

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

А.Д. Безпалый, А.Е. Мандель

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОГЕРЕНТНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ
ГАЗОВЫХ И ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ**

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

Томск
2023

УДК 535:530.145

ББК 22.343

Рецензент:

Шарангович С.Н., профессор кафедры сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники
ТУСУР, канд. физ.-мат. наук

Авторы:

А. Д. Безпалый, А. Е. Мандель

Безпалый, Александр Дмитриевич,

Исследование пространственной когерентности излучения газовых и твердотельных лазеров / А.Д. Безпалый, А.Е. Мандель. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиозлектроники, 2023. – 19 с.

В работе изложены основы теории когерентности света, описание устройства газового He-Ne-лазера и твердотельного YAG:Nd³⁺-лазера. Описана экспериментальная установка и методика проведения лабораторной работы. В ходе выполнения работы студенты закрепляют теоретические знания об устройстве газовых и твердотельных лазеров, и когерентности электромагнитного излучения оптического диапазона.

Методические указания предназначены для студентов технических направлений подготовки и специальностей.

Одобрено на заседании каф. СВЧиКР протокол №2 от 28.09.2023 г.

УДК 531.1

ББК 22.3

© Безпалый А.Д., 2023

© Томск. гос. ун-т систем упр. и
радиэлектроники, 2023

Оглавление

Введение	4
1 ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ	4
1.1 Устройство и принцип действия He -Ne лазера	4
1.2 Устройство и принцип действия твердотельного лазера на YAG:Nd ³⁺	7
1.3 Когерентность излучения	9
2 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ	13
3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	15
4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	17
5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	17
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 газового He-Ne и твердотельного YAG:Nd³⁺ лазера, с основными понятиями теории когерентности оптических полей, а также изучение методов измерения характеристик когерентности излучения газовых и твердотельных лазеров.

1 ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ

1.1 Устройство и принцип действия He-Ne лазера

Гелий-неоновый (He-Ne) лазер является одним из первых построенных квантовых приборов оптического диапазона. Устройство гелий-неонового лазера поясняется рисунком 1.1.

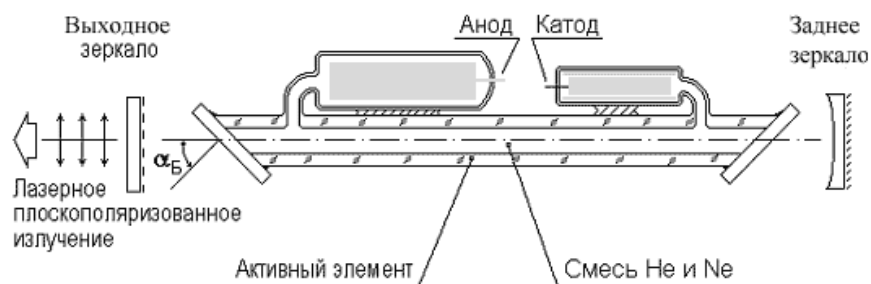
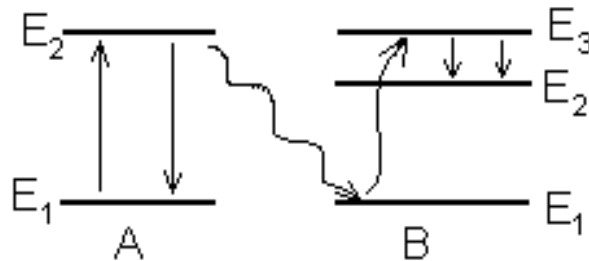


Рисунок 1.1 – Устройство гелий-неонового лазера

Основным элементом оптического квантового генератора (ОКГ) является газоразрядная трубка, заполненная смесью гелия (*He*) и неона (*Ne*). Торцы трубки скошены под углом Брюстера так, что отражение от них излучения с вертикальной поляризацией сведено к нулю. Трубка помещается в оптический резонатор Фабри-Перо, образованный зеркалами. Питание трубки и поддержание в ней разряда осуществляется генератором накачки, представляющим источник постоянного напряжения.

Для получения состояния с инверсией населенностей в газовом лазере используется метод неупругих соударений в двухкомпонентной газовой среде. Суть этого метода заключается в следующем. Пусть в разрядной трубке имеется смесь двух газов: вспомогательного (примесного) и рабочего. Вспомогательный газ имеет два энергетических уровня, а рабочий – три (рисунок 1.2).



