

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу
университеті

Жалпы редакциясын басқарған
физ.-мат.ғыл.канд., доц. А. Ш. Иркегулов

С. С. Мұсатай., М. А. Түкібаева, Қ. С. Астемесова

КОГЕРЕНТТІК ОПТИКА

(5В072300 «Техникалық физика»
мамандығының 2 курс студенттері үшін)

Физикалық практикум

II бөлім

Алматы 2016

ӘОЖ 535 (075.8)

М 85

Пікір жазғандар:

М. Ш. Қарсыбаев, физика каф. меңг., физ.-мат. ғыл. канд., проф.,
АЭЖБУ

Қалкөзова Ж. К., физ.-мат. ғыл. канд., доц., әл-Фараби атындағы
ҚазҰУ

Утеулина К. А., физ.-мат. ғыл. канд., доц., Қ. И. Сәтбаев атындағы
ҚазҰТЗУ

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің 2016 жылғы басылым жоспары бойынша басылды.

Мұсатай С. С.

М 85 Когеренттік оптика: Физикалық практикум. II бөлім (5В072300 «Техникалық физика» мамандығының 2 курс студенттері үшін) / *С. С. Мұсатай, М. А. Түкібаева, Қ. С. Астемесова* / Жалпы редакциясын басқарған ф.-м.ғ.к., доц. А. Ш. Иркегулов. – Алматы: Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, 2016. – 111 б. Сурет 60. Кесте 19. Әдебиеттер атауы – 8 атау.

ISBN 978-601-323-016-0

2 – бөлім.-2016.-111 б.

ISBN 978-601-323-018-4

Оқу құралы ҚР БЖҒМ бекітілген Типтік оқу бағдарламасына және мамандықтың МЖБС талаптарына, сондай-ақ, зертханалық сабақты ұйымдастырудың және өткізудің психологиялық-педагогикалық негіздеріне сай жазылған.

Оқу құралында берілген зертханалық жұмыстардағы құралдар мен әдістер, сондай-ақ, өлшеу нәтижелерін өлшеу және есептеу түрлері, студенттердің орындалатын зертханалық жұмыстардың теориялық негіздерін меңгеруі барысында ойлау қабілетінің белсенділігін арттыруға, тәжірибелік біліктілік пен дағдыға ие болуына әсерін тигізіп, жұмыстың мақсатына жетуіне алып келеді.

Физикалық практикум техникалық мамандықтардың студенттеріне арналған. Оған жалпы және теориялық физика кафедрасында орындалатын 14 зертханалық жұмыстың сипаттамасы кіреді.

ӘОЖ 535 (075.8)

ISBN 978-601-323-018-4 (2–бөлім)

ISBN 978-601-323-016-0

© Мұсатай С. С., Түкібаева М. А.,
Астемесова Қ. С., 2016

© ҚазҰТЗУ, 2016

КІРІСПЕ

Физикалық практикумда толқындық оптика негізгі бөлімдері бойынша 14 зертханалық жұмыстарды орындауға жетекшіліктер берілген.

Оқу құралының басты мақсаты – әртүрлі оптикалық құбылыстарды эксперименталды зерттеудің негізінде студенттер бағамының негізгі мәселелерін үйрене білу. Студенттер оптикалық құралдар мен нысандарды зерттейді және қазіргі физикалық жабдықпен үндеуде дағдыланады.

Әр зертханалық жұмыстың жетекшіліктерінде жұмыстың мақсаты, теориялық кіріспе, жұмыстың орындалу әдістемесі, экспериментал қондырғының нұсқауы, жұмыстарды орындау реті, сонымен бірге эксперименталды өлшеулердің өңдеу әдістерін нұсқаулары, өздік білімдерін тексеру үшін бақылау сұрақтар берілген.

Есептеу формулаларының қорытындысы және есептеулер мен өлшеулер нәтижелерін ресімдеу берілген.

Зертханалық жұмыстардың нұсқаулары зерттейтін құбылыстар туралы толық мағлұмат бермейді, сондықтан оқу құралының соңында берілген әдебиетті пайдалану керек.

Зертханалық жұмысты орындау үшін даярлығының алдында студент түсінуі керек:

- жұмысты орындау үшін жұмысты және түбегейлі сұлбасын;
- кестелерді, есептеу формуларын және қателіктерді есептеу формуларын;
- жұмысты орындау ретін.

Қондырғымен немесе жеке бөлшектермен жұмыс істеуде қауіпсіздік техникасы ережесін сақтау керек.

Өлшеу процестер өткенде нұсқауларда көрсетілген нәтижелерді кестелерге жазады. Графикалық құрастырулар жұмысты орындау процесінде жүргізіледі.

«Когерентті оптика» әмбебап қондырғы негізгі оптикалық құбылыстарды бақылауды және зерттеуді, негізгі оптикалық

зандарды эксперименталды зерттеуді, оптикалық құралдарды құрастырудың принциптерін зерттеуді жүргізуге ерік береді.

«Когерентті оптика» қондырғыда тез, сенімді толқындық және геометриялық оптика экспериментерін және әрі экспериментте терең және жан-жақты зерттеулерді орындауға болады.

Қондырғы лабораториялық сабақтарды өткізу кезінде семинарлық және зертханалық сабақтарды, тақырыптық сабақтарды, проблемаларды және жеке оқыту технологиясын қолдануға ерік беріледі.

Зерттелетін құбылыстардың логикалық мирасқорлығын қондырғыда экспериментерді біртіндеп орындаумен қамтамасыз етеді.

11 оптикалық құрылғыларды (модульдер) және 37 зерттелетін оптикалық объектілерді (линзалар, шыны сыналар, призмалар, жазықпараллель шыны пластиналар, бипризма) зерттеу үшін әртүрлі үйлесуімен пайдалануға болады.

Қондырғыда интерференция құбылысының әртүрлі бақылау әдістерін зерттеу үшін, лазер сәуле шығарудың дифракциясын, физикалық объектілерді зерттеу әр түрлі оптикалық құбылыстар көмегімен (бір ғана шыны пластинада жарықтың поляризациясын, интерференция, сыну, шағылыстың құбылыстарын зерттеу), 60 шақты тәжірибелерде орындауға болады.

№ 8 ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС ФРЕНЕЛЬДІҢ БИПРИЗМАСЫ ОРНАТЫЛҒАН ҚОНДЫРҒЫДА ЛАЗЕР СӘУЛЕСІНІҢ ИНТЕРФЕРЕНЦИЯСЫН ЗЕРТТЕУ

КІРІСПЕ

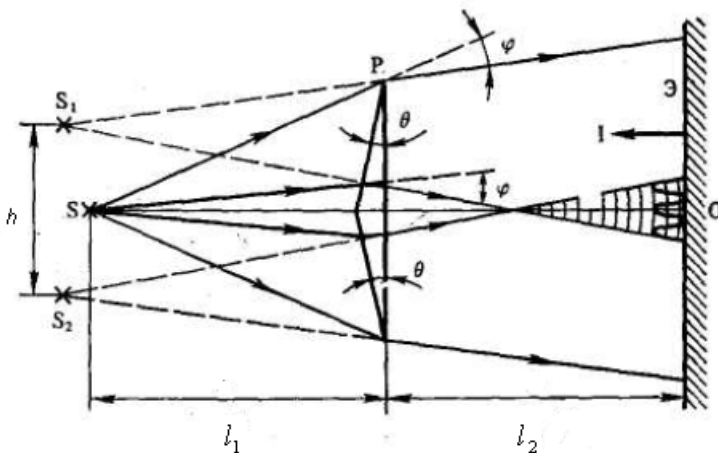
Жұмыстың мақсаты: Френель бипризмасымен жасалатын тәжірибеде интерференциялық жолақтар енін және жалған жарық көздері арасындағы арақашықтықты анықтау.

Бипризманың сындыру бұрышын, интерференциялық жолақтардың жалпы санын және лазер сәулесінің толқын ұзындығын анықтау.

8.1. Теориялық кіріспе

Френельдің бипризмасы – сындыру бұрыштары θ өте аз, табандары арқылы біріккен екі призмадан тұрады.

Бипризманың көмегімен алынған интерференциялық көріністі бақылау сұлбасы 8.1-суретте көрсетілген.



8.1-сурет. Френель бипризмасы көмегімен интерференциялық көріністі бақылаудың оптикалық сұлбасы

С жарық көзінен (саңылау) шыққан сәулелер бипризманың (БП) екі жартысына да түсіп сынады да, призмадан кейін S_1 және S_2 екі жалған жарық көздерінен шыққандай болып таралады.

Шындығында да, егер бипризманың жоғарғы жартысынан қарасақ, жарқыраған саңылау S_1 нүктесінде орналасқандай көрінеді, ал егер бипризманың төменгі жартысынан қарасақ, ол S_2 нүктесінде орналасқандай көрінеді.

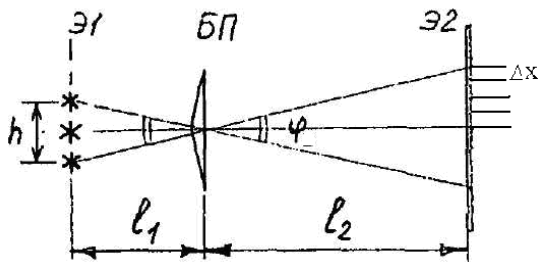
Бипризмадан кейін оның жоғарғы және төменгі жақ беттерінен сынған жарық толқындары қабаттасатын кеңістік аумағы бар (8.1-суретте бұл аумақ штрихталған).

Бұл кезде алынған интерференциялық көрініс S_1 және S_2 нүктелерінде орналасқан екі когерентті жарық көздерінен шыққан толқындардың интерференциясына сәйкес келеді.

Штрихталған аумақты қиып өтетін Э экранда бипризманың қабырғасына параллель жарық және қараңғы жолақтарды бақылауға болады.

S_1 және S_2 жарық көздерінен шыққан толқындардың жол айырымы толқын ұзындықтарының бүтін санына тең болса, жарық жолақтар байқалады, ал жарты толқын ұзындықтарының тақ санына тең жол айырымын жүрсе, онда экранда қараңғы жолақтар байқалады.

Айталық, жарық шоғы бипризмаға түссін делік, онда бипризмадан өткен сәулелер бір-бірінен φ бұрышына ауытқиды.



8.2-сурет. Френель бипризмасындағы сәулелердің жолының сұлбасы

Егер жарық S нүктелік көзден шығып бипризмаға түссе, онда бипризмадан кейін h арақашықтықтағы екі жалған S_1 және S_2 жарық көздерінен шыққан жарық шоқтарын аламыз.

Егер бипризмадан кейін Э2 экранын қойсақ (8.2-сурет), онда кезектесіп орналасқан қараңғы және жарық жолақтардан тұратын интерференциялық көріністі бақылаймыз.

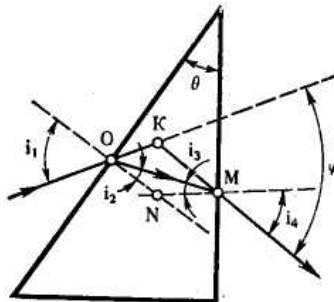
Көршілес қараңғы (немесе жарық) жолақтардың арасындағы Δx арақашықтығы, яғни жолақ ені төмендегі өрнекпен анықталады:

$$\Delta x = \frac{(\ell_1 + \ell_2)}{h} \lambda, \quad (8.1)$$

мұндағы ℓ_1 және ℓ_2 – сәйкесінше Э1 экраннан бипризмаға дейінгі және бипризмадан Э2 экранға дейінгі арақашықтықтар; h – жалған жарық көздері арасындағы арақашықтық. (8.1) өрнектің қорытылып шығарылуы төменде келтіріледі.

Шындығында S_1 және S_2 жалған жарық көздері S шын жарық көзімен бір жазықтықта жатқан жоқ, бірақ сындырушы бұрыш θ өте аз болғандықтан (8.1-сурет) олардың бипризманың SO осіне қатысты ығысуын ℓ_1 және ℓ_2 арақашықтықтарымен салыстырғанда ескермеуге болады.

Жалған жарық көздері арасындағы h арақашықтықты анықтау үшін бипризманың бір жартысынан өткен толқынның жолын қарастырайық (8.3-сурет).



8.3-сурет. Шыны призмадағы сәулелердің жолы

О нүктесі үшін Снеллиус заңын жазсақ $n = \frac{\sin i_1}{\sin i_2}$, мұндағы n – призманың материалының (шынының) сыну көрсеткіші, i_1 және i_2 – толқынның түсу және сыну бұрыштары.

Бұрыштардың өте кіші болуына байланысты $\frac{i_1}{i_2} \cong n$ деп жазуға болады.

Осыған ұқсас **М** нүктесі үшін келесі түрде жазамыз: $\frac{i_4}{i_3} \cong n$.

8.3-суреттен көрініп тұрғандай, толқынның бипризманың жартысынан ауытқу бұрышы φ мынаған тең болады:

$$\varphi = (i_1 - i_2) + (i_4 - i_3). \quad (8.2)$$

ОКМ және ONM үшбұрыштарын қарастыра отырып төмендегі қатынастардың орындалатынын көрсетуге болады:

$$i_3 = \theta - i_2 = \theta - \left(\frac{i_1}{n} \right); \quad i_4 = n i_3 = \theta n - i_1. \quad (8.3)$$

(8.3)-ші қатынасты (8.2)-ші формулаға қойып толқынның бипризманың жартысынан ауытқу бұрышының мәнін келесі түрде жазамыз

$$\varphi = i_2 n - i_2 + \theta n - i_1 - \theta + i_2 = i_2 n + \theta n - i_2 n - \theta = \theta(n - 1). \quad (8.4)$$

S жарық көзінен шыққан барлық толқындар үшін φ бұрышын бірдей деп қабылдаймыз, сондықтан 8.1-суреттен көрініп тұрғандай h арақашықтығы үшін келесі өрнекті аламыз:

$$\frac{h}{2} = l_1 \operatorname{tg} \varphi \cong l_1 \theta (n - 1). \quad (8.5)$$

Осы қатынасты ескере отырып, интерференциялық жолақтар ені үшін (8.1)-ші өрнекті мына түрде жазамыз

$$\Delta x = \frac{(l_1 + l_2)}{2 l_1 \theta (n - 1)} \lambda = \frac{l}{h} \lambda, \quad (8.6)$$

$$l = l_1 + l_2 .$$

(8.6)-шы формуладан лазер сәулесінің толқын ұзындығы

$$\lambda = \frac{\Delta x}{l} h . \quad (8.7)$$

Интерференциялық зоналар ені (бипризмадан өткен жарық шоқтарының қабаттасу аумағы):

$$H = l_2 \varphi = \frac{l_2}{2l_1} h . \quad (8.8)$$

Интерференциялық зонадағы жолақтар саны

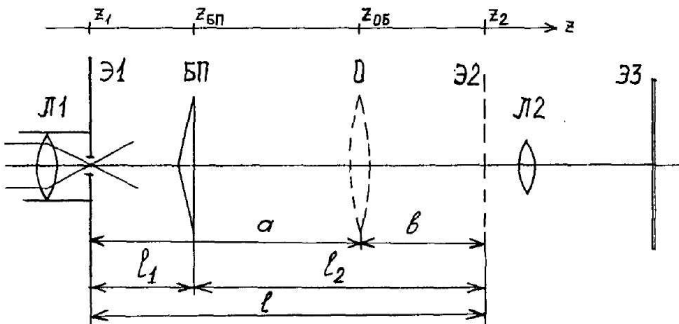
$$N = \frac{H}{\Delta x} = \frac{h^2 l_2}{2l_1 \lambda (l_1 + l_2)} . \quad (8.9)$$

8.2. Тәжірибе қондырғысы

Тәжірибе қондырғысының сұлбасы 8.4-суретте келтірілген.

Оптикалық орындықта сәуле шоғын қалыптастыратын құрал, Э1 жазықтығында зерттелетін нысан – Френельдің бипризмасы, зерттелетін интерференциялық көрініс орналасатын Э2 жазықтығы тізбектей орналасқан.

Бақылау және өлшеу үшін бұл көрініс микропроектордың Л2 линзасы көмегімен Э3 экранға үлкейтіліп түсіріледі.



8.4-сурет. Френельдің бипризмасы көмегімен интерференциялық көріністі бақылаудың оптикалық сұлбасы

Жарықтың таралу бағытындағы нысандар арасындағы арақашықтық оптикалық орындықтың сызғышындағы z координатасының айырымы түрінде анықталады.

Нысанның негізгі өлшемдері: интерференциялық жолақ ені, жарық көздері арасындағы қашықтық, интерференциялық зона ені және Э1 мен Э2 жазықтықтарындағы интенсивтіктердің таралуы осы жазықтықтардағы x немесе y координаттарының айырымы түрінде анықталады.

Интенсивтіктің таралуы микропроектор көмегімен өлшенеді. Э3 экранының миллиметрлік шкаласымен өлшеу кезінде микропроектордың ұлғайтуын білу керек ($\beta = 20$).

Л1 (05-модуль) кіріс линза «нүктелік жарық көзін» қалыптастырады, коскоординатты ұстағышқа (8-модуль) орнатылған БП бипризма (11-нысан), микропроектордың (3-модуль) Л2 линзасының Э2 нысандық жазықтығында интерференциялық көрініс береді.

Көрініс үлкейтілген түрде фотоқабылдағыштың Э3 экранында байқалады.

Бипризма мен микропроектор арасына О объективті орналастыру арқылы (6-модуль), Э1 жазықтығында бипризмадан қалыптасқан екі жалған жарық көзінің кескінің Э2 нысандық жазықтығында алуға болатын объективтің бір немесе екі орнын анықтауға болады.

Интерференциялық көрініс өлшеуге ыңғайлы орналасқан жағдай үшін бипризманың орнын таңдап алыңыз.

Өлшеу барысында экрандағы кескінді ұстағыштардың реттейтін винті көмегімен жылжытуға болады.

Өлшеу жүргізер алдында интерференциялық жолақтар ені Δx пен жарық көздері арасындағы h қашықтықтың l_1 мен l_2 қашықтықтарымен қандай тәуелділікте тұрғанына назар аударыңыз.

Өлшеуге ыңғайлы шамаларды таңдап алыңыз.

8.3. Тәжірибенің орындалу реті және өлшеу нәтижелерін өңдеу

1-жаттығу. Интерференциялық жолақтың енін өлшеу

1. Оптикалық орындыққа модульдерді келесі ретпен орналастырыңыз: 05, 08, 06, 03.

2. 03-модульді 05-модульден 670 мм қашықтықта орналастырыңыз.

3. 11-нысанды 08-модульге орнатыңыз.

4. 06-модульді 08- және 03-модульдердің арасына орналастырыңыз.

5. Фототіркегіш экранында айқын интерференциялық көрініс алынатындай жағдайдағы 11-нысанның орнын анықтау керек (8.5-сурет).

Ол үшін өлшеуге ыңғайлы Z_1 , $Z_{БП}$, $Z_{ОБ}$ шамаларын таңдап алу керек, мұндағы:

Z_1 – 05-модульге сәйкес белгі (риск) орны;

$Z_{БП}$ – биризмаға (11-нысан) сәйкес белгі (риск) орны;

$Z_{ОБ}$ – 06-модульге сәйкес белгі (риск) орны;

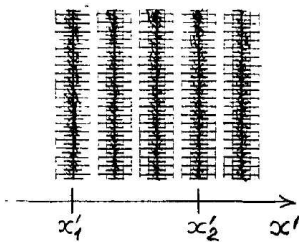
$Z_2 = 670$ мм – 03-модульге сәйкес белгі (риск) орны.

6. Z_1 , $Z_{БП}$, $Z_{ОБ}$ (8.4-сурет) арақашықтықтарын өлшеп, нәтижесін 8.1-кестеге енгізіңіз.

7. $\ell = z_2 - z_1$ формуласы бойынша ℓ қашықтықты анықтаңыз.

8. ЭЗ фототіркегіш экранындағы бірнеше жолақтарға бөлінген, таңдалып алынған x'_1 , x'_2 минимумдардың (8.5-сурет) координаттарын өлшеңіз және өлшеу нәтижелерін 8.1-кестеге енгізіңіз. Өлшеуді үш рет жүргізіңіз.

9. Таңдалып алынған минимумдардың координаттары арасында жатқан қараңғы жолақтардың N жалпы санын санаңыз және өлшеу нәтижесін 8.1-кестеге енгізіңіз.



8.5-сурет. Интерференциялық жолақтардың санын есептеу

10. Δx жолақ енін

$$\Delta x = \frac{(x'_2 - x'_1)}{N\beta}$$
 формуласы

бойынша есептеңіз, мұндағы Δx – бірнеше жолақтарға бөлінген минимумдардың координаттар айырымы;

N – қараңғы жолақ саны;

$\beta = 20$ – микропроектордың ұлғайту коэффициенті.

Өлшеу және есептеу нәтижелерін 8.1-кестеге енгізіңіз.

8.1-кесте

Интерференциялық жолақтардың енін өлшеу

	Z_1 , мм	$Z_{БП}$, мм	Z_2 , мм	$Z_{ОБ}$, мм	$l=(Z_2-Z_1)$, мм	X_1' , мм	X_2' , мм	N	Δx , мм
									$\langle \Delta X \rangle$

2-жаттығу. Жарық көздері арасындағы қашықтықты өлшеу

1. 06-модульдің риск (белгі) орнын $Z_{ОБ}$, a және b арақашықтықтарын өлшеңіз, мұндағы a – 11-нысаннан 06-модульге дейінгі қашықтық, b – 08-модульден 03-модульге дейінгі қашықтық (8.4-сурет).

Өлшеу нәтижелерін 8.2-кестеге енгізіңіз.

2. $\beta_1 = \frac{b}{a}$ формуласы бойынша объективтің ұлғайту коэффициентін есептеңіз, есептеу нәтижесін 8.2-кестеге енгізіңіз.

3. Жалған жарық көздері арасындағы h арақашықтықты өлшеу үшін объективтің (06-модуль) орнын таңдап алып, фотокабылдағыштың экранында жарық көздерінің кескінін алыңыз.

4. Жарық көздерінің кескіндері арасындағы h_2 арақашықтықты өлшеңіз, ол үшін Э₃ экранындағы $X_{1шын}$, $X_{2шын}$ орындарын өлшеп алыңыз (өлшеуді үш рет жүргізіңіз), өлшеу нәтижелерін 8.2-кестеге енгізіңіз.

5. h_2 -нің мәнін $h_2 = \frac{(X_{2шын} - X_{1шын})}{\beta}$ формуласымен

анықтаңыз, нәтижесін 8.2-кестеге енгізіңіз.

6. Жалған жарық көздері арасындағы қашықтық h -ты: $h = \frac{h_2}{\beta_1}$ формуласымен анықтаңыз, нәтижені 8.2-кестеге енгізіңіз.

7. $\langle h \rangle$ -тың орташа мәнін есептеп, нәтижені 8.2-кестеге енгізіңіз.

8.2-кесте

Жалған жарық көздері арасындағы
қашықтықты өлшеу

№	Z _{об} , мм	a, мм	b, мм	β_1	X _{1,шын}	X _{2,шын}	h ₂ , мм	h, мм	$\langle h \rangle$, мм
1									
2									
3									

3-жаттығу. Лазер сәулесінің толқын ұзындығын анықтау

1. Лазер сәулесінің толқын ұзындығын (8.7)-шы формуламен есептеңіз: $\lambda = \frac{\Delta x \cdot h}{1}$;

Δx – жолақ енінің мәнін және l – қашықтығын 8.1-кестеден алыңыз, жалған жарық көздері арасындағы h – қашықтықты 8.2-кестеден алыңыз.

Шыққан нәтижені 8.3-кестеге енгізіңіз (қондырғының паспортында көрсетілген толқын ұзындықпен салыстырыңыз $\lambda = 632,8$ нм).

2. Өлшеудің абсолют және салыстырмалы қателіктерін есептеңіз.

3. Есептеу нәтижелерін 8.3-кестеге енгізіңіз.

8.3-кесте

Лазер сәулесінің толқын ұзындығын анықтау

№	λ , нм	$\langle \lambda \rangle$, нм	$\Delta \lambda$, нм	$\langle \Delta \lambda \rangle$, нм	$\varepsilon = \frac{\langle \Delta \lambda \rangle}{\langle \lambda \rangle}$	$\lambda = \langle \lambda \rangle \pm \langle \lambda \rangle$, нм

4-жаттығу. Интерференциялық зоналар (аумақтар) енін, жолақ санын және бипризманың сындырушы бұрышын анықтау

1. Интерференциялық зоналар енін H өлшеніз (бипризмадан өткен жарық шоқтарының қабаттасу аумағы), өлшеу кезінде микропроектордың ұлғайту коэффициентін β ескеру қажет, өлшеу нәтижесін 8.4-кестеге енгізіңіз.

2. l_1 және l_2 бойлық (продольные) арақашықтықтарын өлшеніз (8.4-сурет), өлшеу нәтижесін 8.4-кестеге енгізіңіз.

3. Интерференциялық жолақтардың N жалпы санын (8.9)-шы формуламен
$$N = \frac{H}{\Delta x} = \frac{h^2 l_2}{2l_1 \lambda (l_1 + l_2)}$$
 есептеңіз, есептеу нәтижесін

8.1-кестедегі тәжірибе нәтижесімен салыстырыңыз (есептеу кезінде β ұлғайту коэффициентін ескеру қажет, β мен h -тың мәндерін 8.2-кестеден алыңыз);

4. Есептеу нәтижесінде алынған интерференциялық жолақтардың жалпы саны N -ді 8.1-кестедегі тәжірибе нәтижесінде алынған мәнмен салыстырыңыз.

5. Бипризманың сындырушы бұрышы θ -ны келесі формуламен анықтаңыз:
$$\theta = \frac{h}{2l_1(n-1)},$$
 мұндағы $n = 1,51$

(есептеу кезінде анықталған β ұлғайту коэффициентін ескеру қажет, β мен h -тың мәндерін 8.2-кестеден алыңыз).

8.4-кесте

Интерференциялық зоналар енін, Френель бипризмасының сындырушы бұрышын және интерференциялық жолақтардың жалпы санын анықтау

№	l_1 , мм	l_2 , мм	H , мм	$\langle H \rangle$, мм	N	$\langle N \rangle$	θ , рад	θ , град

Бақылау сұрақтары

1. Френельдің бипризмасы көмегімен алынған интерференциялық көріністі бақылау сұлбасын түсіндіріңіз.
2. Френельдің бипризмасының сындырушы бұрышы, жалған жарық көздері арасындағы арақашықтық, интерференциялық жолақтың ені неге тәуелді болады екен?
3. Лазер сәулесінің толқын ұзындығын анықтауға арналған есептеу формуласын қорытып шығарыңыз.

