1
2021
Letnik 26

Fizika v šoli

Poštnina plačana pri pošti 1102 Ljubljana

Refleksija po letu dni pouka na daljavo

- Enosmerni električni krog pri pouku na daljavo
- Nemi eksperimenti
- Sobota za vedoželjne

Zavod
Republike
Slovenije
za šolstvo

Fizika v šoli

Letnik 26 (2021), št. 1

KAZALO

Danica Mati Djuraki
Pouk na daljavo 1

IZ TEORIJE ZA PRAKSO

Gorazd Planinšič
Refleksija po letu dni pouka na daljavo 2

Peter Gabrovec
Splošna matura iz fizike 2020 6

Sergej Faletič in Tomaž Kranjc
Začetno poučevanje kvantne mehanike v srednji šoli – osnove 15

Peter Jevšenak
Kako z Vernierjevim metalcem kovinskih kroglic zadeti koš? 23

IZ PRAKSE

Jože Pernar
Terensko delo in GPS-aplikacije za pouk na daljavo 33

Andreja Eršte
Enosmerni električni krog pri pouku na daljavo 42

Marko Jagodič
Nemi eksperimenti 46

Jure Ausec
Poskus iz moderne fizike za izvedbo z dijaki – merjenje Planckove konstante 50

Ksenija Božak
Sobota za vedoželjne 54

Anja Šmid Pustoslemšek
Energija v šolski knjižnici 60

UČITELJEV POGLED

Peter Prelog
Brezdimenzionalni nevidni radiani 63

STRIP

Milenko Stiplovšek
Avtentičnost 65

PACS 01.40. –d, 01.50. –i, 01.55. +b

ISSN 1318-6388

FIZIKA V ŠOLI
letnik XXVI, številka 1, 2021

Izdajatelj in založnik:
Zavod RS za šolstvo
Predstavnik:
dr. Vinko Logaj
Odgovorna urednica:
Danica Mati Djuraki
Uredniški odbor:
Goran Bezjak, mag. Miroslav Cvahte, dr. Mojca Čepič, dr. Vladimir Grubelnik, Tatjana Gulič, dr. Tomaž Kranjc, dr. Marko Marhl, mag. Jože Pernar, Milenko Stiplovšek, dr. Barbara Šetina Batič, dr. Saša Ziherl
Jezikovni pregled:
Andraž Polončič Ruparčič
Prevod povzetkov:
Ensitra prevajanje, Brigita Vogrinec Škraba, s. p.
Urednica založbe:
Andreja Nagode
Oblikovanje:
Simon Kajtna, akad. slik.
Fotografije:
avtorji člankov
Računalniški prelom:
Design Demšar, d. o. o.
Tisk:
Tisk Žnidarič, d. o. o.
Naklada: 390 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.

Pouk na daljavo

Pred vami je prva številka šestindvajsetega letnika revije Fizika v šoli. Ko smo pred četrt stoletja prvič vzeli v roke svojo revijo, si niti v sanjah nismo znali predstavljati, pred kakšne izzive bomo postavljeni v petindvajsetem letu izhajanja revije. Bolj ali manj nepripravljeni smo svoje delo preselili na daljavo. Za naravoslovce, ki poučevanje gradimo na eksperimentu in ki vemo, da je najučinkovitejši aktivni pouk, je bila to še posebej zahtevna naloga.

Velik del revije posvečamo pouku na daljavo. Dr. Gorazd Planinšič je v svojem članku zbral nekaj osnovnih izkušenj pri poučevanju študentov na daljavo. Popisal je številne zamisli, ki jih je dobil od učiteljev doma in po svetu pa tudi od študentov, ki jih poučuje. Mag. Jože Pernar v svojem članku predstavlja zanimivo terensko delo z GPS-aplikacijo, ki ga je izvedel na daljavo. Avtentična aktivnost je uporabna tako pri obravnavi poglavij iz gibanja kot pri poglavjih iz dela in energije za različne letnike srednje šole, z nekaj poenostavitvami pa je gotovo uporabna tudi za osnovnošolce. Dr. Andreja Eršte nas vabi v svet simulacij. Opisuje dejavnosti pri obravnavi enosmernega električnega kroga z orodjem PhET – zanimivo in uporabno tako pri pouku na daljavo kot tudi pri običajnem delu v razredu. Dr. Marko Jagodič je pripravil zbirko posnetkov fizikalnih eksperimentov brez komentarja, v članku Nemi eksperiment pa opisal njihovo uporabo v vlogi demonstracijskega eksperimenta, v vlogi eksperimentalnih vaj in v vlogi fizikalne naloge. Anja Šmid Pustoslemšek je opisala, kako sta s knjižničarko obravnavo teme o energiji, ki sta jo z osnovnošolci več let uspešno izvajali v šoli, priredili za delo na daljavo. Ksenija Božak se s sodelavkami iz naravoslovnega aktiva že dalj časa zoperstavlja prepričanjem učencev, da je fizika »strah in trepet« in da je ni mogoče razumeti. S sobotami za vedoželjne že pri šestošolcih vzbujajo radovednost in podirajo predsodke. Poučevanje sodobnejših vsebin obravnavata dva članka: Jure Ausec opisuje merjenje Planckove konstante, dr. Sergej Faletič in dr. Tomaž Kranjc pa predstavljata osnove začetnega poučevanja kvantne mehanike v srednji šoli. Kako z Vernierjevim metalcem kovinskih kroglic zadeti koš? »Recept« najdete v članku Petra Jevšenaka. Na splošni maturi iz fizike je lani ocenjevanje prvič potekalo elektronsko na daljavo. Opis ocenjevanja in analizo mature je v članku predstavil glavni ocenjevalec Državne predmetne komisije za splošno maturo iz fizike Peter Gabrovec. Peter Prelog je prispeval razmišljanje o brezdimenzionalnih nevidnih radianih. **Do zanimivih povezav, opisanih v reviji, lahko dostopate prek zavodove spletne strani: zrss.si/strokovne-revije/fizika-v-soli.**

V letošnjem šolskem letu so nastale **fizikalne e-urice** – sodelovanje učiteljev fizike na daljavo. Na mesečnih srečanjih drug drugemu predstavljamo aktualne in zanimive teme. Posnetki preteklih e-uric so na voljo v spletnih učilnicah študijskih skupin za fiziko. Vabljeni k ogledu in sodelovanju.

Mnoge dejavnosti, ki smo jih razvili pri delu na daljavo, bomo s pridom prenesli v svoje delo tudi v prihodnje. Želimo pa si, da bi jih z učenci, dijaki in študenti uporabili pri pouku v učilnicah, laboratorijih ter predavalnicah.

Želim vam uspešen zaključek šolskega leta.

Danica Mati Djuraki,
odgovorna urednica

Refleksija po letu dni pouka na daljavo

Dr. Gorazd Planinšič
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko

Izvleček

V času pisanja tega članka mineva že več kot leto dni, odkar smo na vseh šolah pri vseh predmetih in dobesedno čez noč vpeljali nov način učenja in poučevanja – pouk na daljavo. Leto dni je dovolj dolg časovni interval, da je smiselno pogledati nazaj in razmisliti o tem, kaj smo se naučili. V zapisu sem zbral nekaj osnovnih izkušenj s poukom na daljavo pri izvajanju predmeta Didaktika fizike za študente na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani. Številne ideje, ki sem jih pri pouku na daljavo uporabil, sem dobil od učiteljev fizike v šolah doma in po svetu pa tudi od študentov, ki jih poučujem.

Ključne besede: pouk na daljavo, virtualne sobe (breakout rooms), delovne prosojnice (Google slides), domači poskusi, računalniške simulacije

Reflection after a Year of Remote Teaching

Abstract

At the time of writing this article, over a year has passed since a new way of learning and teaching was introduced practically overnight in all schools for all subjects – remote learning and teaching. One year is a long enough time period to look back and reflect on what we have learnt. In the article, I present some of the main experiences that I obtained implementing the remote teaching and learning at the Didactics of Physics classes for the students of the Faculty of Mathematics and Physics, University of Ljubljana. Several ideas that I used in remote teaching came from Slovenian and other physics teachers as well as from my students.

Keywords: remote teaching, breakout rooms, Google slides, home experiments, computer simulations

Potek srečanj na daljavo – na kratko

Vsa srečanja izvajam v okolju Zoom, zato se bom pri opisu svojih izkušenj skliceval na orodja, ki jih omogoča to okolje. Naša srečanja potekajo enkrat na teden in tipično trajajo tri ure. Vsaki uri sledi petminutni odmor. Študente spodbujam, naj med odmorom naredijo kratke fizične aktivnosti, na primer deset sklec ali počepov. Vsako srečanje vključuje delo v majhnih skupinah (tipično po štiri študente) v virtualnih sobah (*breakout rooms*), ki jih bom odslej imenoval kar sobe. Ker je tudi pri kontaktni izvedbi pouka pred epidemijo pouk pri mojih predmetih redno potekal v majhnih skupinah, to ni bila novost, seveda pa izvedba na daljavo zahteva usvojitev določenih novih veščin, kot sta določanje skupin ter spremljanje njihovega dela. Pri določanju skupin pazim le na to, da dekleta v njih niso v manjšini. Skupine so torej bodisi v celoti sestavljene iz fantov ali pa je v skupini vsaj polovica deklet. O tem, zakaj je takšna sestava skupin boljša, si lahko preberete v članku [1]. Delo skupin spremljam na dva načina: 1) tako da izmenoma obiskujem skupine, nekaj časa spremljam njihovo delo in občasno dam kakšen namig (običajno v obliki vprašanja) in 2) tako da spremljam delovne table skupin ter nanje napišem kratek namig ali vprašanje. Več o tem, kaj so delovne table in kako jih uporabljam, v naslednjem poglavju. Večino srečanj sklenemo z refleksijo. Vsak študent mora povedati misel o tem, kaj se je pri uri novega naučil bodisi z vidika poučevanja ali z vidika fizikalnega znanja.

Delovne table

Delovne table (imenovane tudi bele table ali table piši-briši) so nepogrešljivo orodje za aktivni pouk, kjer večina dela poteka v majhnih skupinah. Vsaka skupina ima eno delovno tablo. Študenti v skupini med delom na table zapisujejo svoje ugotovitve, rišejo različne reprezentacije, izpeljujejo matematične izraze in računajo. Pri kontaktnem načinu dela v razredu so delovne table

tanke lesene plošče, prelepljene z belo plastično folijo, na katero študenti pišejo z markerji za šolske bele table (slika 1a). Pri delu na daljavo lesene delovne table nadomestimo z virtualnim okoljem, v katerem študenti (prek svojih računalnikov) počnejo natanko to, kar so prej počeli z lesenimi tablami. Obstajajo številni programi in okolja, ki omogočajo tovrstne funkcije. Sam sem se odločil za uporabo delovnih prosojnic v okolju Google (Google slides). Pred srečanjem sestavim delovne prosojnice, pri katerih se vsaka aktivnost začne s predstavitveno prosojnico (prosojnica z belim ozadjem), sledijo pa ji delovne prosojnice za vsako skupino študentov (vsaka skupina ima ozadje druge barve). Vsaka skupina uporablja svojo delovno prosojnico na enak način, kot so prej uporabljali delovne table (slika 1b).

Če skupini zmanjka prostora, lahko vstavijo dodatne prosojnice. Virtualna izvedba delovnih tabel učitelju omogoča, da v stvarnem času spremlja delo na delovnih prosojnicah vseh skupin in sproti zagotavlja povratno informacijo študentom o njihovem delu. To lahko naredi bodisi tako, da obišče skupino v njihovi sobi, ali pa napiše kratek komentar ali vprašanje na delovno prosojnico izbrane skupine (na primer »Kaj ste izbrali za opazovani sistem?«) Jasen pregled nad delom vseh skupin učitelju omogoča tudi učinkovito izvedbo razprave, ki sledi, ko študenti končajo delo v skupinah in se ponovno srečajo v glavni sobi.

Računalniška orodja pa omogočajo tudi številne nove prijeme, ki jih pri kontaktnem načinu pouka nismo uporabljali. Naslednja izvirna zamisel se je študentom porodila med pripravo učne enote *Gibalna količina*, ki so jo jeseni 2020 izvedli na daljavo na ljubljanski Gimnaziji Poljane. V delovni list (Wordov dokument) so dodali »predal« z ikonami vozičkov, puščic in oznak hitrosti, ki jih dijaki lahko premikajo in vrtijo ter tako izdelujejo skice. Glavna prednost je prihranek časa pri izdelavi skic in njihova preglednost. Zamisel se je odlično obnesla tudi v praksi.

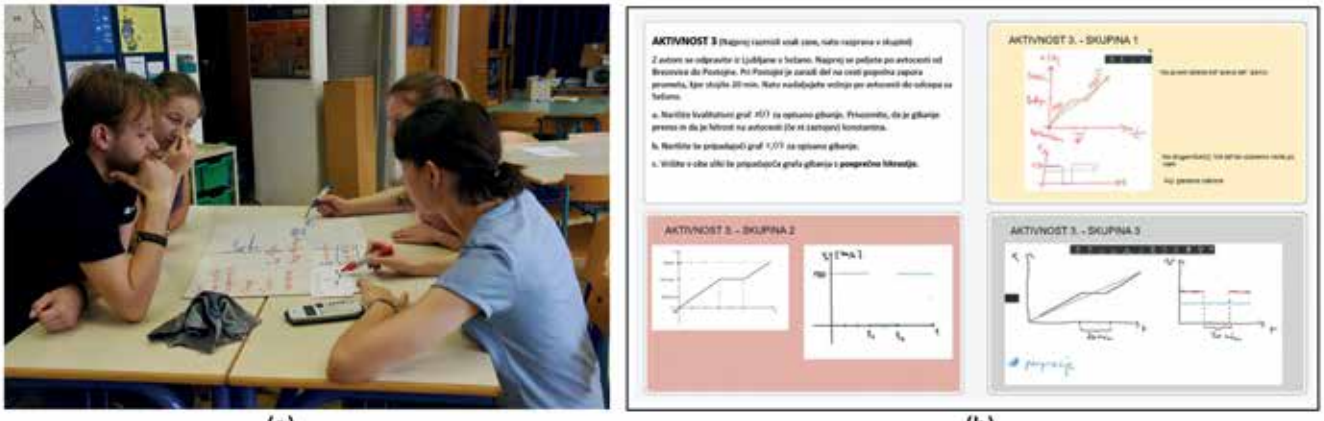
Aktivnosti

Brez dvoma je fizika eden od predmetov, ki so jih nove razmere močneje prizadele, in to prav zaradi zmanjšanja možnosti izvajanja poskusov pri pouku na daljavo. Vsak učitelj fizike ve, da brez poskusov ni pouka fizike. Prav zato smo se poleti 2020 skupaj s kolegi iz ZDA odločili pospešeno pripraviti nova gradiva, namenjena usvajanju novega znanja ali poglabljanju že usvojenega znanja, in to ob poskusih, ki jih dijaki bodisi izvajajo sami ali pa jih opazujejo in analizirajo na videoposnetkih. S kolegi v skupini za Izobraževalno fiziko na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani (FMF UL) smo se jeseni 2020 odločili narediti izbor prej omenjenih aktivnosti, jih prevesti in prirediti za pouk fizike pri nas. Vsa gradiva so prosto dostopna na spletni strani programa za stalno strokovno izpopolnjevanje učiteljev fizike na FMF UL (glej http://sss.fmf.uni-lj.si, mapa »Pouk na daljavo«). Večino aktivnosti smo preizkusili že v času nastajanja, izboljšujemo pa jih tudi sproti, na podlagi povratnih informacij, ki jih dobivamo od učiteljev fizike, ter na podlagi odzivov študentov (iste aktivnosti namreč uporabljamo pri pouku Didaktike fizike na FMF).

Kaj še lahko naredimo, da ohranimo ključno vlogo poskusov pri pouku fizike? (O tem, kakšno vlogo naj imajo poskusi pri pouku fizike in zakaj, sem v tej reviji že pisal [2].) Na kratko bom opisal tri ideje, ki jih upoštevam pri pripravi učne ure (iste ideje najdete tudi v prej omenjenih gradivih).

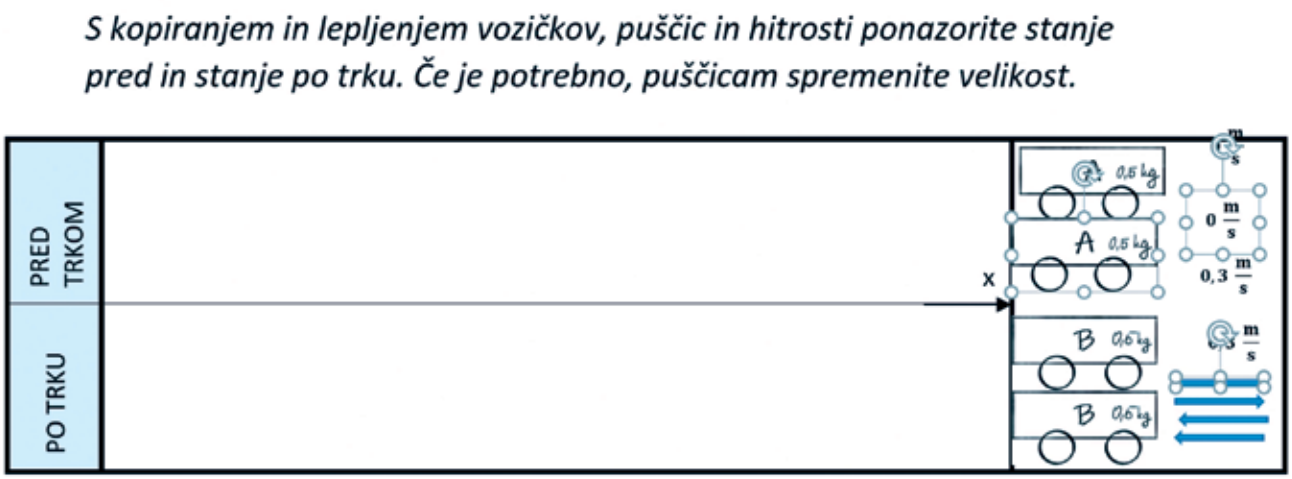
Konkretni predmeti kot pomoč pri oblikovanju miselnih predstav

Konkretne izkušnje in slike so ključni elementi oblikovanja novega znanja [3]. Če razpravljamo o jabolku in ga hkrati držim v roki, bodo procesi pomnjenja in povezovanja različnih miselnih slik učinkovitejši, kot če vse to počnem brez jabolka (slika jabolka je lahko nadomestek, toda še bolje je, če kažem pravo jabolko). Tako pri kontaktnem pouku kot pri pouk na daljavo si pred za-



(a) (b)

Slika 1: Delovne table pri skupinskem delu: a) pri običajnem (kontaktnem) pouku in b) pri pouku na daljavo (delovne prosojnice).



Slika 2: Delovni list z vnaprej pripravljenimi elementi, s katerimi dijaki izdelujejo skice (izvirna zamisel študentov).

četkom pouka pripravim predmete, ki jih bom v določenih trenutkih uporabil kot ilustracijo tega, o čemer teče beseda, čeprav s temi predmeti ne bom izvedel nobenega poskusa. Čeprav vsi študenti vedo, kaj je »klada« in kaj »hrapava podlaga« ter kako je videti, če klado vlečemo po hrapavi podlagi, se potrudim, da ob razpravi o trenju študenti omenjena telesa in procese v resnici tudi vidijo.

Domači poskusi

Domači poskusi so poskusi, ki jih študenti sami izvedejo doma (običajno kot del domače naloge) in pozneje razpravljajo o njih pri pouku. V času kontaktnega pouka sem le redko dal študentom domače naloge, ki so vključevale domače poskuse, v času pouka na daljavo pa so tovrstni poskusi postali pomemben del pouka. Tematika

Slika 3: a) senzorji fizikalnih količin v telefonih omogočajo izvedbo različnih kvantitativnih domačih poskusov;
b) preprosta oprema, ki smo jo študentom poslali v kuverti po pošti.

domačih poskusov bi lahko zapolnila celotno revijo, zato se bom na tem mestu omejil le na kratka zgleda. Prvi zgled (slika 3a) kaže poskus, ki ga lahko študenti izvedejo brez dodatne opreme (predpostavimo le, da imajo študenti dostop do pametnega telefona). Poskus od študentov zahteva, da s telefonom izmerijo časovno spreminjanje pospeška knjige, ki se ustavi potem, ko jo sunemo. Izmerjeni graf $a_y(t)$ je prava zakladnica podatkov, na podlagi katerih lahko študenti določijo različne količine (na primer koeficient trenja med knjigo in mizo). Poskus je primeren za uporabo usvojenega znanja po zaključku poglavja o Newtonovih zakonih, lahko pa tudi po zaključku poglavja Delo in energija, če želite dodati še obravnavo z vidika energij. Drugi zgled (slika 3b) kaže preprosto opremo, ki smo jo poslali študentom v kuverti po pošti pred začetkom obravnave poglavja o valovni optiki (med opremo je tudi nekaj predmetov, ki smo jih pozneje uporabili pri poglavju o atomu). Poleg opreme na sliki študenti potrebujejo še drobno točkasto belo svetilo (odlično se obnese LED-svetilka, ki je sestavni del telefona). Izkušnje z domačimi poskusi so bile zelo pozitivne in celo nad mojimi pričakovanji. Večina študentov je raziskovala in eksperimentirala prek okvirjev, ki so bili določeni z navodili domače naloge.

Računalniške simulacije

Kljub vsej iznajdljivosti in sodobnim napravam, ki nas obkrožajo, v času pouka na daljavo obstaja množica poskusov, ki so ključni za pouk fizike in jih študenti ne morejo sami izvesti v okviru domačih poskusov. Tipičen primer so poskusi z električnimi vezji, ki jih v normalnih razmerah dijaki brez težav izvajajo v šoli, kjer imamo vso primerno opremo. Rešitev so lahko računalniške simulacije (tudi v prej omenjenih gradivih so aktivnosti, ki temeljijo na uporabi računalniških simulacij). Med najbolj znanimi simulacijami za fiziko so simulacije PhET, ki so jih razvili na Univerzi Colorado Boulder (https://phet.colorado.edu). Simulacije PhET se odlikujejo po tem, da so prečiščene/izpopolnjene tako z vidika fizike kot s pedagoškega vidika. Med simulacijami PhET največkrat uporabljam simulacije za opazovanje in testiranje električnih vezij, idealnega plina, valovanja na vrvi, električnega polja v okolici električnih nabojev ter fotoefekta. Za opazovanje in testiranje v geometrijski optiki je odlična naslednja simulacija https://ricktu288.github.io/ray-optics/simulator.

Za konec

Zbral sem nekaj osnovnih izkušenj, za katere lahko trdim, da so se izkazale kot uspešne pri mojem delu na daljavo in prav tako pri delu srednješolskih učiteljev fizike, ki so ideje preizkusili ali pa sem jih prevzel od njih. Nekaterih pomembnih vprašanj (na primer ocenjevanja in preverjanja znanja pri pouku na daljavo) se nisem dotaknil bodisi zato, ker mislim, da so moje izkušnje nerelevantne za bralce te revije, ali pa zato, ker še nimam dovolj izkušenj, da bi o tem pisal. Čeprav je treba na vsak nov izziv gledati kot na priložnost, da se naučimo kaj novega, pa upam, da bo tega »dodatnega izobraževanja« iz pouka na daljavo kmalu konec.

Viri

[1] Dasguptaa, N., McManus Scircleb, M., in Hunsingerc, M. (2015). Female peers in small work groups enhance women's motivation, verbal participation, and career aspirations in engineering, *PNAS*, **112**, 4988–4993. Prosto dostopno na www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1422822112.

[2] Planinšič, G. (2019). Aktivni pouk: zakaj in kako. *Fizika v šoli*, **24**(2), 13–18.

[3] Zull J. E. (2002). *The art of changing the brain: enriching teaching by exploring the biology of learning (1st ed.)* Virginia: Stylus Publishing.

Splošna matura iz fizike 2020

Poročilo Državne predmetne komisije za splošno maturo (DPK SM) za fiziko

Peter Gabrovec
Gimnazija Bežigrad, glavni ocenjevalec DPK SM za fiziko

Izvleček
V prispevku je podana analiza mature iz fizike leta 2020. Ključni statistični podatki o kandidatih, nalogah in uspehu so navedeni primerjalno glede na predhodna leta. Izpostavljen je rahlo slabši uspeh kandidatov glede na prejšnja leta zaradi oteženih priprav na maturo. Predstavljene so najbolj izstopajoče naloge s komentarji uspeha, zbrane so značilne napake in težave kandidatov pri reševanju izpita. Opisan je postopek ocenjevanja, ki je pri tem izpitu prvič potekal elektronsko na daljavo.

Ključne besede: splošna matura iz fizike, analiza dosežkov, značilne težave pri reševanju, večletni trendi

General Physics Matura Exam in 2020

Abstract
The article analyses the Physics Matura Exam from 2020. The key statistical data on the candidates, tasks and results is given in comparison with the previous years. The emphasis is on the slightly lower results than in previous years due to more difficult Matura preparations. The tasks standing out the most are presented with comments on the results, together with the typical mistakes and problems that the candidates encountered in taking the exam. The online evaluation process which took place remotely for the first time in the implementation of this exam is also described.

Keywords: General Physics Matura Exam, results analysis, typical problems in taking the exam, multi-year trends

1 Splošni podatki
Pisni izpit splošne mature iz fizike je v šolskem letu 2019/20 v spomladanskem roku opravljalo 1209 kandidatov (Tabela 1). Struktura kandidatov glede na izobraževalni program je podobna kot prejšnja leta.

Število kandidatov, ki na maturi izberejo fiziko, vztrajno pada, pri čemer je pomemben dejavnik zmanjševanje števila vseh kandidatov na splošni maturi. Delež kandidatov, ki izberejo fiziko, je sicer stabilnejši, a je bil tudi ta leta 2020 najnižji po letu 2013 (Slika 1).

2 Analiza dosežkov kandidatov
Analiza dosežkov kandidatov je opravljena za referenčno skupino kandidatov. To skupino sestavljajo redni dijaki, ki prvič opravljajo splošno maturo v celoti (brez kandidatov z maturitetnim tečajem, 21-letnikov, odraslih in poklicnih maturantov). Referenčna skupina zajema 89 % kandidatov, ki so junija 2020 opravljali izpit splošne mature iz fizike.

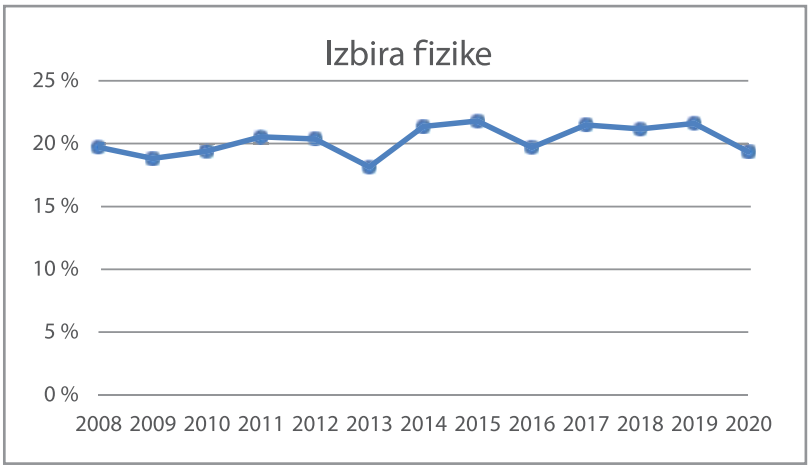
Povprečno število točk, ki so jih dosegli pri izpitu kandidati referenčne skupine, je bilo letos 72,18. Ta vrednost je za 2,4 točke nižja od leta prej in za 1,2 točke nižja od leta 2018, a višja kot leta 2017.

Pri prvi izpitni poli so kandidati referenčne skupine SM v povprečju dosegli 72,18 točke, indeks težavnosti[1] (IT) je bil 0,72, kar je na ravni dosežkov preteklih let (lani: 0,71, 2018: 0,64, 2017: 0,70, 2016: 0,69, 2015: 0,71).

1 Indeks težavnosti (IT) je razmerje med povprečnim številom doseženih točk in največjim številom točk, ki jih je mogoče doseči.

Tabela 1: Število kandidatov na maturi iz fizike med letoma 2011 in 2020.

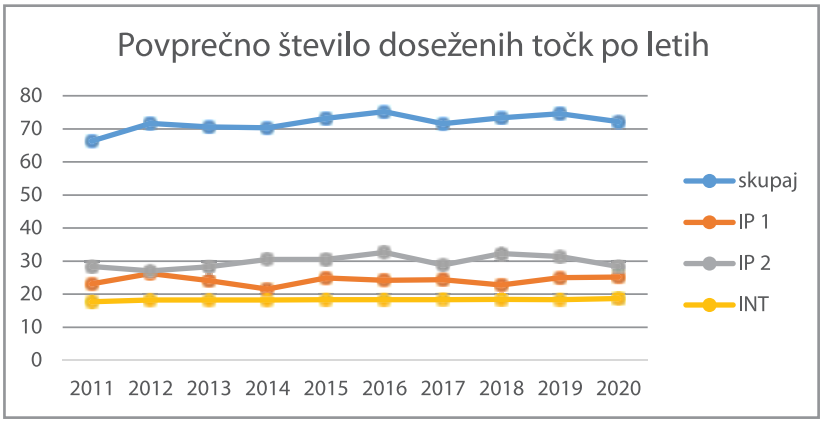
Leto	Število vseh kandidatov
2011	1685
2012	1531
2013	1374
2014	1495
2015	1487
2016	1353
2017	1539
2018	1334
2019	1357
2020	1209



Slika 1: Delež kandidatov SM, ki so opravljali maturo iz fizike med letoma 2008 in 2020.

Povprečen uspeh pri drugi izpitni poli je bil 28,31 točke, indeks težavnosti te izpitne pole je 0,63. Rezultat je najnižji po letu 2013: leta 2019: 0,70, 2018: 0,72, 2017: 0,64, 2016: 0,73, 2015: 0,67.

Povprečno število točk pri internem delu izpita je bilo 18,69, kar je nekoliko nad povprečjem zadnjih petih let, ki je bilo 18,3 točke.



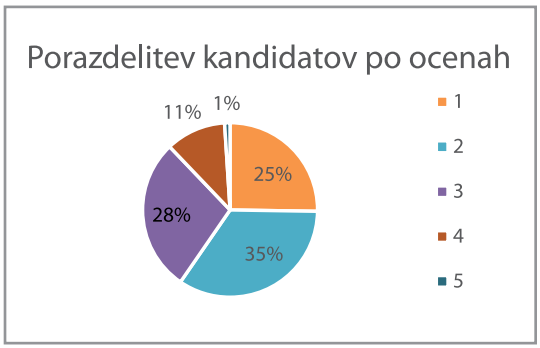
Slika 2: Doseženo število točk po delih izpita in skupno število točk v zadnjih devetih letih.

Skupni uspeh pri izpitu leta 2020 je bil med nižjimi v preteklih nekaj letih, kar verjetno odraža slabše razmere za delo v zadnjih mesecih priprave na izpit zaradi pouka na daljavo. Vendar odstopanje ni zelo izrazito, saj je še vedno na ravni odstopanj, ki jih opažamo tudi v preteklih letih. Ta odstopanja so posledica sestave nalog, izbire nalog v drugi poli, strukture kandidatov, dviga povprečne ocene pri notranjem delu ipd. Nekoliko večjo težo ima slabši uspeh ob dejstvu, da komisija pri pripravi nalog sledi cilju, da bi se število doseženih točk še nekoliko zvišalo in bi lahko mejo za pozitivno oceno dvignili na 50 %. Zato pri prvi poli izbiramo nekoliko lažje naloge, saj je nekaj let prej težavnost te pole postala večja od težavnosti druge pole. To pojasni, zakaj je uspeh nekoliko padel pri drugi poli, ne pa pri prvi.

Meje za izpitne ocene določi komisija glede na dosežke kandidatov referenčne skupine. Mejne točke pri maturi 2020 in primerjavo s preteklimi leti kaže tabela 2 na naslednji strani. Zaradi nekoliko slabšega uspeha pri obravnavanem izpitu je komisija meje za vse ocene spustila za dve točki.

Tabela 2: Meje med ocenami za zadnjih pet let.

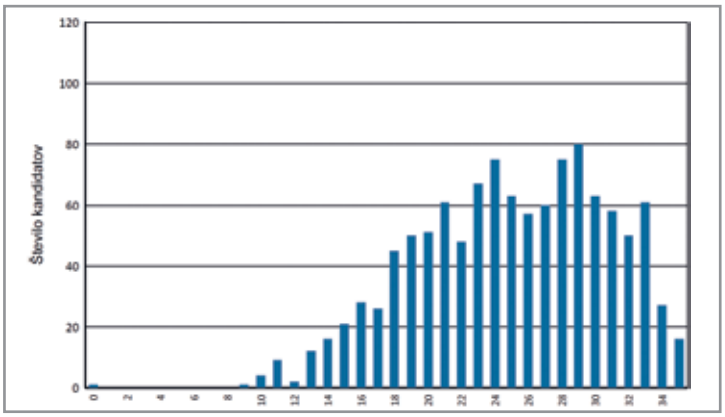
Ocene	5	4	3	2
2015	84	72	59	46
2016	85	73	60	47
2017	84	71	58	46
2018	85	72	58	47
2019	85	72	58	48
2020	83	70	56	46



Slika 3: Porazdelitev kandidatov referenčne skupine po ocenah.

2.1 Vsebinska analiza uspeha pri prvi izpitni poli

Prva izpitna pola je sestavljena iz 35 vprašanj izbirnega tipa. Kandidati izberejo enega od ponujenih mogočih odgovorov na zastavljeno vprašanje. Vprašanja preverjajo le tiste cilje v katalogu, ki spadajo med splošna znanja.



Slika 4: Razporeditev kandidatov po točkah. Upoštevani so kandidati referenčne skupine.

Državna predmetna komisija je v izpitno polo tako kot vedno vključila nekaj težjih vprašanj in nekaj zelo lahkih. V prvem približku se postavimo na stališče, da je »lahka« naloga tista, ki so jo kandidati uspešno reševali (visok IT), »težke« naloge pa so tiste, pri katerih je uspeh kandidatov zelo slab (nizek IT). Seveda na zahtevnost naloge vpliva (poleg objektivne kognitivne zahtevnostne stopnje) še marsikaj drugega – npr. jasna definicija problema, hitro razumljivi in pregledni odgovori, skice pri nalogi in še kaj. Kljub temu predstavlja IT nekakšno okvirno sporočilo o uspehu kandidatov pri splošni maturi. Kandidati so prvo polo nasploh reševali dobro, najnižji IT je bil 0,10 pri vprašanju 10, sledilo je vprašanje 22 z IT 0,41, vsa preostala vprašanja pa so imela IT nad 0,45, kar pomeni, da je bilo v prvi izpitni poli sorazmerno malo vprašanj, pri katerih bi imeli kandidati zelo izrazite težave.

2.1.1 Naloge z nizkim indeksom težavnosti

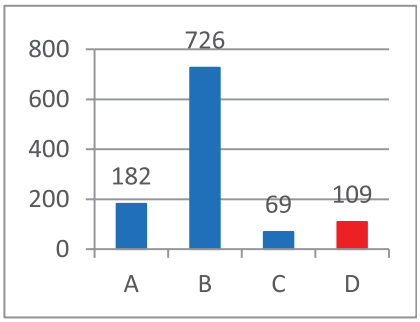
Naloga 10 (IT = 0,10, ID = 0,25)[2]

10. Na telo deluje le ena zunanja sila, ki deluje v smeri gibanja telesa. Ta sila deluje s konstantno močjo, kaj velja za pospešek telesa?

    A Pospešek je enak 0.
    B Pospešek je konstanten.
    C Pospešek se s časom povečuje.
    D Pospešek se s časom zmanjšuje.

2 ID naloge – statistični parameter, s katerim skušamo meriti, ali so nalogo bolje reševali dijaki, ki so imeli v celoti boljši uspeh na maturi. Naloge z visokim ID so uspešno reševali večinoma le dijaki, ki so tudi sicer dosegli zelo dober rezultat na maturi – »dobri« dijaki. Nizek ID pomeni, da so nalogo dobro reševali tako »dobri« kot »slabi« kandidati.

Komentar: Naloga 10 ima v prvi izpitni poli najnižji indeks težavnosti, torej so jo kandidati reševali najslabše. Glede na to, da so kandidati daleč najštevilčnejše izbrali napačen odgovor B, lahko sklepamo, da so kandidati zapis »deluje s konstantno močjo« razumeli kot »ima stalno velikost«, kar pravzaprav ni nenavadno, saj v vsakdanjem življenju besed »sila« in »moč« ne ločujemo natančno. Tudi sorazmerno nizek indeks diskriminatornosti (ID) naloge (naloga je glede na to, kako dobro ločuje dobre od slabših kandidatov, v spodnji tretjini) verjetno kaže, da je bila težava bolj interpretacija besedila kot napačen razmislek, kako se mora spreminjati sila in posledično pospešek, če je moč stalna. Po drugi strani tudi niso pogoste naloge, kjer bi sile delovale s stalno močjo, in je zato obravnavana naloga za mnoge kandidate pomenila nepoznano situacijo.



