

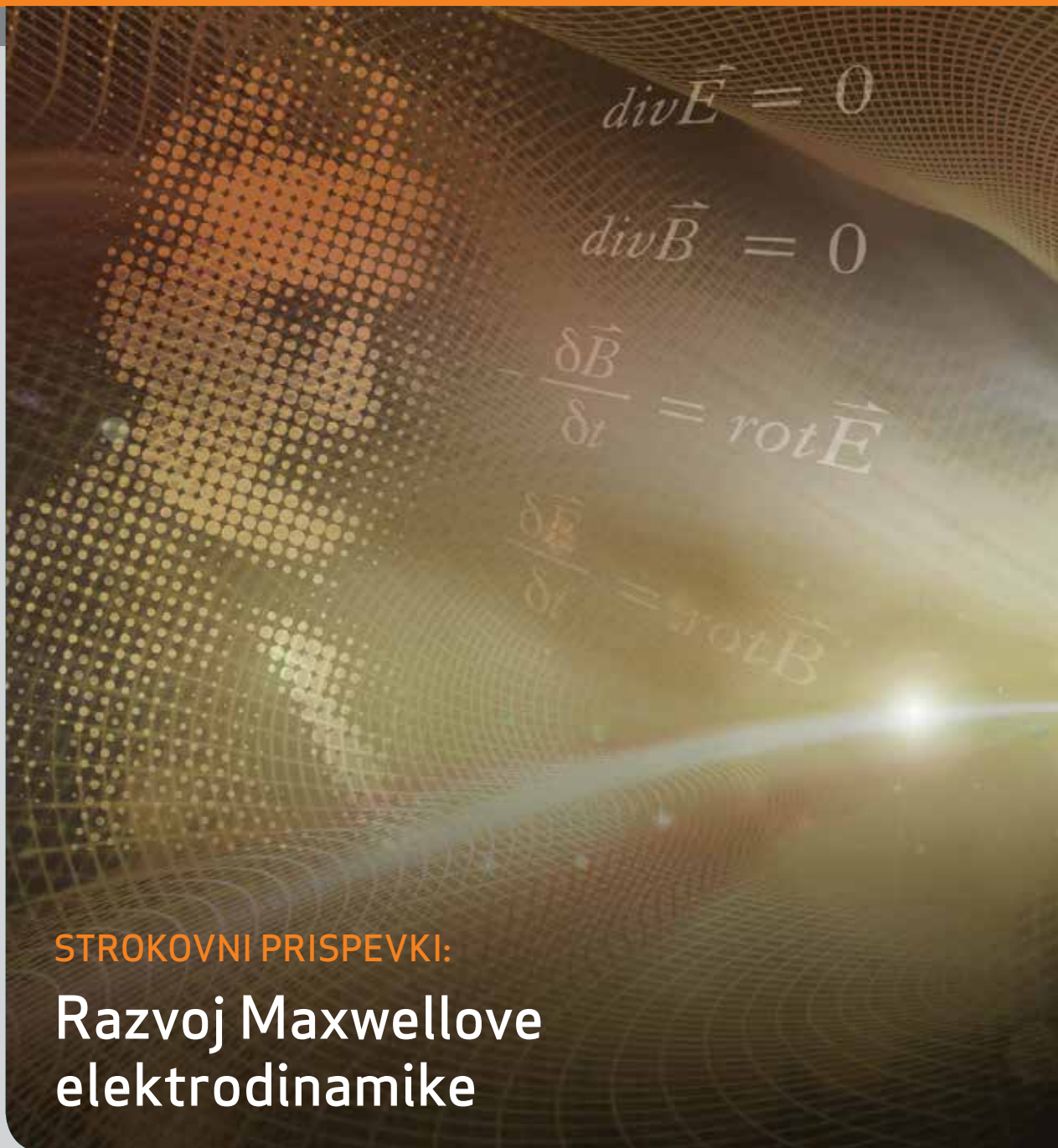
# 1

2016

Letnik 21

# Fizika v šoli

Poštnina plačana pri pošti 1102 Ljubljana



**STROKOVNI PRISPEVKI:**

## Razvoj Maxwellove elektrodinamike

**DIDAKTIČNI PRISPEVKI:**

Narobe svet – izdelava didaktičnih pripomočkov za prikaz optičnih preslikav

**UPODOBITVE V FIZIKI:**

Besedne in druge predstavitve svetlobe v šoli



**60** let  
Zavod  
Republike  
Slovenije  
za šolstvo

## KAZALO

Jaka Banko <b>Uvodnik</b>	3
------------------------------	---

## STROKOVNI PRISPEVKI

Tine Golež <b>Poslovil se je prof. dr. Janez Strnad</b>	4
Janez Strnad <b>Razvoj Maxwelllove elektrodinamike</b>	5
Mitja Rosina <b>Osvetljenost podnevi, ponoči, v sobi</b>	9
Milenko Stiplovšek <b>Z LED so osvetlili svet – Nobelova nagrada za fiziko v letu 2014</b>	14
Vitomir Babič <b>Anizotropija v snoveh – optična dvolomnost in demonstracija komplementarnih barv (1. del)</b>	20

## DIDAKTIČNI PRISPEVKI

Nada Razpet <b>Gremo v senco</b>	28
Nina Jereb <b>Narobe svet – izdelava didaktičnih pripomočkov za prikaz optičnih preslikav</b>	36
Vladimir Grubelnik in Marko Marhl <b>Kako z lupo doseči velike povečave?</b>	42
Gorazd Planinšič in Eugenia Etkina <b>Sveteče diode: skriti zaklad</b>	46
Stane Arh <b>Ducat let Zvezdogleda</b>	55

## UPODOBITVE V FIZIKI

Mojca Čepič <b>Kolumna: Posredovanje informacij v fiziki</b>	58
Mojca Čepič <b>Besedne in druge predstavitve svetlobe v šoli</b>	59

## ZANIMIVOSTI

<b>Nikola Tesla – človek prihodnosti</b>	64
<b>Antimuzej – Dežela fizike</b>	64
<b>Kvarkadabra – časopis za tolmačenje znanost</b>	65
<b>Youtube</b>	65
<b>Kam gre tema</b>	66
<b>Priporočamo v branje</b>	67



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

ISSN 1318-6388

**FIZIKA V ŠOLI**  
letnik XXI, številka 1, 2016

Izdajatelj in založnik:

**Zavod RS za šolstvo**

Predstavniki:

**dr. Vinko Logaj**

Odgovorni urednik:

**Jaka Banko**

Uredniški odbor:

**dr. Vladimir Grubelnik, dr. Tomaž Kranjc,**

**dr. Marko Marhl, Milenko Stiplovsšek,**

**dr. Barbara Šetina Batič, dr. Ivo Verovnik,**

**dr. Mojca Čepič, Goran Bezjak**

Jezikovni pregled:

**PreLePo, Andraž Polončič Ruparčič, s. p.**

Prevod povzetkov in članka *Sveteče diode:*

*skriti zaklad:*

**Ensitra prevajanje, Brigita Vogrinec, s. p.**

Urednici založbe:

**Simona Vozelj in Andreja Nagode**

Oblikovanje:

**Simon Kajtna, akad. slik.**

Računalniški prelom in tisk:

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

Naklada: 680 izvodov

Prispevke pošljite na naslov: Zavod RS za šolstvo,  
Uredništvo revije Fizika v šoli, Poljanska c. 28,  
1000 Ljubljana, e-naslov: fizikavsoli@guest.arnes.si.  
Naročila: Zavod RS za šolstvo – Založba,  
Poljanska c. 28, 1000 Ljubljana, faks: 01/30 05 199,  
e-naslov: zalozba@zrss.si

Letna naročnina (2 številki): 19,50 € za šole in  
ustanove, 17,25 € za posameznike, 16,50 € za dijake,  
študente in upokojenca. Cena posamezne številke  
v prosti prodaji je 10,95 €.

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

© Zavod Republike Slovenije za šolstvo, 2016  
Vse pravice pridržane. Brez založnikovega pisnega  
dovoljenja ni dovoljeno nobenega dela te revije na  
kakršenkoli način reproducirati, kopirati ali kako  
drugače razširjati. Ta prepoved se nanaša tako na  
mehanske oblike reprodukcije (fotokopiranje) kot  
na elektronske (snemanje ali prepisovanje na  
kakršenkoli pomnilniški medij).

Poštnina plačana pri pošti 1102 Ljubljana.

## Spoštovane bralke in bralci Fizike v šoli!

Pred vami je prenovljena revija Fizika v šoli, ki prinaša konceptualne novosti in svežo oblikovno podobo. Poleg novega formata bo revija od slej izhajala v barvah, prispevki v njej pa bodo razdeljeni na tematske sklope – rubrike.

Prvo rubriko smo poimenovali **Strokovni prispevki**. V njej objavljamo strokovne vsebine, ki pogosto presega učni načrt in so namenjene učiteljevi strokovni rasti. V prvem prispevku se dolgoletni urednik revije mag. Tine Golež spominja svojega sodelovanja z avtorjem premnogih člankov in knjig, nedavno preminulega spoštovanega profesorja dr. Janeza Strnada.

Vodilna tema letošnjega letnika je **svetloba**, zato se avtorji prispevkov ukvarjajo prav z njo; izid revije je bil načrtovan že v letu 2015 – mednarodnem letu svetlobe in z njo povezanih tehnologij. V spomin na prof. dr. Janeza Strnada na začetek uvrščamo njegov prispevek, ki na njemu lasten, izviren način kronološko opiše razvoj Maxwellove elektrodinamike. V naslednjih številkah revije bomo objavili še dva njegova prispevka. V nadaljevanju sledi prispevek dr. Mitje Rosine, s katerim med drugim osvetli pojma svetilnost in osvetljenost. O razlogih in tehnologiji, ki se skriva za lansko Nobelovo nagrado iz fizike, piše Milenko Stiplovsšek v prispevku o svetečih diodah, ki sevajo modro barvo. Sledi prvi del prispevka mag. Vitomirja Babiča, ki se ukvarja z anizotropijo v snoveh, optično dvolomnostjo in s komplementarnimi barvami. Rubriko zaključujemo s prispevkom Staneta Arha o praktični astronomiji.

Drugo rubriko smo poimenovali **Didaktični prispevki**. Namenjena je prispevkom, v katerih avtorji predlagajo različne pristope k poučevanju fizike, inovativne ideje, praktične primere, primere pisnih izdelkov in kriterije za druge oblike dela. Dr. Nada Razpet, opisuje didaktični pristop k obravnavi senc v nižjih razredih osnovne šole. Sledi prispevek Nine Jereb o izdelavi didaktičnih pripomočkov za prikaz optičnih preslikav. Avtorja dr. Vladimir Grubelnik in dr. Marko Marhl nam pokažeta, kako z lupo dosežemo velike povečave. Didaktične prispevke zaključuje prvi od dveh prispevkov dr. Gorazda Planinšiča, ki opiše širok spekter uporabe svetečih diod pri pouku fizike.

Novost v reviji je rubrika, ki smo jo poimenovali **Upodobitve v fiziki**. Ustvarjena je z namenom **odpreti razpravo o rabi jezika pri poučevanju naravoslovnih vsebin**. Prvi prispevek je napisala dr. Mojca Čepič in ga posvetila rabi jezika pri obravnavi svetlobe. V uvodnem zapisu avtorica spodbuja učitelje vseh naravoslovnih predmetov k razmisleku o poenotenju naravoslovne terminologije. V zadnji rubriki **Zanimivosti** bomo objavljali krajše vsebine, opise preprostih eksperimentov, povezave do zanimivih videovsebin, napovedi dogodkov in še mnogo več.

Zavedamo se velike strokovne odgovornosti, ki jo prevzema revija pri prenašanju teoretičnih spoznanj fizike in pedagoške stroke v prakso ter pri posredovanju izvornih in uspešnih šolskih izkušenj. Še bolj si želimo strokovno povezati učitelje, zato upamo, da se boste kritično odzvali na naše prispevke in nam sporočili svoja mnenja, sugestije, predvsem pa, da se nam boste pridružili kot avtorji z objavami svojih prispevkov v eni od prihodnjih števil. Veselimo se vaših prispevkov.

Za konec se lepo zahvaljujem dosedanjemu odgovornemu uredniku mag. Tinetu Goležu za ves trud in uspešno opravljeno delo.

**Revija je vaša, vabljeni ste, da jo ustvarjate z nami.**

Želim vam prijetno branje.

Jaka Banko, *odgovorni urednik*

# Poslovil se je prof. dr. Janez Strnad

mag. Tine Golež

Škofijska klasična gimnazija, Ljubljana

Če bi se dogovorili, da naj bo strnad enota za pisanje o fiziki, potem bi našli le malo takih, ki bi se jim izbira zdela posrečena. Seveda ne zato, ker pokojni profesor dr. Janez Strnad tega ne bi zaslužil, pač pa zato, ker bi bili obsojeni na – pomanjševalne predpone. Večina piscev o fiziki bi morala pred takó izbrano enoto za opis svojega opusa dodati morfem centi, redki bi s svojimi članki za to in druge revije lahko uporabili predpono deci, le peščica posameznikov pa bi shajala brez nje.

Profesorja Strnada sem srečal kot študent fizike jeseni 1985. Seveda tedaj nisem nič kaj dosti vedel o študiju nasploh, zato se mi je zdelo kar nekako samoumevno, da je tudi na učbeniku profesorjevo ime. Seveda je s svojimi predavanji v brucih ustvaril podobo predavatelja: kako zbrano, jasno, razumljivo in govorno spretno naj bi univerzitetni profesor podajal snov. Kmalu smo ugotovili, da bi bilo zelo koristno, če bi tudi kateri drugi predavatelj prisedel k tem uram in si dr. Strnada vzel za zgled.

Še danes bolj malo vem, kaj vse je prof. Strnad raziskoval. A ostanimo pri profesorjevem pisnem opusu. Tega sem kmalu vse bolj spoznaval. Ne le zaradi učbenikov, pač pa tudi zaradi vseh drugih člankov, ki so mi prišli pod roke. Bilo jih je vseh vrst. Nekaj tako preprostih, da so pritegnili še osnovnošolce, seveda pa so segali vse do takih, ki jih tudi kot študent nisem kaj dosti razumel.



Ko sem po spletu okoliščin postal urednik revije *Fizika* v šoli, sem se kar malo s strahom spraševal, kako naj s svojimi skromnimi publicističnimi izkušnjami prejemam članke znanega pisca, ki je s svojim opusom vzbujal (straho)spoštovanje. Nisem si predstavljal, kako bo profesor upošteval moje mnenje ali kakšno drobno opombo, ki bi se mi zdela umešna pri poslanem članku.

Izkazalo se je, da je profesor Strnad najvzornejši pisec. Po eni strani je to veljalo za hitrost pisanja, pošiljanja dopolnitev in nasploh za veliko dovršenost – tako po vsebini kot jezikovno. A profesor je želel narediti še korak več. Tako je vselej vljudno spraševal, kaj bi bilo za bralce še zanimivo. Kar nekaj člankov je napisal prav na temo, za katero sem kot urednik in srednješolski učitelj presodil, da bi bila zanimiva. Komaj je izšla ena številka, že se je v mojem poštnem nabiralniku znašlo elektronsko sporočilo z novim člankom dr. Strnada.

Za vsemi zapisanimi besedami o fiziki in fizikih se je čutila predanost poslanstvu: raziskavam in posredovanju znanja o fiziki mladim, študentom in vsem, ki jih naravoslovje zanima. Na najvišji državni ravni je to potrdil sam predsednik države, ki je leta 2005 dr. Strnada odlikoval z zlatim redom za zasluge za življenjsko delo v naravoslovju, še posebej za prispevek k širjenju znanstvene kulture in razumevanja znanosti. Gotovo pa so še več vredne ure, ko bomo mnogi posegali po izjemno široki zapuščini člankov in knjig.

Najbrž ni pisca o fiziki pri nas, ki ne bi v svoje delo vtikal kančka njegove zapuščine – pa naj gre za strokovno predanost ali navedbo iz njegovih del. Zato so na mestu iskrene besede: hvala, gospod profesor.

Gospe Mileni Strnad se zahvaljujemo, da nam je za ta članek poslala zgornji fotografiji in dovolila njuno objavo.

# Razvoj Maxwellove elektrodinamike

dr. Janez Strnad

## Povzetek

Pred sto petdesetimi leti je James Clerk Maxwell objavil članek *Dinamična teorija elektromagnetnega polja*. V njem je pojave prvič dosledno opisal z električnim in magnetnim poljem in ugotovil, da je svetloba elektromagnetno valovanje. Nato je razvoj za dvajset let zastal. Nadaljeval se je šele, ko je Oliver Heaviside predelal Maxwellovo elektrodinamiko in uporabil vektorje. Zadnje dvome o njej je premagalo Hertzevo odkritje radijskih valov.

## Abstract

A hundred and fifty years ago, James Clerk Maxwell published the paper *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*. In it, he consistently described phenomena with the electromagnetic field for the first time, and observed that light is an electromagnetic wave. For the next twenty years, development was at a standstill. It was continued only when Oliver Heaviside reformulated Maxwell's theory of electrodynamics using vectors. The last doubts vanished when Hertz discovered radio waves.

## Dinamična teorija elektromagnetnega polja

James Clerk Maxwell je na začetku leta 1865, pred sto petdesetimi leti, objavil članek z navedenim naslovom. Številni ga imajo za najpomembnejši članek 19. stoletja. To je bil že tretji Maxwellov korak v prizadevanjih, da bi predstavam »največjega eksperimentatorja 19. stoletja«, Michaela Faradaya, dal matematično obliko. Prvi korak je bil članek v dveh delih *O Faradayevih silnicah* v letih 1855 in 1856. V njem je Maxwell električne in magnetne pojave poskušal razumeti po podobnosti na primer s prevajanjem toplote ali tekočinskim tokom. Članek ni vzbudil pozornosti. Drugi korak je bil članek v štirih delih *O fizikalnih silnicah* v letih 1861 in 1862. V njem je Maxwell električne in magnetne pojave pojasnil z enotnim modelom. Ta članek je bil nekoliko bolj pregleden, a tudi ni vzbudil pozornosti. Oba članka sta vsebovala več novih enačb. V tretjem koraku se Maxwell ni več skliceval na podobnost in modele in je električne in magnetne pojave opisal z elektromagnetnim poljem.

Nenavadno je, da Maxwellova teorija več kot dvajset let ni spodbudila nadaljnjega razvoja. Freeman J. Dyson je zapisal: »Toda pomen Maxwellovega dela

za sodobnike ni bil očiten. Teorijo elektromagnetizma so za več kot dvajset let spregledali. Fiziki so enačbe težko razumeli, ker so bile zapletene. Matematiki so jih težko razumeli, ker je Maxwell uporabljal fizikalni jezik. Teorijo so imeli večinoma za mračno spekulacijo, ki je ni podpiralo veliko eksperimentalnih ugotovitev.« [1] Fiziki so težko sprejeli novi pojem polja.

Maxwell je bil spoštovan fizik. Med drugim je vodil Cavendishev laboratorij v Cambridgeu. Svojega položaja pa ni poskušal izkoristiti za širjenje svoje teorije. Bil je tudi predsednik matematično-fizikalnega dela Angleškega združenja za napredek naravoslovja. V njem je imel leta 1870 pomembno predavanje. Posvetil pa ga ni svoji teoriji, ampak tisti, ki jo je predložil William Thomson, poznejši lord Kelvin. Dyson se sprašuje, ali je Maxwell mislil resno ali pa je le poskušal zabavati poslušalce. Edino v zadnjem stavku je omenil, da obstaja še ena teorija, ki mu je ljubša. Taka skromnost se zdi kar izzivalna [1].

## Pupinova zgodba

O pogledih na Maxwellovo teorijo izvemo več iz življenjepisa Mihajla Pupina [2]. Po končanem štu-

diju na kolidžu univerze Columbia v New Yorku leta 1883 je hotel bolje spoznati Maxwelllovo teorijo. »[...] manjkalo mi je tisto razumevanje vidnih pojavov, ki si ga človek pridobi z zavestnim naporom. In jaz nisem imel takega fizikalnega znanja [...] Slutil sem, da je to pravi vzrok, da nisem mogel razumeti Maxwelllove fizike.« [2] Odpotoval je v Evropo v Cambridge. Ni vedel, da je Maxwell leta 1879 umrl. Vseeno je ostal v Cambridgeu in se vpisal na univerzo. Tam so brusili predvsem njegovo matematično znanje. »Kadar se danes ozrem v preteklost, razmišljam, kako malo fizikov je spoznalo pomen [Maxwellove teorije], ko jo je objavil leta 1865 in celo dvajset let pozneje.« [2]

Leta 1885 se je preselil na univerzo v Berlinu. Tam je pri vodilnem nemškem fiziku Hermannu von Helmholtzu bolje spoznal teorijo. Pri njem je Pupin leta 1889 doktoriral iz fizikalne kemije in se vrnil v New York. Na univerzi Columbia je postal predavatelj in med ameriškimi študenti širil Maxwelllovo teorijo.



**Slika 1.** Mihajlo Pupin (1858–1935) je bil rojen v Idvoru v Banatu. Srednjo šolo je nadaljeval v Pragi. Leta 1874 se je izselil v ZDA. Najprej je delal kot delavec, leta 1879 pa je vstopil v kolidž univerze Columbia v New Yorku. Leta 1883 je študij končal in se odpravil v Evropo. Dve leti je prebil na univerzi v Cambridgeu, nato je prešel na univerzo v Berlinu. Tam je pri Helmholtzu doktoriral, se vrnil v ZDA in postal predavatelj na univerzi Columbia. Med prvimi v ZDA je delal poskuse z rentgenskimi žarki. Leta 1895 je razširil Heavisidovo delo in dobil patent za pupinizacijo. Tuljave na določeni razdalji v vodniku zmanjšajo popačenje signala. Patent je bogato prodal, čeprav ga je družba, ki ga je kupila, komaj izkoristila, ker je razpolagala s svojimi patenti.

## Maxwellove enačbe

Nemški fiziki so privzeli, da naelektreno telo deluje na drugo tako telo po praznem prostoru *na daljavo*. Izhajali so iz Coulombovega zakona za mirujoči telesi in dodatno upoštevali, da se delovanje ne razširi v trenutku. To je nasprotovalo Maxwellovemu *delovanju na blizu*, to je *delovanju polja*. Pri tem je

sila na telo odvisna od vrednosti količin in njihovih odvodov po času in kraju na mestu telesa. Helmholtz je na enotni osnovi obravnaval dve od teorij z delovanjem na daljavo in Maxwelllovo teorijo. S spreminjanjem vrednosti parametrov, ki jih je uvedel, je lahko napovedal izid poskusa v vsaki od treh teorij.

Enačbe v Maxwellovih člankih so bile zapletene, ker jih je dosledno pisal s komponentami v trirazsežnem prostoru. Leta 1873 je Maxwell izdal svoje veliko delo *Razprava o elektriki in magnetizmu*. V njem je enačbe poskusil poenostaviti s *kvaternioni*. Kvaternioni imajo enake lastnosti kot števila, le da v štirih dimenzijah. Pri njih se je treba odpovedati komutativnostnemu zakonu pri množenju. Opisal jih je leta 1853 William Rowan Hamilton. Hamilton je dolgo iskal tako možnost v treh dimenzijah in nazadnje spoznal, da ne obstaja. V dveh dimenzijah imajo take lastnosti kompleksna števila.

Kvaternion sestavljajo skalarna komponenta in tri vektorske komponente (ime *vektor* je vpeljal Hamilton). Enačbe Maxwellove elektrodinamike s kvaternioni so še manj nazorne in so vzbujale še večji odpor kot enačbe v komponentah. Zato je Maxwell *Razpravo* začel predelovati, a predelave ni dokončal. Upoštevali so jo v poznejših izdajah.

## Oliver Heaviside

Heaviside je leta 1873 morda zaradi izida *Razprave* zapustil službo. Zapisal je: »Videl sem, da je [*Razprava*] velika, večja in največja, z ogromno možnostmi. Bil sem odločen, da jo bom obvladal [...] Vzelo mi je nekaj let, preden sem razumel, kolikor sem pač bil zmožen razumeti. Potem sem Maxwella dal na stran in šel po svoji poti. Napredoval sem veliko hitreje.« [3]

Heaviside se je oprl na vektorje. Prišlo je do precej odmevnega spora med »kvaternionisti« in »vektoristi«. Danes ima večina fizikov kvaternione za nekoristne. Za vektorje se je zavzel tudi ameriški fizikalni kemik Josiah Willard Gibbs, ki se je prav tako kot Heaviside, neodvisno od njega, dokopal do vektorskega računa. Uporaba vektorjev je enačbe močno poenostavila. Heaviside je naposled dvajset Maxwellovih enačb, ki niso bile vse neodvisne druga od druge, nadomestil s štirimi preglednimi vektorskimi enačbami, ki jih poznamo danes. Nekaj časa so jih imenovali Heaviside-Maxwellove enačbe, dokler se ni ustalilo današnje ime – *Maxwellove enačbe*. Vektorji so popolnoma prevladali nad kvaternioni. Heavisidovo in Gibbsovo zaslugu za njihovo uveljavitev pa le redko omenijo.



**Slika 2.** Oliver Heaviside (1850–1925) je bil rojen v revnem delu Londona. V srednji šoli je pokazal svoje zmožnosti. Zaradi revščine pa si družina ni mogla privoščiti, da bi nadaljeval šolanje. Tako je ostal brez formalne izobrazbe. Študiral pa je sam. Leta 1869 je sprejel službo na brzojavnem uradu. Ob izidu Maxwellove Razprave o elektriki in magnetizmu je službo pustil. Nazadnje je bistveno preoblikoval Maxwellovo elektrodinamiko. Leta 1880 je raziskoval kožni pojav in patentiral koaksialni vodnik. Raziskoval je potovanje elektromagnetnega signala po ravnem vodniku in izpeljal telegrafsko enačbo. Za elektrotehniško revijo je pisal članke, ki so pozneje izšli v obsežnem zborniku. Veliko je naredil tudi v matematiki, v kateri pa so mu očitali, da je površen. Pozneje so njegove korake utemeljili matematiki. Heaviside je bil posebej. Z leti so postala njegova dejanja vse bolj nenavadna.

## Heinrich Hertz

Maxwell je uvedel premikalni tok: spremenljivo električno polje ima enak magnetni učinek kot tok električnih nabojev po vodniku. To je bil eden od najbolj spornih delov Maxwellove teorije. Pri nagradni nalogi berlinske akademije je bilo treba izmeriti magnetno polje premikalnega toka. Hertz je uvidel, da naloge z razpoložljivimi napravami ne more rešiti brez ovinkov: »Toda vseeno sem si prizadeval, da bi našel kako novo pot, in tedaj se je moje zanimanje usmerilo na vse, kar je povezano z električnim nihanjem«. [4] Električno nihanje v nihajnem krogu iz tuljave in kondenzatorja so raziskovali že nekaj časa. Leta 1853 je William Thomson izpeljal enačbo za nihajni čas nihajnega kroga. Različni raziskovalci so opozorili na električno nihanje v precejšnji razdalji od kroga. Pojava pa niso spremljali, ker so mislili, da gre za indukcijo.

Hertzov laboratorij v Karlsruheju je bil dobro opremljen. V njem sta bili dve veliki tuljavi, iz katerih je sestavil nihajna kroga in začel delati poskuse. V razpravi o zelo hitrih električnih nihanjih je opisal oddajni nihajni krog in sprejemni nihajni krog. Oddajni krog je poganjal s sunki električne napetosti. Po iskrah v iskrišču sprejemnega kroga je sklepal, da nihanje v oddajnem krogu povzroča nihanje v

sprejemnem krogu. Iskrišče sta sestavljali kovinski kroglici s premerom po dva centimetra, katerih razdaljo je naravnaval z mikrometrskim vijakom. Tok je bil tem večji, čim večja je bila razdalja med kroglicama, pri kateri so se pojavile iskre.



**Slika 3.** Heinrich Hertz (1857–1894) je bil rojen v Hamburgu. Po navadi nemških študentov je študiral na več univerzah, nazadnje na univerzi v Berlinu. Tu je leta 1880 pri Helmholtzu zagovarjal doktorsko delo. Potem je bil tri leta Helmholtzov asistent. Leta 1883 je sprejel mesto profesorja na univerzi v Kielu in nato na tehniški visoki šoli v Karlsruheju. Nazadnje je leta 1889 prešel na univerzo v Bonnu. Tu je obravnaval Maxwellovo elektrodinamiko s teoretične strani. Maxwellove enačbe v vakuumu je zapisal tako, da se je jasno pokazala simetrija med električnim in magnetnim poljem. Enačbe so nekaj časa imenovali Hertz-Maxwellove enačbe. Hertzovi sklepi so bili podobni Heavisidovim. Za ta korak je Hertz prvenstvo priznal Heavisidu.

Sčasoma sta iz nihajnih krogov nastala *nesklenjena ali odprta nihajna kroga* v obliki dolge medeninaste žice s kroglama na krajiščih. V iskrišču sprejemnega kroga so iskre preskakovale najizdatneje, ko se je frekvenca tega kroga ujemala s frekvenco oddajnega kroga, torej ko sta kroga bila v resonanci. Frekvenco je ocenil na sto milijonov nihajev na sekundo. Opazil je, da iskre v krogu povzročajo iskre v bližnjem krogu, če je mogoče prvo iskrišče videti iz drugega. Tako je odkril *fotoelektrični pojav*, ki pa ga ni utegnil raziskati.

Pri vrsti novih poskusov je sprejemni krog postavil v vse večjo razdaljo od oddajnega kroga, ki je bil z njim v resonanci. Z merjenjem je ugotovil, da učinki pojemajo obratno sorazmerno z razdaljo. To je bilo znamenje, da gre za valovanje. Učinki mirujočega naboja namreč pojemajo obratno sorazmerno s kvadratom razdalje. Hertz je odkritje opisal v posebni razpravi leta 1887. Še istega leta je opisal induksijske pojave v izolatorju. Helmholtzu je razpravo poslal s pripombo: »Ne morem si kaj, da Vam ne bi poslal tega dela, ker obravnava predmet, na katerega ste me opozorili pred leti. Nenehno sem imel pred očmi to nalogo in končno sem našel pot

k njeni rešitvi, ki je nazadnje dala jasen rezultat. Najbrž se ne motim, če imam opisani poskus za dovolj prepričljiv. Mislim, da morejo biti uporabljena električna nihanja zelo pripravna v elektrodinamiki neskljenjenih tokov. Naredil sem že nekaj nadaljnjih korakov.« [4]

Vrsta poskusov je Hertzmu pokazala, da obstaja elektromagnetno valovanje z valovno dolžino okoli tri metre, kar je veliko več od valovne dolžine vidne svetlobe. Tako je odkril *radijske valove* in si prislužil nagrado pruske akademije. S poskusi je posredno potrdil, da obstaja premikalni tok. Brez tega toka namreč ne bi bilo mogoče pojasniti radijskih valov. Pozneje je Hertz izpopolnil teorijo, spremenil okoliščine in delal poskuse z valovanjem z valovno dolžino 30 centimetrov. Leta 1889 je sprejel Maxwellovo teorijo in v njenem okviru raziskal električne in magnetne silnice. Obravnaval je dipol, to je droben pozitivni naboj in negativni naboj z enako absolutno vrednostjo, ki nihata drug proti drugemu. Silnice se napihujejo, stiskajo, odlepajo in po prostoru potujejo s hitrostjo svetlobe.

Leta 1889 je poročal o novih poskusih. Valovanje iz ravne antene je z odbojem na pločevini, zviti v plašč parabolnega valja, zbral v skoraj vzporeden curek kratkih radijskih valov. Kot sprejemnik je uporabil ravno anteno z iskriščem na sredi. Opazoval je pojave, ki jih poznamo pri svetlobi. Radijski valovi so se odbili na ravni pločevini tako, da je veljal odbojni zakon. Na orjaški prizmi iz asfalta so se lomili tako, da je veljal lomni zakon. Opazoval je uklon in interferenco. Kot uklonska mrežica je delovala vrsta navpičnih kovinskih palic v enakih razmikih.

Hertzeve poskuse so v kratkem ponovili Oliver Lodge v Angliji, Augusto Righi v Italiji, Aleksandr Stepanovič Popov v Rusiji in Eduard Branly v Franciji. Sprva nobeden od njih, enako kot Hertz, ni pomislil na možnost, da bi novi pojav uporabili za prenašanje sporočil. Med prvimi je možnost

omenil William Crookes leta 1892. Drugi pa so bili prepričani, da ni mogoče »z električnimi silami vzbuditi valovnih motenj v etru«. Po letu 1894 se je naloge lotil Guglielmo Marconi in postopno prenašal sporočila z radijskimi valovi na vse večje razdalje. Ob začetku novega stoletja so Marconijeva sporočila iz Evrope že segla do Amerike. Poskuse je delal tudi Nikola Tesla, ki je uvedel več izboljšav. Zaradi pomanjkanja sredstev pa jih ni nadaljeval. Pri vseh navedenih poskusih so bili Hertzevi valovi močno dušeni, kar pomeni, da so hitro zamrli, in je bilo treba oddajni krog nenehno spodbujati. Na začetku 20. stoletja so razvili vakuumske elektronke in z njimi sestavili oscilator, ki je dajal nedušeno nihanje. Šele tedaj je bilo mogoče z radijskimi valovi prenašati govor in glasbo in ne samo Morsejeve abecede. Zaradi Hertzevega odkritja radijskih valov so fiziki razmeroma hitro opustili delovanje na daljavo in sprejeli Maxwellovo elektrodinamiko.

Maxwellove enačbe v današnji obliki za prazen prostor:

$$\operatorname{div} \vec{E} = 0, \quad (1)$$

električno polje nima izvirov.

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0, \quad (2)$$

magnetno polje nima izvirov.

$$-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \operatorname{rot} \vec{E}, \quad (3)$$

spremenljivi magnetni pretok povzroči vrtince električnega polja.

$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \operatorname{rot} \vec{B}, \quad (4)$$

spremenljivi električni pretok povzroči vrtince magnetnega polja.

Del nesimetrije je navidezen, ker magnetno polje opišemo z *gostoto*  $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$  in ne z jakostjo, električno polje pa z *jakostjo*  $\vec{E}$  in ne z gostoto  $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$ .

Nesimetričen je minus v tretji enačbi.

## Literatura

- [1] F. J. Dyson, Why is Maxwell's theory so hard to understand, na spletu: <http://www.damtp.cam.ac.uk/user/tong/em/dyson.pdf>, (maj 2015).
- [2] M. Pupin, Od pastirja do izumitelja, DZS, Ljubljana 1977.
- [3] P. J. Nahin, Oliver Heaviside, Scientific American (1990), 80–87 (6); B. J. Hunt, Oliver Heaviside. A first-rate oddity, Physics Today 64 (2011) 48–54 (11).
- [4] J. Strnad, Fiziki. V. del, Modrijan. Ljubljana 2005, str. 114–123.



