

# Leće u različitim optičkim sredstvima

Tatjana Ivošević<sup>1</sup>, Nataša Erceg<sup>2</sup>

## Uvod

Ne vodeći dovoljno računa u srednjoškolskim udžbenicima iz fizike (Andreis, Plavčić i Simić, 2006, str. 39), (Hrupec, Godinić i Takač, 2008, str. 66–67), (Jakopović i Kulišić, 1995, str. 146), (Krsnik, 2000, str. 50), (Kulišić i Pavlović, 2007, str. 136–137), (Lopac i Kulišić, 2007, str. 50–51), (Paar, 2003, str. 104–105), (Pavlović i Srdelić, 2009, str. 112–113), (Roginić, 2009, str. 117) o tome da utjecaj leće na svjetlosne snopove ne ovisi samo o obliku leće, već i o tome od kojeg je optičkog sredstva njezina okolina i ona sama, pojavljuju se miskoncepcije koje učenicima otežavaju razumijevanje konkretnih primjena leća. Učenicima ostaje nejasno koje leće trebaju upotrijebiti i na koji način, da bi vidjeli uvećanu sliku malih predmeta, umanjenu sliku velikih predmeta, bližu sliku dalekih predmeta ili pak udaljenu sliku bliskih predmeta. Na taj način zapostavlja se razvoj funkcionalnog znanja (Biggs i Tang, 2007, p. 137) čemu u prilog idu i zadaci u zbirkama zadataka iz fizike. Oni su najčešće zatvorenog tipa s poznatim podacima o udaljenosti i veličini predmeta te žarišnoj daljini leće (Hrupec, Takač, Maković i Horvat, 2009, str. 22–23), (Kulišić i Eterović, 1991, str. 191–192), (Mikuličić, Vernić i Varičak, 2006, str. 218–219).

## Prijedlog obrade teme “Leće” i diskusija

U nastavku ovog rada dajemo metodički oblikovan prijedlog obrade teme Leće u koji je uklopljena ispravna podjela leća te diskutiramo o ključnim stvarima koje je potrebno naglašavati u smislu razvijanja učeničkog konceptualnog razumijevanja. Uzroci i posljedice ispravne podjele leća obrađeni su kroz primjere iz svakodnevnog života. Na višim stupnjevima obrazovanja moguća je i konceptualna nadogradnja prevođenjem problemskih situacija u matematički jezik, bilo da je riječ o matematičkim relacijama ili konstrukcijama.

### 1. Kako se može poučavati o tankim lećama

Obrađivanje sadržaja leća u udžbenicima započinje uvođenjem pojma leće, karakterističnih zraka, konstruiranjem različitih slika za različite položaje predmeta, primjenama jednadžbe leća, dok skromna primjena leća slijedi nakon numeričkih računa u gimnaziji, a u strukovnoj školi izostaje. Frontalnim prenošenjem postojećih sadržaja iz udžbenika u nastavni proces, te algoritamskim rješavanjem fizikalnih zadataka, bez diskusije rezultata, učenicima ostaje nejasna primjena leća.

<sup>1</sup> Agencija za odgoj i obrazovanje, Podružnica Rijeka.

<sup>2</sup> Odjel za fiziku Sveučilišta u Rijeci.

Nastojeći riješiti postojeći problem, predlažemo drugačiji redoslijed obrade teme *Leće* od one prezentirane u proučenoj literaturi. Započinje nazivljem leća s obzirom na njihov oblik, a nakon toga se težište stavlja na usvajanje i razumijevanje utjecaja leća na svjetlosne snopove te na njihovu konkretnu primjenu. Na kraju se pojave opisuju fizički, tj. konstruiraju se slike te se uvodi matematički aparat utemeljen na odgovarajućim konceptima.

