**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

**«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**

**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  | ДОПУСКАЕТСЯ К ЗАЩИТЕ: | | | | | | | | | | | | | | |
| Факультет | И | |  | Заведующий кафедрой | | | | | |  | | | | И1 | | | | | | |
|  | индекс факультета | |  |  | | | | |  | | | | | | индекс кафедры | | |
| Выпускающая кафедра | И1 | |  | | Борейшо А.С. | | |  | | | |  | | | | | | | |
|  | индекс кафедры | |  | | Фамилия ИО | |  | | | | подпись | | | | | | | | | | |
| Группа | И1М31 | |  | «14» | | марта | | | | | | | | | | 2019 г. | | |
|  | индекс группы | |  |  | |  | | | | | | |  | | | |

**отчет**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **о прохождении** | | | учебной | | | | | | | | | | | | | | **практики** | | | | | | | |
| наименование практики | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Бойцовой Анастасии Игоревны | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Фамилия, имя, отчество обучающегося | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **обучающегося по**  **направлению/специальности** | | | | | | 12.04.05 | | |  | | Лазерная техника и лазерные | | | | | | | | | |
| нужное подчеркнуть | | | | | | код | | | |  | | полное наименование направления/специальности | | | | | |
| технологии | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Руководитель практики:** | | | | | Погода А.П., к.ф.-м.н., преподаватель | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | Фамилия ИО, ученая степень, ученое звание, должность | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Срок прохождения практики:** | | | | с | | 04.02.19 | | | | | | г. |  | по | 14.03.19 | | | г. | | | |
| **Должность обучающегося на практике:** | | | | | | | **магистрант** | | | | | | | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Руководитель практики:** | | | |  | | |  |  | | | | |  | | | | | |
|  | | |  | Погода А.П. | | |  | |  | | |  | |  | | | | |
| Подпись | | |  | Фамилия ИО | | |  | |  | | | |  | |  | | |
| «14» |  | \_\_\_\_\_\_\_\_марта\_\_\_\_\_\_\_\_ | | |  | 2019 г. |  |  | |  |  | | | | |  |  | | |

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2019 г.

Содержание

[Введение 3](#_Toc4246744)

[Разработка собственного научно-технического продукта для образовательного процесса кафедры 4](#_Toc4246745)

[Исследование спектрального состава лазера 4](#_Toc4246746)

[1 Теоретическая часть 4](#_Toc4246747)

[2 Практическая часть 12](#_Toc4246748)

[3 Вопросы для самоподготовки 21](#_Toc4246749)

[Заключение 22](#_Toc4246750)

[Список использованной литературы 23](#_Toc4246751)

# Введение

Учебная практика обеспечивает получение первичных профессиональных умений и навыков в образовательной и научно-технической сфере деятельности. В рамках учебной практики магистранты принимают участие в пополнении и расширении учебно-методической базы кафедры, обеспечении учебного процесса.

Задачами учебной практики являются:

* Ознакомление со структурой образовательных и производственных организаций. Поиск своего места в структуре организации, осознанная стратегия карьерного продвижения в организации.
* Ознакомление с деятельностью выпускающей кафедры, перечнем продуктов образовательной деятельности. Участие в реализации образовательного процесса.
* Формирование индивидуальной стратегии профессионального роста в рамках учебного заведения и после окончания, осознанный выбор стратегии развития на основе требований предъявляемых рынком труда на сегодняшний день.
* Пополнение учебно-методической базы кафедры. Участие в разработке описаний лабораторных работ, подборе практических заданий для семинаров, поиск эффективных инструментов образовательной деятельности, разработка оригинальных способов контроля знаний и навыков обучающихся.

# Разработка собственного научно-технического продукта для образовательного процесса кафедры

В рамках учебной практики была выбрана разработка лабораторной работы по курсу «Основы лазерной техники».

