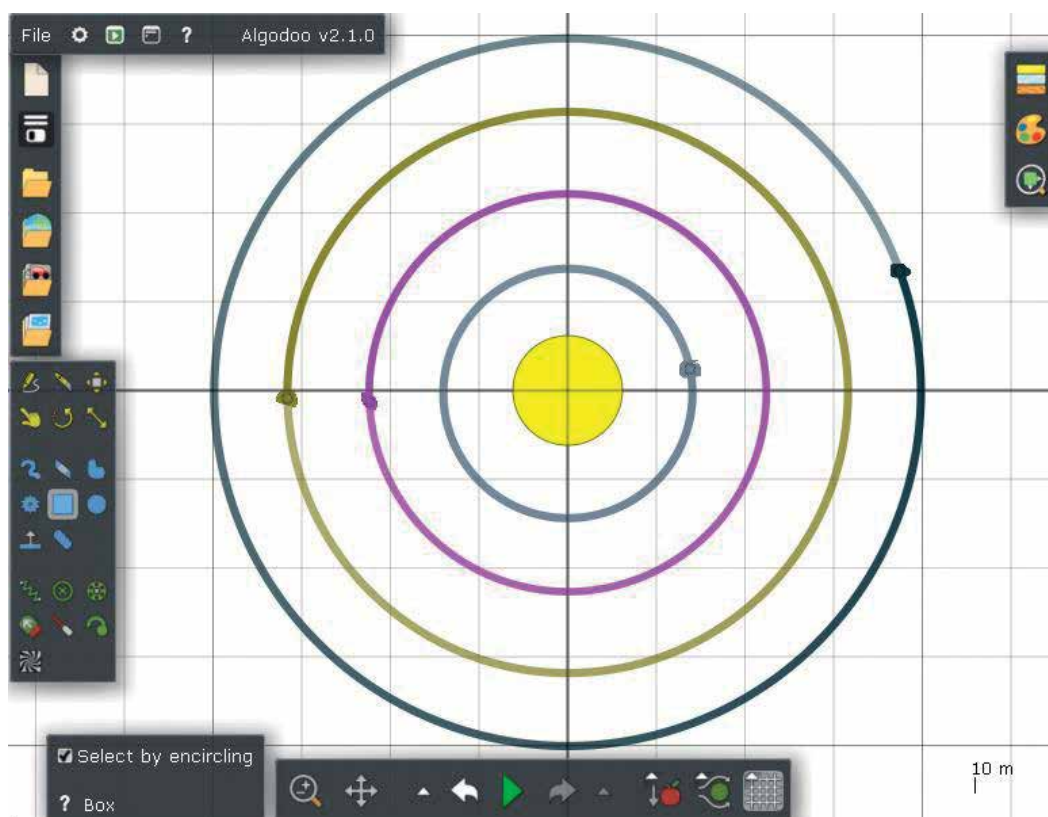
Zaključek

Učitelje fizike bi ob tej priložnosti rad spodbudil, da program *Algodoo* preskusijo, najprej sami, potem pa tudi v razredu. Program je prosto dostopen za okolji MacOS

in Windows, za uporabo na iPadu pa moramo odšteti okrog pet evrov. Primeri, predstavljeni v tem članku, lahko služijo kot zaključena učna enota ali pa zgolj kot inspiracija za razvoj novih vsebin. Uporabnost programa *Algodoo* prav tako ni omejena zgolj na interaktivno tablo, a se njuna kombinacija pogosto izkaže za še posebej primerno, saj zmanjša potrebo po »skakanju« med računalnikom in tablo in omogoča bolj intuitivno interakcijo, kot je na primer metanje planetov. Za konec bi rad spet poudaril, da prava prednost in vrednost programa *Algodoo* v povezavi z interaktivno tablo tiči v možnosti, da se učenci in dijaki hitro ter na intuitiven način naučijo njune uporabe in postanejo ustvarjalni udeleženci pouka fizike.

Zahvala

Rad bi se zahvalil prof. dr. Gorazdu Planinšiču in prof. dr. Eugenii Etkini za filozofijo poučevanja, ki je usmerjala oblikovanje učnih vsebin, opisanih v tem članku.



Slika 5: Algodoo omogoča samodejno pošiljanje planetov v krožne tire. S pomočjo ročne štoparice in vgrajene mreže (gumb desno spodaj) pa lahko posebni primer tretjega Keplerjevega zakona za krožne tire kvantitativno obravnavamo tudi z uporabo meritev iz okolja Algodoo.

Viri

- [1] Gregorcic, B. (2015). Exploring Kepler's laws using an interactive whiteboard and Algodoo, *Physics Education*, **50**, str. 511.
- [2] Gregorcic, B. in Bodin, M. (2017). Algodoo: A tool for encouraging creativity in physics teaching and learning, *Physics Teacher*, **55**, str. 25.
- [3] Gregorcic, B. (3. 1. 2017). *Orbital Motion (prizor v programu Algodoo)* <http://www.algodoo.com/al-gobox/details.php?id=115043>

Ohlajanje

mag. Tine Golež

Škofijska klasična gimnazija, Ljubljana

Povzetek

Opisan je poskus, ki je primeren tudi za maturante. Analiza meritve ohlajanja nekoliko segretega bolometra poteka po dveh poteh. Dijaki tako spoznajo, kako pri numeričnem računanju s spreminjanjem parametra modelsko krivuljo prilagodimo izmerkom. Dodana je še analitična rešitev, ki pa v tem primeru ne prekaša numerične, saj izhaja iz približka, hkrati pa tudi zahteva poznavanje infinitezimalnega računa. Zaradi poceni opreme in dobrih rezultatov učitelje vabimo, da s to meritvijo dopolnijo nabor vaj za maturante.

Ključne besede: poskus, ohlajanje, analiza meritev

Cooling

Abstract

An experiment is described which is also suitable for secondary school graduates. An analysis of the measured cooling time of a slightly heated bolometer is conducted in two ways. Secondary school students thus learn how to adjust the model curve to the measurements by changing the parameter during numerical calculations. An analytical solution is added, which in this case does not surpass the numerical one, as it is based on an approximation and simultaneously requires the knowledge of infinitesimal calculus. In light of the inexpensive equipment and good results, teachers are invited to add this measurement to their collection of exercises for secondary school graduates.

Keywords: experiment, cooling, analysis of measurements

Uvod

Excel je program, ki naj bi ga med šolanjem spoznali vsi dijaki. Čeprav ni v prvi vrsti namenjen fiziki, nam lahko pride še kako prav. Seveda glavna prednost programa ni ta, da omogoča računanje koordinat telesa pri prostem padu ali vodoravnem metu. Za omenjena pojava znamo zapisati natančne analitične enačbe že v srednji šoli, zato je program le hitrejši računar.

Smiselno je, da ga uporabimo za numerično računanje, kadar ne poznamo analitične rešitve. Študent sicer zna zapisati analitično rešitev za lego in hitrost padajočega telesa, ko uporaba zraka ni zanemarljiv. V srednji šoli pa se prezahtevnim računom izognemo tako, da padanje razdelimo na kratke časovne intervale in znotraj vsakega privzamemo, da je sila konstantna. Tako že dijak, ki še ne zna infinitezimalnega računa, z numeričnim računanjem v Excelu pravilno napove lego in hitrost telesa v poljubnem trenutku [1].

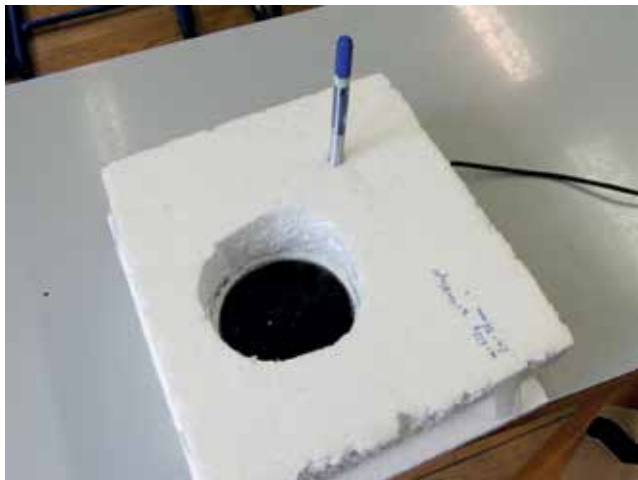
Včasih pa tudi višja izobrazba ne pomaga, saj analitične rešitve preprosto ni. Tak primer je ohlajanje telesa, kadar moramo upoštevati tako ohlajanje s konvekcijo kot tudi s sevanjem. Tedaj ne moremo napisati izraza $T(t)$ [2]. Ker imamo na šolah za tak poskus dovolj opreme, bomo v nadaljevanju predstavili pot, ki je nadvse primerna za srednje šole.

Izdelava merilnika

Bolometer izdelamo kar sami. Potrebujemo približno pol kilograma svinca in kovinski pokrovček s premerom okoli 10 cm. V pokrovčku stalimo svinec in dobimo tanek disk. S strani

ga nekoliko prebodemo, da vanj lahko vstavimo temperaturni senzor. Z vrtnanjem v svinec so lahko težave, bolje se obnese kar žebelj. Uporabili smo senzor za merjenje temperature znamke Vernier. Seveda disk tudi stehamo.