Primjereno razini obrazovanja, učenike se nastoji rasteretiti od učenja suvišnih podataka koji ne doprinose razumijevanju i primjeni znanja. S istim ciljem, smatramo da je važnije učenike stavljati u situacije istraživanja slike predmeta i razmišljanja koja im leća može poslužiti za dobivanje tražene slike, nego ih stalno usmjeravati na položaj i veličinu predmeta te na temelju tih podataka zahtijevati računanje ostalih fizičkih veličina, najčešće veličinu i udaljenost slike predmeta. Nakon istraživačkog pristupa, učenici lakše usvajaju konstrukciju slike pomoću karakterističnih zraka jer razumiju koncept i bolje prihvaćaju potrebni matematički aparat koji se u klasičnom pristupu obradi gradiva, većini učenika čini nepotreban i nerazumljiv. Ovaj zaključak je rezultat višegodišnjeg rada u odgojno-obrazovnom sustavu.

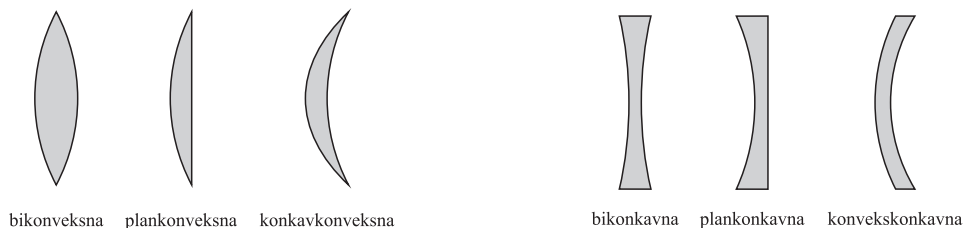
### 1.1. Podjela tankih leća prema obliku

Smatramo da najprije treba razlikovati leće prema obliku kako ne bi došlo do zabune prilikom analize novih i netipičnih situacija.

Leća je optički prozirno tijelo koje ima barem jednu zakrivljenu plohu. Dakle, može imati jednu plohu ravnu, a drugu zakrivljenu ili pak obje zakrivljene. Naziv tanka leća zahtijeva još i da su te rubne plohe (dioptri) sferne ili ravne te da su na međusobnoj udaljenosti koja je znatno manja od žarišne daljine leće. Tada za jakosti dioptara vrijedi aditivnost, tj. učinak dviju strana jednostavno zbrojimo ili oduzmemo da bismo dobili ukupnu jakost tanke leće. Tanke leće s bar jednom izbočenom plohom nazivamo izbočenim ili konveksnim lećama (bikonveksne, plankonveksne, konkavkonveksne) (slika 1a), a leće s bar jednom udubljenom plohom nazivamo udubljenim ili konkavnim lećama (bikonkavne, plankonkavne, konvekskonkavne) (slika 1b). *Vodeći računa o činjenici da su izbočene leće deblje u sredini te da su udubljene deblje na rubovima, učenici će izbjeći zabunu pri crtanju i korištenju naziva spomenutih leća.*

Također im se može ponuditi da dodirom provjere o kojoj se leći radi radi lakšeg zapamćivanja.

Podjela leća prema obliku uvijek vrijedi bez obzira na promjenu optičkih sredstava pa je preporučljivo držati je se pri poučavanju.



a) Izbočene ili konveksne leće.

b) Udubljene ili konkavne leće.

Slika 1. Podjela leća prema obliku.

## 1.2. Svakodnevna primjena leća

Nakon usvajanja ispravnog naziva leća prema obliku, predlažemo nastavak obrade teme *Leće* kroz upoznavanje učenika s njihovom funkcijom i primjenom.

Za jednostavnije primjere potrebna su priručna pomagala, poput povećala i dioptrijskih naočala s kojima su svakodnevno u doticaju.

### **Primjer 1.** *Vide se jasne slike slova.*

S povećalom se učenici susreću već u osnovnoj školi te iz iskustva znaju da kroz njega gledamo kada želimo dobiti uvećanu sliku predmeta (npr. sitnih slova) koji se inače ne vide dovoljno jasno iako su blizu. Opipavanjem ruba i sredine leće povećala lako uočavaju da je ona deblja u sredini, nego na rubovima i na temelju toga zaključuju da je riječ o izbočenoj leći.

