

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**САНКТ–ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к выполнению лабораторных работ  
по дисциплине  
"ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНИКА"**

Учебно–методическое пособие



**Санкт–Петербург**

**2010**

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине "Лазерная техника". Учебно–методическое пособие / Составитель: к.ф–м.н., доц. А.В. Скрипник. Под общей редакцией д.т.н., проф. В.Ю. Храмова. Консультант: к.т.н., проф. А.С. Митрофанов. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010, 64 с.

Методические указания содержат описание пяти лабораторных работ, образующих так называемый "экспериментальный минимум", формирующий специалиста высшей квалификации в области оптики. Студент знакомится с устройством и методами юстировки лазеров. Составляет представление и осваивает методы и экспериментальную технику оценки степени пространственной когерентности и расходимости лазерного излучения, измерения энергетических и временных характеристик лазера.

Предназначено в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки 200200 – "Оптотехника" и 140400 – "Техническая физика".

Рекомендовано к печати на заседании Учёного совета инженерно–физического факультета 13.04.2010, протокол № 8.



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого были определены 12 ведущих университетов России, удостоенных присвоения категории "Национальный исследовательский университет". Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена Программа развития государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Санкт–Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики" на 2009–2018 гг.

© Санкт–Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2010

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ПРАВИЛА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЁТНОСТИ .....	6
<u>Лабораторная работа № 1.</u> ЮСТИРОВКА ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ....	9
<u>Лабораторная работа № 2.</u> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОГЕРЕНТНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА .....	17
<u>Лабораторная работа № 3.</u> ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА .....	29
<u>Лабораторная работа № 4.</u> ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА В РЕЖИМЕ СВОБОДНОЙ ГЕНЕРАЦИИ .....	40
<u>Лабораторная работа № 5.</u> ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА В РЕЖИМЕ ПАССИВНОЙ МОДУЛЯЦИИ ДОБРОТНОСТИ .....	49
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	59
История кафедры ЛТБМО .....	60

## ВВЕДЕНИЕ

Создание в начале 60–ых годов XX века высокоинтенсивных источников когерентного оптического излучения – *лазеров* – открыло огромное количество научных и технических возможностей.

Само слово "лазер" является аббревиатурой слов английской фразы "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation", что означает "усиление света с помощью стимулированного (вынужденного, индуцированного) излучения". В отечественной научной литературе также можно встретить название "оптический квантовый генератор" (или *ОКГ*), которое в настоящее время не рекомендовано ГОСТом к использованию.

По сравнению с другими источниками света лазерное излучение обладает рядом уникальных свойств, а именно: *монохроматичностью, поляризованностью, высокой степенью когерентности и малой расходимостью*. Всё это и создало возможности его широкого применения в различных областях деятельности человека, например: для обработки материалов, в информационных технологиях, в метрологии, в военном деле, в медицине и др.

У истоков создания лазеров стояли советские учёные *Александр Михайлович Прохоров* и *Николай Геннадьевич Басов*, которые за это открытие в 1964 году вместе со своим американским коллегой *Чарльзом Таунсом* были удостоены Нобелевской премии по физике.

Кафедра *Лазерной Техники и Биомедицинской Оптики* (ЛТБМО) была организована в 1963 году. Она первой в нашей стране начала подготовку и выпуск специалистов по новому направлению в науке и технике – квантовой электронике, лазерной физике и лазерной технике. Более подробно с информацией о кафедре ЛТБМО можно ознакомиться на сайте [WWW.IFMO.RU](http://WWW.IFMO.RU).

В настоящих методических указаниях нашёл отражение более чем сорокалетний опыт проведения лабораторных занятий в Учебной Лаборатории кафедры ЛТБМО. Предлагаемые лабораторные работы позволяют студентам закрепить и расширить полученные в результате прослушивания лекционных курсов знания, познакомиться с особенностями схемного и конструктивного выполнения лазеров, их узлов и элементов, особенностями юстировки и эксплуатации, методами управления лазерным излучением и способами измерения его параметров. Также предусмотрена возможность изменения содержания лабораторных работ с учётом особенностей специальности студентов и решения ими конкретных учебно–исследовательских задач.

С помощью вычислительной техники, имеющейся в Учебной Лаборатории кафедры ЛТБМО, учащиеся могут проводить обработку экспериментальных данных и делать расчёты, необходимые для оформления отчётов.

При выполнении лабораторных работ студентам необходимо обратить особое внимание на соблюдение всех *Правил техники безопасности* при работе с лазерами, что связано с наличием интенсивного лазерного излучения и высокого электрического напряжения.

Все студенты перед началом работ обязаны пройти специальный *инструктаж* по технике безопасности и получить *допуск*.

Студенты, помните! *ЛАЗЕР – это мощный источник света. Попадание в глаза и на кожу как прямого, так и отражённого лазерного излучения НЕДОПУСТИМО!*

## **ПРАВИЛА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ И ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЁТНОСТИ**

1. В помещение Учебной Лаборатории **НЕ ДОПУСКАЕТСЯ** присутствие студентов:
  - в верхней уличной одежде (при наличии работающего гардероба);
  - с едой, напитками и т.п.
2. Во время проведения лабораторных занятий сотовые телефоны **ДОЛЖНЫ** быть настроены на беззвучный режим или выключены.
3. На занятия **НЕ ДОПУСКАЮТСЯ** студенты, опоздавшие более чем на 5 минут.
4. К выполнению лабораторных работ **ДОПУСКАЮТСЯ** только студенты, прошедшие инструктаж по Правилам техники безопасности и неукоснительно их соблюдающие.  
**ВНИМАНИЕ!** *При нарушении Правил техники безопасности студент отстраняется от выполнения лабораторной работы и сдаёт Правила техники безопасности повторно.*
5. Лабораторные работы выполняются бригадами по 2÷4 человека. В случае присутствия только одного члена бригады лабораторная работа **НЕ ПРОВОДИТСЯ**.
6. Необходимым условием **ДОПУСКА** к текущему занятию является готовность к защите предыдущей выполненной лабораторной работы (наличие полностью оформленного по ней отчёта) и наличие подготовки к предстоящей лабораторной работе (знание теоретических основ, методики проведения работы, порядка выполнения и т.п.).
7. Перед **НАЧАЛОМ** выполнения лабораторной работы студентам необходимо внимательно ознакомиться с лабораторной установкой, расположением органов управления и измерительных приборов, а также с дополнительно прилагаемыми инструкциями и схемами, подготовить форму протокола исследования.  
**ВНИМАНИЕ!** *Объём лабораторной работы по количеству выполняемых заданий и отдельным упражнениям может быть изменён преподавателем.*
8. Перед **ВКЛЮЧЕНИЕМ** лабораторной установки необходимо:
  - убедиться в исправности всех заземлений и защитных блокировок;
  - проверить исправность светонепроницаемых ограждений;
  - установить наличие защитных диэлектрических средств и защитных очков (если они предусмотрены Правилами техники безопасности).

9. К лабораторной работе можно ПРИСТУПАТЬ только с разрешения (!) преподавателя после получения общего инструктажа на рабочем месте.
10. При проведении лабораторной работы все (!) допущенные к её выполнению члены бригады должны ПОСТОЯННО присутствовать на рабочем месте.
11. При проведении лабораторной работы ЗАПРЕЩАЕТСЯ:
- работать на лазерной установке одному человеку;
  - облокачиваться на лабораторные стенды, а также располагать на них посторонние предметы;
  - нарушать правила и порядок проведения лабораторной работы, изложенные в описании к лабораторной установке;
  - оставлять без присмотра включённую лабораторную установку;
  - работать при неисправных заземляющих устройствах, при отсутствующих или неисправных защитных средствах;
  - вносить в зону действия лазерного излучения посторонние предметы;
  - присутствовать в помещении лаборатории лицам, не имеющим отношение к проведению лабораторных занятий (за исключением сотрудников кафедры ЛТБМО).
- ВНИМАНИЕ!** *Невыполнение студентами изложенных в данном пункте требований влечёт за собой отстранение их от выполнения лабораторной работы.*
12. Экспериментальная часть лабораторной работы считается ЗАВЕРШЁННОЙ только после подписания (!) преподавателем протокола исследований.
13. ВЫКЛЮЧЕНИЕ лабораторной установки производится только с разрешения (!) преподавателя.
14. Отчёт по лабораторной работе должен быть ИНДИВИДУАЛЬНЫМ, т.е. предоставляться на защиту каждым (!) членом бригады.
15. Отчёт по лабораторной работе в общем случае ДОЛЖЕН СОДЕРЖАТЬ:
- титульный лист (см. п. ПРИЛОЖЕНИЕ);
  - изложение цели работы;
  - схему лабораторной установки с перечислением и кратким описанием её структурных элементов;
  - формулы, используемые в расчётах, с описанием всех входящих в них величин;
  - таблицы и графики экспериментальных и расчётных зависимостей;
  - выводы, в которых анализируются полученные экспериментальные результаты и причины возможного их отличия от теоретических закономерностей.
- К отчёту также необходимо приложить ПРОТОКОЛ исследования (или его копию), подписанный преподавателем.

16. Студент, по каким–то причинам не выполнивший лабораторную работу в срок, ДОЛЖЕН ЗНАТЬ, что:
- он имеет право на отработку лабораторной работы;
  - отработка лабораторной работы проводится в специально отведённое для этих целей время;
  - факт отработки лабораторной работы должен быть подтверждён наличием протокола исследования, подписанным сотрудником кафедры, руководившим отработкой.

## ЮСТИРОВКА ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

Цели работы: а) ознакомление с конструкцией и элементами исследуемого лазера; б) получение представления о методах и устройствах, предназначенных для юстировки лазерных систем; в) привитие практических навыков настройки/юстировки лазеров.

### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

*Лазерный излучатель*, служащий для генерации электромагнитного излучения оптического диапазона с уникальными свойствами, структурно состоит из следующих *основных элементов*: активной среды, источника накачки и резонатора.

*Активная среда* – это вещество, в котором может быть создана *инверсная населённость* энергетических уровней, т.е. достигнуто такое состояние, когда число атомов, находящихся на верхнем "рабочем" энергетическом уровне, превышает число атомов, находящихся на нижнем "рабочем" энергетическом уровне. По *типу* активной среды лазеры подразделяются на твердотельные, газовые, полупроводниковые, жидкостные и др. На практике активную среду твердотельных лазеров часто также называют *активным элементом*.

Поставщиком энергии для достижения состояния инверсной населённости служит *источник накачки*, в качестве которого может выступать, например: лампа–вспышка, газовый разряд, инжекция носителей тока в полупроводниковых р–п переходах, тепловой способ, химическая реакция и др.

Важнейшей и неотъемлемой частью любого лазера является *резонатор* – система, состоящая, как правило, из двух отражающих поверхностей, между которыми располагается активная среда.

Отражающие поверхности могут представлять собой зеркала различной формы (плоские, сферические, параболические и др.), грани призм полного внутреннего отражения или границы раздела сред с различными показателями преломления.

Зеркала лазера чаще всего формируются путём нанесения многослойных отражающих диэлектрических покрытий на одну из отполированных по специальной технологии поверхностей основы зеркала – на так называемую *подложку*. На другую поверхность подложки зеркала либо наносят просветляющее покрытие, либо её оставляют без покрытия.

Поверхность зеркала с отражающим покрытием называется "*рабочей*", одно из зеркал резонатора, полностью отражающее свет, – "*глухим*", а зеркало, частично пропускающее излучение, – *выходным*.

Основным назначением оптического резонатора является создание условий, при которых возникающее в активной среде излучение, многократно проходя через её структуру, усиливается до уровня превышения имеющихся потерь. Следовательно, резонатор осуществляет *положительную обратную связь*. Другим его немаловажным свойством является *спектральная селекция* излучения.

Самым простым и наиболее распространённым видом резонатора является система из двух плоских зеркал, обращённых друг к другу отражающими поверхностями, называемая *эталоном Фабри–Перо*.

Под *юстировкой* системы в общем случае понимают совокупность операций по приведению её элементов в состояние, обеспечивающее правильное функционирование системы.

*Юстировка оптических систем* заключается в регулировании взаимного расположения оптических деталей (линз, призм, зеркал и т.п.) с целью их центрирования и обеспечения наилучшего качества изображения. В съюстированном положении оптические детали закрепляются винтами, штифтами либо склеиваются.

*Физический смысл* процесса юстировки лазера состоит в нахождении такого расположения его оптических элементов (активной среды, зеркал резонатора и т.п.) друг относительно друга, при котором потери излучения минимальны.

На практике юстировку разделяют на "*холодную*" (или *грубую*) и "*горячую*" (или *тонкую*).

В первом случае широкое практическое применение получил *метод* так называемого *оптического рычага*, для реализации которого необходим *вспомогательный юстировочный лазер* – низкоинтенсивный лазер, генерирующий излучение в видимом диапазоне. Источник же накачки юстируемого лазера в этом случае не включается.

"Горячая" юстировка осуществляется уже при непосредственном включении источника накачки юстируемого лазера, что позволяет учесть термооптические особенности настраиваемой системы. Данный вид юстировки производится с использованием *специальных средств*, в качестве которых обычно выступают: визуализаторы и регистраторы излучения (например, копировальная бумага, фотобумага и др.), фотоприёмник, измеритель энергии/мощности лазерного излучения и др.

Для оценки степени чувствительности лазерного резонатора к разъюстировке служит *разъюстировочная характеристика*, представляющая собой зависимость параметров лазерной генерации от угла отклонения одного из зеркал резонатора относительно съюстированного положения.

Перед выполнением настоящей лабораторной работы также необходимо ознакомиться с основными теоретическими положениями по литературе [1–3].

## ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Схема экспериментальной установки для выполнения настоящей лабораторной работы представлена на рис. 1.1, где **1** – вспомогательный юстировочный лазер; **2** – юстировочная диафрагма (металлическое зеркало с отверстием); **3** и **4** – вспомогательные поворотные зеркала; **5** – "глухое" зеркало резонатора; **6** – активный элемент юстируемого лазера; **7** – выходное зеркало резонатора; **8** – юстировочный экран; **9** и **10** – объект–мишень (фотобумага либо измеритель энергии/мощности лазерного излучения).

Юстируемый в настоящей работе *лазерный излучатель* структурно состоит из твердотельного активного элемента **6** цилиндрической формы и двух зеркал резонатора **5** и **7**, выполненных на основе кварцевых плоскопараллельных подложек с напылённым на них светоотражающим диэлектрическим покрытием, имеющим отражение на длине волны генерации юстируемого лазера. Также в состав лазерного излучателя входят импульсная лампа накачки и оптический отражатель. Последний предназначен для передачи световой энергии от лампы накачки к активной среде. Все вышеназванные компоненты (за исключением зеркал) конструктивно размещены в едином корпусе – так называемом *квантроне*.

Активный элемент *юстируемого твердотельного лазера* изготовлен из иттрий–алюминиевого граната, активированного ионами неодима (ИАГ:  $Nd^{3+}$ ). Генерация излучения осуществляется на длине волны  $\lambda = 1.064$  мкм.

В качестве *вспомогательного юстировочного лазера* здесь используется низкоэнергетической газовой гелий–неоновый лазер (*He–Ne*), работающий на длине волны генерации  $\lambda = 632.8$  нм.

"Холодная" юстировка оптических элементов твердотельного лазера производится методом оптического рычага с помощью вспомогательного юстировочного лазера. Она заключается в *выставлении* торцов активного элемента и "рабочих" поверхностей зеркал резонатора *по нормали* к направлению, задаваемому лучом вспомогательного юстировочного лазера, что минимизирует оптические потери, а значит, обеспечивает оптимальное взаимное расположение (ориентацию) этих оптических элементов друг относительно друга.

Все юстируемые компоненты твердотельного лазера размещены в специальных оптико–механических узлах – так называемых *подвижках*, устройство которых позволяет проводить как линейные, так и угловые перемещения объектов в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

"Горячая" юстировка выполняется путём использования визуализатора излучения (фотобумаги) и измерителя энергии/мощности.

**ВНИМАНИЕ!** *Лабораторная установка оснащена системой блокировок, исключающей доступ к высоковольтным частям схемы, а также выключающей блок питания юстируемого лазера во время проведения "холодной" юстировки.*

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### **Задание I.**

Провести "холодную" юстировку твердотельного лазера методом оптического рычага

1. Получить разъяснения от преподавателя об особенностях выполнения данного задания.  
**ВНИМАНИЕ!** *Перед выполнением задания обязательно (!) следует убедиться в том, что юстируемый лазер обесточен.*
2. Включить вспомогательный юстировочный лазер **1**. Его луч должен пройти через отверстие в юстировочной диафрагме **2**.
3. Установить на пути следования луча от вспомогательного юстировочного лазера **1** активный элемент **6** юстируемого лазера таким образом, чтобы луч от вспомогательного лазера **1** проходил вдоль его оси через центр. Позиционирование проводить с помощью юстировочных винтов оптической подвижки, в которой закреплён юстируемый активный элемент **6**. Контроль за прохождением луча от вспомогательного юстировочного лазера **1** осуществлять визуально.  
**ВНИМАНИЕ!** *Луч вспомогательного юстировочного лазера должен проходить через центр входного торца юстируемого активного элемента. При выходе же из него такой луч в своём сечении должен представлять правильный круг, т.е., что называется, "не резаться".*
4. Посредством юстировочных винтов подвижки активного элемента **6**, ответственных за угловые перемещения объекта, добиться наиболее точного совпадения блика (светового отражения) от входного торца активного элемента **6** с отверстием диафрагмы **2**.  
**ВНИМАНИЕ!** *Таким образом достигается совпадение направления излучения, отражённого от торца активного элемента, с направлением луча, падающего от вспомогательного юстировочного лазера.*
5. На выходе из активного элемента **6** проверить ещё раз качество излучения от вспомогательного юстировочного лазера **1**.  
**ВНИМАНИЕ!** *Если качество ухудшилось (т.е. выходящее излучение начало "резаться"), то необходимо провести дополнительную доюстировку активного элемента (см. действия из п. 3 выше).*
6. Найти на экране **8** блик от входного торца активного элемента **6**.
7. Зафиксировать на экране **8** местоположение блика от входного торца активного элемента **6** (см. рис. 1.1).

