

# OPTIKA ÜLESANDED

---

## Saateks



Dotsent Aksel Haav

Käesoleva ülesannete kogu koostas kauaaegne optika lektor dotsent Aksel Haav (sünd. 1928, töötas Tartu Ülikoolis 1952-1996).

Trükituna ilmusid ülesanded 1980. aastal (Üldfüüsika ülesannete kogu. Optika. Aatomifüüsika. Tuumafüüsika; 3. trükk; koostanud A. Haav, J. Lembra, Tartu Riiklik Ülikool). Trükise skaneeris Liivia Sildos ja korrastas Stiina Kristal.

Allakirjutanu viis sisse minimaalsed terminoloogiaga seonduvad muudatused. Vahepeal toimunud muudatuste tõttu optika programmis ei leia kõigi ülesannete problemaatika kajastamist loengutes.

Jaauar 2012; Matti Laan

## Sisukord

1. Geomeetriline optika .....	2
2. Fotomeetria.....	9
3. Valguse interferents.....	11
4. Valguse difraktsioon.....	14
5. Optilised riistad. Spektraalaparaadid.....	15
6. Valguse polarisatsioon.....	18
7. Soojuskiirgus. Fotoefekt.....	21
8. Valguse rõhk. Doppleri efekt.....	22
9. Vastused	24
10. Lisad	30

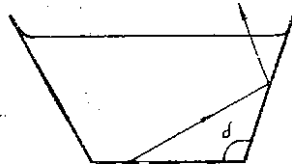
## 1. Geomeetriline optika

1. Laeval oleva raadiolokaatori kõrgus merepinnast on 20 m. Kui kaugel laevast asuva merepinnal asetseva objekti võib selle lokaatoriga avastada?
2. Kõpu tuletorni kõrgus merepinnast on 102 m. Kui kaugelt on tuletorni tuli nähtav reisijale, kes asub laeva pardal, mille kõrgus merepinnast on 10 m?
3. Läbipaistmatu ketas raadiusega  $r$  asetseb ekraanist kaugusel  $d$ . Kettakujulise valgusallikaga valgustamisel heidab ketas ekraanile täisvarju raadiusega  $r_1$  ja poolvarju raadiusega  $r_2$ . Ketaste tsentreid ühendav sirge on nendega ja ekraaniga risti. Arvutada valgusallika raadius ja kaugus valgustatavast kettast.
4. Millise Kuu ja Maa vahekauguse korral on Päikese varjatus täielik ja millise kauguse korral rõngakujuline, kui on teada, et Kuu tsentri kaugus maapinnast  $d$  muutub vahemikus  $3,6 \cdot 10^4$  km kuni  $4,0 \cdot 10^4$  km?
5. Tuletada valguse peegeldumis- ja murdumisseadus Huygeni printsiibi põhjal.
6. Tuletada valguse peegeldumis- ja murdumisseadus, lähtudes Fermat' printsiibist.
7. Tõestada, et tasapeegli pööramisel nurga  $\varphi$  võrra, kui langeva kiire asend jääb endiseks, pöördub peegeldunud kiir nurga  $2\varphi$  võrra.
8. Kaks tasapeeglit lõikuvad teravnurga  $\varphi$  all. Peeglitele langeb lõikejoonega risti asetsevas tasapinnas olev valguskiir. Näidata, et teiselt peeglit peegeldunud kiire suuna ja esimesele peeglile langeva kiire suuna vaheline nurk  $\delta$  ei sõltu langemisnurgast. Arvutada  $\delta$ .
9. Tasaparalleelse klaasplaadi alumine pind on hõbetatud. Plaadi paksus on 1,0 cm ja murdumisnäitaja 1,73. Selle plaadi ülemisele pinnale langeb valguskiir, mille langemisnurk on  $60^\circ$ . Osa langenud valgusest peegeldub, osa siseneb plaati, peegeldab alumiselt pinnalt ja, murdudes teist korda ülemisel pinnal, pöördub tagasi õhku. Peegeldunud valguskiired on teineteisega paralleelsed. Arvutada kiirtevaheline kaugus.
10. Tasaparalleelsele klaasplaadile paksusega 3,0 cm langeb valguskiir  $70^\circ$ -se langemisnurga all. Arvutada plaati läbinud kiire nihe langeva kiire suhtes, kui plaadi murdumisnäitaja on 1,52.
11. Valguskiir langeb 2,5 cm paksusele klaasplaadile. Kiire langemisnurk on  $60^\circ$ . Plaati läbinud kiir on nihkunud langeva kiire suhtes 1,3 cm võrra. Leida klaasi murdumisnäitaja.
12. Valguskiir läbib mitu erineva murdumisnäitajaga keskkonda, mis on üksteisest eraldatud paralleelsete tasapindadega. Tõestada, et kihte läbinud kiire suund sõltub ainult langeva kiire suunast ja esimese ning viimase keskkonna murdumisnäitajast.
13. Kirjutada valguse peegeldumisseadus vektorkujul, kui langeva kiire suunaline ühikvektor on  $\vec{k}_0$  ja peegeldunud kiire suunaline ühikvektor  $\vec{k}$ . Pinnanormaal kiire langemispunktis on antud ühikvektoriga  $\vec{N}$ , mille positiivne suund on teisest keskkonnast esimesse.
14. Tõestada, et kolmelt üksteisega risti asetsevalt peeglit peegeldunud valguskiire levimissuund on vastupidine langeva kiire levimissuunaga.
15. Kirjutada valguse murdumisseadus vektori kujul, kui langeva kiire suunaline ühikvektor on  $\vec{k}_0$  ja murdunud kiire suunaline ühikvektor  $\vec{k}_2$ . Pinnanormaal  $\vec{N}$  on suunatud teisest keskkonnast esimesse.

16. Inimene vaatab jõe põhjas asuvat kivikest, kusjuures vaatesuund moodustab veepinnaga  $30^\circ$ -se nurga. Arvutada jõe tõelise sügavuse ja näiva sügavuse suhe. Kui suur on see suhe, kui vaatesuund on veepinnaga risti?
17. Inimene vaatab enda kujutist peeglis, mis asetseb veega täidetud anuma põhjas. Kui kaugel vaataja silmast on selle ebakujutis peeglis, kui siia asetseb 5 cm kõrgusel veepinnast ja peegel 8 cm sügavusel?
18. Mikroskoobi aluslual on 3,0 mm paksune klaasplaat. Mikroskoop teravustatakse plaadi ülemisele pinnale, seejärel nihutatakse mikroskoobi tuubust allapoole, kuni muutub nähtavaks plaadi alumine pind. Nihke suurus on 2,0 mm. Arvutada klaasi murdumisnäitaja.
19. Kuidas nihkub fotoaparaadi objektiivi fookus, kui aparaadi sisse valguskiirte teele paigutada tasaparalleelne klaasplaat paksusega 6,0 mm, murdumisnäitajaga 1,5. (Objektiiv on tugevasti diafragmeeritud.)
20. Ese asetseb 150 mm kaugusel tasaparalleelsest klaasplaadist. Eset vaadeldakse läbi plaadi, kusjuures vaatesuund on risti plaadiga. Leida eseme kujutise kaugus vaatlejapoolsest tahust, kui plaadi paksus on 45 mm.
21. Valguskiir langeb homogeensele kerale, mille murdumisnäitaja on  $n$ . Kas murdunud kiir võib keras täielikult peegelduda?
22. Descartes'i teooria kohaselt tekib vikerkaar päikesekiirte vihmapiiskades peegeldumise tulemusena. Piisas ühe korra peegeldunud kiired annavad nn. esimest järku vikerkaare. Piisas kaks korda peegeldunud kiired annavad teist järku vikerkaare. Vikerkaare nurksuuruse võib määrata tingimusest, et nurk  $\delta$  langeva kiire ja pärast peegeldumist piisast väljunud kiire vahel peab olema minimaalne. Millise nurga  $\alpha$  all peab langema valguskiir piisa pinnale, et esineks kiire minimaalne kõrvalekalle ühe- ja kahekordse peegelduse järel? Leida esimest järku vikerkaare nurklaius. Tõestada, et tegemist on piiska läbinud kiire minimaalse kõrvalekaldega. Vee murdumisnäitaja punase valguse jaoks  $n_p = 1,329$  ja violetse valguse jaoks  $n_v = 1,343$ .
23. Descartes'i teooria kohaselt võivad esineda kahest kõrgemat järku vikerkaared, kui peegelduste arv veepiisas on suurem kui 2. Oletades, et valguskiir peegeldub piisas  $N$  korda, leida langemisnurk  $\alpha$ , millele vastab piisast väljunud kiire ekstremaalne kõrvalekalle langeva kiire suhtes.
24. Lähtudes valguse murdumisseadusest näidata, et valguskiire tee kõverusraadius  $\rho$  aeglaselt muutuva murdumisnäitajaga keskkonnas avaldub valemiga  $\frac{1}{\rho} = \frac{d}{dn}(\ln n)$ . (Tuletis on võetud normaali suunas.)
25. Tuletada valguskiire trajektoori võrrand valguse levimisel atmosfääris, eeldusel, et õhu murdumisnäitaja sõltub kaugusest maakera keskpunktist.
26. Tuletada valem astronoomilise refraktsiooni arvutamiseks eelmises ülesandes tehtud eeldusel.
27. Astronoomilise refraktsiooni arvutamisel eeldatakse, et  $n - 1$  on võrdeline õhu tihedusega. Tuletada refraktsiooni arvutamiseks valem, eeldusel, et õhu tihedus sõltub kõrgusest kooskõlas baromeetrilise valemiga.
28. Absoluutne optiline riist annab laiade kiirtekimpude korral igast esemeruumi punktist stigmaatilise kujutise. Maxwelli järgi on selliseks riistaks pidevalt muutuva murdumisnäitajaga sfäärilise sümmeetriaga keskkond. Maxwell nimetas seda "kalasilmaks". Selles keskkonnas on valguskiire trajektoor ringjoon. Tõestada, et selle keskkonna suvalisest punktist  $P$  väljunud valguskiirte teed on ringjooned, aia lõikuvad mõnesuguses punktis  $P'$ , mis on punkti  $P$  stigmaatiline kujutis. Tõestada, et murdumisnäitaja avaldub seosega  $n = \frac{c}{r^2 + \rho^2 - b^2}$ , kus  $r$  on

vaadeldava punkti P kaugus sümmeetriakeskpunktist,  $\rho$  - valguskiire tee kõverusraadius, b - ringjoone keskpunkti ja sümmeetriakeskpunkti vaheline kaugus, C - konstant.

29. Klaasi ja vee murdumisnäitajate suurused on kollase valguse jaoks vastavalt 1,52 ja 1,33. Arvutada täielike sisepeegeldumise piirnurga suurus järgmiste süsteemide korral: 1) klaas - õhk, 2) vesi - õhk, 3) klaas - vesi.
30. Silindrikujuline klaas vedelikuga on asetatud mündile, mida vaadatakse läbi klaasi külgsena. Arvutada vedeliku murdumisnäitaja minimaalne väärtus, mille puhul vaatleja ei näe münti.
31. Veega täidetud anuma põhja alla on asetatud ese A (vt. joon. 1). Kui suur peab olema nurk  $\delta$ , et läbi anuma külgsena ei oleks eset näha?



**Joon. 1.**

32. Valgusjuhis kasutatakse flintklaasist ( $n = 1,75$ ) niite, mis on pealt kaetud kroonklaasi ( $n = 1,48$ ) kihiga. Leida maksimaalne langemisnurk, mille korral valguskiir levib veel valgusjuhis.
33. Sfääriline pind kõverusraadiusega R eraldab esemeruumi (murdumisnäitaja n) kujutiseruumist (murdumisnäitaja n'). Piirdudes paraksiaalsete kiirtega, leida punkti P koordinaatide x, y, z ja tema kujutise P' koordinaatide x', y', z' vaheline seos. X-teljeks võtta optiline telg ja koordinaatide alguspunktiks sfäärilise pinna lagitapp.
34. Kasutades eelmise ülesande tulemusi, näidata, et tsentreeritud optilise süsteemi korral paraksiaalse optika lähenduses punkti P koordinaadid x, y, z on seotud punkti P kujutise P' koordinaatidega x', y', z' järgmiste valemitega:

$$x' = \frac{Ax + B}{ax + b}; \quad y' = \frac{Cy}{ax + b}; \quad z' = \frac{Cz}{ax + b},$$

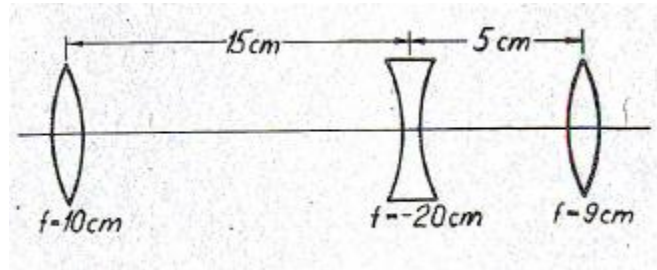
kus A, B, C, a, b on antud optilise süsteemi korral konstandid, mis sõltuvad koordinaatide alguspunkti asukohast. Koordinaatide alguspunktiks valida suvaline punkt optilisel teljel.

35. Väljendada tsentreeritud optilise süsteemi fookuste, peapunktide ja sõlmpunktide kaugused konstantide A, B, C, a, b kaudu.
36. Leida ülesandes 34 saadud võrrandite kuju, kui koordinaatide alguspunktiks võtta a) peapunktid (vastavad koordinaadid olgu  $\zeta, \eta, \xi$ ), b) fookused (koordinaadid X, Y, Z).
37. Leida murdva sfäärilise pinna peapindade asukohad ja fookuskaugused.
38. Arvutada murdva sfäärilise pinna fookuskaugused süsteemile õhk - klaas, kui pinna kõverusraadius on 1) 10 cm ja 2) - 20 cm. Tehke joonis!
39. Õhukese tasakumera klaasläätse pind kõverusraadiusega  $r = -90$  cm on hõbetatud. Arvutada sellise peegli fookuskaugus, kui valgus langeb tasapinnale. Tehke valguskiire käigu kohta joonis.
40. Kaksikkumera läätse üks pind on hõbetatud. Leida sellisel viisil valmistatud peegli fookuskaugus, kui läätse aine murdumisnäitaja on n ja pindade kõverusraadiused  $r_1$  ja  $r_2$ . Hõbetatud on pind kõverusraadiusega  $r_2$ . Valgus langeb katmata läätse poolele.