Dioptrijske naočale također mogu poslužiti kao nastavno sredstvo za proučavanje funkcija leća kao što su uvećavanje ili umanjivanje, odnosno približavanje ili udaljšavanje predmeta. Upravo na tim funkcijama se temelji primjena leća za ispravljanje očnih anomalija dalekovidnosti i kratkovidnosti. Oko koje ne vidi jasno sitne predmete na udaljenosti jasnog vida je dalekovidno oko, a oko koje ne vidi jasno daleke velike predmete je kratkovidno oko. Dalekovidnost se ispravlja izbočenom lećom, a kratkovidnost udubljenom lećom.

### **Primjer 2.** *Vidi se jasno slika daleke dizalice.*

Neki ljudi ne vide jasno daleku dizalicu. Da bi je vidjeli jasno, trebaju joj se približiti. Međutim, što joj se više približavaju, ona sve više izlazi iz vidnog polja pa ju nije moguće vidjeti u cjelini. Stoga se koriste udubljene leće koje mogu stvoriti umanjenu i približenu sliku predmeta koji se kroz nju promatra. Do tog zaključka učenici/ studenti dolaze koristeći analogiju s prethodnim zaključkom da izbočena leća povećava bliske predmete.

Složenije primjene leća u različitim optičkim sredstvima uslijedit će u nastavku rada, a nakon konstruiranja jednostavne slike. *Važno je da učenici usvoje temeljni koncept, da je slika predmeta dobivena pomoću leće jedina mjerodavna za njezinu primjenu.*

## 1.3. Kako nastaju slike?

Nakon što se vide slike predmeta, vrlo često učenici postavljaju sljedeća pitanja:

Kako dolazi do uvećanja slova? Kako uvećati bliske malene predmete?

Kako dolazi do umanjivanja dizalice? Kako umanjiti daleke velike predmete?

Na ova pitanja moguće je odgovoriti nakon uvođenja pojmova karakterističnih točaka leće<sup>3</sup> i karakterističnih svjetlosnih zraka koje prolaze kroz leću. Tek onda se konstruiraju slike predmeta. Preporuča se konstruirati slike za one situacije o kojima je već bilo govora, a ne potpuno nove, kako bi učenici povezali zaključke rasprave s konstrukcijama.

### 1.3.1. Konstrukcija slike bliskih malenih predmeta od izbočene leće pomoću karakterističnih zraka

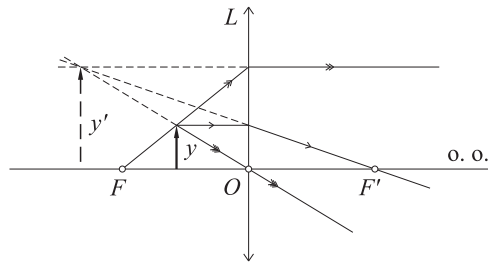
Preporučljivo je prije konstrukcije slike pokusom pokazati kako ispučena leća lomi paralelne zrake s optičkom osi. Da bi se konstruirala slika bliskog i malenog predmeta (npr. slova promatranog kroz leću) koja se dobiva pomoću izbočene leće, najprije treba nacrtati optičku os o.o. i leću  $L$  s karakterističnim točkama (žarištem

---

<sup>3</sup> Žarišne točke učenici lako uočavaju prilikom izvođenja pokusa u kojemu se propušta paralelan svjetlosni snop posebno kroz izbočenu, a posebno kroz udubljenu leću. Preporuča se izvesti pokus prije uvođenja ovih pojmova.

predmeta  $F$ , žarištem slike  $F'$  i optičkim središtem  $O$ ). Kako je slovo bliski predmet veličine  $y$ , onda se postavi bliže leći, između optičkog središta i žarišta predmeta. Pomoću karakterističnih zraka konstruira se slika slova veličine  $y'$ . Pri ovoj i ostalim konstrukcijama slike koristi se pravilo pozitivne orijentacije lomljenih zraka.