Вспомогательный газ (He) Рабочий газ (Ne)

Рисунок 1.2 – Энергетические уровни смеси двух газов

Согласно закону Больцмана, в состоянии теплового равновесия для энергетических уровней, разделенных частотами оптического диапазона, все атомы рабочего и примесного газов находятся на первых энергетических уровнях. Когда в трубке возникает разряд, часть атомов обоих газов переводится в возбужденные состояния (на верхние энергетические уровни). Уровень E_2 примесного газа является метастабильным (обладает большим временем жизни) и поэтому на нем происходит постепенное накопление возбужденных атомов. Последние, сталкиваясь с невозбужденными атомами рабочего газа, передают им свою энергию, совершая одновременно переход на основной уровень E_1 . Невозбужденный атом рабочего газа, получив при столкновении энергию, переходит на третий уровень. Таким образом, происходит резонансное заселение уровня E_3 , уровень E_2 остается практически пустым и на переходе $E_3 \rightarrow E_2$ возникает инверсия населенностей. Для того, чтобы процесс резонансного заселения был эффективней, число атомов примесного газа в смеси делают больше, чем у рабочего.

Упрощенная энергетическая диаграмма атомов He и Ne приведена на рисунке 1.3. Атомы гелия являются примесными и имеют диаграмму уровней, изображенную на рисунке 1.3 слева.

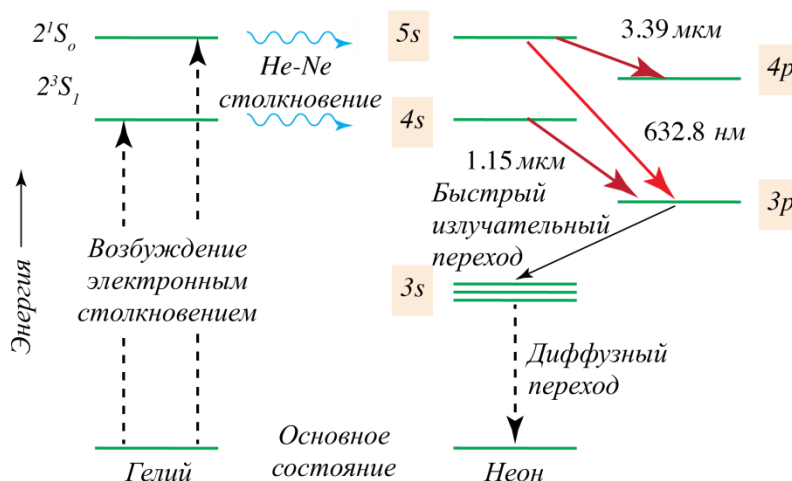


Рисунок 1.3 – Энергетическая диаграмма атомов He и Ne

В результате неупругих соударений атомов *He* и *Ne* населенности уровней 2*S* и 3*S* неона возрастают, а уровней 2*P* и 3*P* неона остаются малыми. Время жизни уровней 2*S* и 3*S* у *Ne* больше, чем уровней 2*P* и 3*P*. Поэтому при некотором токе разряда, при правильно подобранных давлениях He и Ne в смеси, можно получить инверсию населенностей в переходах 3*S* – 3*P* (инфракрасное излучение $\lambda=3,39$ мкм), 2*S* – 2*P* (инфракрасное излучение $\lambda=1,15$ мкм) и 3*S* – 2*P* (красный свет $\lambda=0,63$ мкм).

При наличии в Ne состояния с инверсией населенностей и создания с помощью зеркал резонатора положительной обратной связи, генератор самовозбуждается и излучает на длине волны $\lambda=0,63$ мкм, 1,15 мкм или 3,39 мкм в зависимости от того, на какой из них оптимален коэффициент отражения зеркал.

Процесс самовозбуждения лазера можно упрощенно описать следующим образом: шумовое спонтанное излучение частиц, по мере распространения вдоль газоразрядной трубки, стимулирует индуцированные переходы с метастабильных уровней. Таким образом, проходя через трубку, световое поле усиливается, причем доля индуцированного излучения в нем возрастает. Зеркала, играющие роль резонатора, позволяют за счет многократных отражений светового поля увеличить время взаимодействия излучения и активных частиц. Если возникающее в результате таких многократных проходов индуцированное излучение способно компенсировать все потери резонатора, то выполняется одно из основных условий самовозбуждения – баланс амплитуд. Второе условие - баланс фаз – выполняется автоматически для всех резонансных частот резонатора. Самовозбуждение наступает на тех резонансных участках, на которых коэффициент усиления среды оказывается достаточным для выполнения баланса амплитуд.