## Исследование спектрального состава лазера

Цель работы – знакомство с принципом работы лазера, изучаемого в работе, измерение спектральных параметров его излучения при помощи интерферометра Фабри-Перо с регистрацией на матричном фотоприемнике.

Задачи лабораторной работы:

1. Изучить теоретическую часть работы (принцип работы лазера, устройство и характеристики интерферометра Фабри - Перо).
2. Провести настройку и юстировку установки в соответствии со схемой.
3. Зарегистрировать интерференционную картину.
4. Определить длину волны лазерного излучения.

### 1 Теоретическая часть

1.1 Принцип работы лазера.

Когда среда поглощает энергию, то ее часть запасается (поглощается) в виде энергии возбужденных атомов или молекул (рисунок 1, а). Молекула, атом или ион из возбужденного состояния может перейти на более низкий энергетический уровень (рисунок 1, б) самопроизвольно (спонтанно) или под действием внешнего электромагнитного излучения (рисунок 1, в) с частотой ν (вынужденно).

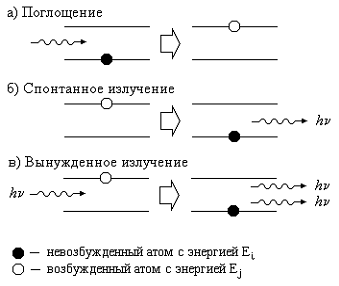


Рисунок 1 - Энергетические процессы в активной среде лазера

Эти переходы могут сопровождаться излучением, называемым соответственно *спонтанным* или *вынужденным*, причем частота излучения определяется соотношением:

*hν* = *Ej – Ei*, (1)

где *Ej* и *Ei* – энергетические уровни, между которыми осуществляется переход, сопровождающийся излучением кванта энергии, дополнительного к кванту внешнего электромагнитного излучения, его вызвавшему.

Если кванты спонтанного излучения испускаются в случайных направлениях, то квант вынужденного излучения испускается в том же направлении, что и квант внешнего электромагнитного поля. Причем частота, фаза и поляризация вынужденного и внешнего излучений совпадают, то есть оба кванта полностью тождественны (рисунок 1, в).

Под действием электромагнитного излучения могут происходить переходы не только с более высокого энергетического уровня на более низкий, но и в обратном направлении, что соответствует процессу поглощения.

Для того чтобы преобладали переходы, при которых происходит излучение энергии, необходимо создать инверсную населенность возбужденного уровня Ej, то есть создать повышенную концентрацию атомов или молекул на этом уровне.

При термодинамическом равновесии распределение молекул по энергетическим состояниям определяется законом Больцмана:

, (2)

где *N* – число молекул, находящихся при температуре *Т* в состоянии с энергией *E*;

*N*0 – число молекул в основном состоянии при той же температуре.

Если каким-либо способом создать населенность верхнего уровня больше, чем нижнего, то говорят, что данное вещество будет иметь инверсную населенность, то есть обратную той, которая следует из распределения Больцмана. При облучении вещества в этом случае будут преобладать переходы с верхнего уровня на нижний.

Среда с инверсной населённостью уровней называется активной. Она термодинамически неравновесна и стремится перейти в равновесное состояние путем излучения избытка энергии. При пропускании света с частотой ν = Δ*Е*/*h* через такую активную среду в ней будет происходить как индуцированное излучение, если энергия фотонов *h*ν совпадает с разностью энергий Δ*Е* двух инверсно населённых уровней (рисунок 1, б), так и поглощение энергии света (рисунок 1, а). Но так как *N*(*Еj*) > *N*(*Еi*), то число индуцированных переходов с испусканием фотонов становится больше поглощательных переходов, и энергия световой волны возрастает по сравнению с энергией исходной волны – происходит усиление света. На этом основан принцип действия лазеров. Процесс создания инверсной населенности уровней называется накачкой. Методы накачки разнообразны и зависят от типа лазера: твердотельного, жидкостного, газового, полупроводникового и т.п. Основная задача процесса накачки может быть рассмотрена на примере трехуровневого лазера (рисунок 2).

