1
2022
Letnik 27

Fizika v šoli

Poštnina plačana pri pošti 1102 Ljubljana

Higgsov bozon in škatle skrivnosti: Kako deluje znanost?

- Astronomske vaje z merilnim okularjem
- Dvigovanje uteži s segrevanjem idealnega plina
- Računalniška tomografija v učilnici

Zavod Republike Slovenije za šolstvo

Fizika v šoli

Letnik 27 (2022), št. 1

KAZALO

Jože Pernar
Uvodnik 1

STROKOVNI PRISPEVKI

Jože Rakovec
Kako se temperatura tal spreminja čez dan in skozi leto? 2

Matija Milanič, Urban Simončič, Jošt Stergar, Gorazd Planinšič, Aleš Mohorič
Računalniška tomografija v učilnici 11

Rasto Snoj
Astronomske vaje z merilnim okularjem 19

Mateja Aš Šašek
Naravoslovje v knjižnici 26

Anja Kranjc Horvat, Jakob Novak, Blaž Leban
Higgsov bozon in škatle skrivnosti: Kako deluje znanost? 29

Klemen Leban
Videoanaliza športnega dogodka 37

Andreja Šarlah
Dvigovanje uteži s segrevanjem idealnega plina 44

DELO V PROJEKTIH

Tilka Jakob
Fizika in dediščina kraja 53

Tatjana Gulič
Vključevanje mednarodnih sodelovalnih projektnih aktivnosti v učne ure 59

ZANIMIVOSTI

Napovednik izobraževanj: tabori, konference, seminarji 64

Popravek

Pri članku z naslovom *Hertzsprung-Russllov diagram zvezdnih kopic*, ki je bil objavljen v 2. številki tiskane revije *Fizika v šoli*, letnik 26, 2021, str. 2–11, sta bila navedena le dva avtorja (Rok Vogrinčič in Samo Ilc). Sodelovala sta še dva soavtorja, to sta Katarina Lodrant in Marko Urbanč, študenta Fakultete za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani.

Uredništvo revije *Fizika v šoli*

PACS 01.40. –d, 01.50. –i, 01.55. +b

ISSN 1318-6388

FIZIKA V ŠOLI
letnik XXVII, številka 1, 2022

Izdajatelj in založnik:
Zavod RS za šolstvo
Predstavnik:
dr. Vinko Logaj
Odgovorni urednik:
mag. Jože Pernar
Uredniški odbor:
mag. Miroslav Cvahte, dr. Mojca Čepič, dr. Andreja Gomboc, dr. Vladimir Grubelnik, Tatjana Gulič, dr. Tomaž Kranjc, dr. Marko Marhl, dr. Aleš Mohorič, Milenko Stiplovšek, dr. Saša Ziherl
Jezikovni pregled:
Andraž Polončič Ruparčič
Prevod povzetkov:
Bumblebee, jezikovno svetovanje, Polonca Luznik, s. p.
Urednica založbe:
Andreja Nagode
Oblikovanje:
Simon Kajtna, akad. slik.
Ilustracije:
Davor Grgičević, str. 9 in 42
Fotografije:
avtorji člankov
Računalniški prelom:
Design Demšar, d. o. o.
Tisk:
Present, d. o. o.
Naklada: 380 izvodov

Prispevke pošljite na naslov: Zavod RS za šolstvo, Uredništvo revije Fizika v šoli, Poljanska c. 28, 1000 Ljubljana, e-naslov: revija.fizika@zrss.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, 8,50 € za študente, dijake in upokojence. 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.

Priznanje avtorstva-Nekomercialno-Brez predelav

Poštnina plačana pri pošti 1102 Ljubljana.

Spoštovane bralke in bralci revije Fizika v šoli,

vodilna tema letošnjega, že 27. letnika je interdisciplinarna fizika – to je fizika okoli nas in v drugih strokah.

Upokojeni profesor meteorologije v svojem prispevku avtentično in sistematično predstavi merjenje temperature zemeljskih tal ter vpliv temperature na spremembe v bivalnem okolju.

V članku skupine avtorjev s Fakultete za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani ter z Instituta Jožef Stefan pobliže spoznamo delovanje CT (računalniške tomografije) na področju medicinske diagnostike. Prispevek slikovito predstavi znanstveno metodo, prilagojeno eksperimentalnim vajam v učilnici. V naslednjih številkah bomo objavili še dve podobni deli s področja medicine, ki nazorno razložita metode ob primeru šolskih aktivnosti.

Pri pouku astronomije lahko poleg opazovanj izvajamo tudi neposredna merjenja z merilnim okularjem. Izkušen gimnazijski učitelj nam v svojem prispevku predstavi izvirno idejo, ki daje nov zagon nočnim ali dnevnim eksperimentalnim aktivnostim dijakov.

Vse pogosteje je edini vir, ki ga uporabljamo pri šolskem delu, splet. Pri tem najdene vsebine zelo nekritično sprejemamo in jih pri pripravi šolskih izdelkov zelo neaktivno uporabljamo. Učenci pogosto uporabljajo način »kopiraj in prilepi« ter snovi niti dobro ne razumejo. Prispevek »Naravoslovje v knjižnici« obravnava to zanimivo temo. Dijaki morajo gradivo za svoje šolsko delo iskati ne le na spletu, ampak predvsem v knjižnicah – v svoji šolski knjižnici pa tudi v širšem knjižničnem sistemu.

Mineva deseta obletnica odkritja Higgsovega bozona v Cernu. Tudi te zahtevne vsebine smo skušali prilagoditi našim šolskim razmeram. Naša raziskovalka iz Cerna je s sodelavcema z Instituta Jožef Stefan prispevala članek o poti do odkritja tega osnovnega delca. Na zelo poljuden in zanimiv način, s številnimi primerjavami in primeri, je avtorjem uspelo približati skrivnost nastajanja in obstoja osnovnih delcev tudi nestrokovnjakom. Zahtevne vsebine so prikazane po načelu formativnega spremljanja. Še posebej zanimivo je praktično eksperimentiranje s škatlami skrivnosti. Gre za odlično primerjavo didaktične metode z avtentičnim raziskovanjem na znanstveni ravni.

Vključevanje fizike v mednarodne in sodelovalne projekte pa predstavita avtorici na primeru osnovnih šol.

mag. Jože Pernar,
odgovorni urednik

Kako se temperatura tal spreminja čez dan in skozi leto?

prof. dr. Jože Rakovec
upokojeni profesor Univerze v Ljubljani

Izvleček
Članek obravnava periodično spreminjanje temperature tal, katerih površina se čez dan segreje, ponoči pa ohladi oziroma se poleti segreje in pozimi ohladi. Pri tem so globlje v tleh spremembe temperature vse manjše, tako da je na neki globini temperatura konstantna. Kolikšna je ta globina, je odvisno tako od lastnosti tal kot od tega, ali gre za krajše, dnevne cikle ali za dolge, letne cikle. Lastnosti tal – toplotna prevodnost, specifična toplota in gostota tal – skupaj tvorijo t. i. toplotno difuzivnost (imenovano tudi temperaturna ali termalna difuzivnost). Temperaturne spremembe pa se z globino ne le manjšajo, ampak tudi čedalje bolj časovno zaostajajo.

Ključne besede: temperatura tal, difuzivnost, zmanjšanje amplitude, časovni zaostanek

How Does Soil Temperature Change During the Day and Throughout the Year?

Abstract
This paper considers the periodic variation in soil temperature, where the surface warms up during the day and cools down at night or warms up in summer and cools down in winter. The greater the depth below the ground surface, the smaller the shifts. It follows, then, that the temperature remains constant at a certain depth. The depth depends on both, the properties of the soil as well as on whether there are short, daily cycles, or long, annual cycles. Soil properties, namely, thermal conductivity, specific heat, and soil density form the so-called thermal diffusivity. With depth, not only do the magnitudes of temperature changes decrease, but they also lag behind.

Keywords: soil temperature, diffusivity, amplitude reduction, time lag.

Temperatura v tleh
Dandanes je zanimanje za temperaturo v tleh dosti večje, kot je bilo pred nekaj desetletji. En vzrok so toplotne črpalke, ki pozimi iz globine od nekaj metrov do okrog deset metrov zajemajo toploto za ogrevanje hiš, poleti pa z obrnjenim delovanjem hiše hladijo tako, da iz njih »porivajo« toploto v tla. Drug dokaj pomemben razlog za povečano zanimanje pa so vse višje temperature v subarktičnih območjih, kjer se zato talijo sicer ves čas zamrznjena tla – permafrost. Razmehčan permafrost je precejšnja težava za vse, kar je človek zgradil na njem: stavbe, ceste, železnice, naftovode in plinovode … Zelo zanimivo je na primer, kaj vse so morali narediti Kitajci ob gradnji železnice v Tibetu, ki več kot tisoč kilometrov poteka prek permafrosta, da se jim nasutja, mostovi, viadukti ne posedajo. Za razliko od prejšnjih sistemov t. i. toplotnih sifonov so vgradili na metre debela nasutja kamenja s precej zraka med kamni, ki so po eni strani izolator za tla, po drugi pa neke vrste pasivni hladilnik tal. Opisi te gradnje so npr. na Earth data [1] ali v kakem dokumentarcu [2, 3].

Razmehčan permafrost je precejšnja težava za vse, kar je človek zgradil na njem.

Na meteoroloških postajah že kako stoletje in več merijo tudi temperaturo v različnih globinah v tleh. Pred stoletjem seveda ni bilo na razpolago drugega kot stekleni živosrebrni ali alkoholni termometri, tako dolgi, da je njihova lestvica segala nad površino tal. Seveda niso mogli biti poljubno dolgi – največ do pol metra. Za večjo globino pa so izvrtali ozko luknjo

in vanjo spustili termometer, privezan na vrvico. Ob času meritve so ga povlekli navzgor, odčitali temperaturo ter ga spustili nazaj v izvrtino. Tako so torej merili v globinah 2, 5, 10, 20, 30, 50 in 100 cm globoko (še globlje pa so z gumijasto cevjo, napolnjeno z vodo, v še globlji luknji preverjali samo, do katere globine so tla morda zamrznjena – do katere globine je cev trda, zamrznjena, od kod pa gibljiva, mehka). Danes je seveda drugače: termočleni, uporovni termometri, termistorji … omogočajo meritve tudi zelo globoko.

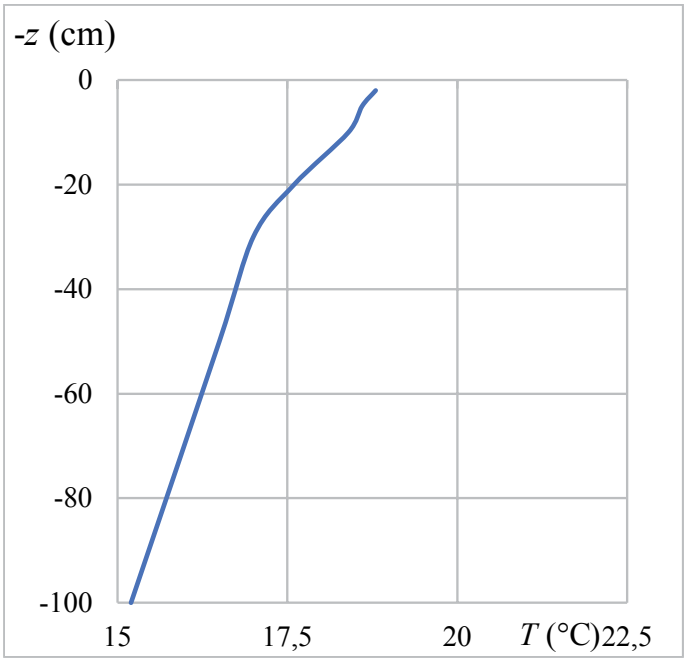
Kakšna je torej temperatura v tleh in kako se spreminja s časom in globino?

Obravnavali bomo periodične spremembe čez dan, ko se temperatura izrazito spreminja ob lepem, sončnem vremenu, pa tudi povprečne mesečne temperature, ki pokažejo spremembe skozi letne čase. Vsi vemo, da se površina tal čez dan in poleti precej segreje, čez noč in pozimi pa ohladi. Ob sončnem poletnem dnevu se tla lahko celo toliko segrejejo, da po njih ne moremo hoditi bosi – npr. po kaki peščeni ali mivkasti plaži, proti jutru pa se ohladijo npr. do rose na tleh ali celo slane, pozimi tudi do zamrzovanja gornje plasti tal. Pozimi tla lahko zamrznejo do neke globine, spomladi pa se spet ogrejejo in odtalijo. Od česa je to odvisno? Kako globoko v tleh se spreminja temperatura?

Spreminjanje temperature v tleh je odvisno od ogrevanja ali ohlajanja površine tal in od prenosa toplote v globino in iz nje.

Spreminjanje temperature v tleh je odvisno od ogrevanja ali ohlajanja površine tal in od prenosa toplote v globino in iz nje, torej od ogrevanja ali ohlajanja globlje v tleh. Pomembne so toplotna prevodnost tal λ, gostota tal ρ in specifična toplota c pa tudi to, ali morda opazujemo dnevne spremembe ali letne, torej čas dogajanja τ. Toplotna prevodnost λ pove, kakšen je toplotni tok $P = \Delta Q/\Delta t$ skozi nek presek S pri neki temperaturni razliki ΔT na neki razdalji Δz: $P = -\lambda S \Delta T/\Delta z$. Gostota tal ρ pove, kolikšna je masa m v prostornini tal V: $\rho = m/V = m/S\Delta z$. Specifična toplota c pa pove, za koliko se poviša temperatura masi m, če ji dovedemo ΔQ toplote, torej $\Delta T = \Delta Q/mc$. Te lastnosti: toplotna prevodnost, gostota in specifična toplota, pa so odvisne od vrste tal.

Če bi se temperatura v tleh z globino spreminjala linearno, bi bile razlike ΔT skozi vse plasti enake debeline Δz enake in tok toplote po vsej globini enak. Toda ni tako: meritve kažejo, da je temperaturni gradient (stopnja spreminjanja temperature z globino $\Delta T/\Delta z$) po navadi največji pri površini, v globini pa vse manjši; en primer za poletne razmere je na sliki 1.



Slika 1: Povprečna temperatura tal v Lescah junija (1971–2000) po podatkih iz [4]. Graf $T(z)$ je narisan malo drugače, kot smo navajeni, saj je odvisna spremenljivka na vodoravni osi, neodvisna pa na navpični navzdol. A to je kar smiselno, saj globina pač narašča navpično navzdol.

Če pa se gradient temperature z globino spreminja, potem tudi tok toplote po globini ni enak: v primeru na sliki je gradient zgoraj večji in zato je tok toplote večji, globlje pa manjši. Torej v neko plast debeline Δz od zgoraj prihaja več toplote, kot jo od njenega dna teče naprej navzdol. Razlika med dotokom toplote skozi zgornjo ploskev S in odtokom skozi enako veliko spodnjo ploskev te plasti vanjo v času Δt dovede ΔQ toplote, kar v tem času plast segreje za ΔT.

$$mc\,\Delta T/\Delta t = \Delta Q/\Delta t = S\,\lambda\,[(\Delta T/\Delta z_{zg} - (\Delta T/\Delta z_{sp})].$$

Gre torej za razmere, ki se spreminjajo tudi v času – za nestacionarno dogajanje. Na sliki 1 so prikazane povprečne junijske razmere. Prej, pozimi in zgodaj spomladi, so tla hladnejša, pozneje, poleti, pa še toplejša. Podobno pri dnevnem dogajanju: zjutraj je površina tal najhladnejša, dopoldne toplejša, okrog poldneva pa najtoplejša: temperatura se spreminja tako z globino kot s časom.

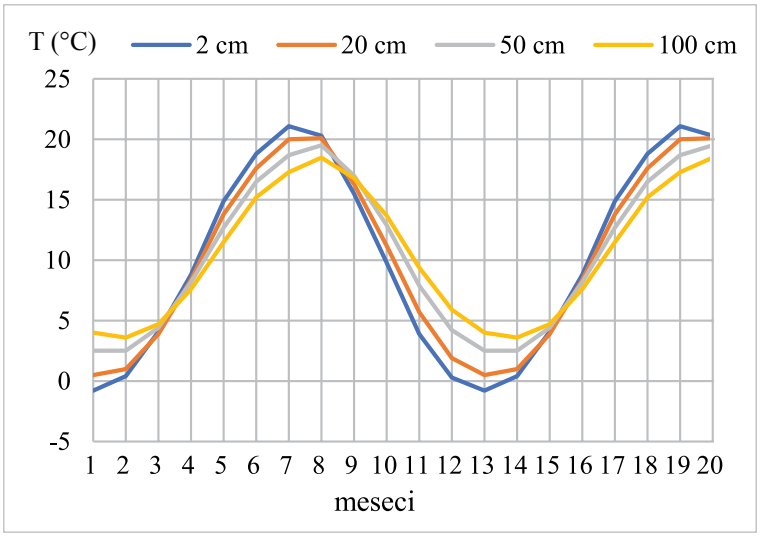
Ko v enačbi $mc\,\Delta T/\Delta t = S\,\lambda\,[(\Delta T/\Delta z_{zg} - (\Delta T/\Delta z_{sp})]$ upoštevamo še, da je $m = \rho S\Delta z$, vidimo, da velja $\rho S\Delta z c\,\Delta T/\Delta t = \lambda S\,[(\Delta T/\Delta z_{zg} - (\Delta T/\Delta z_{sp})]$. Enačbo delimo z $\rho c S\Delta z$ in dobimo enačbo s kvocienti razlik temperature v času (Δt) in po globini (Δz):[1]

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{\lambda}{\rho c}\,\frac{\Delta T/\Delta z_{zg} - \Delta T/\Delta z_{sp}}{\Delta z} = \frac{\lambda}{\rho c}\,\frac{\Delta(\Delta T/\Delta z)}{\Delta z}.$$

Kvocient $\lambda/\rho c$, ki je odvisen od lastnosti tal, označujejo z različnimi črkami, npr. z α: $\alpha = \lambda/\rho c$, pa tudi imen ima lahko več.[2]

Za segrevanje plasti se morajo torej temperaturne razlike z globino zmanjševati – to pa obenem pomeni tudi, da je gostota toka toplote v vse večjih globinah vse manjša in manjša. Če se del toka toplote porabi v zgornjih plasteh, v globino pride manj toplote. To pomeni, da bo tam tudi ogrevanja manj: velikost temperaturnih sprememb je z globino vse manjša.

Še nekaj: zjutraj (ali pomladi) je temperatura v tleh lahko po vseh globinah precej enaka. To pomeni, da mora za to, da toplota začne teči navzdol, sonce najprej segreti površino tal. Potem začne toplota prodirati skozi površinsko plast tal navzdol in nekaj časa traja, da se ogreje tudi plast tik pod površino. Zato se šele čez nekaj časa pojavijo tudi temperaturne razlike malo globlje v tleh – in spet traja nekaj časa, da se ogreje naslednja plast po globini. Torej temperaturne spremembe globlje v tleh niso samo manjše, ampak imajo tudi vse večji časovni zaostanek. To se lepo vidi, če pogledamo, kakšne so v Lescah povprečne mesečne temperature na različnih globinah v tleh (slika 2).



Slika 2: Povprečna mesečna temperatura tal v Lescah v različnih globinah v obdobju 1971–2000 (po podatkih [4])

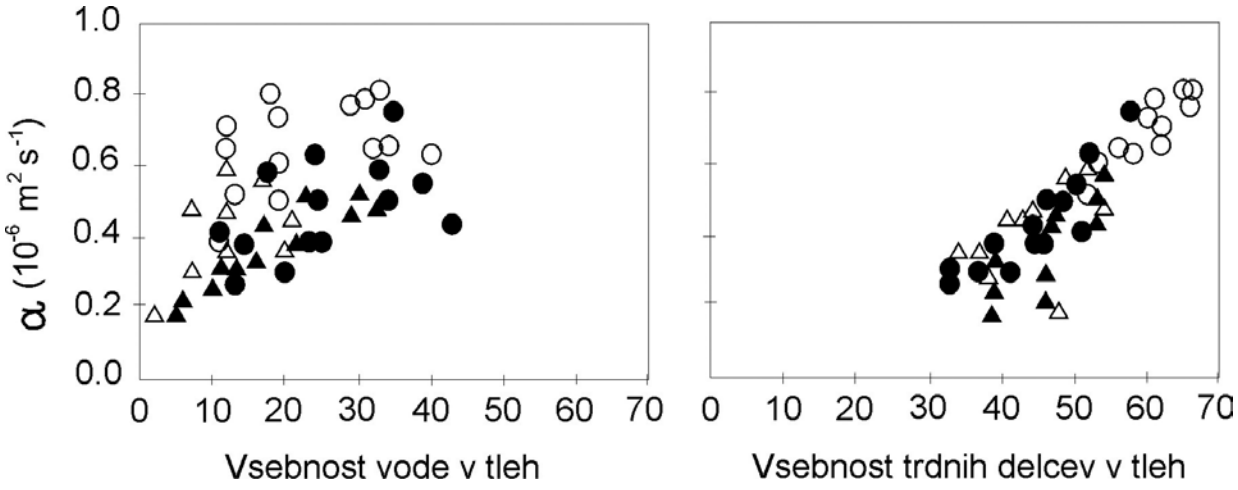
Da se lepše vidi, kako se temperatura periodično spreminja iz meseca v mesec, skozi letne čase, potekov temperature nismo narisali samo za eno leto, ampak smo jih ponovili še v naslednje leto. Da pa slika ne bi bila prepolna, smo narisali samo letne poteke za štiri globine v tleh. Vidimo, da se tla najbolj segrejejo pa tudi ohladijo ob površini (2 cm), globlje pa so spremembe vedno manjše. Vidimo tudi, da je najvišja temperatura v globini 2 cm dosežena julija, v globini en meter pa mesec pozneje – avgusta. Podobno velja za najnižje temperature: v globini 2 cm januarja, en meter globoko pa februarja. Torej je med tema globinama en mesec časovnega zamika.

Kaj pa vpliva na različno velika segrevanja in ohlajanja v različnih globinah in na časovne zamike?

Ja, v zapisani enačbi nastopa razmerje $\lambda/\rho c = \alpha$, ki opisuje lastnosti tal. Tla so sestavljena iz trdnih delcev (mineralov, organskih snovi), med njimi je ob suši zrak, včasih pa voda, ki bolj ali manj zapolni predele med trdnimi delci. Čim več je v tleh prostorčkov z zrakom, torej čim bolj so tla suha, tem manjša je toplotna prevodnost tal λ, saj je zrak dober toplotni izolator. Zrak v talnih porah pomeni tudi, da je gostota ρ takih tal manjša, prav tako specifična toplota c. Na-

1 Če bi v tej enačbi s kvocienti razlik obravnavali neskončno (infinitezimalno) majhne spremembe v prostoru in času ($\Delta t \to 0$ in $\Delta z \to 0$), bi enačba prešla v diferencialno enačbo (parcialno diferencialno enačbo). Za našo obravnavo pa zadostuje kar enačba z (majhnimi) končnimi razlikami.

2 Glede na to, da je v tej enačbi odvisna spremenljivka temperatura, nekateri kvocient $\lambda/\rho c$ imenujejo temperaturna difuzivnost. Ker gre za posledice prenašanja toplote, pa kvocient nosi tudi ime toplotna difuzivnost. Včasih pa mu rečejo kar termalna difuzivnost, kar naj bi bilo povezano tako s temperaturo kot tudi s toploto.



Slika 3: Odvisnost temperaturne difuzivnosti $a = \lambda/\rho c$ od volumskega deleža vode Θ in od volumskih deležev trdnih delcev Vs v tleh (prirejena po [5])

sprotno pa – ko so pore v tleh zapolnjene z vodo – se toplotna prevodnost λ poveča, poveča se gostota ρ pa tudi specifična toplota c in s tem se spremeni tudi njihova kombinacija $\alpha = \lambda/\rho c$.

Na gostoto, toplotno prevodnost in specifično toploto tal ter njihovo razmerje $\alpha = \lambda/\rho c$ torej zelo vpliva delež vode v tleh, kar kaže tudi slika 3, povzeta iz [5]. Tu je Θ volumski delež vode v tleh, V_s pa volumski delež trdnih delcev v tleh (med njimi je ali zrak ali pa voda).

Tako se difuzivnost α v nekih tleh lahko poveča glede na suha tla za okrog trikrat, če so tla nasičena z vodo. Pri tem je vrsta tal (štiri različne tipe tal predstavljajo prazni in polni krogci in trikotnički na sliki 3) sicer tudi zelo pomembna – npr. lahka šotasta, težje peščena ali morda ilovnata … A na neki lokaciji so tla pač taka, kakršna so, vseeno pa imajo lahko manjšo ali večjo vsebnost vode. Torej: po teh slikah je α nekako med 0,2 10^{-6} m^2/s za suha tla in 0,8 10^{-6} m^2/s za mokra tla oz. za lahka ali težka tla. Če to izrazimo na dan, dobimo za α vrednosti od 0,02 do 0,07 m^2/dan, za eno leto pa od 6 do 25 m^2/leto za suha in/ali lahka oziroma za mokra in/ali težka tla.

Koliko meritve na meteoroloških postajah v Sloveniji povedo o tem, kako težka so tla? (Kot že rečeno – meteorologija meri le do globine enega metra.) Ponovno poglejmo Lesce (tabela 1): tam je razpon v globini 1 m (14,9 °C) okrog 2/3 razpona na globini 2 cm (21,9 °C). Ali so tla v Lescah torej dokaj mokra/težka? Primerjajmo te podatke še s Celjem in Biljami. Tabela kaže

Tabela 1: Mesečna p ovprečja temperature v tleh 2 cm globoko in 100 cm globoko v Biljah, Celju in Lescah za obdobje 1971–2000

Temperature T (°C)	jan.	feb.	mar.	apr.	maj	jun.	jul.	avg.	sep.	okt.	nov.	dec.	letni razpon
Bilje 2 cm	2,1	3,8	8,3	12,8	18,9	23	25,5	24,4	19,8	13,7	7,3	2,9	23,4
Bilje 100 cm	5,7	5,6	7,5	10,8	14,9	18,7	21,3	22,3	20,1	16,6	12	7,8	16,6 (0,71 x 23,4)
Celje 2 cm	–0,1	1	5,3	10,6	16,8	20,8	22,5	21,5	17,1	11	5,1	1,1	22,6
Celje 100 cm	5,5	4,8	5,6	8,3	11,8	15,4	17,7	18,9	17,8	15,2	11,5	7,6	13,4 (0,59 x 22,6)
Lesce 2 cm	–0,8	0,4	4,1	8,8	14,9	18,8	21,1	20,3	15,5	9,8	3,9	0,3	21,9
Lesce 100 cm	4	3,6	4,7	7,6	11,5	15,2	17,3	18,5	16,8	13,7	9,4	5,9	14,9 (0,68 x 21,9)

Podatki nakazujejo, da so tla v Biljah »najtežja« (fliš) (razpon v globini enega metra je 71 % razpona 2 cm globoko), v Celju pa »najlažja« (meter globoko je razpon 59 % razpona v globini 2 cm).

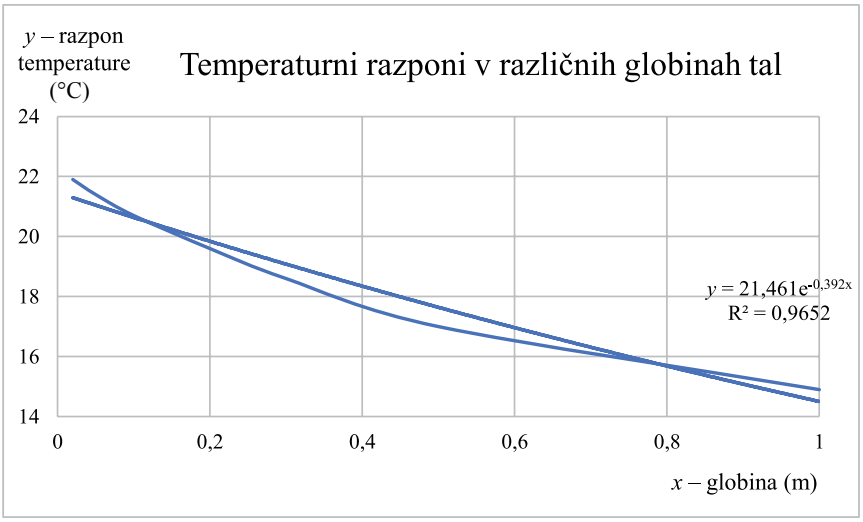
povprečne mesečne temperature tal v globini 1 m še za Bilje, kjer je razpon v globini glede tistega pri površini največji (71 % – težja tla), in za Celje, kjer je najmanjši (68 % – lažja tla); Lesce pa so vmes – iz arhiva ARSO [4].

Pa poglejmo še več podatkov o povprečnih mesečnih temperaturah v tleh v Lescah za obdobje 1971–2000. V arhivu podatkov ARSO najdemo povprečne podatke, navedene v tabeli 2.

Tabela 2: Temperaturni podatki za Lesce na več globinah v tleh v °C.

Globina	jan.	feb.	mar.	apr.	maj	jun.	jul.	avg.	sept.	okt.	nov.	dec.	razpon
2 cm	–0,8	0,4	4,1	8,8	14,9	18,8	21,1	20,3	15,5	9,8	3,9	0,3	21,9
5 cm	–0,6	0,5	4,1	8,8	14,7	18,6	20,8	20,3	15,7	10,1	4,3	0,6	21,4
10 cm	–0,1	0,7	4,2	8,9	14,5	18,4	20,6	20,4	16,1	10,6	4,9	1,2	20,7
20 cm	0,5	1	3,9	8,4	13,8	17,6	20	20,1	16,3	11,2	5,7	1,9	19,6
30 cm	1,1	1,4	3,9	8,1	13,1	17	19,3	19,7	16,4	11,7	6,4	2,7	18,6
50 cm	2,5	2,5	4,4	8,2	12,7	16,5	18,7	19,5	17	12,9	7,9	4,2	17
100 cm	4	3,6	4,7	7,6	11,5	15,2	17,3	18,5	16,8	13,7	9,4	5,9	14,9

Če pogledamo razpone temperatur (najvišja – najnižja) za vse globine, lahko ocenimo, kako z globino upadajo razponi povprečnih temperatur v tleh. Kakšno bi utegnilo biti upadanje razponov? Obravnavajmo samo prvi in zadnji stolpec tabele 2 in vrednostim poskusimo prilagoditi npr. eksponentni upad. To lahko naredimo npr. v Graphmatici, Geogebri ali pa Microsoftovem Excelu: narišemo podatke (v Excelu začnemo z ukazom Vstavite grafikon, izberemo način Razpršeno, kliknemo na narisano črto ter izberemo Dodaj trendno črto skupaj s Prikaži enačbo in Prikaži R2). Dobimo diagram na sliki 4.



Slika 4: Letni razpon temperature tal v različnih globinah v tleh v Lescah 1971–2000

S prilagajanjem eksponentne funkcije tem podatkom ugotovimo, da je eksponentni približek upadanja letnih razponov temperatur po globini v Lescah $e^{-(0,392/m)z} = e^{-z/2,5m}$ – s precej visoko zanesljivostjo glede vrednosti 2,5 m: $R^2 = 0,965$[3]. Torej za tla v Lescah na meteorološki postaji lahko ocenimo, da je karakteristični faktor eksponentnega upadanja razponov temperature okrog 2,5 m.

Poskušajmo še kaj ugotoviti! Kako se nam splača obravnavati časovne poteke in kako globino v tleh, ko pa gre lahko za periodične dnevne ali pa letne spremembe, in sicer v lahkih peščenih tleh ali pa v težkih, mokrih ilovnatih tleh?

S primerno obravnavo časa to ugotovimo zelo hitro: če gre za sinusne periodične spremembe, se te ponavljajo na vsake 2π: torej je smiselno, da čas merimo v delih števila π kot $t^* = 2\pi t/\tau$.

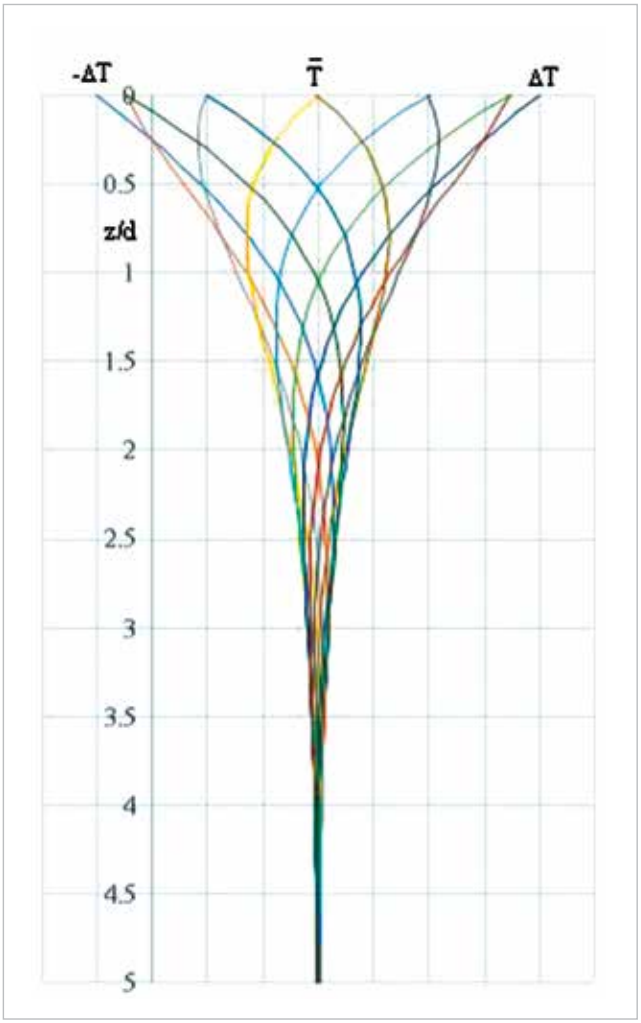
3 Resnici na ljubo moramo povedati, da bi se podatkom še bolj kot eksponentna prilegala kvadratna funkcija. Toda eksponentni upad bi znali razložiti, medtem ko za kvadratni upad ne bi znali najti razlage.

Normalizacijski faktor za brezdimenzijski čas je torej $\tau/2\pi$ in ta velja tako za dnevno ($\tau = 24$ ur) kot za letno spreminjanje ($\tau = 365$ dni).

Kaj pa za globino v tleh z različnimi lastnostmi?

Tudi globino se splača obravnavati s tako kombinacijo vseh odločujočih količin λ, c, ρ in $\tau/2\pi$, ki bo imela dimenzije razdalje – pa bomo dobili brezdimenzijsko globino. Obstaja metoda, kako se tega lotiti zares in sistematično (imenuje se dimenzijska analiza), a tukaj namesto tega kar malo poskušajmo. Edina kombinacija λ, c, ρ in $\tau/2\pi$, pri kateri dobimo za difuzivnost $\alpha = \lambda/\rho c$ dimenzijo dolžine, je $\sqrt{(\lambda/\rho c)\cdot(\tau/2\pi)} = \sqrt{\alpha\tau/2\pi}$. Tega, da pa je pravi normalizacijski faktor d za brezdimenzijsko globino $z^* = z/d$ v resnici brez dvojke, torej $d = \sqrt{\alpha\tau/\pi}$ (in ne $\sqrt{\alpha\tau/2\pi}$!), pa nam žal tudi podrobna dimenzijska analiza ne bi znala povedati.[4]

Sedaj torej vseeno posezimo po kaki enačbi $T(z, t)$ ob periodičnem sinusnem časovnem poteku temperature pri površini in s konstantno temperaturo $\overline{T}$ globoko v tleh. Enačbo bi dandanes lahko poiskali na svetovnem spletu (npr. [6, 7, 8] ipd.), a kdor se zadovolji kar s spletnim kalkulatorjem, ki ga je objavil g. Zorko Vičar [7], lahko rezultate dobi tako tabelarično, v obliki grafa. Ta kalkulator nam pove, kako se ob ponavljajočih, periodičnih spremembah na površini (skozi dan in noč ali skozi letne čase) spreminja temperatura v homogenih tleh v različnih globinah: tako, kot kaže slika 5.