8. Не сбивая юстировки активного элемента **6**, установить на пути следования луча от вспомогательного юстировочного лазера **1** выходное зеркало\* **7** резонатора таким образом, чтобы данный луч проходил примерно через его центр\*\*. Подобная установка осуществляется с помощью юстировочных винтов оптической подвижки, ответственных за линейные перемещения объекта.  
 (\*) – **ВНИМАНИЕ!** *Ни в коем случае нельзя прикасаться пальцами к "рабочим" поверхностям зеркал. Все оптические элементы следует брать только (!) за боковые поверхности.*  
 (\*\*) – **ВНИМАНИЕ!** *"Рабочая" поверхность зеркала должна быть обращена к активному элементу.*
9. Наблюдая за экраном **8**, посредством юстировочных винтов подвижки выходного зеркала **7**, ответственных за угловые перемещения объекта, совместить блик от его поверхности с местоположением блика от входного торца активного элемента **6** (см. рис. 1.1).  
**ВНИМАНИЕ!** *Подтверждением правильности выполненных действий является появление в месте совпадения бликов интерференционных полос.*
10. Повторить все действия из п. 8 и п. 9 для "глухого" зеркала **5** резонатора.
11. Ознакомить преподавателя с результатами проделанной работы.

### **Задание II.**

Провести "горячую" юстировку твердотельного лазера, используя фотобумагу в качестве средства визуализации лазерного излучения

1. Получить разъяснения от преподавателя об особенностях выполнения данного задания.
2. Установить на выходе из съюстированного в результате выполнения предыдущего задания лазерного излучателя фрагмент фотобумаги – объект–мишень **9**.  
**ВНИМАНИЕ!** *Расстояние от выходного зеркала до поверхности мишени должно быть не менее 10 см.*
3. При участии (!) преподавателя включить источник накачки (блок питания) юстируемого лазера.
4. По виду ожога, полученного на фотобумаге, оценить качество выполненной ранее "холодной" юстировки.
5. Дать объяснение полученному результату.
6. Продолжая использовать фотобумагу, путём незначительного вращения юстировочных винтов подвижки активного элемента **6**, отвечающих за угловые перемещения объекта, провести его доюстировку.  
**ВНИМАНИЕ!** *Данные действия проводятся лишь при обязательном (!) присутствии преподавателя. Юстировка осуществляется при фиксированном значении энергии накачки блока питания.*
7. По аналогии с предыдущим пунктом провести доюстировку выходного **7** и "глухого" **5** зеркал резонатора.
8. Выключить блок питания юстируемого лазера.

9. Ознакомить преподавателя с результатами проделанной работы.

### **Задание III.**

Провести "горячую" юстировку твердотельного лазера, используя измерительное средство

1. Получить разъяснения от преподавателя об особенностях выполнения данного задания.
2. Установить на выходе юстируемого лазерного излучателя измеритель энергии/мощности лазерного излучения – объект–мишень **10**.  
**ВНИМАНИЕ!** *Расстояние от выходного зеркала до поверхности мишени должно быть не менее 10 см.*
3. При участии (!) преподавателя включить источник накачки (блок питания) юстируемого лазера.
4. По шкале измерителя **10** оценить текущее числовое значение энергии/мощности лазерного излучения.
5. Путём вращения юстировочных винтов подвижки активного элемента **6**, отвечающих за угловые перемещения объекта, довести показания измерителя **10** до максимального значения.  
**ВНИМАНИЕ!** *Данные действия проводятся лишь при обязательном (!) присутствии преподавателя. Юстировка осуществляется при фиксированном значении энергии накачки блока питания.*
6. По аналогии с предыдущим пунктом провести юстировку выходного **7** и "глухого" **5** зеркал резонатора. Записать показания измерителя **10**.
7. Выключить блок питания юстируемого лазера.
8. Ознакомить преподавателя с результатами проделанной работы.

### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

1. Номер, название и цели работы.
2. Схема экспериментальной установки с перечислением её элементов.
3. Протокол исследования (или его копию), подписанный преподавателем.
4. Отпечатки ожогов на фотобумаге (только для **Задания II**).
5. Результат численной оценки энергии/мощности, достигнутый в ходе юстировки (только для **Задания III**).
6. Описание и анализ полученных результатов. Выводы.  
**ВНИМАНИЕ!** *При представлении численных результатов считать, что погрешность измерений составляет  $\pm 10\%$ .*

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

*а) Основные.*

1. Какие лазерные излучатели были использованы в настоящей работе /название, тип активной среды, длина волны генерации/ и с какой целью?

2. Дать определение понятию "лазер".
3. Что такое "оптический резонатор"? Какой вид обратной связи он реализует?
4. Что представляет собой эталон Фабри–Перо?
5. Назвать структурные элементы лазерного излучателя.
6. В чём состоит физический смысл юстировки лазера?
7. Сформулировать условия возникновения генерации в лазере.
8. В чём заключается юстировка лазера методом оптического рычага?
9. Как по виду ожога, полученному на фотобумаге, составить представление о качестве юстировки лазерного излучателя?
10. В чём принципиальная разница между "холодной" и "горячей" юстировками лазера?
11. Изложить последовательность действий при выполнении заданий данной лабораторной работы.

*б) Дополнительные.*

12. Какие ещё длины волн генерации могут быть реализованы в использованных лазерах?
13. Указать на схеме экспериментальной установки местонахождение "оптического рычага".
14. Пояснить назначение вспомогательных поворотных зеркал в схеме экспериментальной установки.
15. Для чего служит разъюстировочная характеристика резонатора? Как её получить на практике?
16. Как будут располагаться друг относительно друга зеркала резонатора, образующие интерферометр Фабри–Перо, если торцевые поверхности активного элемента образуют "клин"?
17. Внутри резонатора съюстированного лазерного излучателя помещают призму с углом при вершине  $\alpha$  и показателем преломления  $n$ . На какой угол требуется повернуть зеркало резонатора, чтобы вновь его съюстировать?

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Калитеевский Н.И. Волновая оптика. – СПб: Лань, 2008, 466 с.
2. Митрофанов А.С. Принципы усиления оптического излучения. Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2005, 112 с.
3. Альтшулер Г.Б., Антоневиц Г.Н., Белашенков Н.Р. и др. Методические указания к лабораторному практикуму по дисциплине "Квантовая электроника". – Л.: ЛИТМО, 1991, 58 с.

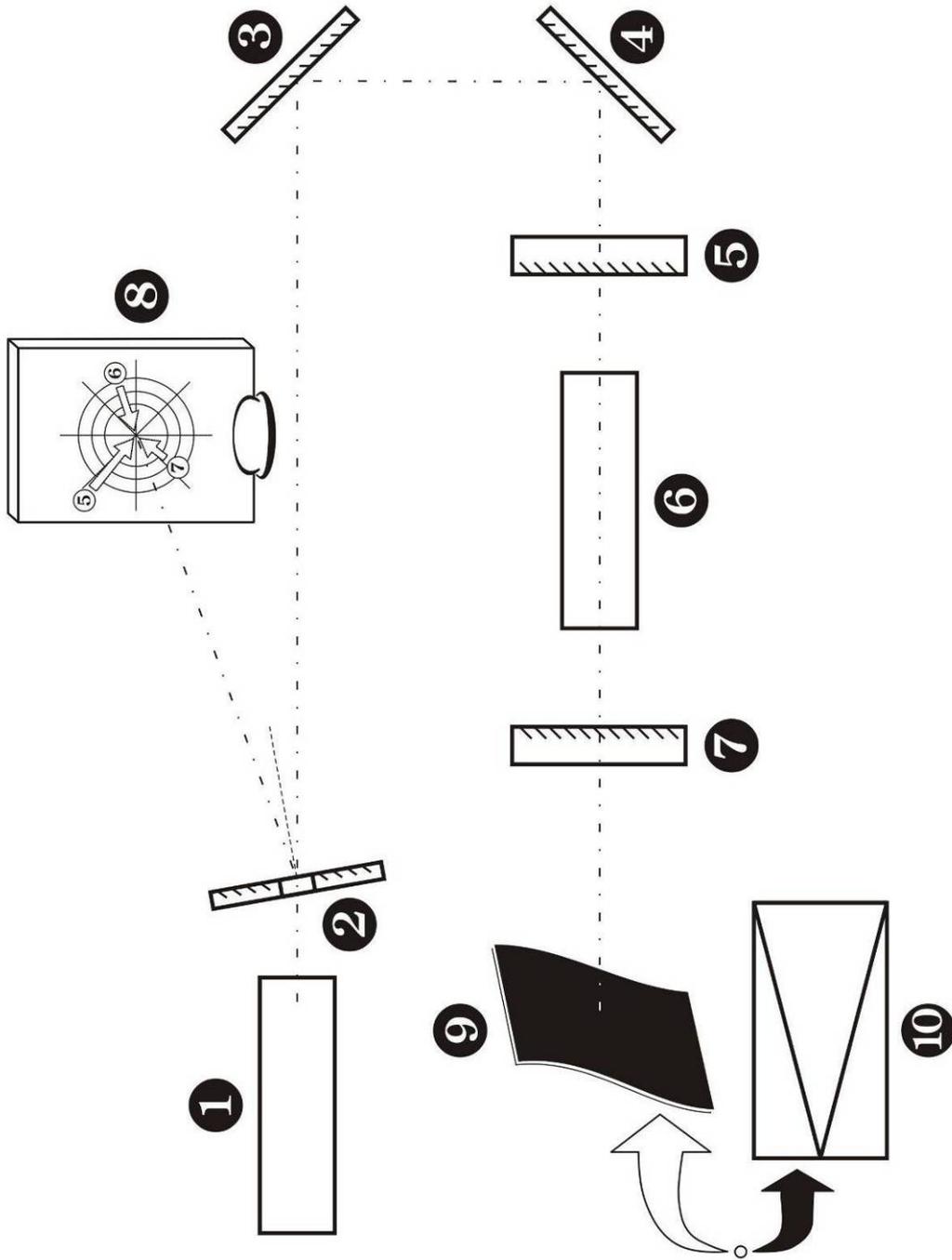


Рис. 1.1.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОГЕРЕНТНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА

Цели работы: а) ознакомление с конструкцией и элементами исследуемого лазера; б) получение представления о методах и экспериментальной технике измерения степени когерентности лазерного излучения; в) привитие навыков оценки степени пространственной когерентности лазера.

### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Одной из отличительных особенностей лазерного излучения является его высокая степень когерентности.

Теория оптической когерентности имеет дело со статистическим описанием флуктуаций параметров электромагнитных волн. Она выражается в постоянстве или закономерной связи между их фазами, частотами, поляризациями и амплитудами. Таким образом, под *когерентностью* понимают согласованное протекание в пространстве и во времени нескольких колебательных или волновых процессов. По этой причине 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.

Применение высококогерентных источников света в интерферометрии, системах связи, измерительных и контрольных системах требует количественной оценки *степени когерентности*, а часто и знание *функции когерентности*.

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 чего возникают зоны взаимного усиления или ослабления. Внешне интерференция проявляется в формировании так называемой *интерференционной картины*.

Понятие пространственной когерентности удобнее пояснить, рассматривая *интерферометр Юнга*, изображённый на рис. 2.1, где свет от квазимонохроматического источника  $S$  ( $\delta\nu/\nu_0 \ll 1$ ;  $\delta\nu$  – спектральная ширина линии излучения;  $\nu_0$  – центральная частота излучения), размещённого в фокусе линзы  $L$ , попадает на экран с отверстиями малого диаметра  $P_1$  и  $P_2$ . Здесь он разделяется на два пучка, которые затем собираются в точке  $Q$  экрана наблюдения, удалённого на расстояние  $l$ .

Из-за того, что пути  $r_1$  и  $r_2$  неодинаковы, свет из точки  $P_2$  запаздывает в точку  $Q$  на время  $\tau = \Delta/c$ , где  $\Delta = |r_2 - r_1|$  – геометрическая разность хода,  $c$  – скорость света.

В области, где перекрываются дифракционные картины от двух отверстий, возникают интерференционные полосы, перпендикулярные прямой, соединяющей отверстия  $P_1$  и  $P_2$ . В этом случае говорят о пространственной когерентности в данных точках, т.к. свет в них приходит одновременно.

Для наблюдения интерференционных полос должно выполняться следующее условие:  $l \gg a > \lambda$ . Кроме того, если угол между интерферирующими пучками мал, то ширина интерференционной полосы  $\Delta x$  (т.е. расстояние между соседними максимумами или минимумами интерференционной картины) будет определяться выражением

$$\Delta x = \frac{\lambda \cdot l}{a}. \quad (2.1)$$

Под *контрастом* (или *видностью*) интерференционных полос понимают величину

$$V = \frac{I_{\text{макс.}} - I_{\text{мин.}}}{I_{\text{макс.}} + I_{\text{мин.}}}, \quad (2.2)$$

где  $I_{\text{макс.}}$  и  $I_{\text{мин.}}$  – это интенсивности света в максимумах и минимумах соседних интерференционных полос.

Выражение для светового поля в точке  $Q$  в момент времени  $t$  можно представить в следующем виде:

$$I(Q) = \langle E_1 \cdot E_1^* \rangle + \langle E_2 \cdot E_2^* \rangle + 2 \operatorname{Re}(\langle E_1(t + \tau) \cdot E_2^*(t) \rangle), \quad (2.3)$$

где  $E$  – напряжённость поля;  $E_i^*$  – комплексно-сопряжённая с  $E_i$  функция;  $\tau$  – время запаздывания между пучками из точек  $P_1$  и  $P_2$ .

Входящая в формулу (2.3) величина  $\Gamma_{12}(\tau) = \langle E_1(t + \tau) \cdot E_2^*(t) \rangle$  называется взаимной *корреляционной функцией* величин  $E_1(t)$  и  $E_2(t)$ . Математически она представляет собой интеграл свёртки двух медленно меняющихся комплексных амплитуд:

$$\Gamma_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} E_1(t + \tau) E_2^*(t) dt. \quad (2.4)$$

Если  $P_1$  и  $P_2$  совпадают, но излучение может попасть в точку наблюдения  $Q$  по двум путям неравной длины, то из формулы (2.4) получается, что

$$\Gamma_{11}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} E_1(t + \tau) E_1^*(t) dt.$$

Величина  $\Gamma(\tau) \equiv \Gamma_{11}(\tau)$  называется *автокорреляционной функцией*. Она зависит только от относительного запаздывания  $\tau$ , а значит, характеризует временную когерентность. Очевидно, что при  $\tau = 0$  автокорреляционная функция даёт просто интенсивность соответствующего источника:  $\Gamma_{11}(0) = I_1$ .

С другой стороны, если запаздыванием излучения от двух различных источников можно пренебречь, то величина  $\Gamma_{12} \equiv \Gamma_{12}(0)$  зависит только от их положения и характеризует пространственную когерентность.

Обычно вводят нормировочный параметр  $\gamma_{12}(\tau)$ , называемый *комплексной степенью когерентности* световых колебаний и определяемый выражением

$$\gamma_{12}(\tau) = \frac{\Gamma_{12}(\tau)}{\sqrt{\Gamma_{11}(0)}\sqrt{\Gamma_{22}(0)}} = \frac{\Gamma_{12}(\tau)}{\sqrt{I_1}\sqrt{I_2}}.$$

Тогда формула (2.3), описывающая распределение интенсивности в точке  $Q$  на экране наблюдения, примет вид

$$I(Q) = I_1(Q) + I_2(Q) + 2\sqrt{I_1(Q)}\sqrt{I_2(Q)}\gamma_{12}^{(r)}(\tau),$$

где  $I_1(Q)$  и  $I_2(Q)$  – интенсивности интерферирующих в точке  $Q$  пучков;  $\gamma_{12}^{(r)}(\tau)$  – вещественная часть комплексной степени когерентности.