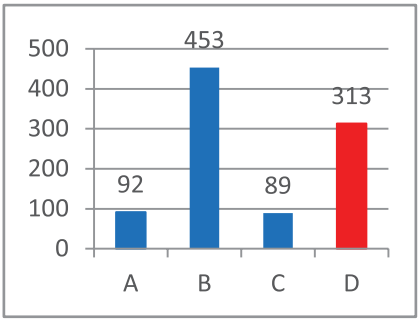
Slika 5: Število kandidatov, ki so izbrali posamezni odgovor v nalogi 10. Pravilen je odgovor D.

Naloga 22 (IT = 0,41, ID = 0,29)

22. Skozi raven vodnik v magnetnem polju teče električni tok in nanj deluje magnetna sila. Vodnik zavrtimo okoli osi, pravokotne nanj. Katera od spodnjih trditev je gotovo pravilna?

A Sila se zmanjša.
B Sila se ne spremeni.
C Sila se poveča.
D Ni dovolj podatkov.

Komentar: Naloga 22 je druga najslabše reševana naloga v prvi izpitni poli. Tudi ta naloga je imela precej nizek indeks diskriminatornosti in torej ni zelo dobro ločevala dobrih kandidatov od slabših. Ne glede na vsebino naloge so naloge, ki vključujejo odgovor »Ni dovolj podatkov«, za kandidate običajno težje, saj morajo biti še bolj prepričani o morebitnem drugem odgovoru. V tem primeru so bile še druge težave. Situacije si ni enostavno predstavljati (še posebej, ker ni bila dodana skica), saj imamo opravka s tremi elementi (vodnik, smer magnetnega polja in smer sile), ki imajo lahko različne smeri. Naslednja težava je, da je mogoče vodnik vrteti na različne načine. Če ga vrtimo okrog osi, ki je vzporedna z magnetnim poljem, se vsaj velikost sile ne spremeni, kar je verjetno večino navedlo k izbiri odgovora B. Pri tem so spregledali, da je mogoče ob danem opisu os vrtenja postaviti tudi npr. v smeri sile – v tem primeru se z zasukom magnetna sila gotovo spremeni in izbira B za ta primer ni več prava.



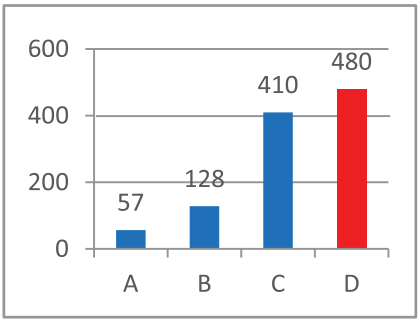
Slika 6: Število kandidatov, ki so izbrali posamezni odgovor v nalogi 22. Pravilen je odgovor D.

Naloga 29 (IT = 0,45, ID = 0,39)

29. Na zaslonu opazujemo interferenčni vzorec laserske svetlobe, ki prehaja skozi dve ozki reži. Kaj se zgodi z vzorcem, če zmanjšamo razdaljo med režama?

A Valovna dolžina svetlobe v vzorcu se poveča.
B Valovna dolžina svetlobe v vzorcu se zmanjša.
C Razdalja med sosednjimi oslabitvami se zmanjša.
D Razdalja med sosednjimi oslabitvami se poveča.

Komentar: Naloga 29 je tretja najslabše reševana naloga. V nasprotju s prejšnjima nalogama je bila ta med tistimi, ki dobro ločujejo med dobrimi in slabimi dijaki. Dejstvo, da se pasovi ojačitve razmaknejo, če reži približamo, je verjetno v nasprotju s pričakovanji, zato je razumljivo, da so dijaki, ki interferenčnih vzorcev ne poznajo dobro, izbrali odgovor C.

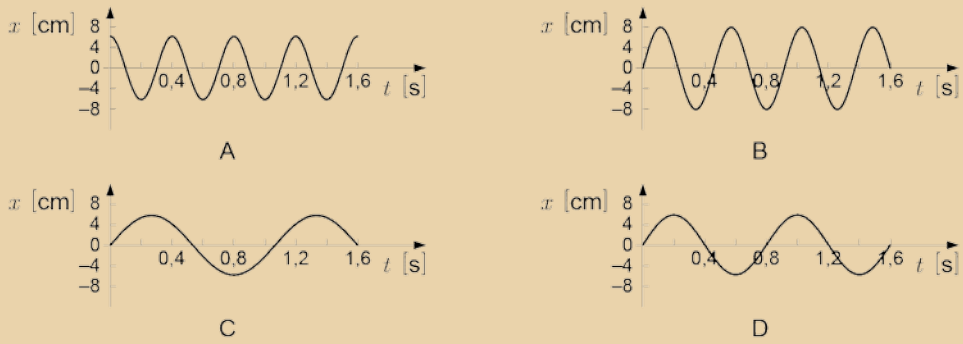


Slika 7: Število kandidatov, ki so izbrali posamezni odgovor v nalogi 29. Pravilen je odgovor D.

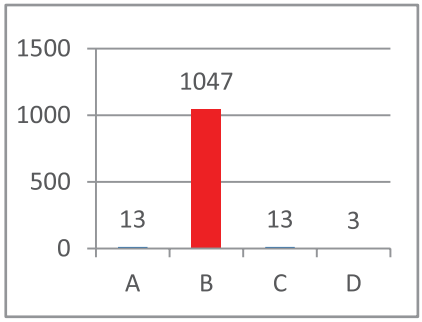
2.1.2 Naloge z dobrim uspehom (visok IT) in naloge, ki dobro ločujejo uspešnejše kandidate od manj uspešnih (visok ID).

Naloga 24 (IT = 0,97, ID = 0,19)

24. Prikazani so grafi odmika nihala v odvisnosti od časa za štiri nihala. V katerem primeru je amplituda največja?



Komentar: Nalogo 24 so kandidati reševali najbolje, napačnih odgovorov skoraj ni bilo. V izpitne pole vedno vključujemo tudi precej enostavne naloge, da je celotna pola primerno zahtevna. Ob tej nalogi pa jasno vidimo težavo takih nalog: če je naloga (pre)lahka in skoraj vsi kandidati odgovorijo pravilno, ne ločimo med dobrimi in slabšimi kandidati. Indeks diskriminatornosti te naloge je tretji najnižji. Podobno je v tej izpitni poli veljalo tudi za 1. nalogo na temo napak, ki jo je pravilno rešilo 94 % dijakov, indeks diskriminatornosti pa je bil najnižji (0,09).



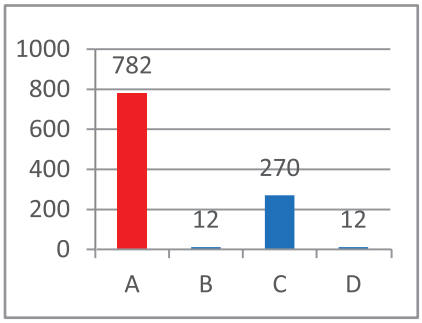
Slika 8: Število kandidatov, ki so izbrali posamezni odgovor v nalogi 24. Pravilen je odgovor B.

Naloga 9 (IT = 0,73, ID = 0,50)

9. Tovornjak in avto imata enaki kinetični energiji. Avto ima maso *m* in tovornjak maso 9 *m*. Kolikšen je količnik gibalnih količin tovornjaka G_t in avtomobila G_a?

A $G_t/G_a = 3$
B $G_t/G_a = 6$
C $G_t/G_a = 9$
D $G_t/G_a = 18$

Deveta naloga je imela najvišji indeks diskriminatornosti, kar pomeni, da je najbolje ločevala med dobrimi in slabšimi kandidati. Rezultati niso presenetljivi, saj so morali dijaki za pravilen odgovor pokazati tako poznavanje fizikalnih vsebin (kaj je gibalna količina in kaj kinetična energija) kot tudi sposobnost zapletenejšega (matematično težjega) razmisleka.



Slika 9: Število kandidatov, ki so izbrali posamezni odgovor v nalogi 9. Pravilen je odgovor A.

2.2 Analiza uspeha pri drugi izpitni poli (strukturirane naloge)

V drugi izpitni poli so kandidati izbrali tri naloge strukturiranega tipa izmed ponujenih šestih. Naloge so pokrivale naslednje fizikalne teme:

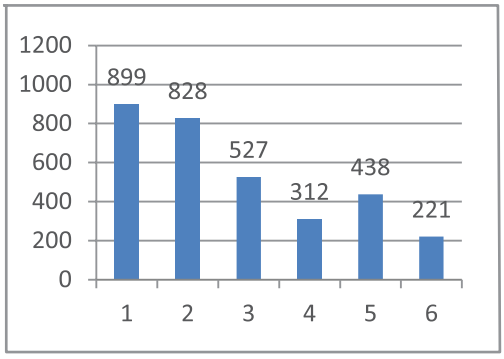
1. naloga – Merjenje: kandidati so pri nalogi obdelovali podatke izmerjenega tlaka v brizgi v odvisnosti od volumna in z obdelanimi podatki sklepali o temperaturi zraka in o merskih napakah.
2. naloga – Mehanika: vsebinsko se je naloga nanašala na gibanje zaboja na tovornjaku. Zaboj je obravnavala z vidika energije, pospeškov, sil in pogojev za ravnovesje.
3. naloga – Toplota: pri nalogi so kandidati obravnavali spremembo stanja helija med pomičnima batoma z vidika opisa stanja obravnavanega plina in njegovih energijskih sprememb oz. izmenjave energije z okolico.
4. naloga – Elektrika in magnetizem: naloga je z različnih vidikov obravnavala nihanje električnega nihajnega kroga.
5. naloga – Nihanje, valovanje in optika: vprašanja pri tej nalogi so se nanašala na nihanje vzmetnega nihala z različnim številom obešenih uteži.
6. naloga – Moderna fizika: tema naloge je bila Luna: njeno gibanje okrog Zemlje, njen težni pospešek in izmenjava sevanja z okolico.

Frekvenco izbranih nalog kaže slika 10.

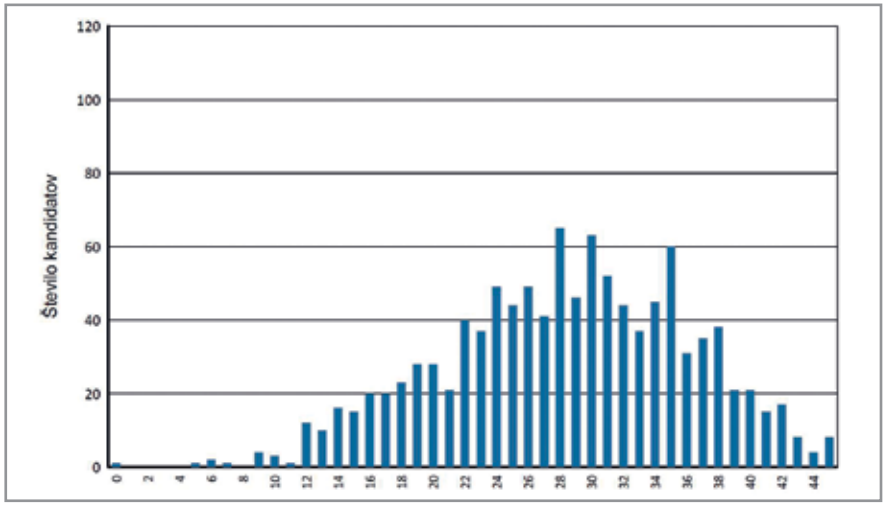
Glede števila kandidatov, ki so izbrali posamezno nalogo, je tudi letos najvišje uvrščena prva naloga. Tak vzorec je bil značilen že v prejšnjih letih. Opisani vzorec lahko pripišemo dejstvu, da je tip prve naloge vsa leta precej podoben in kandidati dobro obvladajo vsebine, ki jih naloga preverja. Veščin obdelave merskih podatkov, risanja grafov in določanja napak pri merjenjih so se kandidati naučili tudi pri laboratorijskem delu, ki je po učnem načrtu prisotno v vseh letih šolanja.

Po deležu kandidatov, ki so izbrali posamezno nalogo, letos v primerjavi s povprečjem zadnjih štirih let navzgor najbolj odstopa 5. naloga, najmanj so kandidati pri obravnavanem izpitu izbirali 6. nalogo. Razlike v pogostosti izbire posamezne naloge v različnih letih so pričakovane glede na različne teme, ki jih naloge obravnavajo, in se tudi pri obravnavanem izpitu gibljejo v običajnih vrednostih.

Vsaka naloga je bila vredna 15 točk, skupaj so torej kandidati lahko dosegli 45 točk. Spodnja slika kaže razporeditev kandidatov referenčne skupine po doseženih točkah v drugi poli.

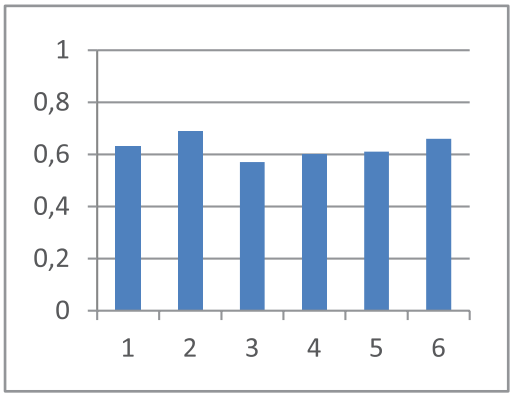


Slika 10: Število kandidatov, ki so izbrali posamezno nalogo. Upoštevani so kandidati referenčne skupine.



Slika 11: Razporeditev kandidatov po doseženih točkah pri drugi poli. Upoštevani so kandidati referenčne skupine.

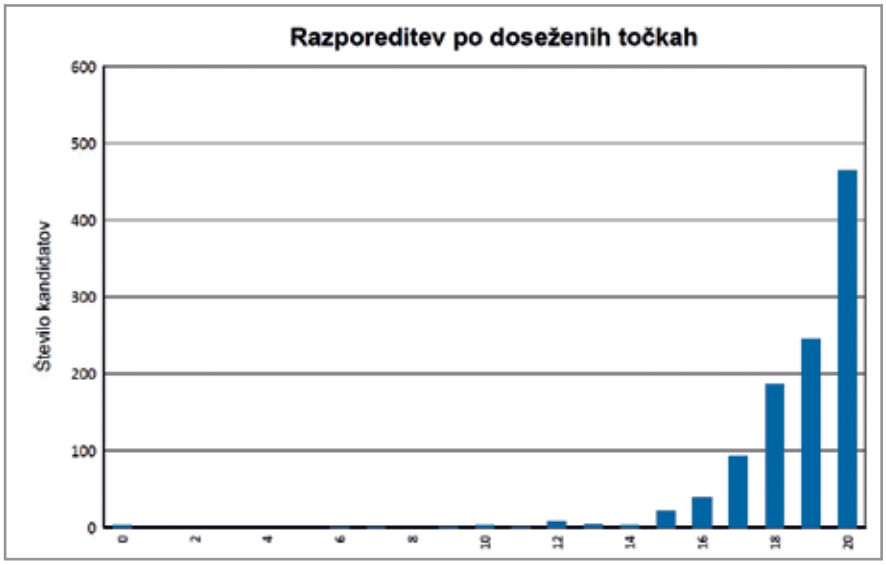
Glede indeksa težavnosti nalog najbolj odstopa uspeh pri nalogi iz merjenj, pri kateri so bili kandidati glede na prejšnja leta nekoliko manj uspešni. Preostale naloge so bile glede uspešnosti kandidatov nadpovprečno usklajene, sicer pa so bili uspehi na ravni dosežkov kandidatov preteklih let. Glede na zadnja leta so bili kandidati nekoliko nadpovprečno uspešni pri 2. nalogi (mehanika) in pri 6. nalogi (moderna fizika in astronomija).



Slika 12: Indeks težavnosti po posameznih nalogah druge pole.

2.3 Laboratorijske vaje

Razporeditev točk, ki so jih kandidati dobili pri internem delu izpita, je podobna kot pretekla leta. Povprečna ocena se že leta rahlo dviguje, letos se je povprečje povečalo še nekoliko izraziteje: povprečje zadnjih pet let je bilo 18,3, letošnja povprečna ocena je bila 18,69. Korelacija med eksternim in internim delom mature je 0,38, ta vrednost je podobna vrednostim zadnjih nekaj let.



Slika 13: Razporeditev kandidatov po točkah pri internem delu izpita. Upoštevani so kandidati referenčne skupine.

3 Najpogostejši nepravilni odgovori kandidatov

Težave, ki so vodile k slabšemu uspehu v obravnavani drugi izpitni poli, so v analizi združene v več sklopov, za vsakega je navedenih nekaj primerov, v oklepaju je navedena številka vprašanja.

1) Nezadostno obvladanje nekaterih vsebin
   a) Določitev ročice navorov in upoštevanje ravnovesja navorov (2.6).
   b) Uporaba izreka o gibalni količini (2.7).
   c) Računanje notranje energije plina kot vsote kinetične energije vseh molekul (3.5).
   d) Računanje toka v tuljavi električnega nihajnega kroga v poljubnem trenutku nihaja (4.6).
   e) Določanje amplitude hitrosti pri nihanju iz amplitude odmika.
   f) Izračun prejetega svetlobnega toka na kroglo, ki jo osvetljuje vzporeden snop svetlobe.

2) Težave z razumevanjem kompleksnejših problemov
   a) Med najslabše rešenimi nalogami je bila tudi letos naloga, ki je zahtevala besedilno utemeljitev odgovora na vprašanje, ki je zahtevalo kompleksnejšo presojo dejavnikov (1.7).

b) Kandidati imajo pogosto težave z natančnim branjem besedila in njegovo pravilno interpretacijo. Letos so imeli take težave pri 5. nalogi, kjer so morali pravilno ločiti med raztezkom vzmeti, podaljšanjem raztezka in amplitudo nihanja.
c) Pri 3. nalogi so zamenjevali pojme toplote in izmenjanega dela plina med opisano spremembo.

3) Računski postopki, pri katerih so se pojavljale težave
a) Še vedno se pojavljajo težave z ustreznim zaokroževanjem rezultatov – kandidati pogosto pozabijo na zaokroževanje večjih številk, ki jih zapišejo s preveč zanesljivimi mesti, namesto da bi uporabili ustrezno predpono ali zapis z desetiškim eksponentom. (2.1, 2.6).
b) Tudi letos so imeli kandidati izrazitejše težave pri računanju z napakami (1.6).
c) Kandidati v nekaterih primerih uporabijo napačne enote. Na letošnjem izpitu so imeli tovrstne težave pri nalogi 3.2 in 3.3, kjer so mešali enoti mol in kmol.
d) Težava z enotami se je letos pojavila tudi v nalogi 1.5, kjer so nekateri kandidati pri izračunu relativne napake izmerjene temperature vstavili podatek v stopinjah Celzija namesto v kelvinih.
e) Pogoste napake so pojavile tudi pri zapisu rezultata z relativno napako v dogovorjeni obliki (1.5).

Na tem mestu želim opozoriti na dokument z naslovom *Dodatna pojasnila kandidatom pri maturi iz fizike*, ki ga je DPK SM za fiziko pripravila v pomoč kandidatom pri pripravi na maturo. V dokumentu so zbrani nekateri splošni dogovori o zapisu postopkov, številu veljavnih mest v rezultatih, o zapisu enot, določitvi ter zapisu merskih napak in podobno. Podana so tudi splošna pravila ocenjevanja izdelkov, ki jih lahko kandidati uporabljajo kot informacijo in opozorilo, na katere podrobnosti morajo biti pazljivi pri odgovarjanju. Dokument je objavljen na spletni strani RIC poleg drugih podatkov o splošni maturi iz fizike.

4 Mnenje zunanjih ocenjevalcev o nalogah in vprašanjih v izpitnih polah

Po ocenjevanju maturitetnih nalog 2020 je anketo z opažanji o sestavi nalog žal oddalo manj zunanjih ocenjevalcev kot prejšnja leta. Večina zunanjih ocenjevalcev, ki so mnenje podali, je sestavo izpitnih pol ocenila kot zelo primerno (2) ali primerno (9), eden pa kot manj primerno. Navodila za ocenjevanje so ocenjevalci označili kot zelo jasna (4) ali jasna (8).

Glede sestave nalog so poudarili predvsem neenakomerno zastopanost različnih vsebin v drugi poli, prevelik delež nalog, ki zahtevajo več računskih veščin, in naloge s fizikalno situacijo s prevečkrat spremenjenimi pogoji.

5 Zunanje ocenjevanje

Zunanje ocenjevanje fizike je bilo letos precej drugačno od predhodnih. Prvič je bilo izvedeno elektronsko, potekalo pa je v času ukrepov za zajezitev epidemije kovida 19, zato tudi seminar za zunanje ocenjevalce letos ni bil izveden kot običajno, ampak prek videokonference.

Dan po terminu pisnega dela izpita je bilo vsem zunanjim ocenjevalcem posredovano izpitno gradivo (obe poli). Imeli so nalogo, da izpitno gradivo pregledajo in preučijo ter se pripravijo na ocenjevanje druge izpitne pole. Proučili so mogoče načine pravilnega reševanja posameznih nalog ter predvideli tipične napake, ki se bodo verjetno pojavljale v izdelkih kandidatov.

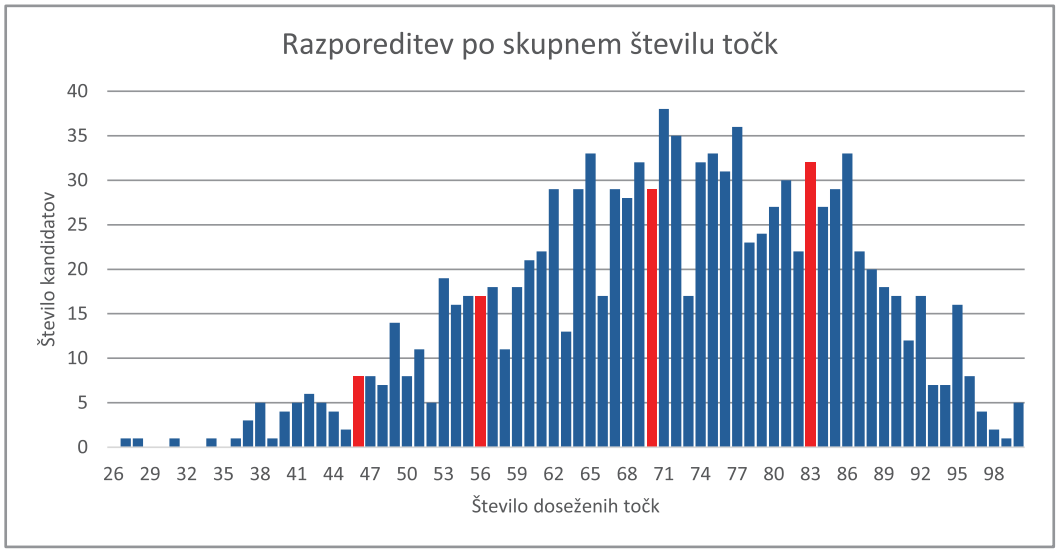
Pred zunanjim ocenjevanjem so glavni zunanji ocenjevalec in člani DPK SM dobili v vpogled do 20 izdelkov kandidatov (druge izpitne pole) ter jih pregledali in poskusno ocenili. Pred zunanjim ocenjevanjem se je skupina sestala in izvedla postopek moderacije navodil za ocenjevanje. Na moderaciji so preverili ustreznost navodil za ocenjevanje, vnesli nekaj sprememb za večjo objektivnost in enotnost ocenjevanja ter sprejeli dogovor, kako ravnati ob pričakovanih nejasnih in dvoumnih rešitvah. Izbrali so tudi nekaj pol, ki so jih predhodno ocenili in so se nato pri ocenjevanju uporabljale za standardizacijo.

Za zunanje ocenjevalce je bil 23. junija izveden obvezen seminar, na katerem je zunanji ocenjevalec najprej predstavil uporabo računalniškega programa za ocenjevanje, nato pa je podal podrobnejša navodila za ocenjevanje in ocenjevalce seznanil z ugotovitvami ter sklepi mode-

racije. Prisotni so navodila vzeli na znanje, prav tako so imeli možnost komentiranja izpitnega gradiva oz. posredovanja svojih mnenj o njegovi kakovosti.

Po uvodnem seminarju so zunanji ocenjevalci ocenili izpitni poli, ki sta bili namenjeni standardizaciji. O vseh morebitnih odstopanjih od predvidenih ocen, ki so jih predhodno določili člani DPK SM, so dobili povratno informacijo, ob večjih odstopanjih pa so razhajanja individualno usklajevali z glavnim ocenjevalcem ali njegovim pomočnikom. Slednji so z zunanjimi ocenjevalci tudi v nadaljevanju ocenjevanja usklajevali morebitna dodatna vprašanja prek elektronskih sporočil. Elektronsko ocenjevanje je glede na predhodna ocenjevanja omogočilo večjo objektivnost ocenjevanja tudi s pomočjo dodatnih predhodno ocenjenih pol za standardizacijo, ki so jih zunanji ocenjevalci dobili v ocenjevanje naključno med ocenjevanjem in so jih ocenjevalci uporabljali kot povratno informacijo o kakovosti svojega opravljenega dela, glavni ocenjevalec in njegovi pomočniki pa za morebitne potrebne intervencije glede odstopanj od dogovorov o ocenjevanju.

Po sprejemu mejnih točk za pretvorbe točkovnega dosežka kandidatov v ocene je bilo izvedeno še kontrolno ocenjevanje. Pole kandidatov, ki so se približali pragu za pozitivno oceno, je skupina kontrolnih ocenjevalcev znova ocenila. Pri večini kandidatov ni bilo sprememb. V spodnjem grafu je prikazana razporeditev števila kandidatov po številu doseženih točk pri celotnem izpitu. Poudarjene so spodnje meje posameznih ocen.



Slika 14: Razporeditev kandidatov po skupnem številu doseženih točk pri celotnem izpitu. Upoštevani so kandidati referenčne skupine, ki so dosegli vsaj 26 točk. Z rdečo so obarvane spodnje meje za posamezno oceno.

6 Ugovori na oceno in način izračuna izpitne ocene

Od 1209 kandidatov, ki so spomladi 2020 pristopili k izpitu splošne mature iz fizike, se je 18 kandidatov pritožilo na oceno. Njihove izpitne pole je še enkrat pregledal izvedenec, ki je preveril, ali so njihovi izdelki ocenjeni v skladu z navodili za ocenjevanje. Pri 11 kandidatih je spremenil število doseženih točk, kar je pri osmih kandidatih pomenilo spremembo ocene izpita iz fizike. Število ugovorov na oceno je podobno številu ugovorov iz prejšnjih let.

Zaključek

Pomembni značilnosti pri splošni maturi iz fizike v letu 2020 sta najnižje število kandidatov v zadnjih letih in nekoliko nižji uspeh kandidatov glede na pretekla leta. Slednje je verjetno posledica težav pri pripravah na maturo zaradi pouka na daljavo v času pred izpitom. Odstopanje uspeha sicer ni zelo izrazito in je primerljivo z odstopanji, ki smo jih zaradi različnih dejavnikov zaznali že kdaj prej. Komisija v takih primerih analizira dosežke in ustrezno prilagodi meje med ocenami.

Več statističnih podatkov o obravnavani maturi lahko najdete na spletnih straneh RIC-a.

Začetno poučevanje kvantne mehanike v srednji šoli – osnove

Dr. Sergej Faletič [1], dr. Tomaž Kranjc[2]
[1] Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
[2] Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta

Izvleček
V tem članku bomo opisali pristop k poučevanju kvantne mehanike v srednji šoli, ki poveže pristop z dvonivojskim sistemom in pristop z valovnim opisom. Razvili smo simulacijo delca v dvojni potencialni jami, ki smo jo postopoma nadgrajevali na osnovi pridobljenih izkušenj pri poučevanju. Vključili smo funkcije, ki so potrebne, da lahko dijaki s simulacijo aktivno odkrivajo pravila kvantnega sveta. Vsako leto spremljamo usvojeno znanje dijakov s formativnimi vprašanji ter s predtesti in potesti. Vsebina celotnega tečaja je obsežna, zato se bomo v tem članku osredotočili zgolj na najosnovnejše koncepte. Predstavili bomo, kako uporabljamo simulacijo dvojne potencialne jame za uvajanje osnovnih pojmov kvantne mehanike na aktiven način in kako uspešni so dijaki pri delno vodenem odkrivanju teh pojmov.

Ključne besede: kvantna mehanika, srednja šola, aktivno učenje, ISLE (Investigative Science Learning Environment, okolje za raziskovalno učenje naravoslovja), simulacije

Initial Teaching of Quantum Mechanics in Secondary School – basics

Abstract
The article describes a quantum mechanics teaching approach in secondary school which links the two-level system with the wave function description. We developed a double-well potential simulation for a particle, which was gradually upgraded based on the teaching experience. We included the functions necessary for students to actively discover the laws of quantum mechanics through simulation. Every year, student knowledge is assessed with formative questions as well as with before-and-after tests. Due to the extensiveness of the course content, this article focuses only on the most basic concepts. It presents how the double-well potential simulation is used to introduce the basic quantum mechanics principles in an active way and how successful students are in their partially guided discovery of these principles.

Keywords: quantum mechanics, high school, active learning, ISLE (Investigative Science Learning Environment), simulations

1 Uvod
Že dolgo se zastavlja vprašanje poučevanja »moderne« fizike v srednji ali celo osnovni šoli. Pri tem pod pojmom »moderna« fizika razumemo predvsem relativnostno teorijo in teorije, ki opisujejo atomski svet, tj. predvsem kvantno mehaniko. Izraz »moderna« fizika je seveda vse bolj zastarel, saj je »moderna fizika« nastajala že na začetku prejšnjega stoletja in šteje že več kot sto let.

Po eni strani bi radi učencem/dijakom v šoli čim prej posredovali nova naravoslovna spoznanja in jih s tem usposabljali za boljše razumevanje tako naravnih pojavov kakor tudi tehnoloških dosežkov. Po drugi strani je snov, ki jo zajema »moderna« fizika, pojmovno zahtevna, saj tako relativnostna teorija kakor tudi kvantna mehanika opisujeta pojave, s katerimi nimamo neposrednih izkušenj in si jih zato ne znamo »nazorno« predstavljati in razumeti njihovega poteka. V pouk so (bile) zato večinoma vključene le tiste teme, ki jih je mogoče razumeti in razložiti (bolj ali manj) klasično.

Nekateri učbeniki fizike za srednje šole že vključujejo »pravo« kvantno mehaniko (v smislu, da uvajajo prave kvantnomehanske pojme in principe in ne le klasičnih analogij), na primer [1]. Vendar kvantna mehanika (in relativnost) nista del šolskega kurikula. Kljub temu po-

staja poučevanje kvantne mehanike v srednji šoli pomembna tema [2–5].

V tem prispevku bi radi predstavili poskus začetnega pouka kvantne mehanike v srednji šoli, pri katerem uvedemo »prave« osnovne kvantnomehanske pojme, kot so »kvantnomehansko stanje«, superpozicija, naključnost, kasneje še kolaps, nedoločenost in valovna funkcija. Trudimo se, da bi dijaki za te pojme dobili potrebno znanje pa tudi občutek.

Dandanašnji si je težko predstavljati fiziko brez kvantne mehanike. Kakor je napisal K. Huang v svojem znanem učbeniku o statistični mehaniki: »Vsi sistemi v naravi ubogajo kvantno mehaniko« [6]. Hkrati pa je eden najvidnejših »kvantnih mehanikov« Richard P. Feynman zapisal: »Mislim, da lahko mirno rečem, da nihče ne razume kvantne mehanike« [7]. Malo blažjo izjavo je dal N. Bohr: »Če koga kvantna mehanika ni pretresla, je še ne razume« [8]. »Uporabnejši« je M. Gell-Mann, ki je rekel: »Kvantna mehanika, ta skrivnostna znanost, ki človeka vedno znova zmede in je nihče v resnici ne razume, kljub temu pa jo znamo uporabljati v praktičnih primerih« [9].

Posebej naštejmo »glavne zadrege« pojmovnega sveta kvantne mehanike, ki jih je treba pri (uspešnem) pouku postopoma razjasniti: valovno-delčna dvojnost, kolaps valovne funkcije, nelokalnost (paradoks EPR) in jasna predstava o tem, kaj je realnost kvantnih sistemov.

Zaradi omejenega matematičnega znanja povprečnih srednješolcev mora biti srednješolski pristop bolj usmerjen k razumevanju konceptov. Pristop z dvonivojskim sistemom smo predlagali zaradi njegove preprostosti in nazornosti [2]. Obstaja več različnih dvonivojskih pristopov, uporabili smo pristop z enodimenzionalno dvojno potencialno jamo (slika 1): delec je lahko v levi ali v desni potencialni jami – stanji lege levo in desno sta en bazni par. Uvedemo še drugi bazni par: stanji energije E1 in E2. Pristop z dvojno jamo, ki se zdi zelo nazoren, pa je primeren za vpeljavo časovnega razvoja stanja.

Druga skupina pristopov, ki jih najdemo v literaturi, se začenja z različnimi oblikami seštevanja amplitud (funkcionalna integracija /»path integrals« [4], valovna funkcija/). Ti gradijo na izkušnjah, ki jih imajo dijaki z valovi, in so v konstruktivističnem smislu zato morda dijakom bližji. Ker nujno vsebujejo časovno odvisnost, so primerni za vpeljavo časovnega razvoja stanj. Vendar pa niso zelo prikladni za vpeljavo stanj, ker je na razpolago neskončna množica stanj.

V pristopu, ki ga bomo predstavili v pričujočem članku, smo združili pristop z dvema stanjema s pristopom z valovno funkcijo, pri čemer smo uporabljali simulacijo, ki omogoča aktivno raziskovanje dijakov [5]. Razvili smo simulacijo delca v dvojni potencialni jami z več nastavljivimi parametri in jo sproti dopolnjevali med poukom v razredu.

Za aktivno vključevanje dijakov smo izbrali okvir ISLE (Investigative Science Learning Environment, okolje za raziskovalno učenje naravoslovja) [10], ki je zasnovano tako, da lahko dijaki gradijo znanje na epistemološko avtentičen način. Pri uporabi ISLE se trudimo slediti korakom, ki jih raziskovalci uporabljajo pri svojem raziskovanju. Dijaki opazujejo pojav, opazijo vzorce in predlagajo razlage (modele) za opažene pojave in vzorce. Nato s testnimi poskusi preverjajo modele, ki so jih predlagali, in sodijo o njihovi veljavnosti. V tem članku predstavljamo predvsem opazovalne poskuse, ki so namenjeni temu, da dijaki zgradijo model (pravila) kvantnega sveta. Vpeljavo in obravnavo kvantnomehanske valovne funkcije nameravamo obravnavati v enem od prihodnjih člankov.

2 Okolje izvedbe pristopa

Pristop preizkušamo v razredu v srednji šoli od leta 2017. Pouk je izbirni in je del skupine naravoslovno usmerjenih predmetov. Dijake, ki izberejo ta predmet, tipično zanima fizika ali kemija ali biologija oziroma jih na splošno bolj zanima naravoslovje kakor jeziki ali družboslovni predmeti. Navadno je vsako leto okoli 30 takih dijakov. Število ur, ki so na razpolago za tečaj, se od leta do leta spreminja, ker je začetek tečaja odvisen od razpoložljivosti izvajalca. Celoten tečaj, ki zajema veliko več tem, kot jih je navedenih tukaj, traja od 20 do 25 ur. Aktivnosti, ki jih opisujemo v tem članku, pa obsegajo največ pet ur. Pouk vodi eden od avtorjev (SF). Dijaki pri urah večinoma delajo v parih ali v manjših skupinah. Vsako leto smo pri dijakih tudi preverjali usvojeno znanje.

Tečaj smo dodatno testirali na treh skupinah motiviranih dijakov: ena skupina je obiskovala poletno šolo za dijake v Ljubljani (17 dijakov, tri ure), druga skupina je obiskovala poletno šolo za dijake v Vidmu (Udine, Italija) (30 dijakov, tri ure), tretja pa je obiskovala seminar za zainteresirane dijake na Jesenicah (30 dijakov, tri ure). Podatki, ki smo jih zbrali o vseh treh skupinah, so pretežno opazovalne narave.

