

## Predvideno predznanje

Aktivnost je primerna za dijake, ki so že usvojili naslednja znanja s področja geometrijske optike:

- širjenje svetlobnih žarkov v praznem prostoru in v primeru ovir,
- lom svetlobe na meji dveh različnih medijev.

Ker aktivnost ne zahteva poznavanje bolj zapletenih pojavov s področja geometrijske optike, je mogoče aktivnost izvesti tudi z dijaki nižjih letnikov, če prej usvojijo znanje o tem, kako se širijo žarki s svetila, kako jih predmeti na njihovi poti ustavijo in kako se žarki lomijo na meji dveh sredstev.

## Cilji

Dijaki se naučijo:

- da leče zbirajo ali razpršijo žarke,
- da je oko optični aparat sestavljen iz leč in zaslonke,
- da je nekatere bolezni oči mogoče koregirati s primernimi lečami pred očesom.

## Oprema

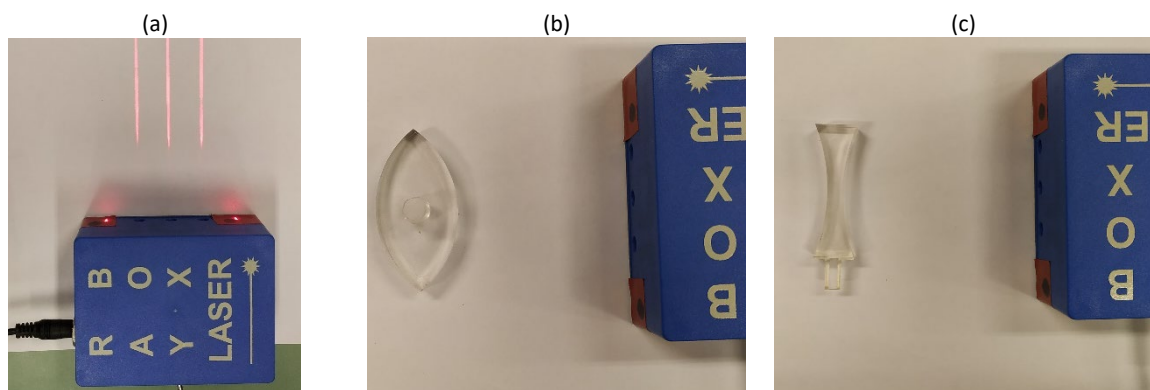
Za izvedbo aktivnosti bodo dijaki potrebovali:

- laserski kazalnik in dve ploščati leči (zbiralna in razpršilna),
- model očesa (npr. škatlo z okroglo odprtino),
- dve zbiralni leči, ki predstavljata očesno lečo,
- zaslon, ki predstavlja mrežnico,
- diafragma ali zaslon z luknjo majhnega premera,
- dve zbiralni in dve razpršilni leči,
- predmet (npr. žarnica).

## Aktivnost 1

### Priprava poskusa

Za aktivnost potrebujete vir svetlobnih žarkov (npr. Ray Box z vzporednimi laserskimi žarki), konveksno in konkavno lečo. Izbrano lečo položite na ravno svetlo podlago, prižgite svetlobni vir, ki ga usmerite v stransko ploskev leče. Slika 1 prikazuje postavitev poskusa.



Slika 1: Fotografije (a) vira svetlobe, (b) konveksne in (c) konkavne ploščate leče.

