

## 5. МАЛЮС ЗАҢЫН ТЕКСЕРУ

### 5.1. Жұмыстың мақсаты

Фотополяриметр көмегімен поляризацияланған сәуленің интенсивтігін бағалау. Қондырғыны юстировкалау жолдарымен танысу және онымен жұмыс орындауды игеру.

*Малюс заңын* тексеруде графиктік әдісті пайдалану. Поляроидтан шыққан жарық шоғының поляризациялану дәрежесін бағалау.

### 5.2. Жарық поляризациясын зерттеу (*теориялық кіріспе*)

Жарықты электромагниттік толқын ретінде сипаттайтын құбылыстардың бірі-*жарықтың поляризациясы*. Тәжірибе жүзінде бұл құбылыспен танысудың өзінше ерекшеліктері болады.

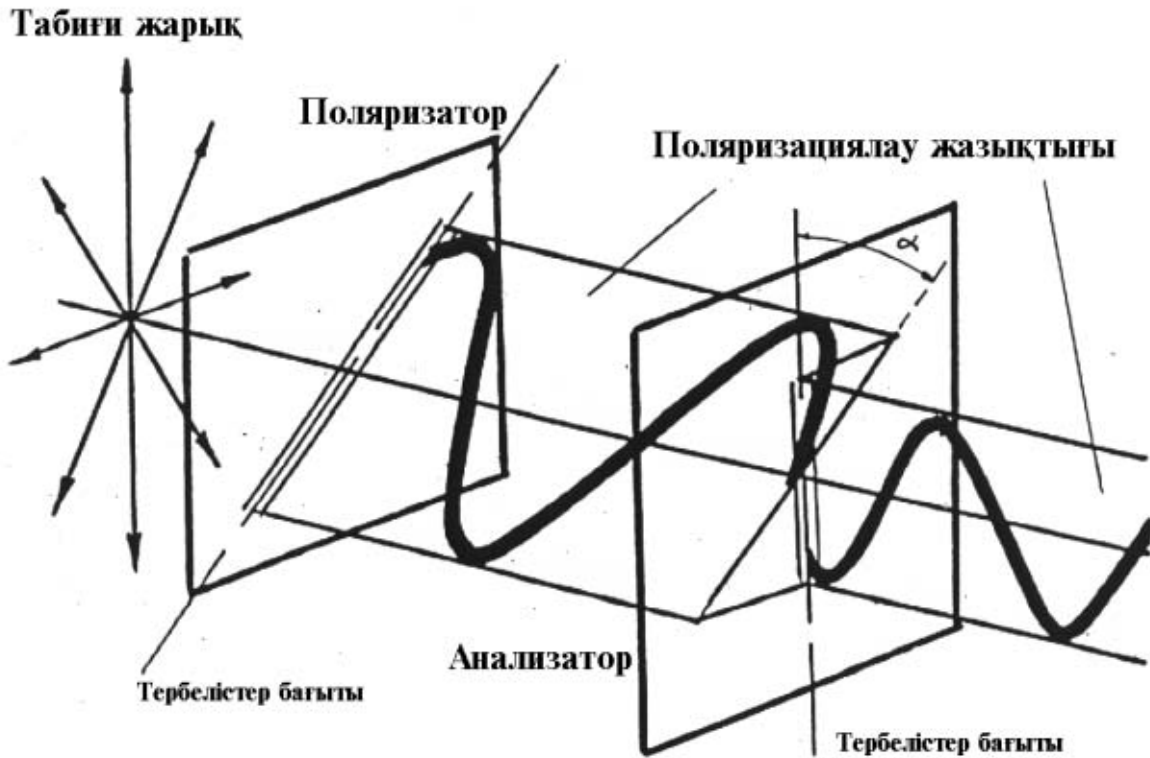
Электромагниттік толқындар поляризациясы теориясының негізгі қағидаларына тоқталайық.

Егер, электромагниттік (жарық) толқынындағы электрлік кернеу векторы белгілі бір жазықтықта ғана тербелетін болса, ондай толқын *жазық-поляризацияланған* деп аталады. Толқынның таралу бағыты арқылы өтетін және электрлік кернеулік векторының тербелетін жазық- поляризацияланған электромагниттік толқын жазықтығын *поляризациялану жазықтығы* немесе *тербеліс жазықтығы* деп атайды. Кейде поляризациялану жазықтығы деп электромагниттік толқын ішіндегі магнит өрісінің кернеулік векторының уақыт бойынша тербеліс жазықтығын айтады. Ол тербеліс жазықтығына перпендикуляр жазықтық болады.