Slika 5: Po enačbi $T(t, z) = T - \Delta T_0\, e^{-z/d} \cos(2\pi t/\tau - z/d)$ izračunani poteki temperature (na horizontalni osi od $-\Delta T$ do $+\Delta T$) v odvisnosti od brezdimenzijske globine z/d.

Slika velja tako za dnevne kot za letne spremembe temperature, le da je čas ene periodične spremembe v prvem primeru $\tau_{dan} = 24$ ur, v drugem pa $\tau_{leto} = 365$ dni pa tudi povprečna vrednost in razpon temperatur na površini sta lahko drugačna. V prvem primeru zato velja, kot da so narisani poteki temperature na vsaki dve uri, v drugem pa za vsak mesec ena.

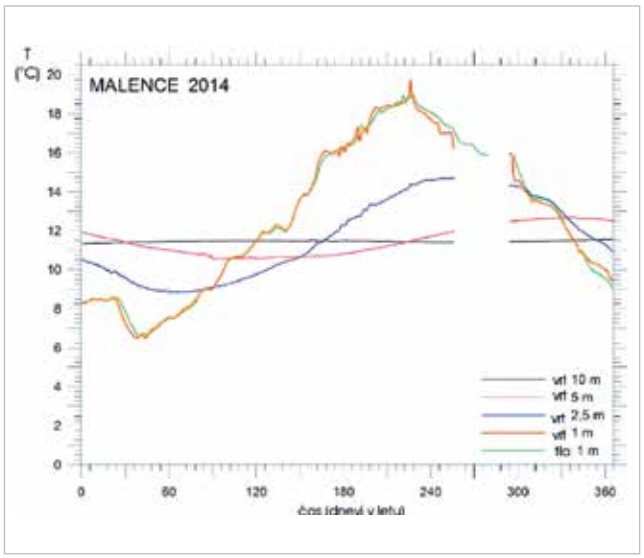
Pri tem je treba upoštevati tudi, da je globina v tleh narisana v brezdimenzijski skali $z^* = z/d$, pri čemer je normalizacijski faktor d odvisen od vseh za dogajanje pomembnih količin $d = \sqrt{\alpha\tau/\pi}$.

Še nekaj spoznanj iz globljih vrtin. Pri nas imajo geologi za raziskovalne namene tudi globlje vrtine. Taka je sto metrov globoka vrtina v Malencah pri Kostanjevici na Krki [9]. Tam tla do globine 16 m sestavlja mešanica gline, peska in proda, globlje pa je lapor. Izmerili so, da se na globini 5 m temperatura med letom še znatno spreminja – za okrog ±1 °C, v globini 10 m pa je že konstantna (slika 6a). Ko to primerjajo s temperaturami po enačbi $T(t, z)$ (slika 6b), pa se pokaže, da se do globine okrog 4 m meritve približno skladajo z izračunanimi vrednostmi, globlje pa temperatura narašča tja do globine 100 m: približno 5,8 °C/100 m – kajti na tem območju so v globinah geotermalne vode!

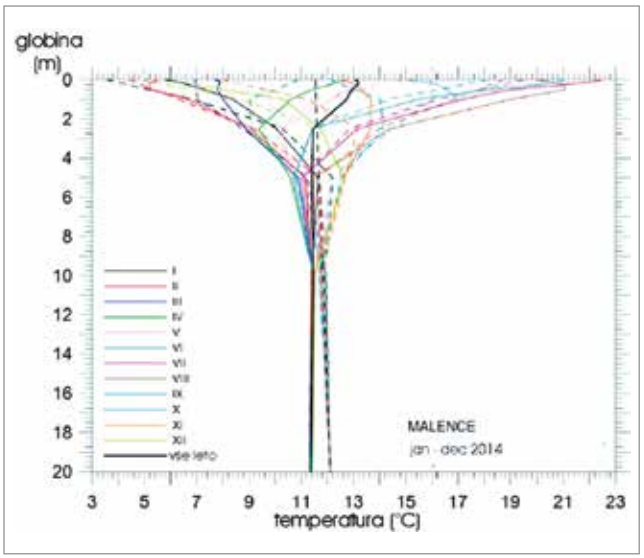
Zanimivi so tudi podatki o sezonskih spremembah temperature v tleh v območju permafrosta. V izlivu reke Lene v arktični ocean so naplavine in otoki iz teh naplavin. Ker reke v zgornjih delih toka odlagajo naplavine večjih dimenzij, najdrobnejše pa nosijo do svojih izlivov, je

4 Ta metoda je neodvisna od merskega sistema: lahko je sistem SI, lahko britanski, ameriški … Z njo ugotovimo, katere spremenljivke so za obravnavo pomembne in katere ne ter s kakšnimi kombinacijami spremenljivk se nam splača meriti neodvisne spremenljivke – v našem primeru čas in globino v tleh. Več o metodi npr. na https://sl.wikipedia.org/wiki/Razsežnostna_analiza.

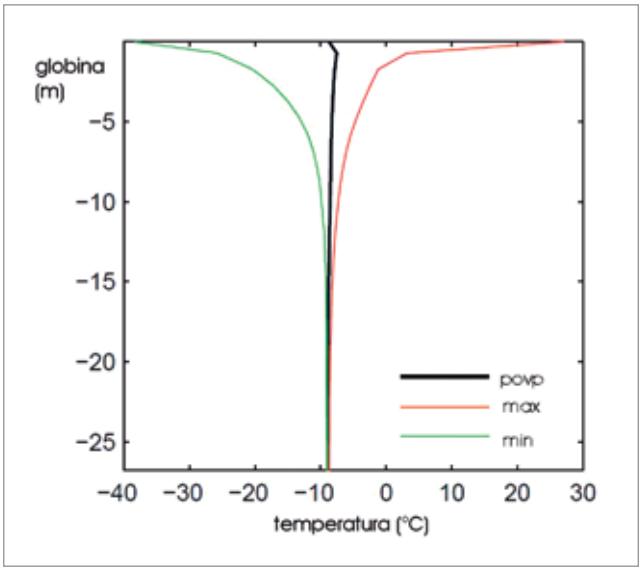
a)



b)



Slika 6: a) Letne spremembe temperature v tleh v vrtini 8/86 v Malencah pri Kostanjevici na Krki in b) primerjava med izmerjenimi ter izračunanimi vrednostmi, povzeto iz [9]



Slika 7: Poteki temperature v tleh na področju permafrosta na otoku Samojlov v ustju reke Lene med letoma 2006 in 2011, povzeto iz [10]

za take lokacije kar smiselna predpostavka, da so tam tla precej homogena (droben pesek in mulj), do precejšnje globine pa tudi dokaj »vlažna«, saj je med zrnci teh naplavin ves čas led. Slika 7 kaže temperaturne spremembe na otoku Samojlov v tej delti Lene in tam so izmerili povprečne amplitude temperature okrog ±1 °C celo 15 m globoko [10].

Pokazali smo torej, da se iz izmerjenih podatkov o spreminjanju temperature v tleh lahko opredeli marsikatera lastnost tal. V lahkih in suhih tleh zanesljivo merljive spremembe temperature segajo manj kot deset metrov globoko, v globokih in težkih ter mokrih tleh pa lahko globlje – tudi deset, 15 ali celo več metrov globoko.

Merjenje zmanjšanja amplitude in časovnega zaostanka v zraku nad tlemi

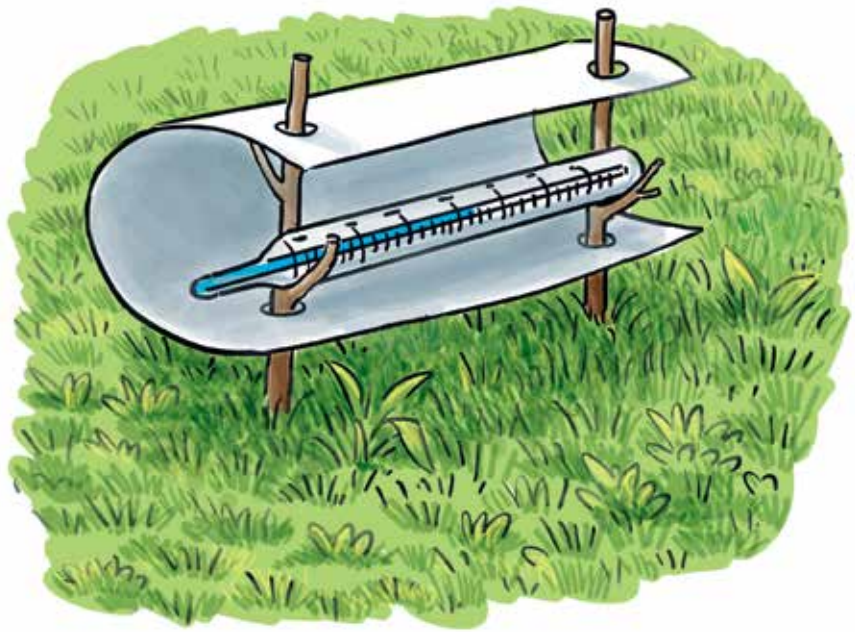
Zmanjšanje amplitude dnevnega spreminjanja temperature in zaostanek v času lahko opazujemo tudi v zraku nad tlemi, saj se tudi zrak čez dan ogreva od tal (ponoči pa ob tleh ohlaja). Iz izkušenj vemo, da so tla najbolj vroča okrog poldneva, zrak nad tlemi pa okrog dveh popoldne. Zrak je namreč za sončno svetlobo prozoren, zato čez dan sonce ogreva le tla, od njihove površine pa se toplota prenaša navzgor s prevajanjem, z mešanjem zraka in z infrardečim sevanjem: tok toplote gre čez dan navzgor, ponoči pa navzdol – torej proč od površine in proti njej, kot v tleh – a seveda v nasprotni smeri.

Izberemo lego, na katero ves dan sije sonce. En termometer postavimo malo nad tla, drugega pa z vrvico obesimo preko rogovile na palici zapičene v tla ali pa kake veje (ki pa ne sme metali sence na tla!). Tako lahko izmerimo, kakšna je najvišja temperatura malo nad tlemi in kdaj se pojavi pa tudi koliko se največ segreje zrak višje in kdaj se to zgodi. To je najbolje meriti ob sončnem vremenu, a je treba poskrbeti, da sta oba termometra »v senci«, saj s termometrom »na soncu« temperature zraka sploh ne moremo izmeriti. Termometer namreč ni prozoren kot zrak, ampak bi ga segrevala tudi prejeta sončna energija in bi se segrel nad temperaturo zraka. Preprosto zaščito pred soncem lahko naredimo kar iz belega papirja ali pa (če želimo meriti dalj časa, ko se lahko zgodi tudi kak dež) iz belih platnic kake plastične mape. Torej: dva lista belega papirja ali polietilena, spenjalnik za papir in vrvica za zgornji termometer ter luknjalnik za papir in dve vejici iz bližnjega grma za zaščito spodnjega termometra. Nekateri termometri imajo na vrhu stekleno okroglino in okrog njenega vratu lahko zavežemo vrvico. Če je naš termometer nima, pa morda uporabimo kak odporen lepilni trak …

Najnižje so temperature okrog sončnega vzhoda, torej je za minimume treba meriti zgodaj zjutraj. Ker je blizu tal najvišja temperatura malo čez poldne, je smiselno s spodnjega termometra odčitavati vrednosti npr. na deset minut od 12.00 do 13.00 po sončnem času. Višje maksimum zaostaja, lahko tudi za dve uri – torej bi bilo smiselno meriti na deset minut med 13.30 in 14.30 – malo pa je eno in drugo odvisno tudi od vremena.

Če je napovedanih več zaporednih sončnih dni, lahko merimo večkrat in potem rezultate tudi povprečimo in s tem povečamo zanesljivost ugotovitev.

Še to: meteorološke službe po vsem svetu merijo temperaturo zraka 2 m nad tlemi pa tudi na višini 5 cm nad tlemi. Morda lahko vrvico z zgornjim termometrom speljete prek kake veje in potem povlečete termometer do te višine ter konec vrvice nekam privežete. Ko preverjate temperaturo, termometer spustite, na hitro odčitajte temperaturo in ga povlecite nazaj na dvometrsko višino. Potrudite se postaviti bučko spodnjega termometra 5 cm nad tla, ščitnik pa naj ne sega prav do tal, da bo pod njim omogočen neoviran prepih.



Viri in literatura

[1] Earth data https://earthdata.nasa.gov/learn/sensing-our-planet/riding-the-permafrost-express (31. 3. 2022).

[2] https://www.youtube.com/watch?v=_8oX2H6-Wfs (31. 3. 2022).

[3] https://www.youtube.com/watch?v=b_SKUWiMsaM (31. 3. 2022).

[4] Arhiv meritev ARSO http://www.meteo.si/met/sl/agromet/period/soiltemp/ (31. 3. 2022).

[5] T. E. Ochsner, R. Horton, Tusheng Ren, 2001: Simultaneous Water Content, Air-Filled Porosity, and Bulk Density Measurements with Thermo-Time Domain Reflectometry, Journal Paper No. J-18890 of the Iowa Agriculture and Home Economics Exp. Stn., Ames, IA, Project No. 3287. https://eurekamag.com/research/003/935/003935021.php (31. 3. 2022).

[6] Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_diffusivity (31. 3. 2022).

[7] Z. Vičar: Temperatura tal – enačba letnega hoda na različnih globinah. Spletni kalkulator na http://www2.arnes.si/~gljsentvid10/temperatura_tal_dif_enacba_tjs.html (31. 3. 2022).

[8] Soilphysics: http://soilphysics.okstate.edu/software/SoilTemperature/document.pdf (31. 3. 2022).

[9] A. Strgar, D. Rajver in A. Gosar. (2017). Investigations of the air – ground temperature coupling at location of the Malence borehole near Kostanjevica, SE Slovenia. Geologija 60/1, 129–143, https://doi.org/10.5474/geologija.2017.010 (31. 3. 2022).

[10] J. Boike idr. (20 avtorjev) (2013). Baseline characteristics of climate, permafrost and land cover from a new permafrost observatory in the Lena River Delta, Siberia (1998–2011). Biogeosciences, 10, 2105–2128, https://bg.copernicus.org/articles/10/2105/2013/bg-10-2105-2013.pdf (31. 3. 2022).

Iz digitalne bralnice ZRSŠ

www.zrss.si/digitalna-bralnica/

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

Računalniška tomografija v učilnici

Matija Milanič[1,2], Urban Simončič[1,2], Jošt Stergar[1,2], Gorazd Planinšič[1], Aleš Mohorič[1]

[1] Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

[2] Institut Jožef Stefan, Ljubljana

Izvleček

Medicinsko slikanje je danes nepogrešljiv pripomoček sodobne medicine za odkrivanje in zdravljenje bolezni. Pomembna slikovna tehnika je računalniška tomografija (CT), ki omogoča vpogled v notranjost telesa in je lani praznovala 50 let. V prispevku predstavimo aktivnost, ki bo dijakom s proučevanjem razširjanja žarkov svetlobe po prostoru pomagala razumeti osnovne fizikalne zakonitosti CT-slikanja. Aktivnost je mogoče izvesti s preprosto opremo, ki je na razpolago v vsaki učilnici fizike.

Ključne besede: računalniška tomografija, svetlobni žarki, usmerjeno svetilo, točkasto svetilo, difuzno svetilo, povratna projekcija

Computed Tomography in the Classroom

Abstract

Today, medical imaging is an indispensable part of modern medicine, both for the detection and treatment of diseases. An important imaging technique is computed tomography (CT), which is used to obtain internal images of the body. Year 2021 marked the 50th anniversary of the first CT scan. This paper introduces an activity that will help students understand the basic physical principles of CT imaging by studying the propagation of light rays through space. The activity can be carried out with simple equipment, available in any physics classroom.

Keywords: computed tomography, light beams, collimated light, point light, diffuse light, back projection.

Uvod

Medicinsko slikanje se v medicini uporablja za vpogled v človeško telo pri diagnostiki, intervencijskih posegih pa tudi pri vidnem prikazu funkcije tkiv in organov na področju fiziologije ter anatomije. Vključuje množico različnih slikovnih tehnik, ki so se razvile v zadnjih sto letih, med drugim: ultrazvočno slikanje (UZ) in slikanje z magnetno resonanco (MRI), ki spadata med tehnike in ne povzročata ionizacije v tkivih; ter slikanje z rentgensko svetlobo (RTG), računalniško tomografijo (CT) in pozitronsko emisijsko tomografijo (PET), ki spadajo med tehnike, ki povzročajo ionizacijo v tkivih [1].

Računalniška tomografija (CT) je tehnika, ki za slikanje uporablja na tisoče meritev rentgenskih žarkov, prepuščenih pod različnimi koti skozi telo pacienta. Rezultat slikanja je množica dvodimenzionalnih slik prečnih prerezov telesa pacienta, s katerimi lahko ustvarimo tridimenzionalno sliko – za razliko od starejše tehnike slikanja z rentgensko svetlobo, kjer je slika projekcija telesa na fotografski film ali polje tipal. Tehnika omogoča zdravniku neposreden vpogled v notranjost pacienta, kot je prikazano na Sliki 1. CT-slika razkriva prisotnost akutnih in kroničnih bolezni ter poškodb z izjemno na-

Slika 1: CT-slika preseka prsnega koša človeka. Vidijo se koža, mišice, rebra, hrbtenica, pljuča in srce [2].

tančnostjo. Spodnja CT-slika kaže presek prsnega koša pacienta, kjer so lepo vidne kosti (bela barva), mehka tkiva (sivi odtenki) in prazen prostor, napolnjen z zrakom (črna barva).

Vredno je izpostaviti zanimivo zgodovino razvoja CT-slikanja [3]. Centralni raziskovalni laboratorij britanskega glasbenega podjetja EMI je bil v šestdesetih letih prejšnjega stoletja gonilo razvoja stereozvoka, televizijskih oddajnikov in radarja. Podjetje EMI pa je znano po založništvu pomembnih glasbenikov, med katere spada tudi skupina The Beatles. V tistem času se je pod pokroviteljstvom britanskega ministrstva za zdravje razvoja nove slikovne naprave lotil EMI-jev elektroinženir radarske tehnike Godfrey Hounsfield, ki je 1. oktobra 1971 posnel prvo CT-sliko. Lani je tako minilo 50 let od prvega CT-slikanja. Za izdelavo CT-naprave je leta 1979 skupaj s fizikom Allanom Cormackom, ki je pripravil teoretično osnovo delovanja CT-slikanja, prejel Nobelovo nagrado za medicino.

Od prve klinične uporabe pred 50 leti je danes CT postal izpopolnjena in vsestranska slikovna tehnika, ki je za svoj razvoj potrebovala napredek na mnogih drugih področjih znanosti in tehnike [3]. Zgodnja leta razvoja CT so sovpadala npr. z izboljšano obdelavo podatkov, razvojem polprevodniških detektorjev rentgenske svetlobe, izboljšanjem sistema ležajev in integracijo polprevodniške elektronike, kar je skupaj omogočilo hitrejše in natančnejše delovanje CT-sistema. Razvoj računalnikov v tistem času je zagotovil kakovostnejše slike, kar je razširilo uporabo tehnike zunaj ozkega področja medicinskega slikanja. Področja uporabe zunaj medicine so številna in se raztezajo od slikanja zelo majhnih predmetov, kot so mušice, slikane z ločljivostjo pod 20 nm, pa do slikanja velikih vesoljskih plovil za odkrivanje strukturnih nepravilnosti pred poletom v vesolje. Večina se nas je zagotovo srečala s CT-slikanjem za pregledovanje prtljage na letališčih, ki ga redno uporabljajo od leta 2002.

Danes je CT-slikanje nepogrešljivo orodje v vsaki bolnišnici in diagnostični zdravstveni ustanovi. Po svetu se letno opravi okoli 300 milijonov CT-slikanj [4]. V naši največji zdravstveni ustanovi (UKC Ljubljana) pa je bilo leta 2022 opravljenih 24.258 CT-slikanj [5]. Številke kažejo zelo razširjeno uporabo CT-slikanja in s tem na velik pomen podatkov, ki jih vsebuje CT-slika, tako na področju medicinske diagnostike kot načrtovanja zdravljenja.

Namen tega prispevka je dijakom približati fizikalne zakonitosti CT-slikanja. Opisali bomo aktivnosti, ki bodo pomagale razumeti, kako širjenje žarkov okoli ovir na njihovi poti zagotovi potrebne podatke za ugotavljanje lokacije in oblike ovir. Dijaki bodo spoznali, da je izredno pomembno, kakšno svetilo uporabimo za osvetljevanje ovir, in da več različnih poti žarkov omogoča natančnejšo določitev oblike in lege ovir v prostoru. Oprema, ki je potrebna za izvedbo aktivnosti, je preprosta in dostopna v vsaki učilnici fizike.

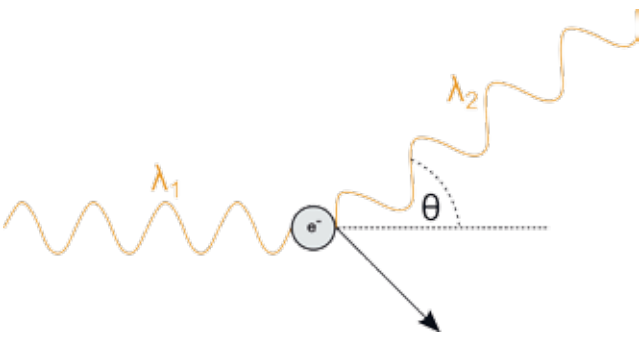
Fizikalno ozadje

Interakcija rentgenske svetlobe s snovjo [6]

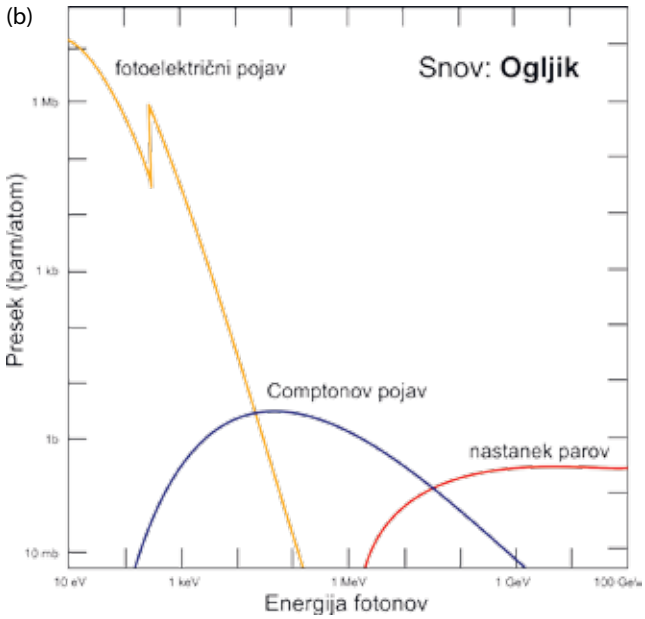
Pri prehodu skozi snov se tok rentgenske svetlobe zmanjšuje, in sicer zaradi absorpcije ter sipanja v snovi. Merjenje sprememb toka svetlobe, ki izhaja iz snovi, je osnovna fizikalna zakonitost CT-slikanja. Stranski učinek prehoda rentgenske svetlobe pa je absorpcija dela njene energije ali energije nabitih delcev, ustvarjenih z rentgensko svetlobo.

Visokoenergijski fotoni v rentgenski svetlobi interagirajo z atomi snovi na več načinov, pri čemer so glavni meha-

(a)



(b)



Slika 2: (a) Shematski prikaz Comptonovega pojava, kjer se foton z valovno dolžino λ_1 sipa na atomu. Rezultat sipanja sta nov foton z valovno dolžino λ_2 in prosti elektron e^-. (b) Interakcijski preseki za fotone različnih energij v primeru atoma ogljika pri treh vrstah interakcij fotonov s snovjo. Povzeto po [6].

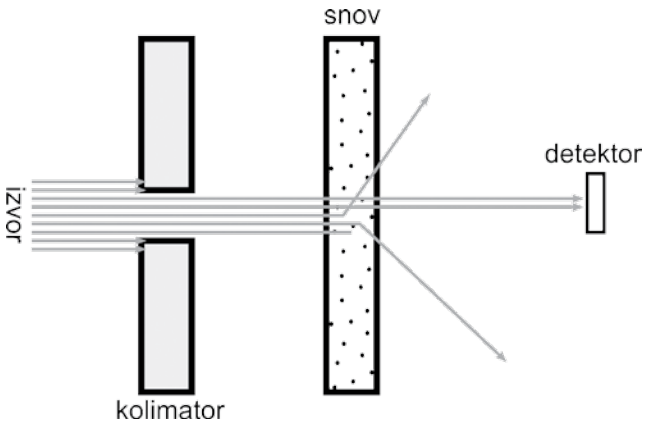
nizmi: (a) fotoelektrični pojav, ki prevladuje na področju energij med nekaj eV in nekaj 10 keV, (b) Comptonov pojav, ki prevladuje na področju med nekaj 10 keV in nekaj MeV, ter (c) tvorba parov elektron-pozitron, ki se pojavi nad 2,01 MeV. Ker se pri medicinskem CT-slikanju večinoma uporabljajo fotoni z energijo med 30 in 150 keV, je glavni mehanizem interakcije Comptonov pojav.

Pri Comptonovem pojavu oz. sipanju opazovalni sistem predstavljata mirujoči atom snovi in vpadni foton. Foton se na atomu sipa, po sipanju pa atom zapustita nov foton z nižjo energijo in atomov elektron. Pri pojavu se skupna energija sistema ohranja, kar opišemo z ohranitvenim zakonom:

$$h\nu_0 = h\nu + W_{k,e} + W_i \qquad (1)$$

kjer je $h = 6{,}63 \times 10^{-34}\,\mathrm{J \cdot Hz^{-1}}$ Planckova konstanta, ν_0 in ν sta frekvenci vpadnega in sipanega fotona, $W_{k,e}$ je kinetična energija izstopnega elektrona, W_i pa je ionizacijska energija atoma. Foton po sipanju spremeni smer potovanja, tako da potuje pod kotom Θ glede na prvotno smer. Shemo pojava kaže Slika 2a. Slika 2b kaže interakcijske preseke za naštete interakcije fotonov pri različnih energijah za atom ogljika (C). Presek predstavlja verjetnost, da bo določen fizikalni proces potekal, ko foton na svoji poti naleti na delec snovi. Presek je izražen v enotah površine (1 barn = 10^{-28} m^2). Na nek način si presek lahko predstavljamo kot efektivno velikost atoma snovi, ki ga mora foton zadeti, da pride do procesa. S slike je razvidno, da je Comptonov pojav prevladujoč pojav za fotone pri energijah med nekaj 10 keV in 10 MeV.

Potovanje snopa vzporednih oziroma usmerjenih žarkov rentgenske svetlobe skozi snov kaže shema na Sliki 3. Nekaj fotonov prepotuje snov brez interakcij, nekaj se jih sipa in nekaj se jih absorbira zaradi fotoelektričnega pojava ali nastanka parov. Delež fotonov, ki med potjo ne interagirajo, opišemo z atenuacijo svetlobe. Atenuacijo v snovi opišemo z eksponentnim pojemanjem:



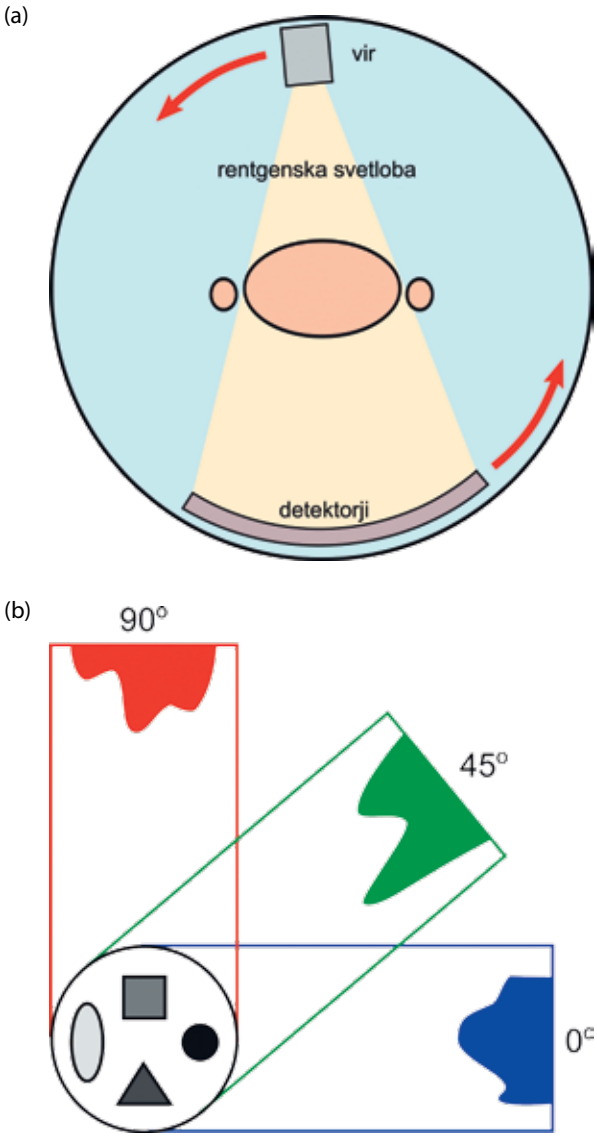
Slika 3: Shema prehoda snopa rentgenske svetlobe skozi snov, ki kaže žarke svetlobe, ki ne interagirajo s snovjo, ki se sipajo ali se absorbirajo v snovi. Detektor dosežejo predvsem žarki svetlobe, ki ne interagirajo s snovjo.

$$N(z) = N_0 \cdot e^{-\mu_a \cdot z} \qquad (2)$$

kjer N_0 predstavlja število fotonov v snopu pred vstopom v snov, z debelino plasti snovi in μ_a atenuacijski koeficient, ki je odvisen od vrste snovi in je sorazmeren interakcijskemu preseku. Atenuacija rentgenske svetlobe ob prehodih skozi telo pod različnimi koti služi kot osnova za CT-slikanje.

CT-slikanje

Osnovne sestavne dele CT-naprave kaže Slika 4a. Zaslonke v viru rentgenske svetlobe usmerijo svetlobo skozi telo, svetlobo, prepuščeno pod različnimi koti, pa zazna niz detektorjev. Vir in niz detektorjev se zavrtita okoli pacienta, da se izmeri prepuščeno sevanje okrog celotnega telesa, tj. v razponu 360°. Fotoni med potjo skozi



Slika 4: (a) Shema običajne CT-naprave. Glavni sestavni deli so vir rentgenske svetlobe in niz detektorjev. Sestavni deli se zavrtijo okoli telesa (v sredini kroga), da rentgenska svetloba (pahljača) preslika telo pod vsemi koti. (b) Primer slikanja telesa pod različnimi koti. Povzeto po [3].

telo interagirajo s tkivi in delež prepuščenih fotonov je mogoče izračunati z enačbo (2). Sodobne CT-naprave izmerijo prepuščene žarke pod tisoč različnimi koti (cca. vsake 0,4°).

CT-slikanje sloni na ideji, da slikanje istega predmeta pod različnimi koti naredi različne projekcije predmeta. Slika 4b kaže primer slikanja telesa z različnimi deli in prepustnostmi pod različnimi koti, s čimer vsakič dobimo drugačno projekcijo.

Iz projekcij, posnetih pod različnimi koti, računalnik izračuna porazdelitev atenuacijskih koeficientov tkiv v preseku telesa oz. CT-sliko. Kot algoritem se klasično uporablja filtrirana povratna projekcija, ki uporablja preproste trigonometrične zveze za povezavo med geometrijo poti žarkov skozi telo in vrednostjo atenuacijskega koeficienta v izbranih točkah telesa. Dandanes se namesto povratne projekcije zaradi čedalje močnejših računalnikov vse več uporabljajo iterativne metode za rekonstrukcijo, ki so sicer računsko zahtevnejše, upoštevajo pa značilnosti CT-slikovnih sistemov, sipanja v tkivih in statističnega šuma. Slika, pridobljena z iterativnimi metodami, je manj obremenjena s statističnim šumom. To omogoča uporabo nižjih tokov rentgenske svetlobe ob enaki kakovosti CT-slik ali izboljšanje kakovosti CT-slik ob enakem toku. Druga vrsta algoritmov pa sloni na metodah strojnega učenja, ki so hitrejše od iterativnih metod, kakovost slik pa je primerljiva ali celo boljša.

Aktivnost za dijake

Aktivnost je zasnovana tako, da je primerna za dijake, ki že poznajo širjenje svetlobnih žarkov v praznem prostoru in v primeru ovir na njihovi poti. Ker ni potrebno poznavanje zapletenejših pojavov s področja geometrijske optike (npr. leče), je mogoče aktivnost izvesti tudi z dijaki nižjih letnikov, če prej usvojijo znanje o tem, kako se širijo žarki iz svetila in kako jih predmeti na njihovi poti ustavijo. Slednje je mogoče pojasniti na primer na osnovi širjenja valov po vodni gladini.

Primeren uvod v aktivnost je risanje vzporednih žarkov na list papirja. Dijaki potem opazujejo, kako ti žarki osvetlijo zaslon, ki ga narišejo pravokotno na žarke. Nato v pot žarkov vrišejo lik, npr. kvadrat ali krog, in opazujejo, kako se slika žarkov na zaslonu spremeni. S tem osvežijo pojem sence oziroma projekcije predmeta na zaslonu, kar je pomembno za razumevanje praktičnega dela aktivnosti.

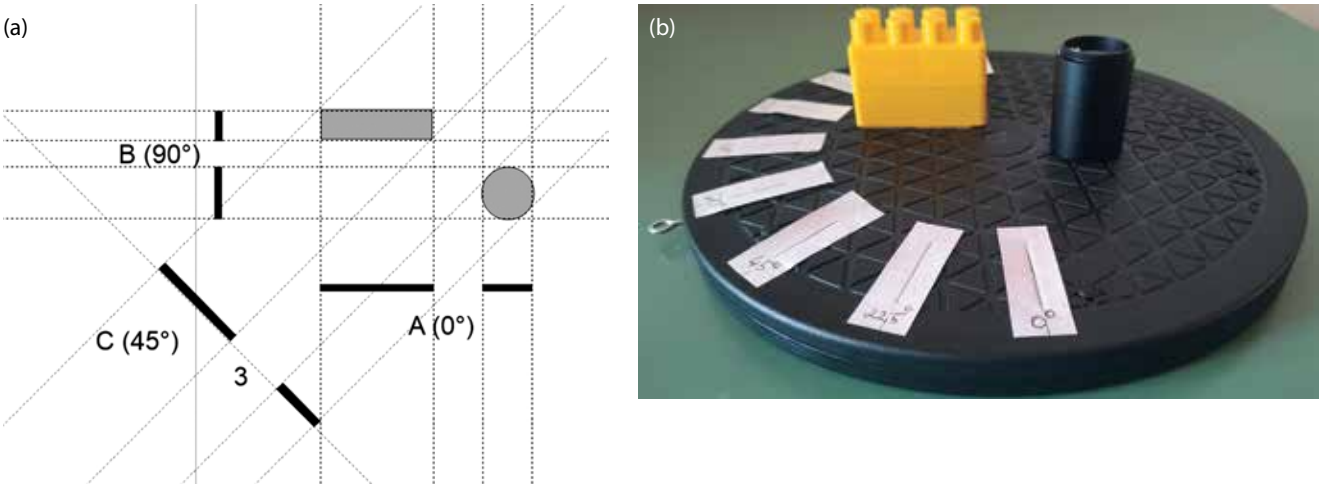
Priprava aktivnosti

Za praktični del proučevanja CT-slikanja pripravimo preprost model CT-slikovne naprave, kjer namesto rentgenske uporabimo vidno svetlobo. Sestavni deli eksperimentalnega modela so našteti spodaj.

