

Fotografski objektivni in Scheimpflugovo načelo



PETER LEGIŠA

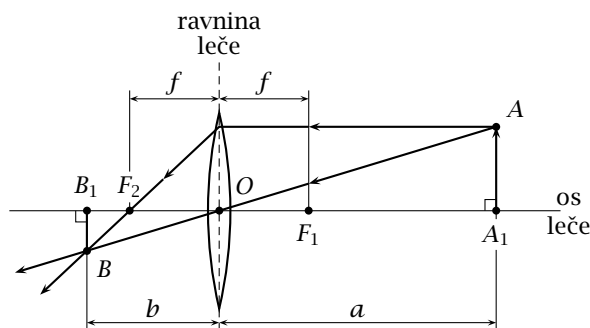
→ V srednji šoli pri fiziki zveste nekaj o lastnostih tanke leče z dvema sferičnima površinama. Taka leča je neobčutljiva za vrtenje okrog svoje osi, ki je zveznica središč ustreznih sfer. Zbiralna leča žarke, vzporedne z osjo leče, zbere v *gorišču*.

Taka leča ima dve gorišči: F_1 in F_2 (slika 1). Optično središče O leče leži na osi in ima lastnost, da žarki, ki gredo skozi O , ne spremenijo smeri. Goriščna razdalja f je razdalja med goriščem in optičnim središčem. Ravnina skozi O , pravokotna na os leče, je *ravnina leče*. Na sliki 1 je A_1 pravokotna projekcija točke A na os leče. Točko A leča upodobi v točko B , katere pravokotna projekcija na os je B_1 . Naj bosta $a = |OA_1|$ in $b = |OB_1|$ razdalji točk A, B od ravnine leče. Enačba leče pravi, da je

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}.$$

Imejmo (ne preveliko) krožno ploščo K s središčem v točki A_1 , pravokotno na os leče. Leča jo upodobi na krožno ploščo L s središčem v B_1 , pravokotno na os leče.

Enostavna leča v praksi navadno ne daje zadovoljivih rezultatov. Snov, iz katere je leča, lomi svetlobo različnih valovnih dolžin bolj ali manj različno in je zato goriščna razdalja odvisna od valovne dolžine – temu pravimo *razklon* ali *disperzija* bele svetlobe. Ker leča ni idealno tanka, ima še druge napake. Tako je iluzorno pričakovati, da se bo snop bele svetlobe, vzporeden z osjo leče, res zbral v eni točki. Zato so že pred tremi stoletji začeli uporabljati sestave leč iz stekel z različnimi lastnostmi. Na ta način so bistveno izboljšali upodobitvene lastnosti. Že z zlepljenjem dveh primernih enostavnih leč je mogoče doseči, da ima sestav enako goriščno razdaljo za modro in za rdečo svetlobo. Takemu sestavu re-

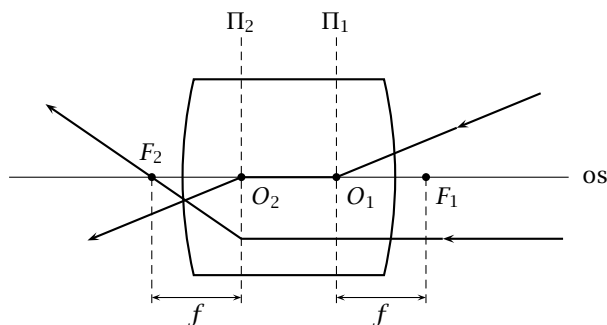


SLIKA 1.

čemo *akromat*. Če iščete predlečo za slikanje iz bližine, vzemite akromat, ki daje neprimerno boljše rezultate od enostavne leče. V konstrukcijo večlečnih objektivov že stoletja vlagajo ogromno truda, matematičnega znanja in računanja. Veliko sredstev gre tudi v razvoj posebnih stekel, ki, denimo, manj razklonijo svetlobo (gre za t. i. UD – ultra-low dispersion stekla). V zadnjem času pa nove tehnologije omogočajo tudi izdelavo *asferičnih* leč, katerih površina se posebno na robu precej razlikuje od površine krogle. Napredek v kakovosti in zmogljivosti je velik, še posebno pri zoom objektivih s spremenljivo goriščno razdaljo. Nove konstrukcije objektivov so potrebne tudi zato, ker je zaželeno, da svetloba na robne dele tipala ne pada preveč poševno. Zahteve so torej nekoliko drugačne kot pri slikanju na film.

Risanje poti žarkov skozi sistem leč s sferičnimi površinami, ki niso nujno tanke, je bilo pred obdobjem računalnikov naporno. Če pa se omejimo na t. i. *priosne* žarke, se pravi žarke, ki potekajo blizu osi sistema in so skoraj vzporedni osi, pa obstaja zelo lepa teorija, t. i. *Gaussova ali paraksialna optika*. Z uporabo 2×2 matrik bi jo danes lahko hitro razložili študentom drugega letnika na naravoslovnih ali tehničnih fakultetah (vtipkajte v iskalnik Matrix me-





SLIKA 2.

