

6 Mikroskop

Pri tej vaji bomo spoznali uporabo leč, sestavili preprost mikroskop, določili njegovo povečavo in ločljivost ter se naučili, kako pravilno nastaviti osvetlitev.

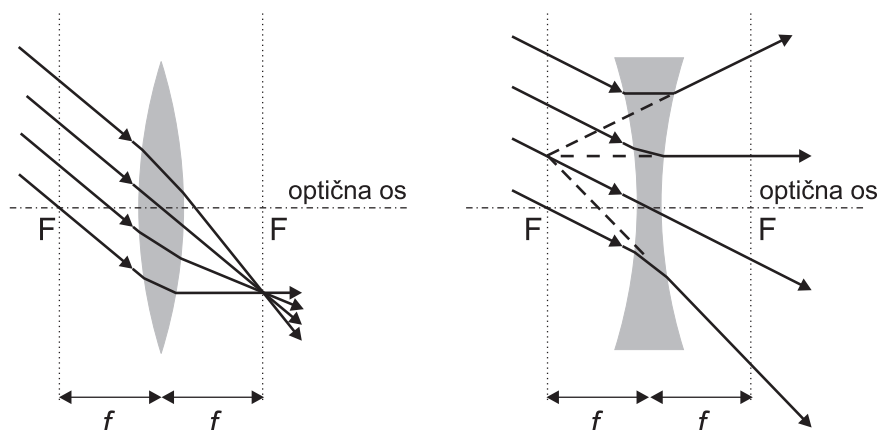
Mikroskop in druge optične instrumente srečamo v medicini na vsakem koraku. Osnovni elementi vseh optičnih naprav so leče, zato je za njihovo pravilno uporabo ključno, da delovanje leč dobro razumemo.

6.1 Leče

Leče so izdelane iz stekla ali drugih prozornih materialov, ki imajo drugačen lomni količnik od okolice, in zato preusmerjajo svetlobne žarke. Ponavadi so leče osno simetrične in omejene s krogelnimi ploskvami. V našem opisu se bomo omejili na tanke leče, katerih debelina je majhna tako v primerjavi s krivinskima radijema površin leče, kot tudi z razdaljama do predmeta in do slike. Simetrijsko os leče imenujemo tudi *optična os*. Poznamo dva glavna tipa leč: a) zbiralne leče, ki vzporedne žarke zberejo v točko in so konveksne oblike in b) razpršilne leče, ki žarke razpršijo in so konkavne oblike. Ravnino, v kateri se pri zbiralni leči vzporedni žarki zberejo v točko, imenujemo *goriščna ravnina* (slika 6.1 levo). Razpršilna leča razprši snop vzporednih žarkov tako, kot da bi izhajali iz točke v goriščni ravnini pred lečo (slika 6.1 desno). Točko, v kateri optična os prebode goriščno ravnino, imenujemo *gorišče* in jo označimo z F , razdaljo med goriščem in lečo pa imenujemo *goriščna razdalja* leče in jo označimo z f . Po dogovoru ima zbiralna leča pozitivno, razpršilna pa negativno goriščno razdaljo. Goriščna razdalja leče je odvisna od lomnega količnika snovi, iz katere je leča, lomnega količnika okolice in obeh krivinskih radijev leče. Če je lomni količnik snovi na obeh straneh leče enak, sta enaki tudi goriščni razdalji na obeh straneh leče in je vseeno, kako je leča pri preslikavi obrnjena. Recipročno vrednost goriščne razdalje imenujemo *lomnost leče*. Enota za lomnost je *dioptrija* D ; velja $1 D = 1 \text{ m}^{-1}$.

Osnovna lastnost leče je, da predmet preslika v sliko. Če se vsi žarki, ki izvirajo iz ene točke predmeta, na drugi strani leče spet združijo v eni točki, nastane *realna slika*. Tako sliko lahko vidimo na zaslonu ali jo preslikamo naprej enako kot predmete. Če pa se žarki, ki izhajajo iz ene točke predmeta, za lečo razpršijo, kot da bi izhajali iz ene točke pred lečo (v tej točki se sekajo podaljški preslikanih žarkov), imenujemo presečišče podaljškov žarkov *navidezna (imaginarna) slika*. Navidezne slike ne moremo ujeti na zaslon. Iz nje nastane realna slika le, če razpršene žarke ponovno združimo z zbiralno lečo – na primer z očesom, pri katerem očesna leča razpršene žarke spet zbere v realno sliko na mrežnici. Navidezno sliko lahko slikamo tudi s fotoaparatom, saj v tem primeru razpršene žarke ponovno zbere fotoaparatorov objektiv.