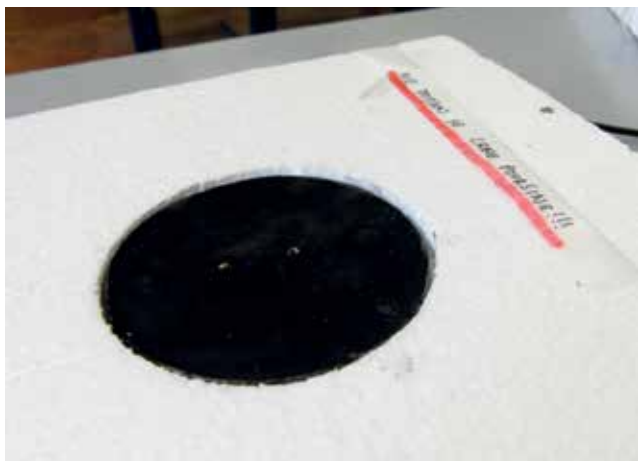
Da bo disk postal bolometer, ga moramo še počrtniti. Saje, ki jih naredi plamen sveče, so povsem primerne. Disk držimo tik nad plamenom, da ogenj malo dušimo. Če ima namreč plamen premalo kisika, se količina saj še poveča. Potem disk položimo na debelejši stiropor. Če ga uporabimo kot bolometer, ga obdamo z drugim stiroporom, ki je tudi debel in ima ustrezno luknjo. Ob sončnem dnevu merimo segrevanje in od tod solarno konstanto (slika 1), [3, 4].



Slika 1: Bolometer, pripravljen za merjenje solarne konstante.

Program sam izračuna najboljšo premico skozi izmerke segrevanja, mi pa na osnovi tega izračunamo, kolikšni gostoti energijskega toka smo izpostavljeni. Ohlajanje je praktično zanemarljivo, točke zares ležijo skoraj na premici.

Za merjenje ohlajanja bolometer obdamo s tanjšim stiroporom, ki je debel enako kot bolometer (slika 2). S segrevanjem ni težav, preprosto ga osvetlimo z močnejšo žarnico. Mi navadno uporabimo kar 200-vatno, ki jo držimo kakih 10 cm nad bolometrom.



Slika 2: Bolometer, pripravljen za meritve med njegovim ohlajanjem.

Program sam izračuna najboljšo premico skozi izmerke segrevanja, mi pa na osnovi tega izračunamo, kolikšni gostoti energijskega toka smo izpostavljeni. Ohlajanje je praktično zanemarljivo, točke zares ležijo skoraj na premici.

Teoretični uvod

Temperature dotikajočih se teles stremijo k izenačenju. Predmet, ki ima višjo temperaturo od okolice, se bo zato ohlajal. Največkrat so v igri vsi trije načini prehajanja toplote. Vsekakor bo predmet s prevajanjem segrel zrak okoli sebe; zato se bo pojavil vzgon, ki bo povzročil dvigovanje zraka, kar pa je že konvekcija. Seveda se bo predmet ohlajal tudi s sevanjem.

Temperature so tri: temperatura predmeta, temperatura zraka in temperatura sobe. Ne smemo namreč spregledati, da se predmet sicer ohlaja s sevanjem, a da nanj sevajo tudi vse stene

sobe, tako da je ohlajanje s sevanjem daleč manj izdatno, kot bi bilo v vesolju (ali zunaj v jasni noči). Seveda na srednješolski stopnji nekatere stvari poenostavimo. Privzeti smemo, da sta temperatura sobe in zraka kar enaki. Oznaka T_s bo torej temperatura okolice, uporabili pa jo bomo tako v enačbi za konvekcijo kot tudi v izrazu za sevanje.

Prevajanje in konvekcijo bomo zapisali s skupnim členom. Ta je odvisen od površine telesa, ki se ohlaja, prav tako pa tudi od temperaturne razlike in od koeficienta h , ki ga bomo s to meritvijo določili.

Stefanov zakon opiše sevanje. Privzamemo, da gre za črno telo, saj je svinčeni disk, ki ga bomo uporabili kot bolometer, primerno počrnjen, tako da ima emisivnost – posebno še v območju IR-svetlobe – res kar 1.

Zapišimo povedano z enačbo za ohlajanje. Prvi člen na desni strani se nanaša na konvekcijo (skupaj s prevajanjem), drugi pa na sevanje:

$$\Delta T = \frac{-hS(T-T_s) - \sigma(T^4 - T_s^4)}{mc_p} \Delta t.$$

Minus nakazuje, da se bo temperatura zniževala. Žal enačba – tudi če je zapisana kot diferencialna in ne kot diferenčna, kot je tu – nima analitične rešitve v obliki $T(t) = \dots$

Ohlajanje bo razmeroma počasno; tudi tedaj, ko bomo bolometer ohlajali z dodanim ventilatorjem. Zato lahko ohlajanje razdelimo na korake po eno sekundo. Privzamemo, da je temperatura po eno sekundo konstantna, in izračunamo, koliko toplote je bolometer oddal s konvekcijo (z vključenim prevajanjem) in koliko s sevanjem. Seveda se bralec sedaj vpraša, kako lahko to storimo, ko pa še ne vemo, kolikšna je vrednost koeficienta h . Za ta koeficient si izberemo vrednost na primer 10. Potem izračunamo, za koliko se je bolometer ohladil. Celotni postopek ponovimo z ravnokar izračunano temperaturo. Vse te korake bo opravil kar Excel, le prvi ukaz moramo zapisati. Tako bomo na grafu dobili dva niza podatkov: izmerjene in izračunane temperature. Koeficient h spreminjamo toliko časa, da se točke izračunanih temperatur prilegajo izmerjenim. Ko poznamo koeficient, izračunamo delež toplote, ki ga je telo oddalo z enim in drugim načinom ohlajanja. Seveda primerjamo tudi ohlajanje z naravno konvekcijo in ohlajanje z ventilatorjem. Pričakujemo, da se pri vsiljeni konvekciji znatno zmanjša delež ohlajanja s sevanjem, saj se predmet ohladi bistveno hitreje.

Stefanov zakon opiše sevanje. Privzamemo, da gre za črno telo, saj je svinčeni disk, ki ga bomo uporabili kot bolometer, primerno počrnjen, tako da ima emisivnost – posebno še v območju IR-svetlobe – res kar 1.

Meritev in izračun

Bolometer osvetljujemo z močnejšo žarnico. Segrejemo ga do 52 °C. Potem se malo oddaljimo in sprožimo meritev. Za ohlajanje z naravno konvekcijo počakamo kar 1100 sekund. Merilni sistem naj izmeri temperaturo vsako sekundo.

Najprej v delovni list zapišemo nekaj podatkov o meritvi. V celico F2 vpišemo temperaturo sobe, ki se v polju F3 preračuna v kelvine. V celico G2 vpišemo vrednost za koeficient h . Izberemo kar vrednost 10 (ko sta pozneje oba niza točk na grafu, vrednost toliko časa spreminjamo, dokler se izračunani izmerki ne ujemajo z izmerjenimi). V celico H2 vpišemo površino tistega dela bolometra, ki se ne dotika stiropora (gre za počrnjeno zgornjo ploskev valja – izgubo toplote na ploskvah, ki sta v stiku s stiroporom, lahko zanemarimo), v celico I3 pa vrednost Stefanove konstante.

1	F	G	H	I
2	T_s	h	S	sigma
3	24	10	0,007539	5,67E-08
4	297			

Na ta delovni list prilepimo še izmerke. Naj bo prvi izmerek tisti, ko je bila temperatura natančno 50 °C. Čas $t = 0$ bo v celici D5, temperatura pa v celici E5. Najprej vse temperature spremenimo v kelvine. Ta stolpec dodamo na desno. Potem v celico H5 prepisemo začetno temperaturo. V celico H6 zapišemo ukaz, ki bo izračunal novo temperaturo. Od prejšnje tem-

perature (T_{pr}) bomo odšteli toliko, za koliko se je zaradi vseh načinov ohlajanja zmanjšala v tej sekundi. Gre za izraz, ki ga bomo pozneje zapisali v ustrezni obliki za Excel:

$$T = T_{pr} - (hS(T - T_s) + S\sigma(T^4 - T_s^4))\Delta t / (mc_p).$$

Tako izračunamo temperaturo v trenutku $t = 1$ s.

