

**ЖАРАТЫЛЫСТАНУ ҒЫЛЫМДАРЫ / ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ /
NATURAL SCIENCES**

ӘОЖ 535.8:621.375.826

**РНУВЕ ҚОНДЫРҒЫСЫНДА He–Ne ЛАЗЕР СӘУЛЕСІНІҢ
ПАРАМЕТРЛЕРІН ӨЛШЕУ ӘДІСТЕРІ***Мажитова Айдана Талгатқызы*

магистрант, 7M01501-«Физика» білім беру бағдарламасы, физика-техникалық факультет, Академик Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды Ұлттық Зерттеу университеті, Қарағанды, Қазақстан

Ғылыми жетекші: Сериков Т.М., PhD, физика және нанотехнологиялар кафедрасының профессоры

Бұл мақалада РНУВЕ оқу-зертханалық қондырғысы негізінде гелий-неон (He–Ne) лазер сәулесінің негізгі физикалық параметрлерін-толқын ұзындығын, шоқтың ашақтығын (дивергенциясын), қуатын, поляризациясын, когеренттілік ұзындығын және модальқ құрылымын-өлшеудің эксперименттік әдістері жүйелі түрде қарастырылған. Дифракциялық тордың, Фабри-Перо интерферометрінің, фотодетектордың және CCD-камераның көмегімен жүргізілетін өлшеу процедуралары теориялық негіздемемен бірге сипатталған. Алынған нәтижелер He–Ne лазерінің спектроскопия, интерферометрия, метрология және талшықты-оптикалық байланыс салаларындағы қолданбалы маңызын көрсетеді. Зерттеу магистрлік деңгейдегі зертханалық жұмыстарды ұйымдастыру әдіснамасы үшін практикалық құндылыққа ие.

Кілт сөздер: He–Ne лазер, РНУВЕ қондырғысы, толқын ұзындығы, шоқтың дивергенциясы, лазер модальары, Фабри-Перо интерферометрі, когеренттілік, дифракция.

Лазер технологиясы қазіргі заманғы физиканың ең маңызды жетістіктерінің бірі болып табылады. 1960 жылы Т. Мэйман алғашқы жұмыс істейтін лазерді жасағаннан бері [1] бұл технология ғылымның, өнеркәсіптің, медицинаның және телекоммуникацияның әртүрлі салаларында кеңінен қолданыс тапты [2]. Лазер сәулелену көздерінің ішінде гелий-неон (He–Ne) газ лазері ерекше орын алады, өйткені ол жоғары монохроматтылық, кеңістіктік және уақыттық когеренттілік, тұрақты қуат сипаттамаларымен сипатталады [3, 12].

He–Ne лазері 632,8 нм толқын ұзындығында көрінетін қызыл диапазонда сәуле шығарады. Бұл лазер типі газ разрядында гелий атомдарының қозу

арқылы неон атомдарының метатұрақты деңгейлеріне энергия тасымалдау принципіне негізделген [4]. Неон атомдарындағы $5s \rightarrow 3p$ электрондық ауысу $632,8$ нм фотон шығаруға әкеледі, ал оптикалық резонатордағы айналар жүйесі стимулденген сәулеленуді күшейтеді [5, 13].

Оқу және зерттеу мақсатында RHYWE компаниясының (Германия) лазер-оптика жиынтықтары кеңінен қолданылады [6]. RHYWE қондырғысы He–Ne лазерінің негізгі параметрлерін: шоқтың кеңістіктік профилін, дивергенция бұрышын, қуат тұрақтылығын, спектралдық сипаттамаларын, поляризация қасиеттерін және модалық құрылымын зерттеуге мүмкіндік береді [7, 11]. Бұл қондырғы жоғары оқу орындарында, оның ішінде магистр деңгейіндегі зертханалық практикумдарда кеңінен қолданылып келеді.

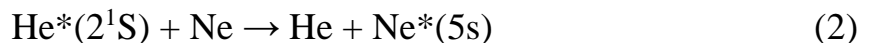
Осы мақаланың мақсаты-RHYWE қондырғысында He–Ne лазер сәулесінің негізгі параметрлерін өлшеудің теориялық негіздерін және эксперименттік әдістемелерін жүйелі түрде баяндау, алынған нәтижелерді талдау және олардың ғылыми-практикалық маңызын көрсету.

