

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 ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ 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. Безпальный, А. Е. Мандель

Безпальный, Александр Дмитриевич,

Исследование основных параметров газовых и твердотельных лазеров / А.Д. Безпальный, А.Е. Мандель. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2023. – 18 с.

В работе изложены принципы работы и устройство газового He-Ne-лазера и твердотельного YAG:Nd<sup>3+</sup>-лазера. Описана экспериментальная установка и методика проведения лабораторной работы. В ходе выполнения работы студенты закрепляют теоретические знания об устройстве газовых и твердотельных лазеров, и основных параметрах: расходимости излучения, длины волны, поляризации и т. д.

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

© Безпальный А.Д., 2023

© Томск. гос. ун-т систем упр. и  
радиоэлектроники, 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 <sup>3+</sup> .....	7
1.3 Типы колебаний, расходимость, поляризация излучения .....	9
2 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ .....	11
2.1 Основные элементы, входящие в состав установки .....	11
3 СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ .....	12
4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ .....	12
5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА .....	16
6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....	16
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	18

## Введение

В современных лазерах рабочее вещество находится в газообразном или твердом состоянии. Это может быть газ, смесь газов, пары различных металлов, кристаллы диэлектриков и полупроводников. Рабочее вещество может представлять собой как однокомпонентный газ, так и газ, находящийся в атомарном или в молекулярном состоянии (газовые лазеры), либо кристаллические диэлектрики с введенными в них активными ионами (твердотельные лазеры). Кроме того газ может представлять как совокупность нейтральных частиц, так и их ионов. Число сред, на которых уже получена генерация, превысило 100 и растет дальше, а диапазон частот газовых лазеров простирается от ультрафиолетового до инфракрасного. Наиболее ярким представителем атомарных газовых лазеров является гелий-неоновый лазер (He-Ne), а твердотельных – лазер на основе кристаллов иттрий-алюминиевого граната, легированных неодимом ( $Y_3Al_5O_{12}:Nd^{3+}$ , или  $YAG:Nd^{3+}$ ). Несмотря на то, что в настоящее время описаны десятки газовых и твердотельных лазеров, они остаются наиболее доступными и распространенными в практической деятельности лазерными устройствами.

Целью данной работы является ознакомление с конструкцией газового He -Ne лазера и твердотельного  $YAG:Nd^{3+}$ -лазера, исследование их основных параметров: угловой расходимости, длины волны излучения и поляризации излучения.

## 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.

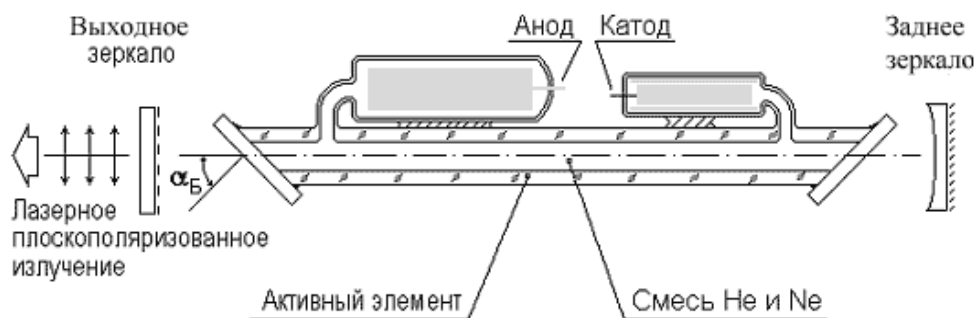


Рисунок 1.1 – Устройство гелий-неонового лазера

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).

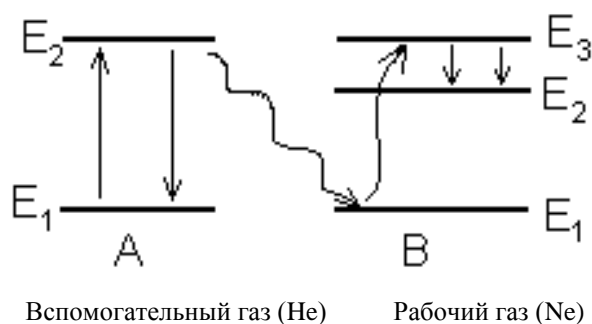


Рисунок 1.2 – Энергетические уровни смеси двух газов

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.