№ 9 ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС

САҢЫЛАУДА, ҚЫЛДА ЖӘНЕ ДӨҢГЕЛЕК ДИСКІДЕ БОЛАТЫН ЖАРЫҚ ДИФРАКЦИЯСЫН ЗЕРТТЕУ

Жұмыстың мақсаты: Саңылауда, қылда (жіңішке сымда) және дөңгелек дискіде болатын жарық дифракциясын зерттеу.

Тапсырма: ЛКО-1 құрылғысында саңылауда, қылда, дөңгелек дискіде болатын жарық дифракциясын зерттеу тәжірибесін жүргізу және тәжірибеде алынған нәтижелер бойынша саңылаудың ені мен қылдың қалыңдығын анықтау.

9.1. Теориялық кіріспе

Жарық толқындарының күрт өзгеретін оптикалық біртекті ортада (мысалы, жарықтың саңылау арқылы, мөлдір емес заттардың шекарасы маңынан өтуі, т.с.с.) таралу бағытынан ауытқуы, яғни жарық таралуының геометриялық оптика заңдарына бағынбауы байқалады.

Жарықтың толқындық табиғатымен анықталатын бұл құбылысты жарық дифракциясы деп атайды.

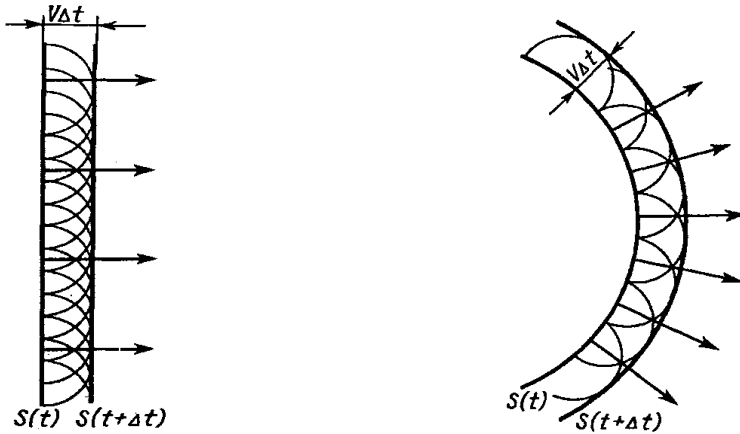
Гюйгенс принципі

Х. Гюйгенс (1678) t уақыт мезетіндегі толқын фронтының орны мен оның v жылдамдығын біле отырып, $t+\Delta t$ уақыт мезетіндегі оның орнын анықтауға болатын ереже ұсынды. Оны Гюйгенс принципі деп атайды.

Бұл принципке сәйкес t уақыт мезетіндегі $S(t)$ толқын фронтының бетін (9.1-сурет) екінші ретті толқын көзі ретінде қарастырады. $t+\Delta t$ уақыт мезетіндегі $S(t+\Delta t)$ толқын фронты екінші ретті толқын көзінен тараған толқындарды қосатын жанама бетке сәйкес келеді.

Біртекті ортада екінші ретті толқындар тек алға қарай таралады, яғни сыртқы нормалға сүйір бұрыш жасайтын бағыттарда таралады деп қарастырылады.

Біртекті, изотропты ортада екінші ретті толқындардың беті сфералық болып келеді.



9.1-сурет. Гюйгенс принципі бойынша жазық және сфералық толқындар үшін толқын фронтының таралуы

Гюйгенс принципі толқынның физикалық қасиеттеріне тәуелсіз толқындық бетті тұрғызуға арналған геометриялық әдіс.

Сондықтан оны кез келген толқын түріне (электрмагниттік, дыбыс толқындары) қолдануға болады. Гюйгенс принципі пайдаланып екі орта шекарасындағы жарықтың шағылу және сыну заңын шығаруға болады.

Гюйгенс-Френель принципі

Гюйгенс принципі екінші ретті толқындардан пайда болған толқынның амплитудасын есептеу әдісін көрсетпейді.

Сондықтан да Гюйгенс принципі жарық толқындарының таралу заңдылықтарын толық анықтамайды, ол тек оның таралу бағытын көрсетеді.

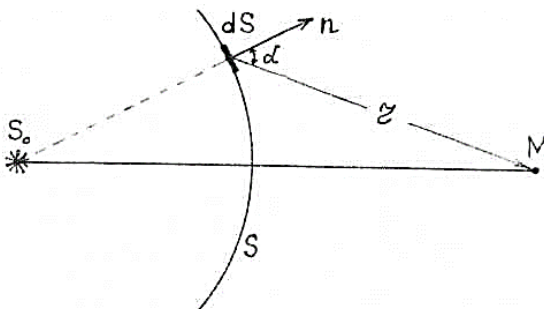
Гюйгенс принципі негізге алып Френель толқындық бетті аймақтарға бөліп, ол аймақтардан шыққан екінші ретті когорентті толқындардың берілген нүктеде қосылуынан туындаған қорытқы толқын амплитудасын есептеу әдісін дамытты.

Оны Гюйгенс-Френель принципі (1815) деп атайды.

Бұл принцип мына жайлармен анықталады:

а) S_0 жарық көзінен шыққан толқынның M нүктесіндегі тербеліс амплитудасын анықтау үшін S_0 жарық көзін кез келген қосымша тұйық S беттің dS кішкене аймақтарынан тұратын

екінші ретті жарық көздерімен алмастырамыз (9.2-сурет). S_0 жарық көзі S тұйық беттің ішінде, ал M нүктесі сыртында орналасқан;



9.2-сурет. S_0 жарық көзін оған эквивалентті екінші ретті жарық көздерімен алмастыру

Екінші ретті жарық көздері өзара когерентті, сондықтан да олар туғызған екінші ретті толқындар қосылғанда интерференцияланады;

S -тұйық бет ретінде S_0 жарық көзінің толқындық бетін қарастырғанда екінші ретті жарық көздерінің тербелу фазалары бірдей болғанды.

Бұл жағдайда M нүктесіндегі толқындар интерференциясын есептеу жеңіл болды;

б) dS екінші ретті жарық көзінің M нүктесінде туғызатын тербелісінің dA амплитудасы, dS ауданға тура пропорционал, dS беттен M нүктесіне жүргізілген r арақашықтыққа кері пропорционал және dS бетке түсірілген сыртқы нормалмен r бағытының арасындағы бұрышқа тәуелді болады, яғни

$$dA = f(\alpha) \frac{a \cdot dS}{r},$$

мұндағы a – dS беттегі толқын амплитудасына пропорционал шама, $f(\alpha)$ мәні $\alpha=0$ үшін $f(0)=1$ болып, одан әрі монотонды кеми

отырып $\alpha=\frac{\pi}{2}$ мәнінде $f\left(\frac{\pi}{2}\right)=1$ болады және $\alpha \geq \frac{\pi}{2}$ үшін $f(\alpha)=0$

(екінші ретті жарық көздері кері бағытта толқын шығармайды);

в) Егер S беттің бір бөлігі мөлдір емес экранмен жабылса, онда ол бөлікке сәйкес екінші ретті жарық көздері жарық толқындарын шығармайды, ал қалған бөлігі шығара береді.

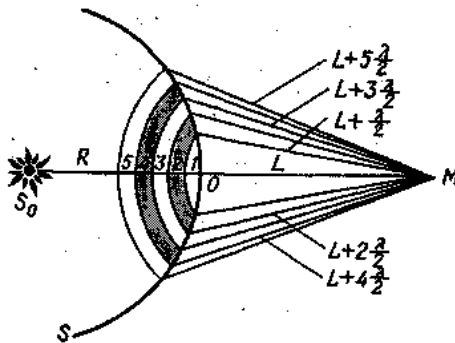
Гюйгенс-Френель принципін қолданып S_0 нүктелік монохромат жарық көзінен шыққан толқынның M бақылау нүктесіндегі тербеліс амплитудасын анықтайық (9.3-сурет).

Ол үшін S – қосымша бет ретінде центрі S_0 – жарық көзі орналасқан S_0 – жарық көзінің толқындық бетіне сәйкес келетін, радиусы R сфералық бетті қарастырамыз.

R радиус шамасын S -беттен M -нүктесіне дейінгі $L=(OM)$ арақашықтықпен шамалас етіп таңдаймыз.

S сфералық бетті 9.3-суретте көрсетілгендей, центрі O нүктесінде болған жіңішке сақина тәрізді Френель аймақтарына бөлеміз (қара, ақ жолақтар).

Берілген Френель аймағы M нүктесінде фазалары бірдей тербеліс туғызады.



9.3-сурет. Толқындық бетті Френель аймақтарына бөлу

Берілген Френель аймағынан көршілес екінші Френель аймағын M нүктесінен $\frac{\lambda}{2}$ -ге қашықтау орналасатындай етіп таңдаймыз.

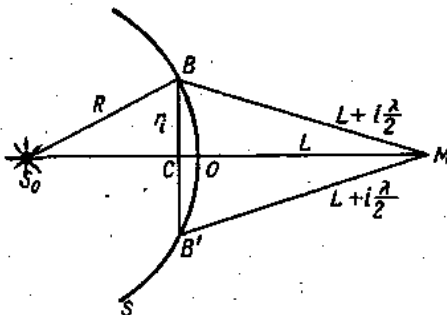
Мұндағы λ -жарықтың толқын ұзындығы.

Бұл жағдайда когерентті екінші ретті толқын көздері болып табылатын көршілес екі Френель аймақтарынан M нүктесіне жеткен толқындар қарама-қарсы фазада тербеледі.

Бірдей фазада тербелетін толқындар бірін-бірі күшейтеді, ал қарама-қарсы фазада тербелетін толқындар бірін-бірі әлсіретеді. Демек М нүктесіндегі тербелістің қорытқы амплитудасы

$$A=A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \dots \quad (9.1)$$

Мұндағы A_i – i -інші Френель аймағынан шыққан жарық толқынның М нүктесінде туғызған тербелісінің амплитудасы.



9.4-сурет. Френельдің i -інші аймағының радиусын анықтау

A_i шамасы S_i – Френель аймағының ауданына және осы аймаққа тұрғызылған сыртқы нормаль мен аймақтан М нүктесіне жүргізілген түзу арасындағы α – бұрышқа тәуелді.

9.4-суреттегі В және В' i -нші аймақтың сыртқы бетіне сәйкес нүктелер.

$|BC| = r_i$ – i -інші аймақтың радиусы, $|CO| = h_i$ – BOB' шарлық сегменттің биіктігі.

$\triangle S_0BC$ және $\triangle MBC$ тікбұрышты ұшбұрыштардан $r_i^2 = R^2 - (R - h_i)^2 = (L + i\frac{\lambda}{2})^2 - (L + h_i)^2$ екенін көреміз.

$$\text{Одан } 2(R + L)h_i = i\lambda L + \frac{i\lambda^2}{2} = i\lambda (L + \frac{i\lambda}{2}) \quad \lambda \ll L$$

болғандықтан бұл өрнектің оң жағындағы $\frac{i\lambda}{4}$ мәнін ескермеуге болады.

Бұл жағдайда BOB' шарлық сегменттің биіктігі мен радиусы келесі өрнектермен анықталады:

$$h_i = \frac{i \lambda L}{2(R + L)} \rightarrow r_i = \sqrt{2Rh_i} = \sqrt{\frac{i \lambda R L}{R + L}}. \quad (9.2)$$

БОВ' шарлық сегменттің бүйір ауданы 1-ден бастап i -ге дейінгі Френель аймақтарының аудандарының қосындысына тең, яғни

$$S_1 + S_2 + \dots + S_i \approx \pi r^2 = \frac{\pi R L \lambda i}{R + L}.$$

$i = 1, 2, 3, \dots$ болғандықтан Френель аймақтарының аудандары жуықпен бір-біріне тең, яғни

$$S_1 = S_2 = \dots = S_i = \frac{\pi R L \lambda}{R + L}.$$

Бірақ i аймақ нөмірінің өсуіне байланысты i -інші аймақтан M нүктесіне дейінгі қашықтық артып, α_i бұрышының мәні өседі.

Олай болса Гюйгенс-Френель принципіне сәйкес M нүктесі бағытындағы толқын интенсивтілігі азаяды, яғни i өсуіне сәйкес A_i амплитуда мәні азаяды.

Демек

$$A_1 > A_2 > A_3 > \dots > A_i > \dots$$

Өте үлкен емес i мәндері үшін A_i амплитуданың i мәніне тәуелділігі сызықты деп қарауға болады.

Олай болса (9.1) өрнекті мына түрде жазамыз:

$$A = \frac{1}{2} A_1 + \left(\frac{1}{2} A_1 - A_2 + \frac{1}{2} A_3 \right) + \left(\frac{1}{2} A_3 - A_4 + \frac{1}{2} A_5 \right) + \dots = \frac{1}{2} A_1 \quad (9.3)$$

Мұндағы жақша ішіндегі өрнек нөлге тең болғандықтан S толқын фронтының екінші ретті жарық көздері туғызған M нүктесіндегі қорытқы әсер радиусы r_1 орталық Френель аймағының әсерінің жартысына тең болады.

$r_1 \ll R, L$ (мысалы $R = L = 10$ см және $\lambda = 5 \cdot 10^5$ см болса, онда $r_1 \approx 0,016$ см) болғандықтан үлкен дәлдікпен жарық S_0 көзден M нүктесіне түзу бағытта тарайды деуге болады.

Френель дифракциясы

Жарық дифракциясын екі түрге бөледі:

1) Айқасатын сәулелерден болатын дифракция немесе Френель дифракциясы. Бұл жағдайда тосқауылға (саңылауға) сфералық немесе жазық толқын түсіп, дифракциялық сурет тосқауылдан (саңылаудан) шекті қашықтықта орналасқан экранда байқалады.

2) Параллель сәулелерден болатын дифракция немесе Фраунгофер дифракциясы. Бұл жағдайда тосқауылға (саңылауға) жазық толқын түсіп, дифракциялық сурет тосқауылдан (саңылаудан) өткен сәуленің жолына қойылған жинағыш линзаның фокустық жазықтығында орналасқан экранда байқалады.

Жарық дифракциясының қарапайым түрлерінде экранда пайда болатын дифракциялық суретті толқын бетін (екінші ретті толқын көзін) Френель аймақтарына бөлу әдісімен түсіндіруге болады.

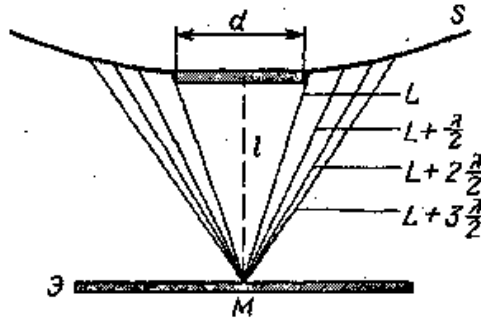
Мөлдір емес дөңгелек дискіден болатын Френель дифракциясы

Монохромат жарық толқыны мөлдір емес дөңгелек дискіге түскен жағдайда сфералық толқынның S толқындық бетін Френель аймақтарына бөлу 9.5-суретте көрсетілген.

Бұл жағдайда Э экрандағы интерференциялық сурет кезектескен концентрлі жарық және күңгірт сақиналардан тұрады. Сақиналар центрі M нүктесі әрқашанда жарық дақ, яғни интерференциялық максимум болады.

Оны Пуассон дағы деп атайды. M нүктесіндегі жарық амплитудасы S толқындық беттің ашық бөлігінің бірінші Френель аймағының әсерінен болатын амплитуданың жартысына тең, яғни $A=A_1/2$ (9.5-сурет).

Дискіні ақ жарықпен жарықтандырғанда Э экранның центрінде ақ дақ және оны қоршаған түрлі-түсті концентрлі шеңберлерден тұратын сурет бақыланады.



9.5-сурет. Мөлдір емес дөңгелек дискіге түскен жарықтың S толқындық бетінің ашық бөлігін Френель аймақтарына бөлу

Дискінің d диаметрінің дискіден экранға дейінгі L қашықтығына қатынасының мәні өскен сайын Пуассон дағының өлшемі кішірейіп, оны қоршаған қара сақина кеңейіп дискі артында көлеңке аймақ пайда болады.

Саңылаудан болатын Фраунгофер дифракциясы

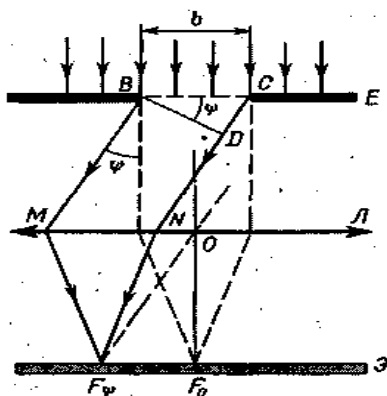
Параллель сәулелер дифракциясын ең алғаш (1821-1822) И. Фраунгофер қарастырды. Параллель сәуле шоқтарын алу үшін жинағыш линзаның фокусына орналастырылған кішкене жарық көзін қолданады.

Саңылаудан (тосқауылдан) өткен дифракцияланған жарықтың әр бағыттағы интенсивтігінің таралуы, оның жолына қойылған екінші жинағыш линзаның фокалды жазықтығына орналасқан экранда зерттеледі.

9.6-суретте көрсетілгендей, ені $b = |BC|$ саңылауы бар жарық өткізбейтін Э экранға монохромат жарық шоғы нормаль бағытта түседі (9.6-сурет).

Саңылау жазықтығы түскен толқын фронтымен сәйкес келетіндіктен, Гюйгенс-Френель принципіне сай, саңылау беті бірдей фазада тербелетін екінші ретті толқын көзі болып табылады.

Жарықтың түзусызықты таралу заңы орындалса, Э экранда жарық көзінің кескінін көрер едік. Бірақ, саңылауда болатын дифракция салдарынан Э экранда кезектесе орналасқан жарық (интерференциялық максимумдар) және қараңғы (интерференциялық минимумдар) жолақтарды байқаймыз.



9.6-сурет. Саңылаудан болатын Фраунгофер дифракциясы

OF_0 оптикалық өсіне φ бұрышпен тараған параллель сәулелер линзадан өткен соң F_φ нүктесінде жиналады.

Осы бағытта таралған шеткі CN және BM сәулелерінің оптикалық жол айырымы $\delta = |CD| = b \cdot \sin \varphi$ (ауаның абсолют сыну көрсеткіші бірге тең деп қарастырылды), мұндағы D – CN сәулесіне B нүктесінен түсірілген перпендикуляр.

BC толқындық бетті параллель жолақтар түріндегі Френель аймақтарына бөлейік.

Әр көршілес Френель аймақтарынан шыққан толқындар (BM бағытына параллель) өзара қарама-қарсы фазада тербелу үшін олардың оптикалық жол айырымы $\lambda/2$ болуы шарт.

Онда Френель аймақтарының саны $n = |CD|/(\lambda/2)$, ал ені $b/n = \lambda/(2 \cdot \sin \varphi)$ немесе $b \cdot \sin \varphi = n\lambda/2$.

Көршілес екі Френель аймағынан тараған жарық толқындары өзара қарама-қарсы фазада тербелетіндіктен, олар бірін-бірі өшіреді.

BC саңылаудағы Френель аймақтарының саны жұп болса ($n=2m$), F_φ нүктесінде күңгірт жолақ, яғни интерференциялық минимум бақыланады.

Демек дифракция салдарынан F_φ нүктесінде күңгірт жолақ болуы, яғни минимум шарты

$$b \cdot \sin \varphi = 2m \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \text{немесе} \quad b \cdot \sin \varphi = m\lambda, \quad (9.4)$$

мұндағы $m=\pm 1, \pm 2 \dots$ дифракциялық минимум реті. m шамасының минус болған мәндері саңылаудан $-\varphi$ бұрышпен таралып, F_0 бас фокусқа қатысты F_φ нүктесіне симметриялы қарсы жақта орналасқан F_φ нүктесінде жиналатын сәулелер үшін.

ВС саңылаудағы Френель аймақтарының саны тақ болса ($n=2m+1$), F_φ нүктесінде жарық жолақ, яғни интерференциялық максимум бақыланады.

Демек дифракция салдарынан F_φ нүктесінде жарық жолақ болуы, яғни максимум шарты

$$b \cdot \sin \varphi = (2m + 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (9.5)$$

мұндағы $m=\pm 1, \pm 2 \dots$ дифракциялық максимум реті.

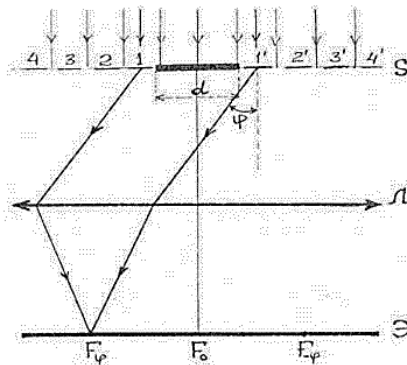
F_0 нүктесінде нөлдік ретті ең жарық орталық максимум бақыланады.

Өйткені F_0 нүктесіне саңылаудың барлық аймағынан түскен сәулелер бірдей фазада тербеледі.

Қылдан болатын Фраунгофер дифракциясы

Ені d , ұзын түзу қылдан болатын Фраунгофер дифракциясында Э экранның F_0 центрінде әрқашан жарық жолақ бақыланады (9.7-сурет).

Өйткені, толқындық беттің ашық тұрған бөлігінен F_0 центріне түсетін жарық толқындары ($\varphi=0$ бұрышпен тараған толқындар) бірдей фазада тербеледі.



9.7-сурет. Қылда болатын Фраунгофер дифракциясы

С толқындық беттен φ бұрышпен таралатын сәулелер үшін ВС қыл $n = \frac{d \sin \varphi}{\lambda/2}$ Френель аймағын жауып тұрады (9.7-сурет).

Егер ВС қылдың жауып тұрған Френель аймақтарының саны жұп болса ($n=2m$, $m=\pm 1, \pm 2$), онда 1 және 1' (сол сияқты 2 және 2', 3 және 3', ...) Френель аймақтарынан тараған толқындар F_φ нүктесінде қарама-қарсы фазада тербеліп бірін-бірі өшіреді.

Демек F_φ нүктесінде дифракциялық минимум (қараңғы жолақ) бақылаймыз. Дифракциялық минимум шарты:

$$d \sin \varphi = 2m \frac{\lambda}{2} \quad \text{немесе} \quad d \sin \varphi = m\lambda \quad m=\pm 1, \pm 2. \quad (9.6)$$

Мұндағы m – дифракциялық минимум реті.

Егер ВС қылдың жауып тұрған Френель аймақтарының саны тақ болса ($n=2m+1$, $m=\pm 1, \pm 2$), онда 1 және 1' (сол сияқты 2 және 2', 3 және 3', ...) Френель аймақтарынан тараған толқындар F_φ нүктесінде қарама-қарсы фазада тербеліп бірін-бірі күшейтеді.

Бірақ көршілес (1 мен 2, 3 пен 4, 5 пен 6, ...) Френель аймақтарынан тараған толқындар F_φ нүктесінде қарама-қарсы фазада тербеледі.

Реттік аймақ F_φ нүктесінен алыс орналасып, одан тараған толқынның F_φ нүктесіндегі амплитудасы кемиді.

Олай болса амплитуда 9.3 өрнекке сәйкес F_φ нүктесіндегі қорытқы $A = \frac{(A_1 + A_1')}{2}$ демек F_φ нүктесінде дифракциялық максимум (жарық жолақ) бақылаймыз. Дифракциялық максимум шарты:

$$d \sin \varphi = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad m=\pm 1, \pm 2. \quad (9.7)$$

9.2. Экспериментті жүргізу реті мен өлшеу нәтижелерін өңдеу

ЛКО-1 қондырғысының сыртқы көрінісі 9.8-суретте кескінделген.



9.8-сурет. ЛКО-1 қондырғысы

1-тапсырма. Дөңгелек дискіден болатын Френель дифракциясын зерттеу

Дөңгелек тосқауылдың экрандағы көлеңкесінің ортасында жарық дақтың (Пуассон дағының) пайда болуын бақылау.

1) ЛКО-1 қондырғысы орындығының (оптикалық орындықтың) 74 мм-не 5-модульді, 255 мм-не 6-модульді, 330 мм-не 15 нысанамен (диск) 8-модульді және орындықтың екінші шетіне 3-модульді орналастырыңыз.

2) 3-модульді 8-модульге барынша жақындатыңыз. Модуль тетіктерін бұрай отырып, дискіні жарық шоғының ортасына келтіріңіз. 3- және 8-модульдерден арақашықтығын алыстата отырып, экрандағы диск көлеңкесінің ортасында жарық дақ пайда болатын L_D арақашықтықты анықтаңыз.

2-тапсырма. Геометриялық оптикадан дифракциялық суретке өту шегін зерттеу

1) Параллель жарық шоғын (жазық толқын) алу үшін оптикалық орындықтың 75 мм-не 5-модульді, 255 мм-не 6-модульді және 670 мм-не 3-модульді орналастырыңыз.

2) Микропроектор кассетасына (3-модуль) ені өзгеретін саңылауды енгізіп, саңылау енін 0,3-0,5 мм-ге келтіріңіз (Ескеріңіз: микропроектор 20 есе ұлғайтып көрсетеді).

3) Оптикалық орындыққа 5- және 3-модульдер арасына 8-модульді орналастырыңыз.

4) 25М Ені өзгеретін саңылауды 8-модуль кассетасына салыңыз. 8-модульді микропроектордан алыстата отырып, экрандағы саңылаудың кескінінің ортасында қараңғы жолақ пайда болатын орнын анықтаңыз. 8- және 3-модульдердің арақашықтығын анықтап,

$L_D \sim \frac{d^2}{\lambda}$ қатынасының әділдігін тексеріңіз.

3-тапсырма. Жарықтың саңылау арқылы өтуі. Саңылаудың енін анықтау.

1) Оптикалық орындықтың 75 мм-не 8-модульді орналастырып, орындықтың екінші жағына дөңгелек экраны бар 5-модульді орналастырыңыз.

2) 8-модуль кассетасына 25М ені өзгеретін саңылауды салыңыз. Келтіруші тетіктерді бұрай отырып саңылауды сәуле шоғының ортасына келтіріңіз.

3) Саңылау енін өзгерте отырып, экранда анық дифракциялық сурет алыңыз.

4) Саңылаудан экранға дейінгі L қашықтықты, яғни 8- және 5-модульдердің арақашықтығын анықтап, нәтижені 1-кестеге жазыңыз.

5) Орталық максимумға қатысты симметриялы орналасқан бірнеше x_m және x_{-m} минимумдардың (қараңғы жолақтар) Δx арақашықтығын анықтап, нәтижені 1-кестеге жазыңыз.