Velikost in lego slike lahko določimo z grafično konstrukcijo, pri kateri je dovolj, da preslikavo upodobimo s tremi značilnimi žarki, ki izhajajo z vrha predmeta. Pot treh značilnih žarkov pri zbiralni leči je prikazana na sliki 6.2 A, pri razpršilni pa na sliki 6.2 B. Značilni žarki pri leči so:



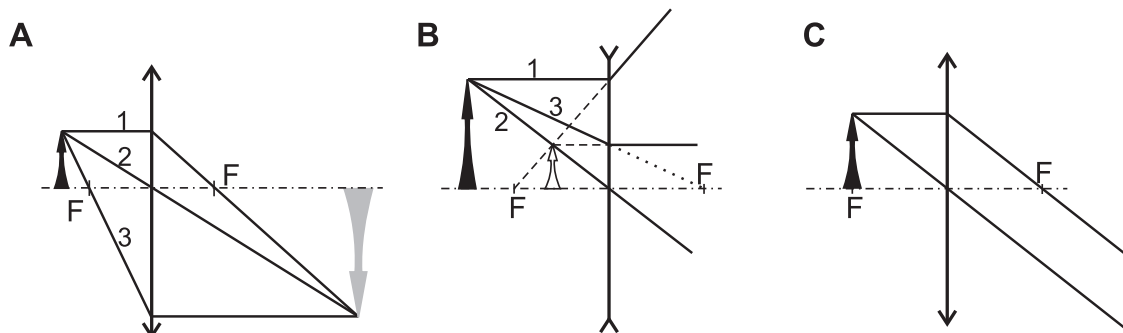
Slika 6.1: Shematični prikaz preslikave vzporednega snopa žarkov z zbiralno lečo (levo) in razpršilno lečo (desno). Žarki se lomijo na prehodih v in iz leče. V obeh primerih sta s pikčastima črtama označeni goriščni ravnini leč. Z F so označena gorišča, z f pa goriščne razdalje.

1. vzporedni žarek (vzporeden je optični osi), ki ga zbiralna leča lomi tako, da gre na drugi strani skozi gorišče,
2. središčni žarek, ki gre skozi središče leče in se mu pri prehodu skozi njo smer ne spremeni, in
3. goriščni žarek gre skozi gorišče in je po prehodu skozi lečo vzporeden optični osi.

Kjer se vsi trije žarki sekajo, nastane realna slika. Pri razpršilni leči je vloga gorišč zamenjana (goriščna razdalja je tu negativna), zato je pot značilnih žarkov pri razpršilni leči nekoliko drugačna in je slika predmeta navidezna (slika 6.2 B).

Lega, velikost in vrsta slike so odvisne od goriščne razdalje leče in od lege predmeta pred njo. Če slika nastane na drugi strani leče, kot je predmet, je realna in obrnjena, če pa je slika na isti strani kot predmet, je vedno navidezna in pokončna. Pri preslikavah predmeta z razpršilno lečo je slika vedno navidezna, pokončna in pomanjšana. Pri preslikavah z zbiralno lečo je vrsta slike odvisna od lege predmeta. Realna slika nastane v primeru, ko je razdalja med predmetom in lečo večja od goriščne razdalje, pri čemer je slika večja od predmeta le, če predmet od leče ni oddaljen za več kot dve goriščni razdalji. Če predmet leži med goriščem in lečo, je tudi pri zbiralni leči slika navidezna, pokončna in povečana. Če pa je predmet postavljen ravno v goriščno ravnino zbiralne leče, so žarki na drugi strani leče vzporedni in se sploh ne sekajo (slika 6.2 C). V tem primeru pravimo, da slika nastane v neskončnosti. Velja namreč, da so žarki z zelo oddaljenih predmetov praktično vzporedni.

Velikost predmeta ponavadi označimo z A , velikost slike z B , oddaljenost predmeta od leče z a , oddaljenost slike od leče z b , z e pa označimo razdaljo od gorišča do slike, velja $e = b - f$ (slika 6.3). Povečava preslikave N je definirana z razmerjem med velikostjo slike



Slika 6.2: Pot značilnih žarkov s predmeta (predmet je označen s črno puščico) pri (A) zbiralni in (B) razpršilni leči. V prvem primeru nastane realna slika (označena s sivo barvo), v drugem pa navidezna (označena z belo barvo). Slika (C) prikazuje pot žarkov, ko je predmet v gorišču zbiralne leče. Preslikani žarki so v tem primeru vzporedni in pravimo, da slika nastane v neskončnosti.

in velikostjo predmeta:

$$N = \frac{B}{A} . \quad (6.1)$$

Povečavo preslikave lahko izrazimo tudi drugače, pri čemer si pomagamo z dvema paroma podobnih trikotnikov, ki jih tvorijo značilni žarki preslikave in ki sta na sliki 6.3 označena z različnim senčenjem. Iz razmerja istoležnih stranic v dveh parih podobnih trikotnikov razberemo, da veljajo razmerja $A : B = a : b$ in $A : B = f : e$, zato lahko povečavo preslikave zapišemo tudi kot

