

# Sveteče diode: reševanje kompleksnih problemov

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

<sup>1</sup>Fakulteta za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani in Hiša eksperimentov, Slovenija

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

*Naslov izvirnika:* Light-Emitting Diodes: Solving Complex Problems

*Navedba:* The Physics Teacher 53, 291 (2015); doi (digitalni identifikator objekta): 10.1119/1.4917437

*Ogled na spletu:* <http://dx.doi.org/10.1119/1.4917437>

*Ogled kazala vsebine:* <http://scitation.aip.org/content/aapt/journal/tpt/53/5?ver=pdfcov>

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



Foto: FP

## Povzetek

Ta prispevek zaključuje našo serijo štirih člankov o uporabi LED pri poučevanju in učenju fizike. V tem prispevku smo prikazali primere uporabe LED kot črnih skrinjic, ki lahko dijakom pomagajo pri preučevanju mehanskih, električnih, elektromagnetnih in svetlobnih pojavov. Poleg raziskovanja fizike navedenih pojavov LED v tem prispevku pomagajo dijakom povezati raziskave v učilnici z napravami, ki jih uporabljajo vsak dan (žarnice), in z materiali, ki običajno niso povezani s fiziko (kreme za zaščito pred soncem). Poleg lastnosti LED pa smo s tem prispevkom izkoristili tudi prednosti, ki jih ponujajo hitre kamere, to je področje, na katerem naši dijaki postajajo vse bolj spretni in sposobni.

Čeprav so LED v tem prispevku uporabljene kot črne skrinjice ali kot kazalniki za preučevanje določenih pojavov, lahko vsakega od eksperimentov uporabljamo tudi za preučevanje fizike LED. Primerjava učinkovitosti LED in žarnic z žarilno nitko se na primer lahko nadaljuje z vprašanji, ki zadevajo mehanizme v ozadju oddajanja svetlobe obeh virov. Pristop črne skrinjice prav tako ponuja možnosti za povezovanje ter iskanje podobnosti in razlik med LED in podobnimi napravami, katerih delovanje temelji na drugačnih fizikalnih principih. Za preučevanje gibanja smo na primer uporabili utripajočo LED iz kolesarske svetilke. Zakaj za enak namen nismo mogli uporabiti utripajoče žarnice na nitko? Kadar dijaki za preučevanje elektromagnetne indukcije uporabljajo LED, se pojavi enako vprašanje, zakaj ne bi uporabili žarnice na nitko?

Če povzamemo, LED predstavljajo skriti zaklad za učitelja fizike in zato vas vse vabimo, da raziščete in izkoristite njihove lastnosti, da bi dodatno spodbudili in navdihnili svoje dijake.

## Abstract

This paper concludes our four-item series on using LEDs in teaching and learning physics. Here we showed examples of using LEDs as black boxes that help students study mechanical, electric, electromagnetic, and light phenomena. In addition to

exploring the physics of the above phenomena, LEDs in this paper help students connect classroom investigations to the devices they use every day (light bulbs) and to materials that are not commonly associated with physics (sunscreens). In addition to the benefits of LEDs, this paper takes advantage of high-speed video recording, the field where our students are becoming so much more proficient than their teachers.

Although in this paper LEDs were used as black boxes or as indicators to investigate particular phenomena, each of the experiments can be used to investigate the physics of LEDs. For example, comparison of the efficiency of LEDs and incandescent light bulbs can continue to the questions concerning the mechanisms behind light emission of both sources. The black box approach also offers opportunities for connections, comparisons, and contrasts of LEDs with other physics devices. For example, we used LED-based blinking bicycle lights to investigate motion. Why couldn't we use a blinking incandescent light bulb for the same purpose? When the students use the LED to study electromagnetic induction, the same question arises—why not use a light bulb?

To summarize, the LEDs are a hidden treasure for a physics teacher and we invite all of you to explore and utilize their properties to inspire your students.

To je četrti prispevek na temo LED (prispevek se nanaša na izvirne članke, katerih vsebino je mogoče najti v virih, ki so podrobno opredeljeni v poglavju Viri in literatura pod zaporednimi točkami od 1 do 4 (*prvi članek je bil preveden in objavljen v reviji Fizika v šoli, letnik 21, št. 1, 2016, op. ur.*). Namen te serije je ustvariti sistematično knjižnico gradiv o LED in bralcem ponuditi opis poskusov ter pedagoško obravnavo, ki bi njihovim dijakom pomagala zasnovati, preizkušati in uporabljati fizikalne koncepte in z njimi povezane matematične izraze. Prvi članek [1] prikazuje pregled možnosti uporabe LED pri pouku fizike. Drugi članek [2] razpravlja, kako bi dijakom lahko pomagali pri učenju o temeljnih vidikih fizike svetečih diod s pomočjo metode raziskovanja z odranjem (*scaffolded inquiry*), natančneje učnega cikla ISLE. Tretji članek [3] predstavi, kako lahko razumevanje fizikalnih osnov delovanja LED pomaga dijakom poglobiti razumevanje virov električne energije in temperaturne v odvisnosti od upora ter raziskati pojav fluorescence prav tako z uporabo učnega cikla ISLE [4]. Cilj tega četrtega članka je uporabiti LED kot črne skrinjice, ki dijakom omogočajo natančnejše preučevanje določenih značilnosti opazovanega sistema, mehanskih, električnih, elektromagnetnih in svetlobnih lastnosti. Izraz »črna skrinjica« pomeni, da uporabljamo napravo brez poznavanja podrobnosti njenega delovanja.

V tem prispevku se bomo večinoma ukvarjali z uporabnimi (aplikativnimi) poskusi. To so običajno eksperimentalni problemi, pri katerih morajo dijaki za pripravo rešitve združiti več različnih kvalitativnih in kvantitativnih idej. Pri uporabi LED kot črnih skrinjic so pomembne naslednje lastnosti. LED sveti, kadar teče tok skozi v določeni smeri in kadar je napetost na njej višja od odpiralne napetosti. Tedaj je tok skozi LED nekaj miliamperov. LED se zelo hitro vklaplja in izklaplja in pri tem proizvajajo skoraj monokromatsko svetlobo [5] v širokem frekvenčnem območju, vključno z UV in infrardečo svetlobo.

Spodaj opisujemo štiri aktivnosti, ki jih izvedejo dijaki z uporabo LED kot črnih skrinjic (povzetek aktivnosti je naveden v tabeli 1). Aktivnosti so razvrščene po zahtevnosti tako glede znanja fizike kot glede izvedbe poskusa. Aktivnosti, opisane v prispevku, so bile uporabljene pri srednješolskih, študentih prvih letnikov fizike, študentih pedagoške fizike, aktivnih učiteljih fizike v programih stalnega strokovnega izobraževanja ter pri profesorjih, ki izobražujejo bodoče učitelje fizike.

