

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники

А.Д. Безпалый, А.Е. Мандель

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОГЕРЕНТНОСТИ
ИЗЛУЧЕНИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ**

Методические указания к лабораторной работе
для студентов технических направлений подготовки и специальностей

Томск
2025

УДК 535:530.145
ББК 22.343
Б–39

Рецензент:

Хатьков Н.Д., доцент кафедры сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники ТУСУР,
канд. техн. наук

Авторы:

А. Д. Безпалый, А. Е. Мандель

Безпалый, Александр Дмитриевич

Б-39 Исследование пространственной когерентности излучения твердотельных лазеров: методические указания к лабораторной работе для студентов технических направлений подготовки и специальностей / А.Д. Безпалый, А.Е. Мандель. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2025. – 19 с.

В методических указаниях изложены основы теории когерентности света, описание устройства твердотельного YAG:Nd-лазера с внутрирезонаторной генерацией второй гармоники излучения. Описана экспериментальная установка и методика проведения лабораторной работы. В ходе выполнения работы студенты закрепляют теоретические знания об устройстве твердотельных лазеров и когерентности лазерного излучения.

Методические указания предназначены для студентов технических направлений подготовки и специальностей.

Одобрено на заседании каф. СВЧикР протокол № 6 от 14.02.2025 г.

УДК 535:530.145
ББК 22.343

© Безпалый А. Д., Мандель А. Е., 2025
© Томск. гос. ун-т систем упр. и
радиоэлектроники, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	5
1.1 Устройство и принцип действия твердотельного лазера на YAG:Nd ³⁺	5
1.2 Когерентность излучения	6
2 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ	11
3 СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ	14
4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	15
5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.....	17
6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	18
Список литературы	19

Введение

Одним из самых замечательных свойств лазеров является высокая когерентность их излучения. Под когерентностью понимают согласованное протекание в пространстве и во времени нескольких колебательных или волновых процессов. Когерентность разделяют на **пространственную и временную**.

Пространственная когерентность — это согласованное протекание нескольких колебательных или волновых процессов в разных точках пространства в один и тот же момент времени.

Временная когерентность — это согласованное протекание нескольких колебательных или волновых процессов в разные моменты времени в одной и той же точке пространства.

Целью данной работы является ознакомление с конструкцией твердотельного YAG:Nd-лазера с внутрирезонаторной генерацией второй гармоники излучения, основными понятиями когерентности оптических полей, а также изучение методов измерения характеристик когерентности лазерного излучения.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Устройство и принцип действия твердотельного лазера на YAG:Nd³⁺

Неодимовые лазеры являются самыми популярными из твердотельных лазеров. В этих лазерах активной средой обычно является кристалл Y₃Al₅O₁₂ (иттрий-алюминиевый гранат), в котором часть ионов Y³⁺ замещена ионами Nd³⁺. Типичная атомарная концентрация неодима составляет 0,05-1,3 %.

Упрощенная схема энергетических уровней кристалла Nd : YAG приведена на рисунке 1.1.

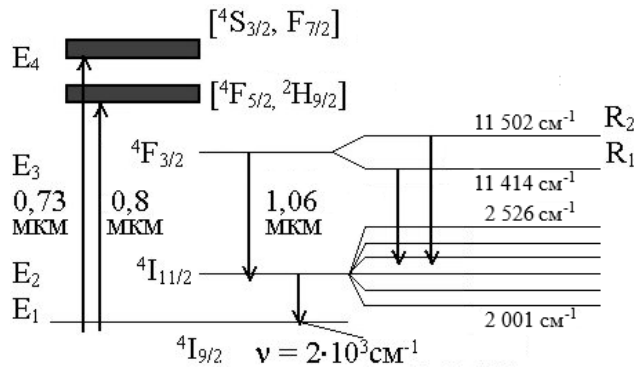


Рисунок 1.1 – Схема энергетических уровней кристалла YAG:Nd³⁺

Две основные полосы накачки расположены на длинах волн 0,73 и 0,8 мкм, соответственно. В кристалле YAG:Nd³⁺ переход $^4F_{3/2} - ^4I_{11/2}$ хорошо подходит для получения лазерной генерации в четырехуровневой схеме. Этот переход имеет длину волны $\lambda = 1,064$ мкм (ближний ИК диапазон).