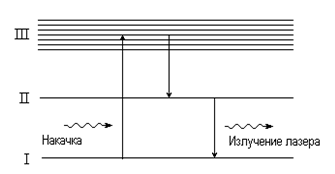


Рисунок 2 - Схема энергетических уровней трехуровневого лазера

Для создания инверсной населенности на уровне II по отношению к уровню I молекулы (атома или иона) электроны внешним излучением сначала переводятся с энергетического уровня I на уровень III. Уровень III должен быть таким, чтобы время жизни электронов на нем, то есть время возможного пребывания их в этом состоянии, было очень малым (например, 10-8 с). Если время жизни электронов на уровне II будет значительно больше, например, 10-3 с, то электроны, спонтанно без излучения переходя с уровня III, будут накапливаться на уровне II (который называется метастабильным) и при достаточно мощной накачке их число значительно превысит число электронов на уровне I. Созданная таким образом инверсная населенность обеспечит условия для усиления излучения. Однако генерация оптических колебаний может возникнуть только в том случае, если вынужденное излучение, раз возникнув, будет вызывать новые акты вынужденного излучения. Для создания такого процесса активную среду помещают в резонатор.

Резонатор представляет собой систему двух зеркал, между которыми располагается активная среда (рисунок 3). Зеркала могут быть плоскими, выпуклыми или вогнутыми. Важнейшее их свойство – высокие значения коэффициента отражения. Используются зеркала с многослойным диэлектрическим покрытием, обладающие сильным отражением и почти не поглощающие света. Коэффициент отражения одного зеркала составляет обычно около 0,5 (то есть 50%), другого не менее 0,98 (то есть почти 100%). Оптические поверхности зеркал обрабатываются с точностью до сотых долей рабочей длины волны света и устанавливаются строго параллельно друг другу.

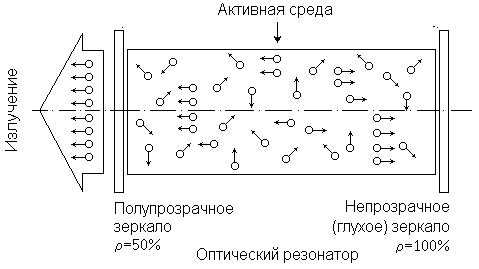


Рисунок 3 - Устройство резонатора

Между зеркалами располагается активная среда, состоящая из огромного числа одинаковых молекул. С уровня II на уровень I могут происходить и спонтанные и вынужденные переходы. При спонтанном переходе одного из электронов испускается фотон, который вызывает вынужденные переходы электронов других молекул, тоже сопровождающиеся излучением фотонов. Эти фотоны вызывают вынужденный переход следующих встретившихся на их пути молекулах. Развивается лавинообразный процесс, причем каждый следующий фотон летит в том же направлении, что и фотон, его вызвавший. Теперь уже эти фотоны вызывают вынужденный переход встретившихся на их пути молекулах.

Система зеркал (резонатор) позволяет выбрать преимущественное направление движения фотонов — вдоль оси, или точнее, под очень малыми углами к ней. Эти фотоны отражаются от зеркал и опять возвращаются в активную среду, стимулируя другие атомы метастабильного уровня к вынужденному переходу в основное состояние. Следовательно, количество фотонов в этом направлении увеличивается. Фотоны, летящие в других направлениях, покидают активную среду без образования каскадов фотонов. Таким образом, резонатор обеспечивает многократное происхождение световых волн, распространяющихся вдоль его оси по усиливающей среде, вследствие чего достигается высокая мощность излучения.

Для возникновения генерации лазерного излучения необходимо, чтобы на длине резонатора укладывалось целое число *n* полуволн, то есть

 , (n = 1, 2, 3, …).