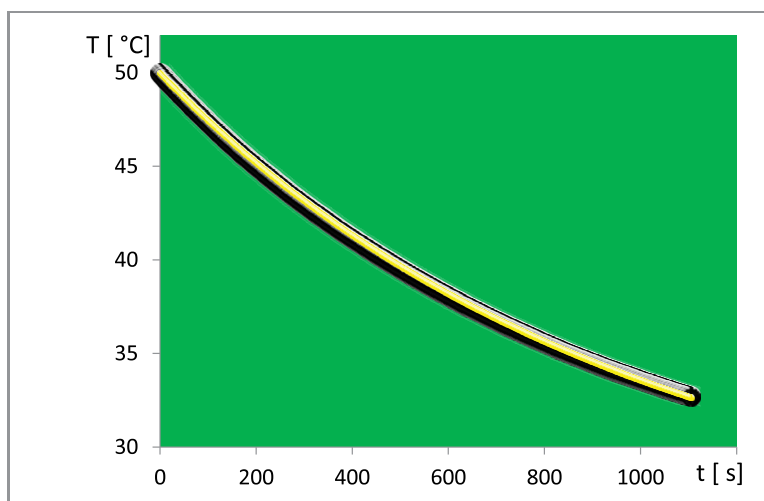
Sedaj je čas, da zapišemo enačbo za temperaturo v naslednji sekundi v celico H6 z ustreznimi simboli, kot jih zahteva Excel:

$$=H5-(G2*H2*(H5-F3)+H2*I2*(H5^4-F3^4))/(0,623*130*0,5).$$

Ta celica (H6) je v spodnji tabeli, ki je del Excelovega lista, osenčena. Potem le še s »potegom navzdol« izračunamo preostalih tisoč in nekaj vrednosti. Seveda dodamo še stolpec z modelskimi temperaturami v stolpcih Celzija. Od vrednosti v stolpcu H odštejemo 273.

t	T	T[K]	T _{model} [°C]	T _{model} [K]	Kon.	Sev.		kon/vse
0	50,00	323	50	323	114,4	172,5		0,399
1	49,96	323	49,97	322,97	114,3	172,3		0,399
2	49,93	322,9	49,95	322,94	114,2	172,1		0,399

Program nariše graf z vrednostmi v stolpcih D (vodoravna os, čas), E in G (obe temperaturi, izmerjena in modelsko izračunana). Sedaj spreminjamo vrednost konstante h v celici G2, dokler teoretični izmerki ustrezno ne prekrijejo izmerjenih. Pri opisani meritvi je bila ustrezna vrednost koeficienta h enaka 4,4.



Graf izmerjene temperature (črna debela krivulja) in modelsko izračunane temperature (tanjša rumena krivulja). Gre za ohlajanje brez ventilatorja.

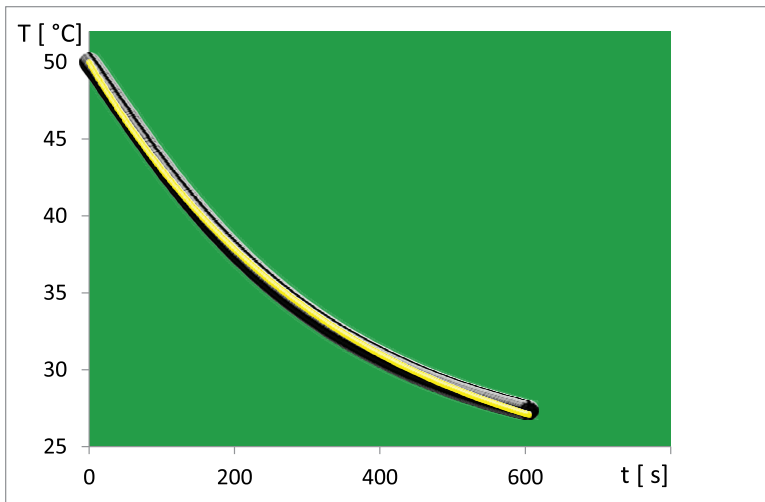
Zanima nas, kolikšen je delež oddane toplote s konvekcijo (z vključenim prevajanjem) glede na vso oddano toploto. To zapišemo z izrazom:

$$\frac{h(T - T_s)}{h(T - T_s) + \sigma(T^4 - T_s^4)},$$

ki smo ga izračunali v stolpcu M. Pričakovano se delež nekoliko povečuje, saj se z nižanjem temperaturne razlike ohlajevanega telesa in okolice hitreje zmanjšuje delež sevanja, a razlika ni velika. Medtem ko je na začetku konvekcija predstavljala 40 % ohlajanja, ga je na koncu (pri temperaturi 33 °C oziroma 9 °C nad temperaturo sobe) 42 %.

Poskus ponovimo, a tokrat na bolometer usmerimo manjši ventilator, ki ga sicer uporabljamo za hlajenje v vročih poletnih dneh. Izberemo najmanjšo možnost pihanja. Tokrat smo merili le deset minut in navkljub krajšemu času se je bolometer bolj ohladil.

Zanima nas, kolikšen je delež oddane toplote s konvekcijo (z vključenim prevajanjem) glede na vso oddano toploto.



Ohlajanje z vsiljeno konvekcijo. Ohlajali smo do nižje temperature kot pri naravni konvekciji.

Prilagajanje krivulje kaže, da je najustreznejši koeficient h enak 26. Tokrat konvekcija (z vključenim prevajanjem) pomeni od 79 do 81 % ohlajanja; pri nižji temperaturi je delež večji.

Približna analitična rešitev

Diferencialna enačba za ohlajanje:

$$P = \frac{dQ}{dt} = mc_p \frac{dT}{dt} = -hS(T - T_S) - S\sigma(T^4 - T_S^4),$$

nima analitične rešitve v obliki $T(t)$. Iz zadrege se rešimo s približkom. Upoštevamo, da se temperatura sobe ne bo veliko razlikovala od začetne temperature svinčenega diska in tudi od vseh naslednjih vrednosti ne, saj bodo razlike vse manjše. Zato namesto oznake T_0 pišemo kar T . Privzamemo torej, da je izraz » $T - T_S$ « majhen (seveda ne smemo pozabiti, da gre za kelvine; temperatura v sobi bo nekako 295 K, medtem ko bo začetna temperatura segretega diska 323 K, kar pomeni, da razlika res ne bo velika). Zapišemo:

$$(T^4 - T_S^4) = (T - T_S)(T + T_S)(T^2 + T_S^2).$$

Izraz preuredimo:

$$(T^4 - T_S^4) = (T - T_S)(T^3 + TT_S^2 + T_S T^2 + T_S^3).$$

Pri prvem oklepaju na desni strani enačbe seveda ne trdimo, da sta temperaturi skoraj enaki, saj bi potem dobili nič. Pri drugem oklepaju pa upoštevamo omenjeno (skoraj) enakost temperatur in dobimo:

$$(T^4 - T_S^4) \approx (T - T_S)4T_S^3.$$

Z upoštevanjem tega približka dobi enačba za ohlajanje preprostejšo obliko, saj spremenljivka T nastopa le na prvo potenco:

$$mc_p \frac{dT}{dt} = -hS(T - T_S) - S\sigma(T - T_S)4T_S^3.$$

Oziroma:

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{S(h + \sigma 4T_S^3)}{mc_p}(T - T_S).$$

Pred integriranjem spremenljivki ločimo:

$$\int_{T_0}^T \frac{dT}{(T - T_S)} = -\frac{S(h + \sigma 4T_S^3)}{mc_p} \int_0^t dt.$$

Rezultat integracije je:

$$\ln\left(\frac{T - T_S}{T_0 - T_S}\right) = -\frac{S(h + \sigma 4T_S^3)}{mc_p} t.$$

Pričakovano se delež nekoliko povečuje, saj se z nižanjem temperaturne razlike ohlajevanega telesa in okolice hitreje zmanjšuje delež sevanja, a razlika ni velika. Medtem ko je na začetku konvekcija predstavljala 40 % ohlajanja, ga je na koncu (pri temperaturi 33 °C oziroma 9 °C nad temperaturo sobe) 42 %.

Iz te enačbe pa znamo izraziti časovno odvisnost $T(t)$:

$$T(t) = T_S + (T_0 - T_S)e^{-\frac{S(h + \sigma 4T_S^3)}{mc_p}t}$$

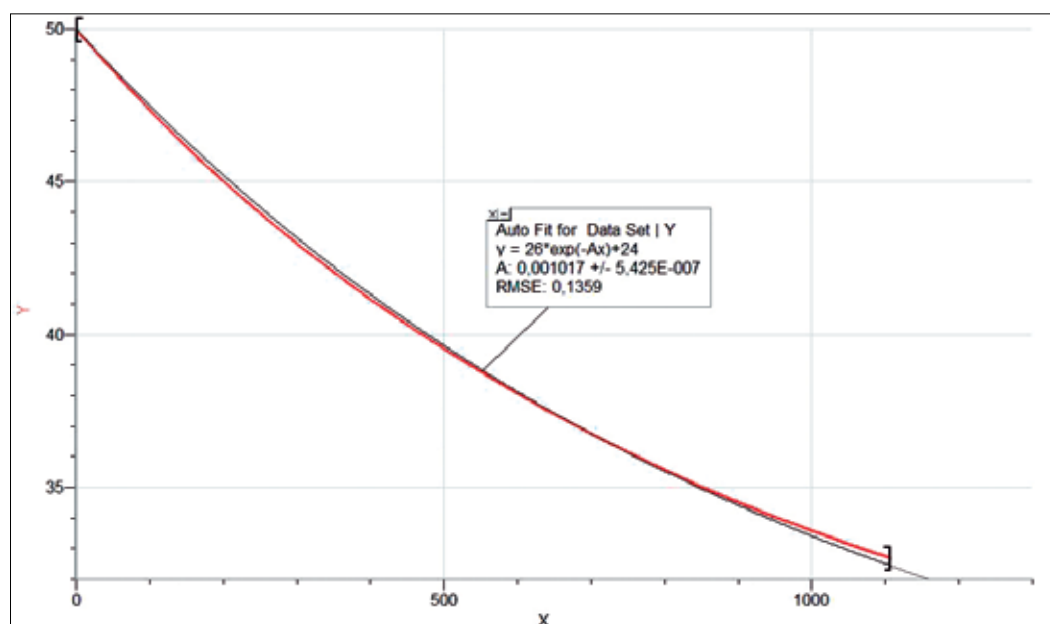
Računalniški program bo skozi izmerke $T(t)$ narisal najboljšo eksponentno krivuljo. Izračunal bo tudi parameter A , ki ustreza izrazu:

$$A = \frac{S(h + \sigma 4T_S^3)}{mc_p}$$

Iz te enačbe izračunamo iskani koeficient h , saj vse druge vrednosti poznamo. Ne pozabimo, da moramo temperaturo v tem ulomku pisati v kelvinih! (Preostali zapisi temperature v enačbi $T(t)$ so lahko v °C!)