V tem prispevku se bomo večinoma ukvarjali z uporabnimi (aplikativnimi) poskusi. To so običajno eksperimentalni problemi, pri katerih morajo dijaki za pripravo rešitve združiti več različnih kvalitativnih in kvantitativnih idej.

**Tabela 1:** Povzetek aktivnosti, v katerih so LED uporabljene kot črne skrinjice.

Aktivnost	Območje vsebine	Vloga, ki jo ima LED	Potrebno znanje dijakov
Sledenje in analiziranje gibanja	Kinematika, dinamika, energija	Svetlobni vir spremenljive intenzivnosti	Ne
Zakaj za razsvetljavo doma uporabljamo LED?	Električni tok	Svetlobni vir s posebnim mehanizmom generiranja svetlobe	Napetost, tok, moč
Preučevanje losjonov za zaščito pred soncem	Valovna optika, kemija, živi organizmi	Monokromatski svetlobni vir	Valovna dolžina svetlobe, elektromagnetni spekter
Elektromagnetna indukcija	Elektromagnetizem	Kazalec prisotnosti in smeri električnega toka	Magnetno polje in elektromagnetna indukcija; LED sveti, kadar tok teče v določeni smeri, napetost pa presega odpiralno napetost.

### Sledenje in analiziranje gibanja

Obstaja veliko načinov za sledenje gibanja predmetov (brnač s papirnatim trakom, ultrazvočni slednik, analiza videoposnetkov), vendar je eden najpreprostejših fotografiranje utripajočega svetlobnega vira z dolgim osvetlitvenim časom [6]. LED so idealna rešitev za izdelavo utripajočih svetlobnih virov iz naslednjih razlogov: imajo zelo kratek odzivni čas, potrebujejo zelo malo električne energije in so lahko zelo svetle.

Čeprav je za izdelavo utripajoče LED [7] mogoče izdelati lastno električno vezje, smo se odločili za uporabo preproste utripajoče kolesarske svetilke LED. Kolesarske svetilke po navadi vsebujejo več sočasno utripajočih LED, od katerih vsaka oddaja svetlobo v obliki ozkega stožca. Za sledenje gibanja pa potrebujemo točkasti svetlobni vir, ki utripa s konstantno frekvenco in ki je viden v čim širšem kotu gledanja.



a) pokrijemo vse LED, razen ene;

b) svetlobo iz preostale LED razpršimo z uporabo koščka plastične slamice, ki smo ga zalili z vročo plastiko.

**Slika 1:** Izdelava utripajočega točkastega vira iz kolesarske svetilke

Da bi kolesarska svetilka izpolnjevala vse tri pogoje, moramo: 1) zastreti vse razen ene LED, na primer z uporabo črnega lepilnega traku; 2) razpršiti svetlobo, ki jo oddaja LED, na primer tako, da na LED namestimo plastično slamico in jo napolnimo s plastično maso s pomočjo lepilne pištrole (glej sliko 1). Spodaj opisujemo dve možni aktivnosti za dijake. Aktivnost 1 jih pouči, kako zbrati podatke z uporabo utripajoče LED, pritrjene na premikajoči se predmet. Aktivnost 2 je zahtevnejša: preučevanje

Kolesarske svetilke po navadi vsebujejo več sočasno utripajočih LED, od katerih vsaka oddaja svetlobo v obliki ozkega stožca.



**Slika 2 a)** Fotografija utripajoče LED, pritrjene na voziček, ki se giblje s konstantno hitrostjo; s poznavanjem časa osvetlitve (2 s) je mogoče oceniti periodo utripanja (145 ms);

**b)** meritve obratovalnega cikla utripajoče LED z uporabo Vernierjevega senzorja svetlobe (perioda 143 ms; 39 ms ON in 104 ms OFF).

in pojasnjevanje, kako deluje avtomobil igrača, ki ga moramo pred startom potegniti nazaj (recimo mu avto nazaj-naprej).

### Oprema:

- modificirana kolesarska svetilka LED,
- digitalni fotoaparati, pritrjeni na stojalo (na fotoaparatu mora biti omogočeno ročno nastavljanje časa osvetlitve),
- kakršnen koli premikajoči se avtomobil ali voziček na progi (za izdelavo kvantitativnih meritev uporabite vozilo z enakomernim gibanjem),
- avtomobil nazaj-naprej in
- plastelin ali kakršnen koli drug material za pritrjevanje utripajoče LED na premikajoči se predmet.

### Aktivnost 1

Dijake, ki delajo v skupinah, postavimo pred naslednji izziv: »Z uporabo utripajoče LED in digitalnega fotoaparata izdelajte postopek, s katerim boste lahko preučevali gibanje vozila, omenjeno gibanje pa predstavite tako grafično kot matematično.«

Dijaki morajo v tem postopku pripraviti tri glavne korake:

1. umeriti utripajočo LED (s kolikšno frekvenco utripanja),
2. zabeležiti gibanje in
3. analizirati podatke za izdelavo zelene predstavitve.

Glede na to, kako izvajate učne ure, jim lahko pustite, da te korake ugotovijo sami, ali pa jim pred začetkom priskrbite informacije o teh korakih. Spodaj opisujemo možni postopek za rešitev problema.

**Postopek:** Na vodoravni tir postavite voziček z majhnim trenjem. Pritrdite utripajočo LED na voziček in postavite fotoaparati na stojalu nekaj metrov stran od tira tako, da gleda na sredino tira (uporabite zum). Nastavite čas osvetlitve fotoaparata na dve sekundi. Postavite voziček na konec tira, nežno ga potisnite, da se začne premikati, in nato pritisnite gumb na fotoaparatu, da zajamete sliko. Postopek je treba večkrat ponoviti, da bi ocenili nenatančnosti meritev. Fotografija, ki smo jo dobili na opisan način, je prikazana na sliki 2(a). S slike nato določite čas vklopa in izklopa LED (to lahko kasneje preverite s svetlobnim senzorjem, glej sliko 2(b)) in hitrost vozila. Prav tako lahko narišete diagrame gibanja, grafe  $v(x)$  in tradicionalne grafe  $x(t)$  in  $v(t)$ . Dijaki lahko tudi razpravljajo o tem, kaj določa negotovosti v podatkih in kako jih zmanjšati [8].