Кәдімгі жарық көздері кеңістікте поляризацияланбаған жарық толқындарын, яғни табиғи жарық шығарады. Өйткені, жай жарық көздерінде жарық шығару көптеген элементар бөлшектердің нұрлануымен (*атомдар-осцилляторлар*) байланысты, ал олар бірімен- бірі байланыссыз, тәуелсіз элементар жарық көздері болып табылады.

Кейбір орталар (денелер) өзіне түскен табиғи жарық толқындарының

кейбір бөлігін ғана өткізетін қасиеті болады (мысалы, *турмалин*). Мұндай жағдайда бастапқы поляризация-ланбаған тербелістер арасынан поляризациялану күйіне сәйкес келетін тербелісті бөліп алуға болады.



5.1 - сурет. Поляризациялық құралдың принциптік схемасы

Турмалинге ұқсас денелерді (поляроид пластинкалары, поляризацияланушы призмалар және қосарластырып сындырушы призмалар және т.б.) *поляризаторлар* деп атайды. *Поляризаторлардың тербеліс өткізетін жазықтығын поляризаторлардың ``поляризациялану жазықтығы``* деп атайды. Поляризатордан шыққан (поляризация-ланған) жарық жолына *анализатор* деп атайтын екінші поляризатор қойылса (5.1-сурет) тәжірибе мынадай жағдайды көрсетеді: поляризатордан және анализатордан өткен (системадан өткен) жарық толқынының электрлік кернеулік векторы тербелісінің тербеліс амплитудасы поляризатор мен анализаторлардың поляризациялану жазықтықтарының араларындағы бұрыштың  $\alpha$  мәніне тәуелді болады. Олай болса өткен жарық интенсивтігінің мәні де  $\alpha$  бұрышына тәуелді болады. Осы тәуелділікті көрсететін заң *Малюс заңы* деп аталады.

$$J=J_0\cos^2 \alpha \quad (5.1)$$

Мұндағы  $J_0$  - анализаторға түсетін жарық толқынының интенсивтігі,  $J$  - анализатордан шыққан жарық толқынының интенсивтігі.

Поляризатордың және анализатордың поляризациялану жазықтықтары өзара перпендикуляр болған жағдайда жүйеден жарық өтпейді.

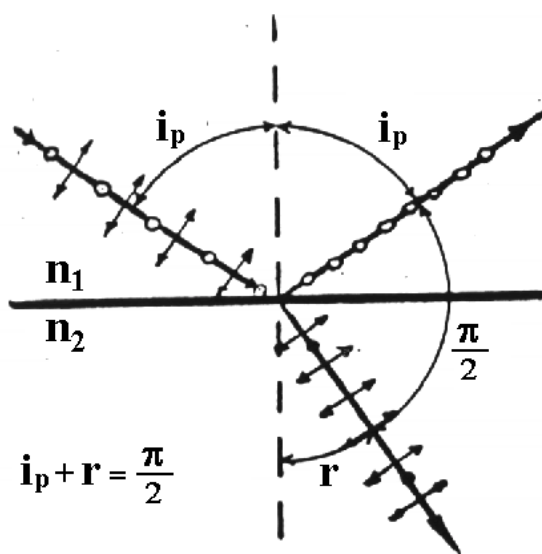
Осыған қоса кез келген табиғи жарықтардың екі ортаның шекарасындағы шағылу және сыну кезінде, сынған және шағылған сәулелердің жарым жартылай поляризациялануы байқалатынын атап айтқан жөн. Бұл жарықтардың поляризациялану дәрежесі шағылатын бетке сәуленің түсу бұрышына тәуелді болады.

Белгілі диэлектрик үшін түсу бұрышының бір мәнінде шағылған жарық толығымен жазық поляризацияланады. Бұл жағдайда шағылған сәуле мен сынған сәуле арасындағы бұрыш  $90^\circ$  қа тең болады, яғни түсу бұрышының тангенсі сол диэлектриктің сыну көрсеткішіне тең болады:

$$\operatorname{tg} i_p = n \quad (5.2)$$

(Мұндағы  $n = \frac{n_2}{n_1}$  - диэлектриктің салыстырмалы сыну көрсеткіші). Бұл

(5.2) өрнекті *Брюстер заңы* деп атайды.