- *Vrtljiv krožnik za hrano*. Na robovih krožnika označimo stopinje od 0° do 180° v izbranih korakih. V našem primeru smo izbrali korak 22,5°. Slika 5a kaže krožnik, ki smo ga uporabili.
- *Kartonasta škatla*. Kartonasta škatla je primerne velikosti, da jo lahko poveznemo čez krožnik. Na eni strani izrežemo odprtino za zaslon, na katero prilepimo list milimetrskega papirja (Slika 5b). Na drugi strani izrežemo odprtino, skozi katero bo v škatlo svetil svetlobni vir (Slika 5c). Na strani zaslona na dnu škatle izrežemo špranjo, ki omogoča vrtenje krožnika, ko je škatla poveznjena čezenj.
- *Svetilo*. Uporabimo tri različna svetila glede na način širjenja žarkov po prostoru. Prvo svetilo je **usmerjeno svetilo**, ki oddaja snop čim bolj vzporednih svetlobnih žarkov. V našem primeru uporabimo diaprojektor, ki ga odmaknemo na razdaljo približno 1 m od vstopne odprtine. Tako dosežemo, da so žarki, ki ustvarjajo senčno sliko, približno vzporedni. Drugo svetilo je **točkasto svetilo**. Zanj uporabimo lučko na mobilnem telefonu. Tretje svetilo je **difuzno svetilo**, ki oddaja svetlobo približno enakomerno po vsem prostoru. V našem primeru je to običajna žarnica, ki jo lahko pokrijemo s prosojno tkanino.

V našem primeru na krožnik položimo dva predmeta. Eden je kvader iz kock, drugi pa valj. Shemo postavitve in njeno fotografijo kaže Slika 6. Na shemi so prikazani tudi svetlobni žarki, ki osvetljujejo predmete pod tremi različnimi koti zasuki krožnika, kar bo pojasnjeno v nadaljevanju. Čez krožnik poveznemo škatlo, tako da je oznaka za 0° najbližje sredini zaslona (milimetrskega papirja). Dijaki ne vedo, kaj se skriva v škatli, in to skušajo ugotoviti med aktivnostjo. Zdaj skozi osvetljevalno

Slika 5: (a) Slika vrtljivega krožnika z označenimi koti zasuka na področju 0–180° s korakom 22,5°. (b) Slika zaslona z milimetrskim papirjem. (c) Slika odprtine za svetlobo.



Slika 6: (a) Shema postavitve kvadra (prvi predmet) in valja (drugi predmet). S črtkanimi črtami so prikazani svetlobni žarki, ki osvetljujejo predmete pod tremi različnimi koti zasuka krožnika: A – 0°, B – 90° in C – 45°. Svetlobni vir je ves čas na istem mestu, premikajo se predmeti z vrtenjem krožnika. Črne črte predstavljajo sence, ki jih ustvarijo predmeti ob zastiranju svetlobe pri izbranem kotu. (b) Fotografija predmetov na krožniku.

odprtino usmerimo svetilo in eksperiment je pripravljen za izvedbo.

Izvedba aktivnosti

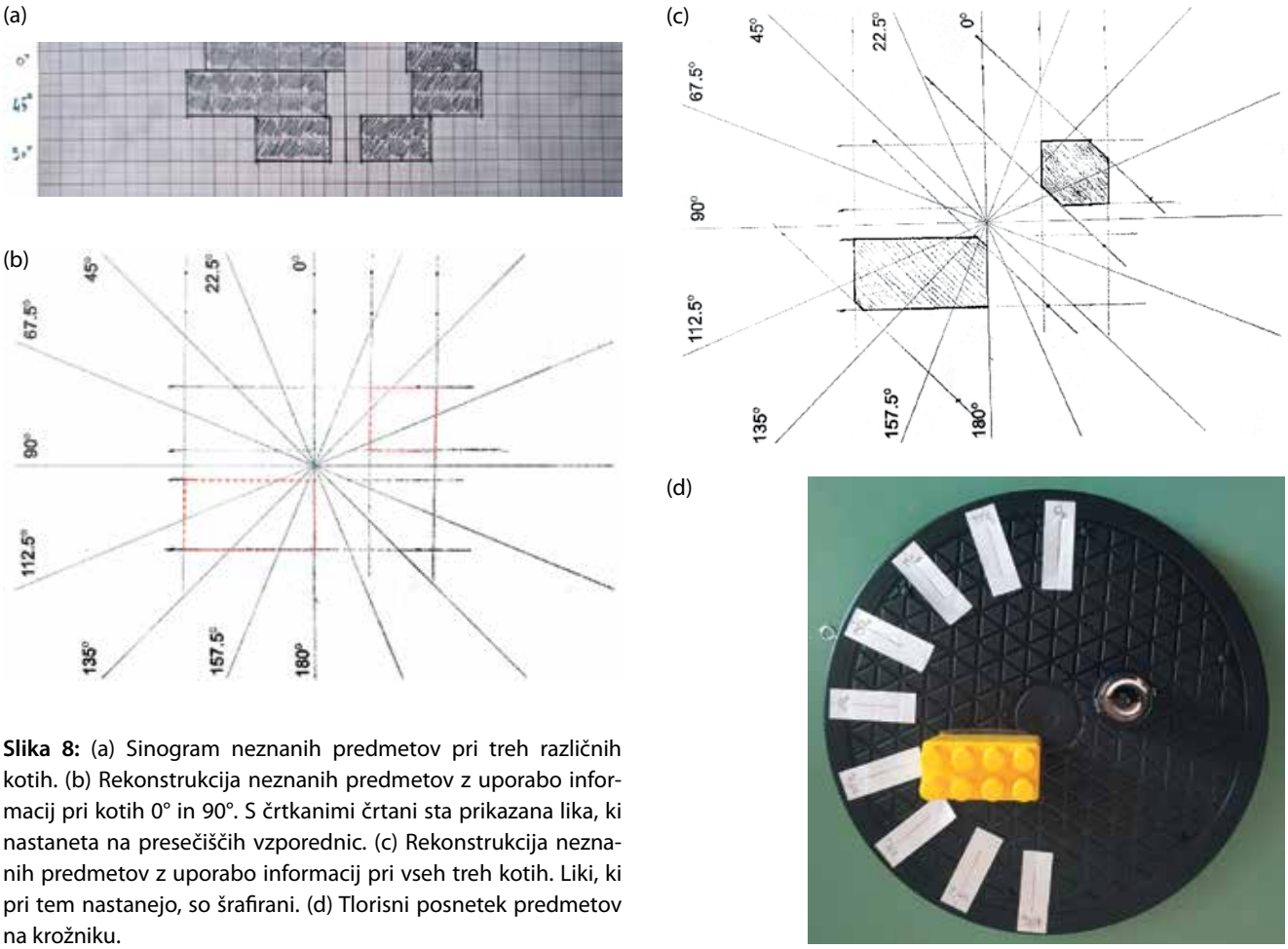
Slikanje z usmerjenim virom svetlobe

V tem delu dijaki kot svetilo uporabijo usmerjen vir svetlobe. Dijaki pred začetkom razumejo, da so svetlobni žarki približno vzporedni. Na podlagi senčnih slik oz. projekcij na zaslonu, ki jih opazujejo med vrtenjem krožnika, skušajo ugotoviti, kakšne so oblike neznanih predmetov na krožniku v škatli. Svetloba najprej osvetljuje zaslon pri legi krožnika 0° (Slika 7a). Na podlagi samo te projekcije ne morejo napovedati, kakšno prostorsko obliko imajo neznani predmeti v škatli. Neznani predmeti imajo lahko različne oblike, na primer kvader, valj, *n*-kotna prizma, in ne morejo napovedati njihove velikosti v smeri pravokotno na zaslon. Za določitev oblike potrebujejo več podatkov, zato v naslednjem koraku krožnik zavrtijo za 90° (Slika 7b). S kombinacijo teh dveh projekcij že lahko sklepajo, da je prvi predmet podolgovate oblike, drugi pa ima enako velikost v obeh pravokotnih smereh opazovanja. Še vedno pa na podlagi samo dveh projekcij ne morejo napovedati točne oblike predmetov. Zato postopek ponovijo še pri kotu 45° (Slika 7c). Na podlagi dodatne projekcije že lahko sklepajo, da je prvi predmet res podolgovate oblike, saj se mu širina projekcije z večanjem kota zasuka zmanjšuje. Drugi predmet pa je zelo verjetno osno simetričen, saj se širina projekcije na zaslonu s kotom zasuka ne spreminja.

Pod vodstvom učitelja dijaki na listu milimetrskega papirja narišejo tri pasove in vsakega označijo s kotom zasuka. Pri vsakem zasuku v ustrezen pas prerišejo širino in mesto senc, kot jih vidijo na zaslonu. Dobljeno sliko, ki na vodoravni osi prikazuje projekcijo v prostorski, na navpični pa različne kote opazovanja projekcij, imenujemo sinogram. Ta je ime dobil po sliki točke v prostoru, ki se ob opazovanju pod različnimi koti preslika v sinusoido. Primer sinograma je prikazan na Slika 8a. Narisali smo samo projekcije pri treh različnih kotih, pri sodobnih CT-napravah pa je teh kotov okoli tisoč in je zato tudi sinogram ustrezno kompleksnejši in s tem tudi natančnejši. Sinogram vsebuje podatke o oblikah slikanih predmetov, vendar jih ne podaja v na pogled razumljivi obliki. Zato jih je treba pretvoriti v berljivejšo obliko.

Sinogram se v lokacije in oblike neznanih predmetov pretvori s povratno projekcijo. Postopku pravimo tudi *rekonstrukcija prostorske slike*, ki jo pri pravih CT-sistemih opravi računalnik, dijaki pa jo bodo opravili ročno. Uporabijo predpripravljen list z vrisanimi opornimi črtami pod koti, ki ustrezajo pasovom sinograma. Nato oporni črti pri kotu 0° vrišejo vzporednice, ki ustrezajo robovom projekcij v sinogramu pri istem kotu (oporna črta predstavlja sredino sinograma). Postopek ponovijo še pri kotu 90° in si ogledajo nastalo sliko (Slika 8b). V presečiščih vzporednic pri kotih 0° in 90° že lahko prepoznajo

Slika 7: Projekcije neznanih predmetov na zaslonu pri kotih zasuka (a) 0°, (b) 90° in (c) 45°.



Slika 8: (a) Sinogram neznanih predmetov pri treh različnih kotih. (b) Rekonstrukcija neznanih predmetov z uporabo informacij pri kotih 0° in 90°. S črtkanimi črtani sta prikazana lika, ki nastaneta na presečiščih vzporednic. (c) Rekonstrukcija neznanih predmetov z uporabo informacij pri vseh treh kotih. Liki, ki pri tem nastanejo, so šrafirani. (d) Tlorisni posnetek predmetov na krožniku.

oblike neznanih predmetov, ki so na Sliki 8b označeni s črtkanimi črtami. Prvi predmet je v našem primeru res podolgovat, drugi pa kvadraten. Dodajo še vzporednice pod kotom 45°, poudarijo robove presečišč ter šrafirajo notranjost nastalih likov (Slika 8c). Nastalo sliko primerjajo z resnično postavitvijo neznanih predmetov na krožniku (Slika 8d), kar naredijo tako, da umaknejo škatlo s krožnika. Postopek risanja sinograma in povratne projekcije lahko izvede učitelj, saj je lahko za dijake sprva nerazumljiv in časovno zahteven.

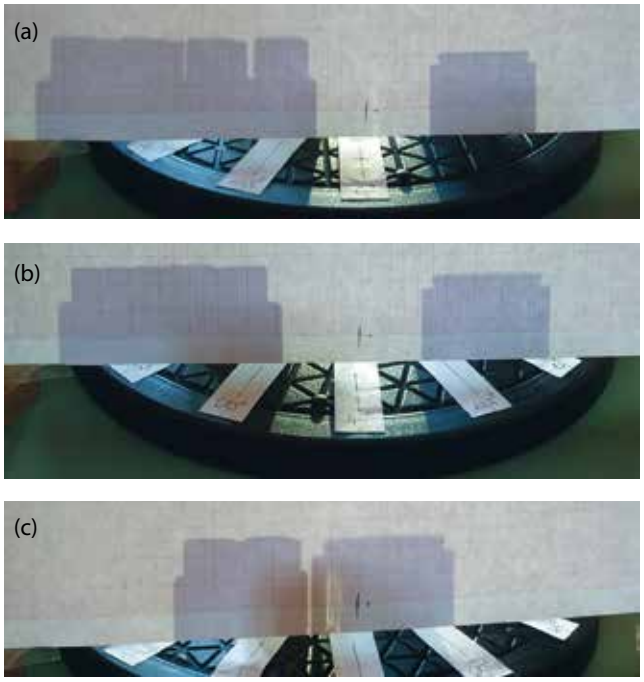
Po ogledu resnične postavitve predmetov dijaki ugotovijo, da mesta predmetov na rekonstruirani sliki ustrezajo neznanim predmetom. Prav tako so ustrezne tudi prečne in vzdolžne dimenzije predmetov, kar lahko preverijo z merjenjem dimenzij predmetov. V prikazanem primeru (Slika 8c) sta dva robova slike prvega predmeta (kvader), ki ustrezata kotu zasuka 45°, nekoliko odškrnjena. To je posledica tega, da so robovi uporabljenega kvadra nekoliko zaobljeni. Pri drugem predmetu (valj) pa sta ta robova zelo očitno odrezana, kar se sklada s tem, da valj nima ostrih robov. Dijaki na tem mestu razmislijo, kako bi lahko dobili še podrobnejšo sliko predmetov. To dosežejo z risanjem sinograma pri več kotih. V tem primeru bi oblika valja postala večkotnik, ki vse bolj posnema krog. Pri resničnih CT-sistemih z okoli tisoč koti bi se namesto večkotnika izrisal krog.

Slikanje s točkastim virom svetlobe

V naslednjem delu dijaki aktivnost ponovijo s točkastim virom svetlobe, kjer svetlobni žarki izhajajo iz svetila z majhno površino pod različnimi koti. Dijaki predlagajo, katero svetilo bi lahko ustrezalo modelu točkastega svetila. V našem primeru smo uporabili LED-svetilo mobilnega telefona, ki smo ga pritrdili na odprtino v škatli za osvetljevanje.

Projekcije pri kotih 0°, 45° in 90° kaže Slika 9. Natančnejši pregled projekcij, pri katerih dijaki preverijo širine projekcij, pokaže, da je njihova širina odvisna od kota. V primeru valja, ki ima isti premer neodvisno od kota zasuka, je širina projekcije v prikazanem primeru pri kotu 0° enaka 4 cm, pri 45° 4,5 cm in pri 90° 5,1 cm. Dijaki poskušajo pojasniti, zakaj se širine senc s kotom spreminjajo. Pri tem uporabijo poznavanje širjenja svetlobnih žarkov iz točkastega svetila. Opažene spremembe širine projekcije lahko pojasnijo s tem, da se z zasukom spreminjajo razdalje med valjem in zaslonom ter valjem in svetilom.

V prikazanem primeru je pri kotu 0° valj najbližje zaslonu, zato žarki, ki ga osvetljujejo, opravijo najkrajšo pot do zaslona (Slika 8d). Prečno razširjanje teh žarkov je zato v tem primeru najmanjše. Pri kotu 90° pa je valj najdlje od zaslona in žarki do zaslona opravijo najdaljšo pot. Zdaj je prečno razširjanje žarkov največje in s tem tudi projek-



Slika 9: Projekcije predmetov na zaslon pri kotih (a) 0°, (b) 45° in (c) 90°, ko je uporabljeno točkasto svetilo. (d) Rekonstrukcija slike iz podatkov, dobljenih s točkastim svetilom.

cija na zaslonu najširša. Enake ugotovitve sledijo tudi v primeru kvadra, le da situacija zaradi različne vzdolžne in prečne dimenzije ni tako preprosta. V primeru usmerjenega svetila (Slika 7) se dimenzija projekcije valja na zaslon s kotom ne spreminja, saj so žarki, ki osvetljujejo valj in zaslon, vzporedni. Posledično se tudi s potovanjem žarkov po prostoru razdalja med njimi ne spreminja.

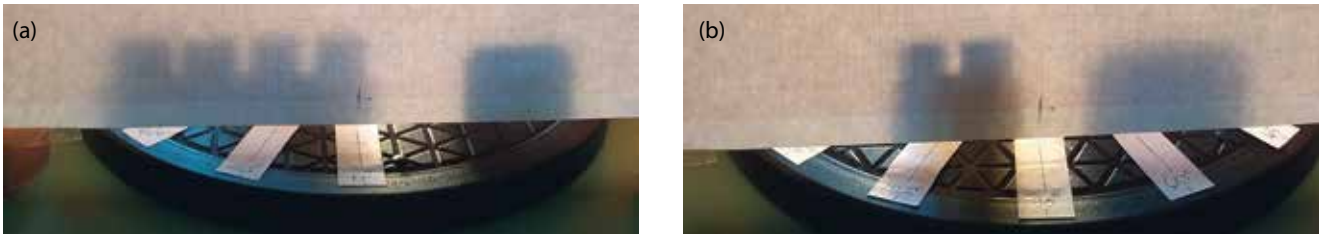
Če dijaki uporabijo projekcije pri vseh treh različnih kotih in enak postopek kot v primeru usmerjenega svetila, ugotovijo, da rekonstruirana slika predmetov ne ustreza pravi postavitvi (Slika 9d). Tako ima rekonstrukcija valja v prečni smeri drugačno dimenzijo kot v vzdolžni smeri, čeprav bi morala biti ista. Rekonstrukcija kvadra pa je še manj natančna, saj je večji del levega roba odrezan. Uporabljena metoda rekonstrukcije predpostavlja, da so žarki, ki ustvarijo projekcijo na zaslonu, vzporedni, kar pa v primeru točkastega svetila ne drži. Žarki iz točkastega svetila izhajajo v obliki središčno simetrične pahljače in z oddaljevanjem od svetila se razdalja med posameznimi žarki povečuje. Zato je širina projekcije predmeta na zaslonu odvisna od mesta predmeta na krožniku in od oddaljenosti od svetila in zaslona.

Vprašanje na tem mestu je, ali je točkasto svetilo neuporabno za slikanje predmetov. Rešitev problema je natančno upoštevanje geometrije osvetljevanja v postopku povratne projekcije, pri čemer je treba poznati točno lokacijo vira in pot žarkov od svetila do zaslona. Tudi v pravih CT-sistemih (Slika 4a) je za slikanje uporabljan točkast vir, iz katerega rentgenska svetloba izhaja v obliki pahljače. Pravzaprav je v tem primeru zaželen točkast vir, saj razsežna svetila vnesejo nezaželene napake v postopek rekonstrukcije (npr. nepopolna usmerjenost žarkov).

Slikanje z difuznim virom svetlobe

Na koncu dijaki ponovijo aktivnost še z difuznim oziroma mlečnim virom svetlobe. To je razsežno svetilo, iz katerega v vsaki točki izhajajo žarki pod poljubnimi koti. Dijaki razmislijo, kakšno svetilo bi ustrezalo temu modelu svetila. V našem primeru je bila uporabljena navadna namizna svetilka, prekrita s prosojno tkanino.

Slika 10 kaže projekciji pri kotih 0° in 90°, pri čemer je bilo uporabljeno difuzno svetilo. Ob primerjavi z ustreznimi projekcijami v primeru usmerjenega svetila (Slika 7) sledi, da imajo projekcije zamegljene robove. Projekcije predmetov, ki so bližje zaslonu, imajo ostrejše robove (valj na Slika 10a) kot projekcije predmetov, ki so dlje od zaslona (valj na Slika 10b). Robovi so zamegljeni zato, ker žarki osvetljujejo predmet pod različnimi koti, pri



Slika 10: Projekciji pri zasukih (a) 0° in (b) 90° ob uporabi izotropnega svetila.

čemer opravijo različno pot in zato osvetljujejo različne dele zaslona.

Na podlagi tega dela aktivnosti dijaki ugotovijo, da difuzno svetilo ni primeren svetlobni vir za CT-slikanje. Za slikanje so primerna svetila, ki na zaslonu dajo ostre robove predmetov.

Zaključek

CT-slikanje je ena izmed najpomembnejših slikovnih tehnik, ki se danes uporablja v medicini. Z njegovo pomočjo zdravniki odkrivajo vzroke in posledice različnih bolezni ter načrtujejo in spremljajo zdravljenje. Slikanje temelji na rekonstrukciji presekov skozi telo na podlagi projekcij, dobljenih z rentgensko svetlobo, ki potuje skozi telo iz veliko različnih smeri.

Namen tega članka je predstaviti aktivnost za dijake, ki sloni na istih zakonitostih kot CT-slikanje in jo je mogoče izvesti v učilnici s preprostimi pripomočki. Na podlagi rezultatov aktivnosti dijaki spoznajo osnovne značilnosti tega medicinskega slikanja. V središču so projekcije predmetov na zaslonu, ki nastanejo zaradi predmetov v svetlobnem snopu, ki osvetljuje zaslon. Spoznamo, da različna svetila na zaslonu ustvarijo različne projekcije. Ugotovimo, da iz samih projekcij težko sklepamo o obliki predmetov, medtem ko uporaba preproste povratne projekcije omogoča rekonstrukcijo oblike predmetov. Pokažemo tudi, da za uspešno rekonstrukcijo lege in oblike predmetov, skritih v škatli – predmeti predstavljajo organe, škatla pa telo – potrebujemo usmerjeno svetilo, iz katerega izhajajo vzporedni žarki. Po drugi strani je za rekonstrukcijo slike iz projekcij točkastega svetila potrebno poznavanje kotov, pod katerimi se širijo žarki iz točkastega svetila, kar ima za posledico kompleksnejši postopek rekonstrukcije. Difuzno svetilo zaradi osvetljevanja predmetov pod različnimi koti ustvari zelo zabrisane projekcije in tako ne omogoča natančne rekonstrukcije predmetov. Ugotovili smo tudi, da z večanjem števila zasukov vira svetlobe in s tem ustreznih projekcij na zaslonu dobimo tudi več podatkov o slikanih predmetih. Vsaka dodatna projekcija tako doda podrobnosti v rekonstruirano sliko.

Predmeti, ki so bili uporabljeni pri aktivnosti, so bili za svetlobo popolnoma neprepustni in bi ustrezali CT-slikanju predmetov z zelo velikim absorpcijskim koeficientom. Mogoča nadgradnja aktivnosti, ki bi jo še bolj približala medicinskemu CT-slikanju, bi bila uporaba predmetov, ki so delno prepustni za svetlobo, npr. obarvano steklo ali posoda z obarvano tekočino. V tem primeru bi bil postopek rekonstrukcije slike nekoliko zapletenejši, saj bi morali izmeriti količino prepuščene svetlobe in upoštevati eksponentni zakon oslabitve vpadne svetlobe (enačba 2). Več o tovrstni rekonstrukciji lahko preberete v [7] in [8].

Članek je nastal na podlagi aktivnosti, ki so jo izvedli učitelji fizike pri stalnem strokovnem izpopolnjevanju na Fakulteti za matematiko in fiziko 17. decembra 2021 [9]. Aktivnost je bila na podlagi odzivov sodelujočih izboljšana tako, da bolje naslavlja ustreznost podajanja novih znanj dijakom. Vabimo vse, ki jo boste preizkusili z dijaki, da nam sporočite svoje izkušnje in odzive dijakov.

Viri in literatura

[1] Franklin K. (2019). Introduction to biological physics for the health and life sciences. Second edition. (ur.) Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.

[2] CT scan. Wikipedia 2022. Dostop: 31. 3. 2022, <https://en.wikipedia.org/wiki/CT_scan>

[3] Boone J, McCollough C. Computed tomography turns 50. Phys Today 2021; 74(9):34–40.

[4] Schockel L, Jost G, Seidensticker P, Lengsfeld P, Palkowitsch P, Pietsch H. Developments in X--Ray Contrast Media and the Potential Impact on Computed Tomography. Invest Radiol 2020; 55(9):592–597.

[5] Letno poročilo 2020. Univerzitetni klinični center Ljubljana 2021. Dostop: 31. 3. 2022, < https://www.kclj.si/dokumenti/UKCL_POSLOVNO_POROCILO_2020_za_intranet.pdf>

[6] Hobbie RK, Roth BJ. Intermediate Physics for Medicine and Biology. 5th ed. Cham: Springer International Publishing: Imprint: Springer, 2015.

[7] Fagerstrom JM. Computed tomography, sinograms, and image reconstruction in the classroom. Physics Education 2020; 55:034001.

[8] Mylott E., Klepetka R., Dunlap JC., Widenhorn R. An easily assembled laboratory exercise in computed tomography. Eur J Phys 2011; 32(5):1227–1235.

[9] Milanič M., Simončič U., Stergar J., Planinšič G., Mohorič A. Računalniška tomografija – CT. Fakulteta za matematiko in fiziko 2021. Dostop: 31. 3. 2022, <http://sss.fmf.uni-lj.si/index.php?mode=4&id=435>

Astronomske vaje z merilnim okularjem

Rasto Snoj
Elektrotehniško-računalniška strokovna šola in gimnazija Ljubljana, Vegova

Izvleček

Srednješolska astronomija je postala izbirni predmet v tretjem letniku gimnazij že s sprejetjem učnega načrta pred desetletjem. Dostopne opreme za njen eksperimentalni izvedbeni del je na tržišču več kot dovolj. Opisujemo primer uporabe merilnega okularja, ki lahko takim nočnim (ali dnevnim pri opazovanju Sonca) eksperimentalnim aktivnostim dijakov da nov zagon.

Ključne besede: srednješolska astronomija, okular, teleskop, opazovanje nočnega neba

Exercises in Astronomy Using Eyepiece

Abstract

Astronomy was first offered as an elective in the third year of grammar schools when the curriculum was adopted a decade ago. There is an abundance of equipment for astronomy experiments available on the market. This article illustrates a potential use of an eyepiece that can add a new impetus to night-time (or, in the event of solar observation, daytime) experimental activities for students.

Keywords: astronomy in upper-secondary education, eyepiece, telescope, observing the night sky.

Obvezen teoretski uvod v vaje z merilnim okularjem

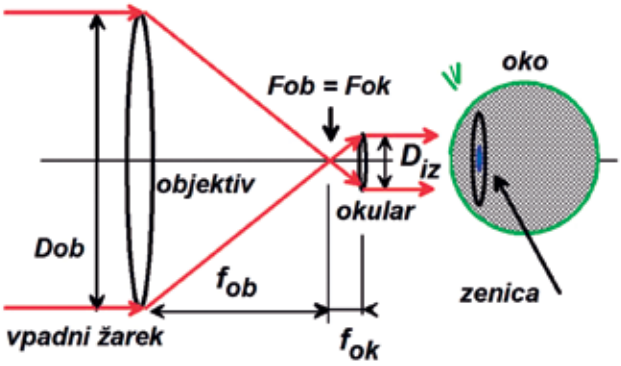
Dijaki morajo pri delu s teleskopi poznati osnove geometrijske optike pa tudi enačbe za povečavo teleskopa. Pred izvedbo kakršnih koli resnejših vaj je nujno vsaj krajše obdobje praktičnega spoznavanja s teleskopom, najprej v razredu ali pri dnevni svetlobi na terenu, pozneje pa v nočnih razmerah na opazovališču. Dijak naj zna teleskop usmeriti v iskano nebesno telo, vedeti mora, kako izvajati vsaj osnovne operacije z ročnim kontrolerjem, če uporablja teleskop z računalniškim vodenjem GoTo. Znati mora zamenjati različne okularje med samim opazovanjem in pri tem ponovno izostriti sliko, če ne uporablja t. i. parfokalnih okularjev. Poznati mora tudi nekaj osnovnih vrst in njihovih pomembnejših lastnosti, kar pride prav med samim delom, saj lahko le tako izbere nalogi primernega. Seveda mora vsaj nekaj vedeti tudi o nebesnih telesih, ki jih opazuje in jim s pomočjo merilnega okularja meri kotne dimenzije.

Okularji

Vsak teleskop, ki je namenjen tudi vizualnemu opazovanju, mora imeti okular. Že sama beseda nakazuje, da je ta pri očesu, medtem ko so objektivi obrnjeni k objektu, se pravi k Luni, planetom, meglicam … Objektivi so lahko leče ali zrcala, okularji pa so vedno le iz leč. Okular je funkcionalno enakovreden lupi, s katero od blizu opazujemo majhen predmet. Objektiv namreč naredi prav to: slika nebesnega telesa, ki jo ustvari v goriščni ravnini, je majhen »predmet«, ki ga opazujemo skozi okular.

Najpomembnejša lastnost okularja je njegova goriščna razdalja f_{ok}, ki skupaj z goriščno razdaljo objektiva f_{ob} določa povečavo teleskopa po enačbi $M = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$, ki je srednješolcem dobro znana. Povečavo lahko dobimo tudi iz $M = \frac{D_{ob}}{D_{iz}}$, kjer je (pri refraktorju) D_{ob} enak premeru objektiva, D_{iz} pa pomeni premer t. i. izstopne odprtine.

Za optimalno uporabo brez izgube svetlobe, ki jo zajame objektiv, mora biti izstopna odprtina manjša od premera široko odprte zenice opazovalčevega očesa, ki je v trdi

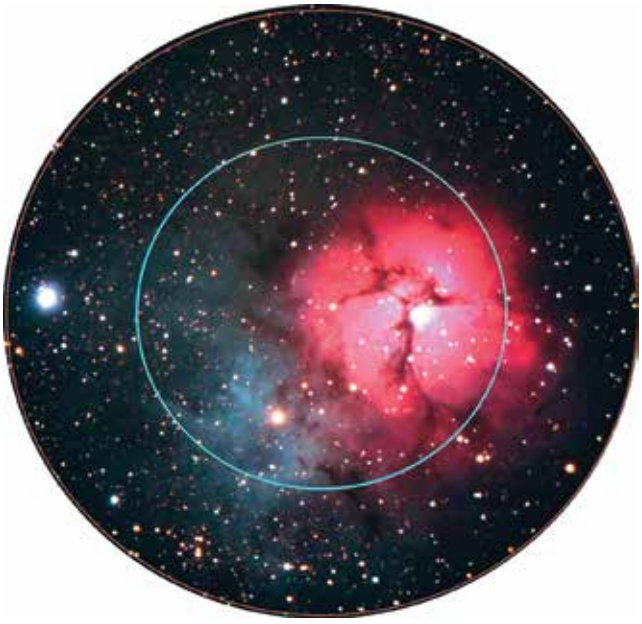


Slika 1: Objektiv in okular skupaj določata povečavo. Svetloba naj vsa vstopi v oko, torej naj bo D_{iz} (izstopna zenica) manjša ali enaka $D_{očesa}$ (premer zenice očesa). Primer s slike ne ustreza tej zahtevi.

temi lahko največ (zaokroženo) od 5 do 8 mm, kar je odvisno predvsem od starosti opazovalca (glej npr. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20506961). To seveda pomeni, da pri izbiri okularjev ni smiselno uporabiti takšnega s preveliko goriščno razdaljo, ker bi s tem dobili tudi preveliko izstopno odprtino. Druge pomembne lastnosti v zvezi z okularji pa so opisane v nadaljevanju.

Vidno polje teleskopa (FOV)

Gre za (okroglo) vidno polje v ločnih stopinjah, ki ga vidimo pri pogledu skozi okular teleskopa. Odvisno je od vrste uporabljenega okularja in povečave, ki jo določata goriščni razdalji objektiva in okularja. Zavedati se moramo, da ločimo dve taki polji. Eno je navidezno, ki ga pogojujejo le lastnosti konkretnega okularja, drugo pa je pravo vidno polje, ki je odvisno od goriščne razdalje objektiva in okularja ter tudi od določenih specifičnih lastnosti, značilnih za posamezno vrsto okularja. V tej zvezi so pomembni naslednji izrazi.



Slika 2: Pri pogledu skozi okular z manjšim FOVn bi videli le del meglice znotraj modrega kroga, pri uporabi takega z večjim FOVn pa vso meglico (Trifid v Strelcu). To bi se seveda zgodilo, če bi obakrat izbrali enako povečavo, torej okular z enako goriščno razdaljo. (Foto: R. Snoj)

FOVn, kar pomeni navidezno vidno polje okularja v stopinjah in spada med njegove konstrukcijske lastnosti. Okularji z večjim navideznim vidnim poljem so udobnejši, omogočajo pa tudi boljši »prostorski« občutek, čeprav pogosto na račun različnih kompromisov, zlasti slabše ostrine slike ob robu vidnega polja, zagotovo pa tudi bistveno višje cene.

FOVr, ki je kratica za pravo vidno polje, izraženo v stopinjah. *FOVr* je odvisno od navideznega vidnega polja okularja in povečave teleskopa. Enostavno ga ocenimo z enačbo:

$FOV_r = \frac{FOV_n}{M}$, kjer je M povečava teleskopa.

Pri danem objektivu okular iste vrste, a z manjšo goriščno razdaljo omogoči večjo povečavo, manjše resnično vidno polje in enako navidezno vidno polje kot drugi tovrstni okular. Seveda pa lahko izberemo tudi t. i. širokokotni (angl. *wide angle*) okular, torej takega drugačne vrste, a z manjšo goriščno razdaljo, ki zato zagotovi večjo povečavo, a ima lahko zaradi (precej) večjega navideznega polja vseeno tudi večje resnično vidno polje.

Običajno kar drži, da mnogi najraje opazujejo skozi okular s širokim (velikim) vidnim poljem pa še z veliko povečavo obenem, čeprav so to nekoliko protislovne zahteve. Rešitve obstajajo, a navsezadnje naletimo na vprašanje cene, saj je okular z večjim navideznim poljem praviloma tudi dražji. Optične napake se namreč izraziteje pokažejo pri večjem vidnem polju, odpraviti pa jih je težje kot pri ozkokotnem okularju.

Očesni relief je razdalja od zadnjega dela okularja do očesa in mora biti dovolj velik, da s pogledom zajamemo celotno vidno polje. Če opazujemo (npr. zaradi očal) z večje razdalje, vidimo le del vidnega polja, zato se premajhen očesni relief pokaže kot posebna težava pri tistih opazovalcih, ki potrebujejo očala. Če imamo le dioptrijo oziroma smo kratkovidni ali daljnovidni, lahko to hibo preprosto odpravimo tako, da opazujemo brez očal in z nekaj premikanja okularja proti objektivu ali stran od njega ponovno izostrimo sliko. Če pa imamo še astigmatizem, to ne zadostuje, zato je bolje uporabiti očala, kar je problematično pri (pre)majhnem očesnem reliefu. Navsezadnje pa lahko z očali tudi udarjamo v okular, kar povzroča poškodbe na obeh. Za udoben očesni relief naj v praksi velja, da je velik vsaj 20 mm.

Pogoste vrste okularjev

Preden si ogledamo uporabo merilnega okularja, še nekaj besed o najpogostejših vrstah. Prvi, t. i. Galilejev te-

leskop iz leta 1609 je imel za okular preprosto konkavno lečo, torej tako z negativno dioptrijo, pozneje je njegova raba izginila iz astronomske prakse in je bil nekaj časa priljubljen le še pri »opernih« daljnogledih s skromno povečavo. Dobra lastnost Galilejevega teleskopa je le pravilno obrnjena slika opazovanega predmeta, kar pa za astronomsko rabo ni pomembno. Leta 1611 je Kepler za okular uporabil konveksno lečo in s tem naredil nekakšen »praokular« vseh sodobnih vrst.