41. Klaasist kaksikkumera lääts üks sfääriline pind kõverusraadiusega  $r_2 = -2,0$  m on hõbetatud. Teise pinna kõverusraadius  $r_1 = 1,0$  m. Arvutada sellise peegli fookuskaugus, kui valgus langeb hõbetamata pinnale. Lääts võib lugeda õhukeseks.
42. Sfäärilise reflektoriga, mille peegli kõverusraadius on 20 m, saadi Päikese kujutis. Arvutada saadud kujutise läbimõõt.
43. Sfäärilise kumerpeegli kõverusraadius on 120 cm. Peeglist 10 cm kaugusele on asetatud 2 cm kõrgune ese. Arvutada kujutise kaugus peeglist ja kujutise kõrgus.
44. Nõguspeegli kõverusraadius on 40 cm. Leida eseme asukoht, mille korral kujutis oleks: 1) tõeline ja kaks korda suurendatud ja 2) näiv ning suurendatud samuti kaks korda.
45. Nõguspeegli optilisel teljel asetseb väike valgusallikas. Esitada graafiliselt kujutise kauguse sõltuvus valgusallika kaugusest, kui valgusallikas läheneb lõpmatusest fookuseni.
46. Wood kasutas teleskoobi peeglina sfäärilist elavhõbeda pinda, mis omandab sellise kuju, kui horisontaalselt asetsev elavhõbedaga täidetud anum panna väikese konstantse nurkkiirusega pöörlema. Arvutada niisuguse peegli fookuskaugus, kui anuma pöörlemiskiirus on 1,0 rad/s.
47. Lähtudes Fermat' printsiibist, tuletada õhukese lääts valem.
48. Arvutada õhukese kaksikkumera lääts fookuskaugus, kui lääts piiravate sfääriliste pindade kõverusraadiused on:  $r_1 = 40$  mm ja  $r_2 = -60$  mm.
49. Arvutada tasakumera lääts fookuskaugus, kui lääts paksus tsentris on 5,0 mm ja lääts diameeter 5,0 cm. Valgus langeb tasapinnale. Lääts aine murdumisnäitaja on  $3/2$ .
50. Klaaslääts fookuskaugus õhus on 10,0 cm. Lääts asetatakse vette. Leida lääts fookuskaugus vees.
51. Lääts fookuskauguseks võetakse temast kaugel asetseva eseme kujutise kaugus. Kui suur peab olema kaugus läätsest, et fookuskauguse määramisel tehtav viga ei ületaks  $p\%$ ?
52. Klaaslääts, mille murdumisnäitaja on 1,53, asetatakse väävelsüsinikku ( $n = 1,64$ ). Kuidas muutub selle lääts fookuskaugus võrreldes fookuskaugusega õhus?
53. Ese asetseb 10 cm kaugusel õhukesest läätsest. Läätsuga saadav eseme kujutis on päripidine joonsuurendusega 2. Arvutada lääts fookuskaugus.
54. Klaaslääts optiline tugevus on +5,0 dioptriat. Kui sama lääts asetada vedelikku, on tema optiline tugevus -1,0 dioptriat. Arvutada vedeliku murdumisnäitaja, võttes klaasi murdumisnäitajaks 1,52.
55. Positiivse läätsuga projekteeritakse objekt ekraanile. Saadud kujutise kõrgus on  $y_2$ . Jättes ekraani ja objekti paigale, lähendatakse lääts ekraanile seni, kuni tekib taas objekti terav kujutis ekraanile. Kujutise kõrgus on  $y_2'$ . Arvutada eseme tõeline kõrgus  $y_1$ .
56. Hõõglambi ja ekraani vaheline kaugus on 100 cm. Lääts, mis on paigutatud nende vahele, annab hõõglambi terava kujutise ekraanil lääts kahe asendi korral, kusjuures läätsedevaheline kaugus on 20 cm. Arvutada lääts fookuskaugus.
57. Õhukesest koondavast läätsest mõnesugusel kaugusel asetseb ese, millest saadakse ekraanil terav kujutis. Joonsuurendus on sel juhul  $M_1$ . Seejärel lähendatakse eset läätsele lõigu  $l$  võrra. Ekraani nihutamise saadakse taas terav kujutis. Joonsuurendus on nüüd  $M_2$ . Arvutada lääts fookuskaugus.
58. Õhukese kumerläätsuga, mille murdumisnäitaja on 1,75, saadi esemest tõeline kujutis, mis asus 12 cm kaugusel läätsest. Lääts ja ese asetati vette, kusjuures nendevaheline kaugus jäi endiseks. Kujutis tekkis nüüd 75 cm kaugusel läätsest. Leida lääts fookuskaugus õhus.
59. Pikksilma objektiivi fookuskaugus on 60 cm ja okulaari fookuskaugus 4 cm. Objektiivi ja okulaari aine murdumisnäitaja  $n = 1,5$ . Vette asetatud pikksilm täitub veega. Millise

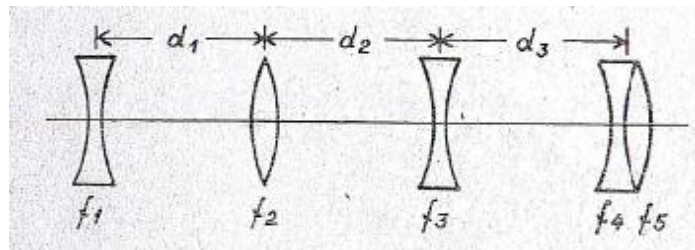
fookuskaugusega samast klaasisordist valmistatud objektiivile tuleks kasutada, et oleks võimalik vees vaadelda kaugel asuvaid esemeid?

60. Galilei pikksilma pikkus on 60 cm. Ta annab 5-kordse nurksuurenduse. Objektiiv ja okulaar vahetati koondavate läätsedega, kuid pikksilma suurendus jäi samaks. Arvutada mõlema objektiivi ja okulaari fookuskaugused.
61. Pikksilm, mille objektiivi fookuskaugus on 50,0 cm, fokuseeriti lõpmatusse. Kui palju peame nihutama okulaari, et selgesti näha 50,0 m kaugusel olevaid esemeid?
62. Joonisel 2 kujutatud läätsede süsteemile langeb vasakult paralleelne valguskiirte kimp. Leida süsteemi fookuse asukoht viimase läätse suhtes. Kujutada kiire käiku süsteemis.



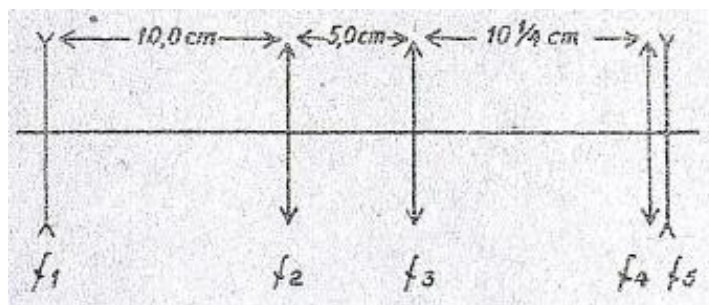
Joon. 2.

63. Arvutada alljärgneva läätsede süsteemi fookuskaugus viimase läätse suhtes. Läätsed lugeda õhukesteks, kusjuures  $f_1 = -10$  cm;  $f_2 = 5$  cm;  $f_3 = -5$  cm;  $f_4 = -20$  cm;  $f_5 = 10$  cm;  $d_1 = 10$  cm;  $d_2 = 10 \frac{2}{3}$  cm;  $d_3 = 10$  cm.



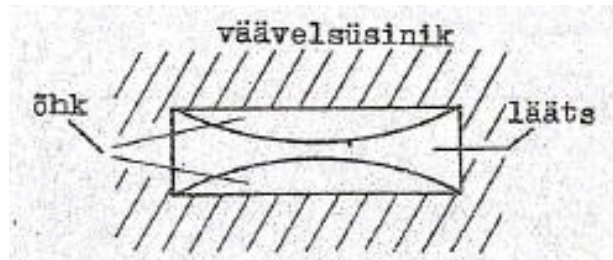
Joon. 3.

64. Arvutada alljärgneva läätsede süsteemi fookuskaugus viimase läätse suhtes. Kõik süsteemi kuuluvad läätsed on õhukesed. Taha joonis, kus oleks näha kiire käik läbi süsteemi ( $f_1 = -10$  cm;  $f_2 = 5,0$  cm;  $f_3 = 5,0$  cm;  $f_4 = 10,0$  cm;  $f_5 = -20,0$  cm).



Joon. 4.

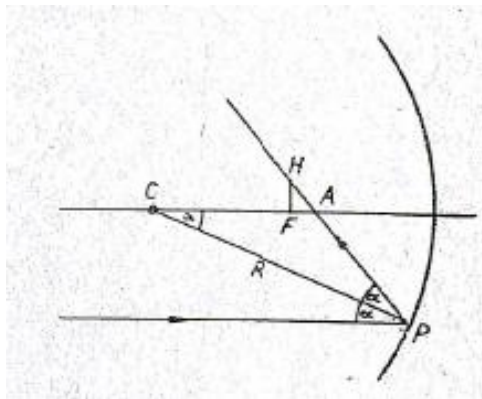
65. Mikroskoobi objektiivi fookuskaugus on 1,0 cm ja okulaari fookuskaugus 3,0 cm. Kaugus objektiivi ja okulaari vahel on 20,0 cm. Millisel kaugusel peab asetsema vaadeldav ese objektiivist, et lõplik kujutis oleks silmast 20 cm kaugusel?
66. Kaksiknõgusa läätses mõlemad pooled on kaetud õhukeste tasaparalleelsete klaasplaatidega. Läätses ja plaadi vahele jääb õhk. Kogu süsteem on paigutatud väävelsüsinikku joonisel 5 näidatud viisil. Arvutada sellise süsteemi fookuskaugus, kui läätses pindade kõverusraadiused on - 10,0 cm ja 15,0 cm.



**Joon. 5.**

67. Fotoaparaadi objektiivi fookuskaugus on 12 cm. Soovitakse fotografeerida eset, mis asetseb 15 cm kaugusel objektiivist. Filmi ja objektiivi vaheline kaugus on 20 cm. Millise fookuskaugusega lääts tuleb paigutada objektiivi ette, et eespool märgitud fotografeerimine oleks teostatav? (Mõlemad läätsed lugeda õhukesteks).
68. Nõguspeeglile, mis asetseb horisontaalselt, valati vett. Peegel annab esemest tõelise kujutise ekraanil, mis on 54 cm kaugusel peeglist. Ekraani lähendamisel peeglile ilmub kujutis uuesti, kui kaugus peeglist on 36 cm. Arvutada peegli kõverusraadius  $R$  ja eseme kaugus a peeglist.
69. Kaks positiivset läätses fookuskaugusega  $f_1$  ja  $f_2$  asetsevad teineteisest kaugusel  $d$ . Kui kaugele esimesest läätses tuleb asetada ese, et kujutise joonsuurendus oleks 1? Millise  $d$  väärtuse korral on see võimalik?
70. Optiline süsteem koosneb kahest läätses fookuskaugustega  $f_1$  ja  $f_2 = 3 f_1$ , mis asetsevad  $2 f_1$  kaugusel teineteisest. Ese asetseb optilisel teljel kaugusel  $a$  lähemafookuselisest läätses. Milliste  $a$  väärtuste korral süsteem annab asemest päripidise kujutise?
71. Kahe õhukese läätses fookuskaugused on  $f_1$  ja  $f_2$ . Läätses asetsevad teineteisest kaugusel  $d$  ning moodustavad tsentreeritud süsteemi. Arvutada süsteemi fookuskaugus  $f$  ja peapindade asukohad, kui läätses on õhus ja kui läätses vahel on vesi.
72. Kaks tasakumerat läätses on asetatud teineteise lähedale nii, et nende tasapinnad on vastakuti. Tõestada, et fookuskaugus antud juhul on suurem kui läätses asetsemisel tihedalt teineteise vastas.
73. Kaksikkumera klaasläätses pindade kõverusraadiused on  $r_1 = 15$  cm ja  $r_2 = -10$  cm. Klaasi murdumisnäitaja on 1,5. Läätses paksus on 3,0 cm. Lääts asub õhus. Leida selle läätses peatasandid ja fookused. Tehke joonis.
74. Kaksiknõgusa klaasläätses pindade kõverusraadiused on  $r_1 = -15$  cm ja  $r_2 = 10$  cm. Klaasi murdumisnäitaja  $n = 1,5$ . Läätses paksus  $d = 3,0$  cm. Lääts asub õhus. Leida läätses peatasandite ja fookuste asendid. Tehke joonis.
75. Leida kerakujulise läätses peapunktide ja fookuste asukohad, kui lääts on a) veest; b) klaasist. Milline peab olema selle läätses aine murdumisnäitaja, et fookused asuksid tema sees?
76. Veega täidetud ümmargune kolb töötab kui kumerlääts. Määrata kolvi läbimõõt, kui Päikese kujutis tekib 3,0 cm kaugusel kolvi seinast.

77. Klaaskera raadius on 4 cm. Ese asub 6 cm kaugusel kera pinnast. Leida kujutise kaugus kera tsentrist ja suurendus .
78. Õhukeseseinaline klaaskera on täidetud veega. Vaatleja jälgib kera sees piki diameetrit liikuvat kübemekest. Kuidas muutub selle kübemekeste kujutise asukoht, kui see liigub diameetri kaugemast otsast lähema otsani? Kera diameeter on 10 cm.
79. Millisel juhul kaksikkumer lääts, mis on valmistatud ainest, mille murdumisnäitaja on suurem kui ümbritseva keskkonna murdumisnäitaja, toimib kui tasaparalleelne plaat?
80. Millisel juhul on õhus asetsev kaksikkumer klaaslääts hajutav?
81. Millistel juhtudel ei sõltu paksu lääts fookuskaugus paksusest ja ühtib täpselt õhukese lääts fookuskaugusega?
82. Kui sfäärilise peegli nurkava  $\alpha$  (joon. 6) on suur, siis optilisest teljest küllalt kaugel olevad paralleelsed valguskiired pärast peegeldumist ei löiku optilise teljega fookuses, vaid sellest kaugusel AF. Kaugust AF nimetatakse peegli sfääriliseks pikiaberratsiooniks, kaugust FH - sfääriliseks põikaberratsiooniks. Tuletada valem nende aberratsioonide arvutamiseks sõltuvalt nurkava  $\alpha$  ja peegli kõverusraadiuse R suurusest.



Joon. 6.

83. Sfäärilise nõguspeegli ava diameeter on 40 cm ja kõverusraadius 60 cm. Arvutada äärmiste, paralleelselt optilise teljega peeglile langevate kiirte piki- ja põikaberratsiooni suurus.
84. Sfäärilise nõguspeegli fookuskaugus on 20,0 cm. Arvutada kiirtekimbu diameeter, mille äärmiste kiirte korral pikiaberratsiooni suurus ei ületa 2 % fookuskaugusest.
85. Tuletada aberratsioonivaba murdva pinna võrrand. Leida fokaalpinna võrrandid juhul, kui  $n_1 < n_2$  ja  $n_1 > n_2$ .
86. Tuletada aberratsioonivaba peegeldava pinna võrrand. Leida fokaalpinna võrrand.
87. Tõestada, et sfäärilisel murdval pinnal on kolm paari aplanaatseid punkte.
88. Arvutada punaste, kollaste ja siniste kiirte jaoks fookuskaugus, kui kaksikkumera lääts kõverusraadiused  $R_1 = /R_2/ = 981,4$  mm. Lääts aine murdumisnäitaja väärtused:

$\lambda$ (nm)	$n$
668,2	1,4835
527,0	1,4907
404,6	1,4997

Äärmiste fookuste vahelist kaugust nimetatakse kromaatiliseks pikiaberratsiooniks. Arvutada selle suurus.