3 Poskusi z dvojno potencialno jamo

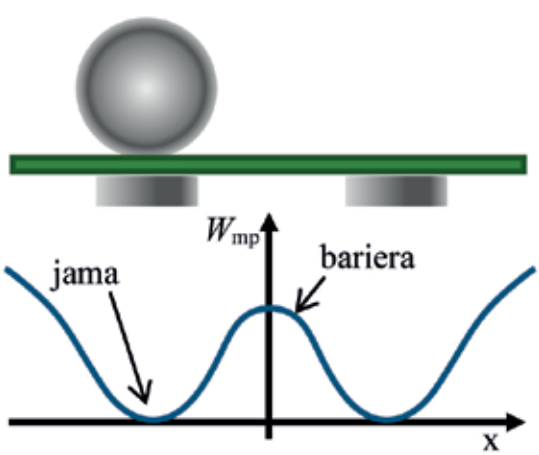
3.1 Kaj je dvojna potencialna jama

V prispevku bomo kot sistem za uvajanje kvantnomehanskih zakonitosti uporabili t. i. dvonivojski sistem oz. delec v enodimenzionalni dvojni potencialni jami (sliki 1 in 2A): delec je v (dvojni) potencialni jami z dvema minimumoma (jamama). Če je delec v levi jami, pravimo, da je v levem lokaliziranem stanju (to bomo simbolično zaznamovali z $|x = \mathrm{L}>$), če je v desni jami, pravimo, da je v desnem lokaliziranem stanju (oznaka $|x = \mathrm{D}>$). (Seveda je pomembno opredeliti sam kvantnomehanski pojem »stanje«. Obe lokalizirani stanji služita za intuitivno razumevanje tega pojma.) Obe lokalizirani stanji bomo poimenovali »pozicijski« stanji ali stanji lege, saj opredeljujeta lego (pozicijo) delca. Podobno bomo sta-

nja, v katerih ima delec določeno energijo, imenovali »energijska« stanja.

Potencialni vrh med jamama imenujemo »potencialna bariera«. Po klasični fiziki delec, ki ima manjšo energijo od višine potencialne bariere, ne more preiti iz ene jame v drugo – hrib, prek katerega bi moral »splezati«, da bi prišel v drugo jamo, je za njegovo energijo previsok. V kvantni mehaniki lahko delec, četudi ima premalo energije, da bi se dvignil čez potencialni vrh, preide na drugo stran. Ta pojav imenujemo »tuneliranje«. Zaradi tuneliranja se kvantni delec lahko »pretaka« med jamama, četudi ima premalo energije za prehod čez potencialni vrh. Ugibamo, da je pogostost prehajanja med jamama odvisna od oblike in višine potencialne bariere ter od energije in mase delca.

Primere dvonivojskih sistemov najdemo v naravi: v kristalih so to na primer vrinki (tuji atomi), ki se vgradijo v kristalno mrežo in se lahko gibljejo (= tunelirajo) med legama, ki jih za dani vrinek določa kristalni potencial. Tak sistem sta tudi delca, ki se lahko gibljeta le po premici in sta med sabo zvezana z vzmetjo. Gibanje delcev lahko razdelimo na gibanje masnega središča in relativno gibanje delcev. Relativno gibanje delcev se opiše kot enakovreden problem gibanja enega delca v dvojnem potencialu. Preprost primer je tudi feromagnetna (jeklena) kroglica na podlagi, pod katero sta prilepljena magneta (slika 1). Da se kroglica odmakne levo ali desno od področja nad enim magnetom, moramo na njej opraviti delo. Če to naredimo počasi, se njena kinetična energija ne spreminja, spreminja pa se njena magnetna potencialna energija. Magnetna potencialna energija se torej veča, ko se kroglica oddaljuje od magneta, zato govorimo o potencialni jami, ki ima dno nad magnetom. Ko kroglica pride na sredino med magnetoma, jo začne drugi magnet privlačiti bolj kot prvi in »zdrsne« v njegovo potencialno jamo. Pojem jame je uporaben, čeprav ves čas govorimo o eni sami smeri gibanja.



Slika 1: Kroglica nad magnetoma in približna oblika magnetne potencialne energije sistema. Taki obliki poteka potencialne energije pravimo dvojna potencialna jama.

3.2 Izrazi

Ko govorimo o kvantnem svetu, je pomembno, da uporabljamo dobro definirano izrazje [11]. Nedoslednost pri uporabi izrazov lahko pripelje do težav z razumevanjem. Čeprav so izrazi znani že iz klasične fizike, jih moramo ponoviti. Uporabili bomo izraze *stanja*[1], *količine* in *vrednosti*. Ko na primer merimo *količino* »lega« v dvojni jami, lahko dobimo dve *vrednosti*: leva jama (označimo z L) ali desna jama (označimo z D). Podobno sta *vrednosti* energije E1 in E2. Stanje si lahko predstavljamo kot zbirko vrednosti posameznih količin. Npr. termodinamično stanje bi lahko zapisali kot $\{T = 25\ °C, p = 101{,}3\ kPa, V = 1{,}5\ l\}$. V kvantni mehaniki obstaja dogovor o zapisovanju stanj. Pogosto se uporablja t. i. Diracov zapis. V tem zapisu stanje označimo z znakom $|...>$, ki mu pravimo *ket*. Tako bi npr. v tem zapisu zgornje termodinamsko stanje označili s $|T = 25\ °C, p = 101{,}3\ kPa, V = 1{,}5\ l>$. Podrobneje bomo primerno uporabo teh izrazov spoznali skozi aktivnosti. Ko gre za lego delca, ki je lahko v levi ali v desni potencialni jami, dijaki intuitivno sprejmejo poimenovanje »stanje«: delec je lahko v dveh »stanjih« lege: na levi ali desni strani.

3.3 Vpeljava izrazov in simulacije

Samo nekaj minut vam vzame preizkus delovanja simulacije na prosto dostopni strani https://www.fmf.uni-lj.si/si/imenik/9577/ [12] pod naslovom »SIM QM Double well«.

Grafični uporabniški vmesnik (GUI) za simulacijo je prikazan na sliki 2. Simulacija omogoča spreminjanje začetnega stanja delca (priprava). Delce lahko pripravimo v stanjih, v katerih poznamo njihovo lego (L ali D). Takim stanjem pravimo lastna stanja lege. Delce lahko pripravimo tudi v enem od lastnih stanj energije. To sta stanji, v katerih ima delec znano energijo (E1 ali E2). Dijakom razložimo, da podobno, kot smo za lego izbrali dva senzorja, ki pokrivata vsak eno celo jamo (ne, denimo, le tretjino jame), tudi za energijo izberemo taka senzorja, ki lahko izmerita dve vrednosti energije: nad neko izbrano energijo (E2) in pod neko izbrano energijo (E1). To zadošča, da lahko nadaljujemo aktivnosti.[2] Simulacija omogoča izbiro količine, ki jo merimo (lega, x, ali energija, E), čas meritve in možnost, da delec pred naslednjo meritvijo ponastavimo ali ne (to pomeni, da so zaporedni poskusi bodisi neodvisni ali pa jih izvajamo zaporedoma na istem delcu). Seveda je mogoče, da simulacija samodejno izvede določeno število ponovitev poskusa. Rezultati se prikažejo v obliki histograma za

1 Kvantno stanje je (matematični) izraz, ki zajema poln opis opazljivih lastnosti kvantnega sistema. Včasih stanju pravimo tudi vektor stanja, ker ga lahko predstavimo kot element nekega Hilbertovega vektorskega prostora. Valovna funkcija je vektor stanja v specifični bazi.

2 Energijska stanja v dvojni jami so kvantizirana. Dejansko na področju energije, ki nas zanima, ne moremo dobiti več kot dveh vrednosti energije. A na tem mestu nimamo orodja, da bi pred dijaki to utemeljili. Pa tudi dijaki ne sprašujejo po utemeljitvi. Utemeljitev sledi po obravnavi valovne funkcije, lahko pa se jo naredi tudi empirično z analizo spektra. Slednja aktivnost presega obseg tega prispevka.

vsako meritev, pokaže se tudi število meritev. Grafi predstavljajo porazdelitev izmerjenih vrednosti. Modri graf predstavlja meritev lege in se deli na vrednosti levo in desno, kar je tudi vizualno razvidno iz postavitve (stolpca sta levo in desno). Rdeči graf predstavlja meritev energije in se deli na vrednosti E1 (nižja energija) in E2 (višja energija), kar je spet razvidno iz postavitve. V šolskem letu 2018/19 smo dodali »dnevnik« rezultatov, ki omogoča analizo zaporednih meritev. Simulacija omogoča spreminjanje samo nekaterih parametrov za potencialno jamo, vendar pa je večina funkcionalnih možnosti onemogočena, da se dijaki laže osredotočijo na bistvo meritev.

Tehnično je simulacija narejena v HTML 5, ki omogoča uporabo na različnih platformah. Simulacija je dostopna na spletu [12] in jo je mogoče poganjati tudi s prenosnih naprav – to je način, kako dijaki izvajajo simulirane poskuse. Doslej smo opazili nekaj težav pri nekaterih mobilnih napravah, kar bomo popravili v prihodnjih modifikacijah programske opreme.

Ob predstavitvi simulacije dijakom lahko vpeljemo še nekatere izraze. V tabeli 1 je prikazana prva aktivnost.

Tabela 1: Začetni poskus za vpeljavo izrazov in simulacije. Ležeče so zapisani pričakovani odgovori dijakov oz. ugotovitve.

Aktivnost 1: Spoznajmo se s simulacijo in izrazi

Naloge:

Delec pripravite v levi jami in izmerite lego ob času 0. Meritev ponovite vsaj desetkrat.	
a) Ali je rezultat meritve pri vsaki ponovitvi enak?	*Da.*
b) Ali lahko napoveste rezultat naslednje meritve? Pojasnite, kako bi podali napoved.	*Da. Glede na to, da je rezultat vsakič »leva jama«, lahko pričakujemo, da bo tudi naslednjič »leva jama«.*

Na primeru izidov meritev pri aktivnosti 1 konkretiziramo izraze: Merili smo *količino* lega (x). Pri vsaki meritvi smo izmerili vrednost te količine »levo« (x = L). Trenutno lahko o stanju povemo, da ima vedno lego »levo«, torej $|x = \mathrm{L}>$.

3.4 Stohastičnost in verjetnost

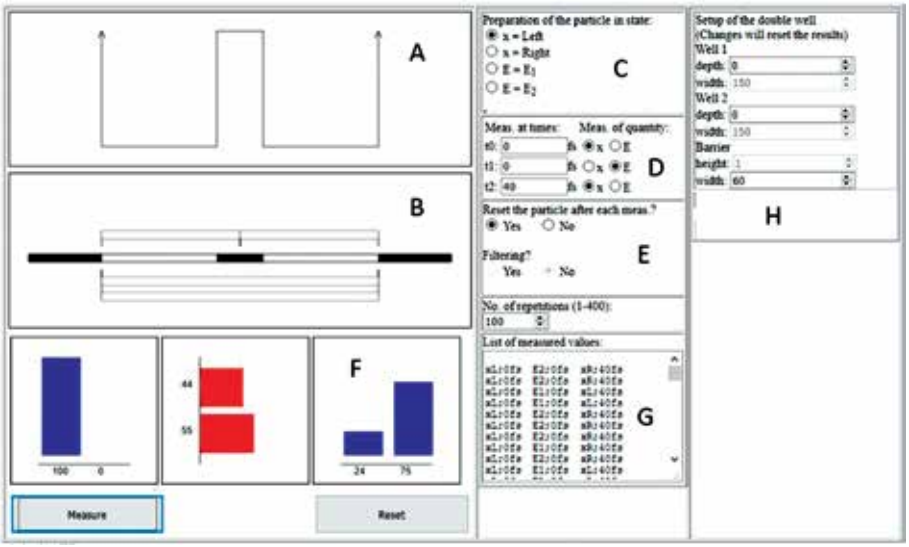
Z izrazom *stohastičnost* imamo v mislih dejstvo, da je izid posamezne meritve na delcu, ki ima lahko več vrednosti neke količine, popolnoma naključen. Ni načina, da predvidimo, katera od mogočih vrednosti se bo uresničila. Največ, kar lahko napovemo, je *verjetnost* uresničitve posamezne vrednosti. Znanstveniki, vključno z Einsteinom, niso bili zadovoljni s takim opisom sveta. Od tod znane fraze, kot je »Bog ne kocka« [13]. Vendar so vsi poskusi, da bi našli način, kako deterministično napovedati izid posameznega poskusa, spodleteli. Izid kvantnomehanske meritve je inherentno nenapovedljiv.[3]

Dijaki to spoznajo z aktivnostjo 2 v tabeli 2. Simulacija izpiše rezultate meritev v obliki [količina][vrednost];[čas], tako npr. xL; 20 fs pomeni, da smo merili lego (x) ob času 20 fs ($20 \cdot 10^{-15}$ s) in izmerili vrednost levo (L).

Na podlagi rezultatov iz aktivnosti 1 (tabela 1) in aktivnosti 2 (tabela 2) smo prišli do naslednjih spoznanj:

1. Pri meritvi dobimo bodisi eno bodisi drugo vrednost neke količine. Nikoli ne dobimo obeh vrednosti hkrati. Iz tega sklepamo, da je delec nedeljiv. Lastnosti, da je lahko rezultat le ena od mogočih vrednosti, pa pravimo *izključnost* ali *ekskluzivnost*.

3 »Ne jemljite predavanja preresno, z občutkom, da morate zares razumeti, na osnovi nekega modela, kar vam bom opisoval. Le sprostite se in uživajte. Povedal vam bom, kako se obnaša narava. Če boste preprosto vzeli na znanje, da se morda obnaša tako, boste spoznali, da je čudovita in očarljiva. Ne govorite si, če se le lahko temu izognete, ‚Toda kako je lahko tako?', saj vas bo v tem primeru posrkalo ‚s tokom navzdol', v slepo ulico, iz katere se ni še nihče rešil. Nihče ne ve, kako je lahko tako.«
Richard P. Feynman, *The Character of Physical Law,* Penguin Books, 1992, str. 129



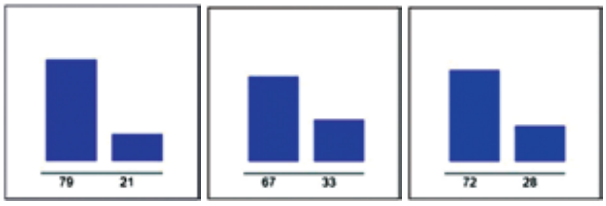
Slika 2: Grafični uporabniški vmesnik (GUI) za simulacijo: (A) upodobitev potenciala, (B) upodobitev enodimenzionalne dvojne potencialne jame, (C) priprava začetnega stanja delcev, (D) nastavitve meritev, (E) ponastavljanje ali neponastavljanje delca po meritvi, (F) grafična predstavitev rezultatov merjenja (podrobnejši opis je v besedilu), (G) dnevnik rezultatov in (H) parametri potencialne jame.

Tabela 2: Aktivnost za odkrivanje stohastičnosti izidov meritve v kvantni mehaniki. Ležeče so zapisani pričakovani odgovori dijakov oz. ugotovitve.

Aktivnost 2: (Ne)napovedljivost izida meritve

Namen: Ugotovite, kaj lahko v kvantni mehaniki napovemo o izidu meritve.

Naloge:

<table>
<tr><td colspan="2">Pripravite delec v levi jami. Nastavite merjenje lege (x) ob 20 fs. Nekajkrat izvedite posamezno meritev. Sproti poskušajte odgovarjati na vprašanja. Ko se vam zdi, da ni več potrebno, da si vzamete čas za razmislek o vsakem izidu, lahko nastavite število ponovitev na 100 in izvedete 100 ponovitev poskusa. Tudi tako meritev lahko po potrebi večkrat ponovite.</td></tr>
<tr><td>a) Ali sta kdaj oba senzorja utripnila istočasno? Kaj to pomeni v zvezi z mogočimi vrednostmi, ki jih lahko izmerimo za posamezno količino?</td><td>Ob opazovanju utripov ugotovimo, da senzorja nikoli ne utripneta istočasno. To pomeni, da lahko količini ob vsaki meritvi izmerimo le eno vrednost.</td></tr>
<tr><td>b) Ali obstaja vzorec v vrstnem redu, kako se pojavljajo posamezne vrednosti x:L in x:R? Opišite ga, če obstaja. Zapišite si rezultate meritve, iz katerih izhaja vaš odgovor.</td><td>Pet zaporednih meritev po pet ponovitev:
<table>
<tr><td>xL;20fs
xR;20fs
xL;20fs
xR;20fs
xL;20fs</td><td>xL;20fs
xL;20fs
xL;20fs
xL;20fs
xL;20fs</td><td>xL;20fs
xR;20fs
xL;20fs
xL;20fs
xL;20fs</td><td>xL;20fs
xL;20fs
xL;20fs
xR;20fs
xR;20fs</td><td>xL;20fs
xL;20fs
xR;20fs
xL;20fs
xR;20fs</td></tr>
</table>
Iz tabele vidimo, da ni očitnega vzorca. Vrednosti se pojavljajo naključno.</td></tr>
<tr><td>c) Ali obstaja vzorec v porazdelitvi izidov med vrednostma x:L in x:R? Opišite ga, če obstaja. Zapišite si rezultate meritve, iz katerih izhaja vaš odgovor.</td><td>Trije izidi meritve 100 delcev: [4]
 

Porazdelitve so podobne. Lahko izračunamo tudi povprečno število delcev v levi in desni jami: 75 : 25.</td></tr>
<tr><td>d) Ali lahko z gotovostjo napoveste, ali bo naslednji izid meritve na enem delcu pokazal vrednost x:L ali x:R? Pojasnite.</td><td>Iz ugotovitve, da ni vzorca v zaporedju izidov, sledi, da ne moremo z gotovostjo napovedati naslednjega izida. Tudi če je verjetnost za x:R manjša, je mogoče, da se bo ta izid pojavil ravno pri naslednji meritvi.</td></tr>
<tr><td>e) Kaj lahko napoveste o prihodnjih izidih poskusov z istimi nastavitvami? Pojasnite.</td><td>Največ, kar lahko napovemo, je očitno verjetnost za posamezen izid. V tem primeru konkretno lahko napovemo, da bo pri istih nastavitvah 75% verjetnost, da bo izid meritve x:L, in 25% verjetnost, da bo izid x:R.</td></tr>
</table>

2. Obstajajo stanja, za katera lahko z gotovostjo napovemo vrednost lege. Taka stanja poimenujemo *lastna stanja lege*.
3. Obstajajo stanja, za katera ne moremo napovedati izida naslednje meritve. To imenujemo *nenapovedljivost* posameznega rezultata. Taka stanja poimenujemo *superpozicija,* ker ima vsaka meritev več mogočih izidov.
4. V primeru superpozicijskih stanj ne moramo napovedati, katera vrednost bo rezultat naslednje meritve. Lahko pa napovemo *verjetnost*, da bo neka vrednost rezultat naslednje meritve.

Dijaki pri naših pilotskih izvedbah uspejo ugotoviti izključnost v 100 % primerov, verjetnostno naravo rezultatov ugotovijo v 60 do 90 % primerov, nenapovedljivost pa v približno 80 % primerov. Dijaki so torej sposobni priti do ključnih ugotovitev te aktivnosti v približno 80 % primerih samo z vprašanji na delovnem listu in z izvajanjem simulacije.

3.5 Formalni opis

Formalni zapis stanja superpozicije je

$$|\Psi> = a|x = \mathrm{L}> + b|x = \mathrm{L}>,$$

kjer koeficienta a in b povežemo z verjetnostjo P:

$$P(x = \mathrm{L}) = |a|^2,$$

$$P(x = \mathrm{D}) = |b|^2.$$

Koeficienta a in b sta kompleksni števili, zato je absolutna vrednost pred kvadriranjem nujna. V pristopu lahko kar dolgo shajamo brez kompleksnih koeficientov, če pa

4 Porazdelitve je mogoče primerjati samo, če imamo dovolj ponovitev. Dijaki postopoma preidejo na 100 ponovitev, kot jim namigne navodilo naloge.

želimo kvantno mehaniko vpeljati povsem korektno, se jim ne moremo izogniti. Kasneje jih lahko vpeljemo z aktivnostmi, ki presegajo obseg tega članka.

Na tej točki lahko dijake prosimo, da predlagajo formalni zapis stanja, ki ima eno verjetnost za rezultat merjenja lege L in različno verjetnost za rezultat D. Dijaki najpogosteje predlagajo bodisi $a|x = \mathrm{L}> + b|x = \mathrm{D}>$ ali $a|x = \mathrm{L}>$ OR $b|x = \mathrm{D}>$. Več kot polovica dijakov po naših izkušnjah predlaga prvo možnost. To pomeni, da je formalni zapis $a|x = \mathrm{L}> + b|x = \mathrm{D}>$ zelo intuitiven, čeprav je treba natančen pomen šele razložiti. Dijaki bi za a in b pisali kar verjetnosti. Ampak s takim opisom hitro naletimo na težave, ko poskusimo uvesti valovno funkcijo. Opis, ki nas ne bo privedel do težav, je, da stanje zapišemo izrecno z verjetnostmi, kar v obliki $|x = \ldots>$, npr.

$$|x = \mathrm{L}(25\,\%)\mathrm{D}(75\,\%)>.$$

Druga možnost je, da okoli koeficientov, ki predstavljajo verjetnosti, damo neke značilne oznake, ki nas spomnijo, da to niso kar navadni koeficienti. Npr.

$$[25\,\%]\,|x = \mathrm{L}> + [75\,\%]\,|x = \mathrm{D}>.$$

V vsakem primeru je na tem mestu smiselno vpeljati nek opis stanj superpozicije, ki ga lahko uporabimo pri nadaljnjem delu.[5]

3.6 Časovni razvoj

Že pri aktivnostih 1 in 2 smo opazili, da se stanje delca spreminja s časom. Naslednja aktivnost je preprosta opazovalna aktivnost, pri kateri dijaki iščejo vzorec spreminjanja stanja s časom (tabela 3).

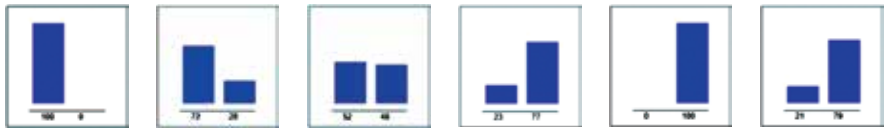
Dijaki pripravijo delec v lastnem stanju lege in potem merijo lego ob različnih časih. Predlagamo, da poskusijo ob časih reda velikosti desetic femtosekund. Naloga dijakov je, da ugotovijo, kako se s časom spreminjajo izidi merjenja lege. Dijaki morajo ponoviti, kaj predstavljajo stolpci v histogramih (verjetnost), in tako razjasnijo, da se s časom spreminja verjetnost za posamezno vrednost pri merjenju lege. Nadalje ugotovijo, da obstaja značilen čas (perioda), v katerem po izidu meritev delec preide

5 Na tem mestu opozorimo, da dijaki superpozicijo interpretirajo, kot da gre za statistično mešanico, kjer je nekaj delcev v stanju $|x = \mathrm{L}>$ in nekaj v $|x = \mathrm{D}>$ (57 %, N = 19). V resnici je superpozicija stanje enega delca, kjer njegova vrednost lege ni ne ena ne druga, dokler ne izvedemo meritve. Interpretacija s statistično mešanico ni ustrezna, a ne pride v konflikt z drugimi aktivnostmi, opisanimi v tem članku, zato ji v tem članku ne bomo posvetili nadaljnje pozornosti.

Tabela 3: Raziskovanje časovnega razvoja. Ležeče so zapisani pričakovani odgovori dijakov oz. ugotovitve.

Aktivnost 3: Časovni razvoj.

Namen: Pri aktivnosti želimo raziskati, kako se stanja s časom spreminjajo.

1) Časovni razvoj lastnega stanja lege. Pripravite delec v enem od lastnih stanj lege.	
Raziščite, kako se verjetnosti za vrednosti lege L in D spreminjata s časom. Opišite vzorec, če ga najdete.	*Rezultati meritve lege na 100 delcih ob različnih časih:*  *0 fs* *20 fs* *30 fs* *40 fs* *60 fs* *80 fs* *Iz rezultatov vidimo, da se porazdelitev verjetnosti za vrednost količine x spreminja s časom. Lahko bi rekli, da se nekako »pretaka« iz ene jame v drugo in nazaj. Perioda je 120 fs (60 fs v eno in 60 fs v drugo smer).*

2) Časovni razvoj lastnega stanja energije. Pripravite delec v enem od lastnih stanj energije.	
Raziščite, kako se verjetnosti za vrednosti lege L in D spreminjata s časom. Opišite vzorec, če ga najdete.	*Rezultati meritve lege na 100 delcih ob različnih časih:* *0 fs* *20 fs* *30 fs* *40 fs* *60 fs* *80 fs* *Iz rezultatov vidimo, da porazdelitev verjetnosti za vrednost količine x ostaja nespremenjena, neodvisno od časa.*

iz ene jame v drugo in nazaj. Pomembno je, da dijake vedno opozarjamo, da govorimo o verjetnostni porazdelitvi. Nato dijaki pripravijo delec v enem od lastnih energijskih stanj in ponovijo poskus. Pri slednji nalogi ugotovijo, da se verjetnostna porazdelitev s časom ne spreminja.

Pri tej aktivnosti dijaki pridejo do naslednjih ugotovitev:

5. Obstajajo stanja (npr. pozicijska stanja), ki se s časom spreminjajo. Takim stanjem pravimo *nestacionarna stanja*.
6. Obstajajo stanja (npr. energijska stanja), ki se s časom ne spreminjajo. Takim stanjem pravimo *stacionarna stanja*.

Časovni razvoj nestacionarnega stanja je v prihodnjih aktivnostih ključnega pomena za kakršnekoli kvalitativne in kvantitativne naloge. Je relativno lahko napovedljiv, vsaj za šestine in četrtine nihajnega časa, in to uporabimo kasneje pri nalogah in napovedih. Stacionarna stanja v tem delu niso zelo pomembna, postanejo pa pomembna kasneje ob vpeljavi valovne funkcije.

3.7 Kolaps

Ko v kvantni mehaniki na superpozicijskem stanju, npr. $|x = \mathrm{L}(25\,\%)\mathrm{D}(75\,\%)>$, izvedemo meritev lege, s tem spremenimo stanje delca. Če dobimo z meritvijo vrednost $x = \mathrm{L}$, se (dotedanje) stanje spremeni v $|x = \mathrm{L}>$. Če dobimo vrednost $x = \mathrm{D}$, se stanje spremeni v $|x = D>$. Temu pojavu pravimo *kolaps* stanja. Iz stanja, v katerem sta bili mogoči obe vrednosti lege, je delec kolabiral v stanje, kjer je mogoča samo ena vrednost. Ko smo enkrat izmerili lego, ni več nikakršne verjetnosti, da bi bila lega karkoli drugega.[6]

Če dijake vprašamo, kakšno je stanje delca po meritvi, večinoma dobimo dve vrsti odgovorov: bodisi da po rezultatu meritve $x = \mathrm{L}$ dobimo stanje $|x = \mathrm{L}>$ in po rezultatu meritve $x = \mathrm{D}$ dobimo stanje $|x = \mathrm{D}>$ (50 % N = 22), kar je točno kolaps, bodisi da stanje ostane neka vrsta superpozicije $|x = \mathrm{L}(50\,\%)\mathrm{D}(50\,\%)>$ (13 %, N = 22). Ti hipotezi lahko preizkusimo s testnim poskusom, opisanim v tabeli 4.

Pri naši izvedbi so dijaki pravilno podali napoved izida na podlagi hipoteze I v 90 % primerov (N = 22), napoved izida na podlagi hipoteze II pa v 55 % primerov (N = 22). V splošnem pa imajo dijaki težave napovedovati izide na podlagi hipotez, še posebno tistih, s katerimi se sami ne strinjajo, zato je v splošnem dobro, da pregledamo in komentiramo/popravimo napovedi, preden izvedemo poskus. Izid poskusa pa nedvoumno ovrže hipotezo II in je skladen s hipotezo I. Torej hipotezo o kolapsu za zdaj sprejmemo. Prišli smo torej do še enega ključnega spoznanja:

7. Meritev spremeni stanje sistema, in sicer tako, da izid meritve določi stanje po meritvi. To bo vedno lastno stanje, ki je skladno z izidom meritve. Temu pojavu pravimo *kolaps stanja*.

Tako smo z nekaj aktivnostmi pripeljali dijake do sedmih ključnih pravil kvantne fizike. Nadaljujemo lahko z drugimi pravili in uporabo pravil na primerih, a to presega obseg tega članka.

6 Kolaps torej pomeni nenaden proces, pri katerem se stanje sistema spremeni v lastno stanje opazljive količine, katere vrednost ugotavljamo z meritvijo.

Tabela 4: Testni poskus za hipoteze o učinku meritve na stanje sistema. Ležeče so zapisani pričakovani odgovori dijakov oz. ugotovitve.

Aktivnost 4.

Namen: Testirati hipoteze o tem, v kakšnem stanju je delec po meritvi.

Naloge:

Delec pripravimo v stanju $|x = \mathrm{L}>$ in mu pomerimo lego ob času 30 fs ter takoj potem ob času 30,01 fs. Napovejte, kakšni bodo rezultati druge meritve (dopolnite tabelo), če velja vsaka od ponujenih hipotez.
Hipoteza I: Po meritvi dobimo lastno stanje, ki je skladno z izidom meritve. Če je izmerjena vrednost $x = \mathrm{L}$, bo stanje $|x = \mathrm{L}>$, če je izmerjena vrednost $x = \mathrm{D}$, bo stanje $|x = \mathrm{D}>$.
Hipoteza II: Po meritvi dobimo superpozicijsko stanje $|x = \mathrm{L}(50\,\%)\mathrm{D}(50\,\%)>$.

Stanje tik pred meritvijo ob 30 fs	Izvedemo meritev ob 30 fs	Vrednost lege, ki jo dobimo ob meritvi	Izvedemo meritev ob 30,01 fs	Napoved po hipotezi I	Napoved po hipotezi II	Izid poskusa
$\|x = \mathrm{L}(50\,\%)\mathrm{D}(50\,\%)>$	meritev	$x = \mathrm{L}$	meritev	$x = L$	$x = D$	$x = L$
$\|x = \mathrm{L}(50\,\%)\mathrm{D}(50\,\%)>$	meritev	$x = \mathrm{D}$	meritev	$x = D$	$x = D$	$x = D$
$\|x = \mathrm{L}(50\,\%)\mathrm{D}(50\,\%)>$	meritev	$x = \mathrm{D}$	meritev	$x = D$	$x = L$	$x = D$
$\|x = \mathrm{L}(50\,\%)\mathrm{D}(50\,\%)>$	meritev	$x = \mathrm{L}$	meritev	$x = L$	$x = L$	$x = L$
$\|x = \mathrm{L}(50\,\%)\mathrm{D}(50\,\%)>$	meritev	$x = \mathrm{D}$	meritev	$x = D$	$x = L$	$x = D$
$\|x = \mathrm{L}(50\,\%)\mathrm{D}(50\,\%)>$	meritev	$x = \mathrm{L}$	meritev	$x = L$	$x = D$	$x = L$

4 Ugotovitve iz dela v razredu

Vsako leto so dijaki reševali predtest in potest, s katerima smo želeli ugotoviti, kakšne ideje imajo dijaki. Na predtestu in potestu je med drugimi tudi vprašanje, kaj dijaki prepoznajo kot ključne elemente opisa kvantnega sveta. Odgovore prikazuje tabela 5. Omemba ideje, da meritev vpliva na sistem, je prevladovala z več kakor 84 % dijakov, ki so jo označili kot ključno značilnost. Druga največkrat omenjena značilnost kvantne mehanike je njena verjetnostna narava. Čeprav smo na tečaju obravnavali tudi valovno naravo delcev (kar načrtujemo za temo enega naslednjih člankov), jo je omenila le dobra tretjina dijakov.

Tabela 5: Tabela prikazuje rezultate predtesta in potesta. Predstavljen je le odgovor na vprašanje, ki se nanaša na del tečaja, obravnavan v tem članku.

Katere so glavne lastnosti kvantne mehanike, ki jo razlikujejo od klasične mehanike?	Predtest (%)	Potest (%)	Razlika (%)
Kolaps.	0	32	32
Meritev zmoti sistem.	8	84	76
Opis z valom z dualnostjo ali brez nje.	20	36	16
Opis z valom, vključujoč dualnost.	0	12	12
Samo verjetnost je deterministična.	8	56	48
Nimajo smiselne predstave o tem, kaj je specifično kvantno.	64	0	-64

Iz tabele 5 je razvidno, da je premik proti kvantnemu pogledu na svet očiten. Predvsem je opazno, da se je delež tistih, ki niso vedeli, kaj so specifično kvantne lastnosti sveta, zmanjšal s 64 % na nič.

Poleg doslej povedanega smo pri esejskih vprašanjih opazili, da so dijaki pokazali presenetljivo dobro sposobnost argumentacije z uporabo kvantnomehanskih idej. Vsako leto med raznimi preverjanji zastavimo tudi vprašanje, pri katerem je treba argumentirati nek kvantni pojav. Tipično vprašanje je zastavljeno v obliki: »Sošolec Jože pravi ... Kako bi mu odgovorili?« Vsako leto več kot 50 % dijakov doseže vse točke pri taki nalogi.

5 Zaključek

V članku smo predstavili nekaj osnovnih elementov začetnega poučevanja kvantne mehanike v srednji šoli. Opisali smo dvojno potencialno jamo, ki nam je služila kot prototip obnašanja kvantnega sistema, opredelili smo osnovno terminologijo in formalni zapis ter predstavili simulacijo, s pomočjo katere smo dijake uvajali v zakonitosti kvantnega sveta. Opredelili smo stohastičnost in verjetnost ter časovni razvoj kvantnega stanja. Pokazali smo, da motivirani dijaki samostojno uspešno odkrijejo opisane zakonitosti ob aktivnostih pri pouku.

Opisane aktivnosti je mogoče izvesti v obliki tri- do šesturnih delavnic, ki jih je mogoče vključiti v obvezne izbirne vsebine, naravoslovne dneve ali izvesti kot krožek. Ker teme (še) ni v učnem načrtu, je manj primerna za izvedbo med rednimi urami pouka, a trend v evropskih državah je, da se kvantna mehanika vključi v srednješolske učne načrte, zato razvijamo ta tečaj v smeri, da bi lahko nekoč postal del rednega pouka fizike.

6 Literatura

[1] Kuščer, I., Moljk, A., Kranjc, T., Peternelj, J., Rosina, M., Strand, J. (2002). *Fizika za srednje šole, III. del*, Ljubljana: DZS.

[2] Michelini, M., Ragazzon, R., Santi, L., Stefanel, A. (2000). Proposal for quantum physics in secondary school, *Phys. Edu.* **35**, str. 406.

[3] Olsen, R. V. (2002). Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: A study in Norway, *Intl. J. Sci. Edu.* **24**, str. 565–574.

[4] de los Ángeles Fanaro, M., Otero, M. R., Arlego, M. (2012). Teaching Basic Quantum Mechanics in Secondary School Using Concepts of Feynman Path Integrals Method, *Phys. Teac.* **50**, str. 156–158.

[5] Faletič, S. (2020). A double well on-line simulation and activities for active learning of introductory quantum mechanics, *Eur. J. Phys.* **41**, str. 045706.

[6] Huang, K. (1987). *Statistical Mechanics*, 2nd Edition. New York: John Wiley & Sons.

[7] Feynman, R. P. (1992). *The Character of Physical Law*, Penguin Books, str. 129.

[8] Heisenberg, W. (1971). *Physics and Beyond*. New York: Harper & Row, str. 206.

[9] Gell-Mann, M. (1981). *The Nature of Matter*, Wolfson College Lecture 1980, ed. Mulvey, J. H., Oxford: Clarendon Press.

[10] Etkina, E., Van Heuvelen, A. (2007). Investigative Science Learning Environment – A Science Process Approach to Learning Physics. In E. F. Redish & P. J. Cooney (Eds.), *Research – Based Reform of University Physics* **1** (pridobljeno iz www.compadre.org/per/per_reviews/media/volume1/isle-2007.pdf).

[11] Brookes, D. T., Etkina, E. (2007). Using conceptual metaphor and functional grammar to explore how language used in physics affects student learning, *Phys. Rev. S. T. Phys. Educ. Res.* **3** 010105.

[12] https://www.fmf.uni-lj.si/si/imenik/9577/.

[13] Einstein, A. (1926). Letter to Max Born, published in 1971, Irene Born (translator), *The Born-Einstein Letters*, New York: Walker and Company.

Kako z Vernierjevim metalcem kovinskih kroglic zadeti koš?

Peter Jevšenak
Šolski center Velenje, Gimnazija Velenje

Izvleček
Vernierjev metalec kovinskih kroglic je učilo, ki zaradi možnosti nastavljanja kota in hitrosti izstrelitve omogoča preučevanje vseh vrst metov, tudi met na koš. Pomislili smo, da bi dijake pri eksperimentalnem delu pritegnilo, če bi morali s strelom kroglice iz metalca zadeti koš. V tem prispevku najprej z meritvami ocenimo natančnost dometa, kar je osnova za izdelavo koša. Nato z množico strelov na koš pri različnih parametrih, kot so razdalja do koša, hitrost in kot izstrelitve ter višinska razlika, preverjamo vpliv teh parametrov na število zadetkov. Na koncu pridobljeno znanje in izkušnje uporabimo v novi situaciji in preverimo, ali izbrane nastavitve pripeljejo do takojšnjega zadetka. Priložena so tudi navodila za eksperimentalno vajo na višji ravni zahtevnosti.