Po tej poti na koncu še izračunamo, kolikšen delež oddane toplote je posledica sevanja in kolikšen prevajanja ter konvekcije skupaj.

Začetna temperatura je bila 50 °C, temperatura sobe 24 °C in čas ohlajanja 1100 sekund.



Slika 3: Ohlajanje ob naravni konvekciji. Program je izračunal enačbo ustrezne eksponentne krivulje, ki ima v začetnem trenutku vrednost 26 in se najbolj prilega izmerkom.

Računalnik je izračunal, da je konstanta $A = 0,001017$. Zaokrožili bomo končni rezultat. Enoto poznamo, je s^{-1} .

Iz enačbe:

$$\frac{Amc_p}{S} = h + \sigma 4T_S^3$$

Izrazimo h :

$$h = \frac{Amc_p}{S} - \sigma 4T_S^3$$

Upoštevamo še fizične lastnosti bolometra. Masa je 0,623 kg, polmer diska 0,049 m, specifična toplota svinca pa $130 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$. Koeficient h je zato enak:

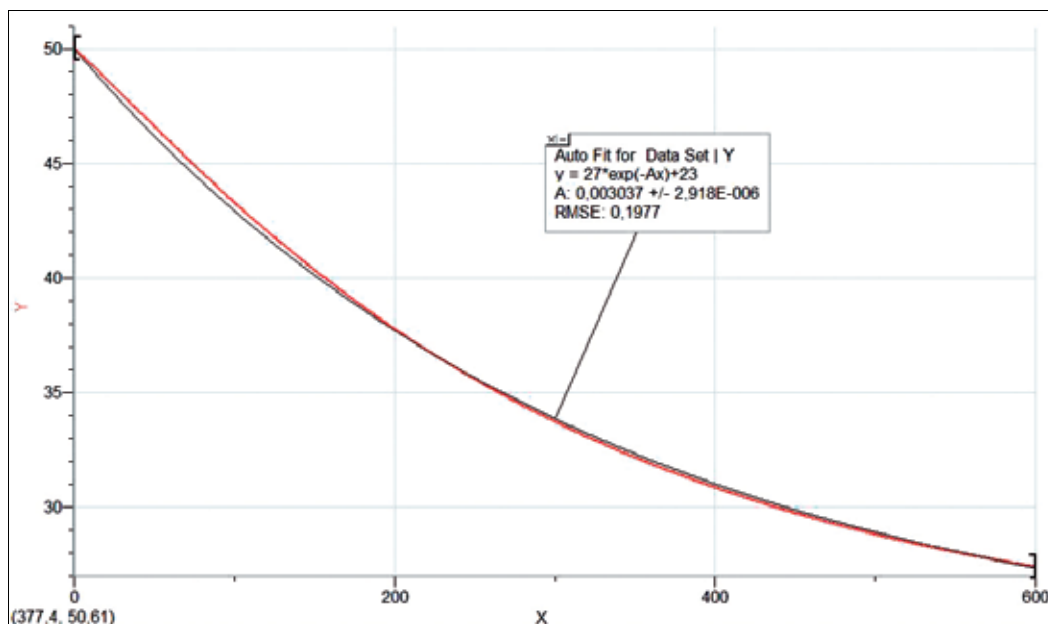
$$h = 5,0 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Le 46 % celotnega ohlajanja je povzročila konvekcija (s prevajanjem), kar 54 % pa sevanje. Rezultat se ne razlikuje veliko od numerično izračunanega.

Po tej poti na koncu še izračunamo, kolikšen delež oddane toplote je posledica sevanja in kolikšen prevajanja ter konvekcije skupaj.

Ohlajanje z ventilatorjem

Začetna temperatura je bila 50 °C, temperatura sobe 23 °C in čas ohlajanja 600 sekund.



Slika 4: Ohlajanje ob vsiljeni konvekciji.

Računalnik je izračunal, da je konstanta $A = 0,003037$.

Tokrat je koeficient h pričakovano večji:

$$h = 26,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}.$$

To pomeni, da kar 82 % ohlajanja povzroči konvekcija (vključno s prevajanjem).

Komentar

Analitično rešitev načeloma cenimo bolj kot numerični izračun. A kadar analitična rešitev ne obstaja, gotovo najdemo kak približek oziroma poenostavitev diferencialne enačbe. Ker je »cena približka« odstopanje od izmerkov, dobi nekaj »točk prednosti« spet numerični izračun. Včasih je imel veliko »negativnih točk«, saj je zahteval dolgotrajno računanje. Ob današnjih računalnikih pa ta zadržek povsem odpade.

Pri opisani meritvi opazimo, da se iz približka izpeljana analitična rešitev in numerični izračun nekoliko razlikujeta. Po vsej verjetnosti lahko bolj verjamemo vrednostim, ki smo jih dobili z numeričnim računom.

Ne smemo spregledati, da smo numerično obravnavo izpeljali iz fizikalnih zakonitosti ohlajanja in tako dobili podatek o deležu ohlajanja. Prav nobenega smisla ne bi imelo, če bi Excel izračunal »trendno črto« v obliki polinoma skozi izmerke, saj nam koeficienti tega polinoma ne bi znali odgovoriti na zastavljeno vprašanje. Pri interpolaciji bi sicer imeli dobre približke, pri ekstrapolaciji pa bi tak polinom odpovedal. Numerično dobljena krivulja ali analitična krivulja (iz približka) pa bi se izkazali tako pri interpolaciji kot ekstrapolaciji, pa še z deležem ohlajanja sta nas seznanili.

Program Excel torej fiziki ponudi kaj pametnega le tedaj, ko ga znamo »vpreči« v fizikalne zakonitosti modela merjenega pojava. Šele ustrezno modeliranje iz »pisarniškega programa« naredi iz njega pripomoček, ki je koristen za fizika.

Pri opisani meritvi opazimo, da se iz približka izpeljana analitična rešitev in numerični izračun nekoliko razlikujeta. Po vsej verjetnosti lahko bolj verjamemo vrednostim, ki smo jih dobili z numeričnim računom.

Viri

- [1] Golež, T. (1997). Excel – prvi koraki. *Fizika v šoli*, 2(3), str. 36–40.
- [2] Kukman, I. (2008). Sevanje črnega telesa. *Fizika v šoli*, 13(14), str. 7–13.
- [3] Kham, B. (2002). Viški tabor 2001. *Fizika v šoli*, 7(9), str. 30–35.
- [4] Golež, T. (2013/2014). Crni kalorimeter kučne izrade, *Matematično fizički* [Zagreb], str. 95–100.

Energija I: Energijski zakon in mehanika

dr. Mojca Čepič

Oddelek za fiziko in tehniko, Pedagoška fakulteta Univerze v Ljubljani

Energija in delo sta pomembni in nerazdružljivi tematiki pri poučevanju fizikalnih oziroma naravoslovnih vsebin. Usvajanje njunih osnov se začne že na razredni stopnji. Energija je abstrakten pojem, ki je zahteven za poučevanje, kar kažejo še vedno aktualne in vroče razprave o doktrini poučevanja energije v mednarodni in domači strokovni javnosti. Čeprav je bil moj namen v tej številki revije obravnavati drugo tematiko, so me odgovori na izpitna vprašanja o energiji pri predmetu Didaktika fizike I na prvi stopnji programa za prihodnje učitelje fizike z vezavami na Pedagoški fakulteti spodbudili, da se tej tematici posvetim prednostno. Namen je naslednji. V tem prispevku se bomo ukvarjali z razmisleki o osnovnih konceptih, povezanih z energijo, njenimi oblikami in s prenosom energije med telesi. Naj opozorim: prispevek se bo morda zdel dolgočasen. Podrobno se bomo ukvarjali s pomenom definicij ter z okoliščinami, ki jih moramo upoštevati pri analizah energijskih sprememb. Pripraviti namreč želim podlago za to, da se bomo v prispevku v naslednji številki posvetili obravnavi vsakodnevnih primerov z energijskega stališča. Naj navedem nekaj primerov, ki so v literaturi pogosto nejasno ali pa celo narobe obravnavani.

- Ali opravlja delo otrok, ki se na rolki odrine od stene, in kakšne so energijske spremembe?
- Ali avto opravlja delo med pospeševanjem in kakšne so energijske spremembe?
- Ali opravljamo delo pri hoji navkreber in kakšne so energijske spremembe?
- Ali opravljamo delo pri vožnji sobnega kolesa in kakšne so energijske spremembe?
- Ali opravljamo delo pri vožnji kolesa navkreber in kakšne so energijske spremembe?
- Ali lahko govorimo o delu sile trenja?

