

# VEDELIKU MURDUMISNÄITAJA MÄÄRAMINE ABBE REFRAKTOMEETRIGA.

## Tööülesanne

Tutvuda Abbe refraktomeetri ehitusega ja tööpõhimõttega. Määrata murdumisnäitaja sõltuvus lahuse kontsentratsioonist. Leida tundmatu lahuse kontsentratsioon.

## Töövahendid

Abbe refraktomeeter, uuritavad lahused, destilleeritud vesi, pulk lahuse viimiseks prismale, tükike vatti.

## Teoreetiline osa

1.

Ühest keskkonnast teise üle minnes muudab valguskiir keskkondade piiril oma levimissuunda - s.t. murdub. Murdumisseaduse järgi on murdunud kiir ühes tasandis langeva kiire ja langemispunktist tõmmatud keskkondade eralduspinna pinnanormaaliga. Langemisnurga  $\alpha$  siinuse suhe murdumisnurga  $\gamma$  siinusesse on antud ainetepaari jaoks konstantne suurus:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21} . \quad (1)$$

Suurust  $n_{21}$  nimetatakse teise aine (selle, millesse kiir läheb) **suhteliseks murdumisnäitajaks** esimese aine suhtes.

Mingi aine murdumisnäitajat vaakumi suhtes nimetatakse selle aine absoluutseks murdumisnäitajaks.<sup>1</sup> Võib tõestada, et kahe aine suhteline murdumisnäitaja võrdub nende absoluutsete murdumisnäitajate suhtega. Kui esimese ja teise aine absoluutsed murdumisnäitajad on  $n_1$  ja  $n_2$ , siis on teise aine suhteline murdumisnäitaja esimese aine suhtes

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} , \quad (2)$$

kus  $v_1$  ja  $v_2$  on valguse kiirus vastavalt esimeses ja teises keskkonnas.

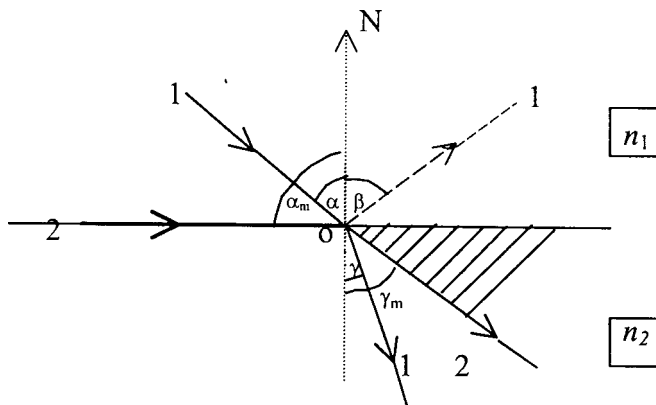
Praktikas mõõdetakse väga tihti aine murdumisnäitaja õhu suhtes. Absoluutsed murdumisnäitajad on viimastest umbes 1,0003 korda suuremad. Tabelites on harilikult esitatud absoluutsed murdumisnäitajad.

Suurema absoluutse murdumisnäitajaga aineid nimetatakse optiliselt tihedamateks.

---

<sup>1</sup>Sõna absoluutne jäetakse tihti ära ja siis räägitakse lihtsalt antud aine murdumisnäitajast, pidades silmas, et ta on määratud vaakumi suhtes.

Vaatleme valguskiire üleminekut (1. joonis) optiliselt hõredamast keskkonnast murdumisnäitajaga  $n_1$  optiliselt tihedamasse keskkonda murdumisnäitajaga  $n_2$ . Keskkonna piiril moodustub langevast kiirest 1 peegeldunud kiir (peegeldusnurk  $\beta = \alpha$ ) ja murdunud kiir.



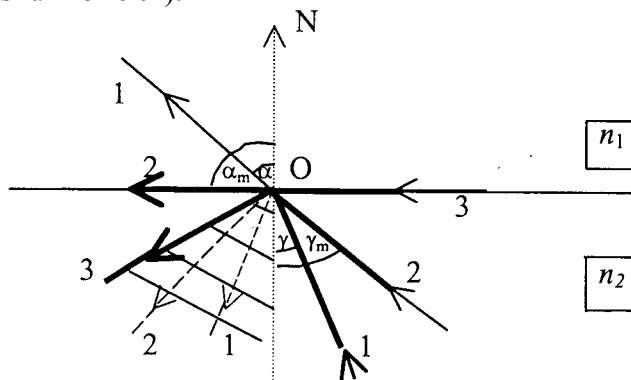
1. joonis. Kiirte murdumine optiliselt hõredamast keskkonnast optiliselt tihedamasse.

