

5. МАЛЮС ЗАҢЫН ТЕКСЕРУ

5.1. Жұмыстың мақсаты

Фотополяриметр көмегімен поляризацияланған сәуленің интенсивтілігін 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 электрік 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 поляризацияланбаған тербелістер арасынан поляризациялану күйіне сәйкес келетін тербелісті бөліп алуға болады.

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 (поляризацияланған) 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 α мәніне тәуелді болады. Олай болса өткен жарық интенсивтілігінің мәні де α бұрышына тәуелді болады. Осы тәуелділікті көрсететін заң *Малюс заңы* деп аталады.

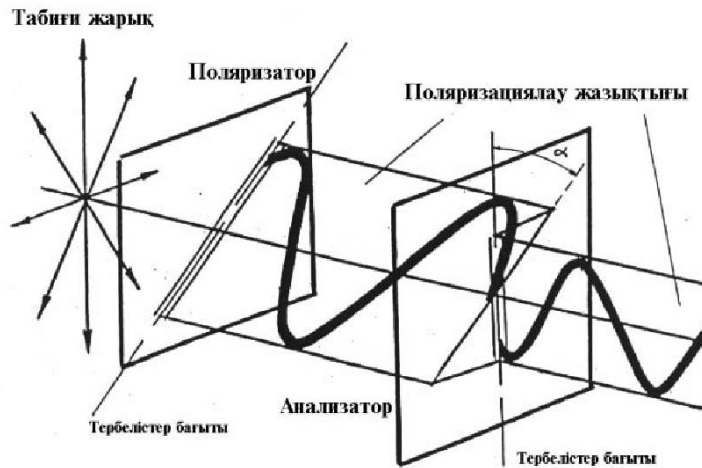
$$J = J_0 \cos^2 \alpha \quad (5.1)$$

Мұндағы J_0 - анализаторға түсетін жарық талқынының интенсивтілігі, J - анализатордан шыққан жарық толқынының интенсивтілігі.

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.



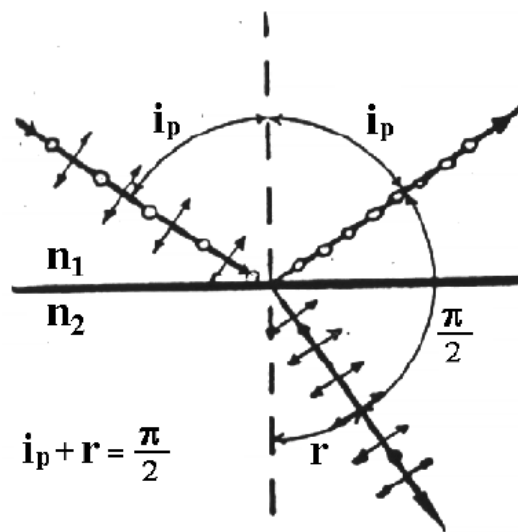
5.1-сурет. Поляризациялық құралдың принциптік схемасы

Бұл жағдайда шағылған сәуле мен сынған сәуле арасындағы бұрыш 90° -қа тең болады, яғни түсу бұрышының тангенсі сол диэлектриктің сыну көрсеткішіне тең болады:

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

(мұндағы $n = n_2/n_1$ - 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).



5.2-сурет. Брюстер заңын түсінуге арналған сурет

Жарықтың сынған сәулесі сәуленің түсу жазықтығында жарым-жартылай поляризацияланған болады. Поляризациялану дәрежесін мынадай қатынаспен анықтайды:

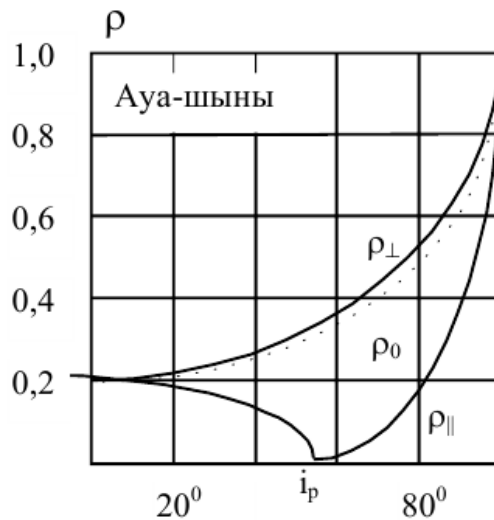
$$\Delta = \frac{J_{\perp} - J_{\parallel}}{J_{\perp} + J_{\parallel}} = \frac{J_{\max} - J_{\min}}{J_{\max} + J_{\min}} \quad (5.3)$$

