

## 9. СҰЙЫҚ ЖӘНЕ ҚАТТЫ ДЕНЕЛЕРДЕГІ ЖАРЫҚТЫҢ ЖҰТЫЛУЫ

### 9.1. Жұмыстың мақсаты

Фотометрлердің көмегімен денелердің жарықты жұтуының негізгі сипаттамаларын зерттеу.

Жарықтың жұтылу заңына негізделген мөлшерлік анализдің әдістерімен танысу.

### 9.2. Қысқаша теориялық кіріспе

Электромагниттік толқын затқа келіп түскенде осы заттың құрамына кіретін атомдардың электрондарын тербеліске келтіреді. Едәуір интенсивті тербелістер сыртқы атомдармен әлсіз байланысқан электрондарда болады. Тербеліске келген электрондар екінші электромагниттік толқындар шығарады. Бұл толқындар-когерентті, өйткені электрондардың тербелісі тек бір толқынмен ғана қозады (фазалар айырымының тұрақтылық шарты орындалады). Әрине екінші толқындар бірімен-бірі және де бірінші (затқа түскен) толқынмен интерференцияланады. Сонымен қатар, егер орта біртекті болса интерференцияның нәтижесінде белгілі бағытта түзу сызықты таралатын жарық толқыны пайда болады. Ал оптикалық біртекті емес ортада көлем бойынша сыну көрсеткіштің мәні тұрақты болмайды және екінші толқындардың қабаттасып қосылуының нәтижесі мүлдем басқаша болады. Жарық, негізгі таралу бағытынан басқа, жарықтың шашырауына тән, барлық жаққа таралады.

Демек, тербелістегі электрондар өзінің энергиясының кейбір бөлігін екінші толқындардың барлық жаққа қарай сәуле шығаруына жұмсайды. Сонымен қатар тербелістегі электрондар энергиясының біразы, атомдардың өзара әсерлесуіне сәйкес, жылу қозғалысының энергиясына айналады.

Сонымен электромагниттік толқын (жарық) энергиясының бөлігі осы толқын өтетін заттың ішкі энергиясына айналады.

Электрондардың тербелістерінің амплитудасы үлкен болған сайын энергияның көп бөлігі жоғалады; бұл үлкен жұтылу эффектісіне әкеліп соғады. Заттардың энергияны жұтуы резонансты сипатта болады және дипольдардың (олардың жекеменшікті жиілігімен) құрылымы мен зат арқылы өтетін жарық толқыны жиілігінің диапазонымен анықталады. Жұтылған энергияның мөлшері заттың ішінде өтетін толқын жолының ұзындығына (жұтылу қабатының қалыңдығына) пропорционал.

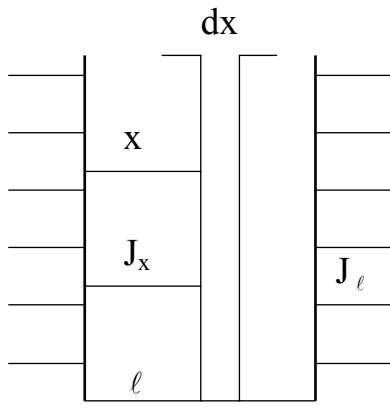
Газдарда айқын жұтылу сызықтары болады (мұнда атомдардың өзара әсерлесуі аз). Сұйық ерітінділерде атомдардың өзара әсерлесуі өте күшті орын алады және мұнда жұтылу сызықтары ұлғая түсіп бірімен-бірі жапсарласа қосыла отырып үздіксіз спектр түзейді.

Зат қабатынан өткенде жұтылу және шашырау нәтижесінде электромагниттік (жарық) толқын интенсивтігі әлсіреуінің заңдылықтары байқалады. Бұл заңдылықтар колориметриялық және нефелометриялық мөлшерлік және құрылымдық анализдер әдістерінің негізіне жатады. Осы екі әдістің анализдің классикалық әдістерімен салыстырғанда артықшылықтары бар, олар: жылдамдығы мен дәлдігі, әсіресе, олардың өте аз концентрацияны өлшегендегі маңызы зор.

Бұл жұмыста біз тек колориметриялық анализдің негіздерімен ғана танысамыз. Осы мақсатқа сай жарықтың жұтылу құбылысының заңдылықтары мен сипаттамаларын және де әдістің өзінің негізін толығырақ қарастырамыз.