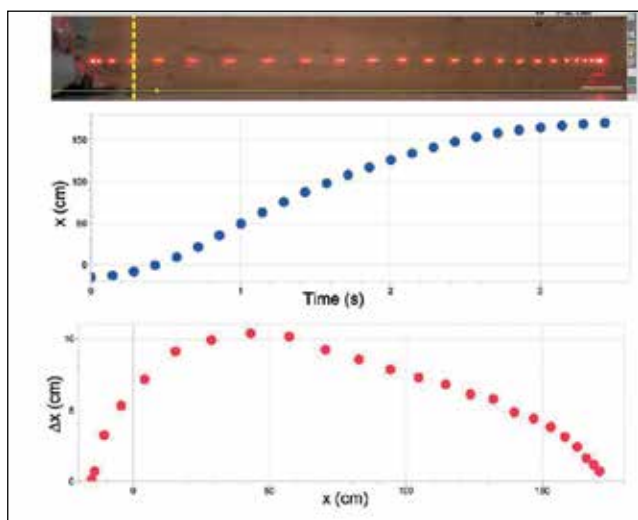
Z uporabo utripajoče LED in digitalnega fotoaparata izdelajte postopek, s katerim boste lahko preučevali gibanje vozila.

## Aktivnost 2

Dijake, ki delajo v skupinah, postavimo pred naslednji izziv: »Uporabite utripajočo LED, da bi zabeležili gibanje avtomobila nazaj-naprej. Na podlagi dobljenih podatkov zastavite različna vprašanja o avtomobilu in poskusite nanja odgovoriti.«

**Postopek:** Pritrdite utripajočo LED na avtomobil. Označite začetno pozicijo avtomobila, ga povlecite nazaj, začnite zajemati sliko in spustite avtomobil. Možna vprašanja, ki jih lahko zastavljajo dijaki in na katera lahko odgovarjajo:

- Kako lahko uporabimo dobljene slike in podatke, da bi predstavili gibanje avtomobila z diagramom gibanja ter z grafi  $x(t)$ ,  $v(t)$  in  $v(x)$ ?
- Kako lahko predstavimo energijske spremembe med gibanjem avtomobila s stolpčnimi diagrami [9] (na primer primerjava različnih oblik energij v trenutkih, tik preden spustimo avtomobil, ko se avtomobil premika z največjo hitrostjo in ko se avtomobil ustavi).
- Kaj lahko poveste o delovanju avtomobila nazaj-naprej na podlagi analize energije? Opišite vse svoje predpostavke.



**Slika 3:** Analiza fotografije utripajoče LED, pritrjene na avtomobil nazaj-naprej. Za izdelavo grafov odvisnosti lege od časa  $x(t)$  in odvisnosti premika od lege  $\Delta x(x)$  za premikanje avtomobila potem, ko smo ga potegnili nazaj iz začetnega položaja pri  $x = 0$ , smo uporabili programsko opremo Logger Pro. Odčitki ure za začetek vsake od svetlih sledi na vrhu grafa so bili določeni z uporabo periode utripanja LED. Na drugem grafu  $\Delta x$  navpična koordinata predstavlja premik med časovnim intervalom, ko je LED ugasnjena (v našem primeru 104 ms). Upoštevajte, da se skala na vodoravni osi grafa  $\Delta x(x)$  ujema s situacijo, prikazano na fotografiji. Graf  $\Delta x(x)$  lahko za opazovano gibanje zlahka pretvorimo v graf  $v(x)$ .

Slika 3 prikazuje analizo podatkov, zbranih v aktivnosti 2. Navpična rumena prekinjena črta označuje začetni položaj avtomobila, preden ga povlečemo nazaj. Spodnji graf kaže, kako se je spreminjal premik avtomobila med vsakim časovnim intervalom, ko je bila LED ugasnjena. Upoštevajte, da je ta graf enakovreden grafu  $v(x)$ . Dijaki lahko ta graf uporabijo za primerjavo razdalje, do katere je bil povlečen avtomobil, z razdaljo, na kateri je avtomobil pospeševal, potem ko smo ga spustili (v našem primeru je slednja približno trikrat daljša od prve). Z uporabo izreka o mehanski energiji lahko dijaki ocenijo razmerje med največjo silo, ki jo povzroča oseba na avtomobil med njegovim navijanjem, in največjo silo, ki jo povzročajo tla na avtomobil med pospeševanjem avtomobila. Na podlagi grafa  $\Delta x(x)$  lahko dijaki predlagajo razlago, da bi »motor« avtomobila moral izkoriščati neko vrsto prestave, ki poskrbi, da naredi pogon več rotacij na prevoženo razdaljo med navijanjem vzmeti in manj rotacij na prevoženo razdaljo, ko avtomobil pospešuje. Dijaki lahko preizkusijo svoje razlage v ločeni raziskavi tako, da odprejo avtomobil in preučijo, kako deluje.

## Zakaj uporabljamo LED za hišno razsvetljavo?

Znano je, da so danes LED najučinkovitejša svetila na tržišču. Žarnice z žarilno nitko so najprej posodobili v halogenske žarnice in jih nato postopoma nadomestili s fluores-

centnimi. Danes pa postajajo vse bolj popularne LED. Toda koliko so LED boljše za hišno razsvetljavo v primerjavi s tradicionalnimi žarnicami z žarilno nitko? Naslednja aktivnost bo dijakom pomagala, da bodo na to vprašanje podali kvantitativni odgovor. Cilj te aktivnosti je z vidika energije izdelati postopek za kvantitativno primerjavo LED in žarnice z žarilno nitko kot svetlobnih virov [10],

### Oprema:

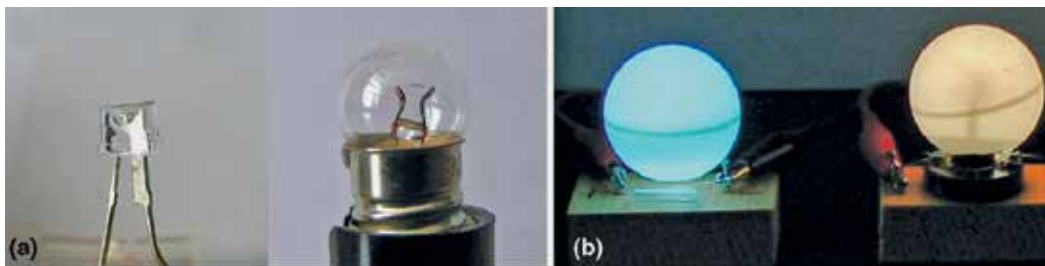
- modificirana bela LED [11] (za modifikacijo LED glej navodila spodaj),
- manjša žarnica z žarilno nitko [12],
- dve beli žogici za namizni tenis,
- dve 3V bateriji (poskrbite, da bosta bateriji novi),
- ampermeter in voltmeter.
- Izbirno: dva spremenljiva vira enosmerne napetosti in svetlobni senzor s spektralno občutljivostjo, podobno človeškemu očesu [13].

