

TARTU ÜLIKOOL
Tartu Ülikooli Täppisteaduste Kool

Geomeetriline optika

Koostanud Henn Voolaid ja Urmo Visk

Tartu 2007

© 2007 Henn Voolaid, Urmo Visk

© 2007 Tartu Ülikooli Teaduskool

Geomeetriline optika

1 Sissejuhatus

Geomeetriline optika ehk kiirteoptika on optika osa, kus valguse levimist kirjeldatakse valguskiirte abil, milleks on ristsirged valguse lainepinnale (pinnanormaalid). Võib ka öelda, et kiir on joon, mis näitab valgusenergia levimise suunda.

Geomeetrilises optikas käsitletakse valgust sirgjooneliselt levivana, ükskõik kui väikestest avadest see läbi läheb. Teiste sõnadega, geomeetrilises optikas loetakse valguse lainepikkus $\lambda = 0$ ja seetõttu pole vaja difraktsiooni või interferentsi arvestada. Geomeetrilise optika ülesandeks on eseme kujutise leidmine pärast **optilise süsteemi** läbimist. Optiliseks süsteemiks võivad olla igasugused detailid, kus valguskiir peegeldub või murdub.

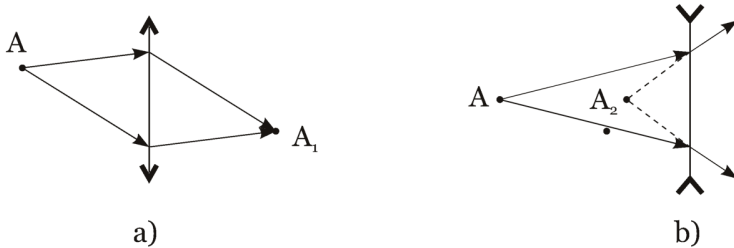
Meie käsitleme ainult **ideaalseid optilisi süsteeme**, st. selliseid süsteeme, mis annavad esemest sellega sarnase kujutise. Ideaalse optilise süsteemi korral vastab igale eseme punktile ainult üks kujutise punkt. Sellist kujutist nimetatakse stigmaatiliseks ehk punkt kujutiseks.

Ideaalsed optilised süsteemid on alati **tsentreeritud süsteemid**. Optiline süsteem on tsentreeritud, kui optiliste pindade kõverustsentrid asuvad ühel sirgel, mida nimetatakse **optiliseks peateljeks**. Geomeetrilise optika kasutab ainult **paraksiaalseid kiiri** ehk teljelähedasi kiiri. Need on kiired, mis moodustavad optilise teljega väikesi nurki, st nurki, mille korral võime nende siinused ja tangensid lugeda võrdseks nurkade suursutega radiaanides.

Eseme **kujutiseks** nimetatakse mõne optilise seadme (ka silma) poolt tekitatud esemega sarnast pilti. Kujutisi jaotatakse **tõelisteks** ja **näivateks**. Kui eseme punktist A väljunud kiired koonduvad pä-

rast optilise süsteemi läbimist punktis A_1 , siis on tegemist tõelise kujutisega. Kui aga süsteemi läbinud kiired näivad lähtuvat ühest punktist A_2 , on tegemist näiva kujutisega.

Tõelist kujutist saab tekitada ekraanile, näivat ei saa. Silm annab esemest alati tõelise kujutise.



Joonis 1: Tõeline ja näiv kujutis

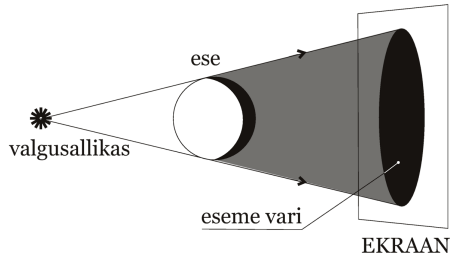
Geomeetrilises optikas kehtib **kiirte pööratavuse printsiip**: kiir läbib süsteemi päri- ja vastassuunas ühte teed mööda. Seetõttu võib vajadusel vahetada eseme ja selle kujutise asukohti. Näiteks, kui punktvalgusallikas panna punkti A , siis tema kujutis tekib punktis A_1 . Kui aga valgusallikas panna punkti A_1 , siis kiired läbivad süsteemi samu teid mööda, ainult vastassuunas ja kujutis tekib punktis A . Geomeetiline optika kasutab tihti **punktvalgusallikaid**, milleks nimetatakse valgusallikat või eseme piirkonda, mille mõõtmed on palju väiksemad kui kaugus vaatluskohani.

Valgus levib ühtlases (homogeenses ja isotroopses) keskkonnas **sirgjooneliselt**. Selle tõestuseks on punktvalgusallika poolt tekitatud varju terav piirjoon.

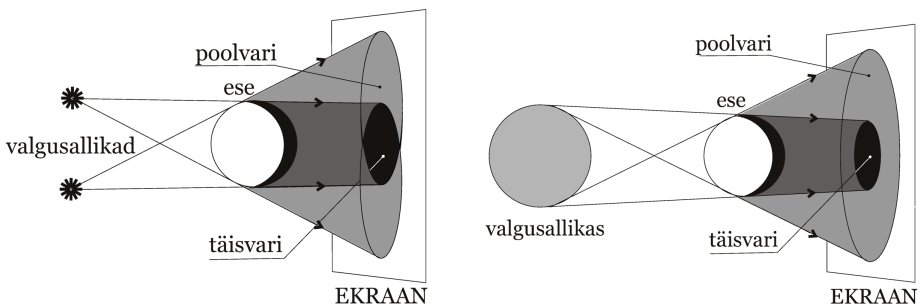
Punktvalgusallikas tekitab esemest **täisvarju**, mida näeme ekraanil eseme kontuuriga sarnase musta laiguna. Ruumi piirkonda, kuhu valgus ei satu, nimetatakse **täisvarju piirkonnaks**.