Интенсивтілігі  $J_0$  монохроматты толқын қалыңдығы  $l$  заттың жарық қабатына түссін делік (9.1 сурет)  $x$  тереңдікте жатқан қабатқа келіп түскен жарық толқынының интенсивтілігін  $J_x$  деп белгілейік.  $d_x$  қабатында жұтылған жарықтың  $dJ_x$  интенсивтігі  $J_x$  мәніне пропорционал болады деп ұйғаралық. Жарық шоғы интенсивтігінің зат бетіндегі таралуына байланысты кемітіндігін ескере отырып төмендегіше жазуымызға болады:

$$dJ_x = -kJ_x dx \quad \text{немесе} \quad dJ_x/J_x = -k dx$$



9.1 сурет. Жұтылу заңын қорытып шығаруға арналған сурет

Соңғы өрнекті мүшелеп интегралдағанда  $\ln J_x = -kx + \ln A$  болады, мұндағы  $\ln A$  -интегралдау тұрақ-тысы. Осыдан  $\ln - (J_x / A) = -kx$  немесе  $J_x / A = e^{-kx}$  Интегралдау  $A$  тұрақтысын бастапқы шарттардан анықтауға болады. Егер  $x=0$  болса, онда  $J_{x=0}=J_0$  және  $A=J_0$ . Сонда  $J_x=J_0e^{-kx}$ .

Бұл Бугер-Ламберт заңы болып табылады.

$$\text{Жеке жағдайда} \quad J_\ell = J_0 e^{-k\ell}, \quad (9.1)$$

мұндағы  $k$ -жұтылу коэффициенті, ол ерітілген заттың концентрациясына пропорционал:  $k=k^1c$ ;  $k^1$ - ерітілген заттың қасиеттері және температурасымен анықталатын тұрақты. Сонымен қатар  $k^1$  түскен жарықтың толқын ұзындығына да тәуелді. Осы айтылғандарды ескере отырып жұтылу заңын

$$J_\ell = J_0 e^{-k^1c\ell} \quad (\text{Ламберт-Бер заңы}) \quad (9.2)$$

түрінде өрнектеуге болады.

Есептеуге және талдауға қолайлы болуы үшін бұл заңды басқаша (рациональды) түрде жазуымызға болады. Атап айтқанда :

$$J = J_0 \cdot 10^{-k''c\ell} \quad (9.3)$$

мұндағы  $k'' = k^1 / \ln 10$ .

Колориметрияда заттың жұтылу қабілеттілігі ерітіндінің оптикалық  $D$  тығыздығы мен  $\tau$  мөлдірлігі (өткізгіштігі), тұнықтығы арқылы сипатталады.

Анықтамаға сай  $D = \lg(J_0 / J)$ , ал  $\tau = J / J_0$

Демек, ерітіндінің оптикалық  $D$  тығыздық пен  $\tau$  мөлдірлігінің арасында қарапайым байланыс бар:

$$D = \ell g(1 / \tau) \quad (9.4)$$

$D$  шамасын, көбінесе, *ерітіндінің экстинкциясы* деп атайды. Ескеретін нәрсе: ерітілген заттың қасиеттері тұрақты және осы заттың ерітіндідегі концентрациясының (концентрациясы аз) мәні белгілі алқапта Ламберт-Берр заңы (9.2 формула) тек монохроматты жарық үшін орындалады.