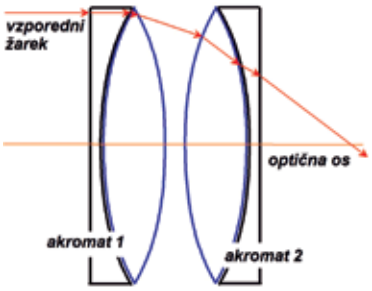
Najpreprostejših okularjev iz ene same konveksne ali konkavne leče sicer že dolgo časa ne uporabljamo več zaradi različnih optičnih napak, predvsem zaradi barvne napake pa tudi majhnega vidnega polja (namerno zmanjšanje vidnega polja sicer odpravlja barvno napako). Nekoliko novejšega datuma sta okular iz dveh konveksnih leč, ki ga je naredil Christiaan Huygens okoli leta 1660, sicer tudi z majhnim vidnim poljem, in dobro stoletje kasneje še okular Jesseja Ramsdena, ki je izboljšana modifikacija Huygensovega. Tudi omenjena okularja sta pri sodobnih teleskopih skoraj povsem izginila. Zanimivo pa je, da celo preprosti Huygensov okular odpravlja barvno napako, čeprav ima samo dve konveksni leči!

Sodobni (komercialni) okularji so, kar se tiče dimenzij, tj. premera njihovega tubusa (optične cevi), standardizirani v premerih 0,965″, 1,25″ in 2″, večji so med amaterji izjema. Manjša dimenzija je že skoraj izumrla in jo tu pa tam srečamo le še pri kakšnih teleskopih iz akcij velikih trgovskih verig (čemur se velja na široko izogniti), vedno pogosteje pa uporabljamo večje, 2″ okularje, ki nudijo udobno opazovanje. Čeprav so enote ″ v sistemu SI prepovedane, se tukaj še vedno uporabljajo. Palec ali cola (inč) meri 2,54 cm. Najbolj znani sodobni okularji so našteti v nadaljevanju.

Slika 3: Širokokotni 68° Baaderjev modularni okular Hyperion. (Foto: R. Snoj)

Kellnerjev akromatični okular s tremi lečami je sredi 19. stoletja izdelal Karl Kellner, uporablja ga npr. znani solarni teleskop Meade Coronado PST. Goriščna razdalja je po navadi okoli 25 mm, navidezno vidno polje pa med 40 in 60 stopinj. Pogosto ga srečamo pri cenejših vrstah binokularjev, v astronomskih teleskopih pa ga uspešno nadomeščajo zmogljivejše vrste.

Plossl (slika 4) je štirielementni simetrični dublet iz dveh enakih akromatičnih leč, ki ga je konstruiral Georg Plossl leta 1860. Odlikuje ga ostra slika s srednje velikim navideznim vidnim poljem 50 stopinj in je tako rekoč standardni osnovni sodobni okular, kot npr. Meade Super Plossl 26 mm, Orion Plossl 25 mm in podobno.



Slika 4

Ortoskopski okular je konec 19. stoletja naredil Ernst Abbe, sestavljajo pa ga štirje elementi, triplet in dodatna leča. Ima sicer majhno vidno polje, le okoli 40 stopinj, a je kontrasten in zelo primeren za planetarna opazovanja. Premore tudi velik očesni relief, kar pride še posebej prav pri majhnih goriščnih razdaljah, ki so značilne za velike povečave pri opazovanju planetov.

Koenig je poenostavljen ortoskopski trilečni okular z velikim očesnim reliefom in velikim vidnim poljem, nad 55 stopinj. Iz njega izvirajo mnogi sodobni različki z dodatkom vsaj ene konkavno konveksne leče. Tako imajo ti okularji še večje vidno polje, celo do 70 stopinj.

Erflov »širokokotnik« so prvotno namenili vojaški uporabi in je petelementni okular z velikim vidnim poljem, nad 60 stopinj. Okular je dokaj slab pri majhnih goriščnih razdaljah, a se dobro izkaže pri goriščni razdalji vsaj 40 mm, je udoben in ima velik očesni relief. To je klasični širokokotni okular, odličen za opazovanje meglic.

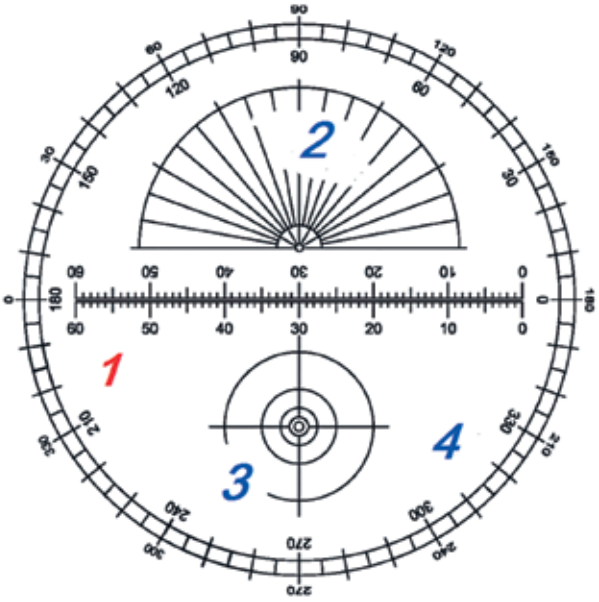
V zadnjih letih so znana podjetja, kot so ameriški TeleVue, nemški Baader, japonski Pentax in še nekatera, razvila svoje lastne vrste okularjev, ki sicer izhajajo iz znanih osnovnih tipov, a so izboljšane do (skoraj) popolnosti, seveda s pomočjo računalniškega projektiranja in uporabe ED-stekla z majhno disperzijo svetlobe ter posebnih antirefleksnih prevlek za večjo prepustnost pa tudi počrnjenih robov za še izrazitejši kontrast. Tako so dandanes že precej pogosti okularji z navideznim vidnim poljem nad 80 stopinj in skoraj povsem ostro sliko do roba vidnega polja. Nekateri spadajo med modularne okularje, ki jim lahko kakšen del tudi enostavno odstranimo ali nadomestimo z drugim in s tem spremenimo njihove lastnosti, npr. Baader Hyperion. Omeniti moramo še povečevalne okularje, ki podobno kot objektivi pri kamerah in fotoaparatih s spremenljivo goriščno razdaljo omogočajo različne povečave, čeprav vsaj nekoliko na račun kakovosti slike.

Merilni okular

Celo amaterski teleskopi niso namenjeni le golemu opazovanju lepot zvezdnega neba, pač pa lahko s pomočjo nekaterih dodatkov opravimo različne zanimive meritve. Mednje zagotovo spada tudi merilni okular, ki bi si ga moral omisliti vsakdo z malo boljšim teleskopom in je tudi nujen del opreme na šolskih astronomskih opazovanjih.

Slika 5: Merilna skala v Baaderjevem okularju. (Foto: R. Snoj)

V nadaljevanju bomo spoznali nekaj primerov uporabe zelo natančnega (in dragega) legendarnega okularja Baader Planetarium Micro Guide, podobne pa izdeluje tudi nekaj drugih podjetij. Gre za zelo kakovosten ortoskopski okular, ki zagotavlja ostro sliko po vsem vidnem polju, izdelan pa je v standardni velikosti 1,25 palca s 50-stopinjskim vidnim poljem ter goriščno razdaljo 12,5 mm. Natančna kotna skala je že vgrajena (kar lepo vidimo tudi na fotografiji), prav tako je uporabniku omogočena njena nastavljiva osvetlitev. V ta namen je treba v okular od strani priviti nosilec majhne LED rdeče barve,



Slika 6: Merilni okular ima na sredini dve vzporedni črti, vsaka **drobna oznaka** pa meri **0,1 mm** (skala **1**), skala **2** je namenjena merjenju kotov, podobno **4**, koncentrični krogi na **3** pa služijo vodenju teleskopa ali katerim drugim opravilom, razdalja med njimi pa je tudi določena s številom »drobnih« oznak z dela **1**. Okular moramo pri resni uporabi umeriti na povsem določenem teleskopu, saj se goriščna razdalja objektiva v resnici malo razlikuje od nominalne (nazivne) vrednosti. (Vir osnovne slike kotne skale: Baader Planetarium)

ki ima v istem ohišju tudi gumbaste baterije in logaritemski potenciometer, s katerim lahko izklopimo osvetlitev ali prilagodimo svetlost kotne skale.

Obstaja tudi možnost ločene nastavitve ostrine posebej na kotno skalo, zato lahko hkrati ostro vidimo zvezdo v ozadju (kar dosežemo z gumbom za ostrenje na teleskopu) in osvetljeno skalo, tudi če nosimo očala. Okular uporabljamo za merjenje kotov med nebesnimi telesi ali med njihovimi deli, za določanje goriščne razdalje teleskopov, za vodenje pri astrofotografiji, za vodenje kamer na glave kometov, ki se hitro premikajo glede na fiksno nebesno ozadje, v spektroskopiji zvezd z uporabo uklonske mrežice, lahko pa tudi za običajnejša zemeljska merjenja kotov.

Oglejmo si le nekaj enostavnih meritev, ki jih lahko naredimo s takšnim okularjem. Ker so koti, ki jih merimo, majhni, je linearna skala na delu 1 primerna tudi za določanje kotnih razdalj med nebesnimi telesi, saj je pri majhnih vrednostih kot kar sorazmeren z linearnim odmikom na skali. Ker slika, recimo dveh zvezd v binarnem paru, **nastane v goriščni ravnini objektiva (pa tudi okularja) teleskopa**, velja:

$$\frac{y'}{f_{ob}} = \boldsymbol{tg\ \varphi \approx \varphi},$$

kjer je y' razmik med slikama zvezd (slika predmeta) v goriščni ravnini in f_{ob} goriščna razdalja objektiva, φ pa je kot, pod katerim vidimo ti zvezdi v resnici, se pravi, ne da bi gledali povečano sliko skozi okular. Seveda sem trdno prepričan, da so bralcu te oznake že dobro znane iz kakšnega srednješolskega učbenika, npr. Strnad: *Mala fizika 2*, DZS.

Za lažje razumevanje nadaljevanja in mogočih uporab merilnega okularja privzemimo, da **količina[enota]** pomeni vrednost količine v enotah iz oklepaja, a brez pisanja enot. Tako je npr. čas *t*[ms] = 3200 mišljen kot 3200 ms.

Pri pisanju kotov v fiziki sicer pogosto uporabljamo radiane, zaradi praktičnih razlogov pa jih je tukaj bolje pretvoriti v ločne sekunde. Ker ima ločna stopinja 3600″ in je stopinja $\frac{\pi}{180}$ radianov, je ločna sekunda $\frac{1}{3600}\frac{\pi}{180}$ radianov, od koder sledi uporabna enačba:

$$y' = f_{ob}\,\varphi = f_{ob}\,\varphi[''] \frac{1}{3600}\frac{\pi}{180} = \boldsymbol{f_{ob}\,\varphi['']\,4{,}848\ 10^{-6}}.$$

Če za enoto na skali izberemo **0,1 mm** (najpogosteje uporabljena skala **1** pri Baaderjevem okularju ima 60 takih »drobnih« enot) in pišemo goriščno razdaljo v mm, dobimo uporabno »kuharsko« (priljubljena terminologija enega naših največjih fizikov, dr. Ivana Kuščerja) formulo:

$$0{,}1\ mm = f_{ob}\ [mm]\ \varphi_{0,1}[''] \ 4{,}848\ 10^{-6} mm \ \rightarrow$$

$$\varphi_{0,1} = \frac{0{,}1}{f_{ob}\ [mm]}\ \frac{1''}{4{,}848\ 10^{-6}} = \frac{20626\,''}{f_{ob}\ [mm]}.$$

Tako je določen **kot v ločnih sekundah, ki ustreza razdalji 0,1 mm** (sosednji drobni črtici) v merilnem oku-

larju. Vse drugo je zaradi majhnih kotov le še preprost sklepni račun. Še enkrat:

$$\varphi_{0,1} = \frac{20626''}{f_{ob}\,[mm]}.$$

Ali po »šolsko« – kot ($\varphi_{0,1}$), ki ustreza razdalji med sosednjima (drobnima) črticama, meri toliko ločnih sekund, kolikor je 20626 deljeno s številsko vrednostjo goriščne razdalje, izražene v milimetrih.

1. naloga

Izračunajmo kotno razdaljo med dvojnima zvezdama, če je razdalja med njima v merilnem okularju 7,5 drobne črtice in je goriščna razdalja teleskopa 1300 mm.

Opomba: Pri določanju kota moramo merilni okular zavrteti tako, da sta obe zvezdi na linearni skali, kar zahteva tudi nekaj dodatne telovadbe s kontrolerjem teleskopa, kar je za začetnika lahko malce težavno.

$\varphi_{0,1} = \frac{20626''}{f_{ob}\,[mm]} = \frac{20626''}{1300} = 15{,}9'',$

$\varphi_{0,85}[''] = 7{,}5 \cdot 15{,}9'' = 119''.$

Glede na verjetno napako za podatek o goriščni razdalji objektiva (vsaj 1 %) in napako pri merjenju kotne razdalje med zvezdama za vsaj 0,1 drobne črtice (kar da relativno napako 0,1/7,5 = 0,013), je relativna napaka rezultata okoli 3 % ali celo več in efektivna napaka izračunanega kota okoli 4". Težava je tudi v migetanju zvezdine slike, ki je močno odvisno od razmer v ozračju (amaterski naziv: seeing), poleg tega pa svetlim zvezdam vizualno precej težko določimo točno lego na skali merilnega okularja. Vsekakor je rezultat natančnejši, če poleg merilnega okularja uporabimo še Barlowovo lečo (lečje), ki goriščno razdaljo objektiva poveča za faktor 2 ali celo 3. Tako se relativna napaka za prav tolikšen faktor zmanjša, če seveda zaupamo navodilom izdelovalca Barlowove leče. Najbolje pa je celoten sistem (objektiv z Barlowovo lečo vred) pred tem umeriti v smislu določanja prave goriščne razdalje, kot je to prikazano v nadaljevanju članka.

Za boljši občutek kotnih dimenzij si oglejmo še nekaj znanih nebesnih teles, razvrščenih po kotni velikosti:

Andromedina galaksija M31	2,7° x 0,7°
Orionova meglica M42	1° x 1°
Sonce in Luna	okoli 0,5°
Kroglasta kopica M13	17′ (premer)
Planetarna meglica M27 (Ročka)	8′ x 6′
Venera	10" do 66"
Jupiter	29" do 50"
Pluton	0,1"

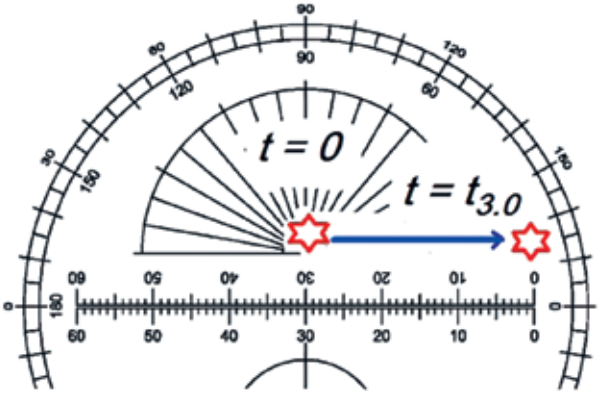
(premalo, da bi ga z amaterskimi teleskopi ločili od zvezde)

Če ne poznamo goriščne razdalje objektiva teleskopa dovolj natančno (sploh pa, če smo dodali še Barlowovo lečo s »sumljivo okroglo« povečavo), si z enačbo za kalibracijo skale ne moremo pomagati. Serijski teleskopi namreč pogosto nekoliko odstopajo od vrednosti, ki jih navaja izdelovalec. Zato tokrat sklepajmo takole (velja za omenjeni Baaderjev okular in na mnogih amaterskih teleskopih uporabljeno Celestronovo vodenje GoTo):

Če zvezdo s premikanjem teleskopa najprej »postavimo« na sredino vidnega polja in iznenada **ustavimo sledenje** teleskopa (*Menu –> Utilities –> Hibernate*), zvezda zaradi vrtenja Zemlje okoli svoje osi »odpotuje« proti robu vidnega polja. **Pred tem moramo merilni okular zavrteti, tako da zvezda potuje po oznakah skale »1«**, kar nam bo po nekaj ponovitvah, ki so tudi del vaje, zagotovo uspelo.

Potem merimo čas, npr. $t_{3,0}$, ki ga zvezda potrebuje, da se od sredine vidnega polja oddalji za 30 drobnih črtic, torej za 3 mm v goriščni ravnini, na rob linearne skale merilnega okularja. **Če bi opazovali zvezdo z deklinacijo 0°**, torej na nebesnem ekvatorju, bi ta v eni sekundi opisala kot $\frac{360\ 3600''}{86160} = 15{,}04''$ V imenovalcu je 86160-sekundna vrednost zvezdnega dneva, v števcu pa polni kot v ločnih sekundah. Če zvezda ne leži na ekvatorju, opiše v enakem času za $\cos\,\delta$ manjši kot (kot 0° bi opisala le pri deklinaciji 90°). Deklinacija δ je kotna razdalja med nebesnim telesom in nebesnim ekvatorjem in je eden od dveh kotov, s katerima opišemo položaj nebesnega telesa na nebesni krogli. Torej se v splošnem primeru **v eni sekundi** zvezda premakne za kot:

$$\varphi_{1s} = 15{,}04''\ \cos\,\delta.$$



Slika 7: Pri zaustavitvi vodenja naj se zvezda premika **vzporedno** z linearno skalo. (Vir osnovne slike kotne skale: Baader Planetarium)

Pri izmerjenem času $t_{3,0}$ (za prehod 30 drobnih črtic) pa je kotni premik tolikokrat večji od φ_{1s}, kolikorkrat je čas, potreben za premik čez 30 črtic, večji od ene sekunde, se pravi po sklepnem računu:

φ_{1s} ... **1 s**, $\varphi_{3,0}$ ... $t_{3,0}$ ali

$$\varphi_{3,0} = 15{,}04''\ \cos\,\delta \cdot t_{3,0}[s].$$

Kot smo že zapisali, ena drobna črtica v Baaderjevem merilnem okularju pomeni kot $\varphi_{0,1} = \frac{20626''}{f_{ob}\,[mm]}$, zato je kot pri premiku zvezde čez 30 črtic pač 30-krat tolikšen ali

$$\varphi_{3,0} = \frac{618794''}{f_{ob}\,[mm]}.$$

Dobljeno vrednost (v kateri se v imenovalcu nahaja goriščna razdalja objektiva) izenačimo s tisto po prejšnji enačbi (z upoštevano deklinacijo zvezde) in dobimo:

$$\frac{618794''}{f_{ob}\,[mm]} = 15{,}04''\; t_{3,0}[s]\;\cos\delta.$$

Končno izrazimo:

$$f_{ob}\,[mm] = \frac{618794''}{15{,}04''\; t_{3,0}[s]\cos\delta} \rightarrow$$

$$\boldsymbol{f_{ob} = \frac{41138\;mm}{t_{3,0}[s]\;cos\;\delta}}.$$

2. naloga

Izmerili smo čas prehoda zvezde Deneb z deklinacijo 45°17′ iz sredine merilnega okularja do roba za 30 drobnih črtic in dobili čas 38,7 s. Kolikšna je resnična goriščna razdalja objektiva tega teleskopa (če je nominalna 1500 mm)?

$$f_{ob}[mm] = \frac{41138\;mm}{t_{3,0}[s]\;cos\;\delta} = \frac{41138\;mm}{39{,}2\;\;cos\,45{,}28°} = 1511\;mm.$$

Prava vrednost je za dober centimeter večja od nominalne, kar je pričakovano odstopanje.

*Pripomniti pa moramo, da je potrebno tudi **zelo natančno** merjenje časa prehoda zvezde (ki je krajši pri večjih goriščnih razdaljah), sicer merske napake izničijo smiselnost opisanega preverjanja nominalne goriščne razdalje objektiva. Če ocenimo efektivno napako merjenja časa na 0,1 s, to v tem primeru pomeni relativno napako 0,1/38,7 = 0,25 % in je potemtakem efektivna napaka izračunane goriščne razdalje 4 mm. Tudi ta poskus obravnavamo podobno, kot vsako fizikalno vajo, nujen je zapis končnega rezultata z efektivno in relativno napako.*

Višina kraterjev na Luni

Približno, a zanimivo amatersko meritev višine Luninih kraterjev lahko naredimo s pomočjo merilnega okularja. Kraterji ob Luninem terminatorju (področju, kjer Luna prehaja v Zemljino senco) so zelo kontrastni in mečejo dolge, ostre sence. Tako lažje določimo njihovo višino *h* na precej preprost način, kar storimo ob prvem ali zadnjem krajcu.

S podobnimi trikotniki, kot je razvidno s skice (naloga 3), izračunamo:

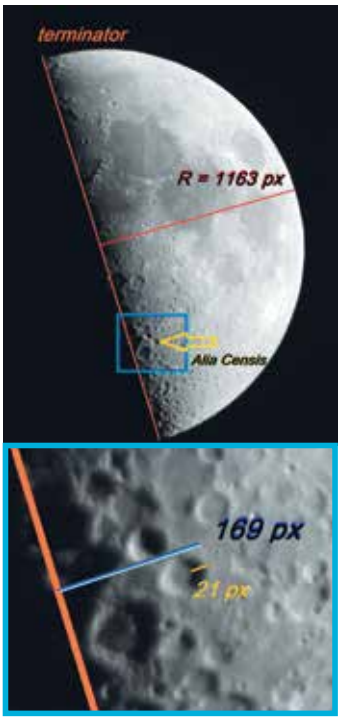
$$\frac{h}{D} = \frac{x}{R} \rightarrow \boldsymbol{h = \frac{x}{R}\,D}.$$

Za izračun višine *h* v kilometrih moramo uporabiti sklepni račun in poznati eno dimenzijo v km, npr. polmer Lune. Pri delu z merilnim okularjem lahko za *x*, *D* in *R* vzamemo kar razdalje med črticami na skali 1 in zato dobimo tudi *h* v enakih enotah, umerjanje okularja ni potrebno. S sklepnim računom rezultat preračunamo v km in velja:

$$\frac{h[črtic]}{R[črtic]} = \frac{h[km]}{R[km]} \rightarrow$$

$$h[km] = \frac{h[črtic]}{R[črtic]}\;R[km],$$

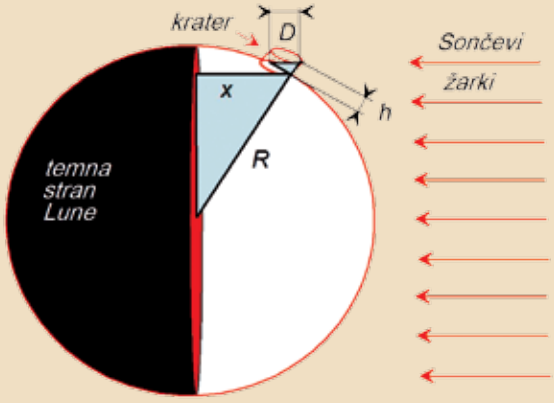
kjer je *R* Lune 1737 km.



Sliki 8 in 9: Luna s polmerom R ob prvem **krajcu** (slika 7), krater (Alia Censis) je na razdalji x od terminatorja (meje med osvetljenim in neosvetljenim delom Lune), »desni« od Sonca osvetljeni rob meče na »levo« **senco dolžine D**. Gre za projekcijo koordinat krogle na ploskev v preseku, torej na krog, se pravi na ravnino fotografije. Spodnji posnetek (slika 8) je izsek modrega dela leve fotografije. Oznake v px pomenijo razdalje v slikovnih točkah (pikslih). (Foto: R. Snoj)

3. naloga

Na posnetku (sliki 8 in 9) **Lune s polmerom 1737 km je razdalja kraterja od terminatorja (*x*) 169 slikovnih točk (pikslov), polmer Lune 1163 slikovnih točk, senca je dolga (*D*) 21 slikovnih točk. Število slikovnih točk zlahka določimo s katerim koli programom za obdelavo slik, lahko kar s**



Slika 10: V drugačnem pogledu je višina kraterja h, ki meče senco dolžine *D*, kateta v trikotniku s hipotenuzo *D*, ta pa je podoben tistemu, kjer je hipotenuza polmer Lune *R*, ustrezna kateta pa kar razdalja kraterja x od terminatorja. Velja pripomniti, da *x* dobimo s sklepnim računom s posnetka, če za *R* vzamemo polmer Lune 1737 km.

preprostim MS Slikarjem. Pri tem moramo paziti na orientacijo posnetka, upoštevamo tako koordinate *y* kot *x* (po potrebi uporabimo Pitagorov izrek). Izračun pri delu z merilnim okularjem je identičen, slikovne točke z zgornjega posnetka enostavno nadomestimo s številom črtic v merilnem okularju (seveda so številske vrednosti drugačne, rezultat pa je isti). Izračunajmo višino kraterja *h*!

$$h[px] = \frac{x[px]}{R[px]} D[px] = \frac{169}{1163} 21 = 3{,}1px.$$

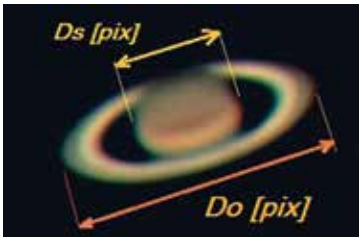
$$h[km] = \frac{h[px]}{R[px]} 1737\ km = \frac{3{,}1}{1163}\ 1737\ km = 4{,}6\ km.$$

Prava velikost tega kraterja je 3,9 km, razliko pripišemo predvsem kraterjevemu neravnemu dnu.

Podrobnosti na velikih planetih

Za pravo velikost opazovane podrobnosti $\boldsymbol{y}$ na planetu (v npr. km) moramo s sklepnim računom pretvoriti njeno velikost $\boldsymbol{y'}$ med črticami v merilnem okularju v kilometre (lahko tudi v druge enote). To lahko storimo, če le poznamo razdaljo $\boldsymbol{a}$ do planeta in goriščno razdaljo objektiva $\boldsymbol{f_{ob.}}$

S sklepnim računom rezultat preračunamo npr. v km, če le resnični premer ($y = 2R$) planeta tudi pišemo v km.



Slika 11: Posnetek Saturna s planetarno kamero. Pri določanju dimenzij (*y*) na posnetku planeta štejemo slikovne točke, ki ločijo posamezne podrobnosti, in njihovo število primerjamo s številom slikovnih točk za planetov (ekvatorialni) premer 2R. Namesto slikovnih točk lahko štejemo tudi črtice v merilnem okularju. (Foto: R. Snoj)

Po znani enačbi povečave za lečo ali zrcalo:
$\frac{y\prime}{y} = \frac{b}{a} \approx \frac{f_{ob}}{a}$, katere desni del je utemeljen s tem, da slika »neskončno« oddaljenega predmeta nastane v goriščni ravnini, sledi za pravo velikost izbrane podrobnosti:

$$\boldsymbol{y = y' \frac{a}{f_{ob}}}.$$

Katero koli zanimivo dimenzijo (npr. velikost Saturnovih obročev *Do*) na planetu ali v okolici torej dobimo kot $\boldsymbol{y}$ iz zgornje enačbe. Velikost slike *y'* v goriščni ravnini določimo z merilnim okularjem, upoštevajoč, da »majhna« razdalja med zarezama v skali **1** pomeni **0,1 mm**, preostalo je sklepni račun. Enačbo lahko preuredimo s pomočjo zgornje slike in s poznavanjem premera planeta D_s:

$$\boldsymbol{Do[km] = \frac{Do[črtic]}{Ds[črtic]}\ Ds[km]}.$$

4. naloga

Pri opazovanju Saturna (ekvatorialni premer je 121000 km) skozi merilni okular ocenimo njegov navidezni premer na 9,2 drobne črtice. Izračunajmo zunanji premer obročev, če ga ocenimo na 21,0 črtice.

$$D[km] = \frac{D[črtic]}{2R[črtic]}\ 2R[km] = \frac{21{,}0}{9{,}2}\ 121000\ km = 280000\ km.$$

Obroči so sicer precej manjši, a enakega velikostnega reda kot razdalja od Zemlje do Lune (385000 km). Relativna napaka rezultata je vsaj vsota relativnih napak števca in imenovalca, se pravi $\frac{0{,}1}{21{,}0} + \frac{0{,}1}{9{,}2} = 0{,}016$. *V km bi to pomenilo napako 5000 km.*

Sklep

Merilni okular se pri praktičnem delu pouka astronomije izkaže za enostaven in koristen pripomoček. Točnost meritev, ki jih v amaterskih razmerah naredimo z njim, je podobna točnosti preostalih merskih rezultatov, ki jih dobimo pri gimnazijskih fizikalnih vajah. Vsekakor dijakom omogoča »eksperimentiranje«, s katerim dobijo uporabne rezultate, in tako poveča zanimanje za tako delo. V času vsesplošne digitalizacije, ki v pedagoškem procesu ni a priori tudi nekaj pozitivnega, saj lahko dijakom nehote odtuji bistvo fizikalnih meritev, lahko pomeni »klasično« merjenje kotnih razdalj z merilnim okularjem, torej brez uporabe digitalne fotografije in programov za obdelavo slike, nekakšno vrnitev k zdravi pameti ter spodbudo, da vsaj za hip spet uporabijo lasten razmislek, ne da bi za pomoč po nepotrebnem prosili njegovo visočanstvo – vsemogočni računalnik.

Viri in literatura

[1] Snoj, R. (2015). *Teleskopi*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.

[2] Strnad, J. (2003). *Mala fizika 2*. Ljubljana: DZS.

[3] Baader Planetarium: Baader Micro Guide eyepiece with Log-Pot illuminator manual

[4] Snoj, R. (2017). Astronomija, nov gimnazijski predmet. Revija *Fizika v šoli*, *22*(1), 30–40.

Naravoslovje v knjižnici

Mateja Aš Šašek
Šolski center Novo mesto, Srednja elektro šola in tehniška gimnazija

Izvleček

V prispevku je opisan primer medpredmetnega sodelovanja profesorice fizike in knjižničarke. Predstavljeno je, kako smo dijakom s pomočjo didaktičnih in metodičnih priporočil programa Knjižnična informacijska znanja (2008) pripravili uro in jih, ob njihovi aktivni vlogi, spoznali z vrednotenjem in selekcioniranjem pridobljenih informacij ter jim približali uporabo naravoslovnih in strokovnih revij, ki jih bodo uporabljali tako pri svojem šolskem delu kot tudi v prostem času.

Ključne besede: medpredmetna povezava, naravoslovje, knjižnica, revije, knjižnična informacijska znanja

Natural Sciences in the Library

Slika 1: Skupinsko delo

Abstract

The article explains an example of interdisciplinary cooperation between a physics professor and a librarian. It shows how we prepared a lesson for students with the help of didactic and methodological recommendations of the Library and Information Skills Programme (2008) and, with the students assuming active roles, introduced them to the evaluation and selection of the acquired information. In addition, we familiarised them with the use of natural and professional journals for the purposes of work and leisure.

Keywords: interdisciplinary cooperation, natural sciences, library, journals, library and information skills.

Uvod

Danes je razmišljanje o iskanju informacij zelo posplošeno, prevladuje prepričanje, da lahko vsakdo najde vse v zelo kratkem času, potreben je le dostop do svetovnega spleta. Naša naloga je, da dijake naučimo pridobivanja, vrednotenja in selekcioniranja pridobljenih informacij, kar jim bo koristilo tudi v poznejšem življenju. S pomočjo knjižničnih informacijskih znanj dijake učimo tudi informacijske pismenosti, tj. sposobnosti kritičnega razmišljanja in presoje o informacijah, ki jih najdemo. Veščine informacijske pismenosti je smiselno začeti poučevati že na začetku formalnega izobraževalnega procesa, saj lahko učenci in dijaki tako pridobijo učne navade, ki jim bodo koristile ves čas šolanja in pozneje v življenju. Dijaki razvijajo sposobnosti in veščine za samostojno uporabo knjižnice in informacijskih virov. Tako ob delu spoznavajo strategije pridobivanja informacij in reševanja problemov. Vse to lahko knjižnica podpira in razvija s pomočjo knjižničnih informacijskih znanj, vendar pa jih je smiselno izvajati v medpredmetni povezavi z vključitvijo v učni proces. Dijaki elemente informacijske pismenosti usvajajo s samostojnim delom in na koncu vidijo konkretne rezultate svojega dela. Končni cilj pa je bil tudi povečanje izposoje revij med dijaki. S tem namenom so ob zaključku dijaki pripravili razstavo svojih del v glavni avli pred šolsko knjižnico.

Ključni cilji: seznaniti dijake z osnovami informacijske pismenosti; spodbujati kritično oceno tiskanega ali spletnega gradiva; spodbuditi dijake k uporabi tiskanih revij.

Izvedba ure

Medpredmetne povezave so dijakom navadno zanimive, ker so drugačne od klasičnega, frontalnega pouka. Uro

smo izvedle z dijaki drugega letnika srednjega poklicnega izobraževanja, smer avtoserviser. Ker v programih srednjega poklicnega izobraževanja ni veliko medpredmetnih povezav, so bili dijaki že pri pouku naravoslovja zelo navdušeni, ko so izvedeli, kaj bodo počeli v naslednjih urah, kjer bodo lahko tudi aktivno sodelovali.

Pri uvodni, predstavitveni uri pri pouku naravoslovja jim je profesorica predstavila nalogo, ki jo bodo izvedli v medpredmetni povezavi. Po lastni presoji bodo v skupinah poiskali najljubšo oz. najzanimivejšo revijo in jo v razredu predstavili s plakatom ter pozneje razstavili v glavni avli šole. Potem so dijaki s profesorico fizike prišli v knjižnico. Ker so to dijaki drugega letnika, ki že poznajo knjižnico, gradivo in strokovno literaturo s svojega področja, premalo pa uporabljajo revije, smo jim najprej predstavili vse revije, tako v fizični obliki kot tudi na spletu. Ker imamo na spletni strani šolske knjižnice že zbrane vse revije, jim je pozneje pri delu to koristilo, saj so z enega mesta dostopali do vseh informacij, ki so jih potrebovali pri svojem delu. V knjižnici smo jim najprej predstavili, kaj revije sploh so in da tudi spletne strani revij s članki v polnem formatu lahko pomagajo pri iskanju relevantnih virov in literature za različne seminarske in zaključne naloge oziroma šolsko delo. Te revije so lahko poljudne ali strokovne in vključujejo vse, kar je povezano z njihovo obravnavano temo, to je fizika in naravoslovje. Dijakom smo razložile namen in cilje, ki jih želimo doseči pri medpredmetni povezavi, katere pripomočke lahko uporabljajo in kakšen naj bo izdelek. Uvajanje konceptov plagiatorstva in intelektualne lastnine se morda zdi težko, vendar je pomembno, da se dijaki zavedajo, da informacij ni mogoče preprosto kopirati. Ravno zato smo se odločile, da izdelajo plakat.

Dijake smo usmerile, naj po svoji presoji izberejo naslov revije, ki po njihovem mnenju nudi največ informacij, ima najboljšo predstavitev vsebine, najlažjo dostopnost in najboljšo informiranost, najlepšo fizično podobo … S tem smo jih želele spodbuditi h kritičnemu razmišljanju o virih informacij, ki so jim na voljo. Spodbujanje dijakov k razmišljanju o kakovosti informacij, ki jih uporabljajo, bo izboljšalo njihovo sposobnost prepoznavanja in izbire ustreznih virov za katerokoli temo, ki jo bodo raziskovali v prihodnosti.