Осындай жағдайда шағылған сәуленің поляризацияланған жазықтығы сәуленің түсу жазықтығына перпендикуляр болады (5.2-сурет). Жарықтың сынған сәулесі сәуленің түсу жазықтығында жарым-жартылай поляризацияланған болады. Поляризациялану дәрежесін мынадай қат-наспен анықтайды:

5.2-сурет. Брюстер заңын түсінуге арналған сурет

$$\Delta = \frac{J_{\perp} - J_{\parallel}}{J_{\perp} + J_{\parallel}} = \frac{J_{\max} - J_{\min}}{J_{\max} + J_{\min}} \quad (5.3)$$

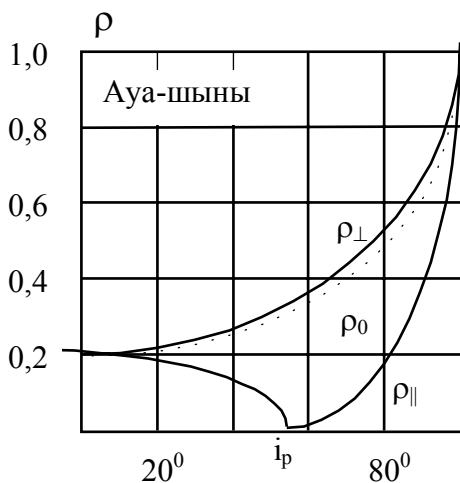
Екі ортаның шекарасына жазық поляризацияланған жарық түссе, Френельдің зерттеуі бойынша, диэлектриктің шағылдырғыш қабілеттілігі сәуленің түсу бұрышына және түскен сәуле ағынының поляризациясының сипаттамасына тәуелді болады:

$$\rho_{\perp} = \frac{\sin^2(i - r)}{\sin^2(i + r)} \quad (5.4)$$

$$\rho_{\parallel} = \frac{\operatorname{tg}^2(i - r)}{\operatorname{tg}^2(i + r)} \quad (5.5)$$

Мұндағы  $\rho_{\perp}$  - түсу жазықтығына перпендикуляр жазықтықта поляризацияланған сәуленің шағылу қабілеттілігі;  $\rho_{\parallel}$  - түсу жазықтығына параллель жазықтықта поляризацияланған сәуленің шағылу қабілеттілігі;  $i$  және  $r$  сәуленің түсу және сыну бұрыштары (5.3 - суретке қараңыз).

Диэлектриктің *шағылдыру қабілеттілігі* - диэлектриктен шағылған жарық ағыны интенсивтігінің диэлектрикке түскен жарық ағынының



5.3- сурет.  $n_1 < n_2$  болған кезде жарықтың шағылу коэффициенті түсу бұрышының функциясы болады.

интенсивтілігіне қатнасымен анықталатын салыстырмалы шама. Диэлектрик бетіне түскен поляризацияланбаған толқынның шағылу қабілеттілігі  $\rho_0$  (5.4) және (5.5) өрнектер арқылы есептелініп анықталады, яғни поляризацияланбаған толқынды жазық-поляризацияланған  $\perp$  және  $\parallel$  екі толқынға бөлу арқылы анықтайды.

$$\text{Бұл жағдайда } \rho_0 = \frac{1}{2} \left[ \frac{\sin^2(i-r)}{\sin^2(i+r)} + \frac{\operatorname{tg}^2(i-r)}{\operatorname{tg}^2(i+r)} \right]. \quad (5.6)$$

5.3-суреттегі графиктен шағылу қабілеттілігінің  $\rho_{\parallel}$  ең минимум мәні поляризацияланған сәуленің  $i_p$  түсу бұрышына, яғни Брюстер шартынан шығатын бұрышқа (5.2 - сурет), сәйкес келетіндігін бай-қауға болады.

Лаборатория жағдайында қолданылатын поляризациялаушы қондырғылардың көпшілігінің жұмыс істеуі қосарланып сыну құбылысына негізделген.