# Osvetljenost podnevi, ponoči, v sobi

dr. Mitja Rosina

Zaslužni profesor Fakultete za matematiko in fiziko  
Univerze v Ljubljani

## Povzetek

Da bi bralci dobili kvantitativno predstavo, sem zbral nekaj preglednih tabel, kakšne osvetljenosti srečamo v naravi ali v sobi in kakšne svetilnosti imajo tipična svetila. Predlagal sem tudi dva poskusa, ki naj vzpodbudita preproste meritve.

## Abstract

In order to encourage quantitative observations, a review of the types of illuminance outdoors and indoors is presented, as well as the luminous intensity of typical lamps. Two experiments are described for conducting several simple measurements.

## Uvod

Čeprav poglavja o svetilnosti in osvetljenosti ni v osnovnem učnem načrtu, je koristno ta pojma razčistiti, saj sicer učenci ne bodo razumeli, kakšne svetilke bodo nekoč kupovali. Pa tudi sicer je dobro imeti nek kvantitativen občutek pri opazovanju narave in bivalnih prostorov. Pri tem je treba upoštevati, da se fizikalni in pogovorni jezik zelo prepletata in je površna raba pojmov dvoumna.

Energijski tok svetlobe ( $P$ ) nam običajno pomeni vso energijo, ki jo nosi elektromagnetno valovanje v vidnem območju, medtem ko svetlobni tok ( $\Phi$ ) izraža fiziološki učinek te svetlobe. Ker je fiziološki učinek odvisen od valovne dolžine svetlobe (za rdečo in modro je manjši kot za rumeno-zeleno), lahko svetlobni tok obravnavamo kot nekakšen »efektivni energijski tok svetlobe« ali »občuteni energijski tok svetlobe« in zapišemo:

$$\Phi = \int \frac{dP}{d\lambda}(\lambda) \cdot u(\lambda) d\lambda.$$

Pri tem je  $u(\lambda)$  učinkovitost svetlobe pri dani valovni dolžini. Raje recimo učinkovitost kot izkoristek. Izkoristek namreč pomeni razmerje med energijskim tokom svetlobe  $P$  in močjo  $P_p$ , ki jo troši svetilka (tudi za toploto).

Energijski tok in svetlobni tok sta dve različni fizikalni količini, imata pa isto dimenzijo in bi ju lahko izražali z istimi enotami. Razvada pa je, da izražamo energijski tok z vati in svetlobni tok z lumini ( $1 \text{ W} = 683 \text{ lm}$ ). Mi se bomo seveda držali te razvade, da se bomo lažje pogovarjali z »inženirji« in da ne bo nesporazumov.



Grda pa je trditev, da sta energijski tok svetlobe ( $P$ ) in svetlobni tok ( $\Phi$ ) isti količini, samo da prvo izražamo s »fizikalnimi enotami«, vati (W), drugo pa s »fiziološkimi enotami«, lumini (lm). Inženirji imajo navado, da izbira enote namiguje na njeno uporabo, npr. herz (Hz) namiguje na nihala ali nihajne kroge, medtem ko bekerel (Bq) namiguje na radioaktivnost. Za fizika pa so to sinonimi,  $1 \text{ Hz} = 1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$ . Tako sta za fizika sinonima tudi vat in 683 lm.

## Osvetljenost

Osvetljenost je svetlobni tok na enoto plosčine,  $j = \frac{\Phi}{S}$ . Izražamo jo z luksii ( $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$ ). Koristna količina je tudi svetilnost, to je svetlobni tok na enoto prostorskega kota,  $I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$ . Svetilnost je odličen podatek o tem, kakšna je osvetljenost v različnih razdaljah, saj osvetljenost pojema s kvadratom razdalje  $r$ :

$$j = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{d\Phi}{r^2 d\Omega} = \frac{I}{r^2}.$$

Če je porazdelitev svetlobe v vse smeri enaka, seva svnilo v prostorski kot  $\Omega = 4\pi$  in velja  $I = \frac{\Phi}{4\pi}$ .

Z osvetljenostjo lahko izrazimo, koliko je v naravi ali v sobi svetlo ali temno. V tabeli 1 podajam nekaj zgledov. Dodajte še svoje meritve.

**Pravilna osvetljenost je pomembna za naše aktivnosti, zlasti za branje.**

**Tabela 1:** Osvetljenost v različnih okoliščinah [1].

Osvetljenost (lx)	Primer
$10^{-5}$	svetloba zvezde Sirij, najsvetlejše zvezde na nočnem nebu
$10^{-4}$	skupna svetloba zvezd
0,002	jasno nebo brez Lune
0,01	prvi in zadnji krajec Lune
0,27	polna Luna v jasnem vremenu
1	polna Luna v zenitu v tropskih krajih
3,4	pričetek mraka pri jasnem nebu
50	običajna dnevna soba
80	hodnik/stranišče
100	zelo temen in oblačen dan
320–500	osvetljenost v pisarni
400	sončni vzhod ali zahod ob jasnem vremenu
1000	oblačen dan; običajna osvetljenost v TV-studiu
10.000–25.000	polna dnevna svetloba brez neposredne sončne osvetlitve
32.000–130.000	neposredna sončna osvetlitev

**Pravilna osvetljenost je pomembna za naše aktivnosti, zlasti za branje.** Pri neposredni sončni osvetlitvi ( $10^5 \text{ lx}$ ) se preveč blešči, oči preveč trpijo, da bi lahko brali. Nasprotno pa je ob polni Luni pretemno (0,27 lx) in tudi ne moremo brati, kvečjemu zelo velike črke.

## PRVI POSKUS

Napravil sem zanimiv poskus [2], s katerim sem ocenil ti dve osvetljenosti. Primerjal sem ju z osvetlitvijo, ki prihaja od žarnice. Stovatno žarnico sem čisto približal časopisu; bilo je zelo svetlo, toda bral sem še udobno. Žarnica je imela svetilnost  $I \approx 100$  cd, oddaljenost žareče nitke  $R$  je bila kakih 10 cm, kar ustreza osvetljenosti  $j = \frac{I}{R^2} = 10\,000$  lx.

Sklepam, da je osvetljenost od Sonca precej večja, kar je v skladu s podatkom  $j = 100\,000$  lx za ploskev, ki gleda pravokotno na Sonce (glej tabelo 1).

Enovatno žepno svetilko pa sem smel oddaljiti največ 2 m, da sem še lahko s trudom bral navadni tisk v časopisu. Podoben rezultat sem dobil s svečo, ki naj bi tudi svetiła z 1 cd (»eno svečo«). Temu ustreza osvetljenost 0,25 lx; polna Luna torej sveti v običajnih okoliščinah še nekoliko manj, recimo  $j = 0,2$  lx = 0,2 luksa = 0,2 lumen/m<sup>2</sup>, kar približno ustreza podatkom v tabeli 1.

## ALI JE MOGOČE NA PLUTONU BRATI?

To je zanimiv zgled za razmislek [3]. Pluton je 40-krat dlje od Sonca kot Zemlja. Ker je svetiło (Sonce) isto, osvetljenost pa pojema s kvadratom razdalje ( $j = \frac{I}{R^2}$ ), je osvetljenost na Plutonu  $40^2 = 1600$ -krat manjša kot na Zemlji, torej  $j = \left(\frac{100\,000}{1600}\right)$  lx = 60 lx. To pa je večerno branje ob luči.

## Varčne žarnice

Ali so »varčne žarnice« (varčne fluorescentne sijalke) zares varčne? Na reklami piše, da osemvatna varčna sijalka sveti enakovredno kot 40-vatna navadna žarnica z volframovo nitko. Predlagam, da to preverimo.

Navadna žarnica z žarečo nitko ima slab izkoristek, ker se večji del energije pretvori v toploto s sevanjem in prevajanjem. Varčne sijalke (fluorescentne sijalke) pa običajno vsebujejo živosrebrne pare, ki sevajo ultravijolično, toda na steni se ultravijolična svetloba pretvori v »belo«. Izkoristek je nekajkrat boljši kot pri navadnih žarnicah, vendar svetloba ni tako prijetna in še dražje so. Do 30-odstotno učinkovitost pa imajo svetleče diode (LED – angl. *light-emitting diodes*).

Najprej si oglejmo učinkovitost žarnice z žarečo nitko in jo primerjajmo z učinkovitostjo vročega črnega telesa pri temperaturi  $T$  ter z učinkovitostjo idealnega monokromatskega svetila zelene barve z valovno dolžino 555 nm, pri kateri je oko najbolj občutljivo (tabela 2). Učinkovitosti primerjamo z idealnim svetilom, ki mu pripišemo učinkovitost 100 % (683 lm/W).

V tabeli 3 primerjamo še učinkovitosti žarnice z žarečo nitko, fluorescentne sijalke in svetleče diode. Kot vidimo, potrebuje kompaktna fluorescentna sijalka približno petkrat manjšo moč za enak svetlobni učinek kot žarnica z žarečo nitko (sodobna elektronsko kontrolirana fluorescentna sijalka ima učinkovitost okrog 60 lm/W). Svetleča dioda pa potrebuje desetkrat manjšo moč kot žarnica z žarečo nitko.

Ali so »varčne žarnice« zares varčne?

**Tabela 2:** Učinkovitost volframove žarnice z žarečo nitko, črnega telesa pri temperaturi  $T$  in idealnega zelenega svetila [4].

Moč (W) / $T$ (°C) / idealno	Učinkovitost (%)	Cd (sveč)	lm / W
40 W	1,9	40	12,6
60 W	2,1	69	14,5
100 W	2,6	139	17,5
4000 °C	7		47
7000 °C	14		95
zelena	100		683

**Tabela 3:** Moč porabe svetleče diode (LED) in klasične žarnice z žarečo nitko [5]. Moč kompaktne (varčne) fluorescentne sijalke pa sem ocenil iz podatkov v [6, 7].

Svetlobni tok (lm)	LED (W)	Fluorescentna (W)	Žareča nitka (W)
50–150	1		8–10
150–250	2		18–20
250–350	3	5	20–30
350–450	4	7	30–40
450–550	5		40–50
550–650	6	11	50–60
650–750	7		60–70
750–900	8	15	70–80
950–1050	9		80–90
1050–1200	10	20	90–100

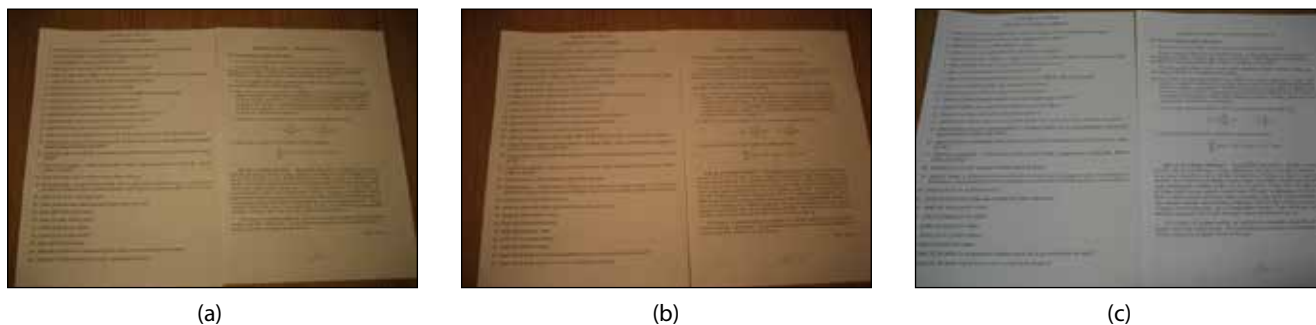
Rad bi opozoril, da je pri iskanju podatkov z interneta potrebno nekaj previdnosti. V prispevku [5] so podatki za moč fluorescentne sijalke zelo blizu moči žarnice z žarečo nitko; ne vem, ali so podatki zastareli ali jih proizvajalec svetlečih diod navaja za bolj-šo konkurenčnost ali pa so tam pomotoma navedeni podatki za halogensko žarnico.

## DRUGI POSKUS

Svetilnost žarnic sem primerjal z digitalnim fotoaparatom [8]. Na mizo sem položil bel papir z besedilom in slikal. Avtomatski fotoaparati se sam prilagodi osvetljenosti in sporoči podatke o slikanju. Svetlobni tok, ki ga fotoaparati sprejme, je sorazmeren z osvetljenostjo papirja, s časom ekspozicije in kvadratom premera zaslonke.

Vzel sem navadno žarnico (40 W, 415 lumnov) in »varčno sijalko« (8 W, 400 lm). Pri prvi je fotoaparati sporočil osvetlitev  $1/40$  s in premer odprtine 2.8, pri varčni pa osvetlitev  $1/50$  s in premer odprtine 2.8. Torej imata res približno isto svetilnost (tako kot piše v reklamah). Tudi vidni vtis je podoben, le da je pri navadni žarnici svetloba bolj rdečkasta, pri varčni pa bolj bela. Obe žarnici sem postavil 60 cm nad papir, torej je bila osvetljenost po podatkih za navadno žarnico  $\frac{\Phi}{4\pi r^2} = 92$  lx, če predpostavim izotropno porazdelitev. Podobno velja za varčno žarnico (slika 1a in b).

Primerjal sem tudi s svetilko LED (18 W, 2000 lm), le takšno sem imel pri roki, vendar sem jo postavil na 172 cm namesto na 60 cm. Osvetljenost naj bi torej bila  $\frac{\Phi}{4\pi r^2} = 54 \text{ lx}$ . In res je fotoaparatus pri zaslonki 2.8 potreboval dvakrat več časa (1/25 s) za podoben vidni vtis kot zgoraj, le da je svetloba še bolj bela (slika 1c). Sklepanje je seveda zelo približno, saj svetilka LED sveti pretežno navzdol, vendar jo prosojna »buča« precej razprši, porazdelitve pa nisem preveril.



**Slika 1.** Primerjava osvetljenosti z žarnico z žarečo nitko (a), z varčno fluorescentno sijalko (b) in s svetlečo diodo (LED) (c).

## Zaključek

Osvetljenost običajno merimo s primernim svetlometerom (fotocelico). Predlagal sem dva preprosta poskusa, kako lahko ocenimo osvetljenost s priročnimi sredstvi. Pri prvem poskusu jo primerjamo kar s prostim očesom z neko znano osvetljenostjo. Namen drugega poskusa pa je pokazati, da je mogoče osvetljenost oceniti kar s fotografiranjem z digitalnim fotoaparatom, ki ga ima vsak pri roki.

Rad bi še omenil, da se na internetu najdejo marsikatero domiselne meritve, npr. merjenje osvetljenosti šolskih prostorov in telovadnice v okviru dijaškega projekta [9]. Pri takih projektih bi bilo dobro opisati delovanje svetlomera in kritično primerjati rezultate, pridobljene z dvema različnima svetlometeroma.

## Viri in literatura

- [1] <https://sl.wikipedia.org/wiki/Osvetljenost> (oktober, 2015).
- [2] M. Rosina, Presek 33#5, 9.
- [3] M. Rosina, Presek 33#5, 9.
- [4] <https://sl.wikipedia.org/wiki/Žarnica> (oktober, 2015).
- [5] <http://www.superstrela.com/kratice-pojmi.html> (oktober, 2015).
- [6] <http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT408.htm> (oktober, 2015).
- [7] <http://www.energyneighbourhoods.eu/en/node/133136> (oktober, 2015).
- [8] M. Rosina, Presek 38#6, 19.
- [9] [http://www.gimb.org/docs/Dejavnosti/2011S\\_Osvetljenost\\_sportnih\\_objektov.pdf](http://www.gimb.org/docs/Dejavnosti/2011S_Osvetljenost_sportnih_objektov.pdf) (oktober, 2015).

# Z LED so osvetlili svet – Nobelova nagrada za fiziko v letu 2014

Milenko Stiplovšek  
Zavod RS za šolstvo

## Povzetek

Članek opisuje vložene napore in težave, ki jih je bilo treba premagati pri iskanju postopka za izdelavo svetlečih diod (LED), ki sevajo modro svetlobo. Predvsem govori o pristopih, ki so jih uporabili Nobelovi nagrajenci za fiziko v letu 2014 in z njimi uspeli premagati težave, ki so mnoge raziskovalce odvrnile od nadaljevanja raziskovalnega dela na področju izdelave modrih svetlečih diod s pomočjo kristala GaN – galijevega nitrida. Opisane so možnosti uporabe svetlečih diod, ki sevajo modro in UV-svetlobo.

## Abstract

The article describes the efforts invested and the problems which had to be overcome when searching for a procedure for manufacturing LEDs that emit a blue light. It discusses above all the approaches employed by the winners of the Nobel Prize in Physics 2014, with which they succeeded in overcoming the problems that had discouraged many researchers from continuing their research into the manufacture of blue LEDs using the GaN – gallium nitride crystal. It describes the possibilities of using LEDs that emit blue and UV light.

## Objava Nobelove nagrade za fiziko v letu 2014

Kraljeva švedska akademija znanosti je določila, da Nobelovo nagrado za fiziko v letu 2014 prejmejo Isamu Akasaki, Hiroshi Amano in Shuji Nakamura za odkritje učinkovitih svetlečih diod, ki sevajo modro svetlobo in so omogočile izdelavo svetlih in varčnih virov bele svetlobe. Nagrada se med nagrajence razdeli enakovredno.

## Pomen odkritja

Ko so Isamu Akasaki, Hiroshi Amano in Shuji Nakamura iz svojih polprevodnikov leta 1990 uspeli pridobiti dovolj velik tok fotonov modre svetlobe, so preoblikovali temelje na področju tehnologij, povezanih z osvetljevanjem. S temi fotoni je mogoče vzbujati atome v fluorescenčni plasti, ki nato sevajo fotone drugih barv, potrebnih za sestavo bele svetlobe.

Isti princip je uporabljen tudi v sijalkah oz. fluorescenčnih ceveh, le da so tam izvor fotonov s kratko

valovno dolžino vzbujeni atomi v pari živega srebra. Vzbujeni atomi v fluorescenčnem premazu na notranji strani cevi izsevajo različne fotone, potrebne za sestavo bele svetlobe.

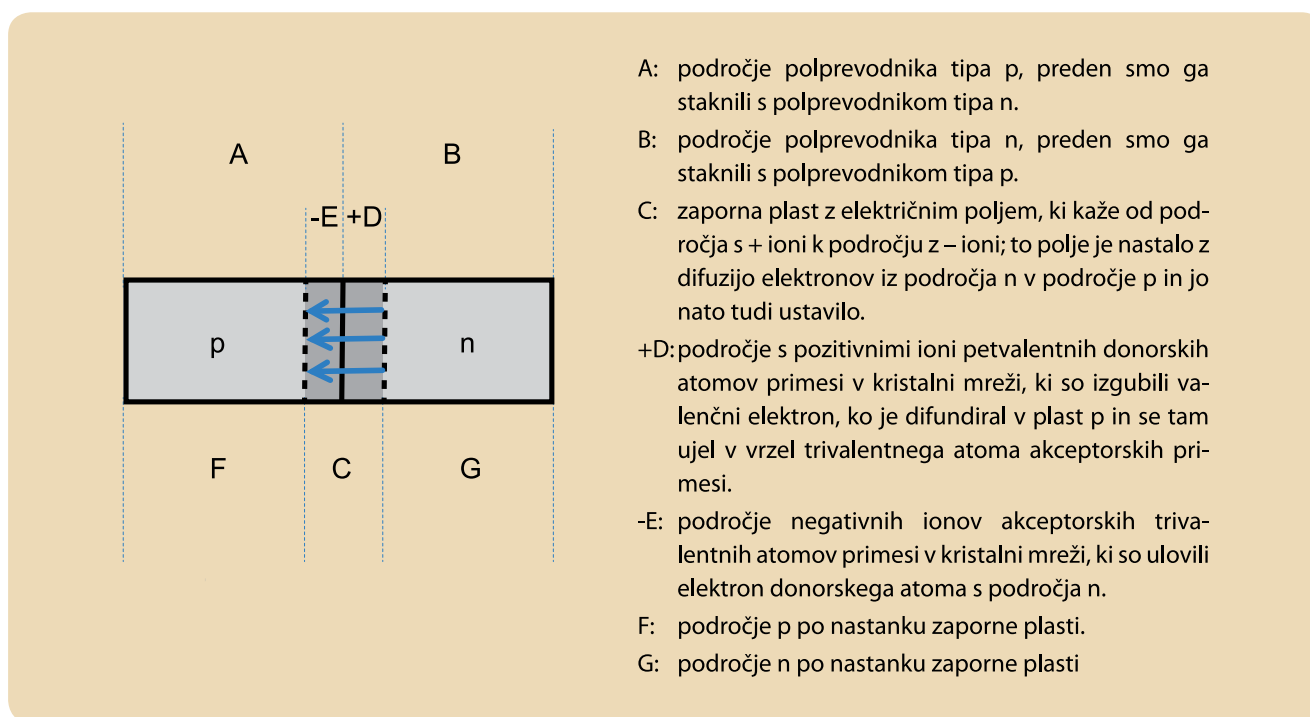
Bistvena razlika med obema sistemoma je v izkoristku – pri diodah se v izsevano vidno svetlobo spremeni znatno večji del vložene energije kot pri sijalkah (in seveda še bistveno večji del kot pri žarnicah z žarilno nitko). Diodi so tudi prijaznejše do okolja, saj ne vsebujejo živega srebra, njihova povprečna življenjska doba pa je običajno  $10^5$  ur, kar je približno desetkrat več od običajne življenjske dobe fluorescentnih cevi. S tem se zmanjšata poraba materiala in količina odpadkov, povezana s proizvodnjo svetil. Potrebe po osvetljevanju predstavljajo približno četrtno porabe električne energije v svetu. Uporaba LED-svetil za osvetljevanje bo tako z zmanjšanjem porabe energije in materiala za te namene gotovo pripomogla k ohranjanju virov, ki jih imamo na voljo na Zemlji.

## Nekaj fizike in zgodovine

Svetleča dioda (angl. *light-emitting diode*, LED) je, kot ime pove, dioda. Vendar njen osnovni namen ni ločevanje med tokom, ki ga prepušča v prevodni smeri, in tokom, ki ga ne prepušča v zaporni smeri, kar je običajna funkcija diod v vezjih. Z nje-no zgradbo želimo doseči, da bo medtem, ko teče skozi električni tok, oddajala čim več svetlobe.

Vsaka dioda ima polprevodnik tipa p, kjer so gibljivi nosilci naboja pozitivne vrzeli – primanjkljaji elektronov v elektronski ovojnici akceptorskih trivalentnih atomov primesi v kristalu polprevodnika – in polprevodnik tipa n, kjer so gibljivi nosilci naboja »odvečni« negativni elektroni iz elektronske ovojnice donorskih petvalentnih atomov primesi v kristalu polprevodnika. Vgrajevanje donorskih in akceptorskih atomov v kristal polprevodnika imenujemo do-

piranje. Ko staknemo polprevodnika tipa n in p, se na njunem spoju ustvari zaporna plast z električnim poljem (slika 1). To povzroči, da dioda prevaja električni tok le, če priključimo pozitivni pol vira napetosti na diodo tam, kjer je polprevodnik tipa p, in negativni pol tam, kjer je polprevodnik tipa n, in pri napetostih, ki so večje od razlike električnih potencialov, ki ustvarja polje v zaporni plasti. Ko priključka vira napetosti na diodo med seboj zamenjamo (diodo priključimo v zaporni smeri), teče skozi tok, ki je zanemarljivo majhen. Če napetost, priključeno v zaporni smeri, zelo povečamo, lahko povzročimo ionizacijo, kar uporabljamo za stabilizacijo napetosti z diodami zener. Tok skozi diodo ni premo sorazmeren z napetostjo na diodi, zato pravimo, da je dioda nelinearen element [1] [2] [3].



**Slika 1:** Shematski prikaz zgradbe polprevodniške diode in opis nastanka zaporne plasti.

Svetloba nastane v diodi takrat, ko teče skozi tok in se elektroni in vrzeli rekombinirajo v zaporni plasti (slika 2). Pri rekombinaciji sproščena energija je dokaj točno določena, zato svetleče diode sevajo enobarvno svetlobo. Energija, ki se sprosti, in s tem valovna dolžina nastale svetlobe sta v celoti odvisni od uporabljenih polprevodniških materialov.

Prvo poročilo o svetlobi, izsevani iz polprevodnikov, je že leta 1907 objavil Henry J. Round, sodelavec Guglielma Marconija. V dvajsetih in tridesetih letih

20. stoletja se je v takratni Sovjetski zvezi s pojavom podrobneje ukvarjal Oleg V. Losev, vendar v tistem času znanja, s katerim bi Round in Losev lahko zares razumela dogajanje pri nastanku svetlobe v polprevodnikih, ni bilo. Za to, da smo znali s teorijo podpreti opis elektroluminiscence, je moralo miniti še nekaj desetletij.

Razumevanje dogajanja v polprevodnikih in v spoju p-n je napredovalo v letih okoli leta 1940, kar je leta 1947 privedlo do odkritja tranzistorja v laboratoriji

jih podjetja Bell Telephone v ZDA (Shockley, Bardeen in Brattain so za to odkritje prejeli Nobelovo nagrado leta 1956). Svetleče diode, ki oddajajo rdečo svetlobo, so bile odkrite na koncu petdesetih let prejšnjega stoletja. Uporabljane so bile npr. v digitalnih urah in kalkulatorjih ali kot indikatorji stanja vključeno/izključeno v mnogih različnih aparatih. Tudi svetleče diode, ki oddajajo zeleno svetlobo, so na voljo skoraj pol stoletja. Takoj pa je bilo očitno, da bodo za oddajanje bele svetlobe potrebne svetleče diode, ki oddajajo modro ali ultravijolično svetlobo. Brez uspeha so jih tri desetletja poskušali izdelati v mnogih laboratorijih, čeprav se je v raziskave na tem področju vlagalo veliko. Jasno je bilo, da bi uspeh na tem raziskovalnem področju prinesel pomembno uporabnost odkritja v industriji. Isamu Akasaki, Hiroshi Amano in Shuji Nakamura, dobitniki No-

belove nagrade za fiziko v letu 2014, so bili uspešni na področju, kjer je mnogim spodletelo.

## Težave in skrivnost uspeha

Če želimo, da se pri rekombinaciji elektronov in vrzeli v svetleči diodi izsevajo fotoni modre svetlobe z valovno dolžino pod 480 nm, mora biti za to na voljo energija, ki je večja od 2,6 eV. To pomeni, da bo izsevanje modre svetlobe možno z rekombinacijo elektronov in vrzeli le v polprevodnikih, ki bodo imeli energijsko razliko med stanji elektronov v prevodnem pasu in stanji vrzeli v valenčnem pasu – energijsko režo – nad 2,6 eV! svojem predavanju Kraljevi švedski akademiji znanosti po prejemu Nobelove nagrade. Primerjavo lahko vidimo v spodnji tabeli.

**Tabela 1:** Primerjava lastnosti ZnSe in GaN ter ugotovitev nanju vezanih raziskav v letih od 1960 do 1980, ki jo je podal Isamu Akasaki v svojem predavanju na Kraljevi švedski akademiji znanosti po prejemu Nobelove nagrade (po [1] povzel M. Stiplovšek).

	ZnSe	GaN
Energijska reža	2,7 eV	3,4 eV
Vzgoja kristala	Enostavna	Zelo zahtevna
Osnova za vzgojo kristala	GaAs	Safir ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
Nepравilnosti v kristalni mreži	0,26 %	16 %
Spoj p-n (od 1960 do 1980)	Ni realiziran	Ni realiziran
Število raziskovalcev	Mnogo	Malo
Mehanska in kemična stabilnost	Nizka	Visoka

Isamu Akasaki se je leta 1973 v raziskovalnem inštitutu Matsushita Research Institute Tokyo (MIRT) v Tokiu odločil za raziskovanje GaN, ker ima večjo energijsko režo in ker ni strupen. Leta 1981 je sprejel profesuro na univerzi v Nagoji in nadaljeval delo v sodelovanju s Hiroshijem Amanom in preostali mi sodelavci. Shuji Nakamura se je začel ukvarjati z razvojem modre svetleče diode v družbi Nichia Chemical Corporation na Japonskem, kjer se je zaposlil leta 1979. Leta 1993 je na osnovi njegovih odkritij, s katerimi je nadgradil delo skupine Isamuja Akasakija, stekla industrijska proizvodnja svetlečih diod z GaN, ki so oddajale belo svetlobo. Od leta 1999 dela v Kaliforniji na univerzi Santa Barbara.

Da zraste lep kristal diamanta, je potreben tlak  $52 \cdot 10^8$  Pa (52 000 atm) in temperatura 1200 °C, za

rast kristalov GaN pa je potreben tlak  $45 \cdot 10^8$  Pa (45 000 atm) in temperatura 2530 °C. Kot osnovo, na kateri prične rasti kristal GaN, lahko uporabimo safir, čeprav ima ta drugačno kristalno mrežo. Da dobimo polprevodnik tipa n, ga lahko dopiramo npr. s silicijem, za polprevodnik tipa p se lahko kot primes uporabi magnezij. Žal uporaba primesi zelo vpliva na rast kristala, ki zato postane krhek. Velja tudi, da nepravilnosti v kristalni strukturi GaN privedejo do dobre gibljivosti elektronov v njem, tako da lahko rečemo, da je kristal GaN naravni polprevodnik tipa n.

V Philipsovih raziskovalnih laboratorijih so se začeli resno ukvarjati z novo tehnologijo osvetljevanja na osnovi GaN že ob koncu 50-ih let prejšnjega stoletja. Vendar je bilo v tistem času zelo težko doseči rast kristalov GaN. Uspeli so pridelati le majhne



kristale, ki so tvorili prah in v katerih ni bilo mogoče ustvariti spoja p-n. Zato so delo z GaN opustili in se osredotočili na delo z GaP in na izdelavo svetlečih diod, ki sevajo zeleno svetlobo.

Vzgoja večjih kristalov GaN je bila omogočena s tehniko HVPE (Hydride Vapour Phase Epitaxy) ob koncu 60-ih let prejšnjega stoletja. Številni laboratoriji v ZDA, na Japonskem in v Evropi so preučevali različne pristope, ki bi omogočili rast ustreznih kristalov GaN in njihovo dopiranje za izdelavo modrih svetlečih diod. Toda težave so bile nepremostljive. Ni bilo mogoče doseči potrebne gladkosti površine kristala. Kristal, ki je rasel s pomočjo HVPE, je bil onesnažen s kovinskimi nečistočami. Na akceptorske atome, ki so bili vgrajeni v polprevodnik tipa p, se je vezal vodik in jih naredil neaktivne, a vpliva vodika takrat še niso razumeli. Ker ni bilo napredka, so mnogi raziskave na tem področju ustavili. Ko so leta 1989 Isamu Akasaki, Hiroshi Amano in sodelavci predstavili prvo modro svetlečo diodo s kristalom GaN, se je več kot 99 % raziskovalcev ukvarjalo z rastjo in dopiranjem kristalov ZnSe na osnovi iz GaAs in manj kot 1 % kristali GaN na osnovi iz safirja ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Do uspeha pri izdelavi modre svetleče diode na osnovi GaN je pripomoglo več prelomnih odkritij na področju poznavanja lastnosti snovi, izgradnje kristalov, izdelave polprevodniških heterostruktur in odvajanja nastale svetlobe iz polprevodnikov, ki so jih nagrajenci uspešno uporabili pri svojem delu. Seveda pa so k odkritjem drugih dodali tudi svoja.

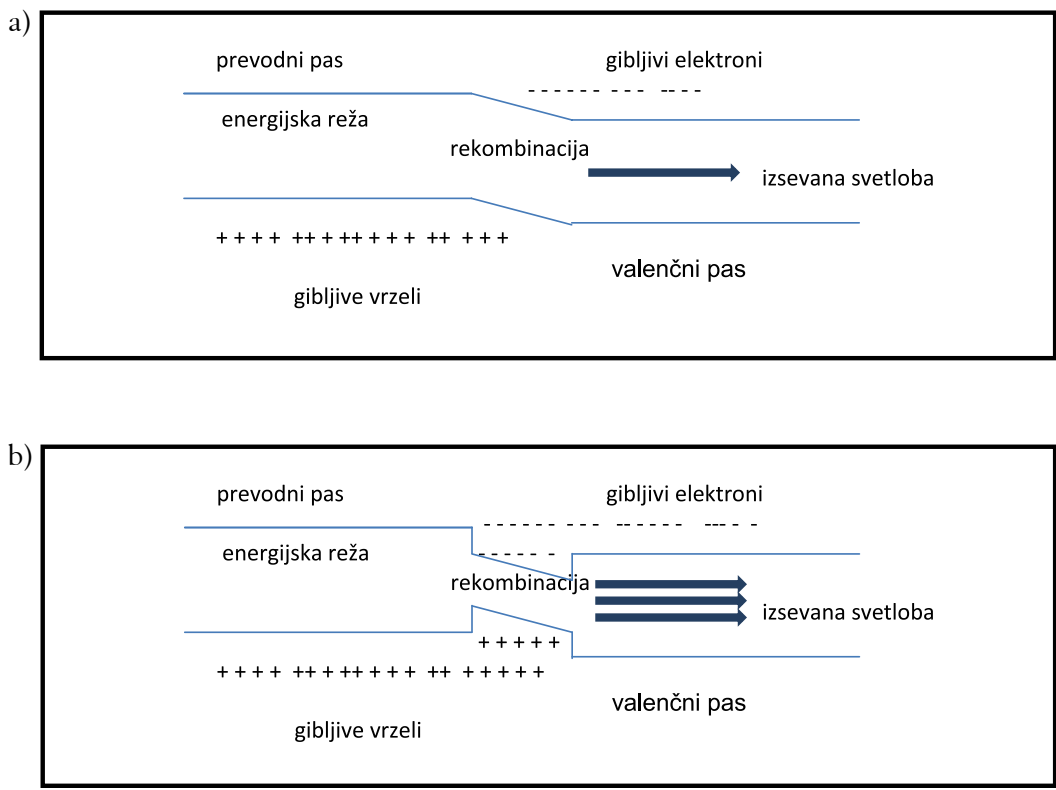
V 70-ih letih sta bili razviti dve novi tehniki vzgoje kristalov – MBE (Molecular Beam Epitaxy) in MOVPE – (Metalorganic Vapour Phase Epitaxy). Vendar je skupina, ki jo je vodil Akasaki in v kateri je ob sodelavcih zelo uspešno delal tudi Amano, uspela šele leta 1986 s pomočjo tehnike MOVPE narediti kristale GaN, ki so bili dovolj kakovostni in imeli tudi dovolj dobre optične lastnosti. Uspeh je bil rezultat velikega števila poskusov in opazovanj, na osnovi katerih so prišli do naslednjega postopka: na osnovo iz safirja so najprej nanesli tanko (30 nm) plast AlN (aluminijevega nitrida) s polikristalinsko strukturo pri temperaturi 500 °C. Nato so to plast segreli do 1000 °C, pri čemer se je njena struktura preoblikovala tako, da je na njej lahko začel rasti kristal GaN, ki je sicer imel na začetku rasti veliko

nepravilnosti, a so se te potem, ko je kristal zrasel do debeline nekaj mikronov, hitro zmanjšale. Tako so dobili kristal z zelo kakovostno površino, ki je pomembna za kasnejše oblikovanje tankih večplastnih struktur v fazah razvoja modre svetleče diode, ki so sledile. To je bil prvi postopek, ki je omogočil izdelavo visokokakovostnih kristalov GaN. Shuji Nakamura je nato s svojim delom v družbi Nichita Chemical Corporation za potrebe industrijske proizvodnje modrih svetlečih diod postopek poenostavil tako, da je plast AlN na safirni osnovi zamenjal kar s tanko plastjo GaN, ki je zrastle pri nizki temperaturi.