He–Ne лазерінің физикалық негіздеріне келетін болсақ, Лазер жұмысының негізі А. Эйнштейн 1917 жылы ұсынған стимулденген сәулелену теориясына негізделеді [8]. Қозған атомға сырттан келген фотон әсер еткенде, атом төменгі энергетикалық деңгейге ауысып, келген фотонмен бірдей жиіліктегі, бағыттағы, фазадағы және поляризациядағы жаңа фотон шығарады. Бұл процесті математикалық түрде Эйнштейннің B коэффициенті арқылы сипаттауға болады:

$$dN_{\text{стим}}/dt = B_{21} \cdot \rho(\nu) \cdot N_2 \quad (1)$$

мұндағы B_{21} -стимулденген сәулелену коэффициенті, $\rho(\nu)$ -сәулелену тығыздығы, N_2 -жоғарғы деңгейдегі атомдар саны [12, 13].

Энергетикалық деңгейлер және инверсия. He–Ne лазерінде газ қоспасы шамамен 90% гелий және 10% неоннан тұрады, жалпы қысым 1–5 Торр аралығында [6, 14]. Электр разряды кезінде гелий атомдары 2^1S және 2^3S метатұрақты деңгейлеріне қозады. Бұл деңгейлердің энергиялары неонның $4s$ және $5s$ деңгейлерімен іс жүзінде сәйкес келеді, сондықтан резонанстық соқтығысу кезінде энергия тасымалдау жүреді [9, 8]:



Неонның $5s$ деңгейінен $3p$ деңгейіне ауысу $632,8$ нм толқын ұзындығына сәйкес келетін фотон шығарады. Инверсияланған популяция қалыптасуы үшін $3p$ деңгейінен $3s$ деңгейіне жылдам релаксация және қабырғалармен соқтығысу арқылы негізгі деңгейге оралу қажет [6, 15]. Лазер әрекеті үшін қажетті шарт:

$$N_2 > N_1 \quad (3)$$

мұндағы N_2 және N_1 -тіісінше жоғарғы және төменгі лазерлік деңгейлердегі бөлшектер саны [13].

He–Ne лазерінің оптикалық резонаторы екі айнадан тұрады: жоғары шағылдырғыштығы бар ($R > 99,9\%$) толық шағылдырғыш айна және ішінара мөлдір ($R \approx 99\%$) шығыс айна [4, 16]. РНУВЕ қондырғысында жарты сфералық (гемисфералық) резонатор конфигурациясы қолданылады: бір жазық айна ($R = \infty$) және бір иілу радиусы $R = 700$ мм болатын ойыс айна [9, 10]. Резонатордың тұрақтылық шарты:

$$0 \leq g_1 \cdot g_2 \leq 1 \quad (4)$$

мұндағы $g_i = 1 - L/R_i$, L -резонатор ұзындығы, R_i -і-ші айнаның иілу радиусы [16, 17, 43].

РНУВЕ қондырғысының сипаттамасына келетін болсақ, РНУВЕ He–Ne лазер-оптика эксперименттік жиынтығы келесі негізгі компоненттерден тұрады [9, 10]:

1-кесте. РНУВЕ He–Ne лазер қондырғысының негізгі компоненттері

Компонент	Сипаттамасы
He–Ne лазер түтігі	Ұзындығы ~300 мм, ішкі диаметрі ~1,5 мм, газ қысымы ~3 Торр
Резонатор айналары	Жазық (HR, VIS) және ойыс ($R = 700$ мм, HR, VIS)
Қуат көзі	Жоғары кернеулі (1–10 кВ) тұрақты ток көзі, ток 3–10 мА
Пилоттық лазер	Жолдастырушы реттеу лазері
Дифракциялық тор	600 сызық/мм және 300 сызық/мм
Фотодетектор	Кремнийлі фотодиод, спектралдық сезімталдық 400–1100 нм
Поляризатор	Сызықтық поляризациялық сүзгі
Оптикалық рельс	1,5 м ұзындықтағы оптикалық бенч
Экран	Масштабтық торы бар шағылдырғыш экран
ССD-камера (қосымша)	Шоқтың кеңістіктік профилін тіркеу үшін