6) Оптикалық орындықтан 5-, 8-модульдерді алып, 670 мм-ге 3-модульді орналастырыңыз. 3-модульдің кассетасына 8-модульдегі 25М саңылауды салып, саңылаудың b' енін анықтаңыз.

$$7) \sin \varphi = \frac{\Delta x}{\sqrt{4L^2 + \Delta x^2}} \quad \text{өрнегі бойынша } \sin \varphi \text{ мәнін}$$

анықтаңыз. (10,4) өрнек бойынша m -нің әртүрлі мәніне сәйкес b_i мәндерін және оның b орташа мәнін анықтаңыз (Жарықтың толқын ұзындығы $\lambda = 0,6328 \text{ мкм}$). b мен b' мәндерін

салыстырыңыз және $\varepsilon = \frac{b - b'}{b'} \cdot 100\%$ өрнегінен салыстырмалы

кателікті анықтап, нәтижелерді 1-кестеге жазыңыз.

1-кесте

Саңылау енін өлшеу нәтижелері

№	m	L, мм	Δx , мм	b' , мм	$\sin \varphi$	b_m , мм	b, мм	ε , %
1								
2								
3								
4								
5								

4-тапсырма. Қылдан (жіңішке сымнан) болатын дифракциялық суретті бақылау

1) Оптикалық орындықтың 75 мм-не 8-модульді орналастырып, орындықтың екінші жағына дөңгелек экраны бар 5-модульді орналастырыңыз.

2) 45-нысанға зерттелетін қылды бекітіп 8-модуль кассетасына салыңыз. Келтіруші тетіктерді бұрай отырып, қылды сәуле шоғының ортасына келтіріңіз (экранда дифракциялық сурет байқалады).

Бақылау сұрақтары

1. Гюгенс принципі.
2. Гюгенс-Френель принципі.
3. Толқындық бетті Френель аймақтарына бөлу.
4. Френель және Фраунгофер дифракцияларының айырмашылығы.
5. Пуассон дағы дегеніміз не?
6. Дөңгелек дискідегі Френель дифракциясы.
7. Саңылаудағы Фраунгофер дифракциясы.
8. Қылдағы Фраунгофер дифракциясы.

№ 10 ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС

ДӨҢГЕЛЕК ТЕСІКТЕГІ ФРЕНЕЛЬ ДИФРАКЦИЯСЫН

ЗЕРТТЕУ. ФРЕНЕЛЬ ЗОНАЛАРЫ

Жұмыстың мақсаты. Дөңгелек тесіктегі Френель дифракциясын зерттеу. Тесік ішінде жатқан Френель зоналарын есептеу.

Керекті құрал жабдықтар: ЛКО-1 оптикалық зертханалық кешені, 3-модуль – сканерлеу түйіні бар микропроектор (линза $f = +15$ мм), 5-модуль – шкаласы бар экраннан тұратын конденсор (линза $f = +12$ мм), 6-модуль – объектив ($f = +100$ мм), 8-модуль – екі координатты ұстағышқа бекітілген кассета, 13-модуль – бұрылмалы үстел, 18-нысан – дөңгелек тесік (1,0 мм), 19-нысан – дөңгелек тесік (2,0 мм).

10.1. Теориялық кіріспе

Дифракция деп жарық толқынының түзу сызықты таралу бағытынан ауытқуын, яғни жолында кездескен бөгеттерді орағытып өтуін айтады.

Дифракция құбылысы салдарынан жарық толқындары жолында кездескен бөгеттерді орағытып, геометриялық көлеңке аумағына өтеді, бұл құбылыс бөгеттердің немесе саңылаулардың өлшемі жарықтың толқын ұзындығымен шамалас болған жағдайда байқалады.

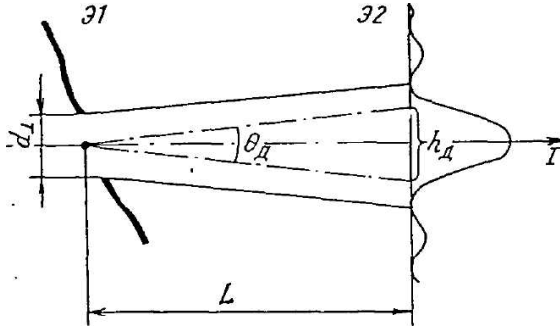
Жарықтың толқын ұзындығын шексіз аз шама деп қарастыруға болса ғана геометриялық оптика заңдары дәл орындалады.

Бұл шарт орындалмаған жағдайда, геометриялық оптика заңдарынан ауытқу байқалып дифракция құбылысы орын алады.

Геометриялық оптика заңдарына сәйкес, мөлдір емес экранның шетінде, жарықталынған аумақтардан айқын шектелген, экран шетінің пішініне сәйкес көлеңке аумағы (геометриялық көлеңке) болуы тиіс.

Бірақ дифракция құбылысы салдарынан оның орнына дифракциялық көрініс деп аталатын интенсивтіктің күрделі таралуы пайда болады.

Дифракция құбылысының сипаттамаларын қарастырайық.



10.1-сурет. Тесігі бар Э2 экраннан кейінгі интенсивтіктің таралуы

Дифракция бұрышы. Айталық, жазық монохромат толқынның Э1 экрандағы тесік арқылы өткенде бөлініп алынған шоғының ізі (10.1-сурет) Э2 экранда байқалсын делік.

Тесіктің өлшемін кішірейте отырып шоқтың ізі бастапқы уақытта тесіктің өлшеміне сәйкес кішірейетінін байқаймыз, бірақ кейін шоқ үлкейе бастайды да шашырап кетеді.

Жарық шоғының бұрыштық ені (θ_d – дифракция бұрышы) толқынның таралу бағытына перпендикуляр жазықтықтағы шоқтың d өлшемімен оның толқын ұзындығы λ арасындағы қатынас арқылы анықталады:

$$\theta_d \sim \lambda/d. \quad (10.1)$$

(10.1) қатынас дифракциялық әсерлердің ретін бағалауға мүмкіндік береді.

Оның мағынасы, толқынның кез-келген кеңістік бойынша шектелуі (10.1) қатынасқа сәйкес олардың шашырайтындығын көрсетеді.

Егер тесігі бар Э1 экранның орнына өлшемі d болатын бөгет қойылса, онда дифракциялық шоқ жабылмаған «түзу» шоқтың орнында (фонында) байқалады.

Дифракция ұзындығы. Дифракциялық шашырау салдарынан Э2 экрандағы жарықталынған аумақтың өлшемі жарық шоғының бастапқы d өлшемінен үлкен болады.

Қосымша дифракциялық кеңею келесі қатынаспен анықталады:

$$h_d = L\theta_d. \quad (10.2)$$

Егер $h_d \ll d$ шарты орындалса, яғни дақтың өлшемін d -ға тең деп алсақ, онда интенсивтіктің таралуы геометриялық оптика заңдарымен анықталады.

Дифракциялық кеңеюдің шоқтың бастапқы өлшеміне тең болатын L_d арақашықтығын **дифракция ұзындығы** деп атайды.

$L_d\theta_d \sim d$ шартынан

$$L_d \sim d^2/\lambda \quad (10.3)$$

екендігі шығады.

Егер әртүрлі түрде жазылған мына шарт:

$$L \ll L_d; \quad \lambda \ll d^2/L; \quad d \gg \sqrt{\lambda L} \quad (10.4)$$

орындалса, онда геометриялық оптика заңдары орындалады.

Ал егер де

$$L \geq L_d; \quad \lambda \geq d^2/L; \quad d \leq \sqrt{\lambda L} \quad (10.5)$$

шарттары орындалса, онда дифракция құбылысы орын алады.

$L \gg L_d$ болған кезде дақтың өлшемі $h_d \gg d$ болады да, интенсивтіктің таралуы толығымен дифракция құбылысымен анықталады.

Дифракциялық көріністегі интенсивтіктің таралу сипаты L_d дифракция ұзындығының экраннан бақылау жазықтығына дейінгі L арақашықтыққа қатынасына (яғни дифракцияның өлшемсіз параметрі – m -ға) тәуелді болады:

$$m = L_d/L = d^2/\lambda L . \quad (10.6)$$

10.2. Френель және Фраунгофер дифракциясы

Жарық дифракцияланатын бөгет жарық көзінен (көбінесе нүктелік) ($L \sim L_d$) шекті арақашықтықта орналасса, онда экранда Френель дифракциясы байқалады.

Бөгетке сфералық толқындар немесе шашыранды жарық сәулелері түседі (келеді), нәтижесінде экраннан кейінгі бақылау нүктесінде Френель дифракциясы орындалады.

Ал егер $L \gg L_d$ болса, онда Э2 экранындағы интенсивтіктің таралуы және оның шамасын анықтау жеңілдейді.

Э1 экраннан шыққан сәулелер өзара параллель болады да, Э2 экранның кез-келген бір Р нүктесіне жазық толқын болып жетеді.

Мұндай дифракция түрін Фраунгофер дифракциясы деп атайды (параллель сәулелер дифракциясы немесе жазық толқындар дифракциясы).

Э1 экраннан кейінгі аймақта төмендегі шарттар орындалған кезде келесі құбылыстарды байқауға болады:

1) $L \ll L_d$; $m \gg 1$ – бұл аймақта геометриялық оптика заңдары орындалады;

2) $L \sim L_d$; $m \sim 1$ – бұл жағдайда Френель дифракциясы байқалады (дифракцияның жақын зонасы);

3) $L \gg L_d$; $m \leq 1$ – бұл кезде Фраунгофер дифракциясы орын алады (дифракцияның алыс зонасы).

10.3. Гюйгенс-Френель принципі

Дифракцияны Гюйгенс принципі бойынша түсіндіруге болады, ол бойынша толқындық процесс келіп жеткен кеңістіктің әрбір нүктесі екінші ретті жарық көздері болып табылады.

Ол толқын көздерінен элементар толқындар таралады.

Алайда, Гюйгенс принципінің кемшілігі, онымен әртүрлі бағыттағы толқын амплитудасын анықтауға болмайды, тек жарықтың таралу бағытын анықтай аламыз.

Френель осы екінші ретті толқындардың когеренттілігі мен интерференциясын ескере отырып, Гюйгенстің принципін толықтырады.

Френельдің пікірінше, толқындық беттің әрбір нүктелерінің айналасында пайда болатын элементар толқындар бірімен-бірі қосылып интерференцияланады да, қорытқы сыртқы орауыш бетте толқынның біршама интенсивтігі артады.

Екінші реттік толқындардың амплитудалары мен фазаларын ескеру кеңістіктің кез-келген нүктесіндегі қорытқы толқынның амплитудасын табуға мүмкіндік береді.

Сөйтіп, элементар толқындар мен интерференция туралы идеялардан жарықтың толқындық теориясының негізгі принципі Гюйгенс-Френель принципі келіп шығады.

Гюйгенс-Френель принципі бойынша толқындық беттің әрбір dS элементі екінші ретті сфералық толқындар көзі болып табылады, ал олардың амплитудасы dS шамасына пропорционал болады.

Сфералық толқынның амплитудасы бақылау нүктесінен жарық көзіне дейінгі арақашықтық артқан сайын кемиді.

Гюйгенс-Френель принципінің аналитикалық өрнегі келесі түрде жазылады:

$$E = \int K(\varphi) \frac{a_0}{r} \cos(\omega t - kr + \alpha_0) dS, \quad (10.7)$$

мұндағы $\omega t + \alpha_0 - S$ толқындық бет орналасқан жердегі тербеліс фазасы,

$K(\varphi) - \varphi$ бұрышынан тәуелді коэффициент.

(10.7) интегралды есептеу қиындық туғызады.

Сондықтан Френель екінші ретті толқындардың бірінші ретті толқындардан алыстатылған кез-келген нүктедегі қорытқы амплитудасын анықтаудың геометриялық әдісін ұсынды.

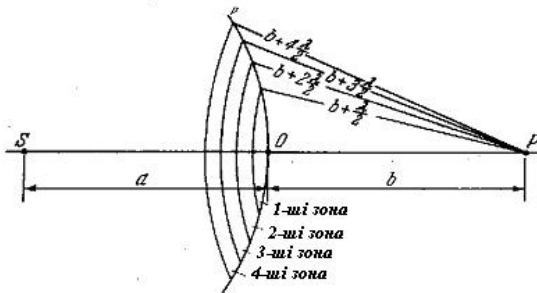
10.4. Френель зоналары

Френельдің зоналар тәсілі бойынша толқындық бетті көрнекі геометриялық тәсілмен сақина тәріздес зоналарға бөліп,

олардан таралып бір-бірімен интерференцияланатын екінші ретті элементар толқындардың амплитудалары мен фазаларын есептеуге болады (10.2-сурет).

Көршілес зоналардың шеттерінен (ішкі және сыртқы) қарастырылып отырған Р нүктесіне дейінгі оптикалық жол айырымдары $\lambda / 2$ -ге тең болатындай етіп зоналарға бөлінеді.

Яғни, жарық тербелістерінің жол айырымдары $\lambda / 2$ -ге тең болса, онда олар Р нүктесіне жеткенде қарама-қарсы фазада болады да, қабаттасқан кезде бір-бірін әлсіретеді.



10.2-сурет. Френель зоналары

Френельдің қорытқы амплитуданы есептеуге арналған зоналар әдісі келесі қорытындыларға алып келеді:

1) Толқын шебі толығымен ашық болғандағы қорытқы интенсивтік сол нүктедегі Френельдің бірінші зонасы әсерінен пайда болатын интенсивтіктің $1/4$ бөлігіне тең;

2) Егер мөлдір емес экрандағы дөңгелек тесіктің ауданы тек Френельдің бірінші зонасы ғана сиятындай етіп алынса, онда бақылау нүктесінде толқын шебі толығымен ашық болған кездегі интенсивтіктен төрт есе артық интенсивтік байқалады;

3) Егер Френельдің барлық жұп (немесе тақ) зоналары жабық болса, онда қорытқы амплитуда мына түрде болады $E_0 = E_1 + E_3 + E_5 + \dots$ (немесе $E_0 = E_2 + E_4 + E_6 + \dots$), яғни, интенсивтік бұлар жабылмаған кездегі интенсивтікпен салыстырғанда артады;

4) Егер барлық жұп (немесе тақ) зоналардың фазасын қарама-қарсыға өзгертсе, онда $E_0 = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + \dots$, яғни интенсивтік одан сайын артады.

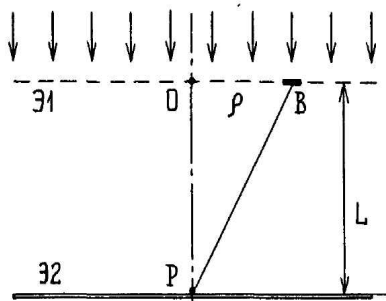
Екінші ретті толқындардың амплитудасы мен фазасын ескеру кеңістіктің кез-келген нүктесіндегі қорытқы амплитуданы табуға мүмкіндік береді.

Гюйгенс-Френель принципіне сәйкес Э2 экрандағы толқындық өріс (10.3-сурет) түскен толқындық өріспен когерентті Э1 экранның жазықтығында орналасқан “екінші ретті” жарық көздерінен шыққан толқындардың суперпозициясының (қосылуының) нәтижесі деп қарастырылады.

Р нүктесіне келген тербелістердің фазалары π аралықта өзгертін Э1 бетінің бөлігі Френель зоналары деп аталады.

Ортасы О нүктесінде жатқан Френельдің 1-ші зонасы үшін $0 < \delta < \pi$, 2-ші (сақиналы) зона үшін $\pi < \delta < 2\pi$ және т.с.с.

$\delta = \pi t$ шарты радиусы ρ дөңгелек ішіне енетін зоналардың t (бүтін немесе бөлшек) мөлшерін немесе бірінші t Френель зоналары енетін радиусы ρ_m бөлікті (яғни сыртқы t -ші зонаның радиусын) анықтайды.



10.3-сурет. Толқынның шебі жазық болғанда дифракциялық көріністі бақылау

Айталық, жазық толқын Э1 экранның ОР симметрия осіне параллель, нормаль түссін делік.

Р нүктесіне В нүктесінен келетін тербелістердің О нүктесінен келетін тербелістерге қарағанда фазалары бойынша қалай кешігетінін есептейік.

Тербелістердің фазалар айырымы төмендегі формуламен анықталады:

$$\delta = \pi m , \quad (10.8)$$

мұндағы m – Френель зоналарының саны.

Френельдің m -ші зонасының радиусы келесі формуламен анықталады:

$$\rho_m^2 = m \lambda L . \quad (10.9)$$

(10.9) теңдеудің екі жағында π -ға көбейтіп: $\pi \rho_m^2 = \pi m \lambda L$, тербелістердің фазалар айырымы үшін келесі өрнекті аламыз:

$$\delta = \frac{\pi \rho^2}{\lambda L} . \quad (10.10)$$

Дифракциялық көріністегі интенсивтіктің таралу сипаты дифракция ұзындығының L_d экраннан бақылау жазықтығына дейінгі L арақашықтыққа қатынасына, яғни дифракцияның өлшемсіз параметріне тәуелді болады:

$$m = L_d / L = d^2 / \lambda L , \quad (10.11)$$

$$m = \rho^2 / \lambda L , \quad (10.12)$$

$$\rho_m = \sqrt{m \lambda L} , \quad (10.13)$$

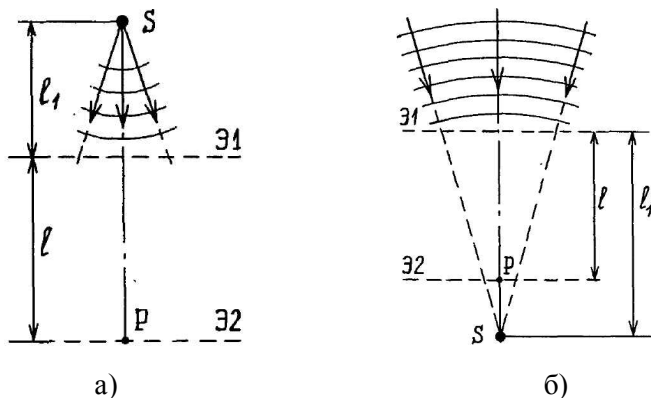
мұндағы d – жарық шоғының диаметрі.

(10.11) мен (10.12) теңдіктерді салыстырғанда байқайтынымыз.

Егер ρ – Э1 экрандағы тесікке тән өлшем болып табылса, онда дифракциялық көрініс пен дифракция түрін анықтайтын m дифракциялық параметр болып табылады.

Егер Э1 экранға S нүктелік жарық көзінен таралған шашыранды толқын (10.4, а-сурет) немесе S нүктесінде тоғысатын толқын түссе (10.4, б-сурет), онда фазалық ығысуларды және ашық Френель зоналарын есептеу жазық толқын үшін жоғарыдағы (10.12) – (10.13) формулаларға алып келеді.

Бірақ онда L арақашықтығы Э1 экраннан толқынның фокусына дейінгі l_1 арақашықтық, сонымен қатар Э1 экраннан Э2 экранға дейінгі l арақашықтық арқылы өрнектеледі.



10.4-сурет. Толқынның шебі сфералық болғанда дифракциялық көріністі бақылау

Бас оптикалық осьтен аз ауытқитын сәулелердің дифракциялық көрінісін жарықтың линзадан өткендегі көрінісі деп қарастырайық, бұл жерде линза ретінде Э1 экран қойылған.

Виртуальды линза шашырайтын толқындар үшін – жинағыш линза, ал тоғысатын толқындар үшін – шашыратқыш линза болып табылады.

Линзалар формуласын былай жазуға болады:
шашырайтын толқындар үшін

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{l_1} + \frac{1}{l}, \quad (10.14)$$

тоғысатын толқындар үшін

$$\frac{1}{L} = \left| \frac{1}{l} - \frac{1}{l_1} \right|, \quad (10.15)$$

мұндағы L – линзаның фокустық арақашықтығы.

Ол (10.13) формулаға сәйкес мынаған тең: $L = \frac{\rho_m^2}{m\lambda}$;

l_1 – линзадан нәрсеге дейінгі арақашықтық; l – линзадан кескінге дейінгі арақашықтық (Э2 экрандағы Р нүктесі).

Жазық толқын үшін төмендегі шарт орындалады

$$l_1 \rightarrow \infty, \quad L = \ell.$$

Егер тоғысатын толқында $l = l_1$, яғни көрініс фокустық жазықтықта байқалса, онда $l \rightarrow \infty$, $m \approx 0$, Фраунгофердің дифракциялық көрінісі байқалады (дифракция жазық толқында байқалады).

Бұл айтылғандар Фраунгофер дифракциясын тәжірибе жүзінде бақылау үшін өте маңызды.

Фраунгофер дифракциясын бақылау үшін жеткілікті $L \gg L_d$ (L_d – дифракция ұзындығы) шартын жазық толқын үшін ылғи да қанағаттандыру мүмкін емес.

Мысалы, $d = 1$ см және $\lambda = 0,6$ мкм болған жағдайда (10.3) формулаға сәйкес $L_d = 170$ м.

Онда Фраунгофер дифракциясы тоғысатын сфералық толқынның фокустық жазықтығында байқалады.

Айталық, Э1 экранында радиусы ρ дөңгелек тесік болсын, осы жағдайда пайда болатын дифракциялық көрініс тесіктің осіне қатысты симметриялы болып келетін қараңғы және жарық концентрлі сақиналардан тұрады.

Дифракциялық көріністегі интенсивіктің таралу сипаты тесік арқылы ашық тұрған Френель зоналарының m санына тәуелді болады. m –нің кіші мәндерінде көріністің ортасындағы интенсивтік келесі түрде болады:

$$I = 4I_0 \sin^2(\pi m / 2), \quad (10.16)$$

мұндағы I_0 – Э1 экран болмаған кездегі интенсивтік.

m –нің тақ мәндерінде көріністің ортасында интенсивтіктің максимумы ($I \sim 4I_0$), ал жұп мәндерінде – интенсивтіктің

минимумы байқалады, мұның себебі жұп және тақ зоналардың көріністің ортасында қарама-қарсы фазалы тербелістер тудыруына байланысты.

Орталық қараңғы және жарық дақтың бұрыштық өлшемі дифракция бұрышына $\theta_d \sim \lambda/\rho$ тәуелді.

Френельдің дифракциялық көрінісі ($l = l_1$ болған жағдайда) орталық жарық дақ, оның айналасын қараңғы және жарық сақиналар қоршаған түрде болады.

Бірінші және келесі екі қараңғы сақиналардың радиустары мынаған тең болады:

$$R_1 = 0,610 \lambda/\rho; \quad R_2 = 1,116 \lambda/\rho; \quad R_3 = 1,619 \lambda/\rho \quad (10.17)$$

10.5. Тәжірибе қондырғысы

«Оптика» (ЛКО-1) зертханалық кешені оптиканың негізгі заңдарын тәжірибе жүзінде зерттеуге, оптикалық құбылыстарды бақылап және зерттеу үшін, оптикалық аспаптарды жасау принциптерін оқып-үйрену үшін қолданылады.

ЛКО-1 көмегімен геометриялық оптика, фотометрия, интерференция, дифракция, поляризация заңдылықтарын зерттейді, сонымен қатар оны пайдаланып өлшеу есептерін шығаруға болады.

Кешеннің ерекшелігі оптиканың барлық бөлімдері бойынша көптеген тәжірибелерді жүргізу мүмкіндігі, тәжірибелердің жылдам, әрі сапалы қойылуы, әр тәжірибедегі терең және жан-жақты зерттеу болып табылады.

ЛКО-1 кешені келесі бөліктерден тұрады:

– Лазер сәулесін реттегіштен, қондырғының оптикалық ось бойымен функционалдық модульдерді орнатып, жылжытуды қамтамасыз ететін оптикалық базадан (негізден), қосымша түйіндермен, электр қоректендіргіштен;

– Лазер шоғын түрлендіруге, сәулені тіркеуге, сәулелер шоғындағы зерттелетін нысандарды орнату және жылжытуға қажетті функционалды модульдер жиынынан;

– Оптикалық құбылыстарды бақылауды және зерттеуді қамтамасыз ететін зерттелетін нысандардың жиынтығынан тұрады.

Тәжірибенің оптикалық сұлбасы 10.5-суретте көрсетілген.

Лазер шоғы Л1 линза (5-модуль) мен О объективі (6-модуль) арқылы Э2 микропроектордың (3-модуль) риск координатасы (650 мм) Л2 линзасының нысандық жазықтығында фокусталған толқынға айналады.

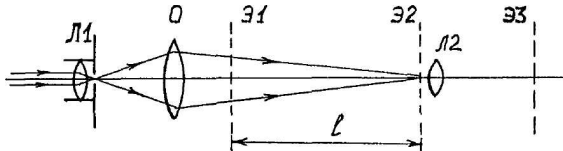
Бұл кезде фотоқабылдағыштың Э3 экранында өлшемі кіші жарық нүкте байқалады.

Зерттелетін нысандар 8-модульдің кассетасына немесе Э1 жазықтығындағы бұрылмалы үстелге (13-модуль) орнатылады.

Э2 жазықтығында дифракциялық көрініс байқалады, оны үлкейтілген түрде Э3 экранынан байқауға болады.

Нысандардың параметрлерін бақылап өлшеу үшін оларды Э2 линзаның нысандық жазықтығындағы кассетаға орналастырады, ал О объективті толқын нысанның барлық бетін жарықтандырғанша жылжытады.

Бұл кезде фотоқабылдағыштың Э3 экранында нысанның үлкейтілген кескіні пайда болады.



10.5-сурет. Тәжірибе қондырғысының оптикалық сұлбасы

10.6. Тәжірибенің орындалу реті және өлшеу нәтижелерін өңдеу

1-жаттығу. Дөңгелек тесіктегі дифракция құбылысын зерттеу. Френель зоналарының санын анықтау

1) Оптикалық орындыққа модульдерді келесі ретпен орналастырыңыз: 2, 5, 6, 8, 3;

2) Э3 экранында фокусталған сәулені алыңыз (жарық нүкте);

3) 6 - және 3-модульдердің арасына 18 - нысаны бар 8-модульді орналастырыңыз (тесіктің диаметрі 1,0 мм);

4) 6- және 8-модульдерді координат осі бойымен жылжыта отырып, экранда дифракциялық көрініс алыңыз;

5) 3-модульді 8-модуль жаққа қарай жылжыта отырып, экраннан дифракциялық көріністің өзгерісін бақылаңыз (минимумдар максимумдармен орын ауыстырады);

6) Интенсивтіктің минимумы ортасында болатын дифракциялық көрініс (ортасында қараңғы дақ) алатындай етіп 3- модульді 8-модульге жақын қашықтыққа орналастырыңыз.

Модульдердің риск орнын $8(x_3)$ және $3(x_8)$ 10.1-ші кестеге енгізіңіз;

7) 3-модульді 8-модульден алыстата жылжыта отырып экрандағы максимумдарды тауып, x_3' мәнін кестеге 10.1-ші енгізіңіз;

8) 6- және 7-пункттерді 3-модульді оптикалық орындық бойымен максималды алыстатқанға дейін орындаңыз;

9) Экраннан саңылауға дейінгі арақашықтықты есептеңіз $L = x_3 - x_8$ және $L' = x_3' - x_8$.