1.2 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 1.4.

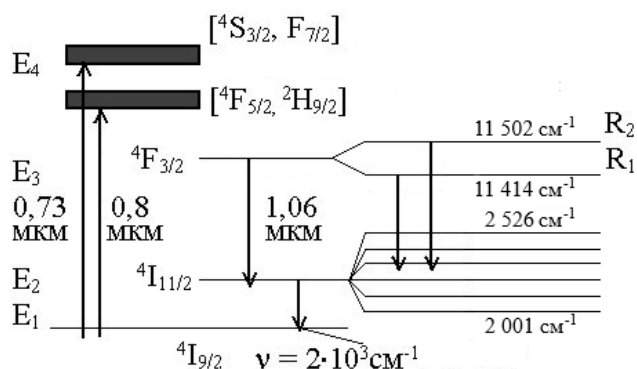


Рисунок 1.4 – Схема энергетических уровней кристалла YAG:Nd³⁺

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:Nd³⁺ лазеры могут работать как в непрерывном, так и в импульсном режиме. Активные элементы выполняются в виде стержней с 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 400Вт.

Оптическая накачка YAG:Nd³⁺ лазеров осуществляется либо с помощью излучения газоразрядных ламп, либо с помощью светодиодов, лазеров.

Эти 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 (несколько сотен часов) срок службы ламп. А их регулярная замена ведет к существенно 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; надежность.

Схема YAG:Nd³⁺ с диодной накачкой приведена на рисунке 1.5. Накачка этих систем осуществляется лазерными диодами или линейками лазерных диодов с длиной волны излучения 808 нм, идеально попадающей в полосу поглощения активной среды Nd:YAG-лазера.

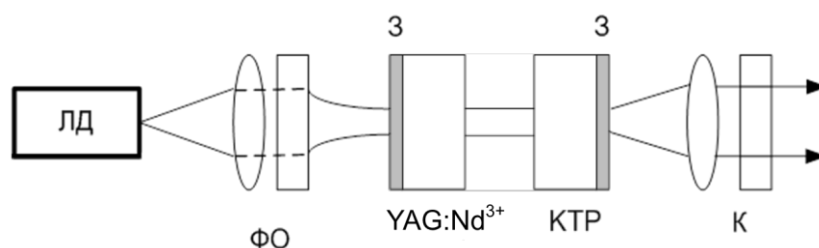


Рисунок 1.5 – Схема YAG:Nd³⁺-лазера с диодной накачкой: ЛД – лазерный диод; ФО – фокусирующая оптическая система; 3 – входное и выходное зеркала; YAG:Nd³⁺ – накачиваемый кристалл ИАГ; КТР – удвоитель частоты; – коллиматор

В современных твердотельных лазерах в качестве активных сред применяются Nd:YAG (иттрий-алюминиевый гранат), Nd:YVO₄ (ванадат иттрия), Nd:LSB (скандоборат лантана). Типичная конструкция лазера с диодной накачкой, генерирующего излучение с длиной волны 0,53 мкм, представлена схематически на рис 6.9. Здесь излучение лазерного диода (ЛД) с длиной волны 0,81 мкм с помощью фокусирующей оптической системы (ФО) вводится через торец в активный кристалл (YVO₄). Зеркало (3) прозрачно для излучения накачки, но обладает высоким коэффициентом отражения для излучения с длиной волны 1,06 мкм. В оптический резонатор, образованный двумя зеркалами (3), помещен нелинейный кристалл КТР (титанил-фосфат калия), осуществляющий удвоение частоты (эффект удвоения частоты или генерации второй гармоники рассматривается в Главе 8 [1]). 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 Nd:YAG-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 же лазеров с диодной накачкой можно отнести чувствительность к температуре окружающей среды в жаркое время.

1.3 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).

