

mus 3) ning kas see järjekord võib olla mõne teise uuritava aine korral vastupidine (anda üksikasjalik põhjendus)?

5. Selgitada, milline üllesanne on kompensatoril ning kuidas tema kaasaabi värviline riba likvideeritakse (teha kirte käiku kujutav joonis enne ja pärast kompensatorit).

6. Misugune peab olema vahevedeliku murdumisnäitaja ja miks?

Kirjandus

I. Данилов Г. С. М.: Наука, 1976. С. 482 - 488.

6.3. Spektroskoobi või monokromaatori kalibrimine

6.3.1. Töötlusanne

Monokromaatoriga M-2 tutvumine ja kalibrimiskõvera koostamine.

6.3.2. Katsesvahendid

Monokromaatror M-2, spektrijoonete tabelid, spektraal-lambid ja -torud koos toiteseadmetega.

6.3.3. Vajalikud seletused

Spektraalriista põhimõtteskeem ja üksikosade üllesanne. Monokromaatrori M-2 ehitus. Kalibrimiskõver ja selle kasutamine.

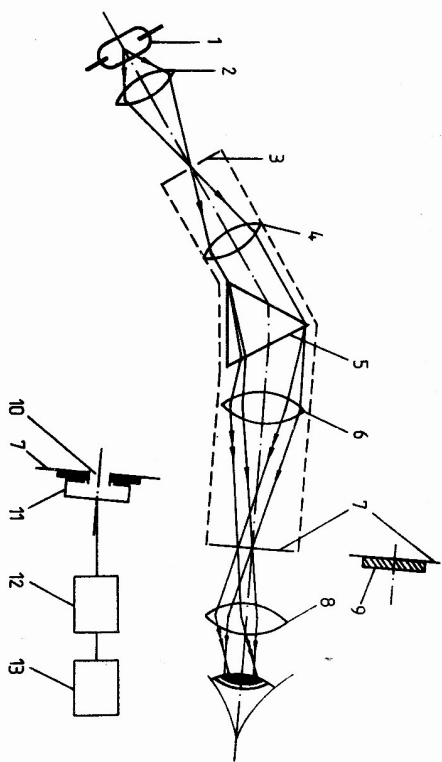
6.3.4. Töö käik

6.3.4.1. Sisesejuhatus

Praktikas on mõnikord vaja uurida intensiivsuse spektraalset jaotust kiirgusvoos*. Selleks kasutatakse seadmeid,

* Nisugune vajadus tekib näiteks atomite ja molekulide ehituse ning tahkete ainetes struktuuri uurimisel, spektraalanalüüsi korral ja mõnel teisel juhtumil.

mida nimetatakse spektraalaparaatideks. Kramiku spektraal-aparaatide ehitust saab selgitada joonisel 6.3.1 esitatud skeemi abil. Uuritav kiirgus suunatakse valgusallikast 1



Joonis 6.3.1. Spektraalriista põhimõtteskeem: 1 -

- valgusallikas, 2 - kondensor, 3 - sisendpilu, 4 - sisendkollimaatori objektivi, 5 - prisma, 6 - väljundobjektivi, 7 - väljundobjektivi fokaaltasand, 8 - okulaar, 9 - fotoplaat või film, 10 - väljundpilu, 11 - kiirguse vastuvõtja, 12 - võimendi, 13 - registreeriv seade.

valgustusüsteemi abil, mis joonisel 6.3.1 on kujutatud ühe kondensorläätsena 2, spektraalaparaadi sisendpilule 3. Sisendpilu asub sisendobjektivi 4 fokaaltasandis. Sisendpilu koos sisendobjektiviiga moodustab kollimaatori. Pärast kollimaatori läbimist levib pilu mistahes punktist lähtunud valgus peralleelse kimbuna ja suundub dispergeerivale süsteemile. Joonisel 6.3.1 on selleks prisma 5*. Kuna pris-