Ključne besede: Vernierjev metalec kroglic, vodoravni met, poševni met, met na koš, domet

How to Shoot a Ball into a Hoop with a Vernier Projectile Launcher

Abstract
The Vernier Projectile Launcher is a learning tool which allows students to investigate important concepts in two-dimensional kinematics, including a shot into a hoop, at different angles and velocities. We thought that students would engage more in the experimental work if they were to use the launcher to shoot a ball into a hoop. The article first describes the measurements used to determine the exactness of the range, which was the basis for the creation of the hoop. Then, with a series of shots at different parameters, such as distance from the hoop, velocity and angle of the shot and height difference, we determined the influence of these factors on the number of hits. Finally, the acquired knowledge and experience was used in a new situation to see if the selected parameters would guarantee a one-time shot. The article also includes instructions for an experimental exercise at a higher difficulty level.

Keywords: Vernier Projectile Launcher, horizontal throw, projectile motion, shot into a hoop, range

1 Uvod
Vernierjev metalec kovinskih kroglic (angl. *Vernier projectile launcher*) je naprava oziroma učilo, ki omogoča preučevanje vodoravnega in poševnega meta. Pnevmatski lansirni sistem naprave omogoča dokaj natančno spreminjanje hitrosti kroglic, prav tako lahko spreminjamo kot izstrelitve. Ko se je po prvih preizkusih pokazala dobra ponovljivost strelov, smo pomislili, da bi dijake pritegnilo, če bi metalec uporabili za streljanje na koš. Da bi prišli do smiselne ocene, smo se odločili natančneje preučiti ponovljivost strelov ter ujemanje teoretičnih dometov pri vodoravnem in poševnem metu z izmerjenimi vrednostmi. Dijaki bi postavili koš na neko poljubno razdaljo od metalca in to razdaljo izmerili. Nato bi s pomočjo fizikalnih enačb določili hitrost in kot izstrelitve, pri katerih bi bila možnost zadetka velika. Ko bi z metalcem dosegli pravo hitrost, bi ustrelili na koš. Cilj je, da bi (lahko) že s prvim strelom zadeli koš. Pred samim preizkušanjem se nam je porajalo nekaj vprašanj, ki jih lahko strnemo v tri hipoteze.

1) Zračni upor ni pomemben dejavnik pri dometu kroglic.
2) Pri dani hitrosti bo pri večjem od obeh mogočih kotov več zadetkov koša.
3) S povečevanjem razdalje se bo število zadetkov koša zmanjševalo.

V tem prispevku najprej z meritvami ocenimo natančnost dometa, kar je osnova za izdelavo koša. Nato z množico strelov na koš pri različnih parametrih, kot so razdalja do koša, hitrost in kot izstrelitve ter višinska razlika, preverjamo postavljene hipoteze. Na koncu pridobljeno znanje

in izkušnje uporabimo v novi situaciji in preverimo, ali izbrane nastavitve pripeljejo do takojšnjega zadetka.

2 Teoretični opis gibanja teles v homogenem gravitacijskem polju

Pri gibanju teles v homogenem gravitacijskem polju gre za gibanje teles pod vplivom teže in opravka imamo s krivim gibanjem, ki ga obravnavamo ločeno v smeri x in y.

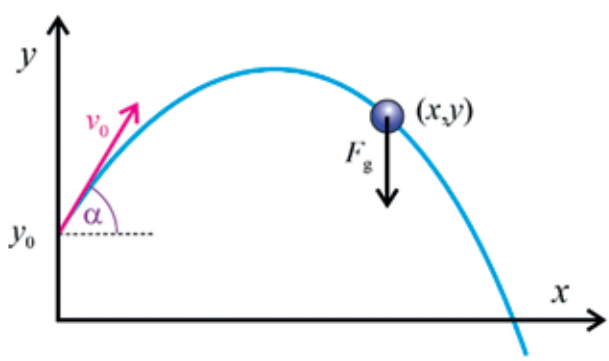
Telo vržemo z višine y_0 s hitrostjo v_0 pod kotom α glede na vodoravna tla (Slika 1), in če lahko zanemarimo zračni upor, potem velja, da imamo v smeri osi x enakomerno gibanje, v smeri osi y pa enakomerno pojemajoče gibanje:

$$a_x = 0, \qquad a_y = -g, \qquad (1a, 1b)$$

$$v_x = v_0 \cos\alpha, \qquad y_y = v_0 \sin\alpha - gt \qquad (2a, 2b)$$

$$x = v_0 \cos\alpha\, t, \qquad y = y_0 + v_0 \sin\alpha\, t - \frac{gt^2}{2}, \qquad (3a, 3b)$$

pri čemer je t čas leta telesa, g pa težni pospešek.



Slika 1: Tir telesa pri krivem gibanju pod vplivom teže.

2.1 Tir gibanja

Če iz enačbe 3a izrazimo čas in ga vstavimo v enačbo 3b, dobimo tir gibanja, ki je v tem primeru parabola (Slika 1):

$$y = y_0 + \tan(\alpha)\, x - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2\alpha} x^2 \qquad (4).$$

2.2 Domet

Domet leta običajno določajo geometrijski pogoji, ko telo doseže določen cilj. V našem primeru je cilj definiran s koordinato y v prostoru. Na podlagi tega lahko iz enačbe 4 izrazimo x in s tem določimo domet. Kot primer omenimo vodoravni met in met na isto višino, pri čemer se enačba 4 poenostavi in lahko domet relativno enostavno izrazimo.

Vodoravni met

Telo vržemo z višine y_0 v vodoravni smeri ($\alpha = 0$). Pri tem nas zanima $D = x$ telesa, ko ta doseže višino $y = 0$. Enačba 4 se v tem primeru poenostavi: $0 = y_0 - \frac{g}{2v_0^2} D^2$ in dobimo:

$$D = v_0 \sqrt{\frac{2y_0}{g}} \qquad (5).$$

Poševni met na isto višino

Telo vržemo z višine $y_0 = 0$ pod kotom α. Pri tem nas zanima $D = x$ telesa, ko ta doseže višino $y = 0$. Enačba 4 se v tem primeru poenostavi: $0 = \tan\alpha - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2\alpha} D$, in dobimo:

$$D = \frac{v_0^2 \sin(2\alpha)}{g} \qquad (6).$$

Met na koš

Če je cilj na višini y, začetni položaj pa na višini y_0, potem je višinska razlika $h = y - y_0$.

V tem primeru izrazimo x iz kvadratne enačbe 4 in upoštevamo pozitivno rešitev, ki nam da za domet:

$$D = \frac{v_0^2 \cdot cos^2\alpha}{g} \cdot \left(\tan\alpha + \sqrt{\tan^2\alpha - \left(\frac{2gh}{v_0^2 cos^2\alpha}\right)}\right) \qquad (7).$$

Domet lahko sestavimo tudi iz enačb 5 in 6 tako, da vzamemo polovico dometa poševnega meta na isto višino, preostanek pa je vodoravni met z maksimalne višine tira h_0 na višino cilja y, pri čemer velja:

$$h_0 = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2\alpha}{2 \cdot g} + y_0 \qquad (8).$$

2.3 Izračun kota in začetne hitrosti izstrelitve

Koš je mogoče zadeti pri isti (dovolj veliki) hitrosti po dveh različnih tirih, ki se razlikujeta po višini leta (Slika 2).

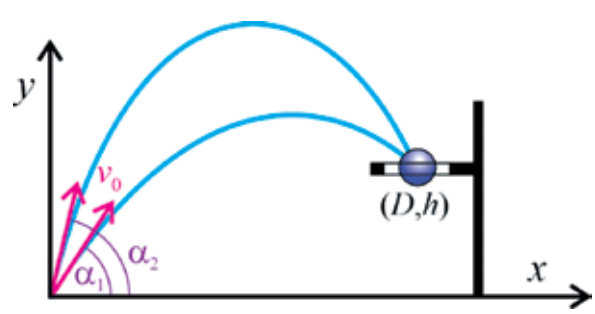
Za izračun kotov uporabimo enačbo 7, v kateri nadomestimo $cos^2\alpha = 1/(1 + tan^2\alpha)$. Če enačbo preuredimo, dobimo kvadratno enačbo:

$$b^2 - \frac{2 \cdot v_0^2}{s \cdot g} \cdot b + \frac{2 \cdot h \cdot v_0^2}{s^2 \cdot g} + 1 = 0, \text{ kjer je } b = tan(\alpha).$$

Iz enačbe izrazimo diskriminanto $d = \left(\frac{2v_0^2}{s \cdot g}\right)^2 - \frac{8h \cdot v_0^2}{s^2 \cdot g} - 4$ in dobimo rešitvi:

$$b_1 = \frac{\frac{2 \cdot v_0^2}{s \cdot g} + \sqrt{d}}{2}, \; \alpha_1 = \arctan(b_1) \text{ in } b_2 = \frac{\frac{2 \cdot v_0^2}{s \cdot g} - \sqrt{d}}{2},$$

$$\alpha_2 = \arctan(b_2) \qquad (9a, 9b).$$



Slika 2: Dva mogoča tira za zadetek koša.

Iz enačbe 7 lahko izrazimo tudi hitrost izstrelitve, ki jo potrebujemo, da zadenemo koš (Slika 2) pri danem kotu izstrelitve:

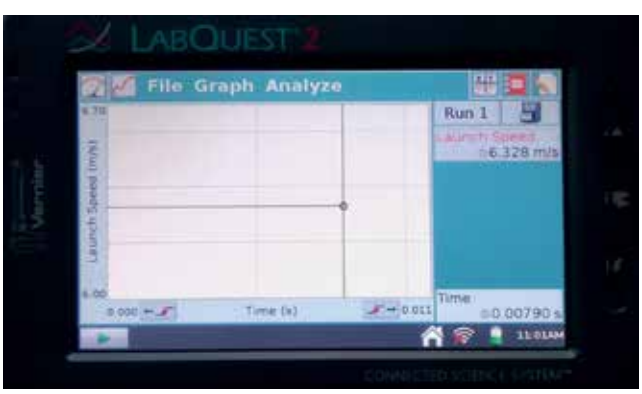
$$v_0 = \frac{D}{\cos\alpha} \cdot \sqrt{\frac{g}{2(D\tan\alpha - h)}} \qquad (10).$$

3 Karakteristike metalca in metode dela

3.1 Karakteristike metalca

Metalec najprej dobro pritrdimo na podlago (tla ali mizo). V ta namen ima metalec spredaj in zadaj po eno kovinsko ploščico z luknjico, da lahko uporabimo vijake ali prižeme. Pred strelom kroglico vstavimo v ležišče in na ustrezen priključek privijemo ročno zračno tlačilko (skupaj v kompletu z napravo, Slika 3). Začnemo s tlačenjem zraka in poslušamo ventil na metalcu. Ko začne ventil puščati zrak, je dosežen ustrezen tlak. Na vmesniku LabQuest2 pritisnemo tipko START, na metalcu pa držimo tipko ARM in nato stisnemo še tipko LAUNCH (Slika 5). Kroglica se izstreli, na vmesniku LabQuest2 pa se izpiše hitrost. Če želimo ustreliti kroglico z večjo hitrostjo, zavrtimo vrtljivi srednji gumb RANGE na napravi v smeri urinih kazalcev (Slika 5). Omogočeno je tudi enostavno spreminjanje kota izstrelitve z natančnostjo približno pol stopinje. Dejanske meritve so pokazale, da gre hitrost kroglic do 7 m/s, skrajni domet pa je pri tej hitrosti skoraj 5 m.

Slika 3: Metalec s pripadajočo opremo, vir slike [2].



Slika 4: Vernierjev vmesnik LabQuest2 z zapisom hitrosti izstrelitve desno zgoraj (Launch Speed).

Metalec ima vgrajena fotovrata za natančno merjenje časa, ki so 50 mm od ležišča kroglice. Pri strelu se iz časa potovanja kroglice na tej razdalji izračuna hitrost, ki se izpiše na Vernierjevem vmesniku LabQuest2 (Slika 4) na tri decimalna mesta natančno. Vernierjeva fotovrata merijo čas na milijoninko sekunde natančno, tako da natančnost hitrosti določata natančnost izdelave izstrelitvene cevi in natančnost premera kroglice. Proizvajalec navaja premer kroglice na stotinko milimetra natančno, in če velja podobna natančnost še za izstrelitveno cev, potem so vse decimalke hitrosti upravičene.

Slika 5: Gumba za izstrelitev (Arm in Launch) in vrtljivi gumb (Range) za nastavljanje hitrosti, vir slike [2].

Proizvajalčevi tehnični podatki [2]:

Kot izstrelitve:	0–70°	
Hitrost:	0–6 m/s	
Višina središča kroglice v napravi:	146 mm	
Domet:	2,5 m	
Železna kroglica:	$m = 21{,}8$ g	$d = 17{,}46$ mm

3.2 Merjenje dometa

Metalec kroglic smo pritrdili na šolsko mizo v učilnici. Pri streljanju vodoravno je tako kroglica 92,0 cm nad tlemi. Domet smo merili pri hitrostih med 4 m/s in 6,3 m/s. Pri določanju vodoravnice – kota 0° – smo si pomagali z vodno tehtnico na napravi, kote pa smo preverjali tudi s kotomerom na mobilnem telefonu (aplikacija Bubble Level). Pri vsaki hitrosti smo opravili serijo vsaj petih strelov, na mesto trkov kroglic ob tla pa smo prilepili povoščen papir. Tako so kroglice pustile jasen odtis, kam so priletele. Na tla od metalca mimo povoščenega papirja smo potegnili merski trak (Slika 6) in po končanem streljanju napravili fotografijo odtisov krogel s pripadajočim odsekom metra. Pri vsakem strelu smo tudi zabeležili hitrost, ki jo je prikazal vmesnik LabQuest2.

Pri poševnem metu na isto višino smo isto višino dosegli z dolgo ravno desko na dvižnih mizicah (Slika 7). Tudi v tem primeru smo si pri določanju dometa pomagali s fotografijami odtisov kroglic na povoščenem papirju in z merskim trakom. Domet smo merili pri hitrostih med 4 m/s in 6 m/s ter pri kotu 45°. Streljali smo v serijah po tri strele.

Slika 6: Postavitev pri meritvah dometa pri vodoravnem metu.

Slika 7: Postavitev pri poševnem metu na isto višino. Deska na dvižnih mizicah je na enaki višini kot kroglica v metalcu.

4 Rezultati

Merili smo domet pri vodoravnem metu in poševnem metu na isto višino. Zanimalo nas je predvsem, v kolikšen krog padajo kroglice pri zaporednih strelih brez sprememb v nastavitvah ter kakšno je ujemanje izmerjenih in izračunanih dometov.

4.1 Vodoravni met

Tabela 1: Vodoravni met – rezultati meritev

Meritev	Povprečna hitrost (m/s)	Izmerjeni domet (cm)	Izračunani domet (cm)
1	4,024	173,2	174,3
2	5,075	219,8	219,8
3	5,957	258,9	258,0
4	6,320	274,0	273,7

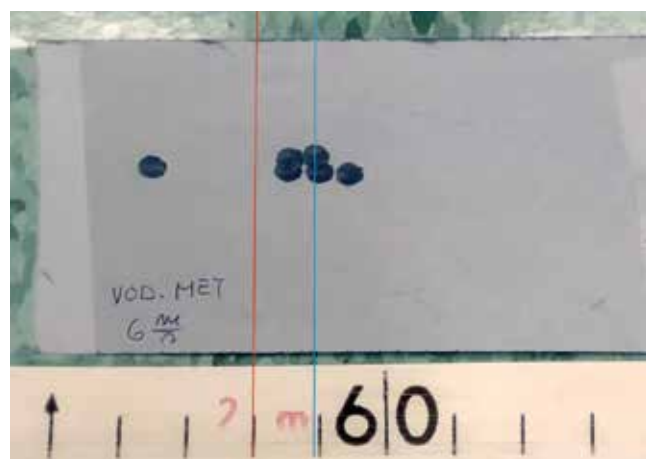
Pri vsaki hitrosti je bilo vsaj pet strelov, h = 92,0 cm.

Zadnji stolpec v Tabeli 1 je izračunani domet po enačbi (5), če bi kroglica imela začetno hitrost enako povprečni hitrosti iz drugega stolpca. Kot primer je predstavljena meritev 3 iz Tabele 1. Izvedeno je bilo šest strelov z naslednjimi hitrostmi. Vse hitrosti so v metrih na sekundo.

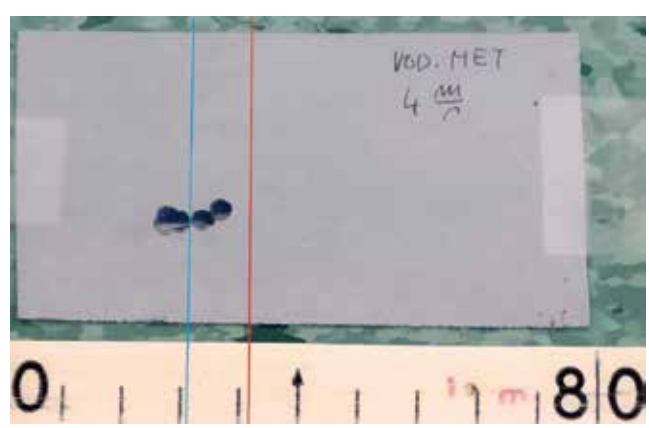
Tabela 2: Meritev 3 – posamezne hitrosti

v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	Povprečje (m/s)
5,974	5,965	5,955	5,955	5,904	5,945	5,957

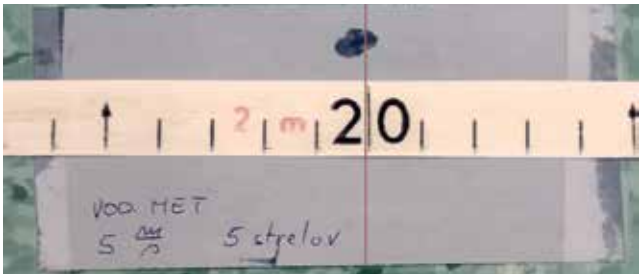
Na Sliki 8 je povoščen papir z odtisi kroglic iz meritve 3. Vidimo, da je pet odtisov blizu skupaj, en odtis pa zaostaja za približno 3 cm. Ta odtis ustreza hitrosti v_5, ki je v Tabeli 2 obarvana rdeče. Ta hitrost se od povprečja razlikuje le za približno 0,05 m/s, a je to vseeno precej več od odstopanj preostalih petih hitrosti, zato v statistiki ta strel ni upoštevan. Praksa kaže, da se občasno zgodi kakšen strel, ko hitrost nekoliko bolj odstopa. A to je običajno posledica kakšne mehanske napake, kot je slab stik med tlačilko in metalcem. Ko to popravimo, se tudi hitrosti stabilizirajo. Pri več zaporednih strelih se tlačilka nekoliko segreje, kar najbrž vpliva na delovanje tlačnega ventila. Iz Tabele 2 je zaznati rahlo upadanje hitrosti, kar bi lahko bila posledica segrevanja. Sicer pa dobro velja povezava manjša hitrost – krajši domet, tudi če se hitrost zniža samo za nekaj tisočink metra na sekundo. Razlika v dometu pri največji hitrosti v_1 in najmanjši hitrosti v_6 iz Tabele 2 je teoretično 1,3 cm, kar dobro ustreza razdalji med prvim in zadnjim odtisom v gruči na Sliki 8. Na Slikah 8, 9 in 10 modra črta predstavlja povprečni izmerjeni domet, rdeča črta pa izračunani domet pri povprečni hitrosti.



Slika 8: Primer vodoravnega meta – meritev 3, razlika med črtama je 0,9 cm.



Slika 9: Primer vodoravnega meta – meritev 1, razlika med črtama je 1,1 cm.



Slika 10: Primer vodoravnega meta – meritev 2, črti se ujemata.

Vidimo, da odtisi kroglic predstavljajo zgoščene skupine premera manj kot 2 cm. Ujemanje med izmerjenim in izračunanim dometom je (presenetljivo) najmanjše pri hitrosti 4 m/s (meritev 1). Razlika 1,1 cm pri dometu 174,3 cm pomeni relativno odstopanje 0,63 %, pri vseh drugih meritvah pa je relativno odstopanje še vsaj dvakrat manjše.

4.2 Poševni met na isto višino

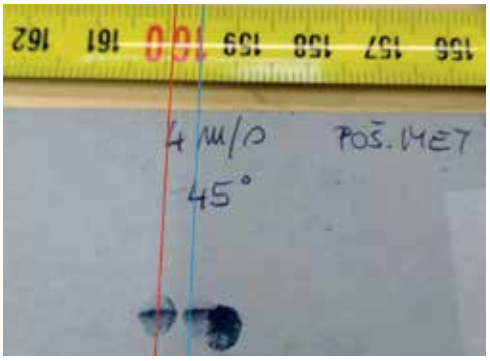
Primerjavo med izmerjenim dometom in dometom, izračunanim s povprečno hitrostjo strelov pri kotu 45° po enačbi (6), podaja Tabela 3.

Tabela 3: Poševni met na isto višino, kot 45° – rezultati meritev

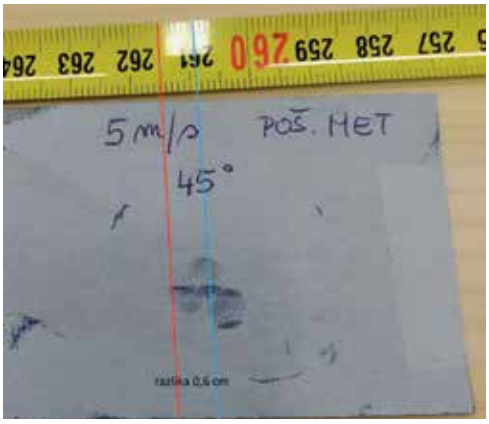
Meritev	Povprečna hitrost (m/s)	Izmerjeni domet (cm)	Izračunani domet (cm)
1	3,961	159,5	159,9
2	5,065	260,9	261,5
3	6,031	370,7	370,8

Pri vsaki hitrosti so bili trije streli.

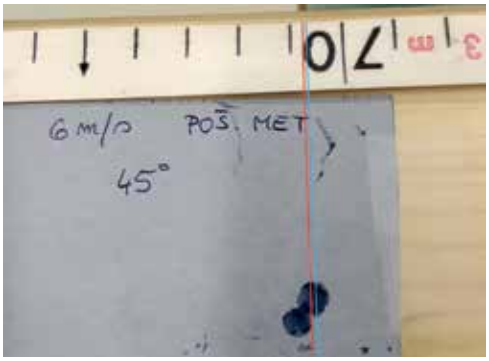
Iz Tabele 3 in Slik 11, 12 in 13, ki predstavljajo domete strelov iz posameznih meritev, razberemo zelo dobro ujemanje izmerjenih vrednosti z izračunanimi. Celo pri dometu 3,7 metra je ujemanje skoraj popolno, raztros pa majhen (Slika 13). Tudi na Slikah 11 do 13 modra črta predstavlja povprečni izmerjeni domet, rdeča črta pa izračunani domet.



Slika 11: Poševni met, kot 45° – meritev 1, razlika med črtama je 0,4 cm.



Slika 12: Poševni met, kot 45° – meritev 2, razlika med črtama je 0,6 cm.



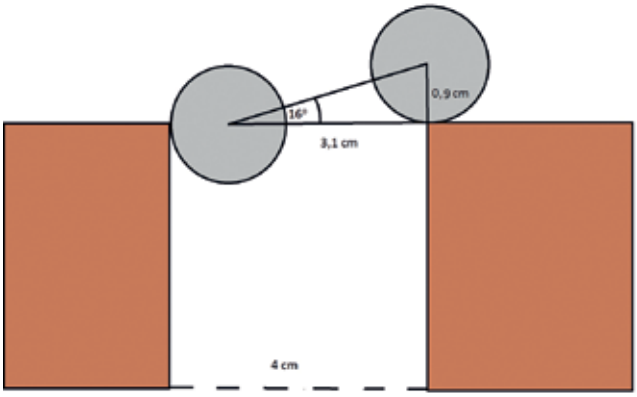
Slika 13: Poševni met, kot 45° – meritev 3, razlika med črtama je 0,1 cm.

4.3 Izdelava koša

Najprej se je bilo treba odločiti, kolikšna bosta višina koša in premer obroča oz. odprtine. Višina ni tako pomembna, saj lahko s samo postavitvijo metalca in koša na različnih ravneh nastavljamo višino. Odločili smo se za 50 cm visoko leseno konstrukcijo, na vrhu katere je ploščica z izrezano okroglo odprtino na sredini. Koš ni podoben košarkarskemu, je pa izdelava enostavnejša, koš stabilnejši in lažje se opazi, ali je prišlo do zadetka (Slika 15). Na oceno premera odprtine pa vpliva več dejavnikov. Dosedanje meritve so pokazale, da kroglice pri izbrani nastavitvi gumba RANGE, ki določa tlak in s tem hitrost, padajo v krog premera približno 2 cm. Ker mora kroglica pasti skozi odprtino, je treba prišteti še premer kroglice 1,8 cm. Kroglice pa ne padajo navpično, ampak pod kotom (Slika 16). Da kroglica polmera 0,9 cm sploh lahko pade v luknjo premera 4 cm, mora prileteti vsaj pod kotom 16°. Da lahko praktično upamo na zadetek, pa mora biti ta kot precej večji ali pa je treba povečati premer odprtine. Ker je teoretično težko priti do realne ocene, je padla odločitev, da izdelamo najprej vrhnjo ploščico z odprtino premera 4 cm in z njo začnemo meritve (Slika 14). Če bo v praksi skoraj nemogoče zadeti koš, lahko nato povečamo premer luknjice. Koš je tudi tako konstruiran, da se ploščice lahko menjujejo.

Slika 14: Primerjava velikosti luknjice in kroglice.

Slika 15: Koš z luknjico premera 4 cm.



Slika 16: Minimalni kot za zadetek; kroglica se mora spustiti vsaj za polmer v luknjico.

4.4 Streljanje na koš

Na koš želimo streljati z različnih oddaljenosti, pri posamezni oddaljenosti je mogoče doseči zadetek z različnimi hitrostmi, pri ustreznih hitrostih pa je mogoče doseči koš pri dveh različnih kotih. S pomočjo preprostega računalniškega programa za izračunavanje po enačbah 7 in 9a ter 9b (lahko bi uporabili tudi kar Excel) smo si pripravili program streljanja, ki ga prikazuje Tabela 4. Višinsko razliko med košem in kroglico smo postavili na 0,3 m. Rezultati računalniškega programa so pokazali, da se z večanjem višinske razlike hitro oži interval hitrosti, ki omogočajo zadetek pri dveh različnih kotih. Pri manjšem od obeh kotov se najprej izgubi teoretična možnost za zadetek koša.

Tabela 4: Teoretično določeni koti pri različnih postavitvah koša in različnih hitrostih izstrelitve. Meritev 7 predstavlja največjo mogočo oddaljenost koša pri dani hitrosti, zato je rešitev za kot samo ena.

Meritev	Razdalja (m)	Hitrost (m/s)	Kot 1	Kot 2
1	1,0	4,0	39°	68°
2	1,5	4,5	38,5°	63°
3	2,0	5,0	38°	60,5°
4	2,0	4,8	46°	53°
5	2,5	5,3	44°	53°
6	3,0	5,8	41°	54,5°
7	3,35	6,0	48°	/

Dosedanje izkušnje so nas naučile, da z metalcem ne moremo ponavljati strelov z izbrano hitrostjo recimo 4,000 m/s. Lahko pa dosežemo, da bo povprečna hitrost strelov zelo blizu izbrani hitrosti. Zaradi lažje obravnave smo za strele izbirali bolj »okrogle« vrednosti hitrosti, ki so v Tabeli 4 podane z zapisom na eno decimalko, vse nadaljnje decimalke pa so nič. Izmerjene hitrosti pa so vedno zapisane na tri decimalna mesta natančno. Streljanje je dalo naslednje rezultate. Pri vseh kotih, manjših od 44°, do zadetka koša ni prišlo, čeprav smo strele ponavljali toliko časa, dokler kroglica ni vsaj na videz optimalno priletela na luknjico. Kroglica je na koš priletela pod premajhnim kotom, da bi lahko padla skozi luknjico. Kot 44° pri meritvi 5 je najmanjši kot, kjer je prišlo do zadetka koša. To se je zgodilo, če je bila izmerjena hitrost med 5,290 m/s in 5,307 m/s. Hitrostni interval je širok samo 0,017 m/s, vseeno pa nam je uspelo zadeti koš šestkrat zapored. Rezultati streljanja na koš, zbrani v Tabeli 5, nakazujejo, da manjši ko je kot, ožji je hitrostni interval za zadetek.

Tabela 5: Meritve intervala začetne hitrosti pri zadetku na koš v odvisnosti od kota izstrelitve

Meritev po Tabeli 4	Kot (°)	Hitrostni interval za zadetek (m/s)	Velikost intervala (m/s)
5	44	5,290–5,307	0,017
4	46	4,795–4,800	0,005
7	48	6,017–6,030	0,013
4	53	4,797–4,814	0,017
5	53	5,300–5,320	0,020
6	54,5	5,800–5,825	0,025
3	60,5	5,019–5,042	0,023
2	63	4,526–4,552	0,028
1	68	4,039–4,069	0,030

Rezultati v Tabeli 5 temeljijo na vsaj desetih strelih pri posamezni meritvi, tako zadetih kot zgrešenih. Mejo intervala smo določili tako, da smo vzeli največjo in najmanjšo hitrost, ki je pripeljala do zadetka. Pri iskanju mej smo tudi spreminjali nastavitev gumba RANGE na metalcu, a ker zelo fina nastavitev hitrosti ni mogoča, so lahko mejne vrednosti tudi drugačne od navedenih. Napako meje intervala lahko ocenimo na 0,005 m/s za vse meritve v Tabeli 5. Za toliko so se v povprečju razlikovale hitrosti, najbližje mejnim vrednostim, kjer do zadetka ni prišlo.

Pri manjših kotih dobro velja, da izračunane vrednosti pripeljejo do zadetka. Pri večjih kotih, meja je po Tabeli 5 pri 53°, je za zadetek treba povečati hitrost za nekaj stotink m/s, prav tako pa tudi pri meritvi 7, ko je kot sicer 48°, a imamo strele na največji razdalji z največjo hitrostjo. Ta meritev je še posebej zanimiva, saj smo zadeli kar devet strelov zapored, preden je hit--rost padla izven intervala za zadetek. Glavni razlog za neuspešne strele je nihanje hitrosti in posledično razlike v dometu, odstopanja v smeri pa so zelo majhna, skoraj zanemarljiva. Če smo že zgrešili smer, je bila to večinoma posledica premika metalca, ko se pri strelih pritiska na gumba ARM in LAUNCH.

Cilj je določiti takšne vrednosti količin, da bi imeli veliko možnosti zadeti koš »iz prve«. Zato je bolje streljati na koš pri večjih kotih, recimo okoli 60°, ker je mogoč zadetek pri večjem razponu hitrosti, iz meritev pa je razvidno, da mora biti hitrost pri takšnih kotih nekoliko večja od teoretične vrednosti. Da bi prišli do boljše ocene tega povečanja hitrosti, smo pri vseh testnih razdaljah od enega do treh metrov izvedli streljanje pri kotu 60° in beležili hitrosti zadetkov. Rezultati izmerjene povprečne hitrosti v Tabeli 6 temeljijo na šestih zadetih strelih pri posamezni razdalji in podanem kotu izstrelitve. Teoretične hitrosti izstrelitve smo izračunali iz enačbe 10, ob upoštevanju, da je $h = 0{,}3$ m.

Tabela 6: Primerjava teoretičnih in izmerjenih hitrosti pri zadetku na koš za podani kot izstrelitve

Razdalja (m)	Kot (°)	Hitrost – teoretično (m/s)	Povprečna hitrost zadetkov (m/s)
1	60	3,70	3,695
1,5	59,5	4,40	4,390
2	60,5	5,00	5,033
2,5	59,5	5,50	5,545
3	60	6,00	6,060

Po Tabeli 6 je ujemanje dobro do hitrosti 4,4 m/s, potem pa približno velja:

– hitrosti med 4,5 in 5,0 m/s prištejemo 0,025 m/s,
– hitrosti med 5,0 in 5,5 m/s prištejemo 0,040 m/s,
– hitrosti med 5,5 in 6,0 m/s prištejemo 0,055 m/s.

Hitrost na metalcu lahko nastavimo z nekaj prakse na 0,010 m/s natančno, same hitrosti pa potem pri zaporednih strelih nihajo po intervalu širine približno 0,020 m/s, občasno tudi kakšen strel več. Razdalja je izmerjena na 2 mm, višinska razlika pa na 1 mm natančno. Zelo se pozna natančnost kota, s pomočjo mobitela dosežemo natančnost približno 0,2°, svoje pa prispevajo tudi napake pri računanju in zaokrožanju rezultatov. Za serijo uspešnih strelov je zato potrebne tudi nekaj sreče z nastavitvami, vsaj pri luknjici premera samo 4 cm.

4.5 Končni preizkus

Vse pridobljeno znanje, izkušnje in zanesljivost metalca kroglic smo preizkusili na naslednji način. Koš smo postavili na poljubno razdaljo, izbirali smo na intervalu od 1 m do 3,35 m od metalca. V dveh primerih smo obdržali višinsko razliko 0,3 m, v enem primeru pa smo tudi to spremenili. Razdaljo smo izmerili in nato izračunali hitrost, ki omogoča zadetek koša pri kotu 60°. Tej hitrosti smo prišteli še dodatek zaradi strela pod velikim kotom. Nato smo z nekaj streli (običajno je potrebnih pet ali šest strelov) dosegli želeno hitrost in poravnali smer. Potem smo želeli izvesti deset strelov brez kakršnih koli popravkov in beležiti uspešnost. Vendar pa je bilo v dveh primerih očitno, da pri izbranih nastavitvah do zadetkov ne bo prišlo. Glavni razlog za to vidimo v nenatančnosti nastavitve kota. Ker nima smisla streljati mimo koša, smo naredili še zadnji popravek hitrosti (povečanje za približno 0,020 m/s) in potem izvedli deset testnih strelov. Rezultati preizkusov so v Tabeli 7.

Tabela 7: Uspešnost serije desetih strelov, koš z odprtino premera 4 cm, kot streljanja 60˚

Razdalja (m)	Višinska razlika (cm)	Izračunana hitrost (m/s)	Povprečna hitrost strelov (m/s)	Streli	Uspešnost
1,83	30	4,775	4,780	O O O O O O O X O O	9/10
2,10	36,4	5,140	5,155*	O O O O X O X O O O	8/10
2,75	30	5,755	5,780*	O X O X O O O O O O	8/10

Zvezdica (*) pomeni popravek hitrosti nad izračunano vrednost, da je bil dosežen zadetek.

5 Razprava

Koš z luknjico premera 4 cm se je izkazal za dobro izbiro. Dosegli smo veliko zadetkov, po drugi strani pa je bilo tudi veliko zgrešenih strelov, ki so pokazali meje natančnosti.

V prvi hipotezi smo predpostavili, da zračni upor ni pomemben dejavnik pri streljanju kroglic. Vpliv upora zraka na izstreljeno telo je tem večji, čim večja je hitrost in čim daljša je pot telesa, posledica pa je krajši domet. Meritve so pokazale, da pri hitrostih nad 4,5 m/s in kotu 60° domet začne padati, kar je v skladu z učinkom zračnega upora. A kroglico smo izstrelili tudi s hitrostjo 6 m/s pod kotom 45° kar 3,7 m daleč. Izmerjeni domet se je kljub veliki hitrosti in dolgi poti kroglice popolnoma ujel s teoretično določeno vrednostjo. Enako je bilo pri vodoravnem metu, kjer smo streljali z največjo hitrostjo 6,3 m/s. Učinka zračnega upora vse meritve torej ne podpirajo. Ali je krajši domet pri velikih kotih posledica katerega drugega dejavnika?

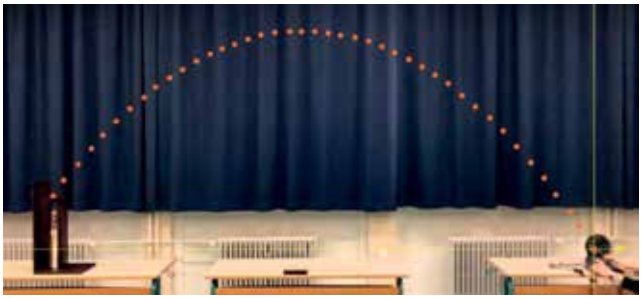
V drugi hipotezi smo predpostavili, da bo pri večjem od obeh kotov več zadetkov. To se je potrdilo tako v teoriji kot praksi. Pri kotih pod 44° sploh nismo dosegli zadetka koša. Sicer pa se je potrdilo, da je pri večjem kotu večji interval hitrosti za zadetek. Ker hitrost strelov niha, se s tem izboljšajo možnosti za zadetek.

V tretji hipotezi smo predpostavili, da se bo z razdaljo število zadetkov zmanjševalo. Čeprav smo pričakovali, da bomo to hipotezo zlahka potrdili, rezultati kažejo nasprotno. Število zadetkov koša na testnih razdaljah med 1 m in 3,35 m ni odvisno od razdalje. Pri razdalji 3,35 m do koša smo dosegli devet zaporednih zadetkov, kar ni uspelo pri večini krajših razdalj, hipotezi pa nasprotujejo tudi rezultati končnega preizkusa v Tabeli 7. K neodvisnosti števila zadetkov od razdalje verjetno močno pripomore zelo dobro držanje smeri strelov.