$$N = \frac{b}{a} = \frac{e}{f} . \quad (6.2)$$

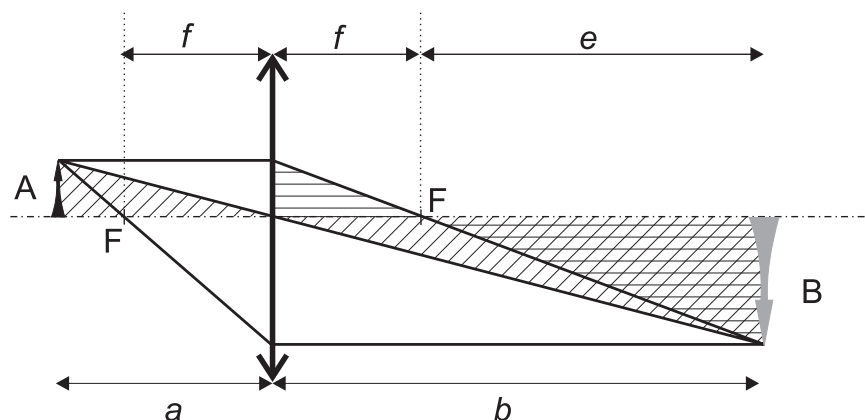
Za tanke leče velja, da so oddaljenost predmeta od leče a , oddaljenost slike od leče b ter goriščna razdalja leče f med seboj povezane z *enačbo leče*

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} , \quad (6.3)$$

ki jo lahko prav tako izpeljemo iz razmerja stranic podobnih trikotnikov. Enačba leče velja tako za zbiralne kot tudi za razpršilne leče, upoštevati moramo le, da je goriščna razdalja razpršilnih leč negativna. Po dogovoru ima a vedno pozitiven predznak, b pa ima pozitiven predznak, če je slika na drugi strani leče kot predmet in negativnega, če je na isti strani.

6.2 Lupa

Navidezna velikost predmetov, ki jih opazujemo z očesom, je odvisna od zornega kota θ , pod katerim predmet vidimo. Da bi majhne predmete bolje videli, si jih približamo in s tem povečamo zorni kot (slika 6.4). Vendar pa ima tak način "povečevanja" svojo mejo, saj z očesom predmetov, ki so preblizu, ne moremo več dobro izostriti. Za še močnejše



Slika 6.3: Preslikava predmeta z zbiralno lečo. Enačbo tanke leče lahko izpeljemo s pomočjo dveh parov podobnih trikotnikov. Na sliki je en par trikotnikov označen z vodoravnim, drugi pa s poševnim senčenjem.

povečevanje pa lahko pomaga lupa. Lupa je optična naprava, sestavljena iz zbiralne leče z majhno goriščno razdaljo, ki jo uporabimo tako, da opazovani predmet postavimo v njeno gorišče (lahko tudi med gorišče in lečo). Žarki se pri tem na lupi lomijo tako, da predmet vidimo pod večjim zornim kotom in se nam predmet zato zdi povečan (slika 6.4). Poleg tega so žarki za lupo vzporedni (slika 6.2 C), zaradi česar se nam zdi opazovani predmet zelo daleč in ni težav s prilagajanjem očesa za gledanje na blizu (oko je najbolj sproščeno pri gledanju na daleč).

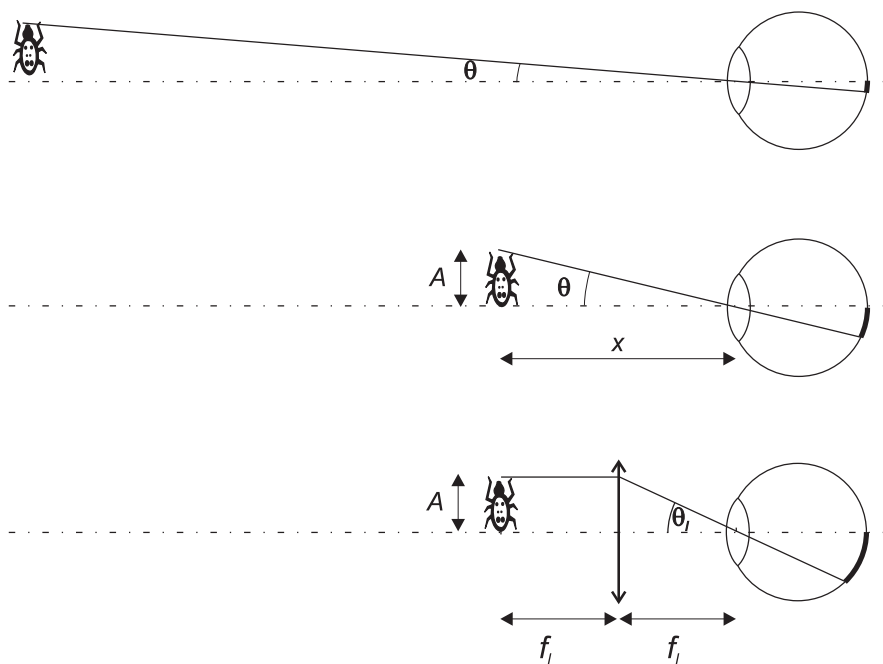
Povečava optičnih inštrumentov je definirana glede na velikost predmeta, ki jo vidimo pri *normalni zorni razdalji* x_0 , katere vrednost je določena na 25 cm. Z enačbo se povečavo definira kot razmerje tangensa zornega kota, pod katerim vidimo predmet skozi optični inštrument, ter tangensa zornega kota, pod katerim vidimo predmet, ki je na normalni zorni razdalji. Iz slike 6.4 vidimo, da je zorni kot na normalni zorni razdalji podan z izrazom $\tan \theta_0 = A/x_0$, zorni kot pri gledanju z lupo pa $\tan \theta_l = A/f_l$, zato lahko povečavo lupe izrazimo kot

