

# 1. РЕФРАКТОМЕТР ӘДІСІ БОЙЫНША СҰЙЫҚТАРДЫҢ СЫНУ КӨРСЕТКІШТЕРІН АНЫҚТАУ

## 1.1. Жұмыстың мақсаты

Аббе жүйесі бойынша рефрактометрде жұмыс істеу әдісін меңгеру: рефрактометрді өлшеуге дайындаудың негізгі әдістерін және екі компонентті қоспалардың рефракциясын зерттеу. Сұйықтың сыну (рефракция) көрсеткіштерін зерттеу және Лоренц-Лорентц формуласын тексеру.

Молекулалардың поляризациялануын және олардың тиімді радиустарын талдау әдісін игеру, сонымен қатар, екі компонентті қоспаны мөлшерлік талдау әдісімен танысу.

## 1.2. Қысқаша теориялық кіріспе. Жарық дисперсиясының заңдылықтары

### 1.2.1. Электромагниттік толқындардың (жарықтың) шағылу және сыну заңдары

Электромагниттік толқынның екі орта шекарасында кез келген бұрышпен түсу жағдайын қарастыралық.

$V_1$  жылдамдықпен таралатын осы толқындар үшін теңдеулер құрастырайық. Осы нүктелердің жазықтықтағы координаттарын  $x, y, z$ , ал осы нүктенің радиус векторы  $\vec{r}$  деп белгілейік. Жазықтағы  $\vec{n}$  нормаль  $z'$  бағытымен сәйкес келсін (1.1-сурет).

$\cos \alpha$ ,  $\cos \beta$  және  $\cos \gamma$  -  $\vec{n}$  нормальдің бағыттаушы косинустары арқылы анықтайық. Онда таңдап алынған  $z'$  бағыты бойымен таралған толқын үшін, мына теңдеуді жазуға болады:

$$E = \operatorname{Re} E_{\infty} \exp \left[ i\omega \left( t - \frac{\vec{r}\vec{n}}{V_1} \right) \right] = \operatorname{Re} E_{\infty} \exp \left[ i\omega \left( t - \frac{x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma}{V_1} \right) \right]$$

Енді түсетін, шағылысатын және сынатын толқындар үшін өрнек құру қиын емес.

Бұрынғыша екі ортаны бөліп тұратын шекара ретінде  $z = 0$  шартын қанағаттандыратын  $xu$  жазықтығын аламыз. Түскен толқындар  $\vec{n}$  нормаль  $zx$  жазықтығында (яғни 1.2-сурет жазықтығында,  $\cos \beta = 0$ ) жатады деп есептейміз.  $\vec{n}_1$  нормаль (шағылған толқындар) және  $\vec{n}_2$  нормаль (сынған толқындар) бағыттарына ешқандай шек қойылмайды. Екінші ортадағы электромагниттік толқынның таралу жылдамдығы  $v_2$  тең.

Онда түскен толқындар теңдеуі мына түрге ие:

$$E = \operatorname{Re} E_{00} \exp \left[ i\omega \left( t - \frac{x \cos \alpha + z \cos \gamma}{V_1} \right) \right],$$

шағылған толқындар үшін:

$$E_1 = \operatorname{Re} E_{01} \exp \left[ i\omega_1 \left( t - \frac{x \cos \alpha_1 + y \cos \beta_1 + z \cos \gamma_1}{V_1} \right) \right],$$

сынған толқындар үшін:

$$E_2 = \operatorname{Re} E_{02} \exp \left[ i\omega_2 \left( t - \frac{x \cos \alpha_2 + y \cos \beta_2 + z \cos \gamma_2}{V_2} \right) \right].$$

$z = 0$  - электр өрісі кернеулігінің тангенсті құрамалары тең болатын шекаралық шарттың түрі төмендегіше жазылады:

$$E_{\tau} + E_{\tau_1} = E_{\tau_2}$$

Кернеудің тангенсті құраушыларының теңдік шарты кез келген уақыт моменті  $\tau$  және кез келген координат үшін  $x$ ,  $y$  орындалады. Бұл теңдікті әрбір толқын теңдеулері үшін өрнекті ескере отырып қайта жазуға болады:

$$\begin{aligned} & E_{00\tau} \exp \left[ i\omega \left( t - \frac{x \cos \alpha}{V_2} \right) \right] + E_{01\tau} \exp \left[ i\omega_1 \left( t - \frac{x \cos \alpha_1 + y \cos \beta_1}{V_1} \right) \right] = \\ & = E_{02\tau} \exp \left[ i\omega_2 \left( t - \frac{x \cos \alpha_2 + y \cos \beta_2}{V_2} \right) \right] \end{aligned}$$

Бұл *тепе-теңдік* тек төмендегі шарттар орындалғанда ғана дұрыс болады:

1.  $\omega = \omega_1 = \omega_2$ . Бұл нәтиже кәдімгі біз қарастырып отырған сызықтық есептердікі сияқты.

2.  $\frac{\cos \beta_1}{V_1} = \frac{\cos \beta_2}{V_2} = 0$ . Берілген шартқа байланысты, түскен  $\vec{E}$  толқынға түсірілген  $\vec{n}$  нормаль  $zx$  жазықтығында жатыр деп ұйғарсақ, онда біз шағылған және сынған толқындардағы ( $\vec{n}_1$  және  $\vec{n}_2$ ) нормальдары да осы жазықтықта жатады деген тұжырымға келеміз.

3.  $\frac{\cos \alpha}{V_1} = \cos \frac{\alpha_1}{V_1} = \cos \frac{\alpha_2}{V_2}$ . Осы қатынастардың келесі екі этаптарға сәйкес анализін жүргізейік:

3.1. Бірінші орта үшін  $\cos \alpha = \cos \alpha_1$ . Сәйкесінше,  $\alpha = \alpha_1$ . Электромагниттік (жарық) толқынның шағылу заңы алынды - толқынның шағылысу бұрышы түсу бұрышына тең  $\gamma = \gamma_1$ . Яғни электромагниттік (жарық) толқындарының шағылысу заңы алынады: толқынның шағылысу бұрышы түсу бұрышына тең  $\gamma = \gamma_1$ .