89. Olgu eelmises ülesandes kirjeldatud läätsede diameeter 5 cm. Arvutada punastele ja sinistele kiirtele vastavate hajumisringide diameetrid, kui kujutis on terav kollaste kiirte kasutamisel.
90. Tõestada, et kaks samast materjalist valmistatud õhukest läätsede moodustavad fookuskauguse suhtes akromaatsüsteemi, kui läätsedevaheline kaugus

$$d = \frac{f_1 + f_2}{2}.$$

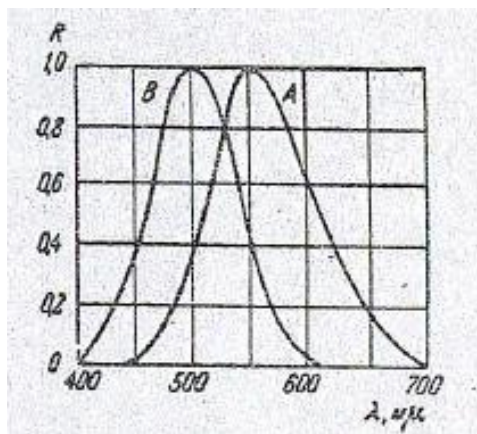
91. Üks Kelneri okulaaridest on akromatiseeritud fookuskauguse suhtes. Okulaar koosneb kahest positiivsest läätsedest, nende vaheline kaugus  $d = f_1$ , kus  $f_1$  on esimese läätsede fookuskaugus. Arvutada teise läätsede fookuskaugus  $f_2$  ja süsteemi fookuskaugus  $f$ .
92. Arvutada akromaatsüsteemi kroonklaasist ( $n_1 = 1,5179$ ,  $v_1 = 60,2$ ) ja flintklaasist ( $n_2 = 1,6202$ ,  $v_2 = 36,2$ ) valmistatud tasakumer liitobjektiiv fookuskaugusega 1,00 m.

## 2. Fotomeetria

93. Punktikujuline valgusallikas kiirgab ruuminurka suurusega 0,2 steradiaani valgusvoo 10 lm. Arvutada selle valgusallika valgustugevus.
94. 40 W elektrihõõglambi kogu valgusvoog on 380 lm. 40 % sellest valgusvoost langeb 5 m<sup>2</sup> pinnale. Määrata selle pinna keskmine valgustatus.
95. Kitsasfilmi kinoaparaadis kasutatakse lampi, mille valgusvoog on 4800 lm. Projektori töötamisel on ekraani (2 x 1,5 m<sup>2</sup>) keskmine valgustatus 40 lx. Milline osa lambi valgusenergiast langeb ekraanile?
96. Normaalselt maapinnale langevad päikesekiired tekitavad valgustatusena 10<sup>5</sup> lx. Kui suur on Päikese kujutise valgustatus, mis saadakse aberratsioonivaba läätsel, mille läbimõõt on 5 cm ja fookuskaugus 20 cm? Päikese nurksuurus on 30'.
97. Punktikujulisest valgusallikast tugevusega 15 cd on asetatud 30 cm kaugusele kumerlääts fookuskaugusega 20 cm. Läätselt 80 cm kaugusel on ekraan, millel tekib ümmargune valguslaik. Arvutada laigu keskmine valgustatus.
98. Määrata pinna valgustatus 4,0 m kaugusel punktikujulisest valgusallikast, mille valgustugevus on 180 cd, kui kiirte langemisnurk on 37°.
99. Horisontaalse tasapinna kohale 2,0 m kõrgusele on asetatud kaks lampi, kusjuures lampidevaheline kaugus on 1,0 m. Kummagi lambi valgusvoog on 300 lm. Määrata pinna valgustatus lampide all asetsevates punktides. Lampe võib vaadelda kui punktvalgusallikaid.
100. Laua kohal 1,5 m kõrgusel ripub lamp, mille valgusvoog on 300 lm. Kui kaugel lambi projektsioonist lauale asuvad punktid, mille valgustatus on 10 lx? Lampi võib pidada punktallikaks.
101. Võrdkülgse kolmnurga tippudesse on asetatud ühesugused punktvalgusallikad. Tõestada, et väike plaadike, mis asub selle kolmnurga keskpunktis meelevõrdse nurga all kolmnurga külgede suhtes kuid risti kolmnurga tasapinnaga, on mõlemalt poolt võrdselt valgustatud.
102. Tänavat valgustatakse 10 m kõrguste postide otsas paiknevate ja üksteisest võrdsel kaugusel olevate hõõglampidega. Arvutada postidevaheline kaugus, mille korral postide vahel oleks valgustatus mitte üle kümne korra väiksem kui postide all.
103. Ruudukujulise laua keskpunkti kohal ripub lamp, mida saab nihutada üles-alla. Lampi võib pidada punktvalgusallikaks, mille valgusvoog on 314 lm. Arvutada maksimaalne valgustatus laua nurkades, kui laua serva pikkus on 2,0 m.

104. Ümmarguse laua keskpunkti kohal ripub üles-alla nihutatav hõõglamp. Leida lambi kõrgus, mille korral laua äärpunktide valgustatus oleks maksimaalne.
105. Tasapinnast kaugusel  $a$  asub hõõguv traatrõngas raadiusega  $R$ , mille igalt pikkusühikult kiirgav valgusvoog on  $\Phi$ . Rõngas on paralleelne tasapinnaga. Leida valgustatus selle rõnga projektsiooni tsentris tasapinnal.
106. Lõpmata pikk sirge hõõgniit kiirgab valgusvoo  $f = 10$  lm/m. Arvutada hõõgniidist 10 cm kaugusel asuva paralleelse tasapinna maksimaalne valgustatus.
107. Lahendada eelmine ülesanne, kui niidi pikkus on 20 cm.
108. Ühtlaselt hõõguv ümmargune plaat raadiusega  $R$  on asetatud paralleelselt tasapinnaga kaugusele  $a$ . Määrata valgustatus selle plaadi projektsiooni keskpunktis tasapinnal, kui plaadi iga pindalaühiku valgusvoog on  $\varphi$ (lm).
109. Rõngas, mille sisemine raadius on  $R_1$  ja välimine  $R_2$ , kiirgab igalt pinnauhikult valgusvoo  $f$ . Arvutada valgustatus rõnga tasandiga paralleelsel tasapinnal punktis, mis on rõnga keskpunkti projektsiooniks tasandil. Tasanditevaheline kaugus on  $a$ .
110. Ühtlaselt hõõguva plaadi valgus on  $R$ . Plaat on ristkülik, mille pikkus on  $a$  ja laius  $b$ . Plaadist kaugusel  $a/2$  asetseb temaga paralleelne tasapind. Arvutada pinna valgustatus punktis, mis on plaadi keskpunkti projektsiooniks tasapinnale.
111. Milline peab olema laua kohal rippuva lambi valgustugevuse jaotus, et laua valgustatus oleks kõikides punktides ühesugune?
112. Maapinnal asub horisontaalselt väike laud. Arvutada selle laua valgustatus  $E$ , mis on tingitud taeva hajunud valgusest. Taeva heledus  $B$  lugeda konstantseks.
113. Kui päikesekiired langevad risti maapinnaga, siis on valgustatus  $10^5$  lx. Oletades, et Päikese kiirgus allub Lambert'i seadusele ja jättes arvestamata valguse neeldumise atmosfääris, arvutada Päikese heledus.
114. Valgustiks on ühtlaselt helendav kera, mille raadius  $r_0 = 6,0$  cm. Valgusti heledus  $B = 2,0 \cdot 10^4$  nt ja see ei sõltu suunast. Valgusti on 3,0 m kõrgusel põrandast. Arvutada põrandale valgustatus punktis, mis on valgusti keskpunkti projektsiooniks põrandal.  
 $1 \text{ nt (nitt)} = 1 \text{ cd m}^{-2}$
115. Laes ripub horisontaalselt kettakujuline valgusti, mille diameeter on 80 cm. Valgusti kaugus põrandast on 2,00 m. Valgusti keskpunkti projektsioonis on põrandale valgustatus 50 lx. Oletades, et valgusti kiirgab kooskõlas Lambert'i seadusega, arvutada selle heledus.
116. Valge paberilehe peegelduskoefitsient on 0,80 ja valguse hajumine toimub kooskõlas Lambert'i seadusega. Kui suur peab olema lehe valgustatus, et selle heledus oleks  $4,0 \cdot 10^3$  nt?  
 $1 \text{ nt (nitt)} = 1 \text{ cd m}^{-2}$
117. Pikksilma suurendus on 100. Kui suur peab olema pikksilma objektiivi diameeter, et kujutise heledus silma võrkkestal ei oleks väiksem palja silmaga saadava kujutise heledusest? Silmaava suuruseks võtta 4,0 mm. Valguse kadu pikksilmas mitte arvestada.
118. Leida Kuu kujutise heledus, kui vaatluseks kasutatakse teleskoopi, mille objektiivi diameeter on 75 mm ja suurendus 1) 20 korda, 2) 25 korda, 3) 50 korda. Silmaga nähtav Kuu heledus võtta ühikuks. Silmaava suuruseks võtta 3 mm.
119. Astronoomilise teleskoobi diameeter on 18 cm. Kogu optilist süsteemi läbib pool pealelangavast valgusest, leida 1) selle teleskoobiga nähtavate nõrgimate tähtede suurusjärk, 3) soodsaim suurendus tähtede vaatlemiseks ja 3) mitmenda suurusjärgu tähed on nähtavad 10-kordse suurenduse korral. Silmaava diameeter on 3 mm. Märkus: tähe suurusjärgu suurenemisele ühiku võrra vastab selle näiva heleduse vähenemine  $\sqrt[5]{100} \approx 2,5$  korda.

120. Suurima töötava teleskoobi objektiivi diameeter on 6,0 m. Silmaga on võimalik näha 6. suurusjärgu tähti. Millise suurusjärgu tähti on võimalik näha selle teleskoobiga? Silmaava diameetriks võtta 4,0 mm. Valguse kadusid teleskoobis mitte arvestada.
121. Joonisel 7 on silma suhtelise tundlikkuse kõver. Kasutades seda kõverat, leida 10 lm monokromaatse valgusvoo võimsus, kui valguse lainepikkus on 600 nm ja vastavalt 460 nm. Kasutada kõverat A.



Joon. 7.

122. Lainepikkusele 510 nm vastava kiirgusvoo võimsus on 0,5 W ja lainepikkusele 650 nm vastava kiirgusvoo võimsus 5 W. Leida nendele kiirgusvoogudele vastav summaarne valgusvoog.

### 3. Valguse interferents

123. Millisel juhul liituvad kaks ühesuguse sagedusega elektromagnetilist võnkumist alati nii, et resultaativõnkumise intensiivsus on võrdne komponentvõnkumiste intensiivsuste summaga? Võnkumised võtta kujul:

$$\begin{aligned} \vec{E}_1 &= \vec{E}_{o1} \cos \omega t \\ \vec{E}_2 &= \vec{E}_{o2} \cos(\omega t + \delta) \end{aligned}$$

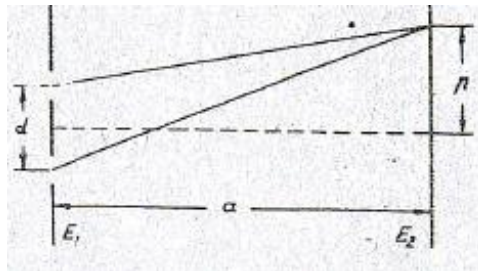
Kus  $\vec{E}_1$  ja  $\vec{E}_2$  on hälbed,  $\vec{E}_{o1}$  ja  $\vec{E}_{o2}$  võnkumise amplituudid,  $\omega$  - ringsagedus ja  $\delta$  - algfaaside vahe.

124. Kaks tasapinnalist monokromaatilist elektromagnetilainet lainepikkusega  $\lambda$  levivad teineteise suhtes väikese nurga  $\varphi$  all. Lained langevad ekraanile, mis on ligikaudu risti lainete levimissuundadega. Lainete elektrivektorid asuvad ühes tasandis. Näidata, et kahe naaberinterferentsiriba vaheline kaugus ekraanil ( $\Delta x$ ) on määratud seosega  $\Delta x = \frac{\lambda}{\varphi}$ . Lained võtta kujul

$$\begin{aligned} \vec{E}_1 &= \vec{E}_{o1} \cos(\omega t - \vec{k}_1 \vec{r} + \delta_1) \\ \vec{E}_2 &= \vec{E}_{o2} \cos(\omega t - \vec{k}_2 \vec{r} + \delta_2) \end{aligned}$$

kus  $\vec{k}_1$  ja  $\vec{k}_2$  on lainevektorid.

125. Youngi katses on kaugus tsentraalse riba ja esimese interferentsriba vahel 0,50 mm. Ekraanidevaheline kaugus 5,00 m ja avadevaheline kaugus ekraanis 5,0 mm (vt. joon. 8). Arvutada interfereeruva monokromaatilise valguse lainepikkus  $\lambda$ .



**Joon. 8.**

126. Youngi interferomeetri ühes õlas asub tasapõhjaline 0,0200 m pikkune klaasilinder. Silinder on täidetud õhuga ja termostateeritud. Interferentspilti on võimalik vaadelda ekraanil. Kasutatakse monokromaatilist valgust  $\lambda = 589$  nm. Kui sama silinder täita klooriga, nihkub interferentspilt 20,0 riba võrra. Arvutada kloori murdumisnäitaja, kui õhu murdumisnäitaja antud tingimustes on 1,000276.
127. Tuletada valem valguse lainepikkuse määramiseks interferentsikatses Fresneli peeglitega, kui valgusallika kaugus peeglite kokkupuutejoonest on  $r$ , ekraani kaugus kokkupuute joonest  $a_0$  ning interferentsriba laius  $\Delta x$ .
128. Tõestada, et Fresneli peeglite kasutamisel kaks näivat valgusallikat ja tõeline valgusallikas asuvad ringjoonel, mille keskpunktiks on peeglite lõikejoone ja valguse langemistasandi lõikepunkt.
129. Leida Fresneli peeglitega tekitatud interferentspildi intensiivsuse jaotus ekraanil.
130. Fresneli peeglite vaheline nurk on  $179^\circ 0'$ . Valgusallikas asetseb 8,0 cm ja ekraan 5,00 m kaugusel peeglite kokkupuutejoonest. Arvutada interferentsjoonte vaheline kaugus ekraanil, kui kasutatakse valgust lainepikkusega 600 nm.
131. Fresneli peeglitega saadakse interferentsipilt, kus interferentsjoonte vaheline kaugus on 1,0 mm, valgusallika kaugus peeglite kokkupuutejoonest 10,0 cm ja ekraani kaugus 1,00 m. Kasutatava valguse lainepikkus on 486 nm. Interfereeruvad kiired langevad ekraanile peaaegu risti. Arvutada peeglitevahelise nurga suurus.
132. Interferentspilt saadakse Fresneli biprismaga, mille asendi langeva valguse suhtes võime lugeda vastavaks kaldemiinimumi asendile. Prisma murdev nurk olgu  $\alpha$ , murdumisnäitaja  $n$ , valgusallika kaugus prismast  $a$  ja prisma ning ekraani vaheline kaugus  $b$ . Arvutada kaugus interferentspildi tsentri ja  $m$ -nda heleda riba vahel. Kasutatakse monokromaatilist valgust lainepikkusega  $\lambda$ .
133. Eelmise ülesande andmeid kasutades arvutada interferentsribade arv ekraanil.
134. Kaksikkumer lääts on lõigatud piki optilist telge pooleks. Pooled on nihutatud teineteisest kaugusele  $d$ . Läätsede vahele tekkinud vahemik on kaetud ekraaniga. Monokromaatilist valgust andev valguspunkt asetseb läätsede endisel optilisel teljel läätsedest kaugusel  $|a| > f$ , kus  $f$  on läätsede fookuskaugus, läätsedest kaugusele  $l$  paigutatud ekraanil tekib interferentspilt. Arvutada ekraanil olevate maksimumide vaheline kaugus  $\delta x$ .
135. Läätsel, mille fookuskaugus on 50 cm, lõigatakse välja tsentraalne osa laiusega  $d$ . Mõlemad läätsede pooled ühendatakse. Ühel pool läätsede asetseb monokromaatilist valgust andev punktvalgusallikas ( $\lambda = 600$  nm). Teisel pool läätsede paikneb ekraan, millel tekib interferentspilt. Kahe kõrvuti oleva heleda riba vaheline kaugus  $\Delta x = 0,5$  mm. Ribadevaheline kaugus ei muutu ekraani nihutamisel piki optilist telge. Arvutada  $d$ .
136. Tõestada, et energiavoog seisvas valguslaines on võrdne nulliga.