Velik problem pri oblikovanju spoja p-n v kristalu je predstavljalo kontrolirano dopiranje kristala z akceptorji, da bi dobili polprevodnik tipa p. Ob koncu 80-ih let sta Amano in Akasaki s sodelavci opazila pomembno dejstvo: če je bil kristal GaN tipa p, dopiran s cinkom, pregledan z elektronskim mikroskopom, je po tem pregledu dioda oddajala več svetlobe kot pred njim. Podobno je veljalo, če so z magnezijem dopiran kristal GaN tipa p obstreljevali z nizkoenergijskimi elektroni. To je bil pomemben prelom na področju oblikovanja spoja p-n v kristalu GaN. Učinek obstreljevanja z elektroni je nekaj let kasneje pojasnil Nakamura s sodelavci: Akceptorji, kot sta magnezij ali cink, tvorijo z vodikom spojine in postanejo zato neaktivni. Elektronski curek disociira molekule teh spojin in s tem aktivira akceptorje. Nakamura je pokazal tudi, da lahko akceptorske atome magnezija aktiviramo celo z ustrežno termično obdelavo. Učinek vodika pri nevtralizaciji funkcije primesi v polprevodnikih iz drugih materialov je bil poznan že prej in o njem so poročali J. I. Pankove, G. F. Neumark Rothschild in drugi.

Bistven korak pri razvoju modre svetleče diode je bil napredek pri izdelavi kristala tipa p s pomočjo zlitin AlGaN in InGaN, kar je potrebno za nastanek heterospojev v diodi. Dioda s heterospoji sta na začetku 90-ih let izdelali obe raziskovalni skupini – Akasakova in Nakamurova.

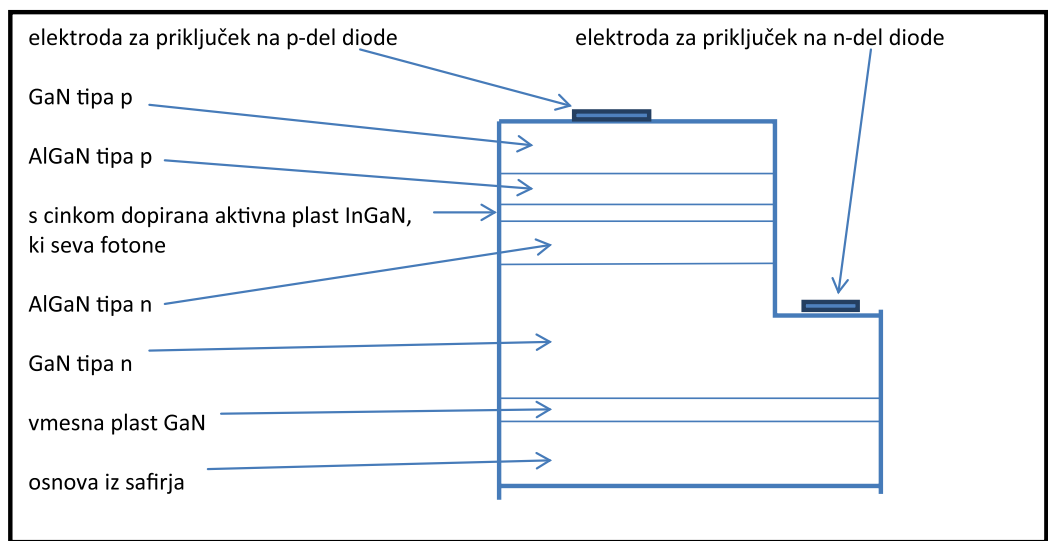
Pri razvoju infrardečih in laserskih diod se je pokazalo, da so heterospoji in kvantne jame bistveni za doseganje učinkovitosti teh diod. V takšnih strukturah so elektroni in vrzeli zbrani na majhnem področju, kjer pa rekombinacija poteka učinkoviteje in z manj izgubami kot v enojnem spoju p-n (slika 2).



V prihodnje bi lahko diode AlGaIn/GaN, ki oddajajo UV-svetlobo, uporabili tudi za prečiščevanje vode, saj ta svetloba uničuje bakterije in viruse.

**Slika 2:** Shematski prikaz pogojev za rekombinacijo v enojnem spoju p-n (a) in v dvojnem spoju heterostrukture, ki ima vmesno plast polprevodnika z manjšo energjsko režo (b).

Za večjo učinkovitost modrih svetlečih diod so Akasaki in sodelavci razvili heterostrukture na osnovi AlGaIn/GaN, medtem ko je Nakamura s sodelavci z velikim uspehom uporabljal kombinaciji InGaIn/GaN in InGaIn/AlGaIn. Prelomna na področju učinkovitosti je bila svetleča dioda z zgradbo na sliki 3, ki so jo Nakamura in sodelavci predstavili leta 1994. Dioda je sevala svetlobni tok modre svetlobe z valovno dolžino 450 nm z močjo 2,5 mW, ko je skozi tekla tok 40 mA.



**Slika 3:** Shematski prikaz zgradbe učinkovite modre svetleče diode, ki so jo leta 1994 predstavili Nakamura in sodelavci.

## Možnosti uporabe svetlečih diod, ki sevajo modro svetlobo, in posledice njihove uporabe

Tehnologija osvetljevanja je trenutno na prehodu od žarnic in fluorescentnih cevi k svetleči diodi. V tabeli 2 lahko vidimo razvoj načinov osvetljevanja in njihovo učinkovitost.

**Tabela 2:** Značilna svetila in njihova aktualnost ter učinkovitost.

Svetilo	Čas, v katerem je oz. naj bi prevladovalo	Učinkovitost pretvorbe dovedenega toka energije v izsevan svetlobni tok, ki ga vidimo
Oljenka, sveča, petrolejka	Od 4000 pr. n. š. do 19. stol.	0,1 lm/W
Žarnica	19. in 20. stoletje	16 lm/W
Fluorescentna cev	20. stoletje	70 lm/W
Svetleča dioda	21. stoletje	300 lm/W

Tehnologija osvetljevanja je trenutno na prehodu od žarnic in fluorescentnih cevi k svetleči diodi.

Bele svetleče diode, ki jih danes uporabljamo v svetilih, imajo pogosto za osnovo učinkovito modro svetlečo diodo, ki s svojo svetlobo vzbuja ustrezno razporejen fosfor v okolici spoja p-n. Ta nato izseva rumeno svetlobo, ki se skupaj z neabsorbirano modro svetlobo iz polprevodnika sestavi v belo [1] [4]. Njihova življenjska doba je  $10^5$  ur. V prihodnosti pričakujemo, da bi tribarvne svetleče diode lahko na področju učinkovitega osvetljevanja nadomestile modre svetleče diode s fosfornim premazom. Ta tehnologija bi tudi omogočila dinamično sestavljanje barv.

Že danes svetleče diode na osnovi GaN predstavljajo prevladujočo tehnologijo za osvetljevanje ozadja prikazovalnikov s tekočimi kristali v mobilnih telefonih, tablicah, prenosnikih, računalniških zaslonih, TV-ekranih itd. Dioda GaN, ki oddajajo modro in UV-svetlobo, se uporabljajo tudi v DVD-jih z visoko gostoto zapisa in so izboljšale tehnologijo arhiviranja glasbe, slik in filmov. V prihodnje bi lahko diode AlGaIn/GaN, ki oddajajo UV-svetlobo, uporabili tudi za prečiščevanje vode, saj ta svetloba uničuje bakterije in viruse. V državah s pomanjkljivim ali neobstoječim električnim omrežjem lahko električno energijo, ki jo čez dan pridobimo s pomočjo cenovno dostopnih sončnih celic, shranimo v akumulatorje in jo ponoči uporabimo za osvetljevanje z energijsko učinkovitimi svetlečimi diodami. Ponekod smo lahko celo priča neposrednemu prehodu od osvetljevanja z oljenkami k osvetljevanju z belimi svetlečimi diodami.

### Viri

- [1] »The Nobel Prize in Physics 2014«. *Nobelprize.org*. Nobel Media AB 2014. [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/2014/](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2014/) (14. 10. 2015).
- [2] I. Kuščer et al., *Fizika za srednje šole III. del*, DZS, Ljubljana (2002).
- [3] D. C. Giancoli, *Physics principles with application*, 4<sup>th</sup> Edition, Prentice-Hall International, Englewood Cliffs New Jersey, (1995).
- [4] M. Zgonik, Nobelova nagrada za fiziko 2014 in revolucija v osvetljevanju, *Obzornik za matematiko in fiziko* 6, 213–219 (2014).

# Anizotropija v snoveh – optična dvolomnost in demonstracija komplementarnih barv (1. del)

mag. Vitomir Babič

Šolski center Celje, Gimnazija Lava

## Povzetek

Ena od splošnih opredelitev pouka fizike v srednjih šolah je »Dijaki naj spoznajo fizikalne zakonitosti delovanja strojev in naprav, s katerimi se srečujejo v vsakdanjem življenju« [2]. Srednješolski fiziki je najbrž odmerjeno premalo šolskega časa za korektno obravnavo znanj na nivoju, ki bi omogočal »biti domač s tehnologijo svojega časa«, a poskusiti (vsaj na kvalitativni ravni) vendar velja. Živimo v izrazito tehnološko naprednem času. Industrija se pripravlja na obdobje, v katerem bo mogoče s snovjo manipulirati tako rekoč na molekularnem nivoju. Tudi dandanašnja tehnologija, ki je že globoko prodrla v splošno rabo, uporablja lastnosti snovi, ki jih med poukom običajno zamolčimo – saj njihova obravnava ni posebej zapisana v učnem načrtu. A ta načrt tudi spodbuja, naj učitelji z dijaki nekaj časa posvetijo obravnavi kakšnih zanimivih pojavov in njihovih lastnosti po lastni izbiri. Pričujoči članek skuša motivirati oz. prikazati način, kako je mogoče v srednji šoli povedati nekaj o anizotropnih lastnostih snovi s poudarkom na optični anizotropiji, hkrati pa sproža debato o mešanju barv in analizira njihovo komplementarnost. Članek je bil zaradi obsežnosti razdeljen na dva dela. Prvi del, ki se ukvarja z dvolomnostjo snovi, je objavljen v tej številki. Nadaljevanje članka obravnava predvsem nastanek (komplementarnih) barv in bo objavljen v naslednji številki revije.

## Abstract

One of the general definitions of physics lessons in secondary schools is: »Students should learn about the physical laws of the operation of the machines and devices which they encounter in everyday life.« [2] Secondary school physics has probably not been allocated enough school hours to be able to properly discuss such knowledge at a level that would enable one »to be familiar with the technology of the time«, but we should nevertheless try (at least on a qualitative level). We are living in a highly technologically advanced time. The industry is preparing for a time when matter will be manipulated at the molecular level, so to speak. Today's technology, which has made its way into general use, makes use of the properties of substances which are usually not mentioned during lessons – since the curriculum does not explicitly mention a discussion of this topic. However, the same curriculum also encourages teachers to devote a bit of time to discussing interesting phenomena and their properties (of their own choosing) with the students. The present article tries to motivate or demonstrate how we can say a few words about anisotropic properties of substances in secondary schools, with emphasis on optical anisotropy; simultaneously, it triggers a debate on the mixing of colours and analyses their complementarity. Due to its comprehensiveness, the article has been divided into two parts. The first part, which discusses the double refraction of substances, has been published in this issue. The rest of the article primarily discusses the creation of (complementary) colours and will be published in the next issue of the journal.

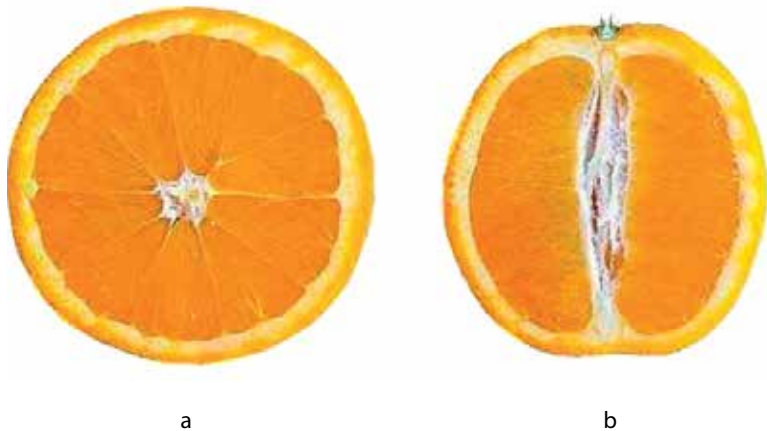
Živimo v izrazito tehnološko naprednem času. Industrija se pripravlja na obdobje, v katerem bo mogoče s snovjo manipulirati tako rekoč na molekularnem nivoju.

## O izotropiji in anizotropiji

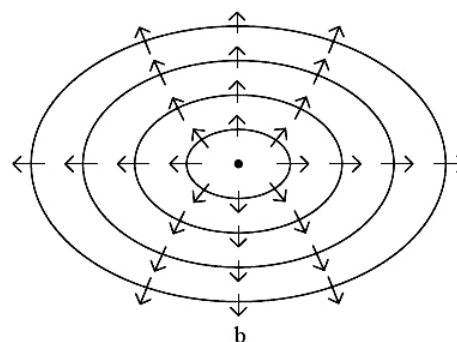
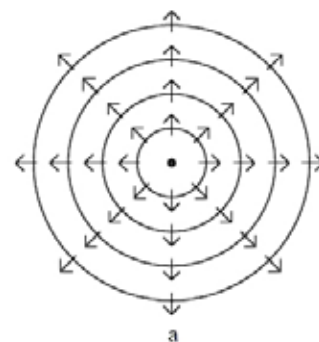
»Izotropnost« (iz gr. *isos* – enak, *trope* – obrat) je izraz, s katerim izražamo dejstvo, da so lastnosti neke fizikalne količine neodvisne od smeri v prostoru. Če pri nekem naravnem pojavu smer v prostoru ni pomembna oz. poteka pojav neodvisno od smeri v prostoru, pravimo, da je »izotropen«. Prazen prostor je sam po sebi izotropen. Do anizotropije praviloma prihaja takrat, ko obravnavamo fizikalne pojave v zvezi s snovjo – ta ima zaradi notranje strukture pogosto različne lastnosti v različnih smereh.

Anizotropije pri pouku fizike v srednji šoli vsaj na kvantitativni ravni ne omenjamo, saj so opisi anizotropnih pojavov za srednješolski nivo matematike prezahtevni. Tudi učni načrt za pouk fizike in maturitetni katalog med učnimi cilji ne omenjata anizotropnih pojavov. Izraz »izotropnost« je npr. v učnem načrtu omenjen le tam, kje je govora o razširjanju energije valovanja iz izotropnih izvirov valovanja. Tako o izotropnosti govorimo le pri sevanju točkastega svetila v okoliški prazen prostor ali pri širjenju zvoka, ki ga ustvarja zelo majhno zvočilo v homogeni atmosferi. Če obravnavamo anizotropne lastnosti snovi, si je vsaj na začetku treba pomagati z enostavnimi in lahko razumljivimi zgledi.

Zamislimo si, da smo v sredini popolnoma homogene kroglice (npr. sredi meglice v vesolju) in si želimo ven po najkrajši poti. In če bi se znašli v sredini pomaranče? Še vedno bi bilo vseeno, v katero smer ekvatorialnega prereza pomaranče se usmerimo (glej sliko 2a). Razlike pa so očitne, če se usmerimo v poljubno smer prereza vzdolž meridijana (glej sliko 2b). Pot po osi (na sliki 2b navpično) bi se precej razlikovala od poti v ekvatorialni ravnini (na sliki 2b vodoravno). Pomaranča bi bila takrat za tistega, ki bi se napolnil iz njenega središča, anizotropno telo, saj vse poti proti pomarančni lupini ne bi bile enakovredne. Omeniti velja, da je pomaranča telo, ki je vsaj delno izotropno (če se oziramo samo na ekvatorialno ravnino) – obstajajo seveda telesa, ki niso izotropna niti v eni ravnini.



**Slika 2:** V ravnini ekvatorialnega prereza so glede na središče vse smeri enakovredne (a). Če pomarančo prerežemo vzdolž »poldnevnikov« (b), je očitna anizotropija glede na središče.



**Slika 1:** Primer izotropnega razširjanja valovanja v prostor – hitrost valovanja je v vseh smereh prostora enaka (a). Če je hitrost valovanja v eni smeri večja (vodoravno), v drugi pa manjša, je širjenje valovanja anizotropno (b).

Do anizotropije praviloma prihaja takrat, ko obravnavamo fizikalne pojave v zvezi s snovjo – ta ima zaradi notranje strukture pogosto različne lastnosti v različnih smereh.

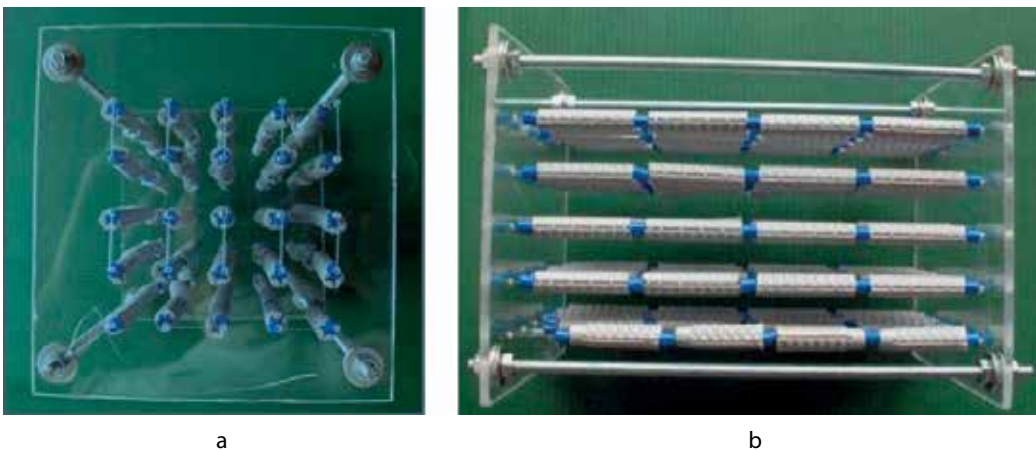
Tudi kadar pri pouku v srednji šoli obravnavamo pojave, pri katerih so anizotropne lastnosti snovi lahko pomembne in tudi očitne, se običajno omejimo le na pojave, pri katerih smer ali orientacija (morda z izjemo teže) nista pomembni. Tako je npr. lomni količnik stekla za katerokoli polarizacijo neodvisen od smeri, vzdolž katere se razširja svetloba po njem. Pri obravnavi mehanskih lastnosti snovi običajno ne omenjamo odvisnosti od morebitne notranje strukturne urejenosti gradnikov, ki jo tvorijo. Tudi pri obravnavi toplotnih tokov se omejimo le na primere, ko struktura toplotnega prevodnika ni pomembna.

V naravi stvari seveda niso tako preproste – velika večina materialov ima zaradi neke notranje urejenosti osnovnih gradnikov snovi oz. njihovih celic različne lastnosti v različnih smereh. V materialih torej praviloma nastopa »anizotropija« (negacija od »v vse smeri enako«). Kvantitativni obravnavi anizotropije se pri pouku fizike v srednji šoli izognemo – še za izotropne pojave je včasih premalo časa. Tu in tam nakažemo, da so lastnosti snovi lahko odvisne od smeri – les ima drugačno toplotno prevodnost vzdolž žil kot v smeri prečno na žile, tudi zvok se širi prečno na desko drugače kot vzdolž deske. Obravnavana anizotropnih optičnih lastnosti materialov in pojavov v zvezi s širjenjem svetlobe po njih v učnem načrtu ni predvidena, lahko pa jo v program vključi

šola (ali učitelj), če je za tako obravnavo zanimanje. Iz izkušenj vem, da je za dijake gotovo zanimiv pogovor o delovanju sodobnih prikazovalnikov LCD. Pri tem se pogovoru o polarizaciji svetlobe ni mogoče izogniti. Ker je svetloba, ki prihaja iz prikazovalnika LCD, polarizirana, pa ni več daleč do zanimivih poskusov s polarizirano svetlobo. Tu je mogoče obravnavati DVOLOMNOST kot povod za pogovor o anizotropnih optičnih lastnostih snovi.

### Preprosti modeli anizotropne snovi in poenostavljena razlaga dvolomnosti

Dovolj preprost primer modela anizotropne snovi je vsaj približno urejen sklad podolgovatih molekul, kot jih najdemo npr. v prikazovalnikih LCD. Izdelava modela anizotropnega kristala, ki ga sestavljajo podolgovate molekule, ne vzame veliko časa – na nit nanizamo plastične valje (vložki za vijačenje v zid) z distančniki (glej sliko 3). Opazimo, da je v določeni smeri videti, kot da so »molekule« v vseh smereh enakih dimenzij – kot krogci z določenim premerom (slika 3a). V drugi smeri so videti drugače – kot pravokotniki, katerih krajša stranica ustreza premeru krogcev iz prejšnjega pogleda (slika 3b). Smer, v kateri so molekule videti kot (izotropni) krogci, bomo imenovali »optična os« kristala.

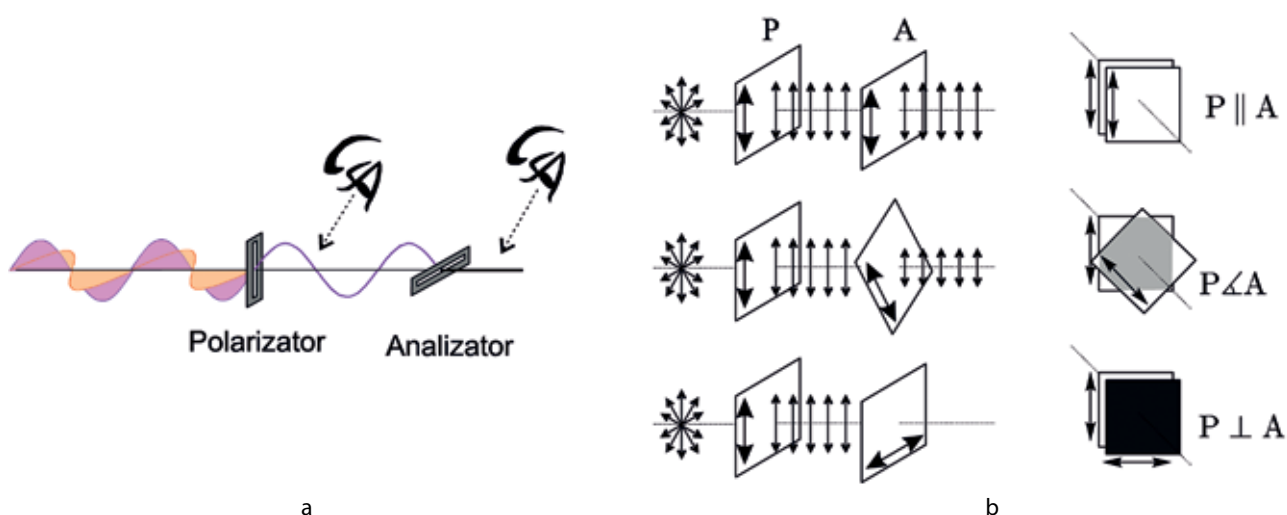


**Slika 3:** Model dvolomnega kristala. Na prozorno nit nanizani plastični valji sive barve, ločeni z modrimi distančniki. Pogled vzdolž optične osi (a) ter pogled pravokotno na optično os (b).

Za razlago dvojnega loma v anizotropnem kristalu je treba najprej spoznati, da je svetloba transverzalno elektromagnetno valovanje, ki ga je mogoče polarizirati. Šole so opremljene s polarizatorji svetlobe še iz časov programa SVIO, ko je bila tema polarizacije vključena v učni načrt in je bila obravnavana v prvem letniku srednje šole.

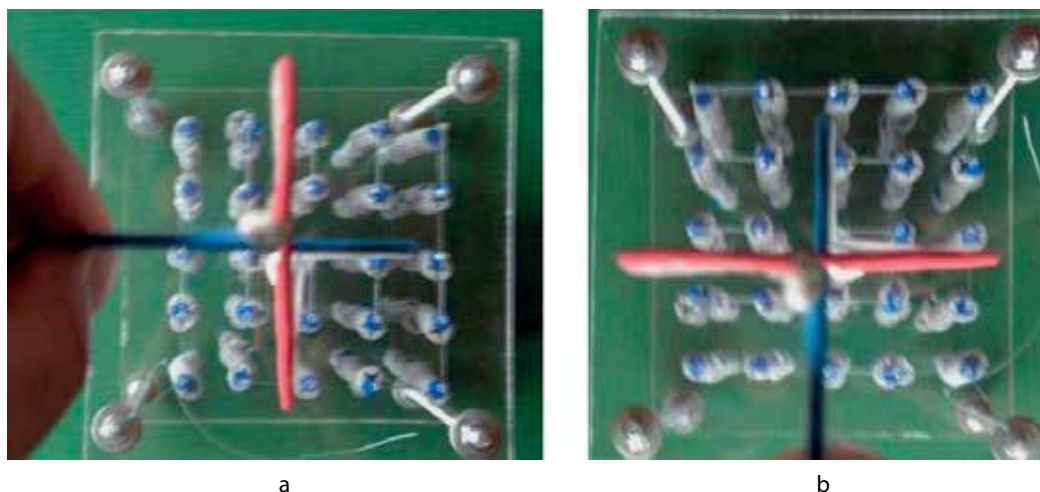
Predstavljajmo si, da vpada poljubno polarizirani val (svetloba) na model kristala vzdolž optične osi. Vse možne polarizacije svetlobe (žični model vala nakazuje dve med sabo pravokotni polarizaciji) »vidijo« enake molekule in se širijo skozi kristal z

Les ima drugačno toplotno prevodnost vzdolž žil kot v smeri prečno na žile, tudi zvok se širi prečno na desko drugače kot vzdolž deske.



**Slika 4:** Polarizirano valovanje je valovanje s predvidljivo smerjo nihanja vzvalovanega sredstva. Mehanski model (a) in poskus s polarizirano belo svetlobo (b).

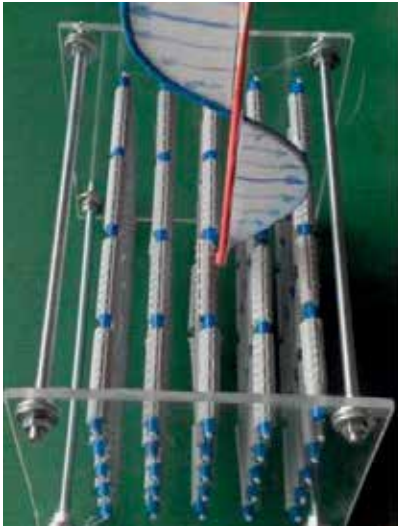
enako hitrostjo (glej sliko 5). Zgodba je drugačna, če vpada svetlobni val pravokotno na optično os. Če ena od polarizacij vidi molekule enake dimenzije, kot so videti vzdolž optične osi, so molekule za drugo polarizacijo bistveno drugačne. Za svetlobi, ki imata pravokotni polarizaciji, lastnosti kristala niso enake. Za eno od polarizacij so razmere enake kot vzdolž izotropne, optične osi. Tež svetlobi pravimo »redni žarek«. Za drugo polarizacijo so razmere drugačne, zato se ta svetloba (pravimo ji »izredni žarek«) širi skozi kristal z drugačno hitrostjo (glej sliko 6 in 7).



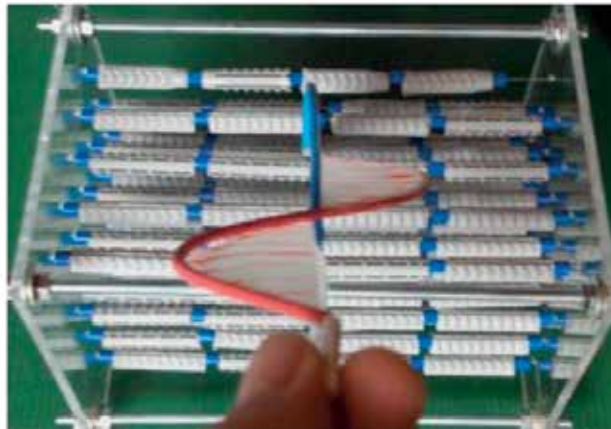
**Slika 5:** Vpadni val prihaja v kristal vzdolž optične osi. Val razstavimo na dve med seboj pravokotni polarizirani komponenti. Ker je kristal videti izotropen, je prehod obeh (a ali b) komponent simetrično enak – torej ni razlik med posameznima polarizacijama.

Za svetlobi, ki imata pravokotni polarizaciji, lastnosti kristala niso enake.

Zgoraj opisane lastnosti anizotropne dvolomne snovi je mogoče lepo demonstrirati s poskusom, ki vključuje snov v tekočerkristalni fazi. Opisan je v članku [3]. Na tem mestu povzemimo, da je tudi v srednješolskem laboratoriju mogoče relativno preprosto izdelati snovi (medpredmetna povezava s kemijo), ki imajo tekočerkristalno fazo v primernem temperaturnem območju. Ko kanemo kapljico take snovi na primerno obdelan substrat (objektno stekelce, ki smo ga podrgnili z žametno krpo, namočeno v alkohol – v steklu s tem ustvarimo mikroskopsko majhne brazde, vzdolž katerih se uredijo molekule), ustvarimo plast dvolomne snovi. Če je plast na enem koncu tanka,

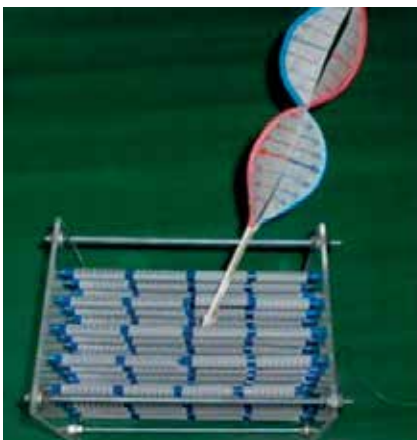


a



b

**Slika 6:** Vpadni val prihaja v kristal pravokotno na optično os. Val razstavimo na dve med seboj pravokotni polarizirani komponenti. Ena od polarizacij »vidi« le debelino molekul (modri val, a), polarizacija vzdolž optične osi »vidi« drugačne lastnosti molekul – zato se tudi drugače širi skozi kristal (rdeči val, b).



a



b

**Slika 7:** Vpadni val lahko vpada na kristal pod poljubnim kotom (a) – vedno lahko polarizacijo tega valovanja razstavimo tako, da ena od komponent »vidi« le prečno dimenzijo molekul (modri val, b), druga pa njihovo vzdolžno dimenzijo (rdeči val, b). Polarizacija, ki vidi molekule tako, kot so videti vzdolž optične osi, tvori »redni žarek«. Polarizacija vzdolž optične osi tvori »izredni žarek«.

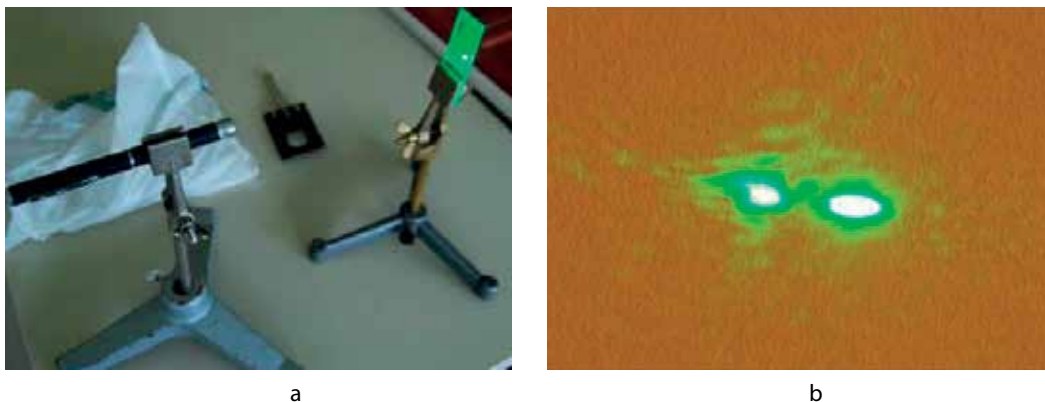
na drugem pa debelejša, imamo dvolomni klin, ki deluje kot tristrana prizma. Na ta klin usmerimo enobarvno svetlobo. Zopet jo razstavimo na dve med seboj pravokotni polarizirani svetlobi. Ena od polarizacij vidi le širino molekul, zato se skozi klin širi s hitrostjo  $c_r$ . Lomni količnik te polarizacije označimo z enačbo  $n_r = \frac{c_0}{c_r}$ . Ta del svetlobe se na klinu lomi za kot  $\vartheta_r = (n_r - 1)\gamma$ . Druga, pravokotna polarizacija vidi dolge molekule in se širi skozi klin s hitrostjo  $c_i$ . Za to svetlobo je lomni količnik drugačen:  $n_i = \frac{c_0}{c_i}$ . Ta del svetlobe se na klinu lomi pod kotom:  $\vartheta_i = (n_i - 1)\gamma$ . Razliki lomnih količnikov pravimo »dvolomnost snovi« in jo definiramo z izrazom  $\Delta n = (n_r - n_i)$ . Poskus omogoča, da se polarizaciji zaradi različnih lomnih količnikov fizično ločita in ju je mogoče prikazati na oddaljenem zaslonu, saj žarka potujeta v smereh, ki oklepata kot  $\Delta\vartheta = (n_r - n_i)\gamma = \Delta n\gamma$ . Z uporabo polarizatorja lahko pokažemo, da sta curka polarizirana v med seboj pravokotnih smereh.