Ülalesitatud kahest avaldisest jäeldub vahetult, et sellisel juhul on murdumisnurk väiksem langemisnurgast (va risti langemine, siis on  $\alpha = \gamma = 0^\circ$  ja murdumist ei toimu). Suurim murdumisnurk  $\gamma_m$  vastab langemisnurgale  $\alpha_m = 90^\circ$  (1. joonisel suurima nurga all murdub kiir 2). Kõik kiired, mille langemisnurgad  $\alpha$  on vahemikus  $0 - 90^\circ$ , levivad peale murdumist nurkvahemikus  $0^\circ - \gamma_m$ . Keskkonnas murdumisnäitajaga  $n_2$  tekib ala (joonisel viirutatud), kuhu esimesest keskkonnast tulev valgus üldse ei levi. Avaldiste (1) ja (2) põhjal võime kirjutada võrrandi

$$\frac{\sin 90^\circ}{\sin \gamma_m} = \frac{n_2}{n_1}, \quad \text{millest} \quad \sin \gamma_m = \frac{n_1}{n_2}. \quad (3)$$

3.

Et valguskiirte käik on pööratav, siis kiir 2, mis langeb optiliselt tihedamast keskkonnast nurga  $\gamma_m$  all optiliselt hõredamasse keskkonda, levib pärast murdumist mööda keskkonna lahutuspinda (murdumisnurk on  $90^\circ$ ).



2. joonis. Valguse murdumine optiliselt tihedamast keskkonnast optiliselt hõredamasse. Viirutatud sektorisse peegelduvad kiired osaliselt ja tekib poolvari.

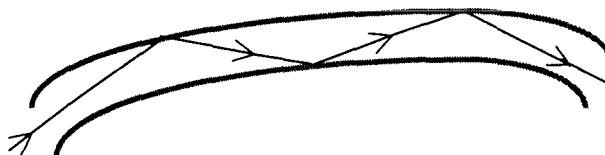
Kui langemisnurk  $\gamma_m \leq \gamma \leq 90^\circ$ , siis valgus peegeldub täielikult tagasi tihedamasse keskkonda. Seda nähtust nimetatakse **täielikuks sisepeegeldumiseks**. Vastavalt murdumisreedele kehtib seos

$$\frac{\sin \gamma_m}{\sin 90^\circ} = \frac{n_1}{n_2}, \quad \text{millest samuti} \quad \sin \gamma_m = \frac{n_1}{n_2}. \quad (4)$$

Kui mõõta nurk  $\gamma_m$  siis saame arvutada murdumisnäitaja  $n_{12}$  ja kui on teada ühe keskkonna absoluutne murdumisnäitaja, saame leida ka teise keskkonna absoluutse murdumisnäitaja.

4.

Täieliku sisepeegelduse nähtuse kasutamisel põhineb **kiudoptika**. Valgus, sattudes läbipaistva kiu sisse, mis asub väiksemat murdumisnäitajat omavas keskkonnas, peegeldub mitmekordselt ja levib piki seda kiudu (3. joonis). Üksikutest kiududest koostatakse valgusjuht, milles erineva heledusega osadest koosnevat kujutist saab edastada mööda kõverjoonelist trajektoori.



3. joonis. Valguse levimine kius.

Valgusjuhte kasutatakse meditsiinitehnikas (näiteks, endoskoobis - keha siseõõnsuste vaatlemisel ja gastroskoobis - siseõõnsuste fotografeerimisel).

5.

Seadmeid murdumisnäitaja määramiseks nimetatakse **refraktomeetriteks**. Meditsiinis kasutatakse refraktomeetreid ainete kontsentratsiooni määramiseks lahustes (näiteks valgu sisalduse määramiseks vere seerumis), sest lahuse murdumisnäitaja sõltub temas lahustunud aine kontsentratsioonist.

