

## 4. НЬЮТОН САҚИНАЛАРЫ КӨМЕГІМЕН ЖАРЫҚ ТОЛҚЫНЫНЫҢ ҰЗЫНДЫҒЫН АНЫҚТАУ

### 4.1. Жұмыстың мақсаты

Амплитудалардың бөліну принципі бойынша оптикадағы *когеренттілікті* алу жолдарымен танысу (мөлдір жұқа қабаттар, бірдей қалыңдықтағы жолақтар).

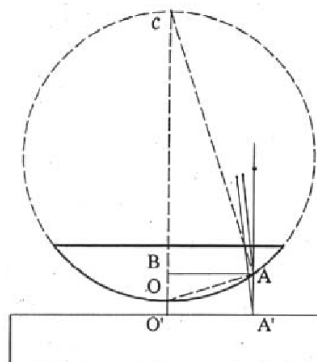
Микроскоппен жұмыс істеуді (кескіннің үлкеюін бағалау, микроскопқа орналастырылған окулярлық микромер шкала бөлігінің құнын анықтау) және оның көмегімен сызықтық өлшемдерді өлшеуді үйрену. Интерференциялық әдіс бойынша жарық фильтрлері өткізетін жарық толқындарының ұзындығын өлшеуді зерттеу.

Осы әдістердің бірін пайдаланып, линзалардың қисықтық радиусын анықтау.

### 4.2. Қысқаша теориялық кіріспе

*Ньютон сақиналары* - бірдей қалыңдықтағы жолақтар деген атақ алған жұқа мөлдір ортада (пленкада) пайда болатын интерференциялық құбылыстардың бірі; яғни жарықтың шағылу және сыну заңдарының негізінде пайда болатын интерференциялық бейне. Ньютон сақиналары бақыланатын қондырғыда бұл бейне когерентті жарық сәулелерінің тербеліс амплитудаларының бөлінуінен пайда болады. Жұқа пластинка бетіне түскен толқын фронтының кішкене ауданын бөліп алып, соны қарастыралық. Бұл ауданға түскен сәуле фронтының энергиясы пластинканың ортамен шекараларында (үстіңгі және астыңғы беттерінде) екі бөлікке бөлінеді, яғни бір бөлігі үстіңгі беттен шағылады және бір бөлігі пластинка ішіне өтеді. Өткен бөлік астыңғы беттен шағылып үстіңгі бетке қайтып оралады. Оралған сәуле үстіңгі беттен шағылған сәулемен кездесетін болады. Кездескен сәуленің бірі үстіңгі беттен шағылған болса, екіншісі пластинканы аралап келген сәуле болады, яғни әр түрлі жол жүрген сәулелер болады және бұлар өзара когерентті сәулелер. Осындай сәулелер кездескенде бұлар бірін-бірі күшейтуі немесе әлсіретуі мүмкін. Сәулелердің бірін-бірі әлсіретуі немесе күшейтуі сәулелердің жүрген жолдарының “оптикалық жол айырымына” байланысты болады.

Ньютон сақиналарын алу жолын қарастыралық. Мөлдір жазық параллель шыны пластинка бетіне жазық-дөңес шыны линза қойылады. Олар бір-бірімен тек  $O$  немесе  $O'$  нүктелерінде ғана бір-біріне тиетін болады. Бұл жағдайды 4.1-суреттен көруге болады. Мұндағы шыны пластинка және линза арнайы жасалған металл құрсаумен шегенделген болады. Осыған қарамастан олардың арасында ауа қабаты болуы мүмкін, бірақ ол ауа қабатының қалыңдығы  $OO'$  жарықтың толқын ұзындығынан ( $\lambda$ ) әлдеқайда кіші болады, яғни  $OO' \ll \lambda$ . Осындай жүйенің (системаның) бетіне тік перпендикуляр бағытта монохромат (бір түсті) жарық шоғын түсірсек линзаның төменгі бетінен ( $O$  және  $A$  нүктелерінен) және төменде орналасқан жазық-параллель пластинканың бетінен ( $O'$  және  $A'$  нүктелерінен) жарық толқындарының шағылғандығы байқалады.