Сәуленің қосарланып сыну құбылысы болатын денелердің барлығының анизотропиялық қасиеті айқын байқалады (исландия шпатының кристалы, кварц және басқалар). Табиғи қатты кристаллдардан басқа, сәулелердің қосарланып сыну құбылысын сұйық кристалдар, деформациялау кезіндегі кейбір аморфты денелер және электр өрісіндегі кейбір сұйықтар бере алады.

Жарық қосарланып сынатын орталарда таралатын жарық сәулесі екі компонентке бөлінеді, олардың таралу жылдамдықтары әртүрлі болады. Олай болса олардың сыну көрсеткіштерінде әртүрлі.

Қосарланып сыну құбылысы кристалл қабырғасына тік түскен (нормаль) кезінің өзінде де байқалады. Осыған қарамастан кристаллдарда екі бағыт болады. Ол бағыт бойымен таралатын жарық сәулесі қосарланып сынбайды. Осы бағыттарды кристаллдың *оптикалық осьтері* деп атайды. Демек, оптикалық ось бойымен таралатын сәулелердің таралу жылдамдығы бірдей болады. Сондықтан екіге бөліну туралы сөз болмайды.

*Екі осьті кристаллдар* қатарына жататын денелер: *ромбылық күкірт кристалы, слюда* және т.б. *Бір осьті кристаллдар* қатарына *исландия шпаты, кварц* және т.б. жатады. *Куб жүйелі кристаллдарда*, өздерінің изотроптығына байланысты сәулелердің қосарланып сынуы болмайды, мысалы *ас тұзында*.

Бір осьті кристаллдардан жарық сәулесі қосарланып сынып өткенде, өткен сәуленің бірі кәдімгі сыну заңы бойынша сынып өтеді, екіншісі сәуленің сыну көрсеткіші оның кристаллдан өту бағытына тәуелді болады. Осыған байланысты бірінші сәуле *кәдімгі*, екінші сәуле *ерекше* деген атақ алған. Екі

осьті кристаллдан өткенде пайда болған сәулелер оптиканың кәдімгі заңына бағынбайды.

Кәдімгі және ерекше сәулелер сызықты поляризацияланған және поляризациялану жазықтықтары өзара перпендикуляр жазықтықта жатады. Кристаллдың оптикалық осьтері және сәуле жатқан жазықтықты *кристаллдың бас қимасы* немесе *бас жазықтығы* деп аталатын түсінік енгізсек, кәдімгі сәуленің поляризациялану жазықтығы (тербеліс жазықтығы) кристаллдың *бас жазықтығына* перпендикуляр болып орналасады. Ал *ерекше* сәуленің поляризациялану жазықтығы кристаллдың *бас жазықтығында* немесе оған параллель болып орналасады.

Бір осьті кристаллдардан өткенде пайда болған *кәдімгі* және *ерекше* сәулелердің жарқырауы бірдей болады. Бірақ кейбір кристаллдар үшін бұл жағдай орындалмайды, себебі, кейбір кристаллдар біреуін көп жұтады (мысалы, турмалин). Осыған ұқсас құбылысты *дихроизм* деп атайды. Дихроилық пленка (поляроидтар) поляризациялаушы құрылымдарда қолданылады. Қосарланып сыну құбылысы негізінде күрделі поляризациялық жүйелер жасалынады (мысалы, *Николь призмасы*, *Волластон призмасы* және т.б.). Бұл мәселелермен толығырақ [5.7.1] әдебиетінде танысуға болады.

### **5.3. Лабораториялық қондырғыны сипаттау**

Жұмыстың тапсырмалары ``Турмалин`` фотополяриметрінде орындалады. Бұл аспап аль-Фараби атындағы Қазақ мемлекеттік ұлттық университетінде жасалынған (В.В.Ронжин, 1963).

Осы құралды пайдаланып жарықтың поляризациялануы туралы лабораториялық жұмыстар іске қосылған.

Фотополяриметрдің (5.4-сурет) негізгі бөліктері: 1-жарықтандырғыш, 2-поляризатор, 3-анализатор, 4-сәулелік энергия-ны қабылдаушы камера.

Аталған бөліктердің барлығы ``Турмалиннің`` негізіне 5 орнатылған вертикаль 8 тіреуге арнайы жасалған муфталар көмегімен бекітілген. Қондырғыны юстировка жасау кезінде жарық беруші жүйе, поляроидтар және

селен фотоэлементі орналасқан камера, бұлардың барлығы тіреу бойымен қозғала да және тіреу айналасында айнала да алады.