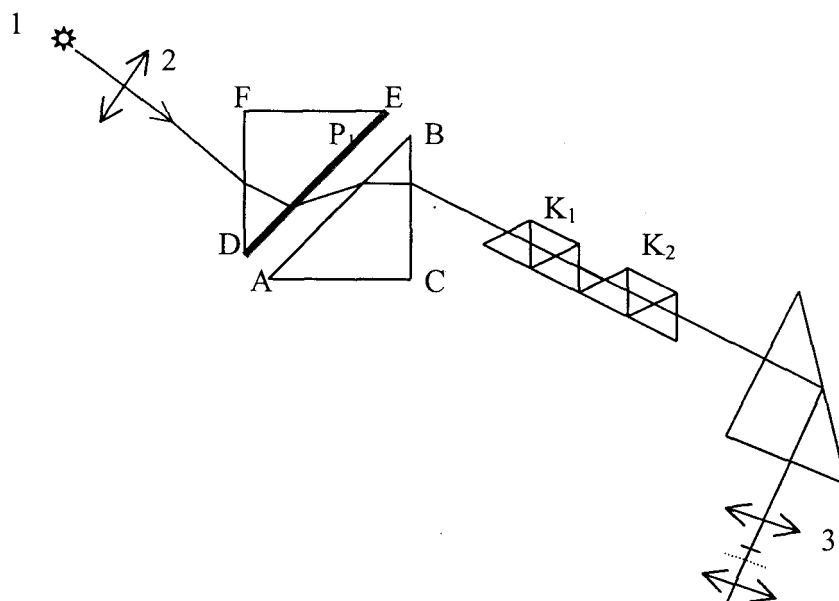
Selleks, et **refraktomeetriga määrata aine kontsentratsioon lahuses**, tuleb refraktomeeter gradueerida, s.t. teha kindlaks murdumisnäitaja sõltuvus selle aine kontsentratsioonist. Selleks valmistatakse komplekt lahuseid, mille kontsentratsioonid on uuritavas piirkonnas ja määratakse nende murdumisnäitajad. Tulemuste põhjal joonestatakse gradueerimisgraafik, mis näitab murdumisnäitaja sõltuvust lahustunud aine kontsentratsioonist.

Kui nüüd mõõdame mingi tundmatu kontsentratsiooniga lahuse murdumisnäitaja, siis saame selle põhjal gradueerimisgraafikult määrata antud lahuse kontsentratsiooni arvulise väärtuse.

6.

**Abbe refraktomeetri** põhilisteks osadeks on kaks prisma  $P_1$  ja  $P_2$  ning pikksilm (4. joonis).

Prismat  $P_1$  nimetatakse **valgustavaks prismaks**. Prisma  $P_1$  tahk DE on matistatud. Prismat  $P_2$  nimetatakse **mõõteprismaks**. See on valmistatud klaasist, mille murdumisnäitaja on  $\approx 1,74$ . Mõõteprisma külg AB on hoolikalt poleeritud.



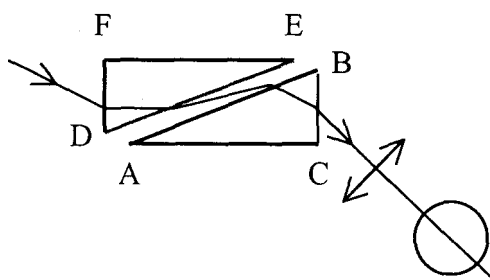
4. joonis. Abbe refraktomeetri skeem.

1 – valgusallikas, 2 – kondensator,  $P_2$  – mõõteprisma,  $P_1$  – valgustav prisma,  $K_1$  ja  $K_2$  – kompensaatori prismad, 3 – niitristiga pikksilm.

Uuritav vedelik pannakse prismade vahele, kus ta moodustab õhukese tasaparalleelse kihi.

7.

**Läbipaistvate vedelike** murdumisnäitajat määratakse libiseva kiire meetodil. Siis suunatakse valgus (vt. 5. joonist) Abbe refraktomeetrisse läbi valgustava prisma (poleeritud) otsatahu DF. Valgustatava prisma matilt pinnalt DE levib valgus vedelikus kõikides suundades. Läbinud uuritava vedeliku õhukese kihi, langeb valgus mõõteprisma sisendtahule igasuguste nurkade all vahemikus  $0^\circ$  kuni  $90^\circ$ . Mõõteprismas on murdunud kiirte murdumisnurgad vastavalt  $0^\circ$  kuni kindla piirnurgani (vt. 1. joonis.). Murdumise piirnurk oleneb prisma  $P_2$  ja uuritava vedeliku murdumisnäitajast. Valgustamata sektor tekib siis, kui prisma  $P_2$  murdumisnäitaja on uuritava vedeliku murdumisnäitajast suurem. Mõõteprismast väljumisel murduvad kiired veel kord ja suunduvad siis lõpmatuse teravustatud pikksilma.