$\cos \alpha = \cos \alpha_1$ , *бірінші орта үшін. Сәйкесінше,  $\alpha = \alpha_1$ . Түсу бұрышы  $\gamma = \gamma_1$  тең болатын электромагниттік (жарық) толқындарының шағылу заңы алынды.*

3.2. Екі ортаның бөліп тұратын шекарасы үшін  $\frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_2} = \frac{V_1}{V_2}$ .  $\alpha + \gamma = \pi/2$  және  $\alpha_2 + \gamma_2 = \pi/2$  екенін назарға алайық. Осы қатынастардан  $\alpha$  және  $\alpha_2$  бұрыштары үшін белгілі шартта теңдеу құрастырайық және электромагниттік толқындардың сыну заңын -  $\sin \gamma / \sin \gamma_2 = V_1 / V_2$  аламыз. Соңғы түрленуді  $V_1 = c/n_1$  және  $V_2 = c/n_2$  ( $c$  - электромагниттік (жарық) толқынның вакуумда таралу жалдамдығы) екенін еске түсіре отырып әдеттідей түрде жазуға болады. Соңғы теңдеуіміз:

$$\frac{\sin \gamma}{\sin \gamma_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \quad (1.1).$$

Оптикада мұндай қатынасты *Снелли заңы* деп атайды. Мұндағы  $n_1$  және  $n_2$  - бірінші және екінші ортаның абсолют сыну көрсеткіштері,  $n_{21}$  - екінші ортаның бірінші ортаға қарағандағы салыстырмалы сыну көрсеткіші.

Егер жарық кері бағытпен (яғни, екінші ортадан бірінші ортаға  $\gamma_2$  бұрышпен түскен жағдайда) таралатын болса, онда түскен және сынған сәулелер орындарымен алмасады (жарық сәулелерінің қайтымдылық қасиеті). Бұл жағдайда  $n_{21} = 1/n_{12}$  қатынасы орын алады, мұндағы  $n_{12}$  - бірінші ортаның екінші ортаға қатысты салыстырмалы сыну көрсеткіші.

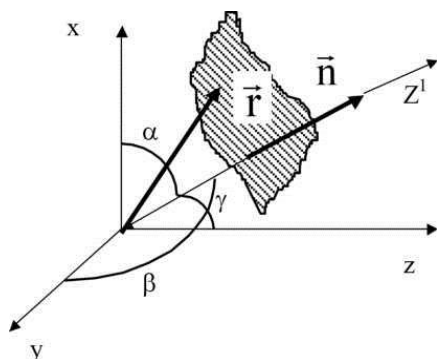
Шағылған жарық энергиясының мәні жарық оптикалық тығыздығы көп ортадан оптикалық тығыздығы аз ортаға таралған кездегі түсу бұрышының өсуі нәтижесінде өседі, ал сынған сәуленің энергиясының мәні кемиді.

Егер жарық оптикаша тығыздығы артық ортадан оптикаша тығыздығы кем ортаға (абсолют сыну көрсеткіші аз) таралғанда, түсу бұрышының ұлғаюына байланысты, шағылған жарық энергиясының бөліктері де өседі. Бірақ та түсу  $\gamma_{np}$  бұрышының кейбір мәнінен бастап сәуленің барлық жарық энергиясы шекаралық беттен шағылады да жарық бірінші ортадан екінші ортаға өтпейді (толық ішкі шағылу құбылысын аламыз).

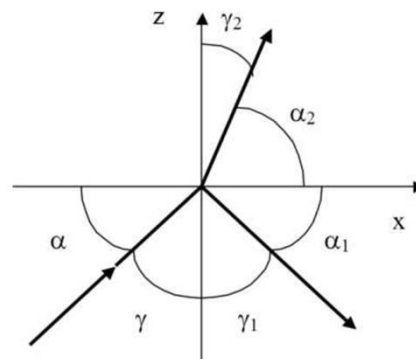
$\gamma_{np}$  бұрышын – толық ішкі шағылудың шекті мәні деп аталады. Оны  $\gamma = \pi / 2$  және  $n_1 > n_2$  екендігін еске алып, анықтауға болады. Сонда біз (1.1) өрнекке сәйкес

$$\sin \gamma_{np} = n_2 / n_1 \quad (1.2)$$

аламыз.



1.1-сурет. Кез келген бағыт бойымен жазық толқын теңдеуін үшін сыну заңдарын қорытып шығару үшін



1.2-сурет. Электромагниттік таралатын толқындардың шағылу және қорытып шығару үшін

### 1.2.2. Жарықтың дисперсиясы

Жарықтың сыну, дифракция немесе интерференция кезіндеақ жарықтың спектрге жіктелуі байқалады. Мұндай құбылыстарды жарықтың *дисперсиясы* деп атайды. Осы қатардан мұндай құбылыстың пайда болуы жарық дисперсиясы туралы бір жақты түсінікті шығарады. Бұл электромагнитті (жарық) толқынның фазалық жылдамдығының оның жиілігіне тәуелділігі немесе заттың сыну көрсеткішінің жарық жиілігіне (толқын ұзындығына) тәуелділігі, яғни:

$$n = f(\lambda_0) \quad (1.3).$$

мұндағы  $\lambda_0$  – вакуумдегі жарық толқынының ұзындығы.

Берілген заттың сыну көрсеткішінің толқын ұзындығына тәуелділігінің мөлшерлік сипаттамасы үшін *орташа* және *салыстырмалы дисперсия* деген ұғымдар енгізіледі. Заттың орташа дисперсиясы келесі қатынаспен анықталады:

$$\frac{\Delta n}{\Delta \lambda} = (n_2 - n_1) / (\lambda_1 - \lambda_2) . \quad (1.4)$$

Ол егер,  $\lambda_1$  және  $\lambda_2$  екі толқын ұзындықтарына  $n_1$  және  $n_2$  сыну көрсеткіштері сәйкес келетін болса, онда осы толқын ұзындығы интервалында заттың сыну көрсеткіші шамасының жарық толқын ұзындығына тәуелділігі осындай мәнге ие екенін көрсетеді.