Бұл құралға, сызықты поляризацияланған жарық алу және зерттеу үшін турмалин кристаллынан тұратын немесе *күкірт қышқыл иод-хининынан* тұратын (геропатит) өте майда кристаллдар қондырылған жұқа *целлулоид* пленка қолданылады. Пленкадағы геропатит кристаллдарының барлығының оптикалық осьтері бір бағытта бағдарланып орналасқан.

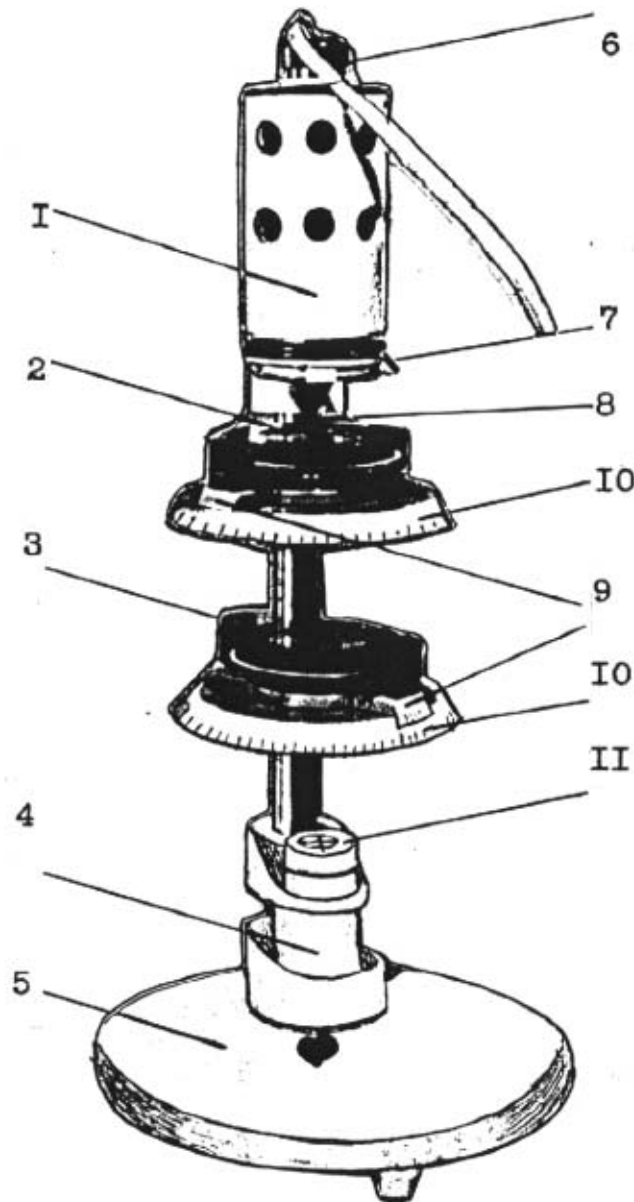
Поляроид пленкаға (геропатит кристаллдарына) түскен табиғи жарық қосарланып сынатын болады. Осының салдарынан пленкадағы *кәдімгі* және *ерекше* деп аталатын екі сәуле пайда болады. *Кәдімгі* сәулені поляроид пленкадағы геропатит кристаллдары (турмалин) толығымен жұтып алады. Осыған байланысты кристаллдан бір ғана сәуле шығады, ол жазық-поляризацияланған болады.

Фотополяриметрде жарық көзі ретінде ОИ-19 типті жарықтандырғыш пайдаланылған. Жарықтандырғыштан шыққан жарық сәулелері параллель сәулелер болады, параллель болмаған жағдайда оның лампасын 6 оптикалық осі бойынша қозғау арқылы параллель сәуле алуға болады. Жарық шоғының ауданын *жапырақша диафрагма* арқылы өзгертуге болады. Диафрагманы өзгерту 7-рычагпен орындалады. Прибордағы екі поляроидтың әрқайсысы поляризатор мен анализатордың өлшеуіш 10 лимбларының дөңгелек 9 нониустарымен қатал түрде байланысқан.