Kui on tegemist rohkem kui ühe punktvalgusallika või suure valgusallikaga, siis tekib lisaks täisvarjule ka **poolvari**, mida näeme ekraanil halli laiguna ümber täisvarju. Ruumi piirkonda, kuhu valgus

satub ainult osadest punktvalgusallikaist või osast suure valgusallika punktidest nimetatakse **poolvarju piirkonnaks**.



Joonis 2: Punktvalgusallikas tekitab esemest täisvarju.



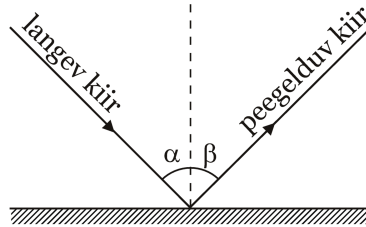
Joonis 3: Poolvarju tekkimine kahe punktvalgusallika ja suure valgusallika korral.

2 Valguse peegeldumine

Valguskiir levib ühtlases keskkonnas sirgjooneliselt, kuni jõuab mingi teise keskkonnani. Seal muudab kiir levimissuunda. Kui valgus pöörduv esimesse keskkonda tagasi, siis nimetatakse nähtust **peegeldumiseks**. Valgus võib peegelduda täielikult või osaliselt, viima-

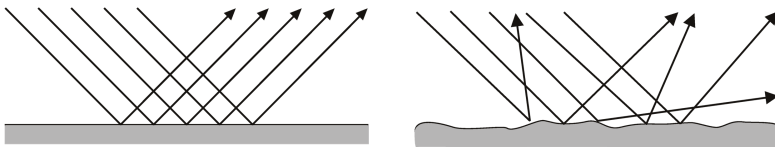
sel juhul läheb osa valgusest üle teise keskkonda (kas läbib seda või neeldub selles, st. valgusenergia muundub keskkonna siseenergiaks).

Valguse peegeldumisel kehtib peegeldumisseadus, mis ütleb, et **langev kiir, peegelduv kiir ja langemispunkti tõmmatud pinnanormaal asuvad ühes tasandis ning peegeldumisenurk võrdub langemisnurgaga.**



Joonis 4: Langemisnurk α ja peegeldumisenurk β on võrdsed.

Keskkondade lahutuspinde käsitletakse kahel viisil. Ühel juhul on tegu sileda pinnaga, mis tähendab, et pinnakonaruste mõõtmed on väiksemad valguse lainepikkusest. Sel juhul käitub ka lai kiirtekimp vastavalt peegeldumisseadusele. Teisel juhul on tegu kareda pinnaga, kus pinna konaruste mõõtmed ületavad valguse lainepikkust. Sel juhul räägitakse hajusast ehk difuussest peegeldusest, mille korral iga kiire korral kehtib peegeldumisseadus, kuid laia kimbu korral ei kehti.



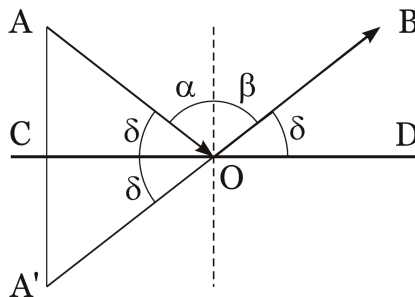
Joonis 5: Valguse peegeldumine siledalt ja karedalt pinnalt.

2.1 Valguse peegeldumise seadus

Valguse peegeldumise seadus tuleneb ühest printsiibist, mille esimesena sõnastas umbes 2000 a. tagasi Heron, kes väitis, et **valgus levib ühest punktist teise lühimat teed pidi**. Fermat' täpsustas seda 1662. a., väites, et **valgus levib teed mööda, mille läbimiseks kulunud aeg on minimaalne**.

Homogeense keskkonna korral on printsiibid samaväärsed, muidu mitte.

Tuletame Fermat' printsiibi abil valguse peegeldumise seaduse. Leiame kiire tee punktist A punkti B nii, et see peegelduks peegli pinnalt punktis O ja tee läbimiseks kulunud aeg oleks minimaalne.



Joonis 6: Valguse peegeldumise seaduse tuletamine.

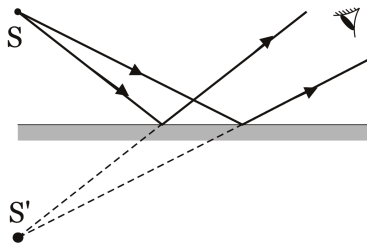
Kuna kiir liigub kogu aeg ühesuguses keskkonnas, võime leida minimaalse aja asemel minimaalse teepikkuse AOB .

Selleks konstrueerime peegli taha punkti A' nii, et $AC = CA'$. Sel juhul ka $AO = A'O$, sest $\triangle ACO = \triangle A'CO$. Seega ka $AOB = A'OB$. See tee on minimaalne, kui $A'OB$ on sirge. Sel juhul on $\angle A'OC = \angle BOD$ ja järelikult ka $\angle AOC = \angle BOD$. Siit on näha, et

$$\alpha = \beta$$

2.2 Tasapeegel

Tasapeegel on tasand, millelt valgus peegeldub. Kujutise leidmiseks tuleb eseme mingist punktist võtta vähemalt kaks kiirt ja vaadata nende peegeldumist.