Dijake, ki delajo v skupinah, postavimo pred naslednji izziv: »Primerjajte učinkovitost pretvorbe električne energije v svetlobno energijo žarnice z žarilno nitko in bele LED.« Dajte dijakom podatke o normalni delovni napetosti za oba svetlobna vira (v našem primeru približno 3 V) in največje dovoljene električne tokove.

Dijaki se morajo zavedati, da pravilna primerjava bele LED in žarnice zahteva poznavanje električne energije, ki jo dovaja vir napetosti, ter poznavanje območja prostora (prostorski kot), v katero naprava oddaja svetlobo. Lažje je primerjati svetlobna vira, kadar oba oddajata svetlobo enakomerno v vse smeri (kot točkasti svetlobni vir). Manjša žarnica z žarilno nitko je dober približek točkastega svetlobnega vira, večina komercialno dostopnih LED pa ima plastično ohišje z lečo nad spojem p-n, kar usmerja večino svetlobe, ki jo oddajajo, v ozki stožec. Da bi odpravili ta problem, odrežite lečo in spremenite LED v (pol)točkasti svetlobni vir [14] (glej sliko 4(a)).

Kadar vsakega od svetlobnih virov vstavimo v belo žogico za namizni tenis, je oddana svetloba še bolj izotropna, primerjava svetlosti pa lažja [15] (glej sliko 4(b)).

Primerjajte učinkovitost pretvorbe električne energije v svetlobno energijo žarnice z žarilno nitko in bele LED.



a) LED z odrezano lečo in žarnica kot točkasta vira; b) bela LED (levo) in žarnica v žogici za namizni tenis za primerjavo svetlosti.

**Slika 4:** Bela LED in žarnica:

**Postopek:** Dijaki lahko začnejo tako, da najprej ločeno povežejo vsak svetlobni vir s 3V virom napetosti. Ugotovili bodo, da bela LED oddaja svetlobo modrikasto bele barve, žarnica pa svetlobo bolj rdečkasto bele barve. Čeprav jih razlika v barvnih odtenkih lahko na začetku zmede, pa bodo kmalu ugotovili, kateri svetlobni vir se zdi svetlejši in kako doseči, da bosta videti enakomernije svetla (s prilagajanjem napetosti, če uporabljajo spremenljiv vir napetosti, ali z zaporednim dodajanjem uporov na enem od svetlobnih virov, če uporabljajo baterije). Nato lahko izmerijo tok skozi svetili in napetosti na njima ter primerjajo moči. Takoj bodo videli, da je moč, ki jo porablja žogica LED, bistveno manjša. Za izvedbo kvantitativne primerjave med zmogljivostjo teh

dveh svetlobnih virov morajo dijaki objektivno primerjati intenziteto obeh svetlobnih virov v vidnem območju. Za to obstaja veliko načinov, vašim dijakom pa prepuščamo, da sami predlagajo ali poiščejo primerne postopke. Tabela 2 prikazuje naše meritve. Upoštevajte, da smo svetlobni senzor uporabili zgolj kot napravo, ki pomaga določati, kdaj sta svetlobna vira enako svetla, vendar je pri tem nujna uporaba svetlobnega sensorja, katerega spektralna občutljivost je podobna občutljivosti človeškega očesa. Dijakom ni treba vedeti, kako deluje svetlobni senzor ali kako je definirana enota luks, morajo pa se zavedati, da mora biti razdalja med senzorjem in virom v obeh primerih enaka.

Vzorec je jasno viden iz tabele 2: bela LED porablja približno 10-krat manj električne energije, medtem ko oddaja svetlobo približno enake svetlosti kot žarnica z žarilno nitko. Dijaki se lahko domislijo možne razlage za opaženo razliko, če se preprosto dotaknejo obeh naprav – LED se zdi hladna na otip, žarnica pa topla.

**Tabela 2:** Meritve električnega toka, napetosti, električne energije in svetlosti obeh svetlobnih virov, merjene na površini žogic za namizni tenis. Vse meritve imajo približno 10 % negotovost.

	V/V	I (mA)	P (mW)	B (luks)*
Bela LED	3,1	20	62	450
Žarnica z žarilno nitko	3,6	190	680	450
* izmerjeno na površini žogice za namizni tenis.				

Čeprav se zdijo zgoraj opisane meritve precej preproste, pa bi vas radi opozorili na nekaj stvari, na katere je treba biti pozoren pri izvajanju opisanih poskusov. Ker imajo LED zelo strmo karakteristiko  $I-U$ , lahko tudi zelo majhna sprememba v napetosti na LED povzroči precejšnjo spremembo električnega toka, ki teče skozi LED, in posledično tudi spremembo svetlosti LED. Pri tem je treba opozoriti na dve stvari. 1) Če dijak poveže žarnico in LED vzporedno z baterijo, lahko opazi bistveno zmanjšanje v osvetlitvi LED v primerjavi s primerom, kadar poveže samo LED. To je posledica zmanjšane napetosti na priključkih baterije zaradi njenega notranjega upora. Učinek je majhen pri novih baterijah, vendar je lahko precejšen v primeru rabljenih baterij. 2) Kadar dijaki v vezje vključijo ampermetr, da bi izmerili električni tok skozi LED, lahko opazijo zmanjšanje v osvetlitvi LED. To je posledica notranjega upora ampermetra. Ta učinek je manjši, če je ampermetr nastavljen na manj občutljivo območje (na primer uporaba 200mA namesto 20mA območja).

### Preučevanje losjonov za zaščito pred soncem

Losjoni za zaščito pred soncem so del našega življenja, vendar nanje redko gledamo kot na temo za učenje fizike. V okviru te aktivnosti dijaki oblikujejo postopek za primerjanje prepustnosti [16] različnih losjonov za zaščito pred soncem v območjih različnih valovnih dolžin: od bližnje infrardečega območja (bližnje IR) do ultravijoličnega (UV).

Za raziskovanje prepustnosti kot funkcije valovne dolžine potrebujemo vire, ki oddajajo svetlobo v širokem razponu valovnih dolžin. LED so za to odlične, saj so skoraj monokromatični viri svetlobe in na voljo ne samo v različnih vidnih barvah, pač pa tudi v območju UVA in bližnje IR valovne dolžine. Aktivnost ponuja odlično priložnost za razvijanje strategije nadziranja spremenljivk pri meritvah v avtentičnem kontekstu.