* Spektraalaparaatides kasutatakse dispergeeriva süsteemina ka prismade süsteemi, difraktsiooni võreid ning difraktsiooni võreid kombinatsioonid prisma või teiste difraktsiooni võretega.

ma murdumisnäiteja sõltub lainepikkusest, siis erineva lainepikkusega valgus murdub prisma erinevalt. Valgus, millele vastab suurem murdumisnäiteja, keldub rohkem kõrvale. Seejärel langeb uuritav valgus objektiivile 6. Kuna prismaast väljuvatel erineva lainepikkusega kiirtekiimpudel on erinevad suunad, siis objektiiv fokaaltasandis 7 saadakse paralleelsed erineva värvusega sisendpilu kujutised, mis moodustavadki spektri.

Spektraalaparadi ehituse edasine kirjeldus sõltub spektri vaatlemise ja registreerimise meetodist. Vastavalt sellele jaotatakse spektraalparaadid kolme tüüpi: spektroskoobid, spektrograafid ja spektromeetrid. Spektroskoobis vaadeldakse spektrit visuaalselt okulaari 8 abil. Spektrograafis registreeritakse spekter fotoplaadile või filmile 9, mis asetseb spetsiaalses kassetis ja mis ühtib objektiiv 6 fokaalpinnaega 7. Spektromeetris asetatakse fokaaltasandisse 7 ekraan väljundpinnaga 10 ja selle taha kirguse vastuvõtja 11. Kirguse vastuvõtjana võib kasutada fotokordistit, fotoelementi, fototekistit jne. Vastuvõtjalt saadud signaal võimaldatakse võimaldada 12 ja registreeritakse kas osutimõõterilista, ostsillograafi, isekirjuti või mõne muu seadmega 13. Spektromeetris suunatakse spektri erinevad osad üksteise järel väljundpinnale ja järelkult ka vastuvõtjase spetsiaalset kinemaatilist mehhanismi kasutades (harilikult pööratakse prismaid). Selnevalt on kerge mõista, et joonisel 6.3.1 on esitatud spektroskoobi täielik põhimõtteskeem. Spektrograafist ja spektromeetrist on toodud ainult registreerivad osad, kuna ülejäänus on kõik kolm aparadi põhimõtteliselt ühesugused.

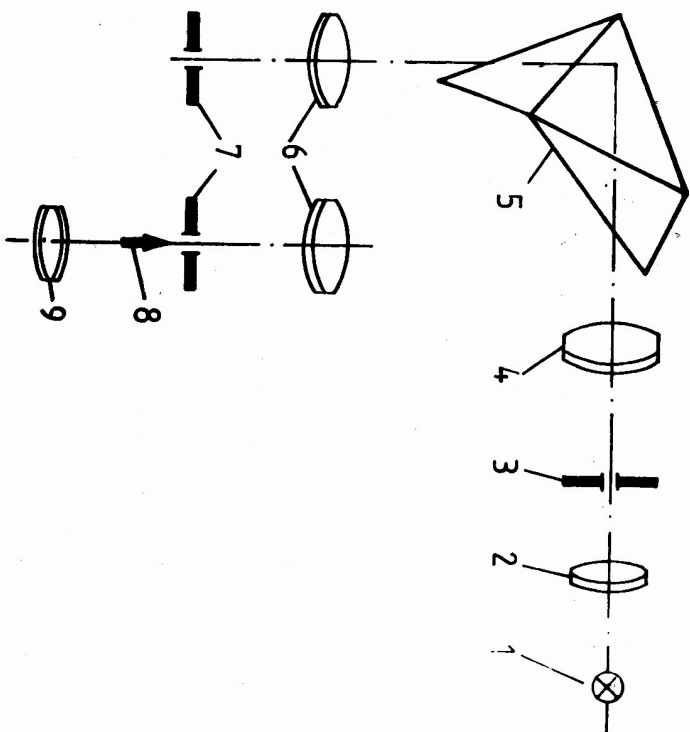
Spektromeetri optiline osa moodustab iseseisva spektraalaparadi, mida kasutatakse väga tihti kirguse monokromatiseerimiseks ja mis kannab seetõttu nimetust monokromator.