Максимумы и минимумы интенсивности интерференционной картины вблизи точки  $Q$  с хорошей точностью определяются выражениями

$$I(Q)_{\text{макс.}} = I_1(Q) + I_2(Q) + 2\sqrt{I_1(Q)}\sqrt{I_2(Q)}\gamma_{12}^{(r)}(\tau)$$

и

$$I(Q)_{\text{мин.}} = I_1(Q) + I_2(Q) - 2\sqrt{I_1(Q)}\sqrt{I_2(Q)}\gamma_{12}^{(r)}(\tau).$$

Чтобы связать контраст интерференционных полос с интенсивностями двух пучков и степенью их когерентности, служит формула

$$V(Q) = \frac{I(Q)_{\text{макс.}} - I(Q)_{\text{мин.}}}{I(Q)_{\text{макс.}} + I(Q)_{\text{мин.}}} = \frac{2\sqrt{I_1(Q)}\sqrt{I_2(Q)}}{I_1(Q) + I_2(Q)} \cdot \gamma_{12}^{(r)}(\tau). \quad (2.5)$$

Из формулы (2.5) видно, что если интенсивности обоих пучков равны  $I_1(Q) = I_2(Q)$ , то  $V = \gamma_{12}^{(r)}(\tau)$ , т.е. контраст полос равен модулю комплексной степени когерентности.

Значения, принимаемые  $\gamma_{12}^{(r)}(\tau)$ , лежат в интервале от 0 до 1. Так:

- если  $\gamma_{12}^{(r)}(\tau) = 0$ , то два пучка, достигающие окрестности точки  $Q$ , *полностью взаимно некогерентны*. Интерференционные полосы не возникают;
- если  $\gamma_{12}^{(r)}(\tau) = 1$ , то два пучка *полностью когерентны*. Наблюдаются интерференционные полосы с максимально возможным контрастом;
- если  $0 < \gamma_{12}^{(r)}(\tau) < 1$ , то два пучка *частично когерентны*.

Таким образом, из вышеизложенного следует, что для определения степени пространственной когерентности необходимо произвести следующую последовательность действий:

- 1) Выделить излучение в двух интересующих точках сечения луча;
- 2) Измерить контраст интерференционной картины и интенсивность создающих её световых колебаний;
- 3) Воспользоваться формулой (2.5).

В рамках настоящей работы следует также отметить, что если требуется измерить не искажённую пространственной статистикой временную корреляционную функцию поля, то обычно обращаются к другой интерференционной схеме – *интерферометру Майкельсона* (рис. 2.2). Здесь световая волна от источника  $S$  падает на наклонную полупрозрачную пластину  $P$ , формирующую два пучка. Эти пучки отражаются от зеркал  $M_1$  и  $M_2$ . Затем один из них, вновь пройдя через пластину  $P$ , а другой, отразившись от неё, поступают на экран  $Q$ , где они оба интерферируют.

Если "плечи"  $l_1$  и  $l_2$  интерферометра равны, то наблюдаемая картина характеризует когерентность колебаний, излучённых в один и тот же момент времени.

По мере увеличения одного из "плеч" интерферометра начинается сравнение колебаний, излучение которых разделено уже временным интервалом

$$\Delta t = \frac{2 \cdot (l_2 - l_1)}{c} = \frac{2 \cdot \Delta l}{c},$$

где  $c$  – скорость света.

Наблюдаемую при наложении таких пучков интерференцию можно рассматривать как проявление временной когерентности. Зависимость степени когерентности от временного интервала  $\Delta t$  называется *функцией временной когерентности*.

Временной интервал, при котором исследуемые колебания остаются когерентными, называется *временем когерентности*.

За время когерентности колебания распространяются в пространстве на длину, называемую *длиной когерентности*.

Следует также отметить, что деление на пространственную и временную когерентность может быть чётко проведено лишь в самых простейших случаях. В общем случае эти два типа когерентности не являются независимыми.

Перед выполнением настоящей лабораторной работы также необходимо ознакомиться с основными теоретическими положениями по литературе [1–5].

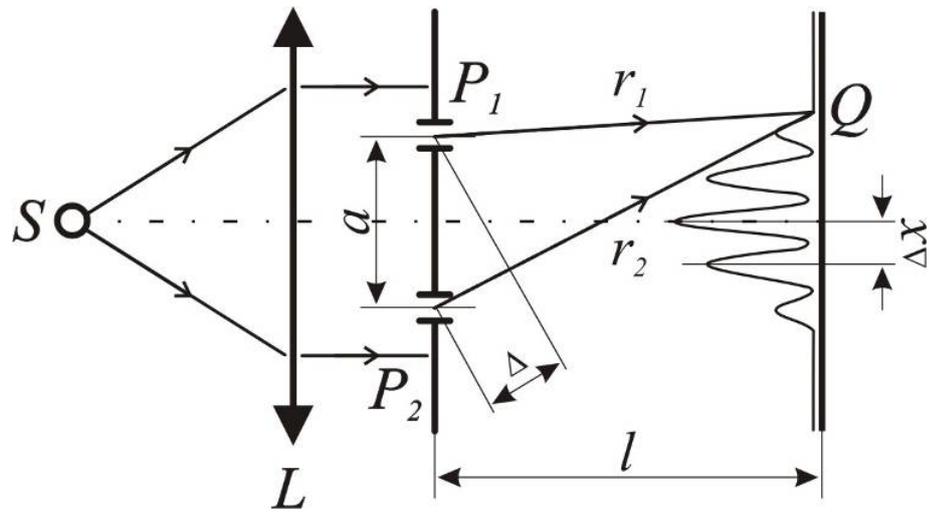


Рис. 2.1.

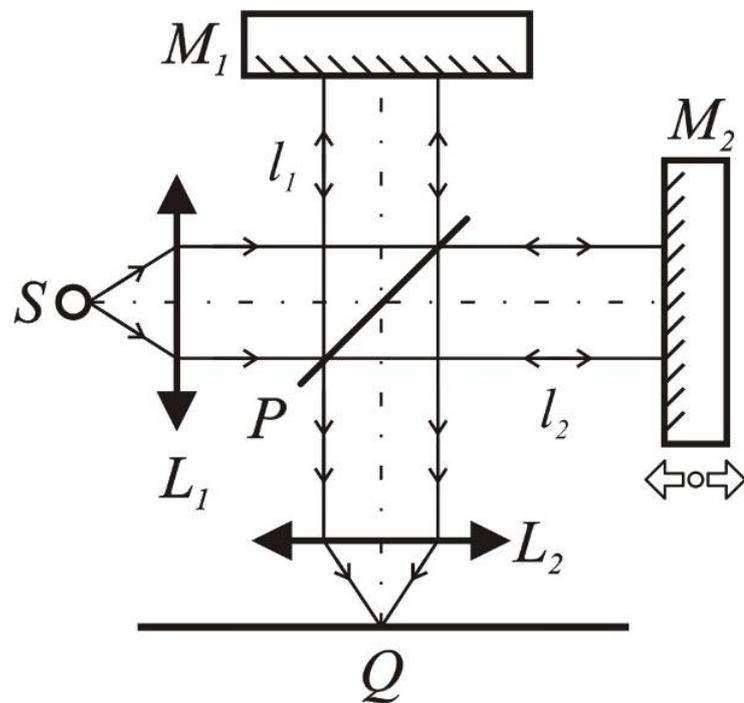


Рис. 2.2.

## ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Схема экспериментальной установки для выполнения настоящей лабораторной работы представлена на рис. 2.3, где **1** – лазерный излучатель; **2** – экран с набором отверстий; **3** – подвижная шторка; **4** – видеокамера; **5** – средство визуализации и обработки сигнала.

Используемый в настоящей работе газовый лазерный излучатель выполнен на основе смеси гелия и неона (*He-Ne*). Генерация излучения осуществляется на длине волны  $\lambda=632.8$  нм. Режим генерации – непрерывный.

**ВНИМАНИЕ!** Лазерный излучатель уже съюстирован на заводе–изготовителе и не требует (!) от студента дополнительной настройки.

**ВНИМАНИЕ!** При работе с видеокамерой для обеспечения корректности получаемых результатов не следует допускать пересвета (насыщения) её ПЗС–матрицы, т.е. видеокамера должна работать в так называемом линейном режиме (см. рис. 2.4а). О нарушении этого условия, в частности, может свидетельствовать отсутствие выраженного максимума (!) в распределении отображаемого сигнала (т.е. сигнал начинает "зашкаливать"; см. рис. 2.4б). Для восстановления линейного режима работы видеокамеры на пути распространения лазерного излучения обычно устанавливают ослабляющий светофильтр.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### *Задание.*

Провести оценку степени пространственной когерентности излучения лазера

### Экспериментальная часть

1. Получить разъяснения от преподавателя об особенностях выполнения данного задания.
2. При выключенном лазерном излучателе **1** средствами программы, обслуживающей видеокамеру **4**, провести регистрацию\* имеющегося шумового фона, сохранив результат в виде файла данных\*\* (т.е. файла с расширением *DAT*).  
(\* – **ВНИМАНИЕ!** Для повышения достоверности получаемых результатов требуется повторить регистрацию сигнала не менее пяти раз.  
(\*\*) – **ВНИМАНИЕ!** При необходимости программа позволяет также осуществлять сохранение результата в виде файла–"картинки".
3. Включить лазерный излучатель **1** и направить его излучение на первую выбранную на экране **2** пару отверстий. При полностью открытых отверстиях выбранной пары (шторка **3** убрана), используя возможности подвижки экрана **2** (либо лазерного излучателя **1**), добиться максимально контрастного вида имеющегося сигнала – интерференционной картины (см. рис. 2.5а). Визуализацию производить на компьютерном мониторе **5**.

4. Средствами программы, обслуживающей видеокамеру 4, провести регистрацию интерференционной картины, сохранив результат в виде файла данных.  
**ВНИМАНИЕ!** Для повышения достоверности получаемых результатов требуется повторить регистрацию сигнала не менее пяти раз.
5. Закрыв шторкой 3 одно из отверстий пары, по аналогии с предыдущим пунктом провести регистрацию сигнала – распределения интенсивности излучения – от "открытого" отверстия (см. рис. 2.5б). Повторить те же действия для второго отверстия этой пары (рис. 2.5в).  
**ВНИМАНИЕ!** Для повышения достоверности получаемых результатов требуется повторить регистрацию сигнала от каждого отверстия не менее пяти раз.
6. Повторить все действия из п. 3–5 для других оставшихся пар отверстий.
7. Ознакомить преподавателя с результатами проделанной работы.

#### Расчётная часть

**ВНИМАНИЕ!** При выполнении расчётов рекомендуется использование программных средств "Microsoft Office Excel" либо "Origin".

**ВНИМАНИЕ!** Каждый файл данных содержит два столбца, причём первый столбец представляет собой значение координаты в точках/пикселях, а второй столбец – значение интенсивности сигнала в единицах измерения программы, обслуживающей видеокамеру.

8. Провести усреднение данных для шумового фона. С этой целью необходимо просуммировать все значения из вторых столбцов файлов данных шумового фона для одинаковых координат, а полученный результат поделить на количество использованных файлов. В итоге будет вновь получен файл данных, содержащий в первом столбце по–прежнему значения координаты (они у разных файлов совпадают), а во втором – усреднённые величины интенсивности шумового фона.
9. По аналогии с предыдущим пунктом провести усреднение всех сигналов для интерференционных картин, а также сигналов, полученных от одиночных отверстий пар.
10. Исключить влияние имевшегося шумового фона на результаты измерений, т.е. провести *корректировку* вида зарегистрированных сигналов с учётом "шума" ("очистить" их от "шума"). С этой целью следует для одинаковых значений координат вычесть из всех усреднённых сигналов, полученных от одиночных отверстий и для интерференционных картин, усреднённый сигнал шумового фона (все эти действия проводятся по отношению ко вторым столбцам файлов данных). В итоге будет вновь получен файл данных, содержащий в первом столбце по–прежнему значения координаты (они у разных файлов совпадают), а во втором – величины зарегистрированных сигналов, скорректированные уже с учётом "шума".

11. Из анализа усреднённых и скорректированных с учётом "шума" интерференционных картин, полученных для каждой одноимённой пары отверстий, провести оценку интенсивности центрального максимума  $I_{\text{макс}}$  и интенсивности соседнего с ним минимума  $I_{\text{мин}}$ . (см. рис. 2.5а).
12. Из анализа усреднённых и скорректированных с учётом "шума" интерференционных картин, полученных для каждой одноимённой пары отверстий, выявить местонахождение (координату) точки  $x_0$ , в которой запаздыванием излучения от двух источников – отверстий  $P_1$  и  $P_2$  – можно пренебречь (т.е.  $\tau=0$ ). Она определяется местоположением центрального максимума интерференционной картины  $I_{\text{макс}}$ . (см. рис. 2.5а).
13. Из анализа усреднённых и скорректированных с учётом "шума" распределений, полученных от каждого отверстия из одноимённой пары, оценить интенсивность сигналов  $I_1$  и  $I_2$  в точке  $x_0$  (см. рис. 2.5б и рис. 2.5в).
14. Применив формулу (2.2), рассчитать видность интерференционных полос  $V$  для каждой одноимённой пары отверстий.
15. По данным из п. 13 и п. 14, используя формулу (2.5), оценить степень пространственной когерентности  $\gamma_{12}^{(r)}$  для каждой одноимённой пары отверстий.
16. Свести результаты измерений и расчётов в прилагаемую форму (см. таблицу 2.1).
17. Построить зависимость степени пространственной когерентности  $\gamma_{12}^{(r)}$  от величины расстояний между отверстиями одноимённых пар  $a$ .  
**ВНИМАНИЕ!** Информацию о конкретных численных расстояниях между отверстиями одноимённых пар следует получить от преподавателя.
18. Описать и проанализировать полученные результаты. Сделать выводы.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

1. Номер, название и цели работы.
2. Схема экспериментальной установки с перечислением её элементов.
3. Формулы, использованные при расчётах.
4. Протокол исследования (или его копию), подписанный преподавателем.
5. Для каждой одноимённой пары отверстий привести усреднённый и скорректированный с учётом "шума":
  - вид распределений излучения от каждого отдельного отверстия пары;
  - вид результата совместного прохождения излучения через пару отверстий (т.е. интерференционную картину).
6. Результаты измерений и расчётов, сведённые в форму из таблицы 2.1.

7. Построенная по полученным данным зависимость  $\gamma_{12}^{(r)}(a)$ .  
**ВНИМАНИЕ!** При построении зависимости считать, что погрешность составляет  $\pm 10\%$ .
8. Описание и анализ полученных результатов. Выводы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

### *а) Основные.*

1. Какой лазерный излучатель был использован в настоящей работе?  
/название, тип активной среды, длина волны генерации/
2. Что такое когерентность?
3. Дать определение пространственной и временной когерентности.
4. Дать определение дифракции и интерференции.
5. Изложить последовательность действий при выполнении данной лабораторной работы.

### *б) Дополнительные.*

6. Почему лазерное излучение обладает высокой степенью когерентности?
7. От чего зависит ширина интерференционных полос?
8. Как зависит функция когерентности от модового состава излучения?
9. Для чего нужна функция пространственной и временной когерентности?
10. Назвать основные факторы, оказывающие влияние на погрешность измерения степени когерентности.
11. Как расположатся в пространстве на плоском экране интерференционные полосы, получаемые от двух точечных когерентных источников? Рассмотреть случаи, когда экран позиционируется либо вдоль линии расположения источников, либо перпендикулярно к ней.
12. Пояснить принцип действия интерферометров Юнга и Майкельсона.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Калитеевский Н.И. Волновая оптика. – СПб: Лань, 2008, 466 с.
2. Стафеев С.К., Боярский К.К., Башнина Г.Л. Основы оптики: Учебное пособие. – СПб: Питер, 2006, 336 с.
3. Магурин В.Г., Тарлыков В.А. Когерентная оптика. Учебно–методическое пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006, 122 с.
4. Митрофанов А.С. Принципы усиления оптического излучения. Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2005, 112 с.
5. Альтшулер Г.Б., Антонец Г.Н., Белашенков Н.Р. и др. Методические указания к лабораторному практикуму по дисциплине "Квантовая электроника". – Л.: ЛИТМО, 1991, 58 с.

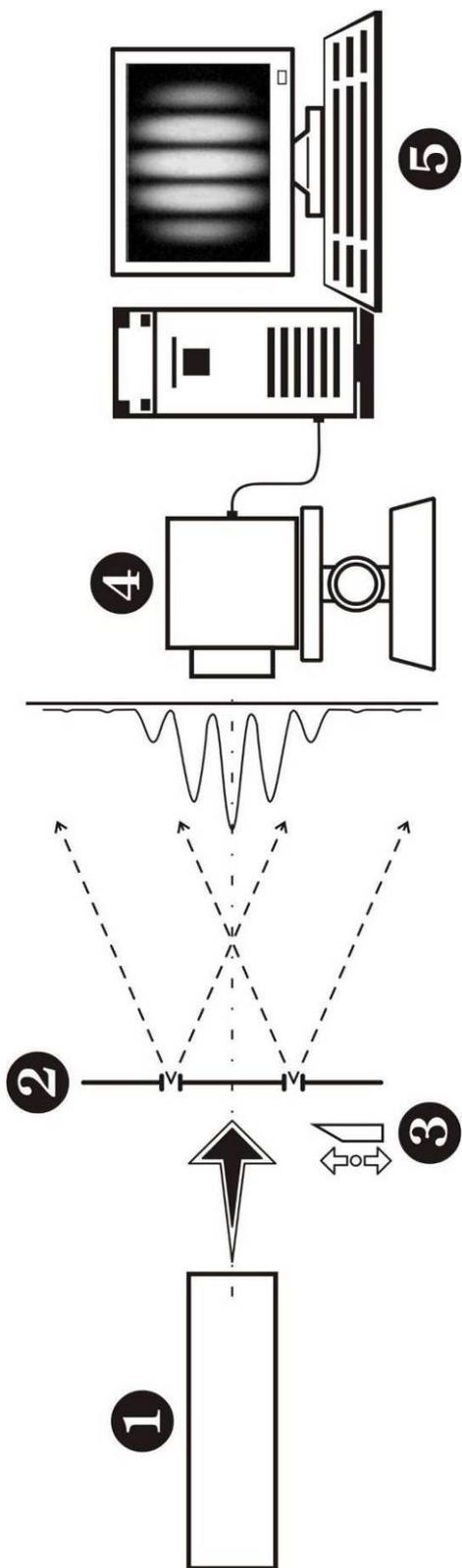


Рис. 2.3.