Dijaki oblikujejo postopek za primerjanje prepustnosti različnih losjonov za zaščito pred soncem v območjih različnih valovnih dolžin.

## Oprema:

- različne LED (bližnje IR, [17] rdeče, zelene, modre [18] in UVA [19]),
- svetlobni senzor [20],
- mikroskopska stekelca,
- različni losjoni za zaščito pred soncem (uporabili smo dva losjona, enega s sezonskim zaščitnim faktorjem [21] 20 in drugega s sezonskim zaščitnim faktorjem 30), navadna krema za roke (brez zaščitnega faktorja),
- spremenljiv vir enosmerne napetosti in
- laboratorijsko stojalo.

Izbirno: UVA-svetlobni senzor [22].

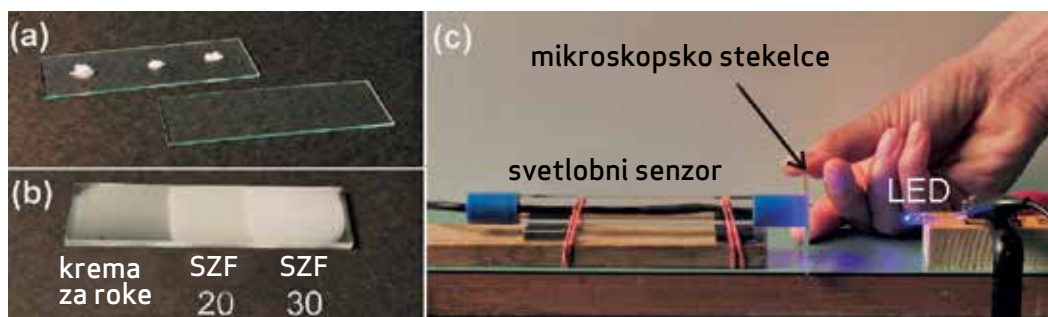
Dijake, ki delajo v skupinah, postavimo pred naslednji izziv: »Zasnujte postopek za primerjavo deleža prvotne svetlobne intenzitete, ki se prenaša preko losjona za zaščito pred soncem v različnih delih elektromagnetnega spektra. Natančneje, ugotovite, kateri so relevantni parametri, in poiščite načine, kako jih nadzirati.«

**Postopek:** Eden od načinov za pristop k temu problemu je naslednji. Postavite svetlobni vir (LED), ki oddaja svetlobo ene barve in svetlobni senzor [23] na fiksni razdalji. Merite odziv svetlobnega sensorja na svetlobo, ki jo oddaja LED z in brez plasti losjona, ki ga namestimo med LED in senzor. Razmerje teh dveh meritev je prepustnost. Obstaja več pomembnih vprašanj, ki jih morajo upoštevati dijaki, da bi prišli do uporabnih meritev.

- Kakršna koli svetloba okolja lahko pokvari meritve. Treba je preveriti, ali svetloba okolja vpliva na odčitke sensorja, in če vpliva, jo morajo zmanjšati.
- Svetlobni senzor morda ni enako občutljiv na vse vrste svetlob, ki jih oddajajo različne LED. Svetlobni sensorji običajno niso najbolj občutljivi v območju UVA, zaradi česar naj dijaki uporabijo senzor UVA za natančnejše meritve z UV LED.
- Glede na to, da lahko vsak losjon absorbira svetlobo, ne samo sredstva za zaščito pred soncem, je koristno imeti referenčni vzorec – losjon ali kremo, ki nima nobenega zaščitnega faktorja (uporabili smo navadno kremo za roke).
- Če dijaki za nanašanje kreme za zaščito pred soncem uporabljajo mikroskopska stekelca, morajo razmisliti o njihovih učinkih na meritve. Kot referenčno meritev lahko na primer vzamejo odziv svetlobnega sensorja, kadar postavijo dve čisti mikroskopski stekelci med vir in senzor (glej naslednjo točko za razlago o tem, zakaj sta potrebni dve stekelci).
- Eno izmed najtežjih vprašanj je nadzor debeline vzorcev. Dijaki morajo ugotoviti, kako doseči, da bo debelina vseh vzorcev čim bolj enaka. Ena rešitev je, da se na posamezno mikroskopsko stekelce položi enaka količina losjonov (slika 5(a)) in nato nanj pritisne drugo stekelce, s katerim se losjoni razmažejo v tanek sloj (slika 5(b)). Ta metoda dijakom tudi omogoča, da ocenijo debelino plasti losjona z uporabo kljunastega merila (v našem primeru približno 0,05 mm). Opomnite dijake, naj naredijo več (najmanj tri) vzorcev, da bi lahko preverili, kako ponovljive so meritve, in da bi ocenili negotovost izmerjenih vrednosti.
- Dijaki naj razpravljajo o tem, kako položaj vzorca, glede na svetlobni vir in svetlobni senzor, vpliva na meritve in kam je najbolje postaviti vzorec. Pustite jim, da svoje ideje preskusijo v obliki poskusa. Ugotovili bodo, da je vzorec najbolje položiti tik pred svetlobni senzor, pri čemer pa svetlobni vir (LED) ne sme biti preblizu sensorja (slika 5(c)). Na tak način je svetloba, ki jo oddaja vir, bolj enakomerno razporejena na mestu vzorca, senzor pa zajame večino svetlobe, ki prodre skozi vzorec. Poleg tega morajo vzorec postaviti dosledno na enak način za vsako meritev.

Vsak losjon absorbira svetlobo, ne samo sredstva za zaščito pred soncem.

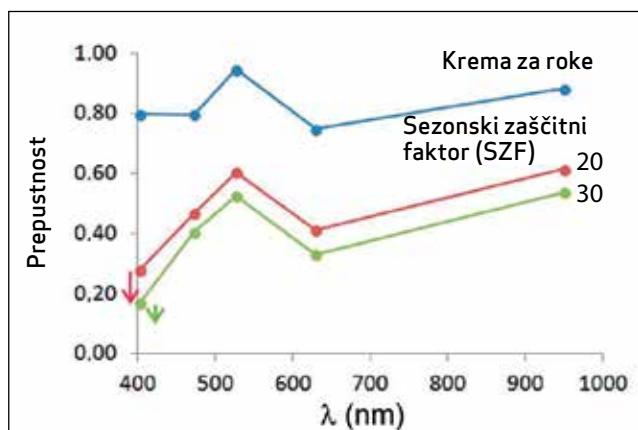




Slika 5 a) in b) priprava vzorca.

c) Postavitev za odvzem meritev. LED je povezana na spremenljiv vir enosmerne napetosti, svetlobni senzor pa je povezan z zapisovalnikom podatkov.