Razliki lomnih količnikov pravimo »dvolomnost snovi«.





**Slika 8:** Dvolomna celica v obliki klina, ustvarjena na substratu LC urejenih molekul (a). Fizični razcep polarizacij zaradi dvojnega loma na klinu (b).



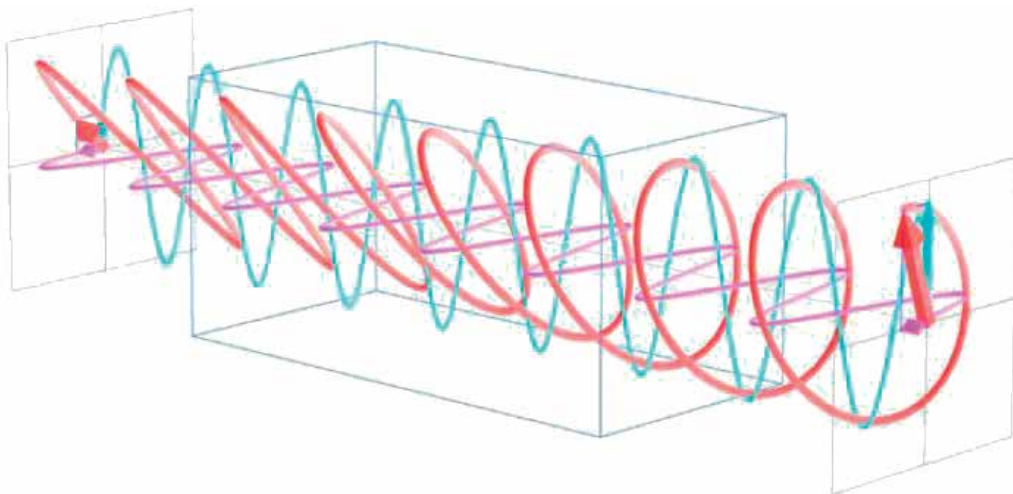
**Slika 9:** Izdelana klinasta celica, skozi katero svetimo z zelenim laserjem (a). Razcep svetlobnega curka v dva delna curka različnih polarizacij zaradi dvojnega loma na klinu (b). Foto: Z. Jazbinšek, december 2011

Oglejmo si še prehod linearno polarizirane svetlobe skozi ploščico iz prozorne, dvolomne snovi. Na kvalitativni ravni je mogoče obnašanje svetlobe na hitro ponazoriti z ustrežno animacijo. Na spletu je na voljo izvrsten program – EMANIM [4] – s katerim lahko jasno ponazorimo razmere v zvezi s polarizacijo svetlobe pri prehodu skozi dvolomno snov.

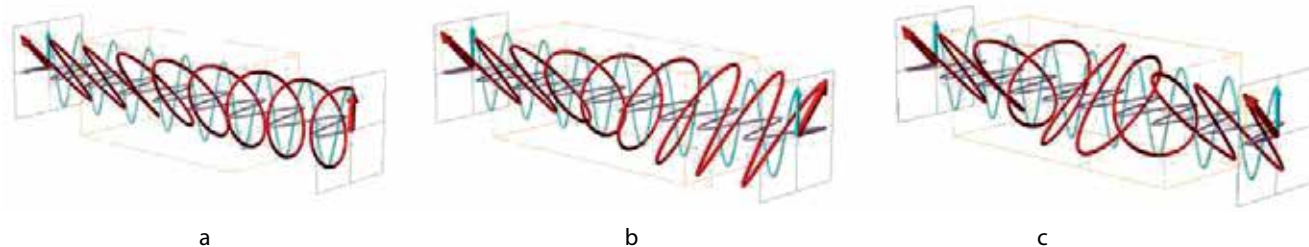
Linearno polarizirano svetlobo si predstavljamo kot vsoto dveh svetlob, ki sta polarizirani ena vzdolž dolge in ena vzdolž kratke osi molekul. Ti polarizaciji se širita skozi plast dvolomne snovi z različnima hitrostma, zato se fazi posameznih polarizacij ob izhodu svetlobe iz dvolomne plasti načeloma ne ujemata. Ob vstopu v plast imata polarizaciji enako fazo. Do konca plasti pridela polarizacija prečno na molekule (»redni žarek«) fazno razliko  $\varphi_1 = k_{\perp}d = \frac{2\pi n_r}{\lambda_0}d$ , polarizacija vzdolž molekul (»izredni žarek«) pa fazno razliko  $\varphi_2 = k_{\parallel}d = \frac{2\pi n_i}{\lambda_0}d$ . Prepuščeni svetlobni curek je seveda vsota obeh komponent polarizacij, a vsota ni več nujno linearno polarizirano valovanje, saj je med pravokotnima si komponentama fazna razlika,  $\Delta\varphi = \frac{2\pi d}{\lambda_0}\Delta n$ . Dvolomna plast tako iz linearno polarizirane svetlobe ustvari v splošnem eliptično polarizirano svetlobo – to pomeni, da vektor električne poljske jakosti v prepuščenem svetlobnem curku opisuje elipso. Elipsa se izrodi v črto vsakič, ko velja  $\Delta\varphi = n\pi$ . V posebnem primeru, ko je polarizacija vpadne svetlobe orientirana pod kotom  $45^\circ$  glede na optično os vzorca, se elipsa izrodi v krog. Če fazna razlika med polarizacijama v prepuščenem svetlobi ustreza  $\frac{\pi}{2}$  (ali  $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2} = \frac{2\pi d}{\lambda_0}\Delta n \rightarrow d = \frac{\lambda_0}{4\Delta n}$ ), deluje vzorec kot »ploščica  $\frac{\lambda}{4}$ «, kar pomeni, da je dvolomna plast iz linearno polarizirane svetlobe ustvarila svetlobo s krožno polarizacijo. Če je fazna razlika še za dvakrat večja, postane prepuščena

Linearno polarizirano svetlobo si predstavljamo kot vsoto dveh svetlob, ki sta polarizirani ena vzdolž dolge in ena vzdolž kratke osi molekul.

svetloba spet linearno polarizirana, a je smer polarizacije ravno pravokotna na smer vpadne polarizacije. Taki plasti dvolomne snovi pravimo »ploščica  $\frac{\lambda}{2}$ «.



**Slika 10:** Linearno polarizirani vpadni val vpada z leve na dvolomni vzorec (kvader na sredini). Ker sta fazni zakasnitvi za posamezni polarizaciji v vzorcu različni, komponenti po prehodu vzorca nista več v fazi. Njuna medsebojna fazna razlika povzroči, da konica vektorja električne poljske jakosti v prepuščeni svetlobi (skrajno desno) opisuje elipso. Slika je izdelana s programom EMANIM, dosegljivim na spletu [4].



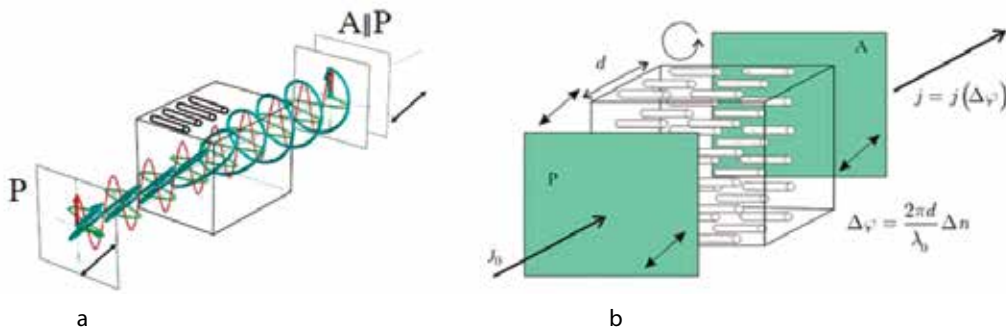
**Slika 11:** Plast dvolomne snovi lahko iz linearno polarizirane vpadne svetlobe ustvari krožno polarizirano svetlobo (a), lahko obrne polarizacijo za  $90^\circ$  (b), lahko pa tudi ohrani polarizacijo (c) – odvisno od debeline plasti, razlike lomnih količnikov in valovne dolžine vpadne svetlobe.

Zamislimo si nekakšen sendvič iz polarizatorja (P), dvolomne snovi (s) in analizatorja (A) ter usmerimo nanj svetlobo z določeno valovno dolžino. Polarizator poskrbi, da vpada v dvolomno plast linearno polarizirana svetloba. Če je optična os usmerjena pod kotom  $45^\circ$  glede na prepustno smer polarizatorja, je svetloba ob izstopu iz dvolomne plasti eliptično polarizirana. Skozi analizator (ki ima prepustno smer vzporedno polarizatorju) izstopa del svetlobe. Množina izstopajoče svetlobe je odvisna od fazne razlike, ki ju posamezni komponenti polarizacije pridelata med prehodom skozi dvolomno snov. Če fazna razlika med komponentama ustreza četrtini nihaja, je izhodna svetloba krožno polarizirana in analizator prepusti 50 % vpadne svetlobe. Če je fazna razlika enaka polovici nihaja, je svetloba po prehodu dvolomne plasti polarizirana pravokotno na prepustno smer analizatorja in skozenj ne prodre nič svetlobe. Če pa je fazna razlika enaka celemu nihaju, sta posamezni komponenti polarizacije zopet v fazi in prepuščena svetloba je polarizirana v prepustni smeri analizatorja, torej je množina prepuščene svetlobe tako rekoč enaka množini vpadle svetlobe. Vzorec je v tem primeru 100-odstotno prepusten. V splošnem lahko optično prepustnost vzorca zapišemo kot:

Če je optična os usmerjena pod kotom  $45^\circ$  glede na prepustno smer polarizatorja, je svetloba ob izstopu iz dvolomne plasti eliptično polarizirana.

$$\frac{j_{\parallel}}{j_0} \propto \frac{1}{4} (1 - \cos(\Delta kd)) = \frac{1}{4} \left( 1 - \cos \left( \frac{2\pi d}{\lambda_0} \Delta n \right) \right). \quad 3.1$$

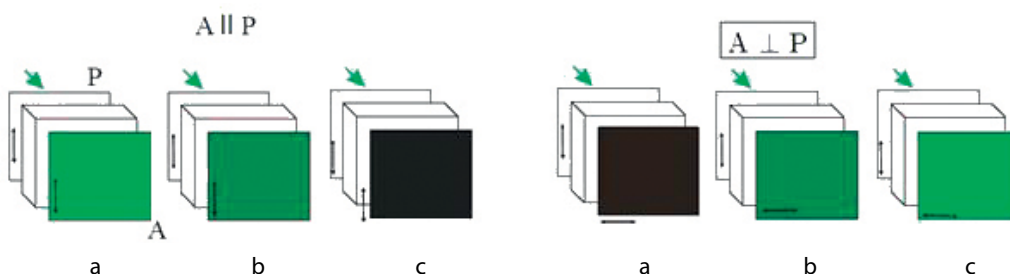
Prepuščeni svetlobni tok je odvisen od fazne razlike, ki se ustvari v vzorcu zaradi dvolomnosti.



**Slika 12:** Plast dvolomne snovi lahko iz linearno polarizirane vpadne svetlobe ustvari krožno polarizirano svetlobo (a). Prepustnost skozi analizador, ki je vzporeden polarizatorju, je odvisna od fazne razlike med polarizacijama oz. polarizacije svetlobe po prehodu dvolomnega vzorca (b).

Če analizador zasučemo za  $90^\circ$  glede na polarizator, ki polarizira vpadno svetlobo, so razmere ravno simetrične – fazna razlika, ki pri vzporednih P in A povzroči 100-odstotno prepustnost, povzroči v tem primeru popolno absorpcijo, in obratno.

$$\frac{j_{\perp}}{j_0} \propto \frac{1}{4} (1 + \cos(\Delta kd)) = \frac{1}{4} \left( 1 + \cos \left( \frac{2\pi d}{\lambda_0} \Delta n \right) \right). \quad 3.2$$



**Slika 13:** Prepustnost svetlobe skozi dvolomno plast, ujeta med vzporedna si polarizator (P) in analizator (A), je komplementarna prepustnosti skozi plast med prekržanima polarizatorjem in analizatorjem. V obeh primerih si fazne razlike sledijo:  $\Delta\varphi_a = \pi$ ,  $\Delta\varphi_b = \frac{\pi}{4}$  in  $\Delta\varphi_c = \frac{\pi}{2}$ .

V dosednji obravnavi prehoda svetlobe skozi plast dvolomne snovi smo ves čas uporabljali le enobarvno svetlobo. Ko namesto enobarvne svetlobe uporabimo belo, se vzorec obarva v najrazličnejših barvah. Kako nastanejo barve pri prehodu svetlobe skozi prozorno plast dvolomne snovi? Razlago ponuja drugi del (nadaljevanje) članka, ki bo objavljen v naslednji številki revije.

## Literatura

- [1] Babič, V. in Čepič, M.: *Complementary colours for a physicist*, 2009. Eur. J. Phys. 30 793.
- [2] Učni načrt za pouk fizike v splošnih gimnazijah. Splet. [http://portal.mss.edus.si/msswww/programi2008/programi/media/pdf/un\\_gimnazija/un\\_fizika\\_gimn.pdf](http://portal.mss.edus.si/msswww/programi2008/programi/media/pdf/un_gimnazija/un_fizika_gimn.pdf) (april, 2016).
- [3] Pavlin, J. et. al. *How to Teach Liquid Crystals?* Mol. Cryst. Liq. Cryst., Vol. 547: str. 255, 2011.
- [4] Szilagyi, A. Emanim. Splet. <http://www.enzim.hu/~szia/emanim/emanim.htm> (marec, 2008).

# Gremla v senco

dr. Nada Razpet

Pedagoška fakulteta Univerze na Primorskem, Koper

## Povzetek

Opazovanje senc je gotovo področje, ki je večplastno in ga lahko predstavimo tako, da je zanimivo za otroke v vrtcu, učence osnovnih šol, dijake in študente. V prispevku bomo opisali, na kaj moramo biti pozorni pri opazovanju in risanju senc z učenci zadnjih treh razredov osnovne šole.

## Abstract

The observation of shadows is undoubtedly multi-layered and can be presented in a way that children in kindergartens, pupils in primary schools, and students of secondary schools and universities find interesting. The paper points out what we should be paying attention to when observing and drawing shadows with pupils in the last three grades of primary school.

## Uvod

Opazovanje in dokumentiranje opazovanj je ena od pomembnih veščin, ki jih morajo učenci usvojiti v procesu izobraževanja. Zlasti se tega zavedamo naravoslovci, saj je osnovne pojme in procese brez eksperimentalnega pouka, pa naj poskuse izvaja učitelj (demonstracijski poskusi) ali učenci (opazovanje v naravi, vodeno ali samostojno izvedeno raziskovanje), težko razložiti in hkrati poskrbeti, da znajo učenci usvojeno znanje uporabiti na drugih primerih. Najlaže je začeti s pojavi, ki jih lahko opazujemo vsak dan in za to ne potrebujemo posebnih merilnih pripomočkov, a jih lahko prilagodimo učencem različnih starosti. Če učencev pri opazovanju, vsaj na začetku, ne usmerjamo in jih o opaženem ne sprašujemo, sami kasneje le težko ugotovijo, kaj je za »izid« poskusa pomembno ali, povedano drugače, kaj se zgodi, če spremenimo to in to. Narisati tisto, kar opazimo, pa je za nekatere učence tudi težavno, zlasti zato, ker je treba prostorsko sliko predstaviti na ravnini. Zato je potrebno nekaj časa posvetiti ne le opazovanju in opisovanju senc, ampak tudi risanju.

Kateri predmeti mečejo senco? To je gotovo eno izmed prvih vprašanj, ki jih zastavimo učencem. Naj-

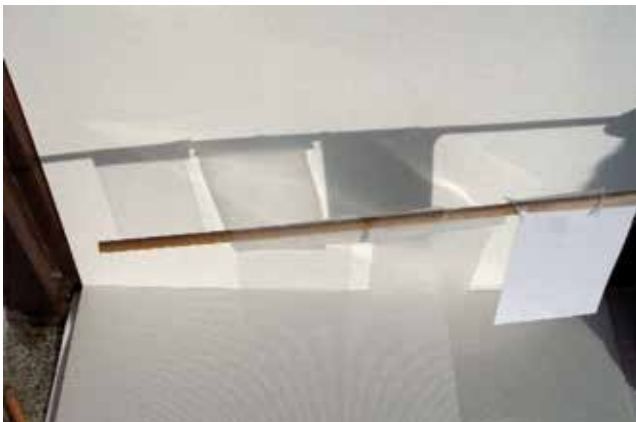
prej ponovimo nekatere lastnosti snovi, iz katerih so predmeti.

Glede na lastnosti snovi, iz katerih je izdelan predmet, ločimo:

- za svetlobo neprepustne predmete; del svetlobe se od njih odbije, del pa absorbirajo;
- delno prepustne; to so pavspapir, mlečna stekla itd., del svetlobe se od njih odbije, del absorbirajo in del prepustijo;
- prozorne snovi; od predmetov, ki so izdelani iz prozornih snovi, se prav tako del svetlobe odbije, velik del vpadle svetlobe gre skozi predmet, le zelo majhen del vpadle svetlobe pa se absorbira: recimo šipe na oknih, prozorni plastični ovitki, folija za živila itd. Ampak tudi pri teh predmetih opazimo sence, kar kaže tudi fotografija (slika 1).

Treba je seveda poudariti, da ločnica ni natančno določena in je odvisna od opazovalca.

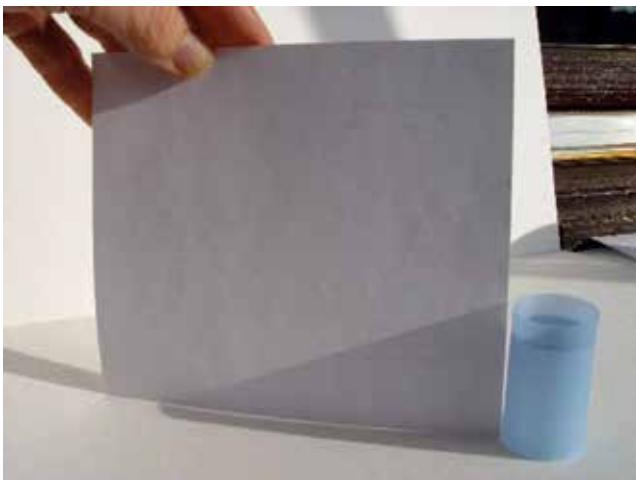
Ko govorimo o sencah, navadno mislimo na temno liso, ki jo opazimo na vodoravnih tleh ali na različnih ploskvah (na zidu, na hribu). Ko pa poleti rečemo, da gremo v senco, mislimo na prostor, ki je manj osvetljen od okolice. Za tanjšo palico bomo težko določili prostor, ki je manj osvetljen; za dreve-



**Slika 1:** Senca prozorne folije, prosojnega ovitka in kosa papirja.

som, kamnito ograjo ali pod sončnikom pa ta prostor lahko zaznamo (če ne drugače) s ploskvijo, ki jo dvigamo vzporedno s tlemi oziroma postavimo navpično (glej sliko 2). V višjih razredih nam seveda ni treba ponavljati osnovnih poskusov, je pa prav, da jih ponovimo in poudarimo tiste podrobnosti, ki jih v nižjih razredih posebej ne poudarjamo, razen seveda, če jih kdo od učencev ne opazi. Zato bomo nekaj prostora namenili tudi osnovnim poskusom.

Na sliki 2 smo ravnino postavili navpično. Kaj pa, če ravnino postavimo vzporedno z vodoravno podlago?



**Slika 2:** Senca za plastičnim tulcem.

Z višino se dolžina sence na vzporednih vodoravnih ravninah krajša.

Prvo ravnino postavimo na četrtno višine tulca (slika 3), drugo pa na približno tri četrtine njegove višine (slika 4).

Avtorica fotografij in slik je Nada Razpet.



**Slika 3:** Senca na vodoravni podlagi, ki je na višini spodnje četrtine tulca.



**Slika 4:** Senca na vodoravni ravnini, ki leži približno na treh četrtinah višine tulca.

### Opazovanje lastne sence

Lastno senco opazujejo že v vrtcu, manj pozorni pa smo pri tem na postopnost in na nekatere lastnosti senc, ki bi jih učenci morali opaziti in si jih vtisniti v spomin. Na voljo je več možnosti:

#### 1. Opazovanje senc ne glede na lego stojišča

Osnovna opazovanja so znana. Učencem obrišemo lego čevljev, obrišemo senco (pravzaprav bi bilo najbolje, če bi jo tudi »pobarvali« s črno kredo), označimo strani neba in zapišemo uro opazovanja. Čez uro ali dve se učenci postavijo vsak na svoje že prej

označeno mesto tako, da se obrisi obutev ujemajo, in narišemo novo senco. Učenci opišejo, kaj opazijo (lega senc, velikost, oblika, »barva« itd.). Če se učenci premikajo, se premakne tudi senca, njena velikost pa ostane ista. Tudi oblika sence se ne bo spremenila, če se med premikanjem ne obračajo. Če poskočijo, se senca seveda ne drži nog. Ta del je pomemben, ker bomo kasneje opazovali sence predmetov, ki visijo nad tlemi.

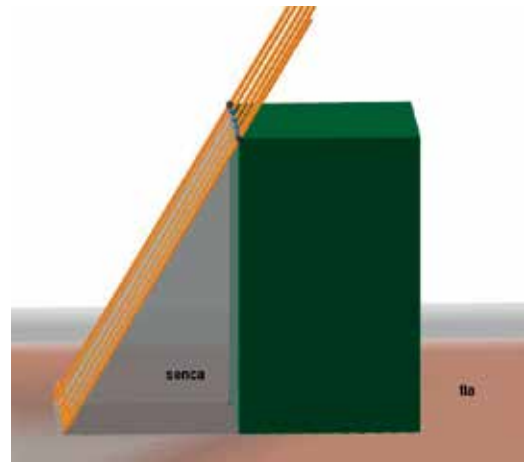
Z učenci sence rišemo na papir in označimo strani neba. Če smo dovolj hitri, lahko papir prestavimo na drugo mesto na dvorišču. Pri tem pazimo, da je pravilno usmerjen (strani neba), in znova obrišemo senco. Učenci tako opazijo, da dolžina in lega sence nista odvisni od položaja stojišča. Postopek ponovimo čez eno ali dve uri. Dobro je, če ob osebo na tisti strani, kjer je senca, navpično postavimo velik pravokoten karton, visok toliko kot oseba (glej sliko 2). Tako bomo opazili, do kam pravzaprav sega senca.

Dobro je, da se učenci ne premikajo le po vodoravni ravnini, ampak tudi po navpičnici. Če imamo dostop na teraso, potem najprej tam na papirju označimo strani neba, lego nog in dolžino sence, potem pa se spustimo nižje, recimo na dvorišče, in tam narišemo senco. Tako učenci ugotovijo, da je dolžina obeh senc enaka. Če nimamo dostopa do različno visokih ravnin, potem opazujemo senco papirnatega tulca, ki ga dvigamo ali spuščamo, oziroma sence na različno visokih mizah. V vseh teh primerih so sence predmetov enako velike, seveda če so časovni presledki med opazovanji kratki oziroma če opazujemo sence enakih predmetov na različnih mestih.

## 2. Celodnevno opazovanje



**Slika 5:** Deklica opazuje svojo senco. Kaj manjka?



**Slika 6:** Senca zavzema prostor.

Kako navadno opazujemo lastno senco, kaže slika 5. Kaj manjka? Manjka navpična ravnina, v kateri bi zaznali senco (glej sliko 6). Oseba, ki opazuje senco, tega ne vidi, zato je treba opazovati sence sošolcev in seveda sence različnih predmetov. Pri nadaljnji obravnavi senc bomo privzeli, da je meja med senco in preostalim prostorom ostra.

Če sence opazujemo dopoldne, se proti poldnevu krajšajo, popoldne pa zopet daljšajo. Ker učenci zadnjega triletja že znajo meriti kote, izmerimo še azimut sence, azimut Sonca in višinski kot Sonca (Prosen 2003).

## 3. Opazovanje lege sence

Učence razdelimo v dve skupini. Prvo skupino postavimo v krog tako, da so obrnjeni proti sredini, drugo pa proč od sredine. Nekateri lahko vidijo sence sošolcev, drugi pa ne. Ugotoviti morajo, da so ne glede na to, kje stojijo, seveda ob istem času, njihove sence med seboj vzporedne. Iz tega že lahko sklepamo, da svetloba, ki pada na predmete, prihaja iz iste smeri. Zdaj je čas, da spregovorimo o žarkih.



**Slika 7:** Ljudje so obrnjeni v različne smeri, sence kažejo v isto smer.

Del svetlobe, ki pada na predmet, se od predmeta odbije (zato predmet vidimo, če odbita svetloba seveda pade v oko), del svetlobe predmet absorbira, zato je za predmetom področje, ki je manj osvetljeno. To področje imenujemo senca. Svetloba se od Sonca širi na vse strani, del te svetlobe pa pade na Zemljo. Ker je Sonce daleč, lahko v prvem približku za predmete rečemo, da Sončeva svetloba pada na predmete le iz določene smeri, zato so tudi sence med seboj vzporedne. Svetlobo razdelimo na curke. Ko rišemo sence, ozke curke svetlobe nadomestimo z žarki, ki so v tem primeru med seboj vzporedni.

#### 4. Dolžina sence

Učenci že vedo, da imajo različno visoki, vendar enako ležeči predmeti različno dolge sence. Da imajo ob tem predmeti enake lege, je seveda pomembno. V nižjih razredih namreč skoraj vedno opazujemo le sence navpično postavljenih predmetov. Če predmet držimo v roki, pa je pomembno, kakšna je lega predmeta glede na to, od kod prihaja svetloba. Spodnje poskuse je nujno treba izvesti. Naše izkušnje z učenci, ki so obiskovali poletne šole iz fizike za osnovnošolce, kažejo, da osnovni pojmi niso razčiščeni.

Učencem damo v roke palice. Raziščejo naj, v kakšni legi je senca palice najkrajša/najdaljša. Zanimivo je tudi opazovanje senc okvirjev in obročev. Učenci ugotavljajo, kakšne oblike so sence pravokotnih, kvadratnih in okroglih ali na različne načine sestavljenih »okvirjev«. Ali lahko enake sence dobimo pri različnih legah teh predmetov? Ali se oblika in velikost sence spremenita, če predmet vzporedno premaknemo (levo, desno, gor, dol, zavrtimo)?

Pripomba: kadar ima (tanko) palica isto smer kot svetloba, ki prihaja s Sonca, je njena senca najkrajša. Iz nagiba palice proti vodoravnici razberemo višinski kot Sonca. Palica predstavlja model svetlobnega žarka. Kaže v smer, iz katere prihaja svetloba. Če več učencev ob isti uri zapiče palice v tla tako, da na podlagi ne opazimo njihove sence, potem to pomeni, da vse kažejo v smer, iz katere prihaja svetloba. Vse so med seboj vzporedne, zato tudi žarke pri risanju senc rišemo vzporedno. Pri tem moramo seveda paziti na izraz »ne vidimo sence«. Nekateri učenci namreč palico položijo na tla. Sence take palice ne vidimo, čeprav taka palica ne kaže proti Soncu. Prav je, da palico najprej držijo v roki in jo usmerijo tako, da je njena senca na vodoravnih tleh najkrajša, šele nato jo v enaki legi zapičijo v tla.

Eno od senc fotografiramo (iz tlorisne perspektive). Zapišemo azimut Sonca in sence ter višinski kot Sonca. Zapišemo tudi datum in uro opazovanja. Čez nekaj mesecev ponovimo opazovanje. Izbere mo čas, ko je azimut Sonca enak. Tako bodo učenci opazili, da je pri istem azimutu Sonca azimut sence ne glede na letni čas enak, spremenili pa sta se dolžina sence in ura opazovanja. Novo senco narišemo na isto sliko. Pogovorimo se o spreminjanju lege in dolžine senc v različnih mesecih. Seveda je zanimivo tudi opazovanje senc vsak teden ob isti uri čez vse leto (Prosen 2003).

#### 5. Merjenje višin

Učenci vedo, da si pri določanju višin objektov ali dreves lahko pomagamo s sencami. Pri opisovanju postopka pa se jim zatakne. Zato je treba postopek merjenja višin objektov s sencami ponoviti in učence spomniti, da se dolžine senc spreminjajo. Dolžina traku oziroma sence metrske palice se je spremenila, prav tako dolžina sence objekta, razmerje dolžin obeh senc pa je ostalo enako.

#### 6. Opoldanske sence

Precej zakoreninjeno je napačno prepričanje, da predmeti (na naši zemljepisni širini) opoldne ne mečejo sence. Z opoldnevom seveda mislimo tisti trenutek, ko je Sonce najvišje na nebu, torej ko je višinski kot Sonca največji in je azimut Sonca  $180^\circ$ . Če učencem pripomnimo, da ne drži, da opoldne navpično postavljene palice ne mečejo senc, se hitro popravijo in rečejo, da so čisto majčkene in jih ne vidimo, ker so pod vznožjem palic. To bi seveda pomenilo, da imamo takrat Sonce nad glavo. Torej če opoldne pogledamo navpično navzgor, bi nad svojimi glavami morali videti Sonce. Najbolje je, če na premično stojalo dovolj visoko obesimo nekaj decimetrov dolg tulec (papirnat ali plastičen) tako, da lahko učenci gledajo skozenj in se jim pri tem ni treba nagniti. Učenci naj gledajo skozi tulec na različnih mestih na dvorišču ob različnih letnih časih. Opazili bodo, da ne morejo videti Sonca. Torej pri nas Sonce ne more biti »nad našimi glavami«. Višinski kot Sonca je pri nas lahko največ okoli  $68^\circ$ . Zato je zelo pomembno, da merimo višinske kote Sonca opoldne, še posebej ob zimskem in poletnem obratu. Obenem bodo učenci tudi opazili, da viseči tulec na vodoravna tla meče senco. Čim višje postavimo tulec, tem dlje od nožišča navpičnice je njegova senca (slika 9). Če bi bilo Sonce nad tulcem, potem bi na vodoravnih tleh videli le ozek kolobar

(torej osnovno ploskev tulca), središči obeh krožnic pa bi bili v nožišču navpičnice, ki poteka skozi središče valja (tulca).

## 7. Risanje senc

Posebno pozornost moramo posvetiti risanju senc. Senco lahko narišemo, če poznamo višino palice, dolžino sence (ali višinski kot Sonca) in azimut sence ali azimut Sonca. Če pa višine palice ne poznamo, moramo poznati dolžino sence, azimut sence (ali azimut Sonca) in višinski kot Sonca.

Navedimo dva primera. Rezultate bomo zaokrožali.

a) Sence opazujemo ob 10. uri sredi novembra.

Izmerili smo azimut sence, ki je  $\beta = 330^\circ$ . Dolžina sence navpično postavljene metrske palice je približno 2,4 m.

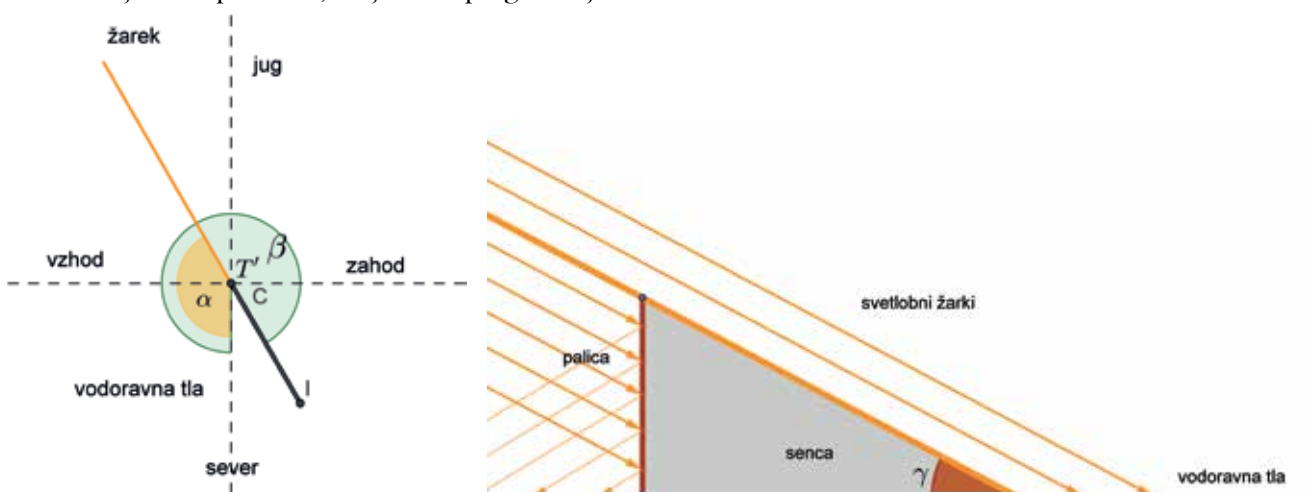
Iz podatkov lahko izračunamo azimut Sonca, ki je  $\alpha = 150^\circ$ , in višinski kot Sonca, ki je  $\gamma = 22^\circ$ .

Azimut je kot, ki ima vrh v nožišču palice, en krak je usmerjen proti severu, drugi pa kaže v smeri Sonca (pri tem je seveda mišljeno, da smo lego Sonca pravokotno projicirali na vodoravno ravnino). Azimut sence je tudi kot, ki ima vrh v nožišču palice, en krak kaže proti severu, drugi pa v smeri sence. Pri tem je dogovor, da ima vzhod azimut  $90^\circ$ , tako da vemo, v kateri smeri merimo kote. Navadno rišemo skico še v »narisu«, pri čemer je treba povedati, kaj si pod tem pojmom predstavljamo. Pomeni, da rišemo v ravnini, v kateri ležita palica in senca. Kako to ponazorimo?

Žarek, ki je na sliki 8 (spodnja slika) odebeljen, učencem ponazorimo z vrstico, ki jo napeljemo od vrha palice do konca sence na vodoravnih tleh. Vzamemo tudi večji karton in z njim ponazorimo narisno ravnino, v njej je s sivo barvo označeno območje manj osvetljenega prostora, torej sence (glej tudi sliko 2). Na skicah navadno narišemo le senco, ki jo opazimo na vodoravnih tleh in je na sliki 8 označena z debelejšo črno daljico.

Ko rišemo sence čez dan, se namreč »narisna ravnina« suče okrog osi, ki jo ponazarja palica, saj se spreminja azimut Sonca in z njim azimut sence pa seveda tudi naklonski kot žarkov. Učence tudi opozorimo, da pri risanju senc rišemo le tiste žarke, ki so za konstrukcijo senc potrebni, da je slika preglednejša.