$$N_l = \frac{\tan \theta_l}{\tan \theta_0} = \frac{x_0}{f_l}. \quad (6.4)$$

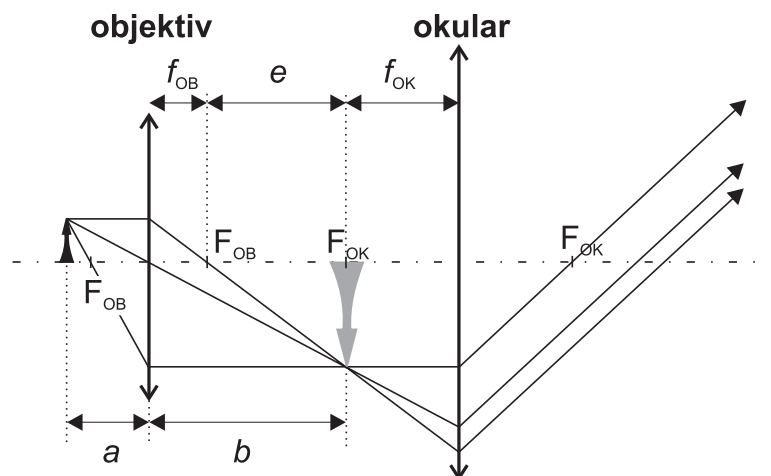
Iz enačbe 6.4 razberemo, da zbiralno lečo lahko uporabimo kot lupo le, če je njena goriščna razdalja manjša od normalne zorne razdalje. Leča z daljšo goriščno razdaljo bi predmet namreč navidezno pomanjšala.

6.3 Mikroskop

Najpreprostejši mikroskop je sestavljen iz dveh zbiralnih leč: objektiv in okularja (slika 6.5). Predmet, ki ga opazujemo, postavimo malo pred goriščno ravnino objektiv, tako da na drugi strani objektiv dobimo realno, obrnjeno in povečano sliko predmeta. To sliko gledamo skozi okular, ki ga uporabimo kot lupo. Pri mikroskopu pride do povečave



Slika 6.4: Velikost predmeta, ki jo vidimo z očesom, je odvisna od zornega kota. Bližje ko je predmet, večji je zorni kot in predmet se nam zdi večji. Z lupo lahko zorni kot še dodatno povečamo. Zorni kot θ je pri gledanju s prostim očesom podan z izrazom $\tan \theta = A/x$, kjer je A velikost predmeta, x pa razdalja med očesom in predmetom. Pri gledanju skozi lupo je zorni kot podan z izrazom $\tan \theta_l = A/f_l$. Ker je pri lupi predmet postavljen v gorišče, so žarki za lupo vzporedni (slika 6.2 C).



Slika 6.5: Pot značilnih žarkov v mikroskopu. *trealala*

dvakrat: najprej predmet poveča objektiv, nato pa povečano sliko povečamo še z okularjem. Povečava mikroskopa je tako enaka produktu povečave objektiva in povečave okularja. Povečava objektiva je podana z enačbo za povečavo preslikave (enačba 6.2), povečava okularja pa z enačbo za povečavo lupe (enačba 6.4), zato je povečava mikroskopa enaka

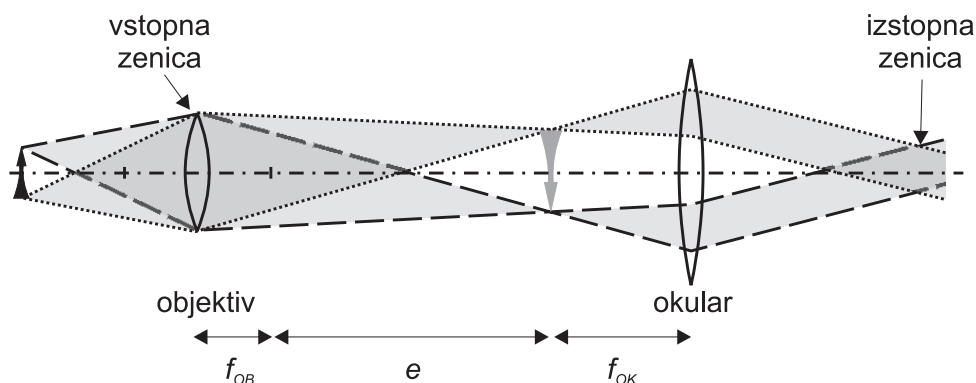
$$N_M = N_{OB} \cdot N_{OK} = \frac{e}{f_{OB}} \frac{x_0}{f_{OK}}. \quad (6.5)$$

Iz slike 6.5 je razvidno, da je e pri mikroskopu enak razdalji med notranjima goriščema objektiva in okularja.