Po zbiranju podatkov in izračunu prepustnosti lahko dijaki predstavijo rezultate v obliki grafov, kot je graf na sliki 6.



Slika 6: Prepustnost navadne kreme za roke in dveh losjonov za zaščito pred soncem (kot je prikazano na sliki 5(b)) za svetlobo različnih valovnih dolžin. Debelina plasti losjona je znašala približno 0,05 mm. Puščice nakazujejo premik merjenih točk v UV območju, če namesto svetlobnega senzorja uporabimo senzor UVA. Prepustnost dobimo kot razmerje med dvema senzorskima odčitkoma: odčitek z losjonom in dvema stekelcema ter odčitek samo z dvema stekelcema.

Spodbudite dijake, da opišejo glavne razlike in podobnosti, ki jih je mogoče razbrati z grafov. Tukaj navajamo nekaj najpomembnejših med njimi: prepustnost kreme za roke je največja in se ne spreminja znatno z valovno dolžino; prepustnost obeh losjonov za zaščito pred soncem se zmanjšuje z zmanjševanjem valovne dolžine; losjon z višjim zaščitnim faktorjem ima manjšo prepustnost na vseh valovnih dolžinah, zajetih v meritvi; razmerje prepustnosti losjonov za zaščito pred soncem pri 400 nm se v grobem ujema z inverznim razmerjem vrednosti njihovih zaščitnih faktorjev; prepustnost vseh vzorcev pa kaže povečano vrednost pri zeleni svetlobi.

Naslednja naloga dijakov je, da se domislijo več razlag/interpretacij opazovanih značilnosti. Spodaj navajamo nekaj vprašanj, ki se utegnejo pojaviti med razpravo o grafih.

- Kako delujejo losjoni za zaščito pred soncem?
- Kaj se zgodi s svetlobo, ki se ne prenese skozi vzorec? Dijaki se lahko domislijo dveh razlag: svetloba, ki ne prodira skozi vzorec, se absorbira ali pa se odbija. Dijaki naj pridejo do ugotovitve, da na podlagi opisanih meritev ne moremo odločiti, katera od teh razlag je pravilna (v resnici se pri losjonih za zaščito pred soncem [24] uporabljata oba mehanizma).
- Zakaj kažejo vsi losjoni povečano prepustnost pri zeleni svetlobi? Na to vprašanje nismo mogli najti strokovnega odgovora. Vam in vašim dijakom prepuščamo, da ga dodatno raziščete.

Kako delujejo losjoni za zaščito pred soncem?

## Elektromagnetna indukcija

V tem delu smo pripravili zaporedje aktivnosti, ki bo dijake usmerila v preverjanje že usvojenega znanja o indukciji, o silnicah magnetnega polja okrog valjastega magneta in o znanju delovanja LED ter v uporabo tega znanja pri reševanju kvalitativnih in kvantitativnih problemov. Dijaki se bodo hkrati naučili, kako ocenjevati predpostavke.

Potrebno znanje: Spreminjanje pretoka magnetnega polja inducira električno napetost na tuljavi; LED svetijo, kadar električni tok skozi njih teče v eni smeri in je hkrati napetost na njih približno 2V.

Aktivnost je zasnovana kot spletni laboratorij, kjer dijaki uporabljajo visokohitrostne spletne videoposnetke ali zaporedja fotografij, vzeti iz takšnih videoposnetkov. Če pa imate na voljo spodaj navedeno opremo, lahko to aktivnost spremenite v laboratorij. Naj opozorimo na pomembno prednost uporabe LED kot tokovnih indikatorjev v teh poskusih v primerjavi z drugimi metodami za merjenje električnega toka. Postavitev, v kateri imamo LED, tuljavo in magnet hkrati v istem video okvirju (kadru), omogoča zaporedno opazovanje (slika za sliko) prisotnosti/smeri električnega toka skozi tuljavo pa tudi gibanje/pozicijo magneta glede na tuljavo. Vsi ti podatki so potrebni, če želimo razložiti opazovani pojav.

### Oprema:

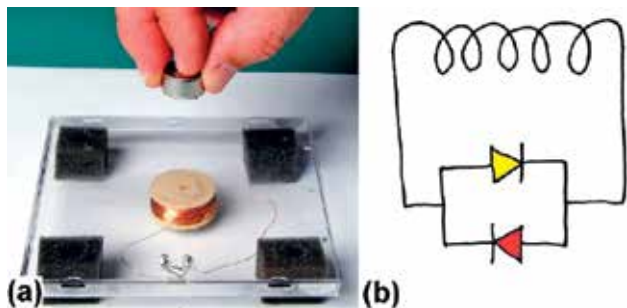
- rdeče in rumene LED [25],
- majhna tuljava z velikim številom ovojev (podatki za našo tuljavo: zunanji premer 30 mm, notranji premer 10 mm, višina 13 mm, 900 ovojev, izdelanih iz 0,2 mm debele izolirane bakrene žice, upor tuljave  $30\ \Omega$ ),
- močan neodimov magnet (podatki za naš magnet: premer 18 mm, višina 7 mm, največja velikost gostote magnetnega polja  $B$  na sredini tuljave, ko postavimo magnet na vrh tuljave, znaša  $B_{\max} = 0,1\ \text{T}$ ),
- plastični CD-ovitek in
- hitra kamera (kamera, ki zmore posneti vsaj 600 sličic na sekundo) [26].

Za vse poskuse smo uporabili naslednjo postavitev. Majhno tuljavo z velikim številom ovojev smo prilepili na polovico plastičnega pokrova škatle za CD (slika 7(a)). Tuljavo smo priključili vzporedno na rdečo in rumeno LED, ki sta usmerjeni v nasprotnih smereh (glej shemo vezja na sliki 7(b)). LED sta prav tako pritrjeni na pokrov CD-ja. Na spodnji del plastičnega pokrova smo zalepili štiri nogice (izrezane iz gobice), da bi bila naša postavitev na mizi stabilna.

Naj opozorimo na pomembno prednost uporabe LED kot tokovnih indikatorjev v teh poskusih v primerjavi z drugimi metodami za merjenje električnega toka.