Есептеу нәтижесін 10.1-ші кестеге енгізіңіз.

10) (10.6)-шы формула бойынша 18-нысанның тесігіне сиятын Френель зоналарының m санын есептеңіз.

Есептеу нәтижесін 10.1-кестеге енгізіңіз.

Дифракциялық минимумдардың орны бойынша сәуленің толқын ұзындығын анықтаңыз (10.13) формула).

10.1-кесте

Тіктөртбұрышты тесіктегі интенсивтіктің таралуы

№	Координата М.8, x_8 , см	Координата М.3		L	L'	m Френель зоналарының саны
		min x_3 , см	max x_3' , см			

2-жаттығу. Жазық толқынның дөңгелек тесіктегі дифракциясын зерттеу. Сәуленің толқын ұзындығын анықтау

1) 18-нысанды 19-нысанмен – тесіктің диаметрі 2 мм, ауыстырып, 1-ші жаттығудағы 1-5-ші пункттерді қайталаңыз;

2) Экраннан дифракциялық көріністі бақылаңыз.

Э1 экран мен 8-модульді немесе Э1 жазықтығы байланысқан 3-модульді жылжыта отырып Э1 және Э2 экрандар арасындағы l қашықтықты өзгерту арқылы Э1 экраннан әртүрлі қашықтықтардағы интенсивтіктің өзгерісін бақылаңыз;

3) Ұстағыштағы нысанды қолмен бастапқыда дөрекі түрде, содан кейін ұстағыштың винттері арқылы (8-модуль) дифракциялық көрініс фотоқабылдағыштың шкаласында өлшеуге ыңғайлы орынға келгенше бұраңыз;

4) Фотоқабылдағыштың шкаласы бойынша дифракциялық көріністің өлшемін анықтаңыз;

5) Дифракциялық көріністегі интенсивтіктің таралуын өлшеңіз.

Бұл фотоқабылдағыштың терезесінен кескінді сканирлеу (көшіру) арқылы жүзеге асады;

6) l қашықтығын өзгертіп, Э3 экраннан көріністің өзгерісін бақылаңыз: $m=2,3,4$ және т.б. Френель зоналары ашық жағдайындағы l -дің мәнін анықтаңыз;

7) m -нің $[1/l]$ -ден тәуелділік графигін тұрғызыңыз. Түзудің көлбеумен жасаған бұрышының тангенсі $\operatorname{tg} \alpha = \rho^2 / \lambda$;

8) Микропроектор көмегімен тесіктің диаметрін өлшеңіз.

Біздің жағдай үшін $L = l$ (жазық толқын үшін) екенін ескере отырып (10.13) формула арқылы сәуленің толқын ұзындығын анықтаңыз.

Өлшеу және есептеу нәтижелерін 10.2-кестеге енгізіңіз.

Толқын ұзындықты анықтаудағы есептеу қателігін анықтаңыз.

10.2-кесте

Сәуленің толқын ұзындығын анықтау

№	Оптикалық орындықтағы белгі, см	Максимум немесе минимум	Саңылаудан экранға дейінгі арқашықтық l , см	Френель зоналарының саны, m	Сәуленің толқын ұзындығы, λ , мкм

Бақылау сұрақтары

1. Дифракция құбылысы.
2. Дифракциялық сипаттамалары, дифракция бұрышы мен ұзындығы.
3. Гюйгенс-Френель принципі.
4. Френель зоналарының тұрғызылуы.
5. Фраунгофер дифракциясының Френель дифракциясынан айырмашылығы.

№ 11 ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС ТІК ТӨРТБҰРЫШТЫ, ДӨҢГЕЛЕК ТЕСІКТЕРДЕГІ, САҢЫЛАУДАҒЫ ЖӘНЕ ЭКРАННЫҢ ШЕТІНДЕГІ ФРАУНГОФЕР ДИФРАКЦИЯСЫН ЗЕРТТЕУ

Жұмыстың мақсаты. Тоғысатын толқындардың тік төртбұрышты, дөңгелек тесіктердегі және саңылаудағы Фраунгофер дифракциясын зерттеу.

Қажетті құрал-жабдықтар:

ЛКО-1 оптикалық зертханалық кешені,

3-модуль – сканерлеу түйіні бар микропроектор (линза $f = +15$ мм),

5-ші модуль – шкаласы бар экраннан тұратын конденсор (линза $f = +12$ мм), 6-модуль – объектив ($f = +100$ мм),

8-модуль – екікоординатты ұстағышқа бекітілген кассета, 13-модуль – бұрылмалы үстел, нысандар:

№18 – дөңгелек тесік (1,0 мм),

№19 – дөңгелек тесік (2,0 мм),

№21 – тіктөртбұрышты тесік (1 x 2 мм).

11.1 Теориялық кіріспе

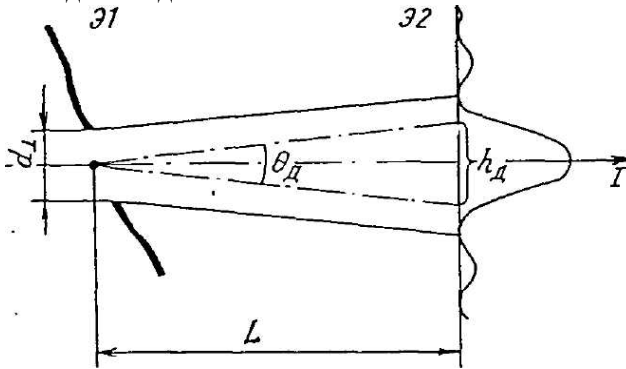
Егер жарықтың толқын ұзындығын шексіз аз шама деп қарастыратын болсақ, геометриялық оптика заңдары орындалады.

Бұл шарт орындалмаған жағдайда, геометриялық оптика заңдарынан ауытқу байқалып, дифракция құбылысы орын алады.

Геометриялық оптика заңдарына сәйкес, мөлдір емес экранның шетінен, жарықталынған аумақтардан айқын

шектелген, экран шетінің пішініне сәйкес көлеңке аумағы (геометриялық көлеңке) болуы тиіс.

Бірақ дифракция құбылысы салдарынан оның орнына дифракциялық көрініс деп аталатын интенсивтіктің күрделі таралуы пайда болады.



11.1-сурет. Тесіктен кейінгі интенсивтіктің таралуы

Дифракция бұрышы. Айталық, жазық монохромат толқынның Э1 экрандағы тесік арқылы өткенде бөлініп алынған шоғының ізі (11.1-сурет) Э2 экранда байқалсын делік.

Тесіктің өлшемін кішірейте отырып бастапқы кезде шоқтың ізі тесіктің өлшеміне сәйкес кішірейетінін байқаймыз, бірақ кейін шок үлкейе бастайды да шашырап кетеді.

Жарық шоғының бұрыштық ені (θ_d – дифракция бұрышы) толқынның таралу бағытына перпендикуляр жазықтықтағы шоқтың d өлшемімен оның толқын ұзындығы λ арасындағы қатынас арқылы анықталады:

$$\theta_d \sim \lambda/d. \quad (11.1)$$

(11.1) қатынас дифракциялық әсерлердің ретін бағалауға мүмкіндік береді.

Оның мағынасы, толқынның кез-келген кеңістік бойынша шектелуі (11.1) қатынасқа сәйкес олардың шашырайтындығын көрсетеді.

Егер тесігі бар Э1 экранның орнына өлшемі d болатын бөгет (кедергі) қойылса, онда дифракциялық шоқ жабылмаған «түзу» шоқтың фонында байқалады.

Дифракция ұзындығы. Дифракциялық шашырау салдарынан Э2 экрандағы жарықталынған аумақтың өлшемі жарық шоғынының бастапқы d өлшемінен үлкен болады.

Қосымша дифракциялық кеңею

$$h_d = L\theta_d. \quad (11.2)$$

Егер $h_d \ll d$ шарты орындалса, яғни дақтың өлшемін d -ға тең деп алсақ, онда интенсивтіктің таралуы геометриялық оптика заңдарымен анықталады.

Дифракциялық кеңеюдің шоқтың бастапқы өлшеміне тең болатын L_d арақашықтығын **дифракция ұзындығы** деп атайды.

$L_d \theta_d \sim d$ шартынан

$$L_d \sim d^2/\lambda \quad (11.3)$$

екендігі шығады.

Егер әртүрлі түрде жазылған мына шарт:

$$L \ll L_d; \quad \lambda \ll d^2/L; \quad d \gg \sqrt{\lambda L} \quad (11.4)$$

орындалса, онда геометриялық оптика заңдары орындалады. Ал егерде

$$L \geq L_d; \quad \lambda \geq d^2/L; \quad d \leq \sqrt{\lambda L} \quad (11.5)$$

шарттары орындалса, онда дифракция құбылысы орын алады.

$L \gg L_d$ болған кезде дақтың өлшемі $h_d \gg d$ болады да, интенсивтіктің таралуы толығымен дифракция құбылысымен анықталады.

Дифракциялық көріністегі интенсивтіктің таралу сипаты L_d дифракция ұзындығының экраннан бақылау жазықтығына дейінгі L арақашықтығының қатынасына (яғни дифракцияның өлшемсіз параметрі – m -ға) тәуелді болады:

$$m = L_d/L = d^2/\lambda\lambda . \quad (11.6)$$

Френель және Фраунгофер дифракциясы

Жарық дифракцияланатын бөгет жарық көзінен (көбінесе нүктелік) ($L \sim L_d$) шекті арақашықтықта орналасса, онда экранда Френель дифракциясы байқалады. Бөгетке сфералық толқындар немесе шашаыранды жарық сәулелері түседі (келеді).

Экраннан кейінгі бақылау нүктесінде Френель дифракциясы орын алады.

Ал егер $L \gg L_d$ болса, онда **Э2** экранындағы интенсивтіктің таралуы және оның шамасын анықтау жеңілдейді.

Э1 экраннан шыққан сәулелер өзара параллель болады да, **Э2** экранның кез-келген бір **P** нүктесіне жазық толқын болып жетеді.

Мұндай дифракция түрін Фраунгофер дифракциясы деп атайды (параллель сәулелер дифракциясы немесе жазық толқындар дифракциясы).

Э1 экраннан кейінгі аймақта төмендегі шарттар орындалған кезде келесі құбылыстарды байқауға болады:

1) $L \ll L_d$; $m \gg 1$ – бұл аймақта геометриялық оптика заңдары орындалады;

2) ($L \sim L_d$; $m \sim 1$ – бұл жағдайда Френель дифракциясы байқалады (дифракцияның жақын зонасы);

3) $L \gg L_d$; $m \leq 1$ – бұл кезде Фраунгофер дифракциясы орын алады (дифракцияның алыс зонасы).

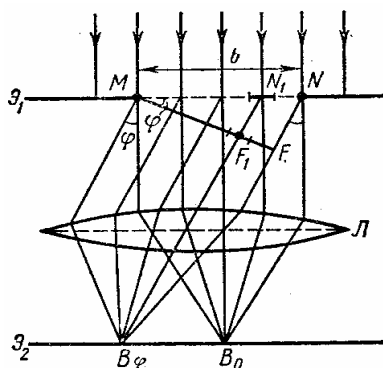
11.2. Саңылаудан пайда болатын Фраунгофер дифракциясы

Жазық монохромат жарық толқыны ені – b саңылаудан өткен кезде пайда болатын дифракция құбылысын қарастырайық.

Толқын ұзындығы λ жарық толқыны саңылау жазықтығына нормаль бағытта түссін делік.

Параллель жарық шоғы мөлдір емес Э1 экрандағы саңылау арқылы өткеннен кейін сәулелердің бастапқы түскен бағытынан оңға және солға әртүрлі бұрыштармен дифракцияланады (11.2-сурет), ал линза дифракцияланған сәулелердің параллель шоқтарын өзінің фокустық жазықтығында орналасқан Э2 экранның сәйкесінше нүктелеріне жинақтайды.

Дифракцияланбаған сәулелер B_0 нүктесіне жиналады, ал сол жаққа φ бұрышқа дифракцияланған сәулелер B_φ нүктесіне жиналады.



11.2-сурет. Саңылаудан пайда болатын дифракцияны бақылау сұлбасы

Параллель жарық шоғы саңылау жазықтығына нормаль бағытта түскендіктен толқын шебі саңылау жазықтығымен бірігеді, яғни толқын шебінің барлық нүктелері саңылау жазықтығында бірдей фазада тербеледі.

Саңылау жазықтығындағы толқынның шебін саңылау шеттеріне параллель ендері бірдей болатын жолақтарға бөлейік.

Әрбір жолақ өз ретінде екінші ретті жарық көзі болып табылады.

Жолақтар бірдей болғандықтан саңылау жазықтығындағы толқындардың амплитудалары да бірдей болады.

Дифракция есебін графиктік және аналитикалық екі әдіс арқылы шешуге болады.

Графиктік әдіс

Әрбір жолақтың амплитудасын тең ұзындықтағы векторлармен кескіндеп, амплитудаларды қосудың графиктік әдісін қолдана отырып қорытқы амплитуданы табамыз.

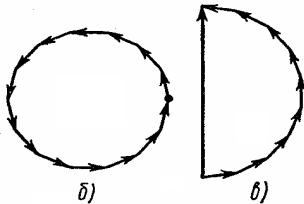
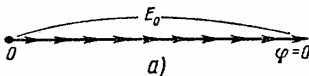
Дифракцияның әртүрлі φ бұрыштарындағы нәтиже 11.3-суретте келтірілген.

11.3, а-суреттен көрініп тұрғандай, $\varphi = 0$ кезінде амплитуда E_0 максималды болады.

Шеткі жолақтар фазасы бойынша π -ге өзгереді (яғни шеткі сәулелер арасындағы NF жол айырымы $\lambda / 2$ -ге тең) бағытта қорытқы амплитуда $E_\varphi = 2E_0 / \pi$.

Шындығында да, 11.3, б, в-суреттердегі диаграммалардан көрініп тұрғандай, бұл жағдайда қорытқы амплитуда E_0 жартылай шеңбердің диаметріне тең, яғни $E_0 = \pi E_\varphi / 2$.

Ал шеткі сәулелер арасындағы FN жол айырымы λ -ға тең болса, яғни шеткі жолақтардың фазалары, шеңбер тұйықталғандықтан 2π -ге өзгерсе, қорытқы амплитуда 0-ге айналады.



Бұл бағыт $\varphi = \arcsin \frac{\lambda}{2}$ түрінде

анықталады. Шеткі сәулелер арасындағы жол айырымдары λ , 2λ , 3λ , 4λ және т.с.с. болған жағдайлардың барлығында амплитуда 0-ге тең болады.

Дәл сол сияқты, $NF = 0$, $\lambda/2$, $3\lambda/2$, $5\lambda/2$ және т.с.с. болғанда интенсивтіктердің максимумдары байқалады, сонымен қатар, олардың интенсивтіктері дифракция бұрышы артқан сайын кемиді.

11.3-сурет. Интенсивтікті есептеудің графиктік әдісі

Аналитикалық әдіс.

Элементар жолақтың енін dx деп белгілейік (11.2-сурет).

Саңылау жазықтығындағы әрбір жолақтан туған ұйытқулар $dE_0 = c dx \cos \omega t$ теңдеуімен өрнектеледі, мұндағы c – тұрақты шама.

Егер саңылаудың тұтас еніне сәйкес келетін түскен толқын амплитудасын E_0 деп белгілесек, онда $E_0 = \int_0^b c dx = cb$

шығатындығы анық, онда $c = E_0/b$. Бұдан

$$dE_0 = E_0/b dx \cos \omega t \quad (11.7)$$

екендігі шығады.

φ дифракция бұрышы арқылы анықталатын бақылау экранының кез-келген нүктесіндегі қорытқы амплитуданы табу үшін осы нүктеге келетін барлық тербелістердің фазаларының таралуын білу қажет.

B_φ нүктесіндегі фазалар таралуы саңылау жазықтығымен φ бұрыш жасайтын MF жазықтығындағыдай болады.

MN саңылауының сол жақ шетінде M нүктесінен x арақашықтықта орналасқан элементар жолақты қарастырайық.

φ бұрышына дифракцияланған сәулелер үшін, бұл жолақтың ортаңғы нүктесі MF жазықтығындағы M нүктесінен x арақашықтықта орналасқан ені dx кез келген жолақ тудырған ұйытқу келесі теңдеумен өрнектеледі:

$$dE = \frac{E_0}{b} dx \cos(\omega x - kN_1 F_1), \quad (11.8)$$

мұндағы $N_1 F_1 = x \sin \varphi$. (11.8) өрнекті саңылаудың тұтас ені бойынша 0-ден b -ға дейін интегралдай отырып келесі өрнекті аламыз:

$$E = \int_0^b dE = \int_0^b \frac{E_0}{b} \cos(\omega t - kx \sin \varphi) dx = E_0 \frac{\sin\left(\frac{kb}{2} \sin \varphi\right)}{\frac{kb}{2} \sin \varphi} \cos\left(\omega t - \frac{kb}{2} \sin \varphi\right) \quad (11.9)$$

(11.9) формула амплитудасы

$$E_\varphi = E_0 \frac{\sin\left(\frac{kb}{2} \sin \varphi\right)}{\frac{kb}{2} \sin \varphi} = E_0 \frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi\right)}{\frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi} \quad (11.10)$$

B_φ нүктесіндегі қорытқы ұйытқу өрнегі.

Интенсивтік амплитуданың квадратына тура пропорционал болғандықтан, бақылау экранындағы интенсивтіктің таралуының дифракция бұрышына тәуелділігі келесі түрде болады:

$$I_\varphi = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin\varphi\right)}{\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin\varphi\right)^2}, \quad (11.11)$$

яғни, экрандағы жарықталыну интенсивтіктің максималды және минималды мәндерін қабылдап өзгеріп отырады.

Мұндағы I_0 – тұтас саңылаудан $\varphi = 0$ бағытта келетін жарық интенсивтігі.

(11.11) формуладан саңылау үшін дифракциялық минимум шарты шығады.

Төмендегі шарт орындалғанда

$$\frac{\pi b}{\lambda} \sin\varphi = k\pi \quad \text{немесе} \quad b \sin\varphi = k\lambda \quad (11.12)$$

мұндағы $k = 1, 2, 3, \dots$ болғанда амплитуда нөлге айналады.

Бұл нәтиже графиктік әдіспен алынған нәтижемен сәйкес келеді.

Ары қарай, экранның сәйкес нүктелерінде максималды жарықталыну байқалатын дифракция бұрышын анықтаймыз, яғни интенсивтіктің максимум шартын анықтайық. (11.11) функция $\delta = 0; 1,43\pi, 2,46\pi, 3,47\pi, 4,47\pi$ және т.с.с.

$$\delta = \frac{\pi b}{\lambda} \sin\varphi. \quad (11.13)$$

Егер $\delta = (2k+1)\frac{\pi}{2}$ немесе $b \sin\varphi = (2k+1)\lambda / 2$, ал $k = 1, 2, 3, \dots$

онда дифракциялық максимум байқалады, мұндағы k – дифракциялық максимумдар реті. (11.10) және (11.11) өрнектеріне сәйкес дифракция бұрышына байланысты амплитуда мен интенсивтіктің таралуы (үзік сызықтар) 11.2-суретте келтірілген.

Есептеулер нәтижесі көрсеткендей, интенсивтіктің бас және келесі максимумдары $1 : 0,047 : 0,008 : 0,005 \dots$, қатыста болады.

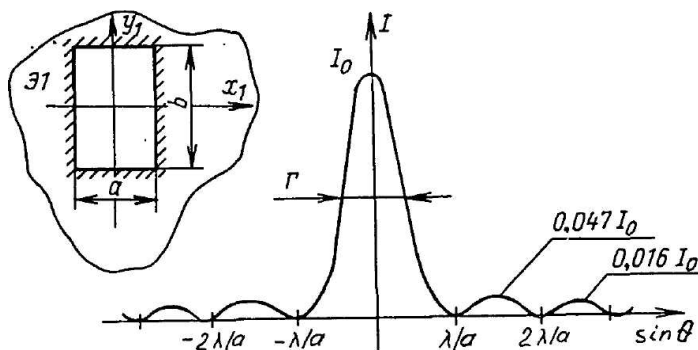
Яғни жарық энергиясының басым бөлігі орталық максимумда шоғырланады.

11.3. Тіктөртбұрышты тесіктегі дифракция құбылысы

Тіктөртбұрышты тесіктен пайда болатын дифракциялық көріністі бірінің ені – a , екіншісінікі – b өзара перпендикуляр саңылаулардан пайда болатын дифракциялық көрініс ретінде қарастыруға болады.

Сондықтан тіктөртбұрышты тесіктен пайда болатын дифракциялық көрініс өлшемі a болатын x_1 осі және өлшемі b болатын y_1 осі бойларындағы бір-біріне қатысты тік орналасқан максимумдерден тұрады (11.4-сурет).

Саңылаудың үлкен жағына максимумдардың кіші ені сәйкес келеді.



11.4-сурет. Тіктөртбұрышты тесіктен пайда болатын дифракциялық көрініс

(11.11) формулаға сәйкес x_2 осі бойындағы интенсивтіктердің таралуы келесі өрнектермен анықталады:

$$I(\theta) = I_0 \sin^2 \gamma / \gamma^2; \quad \gamma = (\pi a / \lambda) \sin \theta \varphi. \quad (11.14)$$

Минимумдар шарты $I(\theta) = 0$

$$a \sin \theta = m\lambda \quad m = \pm 1, \pm 2, \dots \quad (11.15)$$

θ бұрышы өте кіші кезде, бұл шарт $\Delta x = \lambda L/d$ өрнегімен бірдей болады.

y_2 осі бойынша таралу x_2 осі бойынша таралуға ұқсас болады, тек a -ның өлшемін b -ға ауыстыру керек.

Саңылаудағы дифракция кезінде ($a < b$) көрініс саңылауға перпендикуляр бағытта созылған (x_2 осі бойынша) болады, ал саңылауға параллель (y_2 осі бойынша) оның өлшемі кіші болады.

Интенсивтіктің таралуы (11.14) өрнекпен анықталады.

11.4. Дөңгелек тесіктегі дифракция құбылысы

Бұл дифракция түрімен өмірде жиі кездесеміз, себебі линза пішіндері (оправалары) және оптикалық приборлардағы диафрагмалардың пішіндері дөңгелек болып келеді.

Айталық, саңылау диаметрі d болсын, осы кезде Э1 экранға нормаль түскен толқынның дифракциялық көрінісі саңылау осіне қатысты симметриялы болып келеді (11.5, а-сурет).

Интенсивтіктің таралуы 11.5, б-суретте келтірілген.

Бірінші және келесі екі қараңғы сақиналардың радиустары былай анықталады:

$$R_1 = 0,610 \lambda_1 / \rho; \quad R_1 = 1,116 \lambda_1 / \rho; \quad R_1 = 1,619 \lambda_1 / \rho \quad (11.16)$$

мұндағы ρ – тесіктің радиусы.

Бірінші орналасқан үш қараңғы сақиналардың бұрыштық радиустары келесі түрде анықталады:

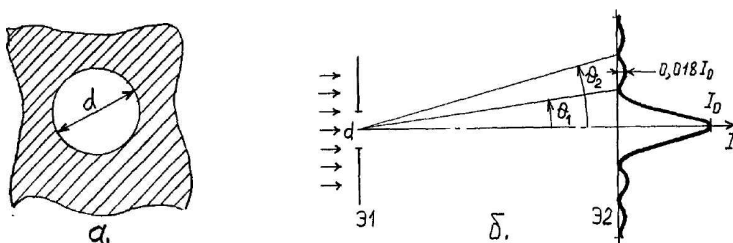
$$\theta_1 = 1,22 \lambda / d; \quad \theta_2 = 2,23 \lambda / d; \quad \theta_3 = 3,24 \lambda / d. \quad (11.17)$$

Егер L арақашықтық (11.6-сурет) дифракция ұзындығымен шамалас болса ($L \sim L_d$) болса, онда талдауға анағұрлым күрделі дифракция түрі Френель дифракциясын байқаймыз.

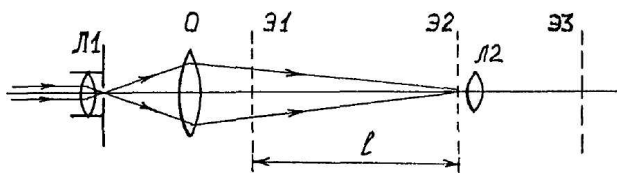
Ал егер $L \gg L_d$ болса, онда Э2 экранындағы интенсивтіктің таралуын және оның шамасын анықтау жеңілдейді.

Э1 экраннан шыққан сәулелер өзара параллель болады да, Э2 экранның кез-келген бір Р нүктесіне жазық толқын болып жетеді.

Мұндай дифракция түрін Фраунгофер дифракциясы деп атайды (параллель сәулелер дифракциясы немесе жазық толқындар дифракциясы).



11.5-сурет. Дөңгелек тесіктегі интенсивтіктің таралуы



11.6-сурет. Тәжірибе қондырғысының оптикалық сұлбасы

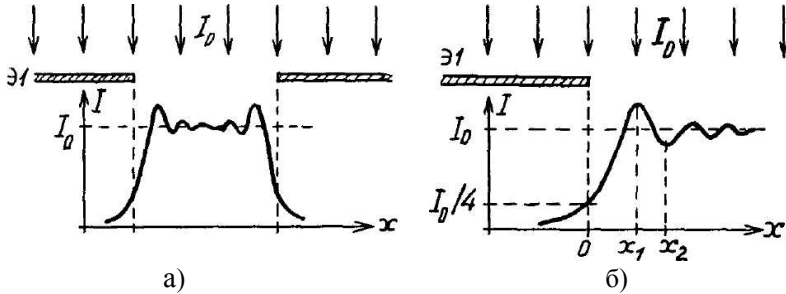
Э1 экраннан кейінгі аумақты үш бөлікке бөлуге болады:

- 1) $L \ll L_d$; $m \gg 1$ – геометриялық оптика аумағы;
- 2) $L \sim L_d$; $m \sim 1$ – Френель дифракциясы (дифракцияның жақын зонасы);
- 3) $L \gg L_d$; $m \leq 1$ – Фраунгофер дифракциясы (дифракцияның алыс зонасы).

11.5. Экран шетіндегі жарық дифракциясы

(11.5) шарт орындалған кезде, геометриялық оптика заңдарынан ауытқу – геометриялық көлеңкенің шеткі жағында «жарық аумағында» интенсивтіктің өзгеруімен (шетіне

параллель қараңғы және жарық жолақтар көрінеді) және «көлеңке аумағында» интенсивтіктің баяу түрде кемуімен байқалады (11.7-сурет).



11.7-сурет. Экран шетіне жақын жақтағы интенсивтіктің таралуы

Өтпелі аумақтағы h_d өлшемін бағалау үшін – қарама-қарсы экрандардың шеттерінен пайда болатын дифракциялық көріністер қабаттасып кеткенше экрандардың шеттерін жақындатамыз.