Želeli bi namreč razširiti obravnavo energijskih zakonov in izrekov za idealizirane primere na realne okoliščine z razsežnimi akterji s kompleksno sestavo, kot so človek, kolo ali avtomobil.

Energija in njene oblike

Posvetimo se najprej energiji kot lastnosti nekega telesa. Neko telo, delec, predmet, a tudi živo bitje v nekem trenutku IMA energijo. Energijo lahko pripišemo tudi prostoru ali motnji v prostoru oziroma delu sredstva, po katerem se motnja širi ali potuje, a za začetek se omejimo le na »reči«. Kot »reč« torej poimenujmo: delec, predmet, rastlino, žival ali človeka. Skratka, beseda »reč«, kot je že nekdanji predlagal kolega Janez Ferbar, naj bo nadpomenka za vse, kar ima maso in je v prostoru krajevno zamejeno ter ne izmenjuje snovi z okolico. Reč lahko običajno enostavno opazujemo: jo vidimo, ker se na njej odbija svetloba, jo tehtamo, ker ima maso, ji izmerimo prostornino, ker poznamo njene površine. Reč je običajno iz trdne snovi, a tudi npr. voda v kozarcu ali zrak, zaprt v steklenki, najpogosteje ustrezata kriterijem reči, medtem ko rek, morij, ozračja itd. v kategorijo reči (za zdaj) ne bomo vključili. Reči lahko pripišemo obliko, njenemu težišču lego in količine, povezane s spremembami te lege (hitrost, pospešek), rečem lahko pripišemo tudi orientacijo oziroma usmeritev v prostoru ter spremembam te orientacije količine, povezane z njimi (kotno hitrost, kotni pospešek). Reči se lahko tudi preoblikujejo in različni deli reči se lahko gibljejo na različne načine. Tedaj moramo smiselno obravnavati dele reči v zgornjem smislu.

Energija, ki jo IMA reč, je odvisna od njenih lastnosti. Energija je ena od fizikalnih količin, ki jo lahko le izračunamo iz izmerjenih lastnosti reči, sledeč fizikalnim dogovorom oziroma definicijam. Fizikalne količine najpogosteje določamo preko ene same merilne transformacije, npr. iz zasuka kazalca neposredno razberemo tok skozi vejo vezja. Pri ugotavljanju energije take »neposredne« meritve niso mogoče. Izmeriti moramo nekaj različnih lastnosti reči in iz njih energijo reči izračunati. Različne lastnosti reči so povezane z različnimi OBLIKAMI ENERGIJE. Energija reči se pojavlja v naslednjih oblikah:

- a) *Kinetična energija* W_k zaradi gibanja in vrtenja celih reči ali njihovih delov. V šoli se običajno omejujemo na obravnavo preprostih translacijskih gibanj togih teles, a pomen je bolj splošen.
- b) *Potencialna energija* W_p zaradi lege reči glede na druga telesa. Običajno v šoli kot drugo telo obravnavamo le Zemljo, a pomen je bolj splošen. Strokovni termin je tudi gravitacijska potencialna energija.
- c) *Prožnostna energija* W_{pr} zaradi elastične deformacije reči. V šoli običajno obravnavamo samo vzmeti oziroma le deformacije, ki so sorazmerne s silo, a pomen je bolj splošen.
- č) *Notranja energija* W_n zaradi temperature reči ter faze snovi, iz katere je reč. V šoli običajno obravnavamo le homogena telesa in ne poudarjamo, da se ob faznih spremembah spremeni tudi notranja energija. Poleg tega so reči lahko iz različnih snovi in različni deli imajo lahko različno temperaturo ali celo fazo, torej je pomen bolj splošen.
- d) *Kemijska energija* W_{ii} zaradi kemijske strukture snovi, iz katere so reči. Strokovno to količino povezujemo s kemijskim potencialom, kemiki pa pravijo, da se energija v kemijskih vezeh veže in se v ustreznih okoliščinah lahko sprosti (gorenje, presnova). Fiziki jo radi spregledamo, a zato naletimo na težave pri obravnavi živih bitij, a tudi avtomobilov in strojev, torej je tudi tukaj pomen bolj splošen.
- e, f) *Električna energija* W_e , ki je strokovno poimenovana tudi električna potencialna energija in je povezana z razporeditvijo električnega naboja v reči, ter *magnetna energija* W_m , ki je povezana z razporeditvijo magnetnih dipolov v reči. Ti energiji nista omejeni le na reči, temveč ju lahko pripišemo tudi praznemu prostoru, a ostanimo omejeni na reči. Električno energijo ima npr. nabit kondenzator, magnetno energijo pa permanentni magnet ali elektromagnet. In seveda, tudi tukaj je pomen bolj splošen.
- g) *Jedrška energija* W_j , ki je povezana s sestavo jeder npr. v gorivnih palicah v jedrski elektrarni.

K temu seznamu bi lahko dodali še energije valovanj, kot so zvok, svetloba, valovi na vodi, a ker smo se omejili na reči, jih v obravnavo za zdaj ne bomo vključili. Skoraj v vseh alinejah se pojavi še pripomba o bolj splošnem pomenu. »Bolj splošnemu pomenu« se bomo posvetili v eni od naslednjih razprav. Za zdaj ostanimo omejeni na šolske zožitve.

Energija, ki jo IMA reč, je odvisna od njenih lastnosti. Energija je ena od fizikalnih količin, ki jo lahko le izračunamo iz izmerjenih lastnosti reči, sledeč fizikalnim dogovorom oziroma definicijam.

Prenosi energije: Mehansko delo in toplota

Energijo reči je mogoče spremeniti tako, da se energija v reč prenese iz drugih reči ali pa reč svojo energijo odda drugim rečem. Prenosi energije med rečmi potekajo preko mehanskega dela A , toplote Q in električnega dela A_e . Reč lahko energijo prejme tudi preko valovanj, a kot že rečeno, tega za zdaj ne bomo obravnavali. Upoštevali bomo le sevanje kot enega od mehanizmov prenosa toplote.

V nadaljevanju se na začetku omejimo le na dva prenosa energije – na mehansko delo in toploto. Električno delo pustimo za drugič. Spomnimo se fizikalnih opredelitev obeh količin.

Mehansko delo A imenujemo prenos energije iz enega telesa v drugega preko sil med njima.

Spomnimo se, kaj moramo poznati, da je sila kot pojem opredeljena:

- Reč, na kateri opazujemo učinke sile.
- Reč, ki silo povzroča.
- Velikost sile.
- Smer sile.
- Prijemališče sile.

Pogosto so težave s prijemališčem sile, na velikost in smer sil sklepamo iz učinkov, vendar sta alineji (a) in (b) pogoj za to, da o pravih silah sploh lahko razpravljamo. Ko govorimo o »pravih« silah, spet ožimo področje razprave, omejili se bomo na inercialne sisteme, v katerih veljajo Newtonovi zakoni. Pozabili bomo na reči v pospešenem avtomobilu ali na vrtiljakih. Za obravnavo teh fiziki pogosto vpeljejo sistemске sile, za katere pa ne moremo najti telesa, ki jih povzročajo, in so le matematični pripomoček za obravnavo v smislu Newtonovih zakonov. A tudi o tem kdaj drugič.

Naj ponovim, v prispevku namenoma dosledno uporabljam besedo reč, ker si zelo želimo razpravo o delu, toploti in energiji prenesti iz fiziku ljubih homogenih klad na mnogo zanimivejša živa telesa in stroje.

Izmenjava energije z mehanskim delom VEDNO poteka med rečema iz (a) in (b). Imenujmo ju kar reč A in reč B. Na reči A učinke sile opazujemo, reč B pa silo povzroča. Iz definicije mehanskega dela izhaja:

- Interakcijo med rečema A in B opišemo s silo, ki jo B povzroča, na A pa opazujemo njene učinke.
- Reč B je opravila delo na telesu A tedaj in le tedaj, če se je energija A spremenila (povečala, zmanjšala) za toliko, za kolikor se je spremenila (zmanjšala, povečala) energija reči B, le z nasprotnim predznakom.

Naj ilustriram s primerom. Voziček B idealno elastično trči v mirujoči voziček A. Po trku se voziček A premika, voziček B pa ima drugačno hitrost kot pred trkom. Med trkom so med vozičkoma delovale sile.

- Voziček B je *opravil* delo na vozičku A, zato se je *njegova energija zmanjšala*. Ker je bil trk idealno elastičen, se je spremenila (zmanjšala) le kinetična energija vozička B in se B po trku giblje z manjšo hitrostjo kot pred njim.
- Voziček A je *prejel* delo od vozička B, zato se je *njegova energija povečala*. Ker je bil trk idealno elastičen, se je spremenila (povečala) le kinetična energija vozička A in se A po trku giblje z neko hitrostjo.
- Spremembi energij* vsakega od vozičkov sta bili *do predznaka enaki*. Če se posvetimo natančnosti diktacije – govorili smo o energijah vsakega od vozičkov in ne le o eni obliki energije. Da se je sprememba energije manifestirala v kinetični energiji, so bile potrebne še dodatne zahteve, kot je idealno elastični trk. Pa saj vemo, da idealno elastičnih trkov razen med molekulami ni. V svetu reči trk ne bi bil »idealno« elastičen, a vendar (a), (b) in (c) še vedno veljajo. Le sprememba celotne energije vozička se odraža v spremembah več oblik energij (kinetične in notranje) vozičkov A in B. Tudi spremembi energij nista bili natanko enaki, ker je bilo med trkom prisotno tudi trenje s podlago in sta vozička strogo gledano izmenjevala energijo tudi s podlago. A ker je bil trk zelo kratek, lahko to izmenjavo za gornji primer pozabimo.