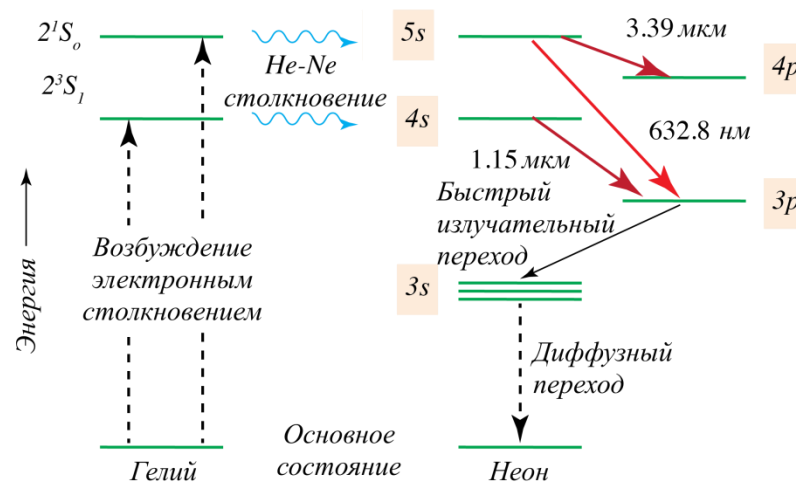


Рисунок 1.3 – Энергетическая диаграмма атомов He и Ne

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

Неодимовые лазеры являются самыми популярными из твердотельных лазеров. В этих лазерах активной средой обычно является кристалл Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (иттрий-алюминиевый гранат), в котором часть ионов Y<sup>3+</sup> замещена ионами Nd<sup>3+</sup>. Типичная атомарная концентрация неодима составляет 0,05-1,3 %.

Упрощенная схема энергетических уровней кристалла Nd : YAG приведена на рисунке 1.4.

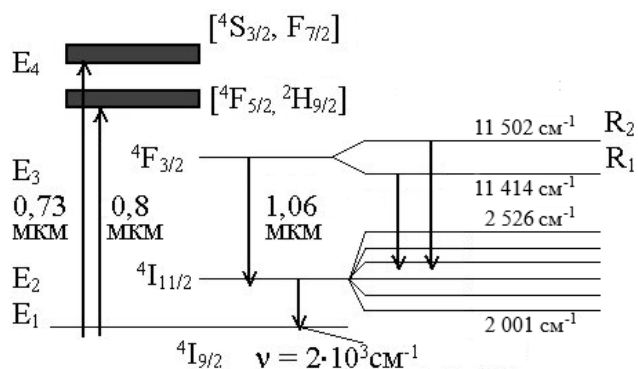


Рисунок 1.4 – Схема энергетических уровней кристалла YAG:Nd<sup>3+</sup>

Две основные полосы накачки расположены на длинах волн 0,73 и 0,8 мкм соответственно. В кристалле YAG:Nd<sup>3+</sup> 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<sup>3+</sup> 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:Nd<sup>3+</sup> 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:Nd<sup>3+</sup> 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.

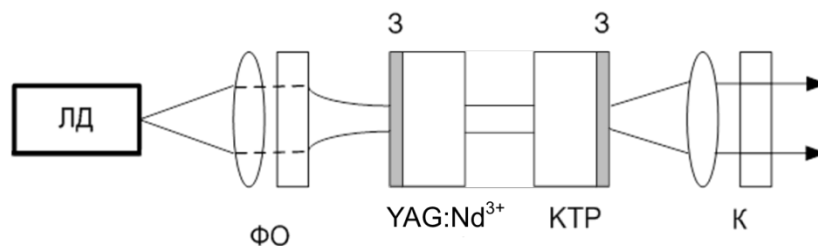


Рисунок 1.5 – Схема YAG:Nd<sup>3+</sup>-лазера с диодной накачкой: ЛД – лазерный диод; ФО – фокусирующая оптическая система; 3 – входное и выходное зеркала; YAG:Nd<sup>3+</sup> – накачиваемый кристалл ИАГ; КТР – удвоитель частоты; – коллиматор

В современных твердотельных лазерах в качестве активных сред применяются Nd:YAG (иттрий-алюминиевый гранат), Nd:YVO<sub>4</sub> (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 (YVO<sub>4</sub>). 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 Типы колебаний, расходимость, поляризация излучения

Поглощение и усиление поля в квантовом генераторе возможно не на одной частоте, а в некоторой полосе частот, которая для перехода  $E_5 \rightarrow E_3$  составляет около 1000 МГц. Контур линии поглощения (усиления) имеет вид гауссовой кривой (рисунок 1.6). На этом же рисунке на оси частот нанесены резонансные частоты резонатора  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  и т.д.