#### 4.1-сурет. Ньютон сақиналарының радиустарын есептеу

Осының нәтижесінде когерентті жарық шоқтарының (сәулелерінің) өзара интерференциялануы байқалады, яғни шағылған жарықтардың интерференцияланғандығынан жолақтардың пайда болғанын көреміз. Ол жолақтардың пішіні концентрлі шеңберге ұқсайды. Шеңбердің ортасында қара дақ пайда болады, мұны интерференциялық (минимум) әлсіреу деп атайды. Мұның себебі, О' нүктесінен шағылғанда жол айырымы ( $\Delta$ ) жарты толқын  $\lambda/2$  ұзындығына тең болады. Оптикалық тығыз ортадан оптикалық тығыздығы аз ортаға шағылғанда толқын жарты толқын ұзындығын жоғалтады және ( $OO' \ll \lambda$ ) О нүктесінің айналасында бірдей қашықтықта жататын нүктелер А жиынтығы шеңбер жасайды. Оптикалық жол айырымы А нүктесіне тән жол айырымы сияқты болатындықтан нүктелердің геометриялық орны шеңбер-сақина тәріздес интерференциялық бейне түзеді. А нүктесіндегі толық оптикалық жол айырымы

$$\Delta = 2\delta_m + \lambda/2 \quad (4.1)$$

теңдеуі арқылы өрнектеледі. Мұндағы  $\delta_m$  - ауа қабатының қалыңдығы,  $\lambda/2$  - тығыздық ортаның А' нүктесінен жарық шағылғандағы толқын фазасының қарама-қарсы өзгеруінің салдарынан пайда болатын қосымша оптикалық жол айырымы. Оптикалық жол айырымы немесе оптикалық жол өзінің мағынасы бойынша геометриялық жолдың сәуле таралатын ортаның сыну көрсеткішіне көбейткенге тең шама, яғни  $\Delta = Ln$ . Мұндағы  $L$ -геометриялық жол ұзындығы,  $n$ -сәуле таралатын ортаның сыну көрсеткіші. Біздің жағдайымызда геометриялық жол ұзындығы оптикалық жол ұзындығына тең болады, себебі біз жұмыс істеп отырған орта - ауа. Ауа қабатының сыну көрсеткіші бірге ( $n_{\text{ауа}}=1$ ) тең болғандықтан ауаның сыну көрсеткіші формулаға енеді.

Оптикалық  $r_m$  жол айырымын геометриялық жүйенің ішіндегі линзаның қисықтық  $R$  радиусымен және интерференциялық сақиналардың  $m$ -ретті санымен байланыстыруға болады. Ол үшін 4.1-суреттегі ОАС үшбұрышын қарастырып, одан  $(AB)^2 = OB \cdot BC$  немесе  $r_m^2 = \delta_m(2R - \delta_m)$  екендігін табамыз және  $\delta_m^2 \ll 2R$ ,  $\delta_m^2 \rightarrow 0$  болғандықтан,  $\delta_m^2$ -шаманы ноольге тең деп аламыз. Олай болса  $\delta_m$ -мына өрнекпен анықталады:

$$\delta_m = r_m^2 / 2R \quad (4.2)$$

$m$ -ретті жарық сақина түзілуі үшін оптикалық жол айырымы  $\Delta$  төмендегіше болуы керек:

$$\Delta = 2m\lambda / 2 \quad (4.3)$$

Осы (4.1), (4.2) және (4.3) өрнектерді пайдаланып, рет саны  $m$  болатын жарық сақинаның радиусын табуға болады, яғни

$$r_m = \left[ (2m - 1)R \frac{\lambda}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.4)$$

Осыған сәйкес рет саны  $m$  болатын қара-қоңыр сақинаның радиусын да анықтауға болады, яғни

$$r_m = (mR\lambda)^{\frac{1}{2}} \quad (4.5)$$

Есептеу нәтижесі сақиналардың рет саны артқан сайын олардың радиустарының айырмашылығы азая түседі, яғни, сақиналардың ені азая береді. Басқа сөзбен айтқанда, сақиналар орталықтан (центрден) қашықтаған сайын жіңішкере түседі, яғни сақиналардың жиілігі арта түседі.