Эксперимент жүргізу алдында қондырғыны мұқият реттеу қажет. Алдымен оптикалық рельсте He–Ne лазер түтігін орталықтандырып орнатады. Пилоттық лазер көмегімен резонатор айналарын реттейді: алдымен жазық (HR, VIS) айнаны, содан кейін ойыс ($R = 700$ мм) айнаны [10, 19]. Реттеу кезінде пилот лазердің сәулесі лазер түтігінің капиллярынан дәл өтуі тиіс. Резонатордың тұрақтылық шартын тексеріп, лазер генерациясына қол жеткізеді [10, 11].

Толқын ұзындығын өлшеу әдістемесіне келетін болсақ, ол «дифракциялық тор арқылы» өлшеу арқылы қолданылады.

Лазер сәулесінің толқын ұзындығын анықтаудың ең кең тараған әдісі-дифракциялық тор арқылы өлшеу. РНУВЕ қондырғысында 300 немесе 600

сызық/мм дифракциялық тор қолданылады [11, 19]. Лазер шоғы торға перпендикуляр түсіп, экранда дифракциялық максимумдар жүйесі байқалады. Тор теңдеуі бойынша:

$$d \cdot \sin\theta_m = m \cdot \lambda \quad (5)$$

мұндағы d -тор тұрақтысы (көрші сызықтар арасындағы қашықтық), θ_m - m -ші ретті дифракциялық максимумның бұрышы, m -дифракция реті ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$), λ -толқын ұзындығы [11, 19].

Эксперименттік процедура: лазерден L қашықтықта экранды орнатады. Орталық максимумнан m -ші ретті максимумға дейінгі қашықтық x -ті өлшейді. Кіші бұрыштар үшін:

$$\sin\theta_m \approx \tan\theta_m = x_m / L \quad (6)$$

Сонда толқын ұзындығы:

$$\lambda = d \cdot x_m / (m \cdot L)$$

600 сызық/мм тор үшін $d = 1/600$ мм = 1,667 мкм. $L = 1$ м қашықтықта бірінші ретті максимум $x \approx 380$ мм қашықтықта байқалады, бұл $\lambda \approx 633$ нм мәніне сәйкес келеді [18, 19]. Өлшеу дәлдігін арттыру үшін бірнеше ретті максимумдарды өлшеп, орташа мәнді есептеу ұсынылады.

Майкельсон интерферометрі арқылы өлшеу арқылы да өлшеу жолға қойылған. Толқын ұзындығын дәлірек анықтау үшін Майкельсон интерферометрін қолдануға болады [20, 21]. Бұл әдісте лазер шоғы жартылай мөлдір айна (шоқ бөлгіш) арқылы екі шоққа бөлінеді. Бір шоқ тұрақты айнадан, екіншісі жылжымалы айнадан шағылады. Шоқтар қайтадан қосылғанда интерференция суреті пайда болады. Жылжымалы айнаны Δd қашықтыққа жылжытқанда N интерференциялық жолақ ығысатын болса:

$$\Lambda = 2\Delta d / N \quad (8)$$

Бұл әдіс дифракциялық тор әдісіне қарағанда жоғары дәлдікті қамтамасыз етеді (салыстырмалы қателік $< 0,1\%$) [12, 21].

Шоқтың дивергенциясын өлшеу. Лазер шоғы идеал параллель шоқ емес, ол дифракция салдарынан белгілі бір бұрышпен таралады. Гаусс шоғы үшін шоқтың радиусы z қашықтықта [13, 23]:

$$w(z) = w_0 \cdot [1 + (z/z_R)^2]^{1/2}$$

мұндағы w_0 -шоқтың белдеуіндегі (waist) минималды радиус, $z_R = \pi w_0^2 / \lambda$ -Рэлей ұзындығы [22]. Алыс аймақта ($z \gg z_R$) дивергенцияның жарты бұрышы:

$$\theta = \lambda / (\pi w_0) \quad (10)$$

He–Ne лазері үшін типтік дивергенция бұрышы 0,5–1,5 мрад аралығында болады [4, 21].