Da bi popolnoma izpolnili svoj cilj – na metalcu nastavili ustrezno hitrost in kot, ustrelili in zadeli – pa je malo manjkalo. Prišli smo zelo blizu, v končnem preizkusu je uspelo enkrat, dvakrat pa je bil potreben še minimalen popravek hitrosti. Metalec kroglic enostavno ne omogoča dovolj natančne nastavitve kota in hitrosti za zadetek luknjice premera 4 cm samo iz teoretično določenih vrednosti.

Zato smo vrhnjo ploščico z odprtino 4 cm (2,3-kratni premer kroglice) zamenjali s ploščico z odprtino 5,3 cm (trikratni premer kroglice) in ponovili drugo streljanje v Tabeli 7 (razdalja 2,1 m in višinska razlika 0,364 m). Razdalja in kot sta bila na novo izmerjena in nastavljena (vmes so bila streljanja z drugimi nastavitvami). Tokrat je kroglica pri priporočeni hitrosti 5,140 m/s gladko zadela in tako je bilo s celo serijo desetih strelov, uspešnost 10/10. Hitrostni interval se je zaradi večje luknje razširil vsaj na 0,040 m/s (med 5,110 m/s in 5,150 m/s), očitno pa nam je tokrat tudi bolje uspela nastavitev kota. Hoteli smo preizkusiti še skrajne meje, zato smo koš postavili na razdaljo 3,6 m pri višinski razliki 0,364 m. S pomočjo računalniškega programa smo izbrali hitrost 6,4 m/s in kot 56°. V tem območju nismo določali povečanja hitrosti, zato smo šli s hitrostjo od 6,400 m/s počasi navzgor. Ko smo dosegli hitrostni interval 6,430–6,440 m/s, smo dosegli uspešnost zadetkov 10/10 (Slika 17). Opazili smo, da je pri večjih tlakih v sistemu hitrost stabilnejša, nihanja so manjša, zato se verjetnost za zadetek z razdaljo ne zmanjšuje.

Hitrost kroglice je zagotovo odvisna od temperature pnevmatskega sistema (metalec in tlačilka). Po seriji strelov, ko se tlačilka nekoliko segreje (občutimo na dotik), hitrost nekoliko pade. Ko po kakšni uri prekinitve nadaljujemo streljanje z nespremenjenimi nastavitvami, je hitrost za 0,020–0,030 m/s višja. Potrebnih je približno deset zaporednih strelov, da pride sistem na delovno temperaturo, občasno pa tudi to ni dovolj in je treba posredovati z vrtenjem gumba RANGE.



Slika 17: Tir kroglice pri zadetku koša na razdalji 3,6 m, višina 36,4 cm, hitrost 6,4 m/s, kot 56˚. Dolžina mize je 1,2 m za lažjo oceno razdalje. Videoposnetek z 240 slikami na sekundo je bil obdelan v programu LoggerPro. Točke si sledijo v časovnih razmikih 1/40 sekunde.

6 Zaključek

Mislimo, da smo z množico strelov, meritvami dometov in štetjem zadetkov koša dobro preučili prednosti in slabosti Vernierjevega metalca kovinskih kroglic. Med slabosti lahko štejemo nihanje hitrosti strelov, odvisnost hitrosti od temperature, premalo natančno nastavitev kota. Dobro pa je to, da so nihanja hitrosti tako majhna, da segajo razlike v dometu do 2 cm. Metalec zelo dobro drži smer strelov, odstopanje levo – desno je manj kot 1 cm tudi pri razdaljah več kot 3 m. Nastavitev kota pa lahko izboljšamo z uporabo mobilnega telefona in ustrezne aplikacije. Streljali smo pri večjih hitrostih in precej večjih razdaljah, kot jih priporoča proizvajalec. Tudi v tem primeru se je metalec dobro obnesel, hitrost je celo stabilnejša pri hitrostih nad 6 m/s, zato se število zadetkov koša z razdaljo ne zmanjšuje. Koš z odprtino premera 4 cm se je izkazal za nekoliko premajhnega, da bi lahko računali na zanesljiv zadetek samo iz teoretičnih napovedi. Nenatančnost hitrosti in kota je prevelika. S košem z odprtino premera 5,3 cm, kar je trikratni premer kroglice, pa smo izpolnili tudi ta cilj. Edino vprašanje, na katero meritve niso dale jasnega odgovora, je vpliv zračnega upora na domet kroglice. Zakaj se domet pri izbrani hitrosti pri kotu 45° popolnoma sklada s teoretično vrednostjo, pri kotu 60° pa ne? Tako hitrost kot dolžina tira sta v obeh primerih zelo podobna. Ker pa smo morali pri strelih na koš na razdaljah nad 2 m povečati hitrost za zadetek nad teoretično določeno vrednost, se bolj nagibamo k ugotovitvi, da je zračni upor pomemben dejavnik, ki vpliva na doseg kroglice.

Za konec lahko poskusimo še s primerjavo metov na koš pri košarki in svojih strelov na koš. Košarkarska žoga ima premer 25 cm, obroč je na višini 305 cm in ima premer 45 cm. Če vzamemo za enoto dolžine premer žoge oziroma kroglice, ugotovimo naslednje. Met za tri točke se izvaja z razdalje dobrih 7 m ali cca. 30 žog. 30 kroglic v nizu pomeni razdaljo 52 cm. Strel na koš na razdalji 2,5 m pomeni podobno kot met na koš z razdalje 35 m, kar pomeni met čez celo košarkarsko igrišče, strel na koš na razdalji 3,6 m pa kot met na koš z razdalje 50 m. Odrasel človek meče žogo na koš z višine približno 2 m, tako da je višina do koša 1 m ali štiri žoge. 30 cm višinske razlike pri strelu kroglice na koš pomeni 16 kroglic. Lahko si predstavljamo, kot da je koš na višini 6 m oziroma 4 m nad višino izmeta žoge. Če bi obroč koša povečali s 45 cm na 75 cm (na trikratni premer košarkarske žoge) in obroč hkrati dvignili na 6 m, bi pri metih čez celo igrišče videli zgolj nekaj naključnih zadetkov. Z metalcem pa lahko dosegamo zadetke v serijah.

Vse meritve, predstavljene v tem članku, so vzete iz raziskovalne naloge z naslovom *Strel na koš* [1], ki je bila izdelana v okviru gibanja Mladi raziskovalci (ZOTKS) v šolskem letu 2019/20.

Na podlagi izkušenj, ki smo jih pridobili z metalcem kroglic in s streli na koš, smo oblikovali naslednja navodila, ki so na strani 32, za eksperimentalno delo dijakov maturantov.

Vira

[1] Jevšenak, P. (2020). Strel na koš, raziskovalna naloga. OŠ Mihe Pintarja Toleda Velenje.

[2] Spletna stran Vernier. https://www.vernier.com/product/vernier-projectile-launcher (19. 1. 2020).

Poševni met

Naloga: Teoretična in praktična obravnava poševnega meta s pomočjo Vernierjevega metalca kovinskih kroglic

Pripomočki:

- metalec kroglic s pripadajočo opremo,
- vmesnik LabQuest,
- meter,
- koš,
- deska,
- dvižne mizice

1. naloga: Preverite natančnost metalca pri kotu 45°

Učitelj ali laborant vas seznani z upravljanjem metalca in uporabo pripadajoče opreme. Gumb RANGE zavrtite v tak položaj, da bo hitrost kroglic med 4,0 m/s in 6,0 m/s, kot izstrelitve pa 45°. Z desko na dvižnih mizicah lahko dosežete, da bo kroglica pristala na isti višini, kot jo metalec izstreli. Izmerite domet šestih strelov, pri vsakem strelu zapišite hitrost z vmesnika LabQuest. Preverite ujemanje izračunanih dometov z izmerjenimi in zapišite relativno napako izmerjenih dometov.

2. naloga: Preverite ujemanje dometov pri kotih 30° in 60°

Pri nespremenjeni hitrosti naredite serijo treh strelov pri vsakem od obeh kotov, merite hitrost in domet. Izračunajte odstopanje povprečnih dometov pri enem in drugem kotu od izračunane vrednosti in (morebitno) razliko v dometu pri obeh kotih.

3. naloga: Kam je treba postaviti koš za zadetek?

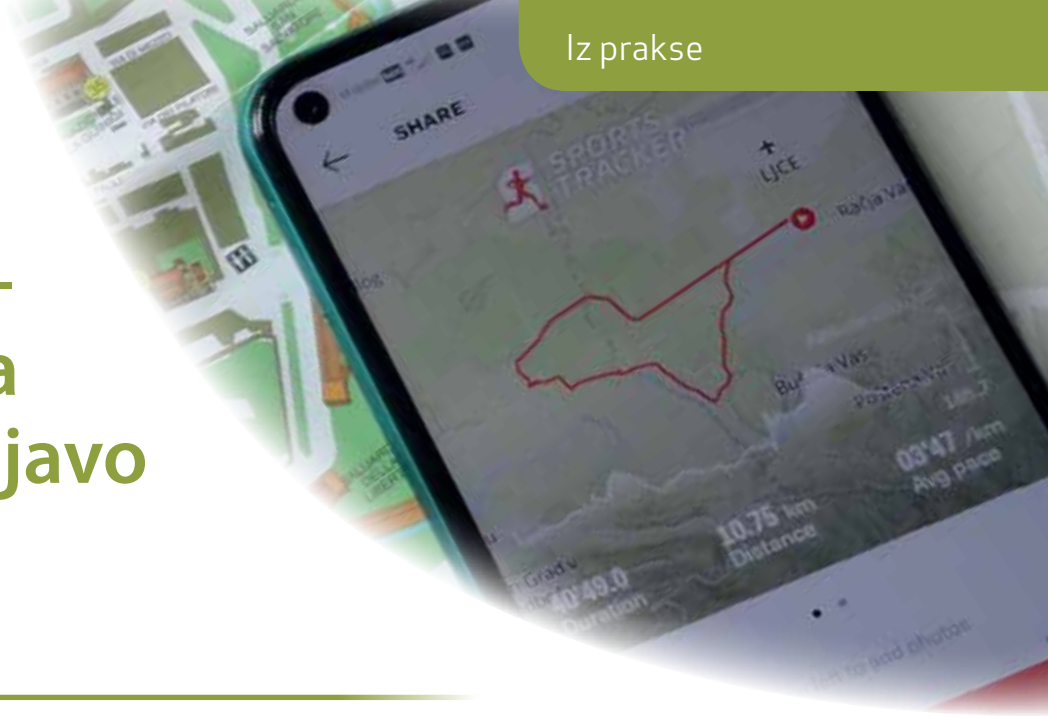
Kot strela nastavite na 50°, hitrost ostane nespremenjena. Izračunajte in nato preverite v praksi, na katero vodoravno razdaljo od metalca je treba postaviti koš, da ga izstreljena kroglica zadene. Bodite pozorni na višinsko razliko med kroglico in košem. Komentirajte svojo (ne)uspešnost pri zadevanju koša.

4. naloga: Pri novi razdalji do koša izračunajte oba kota izstrelitve, ki lahko privedeta do zadetka koša, in ju preverite v praksi

Koš nekoliko približajte metalcu (priporočljivo za 20 cm do 40 cm). Pri znani vodoravni razdalji (izmerite), hitrosti (nespremenjena) in višinski razliki izračunajte oba kota za zadetek koša. Dobljeni vrednosti preizkusite v praksi in komentirajte uspešnost.

5. naloga: Ocenite, koliko energije izgubi kroglica zaradi zračnega upora

Za gibanje kroglice skozi zrak velja kvadratni zakon upora. Ocenite povprečno hitrost kroglice pri strelu z največjim dometom (povprečje po celotnem tiru) in izračunajte silo upora. Ocenite tudi dolžino poti kroglice po zraku in izračunajte delo sile upora. To delo primerjajte s celotno energijo kroglice.



Terensko delo in GPS-aplikacije za pouk na daljavo

Mag. Jože Pernar
Gimnazija Krško

Izvleček
Izredne razmere so pripeljale do intenzivnega dela na daljavo. Pri tem niso izjema niti eksperimentalne vaje. Prispevek predstavlja model aktivnega dela na terenu, ki zajema fizikalne naloge o gibanju za nižje letnike ter naloge o delu in energiji za višje letnike. Predstavljeni primer omogoča tudi izvedbo izbirnih vsebin, kot je naravoslovni dan.

S spletnima aplikacijama Phyphox in Sports Tracker lahko na novejših mobilnih telefonih izvedemo vrsto zanimivih, aktivnih ter avtentično naravnanih eksperimentalnih vaj. Sodobne aplikacije omogočajo izredno natančno določanje položaja s pomočjo GPS (*Global Positioning System*, tj. globalnega sistema za določanje položaja) in izdelavo ter razvoj učnih aktivnosti na terenu. Prispevek zajema tudi del analize dela po opravljenih vajah.

Ključne besede: GPS (*Global Positioning System*), pouk na daljavo, eksperimentalne vaje, fizika, terensko delo

Fieldwork and GPS Applications for Remote Learning

Abstract
The exceptional circumstances surrounding the pandemic have led to intensive remote work, which also included experimental exercises. The article introduces a model for active fieldwork activities consisting of physics tasks focused on motion for the younger students and work and energy for the older students. The model can also be used to implement elective subjects such as Natural Science Day.

Using online applications Phyphox and Sports Tracker on smartphones, a number of interesting, active and authentic experimental exercises can be performed. Modern applications allow an extremely precise positioning based on GPS (*Global Positioning System*) as well as the creation and development of learning fieldwork activities. The article also includes a part of the work analysis after the implementation of the exercises.

Keywords: GPS (*Global Positioning System*), remote learning, experimental exercises, physics, fieldwork

Uvod
Preteklo in trenutno šolsko leto bosta za vedno zaznamovali zgodovino našega šolstva. Upajmo, da ostaneta zgolj kot primer. Delo na daljavo je postalo izziv in za marsikoga skoraj že normalna oblika dela. Poučevanje pri tem ni izjema. Učitelji so bili vsaj na začetku prepuščeni lastni iznajdljivosti in znanju. Slednje pa ni bilo pridobljeno z novimi učnimi mediji in tehnologijo, temveč z ustrezno spremembo paradigme vsakega posameznika. Žal se je le v redkih primerih to uskladilo na ravni učne skupnosti in še manj na ravni državnih ustanov.

Učitelji fizike so bili v tej situaciji pred še večjim izzivom. Poleg spoznavanja in učenja novih vsebin so na nek način »zaprisežen« tudi eksperimentalnemu delu in vajam.

V učnem načrtu za fiziko [1] je zapisano, da je treba tradicionalne eksperimentalne vaje postopoma nadomeščati s sodobnejšimi, katerih pomembni cilji so: razvijanje samostojnega opazovanja, razmišljanja, sklepanja in preprostega raziskovanja, usvajanje nove učne snovi ob eksperimentiranju, lažje razumevanje fizikalnih vsebin, lažja zapomnitev, vključevanje uporabe sodobnih merilnih pripomočkov itd. Vaje na daljavo zagotovo niso tradicionalne. Pa so zaradi uporabe sodobne tehnologije res sodobnejše, kot navaja priporočilo učnega načrta? Preseči je treba prepričanje, da je bilo delo na daljavo že zgolj zaradi uporabe novih tehnologij sodobnejše. Predvsem je treba zagotoviti dosego ciljev, ki jih navaja isti vir.

Terensko delo kot eksperimentalna vaja na daljavo

Brand in Reiss (2006) [2] sta postavila tezo, da lahko pri delu zunaj učilnice predvidevamo tri kategorije učnega okolja:

– dejanski svet (dostop do terenskih ogledov in dejanskih situacij v naravi),
– predstavitveno okolje (poligoni, hiše eksperimentov, muzeji, planetarij, observatorij),
– virtualno okolje (računalniške simulacije).

Najbolj avtentično okolje teh kategorij je zagotovo prvo. Izkušnje kažejo, da je tudi najzahtevnejše. Neponovljivo in enkratno neposredno. Ta enkratna priložnost je lahko velika prednost, predstavlja pa lahko tudi nepremostljive težave in ovire. Kljub vsem predsodkom o morebitnih težavah je vredno in potrebno preizkusiti tudi to obliko dela. Primer kaže na veliko iznajdljivost dijakov, saj so v svojih poročilih nakazali določene probleme, ki bi marsikaterega učitelja lahko odvrnili od izvedbe vaje.

Razvoj terenskega dela pri pouku fizike

Pri pouku naravoslovnih predmetov v osnovni šoli naj bi se terensko delo v zadnjem obdobju povečevalo. V srednješolskem izobraževanju je to delo zelo pogosto nadomeščeno z laboratorijskim delom [3]. Vendar ta oblika dela zgolj poustvarja pojave iz narave [4]. Pri tem lahko namerno ali nehote vplivamo na samo izhodišče in pogoje dela. Včasih je to dobrodošlo (vreme, čas, letni časi …), v nekaterih primerih pa se izgubi avtentičnost dogodka ali procesa pri merjenju. Pri neposrednem delu na terenu na večino pogojev ne moremo vplivati. Torej je izvedba vsaj nekaj vaj ali ur zunaj učilnice zelo dobrodošla sprememba in predvsem popestritev učenja. Dijaki tovrstno delo sprejemajo zelo dobro, kar kaže spodnja analiza rezultatov ankete po opravljenem delu na terenu.

Ankete po vajah

Vaje so bile izvedene med 8. januarjem 2021 in 1. marcem 2021 v dveh razredih gimnazijskih oddelkov in štirih razredih srednjega poklicnega izobraževanja (elektrotehnik in tehnik računalništva). Naloge je opravilo 96 dijakov, poročilo o vaji pa je oddalo 87 dijakov.

Prilagojena vaja je bila tudi osnova za pripravo in izvedbo naravoslovnega dne. To aktivnost so opravili dijaki štirih oddelkov. Po aktivnostih na terenu in oddanih poročilih so vsi dijaki iz-

Diagrama 1 in 2: Aktivnosti in primerjave med programoma.

polnili tudi kratko anketo [5] z desetimi vprašanji. Ta so zajemala tako uporabo elektronskih aplikacij kot tudi odzive na obliko dela in vsebinske težave pri izvedbi vaje. Aktivnost naravoslovnega dne ni bila vključena v analizo. Na rezultate analize ankete se nanašajo nekatere ugotovitve prispevku.

Mobilne spletne aplikacije

Sodobna tehnologija in s tem zelo pogosto predvsem fizika vstopata v naše vsakdanje življenje. Ta trend predstavlja priložnost, da dijake spoznamo z njuno avtentično vsebino in koristmi, ki nam jih ponujata. GPS je tehnologija, ki je zelo hitro prodrla do skoraj vsakega uporabnika moderne tehnologije. Za izvedbo pričujočih eksperimentalnih vaj sta uporabni spletni aplikaciji Phyphox [6] in Sports Tracker [7]. Prva poleg GPS-sledenja omogoča vrsto fizikalnih merilnikov. Druga pa je klasični športno-rekreativni GPS-sledilnik, ki omogoča kartografski prikaz opravljene poti. Že pri snovanju in pripravi vaje se je izkazalo, da za vsebino in vprašanja v nalogah ne zadošča zgolj Phyphox. Dodatno orodje učitelju omogoča vpogled v konfiguracijo in razgibanost poti, kjer je bila vaja opravljena, dijaku pa ponudi nekatere rezultate, do katerih mora priti s fizikalnimi izračuni. Ti se včasih ne ujemajo popolnoma, kar lahko sproži miselni razvoj ter aktivno iskanje vzroka za to.

Sodobna tehnologija in s tem zelo pogosto predvsem fizika vstopata v naše vsakdanje življenje.

S samo namestitvijo programske opreme ni bilo večjih težav, saj je pri spodnjem anketnem vprašanju kar 94,8 % dijakov izbralo odgovor *a*, le pet dijakov je imelo nekaj težav pri namestitvi in uporabi aplikacije Phyphox (odgovor *b*).

2. *Kako je bilo z namestitvijo mobilnih aplikacij Phyphox in Sports Tracker?*
   a) Nisem imel/-a nobenih težav.
   b) Težave sem imel/-a pri namestitvi programa Phyphox.
   c) Težave sem imel/-a pri namestitvi programa Sports Tracker.

DELO IN ENERGIJA – »GPS«

EKSPERIMENTALNA VAJA - POUK NA DALJAVO

Eksperimentalno vajo bomo prilagodili razmeram dela na daljavo. Ker doma nimamo merilnikov za silo in hitrost, bomo uporabili pametne telefone in ustrezne aplikacije ter programsko opremo.
Da pa ne bomo vso delo pri fiziki izvajali le v hiši in pred računalnikom, bomo večino vaje opravili na prostem in na terenu.

Na pametni telefon si naložite aplikacijo Phyphox. Lahko si jo namestite tudi na računalnik: https://phyphox.org/

NALOGA: V okolici doma si boste izbrali pot, ki jo boste prehodili. Lahko jo tudi prekolesarite ali pa kombinirate. Dolžina razdalje ni omejena, priporočljiva pa je vsaj 2 km. Pri tem boste izmerili nekaj fizikalnih količin, s katerimi boste kasneje analizirali našo športno – fizikalno aktivnost.
Da bi bili podatki čim bolj zanimivi, nekaj časa hodite počasi, tecite, se ustavite...itd.

1. MERJENJE S POMOČJO APLIKACIJE NA MOBILNIKU

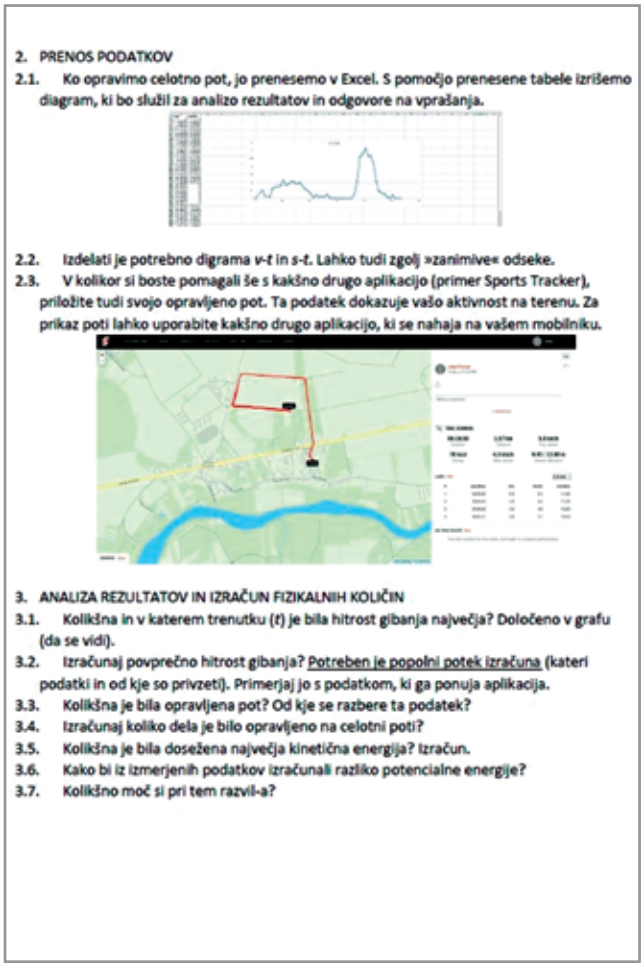
1.1. V aplikaciji Phyphox izberi sledilnik GPS:

1.2. Preizkusi delovanje delovanje naprave. V zaprtem prostoru ta senzor običajno ne deluje.

Merilniki, ki jih ponuja aplikacija Phyphox.

1.3. Pri merjenju si lahko pomagate za primerjavo podatkov tudi s katero drugo aplikacijo, a je za analizo podatkov in izdelavo vaje OBVEZNA uporaba Phyphox GPS.

1.4. Opravi merjenje na celotni trasi svojega gibanja.



2. PRENOS PODATKOV

2.1. Ko opravimo celotno pot, jo prenesemo v Excel. S pomočjo prenesene tabele izrišemo diagram, ki bo služil za analizo rezultatov in odgovore na vprašanja.

2.2. Izdelati je potrebno digrama *v-t* in *s-t*. Lahko tudi zgolj »zanimive« odseke.

2.3. V kolikor si boste pomagali še s kakšno drugo aplikacijo (primer Sports Tracker), priložite tudi svojo opravljeno pot. Ta podatek dokazuje vašo aktivnost na terenu. Za prikaz poti lahko uporabite kakšno drugo aplikacijo, ki se nahaja na vašem mobilniku.

3. ANALIZA REZULTATOV IN IZRAČUN FIZIKALNIH KOLIČIN

3.1. Kolikšna in v katerem trenutku (*t*) je bila hitrost gibanja največja? Določeno v grafu (da se vidi).

3.2. Izračunaj povprečno hitrost gibanja? Potreben je popolni potek izračuna (kateri podatki in od kje so privzeti). Primerjaj jo s podatkom, ki ga ponuja aplikacija.

3.3. Kolikšna je bila opravljena pot? Od kje se razbere ta podatek?

3.4. Izračunaj koliko dela je bilo opravljeno na celotni poti?

3.5. Kolikšna je bila dosežena največja kinetična energija? Izračun.

3.6. Kako bi iz izmerjenih podatkov izračunali razliko potencialne energije?

3.7. Kolikšno moč si pri tem razvil-a?

Slika 1 in 2: Delovni listi [9].

Delovni listi in navodila

Vaja je bila namenjena utrjevanju in preverjanju znanja s področij gibanja [8] za nižje letnike ter dela in energije [9] za višje. Tako sta nastali dve vaji s skupnim izhodiščem aktivne uporabe GPS-mobilne aplikacije.

Vaji vsebujeta navodila za namestitev in aktivacijo mobilnih aplikacij, za reševanje vsebinsko zastavljenih nalog ter za prenos podatkov in njihovo analizo. Za lažje razumevanje vključujeta tudi slikovno gradivo.

Z manjšimi spremembami do različnih vsebin in aktivnosti

Prvotno je bila izdelana na terenu preizkušena in ciljno naravnana naloga za višje letnike (Delo in energija) [9]. S spremenjenimi vprašanji in nekaj popravki se vaja pripravi za prve letnike, ki poznajo predvsem vsebine o gibanju [8].

V času dela na daljavo so bili učitelji odgovorni tudi za izvedbo nekaterih izbirnih vsebin, kot so naravoslovni dnevi. Malce nepričakovano, glede na razmere, so vodstva šol izvedbo teh aktivnosti »spodbujala«. Argument za to je bil, da jih je lažje izvesti na daljavo in da se bomo pri vrnitvi v šole več posvečali koristnejšim vidikom poučevanja. Kdor dela z dijaki, dobro ve, da je resničnost drugačna. Skriti vzgibi za te spodbude so verjetno tudi v dejstvu, da uspešnost dela učitelja neposredno vpliva na »uspešnost« ravnatelja. Izvedba naravoslovnega dne na daljavo žal ni tako enostavna. Dani primer omogoča aktivnost v naravi. S tem je zagotovljen bistveni cilj naravoslovnega dne. Delovno gradivo [10] je mogoče dopolniti z ekološkimi vsebinami in vprašanji. Opazovanje javnih svetil in iskanje vzrokov za svetlobno onesnaženje, dokumentiranje divjih odlagališč na poti, beleženje ekoloških otokov …. Za prvi navedeni problem lahko dijaki izpolnijo interaktivni test [11] in s tem obnovijo ali spoznajo vrste svetil, ki se pojavljajo v naši okolici, ter njihov vpliv na naravo. Pri tem ni zanemarljiv dejavnik, da smo dijake spravili iz zaprte sobe in izpred računalnika v neko naravno okolje ter k naravoslovni aktivnosti.

Pri tem ni zanemarljiv dejavnik, da smo dijake spravili iz zaprte sobe in izpred računalnika v neko naravno okolje ter k naravoslovni aktivnosti.

Problem stacionarnosti in motivacije pri učenju na daljavo

Konec leta 2020 je bilo objavljenih več znanstvenih raziskav in vsaj 15 člankov [12], ki raziskujejo spremembe bivanjskih in prehranjevalnih navad mladoletnikov in otrok. Vzorci so bili zelo veliki in nedvomno potrjujejo veliko povečanje telesne mase. Ukrepi proti kovidu 19 in omejitve gibanja so prerasli v fizično neaktivnost tudi mlade populacije. Pri tem sta bili pomembni samodisciplina in motivacija. Slednja je ena najpomembnejših psihičnih funkcij, ki dijakom omogoča, da se učijo tudi v manj ugodnih razmerah. Pri izobraževanju na daljavo je motivacija izredno pomembna. Pri pouku na daljavo odpade veliko neposredne in osebne socialne spodbude. Dijaki se morajo temeljiteje spodbujati, načrtovati in sprejemati odločitve kot pri klasični obliki šolanja. Te posebnosti je pri organizaciji izobraževanja na daljavo treba upoštevati in vključevati vse dejavnike, ki spodbujajo motiviranost udeležencev. Motiviranost pri izobraževanju na daljavo lahko spodbujamo predvsem s posebej za to izdelanimi učnimi gradivi, nazornimi navodili in priporočili, učinkovito povratno informacijo ter osebnim stikom med učiteljem in dijaki [13]. S primerom terenske vaje skušamo vsaj malo vplivati na omenjeni problem. Analize po opravljeni vaji kažejo, da je več kot 90 % dijakov vajo opravilo z veseljem in zanimanjem. Med izpostavljenimi odgovori sta navedena prav odmik od računalnika in gibanje v naravi. Aktivnost je bila dobro sprejeta tako med dijaki, ki nimajo učnih težav, kot v veliki meri med tistimi, ki v razredu nimajo najboljših rezultatov. Razlike so se pojavile pri izdelavi poročil, sama izvedba na terenu pa je pritegnila tudi dijake, ki so prej kazali odpor do dela na daljavo.

Pri pouku na daljavo odpade veliko neposredne in osebne socialne spodbude. Dijaki se morajo temeljiteje spodbujati, načrtovati in sprejemati odločitve kot pri klasični obliki šolanja.

Vaja kot aktivni učni pristop

Pričujoča vaja že sama po sebi predstavlja aktivno delo. Dijak je ne more opraviti, če ni tudi fizično aktiven. Zapustiti mora sobo, učilnico, laboratorij. V času učenja na daljavo je bil to zelo pomemben in premišljeno načrtovan del naloge. Obstajala je upravičena težnja, da dijaka občasno spravimo izpred ekrana in ga na nek način tudi fizično aktiviramo. Ali je takšna aktivnost v resnici tudi aktivni učni pristop? Kot navaja Planinšič [14] pri razlagi stališč do-

kumenta OECD [15] o prihodnosti izobraževanja in spretnosti do leta 2030, sta pred učitelji prihodnjega obdobja med drugim dva nadvse pomembna izobraževalna cilja:
– kako doseči, da bodo dijaki aktivno vključeni v vse faze pouka,
– kako pomagati dijakom, da bodo razvili epistemološko znanje o disciplini.

Manjše število (5 %) dijakov je k vaji pristopilo kot k sprostitveni aktivnosti. Nekaj jih je vajo izvedlo med športnim tekom ali hojo in z opazovanjem delovanja mobilne naprave, ki beleži dokaj zanesljive podatke o premikanju po terenu. Z navdušenjem so spremljali napravo, ki jim posreduje znane podatke. Skoraj vsi so se namreč napotili po znanih poteh. Tako so s pametno tehnologijo le potrjevali nekaj, kar so v izhodišču poznali. Pri tem se je pojavil presenetljiv podatek, da je veliko dijakov prvič uporabljalo kakršenkoli sistem GPS. Brez epistemološkega znanja in razmišljanja v okviru fizikalnih vsebin so ti dijaki med pripravo poročila ugotovili, da so podatki »nezanimivi« ali celo neuporabni. Pokazalo se je, da opravljanje naloge brez fizikalnega pristopa ne da dobrih rezultatov. Nekateri so to izkušnjo nadgradili s ponovnim odhodom na teren, kjer so nalogo ponovili z ustreznim pristopom. Nekateri so po razmisleku traso celo spremenili. Veliko jih je to ugotovitev navedlo tudi v svojem poročilu, zagotovo pa je še kdo to opravil brez omembe.

Motiviranost pri izobraževanju na daljavo lahko spodbujamo predvsem s posebej za to izdelanimi učnimi gradivi, nazornimi navodili in priporočili, učinkovito povratno informacijo ter osebnim stikom med učiteljem in dijaki.

Primeri pristopov

Sledi primer ***dijaka 1***, ki se je vaje na terenu lotil z jasno predpostavko, kaj želi preizkusiti, in je uporabil del epistemološkega znanja o disciplini.

V uvodu je zapisal:
Cilj vaje je bil prehoditi ali prekolesariti kratko pot in jo fizikalno interpretirati. Opravil sem 1,5 km dolgo pot, aktivnost je trajala približno 6 min, razdelil pa sem jo na 7 delov:

1. *Zmerna vožnja s kolesom*
2. *30 sek počasne hoje ob kolesu, 30 sek hitre hoje ob kolesu*
3. *Sprint ob kolesu*
4. *Počasna vožnja s kolesom, nenadno zaviranje*
5. *»drag race« s kolesom, do v_{max}, nato nenadno zaviranje*
6. *Vožnja po zadnjem kolesu*
7. *Hitra vožnja s kolesom, nato ustavljanje brez zaviranja, upočasnjujejo le izgube. Ti odseki so označeni na spodnjem diagramu. Pot sem namenoma opravil tako, da bi bila čim bolj razgibana in zanimiva. Bolj sem se osredotočil na različne hitrosti in pospeške kot pa na »športnost« vaje.*

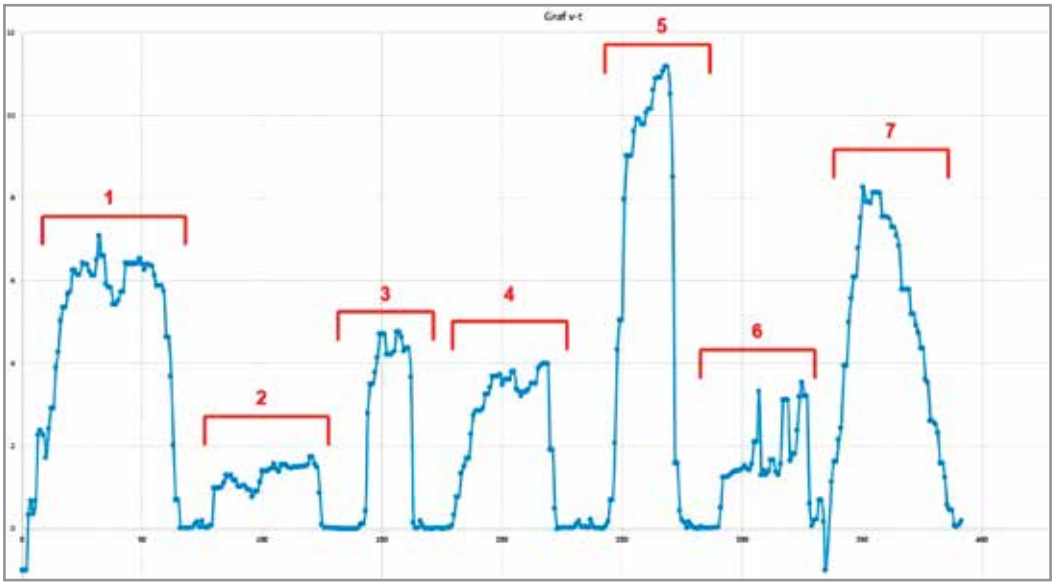


Diagram 3: Gibanja (primer 1).

Dijak 2 je ugotovil pomanjkljivost, ki mu je otežila nadaljnje delo in izdelavo poročila o vaji.

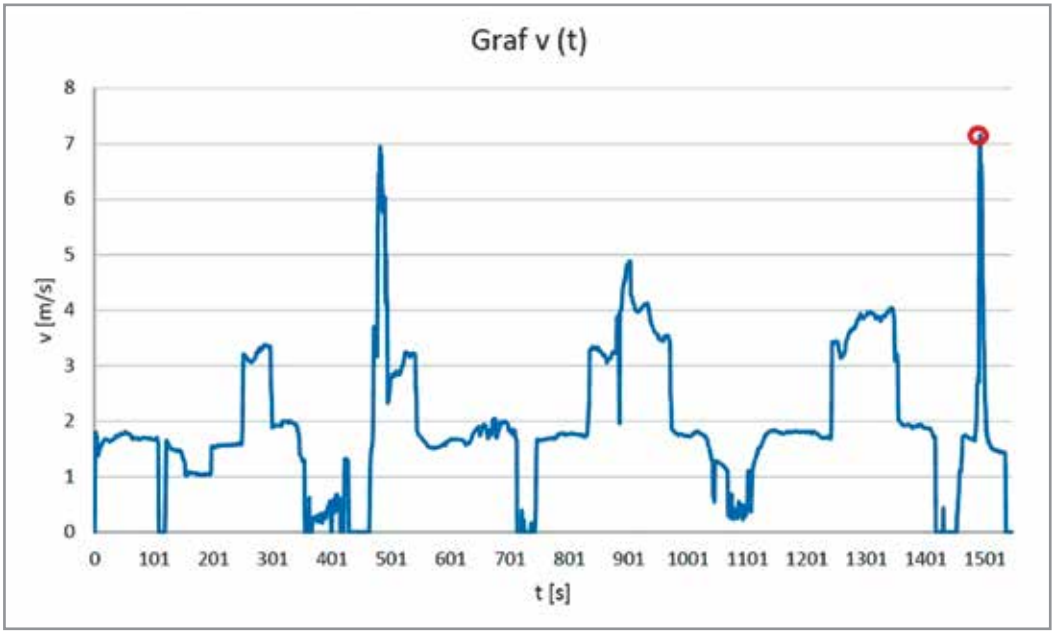


Diagram 4: Gibanja (primer 2).