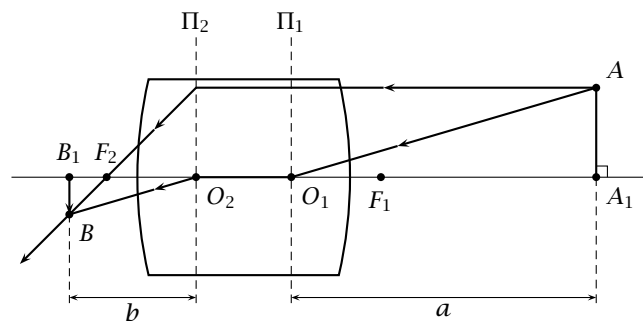
thods in paraxial optics, pa dobite več zadetkov, recimo [1].) Omejili se bomo na primer, da je naš sestav leč v zraku. Če bi bila recimo na eni strani voda – kot pri slikanju pod gladino – se stvari nekoliko zapletejo. Teorija (glej tudi [2], str. 41–43) nam pove, da za vsak tak fiksni sestav leč ali za vsak objektiv obstajata dve *glavni ravnini* Π_1 in Π_2 , pravokotni na os leče (slika 2). Ti ravnini sekata os leče v *glavnih točkah* O_1, O_2 . Mimogrede, za objektiv v zraku se glavni točki ujemata s t. i. *vozliščema*. Žarek skozi O_1 izhaja iz objektiva kot žarek iz O_2 , vzporeden prvotnemu žarku. Sestav ima tudi dve gorišči, F_1 in F_2 . Razdalja $f = |F_1 O_1| = |F_2 O_2|$ je *goriščna razdalja*. Žarek, ki prihaja z desne vzporedno z osjo objektiva, je videti, kot da potuje neovirano skozi objektiv do druge glavne ravnine in se nato lomi tako, da gre skozi gorišče F_2 . Opozoriti moramo, da je slika 2 shematična: žarki niso priosni in dejanske poti žarkov *znotraj* objektiva so mnogo bolj zapletene od narisanih. Če na sliki 2 vzporedno premaknemo desni del slike, tako da O_1 preide v O_2 , dobimo običajen diagram za tanko lečo. Torej na sliki 3 za upodabljanje s sestavom leč velja še zmeraj enačba

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f},$$

le da je a razdalja med točko A in Π_1 , število b pa je razdalja med sliko B točke A in ravnino Π_2 .

Povejmo, da sta glavni ravnini lahko tudi zunaj objektiva. To je še posebno značilno za teleobjektive, ki so fizično krajši od svoje goriščne razdalje. Pri njih sta glavni ravnini pred objektivom. Pogosto sta glavni točki blizu skupaj in tako sestav upodablja skoraj tako kot tanka leča.

Če slikamo zelo zelo oddaljen objekt, je v enačbi



SLIKA 3.

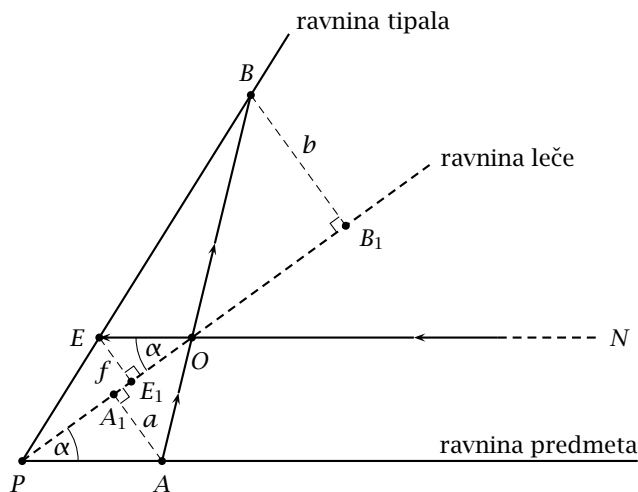
a ogromen, zato je $1/a$ praktično 0 in tako $b = f$. Slika neskončno oddaljene točke tako nastane v goriščni ravnini, ki vsebuje gorišče in je pravokotna na os. Pri fotoaparatu bo v tem primeru zadnje gorišče objektiva na tipalu. Če pa slikamo točke, ki so nam bližje, je a manjši, zato je $1/a$ večji in torej $1/b$ manjši, torej je b večji od f . Da bo na tipalu nastala ostra slika, moramo klasični objektiv nekoliko odmakniti od tipala.

Denimo, da slikamo tla v dolgi dvorani, ne moremo pa doseči, da bi bil senzor vzporeden tlom. Izostriamo nekam na sredino. Potem se bodo teoretično povsem ostro upodobile le točke na tej razdalji, praktično pa – saj ostrino slike omejuje velikost pikslov na tipalu – vse točke na nekem pasu okrog te razdalje. Govorimo o *globinski ostrini*. O tem sem pred leti pisal v Preseku [3]. (Članek je prosto dostopen na spletu in je še zmeraj aktualen, le da je – če je naš kriterij ostrina pri 100-odstotnem pogledu na zaslonu – za največji dovoljeni premer razmazanega krožca treba vzeti dve dolžini piksla na tipalu.) Pas globinske ostrine lahko razširimo, če zapremo zaslonko. Če pa preveč zapremo zaslonko, zaradi *uklona* trpi celotna ostrina slike. Zato imajo, recimo, aparati z majhnim tipalom (velikosti nohta) navadno zaslonko število največ 8, pa že tu je slika precej degradirana.

Že pred več kot sto leti sta francoski fotograf Carpentier in avstrijski častnik Scheimpflug odkrila, da z nagibanjem objektiva glede na ravnino filma (tipala) lahko včasih dosežemo, da so na sliki – ne glede na zaslonko – ostra celotna tla dvorane. Take nagibe objektiva s takratno opremo ni bilo težko doseči. Film (ali plošča) je bil v veliki leseni škatli, med objektivom in škatlo pa je bil gibljiv meh. Z nekaj

preproste mehanike je bilo mogoče doseči nagibanje in druge premike objektiv. Tudi sam imam zelo kakovostno sliko iz prvega razreda osnovne šole, ki je bila narejena okrog leta 1957 s tako škatlo, ki pa ni imela možnosti nagibanja objektiv.

Scheimpflugovo načelo za slikanje ravninskega predmeta pravi: **če se ravnina predmeta, zadnja glavna ravnina objektiv in ravnina tipala sekajo v isti premici, lahko ravnino predmeta v celoti ostro upodobimo na tipalu.**



SLIKA 4.

Dokažimo to. Na sliki 4 imamo narisano situacijo za primer enostavne leče. (Dokaz za sestavljen objektiv je praktično enak.) Omenjene tri ravnine se sekajo v premici, ki se na sliki projicira v točko P. Privzemimo, da smo izostrili tako, da je zelo zelo (neskončno) oddaljena točka N v ravnini predmeta ostro upodobljena na tipalu. Žarek iz N skozi optično središče O je (praktično) vzporeden z ravnino predmeta in seka tipalo v točki E, ki je slika točke N. Točka E je seveda za f oddaljena od ravnine leče. Zato na sliki 4 velja $|EE_1| = f$.

Naj bo A poljubna nadaljnja točka v ravnini predmeta, za $a = |AA_1|$ oddaljena od ravnine leče. Žarek iz A skozi O seka tipalo v točki B, ki je za $b = |BB_1|$ oddaljena od ravnine leče.

Na sliki 4 imamo dva podobna pravokotna trikotnika s kotom α . Zato je

$$\frac{|EO|}{f} = \frac{|PA|}{a},$$

od koder je

$$\frac{1}{a} = \frac{|EO|}{f|PA|}.$$

Podobna sta tudi pravokotna trikotnika PEE_1 in PBB_1 . Zato je

$$\frac{|PE|}{f} = \frac{|PB|}{b}.$$

Od tod je

$$\frac{1}{b} = \frac{|PE|}{f|PB|}.$$

Ker je $EN \parallel PA$, je

$$\frac{|EO|}{|PA|} = \frac{|EB|}{|PB|}.$$

Zato je

$$\frac{1}{a} = \frac{|EB|}{f|PB|}.$$

Od tod je

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f|PB|} (|EB| + |PE|) = \frac{1}{f|PB|} |PB| = \frac{1}{f}.$$

Torej je točka B res ostra slika točke A na tipalu.

Objektiv lahko nagibajo nekatere profesionalne kamere velikega formata (na film), ki imajo še zmeraj meh med telesom kamere in objektivom. Take kamere so seveda danes že redkost. Za mnoge aparate z izmenljivo optiko obstajajo posebni objektiv, ki omogočajo nagib vse do kakih 6,5–8,5 stopinj. (Angleška beseda za nagib je *tilt* in to najdemo v njihovih opisih.) Takih objektivov ni veliko in so dragi. Ostrimo lahko le ročno. Večinoma jih uporabljajo na stojalu in za nastavitve si je potrebno vzeti čas. Ko slikajo tla v dvorani ali pogrnjeno mizo, objektiv nagnejo navzdol in tako povečajo območje globinske ostrine. V idealnem primeru, ko je izpolnjeno Scheimpflugovo načelo, je ostro vse. Če naredijo nasprotno – objektiv nagnejo navzgor – se bo območje globinske ostrine zmanjšalo in oster bo le ozek pas. To je uporabno v umetniške namene. Vse to seveda velja, če slikajo ravninski objekt. Če so, recimo, na pogrjnjeni mizi visoki objekti, bo zelo težko ali nemogoče izostriti vse.





15

nadaljevanje
s strani

Objektivi, ki omogočajo nagib, navadno omogočajo tudi premik (shift) vzporedno senzorju. O tem kdaj drugič. Z običajnimi objektivi nagibov in premikov – vsaj na kamerah polnega formata – večinoma ni mogoče doseči, saj slika, ki jo naredijo, komajda pokrije vogale tipala. Ob nagibu ali premiku bi bil del slike črn. Omenjeni tilt-shift objektivi naredijo sliko, ki je precej večja od tipala, tako da imajo potrebne rezerve za pomike.

Literatura

- [1] University of New Mexico, Lecture notes, Chapter 18, *Matrix Methods in Paraxial Optics*, <http://physics.unm.edu/Courses/Thomas/Phys463fa11/Ch18.pdf>, ogled 3. 11. 2015.
- [2] S. F. Ray, *Applied photographic optics*, Second ed., Focal Press, Oxford 1995, 452–454.
- [3] P. Legiša, *Fotografija in matematika, 3. del – globinska ostrina*, Presek 25, 1998, 194–201. <http://www.presek.si/25/1340-Legis-a.pdf>

× × ×

Razmisli in poskusi



MITJA ROSINA

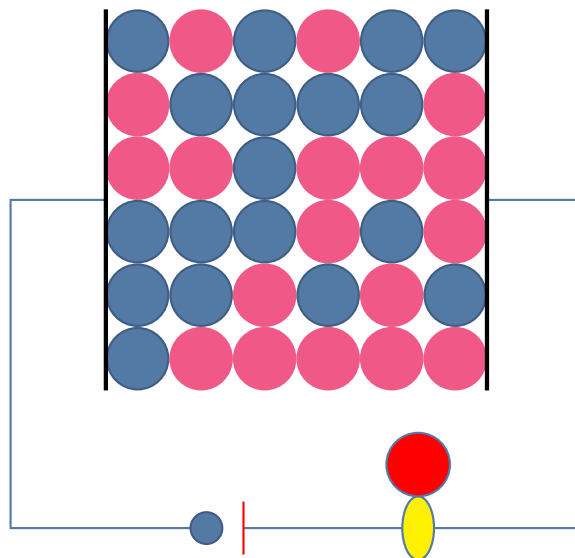


60. Perkolacija

Zgled za perkolacijo (pronicanje) je povezava med elektrodama preko prevodnih kroglic.

NALOGA. V kvadratno škatlo nasuj na dno slučajno mešanico kovinskih in steklenih kroglic. Zloži jih v pravokotno mrežo tako, da je dno ravno napolnjeno. Na nasprotni ploskvi škatle daj kovinski plošči in ju zveži preko baterije in žarnice tako, da bo žarnica svetila, če množica kroglic prevaja (če so kovinske kroglice sklenjene v verigo).

Verjetnost za perkolacijo je odvisna od razmerja p med številom prevodnih in neprevodnih kroglic.



SLIKA 1.

Ali sistem perkolira? (Modre kroglice so prevodne)

Poskus ponovi večkrat, tudi z različnimi razmerji, vsakič dobro premešaj. Za vsak p zapiši število perkoliranih razporeditev $N_{\text{per}}(p)$ in število vseh razporeditev $N_{\text{vsi}}(p)$. Nariši diagram

$$w(p) = N_{\text{per}}(p) / N_{\text{vsi}}(p),$$

kolikokrat pri danem razmerju p sistem perkolira.

Smiselno je vzeti vsaj $10 \times 10 = 100$ kroglic in škatlo s stranico 10 premerov kroglic. Za neenako razmerje potrebuješ seveda več kot 50 vsakih kroglic. Za »ogrevanje« smeš seveda vzeti tudi manj kroglic v manjši škatli. Če si dober v računalništvu, lahko poskus simuliraš z računalnikom.

Poskus lahko ponoviš še za gosto (trigonalno) mrežo kroglic, pri kateri ima vsaka kroglica 6 sosedov.

Primerjaj diagrama $w(p)$ za pravokotno in trigonalno mrežo. Zanimiva je zlasti kritična vrednost p_c , pri kateri naraste $w(p)$ razmeroma hitro od 0 proti 1.

To je bil dvodimenzionalni model. Trodimenzionalni model, pri katerem bi nasuli kroglice v več plasteh, je mnogo zahtevnejši.

Zanimiv zgled so gozdni požari. Če so drevesa dovolj na redko, se požar nekje ustavi (ne perkolira), če so na gosto, pa zajame ves gozd.

× × ×