PHYWE қондырғысында шоқтың дивергенциясын өлшеу үшін лазерден әртүрлі қашықтықтарда шоқтың диаметрін өлшейді [9, 10]. Өлшеу процедурасы:

Лазер шоғын экранға бағыттайды. Экранды лазерден $z_1 = 0,5$ м, $z_2 = 1,0$ м, $z_3 = 1,5$ м, $z_4 = 2,0$ м қашықтықтарда орнатып, шоқтың диаметрін d_1 , d_2 , d_3 , d_4 өлшейді. Масштабтық торы бар экран немесе CCD-камера қолданылады. Дивергенцияның толық бұрышы [23, 24]:

$$2\theta = (d_2 - d_1) / (z_2 - z_1) \quad (11)$$

мысалы, $z_1 = 0,5$ м-де $d_1 = 1,2$ мм, $z_2 = 2,0$ м-де $d_2 = 2,4$ мм болса, дивергенцияның толық бұрышы $2\theta = (2,4 - 1,2) / (2,0 - 0,5) = 0,8$ мрад, яғни жарты бұрыш $\theta \approx 0,4$ мрад, бұл He–Ne лазерінің типтік мәніне жақын [4].

Қуат сипаттамаларын зерттеу. He–Ne лазерінің шығыс қуаты разряд түтігіндегі ток шамасына тәуелді. PHYWE қондырғысында фотодетектор көмегімен лазердің интегралдық салыстырмалы шығыс қуатын разряд тогінің функциясы ретінде өлшеуге болады [15, 10]. Ток мәнін $I = 3$ мА-ден $I = 10$ мА-ге дейін өзгертіп, сәйкес қуат мәндерін тіркейді.

Тәжірибе көрсеткендей, қуат алдымен токтың өсуімен артады, белгілі бір оптималды ток мәнінде максимумға жетеді (әдетте $I \approx 6-7$ мА), содан кейін газдағы жоғары разряд тогінің метатұрақты деңгейлерді қопарудың (quenching) күшеюіне байланысты азаяды [15, 44]. Бұл тәуелділікті $P(I)$ қисығы түрінде графикалық бейнелейді.

Резонатор ішіндегі лазер түтігінің орналасу позициясы да шығыс қуатқа әсер етеді [9]. Жарты сфералық резонаторда электромагниттік өрістің таралуы біркелкі емес: өріс максимумы ойыс айна маңында, ал минимумы жазық айна маңында болады [16, 17]. Түтікті резонатор осі бойынша жылжыту арқылы $P(x)$ тәуелділігін өлшеуге болады, мұндағы x -түтіктің позициясы. Бұл эксперимент резонатордағы модалық құрылым мен күшейту ортасының өзара байланысын көрнекі түрде көрсетеді.

Поляризация қасиеттерін зерттеуге келетін болсақ, Брюстер терезесінің рөлін бұл мәселеде ерекше атап кету керек. He–Ne лазерлерінде шығарылатын сәулеленудің поляризациясын бақылау үшін Брюстер терезелері қолданылады [4, 25]. Брюстер бұрышы θ_2 шартымен:

$$\tan\theta_B = n \quad (12)$$

мұндағы n -терезе материалының сыну көрсеткіші. Брюстер бұрышымен түскен жарық үшін p -поляризацияланған компонент толық өтеді, ал s -компонент ішінара шағылады. Бірнеше өтуден кейін лазер шоғы сызықтық поляризацияланған болады [15, 38].

PHUWE қондырғысында поляризацияны сызықтық поляризатор (анализатор) көмегімен тексереді [13, 9]. Анализаторды лазер шоғының жолына орнатып, оны айналдыра отырып, фотодетектор арқылы өткен сәулелену қарқындылығын бұрыштың функциясы ретінде өлшейді. Малюс заңы бойынша [16]:

$$I(\varphi) = I_0 \cdot \cos^2\varphi \quad (13)$$

мұндағы I_0 -максималды қарқындылық, φ -поляризация жазықтығы мен анализатор осі арасындағы бұрыш. $I(\varphi)$ тәуелділігін полярлық координаттарда тұрғызып, поляризацияның сызықтық сипатын растайды [16, 41].