Pri preslikavi z mikroskopom ne sodelujejo vsi žarki, ki prihajajo s predmeta, temveč le tisti, ki vstopajo v objektiv. Skupen presek snopa žarkov, ki sodelujejo pri preslikavi imenujemo *zenica*, oziroma pravimo, da je odprtina objektiva *vstopna zenica*. Na strani okularja je *izstopna zenica*, ki je slika, v katero okular preslika vstopno zenico. Pojem zenice je predstavljen na sliki 6.6, kjer sta narisana skrajna žarka, ki izhajata iz zgornjega roba predmeta (črtkani črti) in skrajna žarka, ki izhajata iz spodnjega roba predmeta (pikčasti črti). Izstopna zenica je na mestu, kjer se za okularjem sekajo skrajni žarki. Največ žarkov s predmeta (in torej največje vidno polje) lahko torej pri gledanju skozi mikroskop vidimo, če oko postavimo v lego izstopne zenice.

Iz enačbe za povečavo mikroskopa bi lahko sklepali, da so dosegljive poljubno velike povečave. Potrebno bi bilo le uporabiti leče z dovolj majhnimi goriščnimi razdaljami. Izkaže pa se, da od določene povečave naprej zaradi uklona žarkov ne moremo več razločevati podrobnosti. Žarki, ki padejo na odprtino končne velikosti, se na robu namreč uklonijo in širijo tudi v geometrijsko senco. Uklon je tem bolj opazen, čim manjša je odprtina in čim večja je valovna dolžina svetlobe.

Zaradi uklona se točka pri preslikavi skozi lečo ne preslika v točko, ampak v nekoliko večjo liso z zamegljenimi robovi. Če sta dve opazovani točki preblizu, se njuni sliki (lisi) zlijeta skupaj, zato ju ne moremo več razločevati. Ločljivost mikroskopa je tako definirana



Slika 6.6: Vstopna in izstopna zenica mikroskopa.

kot najmanjša razdalja med dvema točkama, na kateri lahko v idealnih pogojih točki še razločujemo. Podroben račun pokaže, da je ločljivost mikroskopa d enaka

$$d = \frac{0,61\lambda}{NA} . \quad (6.6)$$

kjer je NA numerična apertura objektiv, λ pa valovna dolžina svetlobe, s katero je osvetljen predmet. Numerična apertura je merilo za količino žarkov, ki jih zbere objektiv, in je definirana kot

$$NA = n \sin \alpha , \quad (6.7)$$

kjer je n lomni količnik snovi med predmetom in objektivom in α kot med optično osjo in veznico med goriščem ter robom objektiv. Lomni količnik zraka je enak 1.

Za doseganje dobre ločljivosti moramo torej uporabiti objektiv s čim večjo numerično aperturo oziroma vzorec opazovati s svetlobo s čim krajšo valovno dolžino. Kot α , in s tem tudi numerična apertura, je tem večji, čim večji je radij leče objektiv in čim manjša je njegova goriščna razdalja. Kadar uporabimo imerzijski objektiv, je med predmetom in objektivom imerzijsko olje, ki ima od zraka večji lomni količnik, $n > 1$. Zaradi tega so lomni koti na poti od predmeta do objektiv manjši in objektiv zbere več uklonjenih žarkov. Efektivno se s tem poveča odprtina objektiv.

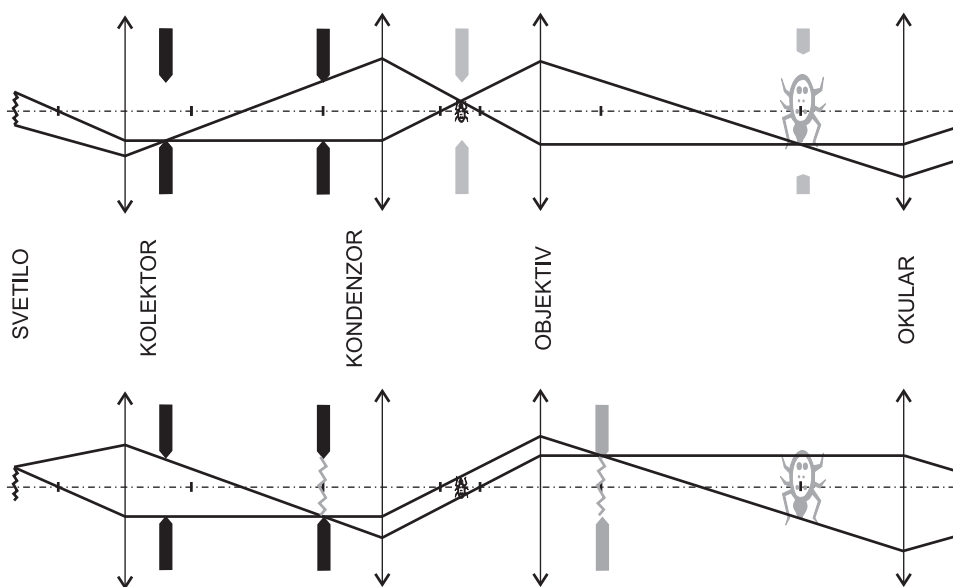
Ločljivosti mikroskopa ne smemo zamenjevati z najmanjšo velikostjo predmeta, ki ga še lahko opazimo, saj lahko opazimo tudi od ločljivosti dosti manjši predmet, če se le dovolj loči od okolice. Podobno kot če ponoči opazujemo približevanje avtomobila. Pri oddaljenemu avtomobilu vidimo le eno luč in šele, ko se dovolj približa, opazimo, da sta dve.