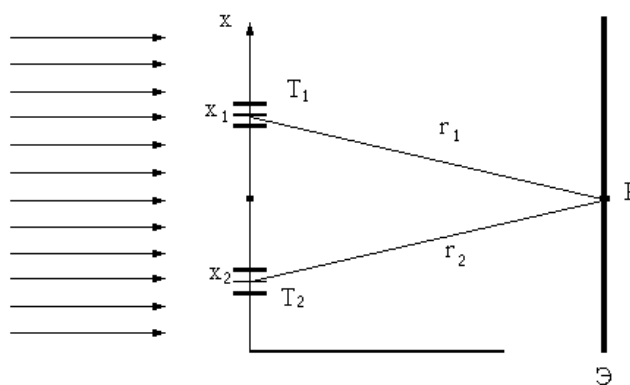


Рисунок 1.4 – Интерферометр Юнга

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

$$E_1(x_1, t) = E_1(x_1, t)e^{i[\omega t + \varphi_1(x_1, t)]}$$

$$E_2(x_2, t) = E_2(x_2, t)e^{i[\omega t + \varphi_2(x_2, t)]}, \quad (1.1)$$

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

$$I(x_1, x_2, r_1 - r_2) \approx |E_1[x_1, (t - r_1 / c)] + E_2[x_2, (t - r_2 / c)]|^2 =$$

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

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 приходит 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 . Функцию Γ_{12} можно пронормировать, вводя степень когерентности

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

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 из себя 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

$$|\gamma_{12}| = 1. \quad (1.6)$$

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 $\Gamma_{12}(x_1, x_2, 0)$ 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 ν . Видность ν по определению равна:

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

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

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

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

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

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 множитель в формуле (2.8) описывает диаграмму направленности отдельной щели.

Отметим, что поскольку $\alpha \gg \lambda$ 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 светового излучения в экспериментальной установке является газовый лазер, работающий в одномодовом режиме (рисунок 2.1). Луч лазера 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.

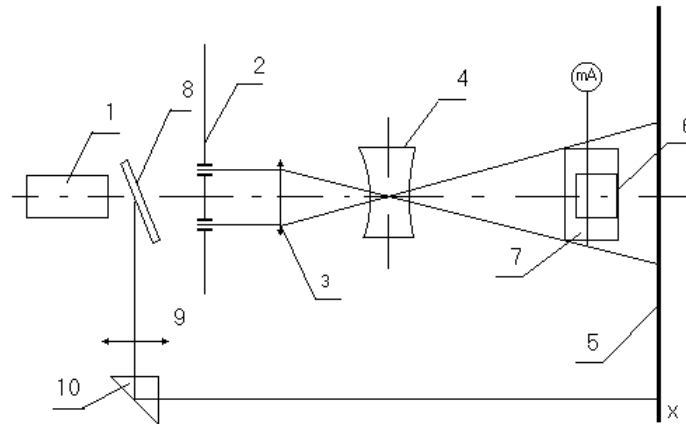


Рисунок 2.1 – Схема экспериментальной установки

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 $\theta = 2 \theta_m$ 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 $\theta = 3 \theta_m$ 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 воспользоваться формулой (2.6).

3 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 лазер. Для этого нажать на блоке питания кнопку «ВКЛ». После 3-5 минутного прогрева появится генерация..

2. Проверить в каком режиме работает лазер. Для этого поставить сферическую линзу за лазером и в режиме генерации основной моды TEM_{00} на экране наблюдается одно пятно. С помощью микрометрического винта столика, на котором расположен интерферометр Юнга 2 (рисунке 2.1), совместить центр интерферометра №1 с центром лазерного луча. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 3.1. Измерения повторить не менее 3-х раз.

Таблица 3.1 – 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						
$I_{\min 2}$						
$I_{\min 2}$						

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

3. По данным измерения таблицы 3.1 определить $\beta_{1,2}$. Результаты измерения $I_{\max 1}$ и $I_{\min 1}$ или $I_{\max 2}$ и $I_{\min 2}$ занести в таблицу 3.2 и определить видность интерференционной картины интерферометра №1.

Таблица 3.2 – Результаты измерения I_{\max} и I_{\min}

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

4. 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 3.3. При установке каждой базы центр интерферометра совмещать с центром луча.

Таблица 3.3 – Результаты измерения зависимости степени когерентности

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

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

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

7. Повторить пункты 1-6, заменив газовый He-Ne лазер на твердотельный YAG:Nd³⁺ лазер с удвоением частоты.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Оформить отчет по работе и сделать выводы о проделанной работе. В отчет должны входить следующие пункты:

- Введение.
- Элементы теории.
- Описание установки.
- Ход работы.
- Выводы.

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

5 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: 05.09.2023 г.)

2. Пихтин А. Н. Квантовая и оптическая электроника: учеб. для вузов / А. Н. Пихтин. — М.: Абрис, 2012. — 656 с.