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



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

Диэлектриктің *шағылдыру қабілеттілігі* - диэлектриктен шағылған жарық ағыны интенсивтілігінің диэлектрикке түскен жарық ағынының ρ интенсивтілігіне қатынасымен 1,0 анықталатын салыстырмалы шама. Диэлектрик бетіне түскен поляризацияланбаған толқынның шағылу қабілеттілігі ρ_0 (5.4) және (5.5) өрнектер арқылы есептелініп анықталады, яғни, поляризацияланбаған толқынды жазық-поляризацияланған \perp және \parallel екі толқынға бөлу арқылы анықтайды. 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 ρ_{\parallel} ең минимум мәні поляризацияланған сәуленің i_p түсу бұрышына, яғни Брюстер шартынан шығатын бұрышқа (5.2 - сурет) сәйкес келетіндігін байқауға 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 кристалдар қатарына жататын денелер: *ромбалық күкірт кристалы, слюда және т.б. Бір осьті кристалдар* қатарына *исландия шпаты, кварц және т.б.* жатады. *Куб жүйелі кристалдарда*, өздерінің изотроптығына байланысты сәулелердің қосарланып сынуы болмайды, мысалы *ас тұзында*.

Бір осьті кристалдардан жарық сәулесі қосарланып сынып өткенде, өткен сәуленің бірі кәдімгі сыну заңы бойынша сынып өтеді, екіншісі сәуленің сыну көрсеткіші оның кристалдан өту бағытына тәуелді болады. Осыған байланысты бірінші сәуле *кәдімгі*, екінші сәуле *ерекше* деген атақ алған. Екі осьті кристалдан өткенде пайда болған сәулелер оптиканың кәдімгі заңына бағынбайды.

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

Бір осьті кристалдардан өткенде пайда болған *кәдімгі* және *ерекше* сәулелердің жарқырауы бірдей болады. Бірақ кейбір кристалдар үшін бұл жағдай орындалмайды, себебі, кейбір кристалдар біреуін көп жұтады (мысалы, турмалин). Осыған ұқсас құбылысты *дихроизм* деп атайды. Дихроилық пленка (поляроидтар) поляризациялаушы құрылымдарда қолданылады. Қосарланып сыну құбылысы негізінде күрделі поляризациялық жүйелерде 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 әл-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 энергияны 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 құрылғы, сызықты поляризацияланған жарық алу және зерттеу үшін турмалин кристалынан тұратын немесе *күкірт қышқыл иод-хининынан* тұратын (геропатит) өте майда кристалдар қондырылған жұқа *целлулоид* пленка қолданылады. Пленкадағы геропатит кристалдарының барлығының оптикалық осьтері бір бағытта бағдарланып орналасқан.

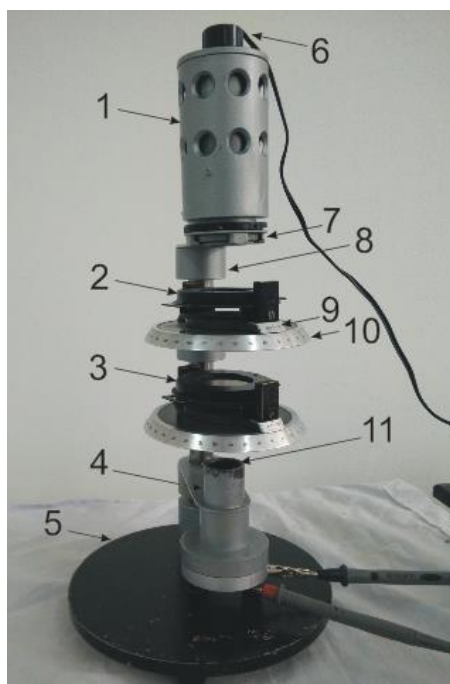
Поляроид пленкаға (геропатит кристалдарына) түскен табиғи жарық қосарланып сынатын болады. Осының салдарынан пленкадағы *кәдімгі* және *ерекше* деп аталатын екі сәуле пайда болады. *Кәдімгі* сәулені поляроид пленкадағы геропатит кристалдары (турмалин) толығымен жұтып алады. Осыған байланысты кристалдан 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 лимбаларының 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 тетікпен 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.