V osrednjem delu medpredmetne povezave so se lahko po svojih interesih razdelili v skupine. Pregledali in prelistali so revije s svojega strokovnega oz. z naravoslovnega področja ter se skupaj v okviru posamezne skupine odločili, katero revijo bodo izbrali in zakaj. Po kratkih vsebinskih navodilih smo jih s profesorico pustile, da so delali sami, saj so se z nalogo učili tudi veščin timskega dela. Zelo zanimivo je bilo opazovati, kako so se med sabo spodbujali k sodelovanju in aktivnosti. Sami so si razdelili zadolžitve ter začeli iskati informacije. S profesorico smo jim bile na razpolago za svetovanje in usmerjanje, če so naleteli na težavo oz. so imeli vprašanja med samim delom. Zbrane informacije so morali uporabiti in prenesti na plakat. Ob tem so se učili iskanja, zbiranja, vrednotenja in selekcioniranja pridobljenih informacij. Uporabljali so različne strategije iskanja, nekateri dijaki

Slika 2: Police z revijami v knjižnici

Slika 3: Zbiranje gradiva in izdelava plakatov

Slika 4: Razstava plakatov pred knjižnico

v posameznih skupinah so listali samo po fizičnih izvodih periodike, drugi so informacije iskali tudi po digitalnih vsebinah.

Spodbuditi smo jih želele tudi k uporabi revij kot pisnih virov za izdelavo plakatov, s katerimi bodo tudi sošolcem predstavili naslove in vsebine izbranih revij ter tako tudi njih motivirali, da se bodo odločili in vzeli revijo v čitalnico ali pa si jo izposodili za domov.

V sklepnem delu so se dijaki po skupinah dogovorili, kdo bo revijo predstavil s pomočjo plakata. Nekatere skupine so se odločile, da bo vsak član predstavil svoj sklop, druge skupine so izbrale poročevalca. Predstavitve so bile zanimive za ves oddelek, saj so bile poučne. Dijaki so z zanimanjem poslušali predstavitve revij, ki so jim blizu zaradi tematike, saj so izbirali naslove s svojega strokovnega področja oziroma s področja z naravoslovnimi temami. Po predstavitvi smo pripravili razstavo plakatov na glavnem hodniku pred šolsko knjižnico.

Zaključek

Zaradi povečane uporabe digitalnih virov moramo dijakom pomagati pri krmarjenju in učinkoviti interakciji v digitalnem svetu. Knjižnica je dobro učno okolje, saj se dijaki osredotočajo na iskanje informacij v zvezi z zadano nalogo. Zelo dobro sta uspeli tudi sklepna predstavitev in ideja, da izdelke razstavimo na glavnem hodniku šole, kjer si jih lahko ogledajo preostali dijaki in profesorji. Pri načrtovanju je vsekakor treba upoštevati tudi predznanje dijakov. Notranja motivacija je pripomogla, da se jim je izvedena medpredmetna povezava zdela zelo zanimiva, vse skupine so predstavitve uspešno opravile, kar jim je okrepilo samozavest, nad predstavitvami so bili navdušeni. Podobne ure bomo še izvedli, predvsem v strokovnih in poklicnih programih, kjer se vsebine knjižničnih informacijskih znanj ne izvajajo načrtno, ampak se individualno dogovarjamo s posameznim profesorjem.

Literatura

[1] Fekonja, R. (2004). Branje in pismenost: vloga šolske knjižnice pri spodbujanju branja. Šolska knjižnica, 14(3), 132–139.

[2] Nacionalna strategija za razvoj bralne pismenosti za obdobje 2019-2030. (2019). Ljubljana: Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport. Pridobljeno 25. 02. 2022 s spletne strani: https://www.gov.si/novice/2020-01-15-nacionalna-strategija-za-razvoj-bralne-pismenosti-za-obdobje-2019-2030/

[3] KURIKUL. Knjižnično informacijsko znanje [Elektronski vir]: gimnazija: splošna, klasična, strokovna gimnazija / predmetna komisija Majda Steinbuch … [et al.]. - Ljubljana: Ministrstvo za šolstvo in šport: Zavod RS za šolstvo, 2008

Higgsov bozon in škatle skrivnosti: Kako deluje znanost?

Anja Kranjc Horvat
Evropska organizacija za jedrske raziskave CERN, Ženeva, Švica

Jakob Novak, Blaž Leban
Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenija

Izvleček

Iskanje Higgsovega bozona danes velja za najdaljše raziskovanje v zgodovini fizike delcev. Večdesetletno sodelovanje med teoretičnimi in eksperimentalnimi fiziki, inženirji, tehniki, diplomati in tudi učitelji, ki je vodilo do tega odkritja, je tako izvrsten primer znanosti v nastajanju. Zgodovina tega prelomnega odkritja lahko učencem in dijakom pomaga spoznati različne vidike narave znanosti in znanstvenih metod raziskovanja. V tem članku bomo predstavili kratek oris zgodovine raziskovanja Higgsovega bozona ter jo prek praktičnih aktivnosti s škatlami skrivnosti neposredno povezali z naravo znanosti. Predstavljene aktivnosti so primerne tako za osnovne kot tudi srednje šole, učitelji pa za izvedbo potrebujejo minimalno opremo.

Ključne besede: Higgsov bozon, fizika delcev, narava znanosti, škatle skrivnosti

Higgs Boson and Mystery Boxes: How Does Science Work?

Abstract

The search for the Higgs boson is now considered to be the lengthiest in the history of particle physics. The decades-long collaboration between theoretical and experimental physicists, engineers, technicians, diplomats, and even teachers, which led to this discovery, is thus a remarkable example of science in the making. The history of the ground-breaking discovery can help pupils and students learn about several aspects of the nature of science and the scientific method of research. This article briefly outlines the history of the research into the Higgs boson and relates it directly to the nature of science through hands-on mystery box activities. These are suitable for both primary and secondary schools and require minimal equipment.

Keywords: Higgs boson, particle physics, nature of science, mystery boxes.

Uvod

Fiziki delcev leta 2022 praznujejo prav posebno obletnico. Pred desetimi leti, 4. julija 2012, se je namreč končalo večdesetletno iskanje Higgsovega bozona, osnovnega delca, ki ga je Peter Higgs predvidel že v šestdesetih letih prejšnjega stoletja. Kar 48 let je trajalo, da so njegovo hipotezo lahko tudi eksperimentalno preverili. Eksperiment, ki so ga za to potrebovali, je namreč največji in najkompleksnejši eksperiment v fiziki – veliki hadronski trkalnik v Evropski organizaciji za jedrske raziskave (CERN) v Švici. Pri tem eksperimentu je sodelovalo več tisoč znanstvenikov, strojnikov, gradbenikov in mnogih drugih, ki so stremeli k istemu cilju – boljšemu razumevanju sveta in vesolja.

Slika 1: Odkritje Higgsovega bozona je bilo razglašeno 4. julija 2012 v CERN. Na sliki je trenutna direktorica CERN, takratna vodja kolaboracije eksperimenta ATLAS. [1]

Kaj sploh je Higgsov bozon in zakaj je zanimiv?

V teoriji standardnega modela, ki trenutno najnatančneje opisuje pojave na lestvici osnovnih delcev, so polja ključnega pomena. Osnovni delci, kakršen je tudi Higgsov bozon, so vzbujena stanja teh polj. Vsaka vrsta delcev je vzbujeno stanje svojega polja. Tako je foton vzbujeno stanje elektromagnetnega polja, elektron vzbujeno stanje elektronskega polja, Higgsov bozon pa vzbujeno stanje Higgsovega polja.

Polja si lahko predstavljamo kot vodo, ki zaseda vso prostornino morja. Če gladino morja vzbudimo s kamenčkom, lahko nad gladino opazimo pljusk vode. Ta pljusk si lahko predstavljamo kot delce. Higgsov bozon je tako kot nekakšen pljusk, ki nastane, ko vzbudimo Higgsovo polje.

Tovrstna polja so prisotna povsod v vesolju in tako vplivajo tudi na svet okoli nas. Elektromagnetno polje tako povzroča elektromagnetno silo med nabitimi delci, posledica prisotnosti Higgsovega polja pa je masa delcev. Delci imajo tako različne mase zaradi različnega vpliva Higgsovega polja nanje. Elektroni so torej lahki, saj Higgsovo polje nanje nima močnega vpliva. Po drugi strani pa na primer Higgsovo polje mnogo močneje vpliva na mione, kar povzroči, da imajo ti višjo maso.

Higgsovo polje zapolnjuje prav vse kotičke vesolja: od središča Sonca do brezmejnega prostora med zvezdami. Noben delec snovi ne uide vplivu Higgsovega polja, zato v vesolju ne najdemo brezmasnih elektronov. Vesolje, kot ga poznamo, brez Higgsovega polja ne bi moglo obstajati. Brezmasni elektron ne bi bil vezan na atomsko jedro, torej vesolje ne bi bilo sestavljeno iz atomov. Poleg tega v odsotnosti Higgsovega polja ne bi bilo protonov, saj bi ti v trenutku razpadli v nevtrone. Nihče si ne zna zares predstavljati, kakšno bi bilo vesolje brez Higgsovega polja. Vsekakor pa galaksij, supernov, planetov in življenja ne bi bilo.

Dolgoletno raziskovanje, ki je vodilo k odkritju Higgsovega bozona, lahko pomaga učencem predstaviti tako fiziko delcev kot tudi naravo znanosti in znanstvenega raziskovanja. V tem članku bomo zato večje preskoke v raziskovanju Higgsovega bozona povezali z najpomembnejšimi vidiki narave znanosti ter s praktičnim eksperimentiranjem s škatlami skrivnosti. Upamo, da bomo z dodanimi tremi aktivnostmi za učence čim več učiteljev spodbudili, da vpeljejo tovrstne aktivnosti tudi v svoj razred.

Narava znanosti

Poznavanje narave znanosti je osnova znanstvene pismenosti [2]. Ravno zato so vidiki narave znanosti vključeni v učne načrte osnovnih in srednjih šol po vsem svetu kot del splošnih ciljev. Kljub temu pa učenci pogosto nimajo dobrega razumevanja narave znanosti [3]. Glede na to, da učni načrti in učbeniki principe narave znanosti vključujejo pomanjkljivo in pretežno implicitno [4, 5], pomanjkanje razumevanja niti ni presenetljivo. Navsezadnje raziskave kažejo, da je eksplicitno poučevanje ključno za uspešno usvajanje narave znanosti [6, 7].

Različni viri poročajo o različnih vidikih narave znanosti. V tem članku se osredotočamo zgolj na nekaj najpomembnejših, povzetih po [8], ki so opisani v naslednjih nekaj odstavkih.

Znanost je negotova. Znanost je zanesljiva in verodostojna, vendar nikoli gotova. Znanstvena dognanja se skozi čas spreminjajo na podlagi novih dognanj. Napredki v tehnologiji nam namreč omogočajo boljše in natančnejše meritve, medtem ko lahko z napredkom v teoriji drugače interpretiramo že obstoječe podatke.

Znanost je empirična. Znanstvena dognanja temeljijo na opazovanju naravnih pojavov. Pri tem za opazovanje štejemo tako opazovanje s človeškimi čutili (na primer s sluhom) kot tudi z merskimi instrumenti.

Znanost je vpeta v teorijo. Sodobna znanost redko izvira iz opazovanja naravnih pojavov. Pogosteje raziskave izvirajo iz teoretičnih predvidevanj. Pri tem znanstveniki na podlagi določene teorije ustvarijo napoved izida testnega eksperimenta, ki ga nato primerjajo z rezultati eksperimenta. Če se napoved in rezultat ujemata, se zaupanje v teorijo, ki jo testirajo, poveča.

Znanost je vpeta v družbo. Znanost odseva določeno družbeno in kulturno okolje. To okolje določa, v katero smer naj se znanost giblje, hkrati pa to povzroča določeno mero subjektivnosti. En sam znanstvenik lahko tako rezultate eksperimenta interpretira subjektivno. S številom znanstvenikov, ki se z določeno interpretacijo strinjajo, pa zaupanje v interpretacijo raste. Znanstvena stroka ima zato dobro definirane postopke, ki pomagajo znanost narediti objektivnejšo (na primer strokovne recenzije in znanstvene konference).

Znanstvena metoda ni samo ena. V znanosti ni samo enega recepta za uspeh. Včasih raziskave izvirajo iz teorije, včasih iz eksperimenta. Raziskava je lahko tudi sam napredek teorije. Kljub temu da so določeni principi raziskovanja vsem metodam skupni, tako ne moremo govoriti o eni in edini pravi znanstveni metodi.

Omenjene vidike narave znanosti lahko učencem in dijakom približamo na različne načine. Dva izmed teh načinov sta predstavljena v tem članku. Najprej si bomo pogledali dve aktivnosti s škatlami skrivnosti, nato pa še eno s pripovedovanjem zgodb (angl. *storytelling*).

Škatle skrivnosti

Škatle skrivnosti ali črne škatle so zaprte škatle z notranjo organizacijo, strukturo in obnašanjem, o katerih opazovalec nima informacij. Opazovalec ima le možnost vplivanja na sistem skozi vhodne kanale ter možnost za-

znavanja odzivov skoznje [9]. Ravno zato so škatle skrivnosti zelo dobro orodje za poučevanje konceptov narave znanosti [10–13]. Še bolje, uporabne so za zelo širok spekter starosti – vse od vrtca pa do srednje šole [14], marsikdo pa se iz njih kaj nauči tudi pozneje.

Aktivnosti, opisane v tem članku, uporabljajo škatle skrivnosti s skrito notranjo strukturo in jekleno kroglico, kot je prikazano na sliki 2. Ko škatlo premikamo, se kroglica kotali po notranjosti in zaletava v stene notranje strukture škatle. S pazljivim poslušanjem lahko na podlagi trkov s stenami določimo obliko te notranjosti. Material same žogice nam hkrati omogoča tudi zelo enostavno nadgradnjo eksperimenta, saj si lahko pri raziskovanju notranje strukture pomagamo tudi z magnetom. Velja pa omeniti, da lahko predstavljene aktivnosti izvajamo tudi s katero koli drugo obliko škatel skrivnosti, na primer s škatlo s skritim predmetom [15], s cevjo s poljubno prepletenimi vrvicami na sredini [16] ali celo s škatlo s skritim sistemom posod za vodo [17]. Vsem vrstam škatel skrivnosti je skupno to, da lahko učenci njihovo notranjo zgradbo opazujejo zgolj posredno, kar jih spodbudi, da se s serijo poskusov poskušajo čim bolj približati odgovoru.

Slika 2: Škatla skrivnosti s skrito notranjo strukturo in jekleno kroglico. Škatla je natisnjena s 3D-tiskalnikom. Navodila za to 3D-natisnjeno škatlo lahko najdete na https://scoollab.web.cern.ch/3d-printable-mystery-box. [18]

Aktivnost 1: Opazovanje škatel skrivnosti

Prva aktivnost je opazovalni eksperiment, ki je primeren tako za osnovnošolce kot tudi za srednješolce. S pomočjo te aktivnosti se učenci in učenke spoznajo s škatlami skrivnosti ter z načinom dela pri tovrstnih aktivnostih. Cilj te aktivnosti je učencem predstaviti, kako razviti znanstveni model.

Učenci so razdeljeni v manjše skupine (3–4 učenci na skupino). Vsaka skupina prejme velik bel list papirja in flomastre (še bolje je, če je list papirja plastificiran, da lahko skupina svoje delo enostavno popravlja). Učitelj za demonstracijo potrebuje eno večjo škatlo skrivnosti katerega koli tipa.

1. Demonstracija škatle skrivnosti

Učitelj predstavi škatlo skrivnosti tako, da lahko učenci z opazovanjem sklepajo o notranjosti škatle. V primeru zgoraj opisane škatle z notranjo strukturo učitelj škatlo obrača, da lahko učenci slišijo premikanje kroglice. Pri tem učitelj izpostavi, da ta del aktivnosti predstavlja empirično naravo znanosti. Znanstvene hipoteze najpogosteje izhajajo iz naših opazovanj, bodisi neposrednih (npr. zunanjost škatle je okrogla) bodisi posrednih (npr. notranjost škatle je v obliki trikotnika). Tako je tudi potreba po iskanju Higgsovega bozona delno prišla iz opazovanja. Čeprav je teorija narekovala brezmasne delce, so opazovanja pokazala, da delci maso vendarle imajo.

2. Ustvarjanje hipotez

V naslednjem koraku učenci individualno razmislijo, kaj bi lahko bilo v škatlah. Sploh pri mlajših učencih naj učitelj spodbuja čim bolj ustvarjalne ideje. Naj torej ne bo narobe, če učenci predlagajo skritega palčka v škatli ali zvočnik, ki predvaja zvok. Ustvarjalnost je namreč izjemno pomembna tudi v znanosti in tehnologiji. Ustvarjalno razmišljanje je namreč tudi Tima Berner-Leeja privedlo do iznajdbe svetovnega spleta. Njegova naloga v CERN je namreč bila znanstvenikom z vsega sveta zagotoviti lažji dostop do informacij. Verjetno pa si takrat nihče ni niti predstavljal, kako lahko takšna naloga popolnoma spremeni svet.

3. Iskanje znanstvenega soglasja

Učenci svoje ideje najprej predstavijo v svoji skupini, kjer se skupaj odločijo za model, ki se jim zdi najverjetnejši. Skupine nato svoje modele predstavijo še drugim skupinam. Pri tem je treba spodbujati kritično diskusijo o omejitvah predstavljenih modelov in mogočih izboljšavah.

Brout, Englert in Higgs so svoje teoretične modele o delovanju Higgsovega polja predstavili v več člankih, objavljenih v zelo pomembnih fizikalnih revijah. S temi objavami so svoje delo poslali več tisoč znanstvenikom, ki so njihovo delo ovrednotili na podlagi lastnih izkušenj in znanja. Soglasje znanstvenikov po vsem svetu je bilo osnova za nadaljevanje raziskovanja in gradnjo novih eksperimentov.

4. Znanstvena negotovost

Aktivnost sklenemo z vodeno diskusijo o znanstveni negotovosti. Pri tem učitelj spodbuja učence k razmišljanju o delih notranje strukture, ki jih ne moremo zaznati z opazovanjem tega tipa, na primer o barvi, okusu ali teksturi. V resnici brez odpiranja škatle ne moremo vedeti niti, ali je naše znanstveno soglasje res točno.

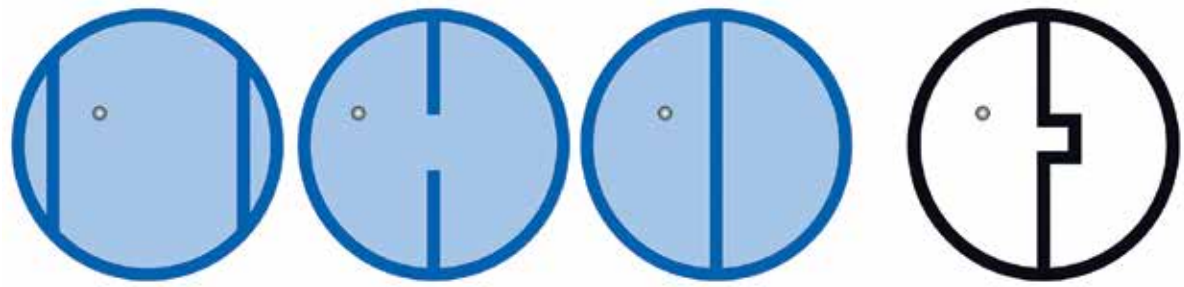
Znanstvena negotovost je eden izmed težje razumljivih vidikov znanosti. V znanosti se tako vedno pogovarjamo o verjetnostih. Odkritje Higgsovega bozona je, na primer, zaznamovala besedna zveza »5 sigma«. Ta besedna zveza je povezana z verjetnostjo, da je odkritje Higgsovega bozona zgolj naključje. Pri tej vrednosti je tako verjetnost, da je to odkritje zgolj naključje, le še 1 : 3,5 milijona. Z več meritvami se to razmerje še veča, vendar nikoli ne bomo dosegli popolne gotovosti. Ta princip je skupen vsem področjem znanosti, zato v znanosti ne govorimo o neoporečnih dejstvih.

Aktivnost 2: Testiranje modelov

Druga aktivnost je testni eksperiment, ki še dodatno izzove učence, da se spopadejo z ustvarjanjem hipotez in modelov. Ta aktivnost je primernejša za malce starejše učence, posebej tiste, ki že imajo izkušnje s prvo aktivnostjo, predstavljeno v tem članku. Učenci so znova razdeljeni v manjše skupine, vsaka skupina pa dobi svojo škatlo skrivnosti. Poleg tega znova dobijo pripomočke za zapisovanje svojih idej.

1. Teoretični modeli

Vsaka skupina skupaj s škatlo skrivnosti prejme tudi tri mogoče predloge, ki so ustvarjene na podlagi »teorije«. V primeru škatel z notranjo strukturo priporočamo, da ima poleg geometrijske zunanje oblike tudi skrito oviro, ki ni vnesena v nobeno izmed teoretičnih predlog (glej sliko 3). Učenci v skupinah škatle skrivnosti testirajo, da bi ugotovili, katera izmed teoretičnih predlog je pravilna.



Slika 3: (Levo) Tri oblike v modrem prikazujejo mogoče teoretične napovedi, ki jih prejmejo učenci. (Desno) Črno-bela oblika prikazuje mogočo notranjost škatle skrivnosti, ki se ne ujema z nobenim od levih predlogov.

Predvsem moderna znanost zelo pogosto izhaja iz teoretičnih napovedi. Tudi Higgsov bozon je bil teoretično napovedan kar 48 let, preden je bil prvič empirično zaznan.

2. Predlog za financiranje

Razlika med teoretičnimi napovedmi in opazovanjem kliče po novi raziskovalni opremi. Učencem je tako ponujena možnost, da zaprosijo za dodatno eksperimentalno opremo, na primer za magnet. V predlogu za financiranje morajo biti dobro opredeljeni problem, trenutna opazovanja ter načrt eksperimenta, ki bi ga izvedli s pomočjo nove eksperimentalne opreme. Ob tem naj učenci zapišejo tudi svoja predvidevanja o tem, kaj bodo našli z uporabo novega orodja.

Pisanje predlogov za financiranje je eden izmed osnovnih početij v znanosti. Strokovne komisije predloge proučijo in nato dodelijo financiranja raziskovalnim skupinam, katerih predlog je dovolj dodelan. Veliki eksperimenti, kot je veliki hadronski trkalnik, so popolnoma odvisni od dobre zasnove, saj le tako lahko pridobijo financiranje od držav članic in drugih institucij.

3. Prelomno odkritje

S pomočjo magneta učenci odkrijejo razliko med teorijo in eksperimentom. Učitelj ob tem spodbuja razmišljanje o tem, kaj to pomeni za predlagane teoretične modele. Pomembno je, da skozi diskusijo učenci ugotovijo, da novo odkritje nujno ne pomeni, da teoretični predlogi niso bili dobri. Nova znanstvena odkritja v resnici večinoma zgolj nadgrajujejo teorijo. Le redko nova odkritja teorijo popolnoma spremenijo.

Znanost je negotova. Do odkritja Brout-Englert-Higgsove mehanike ter Higgsovega polja v 60-ih letih prejšnjega stoletja je bila masa osnovna lastnost delcev. Odkritje Higgsovega bozona pa je dodatno potrdilo, da je masa delcev v resnici zgolj interakcija med delci in Higgsovim poljem. Jakost te interakcije določa, kako masiven je delec. Interakcija med delcem in Higgsovim poljem pa je še vedno povezana s samim delcem. Tako je masa še vedno osnovna lastnost, le njen izvor je z novim odkritjem bolj poznan.

4. Znanstvena konferenca

Vsaka skupina ustvari plakat na temo svojega raziskovanja. Plakat naj vsebuje vse potrebne elemente, vključno s teoretičnimi napovedmi, opisom eksperimenta, rezultati in predlogi za nadaljnje raziskovanje. Skupine imajo nato kratke, triminutne predstavitve plakatov, kjer lahko druge skupine njihova odkritja še dodatno kritično ovrednotijo.

Komuniciranje in skupinsko delo sta v znanosti ključnega pomena. Znanstveniki svoja odkritja redno objavljajo v okviru konferenc in znanstvenih revij. Pri tem jih drugi znanstveniki kritično ovrednotijo s strokovnimi recenzijami (angl. *peer review*) in predlagajo mogoče izboljšave. Tako je bilo odkritje Higgsovega bozona javno predstavljeno znanstveni skupnosti 4. julija 2012 v CERN, kjer sta dve skupini eksperimentalnih fizikov objavili svoje ugotovitve. Ker so njihove ugotovitve prepričale več tisoč znanstvenikov, zdaj temu pravimo znanstveno soglasje.

Na koncu naj učenci skupaj z učiteljem povzamejo vse vidike narave znanosti, ki so jih spoznali ob teh aktivnostih. Učitelj lahko na tem mestu poudari razliko med prvo in drugo aktivnostjo. Ravno razlika med tema aktivnostma je dober prikaz različnih znanstvenih metod, ki kljub razlikam vključujejo najpomembnejše vidike narave znanosti. Eksplicitna diskusija na to temo lahko učencem olajša prepoznavanja kakovostnih znanstvenih metod in lažjo kritično presojo znanstvenih dosežkov.

Pripovedovanje zgodb

Pripovedovanje zgodb učinkovito prenaša informacije, že odkar ljudje govorimo. Zato ni presenetljivo, da je eden izmed načinov poučevanja narave znanosti ravno pripovedovanje zgodb. Navsezadnje ravno z zgodovinskimi pregledi velikih odkritij na primeru iz dejanske znanosti podamo vse različne vidike narave znanosti. V tem članku si za zgodbo izbiramo odkritje Higgsovega bozona, seveda pa lahko učitelji za zgodbo izberejo tudi katero koli drugo odkritje na fizikalnem ali katerem koli drugem področju. V zgodbi, ki jo opisujemo spodaj, vidiki narave znanosti niso eksplicitno podani, saj je besedilo v obliki, ki jo učitelji pri tretji aktivnosti brez prilagajanja dajo analizirati učencem.

Aktivnost 3: Zgodba o odkritju Higgsovega bozona

Zadnja aktivnost je primerna predvsem za srednješolce, ki so že opravili prvi aktivnosti s škatlami skrivnosti. Pri tej aktivnosti učenci pregledajo zgodovinski oris odkritja Higgsovega bozona (spodaj) ter označijo primere različnih vidikov narave znanosti v besedilu. S to aktivnostjo učenci dodatno utrdijo svoje poznavanje narave znanosti ter se, upajmo, naučijo tudi česa iz fizike delcev, ki je učni načrt sicer ne vsebuje.

Odkrivanje Higgsovega bozona

Spodaj opisana zgodba je kratek povzetek zgodovinskega dogajanja, ki je pripeljalo do odkritja Higgsovega bozona [19].

Vprašanje, ki se verjetno poraja marsikomu, je, zakaj so znanstveniki potrebovali toliko časa, da so odkrili Higgsov bozon, če pa je njegovo polje povsod in je njegova vloga tako pomembna? Na to vprašanje ni enostavnega odgovora. Vlogo Higgsovega polja bi lahko primerjali z vlogo bakterij v ekosistemu. Nahajajo se povsod in njihova vloga je zelo pomembna, vendar smo šele z izumom mikroskopa dejansko prišli do razumevanja in kategorizacije bakterij. Podobno je bilo Higgsovo polje dolga leta prezrto, ker ni bilo na voljo eksperimenta, ki bi razkril obnašanje osnovnih delcev v njegovi odsotnosti. Vendar so fiziki delcev brez Higgsovega polja naleteli na veliko oviro. Vsi so si želeli opisati sile, ki delujejo med delci, a jim tega ni in ni uspelo zapisati v eni, bolj ali manj elegantni enačbi, čeprav so se temu zelo močno približali s kombinacijo različnih teoretičnih predpostavk. Tako se je rodil tako imenovani standardni model fizike delcev.

A ta na videz popolni opis fizike delcev vendarle ni bil popoln. Enačba, ki je nastala iz dolgoletnega sodelovanja, namreč ni veljala za delce z maso. To seveda ne bi bil problem, če delci v resnici ne bi imeli mase. Tako pa še predobro vemo, da delci maso imajo. Ta problem je leta 1964 vzporedno rešila množica fizikov (dva izmed njih sta na sliki 4): Peter Higgs z Univerze v Edinburgu, Rober Brout in François Englert s Svobodne Univerze v Bruslju ter Gerald Guralnik, Carl R. Hagen in Tom Kibble z univerze Imperial College v Londonu. Omenjene skupine raziskovalcev takrat niso vedele druga za drugo, vendar so vsi prišli na podobno zamisel – kaj, če je vesolje zapolnjeno s posebnim poljem, ki na delce vpliva tako, da dobijo maso? Če polje vpliva na delce bolj, dobijo več mase, če pa nanje vpliva manj, je njihova masa manjša.

Slika 4: Peter Higgs in François Englert po razglasitvi odkritja Higgsovega bozona v CERN. [20]

Ideja se je prej omenjenim znanstvenikom porodila popolnoma naključno. Fiziki, ki proučujejo trdno snov, so za razlago superprevodnosti vključili pojav tako imenovanega spontanega zloma simetrije. Ta zlom simetrije je spodbudil val idej in nastal je mehanizem, ki ga danes poznamo kot Brout-Englert-Higgsov (BEH) mehanizem, ter s tem razlaga za Brout-Englert-Higgsovo (oziroma na kratko Higgsovo) polje.

Čeprav je ideja o BEH-mehanizmu požela veliko navdušenja med fiziki, pa je bila vseeno zgolj še ideja – nepreverjena hipoteza, ki je v tistem času ni bilo mogoče niti eksperimentalno testirati. Polje je namreč izjemno težko zaznati. Na srečo je imel Peter Higgs dobro idejo. Kadar pravilno vzbudimo katero drugo polje, lahko zaznamo polju lasten delec. Pri vzbujanju elektromagnetnega polja tako dobimo foton. Če torej Higgsovo polje dovolj močno vzbudimo, bomo morda zaznali delec, ki mu danes rečemo Higgsov bozon.

A žal to še ni rešilo vseh težav. Še vedno namreč nihče ni vedel, kako močno je to polje treba vzbuditi. Edino, kar so vedeli, je, da bo za testiranje te teorije potreben ogromen, izjemno kompleksen ter neverjetno drag eksperiment – vsekakor prevelik zalogaj za eno samo raziskovalno institucijo ali celo za eno samo državo. Tukaj v igro stopi CERN, mednarodna organizacija za raziskave na področju fizike delcev, ki združuje več deset držav, več sto ustanov in več tisoč strokovnjakov iz mnogih različnih področij. Po dolgih pogajanjih in pridobivanju financiranja so v CERN tako zgradili danes še vedno največji in najkompleksnejši eksperiment na svetu, veliki hadronski trkalnik (LHC, slika 5). Ta 27 kilometrov dolgi obroč, ki leži v povprečju sto metrov pod zemljo, pospešuje protone na skoraj svetlobno hitrost. Izjemno hitri protoni nato trčijo v izjemno velikih detektorjih delcev, kar včasih ravno dovolj vzbudi Higgsovo polje, da nastane Higgsov bozon.

Slika 5: Veliki hadronski trkalnik v CERN. Na sliki so tunel, ki leži sto metrov pod zemljo, in veliki superprevodni magneti, ki usmerjajo žarke protonov. [21]

Higgsovega bozona pa žal ne moremo zaznati s prostimi očmi niti ga ne moremo slišati. Pravzaprav je tako nestabilen, da ga niti ne bi imeli časa zaznati, saj se izjemno hitro transformira v druge, stabilnejše delce. V detektorjih v CERN tako zaznavajo zgolj te dalj časa živeče delce, na podlagi katerih potem sklepamo o obstoju samega Higgsovega bozona.

Žal pa ti delci nastajajo tudi zaradi drugih razlogov. Higgsov bozon namreč ni edini delec, ki se še pred detektorjem transformira v druge delce. Pri identifikaciji delcev, ki so se transformirali še pred samo detekcijo, si tako fiziki pomagajo s teorijo. Ena izmed teoretičnih napovedi tako pravi, da se Higgsov bozon sorazmerno pogosto transformira v dva fotona, kot vidimo na sliki 6. Vse, kar torej potrebujemo za identifikacijo Higgsovega bozona, je identifikacija takšnega para fotonov. Seveda pa znova ne gre vse tako gladko. Tudi mnogi drugi delci iz ozadja se namreč transformirajo v fotone.

Slika 6: Vizualizacija trka dveh protonov v detektorju CMS, pri katerem nastaneta dva visokoenergijska fotona, prikazana z zeleno barvo. Slika bi lahko prikazovala delce, ki so nastali po transformaciji Higgsovega bozona, vendar tega ne moremo vedeti brez statistične analize. [22]

Postavlja pa se vprašanje – kdaj lahko fiziki rečejo, da je nek signal res posledica transformacije Higgsovega bozona in ne zgolj drugih transformacij iz ozadja? Tukaj si pomagamo s statističnimi orodji. Če izmerjeni podatki močno odstopajo od tega, kar bi sicer pričakovali od ozadja samega, lahko z določeno verjetnostjo trdimo, da ti podatki nakazujejo obstoj nekega (novega) delca. V znanosti je pogosto meja, nad katero lahko kaj takšnega trdimo, postavljena na tako imenovan »5 sigma«. Ta meja nam pove, kdaj je verjetnost, da smo nekaj izmerili popolnoma naključno, manjša od 1 : 3,5 milijona. To magično mejo sta eksperimenta ATLAS in CMS v CERN presegla 4. julija 2012 (oziroma nekaj dni prej), ko so v glavnem avditoriju v CERN razglasili odkritje Higgsovega bozona.

Pod znanstvena članka, ki sta v svet ponesla vse podrobnosti o odkritju Higgsovega bozona, se je podpisalo več tisoč znanstvenikov, znanstvenic, inženirjev, inženirk in preostalih strokovnjakov, ki so aktivno pripomogli k temu odkritju. Le leto pozneje pa je to odkritje prineslo Nobelovo nagrado tudi prvotnima avtorjema teorije Higgsovega polja, Petru Higgsu in Françoisu Englertu.

Zgodbe pa še ni konec. Kot pravi Giacinto Piacquadio, eden od vodij Higgsove skupine pri eksperimentu ATLAS, »ko odkriješ nekaj novega, moraš natančno razumeti, kaj je to, kar si odkril«. Čeprav je od odkritja delca minilo že deset let, nam lahko nadaljnje raziskovanje posredno daje namige za odkrivanje tako imenovane »nove fizike«, torej fizikalnih procesov ali delcev, ki jih do zdaj še ne poznamo. Kolaboraciji ATLAS in CMS tako iščeta »nevidne razpade« Higgsovega delca, pri katerih se ta transformira v delce, ki jih detektorji ne morejo zaznati. Ti nevidni delci bi lahko bili gradniki temne snovi. Prav tako bi lahko natančne meritve interakcij Higgsovega bozona s samim sabo in z drugimi delci, ki bi odstopale od teoretičnih napovedi, lahko namigovale na obstoj dodatnih Higgsovih bozonov. S tem bi morda celo podale odgovor na eno izmed temeljnih vprašanj fizike osnovnih delcev: zakaj so osnovni delci razporejeni v točno tri generacije s tako različnimi masami? Pri omenjenih raziskavah v okviru kolaboracije ATLAS sodeluje tudi skupina slovenskih znanstvenikov z odseka za eksperimentalno fiziko osnovnih delcev Instituta Jožef Stefan in morda, čez nekaj let, tudi kdo izmed vas.