5. joonis. Kiirte käik Abbe refraktomeetris libiseva kiire meetodil.

Kui pikksilm on asetatud nii, et tema optilise telje suund langeb ühte mõõteprismas piirnurga all murdunud kiirte suunaga, siis on üks pool vaateväljast valgustatud, teine pool aga pime.

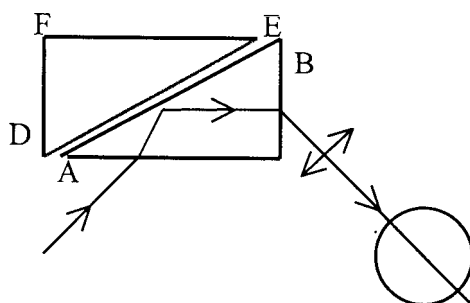
Erinevate vedelike korral prismade  $P_1$  ja  $P_2$  vahel on ka murdumise piirnurk erinev. Selleks, et taastada iga kord endine pilt okulaaris (pool vaatevälja hele ja pool tume), on vaja iga kord uuesti pikksilma telje suund viia ühte mõõteprismas murdumise piirnurga all murdunud kiirte suunaga. Seega saab pikksilma ja prisma vastastikuse asendi põhjal otsustada uuritava vedeliku murdumisnäitaja üle.

Murdumisnäitaja määramiseks on Abbe refraktomeetri pikksilmas niitrist, mis võimaldab fikseerida okulaaris nähtava heleda ja tumeda välja piiri asukohta ning pikksilma ja prisma vastastikust asendit näitav skaala, mis on gradueeritud vahetult murdumisnäitaja ühikutes.

8.

**Värviliste ja läbipaistmatute vedelike murdumisnäitajat määratakse täieliku sisepeegelduse meetodil** (vt. 6. joonist), siis valgustatakse mõõteprismat  $P_2$  tema matilt küljelt AC.

Sel juhul langeb valgus mõõteprisma poleeritud küljele AB kõikvõimalike nurkade all vahemikus  $0 - 90^\circ$ . Kui langemisnurk  $\gamma > \gamma_m$  toimub täielik sisepeegeldumine, kui aga  $\gamma < \gamma_m$ , siis osaline peegeldumine (vt. 2. joonist).



6. joonis. Murdumisnäitaja mõõtmine täieliku sisepeegeldumise meetodil.

Pikksilmas on sel juhul näha heleda osa ja poolvarju piir. Kuna piirnurga jaoks kehtivad seosed on mõlemal mõõtmismeetodil ühesugused, siis asub ka see piir samas kohas.

9.

Ülalesitatud Abbe refraktomeetri tööpõhimõtte kirjeldus vastab sellele juhule, kui kasutatakse monokromaatilist valgusallikat. **Polükromaatilise valguse kasutamise korral** (näiteks päevavalgus) on pikksilma vaateväljas naha valgustatud ja valgustamata osa vahel värvilist vööti. Värvilise vöödi tekkimist põhjustab erineva lainepikkusega kiirte erinev murdumisnäitaja ja seega ka erinev maksimaalne murdumisnurk  $\gamma_m$  kiirte siirdumisel vedelikust prisma  $P_1$ .

Värvilise vöödi kaotamiseks on Abbe refraktomeetris **dispersiooni kompensator**, mis koosneb kahest kollase valguse suhtes võrdsest otsevaate-prismast. Kumbki otsevaate prisma koosneb kolmest (erinevate murdumisnäitajaga) kokkukleebitud prismast, mis on valitud nii, et kollased kiired labivad süsteemi ilma suunda muutmata. Suuremate lainepikkustega valgus kaldub kollaste kiirte suhtes ühele poole, väiksemate lainepikkustega valgus aga teisele poole. Otsevaate prismad on teineteise suhtes vastava kruvi abil optilise

telje ümber pööratavad. Sellega muutub summaarne dispersioon, mis koosneb mõlema otsevaate prisma dispersioonist, maksimaalsest positiivsest suuruseni kuni vastava negatiivse suuruseni. Otsevaate prismade teatud asendi korral kompenseeribki prismade poolt tekitatav summaarne dispersioon vedelikukihis tekkiva dispersiooni. Siis on valguse ja varju piir värvitu ja tema asend vastab kollase valguse ( $\lambda_D = 589 \text{ nm}$ ) poolt tekitatud valgustatud ja valgustamata vaatevälja eralduspiiri asendile.