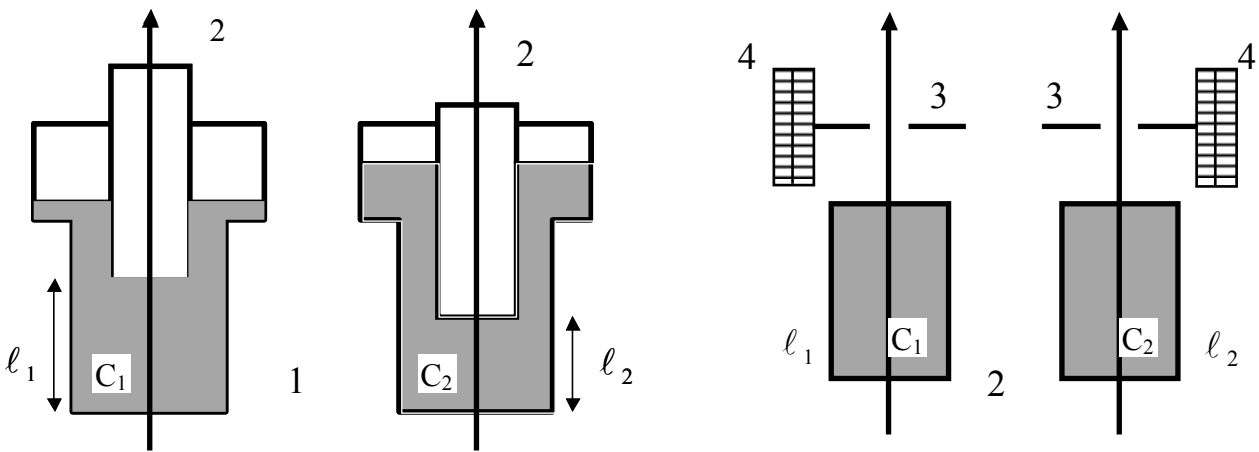
### 9.3. Колориметрия негіздері

Колориметриялық анализ арнаулы аспаптарда - колориметр-лерде (фотометрлерде) жүргізіледі. Жарық фильтрлерін қолдана отырып, спектрлік құрамы бірдей жарықты заттың концентрациялары  $c_1$  және  $c_2$  ерітінді арқылы өткізетін болсақ,  $c_1 \ell_1 = c_2 \ell_2$  (9.2 өрнекті қараңыз) болған жағдайда өткен жарық шоғырларының интенсивтігі бірдей болады.

Сонда концентрациясы белгілі ерітінділердің біреуі арқылы, мысалы  $c_1$ , басқа ерітіндінің концентрациясын анықтауға болады.

$$c_1 = c_2 (\ell_2 / \ell_1) . \quad (9.5)$$

Осы (9.5) өрнек колориметриялық анализдің негізіне жатады.



9.2 сурет. Колориметрлердің (фотометрлердің) екі кюветінен шығардағы жарық интенсивтілігін теңестірудің принципі схемалары

Өлшеулер, концентрациялары  $c_1$  және  $c_2$  болатын ерітінділер арқылы, интенсивтіліктері тең жарық шоқтарының өтуіндегі,  $\ell_1$  және  $\ell_2$  -ді анықтауға әкеліп тіреді (жарық ағындарын теңестіру әдісі).

Жарық шоқтарының интенсивтіліктерін фотометриялық әдістермен зерттеу субъективті (теңестіру визуальды түрде жүргізіледі) және объективті (фотоэлементтердің көмегімен) болып бөлінеді.

Концентрациялары  $c_1$  және  $c_2$  болатын ерітінділердің екі кюветтен шығардағы интенсивтіліктерін теңестіру техникасы екі түрлі болуы мүмкін: бірдей шыны столбиктер 2 көмегімен (оларды вертикаль жылжыту арқылы, 9.2 а-сурет) ерітінділер қабатының қалыңдығын өзгерту арқылы және квадрат 3 саңылаулар-диафрагмалар көмегімен 4 санақ барабандарын бұрай отырып (9.2 б- сурет) жарық шоқтарының қималарын өзгерту арқылы. Екінші жағдайда барабандардың қос шкаласы болады: оның қарасында ерітіндінің  $\tau$  мөлдірлік мәндері, ал қызылында-оптикалық  $D$  тығыз-дық мәндері белгіленіп көрсетілген.

#### 9.4. ФМ-56 фотометрдің құрылысы

ФМ-56 фотометрдің принциптік оптикалық схемасы 9.3 суретте көрсетілген.