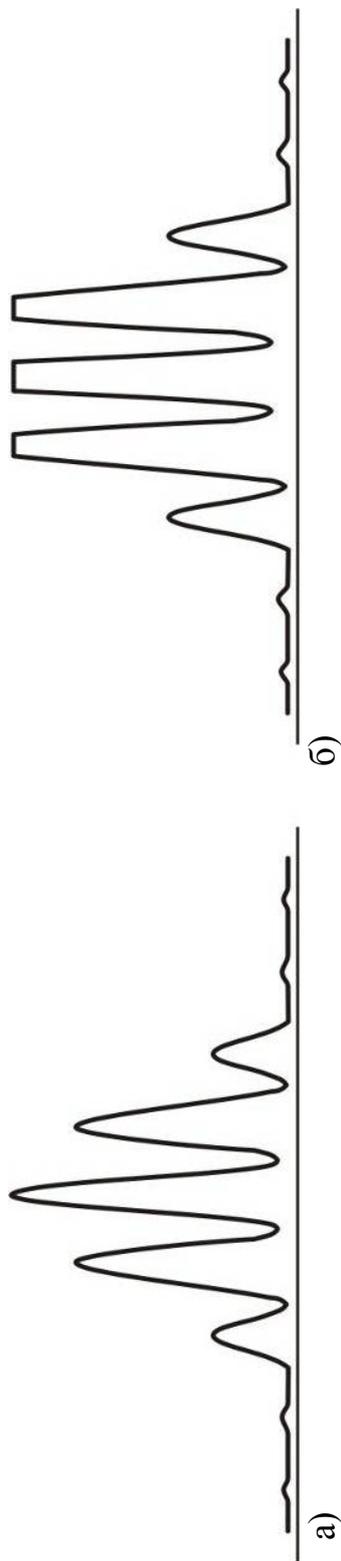


Рис. 2.4.

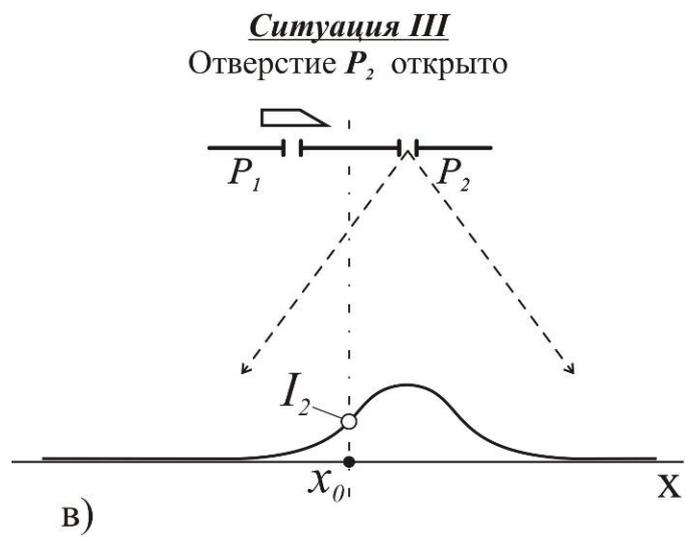
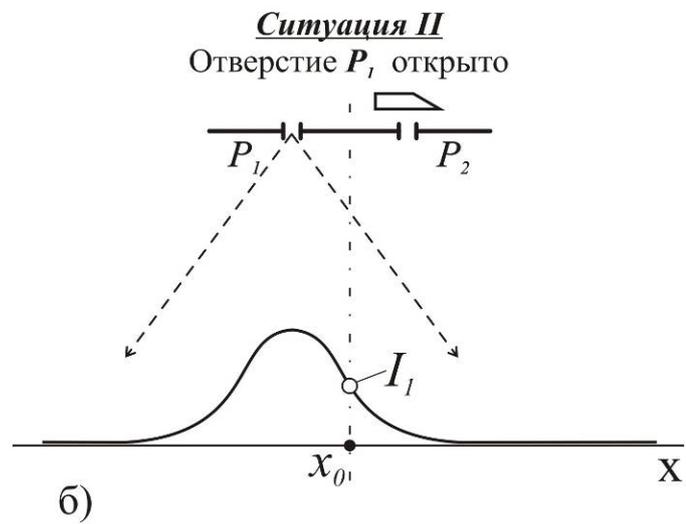
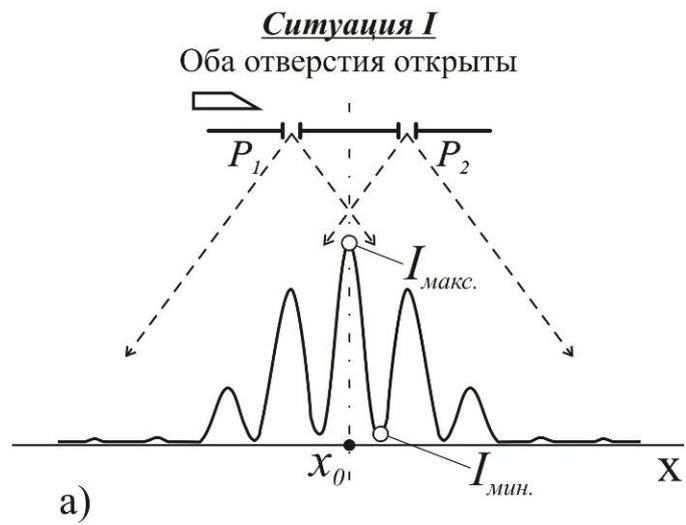


Рис. 2.5.

Таблица 2.1. Образец формы представления результатов.

№	ВЕЛИЧИНЫ						
	$a$ , мкм	<i>измеряемые</i>				<i>рассчитываемые</i>	
		$I_{\text{макс.}}$	$I_{\text{мин.}}$	$I_1$	$I_2$	$V$	$\gamma_{12}^{(r)}$
усл. ед.							
...	...	...	...	...	...	...	...

**ПРИМЕЧАНИЕ:** Численные значения для интенсивностей следует приводить в единицах измерения программы видеокамеры (т.е. в усл. ед.). Также необходимо помнить, что в таблице измеряемые величины представляют собой данные, полученные из оценок распределений, усреднённых и скорректированных с учётом "шума" (кроме параметра  $a$ ).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА

Цели работы: а) ознакомление с конструкцией и элементами исследуемого лазера; б) получение представления о методах и экспериментальной технике измерения расходимости лазерного излучения; в) привитие практических навыков оценки геометрических параметров лазерного пучка; г) изучение особенностей пространственного распространения излучения лазера.

### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

По мере отдаления от лазерного источника поперечный размер сечения лазерного пучка изменяется (в большинстве случаев увеличивается).

Одним из уникальных свойств лазера является возможность создания световых пучков с высокой направленностью или, как чаще принято говорить, с *малой угловой расходимостью*. Благодаря этому свойству возможна передача энергии (мощности) излучения на большие расстояния и достижение высокой степени освещённости объекта путём фокусировки света в пятно, соизмеримое с длиной волны.

В числе первоочередных факторов, способных оказать влияние на угловую расходимость, следует выделить:

- конфигурацию зеркал резонатора;
- количество генерируемых типов колебаний (одномодовость или многомодовость режима генерации излучения);
- оптические неоднородности (искажения), существующие во всех оптических элементах резонатора.

Сильно увеличить исходную расходимость "идеального" лазера могут также возникающие в результате работы излучателя термооптические и акустооптические возмущения активной среды.

Наиболее полной пространственно–энергетической характеристикой лазерного излучения является *диаграмма направленности*, т.е. плотность углового распределения энергии (мощности) в лазерном пучке.

При изучении расходимости лазерного излучения принципиально важными являются два вопроса: какую минимальную расходимость пучка можно получить и при каких условиях измерения расходимости дают однозначный результат.

Так как вблизи излучающей апертуры лазера пространственное распределение имеет сложную конфигурацию, то в большинстве случаев практический интерес представляет измерение данной характеристики в так называемой *дальней зоне* (или *зоне Фраунгофера*), когда форма пучка перестаёт зависеть от расстояния и можно говорить о сформировавшейся (постоянной) диаграмме направленности излучения. В качестве приближённой оценки границы дальней зоны принимают расстояние, превышающее величину  $d_0^2/\lambda$  (3.1), где  $d_0$  – диаметр излучающей апертуры лазера;  $\lambda$  – длина волны излучения. Оно ещё имеет название *дистанции Рэлея*.

Ширину диаграммы направленности в дальней зоне количественно характеризуют *углом расходимости* лазерного излучения, который обычно нормируется при выпуске лазеров из производства.

На практике используют два определения угла расходимости. В первом случае имеют в виду *угловую расходимость*, т.е. плоский или телесный угол, определяющий ширину диаграммы направленности в дальней зоне по заданному уровню углового распределения энергии (мощности), отнесённого к её максимальному значению. Чаще всего значение такого уровня принимается равным 0.5 или  $e^{-2}$ , где  $e$  – основание натурального логарифма.

Приведённое выше определение однозначно характеризует излучение только одномодового лазера, имеющего диаграмму направленности, близкую к Гауссовскому распределению. В случае же многомодового режима диаграмма излучения имеет боковые "лепестки", содержащие значительную часть энергии (мощности). Поэтому здесь наиболее показательной характеристикой является *энергетическая расходимость* лазерного излучения, т.е. плоский или телесный угол, внутри которого распространяется заданная доля энергии (мощности) излучения.

Лазерное излучение также характеризуют значением *диаметра пучка*, т.е. размером поперечного сечения пучка лазерного излучения, внутри которого заключена заданная доля энергии (мощности). Но иногда здесь используется и другое определение, где под диаметром пучка понимается расстояние между двумя точками, в которых амплитуда или интенсивность поля уменьшается в некоторое число раз по сравнению с максимальным значением.

Для практического определения угла расходимости лазерного излучения используют три *основных метода*:

- метод сечений;
- метод регистрации диаграммы направленности;
- метод фокального пятна.

При *методе сечений* расходимость излучения определяют путём измерения в дальней зоне диаметров двух поперечных сечений пучка  $d_1$  и  $d_2$ , отстоящих друг от друга на расстоянии  $\Delta L$  (см. рис. 3.1а), и последующего вычисления искомого угла  $\Theta$  по формуле

$$\Theta = 2 \operatorname{arctg} \frac{d_2 - d_1}{2\Delta L}. \quad (3.2)$$

Измерения параметров  $d_1$  и  $d_2$  производятся здесь по одному и тому же критерию, а именно: по заданному уровню интенсивности либо заданной доле энергии (мощности).

Главным достоинством такого метода является простота. Однако очень часто дальняя зона может находиться на значительном удалении от лазера (десятки метров и более), что затрудняет использование метода сечений в лабораторных условиях. Для уменьшения же линейных габаритов установки в данном случае обычно применяют различные зеркальные, призмные или телескопические системы. Последние позволяют уменьшать размер светового пучка в  $m$  раз, где  $m$  – это кратность телескопа.

*Метод регистрации диаграммы направленности* позволяет получить наиболее полную информацию о пространственном распределении лазерного излучения. Здесь для измерения обычно используется фотоприёмник, расположенный также в дальней зоне и закрытый диафрагмой с отверстием малого диаметра (см. рис. 3.1б). Перемещая его по дуге окружности радиусом  $R$ , регистрируют угловое распределение интенсивности излучения. Зная диаграмму направленности, можно рассчитать энергетическую и угловую расходимость излучения. Измерение диаграммы направленности является сложной и трудоёмкой процедурой, поэтому редко применяется в метрологической практике.

*Метод фокального пятна* является наиболее распространённым методом измерения расходимости. Как уже отмечалось выше, для проведения измерений в дальней зоне требуются, как правило, значительные расстояния от источника излучения. Условия же дифракции Фраунгофера можно также получить в фокальной плоскости идеальной безабберационной положительной линзы (рис. 3.1в). Для перехода здесь к угловой величине необходимо линейное распределение в фокальной плоскости  $d_{f'}$  разделить на фокусное расстояние линзы  $f'$ :

$$\Theta \approx \frac{d_{f'}}{f'}. \quad (3.3)$$

В этом методе для повышения точности необходимо использовать длиннофокусные линзы с апертурой, превышающей примерно в два раза диаметр падающего лазерного пучка. Это позволяет исключить влияние дифракции на краях линзы. Погрешность измерения здесь связана в основном с неточностью определения размера пятна  $d_{f'}$ .

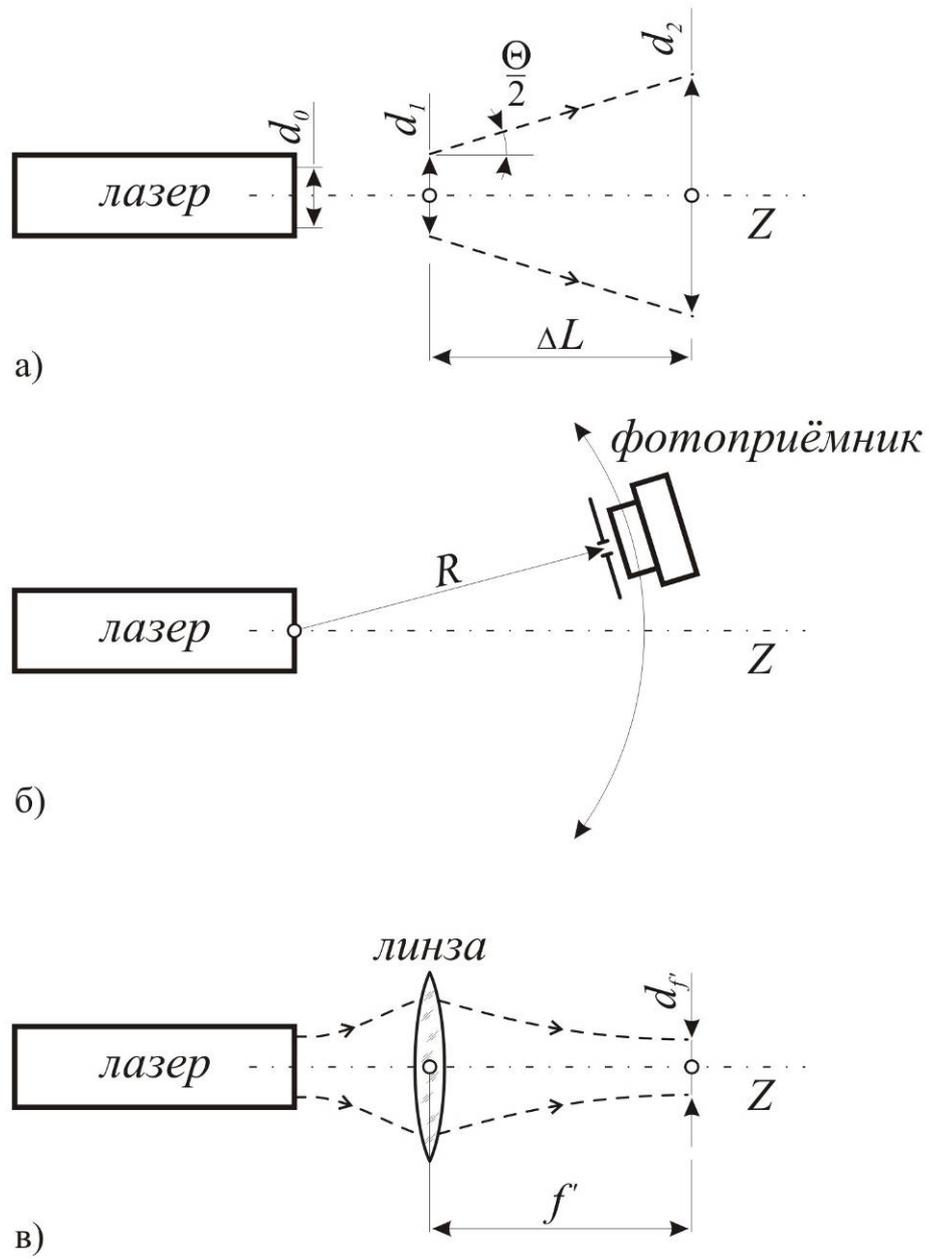


Рис. 3.1.

Перед выполнением настоящей лабораторной работы также необходимо ознакомиться с основными теоретическими положениями по литературе [1–3].

## ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Схема экспериментальной установки для выполнения настоящей лабораторной работы представлена на рис. 3.2, где **1** – лазерный излучатель; **2** – измеритель дистанции; **3** – видеокамера; **4** – средство визуализации и обработки сигнала.

Используемый в настоящей работе газовый лазерный излучатель выполнен на основе смеси гелия и неона (*He–Ne*). Генерация излучения осуществляется на длине волны  $\lambda=632.8$  нм. Режим генерации – непрерывный, одномодовый.