$h_d \sim d$ болғанда олар толығымен қабаттасады (d – бөгеттің өлшемі).

Дифракциялық құбылыс барлық жарықталынған аумақта байқалады.

Бұл (11.1) мен (11.2) өрнектерге сәйкес $d \sim \sqrt{\lambda L}$ кезінде байқалады, сәйкесінше

$$h_d \approx \sqrt{\lambda L}. \quad (11.8)$$

Жоғарыда айтылғандардан дифракциялық көріністі сипаттайтын нүктелердің (максимумдар мен минимумдардың) орнын $\sqrt{\lambda L}$ бірлігінде, ал сәйкесінше интенсивтіктерді – түскен толқын интенсивтіктері I_0 бірлігінде белгілеу ыңғайлы екендігі көрінеді.

Экран шетіндегі интенсивтік $I = I_0/4$.

Максимал интенсивтік $I_1 = 1,4I_0$ геометриялық көлеңке шетінен $x_1 = 0,9 \sqrt{\lambda L}$ қашықтықта байқалады.

Минимал интенсивтік $I_2 = 0,8I_0$ $x_2 = 1,3 \sqrt{\lambda L}$ қашықтықта байқалады.

11.6. Тәжірибе қондырғысы

«Оптика» (ЛКО-1) зертханалық кешені оптиканың негізгі заңдарын тәжірибе жүзінде зерттеуге, оптикалық құбылыстарды бақылап және зерттеу үшін, оптикалық аспаптарды құру (жасау) принциптерін оқып-үйрену үшін қолданылады.

ЛКО-1 көмегімен геометриялық оптика, фотометрия, интерференция, дифракция, поляризация заңдылықтарын зерттейді, сонымен қатар оны пайдаланып өлшеу есептерін шығаруға болады.

Кешеннің ерекшелігі оптиканың барлық бөлімдері бойынша көптеген тәжірибелерді жүргізу мүмкіндігі, тәжірибелердің жылдам, әрі сапалы қойылуы, әр тәжірибедегі терең және жан-жақты зерттеу болып табылады.

ЛКО-1 кешені келесі бөліктерден тұрады:

- Лазер сәулесін реттеуді, қондырғының оптикалық осі бойымен функционалдық модульдерді орнатып, жылжытуды қамтамасыз ететін оптикалық базадан (негізден) және қосымша түйіндермен, электр қоректендіргіштен;

- Лазер шоғын түрлендіруге, сәулені тіркеуге, сәулелер шоғындағы зерттелетін нысандарды орнату және жылжытуға қажетті функционалды модулдер жиынтығынан;

- Оптикалық құбылыстарды бақылауды және зерттеуді қамтамасыз ететін зерттелетін нысандардың жиынынан тұрады.

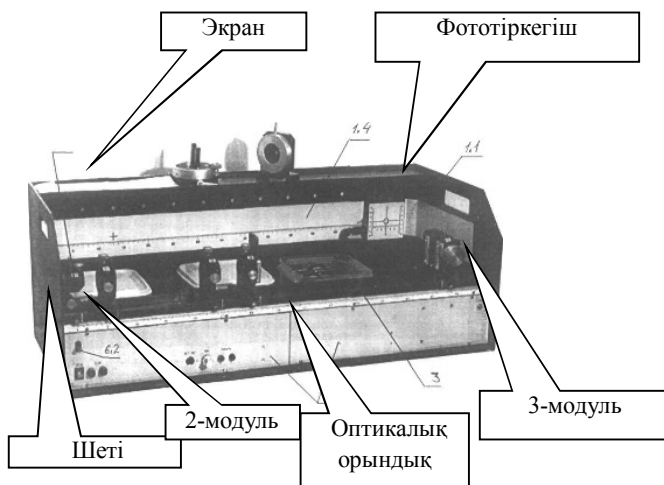
ЛКО-1 «Оптика» қондырғысының жалпы түрі 11.8-суретте келтірілген.

Қондырғы қаркасы екі шетінен оптикалық орындықпен тартылған плита-табанынан және артқы қабырғадан тұрады.

Қаркастың ішіне нысандары бар қорапша орналастырылады. Оптикалық орындық бөлік құны 2 мм шкаласы бар екі рельстен тұрады.

Қондырғының оптикалық осі рельстің жоғарғы жақ шетінен 45 мм биіктікте оптикалық орындыққа қатысты симметриялы орналасқан.

Рельстердегі рейтерге жоғарғы айна (2-модуль) орналастырылады. Каркастың оң жақ шетінде жермен қосатын клемма орнатылған.

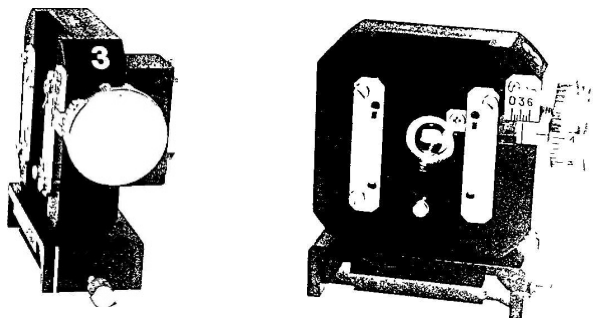


11.8-сурет. ЛКО-1 зертханалық кешені

Лазер оптикалық орындық астына орнатылған. Лазер сәулесі оптикалық оське 1-модуль айнасымен (11.8-суретте панельмен жабылған) және 2-модуль көмегімен шығарылады.

3-модуль шашыратқышы көмегімен зерттелетін сәуле каркастың артқы қабырғасында орналасқан экранға бағытталады.

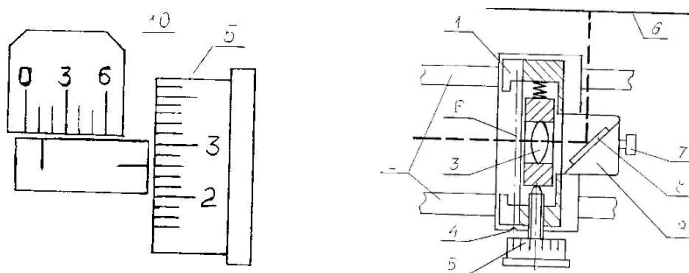
3-модуль (11.9-сурет, микропроектор) зерттелетін нысандарды және экрандағы кіші масштабтағы интенсивтіктердің таралуын, сонымен қатар нысандардың өлшемдерін және интенсивтіктердің таралуын өлшеуге арналған.



11.9-сурет. 3-ші модуль – микропроектор

11.10-суретте оптикалық орындыққа (2) орнатылған 3-модуль жоғарғы жағынан көрсетілген.

Кассетаның (1) нысандық F жазықтығында орналасқан нысандар немесе интенсивтіктердің таралуы (3) линза арқылы (6) экранда кескінделеді.



11.10-сурет. Микропроектордың сұлбасы

Шкаламен жұмыс істеу (санақ басы 1,26 бөліктен басталады).

Шоқтың бұрылуы 9 кронштейнге бекітілген 8 айнаның шағылдыруымен жүзеге асады, 4 белгі (риск) F нысандық жазықтықтың орнын көрсетеді.

Линза оправасы (пішіні) 5 санақты барабанның винты көмегімен жылжиды, бұл кезде нысанның кескіні 6 экран бойымен жылжиды.

Кескінді фотодатчиктің терезесі бойымен жылжыта отырып кескіндегі интенсивтіктің таралуын өлшеуге болады.

Бұл үшін модульдің корпусындағы 10 шкаласымен (бүтін бөліктер) және санақты барабанның шкаласы (ондық және жүздік бөліктер) арқылы шкала бөліктерінен кескіннің қажетті нүктелерін анықтайды.

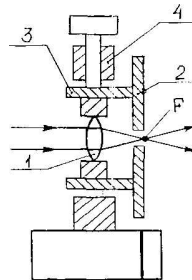
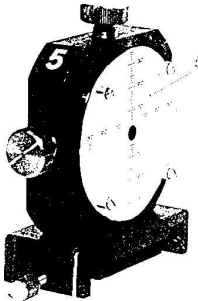
Санақты түсіру 11.10-суретте көрсетілген. Бөлік құнын калибрлік тор көмегімен (жуықтап алғанда 1 мм) анықтайды.

Екі 7 винтты бұрап алу арқылы айнасы бар 9 кронштейнді алып тастап, түзу шоқ жағдайында бақылауға болады.

5-ші модуль (конденсор, 11.11-сурет) қысқа фокусты линзадан 1, екі координатты ұстағышқа 4 (обойма арқылы) бекітілген линзаның фокустық жазықтығында орналасқан экраннан 2 тұрады.

Экранға екі координатты шкала 5 салынған.

Лазер сәулесінің шоғы линзаның F фокусында жиналып, экранның жазықтығында «нүктелік жарық көзін» қалыптастырады.



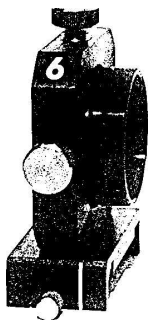
11.11-сурет. 5-модуль – конденсор

6-модуль (объектив, 11.12-сурет) екі координатты ұстағышқа бекітілген фокустық арақашықтығы $f \sim 120$ мм болатын жұқа линзадан тұрады.

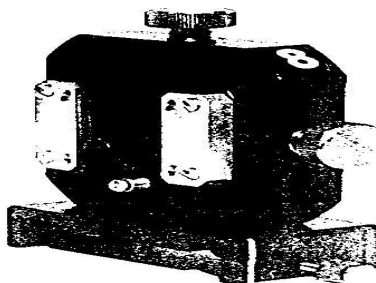
Арналуы: жарық шоқтарын қалыптастыру (5-модульмен бірге) және геометриялық оптика бойынша тәжірибе жүргізу.

8-модуль (11.13-сурет) зерттелетін нысандары бар экрандарды орнатуға арналған кассеталардан тұрады.

Модульды таңдау тәжірибе барысында нысанды жылжыту арқылы анықталады.



11.12-сурет. 6-модуль
6 – объектив

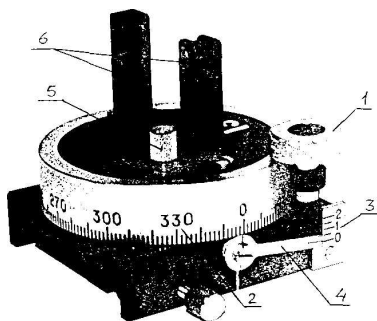


11.13-сурет. 8-модуль –
экрандарды орналастыруға
арналған кассета

13-модульдің (бұрылмалы үстел, 11.14-сурет) вериткаль ось бойымен бұратын нысандарды орнату үшін, сонымен қатар бұрылу бұрыштарын және бұрылу координаттарын санау қолданады.

Үстелді бұру 1 тұтқаның көмегімен, ал бұрыштық координаттарды санау негізгі 2 шкала (бөлік құны 2°) және 3 нониус (бөлік құны $0,5^\circ$) арқылы жүргізіледі.

Рычагты (иінді) 4 оның вертикаль белгісі (риск) негізгі шкаланың бір бөлігіне сәйкес келгенше бұрады да негізгі шкала бойынша бұрылу бұрышын өлшейді.



11.14-сурет. 13-модуль –
бұрылмалы үстел

Оған нониус бойынша алынған санақты қосады.

5 винт нысан ұстағыштары бар үстелдің платформасының еңкеюін реттейді.

Қажетті тәжірибені жүргізу үшін оптикалық сұлбаны жинау зерттелетін нысандарды кассеталарға орналастыру мен функциональды модульдерді оптикалық орындыққа орнату болып табылады.

Тәжірибе сұлбасы 11.6-суретте келтірілген.

Лазер сәулесінің шоғы Л1 (5-модуль) линза және О объективі (6-модуль) арқылы микропроектордың Л2 линзасының (координаттық riskі 650 мм 3-модуль) Э2 нысандық жазықтығында фокусталған (жинақталған) толқынға айналады.

Осы кезде фотоқабылдағыштың Э3 экранында өлшемі кіші айқын нүкте көрінеді.

Зерттелетін нысандар 8-модульдің кассетасына немесе Э1 жазықтығындағы бұрылмалы үстелге (13-модуль) орналастырылады.

Э2 жазықтығында пайда болған дифракциялық көрініс үлкейтілген түрде Э3 экранда бақыланады.

Нысандарды бақылап және параметрлерін өлшеу үшін оларды линзаның Э2 нысандық жазықтығындағы кассетаға орналастырылады, ал О объективті толқын нысанның барлық бетін жарықтандырғанша жылжытады.

Осы кезде фотоқабылдағыштың Э3 экранында нысанның үлкейтілген кескіні пайда болады.

11.7. Тәжірибенің орындалу реті және өлшеу нәтижелерін өңдеу

1-жаттығу. *Тіктөртбұрышты тесіктегі жазық толқынның дифракциясын зерттеу*

1) Оптикалық орындыққа модульдерді келесі ретпен тізбектей орналастырыңыз 2, 5, 6, 8, 3;

2) Э3 экранда фокусталған сәуле алыңыз (жарқыраған нүкте);

3) 6- және 3-модульдердің арасына 21-нысаны бар (1x2мм тіктөртбұрышты тесік) 8-модульді орналастырыңыз;

4) 6- және 8-модульдерді жылжыта отырып ось координаттары бойындағы экранда дифракциялық «крест» алыңыз; (11.1-кесте).

5) Бірнеше минимумдардың координаттарын (крестің әр «сәулесінен» 4-5-тен) өлшеңіз. (11.15)-пен салыстырыңыз;

6) 2-нысанды 8-модульге орнатыңыз (қозғалмалы саңылау). Саңылаудың енін экрандағы дифракциялық максимумдардың өлшемі 5-10 мм болатындай етіп таңдап алыңыз;

7) Дифракциялық көріністегі интенсивтіктің таралуын 0,05 мм кадам сайын өлшеңіз. Өлшеу нәтижелерін 11.1-кестеге енгізіңіз;

8) Интенсивтіктің арақашықтыққа тәуелділік графигін тұрғызыңыз;

9) Өлшенген орталық және қосымша максимумдерді 11.4-суретте көрсетілген максимумдармен салыстырыңыз ;

10) Дифракциялық минимумдардың орны бойынша сәуленің толқын ұзындығын анықтаңыз (11.15) формула).

11.1-кесте

Тіктөртбұрышты тесіктегі интенсивтіктің таралуы

№	Арақашықтық, l мм	Интенсивтік	
		Х осі бойынша	У осі бойынша
	0		
	0.05		
	0.1		
	0,15		

2-жаттығу. Дөңгелек тесіктегі дифракцияны зерттеу

1) 1-жаттығудың 3-ші пунктіндегі №21-ші модульді №18-ші модульмен (1.0 мм) ауыстырыңыз;

2) Дифракциялық көріністің симметрия осі бойындағы интенсивтіктің таралуын өлшеңіз. Өлшеу нәтижесін 11.2-кестеге енгізіңіз;

3) Нәтижені 11.5-суретте келтірілген мәндермен салыстырыңыз.

Жарықтың Э1 экранның қараңғы бөліктері арқылы өтуі нәтижесінде (егер нысандар фотографиялық әдіспен қалыптасқан болса) дифракциялық көріністің ортасында айқын максимум байқалуы мүмкін.

Фотоәдіспен дайындалған саңылаудағы дифракция кезінде де тура осындай максимум байқалады, ал қозғалмалы саңылау кезіндегі дифракция кезінде ол жоқ.

4) Максимумдардың пайда болуын түсіндіріңіз;

5) 19-нысанды — дөңгелек тесік (2,0 мм) орнатып, 1, 2, 3, 4-ші пункттерді қайталаңыз.

3-жаттығу. Өзектің диаметрін өлшеу

1) 8-модуль кассетасына диаметрі 0,5-2 мм сымның кесіндісін орналастырып N:45 бос экранға қысып, бірден объективтен кейін Э1 жазықтыққа орнатыңыз;

2) 6- және 8-модульдерді координаттық осьтер бойымен жылжыта отырып, экранда дифракциялық дифракциялық «крест» алыңыз;

3) Э3 экранындағы кресттің әр «сәулесінен» 4-5 минимумнан бірнеше минимумның координаттарын өлшеңіз және Э2 жазықтығындағы Δx арақашықтықты анықтаңыз.

Өлшеу нәтижелерін 11.1-кестедегідей кестеге енгізіңіз;

4) (11.5) формуланы қолдана отырып, сымның диаметрін анықтаңыз. Нәтижені микрометр көмегімен тексеріңіз;

5) Өлшеудің қандай түрі аз қателік беретіндігін анықтаңыз. Тапсырманы орындағаннан кейін экранды нысаннан босатыңыз.

11.2-кесте

Дөңгелек тесіктегі интенсивтіктің таралуы

№	Арақашықтық, l мм	Интенсивтік
	0	
	0.05	
	0.1	
	0,15	
	...	

4-жаттығу. Лазер сәулесінің экран шетіндегі дифракциясын зерттеу

1) Қондырғыны юстирлеңіз.

Үлкейтілген жарық шоғыны кескінінің қимасының ортасын фотокабылдағыштың шкаласының ортасымен (центрімен) сәйкестендіріңіз;

2) Л1 линзаны (5-модуль) 6 см белгіге орнатыңыз және О объективті (6-модуль) 18 см белгіге орнатыңыз.

Тәжірибе сұлбасы 11.6-суретте көрсетілген.

3) Л1 линзадан кейін параллель шоқ пайда болады. Бұл жағдайда жазық шепті толқын таралады.

Оны оптикалық орындық бойымен қағаздың парағын жылжыта отырып тексеруге болады: парактағы шоқ ізінің өлшемі өзгермеуі керек;

4) Микропроектордың (3-модуль) Л2 линзасы көмегімен алынған дифракциялық көрініс Э3 фотоқабылдағыштың экранында 20 есе үлкейтіліп кескінделеді;

5) Тәжірибені бастамас бұрын Э1 экран болмаған кезде қондырғыны юстирлеуді ұмытпаңыз.

Үлкейтілген жарық шоғы қимасы кескінінің ортасын фотоқабылдағыштың шкаласы ортасымен сәйкестендіріңіз;

6) Оптикалық орындыққа 8-модульді орнатыңыз, Э1 экран ретінде 21-нысаны бар (тіктөртбұрышты тесік) жартылай экранды қойыңыз.

Бұл экранның шеті дифракциялық көрініс тудырады.

Оны фотоқабылдағыштың Э3 экранында бақылаңыз.

7) Фотоқабылдағышты 67 см белгіге орналастырыңыз.

Нысанның шетін вертикаль орналастырыңыз.

Ұстағыштағы нысанды дөрекі түрде қолмен, одан кейін ұстағыштың винттері көмегімен бұрай отырып, дифракциялық көріністі фотоқабылдағыштың шкаласында өлшеуге ыңғайлы орынға жылжытыңыз;

8) Фотоқабылдағыштың шкаласы бойынша дифракциялық көріністің сипаттамалық өлшемдерін бағалаңыз;

9) Фотоқабылдағыштың саңылауы (терезесі) бойынша кескінді сканирлей (көшіре) отырып, дифракциялық көріністегі интенсивтіктің таралуын өлшеңіз.

Өлшенген шамаларды 11.3-кестеге енгізіңіз.

11.3-кесте

Экран шетіндегі дифракциялық көріністегі
интенсивтіктің таралуы

№	Дифракциялық көріністің ортасынан қашықтық, мм	Интенсивтік, мВ

Бақылау сұрақтары

1. Дифракция заңдылықтары. Геометриялық оптиканың қолданылу шегі.
2. Дөңгелек тесіктегі Френель дифракциясы.
3. Әртүрлі бөгеттердегі Фраунгофер дифракциясының ерекшеліктері.
4. Френель дифракциясы кезінде пайда болған дифракциялық көріністі түсіндіріңіз.
5. Жарық шоқтарының экран шетінен геометриялық көлеңке аумағына ауытқуын түсіндіріңіз.

№ 12 ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС ӘРТҮРЛІ НЫСАНДАРДА ФРАУНГОФЕР ДИФРАКЦИЯСЫН ЗЕРТТЕУ

Жұмыстың мақсаты: Фраунгофер дифракциясы кезінде дифракциялық көріністерді әртүрлі нысандарда үйрену:

- 1) әртүрлі нысандардың дифракциялық көріністерін алу.
- 2) дифракциялық көріністердің нысан өлшеміне тәуелділігін зерттеу.
- 3) дифракциялық көріністердің нысан орналасуына тәуелділігін зерттеу.

Аспаптар мен жабдықтар: оптика бойынша лабораториялық кешен (ОЛК-1), 3-модуль – көшіру тетігі бар микропроектор (линза $f = +15$ мм). 5-модуль – шкаласы бар экранды конденсор (линза $f = +12$ мм), 6-модуль – объектив (линза $f = +100$), 8-модуль – екікоординатты ұстағышы бар кассета, 13-модуль – айналмалы стол, нысандар: № 18 – дөңгелек тесік (1,0 мм), № 19 – дөңгелек тесік (2,0 мм), № 20 – квадрат пішінді тесік (2*2 мм), № 21 – тіктөртбұрышты тесік (1*2 мм), № 22 – үшбұрышты тесік.

Теориялық кіріспе

Егер жарықтың толқын ұзындығы λ шексіз кіші шама деп есептесек, геометриялық оптиканың заңдары орындалады.

Бұл шарттың орындалуы әлсіз болған сайын, геометриялық оптиканың заңдарынан ауытқу күштірек сезіледі, бұл дифракция құбылысының пайда болуына әкеледі.

Геометриялық оптика заңы бойынша мөлдір емес экран шетінен бастап көлеңке аумағы болуы керек (геометриялық көлеңке), ол жарықтандырылған аумақ және бөгет пішінінен анық шектеледі.

Дифракция нәтижесінде оның орнына интенсивтіліктің күрделі таралуы пайда болады, бұл дифракциялық бейне деп аталады.

Дифракция бұрышы

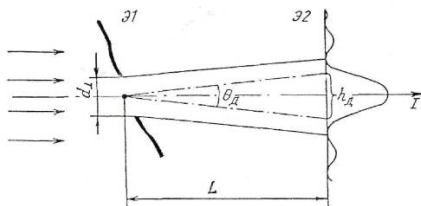
Э1 экранындағы тесік арқылы жазық монохроматты толқынның шоғы өтетін болса (12.1-сурет) және бұл шоқты әсерін Э2 экранда байқауға болады.

Тесікті кішірейте отырып, бастапқы шоқ пішінінің тесік өлшеміне сәйкес кішіреюін байқаймыз, бірақ одан кейін ол жайыла бастайды: шоқ тарала бастайды.

Шоқтың бұрыштық ені (дифракция бұрышы θ_d) толқынның таралуына перпендикуляр болатын жазықтықтағы тесіктің өлшеміне сәйкес келетін шоқтың сипаттамалық өлшемі d мен толқын ұзындығы λ арасындағы қатынаспен анықталады:

$$\theta_d \sim \lambda/d. \quad (12.1)$$

(12.1) қатынас дифракциялық эффектiлердiң ретiн бағалауға мүмкiндiк бередi. Яғни, кез келген кеңiстiктегi толқындарды шектеу оның (12.1) сәйкес шашырауын тудырады.



12. 1-сурет. Ені d саңылаудағы дифракциялық бейне

Френель және фраунгофер дифракциялары

Жарық дифракциясы дегеніміз – жарық толқындарының бөгеттерді орағытып өтуі, бірақ бөгеттердің өлшемі толқын ұзындығымен шамалас болуы керек.

Дифракцияланған сәулелер когерентті болады, сондықтан дифракция интерференциялық құбылыстармен қатар байқалады.

Жарық дифракциясы екіге бөлінеді:

1) Сфералық жарық толқынының дифракциясы (Френель дифракциясы).

Ол дифракцияны бақылайтын экраннан белгілі бір қашақтықта орналасқан бөгетте немесе тесікте пайда болады.

2) Жазық жарық толқындардың дифракциясы (Фраунгофер дифракциясы) немесе оны көбінесе параллель сәулелер дифракциясы деп атайды.

Бұл жағдайда дифракциялық көрініс тек қана сәулелерді жинағыш линзаның фокальдық (тоғысу) жазықтығына бағыттау арқылы немесе шексіздікке бағытталған көз көмегімен бақыланады.

Дифракция қасиеттері өлшем бірлігі жоқ параметрдің мәніне тәуелді:

$$\frac{d^2}{L\lambda}, \quad (12.2)$$

мұндағы d – тесіктің өлшеміне сәйкес келетін шоктың өлшемі; λ – жарықтың толқын ұзындығы; L – Э1 экраннан Э2 экранға дейінгі арақашықтық.

Егер бұл параметр бірден көп кіші болса, онда Фраунгофер дифракциясы бақыланады, ал егер ол бірге жуық болса, онда Френель дифракциясы бақыланады.

Егер бұл параметр бірден көп есе үлкен болса, онда геометриялық оптика заңдарын қолдануға болады, яғни:

$$\frac{d^2}{L\lambda} \begin{cases} << 1 - \text{Фраунгофер дифракциясы,} \\ \approx 1 - \text{Френель дифракциясы,} \\ >> 1 - \text{геометриялық оптика.} \end{cases} \quad (12.3)$$

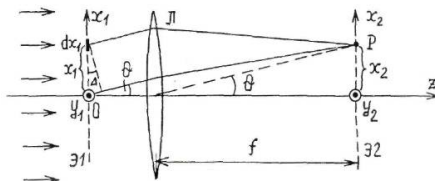
заңдары қолданылады.

Типтік сұлба

Жазық толқын (12.2-сурет) Э1 экранына нормаль түседі, ал дифракциялық көрініс Л линзасының фокальдық жазықтығында Э2 экранынан бақылауға болады.

Бақылау жазықтығындағы әрбір Р нүктесіне Э1 жазықтығының әрбір нүктесінен шығатын сәулелердің бағытына сәйкес келеді.

Қарапайым жағдайда толқындардың амплитудалары $\mathcal{E}1$ экранының өткізу коэффициентімен τ ($\tau = \frac{I''}{I}$, мұндағы I – сыну толқындарының интенсивтілігі, I'' – беріліс толқындарының интенсивтілігі, ал фазалары – Δ жол айырымымен анықталады (13.2-сурет).



12.2-сурет. Типтік сұлба

Тоғысатын толқындар дифракциясы

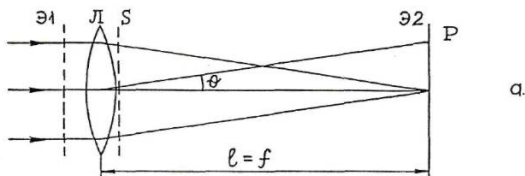
Мұндай сұлба қондырғыны қарапайым және тәжірибе параметрлерін жылдам таңдауға мүмкіндік береді.