Орташа дисперсиямен дисперсия өлшемін анықтау ыңғайлы емес, себебі, әдетте әртүрлі толқын ұзындығының интервалы алынады. Сондықтан, практикада дисперсияның өлшемі ретінде не орташа ( $n_p - n_c$ ) дисперсияны, не салыстырмалы дисперсияны алады:

$$(n_F - n_c)/(n_D - 1) \quad (1.5)$$

Мұндағы  $n_F, n_c, n_D$  – толқын ұзындықтары  $\lambda_F = 486,1$  нм,  $\lambda_c = 656,3$  нм және  $\lambda_D = 589,3$  нм болатын F, C, D фраунгофер спектрлік сызықтары үшін сыну көрсеткіштері. Спектроскопияда салыстырмалы дисперсияға кері шама *дисперсия коэффициенті* деп аталатын шаманы қолданады

$$v = (n_D - 1)/(n_F - n_c) \quad (1.6)$$

Барлық мөлдір түссіз заттар үшін (1.3)-функциясының мәні ( $dn/d\lambda < 0$ ) болады. Мұндай дисперсияның сипаттамасы қалыпты дисперсия деп аталады. Егер зат жарық жұтатын болса, онда жұтылу алқабында және оның төңірегінде *аномаль* ( $dn/d\lambda > 0$ ) дисперсия байқалады және (1.3) функциясының мәні ( $dn/d\lambda > 0$ ) тең болады.

Жарықтың дисперсия құбылысын жарық толқыны электромагниттік өрсінің ортаның электр зарядтарымен әсерлесуі тұрғысынан түсіндіруге болады.

Диэлектрик (орта) жарық толқыны электр өрісінің әсерінен поляризацияланады. Ортаның поляризациялануы поляризация векторы  $\vec{P} = Ne\vec{x}$  шамасымен бағаланады, мұндағы N – көлем бірлігіндегі дипольдар саны,  $e\vec{x}$  – дипольдің электрлік моменті.

Поляризация векторының мәні жарық толқынының электр өрісі  $\vec{E}$  кернеулігіне тура пропорционал екені анық

$$\vec{P} = \epsilon_0 \chi \vec{E},$$

мұндағы  $\chi$  – заттың электрлік қабылдағыштығы, ол заттың диэлектрлік өтімділігімен  $\epsilon$  байланысты  $\epsilon = 1 + \chi$ .

Заттың сыну көрсеткішінің мәні Максвелл теориясы бойынша:

$$n = \sqrt{\epsilon \mu},$$

мұндағы  $\epsilon$  – заттың диэлектрлік өтімділігі,  $\mu$  – ортаның магниттік өтімділігі (көптеген мөлдір денелер үшін  $\mu \approx 1$ ).

Сонымен, жоғарғыда айтылғандарды ескере отырып, заттың сыну көрсеткіші үшін мынандай өрнекті жазуымызға болады:

$$n^2 = 1 + (N \cdot e/\epsilon_0 E)x \quad (1.7)$$

x- электронның ығысу шамасы.

Жарық толқындарының электромагниттік өрісі әсерінен зат атомының құрамына кіретін, x ығысудың (ауытқудың) өлшемін анықтау мақсатында электронның қозғалыс теңдеуін жазайық. Ол үшін жеке электрондарға әсер ететін күштерді қарастырайық:

1. Өтетін жарық толқынына электр өрісі тарапынан тепе-теңдік күйінен x –қа электрондарды ығыстыруды тудыратын қоздырушы күш әсер етеді. Оның шамасы  $f_1 = eE_0 \sin \omega t$  анықталады;

2. Электронды тепе-теңдік күйіне қайта келтіру  $f_2 = -m_0 \omega_0^2 x$  анықталатын квазисерпімді күшпен жүзеге асырылады, мұндағы  $\omega_0$  – электронның меншікті жиілігі,  $m_0$  – оның массасы.

3. Электронның көрші бөлшектермен әсірінен туындайтын үйкеліс күші, өшетін тербіліске алып келеді. Ол  $f_3 = -m_0 \beta \dot{x}$  түрінде анықталады, мұндағы  $\dot{x}$  – электрон қозғалысының жылдамдығы,  $\beta$  – тербелістің өшу коэффициенті.

Осы келтірілген күштерді ескере отырып электронның қозғалыс теңдеуін мына түрде жазуға болады:

$$m_0 \ddot{x} = eE_0 \sin \omega t - m_0 \omega_0^2 x - m_0 \beta \dot{x} \quad (1.8)$$

Бұл дифференциалдық теңдеудің шешімі

$$x = A_0 \sin(\omega t + \varphi) \quad (1.9)$$

өрнек түрінде болады. Мұндағы

$$A_0 = eE_0 / m_0 \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2) + 4\beta^2 \omega^2} \text{ и } \operatorname{tg} \varphi = -2\beta\omega / (\omega_0^2 - \omega^2) \quad (1.10)$$

Егер үйкеліс күштері аз болса ( $\beta \rightarrow 0$ ), онда (9) өрнектің орнына

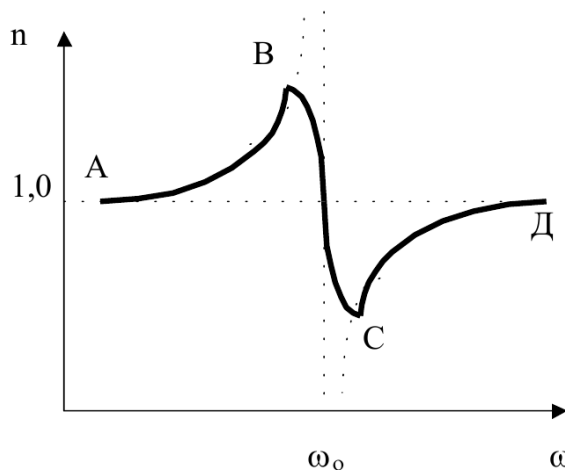
$$x = [eE_0 / m_0 (\omega_0^2 - \omega^2)] \sin \omega t \quad (1.11)$$

жазамыз. (1.11) өрнектегі  $x$ -тің мәнін (1.7) теңдеуіне қойып, біржола

$$n^2 = 1 + [Ne^2 / \varepsilon_0 m_0 (\omega_0^2 - \omega^2)] \quad (1.12)$$

өрнегін аламыз.