**ВНИМАНИЕ!** *Излучатель уже съюстирован на заводе–изготовителе и не требует (!) от студента дополнительной настройки.*

**ВНИМАНИЕ!** *При работе с видеокамерой для обеспечения корректности получаемых результатов не следует допускать пересвета (насыщения) её ПЗС–матрицы, т.е. видеокамера должна работать в так называемом линейном режиме (см. рис. 3.3а). О нарушении этого условия, в частности, может свидетельствовать отсутствие выраженного максимума (!) в распределении отображаемого сигнала (т.е. сигнал начинает "заикаливаться"; см. рис. 3.3б). Для восстановления линейного режима работы видеокамеры на пути распространения лазерного излучения обычно устанавливают ослабляющий светофильтр.*

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### *Задание.*

Провести исследование особенностей пространственного распространения лазерного излучения

### Экспериментальная часть

1. Получить разъяснения от преподавателя об особенностях выполнения данного задания.
2. При выключенном лазерном излучателе **1** средствами программы, обслуживающей видеокамеру **3**, провести регистрацию\* имеющегося шумового фона, сохранив результат в виде файла данных\*\* (т.е. файла с расширением *DAT*).

(\*) – **ВНИМАНИЕ!** *Для повышения достоверности получаемых результатов требуется повторить регистрацию сигнала не менее пяти раз.*

(\*\*) – **ВНИМАНИЕ!** *При необходимости программа позволяет также осуществлять сохранение результата в виде файла–"картинки".*

3. Расположить видеокамеру **3** на наиболее близком расстоянии  $L = L_0$  от источника лазерного излучения **1**. Оценку  $L_0$  производить при помощи измерителя дистанции **2**, а визуализацию сигнала – светового пятна – на компьютерном мониторе **4** (см. рис. 3.2).
4. Добиться с помощью микрометрических винтов подвижки крепления лазерного излучателя **1** совмещения центра светового пятна на экране монитора **4** с центром перекрестия области захвата изображения программы, обслуживающей видеокамеру **3**.
5. Провести регистрацию распределения интенсивности лазерного излучения, сохранив результат в виде файла данных. Регистрацию следует проводить в двух взаимортогональных направлениях – "График по оси X" и "График по оси Y".  
**ВНИМАНИЕ!** Для повышения достоверности получаемых результатов требуется повторить регистрацию сигнала не менее пяти раз для каждого направления.
6. Постепенно отдаляя видеокамеру **3** от источника лазерного излучения **1**, повторить все действия из п. 4 и п. 5 при ещё нескольких расстояниях  $L > L_0$ .  
**ВНИМАНИЕ!** Всего следует исследовать не менее пяти различных значений расстояния  $L$ . Для повышения достоверности получаемых результатов требуется повторить регистрацию сигнала не менее пяти раз для каждого направления.
7. Ознакомить преподавателя с результатами проделанной работы.

#### Расчётная часть

**ВНИМАНИЕ!** При выполнении расчётов рекомендуется использование программных средств "Microsoft Office Excel" либо "Origin".

**ВНИМАНИЕ!** Каждый файл данных содержит два столбца, причём первый столбец представляет собой значение координаты в точках/пикселях, а второй столбец – значение интенсивности сигнала в единицах измерения программы, обслуживающей видеокамеру.

8. Провести усреднение данных для шумового фона. С этой целью необходимо просуммировать все значения из вторых столбцов файлов данных шумового фона для одинаковых координат, а полученный результат поделить на количество использованных файлов. В итоге будет вновь получен файл данных, содержащий в первом столбце по-прежнему значения координаты (они у разных файлов совпадают), а во втором – усреднённые величины интенсивности шумового фона.
9. По аналогии с предыдущим пунктом провести усреднение всех сигналов, полученных для каждого расстояния  $L$ .
10. Исключить влияние имевшегося шумового фона на результаты измерений, т.е. провести *корректировку* вида зарегистрированных сигналов с учётом "шума" ("очистить" их от "шума").

С этой целью следует для одинаковых значений координат вычесть из всех усреднённых сигналов, полученных для каждого расстояния  $L$ , усреднённый сигнал шумового фона (все эти действия проводятся по отношению ко вторым столбцам файлов данных). В итоге будет вновь получен файл данных, содержащий в первом столбце по-прежнему значения координаты (они у разных файлов совпадают), а во втором – величины зарегистрированных сигналов, скорректированные уже с учётом "шума".

11. Над каждым усреднённым и скорректированным в ходе выполнения п. 9 и п. 10 распределением выполнить следующие действия:
  - перевести координатные значения (первый столбец в файле данных) из точечного/пиксельного вида в метрический\*;
  - отнормировать все значения интенсивности сигнала (второй столбец в файле данных) на имеющееся в этом файле максимальное значение.(\* – **ВНИМАНИЕ!** Информацию о числовом значении переводного коэффициента следует получить от преподавателя.
12. По данным каждого из обработанных в п. 11 файлов построить распределение интенсивности лазерного излучения по сечению пучка в двух взаимортогональных направлениях  $I(X)$  и  $I(Y)$  для всех исследованных расстояний  $L$ .
13. Для каждого исследованного расстояния  $L$  провести оценку диаметра лазерного пучка  $d$  по уровню  $e^{-2}$  от максимальной интенсивности в распределении сигнала (см. рис. 3.4). Оценку выполнить для обоих взаимортогональных направлений  $X$  и  $Y$  –  $d_X$  и  $d_Y$ .
14. Построить зависимости, иллюстрирующие изменение диаметра пучка  $d$  в двух взаимортогональных направлениях  $X$  и  $Y$  по мере удаления от лазерного источника  $L$ , т.е.  $d_X(L)$  и  $d_Y(L)$ .
15. Используя формулу (3.2), оценить по каждой паре соседних сечений лазерного пучка угловую расходимость излучения  $\Theta$  (см. рис. 3.1a). Оценку выполнить для обоих взаимортогональных направлений  $X$  и  $Y$  –  $\Theta_X$  и  $\Theta_Y$ .  
**ВНИМАНИЕ!** Информацию о диаметре выходного пучка лазерного излучателя  $d_0$  следует получить от преподавателя.
16. Построить зависимости, иллюстрирующие изменение величины угла расходимости лазерного пучка в двух взаимортогональных направлениях  $X$  и  $Y$  по мере удаления от излучателя, т.е.  $\Theta_X(L)$  и  $\Theta_Y(L)$ .
17. Описать и проанализировать полученные результаты. Сделать выводы.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

1. Номер, название и цели работы.
2. Схема экспериментальной установки с перечислением её элементов.
3. Формулы, использованные при расчётах.

4. Протокол исследования (или его копию), подписанный преподавателем.
5. Вид усреднённых и скорректированных с учётом "шума" распределений интенсивности в поперечном сечении пучка  $I(X)$  и  $I(Y)$  для всех исследованных расстояний  $L$ .
6. Построенные по полученным данным зависимости  $d_x(L)$ ,  $d_y(L)$ ,  $\Theta_x(L)$  и  $\Theta_y(L)$ .  
**ВНИМАНИЕ!** При построении зависимостей считать, что погрешность составляет  $\pm 10\%$ .
7. Описание и анализ полученных результатов. Выводы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

### *а) Основные.*

1. Какой лазерный излучатель был использован в настоящей работе? /название, тип активной среды, длина волны генерации/
2. Дать определение расходимости /угловой, энергетической/ излучения.
3. Какие методы могут быть использованы на практике для изучения пространственного распределения лазерного излучения?
4. Изложить последовательность действий при выполнении данной лабораторной работы.

### *б) Дополнительные.*

5. Что такое мода /физич./?
6. Назвать основные параметры Гауссова пучка.
7. В чём преимущества и недостатки рассмотренных в работе методов оценки расходимости лазерного излучения?
8. На каком расстоянии от лазерного источника начинается так называемая дальняя зона?
9. Установить, соответствуют ли зарегистрированные в настоящей лабораторной работе распределения интенсивности пучка использованного лазера распределению интенсивности для Гауссова пучка.
10. Рассчитать значения диаметра перетяжки Гауссова пучка  $d_{пер.}$  и расстояние до неё от первого сечения, в котором производилось измерение,  $L_o$  (рис. 3.5). С этой целью необходимо:
  - решить представленную ниже систему уравнений;
  - данный расчёт целесообразно провести для нескольких пар оценённых в настоящей лабораторной работе сечений (например, для  $1 \leftrightarrow 2$ ,  $1 \leftrightarrow 3$ ,  $1 \leftrightarrow 4$ ,  $1 \leftrightarrow 5$  и т.п.);
  - усреднить рассчитанные таким образом величины параметров  $\bar{d}_{пер.}$  и  $\bar{L}_o$ .

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Физматлит, 2006, 848 с.
2. Янг М. Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы. – М.: Мир, 2005, 544 с.
3. Альтшулер Г.Б., Антоневи́ч Г.Н., Белашенков Н.Р. и др. Методические указания к лабораторному практикуму по дисциплине "Квантовая электроника". – Л.: ЛИТМО, 1991, 58 с.

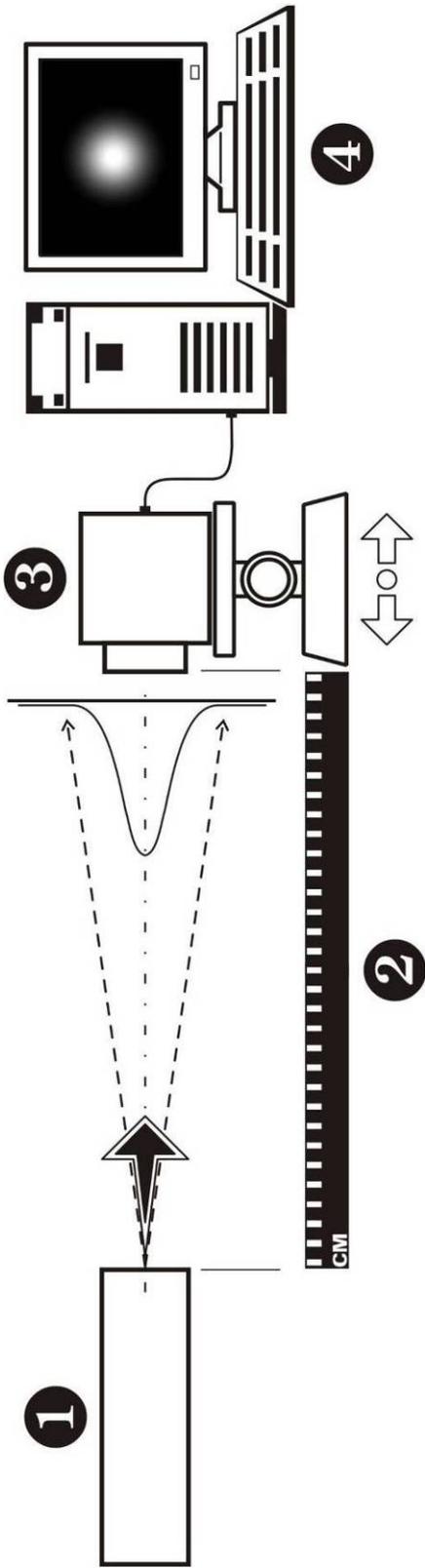


Рис. 3.2.

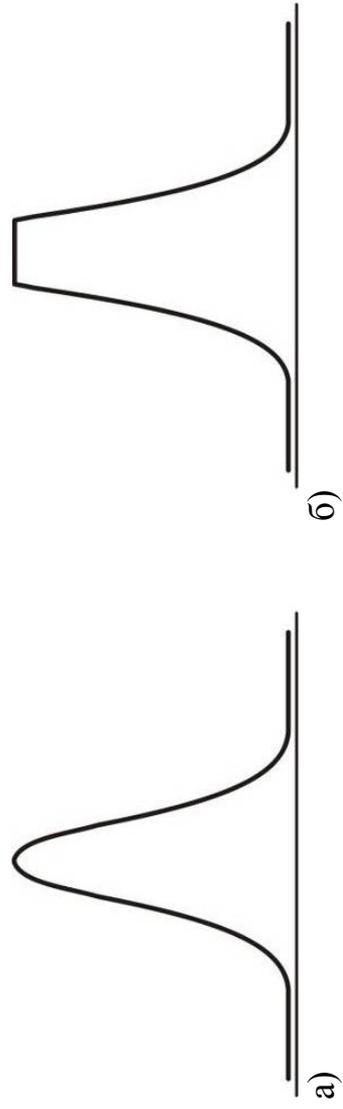


Рис. 3.3.

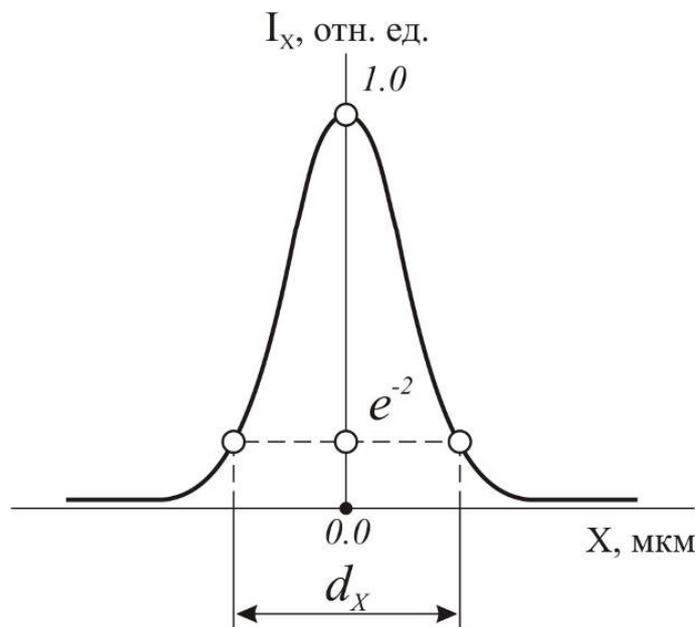
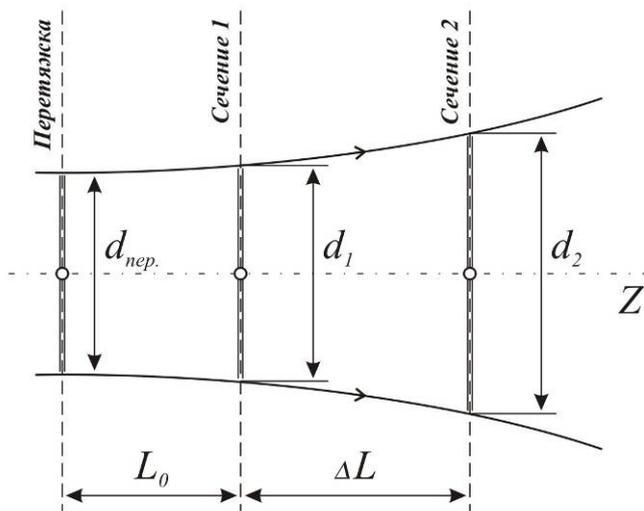


Рис. 3.4.



$$\begin{cases} d_1 = d_{nep.} \sqrt{1 + \frac{L_0^2}{\left(\frac{kd_{nep.}}{2}\right)^2}} \\ d_2 = d_{nep.} \sqrt{1 + \frac{(L_0 + \Delta L)^2}{\left(\frac{kd_{nep.}}{2}\right)^2}} \end{cases}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Рис. 3.5.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА В РЕЖИМЕ СВОБОДНОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Цели работы: а) ознакомление с конструкцией и элементами исследуемого лазера; б) получение представления о методах и экспериментальной технике измерения основных характеристик лазерного излучения; в) привитие практических навыков работы с лазером; г) изучение динамики генерации, энергетических и временных характеристик твердотельного лазера, работающего в режиме свободной генерации.

### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Под *режимом свободной генерации* лазера понимают такой режим, при котором отсутствует какое-либо целенаправленное управление параметрами или элементами лазерного излучателя в процессе генерации.

Так как в режиме свободной генерации отсутствуют дополнительные потери излучения в резонаторе на элементах управления, то лазеры имеют здесь наибольшую энергию импульса генерации. Соответственно, в этом режиме лазер обладает и наибольшим *коэффициентом полезного действия* – КПД.

К основным *энергетическим* и *временным* характеристикам лазера, работающего в режиме свободной генерации, при импульсной накачке относятся:

– энергия накачки лазера  $E_{НАК.}$ , определяемая как энергия электрического

поля накопительного конденсатора  $E_{НАК.} = \frac{c \cdot U_{НАК.}^2}{2}$  (4.1), где  $c$  – ёмкость

конденсатора,  $U_{НАК.}$  – напряжение на обкладках конденсатора;

– пороговая энергия накачки лазера  $E_{НАК.}^{ПОР.}$ ;

– энергия импульса генерации лазера  $E_{ГЕН.}$ ;

– длительность импульса генерации лазера  $\tau_{ИМП.}$ ;

– частота следования импульсов генерации лазера  $\nu$ ;

– средняя мощность генерации лазера  $P_{ГЕН.} = E_{ГЕН.} \cdot \nu$ ;

– мощность импульса генерации лазера  $P_{ИМП.} = \frac{E_{ГЕН.}}{\tau_{ИМП.}}$  (4.2);

– время задержки начала лазерной генерации по отношению к началу накачки  $t_3$ ;

– абсолютный КПД лазера  $\eta_{абс.} = \frac{E_{ГЕН.}}{E_{НАК.}} \cdot 100\%$  (4.3);

- дифференциальный КПД лазера  $\eta_{\text{дифф.}} = \frac{\Delta E_{\text{ГЕН.}}}{\Delta E_{\text{НАК.}}} \cdot 100\%$  (4.4);
- площадь сечения пучка лазерной генерации  $S$ , определяемая его эффективным геометрическим размером;
- плотность энергии импульса генерации  $W_E = \frac{E_{\text{ГЕН.}}}{S}$  (4.5) и плотность средней мощности генерации лазера  $W_P = \frac{P_{\text{ГЕН.}}}{S}$ .