Ko govorimo o »pravih« silah, spet ožimo področje razprave, omejili se bomo na inercialne sisteme, v katerih veljajo Newtonovi zakoni.

Posvetimo se še toploti. Tudi toplota se nanaša na prenos energije, a ob odsotnosti sil. Opravimo enako analizo kot pri delu. Zaradi entropijskega zakona oziroma drugega zakona termodinamike velja, da prenos energije preko toplote vedno poteka iz kraja z višjo temperaturo v kraj z nižjo temperaturo. Kraja z različnima temperaturama sta lahko znotraj iste reči ali v različnih rečeh.

Toploto Q imenujemo prenos energije iz kraja A z višjo temperaturo v kraj B z nižjo temperaturo, če se energija prenaša med različnima rečema.

Prenosu energije med rečmi z različnimi temperaturami se ne moremo izogniti. Poteka vedno, skozi prazen prostor preko sevanja, odlična izolacija prenos energije preko kondukcije in konvekcije le zmanjša, ne more pa ga preprečiti. Zato lahko pri obravnavi sprememb energije reči izmenjavo toplote zanemarimo le tedaj, kadar procesi trajajo zelo kratek čas. Ali je čas kratek ali ne, lahko ocenimo le iz velikostnega reda izmenjane toplote in/ali dela med telesoma A in B v primerjavi z izmenjanim delom in/ali toploto z drugimi rečmi.

Naj ilustriram še s primerom. V kozarec z vodo (A) sobne temperature zlijemo žlico delno strjenega oljčnega olja (B) s temperaturo ledišča. Na hitro pomešamo s plastično žličko, da se olje v celoti utekočini in ima enako temperaturo kot voda v kozarcu.

- Voda A je oddala toploto, zato se je njena energija zmanjšala.
Voda se je nekoliko ohladila, znižala se je temperatura vode in zmanjšala se je njena notranja energija.
- Olje B je prejelo toploto in njegova energija se je povečala.
Olje se je utekočinilo, spremenila se je njegova struktura in segrelo se je do enake temperature, kot jo ima na koncu opazovanja voda.
- Spremembi energij vode in olja sta bili do predznaka enaki.
To ni popolnoma res, ker sta tako voda kot olje prejela še nekaj toplote iz okolice. Oba sta namreč med procesom imela nižjo temperaturo od okolice. A če je vse skupaj trajalo manj kot minuto, ko se tudi olje samo ne bi pretirano spremenilo in ogrelo, če bi ga zajeli s plastično žlico s slabo toplotno prevodnostjo, lahko izmenjavo toplote z okolico zanemarimo. Podobno smo storili glede izmenjave energij z okolico preko trenja pri vozičkih.

Prenos energije preko toplote je v tem prispevku natančno razdelan, a v nadaljevanju se bomo bolj osredotočali na mehansko delo. Mehansko delo je namreč pogosto zelo napačno obravnavano, saj ga učenci zlahka zamenjujejo s fizičnimi telesnimi napor, ki pa največkrat niso neposredno povezani s fizikalnim razumevanjem dela. Prav tako se mehansko delo pogosto pojavlja v računskih nalogah. Zaradi pogostega računanja dela se rado zgodi, da je obveznost prenosa energije med različnimi telesi prezrta. Prenos energije med različnimi rečmi ni prisoten vedno, kadar se neko telo pod vplivom sil premakne ali pospeši.

Energijski zakon

Ta prispevek je zaradi številnih podrobnosti verjetno zelo dolgočasen, kot sem opozorila že na začetku. A šele zdaj smo ob vseh teh pripombah »pridrajsali« do bistvenega sporočila. Energijski zakon govori o tem, kako lahko spremenimo energijo reči.

$$A + Q = \Delta W \quad (1)$$

Na desni strani enačbe (1) se nahaja sprememba vseh oblik energij obravnavane reči skupaj. Reči se zaradi prejetega ali oddanega dela in prejete ali oddane toplote lahko spremeni katerakoli oblika energije ali več njih. A to še ni vse.

Ne pozabimo, če reč A prejme mehansko delo, obstaja reč B , ki je vzrok za silo na telo A , in se mora tudi telesu B spremeniti energija, in sicer za enako, a nasprotno predznačeno vrednost od telesa A . Koliko energije se je z delom A_{BA} preneslo iz reči B v A medtem, ko se je prijemalešče sile \vec{F}_{BA} , ki jo povzroča reč B na A , premikalo po tiru med začetno \vec{r}_z in končno \vec{r}_k lego prijemalešča sile s premiki $d\vec{r}$, kvantificiramo oziroma izračunamo z enačbo:

$$A_{BA} = \int_{\vec{r}_z}^{\vec{r}_k} \vec{F}_{BA} \cdot d\vec{r} \quad (2)$$

Prenos energije preko toplote je v tem prispevku natančno razdelan, a v nadaljevanju se bomo bolj osredotočali na mehansko delo. Mehansko delo je namreč pogosto zelo napačno obravnavano, saj ga učenci zlahka zamenjujejo s fizičnimi telesnimi napor, ki pa največkrat niso neposredno povezani s fizikalnim razumevanjem dela.

Enačba (2) v tej obliki velja v vseh okoliščinah, torej za sile, ki se s spreminjanjem lege prijemališča spreminjajo po velikosti in/ali po smeri. V šoli uporabljamo enostavnejše inačice te enačbe, in sicer le za sile, ki se po velikosti in/ali smeri le odsekoma spreminjajo, v izračunu dela pa upoštevamo komponento sile, ki je vzporedna premiku prijemališča sile. Poenostavitve navadno zapišemo

$$A_{BA} = F_{BA,\parallel} s \quad (3)$$

kjer je $F_{BA,\parallel}$ komponenta sile reči B na A v smeri premika prijemališča s . Mehansko delo ali prenos energije preko sil med A in B je prisotno le:

- če med telesoma obstaja interakcija, ki jo opišemo s silo;
- če se prijemališče sile premika;
- če sila ni pravokotna na premik prijemališča te iste sile.

Številni primeri, pri katerih se zdi, da je delo prisotno, ne izpolnjujejo vseh treh kriterijev.

Če privežemo na vrstico žogo in vrstico enakomerno vrtimo po prostoru tako, da žoga kroži, sila vrstice na žogo ne opravlja dela, ker je pravokotna na premik prijemališča.

Če se peljemo z dvigalom navzgor, se tla dvigala pod nami premikajo in sila podlage opravlja delo, naša potencialna energija pa se povečuje. Če hodimo po stopnicah navzgor, se naša potencialna energija tudi povečuje, skupna energija človeka pa ne. Ne moremo namreč najti telesa, ki bi se mu na račun povečane potencialne energije človeka energija zmanjšala. Še več, tudi račun dela pokaže, da dela ni bilo. Človek se namreč odtraja od stopnic, dviguje ga sila podlage, a noga na stopnici ostaja glede na stopnico na istem mestu in premika prijemališča ni. Kaj pa se je potem dogajalo pri hoji po stopnicah? Sila podlage je omogočila pretvorbo notranje kemijske energije človeka (hrana) v njegovo potencialno. Človeku se z dvigovanjem po stopnicah energija ne povečuje, le ena oblika energije se pretvarja v drugo. Pravzaprav se človeku energija celo zmanjšuje, saj oddaja toploto, ker ima višjo temperaturo od okolice. Človek toploto oddaja neprestano, pri fizičnih aktivnostih pa se oddajanje toplote še dodatno poveča.

Včasih premik prijemališča ni dobro definiran, npr. pri trenju. Trenje se pojavi, ker se deli reči ob stiku različno deformirajo. Kako ta proces poteka, navadno ne vemo in ga opišemo fenomenološko z enačbo, ki vsebuje izmerjen koeficient trenja. V procesu samem se del energije prenese v okolico, del pa ne. Kako je torej z delom? Podrobnejšo razpravo bomo temu primeru namenili prihodnjič.

Kadar opazimo spremembe lastnosti, ki povedo, da se je reči spremenila ena ali več oblik energije, npr. potencialna, ker vidimo, da se je reči spremenila lega, še ne moremo z gotovostjo sklepati, da je reč prejela ali oddala delo. Vedno moramo še preveriti, ali obstaja še en akter, torej vzrok sile, ki se mu je spremenila celotna energija, ter kakšna sta predznak in velikost te spremembe.

Zaključek

Naj na tem mestu končam. Delo je izmenjava energije med dvema rečema, med katerima delujejo sile. Kolikšna energija se je izmenjala, lahko izračunamo iz enačbe (1). Če v računu korektno upoštevamo premik prijemališča sile, ki (predvidoma) opravlja delo, izvemo, ali prenos energije obstaja ali ne. A učbeniki in drugi prispevki zelo pogosto zamenjujejo premik prijemališča sile s premikom dela telesa ali celo s premikom težišča telesa. Če delo obravnavamo tako, bomo sicer izračunali neko numerično vrednost, a ni nujno, da bo ta res povezana z delom. Značilen primer, kjer lahko marsikaj izračunamo, je pospeševanje avtomobila. Žal v obravnavi nastopajo enačbe, ki so po strukturi enake enačbi (3), rezultat je zato pogosto imenovan delo, a to ni. Več o tem prihodnjič.