Zaključek

Razumevanje narave znanosti je ključnega pomena za razumevanje znanosti, vendar tega večina učnih načrtov ne vključuje na primeren način. V tem članku smo predstavili tri aktivnosti, s pomočjo katerih lahko učitelji bolje vključijo naravo znanosti v svoje učne ure. Aktivnosti, ki smo jih predstavili, so lahko prilagojene učencem v osnovnih in srednjih šolah z različnim predznanjem. Pri prvih dveh aktivnostih smo uporabili škatle skrivnosti s skrito notranjo strukturo, ki jih učitelji brez težav zamenjajo za katero koli drugo vrsto škatel skrivnosti. Ti aktivnosti prav tako nista omejeni na pouk fizike, brez težav ju lahko uporabimo tudi pri drugih predmetih (na primer naravoslovje ali kemija). Zadnja aktivnost je malce kompleksnejša in potrebuje določeno predznanje o različnih vidikih narave znanosti. Ravno tako je kontekst fizike delcev kompleksnejši in zato primernejši za starejše dijake. Seveda pa lahko kontekst in primere v vseh treh aktivnostih enostavno zamenjamo za kateri koli drug sodobni raziskovalni projekt, vse od gravitacijskih valov, razvoja cepiv do globalnega segrevanja. Učitelji, ki bi si želeli dodatne popestritve aktivnosti, pa lahko k sodelovanju povabijo tudi kakšnega znanstvenika, ki lahko iz prve roke razpravlja o znanstvenih metodah in naravi znanosti. V vsakem primeru pa naj se diskusija konča na pozitivno noto: znanost ni gotova. Prihodnost se bo gotovo še marsikako spremenila – in morda bo kdo izmed tistih, ki jo spremeni, ravno eden izmed vaših učencev.

Viri in literatura

[1] http://cds.cern.ch/record/1459503 (April, 2022)

[2] Holbrook, J., in Rannikmae, M. (2007). The nature of science education for enhancing scientific literacy. *International Journal of science education, 29*(11), 1347–1362.

[3] Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S.K. Abell & N. G. Lederman (ur.), Handbook of research on science education (831–880). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

[4] Abd-El-Khalick, F. (2012). „Examining the sources for our understandings about science: Enduring conflations and critical issues in research on nature of science in science education." *International journal of science education 34*(3): 353–374.

[5] Park, W., Yang, S., in Song, J. (2019). When modern physics meets nature of science. *Science & Education, 28*(9), 1055–1083.

[6] Abd-El-Khalick, F., in Lederman, N. G. (2000). The influence of history of science courses on students' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching, 37*(10), 1057–1095.

[7] Lederman, N. G. (2006). Syntax of nature of science within inquiry and science instruction. V L. B. Flick in N. G. Lederman (ur.), *Scientific inquiry and nature of science* (301–317). Dordrecht: Springer.

[8] Abd-El-Khalick, F. (2012). „Examining the sources for our understandings about science: Enduring conflations and critical issues in research on nature of science in science education." *International journal of science education 34*(3): 353–374.

[9] Cápay, M., in Magdin, M. (2013). Tasks for Teaching Scientific Approach Using the Black Box Method. Proceedings of the European Conference on e-Learning, ECEL.

[10] Lederman, N., in Abd-El-Khalick, F. (2002). Avoiding De-Natured Science: Activities that Promote Understandings of the Nature of Science, The Nature of Science in Science Education.

[11] Passmore, C. M., in Svoboda, J. (2012). Exploring Opportunities for Argumentation in Modelling Classrooms, *International Journal of Science Education, 34*(10), 1535–1554.

[12] Pralavorio, C., Saison-Marsollier, S., Petit, S., Dubois, L., Gaumer, O. (2018). Dans la peau des scientifiques, 8th edition, http://voisins.cern/sites/default/files/Livret_Dans%20la%20peau%20de%20scientifiques_VERSION%20FINALE%202018-2019.pdf

[13] Science Museum Group (2012). Mystery Boxes, https://learning.sciencemuseumgroup.org.uk/wp-content/uploads/2020/04/SMG-Academy-Mystery-Boxes.pdf, https://www.youtube.com/watch?v=hud8SPCcfu0.

[14] Lederman, J., Bartels, S., Lederman, N. in Gnanakkan, D. (2014). Demystifying Nature of Science. *Science & Children*, 52, 40–45.

[15] Douglas, L. (2014). Inquire Within: Implementing Inquiry- and Argument-Based Science Standards in Grades 3-8. Third Edition. Corwin Press. ISBN: 1452299285.

[16] Miller, S. (2014). Modeling the Nature of Science with the Mystery Tube. *The Physics Teacher,* 52, 548.

[17] Krell M., in Hergert S. (2019). The Black Box Approach: Analyzing Modeling Strategies. V: Upmeier zu Belzen A., Krüger D., van Driel J. (ur.) Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education. *Models and Modeling in Science Education, 12*. Springer, Cham.

[18] https://scoollab.web.cern.ch/3d-printable-mystery-box (April, 2022)

[19] Castillo, L. (2014). The Search and Discovery of the Higgs Boson. Institute of Physics. https://iopscience-iop-org.ezproxy.cern.ch/book/978-1-6817-4078-2

[20] https://cds.cern.ch/record/1459634/ (April, 2022)

[21] https://cds.cern.ch/record/2673004 (April, 2022)

[22] https://cds.cern.ch/record/2736135 (April, 2022)

Videoanaliza športnega dogodka

Klemen Leban
Osnovna šola Frana Erjavca Nova Gorica

Izvleček

V prispevku je predstavljena eksperimentalna metoda videoanalize športnega dogodka z uporabo spletne strani YouTube. Cilj videoanalize gibanja je, da učenci na primeru iz resničnega življenja spoznajo fizikalne količine čas, pot, hitrost in pospešek ter njihovo medsebojno odvisnost. Na konkretnem primeru teka nogometaša so opisani postopek zajemanja podatkov o času in razdalji, izračun hitrosti in pospeška ter risanje grafov $s(t)$, $v(t)$ in $a(t)$.

Ključne besede: športni dogodek, videoanaliza gibanja, YouTube

Video Analysis of Sport Event

Abstract

This article describes the experimental method Sport Video Analysis, which makes use of YouTube. The aim of the video motion analysis is to acquaint learners with the physical quantities of time, distance, velocity, acceleration, and their interdependence, by means of a real-life example. The running of a soccer player is used as a concrete example to describe the process of capturing time and distance data, calculating velocity and acceleration from the recorded data, and drawing graphs of $s(t)$, $v(t)$ and $a(t)$.

Keywords: sport event, video motion analysis, YouTube.

Uvod

Učenci se z neenakomernim gibanjem prvič srečajo v devetem razredu osnovne šole. Koncepte spreminjanja hitrosti, pospeška, pojemka in prepotovane poti pri neenakomernem gibanju si marsikateri učenec težko plastično predstavlja. Zato je z didaktičnega stališča zelo priročna videoanaliza športnega dogodka z uporabo spletne strani YouTube.

Prednost videoanalize športnega dogodka, objavljenega na spletu, je v tem, da je ves praktični del izvedbe poizkusa že opravljen in posnet, treba je le še zajeti fizikalne podatke. Poleg tega pa so učenci bolj motivirani za reševanje fizikalnega problema, ki se pojavi pri njihovem izbranem hobiju – športu.

Za izvedbo videoanalize nekajsekundnega videa učenci potrebujejo približno eno pedagoško uro, pri tem pa pokrijemo praktično vse cilje pospešenega gibanja. Z nadaljnjo obdelavo podatkov lahko obravnavamo tudi cilje, ki so zajeti v sklopih II. Newtonov zakon ter Delo in energija.

Primer

Veliko učencev se v prostem času ukvarja s športom ali pa spremlja športne dogodke. Praktično vsi pa dnevno uporabljajo spletno stran YouTube.

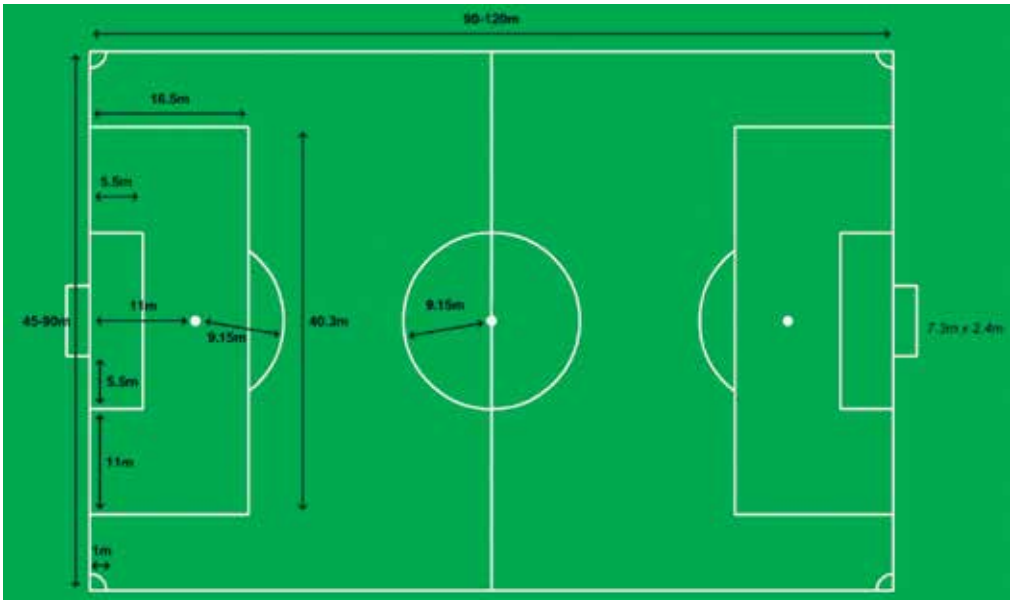
Vsak športni dogodek lahko analiziramo z uporabo YouTuba, potrebujemo le referenčno razdaljo na videoposnetku (igrišču), čas pa je nazorno predstavljen že v samem videopredvajalniku.

Postopek zajemanja podatkov o času in razdalji

Učencem sem predstavil primer nogometne videoanalize, natančneje primer videoanalize gola, ki ga je na svetovnem prvenstvu v Braziliji leta 2014 v finalu med Nemčijo in Argentino dosegel nogometaš Mario Götze.

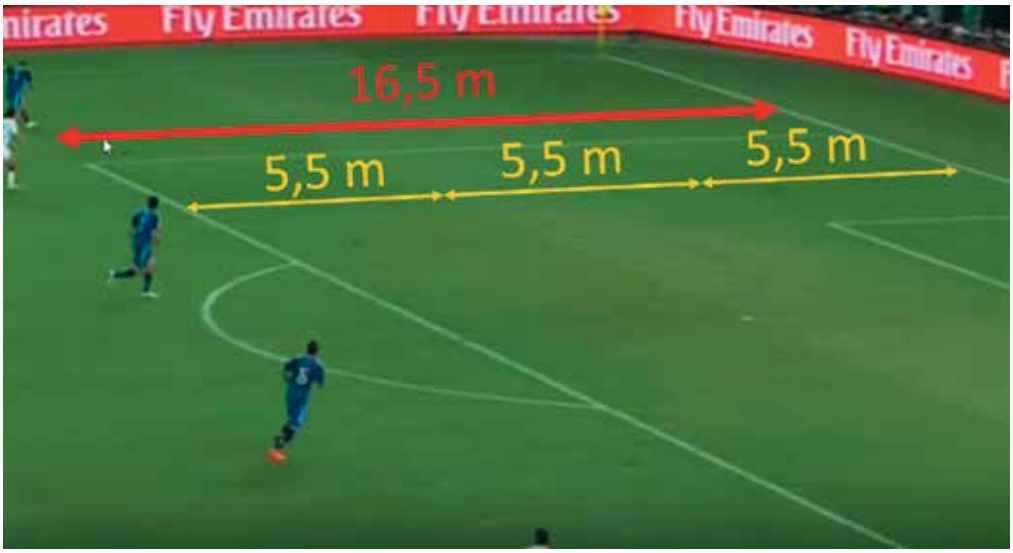
Razlaga primera

1. **Določanje opravljene poti.**
   Vsak kazenski prostor je od gola oddaljen 16,5 m.



Slika 1: Tlorisni prikaz kazenskega prostora z referenčnimi razdaljami

Ker so v kazenskem prostoru dolžine 16,5 m trije enaki odseki pokošene trave, je vsak odsek širok 5,5 m.

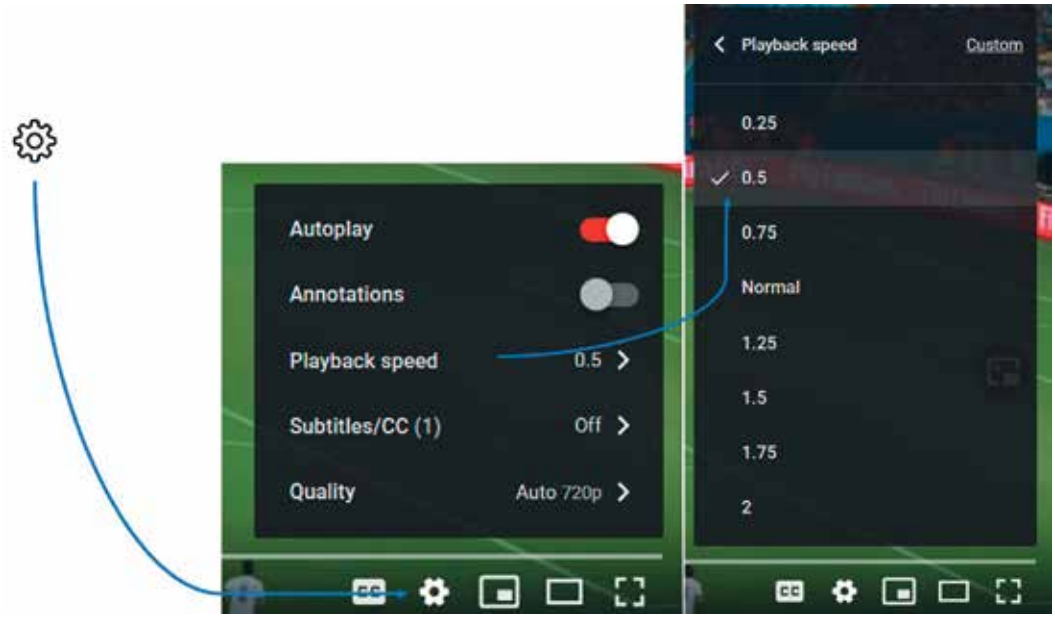


Slika 2: Dolžina kazenskega prostora, označena na videoposnetku

To nam omogoča, da z videoposnetka sorazmerno natančno razbiramo razdalje, ki jih preteče nogometaš.

2. Odčitavanje časa.

Za lažje razbiranje razdalj videoposnetek upočasnimo s klikom na nastavitveni koleščk.



Slika 3: Hitrost predvajanja videoposnetka prilagodimo v nastavitvah.

Med napadom spremljamo tek nogometaša, označenega z rumeno, in si zapišemo ocenjeno razdaljo, ki jo preteče v vsaki sekundi.

Slika 4: Položaj nogometaša na začetku beleženja njegovega gibanja

Slika 5: Položaj nogometaša po prvi sekundi beleženja njegovega gibanja

Slika 6: Položaj nogometaša po drugi sekundi beleženja njegovega gibanja

Slika 7: Položaj nogometaša po tretji sekundi beleženja njegovega gibanja

Slika 8: Položaj nogometaša po četrti sekundi beleženja njegovega gibanja

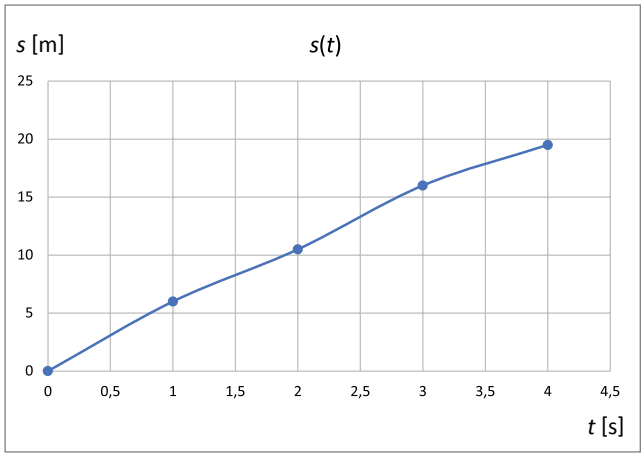
3. Računanje hitrosti in pospeška

Iz zabeleženih podatkov izračunamo hitrost, pospešek in pojemek ter jih predstavimo z ustreznimi grafi. Naj pripomnim, da sem jih za razlago narisal v Excelu, učenci pa so imeli navodilo, naj grafe narišejo prostoročno v zvezek. Tudi tabelo so narisali na roke in potem vsak podatek preračunali s kalkulatorjem.

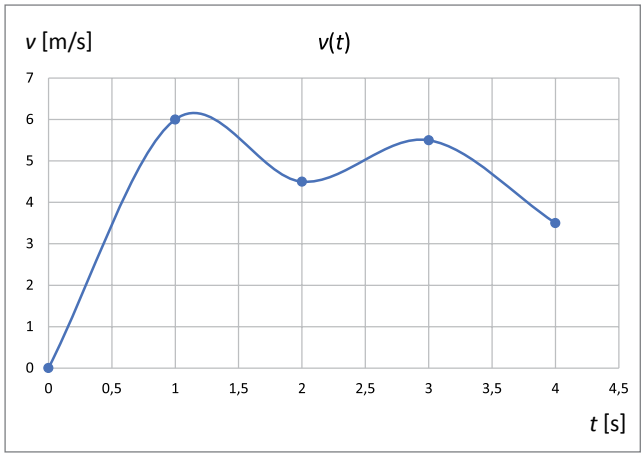
$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Tabela 1: Tabela poti, hitrosti in pospeškov

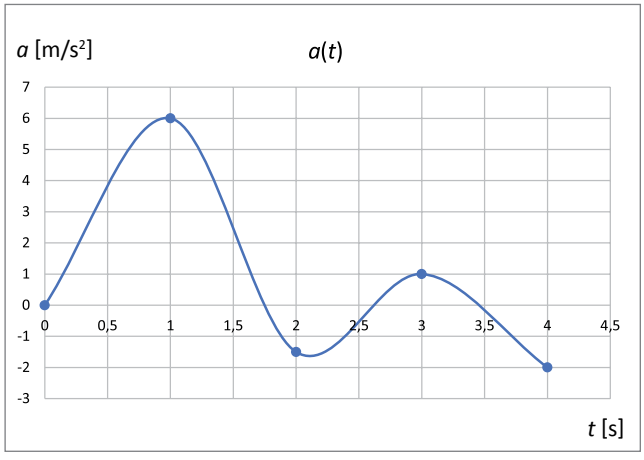
t [s]	Δt [s]	s [m]	Δs [m]	v [m/s]	Δv [m/s]	a [m/s^2]
0	0	0	0	0	0	0
	1		6	6		
1		6			6	6
	1		4,5	4,5		
2		10,5			-1,5	-1,5
	1		5,5	5,5		
3		16			1	1
	1		3,5	3,5		
4		19,5			-2	-2



Slika 9: Graf poti v odvisnosti od časa $s(t)$



Slika 10: Graf hitrosti v odvisnosti od časa $v(t)$



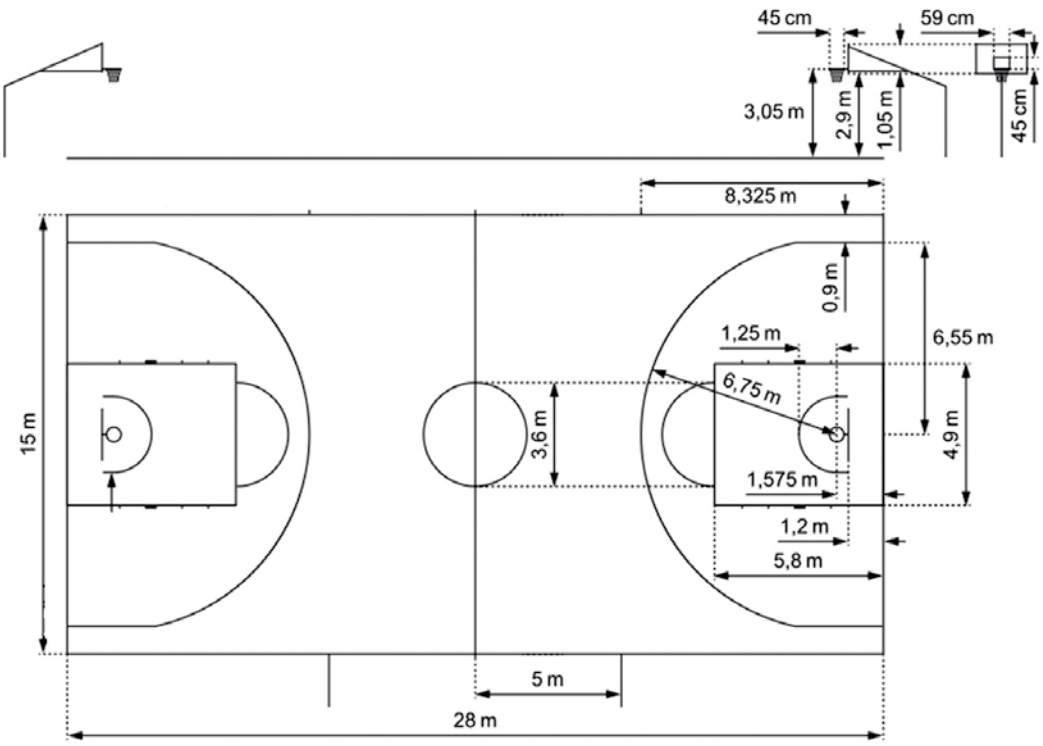
Slika 11: Graf pospeška v odvisnosti od časa $a(t)$

Uporaba videoanalize športnega dogodka pri drugih športih

Učenci so vsak svoj šport samostojno videoanalizirali, saj je bilo gradivo namenjeno delu na daljavo.

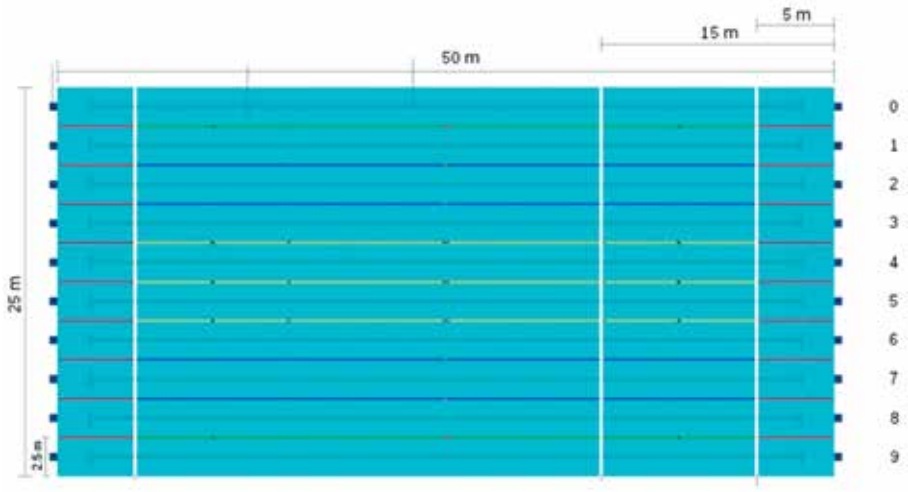
Tudi druge športne dogodke, kot so košarka, rokomet, plavanje, športno jahanje itd., lahko videoanaliziramo prek YouTuba, pomembno je samo to, da znamo razbirati referenčne razdalje v okolici. Referenčne razdalje pri dvoranskih športih so vedno lahko črte na igrišču, katerih dolžine so javno dostopni podatki.

Za referenčno razdaljo na primer lahko uporabijo blazine na steni, če vedo, kako široke so. Pri konjeniškem športu za referenčno razdaljo lahko uporabijo ograjo, če vedo, kako dolg je posamezen del ograje, in če se konj premika ob ograji. Pri plavanju za referenčne razdalje lahko uporabijo položaj vrvic s trakovi ob bazenu.



Slika 12: Košarkarsko igrišče z referenčnimi merami

Slika 13: Ograja kot referenčna razdalja



Slika 14: Tloris olimpijskega bazena z referenčnimi razdaljami

Zaključek

Metoda videoanalize športnega dogodka je zelo praktičen didaktični pripomoček, ki z uporabo YouTuba za osnovnošolce ni prezahteven. Zbiranje podatkov o času gibanja športnika je po zgoraj opisani metodi preprosto, še najtežje je na videoposnetku poiskati ustrezno referenčno razdaljo.

Sam se močno nagibam k temu, da bi se pouk fizike v osnovni šoli izvajal čim bolj praktično, pri čemer bi bili učenci samostojno aktivirani. Če učenci standarde znanja dosegajo z vključevanjem znanja fizike v področja svojih interesov, je pridobljeno znanje po mojem mnenju trajnejše in bolj osmišljeno.

Viri in literatura

[1] https://www.youtube.com/watch?v=1QJ6P8Yxil4 (6. 4. 2022)
[2] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Basketball_-_FIBA_-_field_diagram_-de.svg
[3] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arlington_Park_BTS-2247_-_40944730383.jpg
[4] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Swimming_pool_50m_2008.svg

Dvigovanje uteži s segrevanjem idealnega plina

doc. dr. Andreja Šarlah
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko

Izvleček

Obravnava lastnosti plinov in poskusi z njimi so prisotni po celotni izobraževalni vertikali, vendar izkušnje kažejo, da se tudi med študenti fizike še pojavljajo težave pri razumevanju procesov z idealnim plinom. Dijaki in študenti, ki niso imeli priložnosti, da bi si ustvarili dobro miselno sliko o spremembi plina pri konstantnem tlaku, le-to težje prepoznajo že v vzorčnem poskusu. Zamisel o spremembi plina pri konstantni prostornini je lažje predstavljiva, vendar lahko v novi situaciji, ki zahteva povezanost znanja z drugih področij, postane težji kognitivni izziv. V članku predstavljamo nalogo, ki združuje znano realizacijo spremembe pri konstantnem tlaku in spremembo pri konstantni prostornini v netipični izvedbi. Dijake spodbuja h gradnji koherentnega znanja, učitelju pa daje informacije o doseganju različnih ravni razumevanja obravnavane snovi.

Ključne besede: idealni plin, izo spremembe, upodobitve

Weight Lifting by Heating Ideal Gas

Abstract

The properties of gases and the related experiments are a standard topic at all levels of education. However, experience suggests that even physics major students show deficit in understanding them. Students who have not created a good mental image of the heating of a gas at constant pressure also find it difficult to visualise the process during a model experiment. It is easier for students to visualise the constant volume process. Nevertheless, if a new context for a correct visualisation is provided, a coherent understanding is needed, and the problem requires a higher cognitive load. We present a problem which combines a well-known isobaric experiment and an isochoric process in an atypical set-up. The task stimulates the students to build more coherent knowledge and provides the teacher with the information on the achieved level of understanding.

Keywords: ideal gas model, iso processes, representations.

1 Uvod

Že kurikulum za vrtce predvideva raziskovanje plinov in njihovih lastnosti [1]. Poskusi s plini, predvsem obravnava lastnosti zraka, ne le z vidika njegovega pomena za življenje, so nato stalnica tudi v osnovnošolskem izobraževanju [2]. V zadnji triadi osnovne šole učenci pri pouku kemije in fizike kvalitativno spoznajo delčno zgradbo snovi, povezavo med temperaturo in gibanjem delcev snovi, v okviru izbirnih vsebin pa lahko tudi že medsebojno odvisnost tlaka, temperature in prostornine plina. V srednješolskem izobraževanju sledi kvantitativna nadgradnja obravnave plinov v okviru modela idealnega plina (v nadaljevanju idealni plin), ponovno tako pri pouku kemije kot pri pouku fizike [3]. Idealni plin je prav tako ena od standardnih tem v uvodnih fizikalnih predmetih na univerzitetni ravni. Pomemben je tako kot model, ki dobro opiše realne pline, kot tudi kot primer, na katerem lahko uvedemo in obravnavamo koncepte in zakone termodinamike. Pri poznejših specialističnih predmetih se predvidevata poznavanje in razumevanje sprememb idealnega plina, a izkušnje kažejo, da imajo številni študenti s tem težave.

Že kurikulum za vrtce predvideva raziskovanje plinov in njihovih lastnosti.

Stanje plinov in spremembe opisujemo na makroskopski ravni, za razumevanje pojavov pa je ključen tudi pogled na mikroskopski ravni. Dijakom povezava razmišljanja na mikro- in makroravni pogosto povzroča težave in jo dojemajo kot (preveč) abstraktno [4, 5]. Vendar težave dijakov pri razumevanju procesov z idealnim plinom niso vezane le na povezavo razmišljanja na več ravneh. Na makroskopski ravni opišemo stanje plina z njegovo množino in vrsto ter s termodinamičnimi spremenljivkami, tlakom, temperaturo in prostornino. Zaradi velikega števila spremenljivk je tudi sama obravnava na makroskopski ravni številnim dijakom in študentom precejšen izziv. Izkušnje pa tudi študije kažejo, da se dijaki in študenti z večjim številom spremenljivk spoprijemajo tako, da bodisi nekaterih od njih ne upoštevajo, različne spremenljivke združijo v eno ali pa procese nezavedno razdelijo v zaporedje procesov, ki omogoča obravnavo manjšega števila spremenljivk hkrati [6].

Pri obravnavi idealnega plina posvetimo posebno pozornost spremembam, pri katerih je ena od termodinamičnih spremenljivk konstantna. Vsem takim spremembam skupaj recimo *izo spremembe*. Z obravnavo izo sprememb po eni strani dijaki spoznajo zgodovinski razvoj znanja o plinih, po drugi strani pa je obravnava izo sprememb plina smiselna tudi z didaktičnega vidika. Pri izo spremembah namreč ostaneta le dve spremenljivki, odvisna in neodvisna, kot na primer v primerih iz mehanike, ki so dijakom že domači.

Pri obravnavi idealnega plina posvetimo posebno pozornost spremembam, pri katerih je ena od termodinamičnih spremenljivk konstantna.

Študentom pri predmetu Didaktika fizike 1, ki ga obiskujejo študenti tretjega letnika izobraževalne smeri na Oddelku za fiziko Fakultete za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani in kot izbirni predmet tudi nekateri drugi študenti fizike, smo dali v reševanje nalogo, s katero smo želeli preveriti način reševanja in vpliv načina na uspešnost reševanja. Rezultati so nas spodbudili, da smo v reševanje naloge vključili še študente prvega letnika fizike, učitelje fizike, ki so se udeležili delavnice v okviru programa Stalnega strokovnega spopolnjevanja za učitelje fizike [7], ki ga organiziramo na UL FMF, in manjši vzorec dijakov drugega in četrtega letnika ene od gimnazij z višjim vstopnim pragom.

Študente smo prosili, da so poleg same rešitve naloge zapisali tudi svoj način razmišljanja ter morebitne težave in neuspele poskuse, z nekaterimi smo naknadno opravili tudi intervjuje. Učitelji fizike so nalogo reševali v majhnih skupinah, tako da smo njihovo delo in razmisleke lahko sproti spremljali. Na podlagi rezultatov, ki smo jih dobili pri študentih prvega letnika, in diskusije z učitelji fizike smo za dijake naredili dodatno, lažjo različico naloge. Ta sicer ne preverja vseh učnih ciljev, ki jih preverja izvirna naloga, vendar omogoča, da nalogo uspešno rešijo tudi dijaki, ki bi napačno rešili prvi del naloge. Dijaki drugega letnika gimnazije so bili razdeljeni v dve skupini – dijaki iz prve skupine so dobili v reševanje izvirno različico naloge, dijaki iz druge pa spremenjeno različico. Dijaki četrtega letnika so bili gimnazijci, ki so fiziko izbrali kot maturitetni predmet. Reševali so izvirno različico naloge. Vsi dijaki in študenti so nalogo reševali kmalu za tem, ko so končali obravnavo termodinamike.

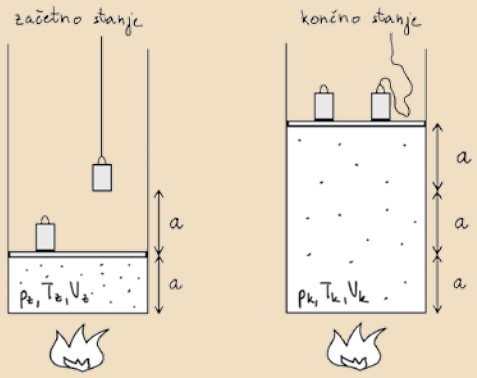
V nadaljevanju predstavljamo nalogo ter kvalitativno analizo rešitev. V analizi se predvsem posvetimo pravilnosti rešitev oziroma tipičnim napakam, ki smo jih opazili, predstavimo nekatere vzroke zanje in predlagamo, kako lahko učitelj pomaga dijakom s težavami, da izboljšajo razumevanje.

2 Predstavitev naloge

Prva različica naloge (izvirna, prvi delovni list)

Dvigovanje uteži s segrevanjem idealnega plina

V valju, ki ga zapira pomični bat, imamo idealni plin (glejte sliko, začetno stanje). Na batu je utež. Trenje med batom in steno valja je zanemarljivo. Nad batom je obešena druga enaka utež, kot kaže slika. Pod valj postavimo gorilnik. Po določenem času opazimo, da se je bat dvignil (glejte sliko, končno stanje).



a) Narišite graf $p(V)$ za plin v valju med začetnim in končnim stanjem. Navedite morebitne predpostavke, ki ste jih sprejeli.

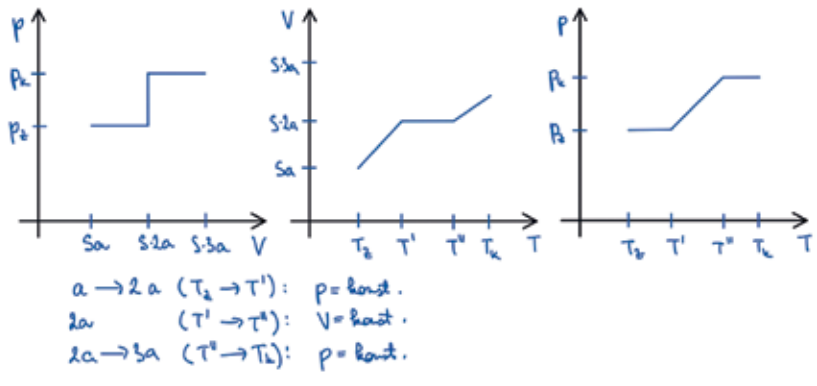
b) Narišite še pripadajoča grafa $V(T)$ in $p(T)$ in za isto spremembo kot v a). Navedite morebitne predpostavke, ki ste jih sprejeli.

Predvidena predznanja, ki naj jih ima dijak oziroma študent, da bo uspešno rešil nalogo, vključujejo splošne lastnosti in spremembe idealnega plina, sile, predvsem tudi silo tlaka, ravnovesje sil ter predstavitev termodinamičnih sprememb plina na diagramu $p(V)$.

Zaradi pomičnega bata (z utežjo) se plin pri segrevanju razpenja pri konstantnem tlaku.

2. 1 Rešitev naloge

Zaradi pomičnega bata (z utežjo) se plin pri segrevanju razpenja pri konstantnem tlaku. Ko bat doseže višino in s tem drugo utež, se ob nadaljnjem segrevanju ne razpenja. Pri konstantni prostornini se mu povečuje tlak, s čimer postopoma prevzema težo druge uteži. Ko je tlak plina dovolj velik, da prevzame vso težo dodatne uteži (vrvica, na kateri je visela druga utež, ni več napeta), bat s premikanjem vzdržuje ta novi tlak. Plin se ponovno razpenja pri konstantnem tlaku, zdaj višjem od začetnega. Spremembo na diagramih $p(V)$, $V(T)$ in $p(T)$ kaže slika 1. Na diagramih so označene vrednosti termodinamičnih spremenljivk v značilnih delih spremembe. Pri tem smo poleg podane predpostavke, da bat drsi brez trenja, privzeli še, da ima vrvica zanemarljivo maso in je nerazteglјiva. Če se reševanja naloge lotimo (tudi) računsko, sta pričakovani predpostavki še, da je zanemarljiva tudi masa bata in da je zunaj posode bodisi vakuum bodisi zrak pri normalnem zračnem tlaku.