6.3.4.2. Monokromatori YM-2 ehitus

Monokromator YM-2 on ette nähtud kitsaste spektrivahemike väijäereldamiseks nähtavas ja lähedases infrapunases osas (lainepikkuste vahemikus 380...1000 nm). Asendades

väljundpilu okulaariga, võib aparadi kasutada ka spektroskoobina.

Monokromatori YM-2 põhimõtteskeem on esitatud joonisel 6.3.2. Monokromatori YM-2 väljundpilu 7 on eemaldatav ja asendatav samal joonisel kujutatud otsikuga. Val-



Joonis 6.3.2. Monokromatori YM-2 põhimõtteskeem:

- 1 - valgusallikas, 2 - kondensor, 3 - sisendpilu,
- 4 - kollimaatori objektiiv, 5 - Abbe prisma, 6 - väljundobjektiiv, 7 - väljundpilu, 8 - teravik,
- 9 - okulaar.

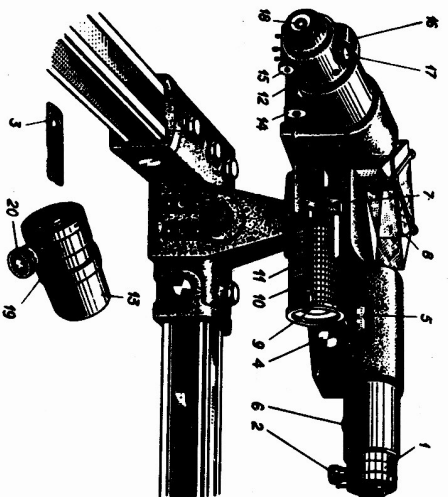
tatava otsiku koosseisu kuulub teravik 8, mis asub objektiiv 6 ja okulaari 9 fokaaltasandis. Selline süsteem moodustab optilises mõttes pikksilma.

Valgus langeb läbi sisendpilu kollimaatori objektiiv-

vile ja läbib paralleelse kimbuna disperseeriva prisma, milleks on nihutatud 90° -se konstantse kaldenurgaga Abbe prisma. Nagu nähtub jooniselt 6.3.2, koosneb see prisma kolmest osapristmast, millest kahel käärmsel on murdev nurk 30° , aga kolmas on täieliku peegeldumise prisma.

Monokromaatoris $M-2$ on Abbe prisma asetatud nii, et väljundpildile langevad need kiired, mis moodustavad täisnurga siseneva kiirtekimbuga. Dispersiooni tõttu rahuldab seda tingimust ainult kindla lainepikkusega valgus. Teistsuguse lainepikkusega valgus langeb väljundpildist vasakule või paremale. Et suunata väljundpildile erineva lainepikkusega valgus, tuleb pöörata monokromaatoriga $M-2$ disperseerivat prisma ümber vertikaaltelje.

Joonisel 6.3.3 on esitatud monokromaatoriga välisvaade ilma prisma kateteta.



Joonis 6.3.3. Monokromaatoriga $M-2$ välisvaade.

Sisendpildil asub raamis 1. Pildil laiust reguleeritakse mikromeeterkruviga 2. Jaotuse väärtaus tema trumlikelisel on $0,01$ mm. Pildil maksimaalne kõrgus on 15 mm. Pildil kõrgust saab reguleerida nihutatava diafragmaga 3. Kuna monokromaatoriga on normaalselt justeeritud, siis sisendpildil kujutis peab asuma väljundpildil tasandis. Kuna objektiivil fookus-

kaugus sõltub lainepikkusest, siis monokromaatoriga on ette nähtud kollimaatori objektiivil fookuseerimine. Objektiiv fookuseeritakse kruvi 4 abil. Aknas 5 on näha nooniusega millimeeterkaala kollimaatoriäätse asukohta määramiseks. Sellele skaala näidu sõltuvus lainepikkusest on seadme passis. Praktikumis peavad ülilõplised kollimaatori objektiivil ise fookuseerima.