### Opazovalni poskus

Z laserskim kazalnikom izvedite različne poti širjenja žarkov svetlobe (vzporedno z optično osjo, pod kotom, blizu in daleč glede na optično os, sekanje vzporednih žarkov za lečo, ...). Opazujte, kaj se dogaja

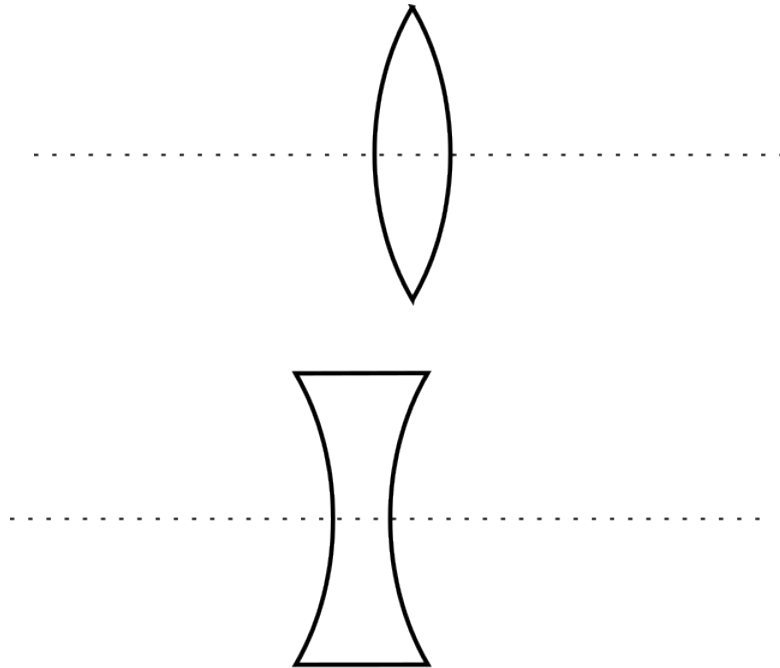
z žarkom pred vstopom v lečo, v leči in ko žarek izstopi iz leče. Pomagajte si s premikanjem vira svetlobe in opazujte žarke na podlagi.

#### Vprašanja:

- Ena izmed leč se imenuje zbiralna in ena razpršilna. Ugotovite katera leča je katera. Kaj je značilno za določeno vrsto leč?*
- Vsi žarki vzporedni z optično osjo se zberejo v eni točki, ki jo imenujemo gorišče. Razdalja med goriščem in sredino leče je goriščna razdalja  $f$ . Ugotovite kolikšni sta goriščni razdalji leč?*
- Namesto goriščne razdalje se lahko kot mera optične moči leč uporablja tudi dioptrija, ki je definirana kot  $D = 1/f$ , kjer je  $f$  v enotah [m]. Kolikšni sta dioptriji uporabljenih leč?*

#### **Napoved**

Na podlagi naučenega napovejte, kaj se zgodi s svetlobnim žarkom, ko doseže lečo. Narišite pot žarka v primeru spodnjih leč in razložite, kaj se z žarkom na poti dogaja. Napovejte različne možnosti širjenja žarkov (vzporedno z optično osjo, pod kotom, blizu in daleč glede na optično os, sekanje vzporednih žarkov za lečo, ...). Črtkana črta predstavlja optično os leče. Optična os poteka skozi središče leče in lečo razpolovi na dva simetrična dela.



## **Aktivnost 2**

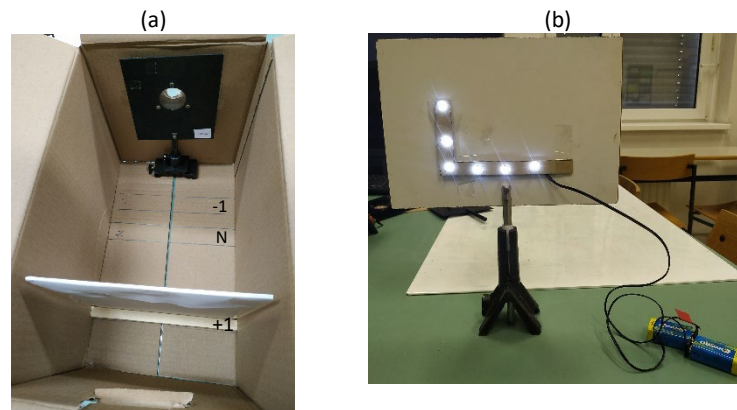
### **Uvodna dejavnost**

Če poznate zgradbo očesa, napovejte kako deluje oko (v pomoč je lahko skica sestave očesa na koncu navodil). Narišite skico glavnih sestavnih delov in razložite njihovo vlogo. V skico dodajte predmet, ki ga oko opazuje in narišite potek svetlobnih žarkov.