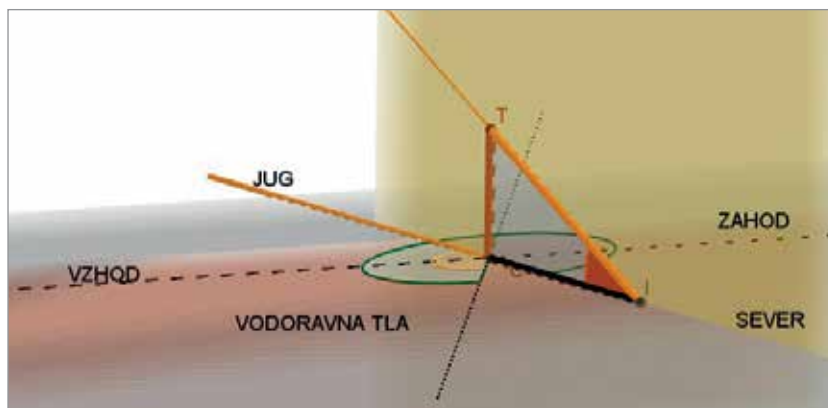
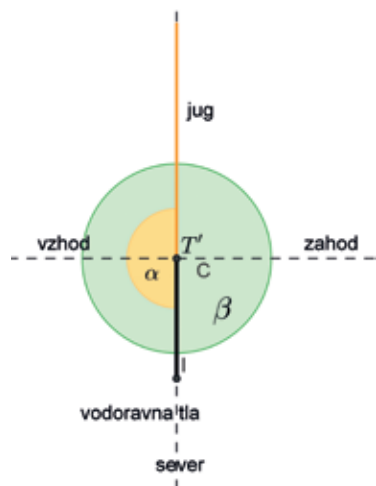
Ali se oblika in velikost sence spremenita, če predmet vzporedno premaknemo (levo, desno, gor, dol, zavrtimo)?



**Slika 8:** Senca metrske palice v tlorisu in poševni projekciji sredi novembra dopoldne. Kot  $\alpha$  je azimut Sonca, kot  $\beta$  je azimut sence, kot  $\gamma$  je višinski kot Sonca. Senca zavzema celotno področje »trikotnika«. Del svetlobe palica absorbira, del svetlobe se od palice odbije, za palico je predel manj osvetljen kot pred njo. Risali smo le žarke v navpični ravnini. Navadno na skicah sivo označenega predela (z napisom senca) ne rišemo, ampak narišemo le senco, ki jo opazimo na vodoravnih tleh. Tudi odbitih žarkov ne rišemo, prav tako ne upoštevamo od okolice odbite svetlobe.

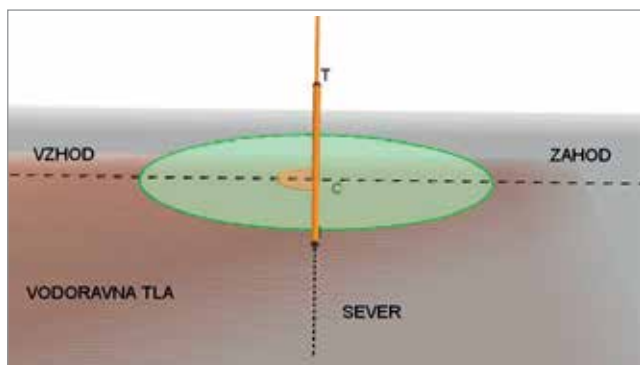


- b) Sence opazujemo v opoldanskem času.  
Narišimo opoldansko senco.



**Slika 9:** Tloris in poševna projekcija sence sredi poletja okoli 13. ure, ko je azimut Sonca  $180^\circ$ . Na tlorisni in narisni ravnini je označen le žarek, s katerim določimo dolžino sence na vodoravnih tleh.

Ko je azimut Sonca  $180^\circ$  (opoldanska senca), je senca usmerjena proti severu, kar pomeni, da je njen azimut  $0^\circ$  ali  $360^\circ$ . Učenci imajo težave pri risanju »narisa«, saj si predstavljajo, da gledajo proti jugu, torej vidijo tako, kot kaže slika 10. Zato imajo težave pri risanju sence opoldne.



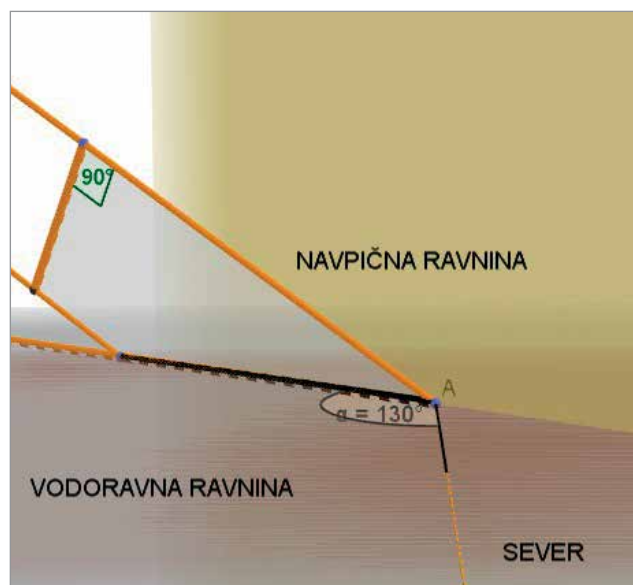
**Slika 10:** Pogled v smeri juga, ko je azimut Sonca  $180^\circ$ . Odebeljeni del žarka poteka od vrha palice do konca sence na vodoravnih tleh. Vznožje palice je v središču kroga, vrh palice pa v točki T.

Vse slike smo risali z GeoGebro, kjer lahko prostorsko sliko vrtimo in jo gledamo iz različnih položajev, tako da je učencem risanje potem lažje.

### Najkrajša in najdaljša senca palice ob določeni uri

- a) Senca palice je daljša od palice.

Senca palice je najdaljša, ko je pravokotna na smer žarkov. Kaj to pomeni, pokažemo s sliko. Naj bo azimut Sonca  $\alpha = 130^\circ$ , višinski kot pa  $\gamma = 25^\circ$ . Najprej zapičimo eno palico tako, da kaže v smeri Sonca, torej določa smer žarkov. Ta palica in njena senca določata ravnino, v kateri potem rišemo senco palice z najdaljšo senco. Najdaljšo senco meče palica, ki je pravokotna na smer žarkov, kot kaže slika 11.



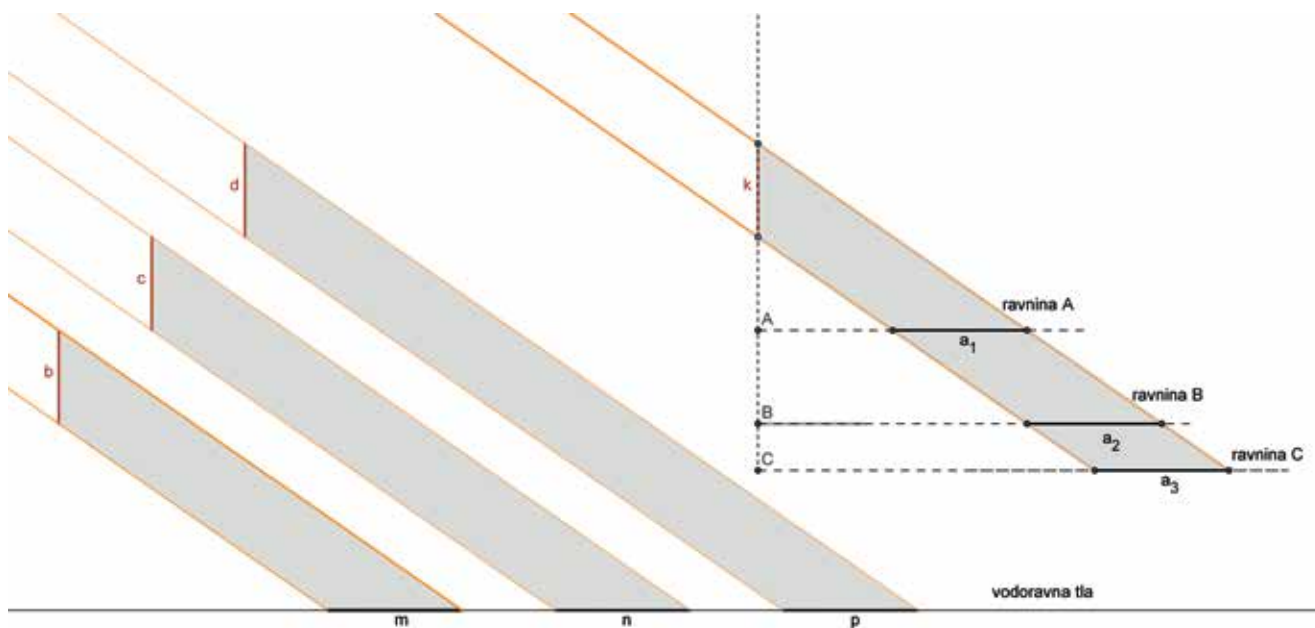
**Slika 11:** Lega palice, ki meče v danem trenutku na vodoravna tla najdaljšo senco. Palica je pravokotna na smer žarkov.

- b) Senca je enako dolga kot palica.  
Hitro lahko pokažemo, da je to takrat, ko je palica vzporedna z vodoravnimi tlemi.
- c) Senca palice je najkrajša, ko kaže v smeri proti Soncu.

### Serija poskusov z različnimi legami palice

Vse poskuse bomo narisali na sliki 12, kjer je mogoče videti, kaj vse lahko pri tem preučimo. Nalogo lahko povežemo tudi z matematiko (podobni trikotniki). Sence enako dolgih, navpično obešenih palic  $a$ ,  $b$ , in  $c$  na vodoravnih tleh so označene z  $m$ ,  $n$  in  $p$ . Ne glede na višino, na kateri so palice obešene, so vse sence na vodoravnih tleh enako dolge. Sence palice z dolžino  $k$  so na različno visokih vodoravnih ravninah enako dolge. Ne glede na to, ali so vse palice navpične ali pa vse nagnjene glede na vodoravnico, so njihove sence na vodoravni ravnini enako dolge. Če so enako dolge palice obešene navpično na različnih višinah, se razdalje začetka senc od navpičnice, ki potekajo skozi palice, z »globino« ravnine daljšajo. Sence enako dolgih in na enak način obešenih palic so na vzporednih ravninah enako dolge.

Ne glede na to, ali so vse palice navpične ali pa vse nagnjene glede na vodoravnico, so njihove sence na vodoravni ravnini enako dolge.



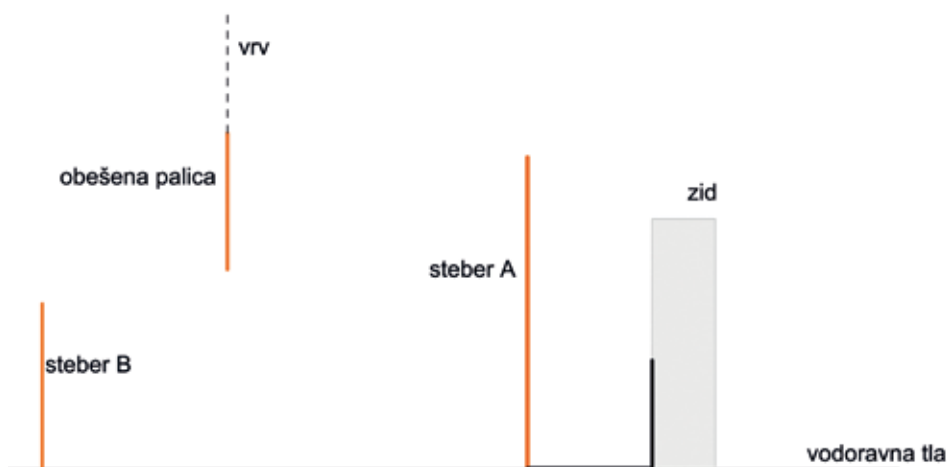
**Slika 12:** Sence enako dolgih in različno visoko obešenih palic na tleh in vzporednih vodoravnih ravninah.

Z učenci lahko izvedemo vse poskuse še za primere, ko opazujemo sence na poševnih tleh in na navpičnih zaslonih. Vse našteje primere lahko lepo povežemo z matematiko (podobni trikotniki, lastnosti paralelograma, koti z vzporednimi kraki itd.).

### Še nalogi za preverjanje

Poleg nalog, pri katerih z izbranimi podatki rišemo sence v tlorisu in narisu, navedimo še zahtevnejši nalogi za preverjanje znanja.

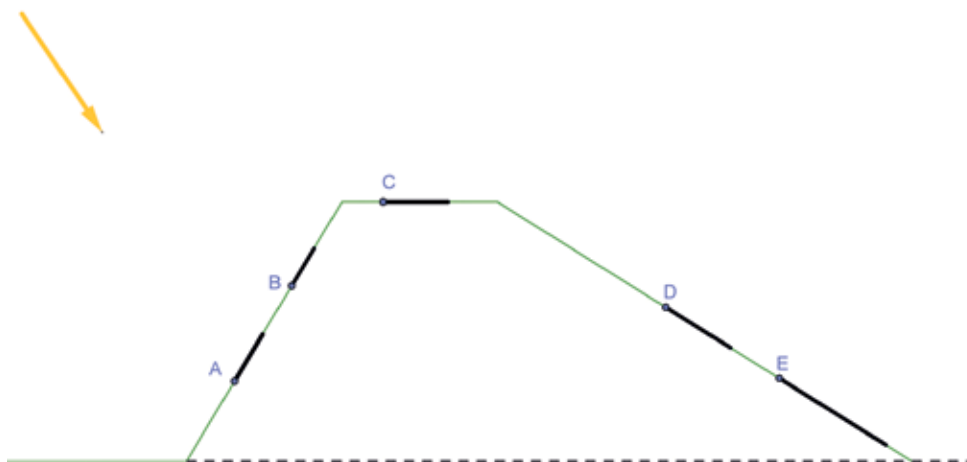
- a) Na sliki 13 so v narisu narisani predmeti. Steber A meče senco deloma na vodoravna tla, deloma pa na zid. Narišite sence preostalih predmetov. Določite višinski kot Sonca.



**Slika 13:** Naris predmetov in senca stebra A, ki jo opazimo na tleh in zidu. Celotno področje senca stebra A ni označeno, saj bi bil to že namig učencem, kako risati sence.

Nalogo lahko tudi obrnemo – tako, da povemo, kolikšen je višinski kot Sonca (oziroma narišemo enega od žarkov, ki pa naj ne gre skozi krajišča predmetov).

- b) Na hribu so nastale sence palic, ki so zapičene navpično glede na vodoravna tla. S puščico je označena smer, iz katere prihaja svetloba, z debelejšo črto pa sence navpičnih palic, ki so zapičene v točkah A, B, C, D in E. V točkah A, B, C, D in E narišite navpične palice tako, da bodo metale sence, kot jih kaže slika.



**Slika 14:** Sence navpičnih palic na hribu. Puščica označuje smer žarkov.

Opozorimo še na možnost dobre povezave z matematiko. Kot smo ugotovili, je dejavnosti, ki so povezane z opazovanjem in risanjem senc, veliko, poleg tega pa jih lahko zastavimo tako, da so zanimive za hitro in počasi učeče se učence.

Opozorimo še na možnost dobre povezave z matematiko.

## Vir

M. Prosen, *Ukvarjanje s senco*, Presekova knjižnica, DMFA-založništvo (2003).

# Narobe svet – izdelava didaktičnih pripomočkov za prikaz optičnih preslikav

Nina Jereb

Gimnazija Koper



## Povzetek

Kako učilnico spremeniti v ogromno camera obscura in to nadgraditi z lečo? Kako izdelati model očesa, ki že po videzu spominja na pravega in s katerim lahko pokažemo tudi vpliv odprtosti zenice na globinsko ostrino? Kako z uporabo barvnih filtrov in aditivnega mešanja barv zastaviti uganko o poteku žarkov skozi zbiralno lečo?

## Abstract

How to turn a classroom into a huge camera obscura and upgrade this with a lens? How to make a model of the human eye that looks like the real one, and with it demonstrate the impact of the size of the pupil on the depth of field? How to solve the mystery of the passing of rays through a convex lens using colour filters and additive colour mixing?

Nekoč mi je prijateljica opisala, kako je na stenah zatemnjene hodnika, v katerega je svetloba pronicala le skozi majhno odprtino, opazila »narobe« obrnjeno zunanost. Nebo, smreko, avtomobile, ki so peljali mimo ... Lahko bi zamahnili z roko in rekli: »Eh, camera obscura, pač!« A ko se pred nami na tako preprost način izriše skoraj živa slika, ne moremo ostati ravnodušni. Če si ob tem znamo razložiti še, zakaj in kako je nastala, je doživetje toliko bolj bogato. Ogromna camera obscura lahko postane kar učilnica, kar se mi zdi idealen uvod v poglavje o optičnih preslikavah.

V nadaljevanju so opisani demonstracijski poskus, ki ga lahko izvedemo pred vsem razredom, nato pa še poskusa, ki ju lahko uporabimo kot dodatek pri laboratorijskih vajah ali na fizikalni delavnici.

## Učilnica – camera obscura

### Zatemnjena učilnica, karton z luknjo

Učilnico popolnoma zatemnimo. Če z okenskimi senčili ne gre, temo dosežemo tako, da okna zakrijemo s kartoni. Ene-



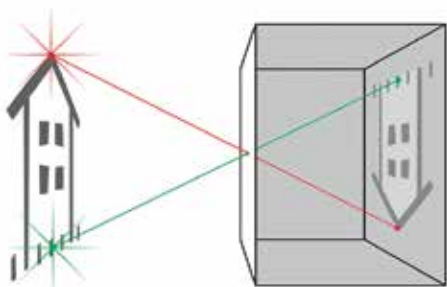
Slika 1a: Karton z luknjo, nameščen na okno.



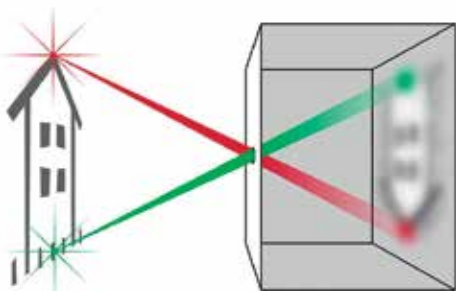
Slika 1b: Projekcija zunanosti na stranski steni.

ga izmed kartonov že vnaprej pripravimo tako, da vanj izrežemo luknjo, ki je lahko velika tudi za pest. Izdelamo kartonast nastavek z manjšo luknjo, s katerim lahko večjo luknjo prekrijemo in ji tako spremenimo velikost. Priporočljivo je, da tak karton namestimo na okno, ki je blizu stene (slika 1). Na stranski steni je slika večinoma videti lepše kot na steni nasproti okna, kjer je zaradi razdalje slabo vidna ali je sploh ni.

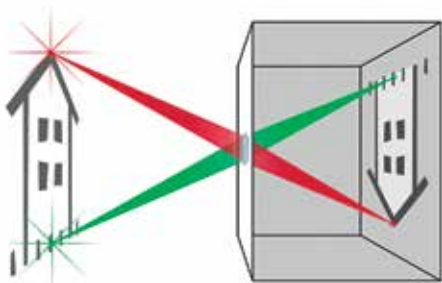
Še boljši učinek dosežemo, če korak ali dva pred odprtino postavimo belo rjuho. Na njej nastane slika, ki je intenzivnejša kot na stenah. Vidna je z obeh strani rjuhe in dovolj velika, da jo brez težav lahko hkrati opazuje ves razred. Razdaljo med odprtino in rjuho lahko spreminjamo. Z učenci ali dijaki opazujemo, kako se ob tem spreminjata velikost ter svetlost slike. Opazujemo še, kaj se zgodi s svetlostjo in z ostrino, če spremenimo velikost odprtine.



Slika 2a: Manjša luknja.



Slika 2b: Večja luknja.



Slika 2c: Zbiralna leča.

Zgodbo o nastanku slike hiše lahko zastavimo tako: Svetloba se od vsake točke na osvetljenih površinah odbija v prostor. Nekaj te svetlobe pade skozi luknjo na zaslon.

Če je luknja zelo majhna (slika 2a), pade svetloba s posameznega delčka hiše na točno določeno mesto zaslona – svetloba s strehe na spodnji del zaslona, svetloba s trave na zgornji del ... Tako se hiša preslika na zaslon. Slika je tem bolj ostra, tem manjša je luknja. A skozi manjšo luknjo pade v škatlo manj svetlobe, zato je slika temnejša in slabše vidna.

Pri veliki luknji (slika 2b) je slika svetla, a zdaj svetloba z nekega delčka hiše pade na večje območje zaslona. Slika je zato neostra.

Če dodamo zbiralno lečo (slika 2c), žarke spet zberemo. Slika je na ta način lahko ostra tudi pri veliki odprtini, a le, če je razdalja med lečo in zaslonom primerna.

### Nadgradnja z lečo

#### Zatemnjena učilnica, karton z luknjo, zbiralna leča z goriščno razdaljo 1 m

Poskus nadgradimo tako, da na odprtino v kartonu namestimo zbiralno lečo. Da bi dobili veliko sliko, dobro vidno vsemu razredu, potrebujemo lečo z veliko goriščno razdaljo. Odlično se obnese recimo goriščna razdalja 1 m. Težava je, da so fizikalne učilnice pogosto dobro založene le z lečami s krajšimi goriščnimi razdaljami. Če leč z daljšimi goriščnimi razdaljami nimamo, lahko uporabimo cenejša očala za daljnovidnost z dioptrijo +1,00, ki jih v prodajalnah lahko kupimo za nekaj evrov. Velja:  $D = 1/f$ , kjer je  $D$  dioptrija,  $f$  pa goriščna razdalja leče v metrih.

Kot zaslon ponovno uporabimo rjuho, ki jo premaknemo tako, da izostrimo opazovani predmet.

Morda bo kateri dijak želel poskusiti s svojimi očali. Mladi imajo pogosto očala z razpršilnimi lečami. Lahko jih uporabimo v kombinaciji z zbiralno lečo z dovolj kratko goriščno razdaljo. Sliko izostrimo, ko so očala pred lečo. Očala nato umaknemo, da ostane le zbiralna leča, in sliko s premikanjem zaslona ponovno izostrimo. Opazimo, da slika tokrat nastane bližje leči.

# Poskusi za manjše število učencev ali dijakov

(npr. kot dopolnilo k laboratorijski vaji)

## Model očesa

Estetski model očesa lahko izdelamo iz leče in navadne plastične prozorne krogle, ki jo kupimo v trgovini z umetniškim materialom. Premer krogle naj se ujema z goriščno razdaljo leče. Tako bo oko ostro »videlo« predmete v daljavi.



Slika 3: Model očesa od znotraj.

## Potrebujemo:

- Plastično prozorno kroglo premera 10 cm,
- lečo z goriščno razdaljo 10 cm,
- črno in belo barvo v razpršilu,
- karton ali moos gumo.



Slika 4: Model očesa od zunaj.



Slika 5: Obrnjena realna slika na zadnji strani.



Slika 6: Zatemnitev s tulcem.

## Izdelava

Kupljena krogla naj bo sestavljena iz dveh prozornih polovic, ki ju je mogoče sestaviti. Eno polovico krogle počrnimo z barvo v razpršilu, tako da prepušča čim manj svetlobe. Zaradi estetskih razlogov jo z druge strani pobarvamo belo. Na sredini zvrzamo luknjico, ki naj bo čim večja, a še vedno dovolj majhna, da nanjo lahko namestimo lečo. Drugo polovico, ki služi kot zaslon, zbrusimo z gladkim brusnim papirjem, tako da postane polprosojna in

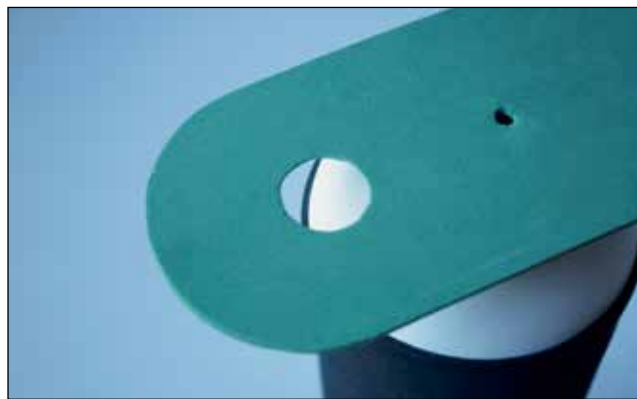
da se na njej svetloba sipa. Slika je najboljše vidna, če čim manj svetlobe prihaja iz ozadja in s strani. V ta namen izdelamo še tulcem za zatemnitev (slika 6).

## Uporaba pripomočka

Poleg tega, da na zaslonu opazujemo »narobe svet«, se z modelom lahko še malo poigramo in pogledamo, kako daljnovidno oko vidi bližnje predmete skozi široko odprto zenico in skozi ozko zenico.



Slika 7: Široko odprta zenica.



Slika 8: Zožena zenica.

Risba mačke je skozi široko odprto zenico na modelu tako razmazana, da je sploh ne vidimo, medtem ko je skozi ozko zenico lepo vidna, čeprav leča na tem očesu izostri le oddaljene predmete. Ob tem poskusu lahko razložimo, zakaj slabovidni ljudje boljše vidijo ob močni svetlobi, ko je zenica zožena, in zakaj je pri fotoaparatu globinska ostrina velika takrat, ko je zaslonka skoraj zaprta.



Slika 9: Opazovani predmet.



Slika 10: Skozi široko odprto zenico.



Slika 11: Skozi ozko zenico.

### Kaj nam o leči povejo barve

Obrnjeno realno sliko pri leči lahko lepo vidimo tudi s pomočjo pripomočka, ki ga izdelamo iz cevi za hišno kanalizacijo. Prednost tega pripomočka je, da lahko spreminjamo razdaljo med lečo in zaslonom. Nastavek z barvnimi filtri pa nam o sliki oziroma poteku žarkov razkrije še več.



Slika 12: Deli.



Slika 13: Nastavek z barvnimi filtri.



Slika 14: Postavitev poskusa.

### Izdelava

Uporabila sem lečo z goriščno razdaljo 8 cm in cev dolžine 20 cm ter širine 7,5 cm. Pri drugačni leči prilagodimo velikost cevi.

Zaslon lahko izdelamo iz peki papirja, če pa smo pripravljeni vložiti malo več truda, lahko izdelamo kompaktnější zaslon iz kosa prosojne plastike. Uporabimo npr. plastiko, namenjeno toplim gredam, ki je ravno

prave trdote, da jo lahko režemo s škarjami. Zbrusimo jo z gladkim brusnim papirjem, da postane polprosojna in da sipa svetlobo. Iz nje nato izrežemo krog, katerega premer se ujema z zunanjim premerom cevi. Cev odžagamo na razdalji približno 5 cm od ožjega roba. Tja vstavimo zaslon in dela cevi zlepimo, da dobimo prvotno obliko cevi.

Tako pripravljeno cev vtaknemo v drsno spojko. To je malenkost širši kos cevi, namenjen spajanju dveh cevi. V njej je gumijasto tesnilo, ki ga odstranimo, da cev lepše drsi. Na drugi konec spojke namestimo čep, v katerega še prej zvrtnemo okroglo odprtino in nanjo namestimo lečo. S premikanjem cevi naprej in nazaj spreminjamo oddaljenost med zaslonom in lečo.

Filter izdelamo tako, da folijo, namenjeno brizgalnemu tiskanju, pobarvamo z navadnimi flomastri modre, zelene in rdeče barve. Lahko ga tudi natisnemo z barvnim tiskalnikom in pogledamo, v katerem primeru je učinek boljši. Sama sem dobila boljše rezultate s flomastri. Za lažje premikanje traka s filtri lahko izdelamo še vodila iz kanalčkov za električne kable.



Slika 15: Zaslon v cevi.

### Uporaba pripomočka

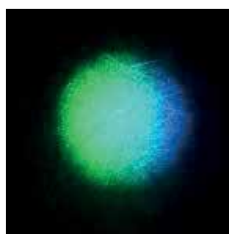
Kaj opazimo na zaslonu, če polovico leče prekrijemo z enim barvnim filtrom, drugo polovico pa z drugim (slika 13)? Misel, ki se ponuja, je, da je polovica slike na zaslonu ene barve, druga polovica pa druge. To se seveda ne zgodi.

Opazujemo belo žarnico. Če pred lečo postavimo moder in rdeč filter, dobimo magenta sliko žarnice. Rdeč in zelen filter dasta rumeno sliko, zelen in moder pa cian sliko. Skratka – opazimo, da gre za aditivno mešanje barv, da torej svetloba, ki prihaja skozi levo polovico leče, pade na isto mesto kot svetloba, ki prihaja skozi desno polovico.



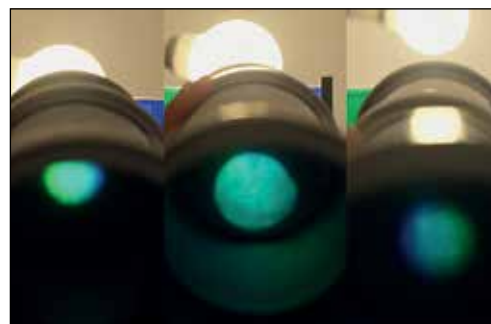
Slika 16: Slika žarnice skozi lečo in barvna filtra – kombinacija rdečega, zelenega in modrega filtra.

Kaj pa, če zaslon pomaknemo bližje k leči? Slika, ki jo vidimo, je taka:



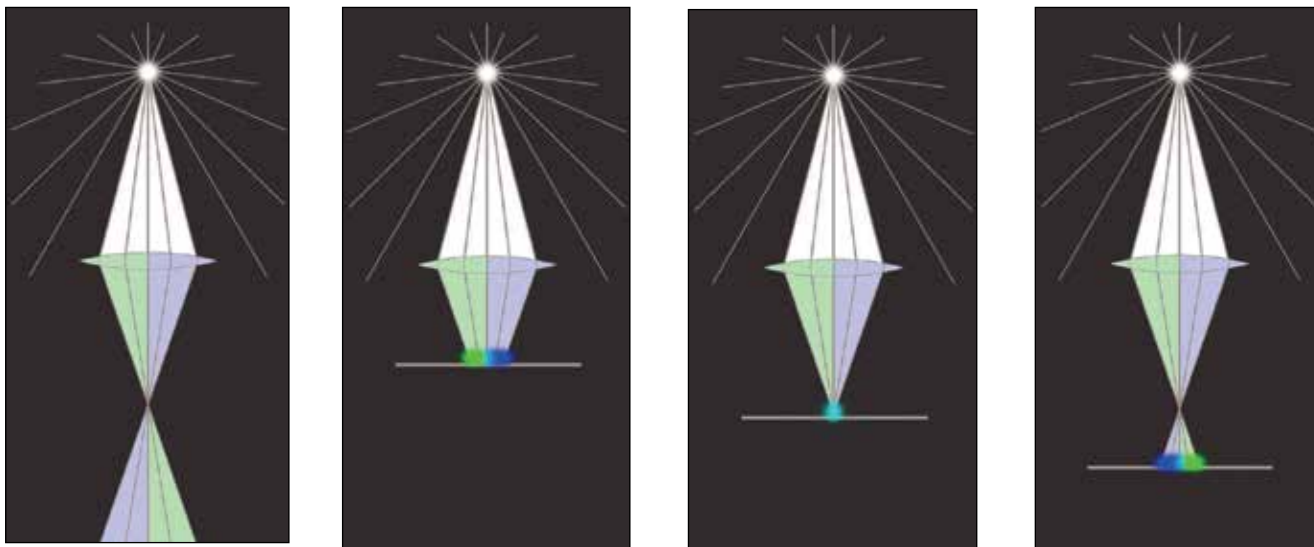
Slika 17: Neizostrena slika žarnice.

Poglejmo natančneje primer z zelenim in modrim filtrom (slika 18). Opazimo, da je levi rob žarnice obarvan enako kot leva stran filtra pred lečo – zeleno, desni rob žarnice pa kot desna stran filtra – modro. Če zaslon nato pomaknemo stran od leče, se barvi zamenjata: levi rob žarnice postane moder, desni pa zelen. Slika poteka žarkov razjasni, zakaj do tega pride (slika 19).



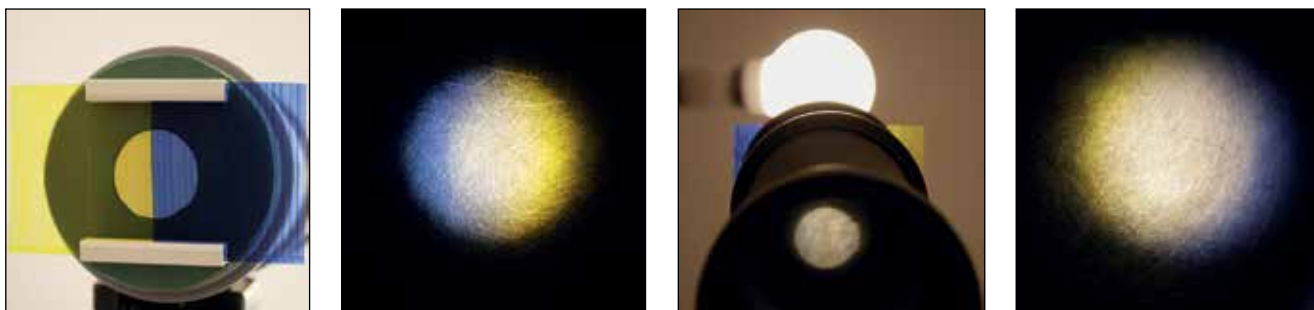
Slika 18: Zaslon, pomaknjen k leči (levo); zaslon v legi, v kateri je žarnica izostrena (sredina); zaslon, pomaknjen stran od leče (desno).





**Slika 19:** Potek žarkov brez zaslona; zaslon, pomaknjen k leči (levo); zaslon v legi, v kateri je žarnica izostrena (sredina); zaslon, pomaknjen stran od leče (desno).

Za konec se poigrajmo in naš pripomoček uporabimo še za mešanje modre in rumene svetlobe.



**Slika 20:** Rumena in modra filter pred lečo; neizostrena slika žarnice – zaslon, pomaknjen k leči (levo); zaslon v legi, v kateri je žarnica izostrena (sredina); neizostrena slika žarnice – zaslon, pomaknjen stran od leče (desno).

Nekje sem prebrala, da je nevarno dobiti odgovor pred vprašanjem. Mogoče je še bolj primerno reči: pred opazovanjem, ki vzbudi zanimanje in vprašanja. V izdelavo teh didaktičnih pripomočkov in pripravo učilnice je treba vložiti nekaj truda, a mislim, da je vredno. Lepo je, ko se ob poskusih, ki jih pospremimo s fizikalnimi izzivi in zgodbo, vzpostavi okolje, kjer učenci in dijaki prerešajo svoje predstave in kjer nova spoznanja porajajo nova vprašanja.