(1.12)-қатынасының анализі  $n=f(\omega)$  график түрінде 1.3-суретте көрсетілген. Суретте келтірілген дисперсия қисығының АВ және CD бөліктері қалыпты дисперсияға сәйкес келеді.



1.3-сурет. Жиілігі  $\omega_0$  жеке жұтылу жолағының жанындағы дисперсияның түрі

Дегенменде, сыну көрсеткіші  $\omega = \omega_0$  кезінде нақты мәнге ие емес (пунктир сызық).

Бұл үйкеліс күшінің болмауымен байланысты, яғни, кейбір  $\beta = 0$  үшін тербілістің өшуі болмайды. Тербілістің өшетінін ескере отырып, онда ВС бөлігі пайда болады. ВС бөлігінің шегінде сыну көрсеткіші жиіліктің өсуіне байланысты төмендейді, яғни  $(dn/d\omega) < 0$  (мұндай өзгерісті аномальды дисперсия деп атайды). Бұл жағдай резонанстың жұтылу алқабында байқалады ( $\omega_0$  —ге жақын  $\omega$  жиілігі үшін).

(1.8) қозғалыс теңдеуінде көрші молекулалар мен диполдардың әсері ескерілмеген. Сондықтанда, ол толық емес. Лоренц және Лорентц осы факторды ескерді. Олар ассоциирленбеген сұйықтардағы полярлы молекулалар жағдайындағы сыну көрсеткіші үшін келесі тәуелділікті алды:

$$(n^2 - 1)/(n^2 + 2) = (4\pi/3)N\alpha$$

немесе

$$[(n^2 - 1)/(n^2 + 2)]M / \rho = (4\pi/3)N_A\alpha \quad (1.13)$$

болады. Мұндағы  $N$  – көлем бірлігіндегі бөлшектер саны,  $\alpha$ -молекулалардың поляризациялануы,  $N_A$  – Авогадро саны,  $\rho$  – заттың тығыздығы,  $M$  – мольдік масса.

Жалпы физика курсының «Электр және магнетизм» бөлімінен Клаузиус-Моссотти теңдеуі белгілі, ол өз кезегінде (1.13) теңдеу болып келеді (тығыз диэлектриктердің электронды поляризациясымен сипатталатын  $n = \sqrt{\varepsilon}$  байланысына сәйкес  $n$ -нан  $\varepsilon$ -ға өту керек).

$[(n^2 - 1)/(n^2 + 2)]M / \rho = R$  шамасы *молекулалық рефракция* деп аталады. Ерітінділер үшін молекулалық рефракциялардың аддитивті ережесі орындалады, яғни, ерітіндінің рефракциясы компоненттердің рефракцияларының қосындысынан тұрады:

$$R = \sum_k c_k R_k, \text{ мұндағы } c_k - \text{ мольдік бөліктердегі } k\text{-шы компонент концентрациясы.}$$

Мұндағы  $n$ - қоспаны сыну көрсеткіші,  $N_1 = (\frac{\rho_1}{M_1})N_A$  - бірінші компоненттегі бөлшек

саны, ал олардың тығыздығы  $\rho_1 = \frac{M_1}{(V_1 + V_2)}$  тең,  $N_2 = (\frac{\rho_2}{M_2})N_A$  - екінші компоненттегі

бөлшектің саны, ал олардың тығыздығы -  $\rho_2 = \frac{M_2}{(V_1 + V_2)}$ , мұндағы  $V_1$  – бірінші компоненттің көлемі,  $V_2$  – екінші компоненттің көлемі, және  $M_1$  және  $M_2$  – сәйкесінше олардың молярлы массасы.

Таза компоненттердің тығыздықтарын төмендегіше белгілейік:

$$\rho_{01} = \left( \frac{M_1}{V_1} \right) \text{ және } \rho_{02} = \left( \frac{M_2}{V_2} \right), \text{ ал көлемдік тығыздық - } \delta = [V_1 / (V_1 + V_2)]. \text{ Сонда}$$

(1.14) теңдеуді төмендегіше жазуға болады:

$$\frac{n^2 - 14\pi}{n^2 + 23} N_A \alpha_1 \frac{\rho_{01}}{M_1} \delta + \frac{4\pi}{3} N_A \alpha_2 \frac{\rho_{02}}{M_2} (1 - \delta) = \frac{n_2^2 - 1}{n_2^2 + 2} + \left[ \frac{4\pi}{3} N_A \alpha_1 \frac{\rho_{01}}{M_1} - \frac{n_2^2 - 1}{n_2^2 + 2} \right] \delta \quad (1.15)$$

немесе Клаузиус-Моссотти формуласының соңғы түрленуін сына түрде аламыз:

$$\frac{n_2^2 - 1}{n_2^2 + 2} = \frac{n_2^2 - 1}{n_2^2 + 2} + \left[ \frac{n_1^2 - 1}{n_1^2 + 2} + \frac{n_2^2 - 1}{n_2^2 + 2} \right] \delta \quad (1.16)$$

### 1.2.3. Сыну көрсеткіштерін анықтау

Газ тәріздес, сұйық және қатты денелердің сыну көрсеткіштерін анықтау тәсілдерін, келесідей үш әдіспен жүргізуге болады: материалдағы сәулениң ең аз бұрылу бұрышын өлшеу арқылы, жарық әртүрлі сыну көрсеткіші бар екі ортаның шекаралық бетінен өткендегі сынған шекті сәулелерді бақылау арқылы, зерттелінетін заттың оптикалық тығыздығын эталонмен салыстыру арқылы.

Бірінші әдісте өлшеу *спектрометрлер (ганиометр-спектрометр)* көмегімен жүргізіледі.

Екінші әдіс рефрактометр деп аталатын құрылғыға негізделген.