### **Priprava poskusa**

Za izvedbo poskusa potrebujete model očesa (kartonasto škatlo z odprtino in označenimi mesti, kjer bo nastala slika), ki ga sestavljajo očesna leča (goriščna razdalja 10 cm oz. dioptrija +10D) in mrežnica (zaslon). Mrežnica je del očesa, na katerem nastane slika in vsebuje na svetlobo občutljive celice oz. čutnice (čepnice in paličnice). Poleg tega potrebujete še razsežni predmet, ki ga oko opazuje (LED svetilo). Slika 2 prikazuje shemo modela očesa.

V modelu na mesto očesne leče postavite izbrano zbiralno lečo. Mrežnico, postavite na mesto v modelu, ki je označeno z N in predstavlja lego mrežnice v zdravem očesu. Pred oko pa postavite predmet.



Slika 2: (a) Model očesa je kartonska škatla v katero vstavimo zbiralno lečo in zaslon. Na dnu škatle so označena tri mesta, kamor bomo tekom poskusa postavili zaslon. (b) Predmet so LED svetila.

### Opazovalni poskus

Predmet postavite na optično os sistema (simetrijska os modela). Predmet vzdolž osi premikajte toliko časa, da na mrežnici nastane ostra slika. Izmerite razdaljo med predmetom in vstopno odprtino očesa (t.j. zenico) ter to razdaljo zabeležite. Zamenjajte očesno lečo z drugo zbiralno lečo (goriščna razdalja 5 cm oz. dioptrija +20D), ki ima večjo dioptrijo. Oglejte si sliko predmeta na mrežnici v tem primeru. Predmet sedaj premaknite, tako da na mrežnici ponovno dobite izostreno sliko in izmerite razdaljo med predmetom in zenico.

#### Vprašanja:

- Kakšna mora biti dioptrija očesne leče, če opazujemo bližnje in kakšna če opazujemo oddaljene predmete?*
- Ali je mogoče na podlagi izmerjene razdalje med predmetom in zenico ter razdalje med zenico in mrežnico izračunati dioptrijo očesa? Če je, izračunajte dioptriji v primeru prve in druge očesne leče. Se izračunani dioptriji ujemata z nazivnimi dioptrijami leč?*
- Spreminjanje dioptrije leče se dogaja tudi v očesu in sicer tako, da očesne mišice očesno lečo raztegnejo ali sprostijo. Ker je leča elastična, se njena oblika spremeni, tako da ima večjo ali manjšo površinsko krivino. Proces imenujemo adaptacija. Pojasnite, zakaj je pomembno, da ima očesna leča možnost adaptacije.*

Sedaj napravite še poskus adaptacije z vašim očesom. Poiščite najkrajšo razdaljo, na kateri še jasno vidite izbrani predmet (npr. konico svinčnika). Poskus lahko opravite vsi člani skupine in potem rezultate med seboj primerjate.

#### Vprašanja:

- Če je povprečna dolžina človeškega zrkla 23 mm, ali lahko na podlagi rezultatov poskusa določite dioptrijo vašega očesa v primeru opazovanja predmeta na najkrajši razdalji?*
- Kolikšna pa je dioptrija vašega očesa, če opazujemo zelo oddaljene predmete?*
- S starostjo človeka se prožnost očesne leče in s tem njena največja ukrivljenost zmanjša. Opazite razlike v dioptrijah oči v vaši skupini? Razmislite, kako to vpliva na sposobnost opazovanja bližnjih in oddaljenih predmetov.*