## Literatura

- [1] N. Jereb, Videti ali ne videti, to je zdaj vprašanje, *Presek* – letnik 33 (2005/2006).
- [2] <http://www.zrss.si/naravoslovje2015/files/cetrtek-teachmeet/Model-ocesa.pdf> (oktober, 2015).
- [3] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/vision/eyesal.html> (oktober, 2015).

# Kako z lupo doseči velike povečave?

dr. Vladimir Grubelnik<sup>1</sup> in dr. Marko Marhl<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerza v Mariboru

<sup>2</sup> Pedagoška fakulteta in Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Univerza v Mariboru



## Povzetek

V prispevku pokažemo primer uporabe lupe za doseganje velikih povečav. Opozorimo na pomembno vlogo položaja našega očesa in zbiralne leče glede na predmet opazovanja. Kot primer prikažemo opazovanje svetlobnih pik na računalniškem monitorju.

## Abstract

The paper shows an example of how a magnifying glass can be used for very large magnifications. Attention is drawn to the importance of the position of our eye and the condenser lens with relation to the subject of observation. Shown as an example is the magnification of pixels on a computer screen.

## Uvod

Preslikave predmetov skozi zbiralno lečo dobro poznamo. V šoli je ta tematika pogosto obravnavana na različnih stopnjah izobraževanja. Učenci se že na nižji stopnji izobraževanja srečajo z opazovanjem predmetov skozi lupu. Opazujejo realne in navidezne slike predmetov pri preslikavah skozi zbiralne leče ter ob tem spoznavajo delovanje človeškega očesa in drugih optičnih naprav [1–3]. Na srednješolski stopnji izobraževanja podrobneje obravnavajo lomni zakon, rišejo potek žarkov pri prehodu skozi tanke leče ter spoznavajo odvisnost velikosti in položaja slike glede na položaj leče in predmeta. Spoznajo tudi enačbe, ki opisujejo preslikave skozi različne leče [4].

V tem prispevku se osredotočimo na povečavo zelo majhnih predmetov pri opazovanju skozi zbiralno lečo. Za primer bomo vzeli opazovanje svetlobnih pik na računalniškem monitorju. Primer je na področju izobraževanja aktualen pri prikazu delovanja barvnih monitorjev oziroma pri proučevanju delovanja našega očesa [5].

Če želimo opazovati posamezne svetlobne pike na računalniških monitorjih, jih moramo ustrezno

povečati. Svetlobne pike posameznih barv (rdeča, zelena, modra) lahko ločimo med seboj že z majhno kapljico na monitorju, ki deluje kot majhna leča [6]. Za večje povečave, pri katerih lahko razločno ločimo posamezne svetlobne pike, pa potrebujemo povečevalno steklo z ustrezno povečavo. Velikost povečave, ki jo potrebujemo, je odvisna od velikosti barvnih svetilnih elementov na monitorju oziroma od razdalje med njimi, ki pri računalniških monitorjih znaša manj kot 0,15 mm. To je tudi razdalja, na kateri človeško oko z razdalje 0,5 m ne loči dveh sosednjih svetilnih elementov. Ločljivost očesa je namreč okoli 1'.

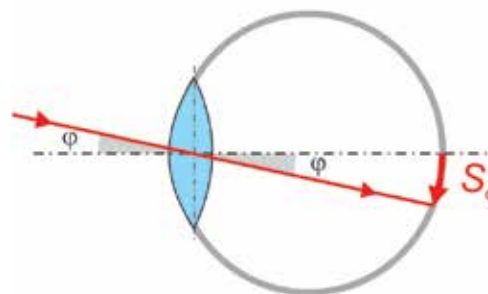
Za opazovanje posameznih svetilnih elementov na monitorju torej potrebujemo lupu z ustrezno povečavo. Da bo pri opazovanju skozi lupu razdalja med posameznimi svetilnimi elementi okoli 1 mm, potrebujemo približno osemkratno povečavo, kar ustreza lupi z goriščno razdaljo 3 cm. V nadaljevanju bomo pokazali, da lahko dovolj velike povečave dosežemo tudi z lupami večjih goriščnih razdalj, pri čemer ima pomembno vlogo položaj našega očesa in zbiralne leče glede na predmet opazovanja. Pri razlagah se osredotočamo na preslikave predmetov na mrežnico človeškega očesa.

## Preslikava predmetov na mrežnico človeškega očesa

Zorni kot  $\varphi$ , pod katerim vidimo predmete, določa velikost slike  $S_o$  na mrežnici človeškega očesa (slika 1). Bliže kot je predmet, pod večjim zornim kotom ga vidimo in večja slika nastane na mrežnici očesa. Najbližja razdalja, pri kateri lahko oko izostri sliko na mrežnici očesa, je 25 cm. S tem je določen tudi največji zorni kot opazovanega predmeta.

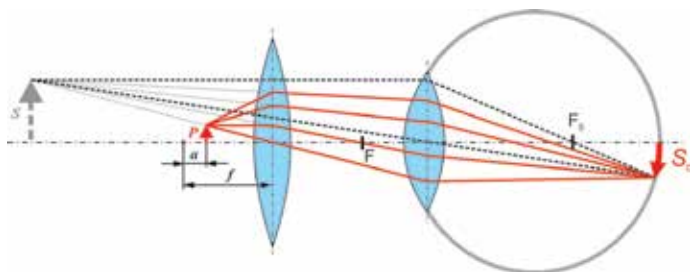
Večji zorni kot lahko dosežemo z uporabo povečevalnega stekla (zbiralne leče). Pri tem običajno zasledimo razlage, da skozi zbiralno lečo opazujemo navidezno sliko predmeta, ki nastane na razdalji 25 cm od očesa [4, 7] (slika 2a). Problem pri tem je, da so dijaki večkrat zmedeni, če predmet postavimo v gorišče leče (slika 2b). Zavedajo se, da takrat nastane navidezna slika predmeta v neskončnosti, vendar se pri tem sprašujejo, kako lahko to sliko potemtakem sploh opazujemo.

Za boljše razumevanje je treba dati večji poudarek zbiranju žarkov v človeškem očesu. Oko je namreč treba obravnavati kot zbiralno lečo, katere gorišče  $F_o$  se lahko prilagaja tako, da se žarki zberejo na mrežnici očesa (slika 2).

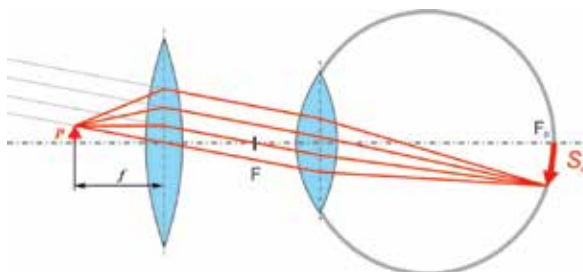


**Slika 1:** Zorni kot opazovanega predmeta in slika na mrežnici očesa.

**a)** Opazovanje navidezne slike predmeta.



**b)** Snop vzporednih žarkov.



**Slika 2:** Prikaz zbiranja žarkov na mrežnici očesa.

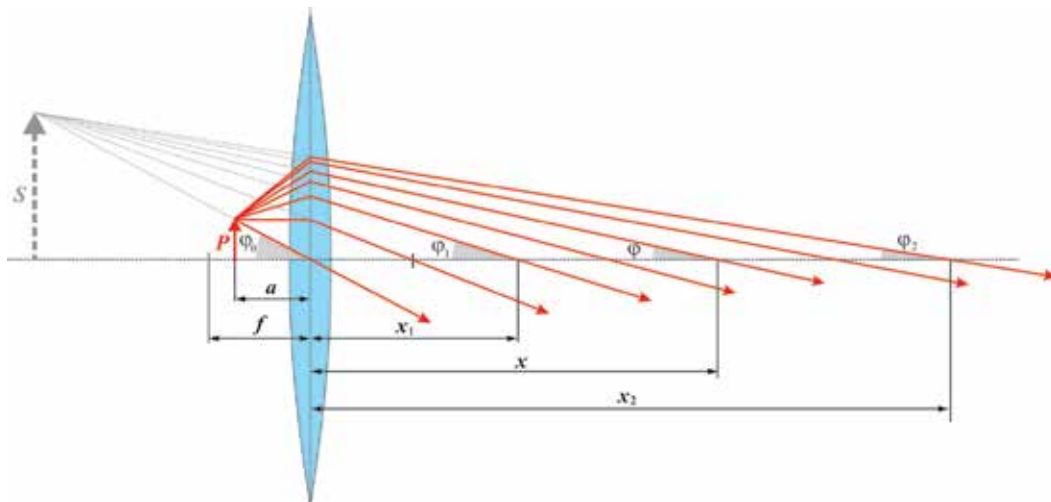
## Povečava predmetov v odvisnosti od lege zbiralne leče in očesa

Pri običajnem pogledu skozi zbiralno lečo se predmet nahaja med lečo in njeno goriščno razdaljo ( $a < f$ , slika 3a). Na sliki 3a vidimo, da je snop žarkov, ki prihaja iz točke predmeta, pri prehodu skozi lečo divergenten. Z oddaljevanjem od leče žarki sekajo optično os pod čedalje manjšimi koti ( $x_2 > x_1$ ,  $\varphi_2 < \varphi_1$ ). S tem se na mrežnico očesa projicira čedalje manjša slika predmeta.

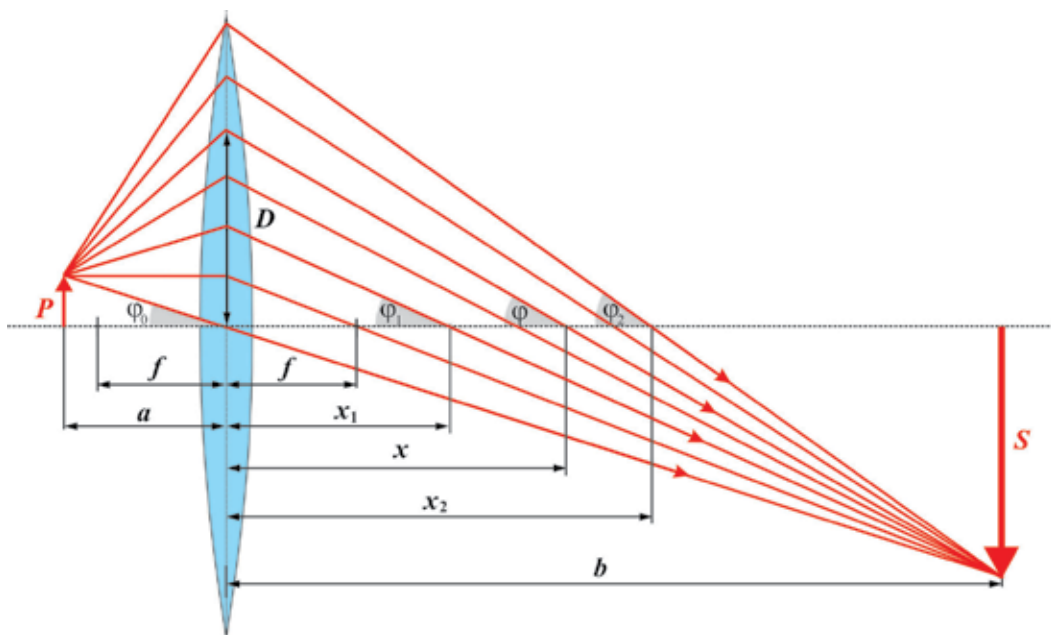
Kadar je razdalja med predmetom in lečo nekoliko večja od goriščne razdalje leče ( $a > f$ ), pa dobimo pri prehodu skozi lečo konvergenten snop žarkov. Ti se sekajo na razdalji  $b$  od leče, kjer nastane realna slika predmeta (slika 3b). Z oddaljevanjem od leče ( $x < b$ ) žarki sekajo optično os pod čedalje večjimi koti ( $x_2 > x_1$ ,  $\varphi_2 > \varphi_1$ ; glej slika 3b), pri čemer se na mrežnico očesa projicira čedalje večja slika predmeta.

Najbližja razdalja, pri kateri lahko oko izostri sliko na mrežnici očesa, je 25 cm. S tem je določen tudi največji zorni kot opazovanega predmeta.

a) Predmet se nahaja med lečo in njenim goriščem. Z oddaljevanjem od leče se zorni kot  $\varphi$  zmanjšuje.



b) Predmet se nahaja dlje, kot je gorišče leče. Z oddaljevanjem od leče se zorni kot  $\varphi$  povečuje.



**Slika 3:** Prikaz zornega kota  $\varphi$ , pod katerim vidimo predmet pri opazovanju z razdalje  $x$ .

Za primer si pogledimo opazovanje napisa na računalniškem monitorju. Lečo s premerom 7 cm in goriščno razdaljo  $f \approx 13$  cm pritrdimo na stojalo in jo postavimo na razdaljo  $a \approx 14$  cm pred računalniški zaslon (slika 4).



**Slika 4:** Lečo postavimo nekoliko dlje od računalniškega zaslona, kot je njena goriščna razdalja.

Pri takšni postavitvi zbiralne leče, kot jo prikazuje slika 4, je povečava predmeta odvisna od razdalje, s katere opazujemo skozi lečo (glej sliko 3b). Rezultat prikazuje slika 5, kjer lahko vidimo, da z večanjem razdalje, s katere opazujemo napis skozi lečo, le-ta postaja vse večji.

a) Opazovalec se nahaja na razdalji  $x \approx 15$  cm od leče.



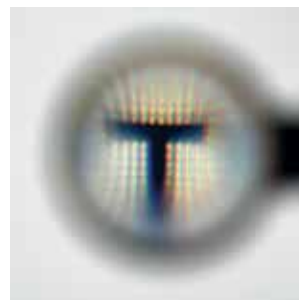
b)  $x \approx 30$  cm



c)  $x \approx 0,5$  m



d)  $x \approx 1$  m



**Slika 5:** Opazovanje napisa »OPTIKA« na računalniškem zaslonu, kot je to prikazano na sliki 3b in 4.

Pri večji povečavi lahko lepo razločimo tudi posamezne svetlobne pike računalniškega monitorja, kar lahko s pridom uporabimo pri prikazu delovanja barvnih monitorjev oziroma pri proučevanju delovanja našega očesa [5]. Opazna je tudi popačenost slike, kjer je predel ob robu leče nekoliko bolj povečan kot na sredini. To je posledica tega, da je goriščna razdalja za žarke, ki prehajajo skozi središče leče, nekoliko večja kot za žarke, ki prehajajo ob robu leče [7], vendar se temu v prispevku ne bomo podrobneje posvečali.

## Diskusija

Pokazali smo, da lahko z ustrezno postavitvijo zbiralne leče in izbiro položaja opazovanja dosežemo večje povečave kot pri običajnem pogledu skozi lupo. To je še posebej zanimivo za uporabo v šolah, kjer običajno nimamo povečevalnih stekel z velikimi povečavami. Pri tem velja omeniti, da mora biti predmet opazovanja dobro osvetljen, saj osvetljenost slike upada obratno sorazmerno s kvadratom povečave. Pri opazovanju svetlobnih točk na monitorju seveda s tem nimamo težav. Omeniti velja še, da smo se pri položaju opazovanja omejili le na območje med lečo in mestom, kjer nastane realna slika predmeta. Če bi opazovali z večje razdalje, bi opazili, da se slika predmeta obrne. To si lahko preprosto razlagamo tako, da opazujemo obrnjeno sliko, ki je nastala pri preslikavi skozi zbiralno lečo.

## Literatura

- [1] B. Bajd, I. Devetak, M. Kralj in S. Oblak, *Naravoslovje 7*, Modrijan, 2003, str. 86–97.
- [2] A. Kolman idr., *Naravoslovje 7*, Založba Rokus, 2003, str. 99–106.
- [3] S. S. Krajšek idr., *Naravoslovje 7*, Tehniška založba Slovenije, 2005, str. 90–99.
- [4] R. Kladnik, *Fizika za srednješolce 2 – Energija, toplota, zvok, svetloba*, DZS, 2000, str. 194–240.
- [5] V. Grubelnik in M. Marhl, Kako delujejo barvni monitorji?, *Fizika v šoli*, 1 (12), 2006.
- [6] A. Muller, Sneezing, Pixel Spacing, and Geometric Optics, *The Physics Teacher*, 36, 1998, str. 509–511.
- [7] R. Kladnik, *Visokošolska fizika. III. del. Valovni pojavi, akustika in optika*, Državna založba Slovenije, 1989, str. 130–143.

# Sveteče diode: Skriti zaklad

dr. Gorazd Planinšič<sup>1</sup> in dr. Eugenia Etkina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fakulteta za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani

<sup>2</sup> Univerza Rutgers, The State University of New Jersey

*Naslov izvirnika:* Light-Emitting Diodes: A Hidden Treasure

*Navedba:* The Physics Teacher 52, 94 (2014); doi (digitalni identifikator objekta): 10.1119/1.4862113

*Ogled na spletu:* <http://dx.doi.org/10.1119/1.4862113>

*Ogled kazala vsebine:* <http://scitation.aip.org/content/aapt/journal/tpt/52/2?ver=pdfcov>

*Objavilo:* Ameriško združenje učiteljev fizike (American Association of Physics Teacher)

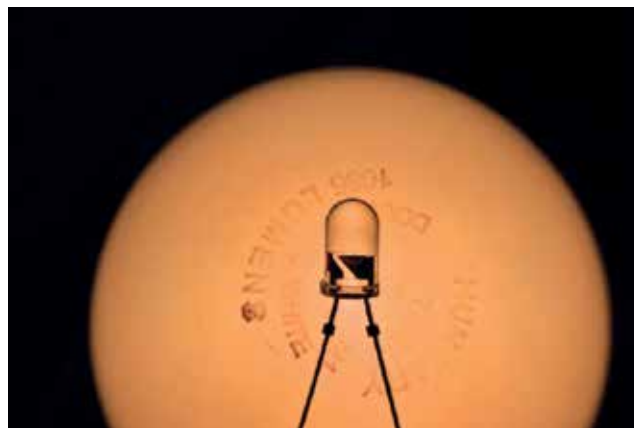
## Povzetek

Pozivamo bralce, da poskusijo izvesti poskuse in sestaviti sklop opreme, ki se lahko uporablja v večini poskusov. Ustvarjanje zabojnikov z vsemi materiali za skupine dijakov je najbolj koristen način za dokumentiranje vsega, kar lahko posameznik naredi z LED. Potem, ko dijaki začnejo delati z LED, se jim bodo porajala lastna vprašanja in bodo oblikovali svoje lastne poskuse. V prihodnjih prispevkih bomo ocenjevali specifične poskuse in njihovo pedagoško obravnavo v skladu z navodili, ki temeljijo na učenju z raziskovanjem. Prav tako bomo poskrbeli za zaporedje navodil s podpornimi vprašanji, ki bodo vašim dijakom omogočili opazovanje pojava, njegovo analiziranje in predlaganje več razlag za mehanizem ter na koncu testiranje teh pojasnil in nove poskuse.<sup>41</sup>

## Abstract

We invite readers to try the experiments and assemble a set of equipment that can be used in most of the experiments. Creating containers with all of the materials for groups of students is the most helpful way to keep track of everything that one can do with LEDs. Once students start working with the LEDs, they will generate their own questions and design their own experiments. In future papers we will elaborate on the specific experiments and their pedagogical treatment consistent with inquiry-based instruction. We will provide instructional sequences with supporting questions that will allow your students to observe a phenomenon, to analyze it and propose multiple explanations for the mechanism, and finally test those explanations in new experiments.<sup>41</sup>

LED ali sveteče diode so poceni, enostavno jih je kupiti in se zato pogosto uporabljajo pri pouku fizike kot kazalniki električnega toka ali kot viri svetlobe (Slika 1). Menimo, da LED predstavljajo edinstven del opreme, ki se lahko uporablja za zbiranje eksperimentalnih dokazov ter razvijanje in preizkušanje novih idej pri skoraj vsaki učni uri pouka osnovne fizike (in v številnih nadaljevalnih tečajih) bodisi (I) kot »črne skrinjice«, ki dijakom omogočajo preučevanje določenih lastnosti sistema, ki ga preučujemo, (II) kot fizični sistem, ki dijakom omogoča, da spoznajo presenetljivo velik obseg fizike, s katerim se običajno ne srečujejo pri rednem pouku osnovne fi-



**Slika 1:** LED je v mnogih pogledih zasenčila navadno žarnico.

zike ali (III) kot netradicionalne naprave, ki dijakom omogočajo razvijanje razumevanja konceptov, ki so v tradicionalnem smislu del predmeta osnovne fizike.

V tem prispevku smo pripravili klasifikacijo različnih uporab LED pri pouku fizike v skladu s tremi, zgoraj omenjenimi načini uporabe, vključno s kratkim opisom ustreznih poskusov (nekaj že objavljenih in nekaj novih) in vprašanja, ki jih lahko zastavijo dijaki ali učitelji ali na katera bi dijaki bili sposobni odgovoriti po izvedbi teh poskusov in analiziranju podatkov. Članek v naslednji 2. številki tega letnika (gre za tri članke, od katerih je eden preveden in bo objavljen v FŠ, druga dva pa sta bralcem na voljo v TPT) bo opisoval poskuse in razmisleke, povezane s fiziko LED, ki je dostopna za srednješolce in študente prvih letnikov. (Ugotovili smo, da različni vidiki delovanja LED lahko pomagajo dijakom pri učenju fizikalnih vsebin v vsaj 11 učnih enotah učnega načrta osnovne (gimnazijske) fizike, pri čemer je primer učne enote npr. energija, geometrijska optika ali električna vezja.) Poleg tega članki opisujejo, na kak način lahko osnovna fizika delovanja LED pomaga dijakom pri učenju nove fizike (v devetih učnih enotah učnega načrta) in na kak način lahko LED uporabljamo kot črne skrinjice (v 12 enotah). Cilj serije člankov je ustvariti sistematično knjižnico LED materialov za vse teme učnega načrta in bralcem ponuditi opis poskusov in pedagoških obravnav, ki bi njihovim dijakom pomagale razviti, testirati in uporabljati fizikalne koncepte in z njimi povezane matematične zveze.

### Zgodovina: znanost in izobraževanje

LED je leta 1927 izumil ruski tehnik Oleg Losev.<sup>1</sup> Nick Holonyak iz podjetja General Electric je leta 1962 razvil prvo praktično uporabno LED, ki je oddajala svetlobo v vidnem spektru (rdeča LED). Kmalu zatem so LED postale širše dostopne kot elektronske komponente, zaradi česar so pritegnile pozornost učiteljev in razvijancev poskusov za poučevanje fizike. Prvi članek na temo LED se je v reviji *The Physics Teacher (TPT)* pojavil leta 1974. Samo v omenjeni reviji (*TPT*) je bilo objavljenih več kot 20 člankov, posvečenih poučevanju s svetlečimi diodami (omenjeno število ne vključuje člankov, ki LED uporabljajo zgolj kot svetlobne kazalnike).

Zavedanje, da se LED lahko uporabljajo za poučevanje različnih tem osnovne fizike, so se pojavile že leta 1991.<sup>2</sup> Članek, ki ga je napisal Jewett, opisuje številne aktivnosti z LED na področjih elektrike, optike in moderne fizike. Veliko stvari se je spremenilo od takrat: tehnološki izumi in izboljšave so po-

vzročile razvoj veliko svetlejših LED, učinkovitejših LED, LED, ki pokrivajo širok spekter valovnih dolžin, vključno z modro in UV, LED, ki oddajajo belo ali roza svetlobo, itd. (glej Sliko 2). Hkrati je prišlo do pomembnih sprememb v našem znanju o tem, kako se učijo dijaki in posledično, kako poučujemo učitelji. Imamo dokaze o tem, da je z aktivnim sodelovanjem dijakov pri poskusih (ne zgolj z opazovanjem izvajanja demonstracijskih poskusov) uporaba poskusov dobila produktivno vlogo v izobraževanju, prav tako pa smo razvili splošne teoretične okvire za doslednejšo uporabo poskusov pri predmetu fizike.<sup>3</sup> Tako tehnološki napredki kot izobraževalne inovacije so nas navdihnile in spodbudile našo serijo člankov o zgoraj opisanih LED.

### Uporaba LED pri predmetu osnovne fizike

Cilj tega poglavja je zagotoviti bralcu sistematični pregled obstoječih idej, ki so povezane z LED in pokazati, na kak način se LED lahko uporabljajo v skoraj vsaki učni enoti predmeta fizike (kot je kinematika, energija, električno polje, itd.). V podpoglavjih na kratko opisujemo poskuse z uporabo LED v različnih učnih enotah in vprašanja, ki jih lahko zastavljajo in odgovarjajo učitelji in dijaki med opazovanjem poskusa, zbiranjem podatkov ter analiziranjem in interpretiranjem le-teh (vprašanja se v splošnem zastavljajo po tem, ko so dijaki opazovali poskuse; v nekaj primerih, kjer je vprašanje/naloga na vrsti pred poskusom, opozorimo na to spremembo). Obstaja 13 podpoglavij, po eno za vsako od ustreznih učnih enot. V vsakem podpoglavju je tabela, ki ima po tri vrstice, ki prikazujejo, kako uporabljati LED na tri različne načine, predstavljene na začetku članka.

- **Vrstica I** obravnava LED kot črne skrinjice, ki pomagajo dijakom pri ustvarjanju predstave in povezav z relevantnimi fizikalnimi pojavi.
- **Vrstica II** pomaga dijakom pri razumevanju fizikalnih vidikov posamezne učne enote (ki jih dijaki preučujejo v vrstici I), ki pojasnjujejo, kako deluje LED. Večina poskusov v vrstici II je kvalitativnih in se osredotoča na konceptualne vidike fizike LED.
- **Vrstica III** se osredotoča na novo fiziko, ki jo dijaki lahko razvijajo potem, ko so usvojili fiziko LED iz vrstice II. Poskusi in vprašanja v vrstici III zahtevajo od dijakov zbiranje več podatkov o istem pojavu, da bi ga lahko preučili na kvantitativni ravni.

V večini primerov se vsaka nadaljnja vrstica dodatno pogloblja v isti pojav. Vrstica I kaže na dejstvo o obstoju pojava, vrstica II omenjeni pojav opisuje in podaja njegovo konceptualno razlago, vrstica III pa poskuša doseči bolj strogi opis in globljo razlago. Upoštevajte, da ni nujno, da je vsaka tabela opremljena z vsemi tremi vrsticami; prisotnost posamezne vrstice je odvisna od učne enote.

V tem prispevku smo pripravili kratek opis poskusov, ki jih je treba izvesti; bralec mora preveriti reference, ki opisujejo podrobnosti o tem, kako izvesti posamezne, predhodno predlagane poskuse. Nadaljnje podrobnosti glede izvornih poskusov, ki so jih predlagali avtorji tega prispevka in podrobnosti glede pedagoške obravnave, so vključene v naslednjih prispevkih.

Spodaj smo pripravili pregled in nekaj vprašanj, ki jih lahko zastavljajo dijaki ali učitelji ali pa bi jih bilo treba spodbuditi, da jih zastavljajo v zvezi s poskusi. V večini primerov se vprašanja pojavljajo po opravljenem poskusu; modre puščice [←] v tabelah označujejo primere, v katerih se vprašanja pojavljajo pred poskusom.

Dvojne zvezdice [\*\*] pa označujejo primere, ki so (kolikor nam je znano) novi.



**Slika 2:** Mavrica svetlečih diod: rdeča, rumena, zelena, modra, ultravijolična, roza in bela.

Imamo dokaze o tem, da je z aktivnim sodelovanjem dijakov pri poskusih uporaba poskusov dobila produktivno vlogo v izobraževanju.

## Enota 1. Tabela I. Kinematika

	Poskus	Vprašanja, ki jih naj zastavljajo učitelji/dijaki
I	Uporaba fotografij z dolgim časom osvetlitve pri slikanju premikajočih se predmetov, ki so bodisi osvetljeni s periodično utripajočimi LED ali pa so le-te na njih pritrjene (primer naprave, ki vsebuje utripajoče LED je kolesarska svetilka). <sup>4</sup>	Kako se je gibal predmet? Predstavite gibanje z diagramom gibanja. Na kak način je diagram gibanja povezan z dejanskim gibanjem? V primeru, da poznate frekvenco utripanja in dimanzije na sliki, kakšna je hitrost in/oziroma pospešek premikajočega se predmeta?

## Enota 2. Tabela II. Energija

	Poskusi	Vprašanja
I	Povežite žarnico z baterijo in opazujte, kako sveti. Postopek ponovite tako, da na baterijo povežete LED in upor ter opazujte, kako sveti. <sup>5</sup>	Makroskopsko opišite pretakanje energije in energetske pretvorbe v teh poskusih. Postopke primerjajte v obeh primerih.
II	Povežite LED na baterijo in upor in jo opazujte, kako sveti. Nato vzemite samo LED in jo povežite z voltmetrom. Na njo posvetite z belo svetlobo in opazujte neničelni odčitek voltmetra. <sup>6</sup>	Mikroskopsko pojasnite pretakanje energije in energetske pretvorbe v omenjenih poskusih. Postopke primerjajte v obeh primerih.
III	Povežite samo LED z voltmetrom (uporabite rdečo, zeleno ali modro LED). Na njo posvetite s svetlobo različnih barv in opazujte odčitek na voltmetru. Praviloma LED proizvede največjo napetost, kadar je osvetljena s svetlobo svoje značilne valovne dolžine. Ta potencialna razlika lahko celo napaja drugo LED. **	Kakšne vzorce/značilnosti zasledite v vaših opazovanjih? Kakšno splošno pravilo v povezavi z napetostjo, ki jo proizvaja LED in intenziteto ter barvo svetlobe, ki vpada na LED, lahko predlagate?



## Enota 3. Tabela III. Električno polje

	Poskusi	Vprašanja
I	LED položite v vodo med dva kovinska trakova priključena na baterijo; upognite in razprite priključni žici LED tako, da sta v vodoravni ravnini. Opazujte, kako je svetlost LED odvisna od smeri priključnih žic glede na kovinska trakova. Uporabite LED kot vizualni kazalnik komponente električnega polja v elektrolitih.	Narišite silnice električnega polja za električno polje med prevodnima trakovima, ki sta povezana z baterijo. Kaj se zgodi s smerjo silnic, ko obrnemo polarnost baterije?
II	(Enaka postavitvev kot zgornja v I) Raziščite odvisnost svetlosti LED od dolžine in razmika med priključnimi žicami. <sup>7</sup>	Zakaj je svetlost LED, potopljene v vodo (kot opisano v I), odvisna od razmika med priključnimi žicama?

## Enota 4. Tabela IV. Električna vezja

	Poskusi	Vprašanja
I	Uporabite LED kot vizualni kazalnik majhnih tokov (na primer, tok, ki ga proizvaja galvanski člen narejen z limono). <sup>8</sup>	Kakšni so pogoji, ki so potrebni za to, da je električni tok sklenjen v krog?
II	a) Uporabite LED, spremenljiv vir napetosti in različne upore /napetostne delilnike za merjenje I-U karakteristike LED. <sup>9</sup> b) Izmerite I - U karakteristiko vzporedno/zaporedno vezanih LED.**	a) Katera I-U krivulja označuje LED? Gre za ohmsko ali neohmsko napravo? Kako veste? b) Katera I-U krivulja označuje dve vzporedno/zaporedno vezani LED?
III	a) Priključite LED na upor in jo osvetlite z belo svetlobo. Izmerite napetost in tok, ki ga proizvede LED za različne upore (bremen).** b) Sestavite dve električni vezji za merjenje napetosti na in električnega toka skozi belo LED in žarnico z žarilno nitko.	a) Kako se LED, ki je osvetljena s stalnim virom svetlobe, razlikuje od navadne baterije glede na napetost na LED in tok skozi njo? b) Domislite se poskusa za primerjanje električne energije bele LED in navadne žarnice, ki se zdita enako svetli.

## Enota 5. Tabela V. Kondenzatorji

	Poskusi	Vprašanja
II	Napolnite kondenzator in ga izpraznite skozi upor. Izmerite časovno odvisnost napetosti na kondenzatorju. Nato ponovite poskus, vendar tokrat izpraznite kondenzator skozi LED.**	Kako se praznjenje kondenzatorja skozi LED razlikuje od praznjenja skozi upor? Pojasnite vzroke za te razlike. Na podlagi vaših pojasnil napovejte, kako se bo napetost na kondenzatorju spreminjala, če ga povežete z LED in upor, ki je vezan zaporedno/ vzporedno z LED.

## Enota 6. Tabela VI. Izmenična napetost

	Poskusi	Vprašanja
II	Zaporedno povežite LED in upor na nizkonapetostni vir izmeničnega toka. Uporabite osciloskop za primerjanje električnega toka skozi LED (z merjenjem napetosti na upor) in napetost na viru. Meritve ponovite z LED različnih barv.	Pojasnite opazovano časovno odvisnost toka skozi LED in jo uskladite z I-U krivuljo LED.
III	a) Zaporedno povežite LED in upor na nizkonapetostni vir izmeničnega toka (dijaki ne smejo vedeti kakšen vir je). Premikajte LED sem ter tja in jo tako uporabite kot vizualni kazalnik izmeničnega toka. Ponovite poskus, ampak tokrat namesto ene LED uporabite povezani LED v paru (dve vzporedni LED, vendar povezani v nasprotnih smereh). <sup>10,22</sup> b) Zaporedno povežite LED (ali dve LED v paru) in upor ter uporabite LED kot vizualni kazalnik smeri el. toka (za preučevanje piezoelektričnega učinka, elektromagnetne indukcije itd.). <sup>11-13</sup>	a) Na podlagi I-U krivulje LED pojasnite, zakaj le-ta utripa, kadar jo premikate sem ter tja. b) Kaj lahko na podlagi I-U krivulje LED poveste o napetosti na napravah, ki jih preiskujete?

## Enota 7. Tabela VII. Elektromagnetna nihanja

	Poskusi	Vprašanja
I	Izdelajte vezje, ki je sestavljeno iz tuljave določenih dimenzij (velikost in število ovojev) in LED ter postavite vezje v bližino mobilnega telefona. Spreminjajte smer/orientacijo mobilnega telefona glede na tuljavo in opazujte kako to vpliva na svetlost LED. <sup>14</sup>	Opišite značilnosti/vzorke v povezavi med smerjo tuljave in mobilnega telefona, ko LED najbolj sveti in predlagajte morebitne razlage za opaženi pojav.
II	Povežite LED z majhno tuljavo in sklopite ta tokokrog induktivno z drugo tuljavo, ki je povezana na sinusni generator. V določenem frekvenčnem območju generatorja LED zasveti. <sup>**</sup>	Uporabite svoje znanje o kapaciteti in elektromagnetnih nihanjih za pojasnjevanje vaših opažanj in ugotovitev. Na podlagi vaših razlag napovejte, kakšen bo izid istega poskusa, če tuljavo povežemo z dvema LED, ki sta vezani zaporedno ali vzporedno.
III	Enak poskus kot v 7. II. Poleg navedenega mora biti znana tudi induktivnost tuljave, povezane na LED.	Ocenite efektivno kapacitivnost LED (ob predpostavki, da je induktivnost tuljave znana).