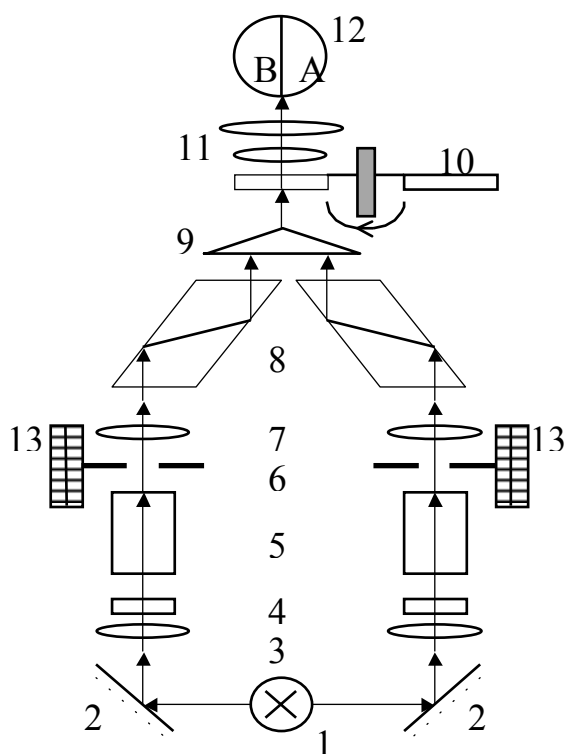
Фотометрдің негізгі бөлшектері: жарықтандырғыш (детальдары 1, 2, 3, 4), фотометрдің бас тетігі (детальдары-6, 7, 8, 9, 10, 11) және зерттелетін объектілерге арналған орындықша 5. Құралдың (прибордың) оптикалық схемасын қарастыралық. Жарықтандырғыштың 1 лампынан жарық ағыны оң және сол ағынның айналарына 2 түсіп, объект 3 пен ақшылт шыныдан 4 тұратын конденсор арқылы өтеді. Шоқ ары қарай зерттелінетін зат ерітіндісі бар 5 кюветтерге және реттелінетін диафрагмаларға бағытталады. Одан соң ромб тәріздес призмалар 8 және бипризма 9 көмегімен екі шоқ сол  $A$  және оң  $B$  окуляр 11-дің көру өрісіне келіп түседі. Сонымен, бақылаушы 12 призма қырымен айқын шектелген  $A$  және  $B$  шоқтары үшін бақылау (көру) өрісінің екі жартысын көреді. Әрбір диафрагманың саңылауының өлшемін өзгерте отырып (13 санақ барабандарын бұрап) әрбір өрістің жарықтылығын өзгертуімізге болады. Бұл жағдай екі жарық ағындарының интенсивтіктерін фотометрлік теңестіруге мүмкіншілік береді.

Жоғарыда айтылғандай барабанда екі шкала белгіленген. Бірінші шкала

(қара) жарықты өткізу шкаласы деп аталынады.

Мұнда  $\tau$ -дың мәндері процентпен белгіленген. Екінші шкала (қызыл) зерттелінетін заттың  $D$  тығыздығына сәйкестелінеді.

Сәуленің жүру бағытымен 11 окулярдың алдына жарық фильтрлері бар 10 револьверлі диск орнатылған. Дисканы айналдыра отырып барлық он бір жарық фильтрлерін кезекпенен жарық шоғы алынатын жолға енгізуімізге болады.



9.3-сурет. ФМ-56 фотометрінің принципті оптикалық схемасы.

Жұмыс қалпында болатын жарық фильтрінің номерін дисканың терезешесінде көрінетін цифрмен анықтауға болады. Әртүрлі жарық фильтр-лерінің өткізгіш алқабының жартылай ені 20 мен 40нм аралығында жатады.

9.4-суретте ФМ-56 фотометрінің жалпы түрі келтірілген.

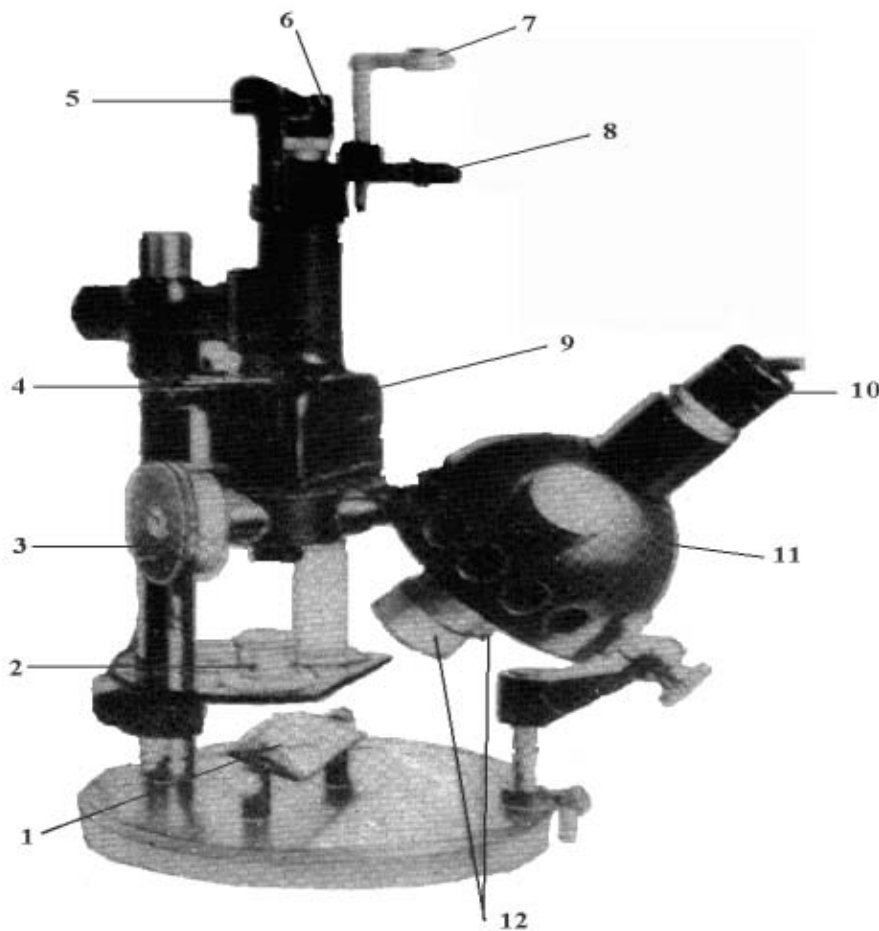
### 9.5. ФМ-56 фотометрді өлшеу жүргізуге дайындау