## Aktivnost 3

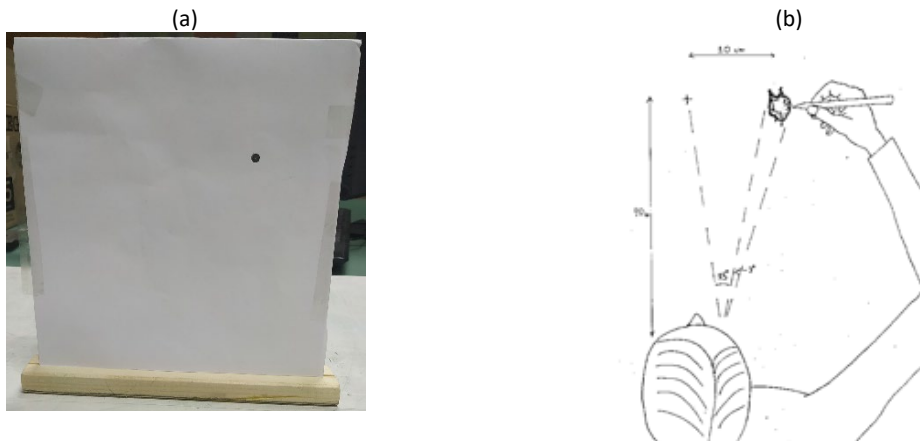
### Priprava poskusa

Model očesa naj bo v začetni postavitvi, to je z zbiralno lečo nizke dioptrije kot očesno lečo in predmetom na geometrijski osi na mestu, da je na mrežnici slika ostra. Oglejte si mrežnico. Na njej se nahaja črno pobarvan krog, ki predstavlja slepo pego oz. mesto, kjer iz očesa izhajajo živci in nimajo čutnic. Slika prikazuje to točko na našem zaslonu.

### Opazovalni poskus

Predmet premikajte prečno glede na geometrijsko os tako daleč, da na področju slepe pege nastane ostra slika predmeta (izberite si eno LED, ki jo opazujete). Na skici si zabeležite lokacijo predmeta (izbrane LED) glede na lečo in slepo pego ter v skico vrišite potek žarkov. Mesto slepe pege na zaslonu prikazuje Slika 3a.

V naslednjem koraku naredite poskus še z vašim očesom. Vzemite list belega papirja in na robu narišite križec. Zatisnite eno oko (npr. levo) in drugo oko fiksirajte na križec. S pisalom (npr. svinčnik) drsite po papirju in označite področja, kjer konice pisala ne vidite. Slika 3b prikazuje opisan postopek določanja slepe pege človeškega očesa.



Slika 3: (a) Slika zaslona s črno piko, ki predstavlja slepo pego. (b) Slika postopka ugotavljanja mesta slepe pege v očesu. (Vir: <http://nivea.psychology.univ-paris5.fr/FeelingSupplements/BlindSpotFillingInExperiments.htm>)

### Vprašanja:

- Kaj se zgodi s sliko predmeta, ki pade na področje slepe pege?
- Pojasni kako potujejo žarki s predmeta, da slika nastane na področju slepe pege.

## Aktivnost 4

### Priprava poskusa

Model očesa naj bo v začetni postavitvi, to je z zbiralno lečo nizke dioptrije kot očesno lečo. Predmet ponovno postavite na mesto na geometrijski osi, tako da v centru mrežnice nastane ostra slika predmeta. Za izvedbo te aktivnosti imate na razpolago zbirko korekcijskih zbiralnih in razpršilnih leč (–23,5 cm/–4,3D [velika], –42,5 cm/ –2,4D [srednja], 21 cm/+4,8D) in diafragmo, ki ji lahko spreminjate premer. Namesto diafragme bi lahko uporabili tudi zaslone z okroglimi odprtini različnih premerov.

### Opazovalni poskus

Mrežnico prestavite na mesto +1, tako da se dolžina očesa podaljša. Opazujte sliko, ki nastane na mrežnici. Raziščite, če lahko z uporabo pripomočkov, kvaliteto slike izboljšate.