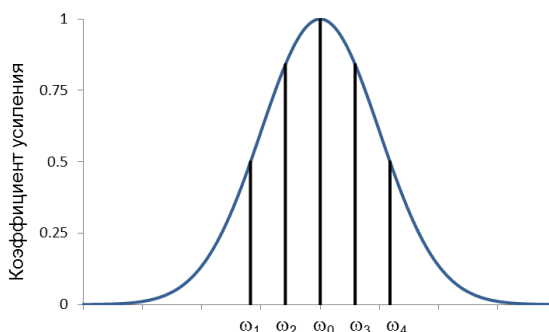


Рисунок 1.6 – Зависимость коэффициента усиления от частоты

На каждой из частот  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  поле (мода) характеризуется своим пространственным распределением. Различают два вида колебаний: аксиальные или продольные типы колебания, неаксиальные или поперечные. Поле первых из них не зависит от поперечных координат. Поле вторых имеет хотя бы вдоль одной из поперечных координат два или большее число максимумов. Как и в “обычных” закрытых резонаторах тип колебаний задается тремя индексами  $m, n, q$ . Индекс  $q$  указывает число полуволн, укладываемых вдоль оси резонатора от зеркала до зеркала. Индексы  $m$  и  $n$  указывают число вариантов поля укладываемых вдоль поперечных координат. В случае прямоугольных зеркал, и при

малых потерях в резонаторе, распределение поля моды с индексами  $m, n, q$  может быть описано формулой

$$\psi_{mnq} = \psi_0 \sin \frac{q\pi}{L} z \cdot \frac{\sin \frac{(m+1)\pi}{2a} x}{\cos \frac{(m+1)\pi}{2a} x} \cdot \frac{\sin \frac{(n+1)\pi}{2b} y}{\cos \frac{(n+1)\pi}{2b} y}, \quad (1.1)$$

где  $L$  – расстояние между зеркалами;  $2a$  и  $2b$  – размеры светового пучка в поперечном сечении, начало координат находится в центре зеркала и функция  $\cos$  берется для  $m, n$  – четного; а  $\sin$  – для  $m, n$  – нечетного. Схематически структура поля в поперечной плоскости для простейших типов колебаний изображена на рисунке 1.7.

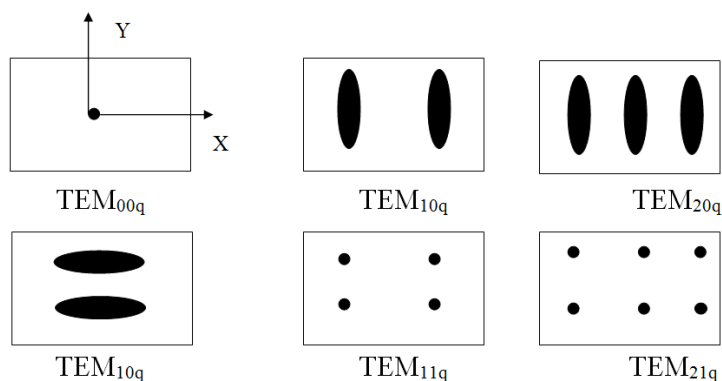


Рисунок 1.7 – Структура поля в поперечной плоскости

Моды  $TEM_{00q}$ , как следует из рисунка 2.5, являются аксиальными модами, все остальные моды - поперечные.