(4.4) және (4.5) өрнектерді пайдаланып отырып, жарық толқын ұзындығын  $\lambda$  (немесе  $R$ ) анықтауға болады. Ескеретін нәрсе: сақиналардың радиусын  $r_m$  тапқаннан

сақиналардың радиустарының айырымын ( $r_m - r_{m-1}$ ) табу дәлірек болады. Себебі, мұнда жеке оптикалық жол айырымын табудың қажеті болмайды, яғни жіберілетін кате азырақ болады.

Есептеу жүргізілетін өрнектер:

$$\lambda = \frac{r_m^2 - r_k^2}{(m-k)R} \quad \text{және} \quad R = \frac{(r_m - r_k)(r_m + r_k)}{(m-k)\lambda} \quad (4.6)$$

немесе

$$\lambda = \frac{(r_m - r_k)(r_m + r_k)}{(m-k)R} \quad \text{және} \quad R = \frac{r_m^2 - r_k^2}{(m-k)\lambda} \quad (4.7)$$

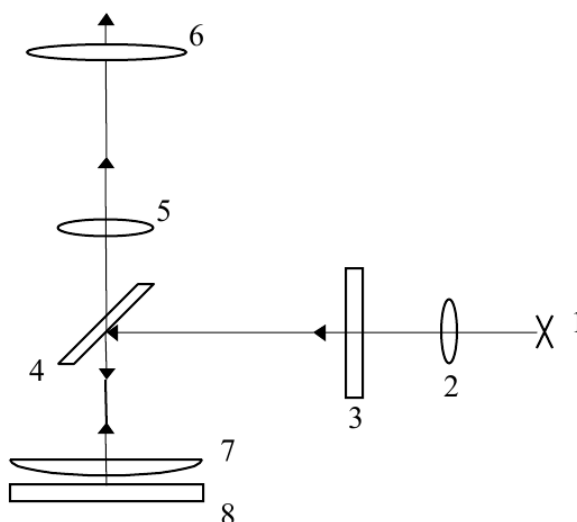
Ньютон сақиналарының өлшемдері (шамалары) өте кішкене болғандықтан, оны көру және өлшеу үшін микроскоп пайдаланылады.

### 4.3. Өлшеулер жүргізілетін қондырғы

Қондырғыдағы сәуле жолдары 4.2-суретте көрсетілген. Мұндағы 1-жарық көзі (8В, 20Вт қыздыру электр лампасы); 2-линза; 3-монохромат жарық фильтрі; 4-микроскоптың оптикалық осіне  $45^\circ$  бұрыш жасайтын етіліп, оның объективінің құрсауына желімделген жазық-параллель шыны пластинка (микроскоп объективінің фокус аралығы 25-30 мм); 6-окулярлық микрометр; 7- жазық-дөңес линза; 8-шыны пластинка.

Бұл схеманы үш негізгі бөліктен тұрады деп қарауға болады: жарықтандырғыш (элементтері 1, 2, 3), микроскоп (элементтері 5, 6) және өлшеуге керекті объект (элементтері 7,8) шеті құрсауланған жазық-дөңес линза жазық шыны пластинка бетіне орналастырылған.