YAG:Nd-лазеры могут работать как в непрерывном, так и в импульсном режиме. Активные элементы выполняются в виде стержней диаметром до 0,5-1 см и длиной до 10 см. Они отличаются высоким оптическим качеством и хорошо поддаются полировке. Обычно лазеры на иттрий-алюминиевом гранате (ИАГ) используются в режиме импульсно-периодического или непрерывного возбуждения. При этом в режиме импульсно-периодического возбуждения создают достаточно длинные (0,5-10 мс) импульсы с частотой повторения до 100 Гц. Мощность непрерывной генерации современных лазеров на ИАГ достигает 400 Вт.

Оптическая накачка YAG:Nd-лазеров осуществляется либо с помощью излучения газоразрядных ламп, либо с помощью светодиодов или лазерных диодов.

YAG:Nd-лазеры могут работать в непрерывном и импульсном режиме. В первом случае используются криптоновые лампы накачки, во втором — ксеноновые. И основная проблема в обоих случаях — низкая эффективность поглощения излучения накачки. Это приводит к высокому энергопотреблению и большому тепловыделению. Так что для подобных систем требуется водяное охлаждение.

Вторым существенным недостатком твердотельных лазеров с ламповой накачкой является непродолжительный срок службы ламп — несколько сотен часов. А их регулярная замена ведет к существенному увеличению эксплуатационных расходов.

Тем не менее, твердотельные лазеры с ламповой накачкой имеют и ряд преимуществ: большая энергия импульса, высокое качество излучения, возможность получения пятна обработки меньшего размера, лучшее поглощение металлами, более простая эксплуатация и надежность.

Другой способ оптической накачки YAG:Nd-лазера — накачка лазерными диодами или линейками лазерных диодов с длиной волны излучения 808 нм, идеально попадающей в

полосу поглощения активной среды YAG:Nd-лазера. Схема лазера на кристалле YAG:Nd³⁺ с диодной накачкой, генерирующего излучение с длиной волны $\lambda = 532$ нм, приведена на рисунке 1.2.

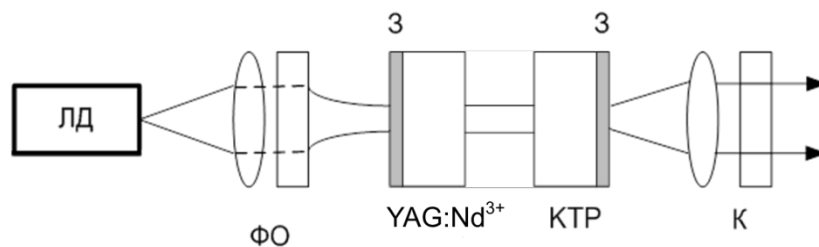


Рисунок 1.2 – Схема YAG:Nd³⁺-лазера с диодной накачкой: ЛД – лазерный диод; ФО – фокусирующая оптическая система; З – входное и выходное зеркала; YAG:Nd³⁺ – накачиваемый кристалл ИАГ; КТР – удвоитель частоты; К – коллиматор

В современных твердотельных лазерах в качестве активных сред применяются Nd:YAG (иттрий-алюминиевый гранат), Nd:YVO₄ (ванадат иттрия), Nd:LSB (скандоборат лантана). Представленная на рисунке 1.2 схема показывает типичную конструкцию лазера с диодной накачкой, генерирующего излучение с длиной волны 0,53 мкм. Излучение лазерного диода (ЛД) с длиной волны 0,81 мкм с помощью фокусирующей оптической системы (ФО) вводится через торец в активный кристалл (YVO₄). Зеркало (З) прозрачно для излучения накачки, но обладает высоким коэффициентом отражения для излучения с длиной волны 1,06 мкм. В оптический резонатор, образованный двумя зеркалами (З), помещен нелинейный кристалл КТР (титанил-фосфат калия), осуществляющий удвоение частоты. Эффект удвоения частоты или генерации второй гармоники рассматривается в [1] (Глава 8). Второе зеркало резонатора является прозрачным для излучения с $\lambda = 532$ нм и хорошо отражает на основной гармонике. Выведенное из резонатора излучение с удвоенной частотой коллимируется оптической системой (К).