Жарықтандырғышты жарық шоқтары айнаға түсетіндей етіп орнықтырады. Жарықтандырғыштың қабындағы (кожух) лампалы патронды жылжытып және фотометрдің айнасын айналдыра отырып прибордың окулярының көрініс өрісіндегі лампаның жіңішке қылының кескінін табу керек.

Ескеретін нәрсе: жіңішке қыл кескінінің жарықтылығы өте жоғары болғандықтан, оны жарық фильтрі (мысалы, N 5) арқылы бақылау керек. Енді патронды бекітіп және жарықтандырғышты аздап айналдырып отырып, көру

өрісінің ажыратып бөлетін сызығына қатысты лампаның жіңішке қыл кескінінің симметриялы орналасуын тауып алуымыз қажет. Осыдан кейін біржола жарықтандырғышты нықтап бекітеміз. Конденсорларды олардың тірегі бойымен жылжыта отырып көріну өрісінің екі жартысындағы лампаның жіңішке қылының айқын бейнесін табамыз.

Жарықтандырғышқа екі пар (қос) шашыратқыш жарық фильтрлері қосылып беріледі. Бірінші пары күңгірт шыныдан, ал екіншісі ақшылт шыныдан жасалған. Мұндай жарық фильтрлері теңестіру



9.4 сурет. ФМ-56 фотометрінің жалпы түрі

1-жазық айна, 2-зерттелінетін зат қойылатын орындықша, 3-заттың оптикалық тығыздығын бағалайтын, есеп жүргізуге бейімделген тетігі бар диафрагманың ашылу дәрежесін көрсететін барабан, 4-есеп жүргізуге қолайлы лупа, 5-көзге ешнәрсе көрінбейтін тұтқыш (наглазник), 6-көріну өрісін бақылауға арналған окуляр, 7-қозғалмалы лупа, 8-жарық фильтрлері бар револьверлі диск, 9-фотометрлік бас тетік, 10- жарықтандырғыштың патроны, 11-жарықтандырғыш, 12-жарықтандырғыштың конденсоры.

өрістерінің бірқалыпты жарықталынуын алуға мүмкіндік туғызады. Ақшылт

шыныдан жасалынған жарық фильтрлері жарық шоқтарын едәуір әлсіретеді және ақ жарықта жұмыс істегенде қолданылады. Ал күңгірт шыныдан жасалынған жарық фильтрлері өзінен жарықты көбірек өткізеді және де олар түсті жарық фильтрлерімен жұмыс істеуге арналған.

## 9.6. Жұмыс тапсырмалары және эксперимент әдістемесі

9.6.1. ФМ-56 фотометрінің құрылысымен және жұмыс істеу принципімен танысыңыздар. Оны өлшеу жүргізуге дайындаңыздар.

9.6.2. Берілген сұйық үшін оның оптикалық тығыздығының (жұтылу коэффициенті) толқын ұзындығына тәуелділігін зерттеңіздер. Спектрлік сипаттамалар төмендегіше алынады.

Окулярдың револьверлік дискісін айналдыру арқылы сәулелер жолына  $\Gamma 1$  жарық фильтрін қояды. Оң және сол жақтағы барабандардың шкалаларын қызыл шкаланың 0 санақ белгісіне қою керек. Сонымен қатар көріну өрісінің екі жартысының бірдей жарықталынуын тексеріңіз. Осыдан кейін прибордың орындықшасына оң және сол жақтарындағы сәулелер шоғы жолына қабаттарының қалыңдықтары, әрқайсысына сәйкес,  $l_1$  және  $l_2$  болатын, зерттелінетін сұйықтары бар кюветтерді орналастырады ( $l_1 > l_2$ ). Окуляр лупасының көмегімен диафрагманың квадратты ойымының айқын бейнесін алып кюветтердің жарықпен толық біркелкі толтырылуын тексеру қажет.