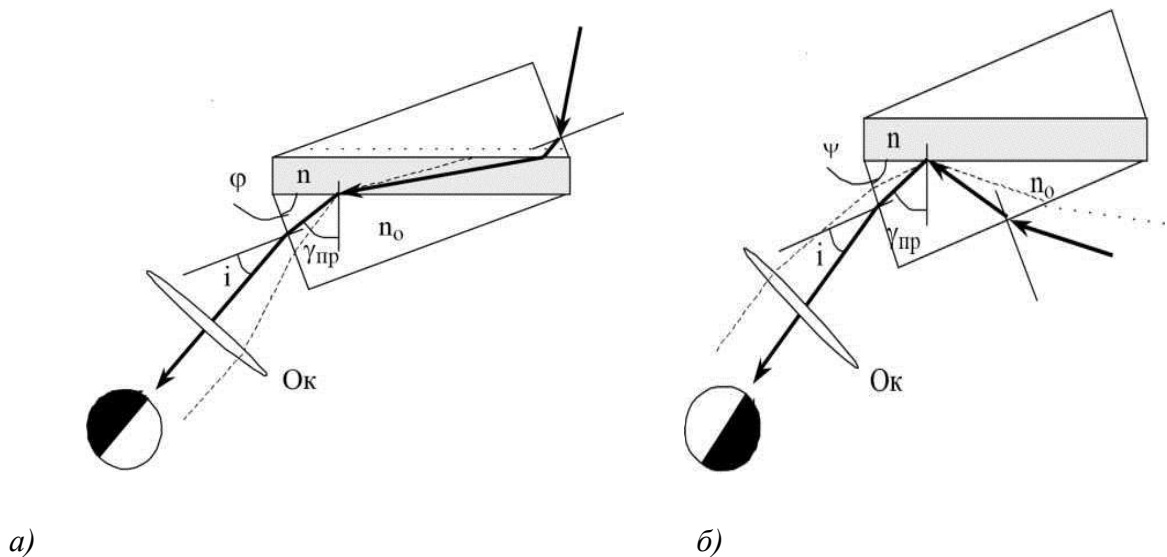
Үшінші әдіс когерентті сәулелердің әртүрлі сыну көрсеткіші бар орталарда

таралуының жол айырмасын анықтауға негізделген. Осы әдіске негізделіп жасалынған приборларды *интерферометрлер* (интерферометрлік рефрактометр) деп атайды.

Біз бұл жұмыста тек екінші әдісті ғана қарастырамыз. Жоғарыда айтылғандай бұл әдіс бойынша өлшеулер рефрактометрлердің көмегімен жүргізіледі. Олардың ішіндегі көп таралғаны Аббе жүйесіндегі РЛ, РПЛ-3, ИРФ-22 және т.б. типті рефрактометрлер.

Прибордың негізгі бөлігіне - екі тік бұрышты призмадан түзілген күрделі призмадан тұрады, сыну көрсеткіші 1,700-ден асатын шыныдан жасалған. 1.4-суретте (сол жағы) жоғарғы жарықтандырғыш призма (гипотенузальық қыры-сәулелерді шашыратуға арналған күңгірт бет) көрсетілген. Төменгі призма-өлшеуіш (призма) болып табылады.

Жарықтандырғыш призманың гипотенузальық жағының күңгірт бетіне келіп түскен сәуле шағылады. Одан ары сыну көрсеткіші  $n$  болатын зерттелінетін сұйықтың жұқа жазық –параллель қабатынан өтеді және төменгі (өлшеуіш) призманың диагональ жағына  $0^\circ$  ден  $90^\circ$  қа дейінгі аралықта жататын кез-келген бұрышпен келіп түседі.



1.4-сурет. Сәуленің сырғанап таралу (а) және толық ішкі шағылу (б) әдістерін қолданудағы сәулелердің призмалардағы жолы

Сырғанап таралатын жарық шоғы, түсу бұрышы  $90^\circ$ -пен өлшеуіш призманың гипотенузальық жағынан сынып, ары қарай шекті сыну  $\gamma_{пр}$  бұрышпен жүре отырып, одан  $i$  бұрышпен сыртқа шығады. Осы  $i$  бұрышы шашыраған шоқтың барлық қалған сәулелері үшін ең аз бұрыш болып табылады. Нәтижесінде, көру трубасының  $O_k$  окулярының көріну өрісінде жарық және қара-қоңыр өрістің бөлінетін айқын шекарасы бақыланады (жоғарғы жағында қара – қоңыр өріс, төменде – жарық өріс).

Егер алғашқы жарық шоғын төменнен өлшеуіш призманың (1.4.б-сурет, оң жағы) үлкен катетіне бағыттайтын болсақ, онда окулярдағы қара-қоңыр және жарық өрістердің орындарының ауысқанын көреміз (жоғарғы жағында – жарық өріс, төменде қара-қоңыр).

Өлшеуіш призманың  $n_0$  сыну біле отырып және оның геометриясын (сыну заңына сәйкес) зерттелінетін сұйықтың  $n$  сыну көрсеткішінің басқа белгілі параметрлермен аналитикалық байланыс түрін оңай анықтауға болады:

$$n = \sin \varphi \sqrt{n_0^2 - \sin^2 i} - \cos \varphi \sin i \quad (1.17)$$

Бұл формула рефрактометрлерді конструкциялаудың және олардың есеп алынатын шкалаларын градуирлеудің негізіне жатады.

### **1.3. РПЛ-3, РЛ және ИРФ-22 рефрактометрлердің құрылысы**

1.5-суретте рефрактометрлердің оптикалық схемалары келтірілген (жоғарыда РПЛ-3, ал төменде –ИРФ-22 үшін).

Рефрактометрлердің негізгі бөліктеріне: өлшеуіш тетік, құрамына жарықтандырғыш 2 және өлшеуіш призмалар 3, компенсатор 5 және көру трубасы (детальдары – 5,6,7,8,9) кіреді.