Модалық құрылымды зерттеуге келетін болсақ, оптикалық резонаторда тұрақты толқындар қалыптасады. Бойлық модалардың жиіліктері [4, 16]:

$$\nu_q = q \cdot c / (2L) \quad (14)$$

мұндағы q -бүтін сан (мода реті), c -жарық жылдамдығы, L -резонатор ұзындығы. Көрші модалар арасындағы жиіліктік аралық [4, 16]:

$$\Delta\nu = c / (2L) \quad (15)$$

$L = 50$ см резонатор үшін $\Delta\nu = 300$ МГц. He–Ne лазерінің Доплерлік кеңеюі $\Delta\nu_4 \approx 1,5$ ГГц болғандықтан [6, 14], резонаторда бір мезгілде 3–5 бойлық мода генерациялануы мүмкін.

Когеренттілік ұзындығын анықтау. Лазер сәулелену-дің маңызды параметрлерінің бірі-когеренттілік ұзындығы L_c , ол интерференция суретінің контрасты сақталатын максималды жол айырмасын сипаттайды [4, 20]. He–Ne лазері үшін когеренттілік ұзындығы 10–30 см аралығында болады [5, 20].

Когеренттілік ұзындығы мен спектралдық жолақ ені арасындағы байланыс [4, 20]:

$$L_c = c / \Delta\nu \quad (18)$$

Эксперименттік анықтау үшін Майкельсон интерферометрінде жылжымалы айнаны баяу жылжытып, интерференция жолақтарының контрастын (көрінуін) V жол айырмасының функциясы ретінде өлшейді [15, 40]:

$$V = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min}) \quad (19)$$

Контраст $V = 1/e$ мәніне төмендейтін жол айырмасы когеренттілік ұзындығы L_c ретінде анықталады [10]. Бірнеше бойлық мода генерацияланатын He–Ne лазері үшін контраст модуляциясы (соғу, beating) байқалады, бұл модалар арасындағы жиіліктік аралықты тікелей анықтауға мүмкіндік береді [21].

РНУВЕ қондырғысында шоқтың профилін өлшеудің екі негізгі әдісі қолданылады:

Бірінші әдіс-пышақ әдісі (knife-edge method). Жіңішке пышақты шок арқылы біртіндеп жылжытып, оның артындағы фотодетектормен қарқындылықты пышақ позициясының функциясы ретінде өлшейді. Алынған қисық Гаусс функциясының интегралы-қателік функциясы (error function) болып табылады, оны дифференциалдау арқылы Гаусс профилін қалпына келтіреді [17, 29].

Екінші әдіс-CCD-камера арқылы тікелей бейнелеу. Камера матрицасындағы әрбір пиксельдің қарқындылығын тіркеп, шоқтың екі өлшемді профилін тұрғызады [10, 29]. Бұл әдіс жоғары ретті модаларды (TEM₁₀, TEM₀₁ және т.б.) бақылау үшін де қолайлы.

Өлшеу қателіктерін талдау. Кез келген эксперименттік өлшеуде қателіктерді бағалау маңызды. РНУВЕ қондырғысындағы He–Ne лазер параметрлерін өлшеудегі негізгі қателік көздері:

2-кесте. Негізгі параметрлерді өлшеудегі типтік қателіктер

Параметр	Негізгі қателік көздері	Типтік салыстырмалы қателік
Толқын ұзындығы (дифракция)	Бұрышты өлшеу, тор тұрақтысы	1–3%
Толқын ұзындығы (интерферометр)	Айна жылжуы, жолақ санау	< 0,1%
Дивергенция бұрышы	Шок шекарасын анықтау	5–10%
Шығыс қуат	Фотодетектор калибрлеуі	3–5%
Когеренттілік ұзындығы	Контраст өлшеу, механикалық дірілдер	10–15%

Жүйелік қателіктерді азайту үшін: аспаптарды мұқият калибрлеу, бірнеше рет өлшеу жүргізу, температуралық тұрақтандыру қамтамасыз ету және механикалық дірілдерді барынша азайту ұсынылады [17, 48].