Kollimaatori tornus, pildil ja objektiivil vahel asub kaetlik, mille abil võib tõkestada valguse pääsemist aparati. Kaetikut saab pöörata käepidamega 6.

Prisma lauake 7 koos temal asetseva prisma 8 on ühendatud kangisüsteemi abil mikromeeterkruviga 9. Mikromeeterkruvi silindrilisele peale 11 on kantud kradidjohtused. Luigem võetakse mööda spiraalset veegu libiseva limbi 10 kriidipisu asukohta järgi.

Vahetatavad otsikud on tähistatud arvudega 12 ja 13. Need võib teineteisega vahetada, vahastades fikseeriva kruvi 14. Joonisel 6.3.3 on monokromaatoriga $M-2$ kujutatud otsikuga 12, mis muudab aparati spektroskoobiks. Sel juhul asub teravik 8 (vt. jn. 6.3.2) tasandis, kus moodustub kiirgusalilka spekter. Teraviku asendit vaateväljas reguleeritakse kruvidega 15. Kuid tuleb meeles pidada, et teraviku asukohta reguleerimine praktikumis on keelatud. Teraviku valgustatakse katte 16 all oleva lambiga läbi vahetatavate valgusfiltrite. Seeja saab teraviku valgustada igas spektri piirkonnas spektrijoonele lähedast värvil valgusega. Uuritavat spektrit koos teravikuga veadatatakse läbi okulaaeri 18.

Otsiku 12 asendamisel otsikuga 13 muutub aparati monokromaatoriga. Tehases on otsiku 12 teravik justeeritud nii, et spektrijoon, mis ühtis teravikuga, peab langema väljundpildile, kui otsik 12 asendada otsikuga 13. Väljundpildil asub raamis 19. Tema laiust reguleeritakse mikromeeterkruviga 20.

6.3.4.3. Eksperiment

6.3.4.3.1. Seadme ettevalmistamine mõtlemiseks

Nagu juba öeldud, võib $M-2$ kasutada nii monokromaatoriga kui ka spektroskoobina. Visuaalsel kalibrimisel on tema kalibriline spektroskoobina mõnevõrra nähtlikum ja mugavam, kuid kalibriline monokromaatoriga erineb vähe all-

poolkärjeladust.

Kui kairgusallikas on väike ja seda ei saa asetada pildilähedele, siis paigutatakse valgusallika ja monokromaatori sisendpilu vahele kondensoriääts. Valgusallikas ja kondensoriääts peavad asuma spektraalaparadi optilisel teljel ja niisugusel kaugusel, et oleks tagatud monokromaatori kollimaatoriäätsse täitumine valgusega. Monokromaatori JM-2 komplekti kuulub akromaatiline lääts fookuskaugusega 94 mm. Selle kondensoriäätsse kasutamisel soovitatakse asetada valgusallikas 453 mm kaugusele pilu tasandist ja kondensoriäätsse esimene pind 130 mm kaugusele valgusallikast. Nimetatud kauguste puhul peab pilu tasandis tekkima valgusallika terav kujutis. Selle saavutamise, korrigeerides valdi valgusallika ja kondensoriäätsse asendit. Et asetada valgusallikast optilisele teljele, võtame kondensoriäätsse ajutiselt relsilt ära. Seejärel eemaldame ka okulaari. Valime sisendpilu laiuseks ja kõrguseks umbes 0,5 mm. Kui nüüd vaadata valgusallikat läbi monokromaatori, siis on ta nähtav prisma asendile vastava lainepikkusega valguses. Valgusallika õige asendi korral on tema kujutis nähtav väljundobjektiiv keskel. Selle asendi võib saavutada, nihutades valgusallikast tasandis, mis on risti aparadi optilise teljega. Kui valgusallikas paikneb õigesti, siis paigutamise kondensoriäätsse relsile tagasi ja reguleerime tema asendit nii, et valgusallika terav kujutis tekiks monokromaatori sisendpildil (valgusallikas peab jääma paigale*). Siis asetame tagasi okulaari ja fokuseerime ta teravikule, lülitades eelnevalt sisse teraviku valgustuse. Sisendpilu laiuseks on mõistlik valida 0,02 mm, kõrguseks 2 mm. Nõrgemate joonte määramiseks võib kasutada laiemat pilu.