При достижении определённой мощности (она должна превышать потери при отражении от зеркал) излучение выходит через полупрозрачное зеркало). Из-за участия в развитии генерации только той части квантов, которые параллельны оси резонатора, коэффициент полезного действия (к.п.д.) лазеров обычно не превышает 1%. В некоторых случаях к.п.д. можно довести до 30%.

1.2. Устройство He–Ne лазера.

*He–Ne* лазеры (рисунок 4) относятся к классу газовых непрерывных лазеров. Они имеют невысокую мощность излучения (не более 100 мВт), отличаются простотой в эксплуатации, относительно дешевы, излучают в видимой области спектра и обладают достаточно высокой стабильностью излучения. Все это вместе взятое сделало *He*–*Ne* лазеры очень доступными и популярными.

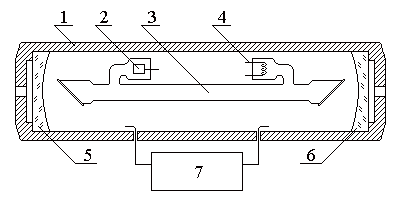


Рисунок 4 - Схема гелий-неонового лазера: 1 – корпус, 2 – пустотелый цилиндрический анод, 3 – газоразрядная трубка, 4 – накаливаемый катод, 5 и 6 – сферические зеркала с многослойным диэлектрическим покрытием (резонатор), 7 – источник питания

Устройством накачки является газоразрядная трубка 3, заполненная смесью инертных газов *He* и *Ne* с парциальными давлениями соответственно 133 и 13 Па (1 и 0,1 мм рт. ст.). Трубка помещена между зеркалами 5 и 6, образующими оптический резонатор. В загнутых концах трубки расположены анод и катод, между которыми прикладывается высокое напряжение порядка 1–2,5 кВ. Под действием электрического поля в газе, заполняющем трубку, возникает самостоятельный разряд, сила тока которого составляет несколько десятков миллиампер.

Электроны, образующие ток в газоразрядной плазме, сталкиваются с атомами гелия *He* и неона *Ne* и передают им энергию. Эти атомы, получив энергию, переходят с основного уровня *E′*0 или *E*0 на метастабильные, т.е. долгоживущие уровни с большей энергией (рисунок 5). Энергетические уровни *E*2 и *E*3 атома неона практически совпадают с уровнями *E′*2 и *E′*3 атома гелия; поэтому энергия возбуждения большей части атомов гелия передается при столкновениях тем атомам неона, которые ещё не возбуждены. В результате в газовой смеси резко возрастает концентрация атомов неона на уровнях *E*2 и *E*3 по сравнению с уровнем *E*1, т.е. в неоне создаётся инверсная населённость. Такое двухступенчатое возбуждение атомов неона необходимо ввиду того, что вероятность непосредственного возбуждения ударами электронов у атомов гелия гораздо выше, чем у атомов неона.

Создание инверсной населённости энергетических уровней приводит к возможности генерации вынужденного излучения. При вынужденном переходе *Е*3 → *Е*1 возникают фотоны с энергией *h*ν1, отвечающие видимому свету с длиной волны λ1 = *c*/ν1 = 632,8 нм (красный цвет), а при переходе *Е*2 → *Е*1 – фотоны с энергией *h*ν2, отвечающие инфракрасному излучению с длиной волны λ2 = *c*/ν2 = 1153 нм (*с* – скорость света).

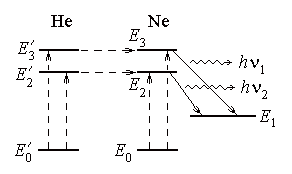


Рисунок 5 - Схема энергетических уровней гелий-неонового лазера. Вертикальные пунктирные стрелки соответствуют процессам возбуждения атомов при столкновении с ними электронов плазмы, горизонтальные – передаче возбуждения от атомов Не к атомам Nе, сплошные стрелки – процессам вынужденных переходов, волнистые стрелки – испусканию фотонов.