Основными характеристиками YAG:Nd-лазера с диодной накачкой является высокий КПД и возможность генерации импульсов с периодичностью 0,1...100 кГц. Более эффективное поглощение излучения накачки позволяет существенно снизить энергопотребление лазера. Кроме того, меньше энергии уходит в тепловые потери, поэтому лазерам с диодной накачкой достаточно воздушного охлаждения. Это упрощает эксплуатацию и позволяет уменьшить габариты. Еще одним преимуществом таких лазеров является большой срок службы лазерных диодов. Он составляет более 10000 часов. К недостаткам лазеров с диодной накачкой можно отнести чувствительность к температуре окружающей среды в жаркое время.

1.2 Когерентность излучения

Представление об оптической когерентности обычно связывают с интерференцией. Это объясняется тем, что *интерференция* является простейшим явлением, в котором обнаруживается согласованность (корреляция) между световыми пучками, вызывающая пространственно-неоднородное распределение интенсивности в области их пересечения. В результате возникают зоны взаимного усиления или ослабления света. Внешне интерференция проявляется в формировании интерференционной картины.

Явление пространственной когерентности излучения демонстрируется с помощью классического опыта с интерферометром Юнга (рисунок 1.4).

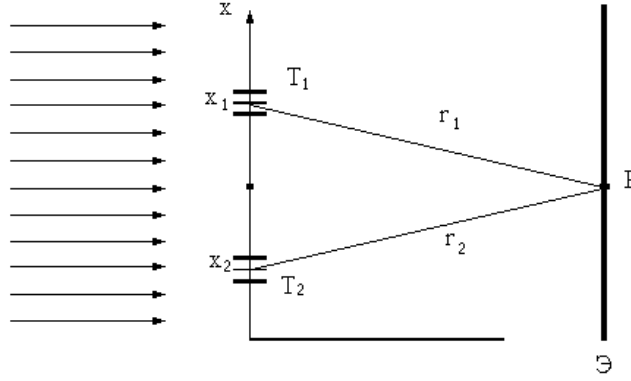


Рисунок 1.4 – Интерферометр Юнга

Пучок света падает на непрозрачный экран с двумя отверстиями T_1 и T_2 . Свет, прошедший через отверстия складывается на экране Э. Рассмотрим распределение света на этом экране. Если поле на отверстиях можно записать в виде

$$E_1(x_1, t) = E_1(x_1, t)e^{i[\omega t + \phi_1(x_1, t)]}$$

$$E_2(x_2, t) = E_2(x_2, t)e^{i[\omega t + \phi_2(x_2, t)]}, \quad (1.1)$$

то средняя за время T интенсивность света в точке P экрана будет пропорциональна:

$$\begin{aligned} I(x_1, x_2, r_1 - r_2) &\approx |E_1[x_1, (t - r_1 / c)] + E_2[x_2, (t - r_2 / c)]|^2 = \\ &= I_1 + I_2 + 2 \operatorname{Re} \frac{1}{T} \int_0^T E_1(x_1, t) E_2^*[x_2, (t - \frac{r_2 - r_1}{c})] dt, \end{aligned} \quad (1.2)$$

где I_1 и I_2 интенсивности света в точке P , создаваемые только первым и только вторым отверстием, а третий член характеризует корреляцию полей от первого и второго отверстий. В (1.2) x_1 и x_2 – координаты отверстий, а $r_2 - r_1$ – разность хода волн до точки P .

Если амплитуда и фаза полей случайны во времени, то при усреднении третий член (1.2) обращается в нуль и интенсивность поля в точке P определяется, как сумма интенсивностей от обоих отверстий. Однако, если излучение из отверстий приходят согласованно, то корреляционный член отличен от нуля и интенсивность поля зависит от фазовых соотношений между двумя сигналами. Корреляционную функцию

$$\Gamma_{12}(x_1, x_2, r_2 - r_1) = \operatorname{Re} \frac{1}{T} \int_0^T E_1(x_1, t) E_2^*[x_2, (t - \frac{r_2 - r_1}{c})] dt \quad (1.3)$$

называют функцией частичной когерентности колебаний в точках x_1 и x_2 . Нормированная функция Γ_{12} определяет степень когерентности взаимодействующих световых волн:

$$\gamma_{12}(x_1, x_2, r_2 - r_1) = \frac{\Gamma_{12}(x_1, x_2, r_2 - r_1)}{\sqrt{I_1 I_2}}. \quad (1.4)$$