Slika 1: Rešitev naloge predstavljajo upodobitve spremembe plina na treh diagramih parov termodinamičnih spremenljivk. Bralcu prepuščamo premislek, kako je z nakloni premic na diagramih $V(T)$ in $p(T)$.

3 Analiza rešitev

3.1 Splošni podatki

Prvo oz. izvirno različico naloge, prvi delovni list, je reševalo 25 študentov UL FMF, ki so obiskovali predmet Didaktika fizike 1 (DIDF1), 42 študentov prvega letnika fizike na UL

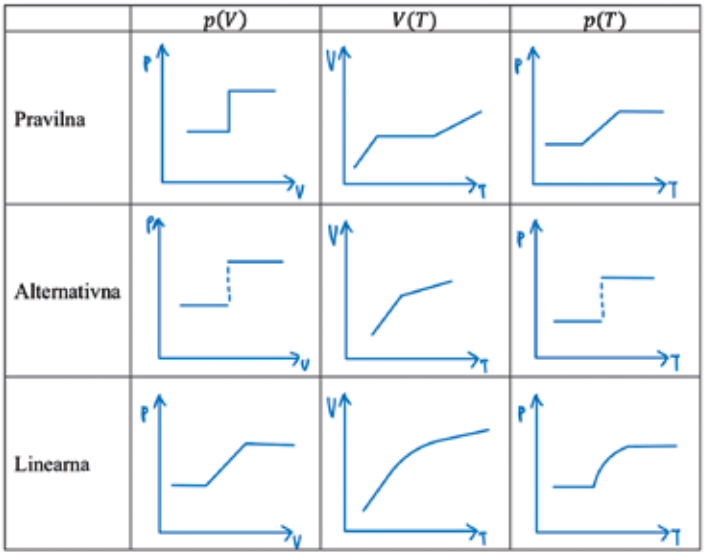
FMF, ki so se odzvali vabilu in se udeležili reševanja v terminu predavanj (na daljavo) pri predmetu Proseminar (predmet vpišejo vsi študenti v letniku, namenjen pa je razvijanju in poglabljanju kompetenc za matematični opis fizikalnih problemov), 14 dijakov drugega letnika gimnazije in 20 dijakov četrtega letnika gimnazije. Drugo oz. lažjo različico naloge je reševalo 15 dijakov drugega letnika gimnazije. Razdelitev dijakov drugega letnika v skupini je bila naključna. Enajst študentov DIDF1 je nalogo reševalo v študijskem letu 2019/20, vsi preostali študenti in dijaki pa v šolskem oziroma študijskem letu 2020/21. V času reševanja naloge v šolskem letu 2020/21 je pouk tako v gimnazijah kot na fakultetah potekal na daljavo. Naloga je bila zato študentom zastavljena v obliki spletnega formularja, kamor so oddali tudi fotografije rešitve naloge. Študenti prvega letnika so imeli za reševanje eno uro časa, študenti DIDF1 pa so nalogo reševali kot domačo nalogo, rok za oddajo je bil en teden. Gimnazijci so nalogo reševali kot domačo nalogo; besedilo je bilo podano v datoteki v spletni učilnici. Študenti DIDF1 iz študijskega leta 2019/20 so nalogo reševali kot domačo nalogo in rešitve oddali na spletno učilnico.

Vzorci reševanja naloge se po skupinah ne razlikujejo bistveno. Analiza tipa rešitev naloge, pogostih napak in značilnih razmislekov ter nekaterih vzrokov zanje se zato nanaša na vse vključene skupine. Se pa skupine razlikujejo po deležu pravilnih rešitev in pojavnosti značilnih težav. Niti študenti niti dijaki sicer ne predstavljajo reprezentativnega vzorca študentov fizike ali gimnazijcev ustreznega letnika. Vseeno uspešnost njihovega reševanja predstavljamo tudi v obliki deleža študentov oziroma dijakov v ustrezni skupini. Še enkrat pa naj poudarimo, da gre v prvi vrsti za izsledke kvalitativne študije.

Težji korak za vse pa je prepoznati izohorno spremembo v delu poskusa, ko pride do polaganja druge uteži na bat.

3.2 Tipi rešitev

Dvigovanje pomičnega bata pri segrevanju plina je vzorčni primer realizacije izobarne spremembe. Mnogi dijaki in študenti jo prepoznajo. Zavedajo se, da je stalni tlak plina določen z maso bata in uteži. Težji korak za vse pa je prepoznati izohorno spremembo v delu poskusa, ko pride do polaganja druge uteži na bat. Glede na potek, kako se tlak spreminja med obema izobarnima spremembama, opazimo poleg pravilne še dva tipa napačnih rešitev. Prvi, pogostejši tip, imenujmo ga *alternativna* rešitev, se od pravilne razlikuje v predpostavki, da se teža druge uteži hipoma prenese na bat ter da se plin na to hipoma odzove s povečanjem tlaka, tako da je ponovno vzpostavljeno ravnovesje sil na bat. Napaka v razumevanju poteka spremembe na diagramu $p(V)$ ni vedno razvidna, nedvoumno pa se pokaže pri upodobitvi spremembe na diagramu $V(T)$. Pri drugem tipu rešitve, imenujmo ga *linearni*, se od trenutka, ko se bat dotakne druge uteži, do trenutka, ko prevzame vso njeno težo, tlak linearno povečuje s prostornino. Linearno povečevanje tlaka ponazarja postopnost povečevanja sile, s katero bat deluje na utež (v nasprotju s skokom pri alternativni rešitvi). Rešitev tipično vključuje tudi skico ali razmislek o silah na bat in o postopnem prenosu teže uteži. Dijaki oziroma študenti, ki med obema izobarnima spremembama narišejo linearno povečevanje tlaka s prostornino, pravilno uporabijo znanje o sili plina na bat in ravnovesju sil, vendar bodisi (i) ne upoštevajo lastnosti vrvice, da le napeta lahko deluje s silo, ali (ii) ne upoštevajo tega, da pri premiku bata nad višino vrvica ne bo več napeta. Ti dijaki oziroma študenti bodo hitro sami prišli do pravilnega razumevanja, če jih bo učitelj usmeril k premisleku o tem, kdaj in kako vrvica deluje s silo na drugo utež. Primerjavo diagramov pri pravilni, alternativni in linearni rešitvi kaže slika 2.



Slika 2: Tipi rešitev. Poleg pravilne rešitve se pogosto pojavi tudi alternativna rešitev, v kateri naj bi se tlak, ko bat doseže drugo utež, hipoma povečal na novo vrednost. Med preostalimi napačnimi rešitvami izpostavljamo še rešitev, kjer naj bi se tlak med obema vrednostma, ki ju ima med izobarnima spremembama, spreminjal linearno.

Pri manjšem deležu dijakov in študentov, ki prepoznajo izobarni spremembi, opazimo glede na-

čina spreminjanja tlaka med njima razmislek, da se ob stiku bata z drugo utežjo tlak najprej poveča, zato se mora zmanjšati prostornina. To kandidati bodisi tudi vrišejo v diagrame ali pa ugotovijo, da tak potek ni smiseln, saj ob predvidenem zmanjšanju prostornine bat ne bi bil več v stiku z utežjo. Tistim, ki napake v razmisleku ne uvidijo sami, lahko pomagamo tako, da jih spodbudimo, da situacijo »preizkusijo na lastni koži«. Tako kinestetično doživljanje kot vizualizacija ob tem jim pomagata pri ustvarjanju pravilne miselne slike o tem, kaj se med procesom dogaja [8]. Vlogo premikajočega se bata naj prevzame navpično gibajoča se dlan, namesto druge uteži pa lahko uporabijo tudi šop ključev na vrvici. Isti poskus koristi tudi v primeru čiste alternativne rešitve.

Del kandidatov v opisu spremembe v nalogi ne prepozna pravih procesov. Tipično si, ne da bi nam kdo opisal, pokazal ali ponudil možnost lastne izvedbe poskusa, sami od sebe težko predstavljamo izotermno in izobarno spremembo. Prav to je v intervjuju povedal tudi eden od kandidatov: »Pred seznanitvijo (nekje v preteklosti, najbrž 1. letnik faksa) s to konkretno sliko (utež nad batom) nisem imel dobre predstave o tem, kaj pomeni konstanten tlak. Vselej od takrat dalje imam, ko razmišljam o konstantnem tlaku v kakem sistemu, v mislih to sliko.« Zamisel o izohorni spremembi plina, to je plin v zaprti trdni posodi, je veliko lažje predstavljiva. Vendar je izvedba izohorne spremembe v nalogi netipična in zato zahteva od dijakov uporabo znanja v novi situaciji. Pri prepoznavanju te spremembe sta ključni vizualizacija procesa in uporaba tudi drugih znanj, kot je določitev sil, ki delujejo na sistem, pa tudi njihovo ravnovesje, zato ta del naloge predpostavlja višji kognitivni izziv kot izobarni del.

Tako so rešitve zunaj okvira pravilne, alternativne in linearne bodisi take, da niso prepoznani vsi tipi sprememb med začetnim in končnim stanjem, ali pa je ves proces prepoznan kot istovrstna sprememba. Zanimiv je odziv manjšega dela študentov, ki v opisanem poskusu ali njegovem delu zaradi novega konteksta ali pa predpostavljene »hipnosti« pri srečanju bata z drugo utežjo prepoznajo adiabatno spremembo. Slednji rešitev pojasnijo na primer tako: »Teža mase uteži povzroči, da se tlak plina v posodi v trenutku poveča. Če se tlak v trenutku poveča, se to zgodi tudi s temperaturo, saj lahko polaganje druge uteži obravnavamo kot adiabatno spremembo.«

3.3 Skladnost različnih upodobitev procesa

Ustaljena praksa v gimnaziji je, da spremembe s plini upodabljamo na diagramu $p(V)$. Temu sledita tako učni načrt kot predmetni maturitetni katalog za fiziko ter predvidevata obravnavo in preverjanje te kompetence [3, 9]. Vendar je za uspešnost učenja, doseganje razumevanja in sposobnosti uporabe znanja ter za vzpostavitev povezanosti znanja pomembna uporaba različnih upodobitev [10]. V nalogi je zato poleg predstavitve spremembe na diagramu $p(V)$ predvidena tudi upodobitev na diagramih s preostalima paroma termodinamičnih spremenljivk.

Ustaljena praksa v gimnaziji je, da spremembe s plini upodabljamo na diagramu $p(V)$.

Večina dijakov in študentov, ki nariše spremembo na diagramu $p(V)$ v okviru pravilne ali alternativne rešitve, nariše skladno s tem tudi preostala diagrama. Iz zapisov sodelujočih oziroma pogovora z njimi o razmislekih in poteku reševanja je razvidno, da je marsikateri sodelujoči ob risanju preostalih dveh diagramov prišel do ugotovitev, ki so mu pomagale izboljšati celotno rešitev, torej tudi diagram $p(V)$. V večini primerov gre pri tem za prehod od alternativne k pravilni rešitvi. Med rešitvami s pravilnim oziroma alternativnim diagramom $p(V)$, a z neskladnima preostalima diagramoma gre v večini primerov bodisi za to, da diagrama $V(T)$ in $p(T)$ sploh nista narisana, ali pa je videti, kot da kandidati ne bi razumeli, kaj pomeni, da naj isto spremembo narišejo še na drugih diagramih. Kandidati, ki v diagramu $p(V)$ narišejo linearno rešitev, narišejo v izobarnem delu procesa skladna diagrama $V(T)$ in $p(T)$, v izohornem pa ne. Pri nepravilnih rešitvah upodobitve spremembe plina na različnih diagramih med seboj praviloma niso skladne.

3.4 Uspešnost reševanja v nekaj številkah

Kvantitativni podatki o deležu študentov in dijakov, ki so nalogo rešili pravilno oz. znotraj drugih prepoznanih vzorcev, so predstavljeni v tabelah 1 in 2.

Tabela 1: Uspešnost reševanja izvirne naloge med študenti prvega letnika fizike (42 študentov) in študenti pri predmetu Didaktika fizike 1 (DIDF1, 25 študentov). Poleg deleža študentov, ki so v dani skupini nalogo reševali na določen način, je v oklepaju podano še njihovo število. V stolpcu »Skladnost …« je podan delež študentov (v oklepaju pa njihovo število), ki so diagrama $V(T)$ in $p(T)$ narisali v skladu z narisanim diagramom $p(V)$. To je, da vsi trije diagrami predstavljajo isti proces ne glede na pravilnost diagrama $p(V)$. Delež je računan glede na število študentov, ki so narisali diagram $p(V)$ ustreznega tipa rešitve.

	Študenti prvega letnika ($N = 42$)		**Študenti pri DIDF1 ($N = 25$)**	
Rešitev	$p(V)$	Skladnost $V(T)$, $p(T)$ s $p(V)$	$p(V)$	Skladnost $V(T)$, $p(T)$ s $p(V)$
Pravilna	52 % (22)	90 % (20)	72 % (18)	100 % (18)
Alternativna	24 % (10)	80 % (8)	12 % (3)	67 % (2)
Napačna	24 % (10)	(0)	16 % (4)	(0)
Linearna	5 % (2)	(0)	4 % (1)	(0)

Tabela 2: Uspešnost reševanja izvirne naloge med dijaki gimnazije. Za pojasnilo oznak glejte pripis k tabeli 1.

	Drugi letnik ($N = 14$)		**Četrti letnik ($N = 20$)**	
Rešitev	$p(V)$	*Skladnost* $V(T)$, $p(T)$	$p(V)$	Skladnost $V(T)$, $p(T)$
Pravilna	14 % (2)	50 % (1)	65 % (13)	100 % (13)
Alternativna	29 % (4)	100 % (4)	10 % (2)	(0)
Napačna	57 % (8)	38 % (3)	25 % (5)	5 % (1)
Linearna	(0)	(0)	5 % (1)	(0)

Uspešnost reševanja naloge se po skupinah razlikuje. Pričakovano so nalogo najbolje reševali študenti pri Didaktiki fizike 1 (tabela 1). Ti so tematiko večkrat predelali, nazadnje pri Didaktiki fizike 1 na poglobljen način, pri katerem dajemo poudarek predstavitvam problema z različnimi upodobitvami, sistematičnosti reševanja, pojasnjevanju in evalvaciji končnih rešitev. Nalogo je pravilno rešilo 72 % študentov, vsi tudi s skladnimi upodobitvami vseh treh diagramov. Blizu tem rezultatom so tudi rezultati dijakov četrtega letnika izbrane gimnazije, tabela 2. Nalogo je pravilno rešilo 65 % dijakov, tudi ti vsi skladno v vseh upodobitvah. Zanimivo je, da so se študenti prvega letnika fizike z 52 % deležem pravilnih rešitev odrezali slabše od gimnazijcev zaključnega letnika. Vzrok za to je verjetno tako v tem, da gre pri študentih prvega letnika fizike za splošnejšo populacijo, kot je bila tista v zaključnem letniku izbrane gimnazije (z visokim vstopnim pragom), kot tudi, da sodelujoči študenti ne predstavljajo reprezentativnega vzorca študentov svojega letnika. Višja pojavnost alternativne rešitve med študenti fizike pa morda nakazuje tudi to, da so študenti bolj vajeni abstraktnega mišljenja in dajejo manj poudarka konkretnim zgledom in miselnim slikam o njih, zato so nalogo reševali z manj premisleka o podrobnostih. Navedene razlage bi bilo treba preveriti z dodatnimi intervjuji in z razširitvijo raziskave na večje in bolj reprezentativne skupine sodelujočih.

Naš namen je, da bi nalogo uspešno rešila večina dijakov, pri čemer bi naloga še vedno spodbujala tudi dosego višjih kognitivnih ciljev.

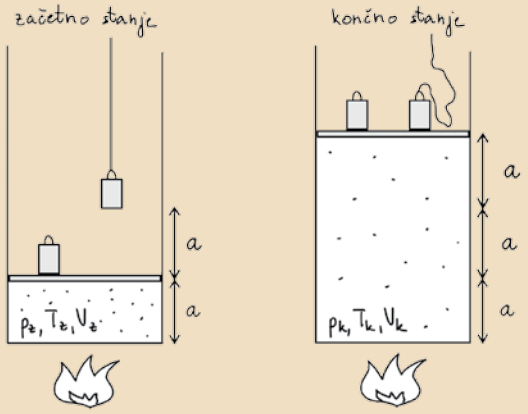
3.5 Primernost naloge za gimnazijce

Da bi naloga predstavljala primeren izziv tudi za splošno populacijo gimnazijcev, smo pripravili lažjo različico naloge, drugi delovni list. Naš namen je, da bi nalogo uspešno rešila večina dijakov, pri čemer bi naloga še vedno spodbujala tudi dosego višjih kognitivnih ciljev. Tako v nalogi poleg opisa poskusa podamo tudi njegovo upodobitev na diagramu $p(V)$, dijaki pa morajo narisano odvisnost pojasniti in proces upodobiti še z diagramoma $V(T)$ in $p(T)$. Da bi pridobili informacije o uspešnosti transformacije naloge, smo sodelujoče dijake razdelili v dve naključni skupini – dijaki v prvi so reševali izvirno različico naloge, dijaki v drugi pa lažjo, namenjeno gimnazijcem.

Druga različica naloge (lažja, drugi delovni list)

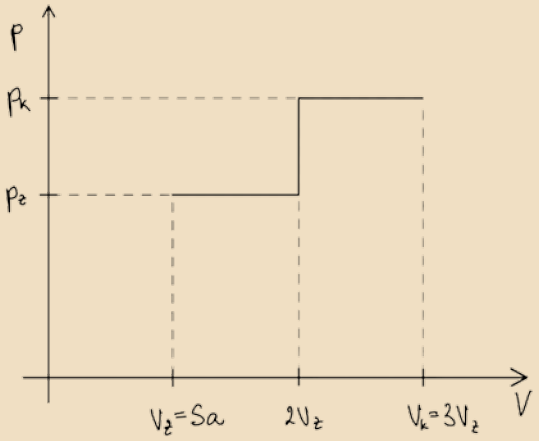
Dvigovanje uteži s segrevanjem idealnega plina

V valju, ki ga zapira pomični bat, imamo idealni plin (glejte sliko, začetno stanje). Na batu je utež. Trenje med batom in steno valja je zanemarljivo. Nad batom je obešena druga enaka utež, kot kaže slika. Pod valj postavimo gorilnik. Po določenem času opazimo, da se je bat dvignil (glejte sliko, končno stanje).



a) V zgoraj opisani spremembi se tlak s prostornino spreminja tako, kot je narisano na grafu $p(V)$ na sliki desno. Pojasnite narisano odvisnost.

b) Za opisano spremembo in usklajeno z odvisnostjo $p(V)$, ki je predstavljena na grafu pod točko a), narišite še pripadajoča grafa $V(T)$ in $p(T)$. Navedite morebitne predpostavke, ki ste jih sprejeli.



Pričakovano se je pokazalo, da predstavlja izvirna naloga za dijake drugega letnika gimnazije precejšen izziv. Nalogo sta pravilno rešila le dva od 14 dijakov, še nadaljnji štirje so jo rešili v okviru alternativne rešitve (tabela 2). Kar štirje dijaki so poskus predstavili kot izotermno spremembo, dva od teh tudi s skladnimi upodobitvami na vseh treh diagramih. Iz zapisa rešitve ni razvidno, kakšen je bil ob tem njihov razmislek, z dijaki pa tudi nismo opravljali intervjujev. Zanimivo je, da je eden od dijakov pravilno prepoznal in pojasnil izohorni del spremembe, medtem ko je za druge dele poskusa z argumentom »se je bat začel premikati, torej se bosta p in V večala enakomerno,« narisal linearno odvisnost tako tlaka od prostornine kot tudi prostornine in tlaka od temperature.

Veliko uspešnejši so bili dijaki drugega letnika gimnazije pri reševanju lažje različice naloge. Prav vsi dijaki so spremembo plina, predstavljeno na diagramu $p(V)$, ustrezno upodobili tudi na diagramih drugih parov termodinamičnih spremenljivk. Dve tretjini sta upodobili pravilno spremembo, tretjina pa je kljub narisani odvisnosti spreminjanja tlaka s prostornino predpostavila, da tlak ob dotiku druge uteži z batom skoči na novo vrednost (tabela 3). Interpretacija narisanega naraščanja tlaka pri konstantnem tlaku je vsaj pri delu dijakov lahko posledica nenatančnosti pri matematičnem izražanju (ne ločijo med grafično upodobitvijo

zvezne funkcije in funkcije s skokom) ali, nasprotno, matematične natančnosti – narisana odvisnost $p(V)$ v izohornem delu namreč ne ustreza pogoju za matematično funkcijo.

Tabela 3: Primerjava uspešnosti reševanja različnih različic naloge med dijaki drugega letnika gimnazije. Pri posameznem tipu rešitve je podan delež dijakov glede na število vseh dijakov v dani skupini, v oklepaju pa še njihovo število. Pri rezultatih za lažjo različico naloge je v stolpcu »Skladnost …« podan delež dijakov (v oklepaju pa njihovo število), ki so diagrama $V(T)$ in $p(T)$ narisali v skladu s podanim diagramom $p(V)$, ki so ga interpretirali kot ga v pravilni ali kot v alternativni rešitvi. V stolpcu »Razlaga $p(V)$« je podan delež (oziroma število) dijakov, ki so pojasnili podani diagram v okviru ustreznega tipa rešitve. Delež je računan glede na število dijakov v skupini glede skladnosti diagramov $V(T)$, $p(T)$. Oznake v stolpcih za izvirno različico naloge so enaki kot v tabelah 1 in 2.

	Drugi letnik – izvirna ($N = 14$)		**Drugi letnik – lažja ($N = 15$)**	
Rešitev	$p(V)$	Skladnost $V(T)$, $p(T)$	Skladnost $V(T)$, $p(T)$	Razlaga $p(V)$
Pravilna	14 % (2)	50 % (1)	67 % (10)	60 % (6)
Alternativna	29 % (4)	100 % (4)	33 % (5)	80 % (4)
Napačna	57 % (8)	38 % (3)	(0)	(0)
Linearna	(0)	(0)		

Pričakovano je delež dijakov, ki uspešno pojasnijo podano odvisnost $p(V)$, manjši od deleža dijakov, ki narišejo pravilna diagrama $V(T)$ in $p(T)$. Pogoj za uspešno pojasnilo je, da je dijak prišel do pravilnega razumevanja procesa. Pri tem mora, tako kot je to potrebno pri reševanju izvirne naloge, poznati splošne lastnosti in spremembe idealnega plina, jih prepoznati v podani situaciji in uporabiti znanje o silah, vse to v zanj novem kontekstu. Je pa za razliko od izvirne različice v lažji različici v pomoč upodobitev odvisnosti $p(V)$.

Tako izohorno spremembo ob polaganju druge uteži pravilno pojasni pet od desetih dijakov, ki so narisali pravilna diagrama $V(T)$ in $p(T)$, in še en dijak, ki je kljub temu diagrama $V(T)$ in $p(T)$ narisal v okviru alternativne rešitve. Preostali dijaki, ki so diagrama $V(T)$ in $p(T)$ narisali v okviru alternativne rešitve, so pravilno pojasnili izobarni spremembi. Vsi drugi dijaki diagrama $p(V)$ niso pojasnili, ampak so ga le opisali. To je lahko tako posledica tega, da ne ločijo med opisom in razlago, kar pogosto opazimo tudi pri študentih, ali pa dijaki spremembe niso pojasnili, ker je niso razumeli. Kljub vsemu pa so tudi ti dijaki pokazali dobro znanje splošnih lastnosti in sprememb idealnega plina. V diagramu $p(T)$ so prepoznali vse izo spremembe in jih bodisi poimenovali ali pa zapisali ustrezna razmerja in odvisnosti med termodinamičnimi spremenljivkami.

Dijaki drugega letnika gimnazije, ki so reševali izvirno nalogo, ne le, da v veliki meri niso prepoznali izobarnih delov v poskusu, ampak večina v opisu poskusa ni prepoznala niti dela spremembe s konstantnim tlakom. Primerjava rešitev izvirne in lažje naloge med dijaki istega razreda pokaže, da ne gre za to, da dijaki poskusa z izobarno spremembo sploh ne bi poznali, ampak ga očitno le ne prepoznajo v novi situaciji. Za to jim manjkajo dodatne izkušnje, predvsem pa sposobnost vizualizacije in povezanost znanja.

Čeprav vzorec sodelujočih gimnazijcev ni velik, na podlagi pridobljenih podatkov ocenjujemo, da je lažja različica naloge po težavnosti primerna za splošno populacijo gimnazijcev. Večini dijakov omogoča, da so pri reševanju uspešni. Pri tem jih primerno spodbuja k uporabi znanja tako v znani kot novi situaciji. S ter jim pomaga izgrajevati sposobnosti vizualizacije in povezovati znanje.

Čeprav vzorec sodelujočih gimnazijcev ni velik, na podlagi pridobljenih podatkov ocenjujemo, da je lažja različica naloge po težavnosti primerna za splošno populacijo gimnazijcev.

Zaključek

Naloga je razširitev vzorčnega poskusa za spremembo plina pri konstantnem tlaku, zato od dijakov zahteva uporabo znanja v novi situaciji. Za razumevanje naloge sta ključni vizualizacija procesa in uporaba tudi drugih znanj, ne le o idealnem plinu, za kar je potrebna po-

vezanost znanja. Z reševanjem naloge lahko preverjamo obstoj navedenih kompetenc ali pa spodbujamo njihov razvoj. Za splošno populacijo gimnazijcev je primernejša lažja različica naloge, saj predstavlja primerno težek izziv, ki ga večina dijakov lahko uspešno reši.

Poleg rešitve so v članku podrobno predstavljene tudi opažene težave, ki preprečujejo, da bi si dijaki ustvarili pravilno miselno sliko predvsem izohornega dela poskusa. Težave izpostavljamo, saj njihovo poznavanje predstavlja priložnost, na kateri utemeljimo pomoč dijakom, da bodo lahko sami gradili svoje znanje. Predstavimo tudi nekaj konkretnih odzivov in spodbud, s katerimi učitelj vodi dijake do tega, da si ustvarijo svoje miselne slike in sami pridejo do pravilne rešitve.

Z reševanjem naloge lahko preverjamo obstoj navedenih kompetenc ali pa spodbujamo njihov razvoj.

Zahvala

Avtorica se zahvaljuje Gorazdu Planinšiču za koristne nasvete in Timoteju Maroševiču za pomoč pri izvedbi raziskave.

Viri in literatura

[1] Kurikulum za vrtce, https://www.gov.si/assets/ministrstva/MIZS/Dokumenti/Sektor-za-predsolsko-vzgojo/Programi/Kurikulum-za-vrtce.pdf (28. 3. 2022)

[2] Učni načrti v osnovni šoli: za spoznavanje okolja, https://www.gov.si/assets/ministrstva/MIZS/Dokumenti/Osnovna-sola/Ucni-nacrti/obvezni/UN_spoznavanje_okolja_pop.pdf (28. 3. 2022); za naravoslovje in tehniko, https://www.gov.si/assets/ministrstva/MIZS/Dokumenti/Osnovna-sola/Ucni-nacrti/obvezni/UN_naravoslovje_in_tehnika.pdf (28. 3. 2022); za naravoslovje, https://www.gov.si/assets/ministrstva/MIZS/Dokumenti/Osnovna-sola/Ucni-nacrti/obvezni/UN_naravoslovje.pdf (28. 3. 2022); za kemijo, https://www.gov.si/assets/ministrstva/MIZS/Dokumenti/Osnovna-sola/Ucni-nacrti/obvezni/UN_kemija.pdf (28. 3. 2022); za fiziko, https://www.gov.si/assets/ministrstva/MIZS/Dokumenti/Osnovna-sola/Ucni-nacrti/obvezni/UN_fizika.pdf (28. 3. 2022)

[3] Učni načrti za gimnazije: Fizika, http://eportal.mss.edus.si/msswww/programi2022/programi/media/pdf/un_gimnazija/2015/UN-FIZIKA-gimn-12.pdf (28. 3. 2022); Kemija http://eportal.mss.edus.si/msswww/programi2022/programi/media/pdf/un_gimnazija/un_kemija_gimn.pdf (28. 3. 2022)

[4] van Berkel, B., Pilot, A. in Bulte, A. M. W. (2008). Micro-Macro Thinking in Chemical Education: Why and How to Escape. V: Gilbert, J. K. (ur.) in Treagus, D. F. (ur.), *Models and modeling in science education: Multiple Representations in Chemical Education*. New York: Springer.

[5] Kautz, C. H., Lovrude, M. E., Herron, P. R. L. in McDermott, L. C. (1999). Research on student understanding of the ideal gas law. *Proceedings, 2nd International Conference of the European Science Education Research Association (ESERA), Kiel, Germany*, 1, 83–85.

[6] Rozier, S. in Viennot, L. (1991). Students' reasoning in thermodynamics. Int. J. Sci. Educ., 13(2), 159–170.

[7] http://sss.fmf.uni-lj.si/ (4. 4. 2022).

[8] Tranquillo, J. (2008), Kinesthetic Learning In The Classroom Paper presented at 2008 Annual Conference & Exposition, Pittsburgh, Pennsylvania. 10.18260/1-2--3389

[9] Predmetni izpitni katalog za splošno maturo: Fizika, https://www.ric.si/mma/m-fiz-2021/20190827145642 37/?m=1569590472 (28. 3. 2022)

[10] van Someren, M. W. (ur.), Reimann, P. (ur.), Boshuizen, H. P. A. (ur.) in de Jong, T. (ur.) (1998). *Learning with Multiple Representations. Advances in Learning and Instruction Series*. New York: Pergamon.

Fizika in dediščina kraja

Tilka Jakob
Osnovna šola Vitanje

Izvleček

Prispevek opisuje, kako lahko pouk fizike popestrimo z vsebinami, ki se navezujejo na določeno temo v okviru projektov, ki jih izvajamo na šoli. Pri projektu Dnevi evropske kulturne dediščine sodeluje 50 držav po sprejetih smernicah, v Sloveniji ta projekt koordinira Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije. Vsako leto prireditelji izberejo temo, s katero skušajo domači javnosti, Evropejcem in svetu predstaviti kulturno dediščino Evrope. Izbrano temo vključimo v dogajanje na šoli v tednu kulturne dediščine.

Ključne besede: projektno delo, teden kulturne dediščine, fizikalni eksperimenti

Physics and Cultural Heritage

Abstract

This article proposes how, in the context of our school projects, physics lessons can be enhanced with the content related to a specific topic. The EHD (i.e., European Heritage Days) project involves fifty countries that follow the agreed guidelines. In Slovenia, the project is coordinated by the Public Institute of the Republic of Slovenia for the Protection of Cultural Heritage. Each year, using a theme chosen by the organisers, Europe's cultural heritage is presented to the local public, Europeans, and the world. The selected theme is integrated into the school's Cultural Heritage Week (CHW) activities.

Keywords: project work, Cultural Heritage Week, physics experiments.

Center Noordung

Uvod

Dnevi evropske kulturne dediščine (DEKD) so skupna akcija številnih evropskih držav pod okriljem Sveta Evrope in Evropske komisije. OŠ Vitanje je v ta projekt vključena že peto leto. V tednu kulturne dediščine (pričetek je konec septembra) temu prilagodimo ure pouka. Seveda se po učnem načrtu snov vedno ne prekriva s temo DEKD, ampak poskušamo najti ustrezno vsebino, jo prilagodimo predznanju učencev in s tem tudi popestrimo pouk fizike.

Z učenci najprej naredimo osnutek projektnega dela, skupine nato načrtujejo, kako bodo dejavnost izvedle, katere vire oz. medije bodo uporabile. Učitelji jih pri tem vodimo, usmerjamo, jim pomagamo in spodbujamo. Učenci bodo z izvedeno dejavnostjo, prek lastne aktivnosti, prišli do novih spoznanj.

Učenci bodo z izvedeno dejavnostjo, prek lastne aktivnosti, prišli do novih spoznanj.

Učenci naj rezultate svojega dela na kratko predstavijo v razredu ali na sklepni prireditvi v okviru dneva dejavnosti ali v glasilu, mi pa to lahko tudi ocenimo. Seveda prej z učenci pripravimo kriterije uspešnosti, da jim bo jasno, kaj se od njih zahteva, kaj vpliva na oceno, kako naj pripravijo izdelke in kako izdelke oz. rezultate dela predstaviti. Oceno na koncu oblikujemo na osnovi vrstniškega vrednotenja oz. samovrednotenja učencev. Pri vrstniškem vrednotenju bodimo pozorni, da učenci povratne informacije ne bodo vzeli kot morebitno kritiko, temveč kot pomoč pri doseganju zastavljenih ciljev.

Voda – od mita do arhitekture

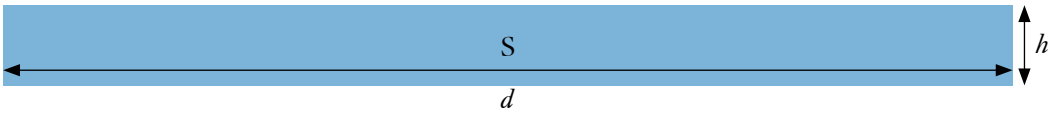
V šolskem letu 2017/2018, ko smo se k temu projektu priključili prvič, je bila izbrana tema Voda – od mita do arhitekture. Pri fiziki smo raziskovali reko Hudinjo, določali smo maso kap-

ljici vode iz reke, raziskovali uporabo vode pri določanju prostornine različnih teles, določali gostoto, hitrost in rečni pretok. Učence je najbolj navdušilo, da so lahko merili hitrost pretoka Hudinje, ki teče mimo šole. Oblikovala sem skupine po tri učence in jim razdelila delovne liste z nalogo določanja pretoka Hudinje.

Slika 1: Skupinsko delo učencev – določanje pretoka Hudinje

Slika 2: Merjenje temperature vode

Preden so se lotili merjenja, so morali oceniti določene količine: temperaturo vode, temperaturo zraka ob potoku, širino in globino struge. Nato pa so napisali čim več zamisli, kako bi nalogo rešili. Napisati so morali tudi, katere količine in zveze med količinami so potrebne za izračune. Nato so pričeli z meritvami. Trojice so si delo razdelile: dva sta opravljala meritve, eden je zapisoval. Najprej so napeljali vrvico, ki je povezovala oba bregova reke, in izm erili razdaljo od levega do desnega brega, ki so jo potrebovali za določitev osnega preseka. Ko so opravili še meritve globine dna, so izrisali presek struge. Zatem so izračunali presek, ki je bil lepe, skoraj pravokotne oblike. Širino struge so pomnožili z višino vode v strugi, $S = d \cdot h$. Ploščina preseka je bila 0,5 m^2.



Slika 3: Presek struge

Izbrali so si desetmetrski odsek in ga zakoličili, na tem odseku so merili, koliko časa (v sekundah) je paličica potrebovala, da je prepotovala to razdaljo. Vsaka skupina je paličice metala štirikrat. Meritev so skupine opravljale na treh različnih mestih.

Hitrost toka v so dobili z merjenjem in računanjem, v kolikšnem času t plovec prepotuje znano razdaljo s. S štoparico so izmerili čas t potovanja plovca, koščka lesa, od prve točke do cilja. Izračunali so hitrost toka v: $v = \frac{s}{t}$.

Meritve so ponovili večkrat in izračunali srednjo hitrost. Podatke so si uredili, jih zapisali v ustrezni enoti in izračunali ustrezno količino. Pot s so izrazili v metrih, čas potovanja predmeta t pa v sekundah. Hitrost v so zapisali v metrih na sekundo. Upoštevali so, da je hitrost toka na sredini vodotoka največja. Povprečje hitrosti vodnega toka je bilo 2,9 m/s.