Как видно из рисунка 4, концы газоразрядной трубки 3 закрыты плоскопараллельными (кварцевыми) пластинками, установленными под определённым углом к продольной оси лазера. Этот угол выбран так, чтобы угол падения на пластинки света, распространяющегося вдоль оси лазера, был равен углу Брюстера. В этом случае свет, отражённый от пластинок, будет полностью поляризован перпендикулярно плоскости падения. Поэтому свет, прошедший через пластинки, будет поляризован преимущественно в плоскости падения. Многократное отражение света от зеркал 5 и 6 в ходе работы лазера приведёт к практически полной поляризации осевого излучения. Подобная конструкция лазера позволяет получать пучок не только когерентного, но и плоскополяризованного света, что расширяет возможности использования лазеров при поляризационных исследованиях.

Если излучение, идущее вдоль оси гелий−неонового лазера, разложить в спектр, то в видимой части спектра будет присутствовать только одна красная линия, отвечающая указанной выше длине волны λ1 = 632,8 нм. Излучение, направленное в стороны от оси газоразрядной трубки состоит, в основном, из спонтанного излучения (рисунок 1, б) и небольшой доли вынужденного с различными длинами волн, которое не удовлетворяет условиям резонанса в оптическом резонаторе лазера. Спектр спонтанного излучения содержит набор линий разного цвета, характерных для спектров испускания атомов гелия и неона. В данной лабораторной работе исследуется излучение красного цвета гелий−неонового лазера, длину волны которого требуется определить.

### 2 Практическая часть

2.1 Определение длины волны лазерного излучения.

Измерение параметров лазерного излучения необходимо как при разработке самих лазеров, так и при использовании их в различных приложениях. Это сложная задачу, которую далеко не всегда удается успешно решить, причем сложность обусловлена экстремальными характеристиками лазеров – высокой монохроматичностью и когерентностью излучения, большой мощностью или чрезвычайно малой длительностью импульса излучения.

Для исследования спектров газовых лазеров требуются спектральные приборы с высокой разрешающей силой. Для этих целей не пригодны спектрографы с дифракционной решеткой, разрешающая сила которых *R*λ не превышает 106, и тем более призменные спектрографы, у которых *R*λ ≤105. Для исследования спектра излучения *He-Ne* лазера в данной работе используется интерферометр Фабри – Перо.

Интерферометр Фабри-Перо – прибор высокого спектрального разрешения. Его важным отличием от обычных дифракционных спектрографов является отсутствие элементов, разлагающих свет в спектр, и отсутствие щели. Интерферометр широко применяется для исследования источников самой различной яркости с эмиссионным или абсорбционным спектром. Особенно эффективно использование интерферометра для одновременного получения спектров и измерения доплеровских скоростей большого количества областей протяженного источника (солнечная корона, газовая эмиссионная туманность, галактика). Для получения спектра с высокой разрешающей силой в дифракционных спектрографах требуется использование как можно более узкой щели, минимальная ширина которой (нормальная ширина щели) соответствует дифракционному пределу как коллиматора, так и объектива телескопа. Однако на практике при наблюдении объектов щель приходится расширять, поскольку размер отдельных элементов изображения источников существенно превышает дифракционный, и элемент изображения в фокальной плоскости телескопа превышает нормальную ширину щели. Расширение щели снижает  спектральное разрешение спектрографа, так что оно оказывается значительно ниже предельно возможного. В отличие от классического спектрографа, интерферометр Фабри-Перо не требует узкой щели, что позволяет более полно использовать световой поток от исследуемых источников. Этот прибор не разлагает свет на спектр; он только пропускает (или не пропускает) свет определённых длин волн, значения которых зависят от угла падения света на его пластины. Эталон работает на принципе многолучевой интерференции, которая происходит в воздушном промежутке между двумя зеркальными полупрозрачными пластинками.