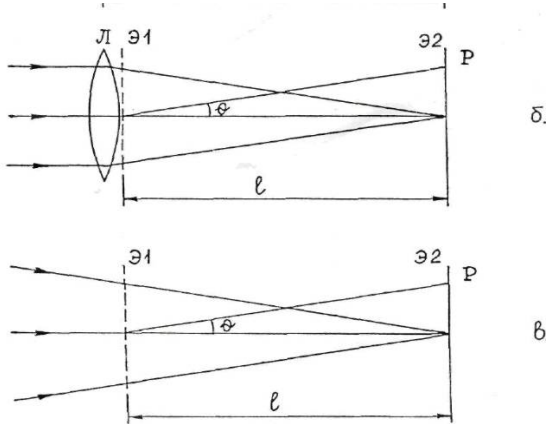
Осының арқасында ол қазіргі когерентті оптикада кеңінен қолданылады.

Типтік сұлбаны (12.3, а-сурет) тағы да қарастырайық. Гюйгенс-Френель принципіне сәйкес, $\mathcal{E}2$ экранның кез келген P нүктесіндегі тербеліс амплитудасы алғашқы жарық көзін бақыланатын P нүктеден бөліп тұратын бөгеттерде (саңлауда) пайда болатын екінші толқын көздері беттерінің амплитудалары мен фазаларына тәуелді болады.

Осы бет S линзадан кейін орналасқан деп қарастырайық.

Бұл жазықтықтағы тербеліс амплитудалары мен фазалары $\mathcal{E}1$ экранның өткіу коэффициенті мен жарық көзінен S бетке дейінгі оптикалық жол айырымына байланысты болады.





12.3-сурет. Типтік сұлба: а) Э1 экран линзаның алдында орналасқан;
б), в) экран линзадан кейін орналасқан

Егер Э1 экранын Л линзаның алдына емес, линзадан кейін орналастырып, оны S жазықтығымен үйлестірсек, онда Э2 экранға түсетін фазалар мен амплитудалар өзгермейді (12.3, б-сурет).

Енді дифракциялық көрініс толығымен Э1 экранға түсетін толқынмен анықталып, толқын көзіне тәуелді болмайды.

Сондықтан тоғысатын толқынды тудыратын оптикалық жүйе кез келген типте болуы және қашықтықта орналасуы мүмкін. 12.3, в-суретінде оптикалық жүйе сыртқа шығарылған.

Э2 экранындағы сәуле интенсивтілігі 12.3, в-суреттегі сұлба бойынша Р нүктесінің орнымен немесе θ бұрышымен анықталады, оның (12.2-сурет) типтік сұлбадан айырмашылығы жоқ.

Тек қана барлық формулаларда линзаның f фокус аралығының орнына Э1 және Э2 экрандарының арасындағы қашықтығы алынады.

Амплитудалардың таралуы

Дифракциялық көріністі анықтау үшін 12.2-суреттегі сұлбаға оралайық.

Сәулелердің жол айырымы Э1 экранының нүктесінен Р бақылау нүктесіне дейінгі θ бұрышымен таралатын сәулелер бағытымен анықталады.

Экрандағы нүктелердің орналасуын x_1, y_1 және x_2, y_2 координаттарымен анықтаймыз. Э2 экранындағы әрбір нүктеге сәулеленің Θ бұрышпен түсетін белгілі бір мәні сәйкес келеді.

x_2 осіндегі тербелістің жорымал (комплектті) амплитудасын анықтайық.

Э1 экранын ені dx_1 болатын жіңішке жолақтарға бөлеміз.

Бір жазықтықтан Р нүктесіне келетін тербеліс амплитудасы жазықтық еніне пропорционал:

$$dA = e^{i\delta} T(x_1) dx_1 \quad (12.4)$$

мұндағы $T(x_1)$ – x_1 координатындағы Э1 экранының нүктелеріндегі өткізу коэффициентімен анықталатын көбейткіш, ал δ - Δ жол айырымымен анықталатын фаза ығысуы.

12.2-суреттен:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta = \frac{2\pi}{\lambda} x_1 \sin \theta = qx_1 \quad (12.5)$$

$$\text{мұндағы, } q = \frac{2\pi}{\lambda} \sin \theta.$$

Тым аз бұрыштағы дифракция үшін $\sin \theta = x_2/f$, ал біз қарастырып отырған тоғысатын толқындардағы дифракция үшін $\sin \theta = x_2/\ell$, демек:

$$q = \frac{2\pi x_2}{\lambda \ell} \quad (12.6)$$

Э1 экранымен толық туындайтын тербеліс амплитудасы:

$$A = \int dA = \int e^{iqx_1} T(x_1) dx_1 \quad (12.7)$$

x_2 осіндегі $A(q) = A(\frac{2\pi x_2}{\lambda \ell})$ амплитуда үлестірілуі, белгілі бір масштабтағы $T(x_1)$ функциясының Фурье түрлендіруі болып табылады, сонымен қатар ол x_1 осіндегі сәулеленудің амплитудаларының үлестірілуін сипаттайды.

Фраунгофер дифракциясының заңдылықтары

(12.7) формуладан Фраунгофер дифракциялық көріністерінің кейбір жалпы қасиеттерін көруге болады.

Егер Э1 экраны одан өткен толқынның фазасын өзгертпесе, онда $T(x_1)$ – нақты функция болады.

(12.7) формуладағы q -ді ($-q$) ауыстырған кезде A амплитуда жорымал – түйінді түрге ауысады.

Амплитуда модулі және интенсивтігі өзгермейді.

Демек, x_2 және $(-x_2)$ координаттағы нүктелердің (12.2-сурет) интенсивтілігі бірдей, яғни дифракциялық көрініс орталық-симметриялы екендігін білдіреді.

Көбіне орталық симметрия мөлдір емес экрандағы кез келген түрдегі тесіктен дифракциялық көрініс пайда болады.

Э1 экранның ілгерілемелі қозғалуы кезінде δ - фазалық ығысу өзгермейді.

Сондықтан дифракциялық көрініс Э1 экранының қозғалуы кезінде өзгермейді.

Бұл дифракцияны жылжымалы нысандарда бақылауға мүмкіндік береді (**2-тапсырмаға физикалық негіздеме**).

x_1 осінің бойымен Э1 экранын созып өзгертеміз.

Э1 экранының элементтері үлкен x_1 координаттарына ауысады.

(12.6) сәйкес алғашқы δ фазалық ығысу кіші q мәндеріне сәйкес, яғни x_2 -нің кіші мәндеріне сәйкес болады және дифракциялық көрініс x_2 осі бойымен сығылады.

Э1 экранын сығу кезінде дифракциялық көрініс сол бағытта созылады (**3-тапсырмаға физикалық негіздеме**).

Егер (12.2-сурет) типтік сұлбадағы линзаның фокус аралығын өзгертсек немесе сұлбадағы (12.3, в-сурет) Э1 экранды оптикалық ось бойымен жылжыту арқылы тоғысатын толқындардағы ℓ қашықтығын өзгертсек, онда дифракциялық көріністің өлшемі ℓ -ге пропорционал өзгереді.

Шындығында, (12.6) өрнектегі фазалар ығысу θ бұрыш арқылы анықталады, демек Э1 экраны дифракциялық көріністің бұрыштық өлшемдерімен анықталады, ал көріністің сызықтық өлшемдері бойлама қашықтықтарға пропорционал болады

(4-тапсырмаға физикалық негіздеме).

Тәжірибелік қондырғы

Оптикадан лабораториялық кешен (ОЛК-1) оптиканың негізгі заңдарын тәжірибеде оқып үйрену, оптикалық құбылыстарды зерттеп, оптикалық аспаптардың құрылысын үйрену үшін қолданылады.

ОЛК-1 көмегімен геометриялық оптиканың заңдылықтарын, фотометрияны, интерференция, дифракция және поляризация құбылыстарын және оларды өлшеу әдістерін үйренеміз.

Оптиканың барлық бөлімдері бойынша коптеген тәжірибелер жасау, тәжірибелерді тез және аса дәлдікпен жүргізу, әрбір лабораториялық жұмысты терең және жан-жақты зерттеу кешеннің ерекшеліктері болып саналады.

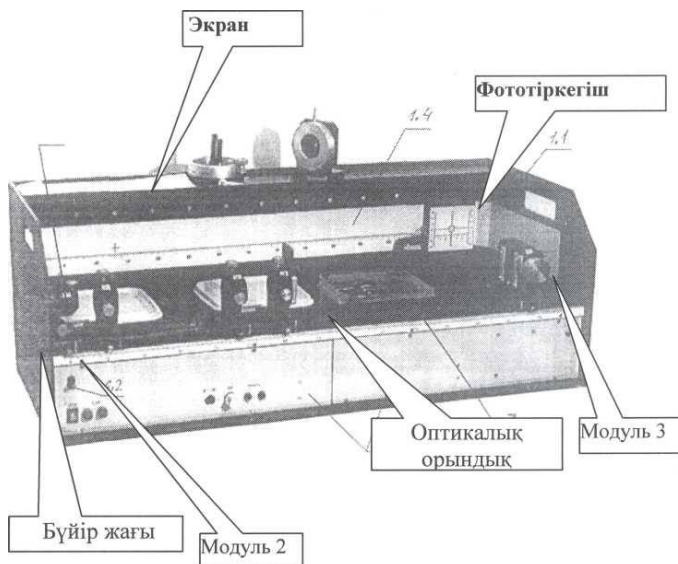
ОЛК-1 кешенінің құрамында:

- лазер сәулесін шығару және басқару, қондырғының оптикалық осі бойынша әртүрлі модулдерді орналастыру және жылжыту, қосымша бөлшектер және электр көздері үшін оптикалық база;

- лазер сәулесінің шоғын түрлендіру, нұрлануды тіркеу, нұр шоғындағы нысандарды орнату және жылжыту үшін әртүрлі мақсатта пайдалануға қажет жинақтар;

- оптикалық құбылыстарды бақылау және зерттеуге қажетті нысандар жинағы бар.

Оптикадан лабораториялық кешеннің ОЛК-1 жалпы түрі 12.4-суретте келтірілген.



12.4-сурет. Оптикадан лабораториялық кешен ОЛК-1

Қондырғы қорабы **екі бүйір жағынан (қабырғасынан)**, олар **3 оптикалық орындықпен** тартылған, артқы қабырғасы және плиталы табаны бар.

Қондырғы бойындағы қораптарға нысандар салынған.

Оптикалық орындық аралығы **2 мм-ге бөлінген** шкаласы бар екі рельстен тұрады.

Оптикалық ось оптикалық орындыққа байланысты симметриялы, рельстің жоғарғы бетінен **45 мм** биіктікте орналасқан.

Рельстердегі **рейтерге** жоғарғы айна (**2-модуль**) орнатылған.

Қондырғының оң жақ бүйір қабырғасында жермен жалғау клеммасы орналасқан.

Лазер оптикалық орындықтың астына ілінген.

Лазердің сәулесі оптикалық оське айналар көмегімен шығарылады **1-модуль** (12.4-суретте панельмен жабылған) және **2-модуль**.

Зерттелетін сәуле шағылдырғыш көмегімен **3-модуль**

қораптың артқы қабырғасына орналасқан экранға бағытталады.

3-модуль (микропроектор, 12.5-сурет) экрандағы кішімасштабты интенсивтіліктің таралуын және зерттелетін нысандарды бақылауға, сондай-ақ интенсивтіктің таралуын және нысандар өлшемін анықтауға арналған.

12.6-суретте оптикалық орындықта 2 қондырылған

3-модуль жоғарыдан көрінісі берілген. 1 кассетасының F нысандық жазықтығында орналасқан нысандар немесе интенсивтіктің таралуы 6 экранда линза 3 арқылы көрсетіледі.

Жарық шоғының бұрылуы 9 кронштейнге бекітілген 8 айнадан шағылуы арқылы пайда болады. 4 белгі (рискасы) F нысандық жазықтықтың орнын көрсетеді.

Линза оправа 5 есептеу шкаласы бар барабанымен бұранда арқылы орын ауыстырады, осы кезде нысан көрінісі 6 экран бетімен орын ауыстырады.

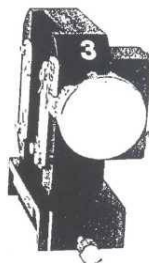
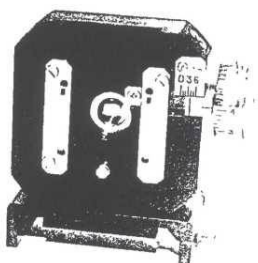
Фотодатчиктің айнасының бойымен кескінді ауыстыра отырып, кескін интенсивтігінің таралуын анықтауға болады.

Ол үшін модульдің корпусындағы 10 шкала және есептеу барабанының 5 шкалалары (ондық және жүздік үлестерге дейін) бойынша шкала бөлігіндегі қажетті нүктенің координатын анықтаймыз.

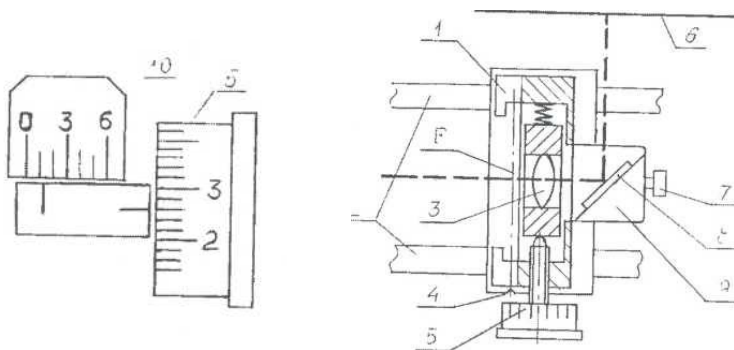
Есептеу әдісі 16.6-суретте көрсетілген.

Шкаланың құнын (жуықтағанда 1 мм) үлгілеу торы арқылы анықтайды.

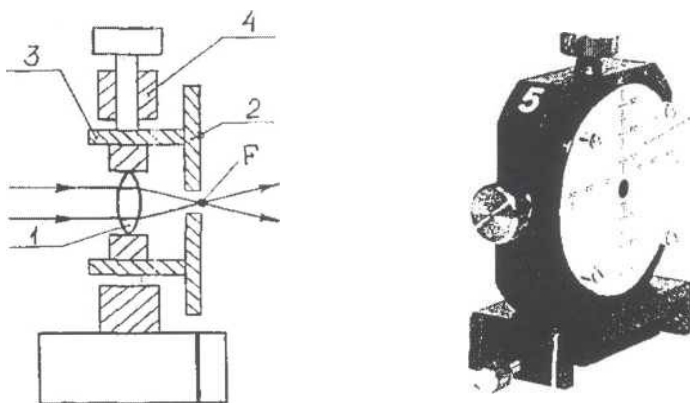
Тек сәуледе тәжірибе жүргізу үшін 7-дей екі бұранда арқылы 9 кронштейнді айнасымен шығарып алу керек.



12.5-сурет. 3-модуль – микропроектор



12.6-сурет. Микропроектордың сұлбасы. Шкалалармен жұмыс жасау (1, 26 бөлік бойынша есептеу)

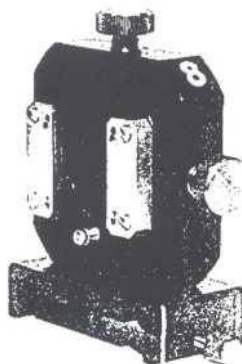
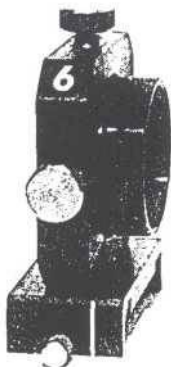


12.7-сурет. 5-модуль – конденсор

5-модуль (конденсор, 12.7-сурет) 1 қысқафокустық линзадан, линзаның фокустық жазықтығында орналасқан 2 экраннан тұрады, олар 4 екі координатты ұстағышта 3 қораптың көмегімен орнатылған.

Экранда екі координатты 5 шкала сызылған.

Лазер сәулесінің шоғы экран жазықтығында "нүктелік жарық көзі" пайда болғандай көріністе линзаның фокусында *F* жиналады.



12.8-сурет. 6-модуль – объектив

12.9-сурет. 8-модуль – экранды орнатуға арналған кассета

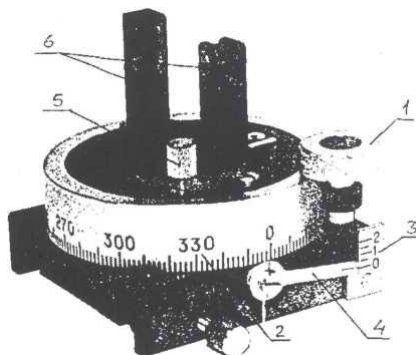
6-модуль (объектив, 12.8-сурет) екікоординатты ұстағышта **F-120 мм** фокус аралығы бар жұқа линзадан тұрады.

Міндеті: геометриялық оптика бойынша тәжірибелер үшін сәуле шоқтарын қалыптастыру (**5-модуль** бірге).

8- және 10-модульдер (12.9-сурет) зерттелетін нысандармен бірге экрандарды орнатуға арналған кассеталардан тұрады.

Тәжірибені жүргізу барысында нысанның орын ауыстыру мақсатына байланысты модуль таңдалады.

13-модуль (Айналмалы стол, 12.10-сурет) нысандарды орнату үшін қолданылады, олар вертикаль ось айналасында бұру, сондай-ақ бұрыштық координаттарды және бұрылу бұрыштарын есептеу үшін қажет.



12.10-сурет. 13-модуль Айналмалы стол

Столдың бұрылуын тұтқамен 1 жүргізеді, бұрыштық координаттарды есептеу негізгі шкала 2 бойынша (бөлігінің құны 2°) және нониус 3 бойынша (бөлігінің құны: $0,5^\circ$) жүргізіледі.

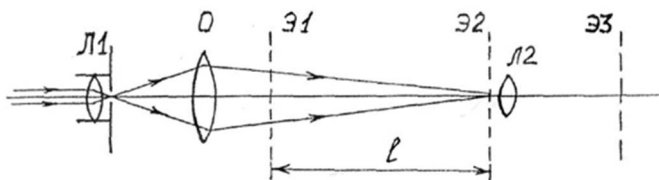
4 тұтқаны оның вертикаль белгісі негізгі шкаланың бір бөлігімен сәйкес келгенше бұрайды және негізгі шкала бойынша бұрылу бұрышты өлшейді.

Осыған нониус бойынша есепті қосады.

Бұрылу бұрышын бұрыштық координаттардың айырымы ретінде анықтайды.

Нысандардың 6 ұстағыштары мен **айналмалы столдың көлбеулігі** бұран 5 арқылы реттеледі.

Бізге керекті тәжірибені өткізу үшін оптикалық сұлбаны жинау оптикалық орындыққа функционалды модульдерді қондыру және зерттелетін нысандарды орналастыруға негізделген.



12.11-сурет. Тәжірибені жүргізу сұлбасы

12.11-суретте тәжірибені жүргізу сұлбасы көрсетілген.

Лазер бөлігі **Л1** линзасымен (5-модуль) және **О** объективімен (6-модуль) толқынға айналады, ол **Л2** микропроектордың линзасының **Э2** нысандық жазықтығында фокустелген (3-модуль 650 мм белгілер (рисктер) координаттары).

Осы кезде **Э3** фотоқабылдағыштың экранында аз өлшемдегі жарық нүкте көрінеді.

Зерттелінетін нысандар 8-модульді кассеталарында немесе **Э1** жазықтығындағы айналмалы үстелге орналастырылады.

Э2 жазықтығында дифракциялық көрініс пайда болады, бұл үлкейтілген түрде **Э3** экранынан бақыланады.

Нысандардың өздерінің параметрлерін өлшеу және бақылау үшін оларды **Э2** нысандық жазықтықтағы линзасының кассетасына енгізіп, ал **О** объективін толқын нысанның бетін толқын жарықтандырганша жылжытамыз.

Э3 фотоқабылдағышының экранында нысандардың үлкейтілген кесіндері пайда болады.

Тәжірибені жүргізу тәртібі және өлшеу нәтижелерін өңдеу:

1-тапсырма. Дифракциялық көріністердің симметриясы

1. Оптикалық орындықта модульдарды келесі ретпен орналастыру керек: 02, 05, 06, 08, 03;

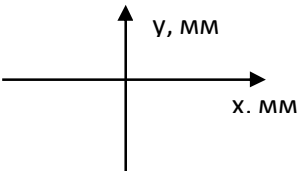
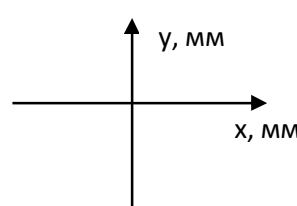
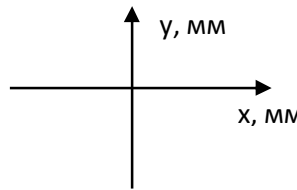
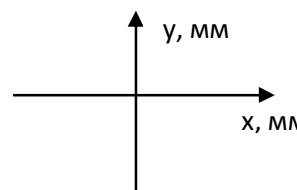
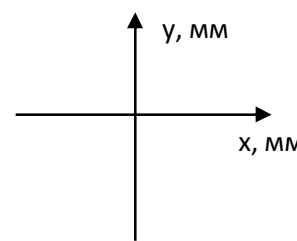
2. **Э3** экранда айқын кескінді алу керек;

3. 18-нысанды 08 модульдің кассетасына орналастырыңыз;

4. 06- және 08-модульдарды жылжыта отырып, экранда дифракциялық бейнені алыңыз және осы бейнені кесте 12.1-ге сызып алыңыз;

5. 08-модульдің кассетасына 19, 20, 21-нысандарды қоя отырып, 1-жаттығудың 4-пунктін қайталаңыз.

Әртүрлі нысандардағы дифракциялық бейне

Нысан	Дифракциялық бейне
№ 18 – дөңгелек тесік (1,0мм)	
№ 19 – дөңгелек тесік (2,0мм)	
№20 – төртбұрышты тесік (2*2мм)	
№ 21 – тікбұрышты тесік (1*2мм)	
№ 22 – үшбұрышты тесік (1,0мм)	

2-тапсырма. Жылжымалы нысандағы дифракция

1. Оптикалық модульдардың орналасу реті

1-жаттығудағыдай;

2. 08-модульге ұсақ тісті тарақты қойыңыз;

3. Экранда дифракциялық бейнені алыңыз;

4. Тарақты Э1 жазықтығында ілгерілемелі қозғалта отырып, дифракциялық бейненің өзгеріссіз екеніне көз жеткізіңіз.

3-тапсырма. Дифракциялық көріністің нысан өлшеміне тәуелділігі

1. Тәжірибелік қондырғыда 08-модульдің орнына 13-модульді орнатыңыз (айналмалы орындық);

2. 18-нысанды (дөңгелек саңылау) айналмалы орындыққа орналастырып, қондырғы экранында дифракциялық бейнені алыңыз;

3. Айналмалы үстелді 0° ден 90° аралығында айналдыра отырып, әр 15° сайын еркін қараңғы сақинаның x_1 (горизонталь) және x_2 (вертикаль) осьтері бойынша сәйкес диаметрлерін өлшеніз. Нәтижелерін 12.2-кестеге енгізіңіз;

4. 12.2-кестедегі нәтижелерді қолдана отырып, дифракциялық бейнені салып алыңыз.

5.

12.2-кесте

Дифракциялық бейненің нысан өлшемінен тәуелділігі

Нысан	№	φ_i , бұрылу бұрышы	x_1 , мм	x_2 , мм
№ 19 – дөңгелек тесік (2,0 мм)	1.			
	2.			
	3.			
	4.			
	5.			

4-тапсырма. Дифракциялық бейне өлшемдерінің кедергі мен экран арасындағы қашықтықтан тәуелділігін зерттеу

1. Оптикалық модульдердің орналасу ретін

1-жаттығудағыдай етіп орналастырыңыз;

2. 19-нысан (дөңгелек саңылау) 08-модульдің кассетасына орналастырыңыз;

3. Экранда дөңгелек саңылаудағы дифракциялық бейнені алыңыз;

4. 03-модуль координатын санақтың нөлі деп есептеңіз;

5. 08-модуль және 03-модуль арасындағы λ қашықтықты өзгерте отырып және Э1 қозғалта отырып, еркін қараңғы сақинаның сәйкес диаметрін (і жазыңыз).

Нәтижелерін 12.3-кестеге енгізіңіз;

6. d диаметрдің l қашықтықтан тәуелділік графигін тұрғызыңыз.

12.3-кесте

Кедергі мен экран арасындағы қашықтыққа байланысты дифракциялық бейненің өлшемдері

Нысан	№	Қара сақинаның диаметрі d мм	Э1 және Э2 экрандарының арасындағы l арақашықтық
№ 19 – дөңгелек саңылау (2,0мм)	1		
	2		
	3		
	4		
	5		

Бақылау сұрақтары

1. Дифракция құбылысын түсіндіріңіз.
2. Френель дифракциясының Фраунгофер дифракциясынан айырмашылығы қандай?
3. Берілген жұмыстағы өлшеу әдісін түсіндіріңіз.
4. Фраунгофер дифракциясының заңдылығын түсіндіріңіз.

№ 13 ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС БІРӨЛШЕМДІ ЖӘНЕ ЕКІӨЛШЕМДІ ПЕРИОДТЫ ҚҰРЫЛЫМДА ЛАЗЕРЛІК СӘУЛЕЛЕНУ ДИФРАКЦИЯСЫН ЗЕРТТЕУ

Жұмыстың мақсаты: Бірөлшемді дифракциялық тордың параметрлерін анықтау.

Приборлар мен қажетті заттар: 3 (микропроектор), модуль 5 (конденсор), модуль 8 (0,3мм периодты тор) (объект 31).

Теориялық кіріспе

Жарық толқынының түзу сызықты таралу бағытынан ауытқуын немесе өлшемдері толқын ұзындығымен шамалас бөгеттерді орағытып (геометриялық көлеңке жағына) өтуін жарықтың дифракция құбылысы деп атайды.

Дифракцияланған толқындар когерент толқындар болып табылады, себебі олар түсетін жазық толқын шабінің (фронт) қозғалысынан пайда болады.

Сондықтан мұндай толқындар беттесу аймағында интерференцияланады.

Жарық дифракциясын тәжірибеде екі түрлі әдіспен алуға болады:

1) Сфералық жарық толқындарының дифракциясы (Френель дифракциясы).

Сфералық толқын саңылаудан немесе бөгеттен өткен соң шекті қашықтықта орналасқан экранда дифракциялық көрініс байқалады.

Саңылаудың немесе бөгеттің өлшемдері (ені) түсетін сәуленің толқын ұзындығымен шамалас ($d \sim \lambda$) болуы керек.