137. Fotoplaad, mille pikkus on 1,0 cm, puudutab ühe otsaga peegli pinda. Plaadi teise otsa ja peegli vahele on asetatud vilgukivileheke paksusega  $1 \cdot 10^{-2}$  mm. Peeglile langeb risti pinnaga monokromaatne valgus. Arvutada kasutatava valguse lainepikkus, kui kahe tumeda riba vaheline kaugus plaadil on 0,025 cm.
138. Klaasplaadi ülemine ja alumine tasapind moodustavad kiilu, plaadile langeb risti paralleelne monokromaatne valgus lainepikkusega 0,500  $\mu\text{m}$ . Esimese ja viienda maksimumi vaheline kaugus on 16,0 mm. Arvutada kiilu nurk.
139. Arvutada seebiveekile minimaalne paksus, kui see näib peegeldunud valguses rohelisena ( $\lambda = 500$  nm). Nurk normaali ja silma langeva kiire vahel on  $35^\circ$ . Seebivee murdumisnäitaja  $n = 1,33$ .
140. Kaks poleeritud klaasplaati on asetatud teineteise peale, kusjuures ühe serva vahel on õhuke pabeririba. Vastasservad on surutud tihedalt teineteise vastu. Paberi paksus on 0,05 mm, plaatide pikkus 10 cm. Arvutada interferentsribade arv 1 cm plaadi pikkuse kohta, kui plaadile vaadata nurga  $\alpha = 60^\circ$  all normaali suhtes ja kui valgustamiseks kasutatakse Na-leegi valgust.
141. Na-leegi kujutis tekib peegeldumisel vertikaalsel traatraamil rippuvalt seebiveekilelt. Leegi kujutisel on rida horisontaalseid tumedaid ribasid, kusjuures  $3 \cdot 10^{-2}$  m ulatuses paikneb 6 riba. Arvutada kile pindade vahelise nurga suurus, kui vaatlemine toimub risti kilega.
142. Tasaparalleelsele klaasplaadile on asetatud tasakumer klaasläätis kõverusraadiusega R. Lääts ja klaasi vahel on õhk. Arvutada k-nda heleda rõnga ja m-nda tumeda rõnga raadius.
143. Tasaparalleelsele klaasplaadile on asetatud tasakumer klaasläätis kõverusraadiusega R. Lääts aine murdumisnäitaja on  $n_1$ , plaadi murdumisnäitaja  $n_2$  ja plaadi ning lääts vahelise keskkonna murdumisnäitaja  $n$ . Arvutada k-nda heleda rõnga ja m-nda tumeda rõnga raadius läbinud valguse jaoks, kui  $n_2 < n < n_1$ .
144. Arvutada 20. ja 21. heleda Newtoni rõnga vaheline kaugus, kui teise ja kolmanda rõnga vaheline kaugus on 1,0 mm. Rõngaid vaadeldakse peegeldunud valguses.
145. Newtoni rõngaste saamisel kasutatakse tasakumerat lääts, mille fookuskaugus on f. Leida see fookuskaugus, kui kolmanda heleda rõnga raadius on 1,10 mm, lääts murdumisnäitaja  $n = 1,60$  ja kasutatava valguse lainepikkus  $\lambda = 589$  nm. Rõngaid vaadeldakse peegeldunud valguses.
146. Tasakumer lääts, mille kõverusraadius on 100 cm, asetseb tasaparalleelsel klaasplaadil. Lääts ja plaadi vahele on valatud bensooli ( $n = 1,50$ ). Lääts ja plaadi murdumisnäitaja on 1,60. Kasutades Na-leegi valgust, tekitatakse interferentspilt. Interferentspilti vaadeldakse peegeldunud valguses. Arvutada esimese tumeda Newtoni rõnga raadius.
147. Peegeldunud Na-leegi valguses ( $\lambda = 589$  nm) on kahe järjestikuse Newtoni rõnga diameetrid 0,72 mm ja 0,84 mm. Arvutada lääts kõverusraadius. (Vaadeldakse tumedaid rõngaid.)
148. Na-kollane spektrijoon koosneb kahest komponendist, mille lainepikkused on  $\lambda_1 = 589,0$  nm ja  $\lambda_2 = 589,6$  nm. Mitmes tume Newtoni rõngas, mis vastab ühele nendest joontest, ühtib järgmise tumeda rõngaga, mis vastab teisele joonele?
149. Newtoni rõngaste saamiseks kasutatakse järgmist süsteemi. Tasakumer lääts kõverusraadiusega  $R_1$  on asetatud nõgusale sfäärilisele pinnale, mille kõverusraadius on  $R_2$ , kusjuures  $R_2 > R_1$ . Valgustamiseks kasutatakse monokromaatilist valgust lainepikkusega  $\lambda$ . Arvutada k-nda tumeda rõnga raadius, kui rõngaid vaadeldakse peegeldunud valguses.
150. Newtoni rõngaste saamiseks kasutatakse kahte tasakumerat lääts, mis on kumerate pooltega asetatud vastamisi. Arvutada m-nda tumeda rõnga raadius  $r_m$ , kui kasutatakse valgust lainepikkusega  $\lambda$  ja kumerate pindade kõverusraadiused on  $R_1$  ja  $R_2$ . Rõngaid vaadeldakse peegeldunud valguses.
151. Arvutada interfereerivate kiirte käiguvähe Fabry-Perot' etaloni korral.
152. Arvutada interfereerivate kiirte käiguvähe Lummeri-Gehrcke plaadi korral.

153. Kuidas muutub Lummeri-Gehreke plaadiga saadav interferentspilt, kui plaadi alumine pind asetada vedelikku, mille murdumisnäitaja on suurem plaadi aine murdumisnäitajast?

#### 4. Valguse difraktsioon

154. Arvutada m-nda Fresneli tsooni raadius, kui valgusallika ja tsoonplaadi vahekaugus on  $a$ ; plaadi ja vaatuskoha vaheline kaugus  $b$  ning kasutatava valguse lainepikkus  $\lambda$ . Arvutada esimese tsooni raadius, kui  $a_1 = a_2 = 10,0$  m;  $\lambda = 450$  nm.
155. Arvutada m-nda Fresneli tsooni raadius, kui plaadile langeb tasalaine. Arvutada esimese tsooni raadius, kui  $a_2 = 10,0$  a<sub>1</sub> ja  $\lambda = 450$  nm,
156. Esemega kaugus tsoonplaadist on 3,0 m, kuna kujutis tekib 2,0 m kaugusel plaadist. Kuskohal tekib valgusallika kujutis siis, kui valgusallikas asetseb lõpmatuses?
157. Arvutada tsoonplaadi fookuskaugus  $f$  valguse lainepikkuse 500 nm jaoks, kui plaadi viienda rõnga raadius on 1,5 mm. Arvutada selle plaadi esimese rõnga raadius.
158. Punktvalgusallikas asetseb ümmargusest avast kaugusel  $a_1$ , kuna ekraani kaugus avast on  $a_2$ . Milliste raadiuste  $r$  väärtuste korral on ekraanil saadava difraktsioonipildi tsentris hele täpp ja milliste  $r$  väärtuste korral tume täpp? Difraktsioonipildi tsepter asub valgusallikat ja diafragma tsentrit ühendaval sirgel. Kasutatava valguse lainepikkus on  $\lambda$ .
159. Pikafookuselise koondava läätses asetseb iirisdiafragma. Läätses langeb paralleelne monokromaatne valgus. Läätses kaugusel  $a_2 > f$  asetseb ekraan, millel vaadeldakse difraktsioonipilti. Milliste diafragma raadiuste korral on difraktsioonipildi tsentris tume täpp ja milliste raadiuste korral hele täpp? Läätses fookuskaugus on  $f$ .
160. Monokromaatne valgus lainepikkusega  $\lambda$  langeb risti pilule, mille laius on  $b$ . Leida nurga väärtused, mille puhul Fraunhoferi difraktsiooni korral esinevad maksimumid.
161. Ruudukujulisele avale, mille serva pikkus on 0,2 cm, langeb risti paralleelne valguskiirte kimp. Leida ava kujutise mõõtmed ekraanil, mis asetseb avast 50,0 m kaugusel. Kujutise piiriks lugeda kõige enam kõrvalekaldunud kiirte esimese miinimumi asukoht. Ava ja ekraani tasapinnad on teineteisega paralleelsed. Kasutatakse valget valgust.
162. Punktvalgusallikas asetseb kaugusel  $a_1$  pilust, mille laius on  $D$ . Pilust kaugusel  $a_2$  asetseb ekraan, mis on paralleelne pilu tasandiga. Sirge, mis ühendab valgusallikat pilu keskpunktiga, on risti ekraaniga. Leida kaugus  $x$  tsentraalse maksimumi ja esimese difraktsioonimiinimumi vahel ekraanil, eeldades, et difraktsiooninurgad on väikesed. Leida nimetatud lahenduse kasutamise tingimus.
163. Kujutise saamisel väikese ava abil tuleb arvestada, et liiga väikese ava korral moondub kujutis difraktsiooni tõttu, suure ava korral aga väheneb samuti kujutise teravus. Eeldusel, et kaugus  $a_1$  esimest avani ja avast kujutiseni  $a_2$  jääb muutmata, arvutada sobivaim ava suurus kujutise saamiseks. (Arvutamisel kasutada tingimust, et punkti kujutis, mis on saadud geomeetrilise optika reeglite kohaselt, ühtib suuruselt tsentraalse difraktsioonirõngaga.)
164. Väikese avaga kaamerat, mille pikkus  $l = 10,0$  cm, kasutatakse kaugete esemete fotografeerimiseks. Arvutada kaamera ava diameetri  $D$  suurus, mille korral lahutusvõime oleks maksimaalne. Valguse lainepikkuseks võtta 500 nm.
165. Silmaava suurus sõltub valgustatuse tingimustest ja võib muutuda piirides 2-6 mm. Millistes piirides muutub sel juhul silmaga eristatava kahe punkti vaheline minimaalne kaugus, kui kasutatava valguse lainepikkus on 500 nm?
166. Silmaava diameeter on 4 mm. Kasutatakse valgust lainepikkusega 550 nm. Arvutada vaatenurga suurus.

## 5. Optilised riistad. Spektraalaparaadid

167. Leida luubi suurendus, kui kasutatava läätsede optiline tugevus on 8D.
168. Arvutada mikroskoobi objektiivi fookuskaugus, kui okulaari fookuskaugus on 3,0 cm, tuubuse pikkus 16,0 cm ja kasutatav suurendus 480.
169. Määrata minimaalne kaugus kahe punkti vahel, mis on eraldatavad mikroskoobis, kui 1) objektiivi apertuurarv  $A = 0,9$  ja 2) sama objektiivi korral, kui objektiivi ja objektiivi vahel on immersioonvedelik, mille  $n = 1,60$ , kasutatakse valgust lainepikkusega  $\lambda = 550$  nm.
170. 1. Mitu korda suureneb mikroskoobi lahutusvõime, kui fotografeerimisel kasutada ultravioletset valgust ( $\lambda = 270$  nm) rohelise valguse asemel? 2. Arvutada minimaalne kaugus kahe joone vahel, mille korral jooned oleksid veel eraldatavad, kui kasutada eelmises ülesandes kirjeldatud mikroskoopi immersioonvedelikuga ja ultravioletvalgust ( $\lambda = 270$  nm).
171. Kui suur peab olema mikroskoobi suurendus, et objektiivi lahutusvõime oleks täielikult kasutatud?
172. Pikksilma objektiivi läbimõõt on 70 cm. Arvutada pikksilmaga saadav suurendus, kui okulaari läbimõõt on 4,0 mm.
173. Põhimõtteliselt võib ehitada kuitahes suure lahutusvõimega teleskoobi, kui vaid objektiiv asendada sobiva suurusega ümmarguse avaga. Kui suur peaks olema sellise teleskoobi pikkus  $L$ , eeldades, et selle lahutusvõime on võrdne teleskoobi lahutusvõimega, mille objektiivi diameeter on 1 m? Arvutada selle teleskoobi valgusjõud.
174. Galvanomeetri peeglikese läbimõõt  $d = 5$  mm. Kui kaugele galvanomeetrist võime veel paigutada skaala, et pikksilmaga tehtavate lugemite täpsus oleks 0,5 mm?
175. Kui suur peab olema pikksilma suurendus, et oleks täielikult kasutatud objektiivi lahutusvõime?
176. 1. Arvutada pikksilmaga saadava difraktsioonipildi esimese tumeda rõnga nurkraadius, kui objektiivi diameeter on 5 cm. 2. Millise suurenduse korral on täielikult kasutatud selle pikksilma lahutusvõime? Silmaava diameetriks võtta 5 mm.
177. Kuul asetseb kaks laserit teineteisest 100 m kaugusel, nende kiirguse lainepikkus on 600 nm. Kui suure peegli läbimõõduga teleskoobis oleksid need valgusallikad eristatavad?
178. Kui suur peab olema minimaalne kaugus kahe punkti vahel Marsi pinnal, et nende kujutised oleksid teleskoobis, mille diameeter on 500 cm, eristatavad ühe punkti kujutisest? Marsi kauguseks Maast võtta kaugus suure vastuseisu ajal ( $5,6 \cdot 10^7$  km). Valguse lainepikkuseks võtta 500 nm.
179. Päikese ja Galaktika raadiokiirguse uurimiseks kasutatakse raadioteleskoobe, kuid nende lahutusvõime on väike, kuna kasutatakse suhteliselt pikalainelist kiirgust. Arvutada minimaalne eraldatav nurkkaugus  $\delta\varphi$  kui raadioteleskoobi peegli läbimõõt on 50 m ja kasutatakse lainepikkusi 1 m ning 10 cm.
180. Tõestada, et prisma on kaldemiinimumi asendis, kui valguskiir prisma sees levib paralleelselt prisma alusega.
181. Tõestada, et prisma kaldemiinimumi asendis korral  $\frac{d^2 \varepsilon_{min}}{d\gamma^2} > 0$ , kus  $\varepsilon_{min}$  on kaldemiinimumi nurk ja  $\gamma$  - murdumisnurk.
182. Kaldemiinimumi asendis olevale prismale langeb kaks paralleelset, kuid erineva lainepikkusega valguskiirt. Esimesele kiirele vastab prisma murdumisnäitaja 1,500, teisele - 1,501. Kasutades prisma nurkdispersiooni avaldist, arvutada prismast väljunud kiirte vaheline nurk, kui prisma murdva nurga suurus on  $60^\circ$ .