Распределение мод по частоте имеет следующий характер. Аксиальные моды приблизительно равноотстоят друг от друга. Расстояние между соседними аксиальными модами равно:

$$\Delta f = \frac{c}{2L}. \quad (1.2)$$

Поперечные моды расположены вблизи аксиальных типов. Расстояние между ними измеряется сотнями кГц и не превышает нескольких МГц. Таким образом, ширина спектра газового лазера  $\Delta f$ , в основном, определяется числом генерируемых продольных мод  $i$ , если число таких мод равно  $n$ , то

$$\Delta f = n f_0. \quad (1.3)$$

Важным параметром газового лазера является угловая расходимость его луча. Высокая степень пространственной когерентности излучения лазера определяет его малую расходимость. Излучение лазера представляет собой почти параллельный пучок с очень

небольшой расходимостью, характеризуемой плоским углом расхождения  $\theta$ . Минимально достижимый угол расхождения пучка лазера ограничивается явлениями дифракции и вычисляется по формуле

$$\theta = 1,22 \frac{\lambda}{d}, \quad (1.4)$$

где  $d$  – диаметр апертуры излучателя.

Газовые лазеры имеют наименьший угол расхождения пучка излучения по сравнению с твердотельными и полупроводниковыми лазерами. Величина  $\theta$ , которых составляет порядка нескольких угловых минут.

## 2 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

### 2.1 Основные элементы, входящие в состав установки

Рассмотрим экспериментальную установку, использующуюся для определения следующих параметров: плоскости поляризации He-Ne лазера, расходимости, порогового тока накачки, длины волны.

He-Ne лазер конструкции, приведенной на рисунке 2.1, излучает линейно – поляризованный свет, хотя сами атомы излучают свет произвольной поляризации. Выделению поляризации способствуют выходные торцы газоразрядной трубки, скошенные под углом Брюстера.

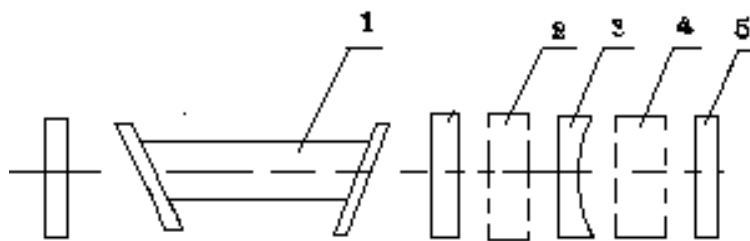


Рисунок 2.1 – Схема экспериментальной установки. 1-газовый лазер; 2-фильтр; 3-рассеивающая линза; 4- фотоприемник; 5-экран.

В состав установки, кроме указанных на рисунке, входят следующие устройства и элементы: линзы, рейторы, поляриод, дифракционная решетка, экран, и другие приспособления.

Лазер является источником узконаправленного монохроматического излучения в видимой ( $\lambda = 0,63$  мкм) области спектра. Он выполнен в виде двух блоков: устройства,

содержащего активный элемент (газоразрядную трубку), оптический резонатор и блока питания. Оптический резонатор лазера образован сферическим зеркалом и плоским.

**Активный элемент** – газоразрядная трубка с анодом и подогревным катодом, наполненная газовой смесью He-Ne. Торцы трубки закрыты плоскими стеклянными окнами (из оптического кварцевого стекла), наклоненными под углом Брюстера. Выход излучения осуществляется со стороны плоского зеркала.

**Источник питания.** Разряд в активном элементе возбуждается от стабилизированного источника тока, снабженного системой поджига. Конструктивно стабилизатор выполнен в виде отдельного блока.

**Линзы** используются для проекции на экран увеличенной картины излучения лазера, измерения пространственной когерентности луча лазера и т.д.

**Поляририд** служит для определения вида поляризации лазера.

**Дифракционная решетка** используется для определения длины волны лазера.

**Экран** используется для наблюдения картины излучения лазера, проекции дифракционных картин и т.д.

### **3 СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

1. Снять зависимость мощности генерации лазера от тока разряда (накачки), используя необходимые для этого элементы. Определить пороговый ток генерации.
2. Определить рабочую моду лазера.
3. Определить величину расходимости плоского угла лазерного луча.
4. Измерить длину волны излучения лазера.
5. Определить плоскость поляризации лазерного излучения.

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!**

### **4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

1. Ознакомиться со схемой экспериментальной установки, с конструкцией лазера.
2. Включить лазер
3. Убедиться в наличии генерации.
4. Поместить на скамью экран (рисунок 4.1) так, чтобы на него падал луч лазера.