Dijak 3 se je vaje lotil brez epistemološkega znanja. Pridobljeni podatki mu sicer omogočajo pripravo nekaterih odgovorov in izračunov, a so ti dokaj nezanimivi in skopi.

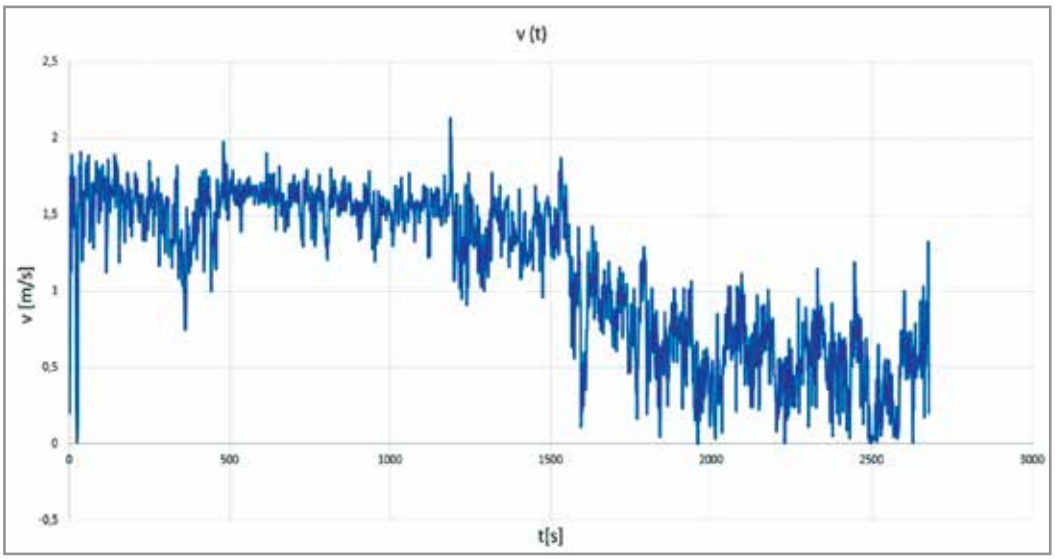


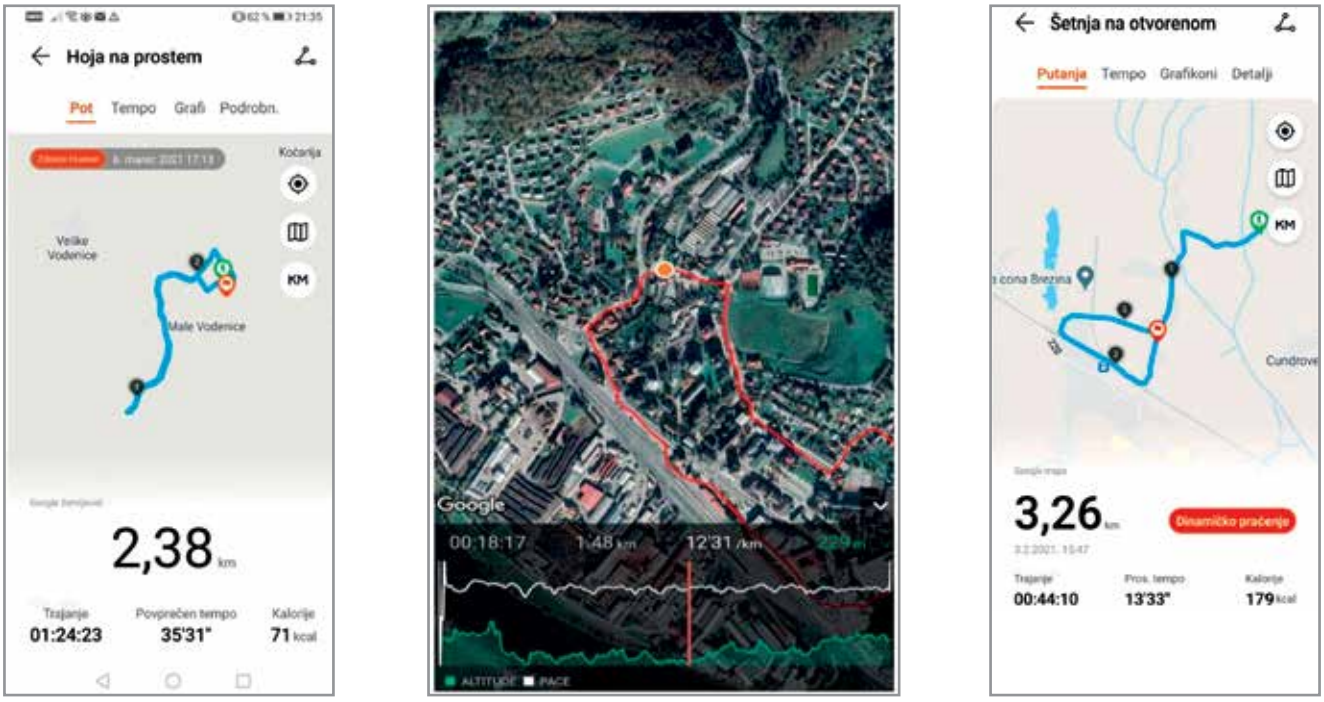
Diagram 5: Gibanja (primer 3).

V takšnih primerih se pojavi kar nekaj vprašanj:
– Ali je imel dijak premalo znanja iz fizikalnih vsebin, ki jih zajema vaja?
– Je mogoče pričakoval, da bo vse opravila aplikacija sama?
– Je mogoče namerno opravil enostavno gibanje, da bo imel manjše in lažje delo z odgovori?
– Je vzel nalogo zelo površinsko in jo je želel zgolj opraviti?

Na tako razmišljanje in utemeljene ugotovitve žal tudi z analizo in anketo ni mogoče pridobiti verodostojnih odgovorov.

Izbrane trase

Primeri izbranih tras – poti učitelju omogočajo verodostojno pregledovanje rezultatov in upoštevanje vseh dejavnikov, ki bi lahko vplivali na izvedbo vaje. Istočasno posnetki stanja s terena dokazujejo opravljeno vajo.



Slike 3, 4 in 5: Primeri dokumentiranih poti – tras.

V navodilu vaje je dana možnost izbire različnih načinov izvedbe poti. Večina (90 %) je pot opravila peš (hoja in/ali tek), 9 % s kolesom ter 1 % s tekaškimi smučmi ali motornim kolesom.

Dijak 4: Primer prikaza opravljenega dela neposredno iz aplikacije Phyphox.

Kot dokaz terenskega dela sem se odločil priložiti tudi posnetke zaslona telefona z vsemi podatki iz aplikacije:

Slika 6: Primer prikaza zapisa mobilne aplikacije.

Nepričakovana napaka ali znak napačne učne predstave (ang. *misconception*)

V eni od nalog vaje je bilo treba izračunati delo, ki je bilo porabljeno za opravljeno pot. Kar 64 % dijakov je to reševalo z enačbo za delo pri premem gibanju:
$A = F \cdot s$.

Pri tem pa so za silo privzeli kar silo teže lastnega telesa. Presenečenje je toliko večje, saj naslednja naloga vaje zahteva izračun kinetične energije. Delež dijakov z omenjeno napako je tako velik, da se je treba vprašati po vzroku. Zakaj prihaja do napake, ki se pokaže pri večini učečih? Očitno so imeli dijaki napačno predstavo zaradi omejenega opazovanja in izkušenj. Kot pravi Richard J. Shavelson v svojem delu *Diagnosticiranje in obravnavanje napačnih predstav dijakov* [16], učenje ni le pridobivanje novega znanja; je tudi interakcija med novim in predhodno pridobljenim znanjem. Šolska obravnava učne vsebine dela pri premem gibanju in poskus premikanja telesa (klada) na ravni podlagi (miza) očitno ustvarita miselni model, ki ne omogoča natančne predstave o avtentičnem primeru, ki ni le poskus. Pravzaprav je terenska vaja pokazala »škrbino« v znanju tako pri dijakih kot pri učitelju, ki je tako dobil zelo jasen znak za spremembo obravnave učne vsebine.

Učenje ni le pridobivanje novega znanja; je tudi interakcija med novim in predhodno pridobljenim znanjem.

Zaključek

Glede na ugotovitvi [1], da pouk na večini slovenskih gimnazij fizika poteka s frontalno postavitvijo klopi v razredu in da je večji del časa namenjen razlagi učitelja, je terensko delo v naših srednjih šolah najverjetneje prej izjema kot ustaljena metoda dela.

Zato se je primerno vprašati, kaj dosežemo s tovrstnim delom. Stephens [17] v svojih raziskavah terenskega dela zastavlja naslednji temeljni vprašanji:
– Ali terensko delo povečuje dosežke dijakov?
– Ali terensko delo poveča motivacijo dijakov?

Odgovor na prvo vprašanje glede na opisani primer ne more biti jasen in enoznačen. Na nek način pa se pri takem delu kaže izboljšanje motivacije. Še posebej, ko primerjamo poročila pri tej vaji s poročili pri klasičnih vajah v šoli, ob tem pa upoštevamo, da je delo na daljavo skoraj v celoti odpravilo socialno spodbudo.

Viri

[1] G. Planinšič, R. Belina, I. Kukman in M. Cvahte, *UČNI načrt. Fizika*. Zavod RS za šolstvo, 2008.

[2] M. &. R. M. Braund, Towards a more authentic science curriculum: the contribution of out-of--school learning, *International Journal of Science Education*, I. 28, str. 1373–1388., 2006.

[3] N. D. Finkelstein, *Teaching and learning physics: A model for coordinatingphysics instruction, outreach and research*, New York: Ithaca, 2005.

[4] R. Repnik, D. Osrajnik in E. Klemenčič, Terensko delo pri pouku fizike, *Fizika v šoli*, I. 25, št. 1-2, str. 8–15, 2020.

[5] J. Pernar, *Anketa: Terensko delo – GPS*, 21. 3. 2021. [Elektronski]. Available: https://www.1ka.si/a/333804. [Dostop 21. 3. 2021].

[6] *Phyphox - aplikativni merilniki*, [Elektronski]. Available: https://phyphox.org/. [Dostop 19. 2. 2021].

[7] *Sport Tracker*, [Elektronski]. Available: https://www.sports-tracker.com/dashboard. [Dostop 21. 2. 2021].

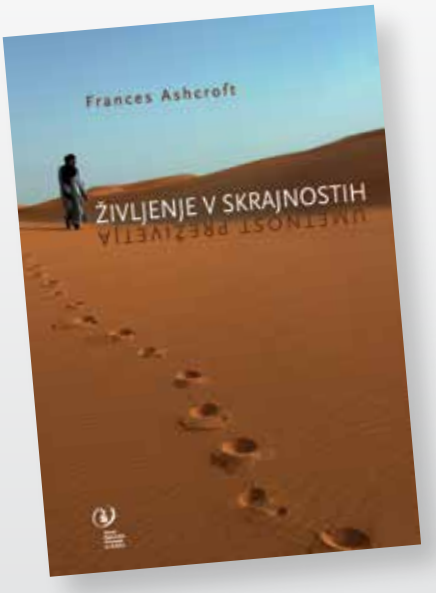
[8] *Neenakomerno gibanje - GPS, delovni list*, [Elektronski]. Available: http://www2.arnes.si/~sssknm1/terenske/NEENAKOMERNO%20GIBANJE%20-%20GPS.pdf. [Dostop 21. 3. 2021].

[9] *Delo in energija - GPS, delovni list*, [Elektronski]. Available: http://www2.arnes.si/~sssknm1/terenske/DELO%20IN%20ENERGIJA%20-%20GPS.pdf. [Dostop 1. 3. 2021].

[10] *Naravoslovni dan - delovni list*, [Elektronski]. Available: http://www2.arnes.si/~sssknm1/terenske/naravoslovni_dan.pdf. [Dostop 18. februar 2021].

[11] *Interaktivni test SVETLOBNO ONESNAŽENJE*, [Elektronski]. Available: http://www2.arnes.si/~sssknm1/svetlobno1_test_okno.html. [Dostop 18. 2. 2021].
[12] A. Stavridou, E. Kapsali, E. Panagouli, A. Thirios, K. Polychronis, F. Bacopoulou, T. Psaltopoulou, M. Tsolia, T. Sergentanis in A. Tsitsika, »Obesity in Children and Adolescents during,« *Children MDPI,* I. 8, št. https://doi.org/10.3390/children8020135, str. 135, 2021.
[13] D. Brečko, »Motivacija pri izobraževanju na daljavo,« *Andragoška Spoznanja,* I. 2(1), str. 22–32, 1996.
[14] P. Gorazd, »Aktivni pouk: zakaj in kako,« *Fizika v šoli,* I. 24, št.2, str. 13–18, 2019.
[15] OECD, »The Future of Education and Skills Education 2030,« Directorate for Education and Skills--OECD, 2018. [Elektronski]. Available: https://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20(05.04.2018).pdf. [Dostop 6. 3. 2021].
[16] Y. Y. Richard J. Shavelson, »Diagnosing and Dealing with Student Misconceptions: Floating and Sinking,« Researcsh Gate, 2008.
[17] A. Stephens, »The Effects of Fieldwork on Student Achievement and Motivation in Science Education,« California State University, Northridge, 2018.

IZ ZALOŽBE ZAVODA RS ZA ŠOLSTVO



2011, ISBN 978-961-234-991-2,
292 str.
Cena: 33,50 €

Frances Ashcroft

ŽIVLJENJE V SKRAJNOSTIH – UMETNOST PREŽIVETJA

Prevedel Nikolaj Pečenko

Danes mnogi živimo na »robu«, pa čeprav se tega velikokrat niti ne zavedamo. Letalski poleti na velikih višinah, kjer življenje ni mogoče, so postali nekaj povsem vsakdanjega.
Podobno velja za jadranje v ledeno mrzlih morjih ali izpostavljanje nevarnostim dekompresijske bolezni pri potapljanju, na primer med počitnicami. 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 vse dlje.
V knjigi avtorica opisuje fiziološke odzive telesa na skrajne razmere in odkriva meje človeškega preživetja.
V njej boste lahko prebrali, kaj se zgodi:

- če se znajdete zaklenjeni v hladilniku,
- ujeti pod ledom ali
- izgubljeni v puščavi brez vode.

Izvedeli boste:

- 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 in še marsikaj zanimivega.

Za vse, ki jih zanima, kako deluje naše telo v izrednih razmerah.

Enosmerni električni krog pri pouku na daljavo

Dr. Andreja Eršte
Šolski center Novo mesto, Srednja elektro šola in tehniška gimnazija

Izvleček
V prispevku so opisane aktivnosti s področja enosmernega električnega kroga, pri katerih so bile uporabljene interaktivne simulacije s spletnim orodjem PhET – enosmerni električni krog. Opisane aktivnosti se lahko izvedejo v osnovni ali srednji šoli pri utrjevanju znanja, laboratorijskih vajah, pouku na daljavo, medpredmetnih povezavah (npr. fizika-informatika) ipd. Simulacije so primerne tudi za individualno delo, saj za delovanje potrebujejo le brskalnik ter internetno povezavo, imajo enostaven uporabniški vmesnik in so na voljo tudi v slovenskem jeziku.

Ključne besede: elektrika, električna vezja PhET, laboratorijska vaja, pouk na daljavo

Direct Current (DC) in Remote Learning

Abstract
In this article, activities with Interactive Simulations PhET – circuit construction kit: DC are presented. These activities may be applied on both primary and secondary school level for consolidation of knowledge, laboratory exercises, remote learning, cross-curricular link (e.g. Physics and Computer Sciences), etc. The simulations are suitable for group activities as well as for students' independent learning – they can be run on any browser with an internet connection and have an easy-to-use user interface, which is available also in Slovenian.

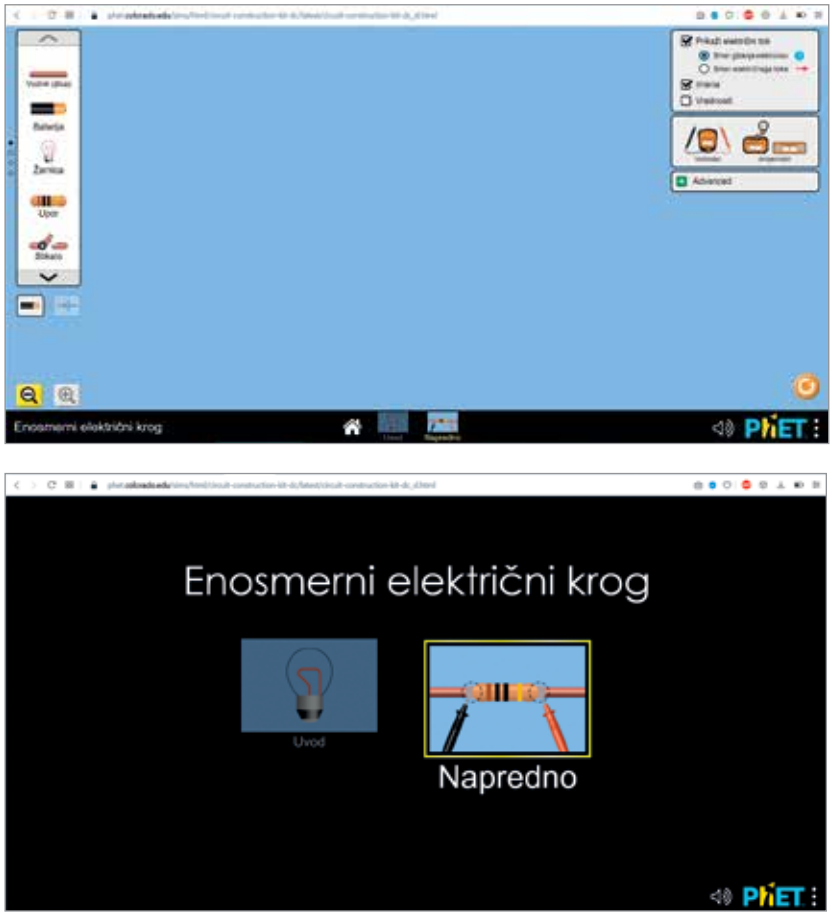
Keywords: electricity, PhET, laboratory exercises, remote learning

Uvod
Pri pouku fizike na daljavo se srečujemo s problemi izvajanja demonstracijskih eksperimentov, laboratorijskih vaj in učenja z raziskovanjem. Poleg posnetkov eksperimentov imamo na voljo tudi več simulacij, ki nam omogočajo prikaz fizikalnih lastnosti s pomočjo računalnika, tablice ipd. Pri delu s simulacijami učenci opazujejo svet skozi »črno škatlo« (tj. sistem, ki podaja rezultate, ne da bi vedeli, kako do teh rezultatov pride). Zato je treba pred uporabo simulacij dijake oz. učence opozoriti, da se bo delo izvajalo v simuliranem, virtualnem okolju. Zavedati se morajo, da z uporabo simulacij lahko preverjajo zakonitosti, ki jih že poznajo, ni pa to nadomestilo za eksperimente, ki jih izvajamo pri pouku, laboratorijskih vajah.

Simulacije *PhET – enosmerni električni krog* [1] omogočajo raziskovanje lastnosti enosmernih električnih vezij, kjer lahko ponazorimo odzive tako idealnih kot realnih električnih gradnikov. V tem prispevku je predstavljena uporaba simulacij PhET pri skupinskem in individualnem delu pri pouku na daljavo.

Izvedba
V preteklem šolskem letu so simulacije PhET pri pouku na daljavo uporabljali dijaki 2. letnika srednjega strokovnega izobraževanja kot orodje za preverjanje rešitev električnih vezij pri delu v skupinah med urami pouka na daljavo ter pri individualnem učenju. Pri delu v skupinah je pomembno, da imajo udeleženci dovolj časa za reševanje zastavljenega problema (na koncu prispevka so na voljo trije primeri nalog). Po vsaki aktivnosti je bila izvedena razprava, v kateri smo analizirali ter komentirali rezultate posameznih skupin. V pomoč pri spremljanju dela dijakov so bili uporabljeni obrazci na spletni učilnici. Pri delu v skupinah je bila uporabljena naslednja časovna razporeditev učne ure:
- uvod v učno uro: približno 5 minut;
- delo po skupinah: od 15 in 20 minut;
- razprava po delu v skupinah: od 10 in 20 minut.

Pri individualnem delu so dijaki odgovore vpisali v spletno učilnico ter priložili fotografije shem in posnetke zaslona s simulacijami. Odgovori in fotografije dijakov v spletni učilnici so omogočili vpogled v razumevanje posameznih problemov, močne in šibke točke v znanju itd.



Slika 1: Simulacije PhET – enosmerni električni tok [1].

Ob prvem srečanju s simulacijami PhET so dijaki v skupinah reševali uvodno nalogo, kjer morajo sestaviti vezje z dvema stikaloma in žarnicama [2]. Dijaki so morali najprej skicirati rešitev ter jo nato preveriti s pomočjo simulacij PhET. Predstavnik vsake skupine je delil zaslon z rešitvijo skupine ter komentiral postopek reševanja (ter rešitev). Pri nadaljnjih urah so dijaki v skupinah ali individualno reševali probleme z električnimi vezji ter rešitve preverjali s pomočjo simulacij PhET in dobljene rezultate tudi komentirali.

Na podlagi samoocene dijakov se je uporaba simulacij PhET pri pouku fizike na daljavo izkazala kot pozitivna izkušnja – všeč jim je bilo delo v skupinah, saj so si lahko med seboj pomagali, ob tem pa bili v stiku s sošolci ter sošolkami. Poleg izboljšane udeležbe na učnih urah je kombinirana uporaba dela v skupinah ter individualnega dela omogočila tudi hkratno preverjanje znanja dijakov.

Zaključek

Pri pouku fizike oz. naravoslovja se simulacije PhET – enosmerni električni krog lahko uporabijo tako za individualno kot za skupinsko delo pri raziskovanju lastnosti električnih vezij ali kot orodje za izvedbo laboratorijskih vaj. Pri delu v skupinah je priporočljivo, da imajo dijaki dovolj časa za reševanje problema. Ob tem je pomembno, da se po aktivnosti izvede tudi razprava, kjer dijaki analizirajo in komentirajo rezultate skupaj s profesorjem. Sprotno delo dijakov se lahko spremlja s pomočjo obrazcev ali spletnih učilnic.

Odzivi dijakov na uporabo simulacij so bili pozitivni – orodje se jim je zdelo enostavno za uporabo. Prednosti pri uporabi simulacij so poudarili pri nalogah, ki vsebujejo raziskovanje lastnosti odziva posameznih elementov v vezju, in pri možnosti reševanja problemov s poskušanjem/ugibanjem. Možnost dela v skupinah pa je omogočila tudi druženje med dijaki v času pouka na daljavo, ko fizično niso v istem prostoru. Reševanje problemov v skupinah in individualno (npr. v spletni učilnici) se je izkazalo kot obetavno orodje za utrjevanje in preverjanje znanja dijakov.

Viri

[1] Simulacije PhET – enosmerni električni krog: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_sl.html (april 2021).

[2] Delavnica 17.4. PhET EL VEZJA: http://sss.fmf.uni-lj.si/index.php (april 2021).

Enosmerni električni krog s spletnim orodjem PhET

1. Uvodna naloga (skupinsko delo)

Vezje je sestavljeno iz baterije, dveh žarnic in dveh stikal. V tabeli so vpisane vse mogoče izbire stanj stikal S (1 – sklenjeno, 0 – ni sklenjeno) in ustrezna stanja žarnic Ž (1 – sveti, 0 – ne sveti) za vezje.

a) S člani skupine se pogovorite in sestavite vezje, ki bo ustrezalo opisu v Tabeli 1.

Tabela 1: Vezje z dvema stikaloma in žarnicama [2].

Stikalo S1	Stikalo S2	Žarnica Ž1	Žarnica Ž2
0	0	0	0
0	1	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1

b) Z uporabo simulacij »PhET – enosmerni električni krog« sestavite in preizkusite vezje. Za zdaj nas ne zanima, kako močno svetijo žarnice – pomembno je le, ali žarnica sveti ali ne. Naredite posnetek zaslona svoje rešitve (»print-screen«) in sliko naložite v spletno učilnico.

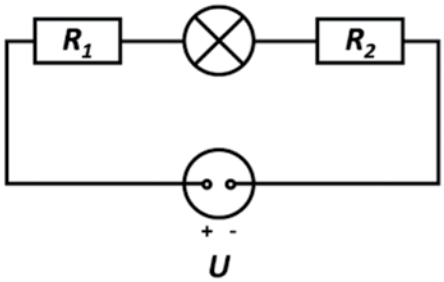
c) Opazujte, kako je svetlost žarnic v vašem vezju odvisna od stanja stikal. Opišite svoja opažanja in jih poskusite razložiti s fizikalnimi argumenti. Pri razlagi uporabite pojme, kot so električni tok, napetost, upor ...

_____

_____

2. Zaporedna vezava (skupinsko delo)

V električno vezje vežemo žarnico, dva upora ter napetostni vir, kot prikazuje Slika 2.



Slika 2: Zaporedna vezava treh porabnikov in napetostnega vira.

a) Kako je svetenje žarnice odvisno od vrednosti uporov v vezju? Pri razlagi uporabite pojme, kot so električni tok, napetost, upor ... Vodja skupine naj odgovor odda v spletno učilnico.

_____

b) Vezje na Sliki 2 sestavite s pomočjo simulacij »PhET – enosmerni električni tok« ter preverite svojo razlago. Namig: Kakšen učinek ima spreminjanje vrednosti posameznega upora na električni tok skozi žarnico in napetost na njej? Kakšna je razlika med uporabo idealnega in realnega napetostnega vira?

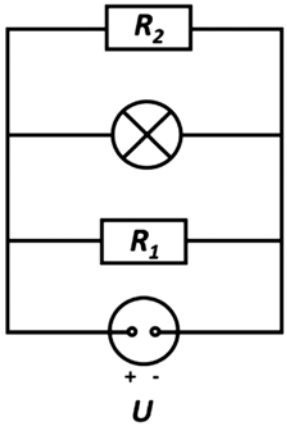
_____

c) Dodatno vprašanje: Kakšen učinek ima spreminjanje vrednosti uporov na svetenje žarnice, če imamo tokovni vir? Pri razlagi uporabite pojme, kot so električni tok, napetost, upor ...

_____

3. Vzporedna vezava (individualno delo)

S pomočjo simulacij »PhET – enosmerni električni tok« sestavite vezje na spodnji shemi (Slika 3), tako da bo žarnica svetila.



Slika 3: Shema vzporedne vezave treh porabnikov in napetostnega vira.

a) Izpolnite vprašalnik (v vsaki vrstici je lahko največ en odgovor).
Kakšen učinek ima spreminjanje upora na svetenje žarnice, če:

	Žarnica bolj sveti	Žarnica manj sveti	Žarnica sveti enako
povečate vrednost upora R_1			
zmanjšate vrednost upora R_1			
povečate vrednost upora R_2			
zmanjšate vrednost upora R_2			

b) Kakšen učinek ima spreminjanje upora na električni tok skozi žarnico in napetost na žarnici?

c) Kakšen učinek ima spreminjanje upora na električni tok skozi napetostni vir?

č) Kakšen učinek ima spreminjanje vrednosti uporov na svetenje žarnice, če bi v vezju uporabili tokovni vir?

Nemi eksperimenti

Dr. Marko Jagodič
II. gimnazija Maribor

Izvleček
Nemi eksperimenti so videoposnetki fizikalnih eksperimentov, posneti brez komentarjev, ki jih lahko učitelji uporabijo pri izvedbi učnih ur na daljavo ali v razredu kot demonstracijske eksperimente, nadomestek za eksperimentalne vaje med poukom na daljavo ali kot fizikalne naloge. V prispevku so predstavljeni trije primeri uporabe nemih eksperimentov. Videoposnetki eksperimentov ne morejo v celoti nadomestiti eksperimentov v razredu, ima pa eksperimentiranje na daljavo tudi svoje prednosti. Učenci razvijajo veščino opazovanja, iz množice informacij, ki so vidne na posnetku, pa morajo razbrati in izbrati tiste, ki so pomembne za rešitev problema.

Ključne besede: nemi eksperimenti, pouk na daljavo, demonstracijski eksperiment, eksperimentalna vaja, fizikalna naloga

Silent Experiments

Abstract
Silent experiments are videos of physics experiments without any commentary that teachers can use in remote learning or in classes as demonstration experiments, instead of experimental exercises in remote learning or as physics tasks. The article introduces three examples of how silent experiments can be used in teaching. While videos of experiments cannot fully replace practical hands-on experiments in class, remote experimentation has its own advantages: students develop observation skills and learn how to discern and select from the multitude of information in the video that which is relevant for the solution of the problem.

Keywords: silent experiments, remote learning, demonstration experiment, experimental exercise, physics task

Uvod
Med epidemijo, ko pouk poteka (tudi) na daljavo, imamo še posebej težko delo učitelji naravoslovnih predmetov. Bistven del našega pouka so namreč demonstracijski eksperimenti in eksperimentalne vaje, ki pa jih je, vsaj tako se zdi, na daljavo težko izvajati. Nazorno izvajanje fizikalnih eksperimentov v živo prek zooma je skoraj nemogoče, zato se kot edina možnost ponuja prikaz videoposnetkov eksperimentov. Snemanje lastnih eksperimentov je časovno potratno, zato posnetke običajno poiščemo na spletu, kjer pa raven razlag pogosto ni primerna za naše učence ali dijake (v nadaljevanju učenci), povrhu pa so včasih še v tujem jeziku.

Zato se je porodila ideja o zbirki videoposnetkov, ki so posneti brez komentarjev in v obliki, ki omogoča najširšo uporabo. Zbirka, ki se stalno dopolnjuje, je dosegljiva na spletni strani Nemi eksperimenti [1]. Uporaba videoposnetkov je brezplačna, lahko se prenesejo na računalnik in se poljubno vključujejo v učne ure na daljavo (sinhrono ali asinhrono) ali v razredu. Pokrivajo področja mehanike, termodinamike, elektrike in magnetizma, nihanja in valovanja ter moderne fizike.

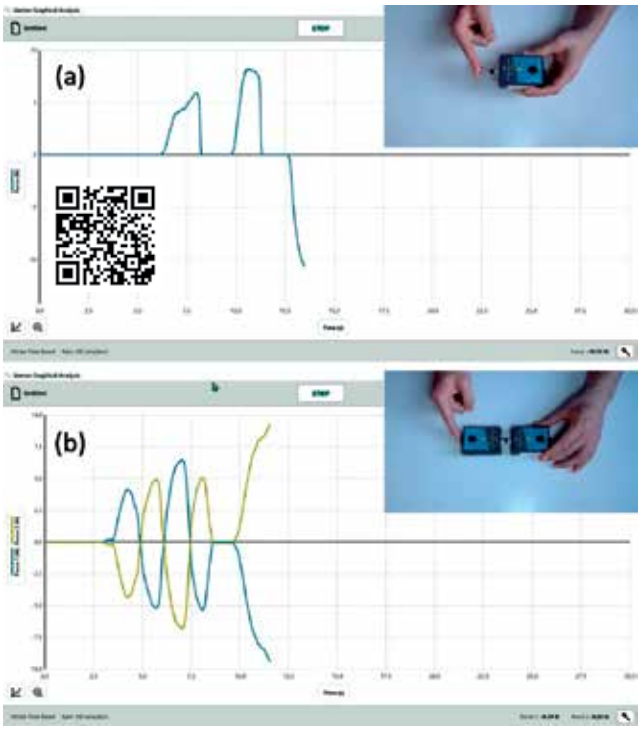
Neme eksperimente lahko uporabljamo kot demonstracijske eksperimente, kot nadomestek za eksperimentalne vaje med poukom na daljavo ali kot inovativne fizikalne naloge.

Nemi eksperimenti kot demonstracijski eksperimenti

Učitelj lahko videoposnetkom demonstracijskih eksperimentov doda lastne komentarje, kar učencem zelo pomaga. Le učitelj namreč ve, kakšna raven je primerna zanje in kakšno je njihovo predznanje. Najenostavneje je, če učitelj videoposnetke predvaja prek zooma in jih istočasno komentira. Pri tem lahko posnetek po potrebi ustavlja, ga predvaja s spremenjeno hitrostjo ali pa dele posnetka preskoči. Če je učitelj vešč uporabe programov za urejanje videoposnetkov,

lahko svoje komentarje tudi trajno vključi v videoposnetek. Velika prednost posnetih demonstracijskih eksperimentov je tudi to, da si jih učenci lahko ponovno ogledajo.

Primer demonstracijskega eksperimenta je demonstracija **3. Newtonovega zakona** [2]. Na videoposnetku je najprej predstavljeno delovanje brezžičnega Vernierjevega silomera [3] (Slika 1 a). Dva takšna silomera nato povežemo z vijakom in z neenakomernim pritiskanjem ter vlečenjem pokažemo, da sta izmerjeni sili zmeraj enaki po velikosti in nasprotno usmerjeni (Slika 1 b).



Slika 1: Prikaz delovanja brezžičnega silomera (a) in demonstracija 3. Newtonovega zakona z dvema silomeroma (b). Na videoposnetku sta sočasno prikazana graf časovne odvisnosti sil in posnetek izvedbe eksperimenta. Skeniranje QR-kode omogoča hiter dostop do videoposnetka.

Največja prednost videoposnetkov demonstracijskih eksperimentov pred izvedbo v razredu je nazornost prikaza. V primeru demonstracije 3. Newtonovega zakona bi učenci v razredu sicer videli projekcijo časovne odvisnosti sil, ne bi pa dobro videli same izvedbe eksperimenta. Učitelj bi sicer lahko hkrati prikazoval oba pogleda, bi pa bila izvedba tehnično zahtevna, še posebej, če pomislimo, da bi jo moral ponoviti večkrat. Kjer je smiselno, lahko tudi v razredu demonstracijo nadomestimo z videoposnetkom, saj je ta časovno ugodnejša, še posebej prav pa pride takrat, ko za demonstracijo v živo na šoli ni ustrezne opreme. Nikakor pa ne smejo videoposnetki v celoti nadomestiti demonstracijskih eksperimentov, ki jih izvajamo v živo.

Nemi eksperimenti kot eksperimentalne vaje

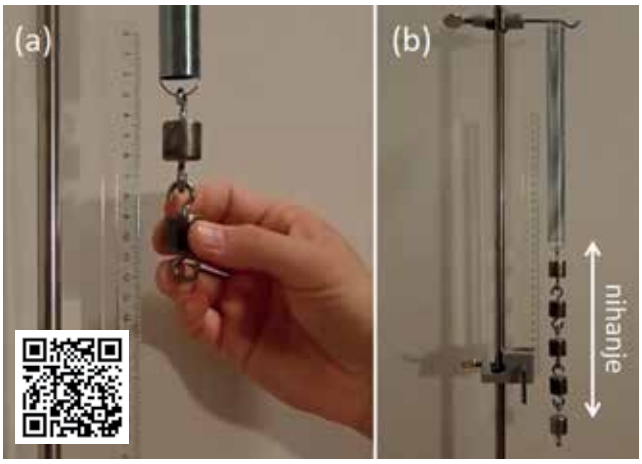
Vemo, da ima raziskovanje, ki naj bi ga eksperimentalna vaja delno ali v celoti simulirala, različne vidike in stopnje. Ob raziskovanju se razvijajo različne veščine. Primer delitve raziskovanja na posamezne korake povzema Slika 2.

Slika 2: Veščine raziskovanja v posameznih korakih raziskave [4].

Raziskovanje na daljavo lahko vsebuje vse omenjene korake, namesto lastne izvedbe pa učenci opazujejo posnetek izvedbe eksperimenta. To pa ne pomeni, da učenci sami ne izvajajo meritev, saj so lahko posnetki eksperimentov zasnovani tako, da učenci sami odčitajo vrednosti z merilnikov ali pa celo uporabijo lastnega (npr. štoparica in merilnik frekvence zvoka na mobilnem telefonu). Pri eksperimentalnih vajah v razredu se pogosto zaradi časovnih omejitev preveč osredotočimo na samo izvedbo eksperimenta, nekaterim drugim korakom pa posvetimo premalo pozornosti. Uporaba nemih eksperimentov kot nadomestkov za eksperimentalne vaje med poukom na daljavo je lahko zato priložnost, da se posvetimo razvijanju drugih eksperimentalnih veščin. Pri tem bi poudarili, da pri fiziki, predvsem v gimnaziji, redko postavljamo hipoteze, saj vrednosti fizikalnih količin ali funkcijskih odvisnosti med njimi običajno ni mogoče napovedati.