Устройство интерферометра предельно просто. Воздушный промежуток толщиной *h* (рисунок 6) ограничен стеклянными пластинами, несущими зеркала *S*1 и *S*2. На зеркала нанесены диэлектрические покрытия, так что часть света отражается от них, а часть проходит без отражения. Эталон обычно ставится за фокальной плоскостью объектива, в выходном зрачке линзы, преобразующей расходящийся пучок от бесконечно удаленного точечного источника, в параллельный. Поэтому от каждой точки наблюдаемого протяженного источника на эталон падает параллельный пучок лучей, интерферирующих между собой в результате отражения от зеркальных поверхностей. Большое число интерферирующих лучей с медленно спадающей интенсивностью получается за счёт высокого коэффициента отражения зеркальных слоев.

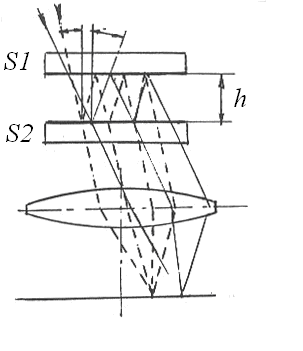


Рисунок 6 - Ход лучей в интерферометре Фабри – Перо

За интерферометром Фабри Перо располагается линза, которая строит изображение источника на поверхности детектора. В роли последнего обычно используется ПЗС матрица. Если на пластину эталона падает монохроматический свет под всевозможными углами к ее плоскости (случай протяженного источника света), то на выходе создаются кольца равного наклона, каждое из которых соответствует своему порядку интерференции. Каждой длине волны соответствует своя система интерференционных колец.

Обозначим фазу световых колебаний через Ф. При интерференции разность фаз каждой пары интерферирующих лучей ΔФ = 2πδ/λ, где δ – разность хода между соседними лучами, равная 2*h*cosφ. Для воздушного промежутка считается, что показатель преломления *n* вне пластин и между ними  равен единице.  В общем случае можно заменить *h* на *nh*.

Из условия δ = *m*λ, где *m* – целое число (порядок интерференции), получаем основное уравнение интерферометра (условие максимумов):

2*h*cosφ=*m*λ (3)

В проходящем или отраженном монохроматическом свете, падающим под различными углами к плоскости пластин, интерферометр создает систему тонких колец равного наклона, локализованных в бесконечности, которые можно наблюдать, построив их изображение на экране с помощью линзы. Важнейшими характеристиками интерферометра и создаваемой им интерференционной картины являются:

* расстояние между пластинами;
* коэффициент отражения зеркал;
* угловая дисперсия;
* спектральное разрешение на данной длине волны;
* величина спектрального интервала, свободного от перекрытия порядков (область свободной дисперсии);
* размер центрального пятна.

2.2. Методика измерений.

Исходя из выражения для угловой дисперсии интерферометра (формула 4) можно получить соотношения для определения длины волны излучения лазера λ.

, (4)

Интерференционные максимумы в фокальной плоскости объектива, установленного за интерферометром, имеют вид резких концентрических колец (рисунок 6). Если угол φ не слишком велик, выражение (4) можно представить в виде:

 , (5)

где  , *f* – фокусное расстояние объектива;

*Dm*,λ – диаметр светлого кольца порядка *m* для длины волны λ.

Из этого следует формула для определения длины волны излучения лазера:

(6)



где *h* – база интерферометра.

