

17. ҮЗДІКСІЗ ӘСЕР ЕТЕТІН ГАЗ ЛАЗЕРІНІҢ ЖҰМЫСТАРЫМЕН ТАНЫСУ ЖӘНЕ ОНЫҢ КЕЙБІР ҚОЛДАНУЛАРЫ

17.1. Жұмыстың мақсаты

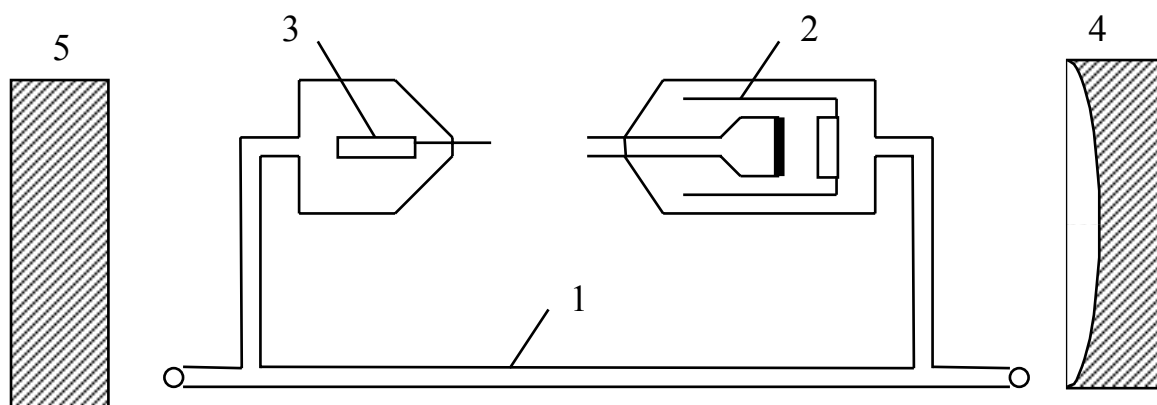
Оптикалық кванттық генератордың (ОКГ) сәуле шығару және жұмыс істеу принципімен танысу. Жарықтың интерференциясы мен дифракциясының кейбір есептерін экспериментпен шешуде ОКГ қасиеттерін (монохроматтылық және поляризация дәрежесінің жоғары болуы, кеңістік бойынша когеренттілік) зерттеу.

Прибордың осі бойымен және оған перпендикуляр бағыттағы ОКГ сәулесін сапалы түрде бағалау. Жұқа пленка (пластинкалар) ұғымын дұрыс түсіну.

17.2. Қысқаша теориялық кіріспе

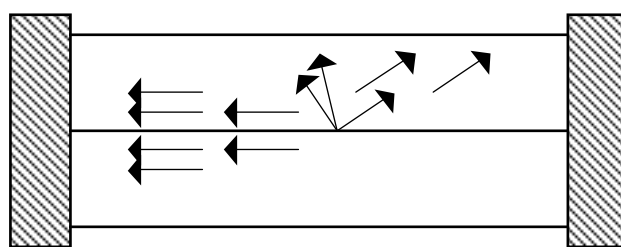
Лазерлік сәуле шығарудың ерекше қасиеттері: 1) қуатты сәуле шығарудың монохроматтылығы (уақыт бойынша когеренттілігі), 2) жарық ағынының кеңістік бойынша когеренттілігі, 3) лазермен шығарылған жарық шоғының қатаң бұрыштық бағыттылығы (коллимация).

Гелий-неон лазерінің негізгі элементі-разрядтық түтік 1 (17.1-сурет). Түтіктің қыздырылатын катоды 2 және аноды 3 бар. Түтіктің ішінде гелий мен неонның қоспасы болады. Гелийдің парциальдық қысымы 1мм с.б., ал неондікі 0,1мм с.б. тең. Түтікшенің катоды қызғанда және оның электродтарына жоғары кернеу берілген кезде, трубка толған газдарда жарқыраған электр разряды пайда болады. Разряд кезінде түтік арқылы 30 mA тоқ жүрген жағдайда түтіктегі анодтық кернеудің түсуі 0,5 кВ шамасындай болады. Электр разрядында электрондардың соқтығысуынан тікелей гелий атомдары қозады, содан кейін қозған гелий атомдары неон атомдарымен соқтығысып, оларға қозу күйлеріне өту үшін қажетті энергия береді.