Primer nemega eksperimenta kot eksperimentalne vaje je vaja **Nihajni čas vzmetnega nihala** [5]. Na začetku videoposnetka je prikazano tehtanje ene izmed uteži.

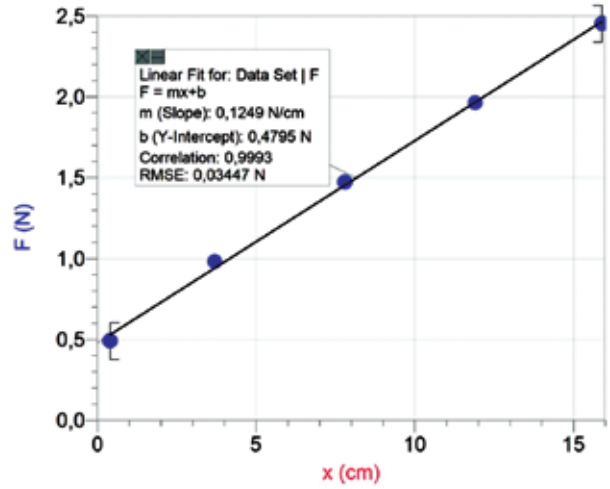
Naslednji kader prikazuje dodajanje uteži in posledično raztezanje vzmeti (Slika 3). Na koncu videoposnetka nihalo izmaknemo iz ravnovesne lege in ga pustimo, da zaniha. Namen eksperimentalne vaje je izmeriti nihajni čas nihala in ga primerjati z nihajnim časom, ki ga izračunamo z maso ter prožnostnim koeficientom vzmeti z uporabo enačbe $t_0 = 2\pi\sqrt{m/k}$.



Slika 3: Določanje prožnostnega koeficienta z merjenjem raztezka vzmeti (a) in nihajnega časa vzmetnega nihala (b). Skeniranje QR-kode omogoča hiter dostop do videoposnetka.

Navodilo za učence je lahko bolj ali manj podrobno, kar je odločitev učitelja. Kadar je navodilo učencem zgolj opis namena naloge, brez opisa posameznih raziskovalnih korakov, si morajo učenci sami postaviti konkretna raziskovalna vprašanja, npr. »Kolikšen je prožnostni koeficient vzmeti?« Z opazovanjem eksperimenta morajo učenci razbrati, zapisati in urediti podatke, na podlagi katerih z ustreznimi sklepi in izračuni oblikujejo sklepe. V primeru vaje *Nihajni čas vzmetnega nihala* morajo zabeležiti maso stehtane uteži, sklepati, da imajo preostale uteži enako maso, zabeležiti raztezke vzmeti pod vplivom teže uteži in nato še neposredno izmeriti nihajni čas nihala. Pri slednjem si lahko pomagajo s počasnim predvajanjem videoposnetka, kar omogoča večjo natančnost meritve časa. Preden lahko nihajni čas izračunajo, morajo določiti prožnostni koeficient vzmeti. Pri tem morajo opaziti, da je raztezek vzmeti, ko dodamo prvo utež, manjši od raztezkov pri dodajanju naslednjih uteži. Razlog za to je, da so ovoji neobremenjene vzmeti stisnjeni drug ob drugega in da je potrebna določena sila, da vzmet sploh začnemo raztegovati. Najnatančneje prožnostni koeficient določijo iz naklona premice na grafu, ki prikazuje odvisnost sile od raztezka (Slika 4). Prav določanje prožnostnega koeficienta je problemska situacija, ki jo lahko dijaki analizirajo in opišejo.

Evalvacija rezultatov lahko vsebuje primerjavo obeh nihajnih časov, opis razlogov za morebitno neujemanje in predloge izboljšav eksperimenta. Ob pisanju poročila o eksperimentalni vaji se učenci urijo v znanstveni komunikaciji. Vidimo, da opisana eksperimentalna vaja v večji meri omogoča razvijanje vseh raziskovalnih veščin, nekaterim pa se lahko posvetimo celo bolj kot v razredu. Manjka le lastna izvedba eksperimenta, kar pa ne pomeni, da učenec med izvedbo vaje ni meril.



Slika 4: Graf odvisnosti sile od raztezka s premico, ki se izmerkom najbolje prilega. Podatki so bili narisani in analizirani v programu Logger Pro [6].

Nemi eksperimenti kot fizikalne naloge

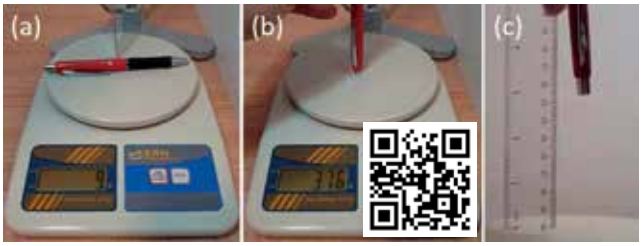
Še posebej zanimiva je uporaba nemih eksperimentov kot podlage za inovativne fizikalne naloge. Fizikalne naloge na podlagi videoposnetka eksperimentov namreč temeljijo na resničnih podatkih, lahko imajo podanih več informacij in podatkov, kot je potrebnih za rešitev, lahko so odprtega ali zaprtega tipa, lahko imajo več mogočih rešitev in od učencev lahko zahtevajo, da vrednosti določenih količin in zvez med njimi ocenijo.

Primer naloge na podlagi videoposnetka je naloga **Odskok kemičnega svinčnika** [7]. Namen naloge je čim natančneje določiti začetno hitrost kemičnega svinčnika, ki zaradi vgrajene vzmeti odskoči od podlage. Eksperiment ima tri različne faze. Prvi kader videoposnetka prikazuje tehtanje kemičnega svinčnika (Slika 5 a). Nato videoposnetek prikaže pritiskanje svinčnika ob tehtnico, iz česar je mogoče določiti silo na kemični svinčnik tik pred odskokom (Slika 5 b), nazadnje pa sledi počasni posnetek odskoka svinčnika ob ravnilu, iz katerega lahko določimo največjo višino, ki jo svinčnik ob odskoku doseže (Slika 5 c).

Naloga se lahko reši z različnimi pristopi, med katerimi so najpogostejši določanje začetne hitrosti:

i) iz časa leta,

ii) neposredno iz videoanalize,



Slika 5: Različne faze eksperimenta pri nalogi *Odskok kemičnega svinčnika*: tehtanje kemičnega svinčnika (a), merjenje sile na kemični svinčnik tik pred odskokom (b) in merjenje največje višine, ki jo doseže kemični svinčnik pri odskoku. Skeniranje QR-kode omogoča hiter dostop do videoposnetka.

iii) z enačenjem največje prožnostne in največje kinetične energije ter

iv) z enačenjem začetne kinetične in največje potencialne energije.

Težava pristopov *i)* in *ii)* je, da v navodilu in videoposnetku ni določeno, s koliko slikami na sekundo je posnet počasni posnetek odskoka kemičnega svinčnika. Brez tega podatka je izračunana začetna hitrost zagotovo napačna. Najiznajdljivejši učenci so število slik na sekundo določili iz prostega padanja svinčnika nazaj proti tlom, saj vemo, da mora padati s težnim pospeškom. Ta pristop je precej zapleten, rezultat pa je običajno precej nenatančen. Pri pristopu *iii)*, ki je zelo pogost, učenci iz izmerjene sile in skrčka vzmeti, ki ga lahko razberemo z videoposnetka, najprej določijo prožnostni koeficient vzmeti, nato pa izračunajo prožnostno energijo tik pred odskokom. Le-to enačijo z največjo potencialno energijo, pri čemer morajo upoštevati tudi maso svinčnika, ki pa je izmerjena z veliko relativno napako. Največjo napako naredijo ob predpostavki ohranitve energije, ki zaradi izgub v samem mehanizmu kemičnega svinčnika ni upravičena. Tako določena začetna hitrost je prevelika. Najnatančnejši rezultat dobijo učenci, ki uporabijo pristop *iv*. Pri tem predpostavijo ohranitev energije med poskokom, tako da enačijo začetno kinetično in največjo potencialno energijo, pri čemer pa pri izračunu ne uporabijo mase kemičnega svinčnika, skrčka vzmeti in sile nanjo. To marsikaterega učenca odvrne od uporabe tega pristopa, saj se mu zdi, da mora uporabiti vse podatke. Učenci lahko svoj rezultat preverijo sami, če jim izdamo, da je bil počasni posnetek odskoka kemičnega svinčnika posnet s 480 slikami na sekundo.

Zaključek

Neme eksperimente, ki so posneti tako, da jih lahko prilagodimo potrebam svojih učencev, lahko različno uporabimo, in sicer kot demonstracije, eksperimentalne vaje ali fizikalne naloge. Čeprav videoposnetki eksperimentov ne morejo in ne smejo v celoti nadomestiti eksperimentiranja v živo, so dober dodatek k razvijanju eksperimentalnih veščin, še posebej med poukom na daljavo. Imajo pa veliko prednosti, zaradi katerih jih je smiselno uporabiti tudi pri delu v razredu. Zbirka nemih eksperimentov je dosegljiva na spletni strani Nemi eksperimenti [1].

Viri

[1] https://sites.google.com/druga.si/nemi-eksperimenti/

[2] https://youtu.be/RvtsHX3KcPI (21. 3. 2021)

[3] https://www.vernier.com/product/go-direct-force-and-acceleration-sensor/ (21. 3. 2021)

[4] Skvarč, M., idr. (2018). *Spodbujanje razvoja veščin znanstvenega raziskovanja s formativnim spremljanjem. Ljubljana: ZRSŠ (dosegljivo na:* https://www.zrss.si/pdf/VescineZnanstvenegaRaziskovanja.pdf)

[5] https://youtu.be/tYb1o26_3kg (21. 3. 2021)

[6] https://www.vernier.com/product/logger-pro-3/ (23. 3. 2021)

[7] https://youtu.be/QcogKU_GBEk (22. 3. 2021)

Poskus iz moderne fizike za izvedbo z dijaki – merjenje Planckove konstante

Jure Ausec
Biotehniški center Naklo – Srednja šola

Izvleček
Na področju moderne fizike je v klasični literaturi, ki obravnava to tematiko, zaslediti le redke zamisli za izvedbo eksperimentalnih vaj z dijaki pri pouku fizike. V članku predstavim možnost izvedbe take eksperimentalne vaje, ki je cenovno dostopna in vsebuje znanja z različnih področij fizike, kar jo naredi še nekoliko zanimivejšo. Zaradi nekoliko večje zapletenosti je vaja primernejša za dijake, ki se pripravljajo na maturo iz fizike, saj imajo širši nabor znanj. Na predlagani način izmerjena vrednost Planckove konstante od prave vrednosti odstopa le za nekaj odstotkov.

Ključne besede: LED, dioda, polprevodnik, Planckova konstanta, laboratorijske vaje, merjenje

Implementing a Modern Physics Experiment with Students – Measuring Planck's Constant

Abstract
Traditional literary sources on modern physics offer relatively few ideas about carrying out experimental exercises with students in Physics class. The article presents an option of implementing an experimental exercise that is affordable and includes knowledge from various areas in the field of physics, which makes it even more interesting. Due to its slightly greater complexity, this exercise is more suitable for students preparing for the Physics Matura Exam, who have broader knowledge. The value of Planck's constant measured with this exercise deviates by only a small percentage from its true value.

Keywords: LED, diode, semiconductor, Planck's constant, laboratory exercises, measurement

Predznanje
Za merjenje bomo uporabili LED – sveteče diode, ki so dijakom dobro poznane iz vsakdanjega življenja. Za razumevanje njihovega delovanja pa morajo dijaki poznati tudi karakteristiko diode, ki jo spoznajo pri poglavju o elektriki. Za boljše razumevanje priporočam, da pred izvedbo opisane vaje z dijaki izvedete tudi vajo merjenja karakteristike diode, da bodo razumeli predvsem dve pomembni dejstvi:
- dioda prevaja le v prevodni smeri, v zaporni pa ne (seveda v območju nizkih napetosti, s katerimi imamo opravka v šolskem laboratoriju),
- karakteristika diode je eksponentna.

Izvedba take vaje je v literaturi pogosto opisana (npr. [1]) in enostavna. Za izvedbo odsvetujem LED, ker pregorijo že pri nizki napetosti – za nekaj evrov se dobijo diode, ki zdržijo napetosti do 400 V in tokove do več 10 A, kar je precej nad zmožnostmi šolskega malonapetostnega izvira (ŠMI). Diodo priključimo na ŠMI in hkrati merimo napetost na diodi in tok skozjo. Dijaki nato narišejo še graf toka skozi diodo v odvisnosti od napetosti na njej, kjer je eksponentna odvisnost zelo očitna.

Dijake pred vajo seznanimo z delovanjem polprevodnikov – to je izbirno poglavje, zato imamo pri širini obravnave precej proste roke. Zagotovo na vsebino vplivajo tudi preference učitelja, vendar lahko glede na izkušnje v približno pol ure zadostno opišemo delovanje polprevodnikov s primesmi, da dijaki razumejo zgradbo in pomen plasti p, plasti n in stika p-n [2]. Iz obravnave zgradbe atoma in fotoefekta razumejo, kaj so energijska stanja in kako so prehodi med stanji povezani z energijo fotonov.

Slika 1: Za nekaj evrov dobimo diode, ki zdržijo visoke tokove in napetosti.

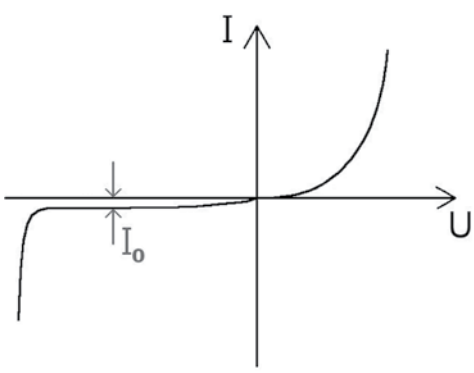
Teoretično ozadje

Tudi tu je širina izpeljave odvisna od interesa dijakov in učitelja, je pa podrobna izpeljava namenjena bolj učiteljem kot dijakom.

Tok skozi diodo opiše Shockleyjeva enačba [3]:

$$I = I_0\left(e^{\frac{e_0 U}{\eta k_B T}} - 1\right).$$

Tu je I_0 saturacijski tok (tok v zaporni smeri pri nizkih napetostih), e_0 osnovni naboj, U napetost na diodi, k_B Boltzmannova konstanta, T temperatura in η koeficient idealnosti diode (med 1 in 2, odvisno od mesta rekombinacije – različen za vsako diodo). Saturacijski tok je odvisen le od lastnosti diode (poleg η še od velikosti energijske reže U_g).



Slika 2: Karakteristika diode z označenim majhnim saturacijskim tokom, ki je običajno nemerljiv v šolskem laboratoriju.

Pri tokovih, ki jih lahko merimo z običajnimi šolskimi ampermetri (od μA), je enka v Shockleyjevi enačbi zanemarljiva, ker je saturacijski tok zelo majhen. Pri večjih tokovih moramo upoštevati še notranji upor diode, saj je izmerjena napetost na voltmetru (U_v) večja od napetosti na stiku p-n:

$$U_v = U + IR.$$

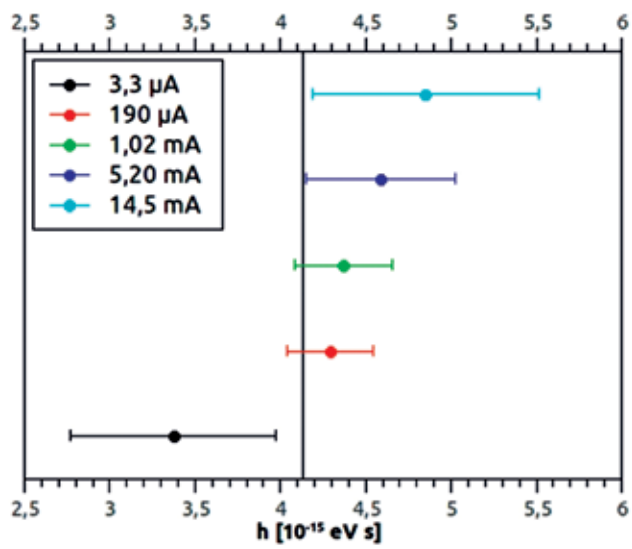
Zato moramo poskus izvesti pri majhnih tokovih, kjer je prispevek zaradi notranjega upora zanemarljiv. Glede na oba pogoja se izkaže, da najboljše vrednosti dobimo pri tokovih okrog 1 mA. Če upoštevamo izraz za I_0, lahko tako tok skozi LED zapišemo kot:

$$I = K\, e^{\frac{e_0(U_v - U_g)}{\eta k_B T}}.$$

Tu je s K označena neka nedoločena konstanta. Če izraz logaritmiramo in izrazimo napetost, ugotovimo, da velja zveza:

$$U_v = U_g + konst.$$

Velja torej, da je napetost, ki jo izmerimo na voltmetru, samo za neko aditivno konstanto povečana vrednost napetosti na stiku p-n, kar pa ne vpliva na naklon premice na grafu $eU(v)$. Res je, da so v tej konstanti zajete lastnosti LED in se torej konstanta za nekaj odstotkov razlikuje med LED posameznih barv, vendar so odstopanja majhna in za šolske potrebe zanemarljiva.



Slika 3: Izračunane vrednosti Planckove konstante pri različnih tokovih skozi izbrano LED in ocenjenih napakah – s črno navpično črto je označena prava vrednost. Graf potrjuje, da najboljše vrednosti Planckove konstante dobimo pri tokovih okrog 1 mA.

Zgornja izpeljava nas pripelje do zveze, da je energija izsevanega fotona kar enaka produktu naboja in izmerjene napetosti na voltmetru, kar je osnovna zveza za izračun Planckove konstante:

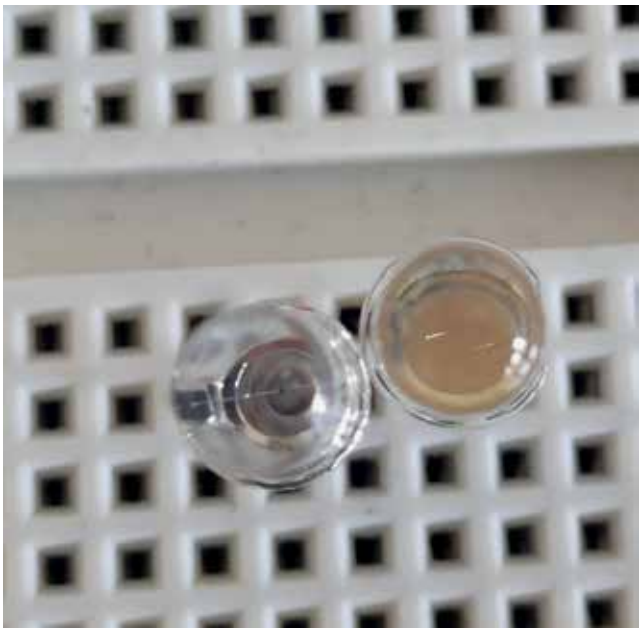
$$eU_v = hv.$$

To je torej zveza, ki jo lahko enostavno (brez zgornje izpeljave) predstavimo dijakom – ko nosilci naboja pod vplivom zunanje napetosti preidejo stik p-n (v jeziku energijskih pasov preskočijo energijsko vrzel e_0U), svojo

energijo oddajo v obliki fotona (ki ima energijo $h\nu$). Pri tej poenostavljeni razlagi velja omeniti, da gre za približek (vso energijo odnese foton), kar je dijakom treba predstaviti, seveda pa jim prihranimo celotno teoretično izpeljavo, ki je na tem mestu zapisana le za boljše razumevanje učitelja.

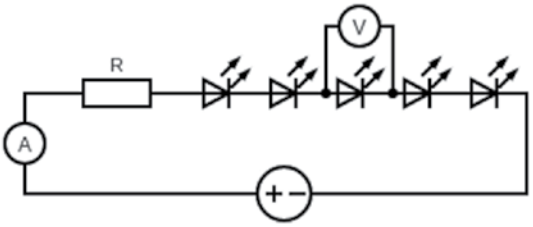
Postavitev eksperimenta

Za izvedbo vaje potrebujemo ŠMI, več barvnih LED, upor za omejitev toka skozi diode, ampermeter in voltmeter ter priključne (povezovalne) žice. Priporočam tudi uporabo t. i. »protoboarda«, ki omogoča enostavno povezovanje LED.

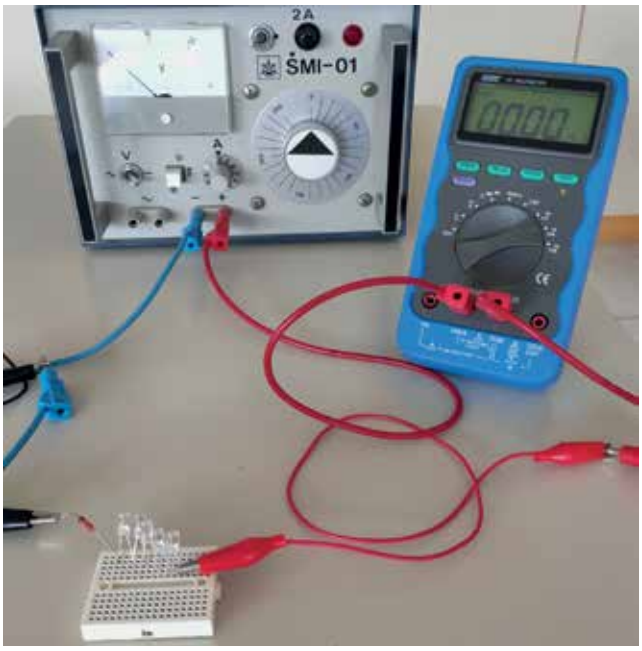


Slika 4: Različne LED – leva je primerna za izvedbo eksperimenta, desna pa izkorišča fosforescenco in izhodna svetloba ni neposredno povezana z velikostjo energijske reže.

LED različnih barv vežemo zaporedno – izbira barv je poljubna, paziti pa moramo, da ne izberemo takih, ki UV-svetlobo pretvarjajo v vidno svetlobo s pomočjo fosforescence, saj izsevana svetloba ni neposredno povezana z energijsko režo diode. Take LED prepoznamo po »belem polnilu«, če pogledamo LED z vrha. Za izvedbo poskusa so tako primerne le tiste LED, kjer lahko vidimo njihovo zgradbo (odbojnik, žice). Zaporedno vezanim LED dodamo upornik, ki omejuje tok in preprečuje, da bi pregorele, ampermeter, s katerim spremljamo, da je tok okrog 1 mA, ter ŠMI. Posamezna LED potrebuje 2–3 V, da sveti, običajno pa zdržijo tok do 20 mA. Z uporabo ampermetra in s počasnim večanjem izhodne napetosti na ŠMI lahko meritve izvedemo brez povzročene škode, za vsak primer pa je dobro zaporedno vezati še upornik z uporom nekaj kΩ (odvisno od največje napetosti na ŠMI in števila diod).

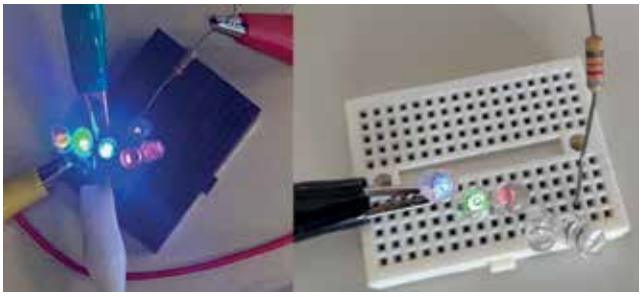


Slika 5: Shema postavitve eksperimenta.



Slika 6: Postavitev eksperimenta.

Ni treba, da vse LED svetijo enako močno – zaporedna vezava zagotavlja, da skozi vse teče enak tok. Če sveti vsaj ena, potem skoznje teče tok, je pa lahko pri nekaterih intenziteta oddane svetlobe precej majhna.



Slika 7: Primer uporabe »protoboarda« in različne intenzitete različnih LED. Na levi sliki so tudi priključki za merjenje napetosti.

Zdaj je treba le še izmeriti napetost na posamezni LED, da lahko izračunamo Planckovo konstanto po enačbi $e_0U = h\nu$ (smiselno je tudi narisati graf odvisnosti e_0U od

ν, kjer je naklon premice Planckova konstanta). Za izračun potrebujemo še frekvenco svetlobe posamezne LED, kar je povezano z valovno dolžino ($\nu = \frac{c}{\lambda}$). Valovna dolžina je načeloma za posamezne LED znana, lahko pa jo tudi izmerimo s spektrometrom. Med opremljanjem šol z opremo Vernier leta 2011 se je 58 slovenskih srednjih šol oz. šolskih centrov odločilo za nabavo spektrometra Vernier SpectroVis® kot učila za pouk kemije, nekaj pa jih je bilo nabavljenih tudi naknadno. Spektrometer imate tako morda na šoli.

Rezultati in zaključek

Pri pazljivem merjenju je napaka velika zgolj nekaj odstotkov: pri mojih meritvah je bilo odstopanje od prave vrednosti Planckove konstante okrog 5 %, dijaki pa tipično dobijo odstopanje med 5 in 10 %. Zdi se mi, da je metoda zato kljub približkom dokaj uspešna.

Vaja se dotakne mnogih vidikov fizike – od področja elektrike (vezave, merjenje toka in napetosti, energija), moderne fizike (energija fotonov, spekter svetlobe, energijski nivoji), merjenj (izračun napake in razmislek o uporabljenih približkih in merilnih metodah) do osnovnih definicij fizikalnih količin. Od maja 2019 je z redefinicijo osnovnih enot Planckova konstanta tudi temeljna konstanta za določitev enote kilogram, kar zagotovo odpira možnosti razprave o prednostih take definicije pred definicijo s prakilogramom.

Viri

[1] Tomić, I. (2018). *Zbirka laboratorijskih vaj iz fizike (str. 93).* Novo mesto: Šolski center.

[2] Mohorič, A. (2020). *Fizika 3: učbenik za fiziko v 3. letniku gimnazij in štiriletnih strokovnih šol* (str. 148 in fizika-poglavje7.html na zgoščenki). Ljubljana: Mladinska knjiga Založba.

[3] Shockley, W. (1949). »The Theory of p-n Junctions in Semiconductors and p-n Junction Transistors« (enačba 3.13 na strani 454). New York: *The Bell System Technical Journal*. Dostopno na: https://ia802707.us.archive.org/15/items/bellsystemtechni28amerrich/bellsystemtechni28amerrich.pdf

IZ ZALOŽBE ZAVODA RS ZA ŠOLSTVO

Alenka Kompare, Tanja Rupnik Vec

KAKO SPODBUJATI RAZVOJ MIŠLJENJA

Od temeljnih miselnih procesov do argumentiranja

- Namenjeno osnovnošolskim in srednješolskim učiteljem različnih predmetov ter bodočim pedagoškim delavcem.
- Učitelju omogoča spodbujanje in razvoj kritičnega mišljenja, ponuja eksplicitne poučevalne pristope, miselne izzive in naloge za razvoj kritičnega mišljenja na različnih stopnjah izobraževanja od osnovne do srednje šole.
- Podaja različna deklarativna in proceduralna znanja s področja kritičnega mišljenja.
- Namenjeno tudi vsem, ki jih zanima področje kritičnega mišljenja in spodbujanje razvoja kritičnega misleca.

2016, ISBN 978-961-03-0339-8, 328 str.
Cena: 31,90 €

Sobota za vedoželjne

Ksenija Božak
Osnovna šola Dob

Izvleček
V prispevku so prikazane eksperimentalne vaje za učence 6. razreda, ki jih že nekaj let zapovrstjo izvajamo z učenci, ki si tega želijo. Za sodelovanje na naših delavnicah ni nujno, da so učenci prepoznani kot nadarjeni ali da jih naravoslovje zanima in veseli. Želimo, da bi z delavnico, ki smo jo na šoli poimenovali »Sobota za vedoželjne«, pri učencih spodbudili zanimanje za naravoslovne vede in vedoželjnost. Naš glavni namen je torej motivirati tiste učence, ki imajo predsodke do naravoslovja, da bi v višjih razredih pri pouku fizike, kemije in biologije z veseljem in radovednostjo aktivno sodelovali. K delavnici pa povabimo tudi tiste učence, ki so pripravljeni svoje tedanje znanje iz naravoslovja nadgraditi. Učni list je nastal v sodelovanju z učiteljico naravoslovja.

Ključne besede: motivacija za naravoslovne predmete, Sobota za vedoželjne, eksperimentalne vaje

Saturday for Students Who are Eager to Learn

Abstract
The article presents experimental exercises for sixth graders, implemented for a number of years with students who want to learn more. Students do not have to be recognised as talented nor do they need to be interested or eager about natural sciences in order to participate in our workshops. The purpose of our school workshop called "Saturday for Students Who are Eager to Learn" is to stimulate student interest in natural sciences and their curiosity. Our main intent is to motivate those students who are biased towards natural sciences and encourage them to actively participate with joy and curiosity in Physics, Chemistry and Biology in subsequent grades, as well as to invite those who are willing to upgrade their knowledge in natural sciences. Handouts for students were created in collaboration with a Natural Sciences teacher.

Keywords: motivation for natural science subjects, Saturday for students who are eager to learn, experimental exercises

Uvod
Kot študentka matematike in fizike na Pedagoški fakulteti sem se srečala z izzivom, ki nam ga je zastavila profesorica pri predmetu Didaktika fizike in o katerem se spraševala tudi že prej. Izziv pri uri je bil, kako učence navdušiti za fiziko. Ne spomnim se, kaj je naša skupina takrat prepoznala kot rešitev. O temi sem kasneje še večkrat premišljevala. Kot mlada, neizkušena, ambiciozna učiteljica pa sem vse pogosteje v šoli od učencev slišala komentarje: »Že starši so mi rekli, da je fizika strah in trepet« in »Oh, ta fizika je res težka, nikoli je ne bom razumel«. Ti komentarji so me vedno znova opomnili na študentsko nalogo pri Didaktiki fizike in v meni ponovno vzbudili razmišljanje, kako učence prepričati, da jim bo fizika všeč in da ni nujno zahtevna. O tem sva večkrat govorili s sodelavko, ki poučuje naravoslovje in kemijo. Tako se je rodila zamisel o delavnici, ki sva jo poimenovali Sobota za vedoželjne. Zamisel sva predstavili tudi ravnateljici, ki naju je v celoti podprla. Že od leta 2015 delavnice organizirava vsako leto. Učiteljica kemije pripravi eksperimentalne vaje, usmerjene v kemijo, jaz pa v fizikalne poskuse. Zanimanje učencev je bilo prvo leto izjemno, zato sva delavnico ponovili dvakrat in učence razdelili v dve veliki skupini. To je bila potrditev, da je bila najina zamisel dobra. Drugo leto sva tako pripravili delavnice tudi za sedmošolce in zdaj organizirava delavnice za vse učence od 6. razreda. Učenci niso vsako leto enako motivirani, odvisno od generacije, vendar meniva, da je bil najin cilj dosežen. Učenci v zgodnji fazi odkrivanja naravoslovnih ved dobijo boljši vpogled v znanost, se prijavljajo na tekmovanja ter raziskujejo in tekmujejo v raziskovalnih

Učenci v zgodnji fazi odkrivanja naravoslovnih ved dobijo boljši vpogled v znanost, se prijavljajo na tekmovanja ter raziskujejo in tekmujejo v raziskovalnih nalogah.

nalogah. To je za naju potrditev, da je na naši šoli naravoslovje pričelo razbijati stereotipe in želiva si, da bi bili pri tem uspešni tudi v prihodnje.

Fizikalna delavnica traja 120 minut, nato sledi polurna malica za učence in nato ponovno 120-minutna delavnica za drugo skupino učencev. Vsako skupino sestavlja približno deset otrok. Učenci se izmenjajo z delavnico iz kemijskih vsebin.

SPLOŠNI cilji, ki jih želimo doseči z eksperimentalnimi vajami pri fizikalni delavnici:

– poznavanje in razumevanje temeljnih naravoslovnih konceptov ter njihova uporaba pri razlagi naravnih pojavov in dogajanj v okolju;
– uporaba osnovnega strokovnega izrazoslovja pri opisovanju predmetov, pojavov, procesov in zakonitosti;
– pridobivanje, obdelava in vrednotenje podatkov iz različnih virov:
  - načrtno opazovanje, zapisovanje in uporaba opažanj/meritev kot vira podatkov,
  - vrednotenje in interpretacija ter povezovanje informacij in podatkov,
  - razvijanje razumevanja in uporabe simbolnih/grafičnih zapisov;
– razvijanje eksperimentalnih spretnosti in metod raziskovanja:
  - ocena natančnosti in zanesljivosti pridobljenih rezultatov.

OPERATIVNI cilji, ki jih želimo doseči z eksperimentalnimi vajami pri fizikalni delavnici:

– učenci razumejo pomen toplotnega toka in ga povežejo s primeri iz narave;
– učenci razlikujejo med toplotnimi prevodniki in izolatorji ter navajajo primere njihove uporabe v vsakdanjem življenju.

Našteti pripomočki zadoščajo le za en par v celotni skupini. Načrtovano je, da je v vsaki skupini pet dvojic.

Pripomočki za delo za eno dvojico (pripravi učitelj vnaprej po poskusih v banjice za vsako dvojico posebej):

1. POSKUS

Potrebujemo:

- 3 enako velike pollitrske plastenke,
- grelnik,
- posodica za segrevanje vode na grelniku,
- 3 termometri,
- lij,
- merilni valj,
- voda,
- brisačka

2. POSKUS

Potrebujemo:

- približno enako debele ploščice (kovinska, steklena, kartonska, plastična, lesena, stiroporna),
- 6 kosov ledu,
- brisačka

3. POSKUS

Potrebujemo:

- 2 enako veliki pollitrski plastenki (iz 1. poskusa),
- lij,
- merilni valj,
- grelnik,
- posodica za segrevanje vode na grelniku,
- 2 termometra,
- banjica s stiropornimi lističi,
- steklena kadička,
- štoparica,
- voda,
- brisačka

4. POSKUS

Potrebujemo:

- 2 grelnika,
- kovinska plošča,
- kos alufolije,
- 2 kosa ledu,
- steklena palčka,
- štoparica,
- rokavica proti opeklinam, brisačka

Učenci pred vsakim poskusom natančno preberejo navodila in si podčrtajo ključne podatke. Nato se lotijo izvedbe, zapisujejo meritve, opazujejo ter oblikujejo in zapišejo ugotovitve. Po končanem poskusu se o ugotovitvah pogovorimo.

Priložen je učni list z eksperimentalnimi vajami.

Priporočila za učitelje

Delavnica Sobota za vedoželjne naj se izpelje ob začetku 6. razreda, septembra ali oktobra. Takrat učenci še nimajo povsem izdelanega mnenja o težavnosti naravoslovnih predmetov in je pravi čas, da si zgradijo pozitiven odnos do eksperimentiranja in naravoslovja ter tako usmerimo njihovo zanimanje.

Za pozitivno se je izkazalo tudi sodelovanje z učiteljem naravoslovja v 6. in 7. razredu.

Ob velikem zanimanju naj se delavnica organizira večkrat – po manj učencev. Pripomočki naj bodo vnaprej pripravljeni za vsako dvojico posebej.

Nekaj odzivov učencev

»Bilo je odlično!!!«

»Najboljši dan v šoli. Hvala!«

»Prosim, imejte še kdaj takšne delavnice.«

»Ne bi moglo biti boljše.«

»Učiteljica, zelo ste se potrudili.«

»Dan je bil perfekten.«

»Bilo je noro, super ...«

Viri

Za izdelavo učnega lista je bila uporabljena naslednja literatura:

[1] https://www.gov.si/assets/ministrstva/MIZS/Dokumenti/Osnovna-sola/Ucni-nacrti/obvezni/UN_naravoslovje.pdf (14. 3. 2021)

[2] https://www.gov.si/assets/ministrstva/MIZS/Dokumenti/Osnovna-sola/Ucni-nacrti/obvezni/UN_fizika.pdf (14. 3. 2021)

[3] https://eucbeniki.sio.si/nar6/1216/ (14. 3. 2021)

SOBOTA ZA VEDOŽELJNE za učence 6. razreda

Ime: _____

Član/-i skupine: _____

Na obeh grelnikih se greje voda. Pazi, posodica in grelnik sta zelo vroča in se lahko opečeš.