### Aktivnost 1: Preučevanje interakcije med tuljavo in magnetom

*Opazovalni poskus:* Učitelj (ali dijak) drži magnet tik nad tuljavo, s severnim polom magneta obrnjenim navzdol. Nato izvajalec poskusa potisne magnet navzdol, da se



a) postavitev eksperimenta in b) shema vezja.

Slika 7: Interakcija med tuljavo in magnetom

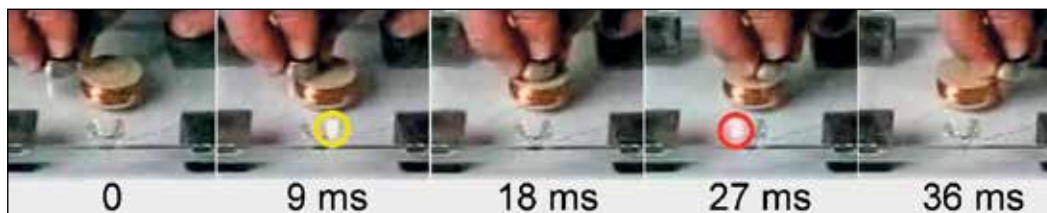
le-ta začne pospešeno premikati in se na koncu ustavi, ko udari ob plastični pokrov. Poskus smo posneli s hitro kamero (glej <http://youtu.be/PxqcL5NMZ18>). Z video-posnetka je razvidno, da rumena LED za trenutek utripne, tik preden magnet udari v plastični pokrov.

Dijaki morajo podati kvalitativno razlago opazovanega poskusa in nato razlago uporabiti za napoved rezultatov nadaljnjih eksperimentov, v katerih spremenimo smer magnetnega pola in/oziroma smer gibanja magneta (magnet na primer miruje na plastičnem pokrovu tik nad sredino tuljave, pri čemer je severni pol magneta obrnjen navzdol; izvajalec poskusa čim hitreje dvigne magnet navpično navzgor; glej video na <http://youtu.be/m-z9fOahfxU>). Naj poudarimo, da dijakov NE sprašujemo po napovedi prvega (opazovalnega) poskusa, spodbujamo pa jih, da napovedo izide nadaljnjih poskusov na podlagi razlage, ki so jo predlagali pri pojasnjevanju opazovalnega poskusa.

### Aktivnost 2: Kvantitativna analiza/razlaga

Dijaki si ogledajo posnetek poskusa, ki je bil posnet s hitro kamero (glej <http://youtu.be/m-z9fOahfxU>; za ogled po korakih (slika za sliko) si prenesite video posnetek »Aktivnost 2«, ki ga najdete na povezavi <http://www.fmf.uni-lj.si/~planinsic/PEMbg.htm>, in ga predvajajte s programom QuickTime.

Magnet miruje na levi strani plastičnega pokrova. Izvajalec poskusa potisne magnet preko plastičnega pokrova od leve proti desni tako, da se hitro premakne čez sredino tuljave. Analiza video posnetka pokaže, da kadar se magnet premika preko prve polovice tuljave, zasveti rumena LED, in ko se premika preko druge polovice tuljave, zasveti rdeča LED. Ko se magnet premika nad sredino tuljave (glej sliko 8), sta obe LED ugasnjeni. Ko se magnet premika od desne proti levi, zasvetijo LED v enakem vrstnem redu kot prej.



**Slika 8:** Fotografije iz visokohitrostnega posnetka poskusa, pri katerem izvajalec poskusa premakne magnet preko tuljave od leve proti desni. Upoštevajte, da je os magneta vzporedna z osjo tuljave. Rdeča in rumena vezja označujejo barvo utripajoče LED.

Dijaki morajo ugotoviti, kateri pol magneta je obrnjen navzdol, in oceniti inducirano napetost v tuljavi med tem poskusom. Podatki za magnet in tuljavo so podani na začetku te aktivnosti; odpiralne napetosti za LED so: rdeča LED  $U_{on} = 1,5$  V, rumena LED  $U_{on} = 1,6$  V. Dijake spodbujamo, da opišejo morebitne predpostavke, ki so jih sprejeli v svojih ocenah.

Postopek: Z znanjem, ki so ga pridobili iz opazovalnega poskusa v aktivnosti 1, morajo biti dijaki sposobni ugotoviti, kateri magnetni pol je bil obrnjen navzdol (v našem primeru severni pol). Prav tako morajo ugotoviti, da kadar se magnet premika čez rob tuljave (s katere koli strani), se magnetni pretok skozi tuljavo najprej poveča. Ko se magnet nahaja nad sredino tuljave, se pretok ne spreminja (ostaja konstanten), in ko se magnet premika čez drugi rob tuljave, se pretok zmanjšuje [27]. Dijaki se morajo zavedati, da je za izvedbo izračuna potrebno sprejeti več predpostavk:

- tuljavo je mogoče približati z enoplastno tuljavo s premerom, ki je enak povprečnemu premeru dejanske tuljave (v našem primeru 20 mm);
- največjo vrednost magnetnega pretoka skozi tuljavo (ko je magnet tik nad sredino tuljave) je mogoče oceniti iz dane vrednosti  $B_{\max} = 0,1 \text{ T}$ , ko je magnet postavljen na vrh tuljave, ter iz dimenzij tuljave in magneta (upoštevajte, da je prečni prerez magneta v našem primeru manjši od prečnega prereza tuljave); v našem primeru dobimo  $\Phi_{m_{\max}} = 2,3 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$ ;
- magnetni pretok skozi tuljavo se spremeni od vrednosti nič do največje vrednosti v času, ki je potreben, da gre magnet mimo roba tuljave; z analiziranjem video posnetka sliko za sliko lahko dijaki ugotovijo, da se v našem primeru to zgodi v času 12 video sličic, kar je enako 10 ms.

Z uporabo Faradayevega zakona lahko dijaki sedaj ocenijo vrednost inducirane napetosti (ki je v našem primeru približno 2,3 V). Dijake spodbudimo, da pridejo do spoznanja, da ta napetost zadostuje za to, da katera koli od uporabljenih LED zasveti.