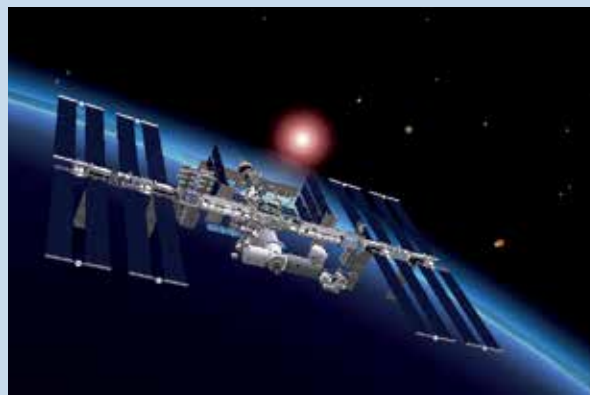
Če se peljemo z dvigalom navzgor, se tla dvigala pod nami premikajo in sila podlage opravlja delo, naša potencialna energija pa se povečuje. Če hodimo po stopnicah navzgor, se naša potencialna energija tudi povečuje, skupna energija človeka pa ne.

Astronomija v žepu

Goran Bezjak

Zavod RS za šolstvo

Tehnologija nam danes omogoča ogromno možnosti za učenje. Uporaba najrazličnejših aplikacij in programov, nameščenih v elektronskih napravah, nam omogoča pridobivanje znanja tudi na področju astronomije. Čeprav ne nadomesti edinstvenega pogleda skozi lečo teleskopa, nam vendarle lahko izboljša predstavu o vesolju (npr. kako veliko je vesolje, kje na nebu lahko opazujemo zelene pojave, kakšen je pogled na Zemljo iz vesolja (slika 1)). Ker danes pametne telefone uporabljamo skoraj vsi in jih imamo pogosto s seboj tudi na sprehodih, lahko s primerno izbranimi aplikacijami zelo enostavno »pogledamo« v nočno nebo. Uporaba teh aplikacij in programov je primerna tudi za učence in dijake. Ključna pri tem je vloga učitelja, ki mora programe in aplikacije učenecem smiselno predstaviti in razložiti, da bi jih lahko nato uporabljali. Najprej jim mora predstaviti namen aplikacije, njeno uporabo in vrednost. Pri tem ga mora spremljati in mu pomagati odpravljati težave. Prav tako mora ob koncu dejavnosti preveriti, ali so učenci/dijaki dosegli zadane cilje.

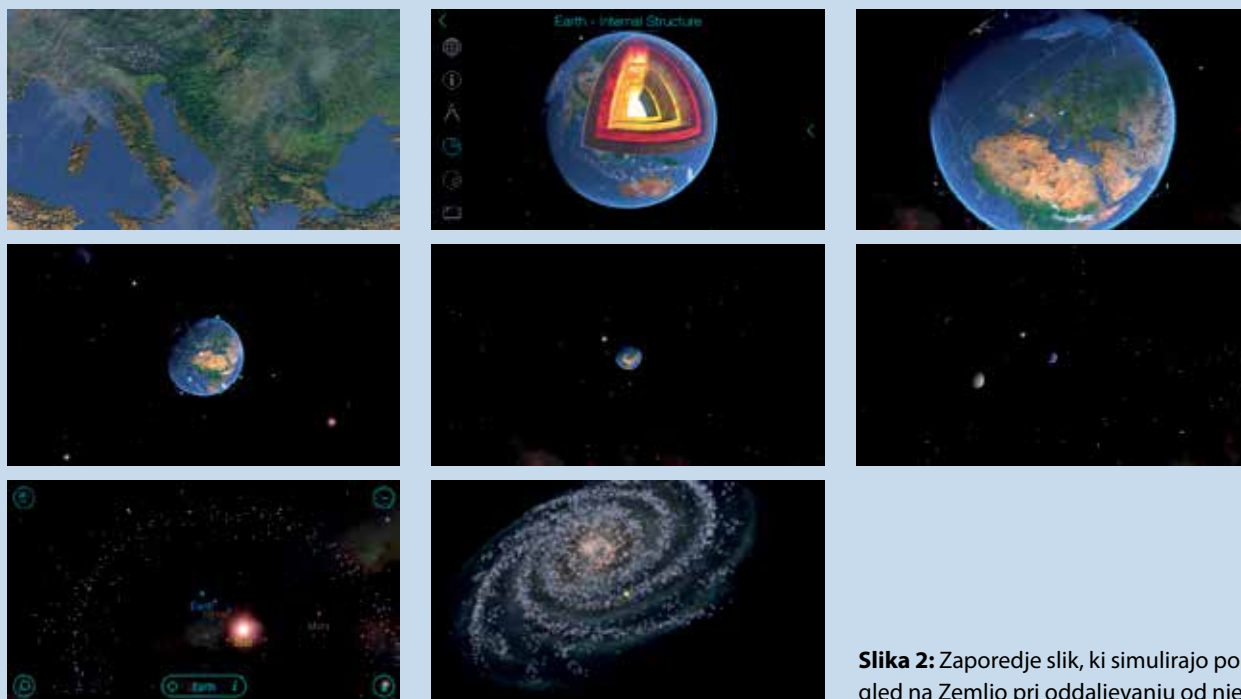


Slika 1: Mednarodna vesoljska postaja (ISS)

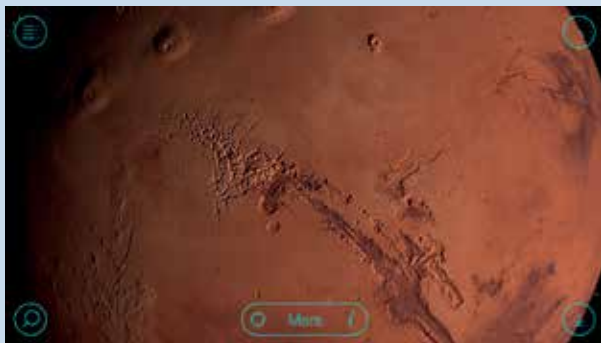


SolarWalk

V članku sta predstavljeni le dve od mnogih aplikacij, ki omogočajo vpogled v naše osončje ter globlje v vesolje (SolarWalk ter StarWalk). Svojo raznolikost kažeta že v samem imenu. SolarWalk nam omogoča oblikovati predstavo o Soncu, planetih, kometih, raznih odpravah v vesolje itd., StarWalk pa nam pomaga opazovati zvezde, meglice, planete, zvezdne sestave in daljne opazovane objekte na nebu.



Slika 2: Zaporedje slik, ki simulirajo pogled na Zemljo pri oddaljevanju od nje.



Slika 3: Površje Marsa in pogled na kanjon Valles Marineris (slika levo) ter Nasin rover Curiosity na površju Marsa (slika desno).

Tovrstne aplikacije posamezniku omogočajo raziskovanje objektov znotraj našega osončja. Tako se lahko na svoji mobilni napravi uporabnik sam popelje od planeta do planeta, na Sonce ali eno od lun izbranega planeta. Opazuje lahko zgodovinske odprave ali potuje skozi čas in opazuje pojave v izbrani preteklosti oz. prihodnosti.

Če sliko z mobilne naprave projiciramo na platno, lahko skrivnosti našega osončja raziskujemo tudi skupinsko. Takšen pristop nam omogoča, da statične slike, plakate in modele dopolnimo z računalniško modelirano tridimenzionalno sliko vesolja. Tako



Slika 4: Pristanek Apolla 11 na površju Lune



Slika 5: Saturn in njegova luna Enceladus.



Slika 6: Satelit SEASAT pri kroženju okrog Zemlje s Saturnom v ozadju.

lahko raziskovalec vesolja (npr. učenec) sam ali skupaj z drugimi vodi proces odkrivanja objektov v vesolju. S primernim usmerjanjem učitelja učenci in dijaki s pomočjo aplikacije pridobijo različna znanja, ki izhajajo iz učnih načrtov. Ker učenec vodi proces učenja sam, mu takšen pristop omogoča prilagoditev tempa učenja. Taka metoda dela omogoča tudi doseganje ciljev, ki zahtevajo višje miselne procese, ter spodbuja radovednost, kar pozitivno vpliva na motivacijo učencev in dijakov.



StarWalk



Slika 7: Izris in opis zvezd, ki pripadajo Malemu in Velikemu vozu.

Ko posameznik opazuje nočno nebo, je njegovo iskanje najpogosteje usmerjeno v iskanje velikega voza (Ursa Major). Pogosto se iskanje nadaljuje z iskanjem malega voza (Ursa Minor) in zvezde Severnice (slika 7). Danes je z aplikacijami, ki pomagajo poiskati in poimenovati ozvezdja ter bližje pogledati nočno nebo, to veliko lažje. Ker so zvezde vidne takrat, ko učenci niso v šoli, je smiselno, da učitelj učence v šoli navduši in seznanji z možnostmi, ki jih ponujajo mobilni telefoni pri opazovanju nočnega neba. Uporaba teh aplikacij je lahko tudi odličen pripomoček na taborih, na katerih imajo učenci možnost opazovanja neba z daljnogledom ali s prostim očesom, hkrati pa lahko tudi sami raziskujejo nebo in meje vidnosti/nevidnosti s prostim očesom. Tako lahko opazujejo pojave in objekte, ki jih sicer pogosto vidijo, a nanje niso pozorni (npr. meteorski dež, Orion, Rimska cesta ...).