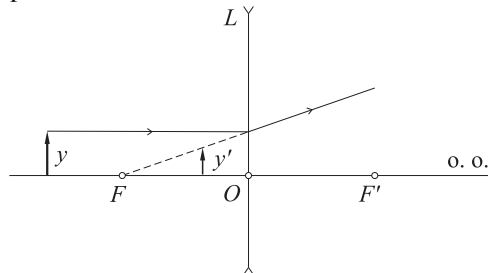
Kad se pogleda kroz izbočenu leću, vidi se slika slova veličine  $y'$  (slika 2). Ona je uvećana, uspravna i prividna. Svaka slika koja se vidi kroz leću, a ne može se projicirati na zaslonu je prividna, nestvarna ili virtualna. Slika veličine  $y'$  vidi se pod većim vidnim kutom u odnosu na predmet veličine  $y$ . Dakle, izbočena leća povećava vidni kut za bliske predmete.



Slika 2. Konstrukcija slike predmeta veličine  $y'$  od izbočene leće pomoću karakterističnih zraka.

### 1.3.2. Konstrukcija slike dalekih velikih predmeta od udubljene leće pomoću karakterističnih zraka

Na slici 3 prikazana je konstrukcija slike predmeta (npr. dizalice) koju dobivamo od udubljene leće. Predmet je dalje od žarišta  $F$ , a dobivena slika koja se vidi kroz leću je umanjena, uspravna i prividna.

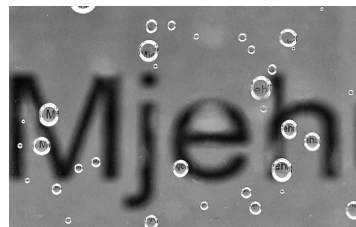


Slika 3. Konstrukcija slike predmeta veličine  $y'$  od udubljene leće pomoću karakterističnih zraka

## 2. Leće u različitim optičkim sredstvima

Kad se usvoje osnovni koncepti, može se promišljati o manje očekivanim situacijama. Kakve slike daju mjehurići zraka u vodi, a s njima se susrećemo svakodnevno pri otvaranju gaziranih pića (slika 4)? Ili, primjerice, kakvu funkciju ima rožnica ljudskog oka?

Slika mjehurića zraka u mineralnoj vodi je umanjena, uspravna i prividna (slika 4).



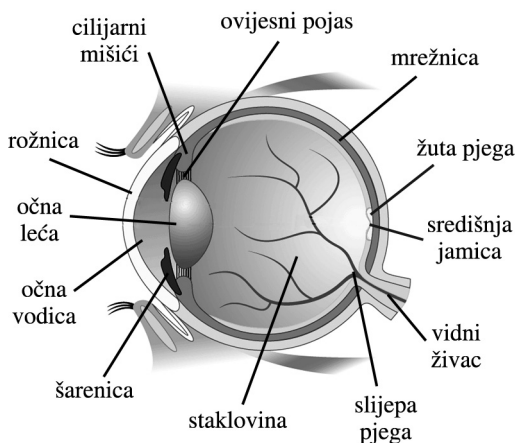
Slika 4. Mjehurići plina u mineralnoj vodi kao izbočene leće.

## 2.1. Jesu li udubljene leće uvijek divergentne?

Staklene, plastične, vodene udubljene leće u zraku raspršuju svjetlosne zrake i one su tada divergentne. Jesu li udubljene leće uvijek rasipne, divergentne leće kao što se najčešće navodi u navedenoj literaturi (Andreis, Plavčić i Simić, str. 39), (Hrupec, Godinić i Takač, str. 67), (Jakopović i Kulišić, str. 146), (Krsnik, str. 50), (Kulišić i Pavlović, str. 137), (Lopac i Kulišić, str. 50–51), (Lopac, str. 133), (Paar, str. 104–105), (Pavlović i Srdelić, str. 112), (Roginić, str. 117)?

Primjer iz svakodnevnog života koji će nam poslužiti za odgovor na postavljeno pitanje je funkcija rožnice ljudskog oka u različitim optičkim sredstvima.

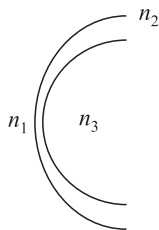
**Primjer 3.** *Funkcija rožnice ljudskog oka (slika 5).*



Slika 5. Očna jabučica.

Rožnica je optički prozirno tijelo koje ima oblik tanke konvekskonkavne leće te dijeli optička sredstva zrak i očnu vodicu (slika 6).