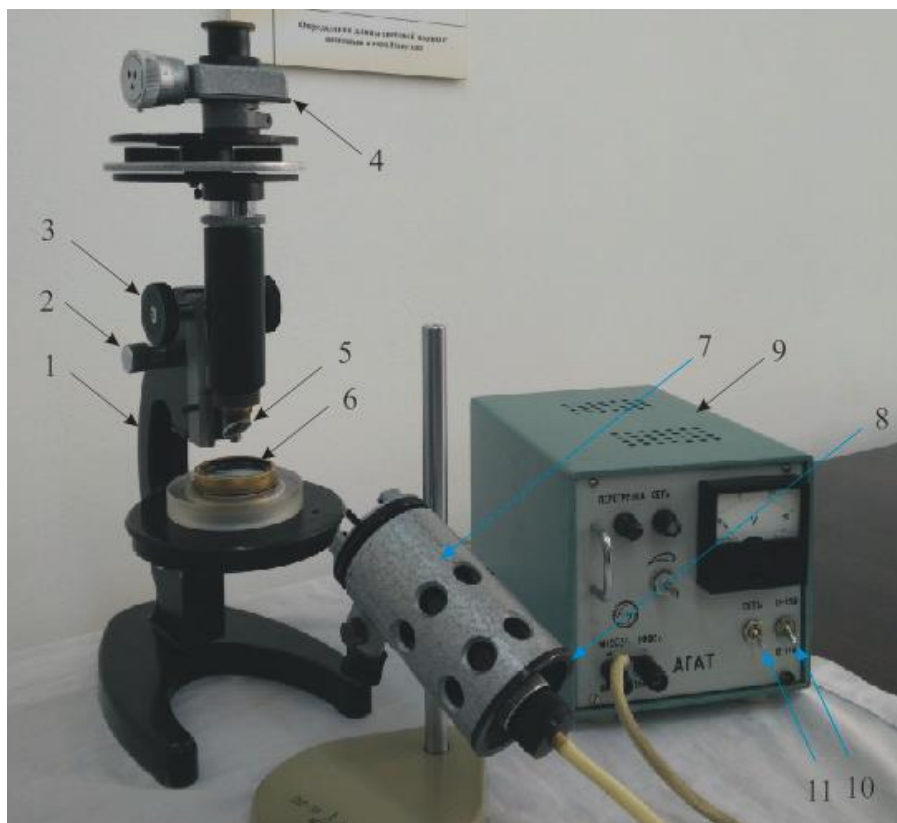
*Жазық параллель пластинканың* (4) қызметі: жарық көзінен шыққан монохромат параллель жарық шоғын өлшеуге тиісті жүйеге бағыттап отырады. Ол жүйеден шағылып когерентті жарық шоқтары өзара интерференцияланады. Интерференция нәтижесін микроскоп арқылы қарап, сақиналардың радиусын өлшей аламыз. Өлшеу нәтижелерін окулярлық микрометр шкаласынан алатын боламыз.



4.2-сурет. Қондырғыдағы сәулелер жолының принциптік схемасы

Бұл жұмыста қолданылатын өлшеуіш құралдардың жалпы түрі 4.3-суретте көрсетілген. Бұл суреттегі негізгі бөліктер: 1 - МБУ-4 микроскоптың тубусын ұстап тұрушы тұғыр; 2 және 3 -микроскоп тубусын дәл және дөрекілеу етіп фокустаушы кремальерлер; 4 - окулярлық микрометр МОВ-1-15\*; 5 - құрсауына жазық-параллель пластинка бекітілген ұзын фокусты арнайы жасалған объектив; 6 - өлшеуіш құрылым (

жазық-дөңес линзадан және жазық параллель шыны пластинкадан тұратын жүйе); 7 - жарық беруші ОИ-19 фонарь; 8 - жарықтандырғыш лампасын ұстап тұратын патронның негізі; 9 - кернеуді төмендетуші немесе жоғарылатушы трансформатор; 10 - кернеуді сәйкестендіретін реостаттың қозғаушысы; 11 - жарық көзін қосушы немесе ажыратушы кілт-тумблер.



4.3-сурет. Ньютон сақинасын бақылайтын қондырғының жалпы көрінісі

#### 4.4. Қондырғыны өлшеу жүргізуге дайындау

Жарық беруші жүйеден параллель немесе параллель болуға жақын жарық шоғын алу қарастырылады. Фонарьдан шыққан жарық параллель екендігін, ол жарықты ақ қағазқа бағыттап көруге болады. Жарық шоғының конфигурациясы арқылы параллель немесе параллель емес екендігін байқауға болады. Жарық шоғы параллель болмаған жағдайда аны параллель ету жарық беруші лампаны 8 ұстап тұрушы патронның негізінің көмегімен орындалады, яғни фонарьдың оптикалық осі бойымен, патрон негізінің көмегімен, лампаны ілгері немесе кейін қозғау керек.