## Enota 8. Tabela VIII. Geometrijska optika

	Poskusi	Vprašanja
I	V različnih poskusih geometrijske optike uporabite LED z veliko svetilnostjo kot točkasti vir svetlobe. <sup>15,16</sup>	Zastavljajte vprašanja o razmerju med velikostjo sence in velikostjo predmeta ter oblikovanjem slike z lečami in ogledali.
II	Potopite prozorno LED v majhno skodelico, napolnjeno s silikonskim oljem in z uporabo mikroskopa od zgoraj opazujte velikost in zgradbo p-n stika. <sup>**</sup>	Kakšna je oblika in kakšne so dimenzije p-n stika? Kako sta oblika in dimenzije p-n stika povezani z vlogo LED kot virom svetlobe? Zakaj je p-n stik zalit v plastiko? Zakaj moramo LED potopiti v olje, da bi lahko razločno videli p-n stik? Katera druga tekočina bi bila uporabna za enak namen?
III	Opazujte odklon laserskega žarka, ko potuje skozi prozorno LED. Ponovite poskus, vendar tokrat potopite LED v tekočino z znanim lomnim kvocientom. <sup>**</sup>	Pripravite poskus za ocenjevanje lomnega kvocienta plastičnega ohišja LED. Zakaj se na primer za ohišje uporablja plastika in ne steklo?



## Enota 9. Tabela IX. Barve in valovna optika

	Poskusi	Vprašanja
I	<p>a) Za izdelavo preprostega mešalca barv uporabite rdečo, zeleno in modro LED in žogico za namizni tenis.<sup>17</sup></p> <p>b) V različnih poskusih z interferenco, uklonom,<sup>18,19</sup> in sipanjem svetlobe<sup>20</sup> uporabite LED kot monokromatski vir vidne svetlobe.</p>	<p>a) Kakšni so pravila aditivnega mešanja barvnih svetlob?</p> <p>b) Zastavite vprašanja o odnosih med valovno dolžino svetlobe in opaženimi vzorci pri interferenci ali intenziteto pri sipanju svetlobe.</p>
II	Opazujte spekter različnih barv LED, žarnice z žarilno nitko, fluorescentne žarnice, laserja in sonca z uporabo uklonske mrežice ali spektrometra. <sup>21</sup>	Raziščite spekter različnih barv LED in jih primerjajte s spektrom žarnice z žarilno nitko, fluorescentne žarnice, laserja in Sonca. Pojasnite bistvene razlike in jih povežite z značilnimi uporabami.
III	Povežite dvobarvno (rdečo-zeleno) LED na nizkonapetostni vir izmeničnega toka in pokažite, da je videti rumene barve. <sup>22,23</sup>	Proizvajalec trdi, da gre za dvobarvno LED, narejeno iz rdečih in zelenih LED. Domislite se preprostega poskusa za testiranje te trditve.

## Enota 10. Tabela X. Elektromagnetno sevanje in fotoni (vrstica II se ponovi kot v Tabeli IX)

	Poskusi	Vprašanja
I	<p>a) Uporabite LED kot svetlobni detektor.</p> <p>a1) Izmerite intenziteto svetlobe na različnih razdaljah od majhne svetilke.<sup>24</sup></p> <p>a2) Izmerite intenziteto svetlobe, ki jo oddaja navadna žarnica kot funkcijo kota med dvema polarizatorjema, ki sta nameščena med svetilko in LED.<sup>24</sup></p> <p>a3) Modulirajte tok skozi LED z zvočnim signalom (npr. Signalom (npr iz MP3 predvajalnika) in uporabite drugo LED enake barve kot detektor svetlobe (priključite jo na vhod ojačevalca za zvočnike).<sup>25,26</sup></p> <p>b) Uporabite bližnjo IR in UV LED za preučitev lastnosti in uporabe »nevidne svetlobe.«</p> <p>b1) Uporabite kamero na mobitelu za opazovanje interferenčnih vzorcev, ki jih dobite z uklonsko mrežico in LED, ki oddaja bližnjo IR svetlobo.<sup>27</sup></p> <p>b2) Uporabite bližnjo IR LED in kamero mobitela za preučitev optičnih lastnosti različnih snovi v bližnjih IR svetlobi.<sup>28</sup></p> <p>b3) Z UV LED določite sposobnost absorpcije različnih zaščitnih krem za absorpcijo UV-A - svetlobe.**</p>	<p>a1) Podatke predstavite v log-log grafu in jih primerjajte s teoretično napovedjo (<math>1/r^2</math> odvisnost).</p> <p>a2) Primerjajte izmerjene podatke s teoretično napovedjo (Malusov zakon).</p> <p>a3) Z uporabo LED pripravite preprost poskus za prikaz prenosa podatkov (na primer glasbe) s svetlobo.</p> <p>b1) Primerjajte interferenčne vzorce dobljene s svetlobo različnih valovnih dolžin. Primerjajte učinke bližnje IR svetlobe z učinki vidne svetlobe.</p> <p>b2), b3) Proučite optične lastnosti različnih materialov v bližnjem IR in UV območju in predlagajte praktične aplikacije.</p>
III	Izmerite napetost pri kateri začnejo svetiti LED (odpiralna napetost) različnih barv in izmerite valovno dolžino svetlobe istih LED s spektrometrom. Narišite graf, ki kaže odvisnost odpiralne napetosti od frekvence svetlobe. Poenostavljen pristop je opisan v literaturi pod št. 29 in 30, poglobljen pristop pa pod št. 31 in 32.	Uporabite graf za ocenjevanje Planckove konstante.

## Enota 11. Tabela XI. Polprevodniki in p-n stik

	Poskusi	Vprašanja, ki jih naj zastavljajo učitelji/dijaki
III	<p>a) Povežite majhno navadno žarnico (MAGlite) na baterijo in jo potopite v tekoči dušik. Opazujte, kako znižanje temperature praktično ne vpliva na svetlost žarnice. Povežite zeleno ali rdečo LED zaporedno z ustreznim uporom na baterijo. Potopite LED v tekoči dušik in opazujte zmanjšanje svetlosti LED. **</p> <p>b) Potopite rdečo ali rumeno LED v tekoči dušik in opazujte spremembo v barvi svetlobe, ki jo oddaja LED (v večini primerov postane rdeča LED rumena, rumena LED pa postane zelena).<sup>33</sup></p>	<p>a) Kaj lahko iz tega poskusa sklepamo o električnihlastnostih polprevodnikov? Primerjajte rezultate obeh poskusov.</p> <p>b) Uporabite znanje o energijskih pasovih v trdnih snoveh in o toplotnem raztezanju za pojasnjevanje spremembe barve svetlobe, ki jo oddaja LED v poskusu.</p>

## Enota 12. Tabela XII. Fotoefekt

	Poskusi	Vprašanja
I	<p>a) Uporabite LED različnih barv za opazovanje fotoefekta v vakuumski fotoelektronki.<sup>34</sup></p> <p>b) Zaporedno povežite LED, tlviko in vir izmenične napetosti. Napetost nastavite nekoliko pod ravno, ko neon žarnica in LED pričneta svetiti. Nato osvetlite tlviko z vidno svetlobo. LED začne svetiti, kar kaže na prisotnost fototoka, ki je posledica fotoefekta v tlviki.<sup>35</sup></p>	<p>a) Opišite vzročno zvezo med barvo svetlobe, ki osvetljuje fotoelektronko in prisotnostjo/odsotnostjo električnega toka.</p> <p>b) Pojasnite, zakaj teče v tokokrogu, električni tok šele, ko osvetlimo tlviko. Kakšna je vloga posameznega elementa (tlvike, LED in vir izmenične napetosti) v tem poskusu? Bi lahko izvedli enak poskus z virom enosmerne napetosti?</p>
II	Enak poskus kot v 2.III.	Kako LED pretvarja svetlobo v električni tok?

## Enota 13. Tabela XIII. Nastanek svetlobe, fluorescenca in fosforescenca

	Poskusi	Vprašanja
I	<p>a) Posvetite z LED na fluorescentni material in opazujte kako sveti; primerjajte barvo svetlobe LED z barvo svetlobe, ki jo oddaja material. Kvalitativna primerjava lahko temelji na opazovanju s prostim očesom ali z uporabo preproste uklonske mrežice; kvantitativno primerjavo lahko naredite z uporabo preprostega spektrometra. Raziščete lahko tudi rastline kot so paprika, kivi in banane.<sup>36, 37</sup></p> <p>b) Posvetite z LED na fosforescentni material in opazujte kako pri določenih pogojih material oddaja svetlobo tudi potem, ko ugasnemo LED; primerjajte barvo svetlobe LED z barvo svetlobe, ki jo oddaja material. Kvalitativna primerjava lahko temelji na opazovanju s prostim očesom, kvantitativna primerjava pa z uporabo preprostega spektrometra.<sup>38</sup></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Opišite kaj se zgodi, ko so nekateri materiali obsevani s svetlobo različnih barv.</li> <li>Kako dolgo traja učinek?</li> <li>Primerjajte valovno dolžino oddane svetlobe z valovno dolžino vpadne svetlobe. Predlagajte pravilo, ki povzema opažene zakonitosti.</li> </ol>
II	Izmerite tokovno-napetostno karakteristiko, ter odvisnost svetilnosti od toka in od napetosti za LED in polprevodniški laser. <sup>39</sup>	Kako se laserske diode razlikujejo od LED? Na kak način laserske diode proizvajajo svetlobo?
III	Uporabite spektroskop za primerjanje spektra svetlobe, ki ga oddaja rdeča, zelena in modra LED s spektrom svetlobe, ki ga oddaja bela in roza LED. <sup>40</sup>	Na kak način lahko LED proizvede svetlobo z zveznim spektrom (kot sta na primer bela ali roza svetloba)?

## Zahvale

Radi bi se zahvalili gospodu Leošu Dvořaku za njegove dragocene komentarje na ta prispevek in gospodu Chrisu Chiaverini za njegovo nenehno spodbujanje in podporo.

## Viri in literatura

- [1] Nikolay Zheludev, »The life and times of the LED – a 100-year history,« *Nature Photonics* 1, 189–192 (2007).
- [2] John W. Jewett, »Get the LED out,« *Phys. Teach.* 29, 530–534 (Nov. 1991).
- [3] Eugenia Etkina, Alan Van Heuvelen, David T. Brookes, and David Mills, »Role of experiments in physics instruction – A process approach,« *Phys. Teach.* 40, 351–355 (Sept. 2002).
- [4] T. Terzella, J. Sundermier, J. Sinacore, C. Owen, and H. Takai, »Measurement of  $g$  using a flashing LED,« *Phys. Teach.* 46, 395–397 (Oct. 2008).
- [5] James A. Einsporn and Andrew F. Zhou, »The 'Green Lab': Power consumption by commercial light bulbs,« *Phys. Teach.* 49, 365–367 (Sept. 2011).
- [6] Mickey Kutzner, Richard Wright, and Emily Kutzner, »An inexpensive LED light sensor,« *Phys. Teach.* 48, 341–343 (May 2010)  
Leoš Dvořák and Gorazd Planinšič, GIREP-ICPE-MPTL Conference 2010 - Proceedings 2010, Reims, France; spletni dostop na voljo na [http://www.univ-reims.fr/site/evenement/girep-icpemptl-2010-reims-international-conference/gallery\\_files/site/1/90/4401/22908/29321/29497.pdf](http://www.univ-reims.fr/site/evenement/girep-icpemptl-2010-reims-international-conference/gallery_files/site/1/90/4401/22908/29321/29497.pdf).
- [7] Daniel J. Swartling and Charlotte Morgan, »Lemon cells revisited—The lemon-powered calculator,« *J. Chem. Educ.* 75 181–182 (1998). Na voljo tudi na spletni strani avtorjev, <http://www.autopenhosting.org/lemon/>.
- [8] M. Camden, »Oscilloscope display of current-voltage curves,« *Phys. Teach.* 7, 406 (Oct. 1969).
- [9] Glej tudi laboratorij »Power to the People!« by Joshua Buchman et al. at CIPT spletna stran, <http://www.cns.cornell.edu/cipt/labs/lab-index.html>.
- [10] Dan Lottis and Herbert Jaeger, »LEDs in physics demos: A handful of examples,« *Phys. Teach.* 34, 144–146 (March 1996).
- [11] Jonathan Hare, »LED demonstrates piezoelectricity,« *Phys. Educ.* 41, 212–213 (2006).
- [12] Juan A. Pomarico, »Seeing rectifiers at work,« *Phys. Teach.* 40, 118–119 (Feb. 2002).
- [13] Jonathan Hare, »A simple demonstration for exploring the radio waves generated by a mobile phone,« *Phys. Educ.* 45 (5), 481–486 (2010).
- [14] George T. Gillies, »Altered light-emitting diode point source emitter,« *Am. J. Phys.* 48, 418–419 (May 1980).
- [15] Leoš Dvořák, »A do-it-yourself optical bench,« *Phys. Teach.* 49, 452–455 (Oct. 2011).
- [16] Gorazd Planinšič, »Color mixer for every student,« *Phys. Teach.* 42, 138–142 (March 2004).
- [17] Se-yuen Mak, »A multipurpose LED light source for optics experiments,« *Phys. Teach.* 42, 550–552 (Dec. 2004).
- [18] Charles A. Sawicki, »Easy and inexpensive demonstration of light interference,« *Phys. Teach.* 39, 16–19 (Jan. 2001).
- [19] Gordon McIntosh, »A simple photometer to study skylight,« *Phys. Teach.* 44, 540–544 (Nov. 2006).
- [20] Glej tudi priročnik »The Light Emitting Diode,« <http://web.phys.ksu.edu/vqm/VQMNextGen/App&ModelBuilding/led.pdf> in »Spectroscopy Lab Suite,« <http://web.phys.ksu.edu/vqm/software/online/vqm/> na spletni strani podjetja Visual Quantum Mechanics.
- [21] Lloyd Harrich, »AC made visible,« *Phys. Teach.* 22, 448 (Oct. 1984).
- [22] Marcelo M. F. Saba and Daniel D. Monteiro, »Color addition and alternating current,« *Phys. Teach.* 38, 446 (Oct. 2000).
- [23] Ref. 6.
- [24] Adam Niculescu, »Demonstration of light-wave communication for high school physics,« *Phys. Teach.* 40, 347–350 (Sept. 2002).
- [25] Glej tudi laboratorij »Communicating with Light: From telephony to cell phones« by James Overhizer et al. Na spletni strani CIPT, <http://www.cns.cornell.edu/cipt/labs/lab-index.html>.
- [26] Jochen Kuhn and Patrik Vogt, »Diffraction experiments with infrared remote controls,« *Phys. Teach.* 50, 118–119 (Feb. 2012).
- [27] Stanley J. Micklavzina, »Tricks with invisible light,« *Phys. Educ.* 38, 492–494 (2003).
- [28] Feng Zhou and Todd Cloninger, »Computer-based experiment for determining Planck's constant using LEDs,« *Phys. Teach.* 46, 413–415 (Oct. 2008).
- [29] Glej tudi laboratorij »The Phantastic Photon and LEDs« by James Overhizer et al. Na spletni strani CIPT, <http://www.cns.cornell.edu/cipt/labs/lab-index.html>.

- [30] Valeria Indelicato, Paola La Rocca, Francesco Riggi, Gianluca Santagati, and Gaetano Zappal`a, »Analysis of LED data for the measurement of Planck's constant in the undergraduate laboratory,« *Eur. J. Phys.* 34, 819–830 (2013).
- [31] Barun RayChaudhuri, »On the determination of the emission wavelength of an infrared LED with common laboratory instruments,« *Eur. J. Phys.* 32, 935–945 (2011).
- [32] George C Lisensky, Rona Penn, Margaret J. Geselbracht, and Arthur B. Ellis, »Periodic properties in a family of common semiconductors – Experiments with LEDs,« *J. Chem. Educ.* 69, 151–156 (1992).
- [33] Wayne P. Garver, »The photoelectric effect using LEDs as light sources,« *Phys. Teach.* 44, 272–275 (May 2006).
- [34] Adolf Cortel, »Simple photoelectric effect,« *Phys. Teach.* 44, 310–311 (May 2006).
- [35] Glej laboratorij »The Phantastic Photon and LEDs« by James Overhizer et al. Na spletni strani CIPT, <http://www.cns.cornell.edu/cipt/labs/lab-index.html>.
- [36] Glej tudi »Spectroscopy Lab Suite,« <http://web.phys.ksu.edu/vqm/software/online/vqm/> na spletni strani podjetja Visual Quantum Mechanics.
- [37] Glej tudi priročnik »Phosphorescence« na <http://web.phys.ksu.edu/vqm/VQMNextGen/App&ModelBuilding/> in »Spectroscopy Lab Suite,« <http://web.phys.ksu.edu/vqm/software/online/vqm/> na spletni strani podjetja Visual Quantum Mechanics.
- [38] A. M. Ojeda, E. Redondo, G. Gonzalez Diaz, and I. Martil, »Analysis of light-emission processes in light-emitting diodes and semiconductor lasers,« *Eur. J. Phys.* 18, 63–67 (1997).
- [39] Glej tudi priročnik »Great White LED« na spletni strani Visual Quantum Mechanics – The Next Generation, <http://web.phys.ksu.edu/vqm/VQMNextGen/App&ModelBuilding/greatwhiteled.pdf>.
- [40] E. Etkina and A. Van Heuvelen. »Investigative Science Learning Environment - A Science Process Approach to Learning Physics,« in *Research Based Reform of University Physics*, edited by E. F. Redish and P. Cooney (AAPT, 2007), online at [http://per-central.org/per\\_reviews/media/volume1/ISLE-2007.pdf](http://per-central.org/per_reviews/media/volume1/ISLE-2007.pdf).

**Gorazd Planinšič** je profesor fizike na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani, Slovenija. Prav tako je stalni sodelavec prvega slovenskega centra znanosti, Hiša eksperimentov. Vodi izobraževalni program fizike za bodoče srednješolske učitelje fizike in program stalnega strokovnega izobraževanja za učitelje fizike v Sloveniji. Njegov glavni interes je razvoj in izobraževalne aplikacije preprostih poskusov. [planinsic@fmf.uni-lj.si](mailto:planinsic@fmf.uni-lj.si)

**Eugenia Etkina** je profesorica fizikalnega izobraževanja na Univerzi Rutgers, GSE. Izobražuje bodoče učitelje fizike za srednje šole in aktivne učitelje fizike ter razvija gradiva za učne programe fizike. Je soavtorica *Okolja za raziskovalno učenje naravoslovja (Investigative Science Learning Environment - ISLE)* in soavtorica nedavno objavljenega učbenika *College Physics*. Njeno raziskovanje je usmerjeno v načine, kako pomagati dijakom pri razvijanju »znanstvenih navad razmišljanja.« [eugenia.etkina@gse.rutgers.edu](mailto:eugenia.etkina@gse.rutgers.edu)

#### THE PHYSICS TEACHER, Št. 52, Februar 2014

Ta članek je avtorsko zaščiteno delo, kot je navedeno v članku. Za ponovno uporabo vsebine AAPT veljajo pogoji na: <http://scitation.aip.org/termsconditions>.

Preneseno na IP: 68.170.176.39 v četrtek, 16 januarja, 2014 ob 18:44:21

# Ducat let Zvezdogleda

Stane Arh

## Povzetek

S profesorjem fizike Goranom Iličem smo se pogovarjali o programu in načrtih delovanja Zvezdogleda – to je skupine za astronomijo navdušenih amaterjev, ki po šolah izvaja praktično astronomijo.

## Abstract

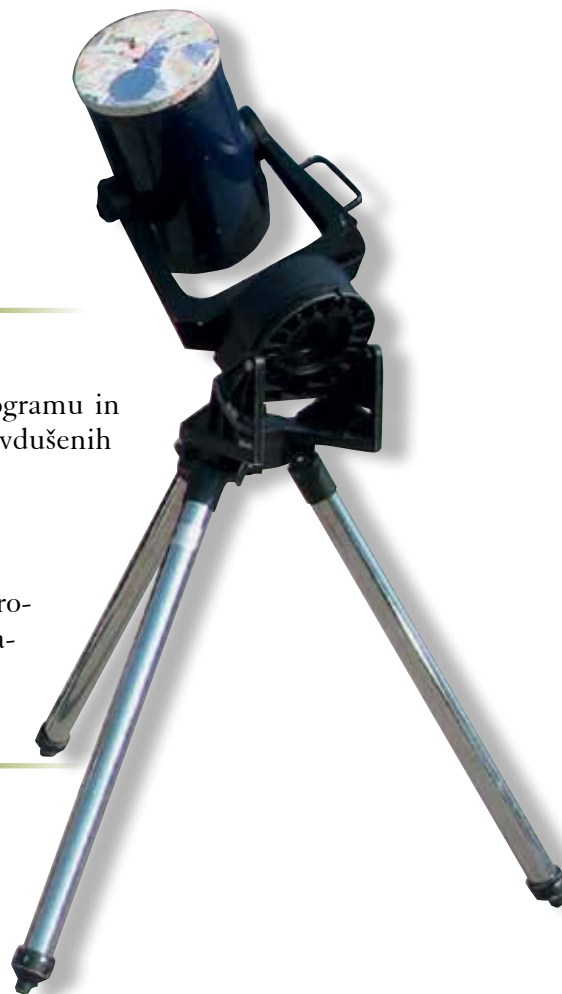
With the physics professor Goran Ilić we have discussed the programme and activity plan of Zvezdogled – this is a group of amateur astronomy enthusiasts, who perform practical astronomy at schools.

Ducat let je za astronomijo zelo kratko obdobje, v življenju pa predstavlja že četrtno človekovega delovnega obdobja. Če je človek priden in ne trati časa, ima za seboj že lepo zbirko rezultatov in uspehov. In Zvezdogled jih ima. Zvezdogled sicer ni človek. Pod tem imenom deluje skupina za astronomijo navdušenih amaterjev, ki svoje znanje posredujejo učencem, dijakom in tudi odraslim. S svojim planetarijem in delavnicami so obiskali že 250 različnih šol in skozi njihove teleskope je opazovalo zvezdno nebo že preko 60 tisoč radovednih obiskovalcev.

Obletnico Zvezdogleda smo izkoristili za intervju s profesorjem fizike Goranom Iličem, ki je eden od ustanovnih članov Zvezdogleda.

**Zvezdogled je z leti postal skoraj nujna potreba za praktičen prikaz osnov astronomije. Vse več šol se poslužuje vaših uslug pri spoznavanju Sončevega sistema in opazovanju zvezd. Ali nam lahko predstavite ekipo Zvezdogleda?**

Osrednji del ekipe predstavljamo: Matjaž Gerdej, Dalibor Šolar in jaz. Skupaj pripravljamo vsebine programa Zvezdogleda, jih posodabljam, dopolnjujemo in širimo. Vsebine programa so prilagojene veljavnim učnim načrtom. Prisluhujemo tudi željam naročnikov in smo sposobni obdelati katerokoli vsebino iz astronomije. Z lastnimi sredstvi smo kupili prenosni planetarij in potrebno opremo, ki jo vsako leto dopolnjujemo in izboljšujemo.



Matjaž skrbi za izdelavo vseh digitalnih vsebin in jih običajno tudi sam predstavlja v planetariju. (Število predstav se približuje številki 3000. Številka je prava. V planetariju je prostora za 20 obiskovalcev (otrok do 30), zato naredimo na astronomskem dnevu več projekcij, tudi do pet, glede na velikost šole in njihovih želja.) Odlično pozna delovanje aparaturo, zato je postal naš tehnični mojster za vse. Dalibor in jaz sva oba učitelja fizike, zato pripravljava in skrbi va za izvedbo delavnic in predavanj. V veliko pomoč so nam prijatelji, amaterski astronomi, ki nam svetujejo in nas podpirajo pri našem delu.

**Nam lahko opišete začetek delovanja Zvezdogleda?**

V astronomskem društvu Nova smo bili veliki ljubitelji astronomije in to ljubezen smo delili z ostalimi, če so le pokazali nekaj zanimanja za astronomijo. Pogosto smo organizirali opazovanje Sonca in nočnega neba za prebivalce Jesenic in okoliških krajev. Izkoristili smo vsak astronomski dogodek za množično opazovanje. Bili smo mladi z ogromno delovne energije.

Ideja o ustanovitvi Zvezdogleda je zorela nekaj let. Kar nekaj tehtnih razlogov je bilo za njegov začetek:

Slovenija je bila že kako desetletje brez planetarija, šolski program je uvajal izbirne predmete s področja astronomije, šole so nas prosile za pomoč pri izvedbi naravoslovnih dni, znanje astronomije učiteljev je bilo pomanjkljivo, niso imeli praktičnih izkušenj pri opazovanju s teleskopom, na mnogih šolah ni bilo teleskopov. Potrebo po ustanovitvi Zvezdogleda smo občutili še toliko bolj, ker smo kot učitelji poučevali v šolah.

Imeli smo znanje, ki smo ga bili pripravljene posredovati drugim učiteljem in učencem. Vsak od nas je imel svoj teleskop. Zbrali smo denar in kupili prenosni planetarij, ki ni bil poceni.

Kmalu se je izkazalo, da smo se pravilno odločili. Po prvih predstavitev planetarija učiteljem fizike so prihajala vabila iz različnih šol. Vse več jih je bilo in kmalu so preseгла ljubiteljski nivo. Postali smo prezaposleni z delom v Zvezdogledu ob redni službi. Zvezdogled smo preoblikovali in ga osnovali na profesionalni ravni z enim redno zaposlenim astronomom. Matjaž sprejema in usklajuje naročila, organizira predstavitve, ogleda in delavnice, skrbi za vzdrževanje opreme, ureja administracijo. Skratka, je deklica za vse. Seveda mu ostali pomagamo.

**Na vaši spletni strani (<http://www.zvezdogled.si/>) je zabeležen podatek, da ste s planetarijem obiskali že 250 različnih šol po Sloveniji, v glavnem osnovne šole. Z obiskom ste razveselili celo učence osnovne šole v Trstu. Verjetno so povpraševanja po astronomskih vsebinah in vaših predstavitev preseгла začetna pričakovanja. Ali nam lahko opišete, kako poteka astronomski dan na šoli?**

Res je, povpraševanje po naših programih je precejšnje, zato je veliko dogovarjanja. V pomoč učiteljem smo postavili spletno stran, kjer pregledno objavljamo vse aktualne novice v zvezi s predstavitvami in tudi urnik rezervacij posameznih terminov. Seveda smo odvisni tudi od vremena, saj v oblačnem dnevu nimamo kaj opazovati.

Naravoslovni dan lahko poteka v dopoldanskem ali popoldanskem času in traja običajno pet šolskih ur. Vsebino programa astronomskega dne izbere šola iz nabora, ki ga ponujamo. Ponujamo: obisk planetarija, multimedijško predavanje, razne delavnice, opazovanje Sonca, opazovanje nočnega neba s prostim očesom, z daljnogledom in s teleskopi. Učiteljem svetujemo, naj izberejo različne dejavnosti, da učenci niso enostransko obremenjeni. Vsaka dejavnost poteka v enem prostoru in traja eno šolsko uro. Na dejavnostih se menjajo učenci

v skupinah tako, da vsak učenec opravi vse predvidene dejavnosti.

### **Kakšen planetarij uporabljate za predstavitve?**

Za postavitev prenosnega planetarija zadošča šolska učilnica. V planetariju je prostora za 30 ljudi. Optični projektor smo nadgradili z digitalnim, tako da nismo več omejeni s projekcijami in lahko v planetariju predvajamo raznovrstne predstavitve in filme. Astronavtka slovenskih korenin Sunita Williams je lani na Bledu gostom v našem planetariju prikazala film o svojem bivanju na Mednarodni vesoljski postaji. Sunita je pohvalila vsebino naših astronomskih predstavitev. Tudi učenci pozorno poslušajo našo razlago in prihajajo iz planetarija navdušeni za astronomijo.

### **Bi lahko na kratko predstavili še vsebine ostalih dejavnosti?**

Multimedijško predavanje obsega različne vsebine: Osončje, življenje zvezd, naša galaksija, vesoljski poleti, mednarodna vesoljska postaja, kometi. Pripravljenih imamo 14 različnih vsebin.

V delavnicah so glavni izvajalci učenci, ki izdelajo in izstrelijo rakete na vodni pogon, simulirajo nastanek kraterjev, modelirajo Osončje, se naučijo uporabljati vrtljivo zvezdno karto.

Dnevno opazovanje vsebuje opazovanje Sonca s teleskopi v h-alfa in beli svetlobi v različnih tehnikah, opazovanje protuberanc, izračun aktivnosti Sonca, relativno velikost peg.

Večerno opazovanje je namenjeno spoznavanju večernega neba s prostim očesom, z daljnogledom in s teleskopi. Opazujemo Luno, planete, komete, zvezde, svetlejšje objekte globokega neba (galaksije, meglice, kroglaste in razsute kopice, dvozzvezdja, ...).

### **Kljub širokemu izboru vsebin verjetno astronomski dan ni dovolj, da bi z njim pokrili vse vsebine učnega programa.**

Naš cilj nikoli ni bil, da bi popolnoma zadostili zahtevam učnega programa. V astronomskem dnevu želimo učencem prikazati zanimivosti astronomije, jo približati na dostopen način in učence navdušiti za opazovanje sveta okoli sebe. Pa ne samo učence. Tudi odraslim poskušamo vzbuditi zanimanje za astronomijo.

### **Kako?**

V Cankarjevem domu smo že trikrat sodelovali na Festivalu znanosti in vse dni navduševali obiskovalce s planetarijem in multimedijškimi predavanji.



Planetarij je bil že večkrat predstavljen na študijskih skupinah učiteljev za fiziko. Poleti prirejamo nočna opazovanja na Blejskem gradu. Sodelovali smo pri nočnih opazovanjih v okviru programa ljudske univerze. Odzvali smo se povabilu Društva upokojencev Jesenice. Vedno organiziramo javna opazovanja Sončevih mrkov ali astronomskih pojavov, ki so zanimivi za širšo javnost.

**V astronomiji se zadnja desetletja hitro vrste nova in nova odkritja. Jih uspete spremljati?**

Astronomija nam je še vedno velika ljubezen in se trudimo slediti vsem najpomembnejšim odkritjem. Pomembnejša spoznanja vključujemo v medijska predavanja. Veseli nas, da tudi slovenski astronomi dosegajo vidne rezultate.

**V Krškem je Zvezdogled – planetarium. Je to vaša podružnica?**

Ne, nikakor. Z njim nimamo stika. Pojavlja se zadnji dve leti in na nepošten način uporablja naše uveljavljeno ime Zvezdogled za lastno promocijo in za pridobivanje nepozornih strank. Menimo, da bo tudi on kmalu obupal, tako kot nekateri pred njim. Nič nimamo proti konkurenci, saj nas zdrava konkurenca sili k stalnemu izboljševanju programa in k dodatnemu izobraževanju. Bojimo se le, da bi nelojalen konkurent s slabim programom in morebitnim zaslužkarstvom škodoval posredno tudi nam. Mi delamo na dolgi rok in se bomo še naprej trudili biti kvalitetni.

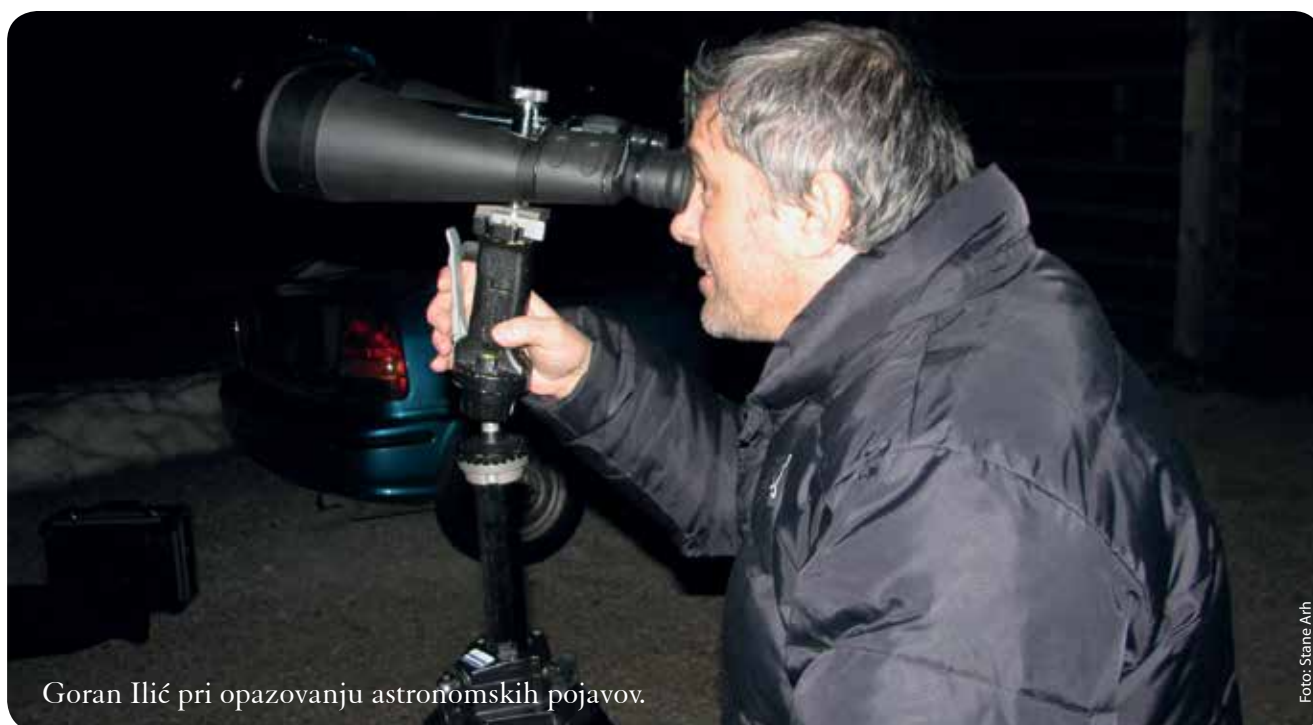
**Ste učitelj na OŠ Toneta Čufarja na Jesenicah. Kako posredujete svoje bogato znanje astronomije svojim učencem?**

Med našimi učenci je astronomija zelo popularna. Vsako leto imamo na šoli vsaj dve skupini učencev, ki izberejo izbirni predmet s področja astronomije. Imeli smo tudi že pet skupin. Redno opazujemo s teleskopi Sonce, Luno, planete, večerno nebo. Z večino učencev šole smo opazovali vsak mrk, ki je bil pri nas viden, spremljali smo prehod Venere in Merkurja preko Sončeve ploskve. Želim si postaviti šolski observatorij na strehi šole, a za to ni dovolj denarja.