Znamo da svjetlost mora proći kroz zjenicu i očnu leću do vidnih stanica kako bi nastala slika. Znači da je potrebna velika konvergencija da bi snop prošao kroz zjenicu. Je li rožnica jako konvergentna u zraku?

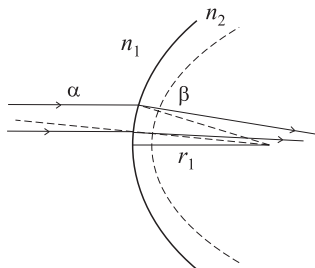


Slika 6. Presjek rožnice u horizontalnoj ravni ( $n_1$  – apsolutni indeks loma zraka,  $n_2$  – apsolutni indeks loma rožnice,  $n_3$  – apsolutni indeks loma očne vodice).

Pri računu i konstrukciji izgled elipsoida aproksimira se izgledom sferne kalote.

Svjetlosna zraka upada iz zraka na rožnicu i lomi se prema okomici jer je rožnica optički gušće sredstvo ( $n_2 = 1.3771$ ) (Storani de Almeida i Carvalho, str. 380) od zraka

( $n_1 = 1$ ) (slika 7). Pri izlazu iz rožnice u očnu vodicu lomi se od okomice jer je očna vodica ( $n_3 = 1.3374$ ) (Storani de Almeida i Carvalho, str. 380) optički rjeđa od rožnice. To znači da se na prednjoj rožničnoj plohi skupljaju svjetlosne zrake, a na stražnjoj rasipaju. Pitanje je, gdje je svjetlosni lom veći, na prednjoj ili stražnjoj rožničnoj plohi?



Slika 7. Prikaz svjetlosnog loma na prednjoj rožničnoj plohi u horizontalnoj ravnini.

Jakost loma na prednjoj rožničnoj plohi (slika 7) iznosi  $48.346 \text{ m}^{-1}$  prema izrazu za jakost sfernog dioptra:

$$j_1 = \frac{n_2 - n_1}{r_1} \quad (1)$$

gdje su  $n_2$  apsolutni indeks loma rožnice,  $n_1$  apsolutni indeks loma zraka, a  $r_1$  polumjer zakrivljenosti prednje rožnične plohe u horizontalnoj ravnini  $r_1 = 7.8 \text{ mm}$  (Storani de Almeida i Carvalho, str. 380).

Jakost loma na stražnjoj rožničnoj plohi  $j_2$  iznosi  $-6.107 \text{ m}^{-1}$  prema izrazu:

$$j_2 = \frac{n_3 - n_2}{r_2} \quad (2)$$

gdje su  $n_3$  apsolutni indeks loma očne vodice,  $n_2$  apsolutni indeks loma rožnice, a  $r_2$  polumjer zakrivljenosti stražnje rožnične plohe u horizontalnoj ravnini,  $r_2 = 6.5 \text{ mm}$  (Storani de Almeida i Carvalho, str. 380).

Ukupna optička jakost rožnice je pozitivna i iznosi

$$j = j_1 + j_2 = 48.346 \text{ m}^{-1} - 6.107 \text{ m}^{-1} = 42.239 \text{ m}^{-1} \approx 42 \text{ m}^{-1}.$$

To znači da je rožnica sabirna leća bez obzira što ima konvekskonkavni oblik (slika 6).

Iz ovog primjera je vidljivo da su optička sredstva leće i okoline vrlo važni parametri za određivanje funkcije leće. Važno je napomenuti da je račun za rožnicu oka približan, odnosno ovisan o tvrdnji da su oba dioptra sferna i blizu, što recimo ne vrijedi za očnu leću i oko kao cjeloviti sustav. Također, leća oka se akomodira, tj. po potrebi povećava jakost kako bi dobili oštru sliku.

### 2.1.1. Kakvu bi funkciju imala konvekskonkavna leća u zraku?

Kad bi uzeli model rožnice, njena optička jakost u zraku bi iznosila  $-9.67 \text{ m}^{-1}$ , a dobivena je pomoću izraza:

$$j = (n_2 - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (3)$$

gdje su:  $n_2$  apsolutni indeks loma rožnice,  $r_1$  polumjer zakrivljenosti prednje rožnične plohe,  $r_2$  polumjer zakrivljenosti stražnje rožnične plohe.