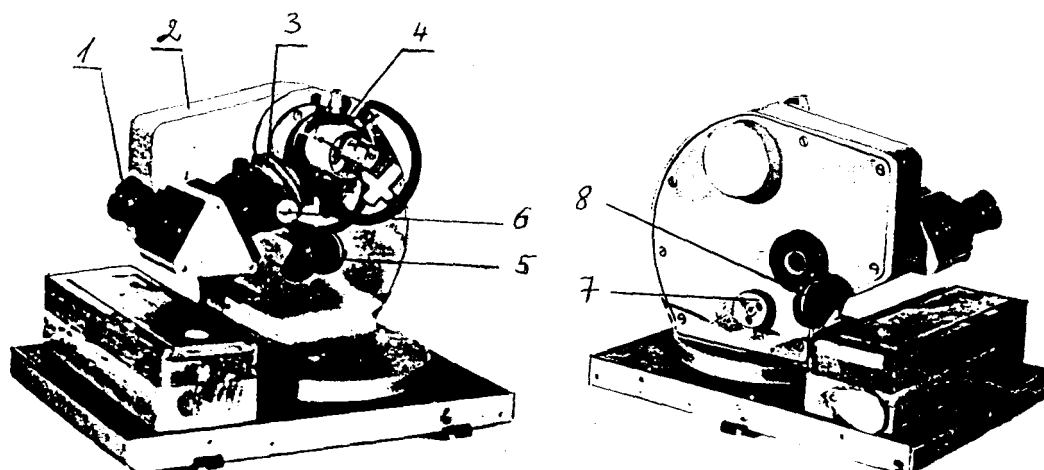
10.

**Refraktomeetri ИРФ-22 välisvaade on näha 7. joonisel.**

Seadme korpusele 2 monteeritud mõõtepea 4 koosneb kahest valatud poolkerast, milles asuvad mõõte- ja valgustav prisma. Mõõtepea on jäigalt ühendatud aparadi korpuse sees asuva skaalaga.

Et leida valgustatud ja valgustamata vaatevälja eralduspiir ja viia see niitristini pikksilma 1 okulaari vaateväljas, on vaja trumli 7 keeramisega kallutada mõõtepead kuni vajaliku asendini. Kompensaatori trumli nupu 6 abil saab keerata kompensaatori prismasid ja kõrvaldada eralduspiiri värvilise riba. Kompensaatori trumlile 3 on kantud skaala, mille järgi määratakse kompensaatori asend.

Uuritavale ainele juhitakse valgus peegliga 5, murdumisnäitaja skaalale peegliga 8. Murdumisnäitaja skaalat näeme okulaari vaateväljas niitristi kõrval.



7. joonis. Refraktomeeter ИРФ-22.

- 1 – pikksilm, 2 – korpus, 3 – kompensaatori trummel skaalaga,  
 4 – mõõtepea, 5 – peegel, 6 – kompensaatori trumli nupp,  
 7 – trummel mõõtepea asendi muutmiseks, 8 – peegel skaala valgustamiseks.

#### Praktiline osa

##### 1. Refraktomeetri kontrollimine.

Mõõtmiste teostamiseks avage mõõtepea. Puhastage mõlemad prismad destilleeritud vees niisutatud vatitukikesega. Seejärel kuivatage prismad kuiva vatitukiga. **Ettevaatust! Prisma materjal (flint) on pehme ja kergesti kriimustatav.**

Tilgutage mõõteprisma pinnale mõned tilgad destilleeritud vett. Sulgege ettevaatlikult mõõtepea. Läbi mõõtepea akna tuleb vaadata, kas vedelik täitis täielikult mõõteprisma ja valgustava prima vahelise pilu.

Peegel 5 asetage nii, et valgus langeks valgustavasse prisma ja valgustaks vaatevälja ühtlaselt.