### Viri, literatura in opombe

- [1] Gorazd Planinšič in Eugenia Etkina, Light-emitting diodes: A hidden treasure, *Phys. Teach.* **52**, 94–99 (feb. 2014).
- [2] Eugenia Etkina in Gorazd Planinšič, »Light-emitting diodes: Exploration of underlying physics«, *Phys. Teach.* **52**, 212–218 (april 2014).
- [3] Gorazd Planinšič in Eugenia Etkina, »Light-emitting diodes: Learning new physics«, *Phys. Teach.* **53**, 212–218 (april 2015).
- [4] E. Etkina in 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), spletni dostop na [http://percentral.org/per\\_reviews/media/volume1/ISLE-2007.pdf](http://percentral.org/per_reviews/media/volume1/ISLE-2007.pdf).
- [5] Bele in škrlatne (magenta) LED uporabljajo modre LED, prekrite s fosforjevim premazom. Mešanje modre svetlobe s svetlobo, ki jo oddaja fosfor, proizvaja svetlobo, ki je videti bele ali škrlatne barve. Aktivnost, v kateri dijaki odkrijejo ta mehanizem, je opisana v prispevku #3 iz naše serije.
- [6] Stephen Kanim in Keron Subero, »Introductory labs on the vector nature of force and acceleration«, *Am. J. Phys.* **78**, 461–466 (maj 2010).
- [7] T. Terzella, J. Sundermier, J. Sinacore, C. Owen, in H. Takai, »Measurement of  $g$  using a flashing LED«, *Phys. Teach.* **46**, 395–397 (okt. 2008).
- [8] Dijaki se morajo zavedati, da je nedoločnost periode manjša, če je čas osvetlitve daljši, in da za določitev periode vozička ni treba premikati s konstantno hitrostjo.
- [9] Za energijske stolpčne diagrame glejte Poglavlje 6 v delu Etkina, Gentile, in Van Heuvelen, *College Physics* (Pearson, 2014).
- [10] Primerjava učinkovitosti žarnic in LED je že bila objavljena: James A. Einsporn and Andrew F. Zhou, »The 'Green Lab': Power consumption by commercial light bulbs«, *Phys. Teach.* **49**, 365–367 (sept. 2011). Vendar se naš pristop dovolj razlikuje tako v eksperimentalnem kot pedagoškem vidiku, da smo se odločili, da ga opišemo.
- [11] Uporabili smo OptoSupply belo LED OSPW5111P.
- [12] Uporabili smo konvencionalno žarnico za ročne svetilke z naslednjimi podatki: 3,8 V, 0,3 A.
- [13] Uporabili smo Vernierjev svetlobni senzor LS-BTA.
- [14] Z žago za kovino previdno odžagajte del ohišja LED, ki tvori lečo, nato zbrusite odžagano površino s finim smirkovim papirjem in na koncu spolirajte z belo zobno pasto, dokler površina ni videti jasno transparentna [glej tudi Gorazd Planinšič, »Color mixer for every student«, *Phys. Teach.* **42**, 138–142 (marec 2004)].
- [15] Žogica za namizni tenis razprši svetlobo na notranji površini žogice enakomerno v vse smeri, zaradi česar je žogica videti enako svetla z vseh smeri. Upoštevajte, da se nekaj svetlobe absorbira v steni žogice (svetlobna energija se pretvori v termično energijo).
- [16] Tu definiramo prepustnost kot delež energije vpadne svetlobe pri določenem intervalu valovnih dolžin, ki prehaja skozi vzorec.
- [17] Uporabili smo LD 271, ki ima največjo valovno dolžino pri 950 nm in lahko prenese največji tok 130 mA v prevodni smeri.
- [18] Uporabili smo Optosupply LED: rdeča OSHR5111P, zelena OSPG5111P in modra OSUB511 1P.

- [19] Spekter naše UV LED ima vrh pri valovni dolžini 400 nm (vidno območje) in sega v UV območje do približno 380 nm. To so običajni podatki za splošno dostopne UV LED.
- [20] Uporabili smo Vernierjev svetlobni senzor LS-BTA.
- [21] Zaščitni faktor (SPF)  $X$  pomeni, da lahko z uporabo te kreme za zaščito pred soncem na soncu ostanete  $X$ -krat dlje, da bi enako porjaveli kot brez kreme za zaščito pred soncem.
- [22] Uporabili smo Vernierjev UVA-senzor UVA-BTA.
- [23] Uporaba LED kot detektorja nam v tem primeru ne bi dala uporabnih meritev zaradi leče, ki spremeni intenziteto svetlobe, ki se razprši na plasti kreme in vpada na LED.
- [24] Doris Kimbrough, »Photochemistry of sunscreens«, *J. Chem. Educ.* **74**, 51–53 (jan. 1997).
- [25] Uporabili smo Optosupply LED: rdeča OSHR51 1 1P in rumena OS5YKA5111P.
- [26] Izdelali smo video posnetke s 1200 sličicami na sekundo z uporabo kamere Casio Exilim.
- [27] Nekateri dijaki lahko pripomnijo, da zaradi oblike dipolarnega polja magneta nastane tudi majhna sprememba magnetnega pretoka skozi tuljavo (in posledično inducirana napetost), ko je magnet zunaj tuljave in se približuje njenemu območju. To je res in je znak globljega razumevanja obravnavane tematike. Vendar pa je inducirana napetost v tem primeru premajhna za vklop LED, lahko pa jo zmerimo z uporabo osciloskopa.

### Članki, ki bi vas morda zanimali

Characteristics of light regime on biofixation of carbon dioxide and growth of *Scenedesmus obliquus* with light-emitting diodes  
*J. Renewable Sustainable Energy* **6**, 033104 (2014); 10.1063/1.4873398

Light-Emitting Diodes: Exploration of Underlying Physics *Phys. Teach.* **52**, 212 (2014); 10.1119/1.4868933

Light-Emitting Diodes: A Hidden Treasure  
*Phys. Teach.* **52**, 94 (2014); 10.1119/1.4862113

Experiments with light-emitting diodes  
*Am. J. Phys.* **79**, 825 (2011); 10.1119/1.3599072

Noninvasive, low-noise, fast imaging of blood volume and deoxygenation changes in muscles using lightemitting diode continuous-wave imager

*Rev. Sci. Instrum.* **73**, 3065 (2002); 10.1063/1.1485779

**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 izobraževanja za učitelje fizike v Sloveniji. Njegov glavni interes je razvoj in izobraževalne aplikacije preprostih poskusov. gorazd.planinsic@mf.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 in pripravlja gradiva za učne programe fizike. Je soavtorica Okolja za raziskovalno učenje naravoslovja (Investigative Science Learning Environment – ISLE) in soavtorica nedavno objavljenega učbenika Fizika za srednje šole (College Physics). Njeno raziskovanje je usmerjeno v načine, kako pomagati dijaku pri razvijanju »znanstvenih navad razmišljanja«. eugenia.etkina@gse.rutgers.edu

### THE PHYSICS TEACHER, št. 53, maj, 2015

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: 78.153.51.134 v sredo, 22. aprila 2015, ob 19:05:41.