Жарық беруші жүйеден түскен жарықты микроскоп объективінің құрсауына бекітілген 4 жазық-параллель пластинкаға бағыттайды. Микроскоптың зерттелетін дене қойылатын орындықшасына кішкене нүкте қойылған ақ қағаз қойылады. Микроскоптың окуляры арқылы ақ қағаз бетіндегі нүктеге микроскопты фокустайды, яғни, нүкте микроскоптың оптикалық осінде жататындығын қарастырады. Фонарьдың орналасу биіктігін және оның көлбеу (қиғаш) орналасуын өзгерте отырып, нүктеден шағылған жарықтың (бейненің) микроскоптың оптикалық осіне қатысты симметриялы орналасуын іске асыру керек.

Осындай дайындық кез келген денені микроскоп арқылы зерттеуге мүмкіндік береді. Жұмыс орындау кесінде лампаның өте жарық болуы көзге зиянын тигізетіндігін еске сақтау қажет.

#### 4.5. Жұмыстың орындалу тәртібі

Лабораториялық жұмыс бойынша өлшеуіш қондырғыдағы линзаның қисықтық  $R$  радиусын өлшеу және жарық фильтрлері (жасыл, көк және қызыл) арқылы өтетін жарық толқындарының ұзындықтарын анықтау керек.

Жұмыстың мақсатына сәйкес мына тапсырмаларды орындау ұсынылады.

4.5.1. Микроскоп объективінің *сызықтық үлкейту* шамасын ( $\gamma$ ) анықтау. Өйткені, мұны білмей сақиналардың радиустарын анықтау мүмкін емес, себебі өлшеу жүргізуде пайдаланылатын окулярдағы микрометр шкаласының бір бөлігінің құнын білмей болмайды (микроскоп объективі микрометрдің өлшеу жазықтығына Ньютон сақиналарының бейнесін үлкейтіп түсіреді).

Микроскоп объективінің үлкейтуін анықтау үшін, микроскоптың орындықшасына объективті микрометр орналастырылады, яғни бөлігінің құны белгілі ( $l$ ) өте жиі параллель сызықтары бар шкаладан тұратын мөлдір стандарт пластинка орналастырылады. Осы объективті микрометрді микроскоптың окуляры арқылы бақылап, микроскоп арқылы окулярлық микрометр шкаласы мен объективтік микрометрдің кескіні дәл көрінуі тиіс. Осы жағдайға қол жеткеннен кейін МОВ-1-15\* көмегімен объективтік микрометрдің бөліктерінің ара қашықтығын  $p$  өлшейік,  $q$  мәні табылады. Осыдан іздеген микроскоп объективінің сызықтық үлкейтуі төмендегі катынастан анықталады:

$$\gamma = \frac{q}{pL} \quad (4.8)$$

4.5.2. Өлшенуге тиісті объектіні беруші жүйе линзасының *қисықтық радиусын*  $R$  анықтау. Жарық беруші қондырғыға толқын ұзындығы  $\lambda=650$  нм қызыл жарықтың фильтрін орналастырады. Өлшеуге керекті қондырғыны микроскоптың орындықшасына орналастырады. Микроскопты фокустау жолымен Ньютон сақиналарының нақты көрінуіне қол жеткіземіз. Сақиналар көру өрісінің ортасына орналасуы тиіс. Сақиналардың көріну дәлдігі жарық беруші фонарьдің көлбеу орналасуына да байланысты болады. Интерференциялық сақиналардың шетін әкелген өлшеуіш құрал микроскоп МОВ-1-15\* окулярының айқасқан сызықтары интерференциялық сақиналарға жанама болып орналасатын болады. Егер интерференциялық бейнелердің ортасы жарық болса, онда линза мен пластинка арасына ұсақ шаң немесе тозаң түскендігін білдіреді. Бұл шаңды немесе тозанды арнайы тазартқыштарды пайдаланып тазарту керек. Олар сақиналардың центрге жақын жатқандарының шетін бұлдыратып анық көруге зиянын тигізеді. Сондықтан окулярлық микрометрдің көмегімен орталықтан қашық орналасқан сақиналардың (бес сақинаның) радиусын өлшеу керек. Екіншіден сақиналардың өзара перпендикуляр бағытта орналасқан диаметрлерін өлшеу керек, осы нәтижелердің орта мәнін табу керек.

