

# 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)

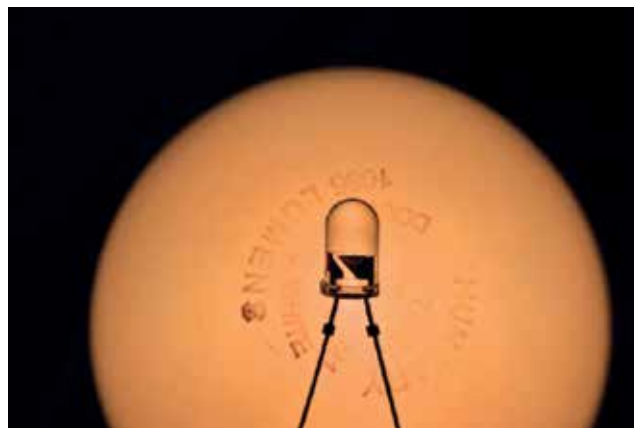
## Povzetek

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 priključnima 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 (bremena).** 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