Ponovite poskus še na prostovoljcu. Če imate v skupini člana, ki ima očala, naj očala odstrani. Prostovoljec naj poskusi prebrati besedilo navodil na razdalji, ko vidi navodila neostro. Ugotovi naj, kako lahko ostrino vida izboljša, ne da bi uporabil očala.

#### Vprašanja:

- a) *Kako se slika v primeru mrežnice na mestu +1 razlikuje od slike na mestu N, ko ne uporabite nobenih dodatnih pripomočkov? Pojasnite, kaj je razlog?*
- b) *Kako se slika spreminja, ko zmanjšujete premer odprtine diafragme? Skicirajte, kako potekajo žarki po modelu očesa v primeru različnih premerov odprtine. Na podlagi ugotovitev napovejte, zakaj ljudje s slabšim vidom pripravijo oči ali povečajo svetlost v prostoru, da izboljšajo vid.*
- c) *Pojasnite, zakaj se v primeru mrežnice na mestu +1 po uporabi korekcijske leče slika izboljša. Skicirajte potek žarkov skozi korekcijsko lečo in oko ter pojasnite zakaj je za korekcijo potreben izbrani tip leče (zbiralna ali razpršilna).*

Ponovno postavite model očesa in predmet v začetno postavitev, kot pri Aktivnosti 2. Mrežnico prestavite na mesto -1, tako da se dolžina očesa skrajša. Opazujte sliko in ugotovite, če lahko kvaliteto slike na mrežnici kako izboljšate.

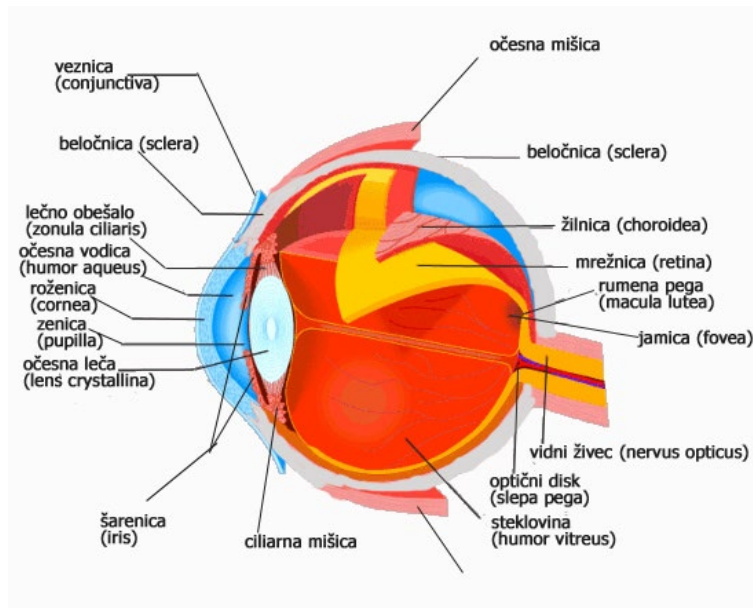
#### Vprašanja:

- a) *Pojasnite, če se v primeru mrežnice na mestu -1 po uporabi korekcijske leče slika izboljša. Skicirajte potek žarkov skozi korekcijsko lečo in oko ter pojasnite zakaj je za korekcijo potreben izbrani tip leče (zbiralna ali razpršilna).*
- b) *V enem izmed primerov je bila mrežnica bližje zenici, kar ustreza prekratnemu zrklu, v drugem primeru pa je bila dlje, kar ustreza predolgemu zrklu. V primeru motenj vida govorimo o daljnovidnosti in kratkovidnosti. Daljnovidnost pomeni, da ljudje ostro vidijo oddaljene predmete, bližnjih pa ne. Kratkovidnost pa obratno, da ljudje ostro vidijo bližnje predmete, oddaljenih pa ne. S pomočjo rezultatov poskusa napovejte, kdaj je človek daljnoviden in kdaj kratkoviden. Katere korekcijske leče so potrebne za korekcijo posamezne motnje vida?*
- c) *V primeru zamegljene očesne leče (katarakta), danes lečo odstranijo in zamenjajo z umetno lečo, ki jo vstavijo na isto mesto. V preteklosti leč iz primernih materialov še ni bilo, zato so bolnikom lečo samo odstranili. Razmislite, če so po odstranitvi očesne leče bolniki lahko jasno videli predmete? Če so, na kak način?*