Зависимость энергии импульса генерации лазера  $E_{\text{ГЕН.}}$  от энергии накачки  $E_{\text{НАК.}}$  носит название *энергетической характеристики лазерного излучателя* (см. рис. 4.1). Числовая оценка  $E_{\text{ГЕН.}}$  здесь может быть произведена с помощью специального прибора – *измерителя энергии лазерного излучения*, а представление о величине  $E_{\text{НАК.}}$  получают, используя формулу (4.1).

Одной из характерных точек энергетической характеристики лазерного излучателя является *пороговая* энергия накачки лазера  $E_{\text{НАК.}}^{\text{ПОР.}}$  (рис. 4.1), т.е. минимальное значение энергии накачки, способное инициировать процесс лазерной генерации. По данным энергетической характеристики путём оценки КПД (см. формулы (4.3) и (4.4)) можно также получить представление об эффективности имеющегося лазерного излучателя.

В качестве средства регистрации временных характеристик импульса лазерного излучения на практике используют *фотоприёмник*, принцип действия которого можно описать следующим образом: излучение, попадая на светочувствительную площадку фотоприёмника, вызывает появление *фотоЭДС*; выработанный таким образом электрический сигнал поступает на средство визуализации (например, осциллограф), которое и представляет его вид на своём экране. Каждый фотоприёмник характеризуется спектральной чувствительностью и временным разрешением (или быстродействием).

Типичная осциллограмма развития импульсной лазерной генерации в случае реализации режима свободной генерации представлена на рис. 4.2 ( $A$  – амплитуда регистрируемого сигнала). Оценка длительности импульса генерации лазера  $\tau_{\text{ИМП.}}$  проводится *по уровню 0.5* от величины максимального значения амплитуды сигнала, т.е. по так называемой "полувысоте" –  $\tau_{\text{ИМП.}}^{0.5}$ . Иногда подобную оценку бывает целесообразным осуществлять по уровню 0.5 от величины максимального значения *оггибающей* регистрируемого сигнала.

Перед выполнением настоящей лабораторной работы также необходимо ознакомиться с основными теоретическими положениями по литературе [1–4].

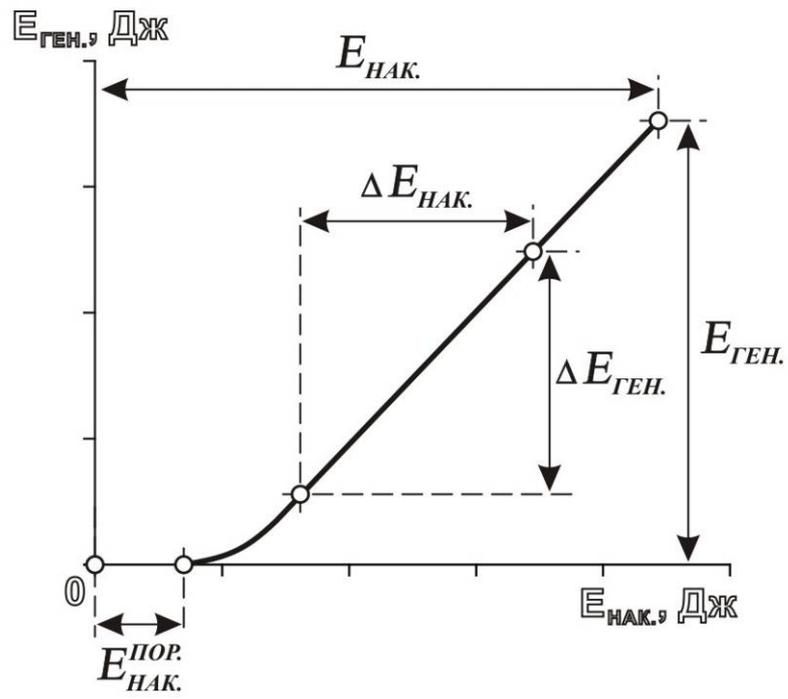


Рис. 4.1.

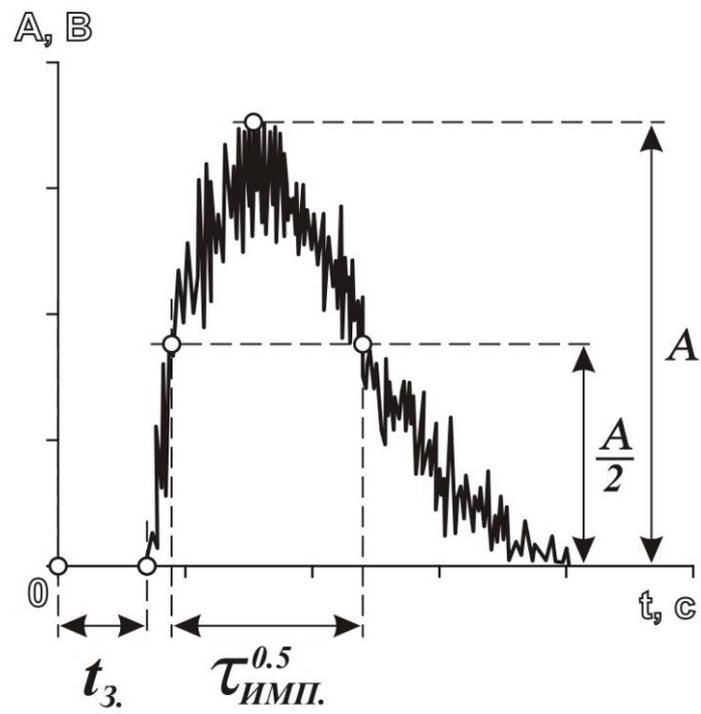


Рис. 4.2.

## ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Схема экспериментальной установки для выполнения настоящей лабораторной работы представлена на рис. 4.3, где **1** – вспомогательный юстировочный лазер; **2** – "глухое" зеркало резонатора; **3** – внутрирезонаторная диафрагма (может отсутствовать); **4** – квантрон исследуемого лазера, содержащий активную среду, элемент накачки (лампу) и отражатель; **5** – выходное зеркало резонатора; **6** – источник питания элемента накачки лазера (блок накачки); **7** – светоделитель; **8** – фотоприёмник; **9** – осциллограф; **10** – измеритель энергии/мощности лазерного излучения.

Исследуемый в настоящей работе твердотельный лазерный излучатель выполнен на основе иттрий–алюминиевого граната, активированного ионами неодима (ИАГ:  $Nd^{3+}$ ). Поскольку в использованной схеме отсутствуют какие–либо элементы, способные целенаправленно влиять на параметры развития процесса генерации, то реализуемый здесь режим является *режимом свободной генерации*. Генерация излучения осуществляется на длине волны  $\lambda = 1.064$  мкм.

**ВНИМАНИЕ!** Лазерный излучатель уже съюстирован сотрудником лаборатории и не требует (!) от студента дополнительной настройки.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### *Задание I.*

Провести измерение основных энергетических и временных характеристик твердотельного лазера в режиме свободной генерации (лазер без внутрирезонаторной диафрагмы)

### Экспериментальная часть

1. Получить разъяснения от преподавателя об особенностях выполнения данного задания.
2. Произвести определение порога накачки лазера. Для этого необходимо, начав работу при минимальном напряжении блока накачки, постепенно повышать его до уровня, когда на экране осциллографа начнут (!) появляться пички импульса генерации. Оценить полученное значение  $U_{НАК.}^{ПОР.}$ .
3. Продолжая далее постепенно увеличивать напряжение на блоке накачки  $U_{НАК.}^*$ , посредством измерителя энергии лазерного излучения следует осуществить сбор данных об энергии импульса генерации лазера  $E_{ГЕН.}^{**}$ .

(\*) – **ВНИМАНИЕ!** Использовать не менее пяти различных значений из диапазона энергии накачки лазера, превышающих порог.

**(\*\*) – ВНИМАНИЕ!** Для повышения достоверности получаемых результатов при каждом выставленном напряжении накачки требуется зарегистрировать не менее пяти значений энергии импульса генерации лазера.

**ВНИМАНИЕ!** Желательно также, чтобы действия из п. 3 и п. 4 (см. ниже) выполнялись одновременно.

4. По аналогии с предыдущим пунктом\* при тех же напряжениях накачки  $U_{НАК.}$  посредством фотоприёмника и осциллографа оценить временные характеристики\*\* импульса лазерного излучения (рис. 4.2), а именно:

– длительность импульса генерации лазера  $\tau_{ИМП.}^{0.5}$ ;

– время задержки начала лазерной генерации по отношению к началу накачки  $t_3$ .

**(\*) – ВНИМАНИЕ!** Желательно также, чтобы действия из п. 3 (см. выше) и п. 4 выполнялись одновременно.

**(\*\*) – ВНИМАНИЕ!** Для повышения достоверности получаемых результатов при каждом выставленном напряжении накачки требуется зарегистрировать не менее пяти значений измеряемой временной характеристики.

5. Свести результаты всех измерений в прилагаемую форму (см. таблицу 4.1).
6. Ознакомить преподавателя с результатами проделанной работы.

#### Расчётная часть

7. Оценить численное значение пороговой энергии накачки лазера  $E_{НАК.}^{ПОР.}$ , используя для этого формулу (4.1) и величину  $U_{НАК.}^{ПОР.}$ .
8. По аналогии с предыдущим пунктом рассчитать все значения энергии накачки  $E_{НАК.}$ , исследованные в работе.
9. Усреднить все значения для энергии импульса генерации лазера  $\bar{E}_{ГЕН.}$ , полученные при одинаковой накачке.
10. Усреднить все значения для временных характеристик импульса лазерного излучения  $\bar{\tau}_{ИМП.}^{0.5}$  и  $\bar{t}_3$ , полученные при одинаковой накачке.
11. Свести результаты всех проведённых расчётов в прилагаемую форму (см. таблицу 4.1).
12. По полученным данным, используя усреднённые значения характеристик, провести построение следующих зависимостей:  $E_{ГЕН.}(E_{НАК.})$ ,  $\tau_{ИМП.}^{0.5}(E_{НАК.})$  и  $t_3(E_{НАК.})$ .
13. Основываясь на данных энергетической характеристики лазерного излучателя и применяя формулы (4.3) и (4.4), оценить:
- максимальный абсолютный КПД лазера  $\eta_{абс.}^{макс.}$  (рассчитывается для наибольшего значения энергии накачки лазера);
  - дифференциальный КПД лазера  $\eta_{дифф.}$  (рассчитывается для указанного преподавателем интервала энергии накачки).
14. Описать и проанализировать полученные результаты. Сделать выводы.

## **Задание II.**

Провести измерение основных энергетических и временных характеристик  
твердотельного лазера в режиме свободной генерации  
(лазер с внутрирезонаторной диафрагмой)

1. Получить разъяснения от преподавателя об особенностях выполнения данного задания.
2. При выполнении настоящего задания требуется повторить все действия, измерения и построения, описанные в **Задании I** выше, но только уже для ситуации с установленной внутри резонатора лазера диафрагмой.  
**ВНИМАНИЕ!** *Установка диафрагмы осуществляется преподавателем. Количество используемых в работе диафрагм также определяется преподавателем.*
3. Результаты всех измерений и расчётов свести в прилагаемую форму (см. таблицу 4.1).
4. Для наибольшей энергии накачки, используя формулу (4.2), рассчитать значения мощности импульса генерации лазера  $P_{имп.}$ .
5. Для наибольшей энергии накачки, используя формулу (4.5), рассчитать значения плотности энергии импульса генерации лазера  $W_E$ . В этом случае диаметр использованной диафрагмы можно приближённо принять за диаметр пучка лазерной генерации.
6. Описать и проанализировать полученные результаты. Сделать выводы.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

1. Номер, название и цели работы.
2. Схема экспериментальной установки с перечислением её элементов.
3. Формулы, использованные при расчётах.
4. Протокол исследования (или его копию), подписанный преподавателем.
5. Результаты измерений и расчётов, сведённые в форму из таблицы 4.1.
6. Построенные по полученным данным зависимости  $E_{ГЕН.}(E_{НАК.})$ ,  $\tau_{имп.}^{0.5}(E_{НАК.})$  и  $t_3(E_{НАК.})$ .
7. Оценка максимального абсолютного  $\eta_{абс.}^{макс.}$  и дифференциального  $\eta_{дифф.}$  КПД лазера.
8. Оценка мощности импульса генерации лазера  $P_{имп.}$  (только для **Задания II**).
9. Оценка плотности энергии импульса генерации лазера  $W_E$  (только для **Задания II**).
10. Описание и анализ полученных результатов. Выводы.  
**ВНИМАНИЕ!** *При представлении результатов считать, что погрешность измерений составляет  $\pm 10\%$ .*

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

### *а) Основные.*

1. Какой лазерный излучатель был исследован в настоящей работе? /название, тип активной среды, длина волны генерации, режим работы/
2. Дать определение режима свободной генерации лазера.
3. Назвать основные энергетические и временные характеристики лазера в режиме свободной генерации.
4. Что представляет собой энергетическая характеристика лазерного излучателя? Как её получить на практике?
5. Как рассчитать энергию накачки лазера?
6. Дать определение пороговой энергии накачки лазера.
7. Что такое КПД лазера? /абсолютный, дифференциальный/
8. Дать определение плотности энергии импульса генерации лазера. В каких единицах она измеряется?
9. По какому критерию на практике производят оценку длительности импульса генерации лазера?
10. Изложить последовательность действий при выполнении заданий данной лабораторной работы.

### *б) Дополнительные.*

11. Какие величины определяют порог генерации лазера?
12. Описать ожидаемые изменения энергетических и временных характеристик генерации лазера в режиме свободной генерации, вызванные варьированием условий накачки. Ответ пояснить.
13. Что понимается под линейным и нелинейным этапами развития генерации?
14. Какую информацию можно получить из анализа энергетической характеристики лазерного излучателя и в чём её значимость?
15. Дать определение мощности импульса генерации лазера.
16. Как при помощи фотоприёмника провести относительное сравнение величин энергии импульсов генерации лазера?
17. Основываясь на критерии оценки длительности импульса генерации лазера по "полувысоте", дать определение характеристики  $\tau_{имп}^{0.5}$ .
18. Назвать возможные области применения режима свободной генерации твердотельных лазеров.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Физматлит, 2006, 848 с.
2. Дудкин В.И., Пахомов Л.Н. Квантовая электроника. Приборы и их применение – М.: Техносфера, 2006, 432 с.

3. Янг М. Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы. – М.: Мир, 2005, 544 с.
4. Альтшулер Г.Б., Антоневи́ч Г.Н., Белашенков Н.Р. и др. Методические указания к лабораторному практикуму по дисциплине "Квантовая электроника". – Л.: ЛИТМО, 1991, 58 с.

Таблица 4.1. Образец формы представления результатов.

№	ВЕЛИЧИНЫ							
	<i>измеряемые</i>				<i>рассчитываемые</i>			
	$U_{НАК.}$ , кВ	$E_{ГЕН.}$ , Дж	$\tau_{ИМП.}^{0.5}$ , мкс	$t_3$ , мкс	$E_{НАК.}$ , Дж	$\bar{E}_{ГЕН.}$ , Дж	$\tau_{ИМП.}^{-0.5}$ , мкс	$\bar{t}_3$ , мкс
...	...	...	...	...	...	...	...	...