6.3.4.3.2. Kallibrimiskõvera koostamine

Kallibrimiskõver saab vastavusse teravikule (väljundpildile teise otsiku kasutamise korral) langeva valguse lainepikkused ja skaalajaotised mikromeeterkruvi (vt. jn.6.3.3)

* Lampide vahetamisel justeeritud seadmel asetatakse nad nii, et lambi lähenduse terav kujutis asuks sisendpildil. Seejuures mudugi kondensoriäätsse enam reguleerida ei tohi.

silinderpeel 11. Kallibrimiskõvera koostamiseks on vaja kasutada tuntud joonspektoriga valgusallikaid (gaasilahenduslambid, mis sisaldavad H, He, Hg, Na, Ne või teisi gaase). Seejuures on vaja vähemalt viie ereda joone jaoks, mis asuvad vastavalt spektri punases, kollases, rohelistes, sinises ja violetses osas, määrata kollimaatoriäätsse asend, mille puhul spektrijoone (sisendpilu kujutis) ja teraviku asuvad ühes tasandis. Selle tingimuse täitmise tunnuseks on paralleelsi püüdnud teraviku ja joonte vaatlamisel.

Ekspérimentaalselt määratud kollimaatoriäätsse asendid (täpsusega 0,1 mm) kanname protokollil ja aparadi kallibrimisel reguleerime kollimaatoriäätsse vastavalt andmetele. Kallibrimisel saadud andmed on mõistlik vormistada tabeli kujul, kuhu algul kanname skaala näidu, mis vastab spektrijoonele, kollimaatoriäätsse asendi, spektrijoone (visuaalselt hinnatud) intensiivsuse ja värvuse. Mõõdame spektri kogu ulatuses kaks korda. Tabeli viimasesse tulpa kanname tabelist saadud lainepikkused.

Nr.	Skaala näit		Kollimaatoriäätsse asend	Intensivsus	Värvus	Lainepikkus nm
	I mõtmine	II mõtmine				
1						
2						
3						

Spektrijoonte ja skaala näitude vastavusse seadmist on soovitatav alustada tugevatest ja tuntud lainepikkusega joontest. Näiteks naatriumi tugeva kollase kaksikjoone identifitseerimine ei valmista raskusi. Elavõhbeda tugevad jooned on samuti kergesti tuntavad: kollane kaksikjoon $\lambda = 579,1$ nm ja 577,0 nm, roheline 546,1 nm ja 435,8 nm. Kuid tuleb hoiatada, et mõnikord peavad kogunenud vaatlajad rohelist joont (491,6 nm) siniseks, aga sinist joont (435,8 nm) violetseks ega märka tõelisi violetseid jooni (407,8 ja 404,7 nm). Peale nimetatud joonte on elavõhbeda spektris palju teisi jooni. Vaadeldavatele joontele vastavad lainepikkused tuleb leida spektrijoonte tabeli abil.

Küsilaski täielikke spektrijoonte tabelleid võib leida raamatust: А.Н. Зайдлер, В.К. Прокофьев, С.М. Райский, В.А. Славный, Е.Ф. Шрефлер. Ультрафиолетовые линии. Мөнеде visuaalsel kalibrimisel kasutatavate spektrijoonte tabelid on paigutatud käesoleva juhendite kogumiku lissesse 7.2.