**Bi za konec še kaj dodali, česar vas nisem vprašal v zvezi z Zvezdogledom?**

Zvezdogled že dvanajst let uspešno zapolnjuje praznino neobratovanja stalnega planetarija v Sloveniji in posreduje praktično astronomsko znanje. Kljub povpraševanju in tesnemu sodelovanju s šolami bi bil koristen kritičen pregled storjenega. Verjetno je že prišel čas za postavitev novih, morda tudi višjih ciljev pri vseh sodelavcih v Zvezdogledu.

V dvanajstih letih se je le delno izpolnila ideja in prvotna želja, da 400 let po Galileju ne bi bilo otroka, ki še ni pogledal skozi teleskop in se širše zavedel svojega mesta v vesolju. Pri uresničevanju te ideje je vloga učiteljev neprecenljiva.



Goran Ilić pri opazovanju astronomskih pojavov.

Foto: Stane Arh

# Posredovanje informacij v fiziki

V dolgoletnem poučevanju predmeta »Didaktika fizike« za bodoče učitelje fizike na osnovni šoli se zelo pogosto srečujem s komunikacijskim šumom ob razpravah o različnih fizikalnih pojavih. **Kako fizikalne pojave ilustrirati z nazornimi eksperimenti, kako jih razložiti, kako jih grafično predstaviti in, predvsem, katere besede ob tem uporabljati?** Ni enoznačnega dogovora in deloma je to tudi prav. Zagotovo se strokovna govorica razlikuje od vsakdanjega govora. Posamezne besede imajo v vsakdanji govorici drugačen pomen kot v strokovni. Neredko vpeljujemo nove izraze, ki se šele s pogosto rabo vključijo v učenčev ali dijakov besednjak. Ne nazadnje se dnevno srečujem z žal pomanjkljivim znanjem slovenščine, nepravilno rabo števila, oseb, sklonov, z nepravilnim stopnjevanjem in s prekomerno uporabo mašil. Jasnost navodila, izrazoslovja in sporočilna nedvoumnost so še mnogo bolj očitni pri pisnih izdelkih. Celo pri izpitih samih se pogosto znajdem pred dilemo, ali študent res razume tematiko, o kateri pisno sporoča v površnem, slovnično nepravilnem in smiselno šibko konsistentnem jeziku? Problematika pa žal ni omejena le na študente. Semantične nedoslednosti lahko najdemo v učnih načrtih, učbenikih in drugod. Včasih se zdi, da vsak, ki želi sporočiti v pisni obliki, uporablja osebno strokovno govorico. Problem postane še večji, če se ozremo po opisih enakih pojavov v sorodnih naravoslovnih disciplinah, ki se v šestem razredu celo združujejo v istem predmetu z enim samim učiteljem. Prav hitro ugotovimo, da obstajajo različna imena za iste pojme.

V pogovoru z urednikom sem predlagala, da se v skupnosti učiteljev fizike začnemo pogovarjati o problemih medsebojnega strokovnega komuniciranja. Temu namenu naj služijo prihodnji prispevki. Nikakor se nočem postaviti na kateder učitelja avtoritete in ne sodnice. Zato sprejmite moje dolgoletne razmisleke v lastni razmislek. Preberite in razmislite, ali so predlogi uporabe besed, grafičnih predstavitev in drugih komunikacijskih načinov smiselni tudi z vašega stališča ali pa jim oporekate. Napišite odgovor s svojimi predlogi in naj se začne razprava, kako narediti fizikalno govorico natančno in enoznačno. Skupaj znamo in zmoremo več.

Ker je bilo lansko leto posvečeno svetlobi, bo nekaj prispevkov, začenši s prvim, posvečenih tej tematiki. V prvem prispevku se lotevam opisovanja širjenja svetlobe in pripadajočih grafičnih predstavitev. Poleg leta svetlobe me je k temu dodatno motiviral tudi način opisovanja pojavov, povezanih s svetlobo na vseh nivojih, na katere sem naletela pri študentih, kolegih strokovnjakih in učiteljih. Osebna refleksija pa me je opomnila, da sem te, iste napake, dokler nisem svoje govornice razmislila pod drobnogledom, počela tudi sama. Naj vam bo branje v izziv in zabavo.

*dr. Mojca Čepič,  
Pedagoška fakulteta Univerze v Ljubljani*

# Besedne in druge predstavitve svetlobe v šoli

dr. Mojca Čepič

Pedagoška fakulteta Univerze v Ljubljani

Poučevanje pojavov, povezanih s svetlobo, se začne že v tretjem razredu osnovne šole pri Spoznavanju okolja. Nato se s posameznimi koncepti učenci srečujejo skoraj vsako nadaljnje leto pri predmetih Naravoslovje in tehnika in Naravoslovje. Šele v kasnejših razredih, ko v pouk vstopi fizika v obliki samostojnega predmeta, postane obravnava svetlobe in pojavov, povezanih z njo, samostojna, a zelo omejena tema. Obravnavana je zgolj nekaj ur v enem razredu osnovne šole (običajno v osmem) in gimnazije (običajno v drugem ali tretjem letniku). Žal je poučevanje omejeno predvsem na odboj in lom, nekoliko se učenci srečajo tudi z optičnimi instrumenti, navadno z lečami. Pri biologiji obravnavajo tudi oko, a tam je predstavitev v učbenikih pogosto napačna, saj je lom svetlobe prikazan napačno in omejen le na lečo. Preliminarne raziskave, izvedene na Pedagoški fakulteti Univerze v Ljubljani, pa so pokazale, da si učenci zapomnijo vsaj nekaj o nastanku slike v očesu. Zapomnijo si namreč predvsem sliko obrnjenih predmetov v očesu s popolnim nerazumevanjem razlogov za ta obrat, saj se obrnjena slika pojavlja pred očesom, za očesom in še kje drugje, lom pa običajno ni nikoli niti nakazan (Blagotinšek, 2015).

Vendar ta prispevek ni namenjen pritoževanju nad obsegom obravnave svetlobe, temveč bi rada predlagala nekaj dogovorov o rabi besed in grafičnih prikazov pojavov, povezanih s svetlobo. Omejila se bom le na geometrijsko optiko, torej na odboj in lom, ter na ozaveščanje zavedanja, kako sprejemamo informacije preko vida.

## Svetloba kot elektromagnetno valovanje

Z izrazom svetloba imenujemo elektromagnetno valovanje z valovnimi dolžinami med 400 nm in 700 nm. Fotoni svetlobe teh valovnih dolžin sprožijo v ozadju očesa kemijske reakcije, ki povzročijo nastanek signala, prenesenega v možgane preko vidnega živca. Čeprav je to dogajanje temelj vidnega zavedanja sveta okoli nas, ga pri poučevanju le redko poudarjamo. Z ozaveščanjem tega dejstva pričnejo učitelji razrednega pouka v smislu naslednjega:

*Kako ločimo svetila od predmetov, ki ne oddajajo svetlobe? Svetila vidimo tudi v temi, predmeti, ki ne oddajajo svetlobe, pa morajo biti osvetljeni.*

*Kateri pogoji morajo biti izpolnjeni, da vidimo svetilo? Svetloba, ki jo oddaja svetilo, mora pasti v oči. To pomeni, da moramo z usmeritvijo pogleda in odstranitvijo morebitnih ovir poskrbeti, da je to mogoče. In seveda, oko mora biti »zdravo« oziroma v njem lahko potekajo procesi, ki omogočijo zaznavo svetlobe možganom.*

*Kateri pogoji morajo biti izpolnjeni, da vidimo predmet, ki ni svetilo? Predmet mora biti osvetljen. Svetloba, ki se na predmetu odbije, mora pasti v oči. Ostali pogoji so enaki kot pri zaznavi svetil.*

Gornji pogoji nakazujejo še eno dejstvo. Obstoja svetlobe ne moremo zaznati, če svetloba ne pade v oči. Zelo enostavni so testi s prekritimi očmi, saj v tem primeru poskusni zajček ne more ugotoviti, ali je luč prižgana ali ugasnjena. Prav tako je za



Foto: FP

ozaveščanje teh dejstev smiselno, da učencem omogočijo doživljanje popolne teme in tega, da tedaj ne vidijo prav ničesar, niti lastnih rok ne. Žal so opazovanja »teme« v jamah, pa tudi v dobro svetlobno izoliranih prostorih, kratkotrajna. Učencem namreč ne moremo omogočiti izkušnje, da se oči na temo ne prilagodijo, ki je drugačna od vsakodnevnih izkušenj v relativno temnih prostorih, kjer čez nekaj časa, ko se »oko« prilagodi, spet nekoliko vidimo.

V prihodnje se bomo pri obravnavi nastanka slik, njihove velikosti in lege večkrat sklicevali na te pogoje. V današnjem prispevku pa bi se rada omejila le na dvojce: na rabo besed pri opisovanju pojavov, povezanih s svetlobo, in na pravila pri opisovanju grafičnih predstavitev teh pojavov.

## Besedne upodobitve

Svetlobo lahko obravnavamo na dva načina: kot delce (fotone) ali kot elektromagnetno valovanje. Običajno se šele v srednji šoli srečamo z delčno obravnavo svetlobe ob koncu obravnave fizikalnih tem pri fotoefektu, običajno pa se učenci z obravnavo fotonov, dvojnosti narave svetlobe in podobnega ne srečajo zelo poglobljeno. Vseeno pa večina vsaj malo naravoslovno izobrazjenih fotone pozna in jih smiselno povezuje s svetlobo. Prav tako delčno doživljanje svetlobe podpirajo vsakodnevne izkušnje iz mehanike. Vsak učenec ima namreč obilo izkušenj z gibanjem teles in le zanemarljivo malo z valovanji v smislu njihovega širjenja, ki jih je mogoče zaznavati le posredno (zvok in svetloba). K razmišljanju o valovanju kot o delcih navede tudi pogosta raba besed v smislu »svetloba potuje od Sonce do Zemlje 8 minut«, »svetlobno leto je razdalja, ki jo prepotuje svetloba v enem letu v praznem prostoru«, pa tudi izraz »svetloba pade v oči« nakazuje potovanje. Z dinamiko v povezavi s svetlobo sta povezana tudi izraza »svetloba se odbija« in »svetloba se lomi«. **Semantični problem se pojavi pri opisih pojavov, kjer je valovna narava svetlobe ključna, npr. interferenca, uklon in polarizacija, saj tedaj s »potovanjem« svetlobe ni mogoče smiselno opisati pojavov.** Treba je namreč uporabiti izraze, ki so značilni za opisovanje valovanj – valovanje se širi, motnje pa potujejo. Enako velja za svetlobo v snovi. Ali se svetloba v snovi širi ali skozi potuje? Če svetloba skozi snov potuje, kako se potem lahko v snovi spreminjajo lastnosti svetlobe (npr. jakost svetlobnega toka, barva, faza, polarizacija ...)? Ali v snov ena svetloba vstopa, druga izstopa?

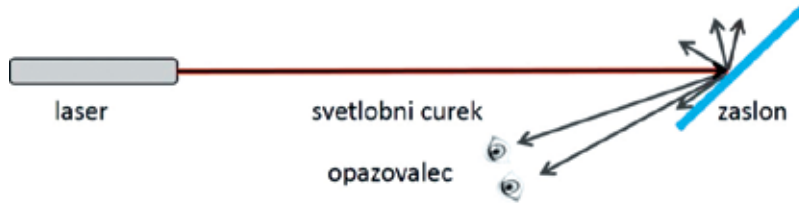
Predlagam, da ob obravnavi lastnosti svetlobe v snovi za opis uporabljamo zgolj izraze »razširjanje« oziroma »širjenje« svetlobe in ne »potovanje«. Beseda »potovanje« naj ostane prihranjena za velike razdalje, pri katerih je končnost hitrosti svetlobe pomembna.

## Slikovne upodobitve

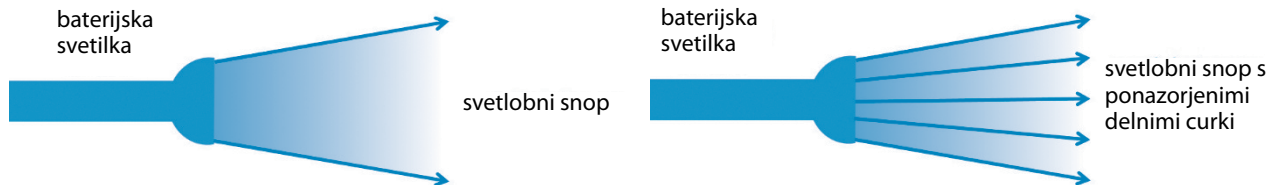
Svetlobe, ki se širi po prostoru, ne moremo zaznati z vidom, kadar ne pade neposredno v oči. To pomeni, da lahko baterijski svetlobni curek zaznamo le, če gledamo neposredno vanj. Zavedanje obstoja svetlobe v prostoru je le posredno. Zasedujemo lahko svetlobno liso na zaslonu ali v prostor pršimo drobne kapljice, od katerih se svetloba odbija v oči. Za razlago optičnih pojavov, še posebej na področju geometrijske optike, pa je treba proces širjenja svetlobe od vira skozi prozorne snovi do sensorja, ki svetlobo zaznava, ponazoriti. Zato uporabljamo geometrijsko upodobitev svetlobe, ki jo imenujemo žarek. Nekaj žarkovnih ponazoritev širjenja svetlobe je na sliki 1.

Semantični problem se pojavi pri opisih pojavov, kjer je valovna narava svetlobe ključna, npr. interferenca, uklon in polarizacija, saj tedaj s »potovanjem« svetlobe ni mogoče smiselno opisati pojavov.

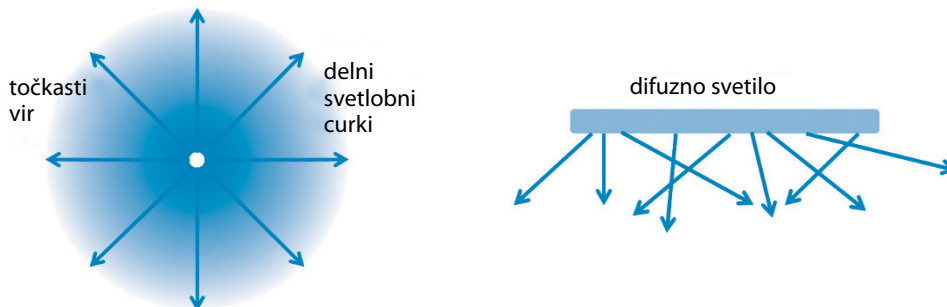
- a) Curek svetlobe z laserskega kazalnika je zelo ozek. Navadno ga ponazorim z enim samim žarkom. Svetlobo laserskega kazalnika zaznavamo le posredno z opazovanjem svetlobne pege. Difuzni odboj nakažemo z več žarki, nekateri med njimi morajo biti usmerjeni v oči opazovalca, če želimo, da le-ta pego vidi.



- b) Svetlobni snop ponazarjamo z žarki, ki označujejo meje med osvetljenim in neosvetljenim območjem. Kadar želimo obravnavati pojave, za katere so pomembne smeri širjenja svetlobe v posameznih delih svetlobnega snopa, z žarki ponazorimo delne curke.



- c) Kadar svetilo oddaja svetlobo v različnih smereh, jo moramo ponazoriti z žarki, ki ponazarjajo delne curke svetlobe.



**Slika 1:** Žarkovne ponazoritve oddajanja svetlobe različnih svetil.

Žarek je pravzaprav črta, ki je pravokotna na ploskve enakih faz in ponazarja smer valovnega vektorja – če obravnavamo svetlobo kot elektromagnetno valovanje. V geometrijski optiki tega izvora izraza običajno ne poudarjamo, temveč žarkovna ponazoritev prevzame vlogo »tira«, ki ga opisujejo fotoni. Seveda tudi tega pomena ne poudarjamo, vendar ga imajo učenci zaradi izkušenj iz mehanike pogosto v podzavesti.

Ker je žarek geometrijska ponazoritev, je zelo zelo pomembno, kako govorimo o njem. Nekaj primerov opisov pojavov si oglejmo v spodnji tabeli.

**Tabela 1:** Enakovredni opisi dogajanj v optiki z uporabo pojmov »svetloba« in »žarek«.

Svetloba	Žarek
Svetloba se širi v isti smeri.	Žarek je raven.
Svetloba se lomi.	Žarek je zlomljen (lomljen).
Fatamorgana nastane zaradi zveznega spreminjanja smeri svetlobe v ogretyh plasteh zraka nad asfaltom. Sliko vidimo v smeri, v kateri pade svetloba v oči.	Ukrivljen žarek ponazarja širjenje svetlobe pri fatamorgani.
Svetloba se odbija.	Vpadni žarek. Odbiti žarek.
Smer svetlobe se pri prehodu iz enega sredstva v drugo spremeni.	Smer vpadnega žarka oklepa kot a z vpadno pravokotnico. Smer lomnega žarka oklepa kot b z vpadno pravokotnico.

Kot vidimo v gornji tabeli, uporabljamo pri opisovanju svetlobe glagolske oblike, **pri opisovanju žarkov pa zgolj opise oblik žarka**. Učenci pogosto uporabljajo aktivne glagolske oblike v povezavi z žarki. Tabela 2 podaja nekaj napačnih rab. V levem stolpcu so opisani pojavi, v desnem pa so pogosto uporabljani napačni opisi z uporabo pojma »žarek« ali nekaterih pojmov, ki so potrebni za opisovanje pojavov, povezanih s svetlobo.

**Tabela 2:** Pravilni in nepravilni načini opisov dogajanj v optiki.

Pravilno	Napačno
Svetloba se širi ...	Žarek se širi ...
Svetloba v svetlobnem curku se širi ...	Svetlobni curek se širi ...
Svetloba se lomi.	Žarek se lomi.
Svetloba se odbija.	Žarek se odbija.
Svetilo oddaja svetlobo.	Svetilo oddaja žarke.
Svetloba se absorbira.	Žarek se absorbira.
...	...

Pri opisovanju svetlobe uporabljamo glagolske oblike, pri opisovanju žarkov pa zgolj opise oblik žarka.

Ostro uho zazna razliko med obema načinoma opisovanja. Če obravnavamo »žarek« kot geometrijski pripomoček, ima vlogo »predmeta« in se zato ne more aktivno spreminjati med opisom dogajanja. Seveda pri razlagi »žarek« na tabli pogosto »nastaja«, rišemo ga od vira svetlobe v prostor do zaslona ali skozi sredstvo, risanje samo pa implicitno ponazarja širjenje svetlobe. V tem smislu nam torej preostaja dogovor – ali so žarki ponazoritve, njihove lastnosti pa dokončne, kot so v že natisnjenih slikah v učbenikih ali člankih, ali pa želimo ohraniti aktivno vlogo, ki si jo lahko zamislimo pri nastajanju slike na tabli. Ali je potem »potovanje« svetlobe simbolizirano z drsenjem pisala po tabli ali zvezku? In se potem žarek širi zato, ker ga roka s pisalom podaljšuje?

Kakorkoli, naj zaključim ta prispevek. Učitelji ga jemljite kot predlog za razmislek. Smiselno je, da se skupnost učiteljev fizike dogovori o pomenih besed, ki se uporabljajo v poučevanju. Strokovni jezik fizike je za učence nov jezik, v strokovni govornici imajo posamezne besede en sam pomen, in ta je včasih drugačen kot v vsakdanji govornici. Še več, za izrazoslovje je zaželena bijektivnost v smislu, da ima ena beseda

le en pomen, seveda v določenih okoliščinah. Tako bomo npr. za lom svetlobe vedno uporabljali le besedo »lom« in ne »uklon, odklon« in kar je še takega. Le na ta način bo izmenjava informacij med učitelji in učenci, med učenci ter med učitelji enoznačna. Zato predlagam, da skupaj razmislimo o predlogu za rabo besed:

- Svetloba se širi.
- Žarek je geometrijska ponazoritev širjenja svetlobe.
- Lastnosti žarka opisujemo enako kot lastnosti predmetov, torej kot nespremenljive.

Tale prispevek je, upam, prvi v seriji prispevkov o rabi besed v fiziki. Jemljite ga kot vabilo k debati in predlog za začetek zgodbe o nastanku konsistentne fizikalne slovenščine.

## Literatura

Ana G. Blagotinšek, Students' ideas about optics of vision. V: International Conference GIREP EPEC 2015, July 6–10, Wrocław, Poland. Dębowska, Ewa (ur.), Greczyło, Tomasz (ur.). *Key competences in physics teaching and learning: program and book of abstracts*. Wrocław: University of Wrocław, 2015, str. 131–132.



»Svetloba nam prinaša novice iz veselja.«

*Sir William Brag*

Foto: FP

## Nikola Tesla – človek prihodnosti

Od 16. aprila do 6. novembra 2016 si lahko v Galeriji Cankarjevega doma ogledate razstavo ob 160. obletnici rojstva izjemnega človeka, izumitelja in misleca Nikole Tesle. Na razstavi so prikazani njegovo življenje, delo ter vizija. Predstavljena je kombinacija različnih razstavnih eksponatov, od maket in delujočih modelov Teslovih izumov do filmskih in zvočnih zapisov ter večpredstavnih informacijskih panojev. Med drugim so predstavljene pomanjšane makete hidroelektrarne na Niagari, laboratorija na Long Islandu, laboratorija v Colorado Springsu in letala za navpično vzletanje pa tudi delujoči modeli indukcijskega elektromotorja s ploščatim rotorjem, Teslovega transformatorja, indukcijskega elektromotorja z ovalnim rotorjem, ladjice na daljinsko vodenje, vrtečega se magnetnega polja ter Teslove črpalke in turbine.



Več o razstavi si lahko preberete na spletni strani Cankarjevega doma: <http://www.cd-cc.si/sl/razstave/nikola-tesla-clovek-prihodnosti-6053/>, po kateri so povzeti zgornji opis razstave in fotografije.



## Antimuzej »Dežela fizike«

**... kamena doba se ni končala zaradi pomanjkanja kamnja!**

Bi radi videli žarek plazme in izvedeli, zakaj neznani leteči predmeti letijo? Vas zanima, kako nastane strela? Vse to in še več vam predstavlja prvi Antimuzej, ki je 12. maja odprl vrata na Bledu. Antimuzej »Dežela fizike« predstavlja čudoviti svet naravoslovja in fizike. S svojo lastno, edinstveno zbirko na zanimiv in predvsem razumljiv način prikazuje, kako deluje svet okoli nas. Antimuzej se razlikuje od običajnih muzejev, ki jih poznamo, predvsem po tem, da se namesto v preteklost ozira v prihodnost. Kar je danes morda še znanstvena fantastika, bo jutri čisto običajen del našega vsakdana.



Vodene demonstracije so zanimive tako za otroke, starejše od desetih let, kot za odrasle. Za termin obiska jih kontaktirajte na: [info@antimuseum.org](mailto:info@antimuseum.org) ali 030 346 364.

Več o razstavi si lahko preberete na spletni strani Antimuzeja, po kateri sta povzeta tudi zgornji opis in fotografiji.

[www.antimuseum.org](http://www.antimuseum.org) <https://www.facebook.com/antimuseum/>



## Kvarkadabra – časopis za tolmačenje znanosti



Vsi, ki verjamemo v čar znanosti, ne bomo spregledali temeljito vizualno in organizacijsko prenovljene spletne strani časopisa za tolmačenje znanosti <http://www.kvarkadabra.net/>. Poleg dobro znanega foruma, kjer so zbrana razmišljanja in odgovori na vprašanja iz sveta znanosti, si lahko preberete še daljše članke v rubrikah Zgodbe iz znanosti in Tematski sestavki. Objavljene so tudi novice in zanimivosti iz sveta znanosti, ki so razporejene v rubrike: Trači iz sveta znanosti, Šund znanost, Novice, Komentarji, odzivi in Blog. Avtorji z namenom popularizacije znanosti dajejo velik poudarek berljivosti in zabavnosti besedil, pri čemer ohranjajo strokovno nepoprečnost. Objavljena gradiva so primerna tako za učence in dijake kot tudi za učitelje naravoslovnih predmetov in druge. O novostih na spletni strani ste lahko obveščeni tudi prek družbenih omrežij Facebook, Twitter ... Vabimo vas, da jim sledite.

## YouTube

V tokratni reviji vam predstavljamo dva YouTube kanala, kjer si lahko ogledate zanimive in poučne videovsebine.



Minutephysics je izobraževalni kanal, kjer Henry Reich, teoretični fizik, prek kratkih animiranih video vsebin ponudi razlago tako enostavnih kot tudi zapletenih fizikalnih konceptov. Vas zanima, kako delujejo laserji, kaj so nevtrini, kako nastane plima ali, preprosto, kaj je vesolje? Odgovore na ta in mnoga druga vprašanja najdete na povezavi: <https://www.youtube.com/user/minutephysics>



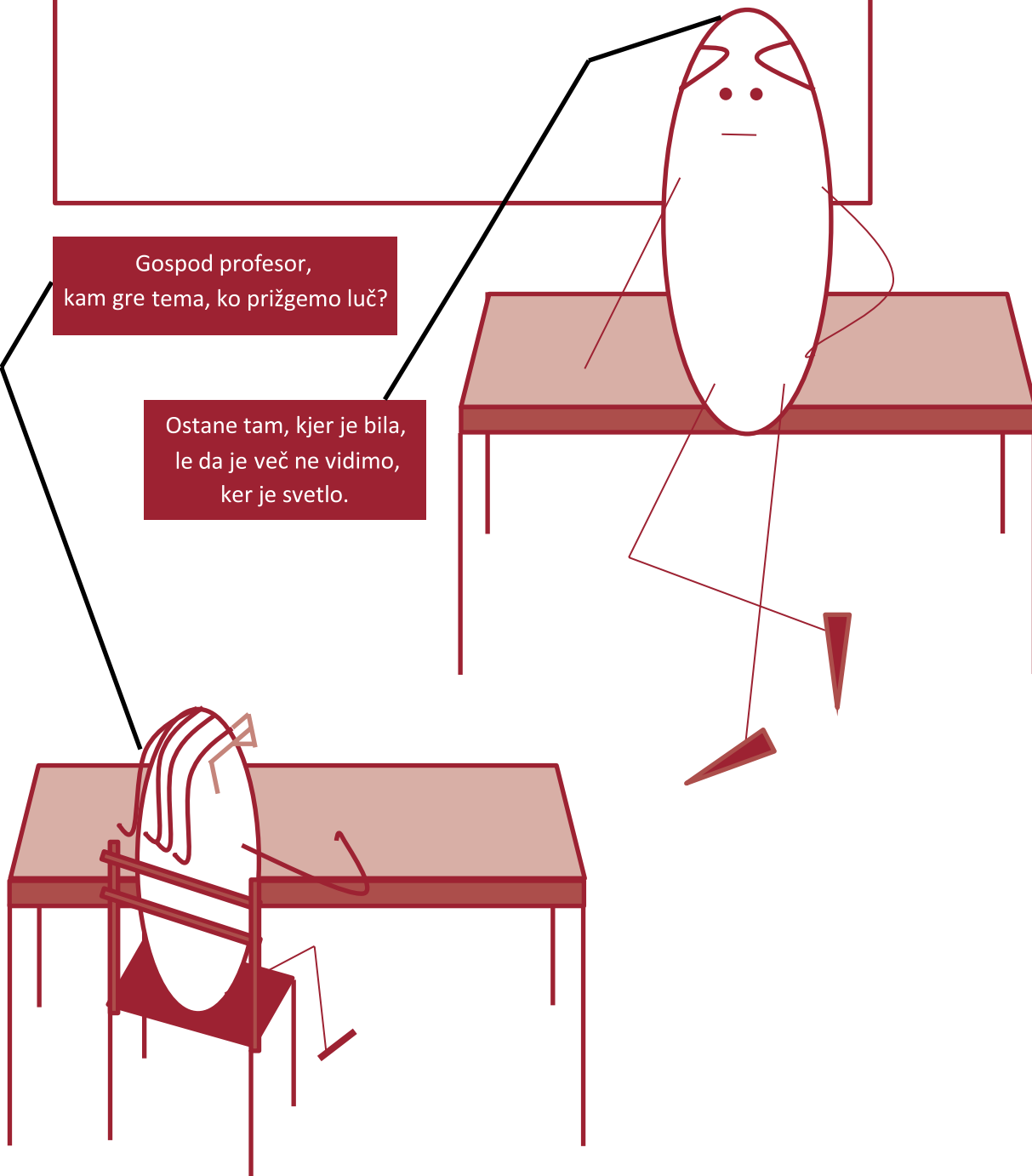
Veritasium je element resnice, kot ga poimenuje Derek Muller, doktor fizike s področja izobraževanja in avtor izobraževalnih video vsebin. Ali bosta uteži, od katerih je na eni obešena veriga, prosto padali z istim pospeškom? Več osupljivih odgovorov na preprosta vprašanja si lahko ogledate na povezavi: <https://www.youtube.com/user/1veritasium>

**Želimo si, da nas tudi vi obveščate o novostih, zanimivostih, odkritjih oziroma o vsem, kar bi bilo po vašem mnenju zanimivo za naše bralce ali uporabno kot vir idej za delo v razredu. Pišite nam.**

$$j^* = \sigma \cdot T^4$$

Gospod profesor,  
kam gre tema, ko prižgemo luč?

Ostane tam, kjer je bila,  
le da je več ne vidimo,  
ker je svetlo.



Sašo Dolenc

## Od genov do zvezd, osupljive zgodbe iz sveta znanosti

Ilustriral: Igor Šinkovec  
Cankarjeva založba, Ljubljana 2015  
zbirka Najst  
222 strani,  
cena: 22,95 €

Sašo Dolenc je eden redkih Slovencev, ki se ukvarja s filozofijo znanosti. To je področje razmišljanja o tem, kako znanost nastaja, kako je utemeljena, kakšna miselna orodja so pri tem uporabljena, na čem temelji današnje zaupanje v znanost, pa tudi o tem, kaj znanost ločuje od drugih človeških prizadevanj pri odkrivanju resničnosti sveta. Med širšim krogom tistih, ki znanosti vsaj poskušajo slediti, je Sašo Dolenc znan kot popularizator znanosti. S svojimi prispevki v različnih medijih skuša znanost na preprost in zanimiv način približati čim več ljudem, med njimi so posebna ciljna množica učitelji. Zanimivo je, da so prav učitelji kljub dolgoletnemu izobraževanju z različnih področij znanosti pogosto precej dovzetni za novodobna gibanja. To pomeni, da skoraj enako vrednotijo znanstvene teorije in psevdoznanosti. Dokaz za to je trenutna popularnost homeopatije.

In prav zato, da bi si nekoliko izostrili pogled na znanost, ki je nesporno poleg umetnosti največji dosežek naše civilizacije, si položite to knjigo na nočno omarico in vsak zvečer preberite nekaj zgodb.

Zgodbe so zelo različne, segajo lahko daleč nazaj v zgodovino ali pa opisujejo še nedavne dogodke. Tudi področja so zelo raznolika, od standardnih naravoslovnih ved in matematike, pa do novejših področij kot so nevrologija, nanoznanst in ekologija. Branje nas iz naravoslovja pogosto zanese še na družboslovje. Prav zaradi vse te raznolikosti pa imajo zgodbe različne učinke. Nekatere nas presenetijo z novimi znanstvenimi dejstvi in širijo naše vedenje. Druge nas presenetijo z izvirnostjo izvedenega eksperimenta, kar dokazuje visoko kreativnost znanstvenega početja. To pa je precej v nasprotju z razširjenim pogledom na delovanje znanosti, kot na le mukotržno in dolgoročno zbiranje podatkov. Zgodbe iz zgodovine znanosti nam približajo čas in kontekst, v katerem je neka teorija nastala. Pogosto nam to



omogoča globlje razumevanje te teorije. Kar nekaj zgodb pripoveduje o tem, kako je neka teorija nastala in da so te poti lahko zelo različne. Na nastanjanje teorije lahko vplivajo zgodovinske okoliščine ali pa slučajnih dogodki, ki so vplivali na tok razmišljanja raziskovalca. Tudi sanje ali intuicija, so prav tako vplivale na razvoj marsikatero znanstvene ideje. Kljub različnim potem, kako teorije nastajajo, pa je vsem skupen način preverjanja in potrjevanja v znanstveni skupnosti. Tudi to nam dokazujejo »osupljive zgodbe iz sveta znanosti«. Branje zgodb pripomore tudi k rušenju stereotipa o ozko usmerjenem znanstveniku, ki ga zanima le njegovo področje raziskovanja in ničesar drugega ter ničesar drugega tudi ne zna. Nasprotno, pogosto so veliki znanstveniki široko razgledani ne le v znanosti, ampak tudi v umetnosti. Prav zaradi tega lahko iščejo izhode in rešitve na drugih znanstvenih področjih. Dober primer je zgodba o povezovanju antropologije z matematiko, ki je pripeljalo do teorije strukturalizma v družboslovju.

Kljub vsemu napisanemu priporočam kritično branje. Vsaj ena od zgodb bolj sodi v področje »teorije zarot« kot v »zgodbe iz sveta znanosti.« Duhovite črno-belo-sive ilustracije dobro dopolnjujejo kratka besedila, kar je kot nalašč, da knjigo večkrat vzamemo v roke in začnemo brati na katerikoli strani.

*dr. Dušan Krnel*

## TAKSONOMIJA ZA UČENJE, POUČEVANJE IN VREDNOTENJE ZNANJA

Revidirana BLOOMova taksonomija izobraževalnih ciljev

Lorin W. Anderson, David R. Krathwohl idr.



Knjiga je temeljni priročnik, neprecenljiv vir in orodje za vse, ki se na neposreden ali posreden način ukvarjajo z izobraževanjem. V prvi vrsti pa je namenjena učiteljem, torej tistim, ki odločajo, kaj se dogaja v njihovih razredih.

Izvirni priročnik, ki ga je leta 1956 skupaj s soavtorji objavil Benjamin S. Bloom, sodi med literaturo, ki je imela v 20. stoletju največji vpliv na razvoj kurikula. Pričujoča knjiga je revizija izvirnega priročnika.

Prvi in drugi del priročnika utemeljmeta taksonomijo in predstavljata taksonomsko preglednico, tretji del pa je v celoti namenjen prikazu uporabe taksonomske preglednice v praksi.

Predstavljena taksonomija je orodje oz. okvir, ki omogoča učiteljem organizirati učne cilje tako, da bodo lahko razumljivi in uresničljivi.

2016, ISBN 978-961-03-0338-1

format: 17,6 cm x 25 cm

cena: 34,50 €