17.1-сурет. Гелий - неон лазерінің құрылысы

Сонымен түтікшеде неон атомдарынан тұратын активті орта түзіледі. Ары қарай разрядта таралатын фотондардың электромагниттік өрісінің әсерінен (бастапқы кезде неонның қозған атомдарының спонтандық сәуле шығаруынан) неонның басқа қозған атомдарының, яғни лазердің разряд түтігін толтыратын активті ортаның, индукцияланған когерентті жарық шығаруы басталады ($3S_2$, және $2P_4$ деңгейлерден электрондық көшулер). Бұл процестің жалпы өрбуі разрядтық түтіктің айналардан тұратын резонатордың ішінде орналасқандығынан болады (17.1-суреттегі 4 және 5 элементтер, 17.2-сурет). Сәуленің разряд түтігі осінің бойымен көп рет өтуі индукцияланған бағытталған когерентті лазер сәулелерінің қуатты ағынының қалыптасуына әкеліп соғады.



17.2-сурет. Лазердің резонаторы

Түтіктің екі шеті түтік осіне Брюстер бұрышымен көлбеу орналастырылған жазық шыны пластинкалармен (терезелермен) жабдықталған. Терезелерді осылай орналастыру олардан өтетін жарық шығынын азайтады, өйткені бұл жағдайда терезе тек түсу жазықтығында поляризацияланған

тербелістерді өткізеді. Резонатор, көп қабатты диэлектрик жапсарлары бар екі айнадан тұрады. Бұл айналардың шағылу коэффициенттері жоғары ($98-99^0$) және олардан өтетін жарық энергиясы аз жұтылады. Жарықты өткізу коэффициенті бір айна үшін $0,1\%$, ал екіншісінікі- 2% . Резонатор айналарының бірі сфералық ойыс пішінді, оның қисықтығының центрі екінші жазық айнаның бетінде жатады. Айналардың алатын орны мен бағдарлануы олардың құрсауларын бұратын арнаулы микрометрлік винттермен юстировкаланады. Дұрыс юстировка жасалынған резонатор ішіндегі тұрғын жарық толқындарындағы сәуле энергиясы тығыздығының жоғары болуы өріс энергиясы тығыздығына пропорционал индукцияланған сәуленің қуатын қамтамасыз етеді. Лазерлік жарық ағынының минимал бұрыштық ені шоқтың көлденең қимасының шектелуіне байланысты дифракциямен, яғни жарықтың толқындық қасиеттерімен анықталады.

Қыздырылған катодты газ лазерінің жұмыс істеуі үш этаппен іске асады:

1. Түзеткіш тумблерін электр тізбегіне қосу арқылы бір мезетте разрядтық түтік катодының қыздыруын және қондырғының қоректендіру блогіндегі жоғарғы вольтты түзеткіш кенотрондарының қызуын қамтамасыз етуге болады.