Budući da je optička jakost ove konvekskonkavne leće negativna u zraku, ona u zraku rasipa svjetlosne zrake.

Dakle, udubljena leća ne mora nužno divergirati svjetlosni snop jer njena funkcija ne ovisi samo o obliku, već i o tome od kojih su optičkih sredstva leća i njezina okolina.

**Primjer 4.** *Udubljena zračna leća u vodi.*

Kad se uroni udubljena zračna leća u vodu kroz nju se vidi uvećana, uspravna i prividna slika predmeta (slika 8).



Slika 8. Lom svjetlosti na udubljenoj leći uronjenoj u vodu.

**Primjer 5.** *Žarulja u vodi.*

Iz istog razloga izbočena leća ne mora nužno konvergirati svjetlosni snop. To se može provjeriti na jednostavan način ako uronimo žarulju u vodu (slika 9). Stakleni balon žarulje daje umanjenu, uspravnu i prividnu sliku.



Slika 9. Lom svjetlosti na žarulji uronjenoj u vodu.

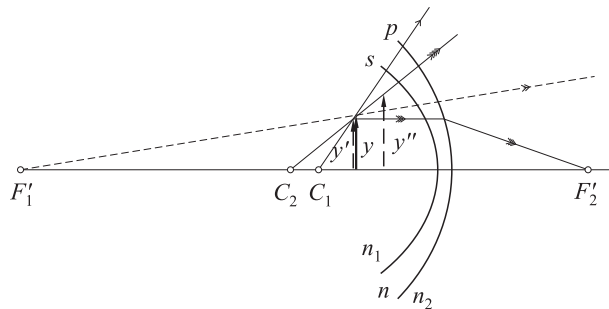
**2.2. Kakvu sliku zjenice vidimo kad gledamo u zjenicu druge osobe?**

Zanimljivo je fizikalno promatrati slike predmeta koje svakodnevno gledamo. Npr. kakva je slika zjenice kad gledamo u oko druge osobe ili u svoje oko pomoću ravnog zrcala (slika 10)? Potpuno ćemo okrenuti tipičnu situaciju pitanjem: Kakvu sliku daje konvekskonkavna leća kad je predmet u optički gušćem sredstvu, a sliku gledamo iz optički rjeđeg sredstva?



Slika 10. Slika zjenice ljudskog oka.

Zjenica je predmet veličine  $y$ , u optički gušćem sredstvu, očnoj vodici  $n_1$ . Slika zjenice veličine  $y''$  promatra se iz optički rjeđeg sredstva, zraka  $n_2$ . Svjetlost se reflektira o rub šarenice koja okružuje zjenicu (slika 11).



Slika 11. Slika zjenice oka veličine  $y''$ .

Zbog loma svjetlosti na stražnjoj rožničnoj plohi ( $s$ ) nastaje slika veličine  $y'$  i ona je predmet za nastajanje slike veličine  $y''$  pri lomu svjetlosti na prednjoj rožničnoj plohi ( $p$ ). Pri konstrukciji i računu uzima se pozitivna orijentacija lomljenih zraka. Stražnja rožnična ploha ima središte zakrivljenosti na  $-6.5$  mm, a prednja na  $-7.8$  mm, dok je debljina rožnice  $0.55$  mm (Storani de Almeida i Carvalho, str. 380).

Konstrukcija slike započinje crtanjem optičke osi te dva različito zakrivljena luka kojima su središta zakrivljenosti  $C_1$  i  $C_2$  (slika 11). Lukovi predstavljaju prednju i stražnju rožničnu plohu koje su označene slovima  $p$  i  $s$ . Da bi se odredili položaji žarišta predmeta i slike  $F_1, F_1'$  za stražnju rožničnu plohu te položaji žarišta predmeta i slike  $F_2, F_2'$  za prednju rožničnu plohu, potrebno je izračunati odgovarajuće žarišne daljine.