Avage refraktomeetri vasakul küljel olev aken ja pöörake peeglit 8, kuni okulaaris nähtav skaala on hästi valgustatud.

Reguleerige okulaari nihutamisega niitrist ja skaala teravaks. Seejärel pöörake trumlit 7 kuni näete vaateväljas valguse ja varju eralduspiiri värvilist vööti. Viige eralduspiir vaatevälja keskele ja siis keerake kompensatori trumlit 3 (nupp 6) kuni värviline vööt valguse ja varju eralduspiiril kaob. Seejärel viige valguse ja varju eralduspiir täpselt ühte niitristiga ja kirjutage Üles refraktomeetri näit okulaaris nähtava skaala põhjal. Murdumisnäitaja täis-, kümnendik-, sajandik- ja tuhandikosad loetakse vahetult skaalalt, **kümnetuhandikud hinnatakse silmaga.**

Refraktomeetri skaalalt määratud murdumisnäitaja vastab naatriumi D joonele ( $\lambda_D = 586 \text{ nm}$ ). Murdumisnäitaja skaala on kehtiv temperatuuril  $20^\circ\text{C}$ .

Kui mõõtmisi tehakse  $20^\circ\text{C}$ -st erineval temperatuuril, ning mõõta tuleb suure täpsusega, siis tuleb refraktomeetri skaala näidule liita

$$\delta^\circ = 0,073 \cdot (t - 20) \cdot 10^{-4} \quad (5)$$

Seda valemit võib kasutada temperatuurivahemikus 5 kuni  $35^\circ\text{C}$ .

Korrake mõõtmisi 4 korda. Seejuures on vaja pooled mõõtmised teostada kompensatori ühes asendis ja pooled teises –  $180^\circ$  võrra pööratud asendis. Arvutage destilleeritud vee keskmine murdumisnäitaja ja võrrelge andmetega 1. tabelis. Andmete erinevuse korral pöörduge õppejõu poole.

1. tabel. Destilleeritud vee murdumisnäitaja sõltuvus temperatuurist.

$t^\circ\text{C}$	$n_D$	$t^\circ\text{C}$	$n_D$
15	1,3334	21	1,3329
16	1,3333	22	1,3328
17	1,3332	23	1,3327
18	1,3332	24	1,3326
19	1,3331	25	1,3325
20	1,3330		

## 2. Lahuse murdumisnäitaja määramine.

Määrake nelja tuntud ja ühe tundmatu kontsentratsiooniga lahuse murdumisnäitajad. Enne mõõtmist uue vedelikuga tuleb mõlemad prismad mõõtepeas ettevaatlikult puhastada destilleeritud vees niisutatud vatitiikiga ja seejärel kuivatada.

Iga lahuse puhul viige valguse ja varju piir niitristiga ühte neli korda, reguleerides iga kord ka kompensatorit. Seejuures on vaja pooled mõõtmised teostada kompensatori ühes asendis ja pooled teises –  $180^\circ$  võrra pööratud asendis. Mõõtmistulemused kirjutage kohe too

protokollis 2. tabeli eeskujul. Iga lahuse korral leidke mõõtmistulemuste keskmine  $\bar{n}_D$ .

Joonestage graafik  $n_D = n_D(C)$  - lahuse murdumisnäitaja sõltuvus lahustatud aine kontsentratsioonist C. **Valige sobiv graafiku mastaap.**

Määrake graafikult tundmatu lahuse kontsentratsioon.

2. tabel. Mõõtmistulemused.

Aine kontsentratsioon C	Mõõtmise nr.	$n_D$	$\bar{n}_D$
		..... ..... ..... .....	.....

Tundmatu lahuse kontsentratsioon .....

### Küsimused

1. Milline on piirnurga väärtus valguskiire üleminekul veest klaasi ( $n_{H_2O} = 1,333$ ,  $n_{klaas} = 1,512$ )?
2. Sõnastage valguse peegeldumisseadus.
3. Kui suur on valguse levimiskiirus vaakumis?
4. Kuidas muutub valguse kiirus ja lainepikkus üleminekul optiliselt hõredamast keskkonnast optiliselt tihedamasse?
5. Milliste optiliste riistade töö põhineb aine dispersiooni kasutamisel?
6. Millest oleneb värvuste järjekord spektris?

### Kirjandus

1. H. Voolaid. Füüsika XI klassile. Optika. Koolibri. 1999.