Установить сферическую линзу перед экраном и определить рабочую моду лазера.

5. Измерить плоский угол расходимости лазерного луча  $\theta$ . Для измерения расходимости излучения чаще всего применяют следующие методы: метод сечений; метод регистрации диаграммы направленности.

Наиболее простым является метод двух сечений (рисунок 4.1). Если в дальней зоне измерить диаметры пучков  $d$  и  $D$  в двух поперечных сечениях, отстоящих одно от друга на расстоянии  $L$  то расходимость пучка можно определить из соотношения

$$\theta_m = \arctg \frac{D - d}{2L}. \quad (4.1)$$

При малой расходимости и большом расстоянии  $L$  эта формула упрощается до вида:

$$\theta = \frac{d}{2L}. \quad (4.2)$$

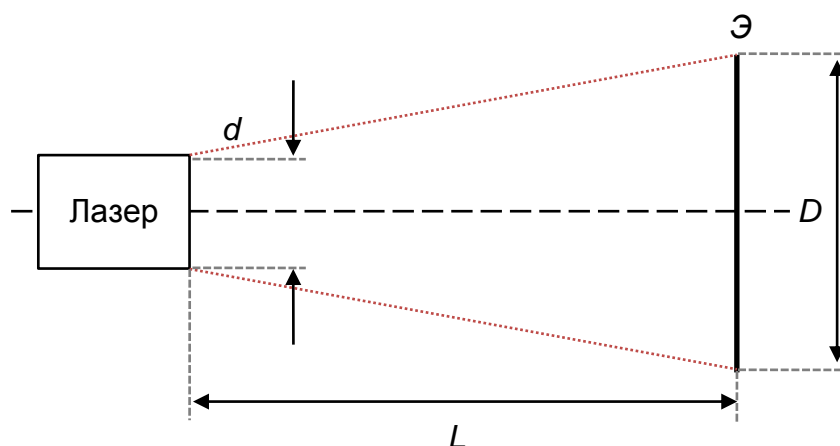


Рисунок 4.1 - Схема измерения угла расходимости луча лазера

Измерения следует выполнять в следующей последовательности:

Установить экран перпендикулярно оси пучка на расстоянии  $L$  от выходного отверстия лазера;

Измерить сечения луча лазера, работающего в одномодовом режиме, на различных расстояниях от выходного зеркала лазера. Диаметр сечения луча  $D$  на экране измеряется с помощью обычной линейки. Если диаметр луча на экране имеет не круглое сечение, то следует измерять размеры пятна в вертикальном и горизонтальном направлениях. При этом диаметр светового пятна определяется по формуле:

$$D = \frac{d_{\text{зоп}} + d_{\text{веп}}}{2} \quad (4.3)$$

Для снижения яркости пятна на экране следует при измерениях ослаблять луч лазера фильтром.

6. Измерить длину волны излучения лазера, используя дифракционную решетку.

Дифракционная решетка представляет собой прозрачную пластинку, на которую через равные промежутки шириной  $a$  нанесены линии шириной  $b$ . Величина  $d$ , равная сумме  $a$  и  $b$ , называется периодом дифракционной решетки:  $d = a + b$ .

В результате интерференции когерентных волн, прошедших через все щели дифракционной решетки, на экране, расположенном за дифракционной решеткой, наблюдается дифракционная картина, которая представляет собой набор дифракционных максимумов разной интенсивности. Схема измерения приведена на рисунке 4.2.

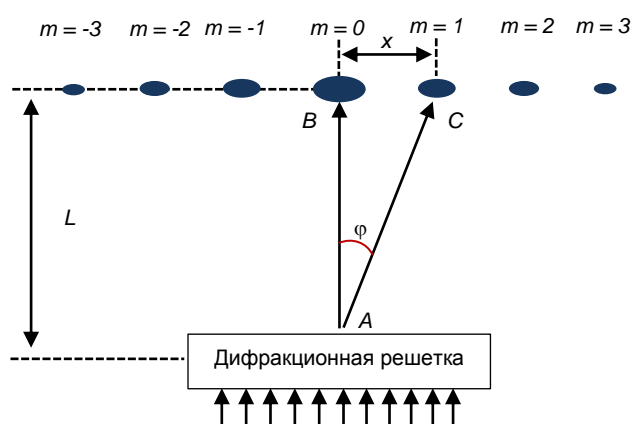


Рисунок 4.2 – Схема измерения длины волны излучения лазера

Формула, которая связывает период решетки  $d$ , длину волны света  $\lambda$ , порядок максимумов  $m = \pm 0, 1, 2$  и угол  $\varphi$ , под которым наблюдаются максимумы дифракционной картины имеет вид:

$$d \sin \varphi = m \lambda \quad (4.4)$$

Из формулы получим уравнение для определения длины волны лазерного излучения:

Величины порядка максимума  $k$  и угла  $\varphi$  определяют экспериментально. Для малых углов величина  $\sin \varphi$  может быть найдена по формуле:

$$\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{L} \quad (4.5)$$

где  $x$  – расстояние от нулевого до первого максимума дифракционной картины,  $L$  – расстояние от экрана до дифракционной решетки.

### Порядок выполнения пункта 6

Установить экран на таком расстоянии от дифракционной решетки, чтобы на нем

получилось четкое изображение центральной полосы и спектров двух порядков.

Измерить расстояние  $L$  от экрана до дифракционной решетки.

На экране измерить (линейкой) расстояние  $x_1$  между серединами полос спектров 1-го порядка.

На экране измерить (линейкой) расстояние  $x_2$  между серединами полос спектров 2-го порядка.

Полученные значения  $L$  и  $x$  подставить в расчетную формулу. Все результаты измерений и вычислений занести в таблицу.

Таблица 4.1 – Результаты определения длины волны

Порядок спектра $m$	Расстояние между серединами полос $x$ , см	Расстояние до экрана $L$ , см	Длина волны $\lambda$ , мкм
1			
2			
...			
Среднее значение			

Измерения надо провести не менее трех раз, при разных расстояниях  $L$ . Результаты измерений представить в виде среднего арифметического значения для всех приведенных измерений. На основании этих данных вычислить среднее значение длины волны излучения лазера.

## 7. Определение поляризации излучения лазера

Поляризационный характер излучения лазера измеряют, устанавливая на пути луча вращаемый поляризатор. В данном пункте измеряют график зависимости интенсивности прошедшего излучения от угла поворота поляризатора. Схема для исследования поляризации излучения лазера приведена на рисунке 4.2.

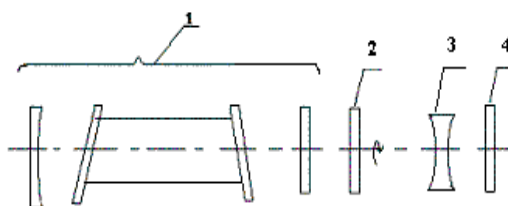


Рис. 4.1 – Схема для исследования поляризации излучения лазера. 1-лазер, 2-поляризатор, 3-линза, 4-измерительная схема

### **Порядок выполнения пункта 7**

1. Вращайте поляризатор вокруг оси до момента, когда ток  $I$  через фотодиод достигает наибольшей величины.
2. Снимите показания тока через каждые  $10\text{-}15^\circ$  поворота поляризатора. Отсчеты брать от  $0$  до  $180^\circ$ .
3. На основании экспериментальных данных построить график зависимости ток  $I$  от угла поворота поляриоида  $\theta$ .
4. Зависимость вида  $I = I_0 \cos^2 \theta$  указывает на то, что излучение поляризовано линейно. Плоскость, соответствующая  $\theta = 90^\circ$ , определит в этом случае плоскость, в которой расположен электрический вектор  $\vec{E}$ .

Выполненные пункты необходимо также выполнить, заменив газовый He-Ne-лазер на твердотельный YAG:Nd<sup>3+</sup>-лазер.

### **5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

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.

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

### **6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Принцип работы гелий-неонового лазера.
2. Зачем нужна высокая точность юстировки зеркал?
3. Поляризация, ее виды. В какой плоскости поляризовано излучение лазера и как можно определить плоскость поляризации?
4. Какова длина волны излучения лазера  $\lambda$ ?
5. От чего зависит угловая расходимость излучения лазера?



6. Каким образом можно измерить длину волны излучения гелий-неонового лазера
7. Что такое мода оптического резонатора? Чем она определяется?

## 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.