Теперь выражение (1.2) можно записать в виде:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \gamma_{12} \quad (1.5)$$

Из (1.1) и (1.2) видно, что степень когерентности представляет собой коэффициент корреляции колебаний $E_1(x_1, t)$ и $E_2(x_2, t)$. Если колебания в точках x_1 и x_2 полностью

коррелированы (когерентны), то

$$|\gamma_{12}| = I. \quad (1.6)$$

Если колебания в точках x_1 и x_2 полностью некоррелированы, то

$$|\gamma_{12}| = 0. \quad (1.7)$$

Для полностью когерентного поля во всех точках

$$|\gamma_{12}| = I. \quad (1.8)$$

Для полностью некогерентного поля

$$|\gamma_{12}| = 0. \quad (1.9)$$

В промежуточном случае поле называется частично когерентным. Вообще говоря, любые поля, с которыми мы встречаемся в природе, частично когерентны.

Как следует из определения, величины Γ_{12} и γ_{12} зависят от трех аргументов: положения точек x_1 и x_2 и разности хода волн $r_1 - r_2$. Так как фазовый множитель при распределении поля равен e^{-jkr} , то зависимость Γ_{12} от $r_1 - r_2$ будет иметь вид:

$$\Gamma_{12}(x_1, x_2, r_2 - r_1) = \Gamma(x_1, x_2, r_2 - r_1) e^{ik(r_2 - r_1)} \quad (1.10)$$

Запишем $\Gamma_{12}(x_1, x_1, 0)$ в комплексной форме:

$$\Gamma_{12}(x_1, x_2, 0) = |\Gamma_{12}(x_1, x_2, 0)| e^{i\alpha} \quad (1.11)$$

где α – фаза Γ_{12} .

Тогда:

$$\Gamma_{12}(x_1, x_2, r_2 - r_1) = |\Gamma_{12}(x_1, x_2)| e^{i[\alpha + k(r_2 - r_1)]}. \quad (1.12)$$

Определив

$$|\gamma_{12}(x_1, x_2)| = \frac{|\Gamma_{12}(x_1, x_2)|}{\sqrt{I_1 I_2}}, \quad (1.13)$$

из формулы (1.5) получим:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} |\gamma_{12}(x_1, x_2)| \cos[\alpha + k(r_2 - r_1)] \quad (1.14)$$

Отсюда можно найти максимальное значение $I_{\max}$:

$$I_{\max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} |\gamma_{12}(x_1, x_2)|, \quad (1.15)$$

и минимальное значение $I_{\min}$:

$$I_{\min} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2} |\gamma_{12}(x_1, x_2)|. \quad (1.16)$$

Мерой контраста интерференционной картины является ее видность γ . Видность γ по определению равна:

$$\gamma = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}. \quad (1.17)$$

Подставляя в (1.17) $I_{\max}$ и $I_{\min}$, получим:

$$v = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2} |\gamma_{12}(x_1, x_2)|. \quad (1.18)$$

Как видно, видность интерференционной картины прямо пропорционально модулю степени когерентности γ_{12} . Если же $I_1 = I_2$, то

$$v = |\gamma_{12}|. \quad (1.18)$$

Таким образом, для того, чтобы измерить модуль степени пространственной когерентности поля в точках x_1 и x_2 достаточно измерить видность интерференционной картины, созданной интерферометром Юнга в плоскости экрана Э (рисунок 1.4).

Рассмотрим частный случай, когда интерферометр Юнга образован парой щелей шириной a каждая. Пусть центры щелей отстоят друг от друга на расстоянии r . Тогда можно показать, что распределение поля в дальней зоне описывается формулой, получаемой из (1.14):

$$I = (I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} |\gamma_{12}(x_1, x_2)| \cos[\alpha + \frac{2\pi r}{\lambda} \sin \theta]) \times \left[\frac{\sin(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta)}{\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta} \right]^2, \quad (1.19)$$

где I_1 и I_2 интенсивности излучения каждой из щелей; θ – угол между нормалью к плоскости интерферометра и направлением на точку наблюдения; λ – длина волны; x_1 и x_2 – координаты центров щелей, расстояние между которыми r .

Последний сомножитель в формуле (1.19) описывает диаграмму направленности отдельной щели.