Žarišna daljina predmeta stražnje rožnične plohe  $f_1$  računa se prema izrazu:

$$f_1 = -\frac{n_1}{n - n_1} \cdot r_1 \quad (4)$$

gdje su  $n_1$  apsolutni indeks loma očne vodice,  $n$  apsolutni indeks loma rožnice, a  $r_1$  polumjer zakrivljenosti stražnje rožnične plohe. Žarišna daljina  $f_1$  iznosi  $21.89$  cm (4). Analogno tome, žarišna daljina predmeta prednje rožnične plohe  $f_2$  iznosi  $-2.85$  cm.

Žarišna daljina slike stražnje rožnične plohe  $f_1'$  računa se prema formuli:

$$f_1' = \frac{n}{n - n_1} \cdot r_1 \quad (5)$$

te iznosi  $-22.55$  cm. Žarišna daljina slike prednje rožnične plohe  $f_2'$  iznosi  $2.06$  cm.



Predmet, tj. zjenica veličine  $y$  nalazi se na položaju  $-3.05$  mm (Storani de Almeida i Carvalho, str. 380) od stražnje rožnične plohe. S obzirom da su udaljenosti vrlo različite od 3 mm do 24 cm u konstrukciji se aproksimiraju udaljenosti da se dobije jasna konstrukcija s vidljivom slikom. U protivnom su dvije slike veličina  $y'$  i  $y''$  vrlo blizu predmetu veličine  $y$  pa se konstrukcijom nekoliko zraka dobije nepregledna slika. Konačna slika zjenice veličine  $y''$  je uvećana, uspravna i prividna (slika 11).

Konstrukcija slike može se upotrijebiti računom udaljenosti slike zjenice  $x''$  od prednje rožnične plohe i veličine slike zjenice  $y''$ .

Udaljenosti  $x'$  i  $x''$  slika veličine  $y'$  i  $y''$  od stražnje, odnosno prednje rožnične plohe računaju se iz jednadžbi sfernih dioptara:

$$\begin{array}{l} -\frac{n_1}{x} + \frac{n}{x'} = \frac{n - n_1}{r_1} \\ x = -3.05 \text{ mm} \\ n_1 = 1.3374 \\ n = 1.3771 \\ r_1 = -6.50 \text{ mm} \end{array} \qquad \begin{array}{l} -\frac{n}{x' + d} + \frac{n_2}{x''} = \frac{n_2 - n}{r_2} \\ x' + d = -3.65 \text{ mm} \\ n_2 = 1 \\ r_2 = -7.80 \text{ mm} \end{array} \quad (6)$$

Dakle:  $x' = -3.10$  mm i  $x'' = -3.03$  mm.

Iz ovog računa, kao i sa slike 11, slijedi zaključak da je slika zjenice veličine  $y''$  bliža rožnici od stvarne zjenice veličine  $y$ .

Veličina slike  $y''$  može se izračunati iz jednadžbi uvećanja sfernih dioptara:

$$\begin{aligned} \frac{y'}{y} &= \frac{x' \cdot n_1}{x \cdot n} = 0.987 \\ \frac{y''}{y'} &= \frac{x'' \cdot n}{(x' + d) \cdot n_2} = 1.17 \\ \frac{y''}{y} &= \frac{y'' y'}{y y'} = \frac{y''}{y'} \cdot \frac{y'}{y} = 1.15 \end{aligned} \quad (7)$$

Slika zjenice je uspravna i vrlo malo uvećana jer je količnik  $y''/y$  pozitivan i malo veći od 1. Budući da su predmet veličine  $y$  i slika veličine  $y''$  s iste strane rožnice, slika koja se gleda iz optički rjeđeg sredstva je prividna.

Ovo je još jedan primjer kojim se pokazuje da udubljena leća ne mora nužno biti divergentna.