Линзаның қисықтық радиусын ( $R$ ) анықтауда оның дәлдігін арттыру үшін пайдаланылатын (4.7) формуласындағы  $m$  және  $k$ -нің әртүрлі мәндерін алу қажет.

Әрине, сақиналардың радиустарының шын мәнін анықтау үшін микроскоп объективінің үлкейтуін  $\gamma$  немесе окулярлық микрометр бөлігінің құнын  $l_0$  есепке алып ескерген абзал.

4.5.3. Жасыл және көк түсті жарық фильтрлері өткізген толқындардың ұзындықтарын анықтау. Өлшеу жүргізу жоғарыда айтылған тәртіп бойынша жүргізіледі: айырмашылығы тек алдымен жасыл жарыққа өлшеу жүргізу қажет те, онан соң көк жарыққа өлшеу жүргізуге көшу керек.

Өлшеу нәтижелерін график салу тәсілімен өңдеу ұсынылады. График тұрғызғанда ордината осінің бойына сақиналардың диаметрлерінің квадратын, ал абсцисса осінің бойына сақиналардың рет санын орналастыру керек. Анықтауға тиісті жарықтың толқын ұзындығы ( $\lambda$ ) графиктегі түзудің абсцисса осіне көлбеу бұрышының тангенсіне тең болады, яғни

$$tg\psi = \frac{d_m^2 - d_k^2}{m - k} = 4\lambda R \quad (4.9)$$

Бұл (4.9) формула жоғарыда келтірілген (4.6) формуланың өзгерген түрі екендігін оңай түсінуге болады.

4.5.4. Линзаның қисықтық радиусын өлшеудегі және толқындардың ұзындықтарын анықтаудағы дәлдікті бағалаңыз.

### **Бақылау сұрақтары**

1. Интерференция құбылысының мағынасы неде?

2. Егер, жарық көзінің беретін жарығы ақ болса (монохромат емес) интерференцияланудан пайда болған бейне қандай түрде болады?

3. Ньютон сақинасын зерттейтін қондырғыдағы линзаның сыну көрсеткіші -  $n_1$ , линза мен жазық-параллель шыны пластинка аралығындағы ортаның сыну көрсеткіші -  $n_2$ , жазық пластинканың сыну көрсеткіші -  $n_3$ .

Төмендегі келтірілген шарттар:

а)  $n_1 > n_2 > n_3$ ;

б)  $n_1 < n_2 < n_3$ ;

в)  $n_1 < n_2 > n_3$ ;

орындалған жағдайда сақиналар (бейнелер) центрінде не бақыланады?

4. Егер бақылау өткінші жарықта жүргізілсе, зерттеуші интерференциялық бейненің центрінде нені көреді? Алдыңғы сұрақты қараңыз.

5. Объектіні өлшеуге арналған қондырғыдағы линзаның радиус қисықтығы неге өте үлкен болуы тиіс?

6. Жарық және қар-қоңыр сақиналардың пайда болуын түсіндіріңіз. Сонымен қатар сақиналардың орналасып таралу жиілігін түсіндіріңіз.

7. Қондырғыдағы мироскоптың өзін юстировкалау неден басталады?

### **Әдебиет**

1. Полатбеков П.П. Оптика. –Алматы: Мектеп, 1981.

2. Жұманов К.Б., Сарсембинов Ш.Ш. Оптика. Алматы: Қазақ университеті, 2007.

3. Савельев И.В. Курс общей физики. изд. “Лань”. 2011.

4. Ахметов Е.А., Сарсембинов Ш.Ш., Ронжин В.В. Көшкімбаева А.Ш. Жалпы физикалық практикум. Оптика. Алматы, 1999.