Отметим, что поскольку $a \gg \lambda$ и $r \gg \lambda$ величину $\sin \theta$ можно полагать равной θ без существенной ошибки в вычислениях.

Измеряя видность интерференционной картины в дальней зоне и используя формулу (1.19), можно найти модуль степени когерентности $\gamma_{12}(x_1, x_2)$.

В дальнейшем вместо переменных x_1 и x_2 мы будем рассматривать степень когерентности, как функцию двух новых переменных: $r = |x_1 - x_2|$ и координаты центра интерферометра:

$$x = \frac{x_1 + x_2}{2}. \quad (1.20)$$

В этом случае

$$\gamma_{12}(x_1, x_2) \equiv \gamma_{12}(r, x). \quad (1.21)$$

Степень пространственной когерентности лазерных пучков зависит от модового состава пучка. Если пучок образован только одной модой, то степень его когерентности практически не отличается от 1. Если в пучке содержится большое число мод, то степень когерентности оказывается малой и тем меньшей, чем больше мод принимает участие в генерации лазера. Кроме того, степень когерентности, как видно из (1.21) зависит от расстояния r между щелями и от положения центра интерферометра x на сечении пучка.

Зависимость модуля степени когерентности γ_{12} от параметра r очевидна. Зависимость модуля степени когерентности γ_{12} от параметра x связана с тем, что модовый состав

излучения меняется по сечению пучка. Например, если резонатор лазера сферический, то “объем” поля мод равного порядка существенно разный: чем выше номер моды, тем больше его поперечные размеры. Поэтому, при смещении интерферометра по сечению пучка, в центре его степень когерентности будет мала, поскольку в этой области суммируются поля всех мод. На периферии пучка присутствуют только поля высокого порядка и степень когерентности будет более высокой. В плоскопараллельном резонаторе все моды имеют один и тот же объем и этот эффект будет выражен гораздо слабее.

2 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Источником лазерного излучения в экспериментальной установке является твердотельный лазер на кристалле YAG:Nd с внутрирезонаторной генерацией второй гармоники излучения. Экспериментальная установка для получения генерации второй гармоники излучения твердотельного лазера на YAG: Nd приведена на рисунке 2.1.

В состав установки входят следующие элементы: 1 – лазерный диод ($P=1$ Вт, $\lambda = 808$ нм); 2 – терминал управления диодным лазером; 3 – коллимирующая линза; 4 – фокусирующая линза; 5 – входное плоское зеркало; 6 – активный элемент из кристалла $Y_3Al_5O_{12}:Nd$; 7 – нелинейный элемент из кристалла КТР; 8 – выходное сферическое зеркало; 9 – светофильтр; 10 – диафрагма для настройки лазера; 11 – юстировочный лазер; 12 – цифровой мультиметр; 13 – цифровой осциллограф.



Рисунок 2.1 – Лабораторный стенд для исследования генерации второй гармоники

Лазерный диод 1 используется для оптической накачки активного элемента 4 из кристалла $Y_3Al_5O_{12}:Nd$. Линзы 3 и 4 необходимы для расширения и фокусировки излучения на активный элемент 4. Зеркала 5 и 8 образуют резонатор лазера. Нелинейный элемент 7 реализует генерацию второй гармоники ($\lambda = 532$ нм). Лазер на активном элементе 6 $Y_3Al_5O_{12}:Nd$ генерирует излучение с длиной волны 1,064 мкм. Поэтому для настройки всех элементов установки используется юстировочный диодный лазер 11 с излучением из красной области спектра. Светофильтр 9 необходим для фильтрации излучения, вышедшего из резонатора. Мощность оптического излучения регистрируется фотодетектором, затем измеряется с помощью цифрового мультиметра 13.

Схема экспериментальной установки для измерения когерентности второй гармоники лазерного излучения приведена на рисунке 2.2.