## Zaključak

U hrvatskim udžbenicima iz fizike u većini slučajeva izbočene leće sabiru svjetlosne snopove, a udubljene ih raspršuju. Nastojeći izbjeći učeničke miskonceptije u razumijevanju primjena leća, istaknuli smo da funkcija leće ne ovisi samo o njenom obliku, već i o optičkim sredstvima leće i okoline. U tom smislu, ponudili smo metodičku obradu teme *Leće* u koju je uključena njihova ispravna podjela i koja ima drugačiji pristup od onog prezentiranog u proučenoj literaturi te smo objasnili i nekoliko situacija u kojima ispupčena leća ne mora biti konvergentna ili udubljena divergentna. Naglasak je na primjeni i funkciji leća u realnim situacijama. Često smo koristili pitanja koja je uputno postavljati učenicima i na taj način ih poticati da eksperimentiraju, istražuju i

raspravljaju o svojim vlastitim idejama. One se ne moraju podudarati sa znanstvenim idejama, a mogu biti most ili prepreka usvajanju fizikalnih koncepcija koji su temelj za razumijevanje realnog svijeta.

## Zahvala

Zahvaljujemo profesoru Krešimiru Paviću iz Medicinske škole u Rijeci na učinjenim fotografijama za potrebe ove publikacije na slikama 4, 8, 9 i 10.

## Literatura

- [1] T. ANDREIS, M. PLAVČIĆ, N. SIMIĆ, *Fizika 4, udžbenik za 4. razred gimnazije i srodnih škola s četverogodišnjim programom (varijanta "B")*, Profil, Zagreb, 2006.
- [2] J. BIGGS, C. TANG, *Teaching for quality learning at university*, Open University Press, Buckingham, 2007.
- [3] D. HRUPEC, A. GODINIĆ, D. TAKAČ, *Temelji fizike 3, udžbenik za četvorogodišnje strukovne škole s trogodišnjim učenjem fizike*, Neodidacta d.o.o., Zagreb, 2008.
- [4] D. HRUPEC, A. GODINIĆ, D. TAKAČ, *Temelji fizike 3, zbirka zadataka za 3. razred četvorogodišnjih strukovnih škola s trogodišnjim učenjem fizike*, Neodidacta d.o.o., Zagreb, 2009.
- [5] Ž. JAKOPOVIĆ, P. KULIŠIĆ, *Fizika 2, udžbenik za 2- i 3-godišnji program*, Školska knjiga, Zagreb, 1995.
- [6] R. KRŠNIK, *Fizika 4, udžbenik za 4. razred gimnazije (B inačica programa)*, Školska knjiga, Zagreb, 2000.
- [7] P. KULIŠIĆ, M. ETEROVIĆ, *Zadaci iz fizike*, Školska knjiga, Zagreb, 1991.
- [8] P. KULIŠIĆ, M. PAVLOVIĆ, *Fizika 2, udžbenik za dvo- i trogodišnje učenje fizike*, Školska knjiga, Zagreb, 2007.
- [9] V. LOPAC, P. KULIŠIĆ, *Fizika 4, udžbenik za 4. razred srednjih strukovnih škola*, Školska knjiga, Zagreb, 2007.
- [10] V. LOPAC, *Leksikon fizike*, Školska knjiga, Zagreb, 2009.
- [11] B. MIKULIČIĆ, E. VERNIĆ, M. VARIČAK, *Zbirka zadataka iz fizike 1-4*, Školska knjiga, Zagreb, 2006.
- [12] Nacionalni okvirni kurikulum / on line/, s mreže skinuto 28. veljače 2011. s <http://public.mzos.hr/Default.aspx?sec=2685>
- [13] V. PAAR, *Fizika 3, udžbenik za 3. razred gimnazije*, Školska knjiga, Zagreb, 2003.
- [14] D. PAVLOVIĆ, M. SRDELIC, *Fizika 2, udžbenik fizike za drugi razred strukovnih škola, dvogodišnji program*, Profil, Zagreb, 2009.
- [15] T. ROGINIĆ, *Fizika 3, udžbenik za 3. razred srednjih škola s trogodišnjim programom fizike*, Školska knjiga, Zagreb, 2009.
- [16] T. ROGINIĆ, *Fizika 2, udžbenik za 2. razred srednjih škola s dvogodišnjim programom fizike*, Školska knjiga, Zagreb, 2009.
- [17] M. STORANI DE ALMEIDA, L. A. CARVALHO, *Different Schematic Eyes and their Accuracy to the in vivo Eye: A Quantitative Study*, Brazilian Journal of Physics, 37 (2A), 378–387, 2007.