2) Жазық жарық толқындарының дифракциясы немесе параллель сәулелер дифракциясын бірінші рет тәжірибеде И.Фраунгофер (1821-1822 жж.) қарастырған.

Саңылауға түсетін жарық сәулелерінің параллель шоғын алу үшін жарық көзі жинағыш линзаның фокусына орналастырылады.

Бөгеттен шыққан сәулелер жолындағы екінші жинағыш линзаның фокусына орналасқан экранда дифракциялық көріністі байқауға болады.

Линзаның тоғыстық жазықтығында орналасқан экранның әртүрлі нүктелерінде әртүрлі тербеліс фазаларымен жететін көптеген жарық шоқтары қосылады (1-суретте φ бұрышы үшін ғана қарастырылған M нүктесі берілген).

Дифракция құбылысы салдарынан когерентті жарық сәулелерінің интерференциясы байқалады,

Экрандағы барлық көрініс кезектесе орналасқан максимумдар мен минимумдардан тұрады.

Жарықтың бас максимумдары

$$\Delta = d \sin \varphi = \pm k \lambda \quad (13.1)$$

шартына сәйкес анықталады;

мұндағы A – жол айырымы; d – дифракциялық тор тұрақтысы; φ – дифракция бұрышы; k – бүтін сан, максимумдар реті; $k = \pm 1, 2, 3, \dots$;

λ – монохромат жарық толқынының ұзындығы.

Әрбір саңылаудан туындайтын минимумдар

$$d \sin \varphi = \pm (2k+1) \lambda / 2 \quad (13.2)$$

шартын қанағаттандыратын N саңылаудан келетін тербелістер бас минимумды береді.

Тордың әртүрлі саңылауларынан келетін тербелістер бақылау нүктесінде қарама-қарсы фазада қосылса, онда жанама минимумдар пайда болады. Олар

$$d \sin \varphi = \pm k \lambda / N, \quad (13.3)$$

шарттарын қанағаттандырады. Мұндағы k , $2N$, $3N \dots$ мәндерін қабылдай алмайды.

Егер $k = N, 2N, 3N \dots$ болса, онда (13.1) қатынасы қанағаттандырылады.

N саңылаудан пайда болатын дифракциялық көрініс тек екі саңылау жағдайындағыдай болады.

Тек максимумдар жарығырақ және еңсіздеу, ал оларды бөлетін минимумдар керісінше ендірек және тым күңгірт болады.

Көрші максимумдардың арақашықтығы және олардың жарқырауы саңылау сандары артқан сайын өсетін болады.

(13.1) теңдеуінен λ -толқын ұзындығын тапсақ

$$\lambda = \frac{d \cdot \sin \varphi}{k} \quad (13.4)$$

Бұл өрнек дифракциялық тордың көмегімен жарық толқындарының ұзындығын анықтау үшін негізгі есептеу өрнегі болып табылады.

Олай болса, дифракциялық тор ақ жарықты құрама бөліктерге жіктейтін құрал болып табылады, оның көмегімен дифракциялық спектр алынады.

$k = 0$ кезінде, барлық толқын ұзындықтар үшін максимум шарты қанағаттандырылады, яғни $k = 0$ кезінде, жарық көзі түсіне ие, ығыспайтын жарық шоғына сәйкес келетін, орталық жарық нөлдік жолақ байқалады.

$k = 1$ кезінде, орталық жолақтың екі жағынан симметриялы, дифракциялық түрлі-түсті сызықтар тобы алынды (күлгін сызықтан. қызыл сызыққа дейін), олар ақ жарықтың құрамына кіретін, әртүрлі толқын ұзындықтарға сәйкес келеді.

Осы сызықтар тобы бір-ретті спектр деп аталады.

Спектрдің қызыл бөлігі күлгінге қарағанда көп ауытқиды.

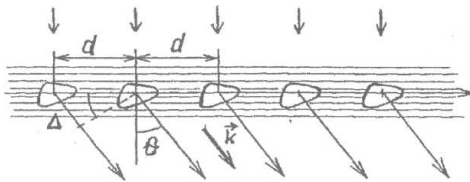
$k = 2$ кезінде осыған ұқсас сызықтар тобы екі-ретті спектр алынады және т.б.

Жоғарғы ретті спектрлер сызықтарының интенсивтігі төмен және үш -реттен төмен спектрлер анық байқалады.

Дифракциялық спектрлер саны шектеулі және келесі шартпен анықталады

$$\sin \varphi = k \frac{\lambda}{d} < 1. \quad (13.5)$$

Дифракциялық тор тұрақтысы d үлкен болған сайын, көбірек спектрлер санын бақылауға болады, бірақ спектральды сызықтар жарықтылығы соғұрлым төмен болады.



13.2-сурет. Жарық интенсивтілігінің дифракциялық тор спектріндегі бақылау бұрышына тәуелділігі

Бірөлшемді дифракциялық тор деп, саңылаулары берілген жазықтықтың бір бағытында орналасқан торды атаймыз.

Э1 экран x_1 осінде орналасқан, периоды d және ұзындығы $h = Nd$ кесіндіге ие N тең сәулелендіргіштер тізбегін (мысалы, жазық толқынды сәулелендіретін бірдей саңылаулар) құрайды (13.2-сурет).

Әрбір тербеліс көзінен бақылаушыға амплитудасы A_1 және интенсивтілігі I_1 тербеліс келсін және δ -көрші тербеліс көздерінен келетін тербелістер фазалар айрымы болсын.

Фазалар айрымын δ есепке ала отырып, барлық бақылаушыға келетін тербелістердің амплитудаларын тербелістің амплитудасын A табамыз.

Амплитуданың интенсивтікті береді

$$I = I_1 \frac{\sin^2(N \delta / 2)}{\sin^2(\delta / 2)}. \quad (13.6)$$

Бұл өрнек бүкіл тізбектің сәулелену интенсивтігін $I(\theta)$, $I_1(\theta)$ функциясымен сипатталатын бір элементтің сәулелену интенсивтігі арқылы анықтайды.

(13.6) - дағы бөлшек δ бойынша 2π периодпен периодты $\delta = 2\pi m$ (m -бүтін сан) болғанда $I = N^2 I_1$ - ге тең.

Фазалар айрымы δ жол айрымы A арқылы анықталады (13.2-сурет). Толқын экранға нормаль бойымен түскенде:

$$\delta = (2\pi A) / \lambda = (2\pi d \sin \theta) / \lambda. \quad (13.7)$$

Барлық толқын көздерінен синфазалы тербелістер келетін нүктелер сәулеленудің бас максимумдары деп аталады. m ретті бас максимум шарты:

$$\delta = 2\pi m; \quad (13.8)$$

$$d \sin \theta = m \lambda; \quad (13.9)$$

$$x_2 = m \lambda / d. \quad (13.10)$$

Бас максимумдағы амплитуда және интенсивтілік:

$$A = N A_1 \quad (13.11)$$

$$I = N^2 I_1. \quad (13.12)$$

Көрші бас максимумдар арасындағы интенсивтілік ($N-1$) минимумдары, ал соңғылардың арасында ($N-2$) аз интенсивті қосалқы максимумдар болады.

13.3-суретте интенсивтіліктің графиктері көрсетілген, $N=2$ болғанда екі толқын көзінен шыққан толқындардың интерференция картинасын аламыз:

$$I=2I_1 (1 + \cos\delta).$$

$N=3$ болғанда бас максимумдарың арасында бір қосалқы максимум болады.

$N \gg 1$ болғанда әрбір бас максимум маңындағы интенсивтіліктің таралуы ені $h=Nd$ саңылаудағы дифракция кезіндегідей болады.

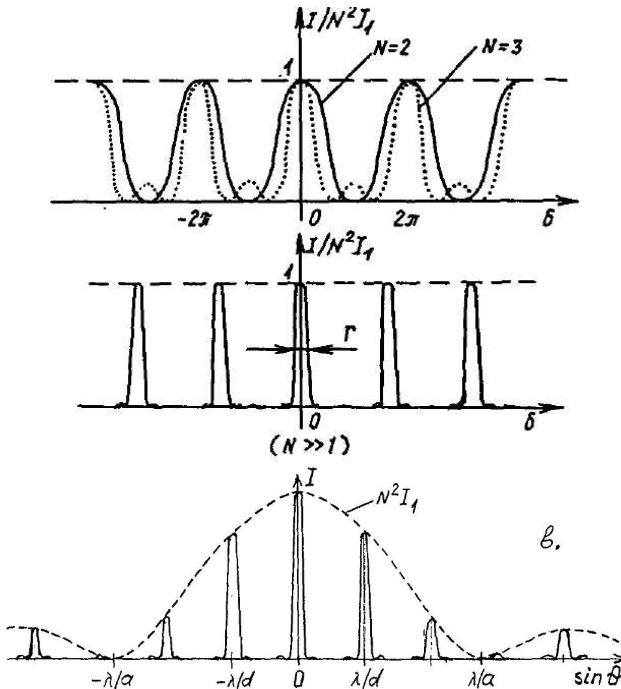
Бас максимумның бұрыштық ені тізбек ұзындығына

$$r = \lambda/h \quad (13.13)$$

тең саңылаудағы дифракция кезіндегідей болады.

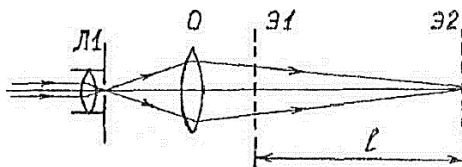
$N^2 I_1$ шамасы бас максимумдардың иілетін төбелерін береді.

Ол құрылымның бір элементіндегі дифракциялық суреттің профиліне сәйкес келеді.



13.3-сурет. Дифракциялық сурет ені а-ға тең саңылаулар түріндегі тор элементіне сәйкес келеді

Тәжірибені жүргізу тәртібі және өлшеу нәтижелерін өңдеу



13.4-сурет. Блок схема – ЛКО 1

1-жаттығу. Бірөлшемді дифракциялық тор

1. 13.4-суреттегі сұлбаны жинау керек.
2. Оптикалық шкаланың бойында (5-модуль) – конденсоры 6 см-ге, (3-модуль) – микропроекторы 65 см-ге, (8-модуль) – 51см-ге орнатыңыз.

3. Лаборанттың көмегімен лазерді қосыңыз (Фраунгофер дифракциясын тексеріңіз).

4. 31 объектіні, периоды 0,3 мм торды қойып, дифракциялық көріністі бақылаймыз.

Нөлінші максимумның центрінен бірінші ретті максимумға дейінгі қашықтықты өлшейміз, одан кейін бірінші ретті максимумнан екінші ретті максимумға дейінгі қашықтықты өлшейміз.

Максимумдар арасындағы қашықтық өзгергендігіне көз жеткіземіз.

5. Фоторезисторды Э2 экран күйіне қоямыз, нөліншіден бастап максимумдардың интенсивтігін өлшейміз.

Микропроектордың реттеу бұрандасын бұрай отырып, шкала бойынша бас максимумдардың интенсивтігін анықтаймыз (өлшем бірлігі 1мВ).

Өлшеу шкаласы реттеу бұрандасында 0мм-ден 6мм-ге дейін болады.

Нәтижені 1-кестеге енгізіңіз.

6. Бас максимумдар арасындағы қашықтықты өлшеңіз.

Иілетін бас максимумдарды бақышап отырып, иілудің минимумдар орнын анықтауға тырысыңыз.

7. Микропроектор көмегімен саңылаулар енін және торлар периодын өлшеңіз, (13/1) – өрнек.

8. (13.2) өрнек бойынша жарықтың толқын ұзындығын анықтаңыз.

9. Нәжителердің барлығын 1-кестеге енгізіңіз.

1-кесте

	x_2 , мм	X	d , м	$\langle d \rangle$, м	Δd , м
1.					
2.					
3.					

Екіөлшемді периодты құрылымда лазерлік сәулелену дифракциясы

Жұмыстың мақсаты: Лазердің когерентті сәулесінің N саңылаудағы Фраунгофер дифракциясымен танысу. Екі өлшемді дифракциялық торды зерттеу.

Приборлар мен қажетті заттар: ЛКО 1, модуль 3 (микропроектор), модуль 5 (конденсор), модуль 8, 0,3 мм периодты дифракциялық тор (объект 31), квадратты дифракциялық тор (объект 33), квадратты дифракциялық тор (объект 34), қисықбұрышты дифракциялық тор (объект 35).

Теориялық кіріспе

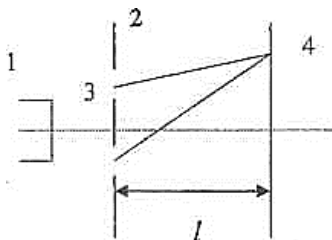
Бірнеше саңылауда пайда болатын дифракцияны байқау сұлбасы (схемасы) 5-суретте көрсетілген.

Параллель жарық шоғы (He-Ne лазері көзінен (1) шығыш, ұзындығы түскен сәуле шоғының қимасынан үлкен болатын бірнеше тар саңылаудан (3) тұратын экранды (2) жарықтандырады.

Саңылаулардың ені b бірдей, ал периоды $d \sim \lambda$ ға тең.

Гюйгенс принципі бойынша саңылаулар жазықтығы барлық бағытта тарайтын екінші ретті толқын көздері болып табылады, яғни жарық 5-суретте көрсетілгендей, саңылауларға (дифракциялық торға) түседі.

Дифракцияланған толқындар когерент толқындар болып табылады, себебі олар түсетін жазық толқын шебінің (фронт) қозғалысынан пайда болады.



13.5-сурет. Бірнеше саңылаудан дифракцияны бақылау сұлбасы

Сондықтан мұндай толқындар беттесу аймағында интерференцияланады.

Интерференциялық сурет саңылау жазықтығынан I қашықтықта орналасқан экранда (4) байқалады: $l \gg b^2/\lambda$.

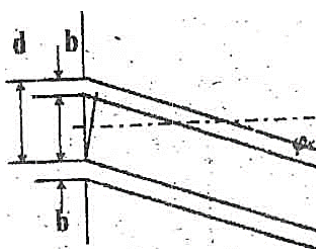
Бұл жағдайда экранда (4) түсетін сәулелер іс жүзінде параллель болып табылады.

Егер әрбір саңылаудағы дифракцияның таралуын, сонымен көршілес саңылаудағы интенсивтігін ескерсек (4) экрандағы интенсивтіктің таралуын есептей аламыз.

Бірінші ретті минимумдар деп аталатын бір саңылаудан болатын дифракциядан алынатын интенсивтіктің минимум шарты:

$$b \sin \varphi_k = \pm k\lambda \quad k=1, 2, 3, \dots \quad (13.14)$$

мұндағы φ_k – дифракция бұрышы (6-сурет). $k = 0$ болған кезде дифракциялық максимум пайда болады.



13-6-сурет. φ_k бұрышына ауытқу кезіндегі дифракциялық сурет

Максимумдар мен минимумдар орны саңылаудың жарық шоғына байланысты орнына тәуелді болмайды, себебі бұл орындар дифракцияға түскен жарықтың үлкен бөлігінің бағытымен анықталады.

Сондықтан 3 саңылау бір-бірімен беттесетін, сондай-ақ бірін-бірі күшейтетін бірдей дифракциялық сурет береді.

Беттесетін толқындар когерентті болғандықтан, көрші екі саңылаудан келетін толқындардың өзара интерференциясы кезінде интенсивтіктің таралуын олардың $\Delta = d \sin \varphi$ жол айырымына (6-сурет) байланысты алуға болады.

Толқындар көршілес саңылаудан экранның Р нүктесіне (5-сурет) синфазалы жиналғанда, яғни жол айырымы толқынның бүтін санына тең болғанда интенсивтіктің максимумы байқалады:

$$d \sin \varphi_k = \pm m \lambda \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (13.15)$$

мұндағы d – саңылаулардың сәйкес нүктелерінің арақашықтығы, φ_k – дифракция бұрышы.

(13.15) формуламен анықталатын максимумдар – бас максимумдар деп аталады.

Егер әрбір саңылаудың қорытқы тербелісінің амплитудасы A_0 арқылы белгілесек, онда бас максимумдағы тербеліс амплитудасы $A = N A_0$ (N – саңылаулар саны).

Бас максимумдағы дифракциялық кескіннің интенсивтігі бір саңылаудан байқалатын дифракцияға қарағанда N^2 есе үлкен болады.

Егер де көрші саңылаудың сәулелерінің жол айырымы

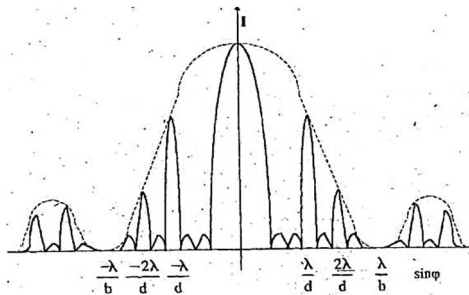
$$d \sin \varphi = \pm K' \lambda / N \quad K' = \pm 1, 2, \dots, N-1, N+1, \dots, \quad (13.16)$$

болса, онда әрбір саңылаудан осы бағытта таралатын толқындар бірін-бірі өзара әлсіретеді.

Экранның сондай нүктесінде интенсивтіктің минимумы байқалады.

Бұлар қосалқы минимумдар деп аталады.

Қосалқы минимумдар интенсивтілігі бойынша өте әлсіз қосалқы максимумдардың аралығына орналасады.



13.7-сурет. $N=4$ кездегі саңылаудан алынған дифракциялық сурет

Бас максимумдардың арасында N_1 жанама минимумдар және N_2 қосалқы минимумдар орналасады.

$d/b = 3$ болған кезде $N = 4$ саңылаудан алынатын дифракциялық сурет 13.7-суретте көрсетілген. $d/b = 3$ берілген қатынаста үшінші, алтыншы, т.б. ретті бас минимумдар жоғалады,

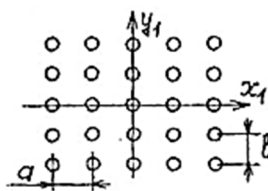
Себебі, (1) мен (2)-ні ескерсек, олар бір саңылаудан пайда болған интенсивтік минимумына келеді.

Бас максимумдардың төбелері арқылы өтетін пунктирлі қисық N^2 қа көбейтілген бір саңылаудан пайда болған интенсивтікті көрсетеді,

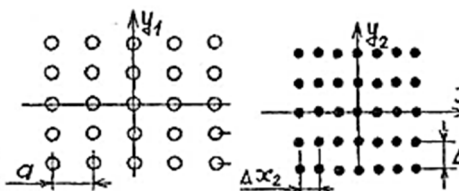
Бас максимумдардың ені саңылаулар саны өскен сайын азаяды.

Сонымен, саңылаулар тобынан құралатын дифракциялық сурет бір-бірінен қара аралықтармен бөлінген тар жарық жолақтар жүйесінен тұрады.

Тәжірибені орындау реті және Нәтижелерді өңдеу



13.8-сурет



13.9-сурет

Экран периодтары сәйкес a және b болатын X_1 және Y_1 екі бағытта периодтылыққа ие болсын X_1 осы бойымен тартылған әрбір тізбекті, Y_1 , осі бойындағы периодты құрылымды элемент есебінде қарастырамыз.

Бүкіл жүйенің сәуле шығаруы, бас максимумдардың екі шартын қанағаттандыратын нүктелерде интенсивті болады:

$$x_2 = m\lambda / a \quad (m - \text{бүтін сан}); \quad (13.17)$$

$$y_2 \sim n\lambda / b \quad (n - \text{бүтін сан}). \quad (13.18)$$

(13.17) шарты (1) интервалымен орналасқан, x_2 осіне перпендикуляр сызықтар жиынын, ал (13.18) шарты y (1) интервалымен y_2 осіне перпендикуляр жиынын береді.

Максимумдар, осы сызықтардың қиылысында орналасқан нүктелер түріне ие болады (13.4 сурет).

2-жаттығу. Екі өлшемді дифракциялық тор

1. 13.4-сурет сұлбасын жинау керек.

2. Рейтерлерді орнғшастыру шкаласы бойынша модуль 5 (конденсор) 6 см., модуль 3 (микропроектор), 65 см (микропроектор шкаласы бойынша 3 мм белгісіндегі линза центрі, оптикалық осьтегі лазер шоғының центрінде болады), модуль 8-51см белгісінде орнату керек.

3. Лаборант көмегімен лазерді қосу керек (Фраунгофер дифракциясын алу үшін аспаптар қондырғысын тексеру керек).

4. Фраунгофер дифракциялық суретін квадрат (33-объект) және тікбұрышты (34-объект) тордан алыңыз.

5. X_1 және Y_1 осьтері бойынша тор периодтарына сәйкес Δx_2 және Δy_2 дифракциялық кескіндер периодтарымен сәйкестендіру керек.

6. Дифракциялық кескінді қысықбұрышты тордан (35-объект) алыңыз, осы кескін симметриясын тордың өзінің симметриясымен сәйкестендіру керек.

7. Тор және дифракциялық картинаның сипаттамалы өлшемдерінің арасындағы қатысты өз беттерінше табыңыздар.

8. Саңылаулары бейберекет орналасқан тордан (36-объект) дифракциялық кескін алыңыз.

9. Фотоқабылдағыш экранында екіөлшемді «бүгілген» дифракциялық картинаны байқауға болады.

Оны тор саңылауларының біреуіндегі дифракциялық кескінмен сәйкестендіріңіз. Дифракциялық торды сипаттаңыз.

10. Э1 экран ретінде орнатылған торлардың біреуіне микроскопты (3-модуль) жылжытыңыз,

Микроскопты тордан ақырын кері жылжыта отырып, саңылаулар кескіндерін қадағалаңыз және геометриялық (сәулелік) оптика облысынан Френель дифракциясы арқылы Фраунгофер дифракциясына өтуді бақылаңыз.

10. Қарастырылған № 33, № 34, № 35, № 36 объектілерден алынған дифракциялық кескіндердің суретін салыңыз.

Бақылау сұрақтары

1. Дифракция құбылысын түсіндіріңіз.
2. Дифракциялық тор және оның негізгі сипаттамалары.
3. Дифракциялық тор көмегімен жарықтың толқын ұзындығын қандай әдістер арқылы анықтауға болады?
4. Френель және Фраунгофер дифракцияларының айырмашылығы неде?
5. Дифракциялық көрініс тордың кескін симметриясымен сәйкес келе ме?
6. Бір саңылаудағы дифракция құбылысын түсіндіріңіз.
7. Берілген сұлба үшін дифракциялық спектрдің суреттемесін беру керек.

№ 14 ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС ЖАРЫҚТЫҢ ПОЛЯРИЗАЦИЯ ҚҰБЫЛЫСЫН ЗЕРТТЕУ

Жұмыстың мақсаты: Жарықтың поляризация құбылысы заңдарын зерттеу. Малюс заңының эксперименттік негізі. Поляризациялық құралдармен танысу.

Теориялық кіріспе

14.1. Жарықтың поляризациялануы

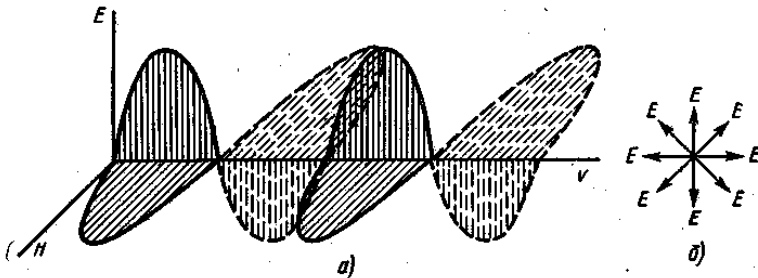
Жазық жарықтың электромагниттік толқыны көлденең толқын болып табылады және ол өзара перпендикуляр тербелістердің таралуын көрсетеді: электр өрісінің кернеулік векторы $\vec{E}$ және магнит өрісінің кернеулік векторы $\vec{H}$ (14.1, а-сурет).

$\vec{E}$ векторы жарық векторы деп аталады, сондықтан барлық түсіндірулерде біз осы векторды қарастырумен шектелеміз.

$\vec{H}$ векторының бар екенін есте сақтаймыз.

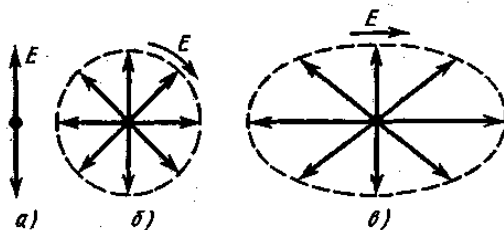
Толқынның таралу бағытына көлденең жазықтықта $\vec{E}$ векторы барлық бағытта бірдей таралатын жарық шоғы **табиғи шоқ** деп аталады.

Табиғи жарықта әртүрлі бағыттағы тербелістер үнемі үздіксіз өзгеріп тұрады (14.1б-сурет).



14.1-сурет. Өзара перпендикуляр тербелістердің таралуы

$\vec{E}$ векторының тербеліс бағыты реттелген және қандай да бір заңдылықпен өзгеретін болса, ондай жарық **поляризацияланған жарық** деп аталады. Егер $\vec{E}$ векторы бір бағытта ғана тербелетін болса, онда жарық **сызықты** немесе **жазық поляризацияланған жарық** деп аталады



14.2-сурет. Поляризацияланған жарық:

а) сызықты немесе жазық поляризацияланған; б) шеңбер бойымен поляризацияланған жарық; в) эллипс бойымен поляризацияланған жарық

$\vec{E}$ векторының тербелісі барысында вектордың ұшы шеңбер немесе эллипс сызатын болса, онда жарық **шеңбер** немесе **эллипс бойымен поляризацияланған жарық** деп аталады (14.2 б, в-сурет).

Жазық поляризацияланған толқында жарық векторы тербелетін жазықтық **тербеліс жазықтығы** деп аталады.

Тарихи себептермен поляризация жазықтығы деп $\vec{E}$ векторы тербелетін жазықтық емес, оған перпендикуляр жазықтық алынған.

$\vec{E}$ векторының айналу бағытына тәуелді оң және сол эллипстік немесе оң және сол шеңбер бойымен поляризацияланулар болады.

Егер сәуле бағытына қарама қарсы бағытқа қатысты $\vec{E}$ векторы сағат тілі бағытымен айналатын болса, поляризация **оң**, ал кері жағдайда – **сол** деп аталады. Сызықты поляризацияланған жарық алу үшін арнайы оптикалық құрылғылар – **поляризаторлар** қолданылады.

Поляризатор арқылы өткен электр векторының тербеліс жазықтығы **поляризатор жазықтығы** деп аталады.

Кез келген поляризатор поляризацияланған жарықты зерттеу үшін, яғни **анализатор** ретінде де қолданыла алады.

Бұл жағдайда өткен жарықтың тербеліс жазықтығы **анализатор жазықтығымен** сәйкес келеді.