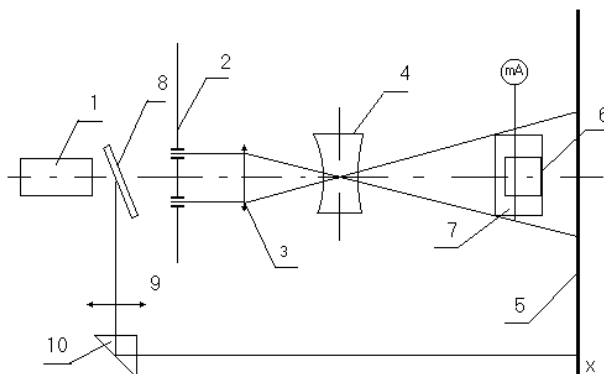


Рисунок 2.2 – Схема экспериментальной установки для измерения когерентности лазерного излучения

Излучение второй гармоники лазера 1 после прохождения через делительную пластину 8 падает на интерферометр Юнга 2, выполненный в виде двух щелей, шириной 100 мкм каждая. Расстояние между щелями меняется от 100 мкм до 1000 мкм. После прохождения через интерферометр лучи проходят через сферическую линзу 3 и короткофокусную рассеивающую цилиндрическую линзу 4. Расстояние между линзами подбирается так, что в плоскости экрана 5 распределение поля на интерферометре Юнга соответствует распределению поля в дальней зоне. Одновременно через делительную пластину 8, линзу 9 и призму 10 пятно лазера попадает на экран. С помощью этого канала можно контролировать форму пятна излучения и модовый состав лазерного пучка.

Интерферометр Юнга, линзы 3 и 4, а также фотодиод 6 расположены на подвижных столиках, что позволяет осуществить настройку схемы и снять искомые зависимости. Фототок с фотодиода измеряется цифровым вольтметром.

Зависимость интенсивности излучения от координаты x в плоскости экрана 5 описывается выражением (1.5). Проведем анализ (1.5), пренебрегая смещением интерференционной картины, связанной с аргументом функции γ_{12} .

Тогда из (1.5) следует, что в центре картины при $\theta = 0$ будет наблюдаться максимум:

$$I_0 = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} |\gamma_{12}(r, x)|. \quad (2.1)$$

В точке $\frac{2\pi r}{\lambda} \theta_m = \pi$ будет минимум, равный

$$I_{\min 1} = (I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2} |\gamma_{12}(r, x)|) \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi a}{2r}\right)}{\frac{\pi a}{2r}} \right), \quad (2.2)$$

где a – размер щели интерферометра, r – расстояние между щелями.

Далее, вблизи точки $\theta = 2 \cdot \theta_m$ будет расположен второй максимум интерференционной картины:

$$I_{\max 1} = (I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} |\gamma_{12}(r, x)|) \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi a}{r}\right)}{\frac{\pi a}{r}} \right)^2, \quad (2.3)$$

а в точке $\theta = 3 \cdot \theta_m$ второй минимум и т.д. Сравнивая выражения для $I_{\max 1}$ и I_0 , получим:

$$I_{\max 1} \approx 0,41 I_0, \quad (2.4)$$

Вследствие малого расстояния между щелями будем полагать $I_1 = I_2$. Тогда из (2.1), (2.2) получим:

$$|\gamma_{12}(r, x)| = \frac{1 - \frac{I_{\min}}{\rho I_{\max}}}{1 + \frac{I_{\min}}{\rho I_{\max}}}, \quad (2.5)$$

где

$$\rho = \left(\frac{\sin t}{t} \right)^2, \quad t = \frac{\pi a}{2r}. \quad (2.6)$$

Таким образом, из вышеизложенного следует, что для определения степени пространственной когерентности необходимо выделить излучение в двух точках сечения светового луча, измерить интенсивность излучения в максимумах и минимумах интерференционной картины и используя формулу (2.5) найти модуль степени когерентности.

3 СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

- 3.1 Измерение пространственного распределения интенсивности светового поля с помощью фотоприемника на расстоянии L от линзы.
- 3.2 Определение рабочей моды лазера.
- 3.3 Измерение интенсивности максимумов излучения интерференционной картины в зависимости от пространственной координаты.
- 3.4 Определение видности интерференционной картины.
- 3.5 Исследование зависимости степени когерентности от базы интерферометра.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед выполнением работы необходимо ознакомиться с целью работы, теоретическим материалом, описанием экспериментальной установки и пройти инструктаж по технике безопасности.

Лабораторную работу необходимо выполнять в защитных очках!