6.4 Nastavitev osvetlitve

Pri mikroskopiranju si želimo čim bolj jasno in kontrastno sliko, na kateri bomo razločili čim več podrobnosti. Pri tem je ključno, da je opazovani predmet enakomerno in ravno prav močno osvetljen. Enakomerno osvetlitev z majhnim, neenakomernim svetilom (npr.

žarnico) nam omogoča t.i. *Köhlerjeva osvetlitev*, ki je ponavadi že vgrajena v mikroskope. Osnovna značilnost Köhlerjeve osvetlitve je, da svetloba z vsake točke svetila enakomerno osvetljuje celoten predmet. Za Köhlerjevo osvetlitev skrbita dve leči z zaslonkama: kolektor in kondenzor. Optične osi kolektorja, kondenzorja, objektiva in okularja se morajo ujemati, na optični osi pa mora biti tudi svetilo. Poti žarkov iz predmeta (imenujemo jih upodabljaajoči žarki) in iz svetila (imenujemo jih osvetlitveni žarki) pri Köhlerjevi osvetlitvi so prikazane na sliki 6.7. Ostra slika opazovanega predmeta nastane na mestih, v katerih se zberejo upodabljaajoči žarki, ostra slika žarnice svetila pa nastane, kjer se sekajo osvetlitveni žarki. Iz slike 6.7 vidimo, da pri Köhlerjevi osvetlitvi ostra slika žarnice s svetila vedno nastane na drugih mestih kot ostra slika opazovanega predmeta.

Leče so pri Köhlerjevi osvetlitvi postavljene tako, da kolektor svetilo preslika v goriščno ravnino kondenzorja. Osvetlitveni žarki, ki izhajajo iz ene točke svetila so tako na drugi strani kondenzorja, kjer je opazovani predmet, vzporedni in porazdeljeni po celem svetlobnem polju. Zato jih pri gledanju skozi mikroskop vidimo kot enakomerno svetlo ozadje. Kolektorska zaslonka je postavljena v ravnino, v kateri se sekajo upodabljaajoči žarki, zato jo vidimo ostro hkrati s predmetom. Z njo določamo kolikšen del predmetne ravnine oz. opazovanega predmeta je osvetljen. Nastavimo jo tako, da je osvetljeno le vidno polje, saj v nasprotnem primeru sipanje svetlobe na področjih izven vidnega polja, ki jih v okularju tako ali tako ne vidimo, sliko le pokvari. Kondenzorska zaslonka je postavljena v ravnino, v kateri se sekajo osvetlitveni žarki, zato lahko z njo uravnavamo jakost osvetlitve.



Slika 6.7: Potek upodabljaajočih (zgoraj) in osvetlitvenih (spodaj) žarkov pri Köhlerjevi osvetlitvi. Realne slike, ki nastanejo pri preslikavah, so narisane s sivo barvo. Iz poteka upodabljaajočih žarkov je razvidno, da se skozi mikroskop skupaj s predmetom vidi ostro tudi kolektorsko zaslonko, katere slika nastane v predmetni ravnini. Povsod, kjer pa se sekajo osvetlitveni žarki, nastane slika svetila oz. kondenzorske zaslonke.

Osvetlitev ponavadi nastavimo po korakih:

1. najprej izostrimo predmet pri približni osvetlitvi,
2. zapremo kolektorsko zaslonko in premikamo kondenzor vzdolž optične osi tako, da hkrati vidimo skozi mikroskop izostren predmet in zaslonko kolektorja
3. kolektorsko zaslonko sedaj odpremo toliko, da se njen rob pokriva z vidnim poljem (da je ravno ne vidimo več)
4. nastavimo svetlobni izvor ali kolektorsko lečo tako, da slika svetila nastane ravno v goriščni ravnini kondenzorja (to je hkrati ravnina, kjer je kondenzorska zaslonka). Pri nastavitvi nam lahko pomaga dejstvo, da je takrat ostra slika svetila tudi v zadnji goriščni ravnini objektivna (slika 6.7).

V nasprotju s kondenzorjem, ki ga v praksi nastavimo po vsaki menjavi objektiv, lahko ponavadi kolektor nastavimo le občasno in ga med vsakdanjim mikroskopiranjem ne premikamo.