Сол жақтағы барабанды айналдыра отырып көріну өрісінің оң және сол жартысындағы окулярда көрінетін жарықталынудың бірдей болатындығына көз жеткізуіміз керек (ескеретін нәрсе: сол жақтағы барабанды айналдырғанда көріну өрісінің оң жартысының жарықталынуы өзгереді және керісінше). Осы барабанның қызыл шкаласы бойынша оптикалық тығыздықтың  $D$  мәнін жазып алыңыздар.

Кюветалардың орындарын ауыстырып өлшеулерді қайталаңыздар: енді сол жақтағы барабанды 0 белгісіне қойып, өлшеу нәтижесін оң барабан бойынша алуыңыз керек.



*Жұтылу коэффициентін анықтау.* Оптикалық тығыздықтардың бір-бірінен айырмашылығы  $(\ell_1 - \ell_2)$  қабаттың қалыңдығына байланысты, сондықтан да жұтылу коэффициентін мына формуламен анықтауға болады:

$$k_\lambda = 2,3D / (\ell_1 - \ell_2)$$

Осындай өлшеулер мен есептеулерді  $f \in 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$  және 8 жарық фильтрлерімен жүргізу керек. Өйткені жарық фильтрлерінің толқын ұзындықтары 726, 666, 619, 574, 533, 496, 465 және 436 нм сәйкес келетін, толқын ұзындықтарының кең диапазоны үшін, оптикалық тығыздықтардың (жұтылу коэффициенттерінің) мәндерін алу қажет.

Өлшеу нәтижелерін  $k_\lambda = f(\lambda)$  график түрінде көрсетіңіз.

### **9.6.3. Қатты дененің жұтылу коэффициентін анықтаңыз.**

Осы мақсатпен қалыңдықтары  $\ell_1$  және  $\ell_2$ , бірдей заттан (целлулоидтан түсті пленкадан) жасалынған екі пластинаны прибордың жарық шоғы түсетін жолына қояды. Оптикалық тығыздықтың  $D$  мәндерін өлшеу және жұтылу коэффициентін есептеу жоғарыда, 9.6.2-пунктте көрсетілгендей жүргізіледі, айырмашылығы тек өлшеулер таңдап алынған жарық фильтрлерінің біреуі үшін ғана жасалынады.

### **9.6.4. Ерітіндінің концентрациясын анықтаңыз.**

Алдымен градуирлеу графигін тұрғызу керек. Осы мақсатпен біз кюветке біртіндеп, кезекпенен концентрациясы белгілі бірнеше ерітінділерді, ал басқа кюветке-еріткішті құяды және кезкелген бір жарық фильтрі үшін оптикалық тығыздықтардың мәндерін анықтайды. Алынған нәтижелер бойынша  $D=f(c)$  түрінде график тұрғызуға болады. Демек, берілген заттың ерітіндідегі белгісіз концентрациясын анықтауға болады. Бастапқы мәндерді дұрыс алу үшін алдын ала жарық фильтрін дұрыс таңдай білу керек. Ол мына шартты қанағаттандыратын болсын: ерітіндінің оптикалық тығыздығы, жарық фильтрі арқылы өтетін толқын ұзындығы үшін ең үлкен болуы қажет (зерттелінетін ерітіндінің спектрлік сипаттамасы алынады)

**9.7. Бақылау сұрақтары**

9.7.1. Жарықтың жұтылу механизмін түсіндіріңіз.

9.7.2. Заттың оптикалық тығыздығы дегеніміз не?

9.7.3. Не себепті жарықтың жұтылу коэффициенті толқын ұзындығына тәуелді?

9.7.4. ФМ-56 фотометрінің жұмыс істеу принципін түсіндіріңіз.

**9.8. Әдебиет**

9.8.1. Ландсберг Г.С. Оптика. -М. :Наука. 1976

9.8.2. Шишловский А.А. Прикладная физическая оптика.-М.: Физматгиз, 1961,

9.8.3. Физический практикум. Электричество и оптика. Под общей редакцией В.И .Ивероновой.-М.: Наука, 1968,