Slika 8: Rimska cesta.



Slika 9: Orion.

Urnik:

Suplence:

Kolegica, kaj vi mislite, ali je mogoče videti vse zvezde naenkrat?

Seveda je! Jaz jih vidim vedno, ko se kam močno udarim.

Janez Strnad

Mala zgodovina Dopplerjevega pojava

DMFA-založništvo, Ljubljana 2016

Zbirka: Knjižnica Sigma (št. 97)

120 strani

Cena: 15,50 €

Zaslужni profesor Univerze v Ljubljani Janez Strnad je tik pred smrtjo založbi DMFA-založništvo izročil popravke za knjižico »Mala zgodovina Dopplerjevega pojava«. Knjižica je izšla v okviru zbirke Sigma dobro leto po avtorjevi smrti in opisuje Dopplerjev pojav, zgodovinski razvoj, prve poskuse, nasprotovanja in pomisleke stroke ter široko paleto izkoriščanja pojava v tehnologiji.

Pojav v okviru fizike prvič spoznamo v srednji šoli. Dopplerjev pojav je del naših življenjskih izkušenj, čeprav se marsikdo tega niti ne zaveda. Vsakdo je že poslušal avtomobil, katerega zvok je slišati višji, ko se avtomobil približuje, in nižji, ko zapelje mimo in se začne oddaljevati.

Zgodovinski oris v prvem delu knjižice nazorno opiše znanstveno metodo in razvoj poznavanja nekega fizikalnega pojava. Kaže, kako je lahko priznanje stroke zamuden, tudi mučen proces, poln življenjskih zgodb. Pojav je opisal Christian Doppler leta 1842. Zvok in svetlobo so tedaj obravnavali enako – kot longitudinalno mehanično valovanje. Medij pri svetlobi je bil eter. Doppler je s pojavom pojasnjeval barvo dvojnih zvezd in nekaterih drugih zvezd, kar se je kasneje izkazalo za napačno. Vztrajanje pri napačni razlagi mu je prineslo vrsto težav.

Eksperimentalno so pojav najprej opazovali pri zvoku. To so bili nerodni in organizacijsko zapleteni poskusi, pri katerih so sodelovali subjektivni poslušalci, in opis jasno pokaže težave takratnih raziskovalcev z nezanesljivimi načini opazovanja. Nato sledi opis začetnega razvoja in raziskovalcev, ki so pri njem sodelovali. V glavnem je posvečen zvoku. Pozneje so pojav opazovali tudi pri svetlobi. Dopplerjev pojav pri svetlobi obravnavamo drugače kot pri zvoku. Hitrost svetlobe je veliko večja od hitrosti zvoka, zato je Dopplerjev pojav pri svetlobi težje opazovati. Opazimo ga npr. po premiku črt v spektru zvezd. Dopplerjevemu pojavu pri svetlobi je posvečen drugi del knjižice.



Dopplerjev pojav uporabljajo v številnih vejah fizike in zunaj nje. Tretji del zajame uporabo Dopplerjevega pojava. Opis vpliva pojava na tehnologijo je obsežen in temeljit. Tako lahko spoznamo, kako celo temeljna znanost sčasoma in z razvojem idej pripelje do množice tehnoloških izboljšav. V astrofiziki je Dopplerjev pojav pripeljal do novih spoznanj. Z delci iz sveta atomov so preizkusili enačbe za Dopplerjev pojav pri svetlobi. Pojav med drugim uporabljajo vremenski in policijski radarji. Z njim merijo tudi hitrost tekočin v toku, na primer hitrost vetra. Izkoriščajo ga tudi pri ultrazvoku v medicini. Z raziskovanjem Dopplerjevega pojava se ukvarjajo še danes. Nazadnje knjižica obdela tak primer.

Prvi del je nezahteven in vsebuje malo enačb. Nekaj več enačb je v drugem in tretjem delu. Zahtevnejše je mogoče preskočiti, ne da bi to oviralo pri nadaljnjem branju. Nekateri deli snovi je pisec obdelal tudi v drugih knjižicah in člankih. To kaže, kako so deli fizike med seboj tesno prepleteni. Dopplerjev pojav, ki se je začel z golim razmišljanjem, je povezal dele fizike, pripomogel k razvoju fizike in astrofizike ter poskrbel za številne možnosti uporabe v njej in zunaj nje. Večina virov navedenih del, preostali pa bralcem omogočajo, da preberejo kaj več tudi v domačih knjigah in revijah, če jih to zanima. Poglavlja so odlično grafično podprta.

Vsebina in zasnova knjižice sta dobri in knjižica je primerna za učence, dijake ali študente, ki se posebej zanimajo za fiziko, veliko zanimivega pa bodo v delu našli tudi učitelji fizike in laiki.

dr. Aleš Mohorič,

Fakulteta za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani

Janez Strnad

Fizika, 1. del,

Mehanika, Toplota

DMFA-založništvo, Ljubljana 2016

Zbirka Matematika – fizika (št. 9)

344 strani

Cena: 22,00 €

Pri založbi DMFA-založništvo je izšla prenovljena izdaja visokošolskega učbenika »Fizika, 1. del«. Učbenik je prvi v nizu štirih učbenikov, ki obsegajo klasično in moderno fiziko, napisal pa ga je profesor Janez Strnad po gradivu s predavanj na Fakulteti za matematiko in fiziko. Fiziko so na predhodnicah te fakultete v prvem letniku predavali profesor Anton Peterlin, profesor Anton Moljk in profesor Ivan Kuščer. Oblikovali so zasnovo predavanj in zbirko učil. »Fizika, 1. del« se naslanja na oboje, nanjo pa so izdatno vplivali tudi nekateri novejši tuji učbeniki. Predhodni učbeniki so doživeli več izdaj; prva tiskana izdaja je iz leta 1977. Poznejše izdaje so bile skopirane, z minimalnimi spremembami in popravki. Ponatisi so postajali vse slabši in učbenik je bilo potrebno popolnoma osvežiti.

Zasnova učbenika ostaja povečini enaka starejšim izdajam, spremenjeni so le nekateri odstavki in nekaj besedila je dodanega na novo. V uvodu je poglavje o merjenju in računanju z napakami, na koncu je dodan odstavek Mednarodni sistem merskih enot SI. Dela Mehanika in Toplota sta razdeljena na poglavja Opis gibanja, Osnovne enačbe gibanja, Gravitacijski zakon, Izreki gibanja, Mehanika trdnih teles, ki se deformirajo, Mehanika tekočin, Nihanje in valovanje, Stanja, Energijski zakon, Entropijski zakon in Zgradba plinov, kapljev in trdnin. Knjigo zaključujeta seznama domačih in tujih učnih knjig ter abecedno kazalo. »Fiziki, 1. del« se pozna, da



je nastala po predavanjih. Na začetku je manj zahtevna kot proti koncu. Nekatere težje ali manj pomembne odstavke na začetku in koncu zaznamuje zvezdica. V knjigi ni posebnih nalog. Te bralci najdejo v eni od zbirk.

Izida učbenika avtor žal ni dočakal, vendar je pripravil besedila namenil zadnje fizične moči z zanj značilnim žarom. Profesor Strnad je bil fiziki in poučevanju fizike iskreno predan in to se odraža v vsebini učbenika.

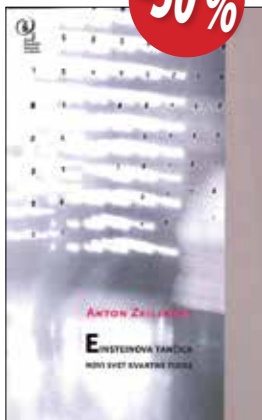
Učbenik, ki je izšel dobro leto po avtorjevi smrti, je namenjen predvsem študentom fizike, kot dopolnilno gradivo je primeren za vse druge študente in boljše srednješolce, kot referenčno delo, tudi z jezikovnega vidika, pa ga bomo uporabljali tudi starejši bralci.

*dr. Aleš Mohorič,
Fakulteta za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani*

Razširjajmo znanje

Ugoden
nakup
strokovne
literature
v **APRILU**

-50%



~~20,45 €~~
10,23 €

-50%



~~19,20 €~~
9,60 €

-50%



~~28,50 €~~
14,25 €

-15%



~~34,50 €~~
29,33 €

Dopolnite svojo strokovno knjižnico z ugodnim nakupom. Izbor **117 znižanih publikacij** najdete na spletni strani www.zrss.si/zalozba/akcija.

Iz knjig
do vaših
učencev



60 let
Zavod Republike Slovenije za šolstvo

Naročanje:

P Zavod RS za šolstvo, Poljanska c. 28, 1000 Ljubljana
T 01 300 51 00
F 01 300 51 99
E zalozba@zrss.si
S www.zrss.si



akcija



arhiv revij



facebook ZRSS



twitter ZRSS

ISSN 1318-6388



9 771318 638896