Joonis 7: Kujutise leidmine tasapeeglis.

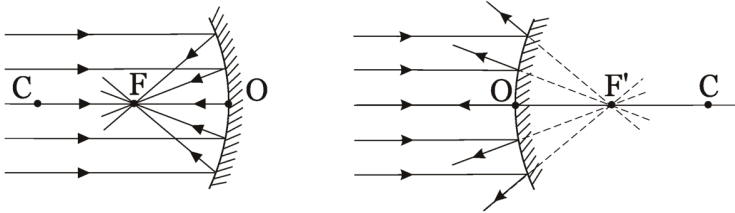
Tasapeegel annab esemest näiva kujutise, st. et meile näib, nagu lähtuksid valguskiired peegli tagant. Kujutis on sama suur kui ese ja selle kaugus peeglist on sama suur kui eseme kaugus peeglist. Tarbepeegliks on tasaparalleelne klaasplaat, mille tagumine pind on kaetud peegeldava metallikihiga ja see on kriimustuste vältimiseks üle värvitud. Kui sellist peeglit kasutada optikas, tuleb arvestada valguskiirte murdumist klaasplaadis.

2.3 Sfäärilised peeglid

Sfääriline peegel on kerapinna (sfääri) osa, millelt valgus peegeldub. Sfäärilisi peegleid jaotatakse **nõgusateks** ja **kumerateks**. Nõguspeegli korral toimub peegeldumine sfääri sisepinnalt, kumerpeegli korral - välispinnalt.

Sirget, mis läbib sfääri keskpunkti C ja fookust F (vaata joonist nr 8), nimetatakse peegli **optiliseks peateljeks**. Optilise peatelje lõikepunkti peegli pinnaga nimetatakse **lagipunktiks** O .

Punkti, kuhu koonduvad nõguspeegli langevad paralleelsed kiired, nimetatakse peegli **fookuseks F** (tulipunktiks). Kumerpeegli korral on tegemist **näiva fookusega F'**, st. punktiga, milles lõikuvad peegeldunud kiirte pikendused. Fookuse kaugust peegelpinnast, mõõdetuna piki optilist peatelge, nimetatakse peegli **fookuskauguseks**. Nõguspeegli fookuskaugust loetakse positiivseks, kumerpeegli oma negatiivseks.



Joonis 8: Nõguspeegel (vasakul) ja kumerpeegel (paremal).

Fookuskaugus f ja peeglit moodustava sfääri raadius r on seotud järgmiselt:

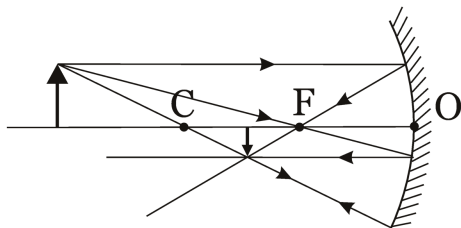
$$f = \frac{r}{2}$$

2.3.1 Kujutise leidmine nõguspeegli puhul

Kasutame esemest väljuvatest kiirtest vähemalt kahte järgmistest:

- A) optilise peateljega paralleelset kiirt, mis pärast peegeldumist läbib fookuse;
- B) fookust läbivat kiirt, mis pärast peegeldumist on optilise peateljega paralleelne;
- C) sfääri keskpunkti C läbivat kiirt, mis pärast peegeldumist läheb sama teed tagasi.

- D) peegli keskpunkti langenud kiirt, mille peegeldumisnurk optilise peatelje suhtes võrdub langemisnurgaga optilise peatelje suhtes (kuna läätsse keskpunkti läbiv kiir ei murdu, siis ka peegli keskpunkti langev kiir murdu, küll aga peegeldub).

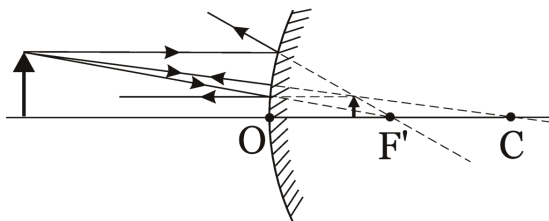


Joonis 9: Kujutise leidmine nõguspeeglis.

2.3.2 Kujutise leidmine kumerpeegli puhul

Kasutame esemest väljuvatest kiirtest vähemalt kahte järgmisest kolmest:

- A) optilise peateljega paralleelset kiirt, mille pikendus pärast peegeldumist läbib fookuse;
- B) fookusesse suunatud kiirt, mis pärast peegeldumist on optilise peateljega paralleelne;
- C) sfääri keskpunkti C suunatud kiirt, mis pärast peegeldumist läheb sama teed tagasi.
- D) peegli keskpunkti langenud kiirt, mille peegeldumisnurk optilise peatelje suhtes võrdub langemisnurgaga optilise peatelje suhtes (kuna läätsse keskpunkti läbiv kiir ei murdu, siis ka peegli keskpunkti langev kiir murdu, küll aga peegeldub).



Joonis 10: Kujutise leidmine kumerpeeglis.

Edaspidi nimetatakse neid kiiri A, B, C ja D kiirteks. Sõltuvalt sellest, kas juttu on kumer- või nõguspeeglist, tuleb kasutada kumer- või nõguspeegli jaoks sobivaid kiire konstrueerimise eeskirju.