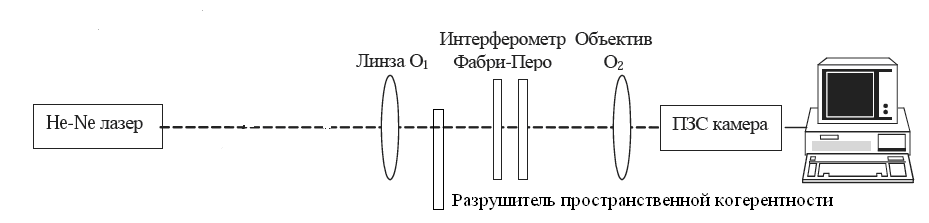


Рисунок 7 - Схема экспериментальной установки

При выполнении данной лабораторной работы изучается спектральный состав излучения лазера с помощью интерферометра Фабри-Перо ИТР–30 с базой 30 мм. Свет от исследуемого лазера расширяется микрообъективом и, пройдя диффузор, попадает в интерферометр Фабри – Перо), где происходит процесс многолучевой интерференции.Диффузор служит для создания пучка слегка расходящегося лучей и разрушения пространственной когерентности лазерного излучения. Интерференционные кольца наблюдаются в фокальной плоскости объектива О2 с фокусным расстоянием *f* , где установлен матричный приемник излучения.

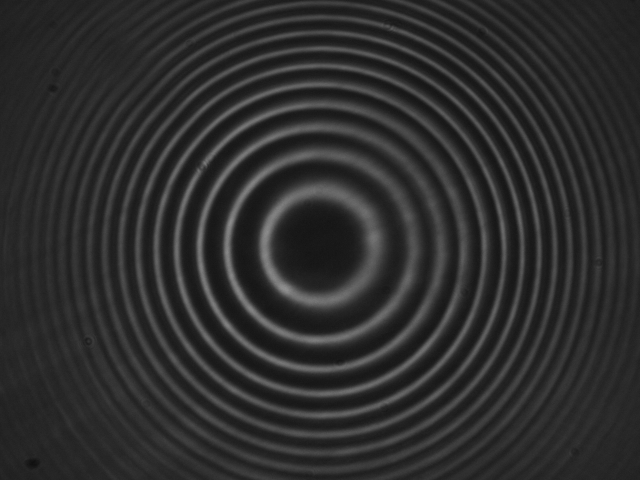


Рисунок 8 - Интерференционная картина

Необходимо измерить с точностью до пикселя диаметры светлых интерференционных колец, используя прикладные программы, Origine и следующую методику обработки изображений.

Для загрузки изображений в MathCad можно использовать функцию READ\_IMAGE, возвращающая матрицу, содержащую черно-белое представление, содержащееся в загружаемом файле. Каждый элемент матрицы соответствует одному пикселю. Каждый элемент – целое число от 0 (черный) до 255 (белый). Загружаемый файл может быть в BMP-, GIF-, JPG- или TGA-цветовом формате. Значение функции присваивается переменной, например:

Image:= READ\_IMAGE (“Путь к файлу”).

Для определения размеров загруженного изображения и для того, чтобы определить переменные, характеризующие размер изображения в пикселях, присвоим переменным следующие значения:

Size\_x:=cols(Image)

Size\_y:=rows(Image)

Перебор вдоль выбранной строки изображения осуществляется при помощи индексов, которым присваивается определенное значение, например, ширина кадра:

x:=0..size\_x-1

Signalx:=imagey,x

График сигнала можно построить, используя возможности программы Mathcad:

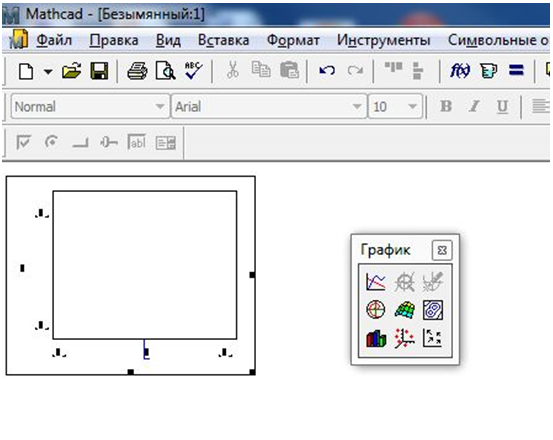


Рисунок 9 - Окно программы с функцией построения графика

Результаты измерений диаметров колец запишите в таблицу 1.