Поляроидтар нониуспен бірге прибордың оптикалық осі айналасында айналмалы қозғалыс жасай алады. Нониустың орналасуы бойынша поляризатордың поляризациялық жазықтығымен анализатордың поляризациялық жазықтықтарының арасындағы бұрышты анықтауға болады. Айта кету керек, поляризатордың поляризациялану жазықтығы өлшеуіш тегікпен салыстырғанда еркін орналасқан. Жұмыс орындалмайтын кезде фотоэлементке жарық түсірілетін камераның терезесі 11 жабық болуы тиіс. Фотоэлемент қақпағының бетінде екі сызық айқасқан белгі бар, ол айқасу нүктесінің қызметі приборды юстировка жасау кезінде сәулені фотоэлементке

бағыттауды оңайлатады.

Егер поляроидтардың орталығы арқылы өткен жарық шоғының фотоэлемент қақпағының ортасына дәл түсуін іске асыратын болсақ, онда приборды юстировкаланған деп айтуымызға болады.

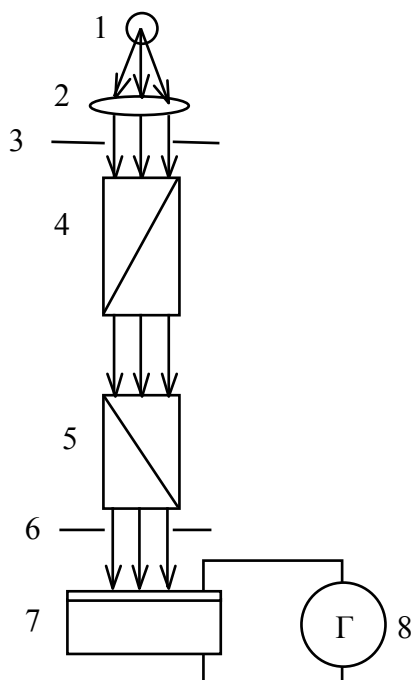


5.4 сурет. ``Турмалин`` фотополяриметрiнiң жалпы көрiнiсi:

1-ОИ-19 жарықтандырушы фонарь, 2-поляризатор, 3-анализатор, 4-сәулелiк энергияны қабылдаушы камера, 5-аспаптың негiзi, 6-жарықтандырушы лампа патронының негiзi, 7-жапырақша (иристiк) диафрагманың рычагi, 8-тiреу, 9-



дөңгелек нониустар, 10-есеп алынатын лимб шкаласы, 11-фотоэлемент қақпағы-нысана.



5.5 - сурет. Фотополяриметрдегі сәулелер жолының принциптік схемасы.

Анализатордан шыққан жарық сәулесінің интенсивтігі селен фотоэлементі арқылы гальвано-метрге берілген фототок мөл-шерімен бағаланады.

Малюс заңын дәлелдеуге пайдаланылатын қондырғыдағы сәулелер жолының принциптік схемасы 5.5-суретте көрсетілген. Мұндағы: 1-электрлік нүктелік қыздыру лампасы, 2-параллель жарық алуға арналған коллиматорлық линза, 3 және 6-

жарық шоғын шектеуші диафрагма, 4-поляризатор, 5-анализатор, 7-селендік фотоэлемент, 8-гальванометр.

#### 5.4. Қондырғыны өлшеулер жүргізуге дайындау

``Турмалин`` қондырғысымен танысып болғаннан соң оны юстировка жасауға кірісу керек. Ол үшін жарық беруші фонарьдан шыққан жарық сәулесінің ағыны параллель болуына қол жеткізуден бастау керек және қондырғы толығымен орталықтандырылған (центрленген) болуы тиіс.

Осыдан соң фотогониометрдің жарық беруші лампасына берілетін электр тоғының кернеуін анықтау керек. Лампаға берілетін кернеу мәнін анықтау үшін лампаға азғантай (5-7 В) кернеу беріп анализатордың поляризаторға салыстырғандағы орнын табу керек. Ол орын, анализатордың фотоэлементке берген сәулесінің әсерінен пайда болған фототоктың ең көп мәніне сәйкес келетін орын болады, яғни гальванометрдегі фототоктың ең көп мәніне сәйкес

келетін анализатордың поляризатормен салыстырғандағы орыны. Осы орынды белгілеп лабораториялық журналға жазу керек. Осыдан соң лампаға көп кернеу беріп жұмыс істей беруге болады. Бұл орындалған жаттығу поляризатор мен анализатордың поляризацияландырушы жазықтықтарының сәйкес келуіне қол жеткізу болып саналады. Осымен аспапты юстировкалау аяқталады.