183. Arvutada kaldemiinimumi nurga suurus Na-D-joonele vastava lainepikkuse korral, kui prisma murdev nurk on  $60^\circ$ . Prisma aine murdumisnäitaja  $n_D = 1,620$ .
184. Valguskiir murdub prismasse, olles prisma servaga risti asetsevas tasapinnas. Tõestada, et kui prisma suhteline murdumisnäitaja  $n > 1$  ja kui langemisnurk jääb konstantseks, siis prisma murdva nurga suurenemisel suureneb prisma läbinud kiire kõrvalekalle. Tõestada veel, et eespool toodud tingimustel maksimaalne prisma murdev nurk, mille korral kiir võib veel väljuda prismast, on määratud järgmise seosega:

$$A = \arcsin \frac{\sin \alpha}{n} + \arcsin \frac{1}{n}.$$

185. Arvutada prisma kaldemiinimumile vastava nurga suurus väga väikese murdva nurga A korral. Lõpptulemuses arvestada kolmandat järku väikesi suurusi A suhtes.
186. Kvartsist on valmistatud  $60^\circ$ -se murdva nurgaga prisma. Arvutada selle prisma nurkdispersioon ( $"/\text{\AA}$ ) alljärgnevate spektrilõikude jaoks. Murdumisnäitaja sõltuvus lainepikkusest on toodud tabelis.

	1	2	3	4	5	6
$\lambda$ (Å)	7685	5893	4861	4100	3034	2537
$n$	1,5391	1,5442	1,5497	1,5770	1,5963	1,6509

187. Arvutada spektrograafia joondispersioon ( $\text{mm}/\text{\AA}$ ), kui spektrograafis kasutada prismana eelmises ülesandes kirjeldatud kvartsprismat. Kaamera objektiivi fookuskaugus on 50 cm.
188. Kui suur peab olema spektraalaparaadi lahutusvõime, et eristada Na D-joone komponente ( $\lambda_1 = 5890 \text{ \AA}$ ,  $\lambda_2 = 5896 \text{ \AA}$ )?
189. Arvutada klaasist prisma aluse minimaalne laius, mille korral oleksid eristatavad Na B-joone komponendid. Klaasi dispersioon D-joone ümbruses on  $956 \text{ cm}^{-1}$ .
190. Spektrograafi klaasprisma aluse laius on 10,0 cm ning murdev nurk  $60^\circ$ . Prisma asetseb kaldemiinimumi asendis lainepikkuse  $\lambda = 500 \text{ nm}$  jaoks. Prisma aine murdumisnäitaja  $n = 1,73$ , kollimaatori objektiivi fookuskaugus  $f = 25,0 \text{ cm}$ . Kui suur peab olema kollimaatori pilu laius, et praktiliselt oleks võimalik kasutada prisma teoreetilist lahutusvõimet?
191. Arvutada klaasspektrograafi joondispersioon, kui prisma võimaldab lahutada Fe-jooned lainepikkustega  $4100,7 \text{ \AA}$  ja  $4100,9 \text{ \AA}$  ja kui prisma aluse laius on 10 cm. Prisma murdev nurk on  $60^\circ$  ja kaamera fookuskaugus 50 cm.
192. Tuletada valem difraktsioonimaksimumide asukoha arvutamiseks, kui paralleelsed monokromaatilised valguskiired langevad võrele kaldu (langemisnurk  $\varphi_0$ ). Millise kuju omandab tuletatud valem, kui  $d \gg n\lambda$ ?
193. Röntgeni kiired langevad võrele, mille periood on  $1 \text{ \mu m}$ , nurga  $89^\circ 30'$  all. Teist järku spektrile vastab difraktsiooninurk  $89^\circ 0'$ . Arvutada  $\lambda$ .
194. Mitmendat järku spektri võime veel saada difraktsioonivõreaga, mille periood on  $d$  ja kui kasutatava monokromaatse valguse lainepikkus on  $\lambda$ ?
195. Difraktsioonivõrel on 500 joont/mm. Mitmendat järku spekter on võimalik saada selle võreaga, kui kasutada Na-leegi valgust?
196. Difraktsioonivõreaga saadakse Na-leegi valgusest kolmandat järku spekter nurga  $\varphi = 10^\circ 11'$  juures. Määrata valguse lainepikkus juhul, kui teist järku spekter esineb nurga  $\varphi_1 = 6^\circ 16'$  juures.

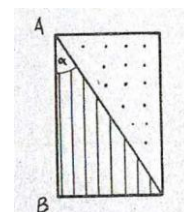


197. Difraktsioonivõrel on 200 joont/mm. Valgus langeb risti võrele. Kui suure nurga all peab asetsema goniomeetri pikksilm, et näha Fraunhoferi F-joone ( $\lambda = 486,1 \text{ nm}$ ) esimest järku spektrit?
198. Leida tingimus, mille korral m-nda difraktsioonimaksimumi intensiivsus on null, kui võre periood on  $d$  ja pilu laius  $b$ .
199. Difraktsioonivõrele, millel on  $N$  pilu, mille periood on  $d$  ja pilu laius  $b$ , langeb risti monokromaatne paralleelne valguskiirte kimp lainepikkusega  $\lambda$ . Leida difrakteerunud valguse intensiivsuse nurkjaotus.
200. Arvutada eelmise ülesande andmeid kasutades intensiivsus difraktsioonimaksimumide kohal.
201. Arvutada difraktsioonivõre nurkdispersioon ( $"/\text{\AA}$ ) esimest järku spektris, kui joonte arv ühe cm kohta on 3937. Arvutada sellise võrega varustatud spektrogrammi lineaarne dispersioon, kui kaamera objektiivi fookuskaugus on 50 cm.
202. Kui suur on Na-kollase dubleti joonte vaheline kaugus spektrogrammil, mis on saadud eelkirjeldatud spektrogramfiga?
203. Leida difraktsioonivõre nurkdispersiooni suurus, kui võrekonstant  $d = 5 \text{ }\mu\text{m}$ ,  $\lambda = 500 \text{ nm}$  ja spektri järk  $n = 3$ .
204. Tasapinnalisele peegelvõrele langeb risti selle pinnaga Na D-joone valgus ( $\lambda = 589 \text{ nm}$ ). Arvutada võre 1,0 mm kohta tulev joonte arv, kui teist järku spekter asub  $45^\circ$ -se nurga all normaali suhtes.
205. Leida difraktsioonivõre korral peamaksimumi ja sellele lähima miinimumi vaheline nurkkaugus.
206. Arvutada difraktsioonivõre minimaalne joonte arv, mille korral esimest järku spektris on eristatavad Na D-jooned.
207. Arvutada difraktsioonivõre lahusvõime esimest ja neljandat järku spektris, kui võre periood on  $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$  ja laius 3,0 cm.
208. Spektrogrammi kollimaatori pilu  $S$  asetseb läätsel  $L$ , mille fookuskaugus on 20 cm, fookuses. Läätsel läbinud valgus langeb difraktsioonivõrele, mis on risti läätsel optilise teljega. Võre joonte arv  $N = 1000$ , periood  $d = 10^{-3} \text{ cm}$ . Kui suur peab olema kollimaatori pilu laius  $x$ , et oleks täielikult kasutatud võre lahusvõime lainepikkuse  $\lambda = 500 \text{ nm}$  ümbruses?
209. 10 cm laiusel difraktsioonivõrel on 104 joont. Arvutada selle võre nurkdispersioon  $"/\text{\AA}$  kohta, lainepikkuse 0,5  $\mu\text{m}$  korral 4. järku spektris. Mitmendat järku spektri korral selle võre lahusvõime on piisav Fe-spektris olevate joonte 3878,57  $\text{\AA}$  ja 3878,68  $\text{\AA}$  lahutamiseks?
210. Tuletada avaldis Lummeri-Gehrcke plaadi nurkdispersiooni arvutamiseks ja määrata plaadi dispersiooni piirkond.  $\epsilon$  lugeda väikseks.
211. Arvutada interfereeruvate kiirte arv  $z$  Lummeri-Gehrcke plaadi korral, kui plaadi pikkus  $L = 30 \text{ cm}$ , paksus  $h = 1 \text{ cm}$  ja murdumisnäitaja  $n = 1,52$ .
212. Leida minimaalne ja maksimaalne spektrijärk, mida võib saada eelmises ülesandes kirjeldatud plaadiga, kui kasutada valgust lainepikkusega 486,1 nm.
213. Arvutada Lummeri-Gehrcke plaadi dispersiooni piirkond ja lahusvõime, kui lainepikkuse 4861  $\text{\AA}$  piirkonnas  $\frac{dn}{d\lambda} = -9,6 \cdot 10^{-6} \text{ \AA}^{-1}$ . Plaadi muud andmed võtta ülesandest 211.
214. Arvutada Lummeri-Gehrcke plaadi ( $n = 1,5$ ) minimaalne pikkus, mille korral oleks eristatav vesiniku H - joone ( $\lambda = 6563 \text{ \AA}$ ) dubletne struktuur. Dubleti komponentide lainepikkuste vahe on  $1,4 \cdot 10^{-9} \text{ cm}$ . Suurus  $\frac{dn}{d\lambda}$  jätta arvestamata.

## 6. Valguse polarisatsioon

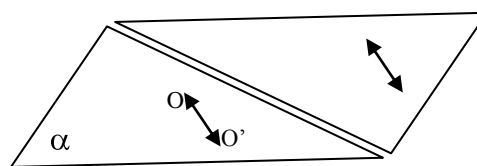
215. Kui kõrgel horisondist peab olema Päike, et veepinnalt peegeldunud valgus oleks täielikult polariseeritud?
216. Kiire murdumisnurk vedelikus on  $35^\circ$ . Arvutada selle vedeliku murdumisnäitaja, kui peegeldunud kiir on täielikult polariseeritud.
217. Veega täidetud klaasanumas kulgev valguskiir peegeldub anuma seinalt. Millise langemisnurga  $\alpha$  puhul on peegeldunud kiir täielikult polariseeritud? Klaasi murdumisnäitaja on 1,53. 1. Leida nurk, mille korral klaasilt peegeldunud valgus oleks täielikult polariseeritud. 2. Leida murdunud valguse polarisatsiooniaste, kui valgus langeb eespool märgitud nurga all. Langev valgus on loomulik.
218. Arvutada klaasplaati läbinud valguse polarisatsiooniaste, kui langemisnurk on  $20^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  ja  $80^\circ$ . Langev valgus on loomulik.
219. Arvutada klaasi pinnalt peegeldunud valguse polarisatsiooniaste, kui langemisnurk on  $45^\circ$  ja  $56^\circ 51'$  (klaasi murdumisnäitaja  $n = 1,53$ ). Langev valgus on loomulik.
220. Kahe polaroidi läbilaskesihtide vaheline nurk on  $30^\circ$ . Kuidas muutub polaroidide läbinud valguse intensiivsus, kui peatasandid moodustavad  $45^\circ$ -se nurga?
221. Polaroidile langeb loomulik valgus. Tõestada, et polaroidi läbinud valguse intensiivsus on pool pealelangeva valguse intensiivsusest. Valguse peegeldumist mitte arvestada,
222. Loomulik valgus intensiivsusega  $I_0$  langeb optilisele süsteemile, mis koosneb kahest polaroidist. Polaroidide läbilaskesihtide vaheline nurk on  $60^\circ$ . Mitu protsenti valgust läbib süsteemi, kui neeldumise ja peegeldumise tõttu kummaski polaroidis s väheneb intensiivsus 10 % võrra.
223. Optiline süsteem koosneb kahest polaroidist. Esimesele polaroidile langeb lineaarselt polariseeritud valgus nii, et elektrivекtori võnketasandi ja polaroidi läbilaskesihhi vaheline nurk on  $30^\circ$ . Polaroidide läbilaskesihtide vaheline nurk on  $45^\circ$ . Mitu protsenti pealelangevast valgusest läbib süsteemi?
224. Osaliselt polariseeritud valguse polarisatsiooniaste on 0,40. Leida lineaarselt polariseeritud ja loomuliku valguse intensiivsuse suhe. (Osaliselt polariseeritud valgust võime vaadelda kui lineaarselt polariseeritud ja loomuliku valguse segu.)
225. Osaliselt polariseeritud valgust vaadatakse läbi polaroidi. Polaroidi pööramine  $60^\circ$  võrra asendist, mis vastab maksimaalsele heledusele, põhjustab valguse intensiivsuse vähenemise kaks korda.
- Arvutada polaroidile langeva valguse polarisatsiooniaste  $\Delta = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$

226. Wollastone'i prisma on valmistatud islandi paost ( $n_o = 1,658$ ,  $n_e = 1,486$ ). Nurk  $\alpha = 15^\circ$  (vt. joon. 9). Arvutada nurk prismast väljunud tavalise ja ebatavalise kiire vahel. Valgus langeb esitahule risti.



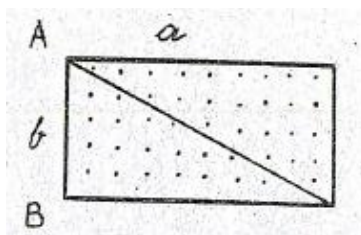
Joon. 9

227. Millise nurga  $\alpha$  all Nicol'i prisma pikema servaga tuleb lihvida selle alus, et ainult ebatavaline kiir läbiks prisma, olles seejuures paralleelne prisma servaga. Sel juhul on tavalise kiire langemisnurk kanada palsami kihile  $1^\circ 45'$  võrra suurem täieliku peegelduse piirnurgast. Määrata prisma pikkuse  $a$  ja paksuse  $b$  suhe antud tingimustel, ( $n_o = 1,658$ ;  $n' = 1,516$ ;  $n = 1,540$ ,  $OO'$  – optiline telg)



Joon. 10

228. Polarisatsiooniprismaks on täisnurkne prisma, mis on välja lõigatud islandi paost ( $n' = 1,516$ ;  $n_0 = 1,658$ ) nii, et optiline telg on paralleelne prisma diagonaalpinnaga (risti joonise tasapinnaga). Kleepainena on kasutatud kanada palsamit ( $n = 1,540$ ). Prisma pikkuse ja laiuse suhe on 4,93. Määrata, ebatavalise kiire murdumisnurk prismasse sisenemisel, kui tavaline kiir langeb kanada palsami kihile täieliku peegeldumise piirnurga all.
229. Polarisatsiooniprismaks on islandi paost väljalõigatud täisnurkne prisma, kusjuures optiline telg on paralleelne diagonaalpinnaga (risti joon. 11 tasapinnaga). Kleepainena kasutatakse kas kanada palsamit ( $n = 1,54$ ) või linaseemneõli ( $n = 1,494$ ). Arvutada mõlema juhu jaoks sobivaim apertuur ( $2\alpha$ ) ning prisma pikkuse a ja laiuse b suhe.