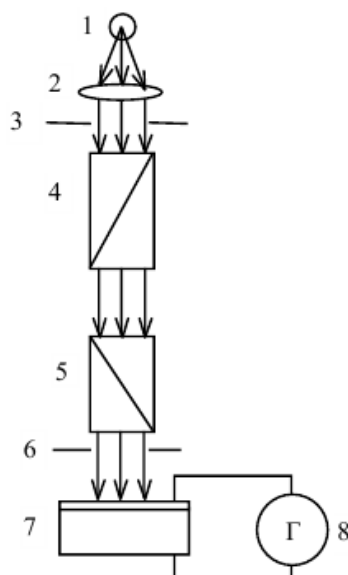


5.4-сурет. “Турмалин” фотополяриметрінің жалпы көрінісі:

1-ОИ-19 жарықтандырушы фонарь, 2-поляризатор, 3-анализатор, 4-сәулелік энергияны қабылдаушы камера, 5-аспаптың негізі, 6-жарықтандырушы лампа патронының негізі, 7-жапырақша (иристік) диафрагманың рычагі, 8-тіреу, 9- 64 дөңгелек нониустар, 10-есеп алынатын лимб шкаласы, 11-фотоэлемент қақпағы-нысана.

Анализатордан шыққан жарық сәулесінің интенсивтілігі селен фотоэлементі арқылы гальванометрге берілген фототок мөлшерімен бағаланады.

Малюс заңын дәлелдеуге пайдаланылатын қондырғыдағы сәулелер жолының принциптік схемасы 5.5-суретте көрсетілген.



5.5-сурет. Фотополяриметрдегі сәулелер жолының принциптік схемасы.

Мұндағы: 1-электрлі нүктелік қыздыру лампы, 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 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 лампына 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 орны. 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 юстировка калау аяқталады.

5.5. Жұмыстың орындалу тәртібі

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

5.5.2. Поляризатор жазықтығы мен анализатор жазықтықтарының араларындағы белгілі әрбір α бұрышқа сәйкес өлшенген жарық шоғының интенсивтіліктерінің нәтижеерінің 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 α бұрышының $10^0, 20^0, 30^0, \dots, 80^0$, мәндеріне сәйкес $J_{10}, J_{20}, J_{30}, \dots, J_{80}$ болады. Бұрыш анализатор лимбасы 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 интенсивтілігінің өндірген фототок мәні (бұл фототоктың ең көп мәніне сәйкес): J_{α} - берілген α бұрышының мәніне сәйкес келетін жарық интенсивтілігінің өндірген фототок мәні және бұл бойынша Малюс заңының орындалуы қарастырылады.

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

5.5.5. Поляризациялаушы жүйеге жататын анализатордан шыққан жарық интенсивтілігінің 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.

Бақылау сұрақтары

1. Табиғи жарық пен жазық поляризацияланған арықтар айырмашылығы неде?
2. Қума толқын жазық поляризациялана ала ма?
3. Қосарланып сыну құбылысын қалай түсінесіз?
4. Кристаллдардың оптикалық осі дегеніміз не?
5. Неге жарық интенсивтілігі электр кернеуі векторының квадратына пропорционал болады?
6. Малюс заңы қалай тұжырымдалады?
7. Неге жарық интенсивтілігі бұл жұмыста фототок мәнімен бағаланады?

Әдебиет

1. Ландсберг Г.С. Оптика. –М.: Наука, 1976.
2. Полатбеков П.П. Оптика. –Алматы: Мектеп, 1981.
3. Жұманов К.Б., Сарсембинов Ш.Ш. Оптика. Алматы: Қазақ университеті, 2007.
4. Савельев И.В. Курс общей физики. изд. “Лань”. 2011.
5. Ахметов Е.А., Сарсембинов Ш.Ш., Ронжин В.В. Көшкімбаева А.Ш. Жалпы физикалық практикум. Оптика. Алматы, 1999.