1. poskus: KAKO HITRO ODTEKA TOPLOTA? (delaš v paru, le temperaturo poskusiš določiti sam)

Pripravita si tri enake pollitrske plastenke, zamaškov ne potrebujeta. V eno nalijta hladno, v drugo toplo (mešanica hladne in vroče) in v tretjo vročo vodo. Količina vode naj bo v vseh treh plastenkah enaka, pomagajta si z lijem in merilnim valjem. (*V posodico dolijta vodo in jo ponovno segrevajta na grelniku, saj bosta vročo vodo še potrebovala.*) **Samo** v hladno in toplo vodo pomočita vsak svoj prst in določita temperaturo vode po občutku (prst lahko pomočita v vodo že v merilnem valju, lahko pa nagneta plastenko tako, da bo prst v stiku z vodo v nagnjeni plastenki). V **vročo** vodo **NE** potiskajta prsta. V vse tri plastenke postavita termometre, počakajta, da se stolpec na skali ustavi, in izmerita temperaturo, imenujemo jo **začetna** temperatura. Čez pol ure izmerita ponovno temperaturo v vseh treh plastenkah, to je **končna** temperatura. Meritve vpisujta v preglednico in izračunajta, za koliko so se temperature spremenile. Med čakanjem se lotita 2. poskusa.

a)

	Občutek v °C	**Začetna** temperatura v °C	**Končna** temperatura v °C	**Sprememba** temperature v °C
hladna voda				
topla voda				
vroča voda				

b) V kateri plastenki se je temperatura najbolj spremenila in kaj je po vajinem mnenju razlog za tako veliko spremembo? _____

c) Kaj lahko povesta o občutku za temperaturo in dejanski temperaturi? _____

č) Če bi v plastenkah pustila vodo do jutri, kaj bi se po vajinem mnenju dogajalo s temperaturami v različnih plastenkah? _____

2. poskus: VPLIV MATERIALA NA TOPLOTNI TOK (delaš v paru)

Na kovinsko, stekleno, kartonsko, plastično, leseno in stiroporno podlago položita enako velike kocke ledu, čim bolj istočasno. Podlage so približno enako debele. Opazujta taljenje ledu. Medtem ko opazujeta in čakata, skicirajta poskus ter se lotita 3. poskusa. Na koncu zapišita ugotovitve v eni povedi.

Skica poskusa:

Ugotovitev:

3. poskus: VPLIV IZOLACIJE NA OHLAJANJE VODE (delaš v paru)

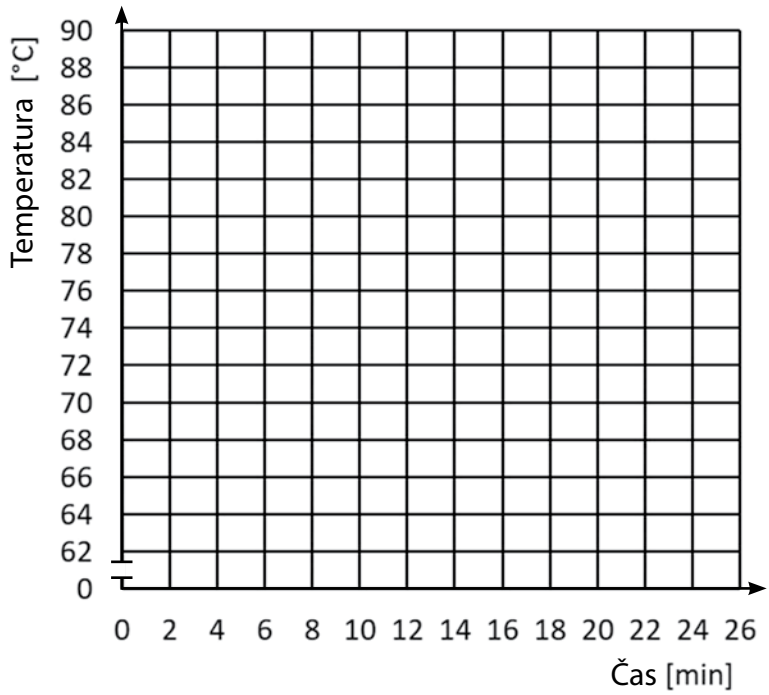
Pripravita si dve enaki plastenki. Odstranita zamaška. V vsako plastenko s pomočjo lija nalijta 100 mililitrov hladne vode iz pipe. Nato iz posodice, ki je na grelniku, v vsako plastenko dolijta še 100 mililitrov vroče vode. Vodo v obeh plastenkah premešajta s termometrom. Odčitajta temperaturi in ju zabeležita v preglednico. Eno plastenko postavita v banjico s stiropornimi lističi. Drugo plastenko postavita v stekleno kadičko, kamor sta natočila hladno vodo, vsaj do višine vode v plastenki. Od tega trenutka si zapisujta temperaturi vsaki dve minuti. Meritve si zapisujta 20 minut. Med čakanjem narišita poskus. Vodo ves čas rahlo mešajta s termometroma.

Skica poskusa:

a) Izpolnita preglednico.

Čas v minutah	Temperatura v °C v plastenki, ki je postavljena v **stiropor**	Sprememba med temperaturama (stiropor)	Temperatura v °C v plastenki, ki je postavljena v **hladno vodo**	Sprememba med tempertaturama (hladna voda)
0				
2				
4				
6				
8				
10				
12				
14				
16				
18				
20				

b) Narišita oba grafa v isti koordinatni sistem. Z modro barvo narišita graf za izmerjeno temperaturo vode v plastenki, ki je postavljena v hladno vodo, z rdečo pa za vodo v plastenki, ki je postavljena v stiropor.



c) V eni povedi napišita svoje ugotovitve. _____

_____

č) Kaj menita, zakaj je vajina ugotovitev pomembna, kje bi to ugotovitev lahko uporabili v vsakdanjem življenju? _____

d) Kaj mislita, do katere temperature bi lahko prišla temperatura v vsaki plastenki in v kolikšnem času? _____

4. poskus: VPLIV DEBELINE PODLAGE NA TOPLOTNI TOK (delaš v paru)

Vklopita oba grelnika in počakajta dve minuti, da se segrejeta. Na kovinsko ploščo in alufolijo položita kocko ledu in oboje hkrati postavita na grelnik. V tem trenutku pričnita meriti čas s štoparico. Ko se led stali, umaknita ploščo in alufolijo z grelnika (PAZITA, DA SE NE OPEČETA; ploščo in folijo primita s kuhinjsko rokavico ter položita v stekleno kadičko, da se ohladita) ter si zabeležita čas taljenja. Če bo košček ledu medtem želel pasti s plošče, ga s stekleno palčko poravnajta. S krpico pobrišita vodo, ki bo stekla s ploščice.

Čas taljenja na **alufoliji**:

Čas taljenja na **kovinski** plošči:

Ugotovitev:

Če sta končala in imata še čas, pojdita do učiteljice ter se poigrajta z umetnim snegom. Kakšni so občutki od dotiku? Kaj je po vajinem mnenju razlog za te občutke? (Osredotočita se na toplotni tok.)

Energija v šolski knjižnici

Anja Šmid Pustoslemšek
Osnovna šola Orehek Kranj

Izvleček

Prispevek opisuje primer dobre prakse pri medpredmetnem povezovanju fizike in šolske knjižnice.

S knjižničarko na naši šoli že nekaj let uspešno medpredmetno sodelujeva pri obravnavi snovi o energiji (energijskih virih). Letošnje razmere so naju postavile pred nov izziv – kako izvesti pouk na daljavo, vendar pri tem ohraniti koncept dela, ki ga imamo pri pouku v šoli. Pouk fizike na naši šoli že vsa leta poteka enkrat na teden v blok uri. S knjižničarko sva želeli, da bi se vsak učenec učil nadvse učinkovito, hkrati pa tudi drugim pomagal do čim boljših rezultatov. Zato sva koncept izvedbe – delo po skupinah – ohranili tudi na daljavo. Tehnologija in splet sta povečala motivacijo za delo in aktivnost učencev.

Ključne besede: medpredmetno povezovanje, IKT, fizika, energija, šolska knjižnica, sodelovalno učenje, delo na daljavo

Energy in the School Library

Abstract

The article describes a good practice example of cross-curricular connections between Physics class and the school library.

For a number of years, our school librarian and I have been successfully implementing cross-curricular integration for the subject of Energy (Energy Resources). Due to the circumstances happening this year, we were faced with a new challenge – implementing remote classes by maintaining the same concept of work we had been using before in regular classes. Each year, physics classes at our school take place once a week in the form of a double lesson. Our intention for each student was to achieve the best possible results in their own learning as well as to help other students do the same. That is why we kept the same concept – group work – in remote learning. Using technology and the internet added to the students' motivation for work and participation.

Keywords: cross-curricular integration, ICT, physics, energy, school library, collaborative learning, remote work

Uvod

Na naši šoli se že leta trudimo z medpredmetnim povezovanjem, saj tako spodbudimo miselno dejavnost in radovednost učencev. Medpredmetno povezovanje lahko poveča možnosti za uporabo različnih učnih pristopov in strategij ter tako učencem omogoči večji nabor načinov učenja. Kot pravijo Lipovšek Lenasi, Skvarč in Mršnik (2013), je učenje učnih strategij stvar vseh predmetov, saj lahko različne strategije uporabimo pri mnogih učnih predmetih ter učnem gradivu.

Bralna pismenost

Zelo pomembna naloga, ki si jo zastavljamo učitelji na šoli, je tudi razvijanje bralne pismenosti. PISA[1] in PIRLS[2] bralno pismenost opredeljujeta kot razvijanje zmožnosti učencev, da samostojno pridobivajo informacije, jih povezujejo in interpretirajo, si z njimi ustvarjajo celostne pomenske predstave in razlage pojavov in dogodkov, razmišljajo o njih ter jih vrednotijo, razvijajo argumente za takšno ali drugačno delovanje na podlagi informacij, se znajdejo v novih situacijah, kritično primerjajo, sklepajo itd. (OECD, 2010).

Učitelji s svojim pristopom zavedno ali nezavedno vplivamo na bralno pismenost učencev. To dosegamo z uporabo različnih didaktičnih strategij.

Obravnava energije pri pouku fizike

Z našo šolsko knjižničarko že nekaj let medpredmetno sodelujeva pri obravnavi energije in energijskih virov v

1 Program mednarodne primerjave dosežkov učencev (Programme for International Student Assessment).

2 Mednarodna raziskava bralne pismenosti (Progress in International Reading Literacy Study).

devetem razredu. Do zdaj smo z učenci prihajali v knjižnico, kjer so si sami poiskali primerno literaturo in informacije za delo v skupini. Knjižničarka jim je predstavila tabelo UDK, ki visi v šolski knjižnici in jim pomaga pri hitrejšem iskanju primerne literature. Učencem je bil ta način dela vedno zelo všeč, saj radi samostojno pridobivajo informacije o neki novi snovi.

Delo na daljavo

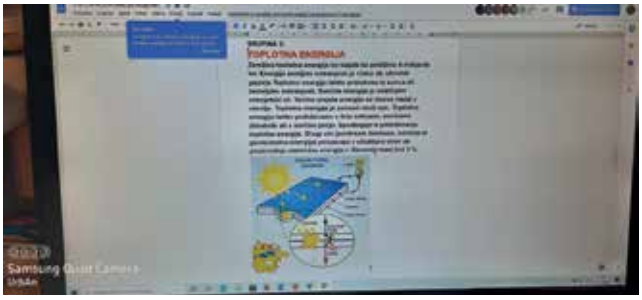
Ker nas je letošnje šolsko leto z delom na daljavo postavilo pred velik izziv, sva s knjižničarko začeli načrtovati, kako ga narediti podobno delu v knjižnici.

Slika 1: Medpredmetno povezovanje fizike in šolske knjižnice.

Knjižničarka je pripravila gradivo, ki ga sicer uporabljamo v knjižnici, in ga naložila v spletno učilnico za fiziko. Seveda je bila v tem primeru prednost za učence v tem, da so imeli ustrezen nabor literature takoj na dosegu in se jim ni bilo treba truditi z brskanjem po policah. Nabor je poleg knjig obsegal tudi nekaj spletnih virov (spletnih strani) in videoposnetkov.

Sama sem poskrbela za tehnično podporo; oblikovala sem skupne dokumente za vsako skupino s ključno temo, odprla več »konferenčnih sob« in jim dodelila gesla za dostop ter pripravila zaključno anketo v Googlovih Obrazcih in tekmovalni kviz v aplikaciji Kahoot!, ki je učencem zelo pri srcu.

Pri delu na daljavo že ves čas uporabljamo Googlovo aplikacijo Meet, tako da so učenci vešči njene uporabe. V skupni sobi (videokonferenci razreda) so učenci dobili podrobna navodila, kaj se od njih pričakuje na blok uri in kako bo delo potekalo. Imeli so eno uro za delo v skupini, kjer so pregledali uporabno literaturo in naredili zapiske. Kot uvod v temo o energiji se mi je zdelo zelo primerno, da učenci po skupinah raziščejo in opišejo svojo dodeljeno temo. V skupnem dokumentu so tako morali zapisati ugotovitve, ki so jih nato delili z drugimi sošolci. Učence sem razdelila po skupinah v pet oziroma šest različnih konferenčnih sob (odvisno od velikosti razreda). Vsaka skupina je dobila svojo temo, na primer: jedrska energija, toplotna energija, obnovljivi viri energije, onesnaževanje okolja pri pridobivanju energije, energijsko varčno gospodinjstvo. Za dosego zastavljenih ciljev so morali sodelovati in si pomagati. Osnova te blok ure je bila sodelovalno učenje v manjših skupinah, saj s tem lahko učenec pri učenju doseže najboljši učinek, pomoč drugim pa zagotovi, da vsi v skupini dosežejo kar najboljše rezultate. Vsi učenci so imeli na voljo skupen dokument, kamor so pisali svoje ugotovitve, ter svojo konferenčno sobo, kjer so lahko razpravljali v manjši skupini sošolcev (v vsako skupino sem dodelila po štiri učence). Sami so si morali razdeliti delo in poskrbeti, da se zapisi niso podvajali. Vsaka skupina je imela svojo temo, ki jo je morala obdelati. V spletni učilnici so morali poiskati ustrezno literaturo iz nabora, ki jim ga je sestavila knjižničarka, poleg tega so samostojno raziskovali po spletu. Tako se učenci naučijo izbrati ustrezne informacije in izločiti neustrezne vire.



Slika 2: Nastajanje skupnega dokumenta.

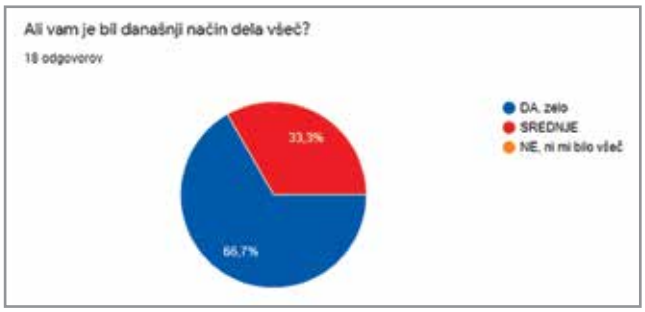
Ko so svoj zapis končali (imeli so eno uro časa), so se vrnili v skupno virtualno sobo. Tam so dobili dostop do vseh zapisov preostalih skupin. Do naslednje blok ure fizike so morali zapise vseh prebrati in si narediti izpiske v obliki miselnega vzorca o jedrski in vodni energiji, obnovljivih energetskih virih, energijsko varčnem gospodinjstvu in onesnaževanju okolja pri pridobivanju energije. Izpiski so bili namenjeni učenju in utrjevanju na novo pridobljenega znanja, ki smo ga s pomočjo kviza preverili.

Anketa za evalvacijo pouka

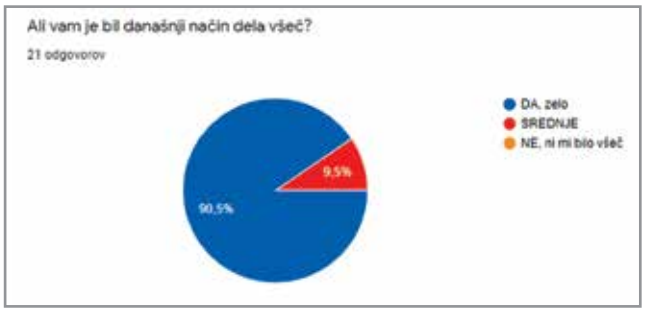
Malo pred koncem te medpredmetne blok ure na daljavo sva tako kot v šoli naredili še kratko anketo za evalvacijo pouka. V šoli sva jo vedno naredili na samolepilne lističe, ki so bili hkrati še izhodni listki, pri delu na daljavo pa sva uporabili spletno anketo.

Rezultati dela so bili razveseljivi, kar kažeta tortna grafikona na naslednji strani.

Povprečno je bilo 75 % učencev z načinom dela zelo zadovoljnih, 25 % pa srednje zadovoljnih. Nihče ni bil nezadovoljen s tako obliko dela. V anketi sta bili tudi vprašanji, kaj jim je bilo najbolj všeč in kaj bi spremenili.



Slika 3: Rezultati spletne ankete v Googlovih Obrazcih za razreda 9. b in 9. c.



Slika 4: Rezultati spletne ankete v Googlovih Obrazcih za razred 9. a.

Spodaj so njihovi odgovori.

Kaj vam je bilo najbolj všeč:
- Delo po skupinah
- Delo po skupinah, čeprav po videokonferenci
- Sami smo raziskovali in oblikovali besedilo
- Da učiteljica ni bila prisotna v konferenčnih sobah pri delu po skupinah, ampak v skupni sobi na voljo za vprašanja
- Bilo je dovolj časa
- Teme so bile zanimive
- Pouk se ni podaljšal prek ure
- Gradivo smo dobili že v mapah
- V skupini smo se razumeli
- Brskanje po spletu
- Sami smo lahko poiskali informacije in si tako vse lažje zapomnili
- Sami smo lahko iskali informacije

Kaj bi spremenili:
- Nič *(večina odgovorov)*
- Da skupina ne bi kopirala teksta
- Da bi skupino lahko izbrali sami
- Tema bi lahko bila zanimivejša
- Potrebovali bi več časa za izdelavo povzetka

Zaključek

V prispevku je opisan primer dobre prakse sodelovanja knjižnice pri pouku fizike na daljavo. Med učenci je bila taka oblika dela zelo dobro sprejeta in tudi motivacijsko učinkovita. S knjižničarko sva želeli učencem omogočiti pridobivanje znanja na drugačen način, čeprav delo na daljavo zahteva nekaj več spretnosti in veščin s področja informacijsko-komunikacijske tehnologije.

Danes učitelj ni več edini vir informacij, ampak moramo bolj delovati kot motivatorji, usmerjevalci, da učencem pokažemo pot do novega znanja.

Literatura

[1] Grosman, M. (2010). Kakšne pismenosti potrebujemo za 21. stoletje. *Sodobna pedagogika*, let. 61, št. 1, str. 16–27.

[2] Kranjc, T. (2015). Aktivno učenje – višja raven znanja? *Aktivnosti učencev v učnem procesu*. Koper: Univerzitetna založba Annales, str. 387–402. Pridobljeno 21. 3. 2021 s spletne strani: http://pefprints.pef.uni-lj.si/3178/.

[3] Lipovšek Lenasi, I., Skvarč, M. in Mršnik, S. (2013). Z (med)predmetnih razvijanjem bralne pismenosti do kakovostnejšega znanja. *Vzgoja in izobraževanje*, let. XLIV, (št. 2–3), str. 43–46.

[4] PISA 2009 Results: What Students Know and Can Do – Student Performance in Reading, Mathematics and Science. I. 1 (2010). OECD. Pridobljeno 21. 3. 2021 s spletne strani: http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/48852548.pdf.

Brezdimenzionalni nevidni radiani

Peter Prelog
upokojeni učitelj fizike

Že ob prvem srečanju s fiziko, v osnovni šoli, učitelji ob osnovnem pojmu »fizikalna količina« postavijo stroga »strokovna pravila«: fizikalno količino, npr. čas nekega dogodka, zapišemo z določeno mednarodno »dogovorjeno« **oznako**, z **merskim številom** in **mersko enoto**, npr. $t = 5$ s. Pri tem je zapis merske enote obvezen, saj bi bil brez nje podatek nesmiseln! Če npr. povemo, da je TV-zaslon širok 80 – saj »vsak 'vosu' ve, da so to centimetri«! – ali bi nas prav razumeli tudi v Ameriki?

Koliko jeze je zaradi slabših ocen pri šolskih nalogah, kjer učenci »pozabijo« zapisati enote!

Ta naša fizikalna strogost pa malce izpuhti že ob razlagi količine, ki se imenuje »kot«. Ta ima posebnost: »naravno« enoto polni kot! Zgodovinsko je polni kot razdeljen na 360 enakih stopinj ($\varphi = 360°$) ali pa na 400 gradov, 6400 tisočin itd. – ali pa na dva iztegnjena kota ali štiri prave kote ali šest »enakostraničnih« kotov … To so vse različne veljavne in uporabne kotne enote! Zaradi povezave prek polnega kota lahko te enote tudi primerjamo, npr. $360° = 4(\text{pravi kot}) \rightarrow \varphi = 1(\text{pravi kot}) = 90°$.

Pa definirajmo še eno enoto, »radian«, to je središčni kot $\varphi = 1\ rad$ v krogu, kjer je lok med krakoma kota enako dolg kot polmer kroga, $l = r$. Če upoštevamo znano formulo za obseg kroga, $2\pi r$, dobimo zaradi sorazmerja loka s središčnim kotom $\varphi°$ (v stopinjah):

$l/\varphi(°) = 2\pi r/360° = r(\pi/180°)$,
torej je ob $l = r$:

$\varphi(°) = 180°/\pi = 57{,}3° = 1\ rad$. Pisati moramo npr. $\varphi = 87° = 1{,}52\ rad$ itd. Tudi lok lahko izračunamo kar s kotom v radianih:

$l = r\varphi(°)/(180°/\pi) = r\varphi$

Ker sem pri tem kot $\varphi(°)$ v stopinjah delil z velikostjo $1\ rad = 180°/\pi$ (tudi v stopinjah) – **dobim mersko število** kota φ v radianih – torej le število radianov – **količino φ brez enote *rad***! Zato se sedaj ujemajo merske enote na levi in desni strani enačbe $l = r\varphi$ (sicer bi dobil lok z enoto m*rad*), toda radian ni izginil, ni postal »neviden« zaradi naše želje po poenostavljanju zapisa, ampak zaradi KRAJŠANJA enot, ker smo *rad* tako definirali!! Zato pri fizikalnih enačbah ($l = r\varphi$, $\omega = \varphi/t$ …) ob količini φ ni kotne enote, čeprav imamo na razpolago več takih enot, jih (npr. ob vstavljanju podatkov v formule) v te enačbe **ne smemo pisati** (v nasprotju s prvotno zahtevo)! Tudi pri kotni hitrosti $\omega = \varphi/t$ je enota 1/s in ne *rad*/s, podobno pri kotnem pospešku. Seveda pa nevidni *rad* lahko (po dogovoru) uporabimo tudi pri primerjavi enot, npr. $\varphi = 87° = 1{,}52 \ldots rad = 1{,}52 \ldots$ saj je to smiselno.

Zavedajmo se, da se moramo tukaj prvič ugrizniti v jezik: naš šolski fizikalni »zakon«, da fizikalno količino v enačbah **vedno** predstavljata mersko število in enota, **pri teh enačbah** ne velja več! V razredu zadrego prikrijemo z malomarno izjavo, npr.: »Enote *rad v računih* **običajno** ne pišemo!« Toda – od kdaj pa so slavna fizikalna pravila odvisna od »običajev« in dobre volje uporabnika in jih lahko kar po potrebi spreminjamo, saj to ni **običajna** politika!!

Če sežem na polico in v učbenikih poiščem zapise o radianih, najdem npr. te izjave (brez dodatnih pojasnil):

V račune vstavljamo namesto *rad* število 1.
Kotne enote *rad* **največkrat** ne pišemo.
Kote merimo v **brezdimenzijskih** enotah, v radianih.
The radian is dimensionless (has no units).
Enota za kot je 1, radian je pomožna enota.
Za lok in kot velja sorazmernost $l = r\varphi$, če kot merimo v radianih.

…

Vse to je nekako res (razen trditve v angleščini), toda ali se to ne bi dalo povedati drugače? **Brezdimenzionalnost kota bi uvedli z definicijo središčnega kota $\varphi = l/r$** in to je vse, kar je treba povedati. Kot pa lahko ima – poleg vseh ostalih izmišljenih merskih enot (stopinja, pravi kot …) – še eno (zakaj »pomožno«?) enoto – radian (če $l/r = 1 \rightarrow \varphi = 1\ rad$), ki pa je v enačbah ne potrebujemo (enako velja za druge kotne enote), razen pri primerjavah enot ali pri zapisu podatkov. (npr. $\varphi = 57{,}3° = 1\ rad$).

»Dimenzijo« količine smo včasih v srednji šoli redkeje omenjali, določena je z osnovnimi enotami, npr. dimenzija sile je $kgms^{-2}$; zato … lahko seštevamo ali odštevamo samo izraze z enako dimenzijo (= ne odštevaj jabolk od hrušk!), fizikalna enačba je veljavna, če imata leva in desna stran enačbe enaki dimenziji itd. Zato mora seveda biti kot **φ v enačbah $l = r\,\varphi$, $v = r\,\varphi/t$** … brez dimenzije. Podobno velja za vse količine, ki so definirane z razmerjem dveh količin enakih dimenzij in se te zato krajšajo. Toda merska enota *rad* obstaja, ne moreš je »zanemariti« ali zacoprati v 1, čeprav je »pomožna« in brez dimenzije!

»Definicija« $rad = 1$ … **kot-da-bi-rad-bil 1**, zaradi katere *rad* iz enačb »izgine«, mi ni všeč. Zagovarjajo jo, »ker smo to definirali« – toda to ni res, definirali smo le kot $1\ rad$ ob predpostavki $l = r$. Definiraš, izmisliš si lahko kakršnokoli kotno enoto in jo krstiš z nekim imenom (npr. $\varphi(°) = 57{,}3° = 1\ rad$) – toda ob našem krstu je bila še zahteva brezdimenzionalnosti $\varphi = l/r = 1$, tega pa gola »definicija« $rad = 1$ ne pove!!

Ker kasneje pri relativnosti izvemo še za podobno »definicijo« $c = 1$, bo morda kak jezičen bistrež v razredu vprašal, ali je svetlobna hitrost $c = 1$ *rad*! (čista matematična logika: če je $c = 1$ in $rad = 1 \rightarrow c = rad$?). Kaj bi mu odgovorili?

Pišite mi: peter.prelog@siol.net!

Dodatek

Pri kotnih funkcijah smo nekoč pisali enote zato, da bi lahko vrednost funkcije lažje poiskali v tablicah ali (kasneje) na kalkulatorju, kjer so koti zapisani npr. v stopinjah (npr. $\sin(30°) = 0{,}5$), zato bi lahko bi pisali tudi $\sin(0{,}03\ rad) = 0{,}03$ ali pa upoštevali **dogovor**, da naj tako zapisani kot brez enote vedno pomeni radian, torej $\sin\varphi = \sin(0{,}03) = 0{,}03$. V fizikalnih enačbah pa je kot φ vedno brez dimenzije (sicer bi npr. dobili iz $l = \varphi r$ lok l z dimenzijo m*rad*, ali pa iz $v = dx/dt = [x_o\sin(\varphi t)]'$ dobili za hitrost enoto m*rad*/s ali m^o/s)

Ali je torej merske enote za kot treba pisati ali ne?

Seveda je pisanje kotnih enot (razen radiana) obvezno npr. pri naštevanju osnovnih podatkov za neko fizikalno nalogo, enako pri zapisu končnih rezultatov. Pri izdelavi računalniškega programa za izračun vrednosti nekega fizikalnega izraza pa merskih enot ne vstavljamo, za pravilnost enot moramo skrbeti že pri programiranju in pravilno enoto predvideti tudi za izpis rezultata. Podobno lahko brez enot delam tudi pri ponavljanju izračunov »ročno« – brez računalnika. V skupini sodelavcev, npr. sošolcev pri reševanju iste naloge, se lahko **dogovorijo**, da vse hitrosti računajo npr. v m/s in potem – med računanjem – teh enot ne pišejo. Seveda pa dogovor vedno velja le v nekem okviru, zunaj njega pa ne! Ta okvir je lahko tudi precej velik, dogovor lahko velja tudi za celotno svetovno fizikalno ekipo, čeprav o tem odločajo le izbranci in se vsi drugi temu »predlogu« le podredimo! Npr. nenatančni »dogovor«, da je $rad = 1$, bi bilo bolje nadomestiti z enostavnejšim dogovorom, da enote *rad* **ne pišemo**: če ob nekem **podatku o velikosti kota** ni enote, naj bo ta nenapisana enota *rad*! (Druge kotne enote je seveda treba pisati!!). V enačbah pa enot za kot itak ni in tam tudi *rad* ne smemo pisati, saj je kot brez dimenzije!

Torej pozor! Koti so brez dimenzije, niso pa brez merskih enot (»*has no units*«?)!! Podobno velja za vse relativne fizikalne količine, npr. relativna vlažnost, raztezek … vse so brez dimenzije! Lahko si pa **izmišljujemo imena** za njihove enote, npr. vlažnost $r = 0{,}10$ % imenujemo »1 vlagica«, potem pa iz tega napravimo »znanost«: ko je že vse precej mokro, je $r = 9$ vlagic, »naravna« največja mogoča vlažnost je 10 vlagic, zato vlažnost 12 vlagic ni mogoča, »ne obstaja« itd.

Procent (%) pa seveda ni enota (npr. $r = 50$ %), to je le vsem všečna »latinščina«:
15 **pro-centov** = 15 % = 0,15 = 15/100 = 15 **od-stotkov** (% = 1/100)!

Kaj pa pravzaprav pove izjava (če je $c = 1$ in $rad = 1 \rightarrow c = rad$)?

Če bi bila c in *rad* števili, bi bila izjava pravilna. Toda to sta fizikalni količini in implikacija seveda ne more (»jabolka in hruške!«) enačiti c (z dimenzijo ms^{-1}) in brezdimenzionalnega radiana! Strokovnjaška površnost (»saj vsak ‚vosu' ve, kaj hočem povedati z izjavo, da je $c = 1$!«) je morda sprejemljiva v strokovnjaškem okolju, tiste, ki se fizike še učijo (predvsem mladino), pa le zmede, saj vsaki »znanstveni« izjavi sveto zaupajo. Zato poskusimo drugače:

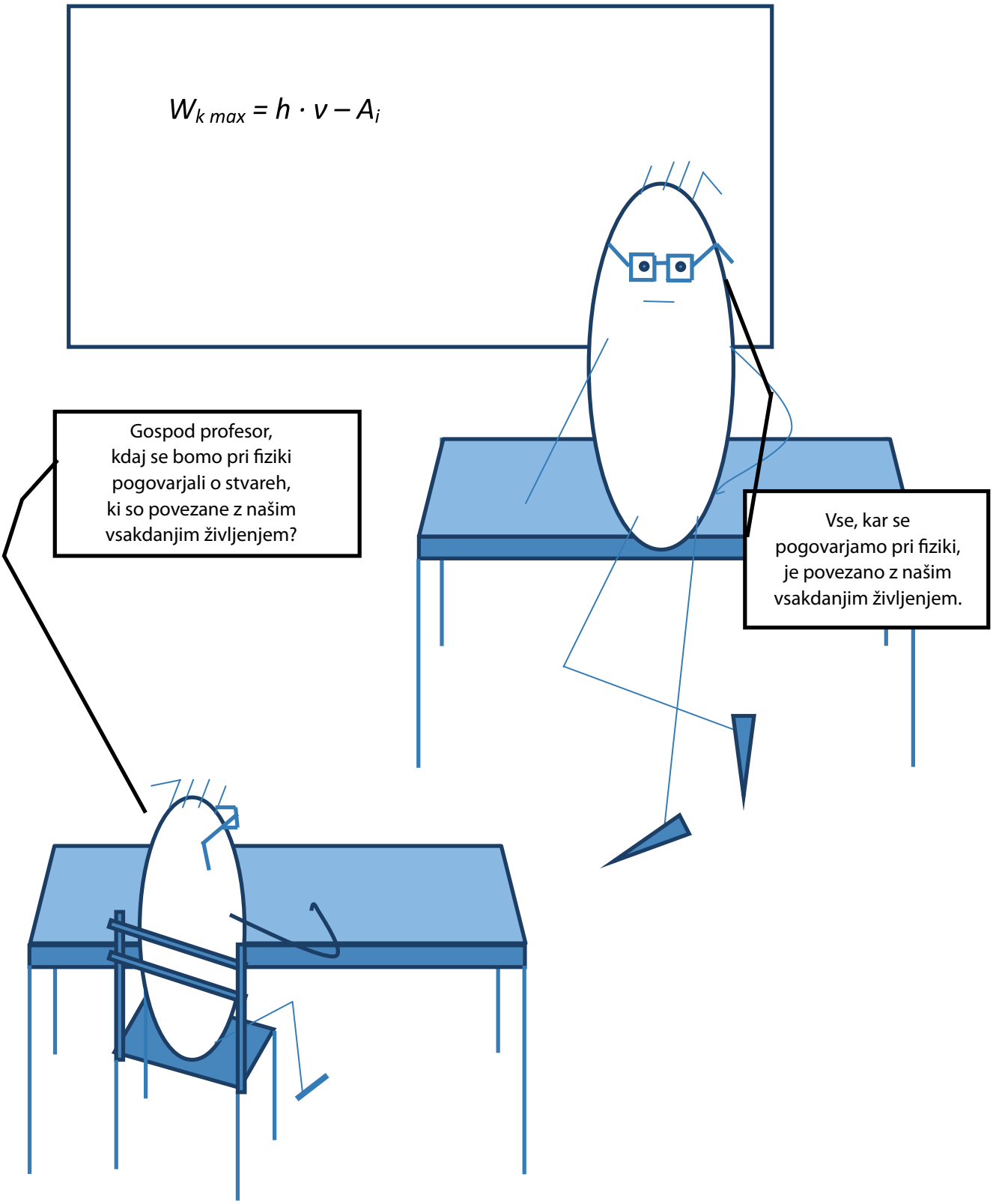
če »po definiciji nove merske enote c (c = 1)« … to pomeni, da faktor (.c) v enačbi lahko nadomestimo s faktorjem (.1), ali kar pomeni isto – da tega faktorja .c v nekem produktu ni treba pisati …

npr.: $xx.c = xx.1 = xx$ ali tudi $yy/z.c = yy/z.1 = yy/z$ …

… potem tudi $rad = 1$ pomeni isto (faktor *.rad* ima enako lastnost kot faktor .c): faktor *.rad* v enačbah nadomestimo s faktorjem .1, ki ga ni treba pisati (pri *rad* to itak velja le za **podatke o velikosti kota**, saj v enačbah ni brezdimenzionalnih kotnih enot).

Torej drugače razumljena implikacija (če je .c = .1 in *.rad* = .1 → .c = *.rad*) pove, da imata faktorja .c in *.rad* – zaradi dogovora v predpostavki – enako lastnost (neznanstveno, po kmečko): v enačbah ju ni treba pisati!

Pri tem pa moramo paziti, da bomo količino prav označili; če zapišem $x = 0{,}4$, ne vem, ali je $x = 0{,}4$ *rad* ali $x = 0{,}4$ c ali $x = 0{,}4$ kar tako. Če pa zapišemo $v = 0{,}4$ ali $\varphi = 0{,}4$, je jasno, da je to hitrost $v = 0{,}4$ c ali kot $\varphi = 0{,}4$ *rad*.



MiSti, april 2021

IZ ZALOŽBE ZAVODA RS ZA ŠOLSTVO

Anton Zeilinger

Einsteinova tančica
Novi svet kvantne fizike

Prevedel Ludvik Jevšenak

Je svet naključje? In torej ne zastrta narava, ki ji je treba samo sneti tančico, da bi videli njen pravi obraz, kot je menil Albert Einstein?

Čeprav je kvantna fizika stara že več kot sto let, so njena spoznanja še vedno večinoma neznana ali pa veljajo za poseben izziv zdravemu človeškemu razumu. Kvantna fizika je namreč v nasprotju z marsičim, kar se zdi, da v našem vsakdanu velja za neovrgljivo resnico. Prepričuje nas, da se moramo posloviti od znanih prepričanj, kot je na primer tisto, da svet, ki ga vidimo, obstaja ne glede na nas. Zakaj ima opazovalec v kvantnem svetu tako osrednjo vlogo? Zakaj ne veljajo tako vsakdanji pojmi, kot so prostor, čas in vzročnost? Namesto tega postaja pomembnejše naključje in odločilnejša informacija.

Iz ocene dr. Janeza Strnada: »Knjige A. Zeilingerja se fizik mora razveseliti. Najbrž velja to tudi za vse druge, ki se zanimajo za fiziko in sploh za svet, v katerem živimo, in to, kakšno sliko si o njem ustvarimo.«

2005, ISBN 961-234-531-7, 175 str.
format: 13,5 cm x 21,5 cm
cena: ~~20,45 €~~
cena s popustom: 12,27 €

Anton Zeilinger, roj. 1945, eden pomembnejših kvantnih fizikov, bil je profesor na Inštitutu za eksperimentalno fiziko dunajske univerze. Poučeval in raziskoval je med drugim na univerzah v Innsbrucku in Münchnu, na MIT (ZDA) in Collège de France; kot raziskovalec je gostoval tudi v številnih drugih raziskovalnih ustanovah (Los Alamos National Laboratory, Merton College v Oxfordu). Za svoje velike dosežke je dobil več odmevnih nagrad.

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)

revije ZRSŠ facebook ZRSŠ twitter ZRSŠ

ISSN 1318-6388
9 771318 638001