3 Valguse murdumine

3.1 Valguse murdumise seadus

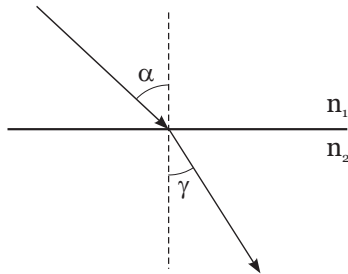
Kahe läbipaistva keskkonna lahutuspiiril valgus murdub, st. muudab oma levimissuunda. Muutuse suurus on määratud murdumis-seadusega, mille kohaselt valguse üleminekul ühest keskkonnast teise valguskiir murdub nii, et **langemisnurga ja murdumisnurga siinuste suhe on jääv suurus ning langev kiir, murdub kiir ja langemispunkti tõmmatud pinnanormaal asuvad ühes tasandis**.

Seda siinuste suhet nimetatakse teise keskkonna suhteliseks murdumisnäitajaks esimese keskkonna suhtes. Esimeseks keskkonnaks nimetatakse seda keskkonda, kust kiir tuleb, teiseks seda, kuhu kiir läheb. **Suhteline murdumisnäitaja** $n_s = n_2/n_1$ on keskkondade absoluutsete murdumisnäitajate suhe. **Absoluutne murdumisnäitaja** näitab, mitu korda on valguse kiirus vaakumis suurem kui antud keskkonnas: $n = c/v$. Kehtib ka seos $n_s = v_1/v_2$.

Murdumiseseadust võib seega kirja panna kujul (vt joon. 11)

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Nagu peegeldumise seaduse korral, on ka see tõestatav Fermat' printsiibist lähtudes.

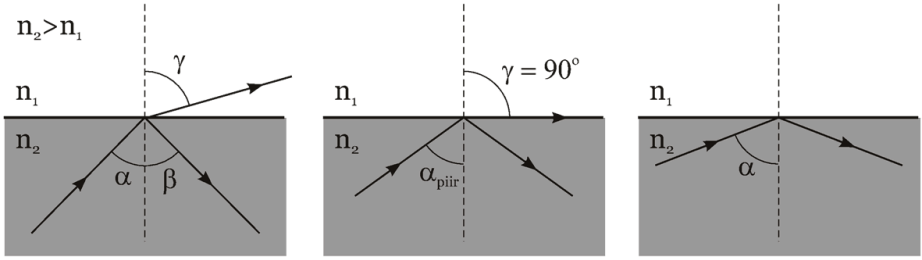


Joonis 11: Valguse murdumise seadus.

3.2 Täielik peegeldus

Kui valgus suunata kahe keskkonna lahutuspinnale optiliselt tihedamast keskkonnast, siis on valguse murdumisnurk γ suurem langemisnurgast α . Minge langemisnurga α_{piir} korral on murdumisnurk võrdne 90° . Seda nurka nimetatakse täieliku peegeldumise **piirnurgaks**. Sellest suuremate langemisnurkade korral valgus ei tungi teise keskkonda, vaid peegeldub esimesse tagasi. Seda nähtust nimetatakse **täielikuks peegelduseks** (varem kasutati ka nimetust **täielik sisepeegeldus**).

Täieliku peegeldumise korral võtab murdumiseseadus kuju:



Joonis 12: Valguse murdumine optiliselt tihedamast keskkonnast hõredamasse.

$$\frac{\sin \alpha_{\text{piir}}}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1} \text{ ehk } \sin \alpha_{\text{piir}} = \frac{n_2}{n_1} .$$

Kui esimeseks keskkonnaks on vaakum või õhk, siis on seose kuju $\sin \alpha_{\text{piir}} = 1/n_1$. Täielikku peegeldust kasutatakse optilistes riistades valguskiirte suuna muutmiseks, aga ka valgusjuhtides valguse edastamiseks.

3.3 Läätsed

Läätseks nimetatakse kõverpindadega piiratud läbipaistvat keha. Meie vaatleme ainult läätsi, kus pindadeks on sfääri osad. Kui läätsese paksus on palju väiksem pindade kõverusraadiustest, siis on tegu **õhukese lääts**ega¹. Sirget, mis läbib läätsese pindade kõveruskeskpunkte, nimetatakse **optiliseks peateljeks**.

Lääts, mis on keskelt paksem kui äärtest, nimetatakse **kumerlääts**eks (koondavaks lääts)eks). Kui aga lääts on keskelt õhem kui äärtest, siis seda nimetatakse **nõguslääts**eks (hajutavaks lääts)eks).

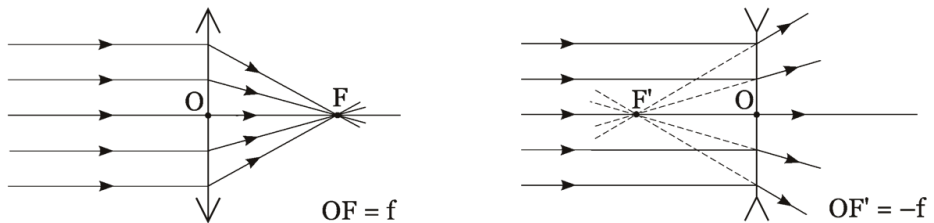
¹Meie vaatleme ainult õhukesi läätsi

Kumerläätsse sümbol on \uparrow , nõgusläätsse sümbol on \downarrow .

Kumerläätsle optilise peateljega paralleelselt langevad kiired koonduvad pärast läätse läbimist ja lõikuvad peatelje punktis, mida nimetatakse kumerläätsse **fookuseks** F . Nõgusläätsle optilise peateljega paralleelselt langevad kiired hajuvad pärast läätse läbimist, kuid nende kiirte pikendused lõikuvad peatelje punktis, mida nimetatakse nõgusläätsse fookuseks ehk **näivaks fookuseks** F' .