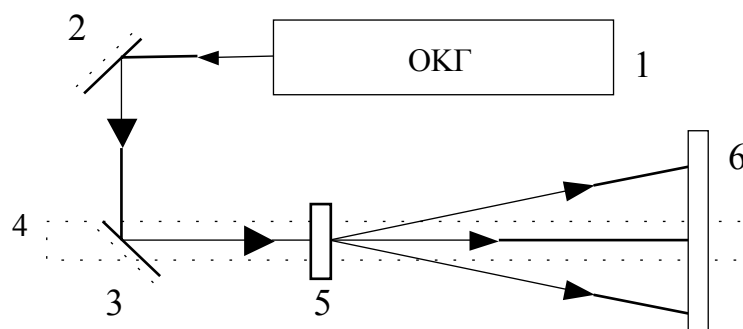
2. Қыздырғыш сымды және катодтарды тізбекке қосқаннан кейін, бірнеше минуттан соң разрядтық түтікке жоғарғы кернеу беруге болады. Егер жоғарғы кернеуді уақытынан бұрын қосатын болсақ, онда газдың оң иондарымен катодты атқылау басталған болар еді: бұл жағдай катодтың күйреуіне әкеліп соғады. қыздырылған катодтан шыққан электрондар оның маңайына теріс көлемдік (кеңістіктік) заряд түзейді. Осы заряд катодты иондық атқылаудан қорғайды.

3. Бастапқы кезде түтіктегі разрядты іске асыру үшін жоғарғы сапалы, жоғарғы вольтті Тесла трансформаторы пайдаланылады. Бұдан кернеу түтікке кигізілген арнаулы сыртқы электродқа беріледі. Тесла трансформаторының кнопкасын қысқа мезет басу арқылы жоғарғы сапалы кернеу импульсін туғызуға болады; ол разрядтық түтік катодты қызғаннан кейінгі разрядтың іске асуына және оған тұрақты жоғарғы кернеу берілуіне қажет.

Лазермен жұмыс істегенде оның жарығын, шашырататын беті бар немесе жарық интенсивтігін шамамен 10^4 есе әлсірететін бейтарап жарық фильтрі арқылы, экраннан шағылғаннан кейін бақылайды. Монохроматты бағытталған сәуле шығаруды лазермен генерациялау мен разрядты тәртіпсіз жарқырауды бір-бірінен ажыратып түсіну үшін газразрядты түтік жарқырауының *спектрлік жіктелуін* білу керек. Разряд спектрін бақылауды шағын спектроскоп көмегімен іске асыруға болады. Егер спектроскоп арқылы газразрядты түтіктің жарқырауын оның бүйір беті арқылы бақыласақ, онда неонның көптеген спектрлік сызықтарын, көк түстерден бастап қызыл түске дейін көруге болады. Лазердің айналары арқылы сыртқа шығатын сәулелер спектрінде, іс жүзінде генерацияланатын тек бір ғана өте интенсивті қызыл спектрлік сызық болады.

17.3. Қондырғының сипаттамасы

Қондырғының негізгі бөліктері: оптикалық кванттық генератор және экспериментке қажетті детальдары (саңылаулар, дифракциялық торлар және т.б.) бар оптикалық орындық. Қондырғының жалпы схемалық түрі 17.3-суретте келтірілген.



17.3-сурет. Эксперимент қондырғысының жалпы схемасы

Мұндағы: 1-ОКГ, 2 және 3-бұратын айналар, 4-оптикалық орындық, 5-эксперимент детальдары (саңылаулар, дифракциялық торлар және т.б.), 6-бөлігінің құны 1мм болатын масштабты горизонталь сызғышы бар негізгі экран. Оптикалық орындықтың бойымен қондырғы детальдарының өзара арақашықтықтарын іріктеп алатын масштабты сызғыш орналасқан. Қондырғының детальдары рейтерлердің бағаналарына орналасқан және оларды

қажетті жағдайда оптикалық орындықтың бойымен жылжытуға болады.

17.4. Жұмыс тапсырмалары мен эксперимент әдістемелері

17.4.1. Үздіксіз әсер ететін газ лазерінің құрылысымен және жұмыс істеу принципімен танысыңыз.

17.4.2. ОКГ жұмысымен және оның кейбір қолдануларымен танысу үшін эксперимент қондырғысының құрылысымен танысыңыз.

17.4.3. Газ лазерін электр тізбегіне оқу лаборанты қосу керек.

Ескерту: лазер сәулесінің көзге тікелей түсуі денсаулыққа зиян.