**Joon. 11.**

230. Lahendada eelmine ülesanne eeldusel, et kleepaine kihi asemel prismade vahel on õhk.
231. Paralleelne valguskiirte kimp langeb risti islandi paost väljalõigatud plaadile. Plaadi paksus on 0,3 mm ja see on välja lõigatud paralleelselt optilise teljega. Arvutada plaati läbinud tavalise ja ebatavalise kiire käiguvahe lainepikkustes, kui  $n_0 = 1,658$ ,  $n_e = 1,486$  ja  $\lambda = 500$  nm. Kumb valguskiir läbib plaadi kiiremini?
232. Lineaarselt polariseeritud valguskiir läbib kristallplaadi, mille üks peasuund soodustab polarisaatori peatasandiga nurga  $\varphi$ . Plaadi poolt tekitatud faasivahe olgu  $\delta$ . Leida 1) polarisatsiooniellipsi pooltelgede suhe, 2) nurk plaadi peasuuna ja ellipsi pooltelgede vahel.
233. Arvutada vilgukivist plaadi minimaalne paksus d, mille korral seda võiks kasutada veerandlainelise plaadina Na-valguse korral. Murdumisnäitajate väärtused on  $n_1 = 1,5941$  ja  $n_2 = 1,5887$ .
234. Kvartsist plaadile, mis on kristallist välja lõigatud paralleelselt optilise teljega, langeb lineaarselt polariseeritud valgus. Arvutada selle plaadi minimaalne paksus, mille korral plaadist väljunud kiir oleks ringpolariseeritud ( $n_e = 1,5533$ ,  $n_0 = 1,5442$ ,  $\lambda = 5 \cdot 10^{-3}$  cm). Tehniliselt on raske valmistada õhemat plaati kui 0,10 mm. Milline oleks sel juhul valmistatava plaadi minimaalne paksus?
235. Kahele tumedale ribale (kompensaatori poolt tekitatud käiguvahed  $+2\lambda$  ja  $-2\lambda$ ) vastavad Babinet' kompensaatori (niikolid asetsevad risti) lugemid 7,34 ja 27,20. Kasutatakse valgust lainepikkusega 5893 Å. Millistele kompensaatori lugemeile vastavad tumedad ribad siis, kui kasutada valgust lainepikkusega 6708 Å?
236. Na-lambist saadava valguse kasutamisel on Babinet' kompensaatori lugemid esimeste tumedate ribade puhul 14,73 ja 19,68. Leida Babinet' kompensaatori lugemid esimeste tumedate ribade korral, kui kasutatakse valgust lainepikkusega 546,1 nm.
237. Kvartsplaat paksusega 3 mm on lõigatud kristallist välja paralleelselt optilise teljega. Plaadile langeb risti pinnaga lineaarselt polariseeritud valge valgus, kusjuures elektrivectori võnkumistasapind moodustab  $45^\circ$ -se nurga plaadi teljega. Plaadist väljunud valgus läbib analüsaatori, mis on risti polarisaatoriga ja langeb siis spektroskoobi pilule. Mitu tumedat riba on spektris lainepikkuste  $\lambda_D = 5890$  Å ja  $\lambda_F = 4860$  Å vahel, kui nendele lainepikkustele vastavate murdumisnäitajate väärtused on järgmised:

$n_0$

$n_e$

$\lambda_D$	1,5422	1,5533
$\lambda_F$	1,5497	1,5589

238. Ristuvate polaroidide vahele on paigutatud kristallplaat, mis tekitab käiguvahe 650 nm. Milline on plaadi värvus, kui esimesele polaroidile langeb polükromaatne valgus?
239. Ristuvate polaroidide vahele on asetatud kvartsplaat, mis on välja lõigatud paralleelselt optilise teljega. Plaadi optilise telje ja polaroidide läbilaskesihide vaheline nurk on  $45^\circ$ . Arvutada plaadi minimaalne paksus, mille korral üks vesiniku joontest  $\lambda_1 = 6563 \text{ \AA}$  oleks nõrgendatud, kuna teine  $\lambda_2 = 4102 \text{ \AA}$  omaks maksimaalse intensiivsuse ( $\Delta n = 0,009$ ).
240. Üheteljelisest kristallist paralleelselt selle optilise teljega on välja lõigatud plaat. Plaadi pinnale langeb risti ringpolariseeritud valgus. Plaadist väljunud valgus läbib analüsaatori. Arvutada analüsaatorit läbinud valguse intensiivsus, kui analüsaatori peatasand moodustab plaadi ühe peasuunaga nurga  $\alpha$ . Milline peab olema  $\alpha$  väärtus, et saada maksimaalset ja minimaalset intensiivsust?
241. Leida kahte polaroidi ja nende vahele paigutatud kristallplaati läbinud valguse intensiivsus, kui polaroidide läbilaskesihid moodustavad plaadi ühe peasuunaga nurgad suurusega  $\alpha$  ja  $\beta$ .
242. Kvartsplaat paksusega 1 mm on kristallist välja lõigatud risti optilise teljega ja asetatud paralleelsete peatasanditega polaroidide vahele. Mingi lainepikkuse jaoks on polarisatsioonitasapinna pöördnurka suurus  $20^\circ$ . Kui suur peab olema plaadi paksus, et antud lainepikkusega valgus oleks täielikult kustutatud?
243. Sahharimeeter võimaldab võnketasandi pöördnurka mõõta täpsusega  $\pm 0,1^\circ$ . Arvutada minimaalne suhkrulahuse kontsentratsioon, mida selle saharimeetriga saab määrata, kui lahusekihi paksus on 10,0 cm ja suhkrulahuse eripöörang  $66,6^\circ \text{ dm}^{-1}$ .
244. Hiniinsulfaadilahuse kontsentratsioon on  $0,020 \text{ g/cm}^3$ . Kui pikk lahusesammas põhjustab Na-valguse võnketasandi pöördumise  $6,0^\circ$  võrra. Eripöörang -  $220^\circ \text{ dm}^{-1}$ .
245. Kvartsplaati, mis on välja lõigatud risti optilise teljega, iseloomustavad kollases spektri osas järgmised väärtused:

$\lambda$	$\alpha$
5269 $\text{\AA}$	27,543 kraad $\cdot \text{mm}^{-1}$
5895 $\text{\AA}$	21,684 kraad $\cdot \text{mm}^{-1}$

Kitsas spektripiirkonnas väljendub  $\alpha$  sõltuvus  $\lambda$ -st seosega  $\alpha = A + \frac{B}{\lambda^2}$ , kus A ja B on konstandid. Arvutada kvartsplaadi minimaalne paksus d, kui paralleelsete polaroidide vahele paigutatud plaadi korral üks naatriumijoontest kustub täielikult, kuna teise intensiivsus kahaneb poole võrra ( $\lambda_1 = 5889,953 \text{ \AA}$ ,  $\lambda_2 = 5895,923 \text{ \AA}$ ).

246. Kui suur on minimaalne murdumisnäitajate erinevus  $\Delta n$ , mida võib avastada parem- ja vasakpoolsetelt ringpolariseeritud valguskiirte ( $\lambda = 5893 \text{ \AA}$ ) vahel, kui valgus läbib aine kihi paksusega 30 cm? Polariseerimisatasapinna pöördnurka mõõtmise täpsus on  $1^\circ$ .
247. Kui suur on parem- ja vasakpoolsetelt ringpolariseeritud valguskiirte ( $\lambda = 5893 \text{ \AA}$ ) murdumisnäitajate erinevus  $\Delta n$ , kui valgus läbib kvartsplaadi, mille kohta on teada, et antud lainepikkusele vastav eripöörang  $\alpha = 21,7$  kraadi millimeetri kohta?

248. Verdet' konstandi väärtus CS<sub>2</sub> korral (0°C ja  $\lambda = 589$  nm) on  $5,47 \cdot 10^{-4} \frac{\text{minut}}{\text{A/m} \cdot \text{cm}}$ . Leida nurk, mille võrra pöörduv vonketasand, kui valgus läbib 1 cm paksuse CS<sub>2</sub> kihi, mis asetseb magnetväljas tugevusega  $10^6$  A/m. Valguskiir levib paralleelselt magnetväljaga.
249. Arvutada raua Verdet' konstandi väärtus, kui rauakiht paksusega  $1 \cdot 10^{-3}$  cm pöörab vonkumistasapinda 130° võrra. Kiht asetseb magnetväljas tugevusega  $10^6$  A/m ja kasutatava valguse lainepikkus on 589 nm.
250. Avaldada Verdet' konstant parem- ja vasakpoolselt ringpolariseeritud valguse murdumisnäitajate  $n_-$  ja  $n_+$  kaudu.
251. Kerri efekt tekib nitrobenseenis, kus väljatugevus on 3000 V/cm. Arvutada vahe  $n_0 - n_e$ , kui Kerri konstandi väärtus on  $2,2 \cdot 10^{-5}$  CGSE ühikut ( $t = 20^\circ$  C ja  $\lambda = 589$  nm).
252. Määrata eelmises ülesandes toodud tingimustel piki ja risti välja polariseeritud valguslainete faaside vahe  $\delta$ , kui kondensaatori plaatide pikkus on 4 cm.
253. Kui suur peaks olema eelmises ülesandes toodud tingimustel väljatugevus, et  $\delta = \frac{\pi}{2}$ ?

## 7. Soojuskiirgus. Fotoefekt

254. Musta keha kiirgusspektris maksimaalne kiirgamisvõime vastab lainepikkusele 800 nm. Keha pindala on  $1,0 \text{ cm}^2$ . Arvutada selle keha kiirguse võimsus.
255. Musta keha kiirgamisvõime maksimum langeb lainepikkusele 1  $\mu\text{m}$ . Millisele lainepikkusele see nihkub, kui keha jahtumise tõttu summaarse kiirguse võimsus väheneb neli korda?
256. Musta keha kuumutamisel selle kiirgamisvõime maksimum nihkub lainepikkuselt 760 nm lainepikkusele 380 nm. Kuidas muutub seejuures keha maksimaalne kiirgamisvõime?
257. Päikese pinna temperatuur on 6000 K. Oletades, et Päike on must keha, arvutada Stefani-Boltzmanni seaduses esineva konstandi  $\sigma$  suurus. (Solaarkonstandi väärtus on  $2 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{min}}$ .)
258. Musta, õhukeseseinalisse metallist kuupi on valatud 1 kg vett, mille temperatuur on 50° C. Kuup asetseb teises mustas anumal, mille seinte temperatuur hoitakse absoluutse nulli lähedal. Kui pika aja möödumisel jahtub kuubis olev vesi 40 kraadi võrra?
259. Arvutada Päikese pinna temperatuur, kui on teada, et intensiivsuse maksimum Päikese spektris asub lainepikkuse  $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$  cm kohal. Päike lugeda mustaks kehaks.
260. Arvutada lainepikkus, mis vastab musta keha kiirgusspektri maksimumile, kui kiirgava keha temperatuur on  $10 \cdot 10^5$  kraadi.
261. Leida elektriline võimsus, mis on tarvis 1 mm diameetriga ja 20 cm pikkuse hõõgniidi kuumutamiseks 3500 K juures. Soojusjuhtivusest tingitud soojuskadu jätta arvestamata. Niidi kiirgus allub Stefani-Boltzmanni seadusele.
262. Kui volframist hõõgniidi temperatuur on 3500 K, siis  $a_T = 0,35$ . Leida niidi kiirgustemperatuur.
263. Wieneri empirilise valemi järgi energia jaotus musta keha spektris on järgmine:

$$\varepsilon(\lambda, T) = C_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T}},$$

kus  $C_1$  ja  $C_2$  on konstandid. Lähtudes sellest valemist, tuletada Wieneri nihkeseadus ja arvutada nihkeseaduses esineva konstandi suurus ( $C_2 = 1,4388 \text{ cm K}$ ).

264. Millise temperatuurini võime musta keha nähtava spektri piirkonnas ( $7500 \text{ \AA} > \lambda > 4000 \text{ \AA}$ ) Plancki valemi asemel kasutada Wieneri valemit, kui lubatud vea suurus on 1 %?
265. Lähtudes Plancki valemist, määrata Stefani-Boltzmanni valemis ja Wieneri nihkeseaduses esinevate konstantide väärtused universaalsete konstantide ( $h, k, c$ ) kaudu.
266. Arvutada nähtava valguse ( $\lambda = 500 \text{ nm}$ ) footoni mass.
267. Fotoefekti punane piir liitiumi puhul on 510 nm. Määrata elektroni töö sellest metallist väljumisel.
268. Metallist väljuvate fotoelektronide kineetiline energia on 1000 eV. Määrata metallile langeva valguse lainepikkus, jättes arvestamata väljumistöö.
269. Platinast plaadile langeb valgus, mille lainepikkus on 150 nm. Elektronide emiteerimine lõpeb, kui katoodi pinge on 1,7 V. Määrata elektroni väljumistöö.
270. Arvutada footoni impulss, kui lainepikkus  $\lambda = 500 \text{ nm}$ . Võrrelda selle impulsi suurus vesiniku molekuli impulssiga toatemperatuuril.
271. Millise lainepikkuse korral on footoni impulss võrdne toatemperatuuril oleva vesiniku molekuli impulssiga?
272. Mitu korda on footoni ( $\lambda = 500 \text{ nm}$ ) energia toatemperatuuril oleva vesiniku molekuli kineetilisest energiast suurem?
273. Hõõglambi poolt kiiratud valguse keskmine lainepikkus on 1200 nm. Arvutada 200-vatise lambi poolt ühes sekundis kiiratud footonite arv.