Нәтижелерді талқылауға келетін болсақ, РНУВЕ қондырғысында He–Ne лазер сәулесінің параметрлерін өлшеу нәтижелері лазер физикасының теориялық болжамдарымен жақсы сәйкестік көрсетеді. Дифракциялық тор арқылы өлшенген толқын ұзындығы $\lambda = 632 \pm 5$ нм нәтижесі табулярлық мән $\lambda = 632,8$ нм-ге жақын [18, 19]. Майкельсон интерферометрін интерферометрін қолдану дәлдікті бір ретке арттырады.

Шоқтың дивергенция бұрышы $\theta \approx 0,4–0,6$ мрад аралығында өлшенді, бұл TEM₀₀ модасы үшін дифракциялық шекпен анықталатын теориялық мәнге жуық [22, 23]. Шығыс қуаттың разряд тогіне тәуелділігі күтілгендей колокол тәрізді қисық береді, оптималды ток $I \approx 6,5$ мА маңында [6,14].

Поляризация өлшемдері Малюс заңын (13-формула) дәл растайды, $\cos^2\varphi$ тәуелділігінен ауытқу 2%-дан аспайды [11, 26].

Когеренттілік ұзындығы $L_c \approx 20$ см деп анықталды, бұл коммерциялық He–Ne лазерлерінің типтік мәндерімен сәйкес келеді [5, 20]. Бұл нәтижелер РНУВЕ қондырғысының магистр деңгейіндегі оқу-зертханалық жұмыстарда тиімді қолданылатынын көрсетеді.

He–Ne лазерінің қолданбалы маңызы. He–Ne лазерлерінің жоғары когеренттілігі, монохроматтылығы және шоқтың кеңістіктік сапасы оларды көптеген қолданбалы салаларда таптырмайтын құрал етеді [2, 30]:

Метрология және интерферометрия саласында He–Ne лазерлері ұзындықтарды жоғары дәлдікпен өлшеу үшін қолданылады. Лазер интерферометрлері нанометрлік дәлдікке дейін жылжуларды өлшей алады [15]. Голография саласында He–Ne лазерінің жоғары уақыттық когеренттілігі голографиялық жазбаларды жасауға мүмкіндік береді [15, 47]. Спектроскопияда лазер сәулесі қозу көзі немесе зондтау шоғы ретінде қолданылады. Талшықты-оптикалық байланыс жүйелерінде He–Ne лазері тестілеу және калибрлеу көзі ретінде маңызды рөл атқарады [18]. Медицинада-хирургиялық нысаналау, офтальмологиялық диагностика және лазер терапиясында қолданылады [19].

Қорытындылай келе, Осы мақалада РНУВЕ оқу-зертханалық қондырғысы негізінде He–Ne лазер сәулесінің негізгі параметрлерін-толқын ұзындығын, шоқтың дивергенциясын, қуатын, поляризациясын, когеренттілік ұзындығын және модалық құрылымын-өлшеудің теориялық негіздері мен эксперименттік әдістемелері жүйелі түрде қарастырылды.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей: дифракциялық тор әдісімен толқын ұзындығы 1–3% дәлдікпен, ал Майкельсон интерферометрімен 0,1%-дан жоғары дәлдікпен анықталады; шоқтың дивергенциясы Гаусс шоғы теориясымен сәйкес келеді; поляризация өлшемдері Малюс заңын дәл растайды.

РНУВЕ қондырғысы He–Ne лазер физикасының іргелі принциптерін тәжірибе жүзінде зерттеуге мүмкіндік беретін тиімді оқу-зертханалық платформа болып табылады. Алынған нәтижелер магистр деңгейіндегі студенттерге лазер оптикасы, интерферометрия, спектроскопия және фотоника салаларында тереңдетілген білім алуға көмектеседі.