Таблица 1 – Измерения диаметров колец.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Кольцо № | Кольцо левый край | Кольцо правый край | , мкм2 | , мкм2 | Размер пикселя | λ*i*, мкм |
| *Dm-1 пикс.* | *Dm пикс* |
| 1 |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |
| N |  |  |  |  |  |  |

1. Рассчитайте по формуле (6) длину волны λ*i* излучения лазера для каждого опыта, вычислив предварительно квадраты диаметров наблюдаемых интерференционных колец. Результаты расчётов также запишите в таблицу 1.

2. Найдите среднее арифметическое значение  измеренной длины волны по формуле

. (7)

3. Вычислите среднюю абсолютную  и относительную δλ погрешности определения длины волны по формулам

, . (8)

4. Рассчитайте относительное расхождение δтабл между измеренным  и табличным λтабл значениями длины волны видимого излучения гелий−неонового лазера:

 (9)

Рассчитанные значения внесите в таблицу 2. Если в используемом методе определения λ нет систематических погрешностей, а измерения и расчёты выполнены правильно, то относительное расхождение δтабл не должно превышать относительную погрешность δλ.

5. Рассчитайте частоту ν = *c*/λ лазерного излучения и энергию фотона ε = *h*ν, где *c* – скорость света в вакууме и *h* – постоянная Планка, используя в качестве λ полученное среднее значение длины волны . Результаты расчётов занесите в таблицу 2.

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | δλ, % | δтабл, % | ν, Гц | Энергия | |
| мм | нм | Дж | эВ |
|  |  |  |  |  |  |  |

### 3 Вопросы для самоподготовки

1. Что такое инверсная заселенность энергетических уровней и как ее можно создать?
2. Вынужденное излучение атомных систем. Каковы отличия в механизмах возникновения спонтанного и вынужденного излучения атомов? Как происходит усиление света в активных средах?
3. Основные элементы лазерных устройств (активная среда, система накачки, резонатор), их назначение и классификация.
4. Классификация лазеров по типу активной среды, режиму работы, длине волны излучения, мощности.
5. Основные свойства лазерного излучения. Чем обусловлена высокая направленность лазерного пучка? Почему лазерное излучение обладает высокой степенью монохроматичности? В чем состоит свойство когерентности лазерного излучения?
6. Каковы меры безопасности, необходимые при эксплуатации лазерных установок?
7. Как влияют параметры интерферометра Фабри – Перо и длина волны исследуемого излучения на его спектральные характеристики?
8. Параметры и характеристики матричных приемников излучения.
9. КМОП и ПЗС приемники, принцип действия и характеристики.

# Заключение

Учебная практика обеспечивает получение первичных профессиональных умений и навыков в образовательной и научно-технической сфере деятельности.

В рамках данной учебной практики было принято участие в разработке описаний лабораторных работ, подборе практических заданий для семинаров, поиске эффективных инструментов образовательной деятельности, разработка оригинальных способов контроля знаний и навыков обучающихся.

# Список использованной литературы

1. **Электронно-библиотечная система. Издательство «Лань» [Электронный ресурс]** Игнатов, А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника / А.Н. Игнатов. – Лань, 2011. – 528 с. Режим электронного доступа http://e.lanbook.com/view/book/684/#.
2. Близнюк, В. В. Квантовые источники излучения. Основные понятия, характеристики, терминология, принцип работы широкого круга источников излучений, особенности применения и методы инженерных расчетов / В. В. Близнюк, С. М. Гвоздев – М. : Издательство "ВИГМА", 2006 – 391 с.
3. **Электронно-библиотечная система. Издательство «Лань» [Электронный ресурс]** Бараночников, М.Л. Приемники и детекторы излучений – ДМК Пресс, 2012. – 640 с. Режим электронного доступа http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\_cid=25&pl1\_id=4145.
4. **Электронно-библиотечная система. Издательство «Лань» [Электронный ресурс]** Шандаров, С.М. Физические основы квантовой электроники и фотоники – ТУСУР, 2012. – 47 с. Режим электронного доступа http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\_cid=25&pl1\_id=10867.