Анализатордан өткеннен кейінгі сызықты поляризацияланған жарықтың I интенсивтігі Малюс заңына сәйкес анализаторға түсетін сәуленің тербеліс жазықтығы мен анализатор жазықтығының арасындағы α бұрышқа тәуелді:

$$I = I_0 \cos^2 \alpha, \quad (14.1)$$

мұндағы I_0 – анализаторға түскен жарықтың интенсивтілігі.

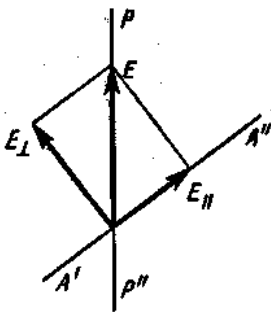
14.3-суреттегі $PP^{\parallel}$ – анализаторға түсетін жарықтың тербеліс жазықтығы, $AA^{\perp}$ – анализатор жазықтығы.

P шамасы **поляризациялану дәрежесі** деп аталады:

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (14.2)$$

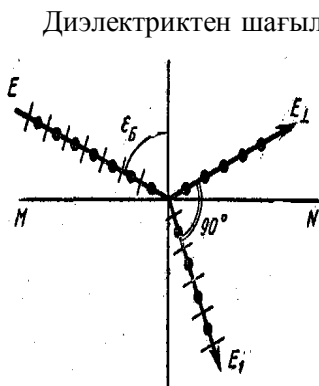
мұндағы $I_{\max}$ және $I_{\min}$ – $\vec{E}$ векторының екі өзара перпендикуляр компоненттеріне сәйкес келетін максимал және минимал жарық интенсивтіліктері.

Табиғи жарық үшін $I_{\max} = I_{\min}$ және $P=0$, ал жазық поляризацияланған жарық үшін $I_{\min}=0$ және $P=1$.



Эллипс бойымен поляризацияланған жарық үшін поляризациялану дәрежесі түсінігі қолданылмайды (мұндай жарықтың тербелісі толық реттелген болып табылады).

14.3-сурет. $\vec{E}$ векторының анализатор жазықтығына параллель және перпендикуляр құраушыларына жіктелуі



Диэлектриктен шағылған жарық барлық уақытта жартылай поляризацияланған болады. 14.4-суреттегі қарамен боялған нүктелер $\vec{E}$ векторының түсу жазықтығына перпендикуляр тербелісіне, ал сызықтар – түсу жазықтығындағы тербелістеріне сәйкес келеді.

14.4-сурет. Брюстер бұрышымен түскен шағылған және сынған жарықтың поляризациялану сұлбасы

Шағылған сәуленің поляризациялану дәрежесі салыстырмалы сыну көрсеткішіне n_{12} және түсу бұрышына ε тәуелді болады.

MN жазықтығына ε_B Брюстер бұрышымен түскен E сәуленің $E_{\perp}$ шағылған сәулесі толығымен поляризацияланған, ал сынған $E_{\parallel}$ сәулесі жартылай поляризацияланған болады. Мына өрнек

$$\tan \varepsilon_B = n_{12} \quad (14.3)$$

Брюстер заңы деп аталады.

Шағылған жарықтың электр векторының тербеліс жазықтығы түсу жазықтығына перпендикуляр болады (14.4-сурет).

Жарық диэлектрик бетіне көлбеу болып түскендегі толқынның түсу жазықтығында поляризацияланып шағылу коэффициенті, түсу жазықтығына перпендикуляр жазықтығында поляризацияланып шағылу коэффициентінен өзгеше болады.

Түсу жазықтығында поляризацияланған толқын Брюстер бұрышымен түскенде ол ешқашан шағылмайды ($R = 0$).

Мұндай жағдай шағылған және сынған сәулелер ортогональ болғанда орындалады.

Шағылған толқынды өткен (сынған) толқынның электр өрісінің әсерінен тербелетін диэлектриктің диполь моменттерінің сәулелену нәтижесі деп білсек және өздерінің тербелу бағытында

дипольдер сәуле шығармайтынын ескерсек, шағылатын сәуленің болмайтындығын түсіндіруге болады.

14.2. Поляризация жазықтығының айналуы

Егер зат оң жаққа айналуды сол жаққа айналудан "ажырата" алатын болса (мысалы, бұл заттың молекулалары өзінің айналық кескінімен сәйкес келмейді), онда, ереже бойынша, мұндай зат арқылы сызықты поляризацияланған жарық өткенде поляризация жазықтығының бұрылуы байқалады. Мұндай заттарды **оптикалық активті заттар** деп атайды.

Қатты денеде поляризация жазықтығының ϕ бұрылу бұрышы жарықтың жүрген l жолына пропорционал:

$$\phi = \alpha l. \quad (14.4)$$

Оптикалық активті зат ерітіндісінде

$$\phi = [\alpha] Cl, \quad (14.5)$$

мұндағы l – оптикалық активті зат ішінде жарықтың жүрген жолы, $[\alpha]$ – меншікті бұрылу, сандық мәні қабаты кг/м^3 болатын оптикалық активті зат ерітіндісінде жарықтың поляризация жазықтығының ϕ бұрылу бұрышына тең.

Меншікті бұрылу заттың табиғатына, температурасына және вакуумдағы жарық толқынының ұзындығына тәуелді.

Кез келген оптикалық активті зат "оң" және "сол" пішінге ие бола алады.

Осы пішіндердің тең үлесті қоспасында поляризация жазықтығының бұрылуы байқалмайды. Қолжетімді оптикалық белсенді зат – сахароза.

Қант араласқан шәй да оптикалық активті болып саналады. Поляризация жазықтығының бұрылуы бойынша оптикалық активті зат ерітіндісінің концентрациясын анықтайтын құрал **сахариметр** деп аталады.

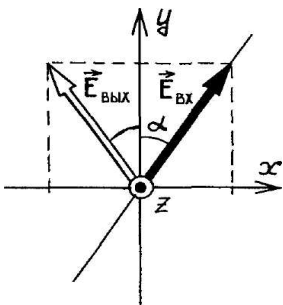
14.3. Эллипстік поляризация

Жарық анизотропты ортадан өткенде (мысалы, кристалл арқылы), сәулелену поляризациясы өзгеруі мүмкін.

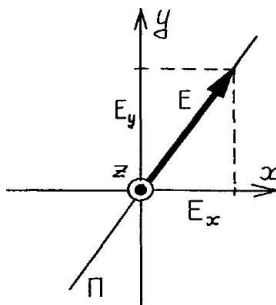
Әр кристалда өзара ортогональ үш бағыт болады, олар кристалдың бас өстері деп аталады, олардың маңызды қасиеттері:

егер толқын сызықты поляризацияланып және $\vec{E}$ векторының тербелісі бас өстің біреуінің бойымен бағытталса, онда кристалл арқылы өткенде толқын поляризациясы өзгермейді.

Әртүрлі бас өстер үшін сыну көрсеткіштері, осыған байланысты толқынның таралу жылдамдығы да әртүрлі болады.

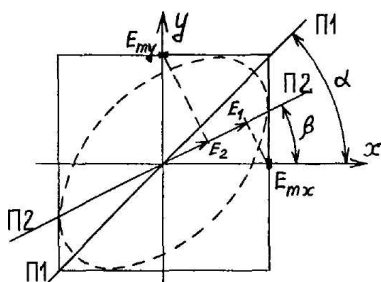


14.5-сурет



14.6-сурет

Енді осыны эллипстік поляризацияланған жарықты алу үшін пайдаланайық. Бас өстері x және y сыну көрсеткіштері n_1 және n_2 -ге сәйкес келетін пластинка жазықтығында, ал үшінші z өсі пластинкаға нормаль болатын кристалл пластинка арқылы жарық өтсін. Жарық шоғын z өсі бойымен бағыттайық (14.5-сурет). Түсетін жарықтың $\vec{E}$ өрісін құраушыларға жіктейік:



14.7-сурет

$$\vec{E} = \vec{E}_x + \vec{E}_y = E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y.$$

E_x өрісі бар толқын пластинкадан өтуге $\tau_1 = d/v_1 = dn_1/c$ уақыт жұмсайды, ал E_y өрісі бар толқынның жұмсайтын уақыты – $\tau_2 = dn_2/c$.

Нәтижесінде бір толқын екінші толқынды $\tau = \tau_2 - \tau_1 = d(n_2 - n_1)/c$ уақытына басып озады,

бұл E_x және E_y тербеліс фазаларының қосымша ығысуына алып келеді:

Пластинканың бас осьтері, түсетін жарықтың поляризация жазықтығына $\alpha = \pi/4$ бұрышымен орнатылған

$$\delta = \omega \tau = \frac{2\pi}{\lambda_0} d(n_2 - n_1).$$

Осы нәтижені басқаша жолмен де алуға болады: екі толқын үшін пластина

$$\Delta = d(n_2 - n_1),$$

жол айырымын және $\delta = 2\pi\Delta/\lambda_0$ фазалар айырымын тудырады.

Егер де $\Delta = \lambda_0/4 + m\lambda_0/2$ болса, пластинка **ширектолқынды** деп аталады, ал $\Delta = \lambda_0/2 + m\lambda_0$ болса, пластинка **жартытолқынды** деп аталады.

Егер сызықты поляризацияланған түсетін толқынның $\vec{E}$ векторы x немесе y бас өстерінің біреуімен бағытталса, онда екінші өс бойындағы тербеліс амплитудасы нөлге тең болады да, пластинкадан шыққан $\vec{E}$ құраушы векторы пластинкаға түсетін кездегісіне тең болады, яғни толқын поляризациясы өзгермейді.

Егер түсетін кезде E_x және E_y екі компоненті де нөлге тең болмаса, онда шығу кезіндегі поляризация олардың амплитудаларының қатынасымен және алынған δ фазалар айырымымен анықталады.

$\delta = \pi$ (жартытолқынды пластинка) болғанда пластинка кірісіндегі E_x және E_y синфазалық тербелістер шығысында қарсы фазалық болып өзгереді (14.6-сурет).

Бұл поляризация жазықтығының $\varphi = 2\alpha$ бұрышына бұрылуына алып келеді, мұндағы α – пластинканың бас өсі мен түсетін толқынның поляризация жазықтығының арасындағы бұрыш.

Егер пластинканы z өсімен бұрсақ, поляризация жазықтығы шығу кезінде екі есе үлкен бұрышқа бұрылады.

$\delta = \pi/2$ (ширектолқынды пластинка) және бұрыш $\alpha = \pi/4$ болғанда, шығысында ($E_{mx} = E_{my}$) амплитудалары тең, фазалық ығысуы $\pi/2$ ортогональ тербелістер аламыз, бұл шеңберлік поляризацияға сәйкес келеді.

Егер пластинкадан пайда болатын жол айырымы белгісіз болса (39 объект осындай), оны пластинкадан кейінгі поляризацияны талдау арқылы келесі жолмен анықтауға болады.

Пластинканың бас өстерінің жағдайларын анықтап аламыз және кіру поляризаторы P_1 анықтайтын түсуші жарықтың поляризация жазықтығына $\alpha = \pi/4$ бұрышымен орналастырамыз (14.7-сурет).

Пластинкадан кейін біз $E_{mx} = E_{my}$ амплитудалары бірдей және фазалар ығысуы δ болатын тербелістер аламыз. Осындай тербелістерді табуымыз қажет.

Пластинкадан кейін P_2 поляризаторын орналастырамыз.

Одан амплитудалары

$$\begin{aligned} E_1 &= E_{mx} \cos \beta, \\ E_2 &= E_{my} \sin \beta \end{aligned}$$

болатын тербелістер өтеді, мұндағы β бұрышы поляризатордың бағдарын көрсетеді (14.7-сурет).

Поляризатордан өткен толқынның интенсивтігі осы амплитудалармен және тербелістердің фазалар айырымымен анықталады («Интерференция» бөлімін қара):

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta$$

$I_1 \sim E_1^2$; $I_2 \sim E_2^2$ екендігін ескеріп, алатынымыз:

$$I = I_{\max}(1 + \sin 2\beta \cos \delta).$$

P_2 поляризаторын бұрып, ол арқылы өткен сәуленің интенсивтігінің максимал және минимал мәндерін табамыз.

$$\frac{I_{\max}}{I_{\min}} = \frac{1 - |\cos \delta|}{1 + |\cos \delta|}$$

болғандықтан

$$|\cos \delta| = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

табуымызға болады.

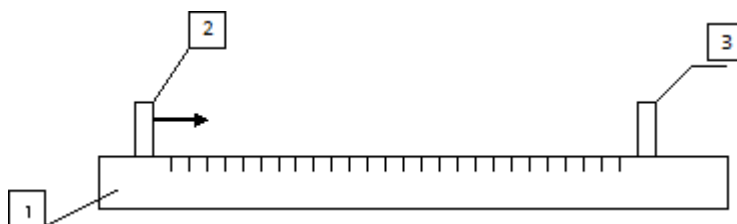
δ шамасын бірмәнді етіп анықтау үшін пластинка қалыңдығы мәндерінің мүмкін болатын ауқымын білу қажет.

39 объектісі үшін $\Delta < \lambda_0/2$ екендігі белгілі.

Эксперименттік қондырғы

Эксперимент сұлбасы 14.8-суретте көрсетілген ЛКО-1 зертханалық кешенінде орындалады:

1 – оптикалық тұғыр; 2 – лазерлік жарық көзі; 3 – лазер сәулесін фотобергішке бағыттайтын айна (03-модуль).



14.8-сурет

Фотобергіш қондырғының артқы жағында орналасқан.

Жұмыстың түріне байланысты лазер көзі 1 мен айна 2 арасына қажетті модульдер мен объектілер орналастырылады.

01-модуль – микропроектор.

05-модуль – конденсор.

06-модуль – объектив.

10-модуль – айналдыратын ұстағыш.

12-модуль – айналдыратын ұстағыштағы поляризатор (анализатор).

13-модуль – айналдыратын үстел.

4-объект – қалыңдығы 1,1 мм шыны жазық параллель пластина.

5-объект – қалыңдығы 4,8 мм шыны жазық параллель пластина.

6-объект – қалыңдығы 4,0 мм пластмасса пластина.

7-объект – шыны сына, бұрышы $\alpha = 2,0$ градус.

8-объект – крон 60° призмасы.

9-объект – флинт 60° призмасы.

11-объект – бипризма.

39-объект – кристаллдық пластина (слюда).

40-объект – жартытолқындық $\frac{\lambda}{2}$ кристалл пластинка.

41-объект – ширектолқындық $\frac{\lambda}{4}$ кристалл пластинка.

44-объект – сұйықтыққа арналған ұзындығы 120 мм кювет.

37-объект – поляризатор.

12-модульдерде орналасқан екі поляризаторды идеал деуге болады (оны сіздерге тексеру қажет).

Бұл поляризаторлар жұмыс жағдайына былай келтірілген:

поляризаторлар жазықтығы айналдыратын ұстағыштың тұтқасына параллель және ұстағыш барабан шкаласының 0-180 градус бөліктеріне сәйкес келеді.

Үшінші поляризатор – 37-объект – идеал емес, оның параметрлерін анықтау қажет.

Сәулелену көзі табиғи (ЛГН-208 лазері) немесе сызықты поляризацияланған (ЛГН-203, ЛГН-109, ЛГН-207 лазерлері) жарық беруі мүмкін.

Қолданылатын лазер түрі қондырғының паспортында көрсетілген.

Жұмыстың орындалу тәртібі

Назар аударыңыз! Берілген жұмысты орындау үшін лазер 2 сағат қызуы қажет!

Назар аударыңыз! Лазерді зертхана қызметкері ғана дәлдейді.

1-жаттығу. Жарық көзі сәулеленуінің поляризациясы

1. Лазердің сәуле шоғын оптикалық тұғыр бойымен бағыттау керек.

2. Оптикалық тұғырдың ~5,4 см белгісіне 05-модульді қою керек.

3. Оптикалық тұғырдың ~67 см белгісіне 03-модульді қою керек.

4. Оптикалық тұғырдың ~41 см белгісіне 06-модульді қою керек.

5. 06-модуль көмегімен фототіркеуші экранында шоктың кескінін алу қажет (дақ өлшемі фототіркеуші терезесінен сәл үлкенірек болуы керек).

6. 03-модуль жанына ~60 см белгісіне поляризаторды (12-модуль) орналастыру қажет.

7. 180 градустан кіші емес аймақта поляризатор бағдарынан әрбір 15 градус сайын поляризатор арқылы өткен сәулелену I_1 интенсивтігінің тәуелділігін өлшеу керек.

8. Өлшеу үш рет орындалады.

9. Нәтижелерді 1-кестеге енгізу керек.

10. Лазердің поляризацияланған сәулеленуінің интенсивтігі жөнінде қорытынды жасау керек.

1-кесте

φ	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
I_1 мВ													

2-жаттығу. Малюс заңын зерттеу

1. Оптикалық тұғырға барлық модулдерді 1-жаттығудағыдай орналастыру керек.

2. Оптикалық тұғырдың 45~50 см белгісіне екінші поляризаторды – 12-модульді орналастыру қажет.

3. I_1 жарық интенсивтігінің поляризатор бағдарына тәуелділігін өлшеу керек.

Нәтижелерді 2-кестеге енгізу керек.

4. Интенсивтіктің $I_{\min}$ және $I_{\max}$ минимал және максимал мәндерін табу керек.

5. Жарық шоғы жабылған кездегі фототіркеушінің фонын алу керек.

6. (14.2) формуласы бойынша жарықтың поляризациялану дәрежесін анықтау керек.

(14.1) формуласына сәйкес $\alpha = 0$ жағдайы үшін $I = I_0$ болады.

7. $I/I_1 = f(\cos^2 \alpha)$ тәуелділік графигін салу керек.

8. Осы сызбада Малюс заңымен эксперимент нәтижелерін салыстыру керек ($I/I_1 = \cos^2 \alpha$ теориялық тәуелділігін салу керек).

φ	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	I _{фон}
I ₁ мВ														

3-жаттығу. Поляризация жазықтығының бұрылу бұрышы бойынша мениікті бұрылу тұрақтысын анықтау

1. Лазердің сәуле шоғын оптикалық тұғыр бойымен бағыттау керек.

2. Оптикалық тұғырдың ~67 см белгісіне 03 модульді орналастырыңыз.

3. Оптикалық тұғырдың ~41см белгісіне 06 модульді орналастырыңыз.

4. 06-модуль көмегімен жарық шоғының ізін алу керек (дақ өлшемі фототіркеуші терезесінен сәл үлкенірек болуы керек).

5. 03-модульдің жанына 60-67 см белгісіне поляризаторды (12-модуль) орналастыру керек.

6. ~46см белгісіне екінші поляризатор (екінші 12-модуль) орналастырылады.

7. Жарық интенсивтігі нөлге тең болатындай етіп поляризаторларды айқастыру керек.

8. Екі поляризатор арасына айналдыратын үстелшені – 13-модуль қою керек, оған ішінде 3 % қант ерітіндісі бар кювет – 44-объект орналастырылады.

Сұйықтық бағанасының ұзындығы 120 мм.

9. Поляризатордың біреуінің көмегімен фототіркеуші терезесінде толық қараңғылық жасап алу қажет.

10. Бұрылу бұрышын 14.3-кестесіне енгізу қажет.

11. Өлшеу үш рет орындалады.

12. (14.5) формуласы бойынша $[\alpha]$ тұрақтысын анықтау керек.

13. Нәтижелерді 14.3-кестесіне енгізу қажет.

φ_1	φ_2	φ_3	$[\alpha_1]$	$[\alpha_2]$	$[\alpha_3]$	$[\alpha_{cp}]$

4- жаттығу. *Ішінара поляризацияны зерттеу*

1. 06-модуль ~ 45 см белгісіне орналастырылады.
2. 10-модуль 37 объектімен бірге ~ 52 см белгісіне орналастырылады.
3. 12-модуль ~ 59см белгісіне орналастырылады.
4. Анализаторды (12-модуль) айналдыра отырып $I_{\min}$ және $I_{\max}$ табу керек.
5. (14.2) формула көмегімен поляризациялану дәрежесін есептеу керек.
6. 37-объект алынып, оның орнына 4-объект қойылады.
7. Анализаторды (12-модуль) айналдыра отырып $I_{\min}$ және $I_{\max}$ табу керек.
8. (14.2) формула көмегімен поляризациялану дәрежесін есептеу керек.
9. 4-объект үшін түсу бұрышы 60^0 болғанда поляризациялану дәрежесін анықтау керек.
10. Нәтижелерді 14.4-кестеге енгізу керек.

14.4-кесте

	$I_{\max}$, мВ	$I_{\min}$, мВ	P
37-объект – поляризатор			
4-объект – шыны пластина Түсу бұрышы 0^0			
4-объект – шыны пластина Түсу бұрышы 60^0			

5-жаттығу. *Сәуле екі ортаның шекарасына Брюстер бұрышымен түскендегі пластинаның сыну көрсеткішін анықтау*

1. 06-модуль ~ 25см белгісіне қойылады.
2. 06-модульдің артына тізбектей 12 және 13 модульдері орналастырылады.
3. Айналдыратын үстелге (13-модуль) 4-объект (шыны пластина) қойылады.

4. Бұрып отырып, пластинадан шағылған сәуленің интенсивтігінің өзгеруін бақылау қажет.

5. Шағылған сәуленің интенсивтігі минимал болатын кезде үстелдің қалпын белгілеп (экрандағы сәуле жоғалады), Брюстер бұрышын жазып алу қажет.

6. (14.3) формуласынан пластинаның сыну көрсеткішін анықтау керек.

7. Осындай өлшеулерді 5, 6, 39 объектілері үшін де орындау керек.

8. Нәтижелерді 14.5-кестесіне енгізу керек.

14.5-кесте

Объектілер	4 шыны пластина	5 шыны пластина	6 пластмасса пластина	39 слюда
i_{Br}				
n				

**6-жаттығу. Эллипстік поляризацияны зерттеу.
Пластинаның оптикалық қалыңдығын анықтау**

1. Екі поляризатор (12-модуль) және 3-модуль 2-жаттығудағыдай етіп орналастырылады.

Интенсивтікті өлшеу үшін қондырғыны реттеу керек.

2. Поляризаторларды айқастырып қою керек.

3. Поляризаторлардың арасына айналдыратын ұстағыш – 10-модуль орналастыру керек.

Оған кристалл пластинаны – объект 39 (слюда) қою керек.

4. Пластинаны бұрып отырып, көру аймағы қараңғыланатын оның қалыптарын табу керек (фототіркеушінің беті қараңғы болады).

Мұнымен сіздер пластинаның бас өстерін табасыздар: олар поляризатор жазықтықтарына параллель.

5. Кіріс поляризаторын 45^0 -қа бұру керек.

6. Анализаторды бұрып отырып, I_{min} және I_{max} табу керек.

7. (14.6) формуласы бойынша δ есептеу керек.

8. $\lambda_0=0,65\text{мкм}$ деп алып, $\delta = \omega\tau = \frac{2\pi}{\lambda_0}d(n_2 - n_1)$ формуласынан

пластинаның оптикалық қалыңдығын анықтау керек.

Бақылау сұрақтары

1. Табиғи жарықтың жазық поляризацияланған жарықтан өзгешелігі неде? Ішінара поляризацияланған жарықтан ше?

2. Диэлектриктен Брюстер бұрышымен шағылған жарықтың E векторы қай жазықтықта тербеледі? Брюстер бұрышының кереметтілігі неде?

3. Брюстер заңын қорытыңыз.

4. Кристалдың оптикалық өсі деген не? Екі өсті кристалдың бір өсті кристалдан айырмашылығы.

5. Қосарланып сыну құбылысы қалай түсіндіріледі?

6. Неге жарық интенсивтігі E векторының амплитудасының квадратына пропорционал?

7. Қандай поляризациялық құралдарды білесіз?

8. Ширектолқынды пластина деген не? Жартытолқынды пластина ше?

9. Қандай заттар оптикалық активті деп аталады?

БИБЛИОГРАФИЯЛЫҚ ТІЗІМ

1. *Сивухин Д. В.* Общий курс физики т. IV Оптика. – М.: Наука, 1989. – 752 с.
2. *Светозаров В. В.* Модульный оптический практикум. Учебное пособие. – М.: ВЛАДИС, 1998. – 85 с.
3. *Савельев И. В.* Курс общей физики. Книга 4. Волны. Оптика, изд. 4 - е, перераб. – М.: Наука, 1998. – 256 с.
4. *Савельев И. В.* Курс общей физики. Книга 5. Квантовая оптика, изд. 4 - е, перераб. – М.: Наука, 1998. – 368 с.
5. *Матвеев А. Н.* Оптика. – М.: Высшая школа, 1985. – 385 с.
6. *Бутиков Е. И.* Оптика. – М.: Высшая школа, 1986. – 512 с.
7. *Детлаф А. А., Яворский Б. М.* Курс физики: Учебное пособие для втузов. изд. 4-е, исп. – М.: Высшая Школа, 2002. – 718 с.
8. *Трофимова Т. И.* Оптика и атомная физика: Законы, проблемы, задачи: Учебное пособие для втузов. – М.: Высшая Школа, 1999. – 288 с.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе.....	3
№ 8 зертханалық жұмыс. Френельдің бипризмасы орнатылған қондырғыда лазер сәулесінің интерференциясын зерттеу.....	5
№ 9 зертханалық жұмыс. Саңылауда, қылда және дөңгелек дискіде болатын жарық дифракциясын зерттеу..	16
№ 10 зертханалық жұмыс. Дөңгелек тесіктегі Френель дифракциясын зерттеу. Френель зоналары.....	30
№ 11 зертханалық жұмыс. Тік төртбұрышты, дөңгелек тесіктердегі, саңылаудағы және экранның шетіндегі Фраунгофер дифракциясы.....	44
№ 12 зертханалық жұмыс. Өртүрлі нысандарда Фраунгофер дифракциясын зерттеу.....	65
№ 13 зертханалық жұмыс. Бірөлшемді және екіөлшемді периодты құрылымда лазерлік сәулелену дифракциясын зерттеу.....	81
№ 14 зертханалық жұмыс. Жарықтың поляризация құбылысын зерттеу.....	94

Оқулық басылым

Мусатай Санат Сағатұлы
Түкібаева Махаббат Ахметқызы
Астемесова Қаламқас Серікқызы

КОГЕРЕНТТІК ОПТИКА

II бөлім

Оқу құралы

ОБО РБ бастығы
Редакторы
Компьютерде беттеген

З. А. Ғұбайдулина
Т. С. Жақсыбаева
А. А. Кадирсизова

Басуға қол қойылды 29.08.2016 ж.
Таралымы 300 дана. Пішімі 60x84x 1/16.
№ 1 баспаханалық қағаз.
Е.-б.т. 6,9. Ш.б.т. 6,5. Тапсырыс № 725.
Бағасы келісімді.

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық
университеті басылымы
Оқу-баспа орталығы,
Алматы қ., Сәтбаев көшесі, 22

ISBN 978-601-323-018-4



9

7 8 6 0 1 3 2 3 0 1 8 4 1