### **Za konec...**

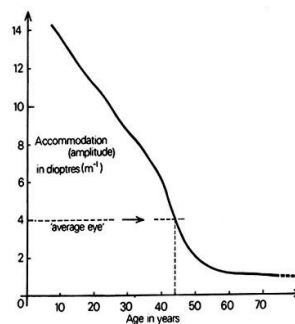
Slika spodaj prikazuje sestavo oz. anatomijo očesa bolj podrobno. Ugotovite, katere dele očesa smo vključili v naš model in katerih ne. Oko je precej bolj kompleksno kot je naš model očesa in vsaka struktura služi določenemu namenu.

Naš model ima dve glavni pomanjkljivosti: nima roženice, ki pri pravem očesu doda največ k dioptriji očesa in notranjost ni izpolnjena s steklovino, katere lomni količnik je podobnem lomnemu količniku vode. Napovejte, kako ti dve pomanjkljivosti vplivata na rezultate, ki smo jih dobili z našim modelom? Bi se dalo naš model kako izboljšati, da bi bil še bolj podoben pravemu očesu?



Slika 4: Shematski prikaz anatomije očesa. (Vir: <https://ordinacija-brecelj.si/o-ocelj/>)

Največja dioptrija zdravega človeškega očesa je okoli +40D, kar pomeni, da lahko jasno vidimo predmet, ki se nahaja na razdalji 2,5 cm od očesa. Dioptrija očesa otrok se lahko spremeni v povprečju 20D, do starosti 25 let pa ta fleksibilnost pade na 10D. Po 45 letu pa fleksibilnost leče pade le na nekaj dioptrij. Razlog so slabitev očesnih mišic in prožnosti leče. Slika 5 prikazuje, kako se sposobnost adaptacije s starostjo zmanjšuje.



Slika 5: Spreminjanje zmožnosti adaptacije človeškega očesa s starostjo človeka. (VIR: <https://spark.iop.org/range-accommodation-eye>)

# Odgovori

## Aktivnost 1

a) Se vaše začetno predvidevanje širjenja svetlobnega žarka ujema s tem, kar ste ugotovili s poskusom? Če se ne, razmislite, kje je napaka v vašem začetnem razmisleku.

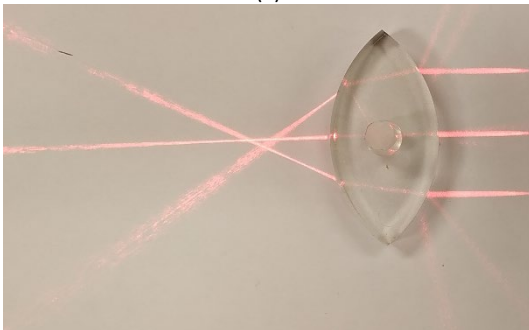
/

b) Ena izmed leč se imenuje zbiralna in ena razpršilna. Ugotovite katera leča je katera. Kaj je značilno za določeno vrsto leč?