On soovitatav esialgne kalibrimisgraafik koostada mõõtmiste käigus, kasutades selleks tuntud lainepikkusega jooni kogu spektri ulatusest. Iõpliku kalibrimiskõvera konstrueerimisel saame esialgset kõverat kasutada ülejäänud mõõdetud spektrijoonte lainepikkuste leidmiseks, s.t. on hõlpsam tabelist saada lainepikkuse ja joone värvuse ühitamine. (Soovitame ordinaatteljele kanda lainepikkused nii, et 1 mm-le vastaks 1 mm ja abstsissiteljele kraadid selliselt, et 5 kraadile vastaks samuti 1 mm.)

Teaduslikuks eesmärgiks koostatud tabelites joonte värvust ei märgita. Joonte värvus kaotab spektri infrapunases ja ultravioletses osas mõtte. Sellistes tabelites märgitakse joonte suhtelised intensiivsused.

Käesolevas töös tuleb igale nähtavale joonele leida vastav lainepikkus. Selleks kanname millimeeterpaberile antud mõõtkavas lainepikkuse ja skaalajaotiste teljestiku ja märgime sinna esiteks hästi tuntud joonte asukohad. Ülejäänud joonte määramisel arvestame seda, et kalibrimiskõver on sile ja kõverus ühemärgiline. Seega on kalibrimise õigsuse tunnuseks kõvera siledus ja kõigi punktide pealknemine kõveral.

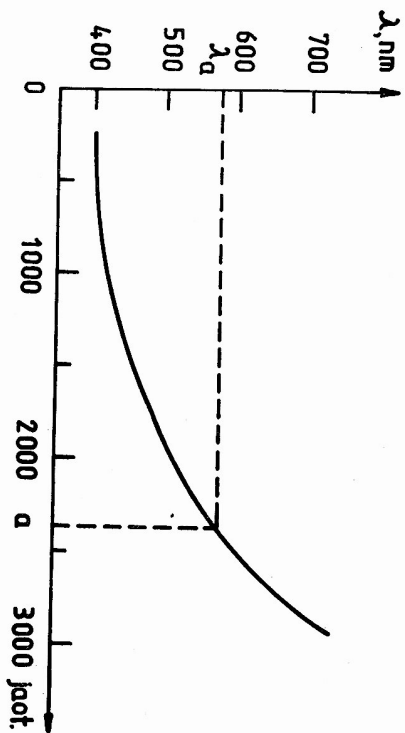
Kalibrimiskõvera põhjal saame määrata tundmatu elemendi spektrijoonte lainepikkused ja, võrreldes neid spektrijoonte tabelis olevate lainepikkustega, kindlaks teha spektraallambis oleva elemendi. Näiteks joonisel 6.3.4 vastab skaalajaotisele a lainepikkus λ_a .

Kasutades omakoostatud kalibrimiskõverat ja mõttes juhendava õppejõu antud spektraallambi spektri, leiame lambis oleva elemendi.

6.3.5. Küsimusi

1. Milliseks on spektrograafii kollimaator?
2. Mis on spekter?

66



Joonis 6.3.4. Monokromaatori UM-2 kalibrimiskõvera näide.

3. Mille poolt erinevad prisma- ja võrespektrograafiga saadud spektrid?
4. Millal ei ole kondensori kasutamine vajalik?
5. Mis on kalibrimiskõvera õigsuse kriteeriumiks?

Kirjandus

I. Ленцелер Т.С. Оптика. М.: Наука, 1976. С.337 - 340.

6.4. Valguse neeldumisspektri määramine

6.4.1. Tööülesanne

Absorptsioonfotomeetriala alustega tutvumine ja valguse neeldumisspektri määramine.

6.4.2. Katsevahendid

Fotoelektriline fotomeeter, uuritav ja võrdlusobjekt.

6.4.3. Vajalikud eelteadmised

Baugueri seadus, monokromaatori töö põhimõte, fotoelektrilise fotomeetri ehitus.

67