17.4.4. ОКГ электр тізбегіне қосқаннан кейін қондырғыны жұмыс қалпына келтіріңіз (сәуле оптикалық орындық бойымен жүріп экран шкаласының центріне түсуі керек). Қондырғыға қосымша юстировка әрбір жаттығу үшін жеке жүргізіледі.

17.4.5. ОКГ сәуле шығару поляризациясын сапалы түрде бағалаңыз. Осы мақсатпен сәуленің экранға түсетін жолына поляроид (поляризациялық призма) қойыңыз. Поляроидты сәуле бағытының айналасында бұрай отырып экрандағы дақтың өзгерісін бақылаңыздар. Бақылаудың нәтижесі бойынша қорытынды жасаңыз.

17.4.6. Дифракциялық торлар көмегімен, шамамен, лазер сәулесінің толқын ұзындығын бағалаңыз. Бұл тапсырмада лазер сәуле шығаруының бағыттылығы және кеңістік бойынша когеренттілігі пайдаланылады. Алдын ала жарық ағынына коллимация жасаудың қажеті жоқ.

17.4.6.1. Экранға түсетін сәуле жолына периоды d белгілі дифракциялық торлардың бірінен соң бірін орналастырады. Тор жазықтығы сәулеге перпендикуляр болуы қажет. Экранда лазер сәулесінің монохроматтылығына байланысты әртүрлі оң және теріс реттегі (қызыл жолақтар қатары) көптеген бірін-бірі бүркеп тұрмайтын дифракциялық спектрлер байқалады. Экран бірінші болып түсетін сәулеге қатаң перпендикуляр болып орналастырылады.

17.4.6.2. Дифракциялық максимумдардың, ± 1 , ± 2 , ± 3 және т.б. реттеріне сәйкес, өзара Δx_m арақашықтықтарын экранның шкаласы бойынша бірнеше

рет анықтаңыздар. Әрине $\Delta x_m / 2L = \text{tg}\varphi_m$. Мұндағы L -дифракциялық тор жазықтығынан экран жазықтығына дейінгі арақашықтық және φ_m – m -ретті спектрдің дифракциялану бұрышы. Бұл формулаға әрбір реттегі спектр үшін Δx_m -нің орташа мәнін қоя отырып дифракциялану бұрыштарын φ_m табыңыздар.

17.4.6.3. Дифракциялық спектрдің бас максимум шартына сай лазер сәулесінің толқын ұзындығын есептеңіз: $d \sin \varphi_m = \pm m\lambda$. Есептеуде 17.4.6.2-пунктегі алынған нәтижелерді пайдаланыңыз.

17.4.7. Юнгтің екі саңылаумен жүргізген интерференциялық тәжірибесін жасаңыз (тәжірибенің схемасы лазердің сәуле шығаруының кеңістік бойынша когеренттілігін растайды) және төмендегі өлшеулерді жүргізіңіз.

17.4.7.1. Жеке саңылаудың енін анықтаңыз. Ол үшін экранға түсетін сәуле жолына бір саңылаулы мөлдір емес пластинка қойыңыз. Сонда экранда кәдімгі фрунгоферлік дифракциялық бейне пайда болады. Жарық интенсивтігінің минимумына сәйкес дифракциялану бұрыштары жеке саңылау ϑ еніне, төмендегі шарт бойынша байланысты: $\vartheta \sin \varphi_{min} = m\lambda$, мұндағы $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$. Ал интенсивтіктің максимумына сәйкес дифракциялану бұрыштары ((1 ретті максимумнан бастап): $\vartheta \sin \varphi_{1max} = \pm 1,43\lambda$; $\vartheta \sin \varphi_{2max} = \pm 2,46\lambda$; $\vartheta \sin \varphi_{3max} = \pm 3,47\lambda$; және т.б. шарттармен анықталады.

Экран шкаласы бойынша сызықтық екі еселенген симметриялық $\langle \Delta x \rangle$ ығысуларды, ноль ретті максимумның ортасынан бастап жарықтың максимумдары мен минимумдарын өлшеп алып $\text{tg}\varphi_i = \frac{\langle \Delta x \rangle}{2L}$ мәндерін біртіндеп табыңыздар.