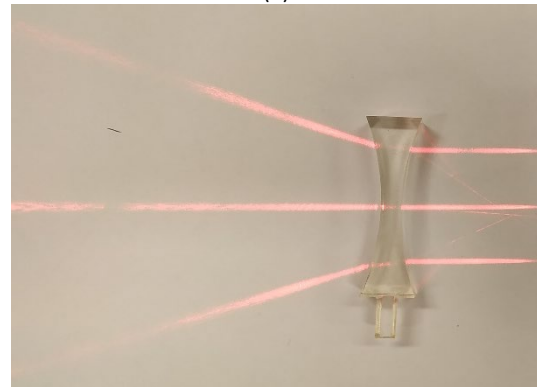
Zbiralna leča je leča, ki ima izbočene površine. Zanj je značilno, da snop vzporednih žarkov zbere v točki, ki se imenuje gorišče. Razpršilna leča, je konkavna leča, ki ima vbočene površine. Zanj je značilno, da snop vzporednih žarkov razprši, tako da se virtualni žarki (podaljški žarkov) zberejo v točki, ki jo imenujemo gorišče.

c) Vsi žarki vzporedni z optično osjo se zberejo v eni točki, ki jo imenujemo gorišče. Razdalja med goriščem in sredino leče je goriščna razdalja  $f$ . Ugotovite kolikšni sta goriščni razdalji leč?

(a)



(b)



Slika prikazuje lom žarkov na lečah. Goriščno razdaljo v primeru zbiralne leče (a) se izmeri kot razdaljo med sredino leče in mestom, kjer se žarki sekajo ( $f = 3,5$  cm). Gorišče v primeru razpršilne leče (b) se izmeri, kot razdalja med sredino leče in mestom, kjer se žarki na levi strani leče, podaljšani na desno stran leče sekajo ( $f = -4,5$  cm).

d) Namesto goriščne razdalje se lahko uporablja tudi dioptrija, ki je definirana kot  $D = 1/f$ , kjer je  $f$  v enotah [m]. Kolikšni sta dioptriji uporabljenih leč?

Dioptrija zbiralne leče je +28,6D in razpršilne -22,2D.

## Aktivnost 2

a) Kakšna mora biti dioptrija očesne leče, če opazujemo bližnje in kakšna če opazujemo oddaljene predmete?

Če opazujemo bližnje predmete, mora biti očesna leča bolj ukrivljena in zato je dioptrija večja. Če opazujemo oddaljene predmete je ukrivljenost leče manjša in s tem tudi dioptrija očesa.

b) Ali je mogoče na podlagi izmerjene razdalje med predmetom in zenico ter razdalje med zenico in mrežnico izračunati dioptrijo očesa? Če je, izračunajte dioptriji v primeru prve in druge očesne leče. Se izračunani dioptriji ujemata z nazivnimi dioptrijami leč?

Je mogoče z uporabo enačbe leče:  $1/a + 1/b = 1/f$ .

c) Spreminjanje dioptrije leče se dogaja tudi v očesu in sicer tako, da očesne mišice očesno lečo raztegnejo ali sprostijo. Ker je leča elastična, se njena oblika spremeni, tako da ima večjo ali manjšo površinsko krivino. Proces imenujemo adaptacija. Pojasnite, zakaj je pomembno, da ima očesna leča možnost adaptacije.

Zato, da lahko jasno vidimo bližnje in oddaljene predmete.

- a) *Če je povprečna dolžina človeškega zrkla 23 mm, ali lahko na podlagi rezultatov poskusa določite dioptrijo vašega očesa v primeru opazovanja predmeta na najkrajši razdalji?*  
Lahko, z uporabo enačbe leče:  $1/a + 1/b = 1/f$ .
- b) *Kolikšna pa je dioptrija vašega očesa, če opazujemo zelo oddaljene predmete?*  
Goriščna razdalja očesa mora biti enaka dolžini očesa, saj na mrežnici na koncu očesa nastane slika. Če upoštevamo, da je dolžina zrkla 23 mm, kar ustreza goriščni razdalji očesa, mora biti dioptrija v tem primeru +43,5D.
- c) *S starostjo človeka se prožnost očesne leče in s tem njena največja ukrivljenost zmanjša. Opazite razlike v dioptrijah oči v vaši skupini? Razmislite, kako to vpliva na sposobnost opazovanja bližnjih in oddaljenih predmetov.*  
S starostjo je leča čedalje manj prožna in ne more več dosegati velikih dioptrij. To pomeni, da oko bližnjih predmetov ne vidi več jasno.