- Naloge:**
1. Narišite značilne žarke skozi lečo v naslednjih primerih (priporoča se, da to nalogo naredite že doma):
 - predmet stoji med zbiralno lečo in njenim goriščem
 - predmet je med razpršilno lečo in njenim goriščem.
 2. Določite goriščno razdaljo zbiralne leče, za katero le ta ni podana (t.j. leče objektiv).
 3. Na optični klopi sestavite preprost model mikroskopa (brez Köhlerjeve osvetlitve) in narišite shemo postavitve.
 4. Izmerite in izračunajte povečavo mikroskopa.
 5. Izmerite in izračunajte ločljivost mikroskopa.

Potrebščine: Pri vaji boste uporabljali štiri leče: objektiv, okular, kolektorsko ter kondenzorsko lečo. Poleg njih k optični klopi spadajo tudi: svetilo, dve zaslonki (ena za kolektor, druga za kondenzor), nastavek za predmet ter zaslon. Goriščna razdalja je označena na vseh lečah razen pri objektivu. Vsi optični deli in svetilo morajo biti med izvedbo vaje nastavljeni v isto optično os!

Predmeti, ki jih boste v vaji opazovali so na priloženih diapozitivih. Pri večini nalog boste uporabljali diapozitiv, na katerem so črke F. Diapozitive z mrežo črtic boste potrebovali le pri nalogi 5, kjer boste določali uporabno ločljivost mikroskopa.

Izvedba

- 1) **Naloga 1.** V zvezek narišite poti značilnih žarkov, ki jih zahteva naloga in napišite, ali nastane realna ali navidezna slika. Pri tem si pomagajte z opisom pri sliki 6.2. Goriščna razdalja leče naj bo 3 cm (oz. -3 cm pri razpršilni leči), razdalja med lečo in predmetom 1,5 cm, velikost predmeta pa naj bo 1 cm.
- 2) **Naloga 2.** Pri tej nalogi boste določili goriščno razdaljo leče objektiva. Goriščno razdaljo najprej grobo ocenite tako, da z lečo objektiva preslikate zelo oddaljen predmet na zaslon (na primer: z lečo objektiva preslikate stropno luč na mizo, ali pa okno na nasprotno steno). Ko je slika oddaljenega predmeta na zaslonu ostra, je razdalja med lečo in zaslonom približno enaka goriščni razdalji leče, saj so žarki z zelo oddaljenega predmeta praktično vzporedni in slika pri zbiralni leči nastane v njeni goriščni ravnini.

Natančno goriščno razdaljo leče določite na optični klopi. Nanjo postavite zaporedoma: svetlobni izvor, nastavek s predmetom na katerem so črke F, objektiv ter zaslon. Predmet postavite na označeno mesto, svetilo postavite čim bližje predmetu, zaslon pa naj bo od predmeta oddaljen med 25 in 40 cm. Svetilo nastavite na največjo dovoljeno moč (jakost osvetlitve nastavljate z izbiro napajalne napetosti). S premikanjem objektiva po optični klopi poiščite tisto lego, pri kateri nastane na zaslonu ostra slika predmeta. Ali je slika predmeta zares obrnjena na glavo in levo-desno? Izmerite oddaljenost predmeta od leče (a) in oddaljenost slike od leče (b) ter po enačbi 6.3 izračunajte goriščno razdaljo. Meritev opravite pri treh različnih oddaljenostih med predmetom in zaslonom. Za vsako meritev posebej izračunajte goriščno razdaljo ter kot rezultat navedite povprečno vrednost vseh treh meritev.

- 3) **Naloga 3.** Pri tej nalogi boste na optični klopi postavili enostavni model mikroskopa. Pri postavitvi si pomagajte s sliko 6.5, na kateri je prikazana pot značilnih žarkov skozi mikroskop. Iz nje je razvidno, da je pri mikroskopu razdalja med objektivom in okularjem enaka $b + f_{OK}$, kjer je b razdalja med objektivom in sliko predmeta, ki jo preslika objektiv, f_{OK} pa je goriščna razdalja okularja. Z drugimi besedami, gorišče okularja sovpada s sliko predmeta, ki jo preslika objektiv.

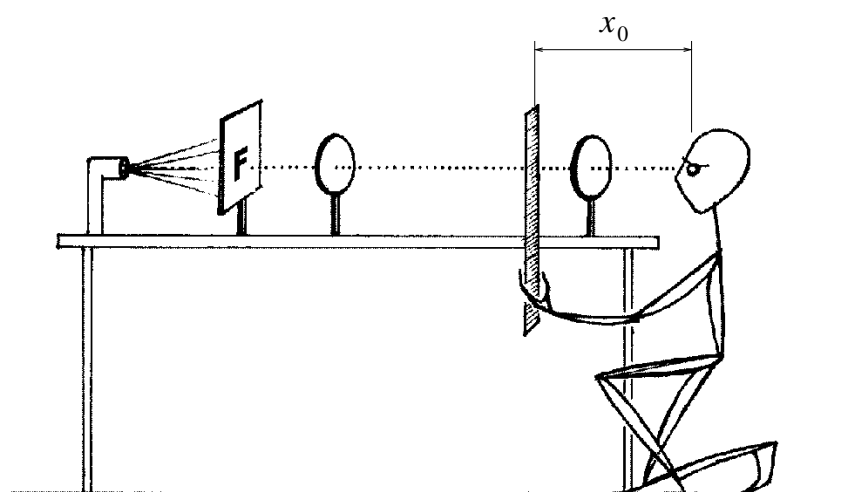
Na optično klop postavite zaporedoma svetilo, predmet, objektiv. Predmet naj bo na označenem mestu, razdalja med predmetom in objektivom pa naj bo $a = 6$ cm, če vajo delate v laboratoriju I, oziroma $a = 6,5$ cm, če delate vajo v laboratoriju II. Na optično klop postavite še zaslon in z njegovo pomočjo določite razdaljo b med objektivom in sliko, ki jo preslika objektiv. Nato zaslon odstranite z optične klopi in nanjo na razdaljo $b + f_{OK}$ od objektiva postavite okular (f_{OK} je označena na okularju).