$\sin \varphi_i$ мәнін жоғарыда келтірілген формулаларға қойып, саңылаудың енін ϑ есептеңіздер (λ мәнін 17.4.6.3-пунктен алыңыз).

17.4.7.2. Нольге сәйкес дифракциялық максимум шегінде жатқан интерференциялық бейне бойынша екі саңылаудың өзара орталарының арақашықтықтарын d анықтаңыз. Осы мақсатпен сәуленің экранға түсетін

жолына екі параллель саңылауы бар мөлдір емес пластинка қойыңыз. Нольге сәйкес дифракциялық максимум фонында интерференциялық жолақтар бақыланады.

17.4.7.2.1. Экрандағы кара-қоңыр интерференциялық жолақтардың өзара орташа арақашықтығын $\langle x \rangle$ табыңыз.

17.4.7.2.2. Өзара екі саңылау орталарының арақашықтығын d төмендегі өрнек бойынша анықтаңыз: $d \cdot \varphi = \frac{d \langle x_i \rangle}{L} = \lambda$. $\langle x_i \rangle$ және λ мәндерін

17.4.7.2.1 және 17.4.6.3-пунктеріне сәйкестендіріп алыңыз.

17.4.8. Лазерлік сәулелердің ұсақ дөңгелек бөлшектердегі дифракциясын бақылап, тиісті өлшеулер жүргізіңіздер. Лазер сәулесінің экранға түсу жолына бірдей аз өлшемді шариктер түрінде болатын, ликопедий (өсімдік) бөлшектерімен қапталған шыны пластинка қойыңыз. Ликопедий сыртқы жағынан екінші шыны пластинкамен қорғалады. Экранда кара-қоңыр және жарық дифракциялық сақиналар жүйесі байқалады. Кара-қоңыр сақиналардың бұрыштық радиустары төмендегі шарттарға бағынады:

$$\sin \alpha_1 = \frac{0,61\lambda}{r}, \quad \sin \alpha_3 = \frac{1,11\lambda}{r}, \quad \sin \alpha_5 = \frac{1,62\lambda}{r} \quad \text{Мұндағы } r \text{ - толқын ұзындығы}$$

λ болатын, жарықтың дифракциясын тудырған бөлшектің радиусы.

$$\text{Жарық сақиналардың бұрыштық радиустары } \sin \alpha_2 = \frac{0,82\lambda}{r}$$

$$\text{және } \sin \alpha_4 = \frac{1,34\lambda}{r} \text{ шарттарына бағынады.}$$

Орталық жарық дөңгелекті қоршаған біртекті кара-қоңыр сақинадан басталып дифракция сақиналары нөмірленген. Бөлшектердің радиусын анықтау үшін тәжірибеден α мәндерін табу қажет.

$$\text{tg} \alpha = \frac{D}{2L} \text{ екендігі белгілі; мұндағы } D \text{-тиісті дифракция сақинасының}$$

сызықтық диаметрі, L -ликопедийі бар шыны пластинкадан экранға дейінгі арақашықтық. 17.4.6.3-пункте көрсетілгендей D , L және λ өлшеп, бөлшектердің r радиусын есептеп табуға болады.

17.4.9. Көлбеулігі бірдей интерференциялық жолақтардың (сақиналардың) пайда болуын бақылаңыз және интерференция ретін анықтаңыз.

17.4.9.1. Сәуленің жолына ұлғайтылған лазерлік сәулелер шоғын алу үшін қысқа фокусты объектив орналастырыңыз. Объективтің фокальдық жазықтығында (сәуле жолы бойымен) бөліктері бар экран (нысана) қойылуы қажет.