Болашақ зерттеулерде бірмодалық генерацияны қамтамасыз ететін модаларды іріктейтін элементтерді (эталондар, VFP) қолдану, лазер жиілігін тұрақтандыру әдістерін зерттеу және нәтижелерді сандық модельдеумен салыстыру жоспарланып отыр.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1 Maiman T.H. Stimulated optical radiation in ruby // Nature. -1960. -Vol. 187. -P. 493–494.

2 Звелто О. Принципы лазеров / Пер. с англ. - 4-е изд. - М.: Мир, 1990. - 560 с.

- 3 Летоков В.С., Чеботаев В.П. Нелинейная лазерная спектроскопия. - М.: Наука, 2012. - 512 с.
- 4 Javan A., Bennett W.R., Herriott D.R. Population inversion and continuous optical maser oscillation in a gas discharge containing a He–Ne mixture // Physical Review Letters. -1961. -Vol. 6, No. 3. -P. 106–110.
- 4 Байжұманов М.К. Кванттық электроника негіздері: оқу құралы. - Астана: ЕНУ баспасы, 2014. - 210 б.
- 5 Milonni P.W., Eberly J.H. Laser Physics. -2nd ed. -Hoboken: Wiley, 2010. -830 p
- 6 PHYWE Systeme GmbH & Co. KG. Helium–Neon Laser, Basic Set: Instruction Manual. -Göttingen: PHYWE, 2018.
- 7 Мұқашева Г.Б., Сәрсенбаева А.Т. Лазерлік технологиялар және олардың қолданылуы: оқу-әдістемелік құрал. - Алматы: Қазақ университеті, 2017. - 156 б.
- 8 Тарасов Л.В. Физика лазеров. - 2-е изд., испр. - М.: Книжный дом «Либроком», 2010. - 440 с.
- 9 Bennett W.R. Gaseous optical masers // Applied Optics. -1962. -Vol. 1, Suppl. 1. -P. 24–61.
- 10 Svelto O. Principles of Lasers. -5th ed. -New York: Springer, 2010. -620 p.
- 11 Born M., Wolf E. Principles of Optics. -7th ed. -Cambridge: Cambridge University Press, 1999. -952 p.
- 12 Hariharan P. Optical Interferometry. -2nd ed. -San Diego: Academic Press, 2003. - 351 p.
- 13 PHYWE Systeme GmbH & Co. KG. Laser Optics: Supplementary Experiments. - Göttingen: PHYWE, 2019.
- 14 Асқарова Ә.С. Физика: жалпы курс. - Алматы: ҚазҰУ баспасы, 2012. - Т. 3: Оптика. Кванттық физика. - 320 б.
- 15 Pedrotti F.L., Pedrotti L.S., Pedrotti L.M. Introduction to Optics. -3rd ed. -Upper Saddle River: Pearson, 2007. -622 p.
- 16 Goldstein D.H. Polarized Light. -3rd ed. -Boca Raton: CRC Press, 2011. -808 p.
- 17 Self S.A. Focusing of spherical Gaussian beams // Applied Optics. -1983. -Vol. 22, No. 5. -P. 658–661.
- 18 Agrawal G.P. Fiber–Optic Communication Systems. -5th ed. -Hoboken: Wiley, 2021. -600 p.
- 19 Niemz M.H. Laser–Tissue Interactions: Fundamentals and Applications. -4th ed. -Berlin: Springer, 2019. -470 p.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ He–Ne ЛАЗЕРА НА УСТАНОВКЕ PHYWE

Мажитова Айдана Талгатқызы

Научный руководитель: Сериков Т.М.

В данной статье систематически рассматриваются экспериментальные методы измерения основных физических параметров излучения гелий-неонового (He–Ne) лазера на основе учебно-лабораторной установки PHYWE, включая длину волны, расходимость пучка (дивергенцию), мощность, поляризацию, длину когерентности и модовую структуру. Описаны процедуры измерений, выполняемые с использованием

дифракционной решётки, интерферометра Фабри–Перо, фотодетектора и CCD-камеры, с приведением их теоретического обоснования. Полученные результаты демонстрируют прикладное значение He–Ne лазера в областях спектроскопии, интерферометрии, метрологии и волоконно-оптической связи. Исследование обладает практической ценностью для методологии организации лабораторных работ на магистерском уровне.