1 жарықтандырғыштан (немесе РЛ және ИРФ-22 рефрактометрлердің айнасынан) жарық сәулесі өлшегіш тетікке бағытталады, диагональ жазықтықтарының аралығында зерттелінетін заттың нәзік қабаты бар қос призмаға тұрады. Одан шыққан сәуле ары қарай дисперсиялық компенсатор 4, көру трубасының объективі 5, призма 6, визирлік сызықтар (РПЛ-3, РЛ үшін үш сызықша және ИРФ-22 үшін айқасқан сызық) бар тор 7, шкала 8 және окуляр 9 арқылы өтіп, бақылаушының көзіне келіп түседі.

Дисперсиялық компенсатор 4 шекаралық жарық-көлеңке беттің спектрлік бояулығын жою үшін қолданылады. Компенсатор Амичи призмаларынан ( $\lambda_D = 589,3$  нм тең сары сәулелерді ауытқусыз өткізетін, тікелей көретін призма) тұрады. ИРФ-22 рефрактометрінде екі компенсациялайтын призма айнымалы дисперсиясы бар оптикалық жүйені түзеді. Компенсатордың дұрыс орнықты болуы призмаларды сәуле бағытының айналасында бұру арқылы қамтамасыз етіледі.

Тордың визирлік сызығы жарық-көлеңке шекарасымен тұспа-тұс келтіріледі және шкала бойынша сыну көрсеткіші есептелінеді.

Рефрактометрдің түріне сәйкес визирдің жарық және қара-қоңыр өрістерді ажырату шекарасымен тұспа-тұс келтіру екі тәсілмен іске асырылады.

1.РПЛ-3 және РЛ рефрактометрлері үшін көру трубасының (компенсатормен қоса) сәуленің өлшеуіш призмадан шығардағы сурет жазықтығына перпендикуляр болатын осьтің айналасында бұру арқылы;

2.ИРФ-22 рефрактометрі үшін прибордың шкаласымен бірге қосып өлшеуіш бас тетікті жоғарыда айтылған оське қатысты бұру арқылы.

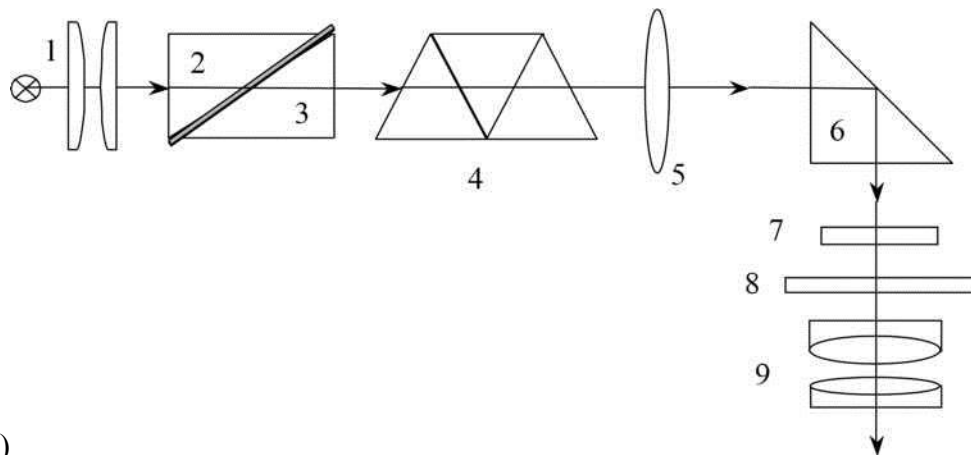
1.5-суретте ИРФ-22 рефрактометрінде 8 шкала 10 айна арқылы жарықталынады және 11,13,14 призмалар жүйесі арқылы микрообъектив 12 көмегімен 9 окулярдың фокальдық жазықтығына проекцияланады.

Рефрактометрлердің өлшеуіш бас тетігі жарықтандырғыш және өлшеуіш призмалардан тұратын екі камера түрінде жасалынады, камералар өзара шарнирмен қосылған (жоғарғы камера төменгісіне қатысты ашылады). Камералар термостаттан сұйықтарды келтірілетін және шығаратын сыртқы штуцерге ие. Бас тетіктің екі камерасында да жарық шоқтарын бағыттайтын терезешесі болады.

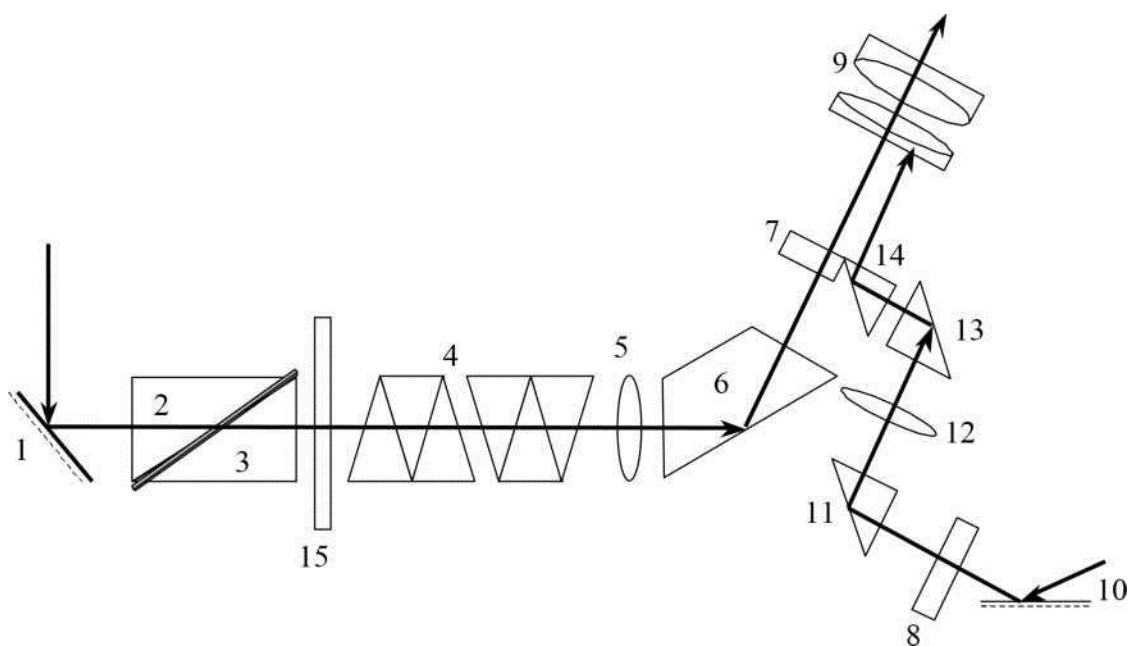
Жарықты түссіз және әлсіз боялған сұйықтар үшін жоғары (жарықтандырғыш) призмаға бағыттап жібреді. Интенсивті боялған, жарықты күшті жұтатын, сұйықтардың сыну көрсеткіштерін өлшеу үшін төменгі (өлшеуіш) призманың терезешесін пайдаланады.