17.4.9.2. Объективтен 40-60 см қашықтықта шоқ осіне перпендикуляр етіп жазық параллель шыны пластинка орнатыңыз. Пластинканың алдыңғы және артқы бетінен шағылған сәулелер экранда объективтің маңында бірдей көлбеулік сызықты интерференциялық бейне (сақиналар) түзейді. Бірнеше интерференциялық сақиналардың радиустарын R_m және объективтің фокусы арқылы өтетін экран жазықтығы мен шыны пластинка бетіне дейінгі арақашықтықты өлшеңіз. Сонда түсу бұрышының тангенсі $\operatorname{tg} i_m \approx i_m \approx \frac{R}{2L}$

болады. Шыны пластинканың n сыну көрсеткішін біле отырып r_m сыну бұрышын табуға болады: $2dn \cdot \cos r_m = m\lambda$, мұндағы d -пластинканың қалыңдығы. Сонымен қатар есептің шартына байланысты интерференцияның максимал ретін m_{\max} анықтауға болады Шындығында i мен r -дің аз мәндері үшін $2d \cdot n \cdot \cos r = 2d \cdot n(1 - \frac{r_{\max}^2}{2}) = m\lambda$

Осыдан, $m_{\max} = 2d \cdot n / \lambda$ деп алып $r_m^2 = 2(m_{\max} - m) / m_{\max}$ және $i_m^2 = 2n^2 K / m_{\max}$ болатындығын табамыз. Мұндағы $K = m_{\max} - m$. Бұл *сызықтық функция*. Экранда көрінетін кез-келген сақинаға 0 нөмірін беріп, осыдан бастап сақиналардың өсуіне сай есеп жүргіземіз. Шартты нөмір K_x болсын делік, сонда осы сақина үшін оның шын мәні $K = K_0 + K_x$, мұндағы K_0 -есепке алынбаған кара-қоңыр интерференциялық сақиналар саны. Демек

$i_m^2 = \frac{2n^2 K_0}{m_{\max}} + \frac{2n^2 K_x}{m_{\max}}$ және $i_m^2 = K_x$ - тің сызықтық функциясы болып табылады.

17.4.9.3. Ең аз квадраттар әдісін пайдалана отырып $i_m^2 = f(K_x)$ графигін

тұрғызыңыз және экстрополяция әдісімен K_0 мәнін (абсцисса осіндегі кесіндінің ұзындығы) анықтаңыз.

17.4.9.4. 17.4.9.3-пунктегі график бойынша спектрдің максимал ретін

анықтаңыз:
$$m_{max} = \frac{2n^2}{\Delta i_m^2 / \Delta K_x}$$

17.4.9.5. Барлық өлшенген интерференциялық сақиналар үшін интерференция реттерінің шын $m = m_{max} - K_0 - K_x$ мәнін бағалаңыз.

17.4.10. Қарапайым спектроскоп көмегімен газдық разрядтың (прибор осіне перпендикуляр бағытта) спектрін бақылаңыздар. Осы спектрді лазердің резонанстық сәуле шығаруымен (17.4.8-пункт) салыстырыңыз.

17.5. Бақылау сұрақтары

17.5.1. ОКГ құрылысы мен жұмыс істеу принципін түсіндіріңіз.

17.5.2. Лазер сәулесінің монохроматтылығының және поляризациясының жоғарғы дәрежеде болуын, сонымен қатар оның кеңістік бойынша когеренттілігін түсіндіріңіз.

17.5.3. Прибор осі бойымен және оған перпендикуляр бағыттағы ОКГ сәуле шығаруы сипатына сапалы баға беріңіз.

17.5.4. Не себепті қалыңдығы 2см болатын шыны пластинка лазер сәулелері үшін ``жұқа`` болып табылады (көлбеулігі бірдей сызықтардың интерференциялық бейнесі бақыланады)?

17.6. Әдебиет

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

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

17.6.3. Бутиков Е.И. Оптика. -М.: Высшая школа, 1986

17.6.4. Физический практикум. Электричество и оптика. Под. редакций В.И. Ивероной -М.: Наука, 1968