1. Включить юстировочный диодный лазер лабораторного стенда, приведенного на рисунке 2.1
2. Используя юстировочный диодный лазер провести юстировку лазерного диода, входного и выходного зеркал, активного элемента, нелинейного элемента
3. Снять с рельса юстировочный диодный лазер.
4. Подключить лазерный диод, используемый для оптической накачки активного элемента к терминалу управления.
5. Установить минимальную мощность генерации лазера YAG:Nd, изменяя ток диода накачки.
6. Меняя ток лазерного диода получить генерацию второй гармоники лазерного излучения.
7. Проверить в каком режиме работает лазер. Для этого поставить сферическую линзу за лазером. В режиме генерации основной моды TEM₀₀ на экране наблюдается одно пятно.
8. С помощью микрометрического винта столика, на котором расположен интерферометр Юнга 2 (рисунок 2.2), совместить центр интерферометра №1 с центром лазерного луча. Получить интерференционную картину.
9. Измерить интенсивности максимумов излучения интерференционной картины в зависимости от координаты x в плоскости экрана 5.
10. Результаты измерений занести в таблицу 4.1 . Измерения повторить не менее 3-х раз.

Таблица 4.1 – База интерферометра №1 - 100 мкм

№ измер	1	2	3	4	средн.	$\frac{I_{\max 1,2}}{I_0} \approx \beta$
$I_{\max 1}$						
$I_{\min 1}$						
I_0						
$I_{\min 2}$						
$I_{\max 2}$						

где $I_{\max 1,2}$ $I_{\min 1,2}$ – интенсивности излучения в максимумах и минимумах интерференционной картины.

11. По измеренным данным в таблице 4.1 определить $\beta_{1,2}$. Результаты измерений $I_{\max 1}$ и $I_{\min 1}$ или $I_{\max 2}$ и $I_{\min 2}$ занести в таблицу 4.2 и определить видность интерференционной картины интерферометра №1.

Таблица 4.2 – Результаты измерения $I_{\max}$ и $I_{\min}$

№ изм	1	2	3	4	γ_{12}
$I_{\max}$					
$I_{\min}$					

12. Измерить зависимость степени когерентности от базы интерферометра не менее чем для 5 баз. Для этого повторите измерения $I_{\max 1}$ и $I_{\min 1}$ или $I_{\max 2}$ и $I_{\min 2}$, для интерферометров № 2, 3, 4, 5 смещая их, с помощью микрометрического винта, относительно луча лазера. Результаты измерений занесите в таблицу 4.3. При установке каждой базы центр интерферометра совмещать с центром луча.

Таблица 4.3 – Результаты измерения зависимости степени когерентности

r	200мк	300мк	400мк	500мк	600мк	700мк
$I_{\max}$						
$I_{\min}$						
γ_{12}						

13. По результатам вычислений построить график $\gamma_{12} = f(r)$.

14. Обработку результатов по пп. 2 и 3 провести с помощью формулы (2.6). Результаты изобразить графически.

5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать следующие пункты:

- Цель работы.
- Теоретические сведения.
- Описание установки.
- Ход работы.
- Результаты проделанной работы и выводы.

Требования к оформлению отчета приведены в образовательном стандарте вуза ОС ТУСУР 01-2021 [3].

После оформления отчет сдать на проверку преподавателю и приступить к защите работы. Перед защитой необходимо повторно изучить рекомендуемую литературу.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что характеризует временная когерентность лазера?
2. Что характеризует пространственная когерентность излучения лазера?
3. С помощью какого прибора можно измерить пространственную когерентность?
4. Что такое видность интерференционной картины?
5. Что такое степень пространственной когерентности? Как ее измерить?
6. Какие свойства лазерного излучения определяет степень пространственной когерентности? От чего она зависит?
7. Что такое мода оптического резонатора?
8. Как будет изменяться степень когерентности, если увеличивать базу интерферометра Юнга?

Список литературы

1. Шандаров, В. М. Основы физической и квантовой оптики: Учебное пособие [Электронный ресурс] / В. М. Шандаров. – Томск: ТУСУР, 2012. – 197 с. – Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/750> (дата обращения: 10.02.2025)
2. Пихтин А. Н. Квантовая и оптическая электроника: учеб. для вузов / А. Н. Пихтин. – М.: Абрис, 2012. – 656 с.
3. Образовательный стандарт вуза ОС ТУСУР 01-2021. Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям технического профиля. Общие требования и правила оформления от 25.11.2021 [Электронный ресурс]. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2021. – 52 с. – Режим доступа: <https://regulations.tusur.ru/#/documents/87> (дата обращения: 10.02.2025)