РПЛ-3 және РЛ рефрактометрлерінде сыну көрсеткіші шкаласымен қатар қанттың концентрациясын процентпен көрсететін екінші шкала бар. Әрине, жалпы шкаланың бұл бөлігі тек қант ерітінділерімен жұмыс істегенде ғана пайдаланылады.





a)



б)

1.5-сурет. РПЛ-3, РЛ (а) және ИРФ-22 (б) рефрактометрлердегі сәулелер жолының принциптік схемасы.

1-жарықтандырғыш (айна), 2- жарықтандырғыш призма, 3- өлшеуіш призма, 4- дисперсиялық компенсатор, 5- көру трубасының объективі, 6- бұратын призма, 7- визирлік сызықтары бар тор, 8- сыну көрсеткіштерінің мәндерін көрсететін шкала, 11,13,14 – бұратын призмалар жүйесі, 12-8, шкаланы 7 визирлік сызықтары бар торға фокустайтын микрообъектив, 15 қорғаныс шынысы.

РПЛ-3 және РЛ рефрактометрлер үшін  $n_D$  сыну көрсеткішінің өлшеу шектері 1,3000 тен 1,5400 ге дейін, ал ИРФ-22 үшін 1,7000-ке дейін болады.

Көп ретті өлшеулер үшін сыну көрсеткіштері  $n_D$  шкаласы бойынша жіберілетін кәтелік  $\pm 2 \cdot 10^{-4}$ .

#### 1.4. Жұмыс тапсырмалары және эксперимент әдістемесі

1.4.1. РПЛ-3 (ИРФ-22) рефрактометрдің құрылысымен және жұмыс істеу принципімен танысыңыздар.

1.4.2. Рефрактометрдің өлшегіш бас тетігін келесідей жолдармен өлшеуге дайындау:  
а) өлшеуіш бас тетіктің жоғары камерасын ашыңыз; б) жоғары және төменгі

камералардың жазықтарын дистилляцияланған сумен жуу керек; в) фильтр қағаздарын төсеп сұйықтың қалдықтарын кетіру қажет. **Ескерту призма бетін сүртуге болмайды!**

1.4.3.Рефрактометрдің ноль-пунктке қойылуын тексеріңіз. Ол үшін алдымен ұшы балқытылған шыны таяқшамен (капельница) өлшеуіш призма жазықтығына 1-2 тамшы дистилляцияланған суды тамызады да бас тетіктің жоғарғы камерасын жабады

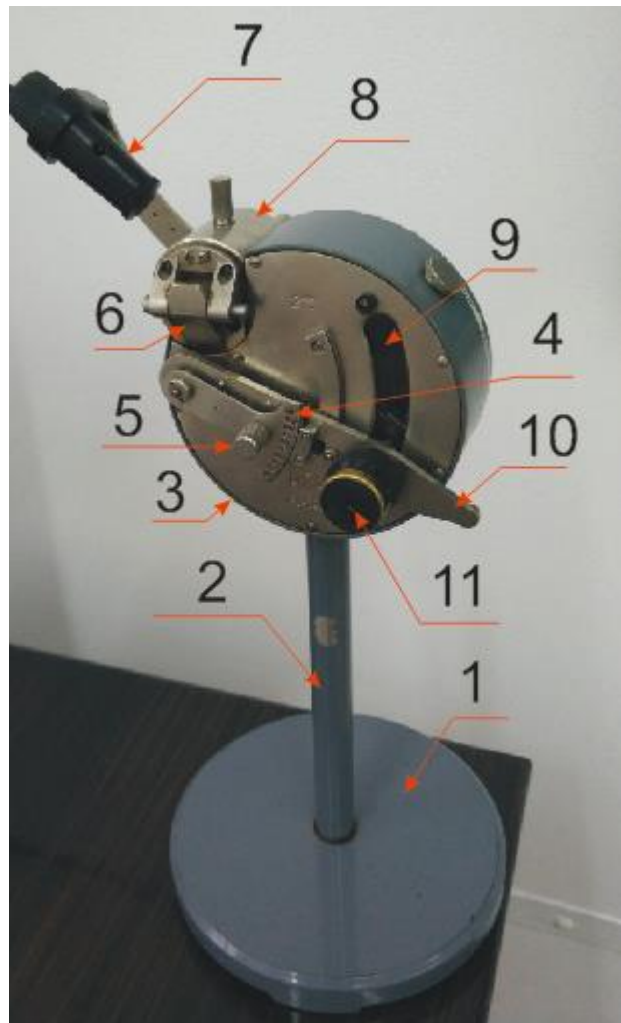
РПЛ-3-тің рукояткасын окулярымен қоса төменгі орнына түсіріп, оны көріну өрісінде жарық-көлеңке шекарасы пайда болғанша жылжытып отырады. ИРФ-22 рефрактометрінде мұндай жұмысты маховичок 10 бұру арқылы іске асыруға болады (1.7-сурет).

Көріну өрісін бақылағанда окулярдың диоприйлі бағыттағыш венчигін көріну өрісінде шкала бөліктері мен тордың визирлік сызықтарының айқын кескіні пайда болғанға дейін айналдыру қажет.