## 8. Valguse rõhk. Doppleri efekt

274. Lähtudes eeldusest, et valgus koosneb footoneist, kusjuures iga footoni impulss on  $h\nu/c$ , arvutada valguse rõhk tasapeeglele, kui valgusepeegeldumiskoeffitsient on  $\rho$  ja langemisnurk  $\alpha$ . Arvutada ka ühele  $\text{m}^2$ -le mõjuva tangentsiaalse jõu suurus.
275. Tõestada, et valguse langemisel risti ideaalselt peegelduvale pinnale on valguse rõhk  $2w$  ja langemisel mustale pinnale  $w$  ( $w$  on valgusenergia ruumtihedus.)
276. Arvutada valguse rõhk  $1 \text{ m}^2$  suurusele maapinnatükile, kui see tükk on risti langeva kiirgusega. Solaarkonstant on võrdne  $2 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ . Maapind lugeda absoluutselt mustaks.
277. Tasapinnaline valguslaine langeb kerale, mille mõõtmed on suured võrreldes valguse lainepikkusega. Arvutada valguse rõhu suurus kerale, eeldades, et kera pind on 1) absoluutselt must ja 2) absoluutselt peegeldav.
278. Arvutada valguse rõhust tingitud jõu suurus, mis mõjub Maale, eeldades, et see on absoluutselt must. Arvutada jõu  $F_1$  ja Maa ning Päikese vahel mõjuva gravitatsioonijõu  $F_2$  suhe.
279. Maa tehiskaaslase diameeter on 10 m. Arvutada tehiskaaslasele mõjuva jõu suurus, eeldades, et selle pinna valgustatus on samasugune kui Maal.
280. Väljendada rühmakiirus  $u$  faasikiiruse  $v$  ja  $\frac{dn}{d\lambda}$  kaudu.
281. Arvutada rühmakiirus alljärgnevate juhtude jaoks ( $v$  -faasikiirus):
- 1)  $v = a$  ( $a = \text{const.}$ ) - näit. häälelained õhus;
  - 2)  $v = a\sqrt{\lambda}$  - lained veepinnal;
  - 3)  $v = \frac{a}{\sqrt{\lambda}}$  - kapillaarlained;
  - 4)  $v = \frac{a}{\lambda}$  - varda ristvõnkumised;

- 5)  $v = \sqrt{c^2 + b^2 \lambda^2}$  - elektromagnetilised lained ionosfääris;
- 6)  $v = \frac{c\omega}{\sqrt{\omega^2 \epsilon \mu - c^2 \alpha^2}}$  - elektromagnetilised lained lainejuhis, mis on täidetud keskkonnaga, mille dielektriline läbitavus on  $\epsilon(\omega)$  ja magnetiline läbitavus  $\mu(\omega)$ .  $\alpha - \text{const}$ .
282. Sirge lainejuht on täidetud mittemagnetilise keskkonnaga, mille dielektriline läbitavus  $\epsilon = \epsilon(\omega)$  Leida funktsiooni  $\epsilon(\omega)$  kuju, mille korral  $vu = c^2$ . (Vt. eelmine ülesanne.)
283. Michelson mõõtis pöörleva peegli meetodil valguse kiiruse u väävelsüsinikus. Väävelsüsiniku murdumisnäitaja  $n = 1,64$ , kuna  $c/u$  väärtuseks sai Michelson 1,75. Arvutada väävelsüsiniku dispersioon lainepikkuse 500 nm jaoks.
284. Arvutada vesiniku  $H_\beta$  - joone ( $\lambda = 4861 \text{ \AA}$ ) Doppleri nihke suurus, kui kiirgavad vesiniku aatomid liiguvad keskmise kiirusega  $v = 1,3 \cdot 10^8 \text{ cm s}^{-1}$ . Vaatlusi tehakse aatomite liikumise sihis.
285. Kui suur on eelmises ülesandes esitatud tingimustel Doppleri nihke suurus  $\Delta\lambda$ , kui vaatlusi teha risti aatomite liikumise suunaga?
286. Arvutada vesiniku  $H_\beta$  - joone maksimaalne Doppleri nihe  $\Delta\lambda$ , kui kiirgavate vesiniku aatomite kineetiline energia on  $4 \cdot 10^6 \text{ eV}$ .
287. Kuidas liigub Maa suhtes udukogu, kui on teada, et vesiniku  $H_\beta$ - joon ( $\lambda = 4340 \text{ \AA}$ ) selle udukogu spektris on nihkunud  $20 \text{ \AA}$  võrra spektri punase osa poole.
288. Ühe Fraunhoferi joone lainepikkus Päikese spektris on  $5900 \text{ \AA}$ , kui vaatlusi teha Päikese pooluse lähikonnast pärinevas valguses. Kui sama joone lainepikkus mõõdeti Päikese ekvaatorilt ketta äärelt pärinevas valguses, avastati, et see on nihkunud  $0,04 \text{ \AA}$  võrra. Arvutada Päikese ekvaatori liikumise joonkiirus.
289. Arvutada Maa orbiidi tasapinnas oleva tähe poolt kiiratud roheline valguse ( $\lambda = 5500 \text{ \AA}$ ) nihke maksimaalne suurus.

## Vastused

- 1) 16 km.
- 2) 47 km.
- 3)  $r_v = \frac{r(r_2 - r_1)}{r_1 + r_2 - 2r}$ ;  $x = \frac{2rd}{r_1 + r_2 - 2r}$ .
- 4) Varjutus on täielik, kui  $d < 3,8 \cdot 10^4$  km; rõngakujuline, kui  $d > 3,8 \cdot 10^4$  km.
- 8)  $\delta = 2(\pi - \varphi)$  või  $\delta = 2\varphi$ .
- 9) 0,6 cm.
- 10) 2 cm.
- 11) 1,52.
- 13)  $\vec{k}_1 = \vec{k}_0 - 2(\vec{k}_0 \cdot \vec{N})\vec{N}$ .
- 15)  $n_2 \vec{k}_2 = n_1 \vec{k}_0 - \vec{N}[n_1(\vec{k}_0 \cdot \vec{N}) + \sqrt{n_2^2 - n_1^2 + n_1^2(\vec{k}_0 \cdot \vec{N})^2}]$ .
- 16)  $H/h = n \frac{\cos^3 \gamma}{\cos^3 \alpha} = 4,7$ ;  $H/h = n$ .
- 17) 22 cm.
- 18) 1,5.
- 19)  $\Delta f = 0,2$  cm.
- 20) 180 mm.
- 21) Ei või.
- 22) 1.  $\alpha_p = 59^\circ 38'$ ;  $\alpha_v = 58^\circ 50'$ ; 2.  $\alpha_p = 72^\circ$ ;  $\alpha_v = 71^\circ 30'$ . Nurklaius  $2^\circ 22'$ .
- 23)  $\cos \alpha = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{N(N+2)}}$ .
- 25)  $nr \cdot \sin \alpha = \text{const}$ , r on vaadeldava punkti kaugus maakera keskpunktist.
- 26) Refraktsiooninurk  $R = n_0 r_0 \sin \alpha_0 \int_{r_0}^{\infty} \frac{dr}{dr} (\ln n) \cdot \frac{dr}{\sqrt{n^2 r^2 - n_0^2 r_0^2 \sin^2 \alpha_0}}$ , kus  $r_0$  on Maa raadius.
- 27)  $R = 2x_0(n_0 - 1) \tan \alpha_0 \int_{-x_0}^{\infty} e^{-(x^2 - x_0^2)} dx$ , kus  $x^2 = \frac{gM}{RT} r$  ja  $R'$  – universaalne gaasikonstant.
- 29) 1.  $41^\circ 8'$ ; 2.  $48^\circ 45'$ ; 3.  $61^\circ 4'$ .
- 30) 1,41.
- 31)  $\delta \geq 97^\circ 30'$ .
- 32)  $69^\circ$ .
- 33)  $x' = \frac{n'Rx}{(n'-n)x+nR}$ ;  $y' = \frac{nRy}{(n'-n)x+nR}$ ;  $z' = \frac{nRz}{(n'-n)x+nR}$ .
- 35)  $x_{F_1} = -\frac{b}{a}$ ;  $x'_{F_2} = \frac{A}{a}$ ;  $x_{H_1} = \frac{C-b}{a}$ ,  $x'_{H_2} = \frac{aB+A(C-b)}{Ca}$ ;  $x_{K_1} = x_{F_1} - f_2$ ;  $x'_{K_2} = x'_{F_2} - f_1$ ;  $f_1 = \frac{C}{a}$ ;  $f_2 = \frac{aB-Ab}{Ca}$ .
- 36) 1.  $\frac{f_1}{\zeta} + \frac{f_2}{\zeta'} = -1$ ;  $\frac{\eta'}{\eta} = \frac{f_1}{f_1 + \zeta} = \frac{f_2 + \zeta'}{f_2} = \frac{-f_1 \zeta'}{f_2 \zeta}$ . 2.  $XX' = f_1 f_2$ ;  $\frac{Y'}{y} = \frac{f_1}{x} = \frac{X'}{f_2}$ .
- 37)  $f_2 = \frac{n_2 R}{n_2 - n_1}$ ;  $f_1 = -\frac{n_1 R}{n_2 - n_1}$ . Peapinnad ühtivad ja läbivad sfäärilise pinna lagitäpi.
- 38) 1.  $f_2 = 30$  cm;  $f_2 = -20$  cm. 2.  $f_2 = -60$  cm;  $f_2 = 40$  cm.
- 39)  $-30$  cm.
- 40)  $\Phi = \frac{r_1 r_2}{2(1-n)r_2 + 2nr_1}$ , kusjuures  $r_2 < 0$ .
- 41)  $-0,4$  m.
- 42) 9 cm.
- 43) 9 cm;  $\approx 1$  cm.
- 44) 30 cm; 10 cm.
- 46) 5 m.
- 48) 48 mm.
- 49) 13 cm.
- 50) 40 cm.



- 51)  $l \geq \frac{f(100+p)}{p}$ ,  $l$  – eseme kaugus läätsest.
- 52) Koondav lääts muutub hajutavaks ja vastupidi. Fookuskaugus suureneb  $\approx 10$  korda.
- 53) 20 cm.
- 54) 1,62.
- 55)  $x = \sqrt{ab}$ .
- 56) 24 cm.
- 57)  $f = \frac{\beta_1 \beta_2 l}{\beta_1 - \beta_2}$ .
- 58) 8 cm.
- 59) 12 cm.
- 60) 1.  $f_{obj} = 75 \text{ cm}$ ;  $f_{ok} = -15 \text{ cm}$  2.  $f_{obj} = 50 \text{ cm}$ ;  $f_{ok} = 10 \text{ cm}$ .
- 61) 0,5 cm.
- 62)  $\infty$ .
- 63) -31 cm.
- 64) -16 cm.
- 65) -1,1 cm.
- 66) -20 cm.
- 67) 30 cm.
- 68)  $R = 72 \text{ cm}$ ;  $a = 108 \text{ cm}$ .
- 69)  $a_1 = -\frac{f_1 d}{d - (f_1 + f_2)}$ ;  $d > f_1 + f_2$ .
- 70)  $-a < \frac{f}{2}$ .
- 71) 1.  $f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - d}$ ;  $X_{H_1} = \frac{f_1 d}{f_1 + f_2 - d}$ ;  $X_{H_2} = -\frac{f_2 d}{f_1 + f_2 - d}$  2.  $f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + n f_2 - d}$ ;  $X_{H_1} = \frac{f_1 d}{(f_1 + n f_2 - d)n}$ ;  $X_{H_2} = -\frac{f_2 d}{f_1 + n f_2 - d}$ .
- 73)  $f_2 = 12,5 \text{ cm}$ ;  $X_{H_1} = 1,3 \text{ cm}$ ;  $X_{H_2} = -0,8 \text{ cm}$ .
- 74)  $f_2 = -11,6 \text{ cm}$ ;  $X_{H_1} = 1,2 \text{ cm}$ ;  $X_{H_2} = -0,8 \text{ cm}$ .
- 75)  $f = \frac{nR}{2(n-1)}$ ;  $X_{H_1} = R$ ;  $X_{H_2} = -R$ . a)  $f = 2R$ ; b)  $1,5 R$ ; c)  $n > 2$ .
- 76) 6 cm.
- 77) 15 cm;  $\beta = -1,5$ .
- 78)  $15 \text{ cm} \geq a_2 \geq 0 \text{ cm}$ .
- 79) Kui  $d = \frac{n}{n-1}(r_1 + r_2)$ ;  $d$  – lääts paksus ja  $r_1$  ning  $r_2$  lääts pindala kõverusraadiuste aritmeetilised väärtused.
- 80) Kui lääts paksus  $d > 3(r_1 + r_2)$ .
- 81) Kui 1)  $r_1 = \infty$ ; 2)  $r_2 = \infty$ .
- 82)  $x = FA = \frac{R}{2} \left( \frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right)$ ;  $y = FH = \frac{R \tan 2\alpha}{2} \left( \frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right)$ .
- 83)  $x = 1,8 \text{ cm}$ ;  $y = 1,5 \text{ cm}$ .
- 84)  $d \leq 16,3 \text{ cm}$ .
- 85) 1)  $n_2 \sqrt{y^2 + (a_2 - x)^2} - n_1 \sqrt{y^2 + (a_1 - x)^2} = n_2 a_2 - n_1 a_1$ . 2)  $y^2 = 2f_2 \left( 1 - \frac{n_1}{n_2} \right) x - \left[ 1 - \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \right] x^2$ .
- 86) 1)  $y^2 = \frac{4a_1 a_2}{a_1 + a_2} x - \frac{4a_1 a_2}{(a_1 + a_2)^2} x^2$ ; 2)  $y^2 = 4f_2 x$ .
- 88)  $f_p = 1015 \text{ mm}$ ;  $f_k = 1000 \text{ mm}$ ;  $f_s = 982 \text{ mm}$ ;  $\Delta f = 33 \text{ mm}$ .
- 89)  $\Delta p = 0,75 \text{ mm}$ ;  $\Delta s = 0,90 \text{ mm}$ .
- 91)  $f_2 = f = f_1$ .
- 92)  $r_1 = 40,8 \text{ cm}$ ;  $r_2 = -41,3 \text{ cm}$ .  $r_1' = -41,3 \text{ cm}$ ;  $r_2 = \infty$ .
- 93) 50 cd.
- 94) 30 lx.
- 95) 2,5 %.
- 96)  $9 \cdot 10^7 \text{ lx}$ .
- 97)  $1,5 \cdot 10^3 \text{ lx}$ .

- 98) 9 lx.  
 99) 10 lx.  
 100) 0,3 m.  
 102) 50 m.  
 103) 5 lx.  
 104)  $\sqrt{2} \frac{R}{2}$ , kus R on laua raadius.  
 105)  $E = \frac{afR}{2(a^2+R^2)^3}$ .  
 106) 16 lx.  
 107) 5,6 lx.  
 108)  $E = \frac{f}{2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{a^2+R^2}}\right)$ .  
 109)  $E = \frac{fa}{2} \left(\frac{\sqrt{R_2^2+a^2} - \sqrt{R_1^2+a^2}}{\sqrt{R_1^2+a^2} \sqrt{R_2^2+a^2}}\right)$ .  
 110)  $E = \frac{R}{\pi} \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{2a^2+b^2}}$ .  
 111)  $I_\alpha = \frac{I_0}{\cos^3 \alpha}$ .  
 112)  $E = \pi B$ .  
 113)  $B = \frac{4}{\pi} \left(\frac{R}{D}\right)^2 E$ , kus D – Päikese diameeter ja R – Maa ja Päikese vaheline kaugus.  
 114) 25 lx.  
 115)  $2,3 \cdot 10^2$  nt.  
 116)  $1,5 \cdot 10^4$  lx.  
 117) 400 mm.  
 118)  $\approx 1; 1; \frac{1}{4}$ .  
 119) 1) 14; 2)  $\beta = 60$ ; 3) 10.  
 120)  $\approx 22$ .  
 121) 1) 0,03 W; 2) 0,3 w.  
 122)  $\approx 500$  lm.  
 123) Kui  $\vec{E}_{01} \perp \vec{E}_{02}$ .  
 125)  $5,0 \cdot 10^2$  mm.  
 126) 1,000865.  
 127)  $\lambda = \frac{2ar\delta x}{a_0+r}$ .  
 129)  $I = I_0 \cos^2 \left[\frac{2\pi arx}{\lambda(a_0+r)}\right]$ .  
 130)  $\delta x = 1,1$  mm.  
 131) 9'.  
 132)  $x_m = \frac{m(a+b)}{2a(n-1)a}$ .  
 133) Ribade arv  $N = \frac{4ab(n-1)^2 a^2}{\lambda(a+b)}$ .  
 134)  $\delta x = \frac{[1(a_1+f)-a_1f]\lambda}{a_1d}$ , kusjuures  $a_1 < 0$ .  
 135) 0,6 mm.  
 137) 500 nm.  
 138) 0,14'.  
 139) 104 nm.  
 140) 8,5 cm<sup>-1</sup>.  
 141)  $3,7 \cdot 10^{-5}$  rd.  
 142)  $r_k = \sqrt{(2k-1)R \frac{\lambda}{2}}$ ,  $k = 1, 2, \dots$ ;  $r_m = \sqrt{mR\lambda}$ ;  $m = 0, 1, 2, \dots$ .