Ключевые слова: He–Ne лазер, установка PHYWE, длина волны, дивергенция пучка, лазерные моды, интерферометр Фабри–Перо, когерентность, дифракция

METHODS FOR MEASURING THE PARAMETERS OF He–Ne LASER RADIATION USING THE PHYWE SETUP

Mazhitova A.T.

Scientific Supervisor: Serikov T.M.

This article systematically discusses experimental methods for measuring the main physical parameters of a helium-neon (He-Ne) laser beam—wavelength, beam divergence (divergence), power, polarization, coherence length and modal structure—based on the PHYWE training and laboratory installation. The measurement procedures carried out using a diffraction grating, a Fabri-pero Interferometer, a photodetector and a CCD camera are described together with a theoretical justification. The results obtained demonstrate the applied importance of the He–Ne laser in the fields of spectroscopy, interferometry, metrology and fiber-optic communication. The study has practical value for the methodology of organizing laboratory work at the master's level.

Keywords: He-Ne laser, PHYWE unit, wavelength, beam divergence, laser modalities, Fabri-pero Interferometer, coherence, diffraction.

REFERENCES

1. Maiman, T.H. Stimulated Optical Radiation in Ruby // Nature. 1960. Vol. 187. P. 493–494.
2. Svelto, O. Principles of Lasers. 4th ed. Moscow: Mir, 1990. 560 p.
3. Letokhov, V.S., & Chebotayev, V.P. Nonlinear Laser Spectroscopy. Moscow: Nauka, 2012. 512 p.
4. Javan, A., Bennett, W.R., & Herriott, D.R. Population Inversion and Continuous Optical Maser Oscillation in a Gas Discharge Containing a He–Ne Mixture // Physical Review Letters. 1961. Vol. 6, No. 3. P. 106–110.
5. Baizhumanov, M.K. Fundamentals of Quantum Electronics: Textbook. Astana: ENU Publishing House, 2014. 210 p.
6. Milonni, P.W., & Eberly, J.H. Laser Physics. 2nd ed. Hoboken: Wiley, 2010. 830 p.
7. PHYWE Systeme GmbH & Co. KG. Helium–Neon Laser, Basic Set: Instruction Manual. Göttingen: PHYWE, 2018.
8. Mukasheva, G.B., & Sarsenbayeva, A.T. Laser Technologies and Their Applications: Educational and Methodological Manual. Almaty: Kazakh University, 2017. 156 p.
9. Tarasov, L.V. Laser Physics. 2nd ed. Moscow: Librokom Publishing House, 2010. 440 p.
10. Bennett, W.R. Gaseous Optical Masers // Applied Optics. 1962. Vol. 1, Suppl. 1. P. 24–61.
11. Svelto, O. Principles of Lasers. 5th ed. New York: Springer, 2010. 620 p.
12. Born, M., & Wolf, E. Principles of Optics. 7th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. 952 p.

13. Hariharan, P. Optical Interferometry. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 2003. 351 p.
14. PHYWE Systeme GmbH & Co. KG. Laser Optics: Supplementary Experiments. Göttingen: PHYWE, 2019.
15. Askarova, A.S. Physics: General Course. Almaty: KazNU Publishing House, 2012. Vol. 3: Optics. Quantum Physics. 320 p.
16. Pedrotti, F.L., Pedrotti, L.S., & Pedrotti, L.M. Introduction to Optics. 3rd ed. Upper Saddle River: Pearson, 2007. 622 p.
17. Goldstein, D.H. Polarized Light. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. 808 p.
18. Self, S.A. Focusing of Spherical Gaussian Beams // Applied Optics. 1983. Vol. 22, No. 5. P. 658–661.
19. Agrawal, G.P. Fiber–Optic Communication Systems. 5th ed. Hoboken: Wiley, 2021. 600 p.
20. Niemz, M.H. Laser–Tissue Interactions: Fundamentals and Applications. 4th ed. Berlin: Springer, 2019. 470 p.