Жарықтандырғышты прибордың кіру терезешесінің алдында жоғары және төмен жылжыта (айнаның бағытын өзгерте) отырып, көріну өрісінің жарықталынуының дұрыс болуына қол жеткізу керек. Ал 1.6-суреттегі 4 шкаласы бар секторды (1.7-суреттегі 7 маховикті) бұра отырып, дисперсиялық компенсатордың призмаларын айналдыру қажет. Сонда ғана жарық-көлеңке шекарасының бояулығы жойылады.

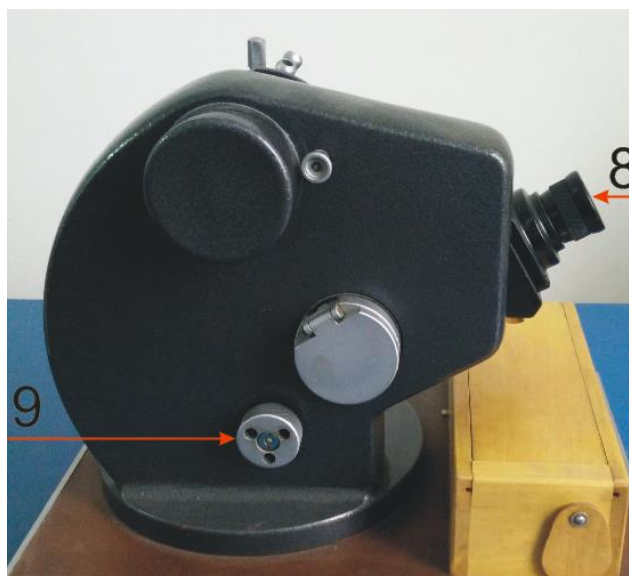
Тордың визирлік сызығын жарық-көлеңке шекарасымен тұспа-тұс келтіре отырып шкала бойынша есеп жүргізіледі. Приборды дұрыс қалыпқа келтіріп орнықтырғанда  $20^{\circ}$  С-да жарық-көлеңке шекарасы сыну көрсеткіштері шкаласының  $n_D = 1,33299$  бөлігіне тұспа-тұс дәл келуі керек.

Көрсетудің осы мәнінен ауытқыған жағдайда пайда болатын айырмашылықты барлық келесі өлшеулерде ескеру қажет.



1.6-сурет. РПЛ-3 (РЛ) рефрактометрiнiң жалпы түрi:

1-прибордың негiзi, 2-дiңгек, 3-прибордың корпусы, 4-дисперсиялық компенсатордың шкаласы, 5-компенсаторды бұру винтi, 6-өлшеуiш призмасы бар төменгi камера, 7-қызыл жарық фильтрлi жарықтандырғыш (немесе РЛ-рефрактометрi үшiн – айна), 8-жарықтандырғыш призмасы бар жоғарғы камера, 9-прибор шкаласы, 10-тордың визирлiк сызықтарын жарық-көлеңке шекарасымен беттестiретiн рукоятка (жоғары-төмен жылжыту), 11-окуляр.



1.7-сурет. ИРФ-22 рефрактометрінің жалпы түрі:

1-прибордың негізі, 2-прибордың корпусы, 3-зерттелетін затты жарықтандыратын айна, 4-жарықтандырғыш призмасы бар камера, 5-өлшеуіш призмасы бар камера, 6-заттың орташа дисперсиясын бағалайтын шкала, 7-дисперсиялық компенсатордың призмаларын айналдыратын маховичок, 8-прибордың көру трубасының окуляры, 9-оны бұрай отырып жарық-көлеңке бөліну шекарасын тордың аяқас сызықтарымен (визир) тұспа-тұс келтіруге болады.

1.4.4. Концентрациясы әртүрлі екі компонентті және бір компонентті сұйықтардың сыну көрсеткіштерін өлшеніздер. Өлшеу әдістемесі 1.4.2-пунктегідей.

1.4.5. 1.4.3-пунктегі біркомпонентті сұйықтардың сыну көрсеткіштерін өлшеу нәтижелерін пайдаланып молекулалардың  $\alpha$  поляризациялануы мен тиімді  $r = \sqrt[3]{\alpha}$  радиустарын (1.13) формулаға сәйкес есептеп табыңыздар.

1.4.6. (1.15)-Лоренц-Лорентц формуласын тексеріңіз. Тексеруді 1.4.3-пунктегі өлшеудің берілгендерін пайдаланып, есептеумен және  $[(n^2 - 1)/(n^2 + 2)] = f(\delta)$  график түрінде жүргізіңіздер.

1.4.7. Концентрациясы белгісіз екі компонентті ерітіндінің сыну көрсеткішін өлшеңіз. Концентрациясының мәнін 1.4.5-пунктегі графиктен анықтаңыз.

1.4.8. Зерттелінетін сұйық қабатын мүмкін болатын екі әдіспен прибордың өлшеуіш бас тетігінің жоғарғы және төменгі терезелері арқылы – жарықтандырған сәттегі сыну көрсеткішті өлшеудегі дәлдікті бағалаңыз.

### **Бақылау сұрақтары**

1. Абсолют және салыстырмалы сыну көрсеткіштері дегеніміз не?
2. Толық ішкі шағылу құбылысының мәні неде?
3. Аббе жүйесі бойынша рефрактометрдің жұмыс істеу принципін түсіндіріңіз (жарық және кара-қоңыр өрістің айқын шекарасының түзілуі).
4. Рефрактометрдегі дисперсиялық компенсатордың қажеттілігі мен жұмыс істеу принципін түсіндіріңіз.
5. Меншікті, атомдық және молекулалық рефракция дегеніміз не?

### **Әдебиет**

1. Полатбеков П.П. Оптика. –Алматы: Мектеп, 1981.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. изд. “Лань”. 2011.
3. Сивухин Д.В. Общей курс физики. Том IV. Оптика. 2005.
4. Жұманов К.Б., Сарсембинов Ш.Ш. Оптика. Алматы: Қазақ университеті, 2007.
5. Ахметов Е.А., Сарсембинов Ш.Ш., Ронжин В.В. Көшкімбаева А.Ш. Жалпы физикалық практикум. Оптика. Алматы, 1999.