## 5.5. Жұмыстың орындалу тәртібі

5.5.1. Поляризатордан және анализатордан тұратын жүйеден өткен жарық сәулесінің интенсивтігіне өлшеулер жүргізу керек. Өлшеулер анализатор жазықтығының түрлі орналасуына сәйкес жүргізілуі тиіс. Анализатор жазықтығының орналасуы оның лимбсының шкаласы бойынша анықталады, яғни анализатор жазықтығын  $10^0$  қа өзгертіп отырып, осыған сәйкес жарық интенсивтігіне өлшеулер жүргізілуі тиіс. Анализатор жазықтығы жалпы  $0^0$  тан  $180^0$  қа дейін өзгертілуі тиіс. Мұндай өлшеулердің әрқайсысы 3 реттен кем болмауы керек және лимбның бастапқы орналасуын оқытушының анықтауы керек.

5.5.2. Поляризатор жазықтығы мен анализатор жазықтықтарының араларындағы белгілі әрбір  $\alpha$  бұрышқа сәйкес өлшенген жарық шоғының интенсивтіктерінің нәтижелерінің орташа мәндерін табу керек.

Бастапқы нүкте ретінде фототок ең көп мәнге және ең аз мәнге ие болған нүктелерді алу керек. Қалыпты жағдайда фототоктың ең көп мәні поляризатор жазықтығы мен анализатор жазықтығының араларындағы бұрыш  $\alpha = 0^0$  болғанда, ал ең аз мәні  $\alpha = 90^0$  болғанда болады. Фототоктың аралық мәндері  $\alpha$  бұрышының  $10^0, 20^0, 30^0, \dots, 80^0$ , мәндеріне сәйкес  $J_{10}, J_{20}, J_{30}, \dots, J_{80}$  болады. Бұрыш анализатор лимбсы бойынша өлшенеді.

5.5.3. Алынған нәтижелер бойынша график тұрғызылады:

$$\frac{J_{\alpha}}{J_0} = f(\cos^2 \alpha)$$

Мұндағы  $J_0$  -  $\alpha = 0^0$  болғандағы жарық интенсивтігінің өндірген фототок мәні

(бұл фототоктың ең көп мәніне сәйкес):  $J_{\alpha}$  - берілген  $\alpha$  бұрышының мәніне сәйкес келетін жарық интенсивтігінің өндiрген фототок мәні және бұл бойынша Малюс заңының орындалуы қарастырылады.

5.5.4. Жоғарыда тұрғызылған график (5.5.3.П) бойынша, поляроидтан шыққан жарық шоғының поляризациялану дәрежесін бағалаңыз.

5.5.5. Поляризациялаушы жүйеге жататын анализатордан шыққан жарық интенсивтігінің ең көп және ең аз мәндеріне сәйкес келетін фототок мәндерін жекелеп өлшеу керек. Осыдан соң (5.3) формула бойынша жарық шоғының поляризациялану дәрежесін есептеу керек. Алынған нәтижені (5.5.4. П) алынған бағалау нәтижесімен салыстырыңыз.

## 5.6. Бақылау сұрақтары

5.6.1. Табиғи жарық пен жазық поляризацияланған жарықтар айырмашылығы неде?

5.6.2. Қума толқын жазық поляризациялана ала ма?

5.6.3. Қосарланып сыну құбылысын қалай түсінесіз?

5.6.4. Кристаллдардың оптикалық осі дегеніміз не?

5.6.5. Неге жарық интенсивтігі электр кернеуі векторының квадратына пропорционал болады?

5.6.6. Малюс заңы қалай тұжырымдалады?

5.6.7. Неге жарық интенсивтігі бұл жұмыста фототок мәнімен бағаланады?

## 5.7. Әдебиет

5.7.1. Ландсберг Г.С. Оптика. -М.: Наука, 1976.

5.7.2. Полатбеков П.П. Оптика. -Алматы: Мектеп, 1981.

5.7.3. Годжаев Н.М. Оптика. -М.: Высшая школа, 1977.

5.7.4. Лабораторные занятия по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина.  
-М.: Наука, 1983

5.7.5. Матвеев А.Н. Оптика. -М.: Высшая школа, 1985.