Tasandit, mis läbib fookust ja mis on risti optilise peateljega, nimetatakse **fokaaltasandiks**. Kõik läätsele langevad paralleelsed kiirtekimbud koonduvad mingis fokaaltasandi punktis. Selle punkti asukohta määrab läätse keskpunkti läbiva kiire lõikepunkt fokaaltasandiga. Eelöeldu kehtib ka näiva fookuse korral.

Fookuse või näiva fookuse kaugust läätsest, mõõdetuna piki optilist peatelge nimetatakse **fookuskauguseks**. Nõgusläätsse fookuskaugust loetakse negatiivseks.



Joonis 13: Valguse murdumine kumerläätses (vasakul) ja nõgusläätses (paremal).

Igal läätsel on kaks fookust, mille fookuskaugused on võrdsed. Seda kinnitab ka kiirte pööratavuse printsiip, mille kohaselt kiirte käik läbi optilise süsteemi ei olene sellest, kas kiired liiguvad läbi läätse näiteks vasakult paremale või paremalt vasakule. Fookuskauguse pöördväärtust nimetatakse läätse **optiliseks tugevuseks**, mida tähistatakse D :

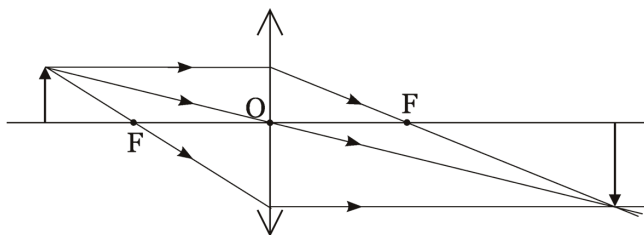
$$D = \frac{1}{f} .$$

Läätse optilist tugevust mõõdetakse **dioptriates** (dptr), kusjuures 1 dioptria on sellise läätse optiline tugevus, mille fookuskaugus on 1 m.

3.3.1 Kujutise leidmine kumerläätses puhul

Kumerlääts koondab valguskiiri. Kui lääts on õhuke, siis kasutatakse **kujutise konstrueerimisel** esemest väljuvatest kiirtest vähemalt kahte järgmisest kolmest:

- K) optilise peateljega paralleelset kiirt, mis pärast läätse läbimist läbib fookuse;
- L) fookust läbivat kiirt, mis pärast läätse läbimist on optilise peateljega paralleelne;
- M) läätse keskpunkti O läbivat kiirt, mis pärast läätse läbimist suunda ei muuda.



Joonis 14: Kujutise konstrueerimine kumerläätses puhul.

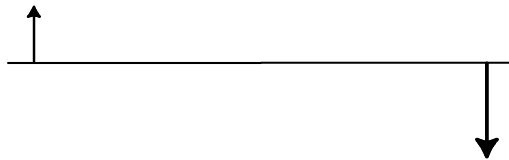
4 Lahendusvõtted ja näidisülesanded

4.1 Kiirte käigu konstrueerimine tagurpidi

Standardsetes optikaülesannetes tuleb eseme asukohta järgi konstrueerida kujutis, kasutades peatükkides 2.3.1, 2.3.2, 3.3.1 ja 3.3.2 toodud kujutise konstrueerimise reegleid. Olümpiaadiülesannetes seevastu antakse sageli lünklikku informatsiooni nii eseme, läätses, kujutise kui ka kiirte käigu kohta ning välja tuleb nuputada puuduvad detailid, kombineerides sobilikul viisil kujutise konstrueerimise reegleid. Seega on tegemist mõneti pööratud olukorraga, võrreldes standardse optikaülesandega.

Näidisülesannete lahendustes on kiirte tähistena kasutatud peatükkides 2.3.1, 2.3.2 (peeglite jaoks), 3.3.1 ja 3.3.2 (läätsede jaoks) sisse toodud valguskiirte tähistusi.

Näidisülesanne 1: Teada on eseme ja tõelise kujutise asukoht. Leidke läätses asukoht ja fookuskaugus!



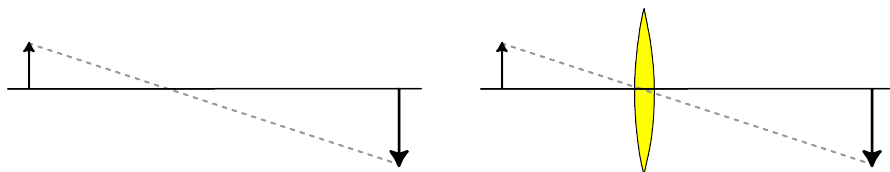
Joonis 16: Näidisülesanne 1.

Lahendus:

1. samm Kuna noole kujutis on tagurpidi, siis peab tegu olema tõelise kujutisega (näivad kujutised on esemega samasuunalised). Tõelise kujutise saab tekitada vaid kumerläätses. Kuna me

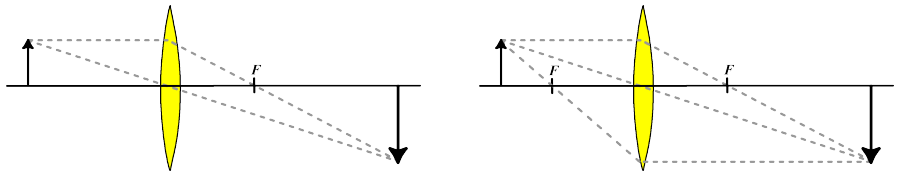
ei tea fookuste asukohti, siis ei saa me konstrueerida kiiri K ja L peatükist 3.5.1, mis läbivad läätses fookusi. Küll aga saame joonistada kiire M , mis algab esemelt, lõpeb kujutisel ning ei murdu läätses. Selle kiire joonistamiseks ei pea me teadma läätses asukohta, sest kiire joonistamiseks tuleb tõmmata sirge eseme ja kujutise vahele.