- 143)  $r_k = \sqrt{\frac{(2k-1)R\lambda_0}{2n}}$ ,  $k = 1, 2, \dots$ ;  $r_m = \sqrt{\frac{mR\lambda_0}{n}}$ ;  $m = 0, 1, 2, \dots$ .
- 144) 0,3 mm.
- 145) 1,37 m.
- 146) 0,63 mm.
- 147) 32 cm.
- 148) 982.
- 149)  $r_k = \sqrt{\frac{kR_1R_2\lambda}{R_2-R_1}}$ .
- 150)  $r_m = \sqrt{\frac{mR_1R_2\lambda}{R_2-R_1}}$ .
- 151)  $\Delta L = 2h \cos \varphi$ , kus  $h$  on plaatidevaheline kaugus ja  $\varphi$  kiire peegeldumisnurk.
- 152)  $\Delta L = 2h\sqrt{n^2 - \cos^2 \varepsilon}$ .
- 153) Maksimumid asenduvad miinimumidega ja vastupidi.
- 154)  $h_m = \sqrt{\frac{mab\lambda}{a+b}}$ ;  $h_1 = 0,15$  cm.
- 155)  $h_m = \sqrt{mb\lambda}$ ;  $h_1 = 0,21$  cm.
- 156) 1,2 m.
- 157)  $f = 90$  cm;  $h_1 = 0,67$  mm.
- 158)  $r = \sqrt{\frac{m\lambda}{l/f + l/a}}$ . Keskkel on hele täpp, kui  $m$  on paaritu, ja tume, kui  $m$  on paarisarv.
- 159)  $r = \sqrt{\frac{m\lambda}{l/f - l/a}}$ , kui  $a > f$ . Keskkel on tume täpp, kui  $m$  on paaris, ja hele, kui  $m$  on paaritu.
- 160)  $\sin \varphi = \mp 1,43 \lambda/b$ ;  $= \mp 2,46 \lambda/b$ ;  $= \mp 3,47 \lambda/b$  jne.
- 161) 3,5 cm.
- 162)  $x = b \frac{\lambda}{D}$ ; tingimusel  $\frac{l}{2b^2} \left( \frac{b^2 \lambda^2}{D^2} + \frac{D^2}{4} \right) \ll 1$ .
- 163) Kui esimese tumeda difraktsioonirõnga raadius  $x = 1,22 \frac{b\lambda}{D}$ , siis  $D^2 = \frac{2,44 ab\lambda}{a+b}$ .
- 164)  $D = 0,35$  mm.
- 165)  $0,08 \div 0,03$  mm.
- 166)  $\approx 0,5^\circ$ .
- 167) 2.
- 168) 2,8 mm.
- 169) 1)  $0,4 \mu\text{m}$ ; 2)  $0,23 \mu\text{m}$ .
- 170) 1) 2 korda; 2)  $0,095 \mu\text{m}$ .
- 171)  $N \geq \frac{1a_0 n \sin u}{d}$ ,  $d$  – silmaava diameeter.
- 172) 175.
- 173)  $L = 1000$  km;  $1,5 \cdot 10^{-12}$ .
- 174) 3,7 m.
- 175)  $N \geq D/d$ ,  $d$  – silmaava diameeter.
- 176)  $2,8''$ ; 10.
- 177) 1,8 m.
- 179) 1)  $\approx 1^\circ$ ; 2)  $7'$ .
- 182)  $5'12''$ .
- 183)  $48^\circ 12'$ .
- 185)  $\varepsilon = A(n-1) \left[ 1 + \frac{n(n+1)}{21} A^2 \right]$ .
- 186) 0,9; 1,7; 2,9; 8,0; 13;  $36 \text{ ''}/\text{\AA}$ .
- 187)  $2,2 \cdot 10^{-3}$ ;  $4,2 \cdot 10^{-3}$ ;  $7,1 \cdot 10^{-3}$ ;  $1,95 \cdot 10^{-2}$ ;  $3,2 \cdot 10^{-2}$ ;  $8,8 \cdot 10^{-2}$ .

- 188) 982.  
 189) 1 cm.  
 190)  $b \ll 2,5 \cdot 10^{-3}$  mm.  
 191)  $1,5 \cdot 10^{-2}$  mm/Å.  
 192) 1)  $d(\sin \varphi - \sin \varphi_0) = m\lambda$ ; 2)  $d \cos \varphi_0 (\varphi - \varphi_0) = m\lambda$ .  
 193) 0, 38 Å.  
 194) Maksimaalne spektrijärk on täisarv, mis ei ületa arvu  $d/\lambda$ .  
 195) 3.  
 196) 540 nm.  
 197)  $5^\circ 33'$ .  
 198)  $m = k \frac{d}{b}$ ;  $k = \pm 1, \pm 2, \dots$ , kui  $m$  on täisarv.  
 199)  $I = I_0 \frac{\sin^2(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi)}{(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi)^2} \cdot \frac{\sin^2(\frac{\pi d N \sin \varphi}{\lambda})}{\sin^2(\frac{\pi d \sin \varphi}{\lambda})}$ .  
 200)  $I_{max} = \frac{I_0 N^2 d^2}{\pi^2 m^2 b^2} \sin^2(\frac{\pi m b}{d})$ .  
 201) 1) 8,6 “/Å; 2) 50 Å/mm.  
 202) 0,12 mm.  
 203) 13 “/Å.  
 204) 600 joont/mm.  
 205)  $\delta \varphi = \frac{\lambda}{Nd \cos \varphi}$ .  
 206)  $N \approx 1000$ .  
 207) 1)  $1,2 \cdot 10^4$ ; 2)  $4,8 \cdot 10^4$ .  
 208)  $x \ll 10^{-3}$  cm.  
 209) 1) 8,5 “/Å; 4.  
 210) 1)  $\frac{d\varepsilon}{d\lambda} = \frac{(n^2-1)-\lambda n \frac{dn}{d\lambda}}{\lambda \varepsilon}$ ;  $\Delta\lambda = \frac{\lambda^2 \sqrt{n^2-1}}{2d[(n^2-1)-\lambda n \frac{dn}{d\lambda}]}$ .  
 211) 17.  
 212)  $m_{min} = 47200$ ;  $m_{max} = 62000$ .  
 213) 1)  $\Delta\lambda = 0,098$ ; 2) 852000.  
 214) 2,5 cm.  
 215)  $37^\circ$ .  
 216) 1,43.  
 217)  $49^\circ$ .  
 218) 1)  $56^\circ 19'$ . 2)  $\Delta = \frac{4n^2 - (1+n^2)^2}{4n^2 + (1+n^2)^2} = -0,08$ .  
 219) -0,007; -0,042; -0,096; -0,247.  
 220) 0,8; 1,0.  
 221) Polaroidide uues asendis on läbinud valguse intensiivsus endiselt 2/3.  
 222) 10 %.  
 223) 37,5 %.  
 224) 2/3.  
 225) 1/2.  
 226)  $5^\circ 16'$ .  
 227)  $68^\circ$ ;  $a/b = 2,88$ .  
 228)  $\gamma_e = 11^\circ 10'$ .  
 229) 1)  $2\alpha = 34^\circ 20'$ ;  $a/b = 4,93$ . 2)  $2\alpha = 40^\circ 50'$ ;  $a/b = 4,14$ .  
 230)  $2\alpha = 8^\circ 10'$ ;  $a/b = 0,826$ .  
 231) 103. Ebatavaline.  
 232) 1)  $\sin 2\Phi = \sin 2\varphi \sin \delta$ ;  $\tan \Phi = B/A$ , kus A ja B on ellipsi pooltelgede pikkused. 2)  $\tan 2\theta = \tan 2\varphi \cos \delta$ , kus  $\theta$  on otsitav nurk.  
 233) 0,027 mm.  
 234) 0,027 mm.

- 235) 1) 0,014 mm; 2) 0,126 mm.  
 236) 5,97 ja 28,57.  
 237) 14,91 ja 19,50.  
 238) 10.  
 239) Sinine ( $\lambda = 433$  nm).  
 240) 0,073 mm.  
 241)  $I = a^2(l + \sin 2\alpha \sin \delta)$ ; I on maksimaalne, kui  $\alpha = \frac{\pi}{4}; \frac{3}{4}\pi, \dots$ , minimaalne, kui  $\alpha = 0, \frac{\pi}{2}, \dots$ ; a – amplituud,  $\delta$  – faasivahe.  
 242)  $I \sim A^2 = a^2[\cos^2(\alpha - \beta) - \sin 2\alpha \sin 2\beta \sin^2 \frac{\delta}{2}]$ , kus  $\delta$  on plaadi läbimisel tekkinud vaasivahe.  
 243) 4,5 mm.  
 244) 1,5 mg/cm<sup>3</sup>.  
 245) 14 cm.  
 246)  $d = \frac{\lambda^3 \pi}{8B\delta\lambda} \approx 920$  mm.  
 247)  $\Delta n = \frac{\varphi\lambda}{\pi d} \approx 1,1 \cdot 10^{-8}$ .  
 248)  $\Delta n = 7,1 \cdot 10^{-5}$ .  
 249) 9,1°.  
 250)  $R = 7,8 \frac{\text{minut}}{A/m \cdot \text{cm}}$ .  
 251)  $R = \frac{\pi(n_- + n_+)}{\lambda H}$ .  
 252)  $1,3 \cdot 10^{-7}$ .  
 253)  $\delta = 3,2^\circ$ .  
 254)  $1,6 \cdot 10^4$  V/cm.  
 255) 0,86 kW.  
 256) 1,41  $\mu\text{m}$ .  
 257) Suureneb 32 korda.  
 258)  $\delta \approx 5 \cdot 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup> · K<sup>4</sup>.  
 259) 1,6 tunni möödumisel.  
 260)  $6 \cdot 10^3$  K.  
 261) 28 Å.  
 262) 5,4 kW.  
 263)  $2,7 \cdot 10^3$  K.  
 264)  $\lambda_{\max} T = \frac{C_2}{5} = 0,28776$  cm · K.  
 265)  $T < 4150$  K, kui  $\lambda = 750$  nm.  
 267)  $4,4 \cdot 10^{-36}$  kg.  
 268) 2,43 eV.  
 269) 1,24 nm.  
 270) 6,6 eV.  
 271)  $p = 1,3 \cdot 10^{-27} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$ ;  $P_{H_2} = 5,4 \cdot 10^{-24} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$ .  
 272)  $\lambda = 1,23$  Å.  
 273) 67 korda.  
 274)  $1,2 \cdot 10^{21}$ .  
 275)  $p = W(1 + \rho) \cos^2 \alpha$ ;  $F_t = \frac{1}{2} W(1 + \rho) \sin 2\alpha$ , kus W on energia ruumtihedus.  
 277)  $p = 4,6 \cdot 10^{-6}$  N/m<sup>2</sup>.  
 278) 1) F = SW; 2) F = SW, kus S on kera ristlõikepindala.  
 279)  $F_1 = 5,9 \cdot 10^8$  N;  $F_1/F_2 = 1,6 \cdot 10^{-14}$ .  
 280)  $3,6 \cdot 10^{-4}$  N.  
 281)  $u = v(1 + \frac{\lambda}{n} \frac{dn}{d\lambda})$ .

- 282) 1)  $u = a = v$ ; 2)  $u = \frac{a}{2}\sqrt{\lambda} = \frac{v}{2}$ ; 3)  $u = \frac{3}{2}\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{3}{2}v$ ; 4)  $u = \frac{2a}{\lambda} = 2v$ ; 5)  $u = c^2(c^2 + b^2\lambda^2)^{-1/2} = \frac{c^2}{v}$ ;  
 6)  $u = \frac{1}{\epsilon\mu} c^2 \left\{ v \left[ 1 + \frac{\omega}{2\epsilon\mu} \frac{d(\epsilon\mu)}{d\omega} \right] \right\}^{-1}$ .  
 283)  $\epsilon = 1 + \frac{A}{\omega^2}$ ;  $A = \text{const.}$   
 284)  $\frac{dn}{d\lambda} = -2,3 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-1}$ .  
 285)  $\lambda_0 - \lambda = 21 \text{ \AA}$ .  
 286)  $\delta\lambda = 0,046 \text{ \AA}$ .  
 287)  $\Delta\lambda = 458 \text{ \AA}$ .  
 288) kaugeneb kiirusega 1380 km/s.  
 289) 2,1 km/s.  
 290)  $\Delta\lambda = 0,55 \text{ \AA}$ .

## Lisad

Inimese silma suhteline valgusefektiivsus

$\lambda, \text{ nm}$	$K_\lambda$	$\lambda, \text{ nm}$	$K_\lambda$
400	0,0004	560	0,995
440	0,023	600	0,631
480	0,139	640	0,175
520	0,710	680	0,017
550	0,995	720	0,00105

## Konstandid

Maa mass	$5,96 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Päikese mass	$1,97 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
Kuu mass	$7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$
Gravitatsioonikonstant	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$
Maa keskmine raadius	$6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$
Maa keskmine kaugus Päikesest	$1,49 \cdot 10^{11} \text{ m}$
Päikese keskmine raadius	$6,96 \cdot 10^8 \text{ m}$
Kuu raadius	$1,74 \cdot 10^6 \text{ m}$
Kuu keskmine kaugus Maast	$3,84 \cdot 10^8 \text{ m}$
Maa raskuskiirendus	$g = 9,81 \text{ m/s}^2$
Normaalne õhurõhk	$1,01 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$
Avogadro arv	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Universaalne gaasikonstant	$R = 8,31 \text{ J}/(\text{K} \cdot \text{mol})$

Boltzmanni konstant	$K = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
Gaasi moolruumala normaaltingimustel	$0,0224 \text{ m}^3/\text{mol}$
Faraday arv	$9,65 \cdot 10^7 \text{ C/kg-ekv}$
Elektroni laeng	$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Elektroni seisumass	$9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Prootoni seisumass	$1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Valguse kiirus vaakumis	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
Plancki konstant	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
Stefan-Boltzmanni konstant	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
Wieni konstant	$b = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$
Rydbergi konstant	$R = 1,10 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$
Bohri magneton	$\mu_B = 0,927 \cdot 10^{-23} \text{ J/T}$
Bohri raadius	$a_0 = 0,529 \cdot 10^{-10} \text{ m}$
Elektriline konstant	$\epsilon_0 = 0,885 \cdot 10^{-11} \text{ F/m}$
Magnetiline konstant	$\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$