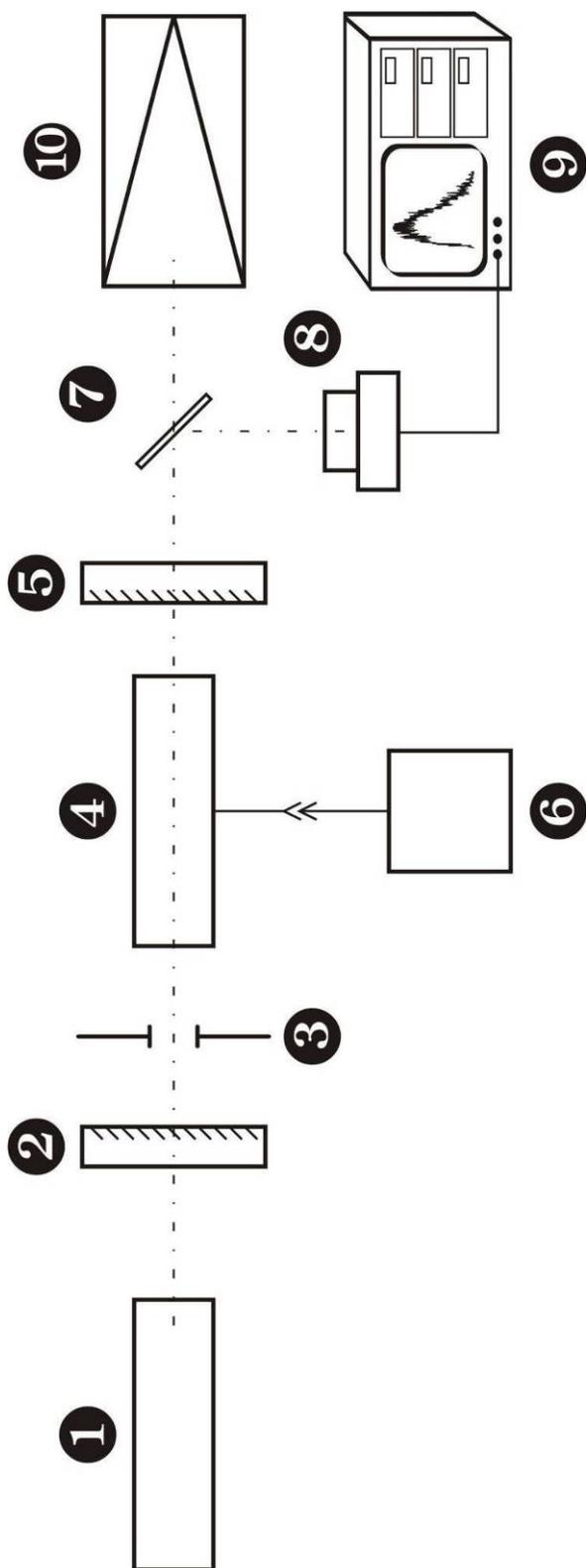


Рис. 4.3.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА В РЕЖИМЕ ПАССИВНОЙ МОДУЛЯЦИИ ДОБРОТНОСТИ

Цели работы: а) ознакомление с конструкцией и элементами исследуемого лазера; б) получение представления о методах и экспериментальной технике измерения основных характеристик лазерного излучения; в) привитие практических навыков работы с лазером; г) изучение динамики генерации, энергетических и временных характеристик твердотельного лазера, работающего в режиме пассивной модуляции добротности.

### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Режим *модуляции добротности* твердотельного лазера служит для получения мощного импульса малой длительности (1÷100 нс) или последовательности таких импульсов. От режима свободной генерации он отличается тем, что при нём первоначально с помощью *внутрирезонаторного затвора* устанавливается малая добротность резонатора (большой уровень потерь). Поскольку условия для возникновения генерации в лазере в этом случае не выполняются, то под действием источника накачки в активном элементе происходит значительное увеличение количества атомов на верхнем "рабочем" уровне. Если же теперь в некоторый момент времени быстро переключить внутрирезонаторный затвор (т.е. увеличить добротность резонатора), то коэффициент усиления излучения в резонаторе будет значительно превышать остаточный уровень потерь. Именно это условие и отличает работу лазера в режиме модулированной добротности от лазера, работающего в режиме свободной генерации.

Большое начальное значение коэффициента усиления в режиме модулированной добротности по сравнению с режимом свободной генерации приводит к уменьшению времени развития импульса излучения, сокращению его длительности и увеличению мощности. Энергия же одиночного импульса в режиме модулированной добротности из-за присутствия в резонаторе источника дополнительных потерь (внутрирезонаторного затвора), как правило, меньше, чем в режиме свободной генерации.

К *основным* характеристикам лазера, работающего в режиме модулированной добротности, при импульсной накачке относятся:

– энергия накачки лазера  $E_{НАК.}$ , определяемая как энергия электрического

поля накопительного конденсатора  $E_{НАК.} = \frac{c \cdot U_{НАК.}^2}{2}$  (5.1), где  $c$  – ёмкость

конденсатора,  $U_{НАК.}$  – напряжение на обкладках конденсатора;

- пороговая энергия накачки лазера  $E_{НАК.}^{ПОР.}$  ;
- энергия импульса генерации лазера  $E_{ИМП.}$  ;
- длительность импульса генерации лазера  $\tau_{ИМП.}$  ;
- мощность импульса генерации лазера  $P_{ИМП.} = \frac{E_{ИМП.}}{\tau_{ИМП.}}$  (5.2);
- время задержки начала лазерной генерации по отношению к началу накачки  $t_3$  ;
- общая продолжительность последовательности импульсов генерации лазера  $\tau_{ГЕН.}$  ;
- временной промежуток между пичками последовательности импульсов генерации лазера  $\Delta t_{п.}$  ;
- количество пичков в последовательности импульсов генерации лазера  $N$  ;
- энергия генерации последовательности импульсов  $E_{ГЕН.} = E_{ИМП.} \cdot N$  ;
- абсолютный КПД лазера  $\eta_{абс.} = \frac{E_{ГЕН.}}{E_{НАК.}} \cdot 100\%$  (5.3);
- дифференциальный КПД лазера  $\eta_{дифф.} = \frac{\Delta E_{ГЕН.}}{\Delta E_{НАК.}} \cdot 100\%$  (5.4);
- диапазон моноимпульсной лазерной генерации (т.е. диапазон энергий накачки лазера, в котором происходит генерация только одного импульса излучения – *моноимпульса*), характеризуемый коэффициентом *моноимпульсности*  $\mu = \frac{E_{НАК.(2)}^{ПОР.} - E_{НАК.(1)}^{ПОР.}}{E_{НАК.(2)}^{ПОР.}}$  (5.5), где  $E_{НАК.(i)}^{ПОР.}$  – пороговые

значения энергии накачки лазера, соответствующие появлению первого ( $i=1$ ) и второго ( $i=2$ ) импульсов генерации.

Зависимость энергии импульса генерации лазера  $E_{ГЕН.}$  от энергии накачки  $E_{НАК.}$  носит название *энергетической характеристики лазерного излучателя* (см. рис. 5.1). Числовая оценка  $E_{ГЕН.}$  здесь может быть произведена с помощью специального прибора – *измерителя энергии лазерного излучения*, а представление о величине  $E_{НАК.}$  получают, используя формулу (5.1).

Одной из характерных точек энергетической характеристики лазерного излучателя является *пороговая* энергия накачки лазера  $E_{НАК.}^{ПОР.}$  (рис. 5.1), т.е. минимальное значение энергии накачки, способное инициировать процесс лазерной генерации. По данным энергетической характеристики путём оценки КПД (см. формулы (5.3) и (5.4)) можно также получить представление об эффективности имеющегося лазерного излучателя.

В качестве средства регистрации временных характеристик лазерного излучения на практике используют *фотоприёмник*, подсоединённый к осциллографу (см. также описание принципа действия фотоприёмника, изложенное в Лабораторной работе № 4).

Типичная осциллограмма импульса лазерной генерации в режиме пассивной модуляции добротности представлена на рис. 5.2 ( $A$  – амплитуда регистрируемого сигнала). Оценка длительности импульса генерации лазера  $\tau_{\text{ИМП}}$  и общей продолжительности последовательности импульсов генерации лазера  $\tau_{\text{ГЕН}}$  проводится по уровню 0.5 от величины максимального значения амплитуды сигнала, т.е. по так называемой "полувысоте" –  $\tau_{\text{ИМП}}^{0.5}$  и  $\tau_{\text{ГЕН}}^{0.5}$ .

Перед выполнением настоящей лабораторной работы также необходимо изучить по литературе [1–4] особенности работы лазера в режиме пассивной и активной модуляции добротности резонатора, ознакомиться с основными типами модуляторов, применяемыми в лазерной технике, и с принципами работы пассивных модуляторов добротности, созданных, например, на основе кристаллов  $\text{LiF}$  с  $F_2^-$  центрами окраски.

## ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Схема экспериментальной установки для выполнения настоящей лабораторной работы представлена на рис. 5.3, где **1** – вспомогательный юстировочный лазер; **2** – "глухое" зеркало резонатора; **3** – пассивный лазерный затвор; **4** – внутрирезонаторная диафрагма; **5** – квантрон исследуемого лазера, содержащий активную среду, элемент накачки (лампу) и отражатель; **6** – выходное зеркало резонатора; **7** – источник питания элемента накачки лазера (блок накачки); **8** – светоделитель; **9** – фотоприёмник; **10** – осциллограф; **11** – измеритель энергии/мощности лазерного излучения.

Диаметр внутрирезонаторной диафрагмы выбирается здесь таким образом, чтобы обеспечить генерацию моды, близкой к  $TEM_{00q}$ .

Исследуемый в настоящей работе твердотельный лазерный излучатель выполнен на основе иттрий–алюминиевого граната, активированного ионами неодима (ИАГ:  $\text{Nd}^{3+}$ ). Поскольку в использованной схеме присутствует элемент – пассивный затвор, способный целенаправленно влиять на параметры развития процесса генерации, то реализуемый здесь режим является *режимом пассивной модуляции добротности*. Пассивный затвор создан на основе кристаллов  $\text{LiF}$  с  $F_2^-$  центрами окраски. Генерация излучения осуществляется на длине волны  $\lambda = 1.064$  мкм.

**ВНИМАНИЕ!** Лазерный излучатель уже съюстирован сотрудником лаборатории и не требует (!) от студента дополнительной настройки.

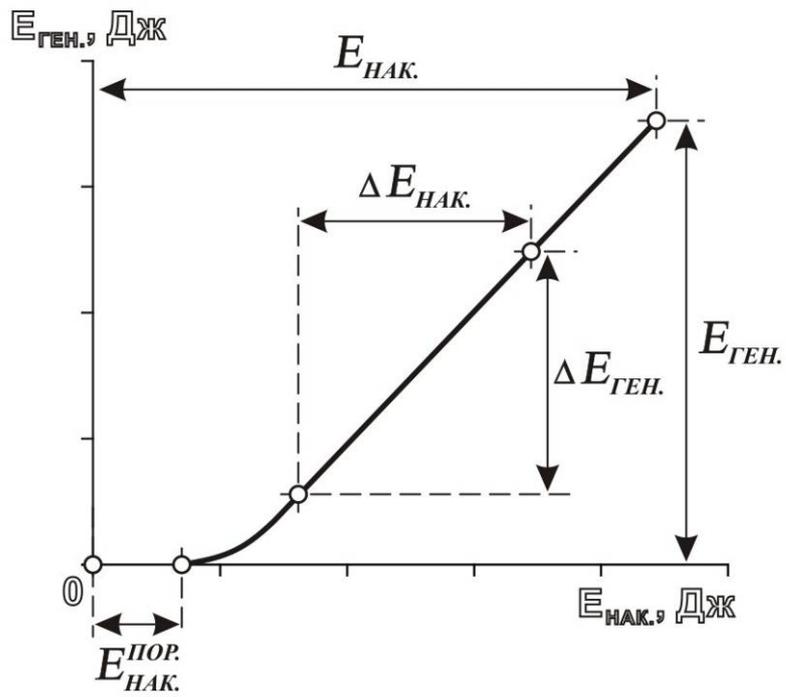


Рис. 5.1.

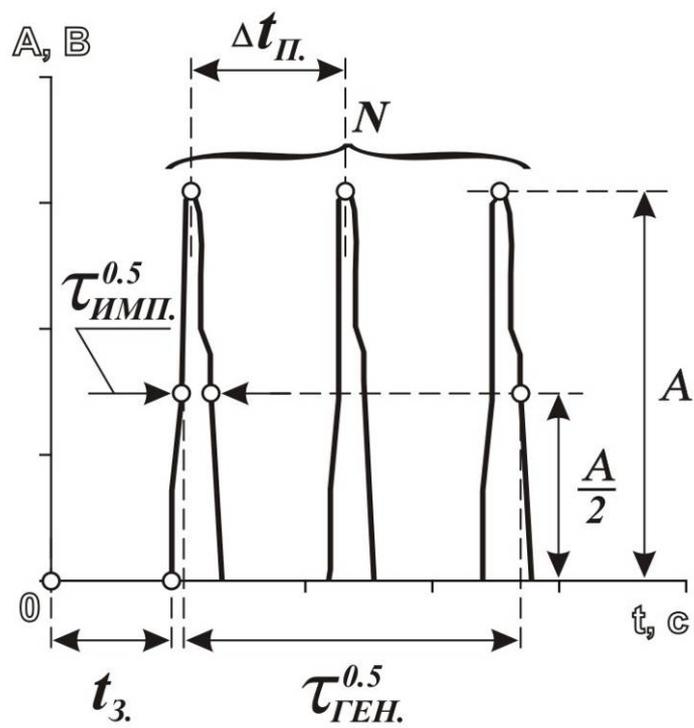


Рис. 5.2.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### Задание I.

Провести измерение основных энергетических и временных характеристик твердотельного лазера в режиме пассивной модуляции добротности

#### Экспериментальная часть

1. Получить разъяснения от преподавателя об особенностях выполнения данного задания.
2. Произвести определение порога накачки лазера. Для этого необходимо, начав работу при минимальном напряжении блока накачки, постепенно повышать его до уровня, когда на экране осциллографа начнёт (!) появляться одиночный пичок импульса генерации. Оценить полученное значение  $U_{НАК.}^{ПОР.}$ .
3. Продолжая далее постепенно увеличивать напряжение на блоке накачки  $U_{НАК.}^*$ , посредством измерителя энергии лазерного излучения осуществить сбор данных об энергии генерации лазера  $E_{ГЕН.}^{**}$ .  
(\* – **ВНИМАНИЕ!** *Использовать не менее пяти различных значений из диапазона энергии накачки, превышающих порог.*  
(\*\* – **ВНИМАНИЕ!** *Для повышения достоверности получаемых результатов при каждом выставленном напряжении накачки требуется зарегистрировать не менее пяти значений энергии генерации лазера.*  
**ВНИМАНИЕ!** *Желательно также, чтобы действия из п. 3 и п. 4 (см. ниже) выполнялись одновременно.*
4. По аналогии с предыдущим пунктом\* при тех же напряжениях накачки  $U_{НАК.}$  посредством фотоприёмника и осциллографа оценить следующие характеристики\*\* генерации лазерного излучения (рис. 5.2), а именно:
  - время задержки начала лазерной генерации по отношению к началу накачки  $t_3$ ;
  - общую продолжительность последовательности импульсов генерации лазера  $\tau_{ГЕН.}^{0.5}$ ;
  - количество пичков в последовательности импульсов генерации лазера  $N$ .(\* – **ВНИМАНИЕ!** *Желательно также, чтобы действия из п. 3 (см. выше) и п. 4 выполнялись одновременно.*  
(\*\* – **ВНИМАНИЕ!** *Для повышения достоверности получаемых результатов при каждом выставленном напряжении накачки требуется зарегистрировать не менее пяти значений измеряемой характеристики.*
5. Свести результаты всех измерений в прилагаемую форму (см. таблицу 5.1).
6. Ознакомить преподавателя с результатами проделанной работы.

### Расчётная часть

7. Оценить численное значение пороговой энергии накачки лазера  $E_{НАК.}^{ПОР.}$ , используя для этого формулу (5.1) и величину  $U_{НАК.}^{ПОР.}$ .
8. По аналогии с предыдущим пунктом рассчитать все значения энергии накачки  $E_{НАК.}$ , исследованные в работе.
9. Усреднить все значения для энергии генерации лазера  $\bar{E}_{ГЕН.}$ , полученные при одинаковой накачке.
10. Усреднить все значения для временных характеристик генерации лазерного излучения  $\bar{t}_3$  и  $\bar{\tau}_{ГЕН.}^{0.5}$ , полученные при одинаковой накачке.
11. Усреднить и округлить все значения количества пиков в последовательности импульсов генерации лазера  $\bar{N}$ , полученные при одинаковой накачке.
12. Свести результаты всех проведённых расчётов в прилагаемую форму (см. таблицу 5.1).
13. По полученным данным, используя усреднённые значения характеристик, провести построение следующих зависимостей:  $E_{ГЕН.}(E_{НАК.})$ ,  $t_3(E_{НАК.})$ ,  $\tau_{ГЕН.}^{0.5}(E_{НАК.})$  и  $N(E_{НАК.})$ .
14. Основываясь на данных энергетической характеристики лазерного излучателя и применяя формулы (5.3) и (5.4), оценить:
  - максимальный абсолютный КПД лазера  $\eta_{абс.}^{макс.}$  (рассчитывается для наибольшего значения энергии накачки лазера);
  - дифференциальный КПД лазера  $\eta_{дифф.}$  (рассчитывается для указанного преподавателем интервала энергии накачки).
15. Описать и проанализировать полученные результаты. Сделать выводы.

### **Задание II.**

Провести дополнительную оценку характеристик твердотельного лазера в режиме пассивной модуляции добротности

### Экспериментальная часть

1. Получить разъяснения от преподавателя об особенностях выполнения данного задания.
  2. Посредством фотоприёмника и осциллографа при различных напряжениях накачки  $U_{НАК.}^*$  произвести оценку следующих временных характеристик\*\* генерации лазерного излучения (рис. 5.2), а именно:
    - длительность первого пика в последовательности импульсов генерации лазера  $\tau_{ИМП.}^{0.5}$ ;
    - временной промежуток между первым и вторым пиками последовательности импульсов генерации лазера  $\Delta t_{П.}$ .
- (\* – **ВНИМАНИЕ!** *Использовать не менее пяти различных значений из диапазона энергии накачки лазера, превышающих порог.*

**(\*\*) – ВНИМАНИЕ!** Для повышения достоверности получаемых результатов при каждом выставленном напряжении накачки требуется зарегистрировать не менее пяти значений измеряемой временной характеристики.