2. samm Kiir M läbib läätses keskpunkti siis, kui kiir lõikub optilise peateljega. Seega asub lääts punktis, kus eset ja kujutist ühendav kiir lõikub optilise peateljega.



Joonis 17: Vasakul on lahenduse esimene samm ja paremal teine samm.

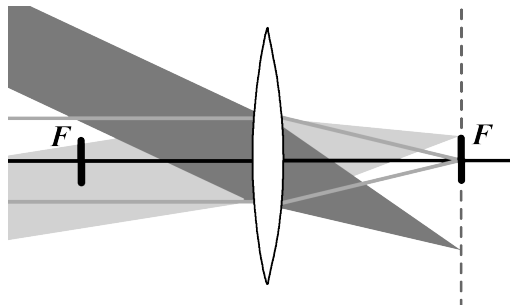
3. samm Kiir K liigub paralleelselt optilise peateljega läätseni, kus kiir murdub ja muudab oma liikumissuunda. Seejärel läbib kiir läätses fookuse ja liigub tõelise kujutiseni. Leidmaks läätses fookust, tuleb joonistada kiir K . Läätses tagumine fookus asub kiire K ja optilise peatelje lõikepunktis.
4. samm Läätses eesmise fookuse leidmiseks tuleb peegeldada tagumist fookust läätses suhtes. Samuti saab läätses eesmise fookuse leida, kui joonistame kiire L käigu (eesmine fookus asub optilise peatelje ja kiire L lõikepunktis).



Joonis 18: Vasakul on lahenduse kolmas samm ja paremal ülesande vastus.

4.2 Fokaaltasand

Fokaaltasand on tasand, mis on tõmmatud läbi läätsede fookuse ja ristub läätsede optilise peateljega. Kui läätsede langevad paralleelsed kiired, mis ristuvad läätsedega, siis koonduvad kiired läätsede fookuses. Kui aga paralleelsed kiired ei lange läätsedele risti, siis ei teki kujutis mitte läätsede fookuses, vaid fokaaltasandis.

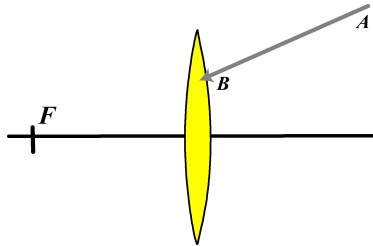


Joonis 19: Kiirte koondumine fokaaltasandis. Läätsede risti langevaid kiiri kujutatakse halli joonega. Need kiired koonduvad fookuses (jätke must kriips). Omavahel paralleelsed kiired, mis on optilise peatelje suhtes kaldu, koonduvad fokaaltasandis (kriipsjoon), kuid mitte fookuses.

Leidmaks punkti, kuhu koonduvad läätsede viltu langenud kiired, tuleb läbi läätsede keskpunkti tõmmata kiir M , mis läbib läätsede keskpunkti ega murdu läätses. See kiir liigub ka läätsede läbimise järel

paralleelselt läätsesele langenud kiirtega. Kuna kõik läätsesele langevad omavahel paralleelsed kiired koonduvad fokaaltasandis, siis koonduvad läätsesele viltu langenud kiired fokaaltasandi ja kiire M lõikepunktis.

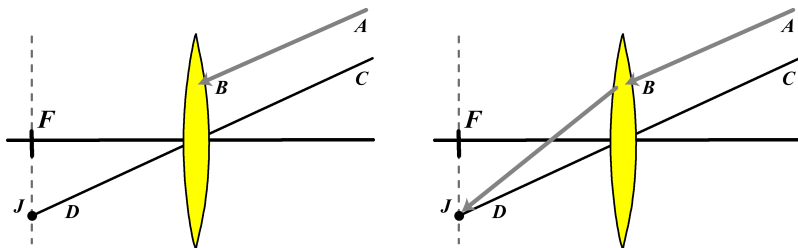
Näidisülesanne 2: Joonestage kiire AB edasine käik pärast läätsese läbimist. Läätsese fookus asub punktis F .



Joonis 20: Näidisülesanne 2.

Lahendus:

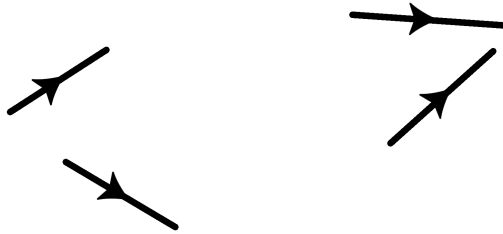
1. samm Joonistame kiirega AB paralleelse kiire CD , mis läbib läätsese keskpunkti. See kiir ei murdu läätsese läbimisel. Pikendame kiirt CD fokaaltasandini (kujutatakse joonisel kriipsjoonega).



Joonis 21: Vasakul on lahenduse esimene samm ja paremal ülesande vastus.

2. samm Kiirega CD paralleelsed kiired koonduvad fokaaltasandis selles punktis, kus kiir CD lõikub fokaaltasandiga (tähistame seda punkti tähega J . Kuna kiir AB on paralleelne kiirega CD , siis koondub ka kiir AB pärast läätseläbimist punktis J . Tõmbame läätseläätsest valguskiire AB pikenduse punkti J . See on kiire AB käik läätseläbimise järel.

Näidisülesanne 3: Igivana optiline skeem on säilinud osaliselt. Skeemi lahendusest oli säilinud vaid niipalju, et tegu oli koondava läätsesega, mis tekitas tõelise kujutise. Taastage läätseläätse tasand, optiline peatelg ja fookus. Nööled näitavad kiirte levimise suunda. (Füüsika olümpiaad '99)

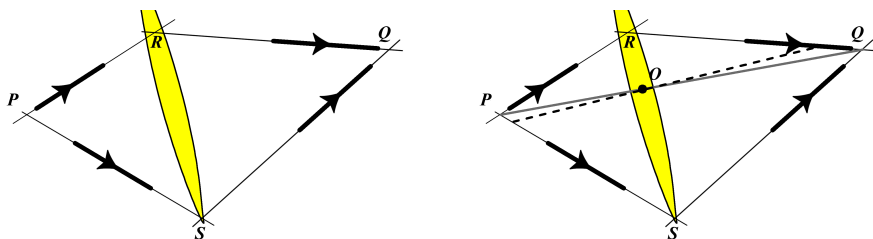


Joonis 22: Näidisülesanne 3.

Lahendus:

1. samm Pikendame valguskiiri lõikumiseni. Tähistame lõikepunktide tähtedega P , Q , R ja S . Valguskiired muudavad oma liikumissuunda, kui kiired murduvad läätses. Seega asub lääts punktide R ja S vahel. Valguskiired alustavad oma liikumist objektilt ja lõpetavad selle kujutise juures, mistõttu asub ese punktis P ja kujutis punktis Q .

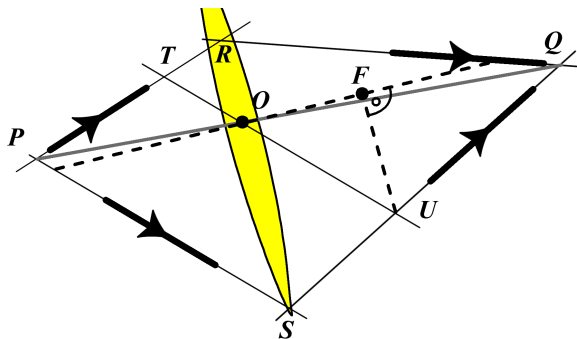
2. samm Optiline peatelg on sirge, mis läbib läätses keskpunkti ja on risti läätsesga. Optilise peatelje joonistamiseks oleks vaja teada, kus asub läätses keskpunkt. Selle leidmiseks joonistame objekti ja kujutise vahele kiire, mis läbib läätses selles murdumata (kiir M peatükis 3.3.1). Valgusiir ei murdu läätses, kui kiir läbib läätses keskpunkti. Seega asub läätses keskpunkt O kiire M ja läätses lõikepunktis. Optilise peatelje joonistame punktist O läätsesga risti. Optilist peatelget kujutatakse joonisel kriipsjoonega.



Joonis 23: Vasakul on lahenduse esimene ja paremal teine samm.

3. samm Läätses fookust pole jooniselt praegu võimalik leida, kuid leida saab fokaaltasandi. Selleks joonistame kiirega PS paralleelse kiire TU , mis läbib läätses keskpunkti. Kõik kiirega TU paralleelsed kiired koonduvad läätses läbimise järel ühes fokaaltasandi punktis. Seega koonduvad kiired PS ja TU läätses läbimise järel ühes punktis. Kuna kiir PS murdub läätses ja liigub edasi piki joont SQ , siis asub kiirte SQ ja TU lõikepunkt fokaaltasandis. Fokaaltasand ristub optilise peateljega ja läbib fookust. Leidmaks fookuse asukohta, tõmbame optilisele peateljele ristsirge, nii et see läbiks joonte TU ja SQ lõikepunkti. Fookus asub optilise peatelje punktis, kust tõmmati ristsirge.

Leidsime vana joonise järgi eseme ja kujutise asukohad, läätses asukoha, fookuse ja optilise peatelje.

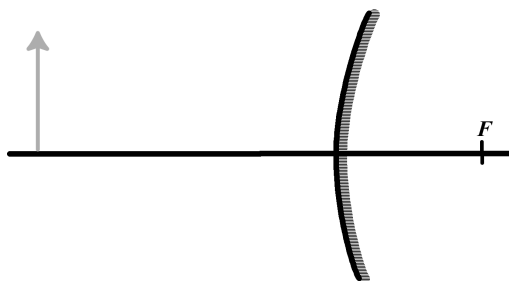


Joonis 24: Lahenduse kolmas samm.

4.3 Kumer- ja nõguspeeglid

Kumer- ja nõguspeeglid koondavad ja hajutavad valguskiiri nagu läätsed. Ülesannete lahendamisel võibki peeglit vaadelda läätsena, mis peegeldab endale langenud kiired tagasi. Kumerpeegel käitub nagu nõguslääts ja nõguspeegel käitub kui kumerlääts. Kujutise konstrueerimine käib nõgus- ja kumerpeeglites analoogiliselt kujutise konstrueerimisega läätsedes. Kiirte käigu konstrueerimise reeglid on toodud peatükkides 2.3.1 ja 2.3.2 .

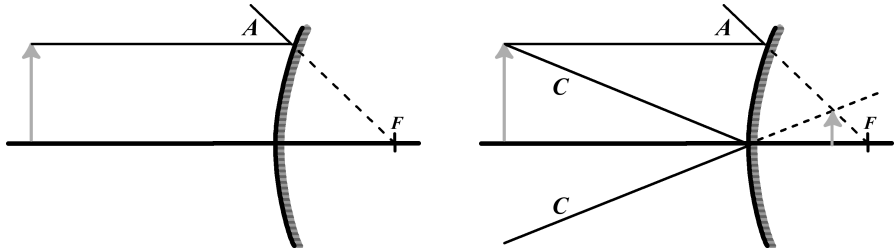
Näidisülesanne 4: Leidke noole kujutis kumerpeeglis.



Joonis 25: Neljas näidisülesanne.

Lahendus:

1. samm Joonistame kiire A, mille pikendus läbib peegli fookust. Kiire pikendust kujutatakse joonisel kriipsjoonega.



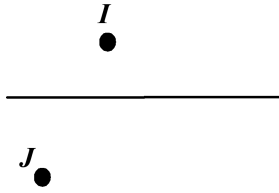
Joonis 26: Vasakul on lahenduse esimene samm ja paremal vastus.

2. samm Joonistame kiire C. Tagasipeegeldunud kiirt saab täpselt joonistada nii, et esmalt peegeldame noole kujutist horisontaalselt optilise peatelje suhtes. Saadud tagurpidi oleva noole tipust tõmbame joone peegli keskpunkti ja pikendame seda joont ka teisele poole peeglit. Kujutis tekib kiirte pikenduste lõikepunktis, mistõttu on tekkinud kujutis näiv.

Näidisülesanne 5: Antud on eseme asukoht I , kujutise asukoht J ja peegli optiline peatelg. Leidke peegli ja selle fookuse asukoht.

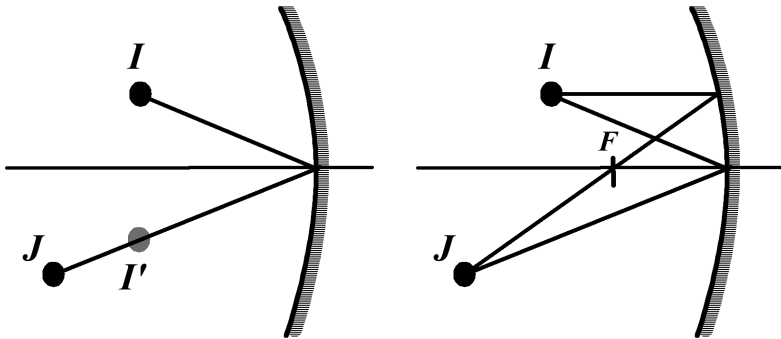
Lahendus:

1. samm Läätse korral saavad kujutis ja ese asuda erineval poolel optilist peatelge vaid siis, kui lääteks on kumerlääts. Sellega samaväärne kõverpeegel on nõguspeegel. Seega tekitab kujutise nõguspeegel.



Joonis 27: Viies näidisülesanne.

2. samm Tõmbame esemelt peeglile kiire C, mis läätse korral oma liikumissuunda ei muudaks. Peegli korral võrdub kiire langemisnurk peegeldumisnurgaga (nurki mõõdetakse optilise peatelje suhtes). Peegeldame eseme I asukohta optilise peatelje suhtes ja saame uue asukoha I' . Kui tõmmata jooned punktide I ja I' peegli keskpunkti, siis on nende joonte kalded optilise peatelje suhtes võrdsed. Peegilt peegeldunud kiir läbib ka punkti J , sest sinna tekib kujutis. Järelikult läbib kiir C nii punkti I' kui ka J . Tõmbame kiire läbi nende punktide. Kohas kus uus kiir lõikub optilise peateljega, asub peegli keskpunkt.



Joonis 28: Vasakul on lahenduse teine samm ja paremal vastus.

3. samm Peegli fookuse leidmiseks tõmbame punktist I kiire, mis liigub

peegli paralleelselt optilise peateljega ja peegeldumise järel läbib fookuse. Ka selle kiire peegeldus peab jõudma kujutise asukohta J . Seega joonistame esmalt optilise peateljega paralleelse kiire peegli ja seejärel peeglist kiire, mis läbib punkti J . Joonistatud kiir läbib peegli fookuse punktis, kus kiir lõikub optilise peateljega.

5 Kirjandus

1. Ü. Ugaste. Füüsika gümnaasiumile II. Avita, Tallinn, 1998.
2. T. Lukki. Füüsika.. Ilo, Tallinn, 2000.
3. I. Saveljev. Füüsika üldkursus 3. Valgus, Tallinn, 1979.
4. G. Mjakišev. B. Buhhovtsev. Füüsika 12. klassile, Valgus, Tallinn, 1989.
5. O. Mankin. Optika. TRÜ, Tartu, 1986.
6. G. Peets. Materjale füüsika elementaarkursuse kordamiseks. Valgus, Tallinn, 1984.
7. F. Pedrotti, L. Pedrotti. Introduction to Optics. Prentice Hall, New Jersey, 1992.
8. D. V. Sivuhin. Obštšii kurs fiziki. Optika. Nauka, Moskva, 1980.
9. D. Džankoli. Fisika 2. Mir, Moskva, 1989.
10. M. Laan. Optika. TÜ, 2000. (<http://www.physic.ut.ee/instituudid/efti/loengumaterjalid/optika/index.html>)

Kontrolltöök EF-2 lahendage ülesanded:

.....

Tähtaeg on