### Aktivnost 3

- a) *Kaj se zgodi s sliko predmeta, ki pade na področje slepe pege?*  
Ker tam ni čutnic, slike ne vidimo.
- b) *Pojasni kako potujejo žarki s predmeta, da slika nastane na področju slepe pege.*  
Predmet je potrebno premakniti prečno na optično os očesa, da žarki vpadajo v oko pod kotom glede na os. Slika zato nastane pod kotom glede na optično os.

### Aktivnost 4

- a) *Kako se slika v primeru mrežnice na mestu +1 razlikuje od slike na mestu N? Pojasnite, kaj je razlog?*  
Slika je neostra. Mrežnica je dlje od slikovne ravnine, kjer se žarki sekajo in nastane ostra slika. Ker se žarki za slikovno ravnino začno razhajati, je slika neostra.
- b) *Kako se slika spreminja, ko zmanjšujete premer odprtine diafragme? Pojasnite, zakaj pride do opazovanih sprememb? Na podlagi teh spoznanj pojasnite, zakaj ljudje s slabšim vidom priprejo oči ali povečajo svetlost v prostoru, da izboljšajo vid.*  
S zmanjševanjem odprtine diafragme postaja slika ostrejša, hkrati pa se ji zmanjša intenziteta. Do teh sprememb pride, ker manjša odprtina prepreči vstop žarkom, ki iz predmeta izhajajo pod velikim kotom. Ti se tudi najhitreje oddaljujejo od centralnih žarkov, ko se oddaljujejo od slikovne ravnine. Če je svetlost večja, se zmanjša premer zenice in s tem odprtina. Enako velja, če pripravimo oči. Zato se v oči spusti žarke, ki so bližje optični osi in imajo manjši kot divergence ter zato nastane ostrejša slika.
- c) *Pojasnite, zakaj se v primeru mrežnice na mestu +1 po uporabi korekcijske leče slika izboljša. Skicirajte potek žarkov skozi korekcijsko lečo in oko ter pojasnite zakaj je za korekcijo potreben izbrani tip leče (zbiralna ali razpršilna).*  
Razpršilna korekcijska leča podaljša pot žarkov do slikovne ravnine. Zato se ti zberejo na slikovni ravnini, ki se premakne dlje po očesu in s tem na mrežnici, ki je v tem primeru bolj oddaljena od očesne leče.
- a) *Pojasnite, zakaj se v primeru mrežnice na mestu -1 po uporabi korekcijske leče slika izboljša. Skicirajte potek žarkov skozi korekcijsko lečo in oko ter pojasnite zakaj je za korekcijo potreben izbrani tip leče (zbiralna ali razpršilna).*  
Žarki se v primeru zberejo mrežnice na mestu -1 zberejo za mrežnico. Zbiralna korekcijska leča povzroči, da se žarki bolj lomijo in se zberejo že prej, to je na bližji mrežnici.
- b) *V enem izmed primerov je bila mrežnica bližje zenici, kar ustreza prekratnemu zrklu, v drugem primeru pa je bila dlje, kar ustreza predolgemu zrklu. V primeru motenj vida govorimo o*



*daljnovidnosti in kratkovidnosti. S pomočjo rezultatov poskusa ugotovite, kdaj je človek daljnoviden in kdaj kratkoviden. Katere korekcijske leče so potrebne za korekcijo posamezne motnje vida?*

Človek je kratkoviden, ko je zrklo predolgo in daljnoviden, ko je zrklo prekratko.

- c) *V primeru zamegljene očesne leče (katarakta), danes lečo odstranijo in zamenjajo z umetno lečo, ki jo vstavijo na isto mesto. V preteklosti leč iz primernih materialov še ni bilo, zato so bolnikom lečo samo odstranili. Razmislite, če so po odstranitvi očesne leče bolniki lahko jasno videli predmete? Če so, na kak način?*

So, samo potrebovali so očala z veliko pozitivno dioptrijo.