Definicija pretoka vode ϕ je prostornina, ki steče skozi izbrano površino oz. prečni prerez na enoto časa. Enota za pretok vode je m^3/s. Na pretok vplivajo nagib dna struge, razgibanost profila struge in količina vode. Ker pa z globino hitrost vodotoka pada, so upoštevali polovično hitrost na površini: $\phi = v/2 \cdot S$; ϕ – vodni pretok (m^3/s), v – hitrost toka (m/s), S – površina profila (m^2). Vodni pretok je bil 0,72 m^3/s (začetek oktobra). Vodni pretok je bil nekoliko večji, kot smo ga izmerili eno leto prej septembra.

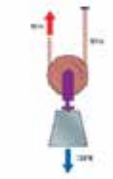
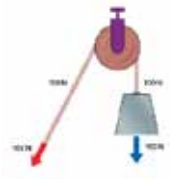
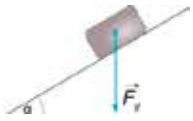
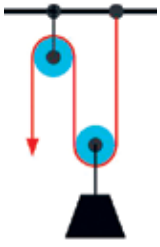
Dediščina za prihodnje rodove

V šolskem letu 2018/2019 je bila vodilna tema posvečena dediščini za prihodnje rodove. Pri fiziki smo preučevali orodja – vzvod, škripec in klanec. V etnološkem muzeju Brodej, ki ga imamo v kraju, smo si ogledali, s katerimi orodji so si ljudje na področju Vitanja včasih pomagali pri delu.

Slika 4: Z učenci v etnološkem muzeju Brodej

Slika 5: Orodja za delo v muzeju Brodej

Ker je projekt vseboval tudi obujanje in ohranjanje starih iger, smo izdelovali igre. Izkušnje so namreč pokazale, da igranje iger povečuje motivacijo učencev in naredi učenje zanimivejše. Igra je tudi učinkovita pri pomnjenju in učenju dejstev, pri ponavljanju snovi. Učenci se ob njej naučijo potrpežljivosti in sodelovanja. Pri uri fizike smo naredili različico spomina. Kartončke za igro na temo dela z orodji so izdelali sami. Pripravila sem jim ustrezno podlago, kamor so si zapisali ustrezne pare. Nato pa so te kartončke izrezali. Ustrezne pare (rešitve) so si tudi zapisali: 1A, 2A; 1B, 2B; 3A, 3B; 1C, 2C; 1D, 2D; 3C, 3D; 4A, 4B; 4C, 4D.

	A	B	C	D
1	Gibljivi škripec	Pritrjeni škripec	Vzvod	Klanec
2	 $F = F_g/2$	 $F = F_g$		
3		Škripčevje	Orodja, ki delujejo kot vzvod …	Ščipalnik, odpirač, klešče, samokolnica
4	Delo teže uteži = delo sile roke	$A_1 = A_2$ $F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$	$A = F \cdot s$	Delo je produkt sile, ki deluje v smeri gibanja in opravljene poti.

Slika 6: Priprava igre spomin – delo z orodji

Učenci so potem z igro utrjevali svoje znanje o orodjih. Cilj igre je zbrati čim več parov – kartončkov. Pred igro eden od učencev premeša kartončke in jih v obliki pravokotnika položi na

mizo. Izberejo igralca, ki igro začne, in nadaljujejo v smeri urinih kazalcev. Igralec, ki je na vrsti, obrne dva kartončka tako, da ju vidijo tudi soigralci. Če je na obeh kartončkih ustrezen par (enaki sličici, sorodni sličici, ki po nekem kriteriju spadata skupaj, enaka zapisa oziroma sličica in zapis), ju vzame in nadaljuje igro. Če pa sta kartončka različna, ju položi nazaj na popolnoma isto mesto in igro nadaljuje sosednji igralec. Igra se konča, ko zmanjka kartončkov na mizi, zmaga pa tisti, ki je zbral največ parov.

Dediščina, umetnost, razvedrilo

V šolskem letu 2019/2020 smo izpostavili sakralno dediščino našega kraja na temo Dediščina, umetnost, razvedrilo. V okviru športnega dne smo se na pohod odpravili po poteh, ki so vodile med sakralnimi znamenji. Pohodne poti so nas popeljale po pestri zgodovini križev, kapel in cerkva. Pri fiziki smo se pogovarjali o gradnji, materialih in uporabi orodij za izgradnjo objektov.

Pri fiziki smo se pogovarjali o gradnji, materialih in uporabi orodij za izgradnjo objektov.

Učenci so tudi iskali (s pomočjo spleta, tabel, učbenika) gradbene materiale z določeno lastnostjo: temperaturna razteznost, izolator, prevodnik.

Slika 7: Pogled na kraj – Vitanje

Spoznaj, varuj, ohrani!

V šolskem letu 2020/2021 je projekt nosil naslov Spoznaj, varuj, ohrani! Spoznavali smo osebnosti Vitanja in dediščino, ki so nam jo zapustile nepozabne osebnosti z vseh področij življenja. Pri fiziki smo podrobneje spoznali vizionarja in pionirja moderne raketne ter vesoljske tehnike Hermana Potočnika - Noordunga. Ogledali smo si razstavo v Centru Noordung. Prejeli smo tudi nekaj knjig Hermana Potočnika z naslovom *Problem vožnje po vesolju*. Učenci so po skupinah pregledali knjige. Vsaka skupina pa je morala izpostaviti vprašanje, ki se jim je ob prebiranju knjige porajalo oz. so ga v knjigi zasledili in nanj našli odgovor, ki so ga razumeli.

Učenci so izpostavili naslednja vprašanja:	**Odgovore so našli na naslednjih straneh knjige Hermana Potočnika - Noordunga *Problem vožnje po vesolju:***
Kakšne posledice ima odsotnost teže za človeški organizem?	119
Kakšno je fizikalno obnašanje teles ob odsotnosti teže?	121
Kako ogrevamo oz. ohlajamo telesa v odprtem vesolju?	138, 148
Kakšne lastnosti mora imeti vesoljsko oblačilo?	171
Kako je poskrbljeno za sporazumevanje med objekti v vesolju?	169
Kako bi bila videti vesoljska opazovalnica?	154

Dober tek

V letošnjem šolskem letu (2021/2022) je tema projekta Dober tek. Pri fiziki smo spoznavali kuhinjska orodja, ki nam olajšajo pripravo obrokov; kje se v receptih oz. pri pripravi hrane skriva fizika; merske količine pri kuharskih receptih (masa, prostornina) in pretvarjanje enot.

Na spletni strani https://odprtakuhinja.delo.si/recepti/kako-pretvarjati-merske-enote-tujih--receptov smo si pogledali, kako so povezane unče, skodelice in grami, saj so tuji recepti največkrat zapisani s temi enotami. Kadar naletimo na recept, zapisan v unčah, jih moramo množiti s 30, da dobimo grame.

Učenci so količine iz recepta za krompirjevo pogačo s kalkulatorjem preračunali in zapisali v unčah oz. skodelicah.

Krompirjeva pogača	**Krompirjeva pogača**
150 g olupljenega krompirja	5,29 unče olupljenega krompirja
250 g moke	8,82 unče moke
6 g soli	0,21 unče soli
30 g sladkorja	1,06 unče sladkorja
15 g kvasa	0,53 unče kvasa
150 ml vode	5,29 unče vode
40 ml olivnega olja	40 ml olivnega olja

Zapise v unčah so preverili še s pomočjo programa na strani https://convertlive.com/sl/u/pretvarjanje/gramov/za/un%C4%8De. To preračunavanje se jim je zdelo zelo zanimivo. Seveda pa na spletnih straneh običajno najdemo tuje recepte napisane v unčah in jih preračunamo v grame (množimo s 30).

Slika 8: Spletni program – unče

V skupinah (po tri) so pregledali recept in na list napisali, kje vse se skriva fizika.

Učenci so se tudi seznanili s tem, da kadar so količine v receptu podane v skodelicah (angl. *cups*), skodelica tekočine ni enaka skodelici moke ali sladkorja. Zato je pretvarjanje v tem primeru zahtevalo precej več razmišljanja. Na spletni strani https://www.goodto.com/food/cups-to-grams-converter-87833 so našli, da je: 1 skodelica moke = 128 gramov; 1 skodelica masla = 227 gramov; 1 skodelica belega sladkorja = 201 gram; 1 skodelica medu = 340 gramov. Nekaj količin iz recepta so nato zapisali še v skodelicah: 1,95 skodelice moke; 0,23 skodelice sladkorja. Učence je navdušila tudi naloga, pri kateri so v receptu iskali, kje vse se skriva fizika. Učencem sem razdelila recept za pripravo palačink. V skupinah (po tri) so pregledali recept in na list napisali, kje vse se skriva fizika. Svoje ugotovitve so predstavili preostalim v razredu. Ker nam je časa za peko palačink v šoli zmanjkalo, so to opravilo imeli za domačo nalogo. Poslati pa so morali dokaz, da so jo opravili, oz. pri naslednji uri fizike povedati, kako so jo naredili. Bila sem vesela, ker so nalogo opravili vsi.

Slika 9: Dokaz o opravljeni domači nalogi – palačinke

PALAČINKE (za 20–25 palačink)

Sestavine: liter mleka, 500 g moke, 4 jajca, vrečka vanilin sladkorja, ščepec soli, ⅓ dl sončničnega olja.

Opis priprave: V posodo stremo štiri jajca, dodamo moko, mleko, sol, olje, vanilin sladkor. Vse dobro zmiksamo, da ne nastanejo grudice. Ker smo olje dodali v maso, nam ga ni treba dodati na ponev, preden vanjo vlijemo maso za palačinke.

V manjšo ponev vlijemo eno srednjo veliko zajemalko mase. Na eni strani jo pečemo na temperaturi 8/9 toliko časa, da zmes ni več videti tekoča, ampak postane motna oziroma pečena. Nato jo za nekaj sekund obrnemo, toliko, da se ji na drugi strani naredi kakšna zapečena pikica. Takšne polagamo na krožnik ter jih sproti pokrivamo z drugim krožnikom, obrnjenim okrog, da ostanejo tople. Postopek ponavljamo toliko časa, da zmanjka zmesi.

Palačinkam nato lahko dodamo čokoladni namaz, marmelado ali drug nadev.

Veselo palačinkanje in **DOBER TEK!**

In kje se skriva FIZIKA?

Vir: https://www.aninakuhinja.si/recepti/palacinke/

Nekaj zapisov učencev: fizikalne količine (masa, prostornina, temperatura), merske enote, različne gostote snovi, opravljanje dela, toplota, toplotna prevodnost, energija, spremembe agregatnih stanj snovi, sprememba barve, uporaba različnih orodij (zajemalka, žlica, ponev, krožnik, skodelica, menzura, tehtnica, nož, lopatica …), uporaba različnih naprav (menzura, tehtnica, električni mešalnik – mikser, štedilnik /na trda goriva, električni, plinski, indukcijski …/) Vprašali so se, koliko °C pomeni temperatura na temperaturnem regulatorju steklokeramične plošče 8/9. Ali je to 170 °C ali 180 °C?

Odgovor na to vprašanje smo iskali na spletnih naslovih:

https://www.miele.com/pmedia/ZGA/TX3587/10429100-000-02_10429100-02.pdf; https://www.parafalo.hu/hasznalati-utmutato/it_646_kr.pdf. Natančnega odgovora nismo našli. Stopnja 8 je predzadnja stopnja moči segrevanja kuhalnih polj štedilnika in nikjer ni pisalo, kakšna temperatura je lahko dosežena. Torej bi do odgovora prišli z merjenjem temperature s termometrom.

Zaključek

Učencem je bila všeč popestritev pouka fizike z vsebinami, ki smo jih vključili, izrazili so željo, da fiziko pogosteje povežemo z vsebinami, ki so vezane na naš kraj, na našo dediščino.

Vključevanje projektnega dela v pouk fizike je priporočljivo, še posebej v projekte, ki so časovno kratki. Seveda takšno delo malo zmoti sistematičnost pri obravnavanju učnih vsebin, vendar zelo dobro vpliva na razvijanje demokratičnih odnosov in povečuje motivacijo učencev, še posebej tistih, ki jim je fizika »težek« predmet. Učenci radi delajo v skupinah in pri tem opravljajo različne meritve, pripravijo plakat, napišejo seminarsko nalogo, oblikujejo miselni vzorec, izdelajo didaktični pripomoček, pripravijo spletni dokument ali elektronsko prosojnico. Zelo radi delajo zunaj fizikalne učilnice, v knjižnici, računalniški učilnici, še posebej pa v naravi.

Viri in literatura

[1] https://odprtakuhinja.delo.si/recepti/kako-pretvarjati-merske-enote-tujih-receptov/

[2] https://convertlive.com/sl/u/pretvarjanje/gramov/za/un%C4%8De

[3] Potočnik, Herman. (prevedel Peter Sraka). (1999). Problem vožnje po vesolju.

Vključevanje mednarodnih sodelovalnih projektnih aktivnosti v učne ure

Tatjana Gulič
ambasadorka eTwinninga

Izvleček

Projekti programa Erasmus+ učencem omogočajo razvoj ključnih kompetenc. V pouk uvajajo sodelovalno in projektno delo ter druge inovativne delovne metode. Krepijo tudi medpredmetno sodelovanje na šoli in vezi med učitelji pa tudi med učitelji in učenci. V prispevku je ob primerih iz prakse opisano, kako je tak pouk potekal na OŠ Preska pri projektu Erasmus+ in pri enem od projektov eTwinning.

Ključne besede: mednarodno sodelovanje, Erasmus+, eTwinning, projekti

Integrating International Collaborative Project Activities into Lessons

Abstract

Erasmus+ programmes enable students to develop key competences. They bring collaborative, project work and other innovative methods into the classroom. They strengthen cross-curricular cooperation in schools, and foster links among teachers and between teachers and students. By providing practical examples, this paper describes how this has been done at the Preska Primary School as part of Erasmus+ and eTwinnig projects.

Keywords: international collaboration, Erasmus+, eTwinning, projects.

Kaj evropski projekti prinašajo v šolo?

Erasmus+ je program Evropske unije, ki naslavlja mednarodno sodelovanje na področju izobraževanja, usposabljanja, mladih in športa. Namen programa je povečati kakovost izobraževanja in usposabljanja ter s tem okrepiti socialno kohezijo in konkurenčnost gospodarstva unije [1].

Portal eTwinning je virtualna večjezična skupnost šol in vrtcev, ki omogoča hitro in varno vzpostavitev mednarodnih virtualnih stikov po Evropi in širše. Je odskočna deska za prve korake v neformalnem projektnem sodelovalnem delu na daljavo za učitelje in učence/predšolske otroke, pomemben vir strokovnega razvoja doma in v tujini pa tudi ena od začetnih točk za izmenjavo idej, gradiv in interakcijo s kolegi iz tujine. Portal zagotavlja podporo pri uvajanju sodobnih, inovativnih metod poučevanja in učenja v razredu in igralnici, podprtih z informacijsko-komunikacijsko tehnologijo (IKT). Zato je pomembna obogatitev za učilnico in utečeno metodo poučevanja [2].

Portal zagotavlja podporo pri uvajanju sodobnih, inovativnih metod poučevanja in učenja v razredu in igralnici, podprtih z informacijsko-komunikacijsko tehnologijo (IKT).

Možnosti osnovnih in srednjih šol, da se dejavno vključujejo v mednarodne projekte Erasmus+ in eTwinning, je z vsakim letom več. Projekte Erasmus+ financira Evropa, medtem ko za projekte eTwinning šola ne dobi sredstev. eTwinning omogoča avtentično mednarodno izobraževalno izkušnjo, ki učence motivira za učenje v resničnih življenjskih situacijah, obenem pa jim omogoča krepitev medkulturnih kompetenc kar iz domače učilnice. V projekte eTwinning se lahko v zadnjih nekaj letih vključujejo tudi prihodnji učitelji na fakultetah.

Učitelju z različnimi programi omogoča profesionalni razvoj in pripomore k vzpostavljanju mreže profesionalnih in prijateljskih vezi po Evropi. Šole, ki mednarodno projektno sodelovanje aktivno vključujejo v redne šolske aktivnosti in strategijo šole kot celote, njihovi učitelji in učenci pa so aktivno vključeni v evropski prostor, lahko pridobijo znak »šola eTwinning«.

Kaj je značilnost projektov eTwinning? Projekti eTwinning prinašajo v pouk nove načine dela sodelovalno, projektno, raziskovalno in eksperimentalno delo pa tudi, poleg izbranih strokovnih vsebin, samozavestno in kritično rabo digitalne tehnologije za pridobivanje in izmenjavo informacij, komunikacijo in reševanje osnovnih problemov na vseh življenjskih področjih. Pri projektnem delu učenci uporabljajo materni in v večini primerov tudi tuji jezik. S tem lahko pokrijemo velik del zahtevanih kompetenc, to je znanja, veščin in sposobnosti, ki jih predvideva shema ključnih kompetenc za državljane 21. stoletja.

Izvajanje mednarodnih projektov poteka predvsem med rednimi urami pouka namesto klasičnih metod poučevanja. Po navadi najprej izberemo temo projekta, nato pa si poiščemo partnerje. Največkrat izberemo partnerske skupine s podobnim znanjem in starostjo učencev. Lahko pa izkoristimo nam še neznano znanje projektnih partnerjev, v tem primeru partnerji postanejo tudi naši tutorji. S takim načinom dela pridobijo vsi, tako tisti, ki znanje podajajo, razlagajo, kot tudi tisti, ki se učijo.

Učenci pri projektnem delu medsebojno sodelujejo, si pomagajo, razlagajo vsebine in se učijo drugačnih pristopov k učenju. Učiteljeva naloga pa je predvsem, da se izbrana vsebina projekta dobro vkopi v kurikul predmeta, ki ga poučuje.

Primeri projektnega dela pri pouku

Pri matematiki so se npr. naši učenci s pomočjo videonavodil, ki so jih pripravili njihovi prijatelji iz Grčije, naučili uporabljati orodje GeoGebre (t. i. interaktivni program za dinamično matematiko, ki povezuje geometrijo, algebro in analizo). Tako so se naši učenci zelo hitro in učinkovito naučili izdelovati videonavodila, namenjena drugim sodelujočim v projektu. Ob tem pa smo v sklopu rednih šolskih obveznosti predelali snov, povezano s trikotniki in naslednje leto tudi z geometrijskimi telesi. Pri fiziki smo s projektnim delom raziskali delo in poskuse Nikole Tesle ter pripravili in razložili poskuse o svetlobi. Več projektov smo izvedli tudi pri izbirnih predmetih.

Pri fiziki smo s projektnim delom raziskali delo in poskuse Nikole Tesle ter pripravili in razložili poskuse o svetlobi.

Poudariti velja, da projektno delo učencev pri tem z lahkoto preverimo. Za spoznavanje in preverjanje vsebin uporabimo kvize ter interaktivne igrice, ki jih učenci lahko rešujejo sodelovalno, v mednarodno mešanih ekipah. Poleg tega večkrat pripravimo videokonference, na katerih učenci preizkusijo znanje tujega jezika v praksi. V učne ure tako uvedemo medpredmetni pristop, kar učencem omogoča povezovanje znanja z več predmetnih področij. Pri nekaterih projektih so učenci pri urah angleščine, pred videokonferencami, pripravili predstavitve za sovrstnike v tujini, občasno so v klepetalnicah klepetali s projektnimi prijatelji. Učitelji tujega jezika lahko pred začetkom in po končanem projektu pripravijo kviz ter tako preverijo napredek v znanju tujega jezika predvsem na ravni besedišča, ki so ga uporabljali pri projektu. Pri nekaterih projektih so sodelovali tudi učitelji slovenščine (v podporo učencem pri pisanju sestavkov) in učitelj likovne umetnosti (pri pripravi logotipov za projekte).

Vključevanje mednarodnih aktivnosti v učne ure od učitelja zahteva nedvomno veliko fleksibilnosti in raziskovanja. A vloženo prizadevanje za drugačen pristop nikakor ni zaman, rezultat so predvsem motivirani, vedoželjni in navdušeni učenci, ki bodo z veseljem čakali na začetek naslednjega projekta, ki jim omogoča pridobivanje novih znanj in veščin na igriv način.

Primer dvoletnega projekta programa Erasmus+: SAGE: Solutions Against Greenhouse Effect

Projekt je povezal tri evropske šole iz Slovenije, Italije in Francije. V okviru projekta smo se učenci in učitelji seznanili s problematiko izpustov toplogrednih plinov in poiskali rešitve za njihovo zmanjšanje. Pregledali smo dostopne podatke o temperaturi, padavinah in ekstremnem vetru ter jih predstavili na infografikah [3]. Ukvarjali smo se s problemom zmanjšanja

Slika 1: Logotip projekta SAGE

izpustov toplogrednih plinov, ki so posledica transporta, dotaknili pa smo se tudi gibanja in prehranjevanja učencev.

Projekt je bil vtkan v kurikul več predmetov, fizike, kemije, biologije, gospodinjstva, športne vzgoje in v nekatere izbirne predmete ter krožke, ki potekajo na šoli.

Namen projekta je bil ozavestiti mlade o okoljskih težavah in jih spodbuditi k iskanju rešitev. Pri tem smo zlasti poudarjali, kaj lahko vsak stori kot posameznik in kako lahko prepriča tudi druge, da mu sledijo. S tem namenom smo poskušali vplivati tudi na lokalno skupnost.

Namen projekta je bil ozavestiti mlade o okoljskih težavah in jih spodbuditi k iskanju rešitev.

Aktivnosti, ki smo jih izvajali, zajemajo eksperimente na temo podnebnih sprememb [4], uporabo različnih energijskih virov za prevozna sredstva in postavitev tople grede na šolskem vrtu z elektronskim spremljanjem toplogrednih plinov v njej. Opravili so raziskavo o navadah prebivalcev krajev, v katerih stojijo šole, o transportu, njihovih prehranskih navadah ter športnih aktivnostih. Pripravili so tudi nabor vaj za povečanje fizične pripravljenosti učencev in v ta namen posneli video, ki ga učenci še zdaj uporabljajo za domače treninge. Pri urah gospodinjstva so pripravili zdrave jedilnike. V okviru projekta smo za androidne naprave pripravili tudi aplikacije o ogljičnem odtisu in o vnosu energije v naše telo.

Kot zanimivost naj povem, da so učenci v Franciji doživeli pravo katastrofo, saj jim je narava kar dvakrat zagodla s hudim vetrom in nevihto, ki sta podrla postavljeno toplo gredo. Tako so se na lastne oči prepričali, kaj pomenijo podnebne spremembe, saj takšne nevihte in vetra še niso doživeli.

Slika 2: Topla greda ob OŠ Preska

Raziskali smo tudi možnost uporabe novih energijskih virov za prevozna sredstva, pri čemer smo se oprli na izkušnje iz francoskega mesta Pau, od koder prihaja partnerska šola in kjer za javni prevoz uvajajo avtobuse na gorivne celice. Učenci so pripravili modele avtomobilov na gorivne celice. Z modeli so preizkusili pretvorbo sončne energije za pridobivanje vodika, ki je v teh celicah pogonsko sredstvo.

V sklopu mednarodnih aktivnosti šole vedno poskrbimo tudi za prepoznavnost in širitev projekta navzven, v lokalno skupnost in širše. Pomembno je, da šolski mednarodni projekt ne postane zgolj aktivnost, ki se odvija v šolskih učilnicah, temveč da je vanj povabljenih in vključenih čim več različnih deležnikov in strokovnjakov, ki lahko z znanjem in sredstvi obogatijo projekt kot celoto in mu tako dodajo vrednost.

Mednarodno projektno sodelovanje smo tudi tokrat uspešno vpeli v delovanje lokalne skupnosti. Rotary Club Medvode nam je priskočil na pomoč pri postavitvi pitnikov za vodo ter pri nakupu materiala za preureditev sobnih koles za polnjenje mobilnih aparatov. Pri tem smo sodelovali s strokovnjaki lokalnega podjetja Tine Zorič, s. p., ki so nam svetovali pri izvedbi in postavitvi.

Ob koncu projekta smo pripravili še nabor ukrepov, ki jih lahko upošteva vsak od nas in s tem pripomore k zmanjšanju škodljivih vplivov na okolje. Tako bomo omogočili trajnost projektnih rezultatov. Dosežki projekta so bili predstavljeni na občinski ravni, za vse vas pa so dosegljivi v spletni učilnici projekta TwinSpace [5].

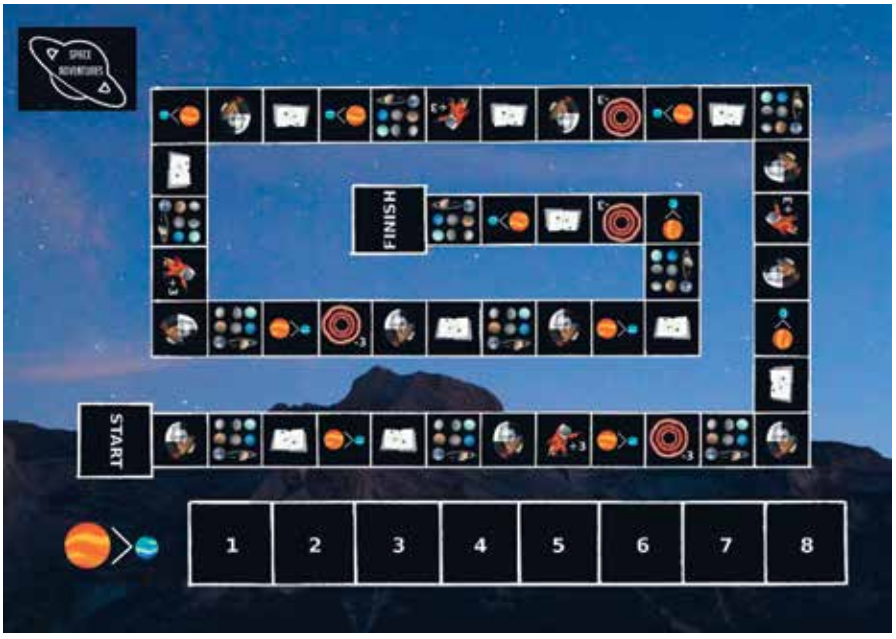
Projekt je leta 2022 prejel evropsko nagrado za odličnost.

Slika 3: Sobno kolo, prirejeno za polnjenje mobilnih naprav

Primer projekta eTwinning: Space adventures

Naša šola je bila med drugim vključena v projekt, pri katerem so učenci sodelovali pri izbirnem predmetu astronomija: Space adventures [6]. Učenci so raziskovali naše Osončje in tudi eksoplanete. Najprej so se med seboj spoznali in predstavili svoje domače kraje ter šolo. Izdelali so astronomski večjezični slovar, raziskali biografije slavnih astronomov iz držav udeleženk, poiskali in predstavili posamezne planete našega Osončja, pripravili vse podatke za izdelavo modela Osončja in ga tudi izdelali. Opravili so kar nekaj opazovanj s teleskopi in nato o njih poročali. K sodelovanju smo povabili tudi našo svetovno priznano raziskovalko dr. Marijo Strojnik Scholl, ki se je pri svojem delu ukvarjala tudi z odkrivanjem eksoplanetov. Pripravili so tudi različne interaktivne igre in izdelali namizno igro [7] za sošolce, ki jo na šoli uporabljamo tudi po koncu projekta.

Slika 4: Aplikacija za igro, ki jo najdete v viru [7].



Slika 5: Namizna igra, uporabna z aplikacijo

Učenci so sodelovali v mednarodnih timih, učili so se sodelovalnega dela in se učili drug od drugega. Delo je potekalo v angleškem jeziku, kar učencem ni povzročalo posebnih težav. Učiteljice angleščine so pozneje poročale o veliki motivaciji za delo pri pouku angleščine. Učenci so sčasoma veliko bolj sproščeno komunicirali med seboj in s preostalimi sodelujočimi učitelji, tudi s tistimi iz tujine.

Zaključek

Projektno in sodelovalno delo lahko nadomesti običajni način dela v razredu. Učenci z njim pridobijo veliko izkušenj, ki so dragocene za nadaljnje izobraževanje. S sodelovanjem lokalnih podjetij, staršev in različnih strokovnjakov, ki prek videokonferenčnih sistemov predstavijo svoje delo ali dosežke, populariziramo znanje, znanost in delo ter uspešno vključujemo šolo v okolje.

Vsi, ki vas zanima sodelovanje pri projektih, se lahko po pomoč obrnete na CMEPIUS [8] (Center Republike Slovenije za mobilnost in evropske programe izobraževanja in usposabljanja). Tam najdete vse informacije o prijavi pa tudi različne možnosti za svoje izobraževanje doma in v tujini. Tako pomoč kot tudi izobraževanje sta za učitelje brezplačna.

Viri in literatura

[1] https://www.cmepius.si/objave/razpis/razpis-erasmus-2021/ (22. 3. 2022)

[2] https://www.cmepius.si/mednarodno-sodelovanje/moznosti-sodelovanja/etwinning/ (22. 3. 2022)

[3] https://twinspace.etwinning.net/70595/pages/page/608570(22. 3. 2022)

[4] https://twinspace.etwinning.net/70595/pages/page/471858 (22. 3. 2022)

[5] https://twinspace.etwinning.net/70595/pages/page/432128 (22. 3. 2022)

[6] https://twinspace.etwinning.net/47471/pages/page/275374 (22. 3. 2022)

[7] https://twinspace.etwinning.net/47471/pages/page/371362 (22. 3. 2022)

[8] https://www.cmepius.si/ (22. 3. 2022)

Napovednik izobraževanj: tabori, konference, seminarji

Poletna šola astronomije GoChile

Te zanima vesolje? Kako astronomi in astronomke raziskujejo eksoplanete, meglice in kopice, galaksije in vesoljske eksplozije? Letos poleti lahko tudi ti raziskuješ vesolje, obogatiš svoje znanje o njem in odkriješ nekatere njegove skrivnosti.

Na poletni šoli GOChile boš pod strokovnim mentorskim vodstvom opazoval/-a astronomska telesa s prvim slovenskim teleskopom v Čilu in spoznal/-a metode raziskovalnega dela. Ob tem boš izbrusil/-a svoje mojstrstvo v astronomskih opazovanjih, obdelavi podatkov in predstavitvi rezultatov.

V sproščenem vzdušju bomo ob druženju, sprehodih in športnih aktivnostih klepetali o znanosti, vesolju in sploh vsem. Program poletne šole bo upošteval predznanje in zanimanje udeležencev in udeleženk, dobrodošli tudi začetniki in začetnice. Poletna šola (program, prenočišče, prehrane) je za udeležence brezplačna!

Kdaj: 26. do 31. avgusta 2022

Kje: Hiša mladih Ajdovščina

Za koga: za dijakinje in dijake

Prijave zbiramo do 30. junija.

https://www.ung.si/sl/fakultete/fakulteta-za-naravoslovje/raziskave/gochile/poletna-astronomska-sola-gochile/

Poletna šola astronomije za dijakinje in dijake bo potekala v Hiši mladih v Ajdovščini od 26. do 31. avgusta 2022. Prijave zbiramo do 30. junija.

Udeleženci in udeleženke šole boste glavne projekte izvedli s teleskopom GoChile. V manjših skupinah (3–4 dijaki/-nje na skupino) boste ob mentorski pomoči načrtovali, izvedli in predstavili manjši raziskovalni projekt. Svoje praktične sposobnosti boste brusili tudi s teleskopi, ki jih bomo postavili v okolici Ajdovščine. Na popoldanskih predavanjih pa boste razširili tudi svoje teoretično znanje o temah, kot so kozmologija, črne luknje, temna snov in kozmični delci.

Število sodelujočih je omejeno na največ 16. Če bo prijav več, bomo naredili izbor na podlagi motivacijskega besedila (del prijavnega obrazca).

Poletno šolo organizira in financira Univerza v Novi Gorici v okviru projekta »Promocija študija s STE(A)M področij za poklice prihodnosti«, ki ga financira MIZŠ. Pri organizaciji in izvedbi sodeluje tudi Zavod Cosmolab.

Dijake in dijakinje bodo skozi projekte vodili: dr. Jure Japelj, dr. Andreja Gomboc, dr. Tanja Petrushevska, Mateusz Bronikowski, Andrej Guštin in dr. Barbara Rovšek.

Za dodatne informacije nam pišite na gochile@ung.si.

GTTP Teacher Training Workshop at GHOU2022

Letna konferenca GHOU bo potekala na Japonskem v mestu Kagošima od 22. do 26. avgusta 2022. Kot običajno bo vključevala usposabljanje učiteljev GTTP za srednješolske učitelje. To bo hibridni dogodek, ki bo omogočal sodelovanje lokalnih učiteljev in oddaljenih udeležencev z vsega sveta.

Udeležba na konferenci vam omogoči:
– ostati na tekočem s trenutnimi astrofizikalnimi raziskavami;
– pridobiti gradivo, ki se lahko uporablja v izobraževanju;
– vzpostaviti stik z raziskovalci in raziskovalnimi ustanovami.

http://galileoteachers.org/gttp-teacher-training-workshop-at-ghou2022/

ESA – GTTP 2022

Program bo vključeval predstavitve znanstvenikov, praktične dejavnosti, digitalna orodja, raziskovalne dejavnosti, virtualne obiske objekta in opazovanja z robotskimi teleskopi. Podrobnosti o programu in povabljenih trenerjih bodo na voljo junija 2022.

Evropska vesoljska agencija (ESA) in Program za usposabljanje učiteljev Galileo (GTTP) sta se ponovno združila, da bi vsem zainteresiranim učiteljem ponudila vrhunske priložnosti za usposabljanje. Organizirali bomo tečaj z možnostjo obiska Znanstvenega operativnega centra ESA v Madridu (Španija).

Evropski vesoljski astronomski center (ESAC), okno ESA v vesolje, vabi učitelje z vsega sveta. Spoznajte znanstvenike, obiščite objekte in spoznajte odkritja, ki se tam dogajajo.

http://galileoteachers.org/esa-gttp-2022/

Ta enkratna izobraževanja je v preteklosti obiskalo že kar nekaj slovenskih učiteljev. Doživeli so neponovljive izkušnje.

Urednik revije

Življenje v skrajnostih: umetnost preživetja

Frances Ashcroft

- Kaj se zgodi, če se znajdete zaklenjeni v hladilniku, ujeti pod ledom ali izgubljeni v puščavi brez vode?
- Zakaj lahko vrhunski alpinist spleza na vrh Everesta brez dodatnega kisika?
- Zakaj astronavti, ko se po daljšem času vrnejo na Zemljo, le s težavo stojijo pokonci, ne da bi izgubili zavest?
- Zakaj imajo globinski potapljači težave s kostmi?
- Kako deluje naše telo v izrednih razmerah?

Danes mnogi živimo na »robu«, pa čeprav se tega velikokrat niti ne zavedamo. Letalski poleti na velikih višinah, kjer življenje ni možno, so nam postali nekaj povsem vsakdanjega. Podobno velja za jadranje v ledeno mrzlih morjih ali izpostavljanje nevarnostim dekompresijske bolezni pri potapljanju. Namesto da bi v prostem času poležavali ali drugače lenarili, se mnogi raje lotevajo adrenalinskih športov. Vseh teh podvigov se lahko lotevamo na razmeroma varen način, zasluge za to imajo na eni strani fiziologi, ki se ukvarjajo z delovanjem človeškega telesa, in na drugi neustrašni pustolovci, ki so meje človeških sposobnosti potiskali čedalje dlje. V knjigi avtorica opisuje fiziološke odzive telesa na skrajne razmere in odkriva meje človeškega preživetja.

Monografija
leto izida: 2011 / 292 str.
ISBN 978-961-234-991-2

Zavod Republike Slovenije za šolstvo

Naročanje:
- po pošti (Zavod RS za šolstvo, Poljanska c. 28, 1000 Ljubljana)
- po faksu (01/3005-199)
- po elektronski pošti (zalozba@zrss.si)
- na spletni strani (http://www.zrss.si)

ISSN 1318-6388
9 771318 638001