Preprost mikroskop je tako sestavljen. Ustrezno zmanjšajte jakost osvetlitve in pogledjte skozi okular. Če je vse pravilno nastavljeno, vidite povečano sliko predmeta. Opazili boste, da ni vseeno, kako gledate skozi okular: zenico svojega očesa morate postaviti natančno v izstopno zenico okularja, ki je pri tem mikroskopu od okularja

oddaljena za kar nekaj centimetrov. Lego izstopne zenice okularja lahko določite natančno, če s pomočjo zaslona opazujete, kje se snop svetlobe, ki prihaja skozi okular, združi v najmanjšo liso (pri iskanju izstopne zenice naj bo osvetlitev nastavljena na največjo jakost).

Na milimetrski papir narišite shemo mikroskopa v razmerju 1:4 (razdalja 4 cm na optični klopi je 1 cm na shemi. Primer: če je dejanska goriščna razdalja leče enaka 10 cm, je na shemi ta razdalja enaka 2,5 cm). Velikost predmeta pri risanju izberite poljubno. Na shemi narišite potek treh značilnih žarkov s predmeta (slika 6.5). **Pazite na natančnost pri risanju - zaradi majhnih nenatančnosti pri risanju je lahko končna slika povsem narobe!**

- 4) **Naloga 4.** Povečavo mikroskopa lahko določimo glede na velikost zornega kota, pod katerim skozi mikroskop vidimo predmet. Primerjali boste torej velikosti slike, ki jo vidite skozi mikroskop, z velikostjo predmeta, ki jo vidite z normalne zorne razdalje. Pri tem si boste pomagali z merilom. Najprej z njim izmerite dejansko velikost črke F na predmetu. Nato izmerite navidezno velikost črke F, ki jo vidite skozi mikroskop: z enim očesom glejte skozi mikroskop, z drugim pa hkrati na merilo, ki ga držite ob optični osi v normalni zorni razdalji ($x_0 = 25$ cm) pred očesom (slika 6.8). Na ta način z merila odčitate navidezno velikost črke F. Povečava mikroskopa je v tem primeru razmerje med navidezno velikostjo slike in dejansko velikostjo črke F.



Slika 6.8: Gledanje skozi mikroskop pri določanju povečave.

Povečavo mikroskopa izračunajte še po enačbi 6.5, saj poznate vrednosti e , x_0 , f_{OK} in f_{OB} , ter izračunano vrednost povečave primerjajte z izmerjeno.

- 5) **Naloga 5.** Ločljivost mikroskopa določite s tem, da ocenite, katera je najmanjša razdalja med črtami na predmetu, pri kateri črte še jasno vidite. V ta namen uporabite diapozitive, na katerih so mreže z različnimi gostotami črt. Začnete z diapozitivom

z mrežo, pri kateri so črte najbolj narazen. Če črte v tej mreži še razločite, vzemite diapozitiv z gostejšo mrežo in tako naprej, vse dokler črt ne razločite več. Meja ločljivosti mikroskopa je približno enaka najmanjši še vidni razdalji med črtami.

Za izračun največje teoretično mogoče ločljivosti po enačbi 6.6 morate najprej določiti numerično aperturo objektiva. Iz definicije numerične aperture (enačba 6.7) je razvidno, da je za to potrebno izmeriti radij leče objektiva R_{OB} in iz tega določiti kot α . Za valovno dolžino λ vzemite 550 nm, lomni količnik zraka pa je 1.

Primerjajte izračunano ločljivost z izmerjeno. Ali je ločljivost mikroskopa v vsakem primeru tako dobra kot največja teoretična mogoča ločljivost po enačbi 6.6? Zakaj? (namig: Pri opazovanju uporabljamo oči. Je omejitev za praktično ločljivost pri vaji mogoče majhna povečava mikroskopa ter omejena ločljivost očesa? Kakšni sta “povečava” in ločljivost očesa? Napake leč seveda tudi zmanjšajo ločljivost mikroskopa, a pri majhnih povečavah, kot je pri tej vaji, je ta prispevek skoraj zanemarljiv).