3. Для режима генерации одиночного (!) пичка посредством измерителя энергии лазерного излучения осуществить сбор данных для энергии импульса генерации лазера  $E_{имп.}$ .

**ВНИМАНИЕ!** Для повышения достоверности получаемых результатов при выставленном здесь напряжении накачки требуется зарегистрировать не менее пяти значений измеряемой характеристики.

4. Посредством фотоприёмника и осциллографа, изменяя напряжение накачки  $U_{НАК.}$ , определить её пороговые значения, соответствующие появлению первого и второго пиков в последовательности импульсов генерации лазера, а именно:  $U_{НАК.(1)}^{ПОР.}$  и  $U_{НАК.(2)}^{ПОР.}$ .
5. Свести результаты всех измерений в прилагаемую форму (см. таблицу 5.2).
6. Ознакомить преподавателя с результатами проделанной работы.

#### Расчётная часть

7. Используя данные по напряжению накачки  $U_{НАК.}$  и формулу (5.1), рассчитать все значения энергии накачки лазера  $E_{НАК.}$ , исследованные в работе.
8. Усреднить все значения для временных характеристик генерации лазерного излучения  $\bar{\tau}_{имп.}^{-0.5}$  и  $\bar{\Delta t}_{п.}$ , полученные при одинаковой накачке.
9. Усреднить все значения энергии импульса генерации лазера  $\bar{E}_{имп.}$  (режим генерации одиночного пичка).
10. Свести все результаты проведённых расчётов в прилагаемую форму (см. таблицу 5.2).
11. По полученным данным, используя усреднённые значения характеристик, провести построение следующих зависимостей:  $\tau_{имп.}^{0.5}(E_{НАК.})$  и  $\Delta t_{п.}(E_{НАК.})$ .
12. Для режима генерации одиночного пичка, используя усреднённые результаты измерений и формулу (5.2), рассчитать мощность импульса генерации лазера  $P_{имп.}$ .
13. По данным измерений, применив формулы (5.1) и (5.5), оценить коэффициент моноимпульсности  $\mu$ .
14. Описать и проанализировать полученные результаты. Сделать выводы.

#### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

1. Номер, название и цели работы.
2. Схема экспериментальной установки с перечислением её элементов.
3. Формулы, использованные при расчётах.
4. Протокол исследования (или его копию), подписанный преподавателем.

5. Результаты измерений и расчётов, сведённые в форму из таблицы 5.1 (только для **Задания I**) и из таблицы 5.2 (только для **Задания II**).
  6. Построенные по полученным данным зависимости  $E_{ГЕН.}(E_{НАК.})$ ,  $t_3(E_{НАК.})$ ,  $\tau_{ГЕН.}^{0.5}(E_{НАК.})$  и  $N(E_{НАК.})$  (только для **Задания I**).
  7. Построенные по полученным данным зависимости  $\tau_{ИМП.}^{0.5}(E_{НАК.})$  и  $\Delta t_{П.}(E_{НАК.})$  (только для **Задания II**).
  8. Оценка максимального абсолютного  $\eta_{абс.}^{макс.}$  и дифференциального  $\eta_{дифф.}$  КПД лазера (только для **Задания I**).
  9. Оценка мощности импульса генерации лазера  $P_{ИМП.}$  и коэффициента моноимпульсности  $\mu$  (только для **Задания II**).
  10. Описание и анализ полученных результатов. Выводы.
- ВНИМАНИЕ!** При представлении результатов считать, что погрешность измерений составляет  $\pm 10\%$ .

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

### *а) Основные.*

1. Какой лазерный излучатель был исследован в настоящей работе? /название, тип активной среды, длина волны генерации, режим работы/
2. Дать определение добротности колебательной системы.
3. Описать сущность режима модуляции добротности резонатора лазера.
4. Назвать основные энергетические и временные характеристики лазера в режиме модуляции добротности.
5. Что представляет собой энергетическая характеристика лазерного излучателя? Как её получить на практике?
6. Как рассчитать энергию накачки лазера?
7. Дать определение диапазона моноимпульсной лазерной генерации. Чем он характеризуется.
8. По какому критерию на практике производят оценку длительности пика генерации лазера?
9. В чём принципиальная разница между режимами пассивной и активной модуляции добротности?
10. Указать преимущества и недостатки режимов пассивной и активной модуляции добротности.
11. Изложить последовательность действий при выполнении данной лабораторной работы.

### *б) Дополнительные.*

12. Описать ожидаемые изменения энергетических и временных характеристик генерации лазера в режиме модуляции добротности, вызванные варьированием условий накачки. Ответ пояснить.

13. Сформулировать требования, предъявляемые к аппаратуре, регистрирующей форму пичка генерации световых импульсов малой длительности.
14. В каком случае для режима пассивной модуляции добротности значения временных характеристик  $\tau_{\text{ИМП.}}$  и  $\tau_{\text{ГЕН.}}$  будут одинаковыми?
15. Что понимается под явлением "насыщение поглощения"?
16. Назвать типы пассивных лазерных затворов.
17. Объяснить принцип действия пассивного затвора.
18. Что представляют собой центры окраски в кристаллах и как они образуются?
19. Описать принципы действия оптико–механического, электрооптического и акустооптического затворов.
20. Назвать возможные области применения режима модулированной добротности твердотельных лазеров.

### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Физматлит, 2006, 848 с.
2. Дудкин В.И., Пахомов Л.Н. Квантовая электроника. Приборы и их применение – М.: Техносфера, 2006, 432 с.
3. Янг М. Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы. – М.: Мир, 2005, 544 с.
4. Альтшулер Г.Б., Антонеvич Г.Н., Белашенков Н.Р. и др. Методические указания к лабораторному практикуму по дисциплине "Квантовая электроника". – Л.: ЛИТМО, 1991, 58 с.

Таблица 5.1. Образец формы представления результатов для **Задания I**.

№	ВЕЛИЧИНЫ									
	измеряемые					рассчитываемые				
	$U_{\text{НАК.}}$ , кВ	$E_{\text{ГЕН.}}$ , Дж	$t_3$ , мкс	$\tau_{\text{ГЕН.}}^{0.5}$ , мкс	$N$	$E_{\text{НАК.}}$ , Дж	$\bar{E}_{\text{ГЕН.}}$ , Дж	$\bar{t}_3$ , мкс	$\bar{\tau}_{\text{ГЕН.}}^{0.5}$ , мкс	$\bar{N}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Таблица 5.2. Образец формы представления результатов для **Задания II**.

№	ВЕЛИЧИНЫ					
	измеряемые			рассчитываемые		
	$U_{\text{НАК.}}$ , кВ	$\tau_{\text{ИМП.}}^{0.5}$ , нс	$\Delta t_{\text{П.}}$ , мкс	$E_{\text{НАК.}}$ , Дж	$\bar{\tau}_{\text{ИМП.}}^{0.5}$ , нс	$\Delta \bar{t}_{\text{П.}}$ , мкс
...	...	...	...	...	...	...

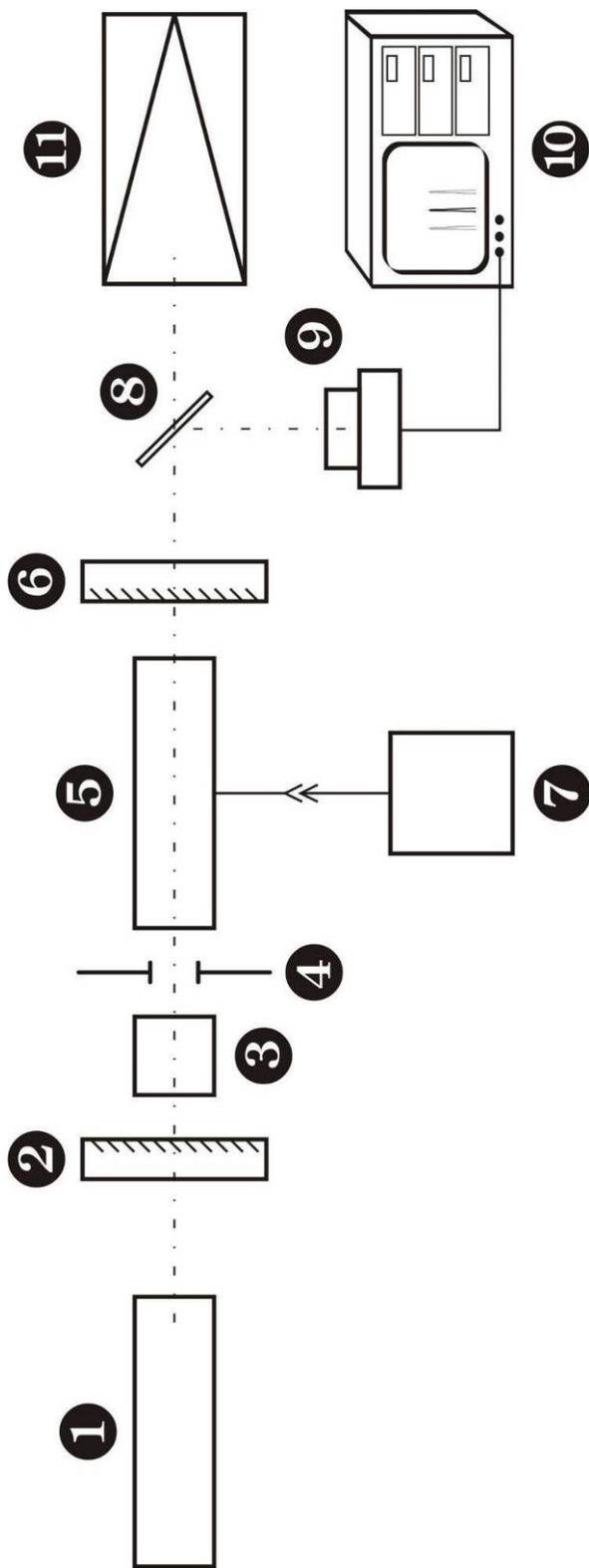


Рис. 5.3.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Образец титульного листа отчёта по лабораторной работе

САНКТ–ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,  
МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

КАФЕДРА ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ И БИОМЕДИЦИНСКОЙ ОПТИКИ

Лабораторная работа № \_\_\_\_

---

---

---

Дисциплина "Лазерная техника"

Выполнил: \_\_\_\_\_

Группа № \_\_\_\_\_

Проверил: \_\_\_\_\_

Санкт–Петербург

20\_\_



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого были определены 12 ведущих университетов России, удостоенных присвоения категории "Национальный исследовательский университет". Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена Программа развития государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики" на 2009–2018 гг.

---

## **КАФЕДРА ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ И БИМЕДИЦИНСКОЙ ОПТИКИ**

Кафедра лазерной техники и биомедицинской оптики (первоначально – кафедра квантовой радиоэлектроники, затем в 1972 г. – кафедра квантовой электроники и в 1993 г. – кафедра квантовой электроники и биомедицинской оптики) организована в 1963 году, всего через три года после создания первого лазера. Кафедра первой в России начала подготовку и выпуск специалистов по новому направлению в науке и технике – квантовой электронике, лазерной физике и технике.

Организовал и долгие годы (до 1987 года) возглавлял кафедру заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор Крылов К.И. С 1987 г. по 1997 г. кафедрой руководил её выпускник д.т.н., профессор Альтшулер Г.Б., а с 1997 г. заведующим кафедрой становится д.т.н., профессор Храмов В.Ю.

Первыми сотрудниками кафедры были: Прокопенко В.Т. (ныне д.т.н., профессор, заведующий кафедрой твёрдотельной оптоэлектроники), к.ф-м.н., доцент Тер-Погосян А.С., ассистент Шарлай С.Ф., с.н.с. Шабанов В.И., к.т.н., доцент Фунтов Н.М. и ассистент Митрофанов А.С. (ныне к.т.н., профессор).

С самого начала создания кафедры серьёзное внимание было уделено фундаментальной подготовке в области математики и физики, физическому эксперименту, учебно-исследовательской работе студентов. В кратчайшие сроки была создана проблемная научно-исследовательская лаборатория, а затем и отраслевая лаборатория, что значительно расширило круг проводимых научных исследований и обеспечило их высокий научный уровень.

Основными научными направлениями кафедры стали: оптика лазеров, силовая и нелинейная оптика, радиооптика, неразрушающий контроль материалов и изделий, биомедицинская оптика.

Интенсивные исследования последних лет по применению лазеров в медицине дали кафедре новое название: "Кафедра лазерной техники и биомедицинской оптики" (сокращённо – ЛТБМО).

За время существования кафедры подготовлено около полутора тысяч специалистов, свыше пятидесяти выпускников и сотрудников кафедры защитили докторские диссертации, а более двадцати имеют учёное звание профессора.

Наиболее известные выпускники: Альтшулер Г.Б. – д.т.н., профессор СПбГУ ИТМО; Карасёв В.Б. – к.т.н., профессор, проректор СПбГУ ИТМО; Храмов В.Ю. – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой лазерной техники и биомедицинской оптики; Прокопенко В.Т. – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой твёрдотельной оптоэлектроники; Балашин Ю.А. – д.т.н., профессор СПбГУ ИТМО; Яськов А.Д. – д.т.н., профессор СПбГУ ИТМО; Шляхтенко Н.В. – заместитель директора ФГУП "НИИКИ ОЭП" (г. Сосновый Бор); Ушаков С.А. – главный технолог ЛЗОС (г. Лыткарино); Никоноров Н.В. – д.ф–м.н., профессор; Горелик С.Л. – д.т.н., профессор, начальник отделения НИИ телевидения; Алиев А.С. – д.т.н., профессор Государственного Дагестанского университета; Романов В.Г. – начальник НИЧ СПбГУ ИТМО; Козлов С.А. – д.ф–м.н., профессор СПбГУ ИТМО, декан факультета фотоники и оптоинформатики; Колесников Ю.Л. – д.ф–м.н., профессор, проректор СПбГУ ИТМО, Стафеев С.К. – д.т.н., профессор, декан естественнонаучного факультета СПбГУ ИТМО, заведующий кафедрой физики; Митрофанов А.С. – к.т.н., профессор СПбГУ ИТМО; Дубнищев Ю.Н. – д.т.н., заведующий кафедрой НГТУ, заведующий лабораторией оптических методов исследования потоков института теплофизики СО РАН; Студеникин Л.М. – заместитель проректора СПбГУ ИТМО по научной работе, Шилов В.Б. – д.т.н., начальник отдела НПК "ГОИ им. С.И. Вавилова", Тарлыков В.А. – д.т.н., профессор СПбГУ ИТМО и другие.

С 1994 г. при кафедре создан и функционирует учебно–научно–производственный "Лазерный центр" ИТМО. Проводятся совместные исследования и выполняются различные проекты с организациями таких стран, как США, Франция, Австрия, Австралия, Болгария, Германия, Китай, Корея.

На базе Научно–исследовательского института лазерной физики (НИИ ЛФ) создан филиал кафедры. Заведующий филиалом кафедры лазерной техники и биомедицинской оптики – д.ф–м.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, научный руководитель "НИИ Лазерной физики" Мак А.А. К научной работе и учебному процессу привлекаются ведущие специалисты института: Розанов Н.Н. – д.ф–м.н., профессор; Сомс Л.Н. – к.ф–м.н., доцент; Яшин В.Е. – д.ф–м.н., профессор, заведующий

лабораторией ФГУП НПК "ГОИ им. С.И. Вавилова"; Купренюк В.И. – к.ф–м.н., доцент и другие.

Совместно кафедра ЛТБМО СПбГУ ИТМО и филиал кафедры создали научно–педагогическую школу "Оптика лазеров".

Занятия по основам биомедицинской оптики на кафедре ЛТБМО проводят ведущие специалисты Санкт–Петербургского Государственного медицинского университета им. академика Павлова И.П.: Михайлова И.А. – д.б.н., профессор; Томсон В.И. – д.м.н., профессор; Александрова Л.А. – к.б.н., доцент. В проведении занятий участвуют также ведущие специалисты кафедры ЛТБМО: Беликов А.В. – к.ф–м.н., доцент; Скрипник А.В. – к.ф–м.н., доцент; Пушкарёва А.Е. – к.т.н., доцент.

Кафедра активно участвует в выполнении инновационной образовательной программы Университета "Инновационная система подготовки специалистов нового поколения в области информационных и оптических технологий" по научно–образовательному направлению "Лазерные технологии и системы". В рамках данного направления разработана инновационная магистерская программа "Лазерные биомедицинские технологии", на которую в 2008 г. осуществлён первый набор магистрантов.

Кафедра готовит выпускников по специальности 200201 – "Лазерная техника и лазерные технологии", а также осуществляет подготовку бакалавров и магистров по направлениям: 140400 – "Техническая физика", 200200 – "Опготехника", кандидатов и докторов наук по специальностям: 05.11.07 – "Оптические и оптико–электронные приборы", 05.11.27 – "Квантовая электроника" и 01.04.05 – "Оптика".



**Методические указания к выполнению лабораторных работ  
по дисциплине "Лазерная техника"**

Учебно–методическое пособие

В авторской редакции

Дизайн

А.В. Скрипник

Вёрстка

А.В. Скрипник

Редакционно–издательский отдел Санкт–Петербургского государственного  
университета информационных технологий, механики и оптики

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе