

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

Н.В. Петров, А.А. Городецкий, В.Г. Беспалов

ОСНОВЫ ОПТОИНФОРМАТИКИ

Методические материалы
к виртуальному лабораторному практикуму



Санкт-Петербург

2010

Н.В. Петров, А.А. Городецкий, В.Г. Беспалов
Под редакцией: В.Г. Беспалова. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010
ОСНОВЫ ОПТОИНФОРМАТИКИ
Методические материалы к экспериментальному практикуму. – СПб: СПбГУ
ИТМО, 2010. – 42 с.

В пособии представлены учебно-методические материалы виртуального практикума по дисциплине «Основы Оптоинформатики». Даны описания виртуальных лабораторных работ с кратким изложением теоретического материала.

Предназначено для бакалавров и магистров, обучающихся по направлению «Фотоника и оптоинформатика», а также для студентов оптических и информационных специальностей смежных направлений.

Рекомендовано к печати ученым советом факультета Фотоники и Оптоинформатики, протокол № 8 от 09.06.2010 г.



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «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 годы.

© Санкт-Петербургский государственный
Университет информационных
технологий, механики и оптики, 2010

© Н.В. Петров, А.А. Городецкий,
В.Г. Беспалов 2010

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1	
ОСНОВЫ СРЕДЫ ГРАФИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ LABVIEW. ПОСТРОЕНИЕ ПРИБОРА, НАХОДЯЩЕГО КОРНИ КВАДРАТНОГО УРАВНЕНИЯ	4
Лабораторная работа №2	
ОСНОВЫ СРЕДЫ ГРАФИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ LABVIEW. ДИФРАКЦИЯ НА ЩЕЛИ.....	9
Лабораторная работа №3	
ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВ РАБОТЫ ЛАЗЕРА.....	15
Лабораторная работа №4	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИКИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ.....	29
Лабораторная работа №5	
УСИЛЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ. ФОРМУЛА ФРАНЦА-НОДВИКА ...	35

Лабораторная работа №1

ОСНОВЫ СРЕДЫ ГРАФИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ LABVIEW. ПОСТРОЕНИЕ ПРИБОРА, НАХОДЯЩЕГО КОРНИ КВАДРАТНОГО УРАВНЕНИЯ

Цель работы: Ознакомится с технологией построения виртуальных приборов в среде графического программирования LabVIEW. Построить виртуальный прибор, находящий корни квадратного уравнения.

Объект исследования: среда графического программирования LabVIEW

Задачи, решаемые в работе:

1. Построение консолей управления и индикаторов на лицевой панели виртуального прибора
2. Простейшее программирование в графической среде LabVIEW

СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Программы, созданные в среде LabVIEW, называются виртуальными приборами (ВП), потому что их внешний вид и выполняемые ими функции схожи с внешним видом и функциями реальных физических приборов, таких как осциллограф или мультиметр.

Среда LabVIEW содержит обширный набор инструментальных средств для сбора, анализа, представления и хранения данных, а также инструменты, помогающие отладить создаваемый код.

Написание программы в LabVIEW начинается с создания интерфейса пользователя (или, по-другому, лицевой панели), содержащего элементы управления и индикаторы. Примерами элементов управления являются ручки управления, кнопки, круговые шкалы и другие элементы ввода. Индикаторами являются графики, светодиодные индикаторы и другие элементы вывода. После создания интерфейса пользователя, вы можете создать на блок-диаграмме код, используя другие виртуальные приборы (ВП) и структуры для управления объектами лицевой панели.

Итак, в LabVIEW вместо написания программы вы строите виртуальные инструменты, (VI, ВП – виртуальный прибор). Легко создаваемая лицевая панель пользовательского интерфейса дает вам возможность интерактивного управления вашей программной системой. Для описания функционирования системы вы строите блок-диаграмму - привычный элемент для любой технической разработки. Но в LabVIEW блок-диаграмма является, кроме всего, исходным кодом вашей программы. Таким образом, решается требующая немало времени и усилий при обычном подходе задача трансформации идеи разработчика в код программы.

LabVIEW — идеальное средство для построения вашей программной системы. Виртуальные инструменты, с их графическим представлением, очень легко модифицируются, отлаживаются и полностью самодокументированы. Не менее важно, что созданные блоки вы можете встраивать как пиктограммы в диаграммы верхнего уровня для построения сложных программных комплексов. Для построения виртуального инструмента, в первую очередь, вы создаете лицевую панель с необходимым набором кнопок, переключателей, регуляторов, экранов и т. п. Лицевая панель работает как интерактивный интерфейс ввода и вывода для вашей измерительной системы или системы управления. В LabVIEW конструирование лицевой панели сводится к рисованию картинки. Для начала вам предоставляются различные индикаторы и управляющие элементы. Остается только выбрать их из меню и расставить на панели. Кроме того, вы можете изменить цвет, размер, метку каждого элемента, его тип данных и диапазон значений. Можно импортировать любое изображение для создания специфического элемента для вашей задачи. Когда виртуальный инструмент будет закончен, вы можете использовать элементы лицевой панели для управления системой даже во время выполнения программы, меняя положение переключателей и регуляторов, поворачивая ручки управления и вводя значения с клавиатуры. Таким образом, панель "оживает", обеспечивая обратную связь с вашей системой.

Блок-диаграммы

Программируя виртуальные инструменты, вы освобождаете себя от многих синтаксических деталей обычного программирования. Выбирая функциональные блоки из меню, вы соединяете их с помощью проводников для обеспечения передачи данных от одного блока другому. Это могут быть как блоки элементарных алгебраических операций, так и сложные функции сбора и анализа данных, сетевые операции и файловый ввод/вывод, обмен данными с жестким диском в ASCII, в бинарном формате и в формате табличного процессора. LabVIEW имеет обширный набор средств для разработки, тестирования и отладки вашей системы. Окно подсказки (Help Window, вызывается клавишами Ctrl+H) описывает каждый блок и его соединения. LabVIEW немедленно проинформирует вас о неправильных соединениях и списке ошибок в окне Error Window. В ассортимент отладочных средств входят подсветка выполнения блок-диаграммы, пошаговый режим, прерывания и индикация значений. Таким образом, вы можете производить трассировку и исследование выполнения программы непосредственно на блок-диаграмме. (Переключение между лицевой панелью и блок-диаграммой можно производить с помощью клавиш Ctrl+E).

Ввод / вывод цифровой информации

Для осуществления функций измерения и управления в среде LabVIEW предусмотрена возможность ввода/вывода информации в диалоговом режиме. Информация может быть представлена в цифровом, текстовом или графическом

виде. Для визуализации ввода/вывода служит "лицевая панель прибора". Ее формируют исходя из требований к виду входных/выходных данных и ориентируясь на эргономические представления пользователя.

Визуализация предлагаемых в среде LabVIEW органов управления представлена библиотеками элементов управления:

Controls Numeric (для числовых данных),
Controls Boolean (двухпозиционные переключатели и индикаторы),
Controls String (для текстовой информации),
.....
Controls Graph (графическая информация).

Пример ввода информации в цифровом виде

На лицевой панели с помощью правой кнопки мыши открываем меню. Последовательно выбираем (меню, левая кнопка): Controls Numeric ("Num Ctrls"). Размещаем выбранный элемент управления на лицевой панели. При этом, над элементом управления появится имя по умолчанию, например "numeric", "slide" и т.п. Здесь следует определить имя элемента управления, введя с клавиатуры метку (любая цифра или буква латинского алфавита). Аналогичным образом организуют вывод информации, используя опцию меню: Numeric Indicators ("Num Inds")

Элементы управления могут быть рассчитаны как на ввод данных, так и на отображение выходной информации. Свойства элементов управления (ввод/вывод) можно изменить при редактировании файла: навести курсор на данный элемент управления и, зажав правую кнопку, выбрать из предлагаемого меню:

- для объектов, представляющих входные данные: Change To Control;
- для объектов, представляющих выходные данные: Change To Indicator.

Для установки числа знаков после запятой для входных/выходных данных необходимо поставить курсор на выбранный элемент управления и, зажав правую кнопку, выбрать из предлагаемого меню пункт "Format and Precision", где и установить необходимые пределы точности измерения.

Простейшие операции в LabVIEW

При работе в среде LabVIEW нередко возникает необходимость оптимальным образом организовать подачу/обработку сигнала произвольного вида, симитировать работу какого-либо устройства и т.п. Для этого в пакете предусмотрена возможность использования различных математических операций с цифровыми данными, в частности, арифметических и логических операций.

Особенное значение операции с цифровыми данными приобретают при работе в LabVIEW как в системе визуального программирования, без подключения к компьютеру реальных устройств. В этом случае математические операции помогают описать в среде LabVIEW математические модели исследуемого объекта и экспериментальной установки.

Математические операции в среде LabVIEW выбираются соответствующими пунктами меню:

- Functions → Programming → Structures (циклы, узлы формул),
- Functions → Programming → Numeric (арифметические, операции)
- Functions → Programming → Boolean (логические функции)
- Functions → Programming → Comparison (сравнение)

Пункт головного меню Functions доступен только в окне рисовки схем в режиме редактирования. Выбор математических операций осуществляется традиционным способом: курсор на соответствующем пункте меню, левая кнопка.

Для поиска менее тривиальных операторов, полезной может оказаться кнопка "Search/поиск". Не следует забывать про окно контекстной помощи (Ctrl+H).

Нередко в математических формулах используются числовые константы (произвольные или мировые). Для ввода произвольной константы необходимо выбрать:

- Functions → Programming → Numeric → numeric constant
- величину константы изменяют в текстовом режиме. Физические константы (e - заряд электрона, Na - число Авогадро и т.д.) выбираются в том же пункте меню.

Пример реализации арифметической операции:

Ввод и вывод информации - цифровой. Реализовать арифметическую операцию:

$$A = (B+C):5$$

В окне лицевой панели отбираем и размещаем оптимальным образом два элемента управления в режиме контроля (ввод информации) - B и C, и один элемент управления в режиме индикации - A. Переходим в окно рисовки схем и, откорректировав взаимное расположение элементов, дополним схему следующими элементами:

- Functions → Programming → Numeric → numeric constant (константа)
- Functions → Programming → Numeric → Add (оператор сложения)
- Functions → Programming → Numeric → Divide (оператор деления)

Переходим в режим установления связей и в необходимом порядке соединяем между собой элементы схемы.

У иконок визуальных инструментов, операций и т.п., применяемых при программировании приложений LabVIEW, есть так называемые поля присоединения связи ("горячие" поля), которые ассоциируются с входными и выходными переменными. Например, у иконки оператора деления три горячих поля: верхний угол (делимое), нижний угол (делитель), правый угол (частное). При выполнении соединений курсор необходимо наводить на "горячее" поле,

соответствующее той переменной, с которой надо установить связь. При этом данное "горячее" поле подсвечивается.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В работе необходимо построить ВП, находящий корни квадратного уравнения $ax^2 + bx + c = 0$. Для этого необходимо:

1. На лицевой панели создать элементы управления, отвечающие за параметры квадратного уравнения a, b, c.
2. На блок диаграмме создать схему. Для этого использовать следующие элементы:
 - для реализации арифметических операций:
 - Functions → Programming → Numeric → ...
 - для реализации условий (a=0, дискриминант $D < 0$, и т.п.):
 - Functions → Programming → Structure → case structure
 - для подключения элемента "case selector/выбор случая" (определения условий цикла)
 - Functions → Programming → Comparison → ...
3. Создать индикаторы x_1 и x_2 ,

ПРОВЕРКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Для проверки результатов следует проверить, работает ли написанная программа для всех случаев: $a = 0$, $D = 0$, $D < 0$, $D > 0$.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.labview.ru/>
2. <http://www.automationlabs.ru/forum/showthread.php?t=1672> (большая коллекция книг, и статей в электронном виде посвященные продуктам LabVIEW.)

Лабораторная работа №2

ОСНОВЫ СРЕДЫ ГРАФИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ LABVIEW. ДИФРАКЦИЯ НА ЩЕЛИ

Цель работы: Ознакомится с принципами работы с массивами, циклами и графиками в среде графического программирования LabVIEW. Построить виртуальный прибор, моделирующий распределение интенсивности на экране в результате дифракции на щели.

Объект исследования: среда графического программирования LabVIEW

Задачи, решаемые в работе:

1. Работа с циклом «for loop»
2. Создание массива данных
3. Построение дифракционной картины с помощью графика.

СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

В LabVIEW вместо написания программы вы строите виртуальные инструменты, (VI, ВП – виртуальный прибор). Легко создаваемая лицевая панель пользовательского интерфейса дает вам возможность интерактивного управления вашей программной системой. Для описания функционирования системы вы строите блок-диаграмму привычный элемент для любой технической разработки. Но в LabVIEW блок-диаграмма является кроме всего исходным кодом вашей программы. Таким образом, решается требующая немало времени и усилий при обычном подходе задача трансформация идеи разработчика в код программы. Подробнее о блок-диаграммах и элементах управления написано в описании лабораторной работы 1: «Решение квадратного уравнения».

Программирование циклических процессов

Операторы повторения (циклы) предусматривают выполнение некоторых действий (тела цикла) несколько раз. Различают следующие виды циклов:

1. Цикл с параметром (for loop): число повторений (итераций) - параметр цикла - известен заранее, до начала повторений.
2. Цикл с выходом по условию: существует некоторое условие, которое проверяется на каждой итерации; при выполнении условия происходит выход из цикла. Условие может быть помещено после тела цикла (цикл с постусловием) - такой цикл выполняется хотя бы один раз; цикл с предусловием (условие помещено до тела цикла) может быть не выполнен ни

разу; вообще же возможен выход (выходы) из произвольной точки тела цикла, в зависимости от места расположения условия (условий)

3. Бесконечный цикл, останавливаемый только с прекращением выполнения программы.

В среде LabVIEW реализованы цикл с параметром и бесконечный цикл. Цикл с условием может быть реализован на базе бесконечного цикла. Рассмотрим структуру цикла с параметром (for loop). С помощью этого цикла строится график функции

$$y = a + i, \quad (1)$$

где a - коэффициент, вводимый в диалоговом режиме, i - переменная цикла, наращиваемая на каждом шаге на единицу: $i = 0, 1, 2, \dots, N$. Число итераций (шагов) N задано извне цикла (здесь $N = 100$). Бесконечный цикл может быть использован как для различных вычислений, так и для программирования элементов управления.

Графический вывод информации

Графический вывод информации в системе LabVIEW предоставляет аналоговый пользовательский интерфейс. Организация графического вывода осуществляется с помощью прибора графического отображения информации (экрана), работающего в режиме индикации. Выходной сигнал, отображаемый на экране, должен иметь как минимум два параметра - входной и выходной.

Пример: графический вывод функции

Организовать графический вывод функции $y = \exp(x)$. Входной параметр X вводим в цифровой форме. Выходной параметр y получаем после "обработки" входного параметра. Для этого в окне блок-диаграммы необходимо поместить помимо иконок, символизирующих элементы управления, рамку цикла с параметром и иконку операции взятия экспоненты.

Для построения рамки цикла "for loop" необходимо проследовать по следующим вкладкам контекстного меню:

- Functions → Programming → Structures → for loop

Цикл в LabVIEW устроен следующим образом: i - переменная цикла, которая наращивается на каждом шаге на единицу, N - переменная, по достижении значения которой переменной i программа выходит из цикла. Здесь $i = 0, 1, \dots, x$, $N = x$.

Для размещения иконки взятия экспоненты на блок диаграмме необходимо следовать по указанным вкладкам контекстного меню:

- Functions → Mathematics → Elementary & Special functions → Exponential Functions → Exponential
- Или же, что поначалу всегда проще - воспользовавшись кнопкой "Search/поиск" и введя в строку поиска слово "exp". Не следует

забывать про окно контекстной помощи, которое вызывается нажатием клавиш Ctrl+H.

Иконку функции необходимо расположить внутри рамки цикла.

Используя блоки из раздела Graph Indicators вкладки Express лицевой панели виртуального прибора, можно построить на экране монитора графики функций.

Введение в схему данного устройства цикла позволяет при запуске программы на выполнение получать графическое изображение функциональной зависимости (в данном случае – $y = \exp(x)$) на отрезке $[0, x]$ по оси абсцисс, а не одной только точки, соответствующей текущему значению x .

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

В данной работе вам предлагается построить виртуальный прибор, моделирующий явление дифракции на щели.

Решать прямую задачу дифракции можно двумя способами. Первый способ заключается в решении системы уравнений Максвелла для дифрагирующего поля. Но этот метод достаточно ресурсоемок, и мы не будем на нем останавливаться. Для получения картины дифракции предлагается использовать следующий алгоритм:

1. В соответствии с принципом Гюйгенса-Френеля, щель разбивается на большое количество точечных источников (N)
2. Рассчитывается поле от каждого точечного источника в каждой точке экрана с помощью формулы:

$$U_q = \sum_p \frac{1}{ir_{pq}} \exp(-ikr_{pq}), \quad (2)$$

где r_{pq} - расстояние между точками щели p и точками экрана q

($p, q = 0, 1, \dots, N$). По теореме Пифагора:

$$\vec{r}_{p,q} = \sqrt{L^2 + (S_q - d_p)^2}. \quad (3)$$

Чтобы получить симметричную относительно центра экрана картину дифракции, необходимо начинать расчет с точек $-N/2$ и $-M/2$ щели и экрана соответственно. Тогда:

$$d_p = \left(p - \frac{N}{2}\right)\Delta d, \quad S_q = \left(q - \frac{M}{2}\right)\Delta S, \quad (4)$$

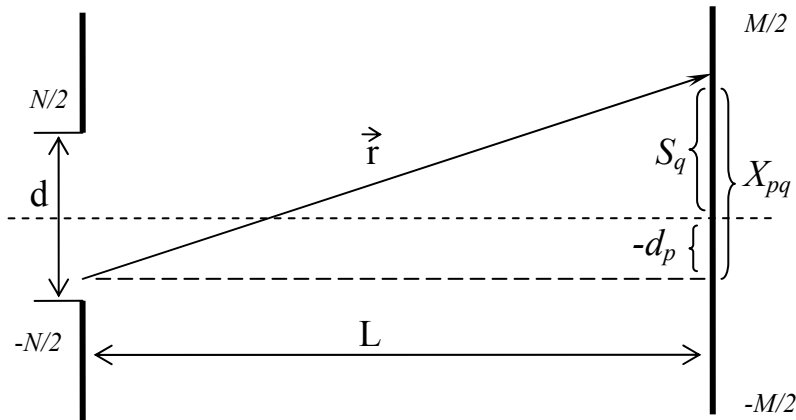


Рис.1. Дифракция на щели.

где Δd и ΔS – расстояние между двумя ближайшими точечными источниками на щели и двумя ближайшими точками экрана соответственно.

Для оптимизации расчета имеет смысл задать отдельным параметром шаг по щели и шаг по экрану. Поскольку минимальной величиной такого шага, имеющей физический, смысл является длина волны, то рекомендуется задавать шаг $Step$ в них. Тогда $\Delta d = \lambda \cdot Step_d$ и $\Delta S = \lambda \cdot Step_s$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. На лицевой панели создать элементы управления, отвечающие за следующие параметры:
 - d – размер щели ($\mu\text{м}$)
 - $Step_d$ – шаг по щели (λ)
 - S – размер экрана (см)
 - $Step_s$ – шаг по экрану (λ)
 - L – расстояние от щели до экрана (см)
 - λ – длина волны (нм)
2. На блок диаграмме реализовать перевод всех элементов, имеющих размерность длины к единой величине (например, в метры). Для этого следует воспользоваться модулем:
 - Functions \rightarrow Programming \rightarrow Numeric \rightarrow Conversion \rightarrow convert unit
3. Рассчитать поле в одной точке экрана от каждого точечного источника щели. Для этого следует воспользоваться циклом с параметром:
 - Functions \rightarrow Programming \rightarrow Structures \rightarrow for loop

4. «Окружив» сделанный расчет дополнительным циклом с параметром, реализовать вычисления для каждой точки экрана
5. Перейти от амплитуд поля к интенсивностям
6. Графически вывести получившийся расчет с помощью графика лицевой панели, следуя по вкладкам:
 - Express → Graph Indicators → express xy graph

ПРОВЕРКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Для проверки результатов необходимо ввести входные параметры и посмотреть, согласуется ли построенный график с классическим дифракционным распределением.

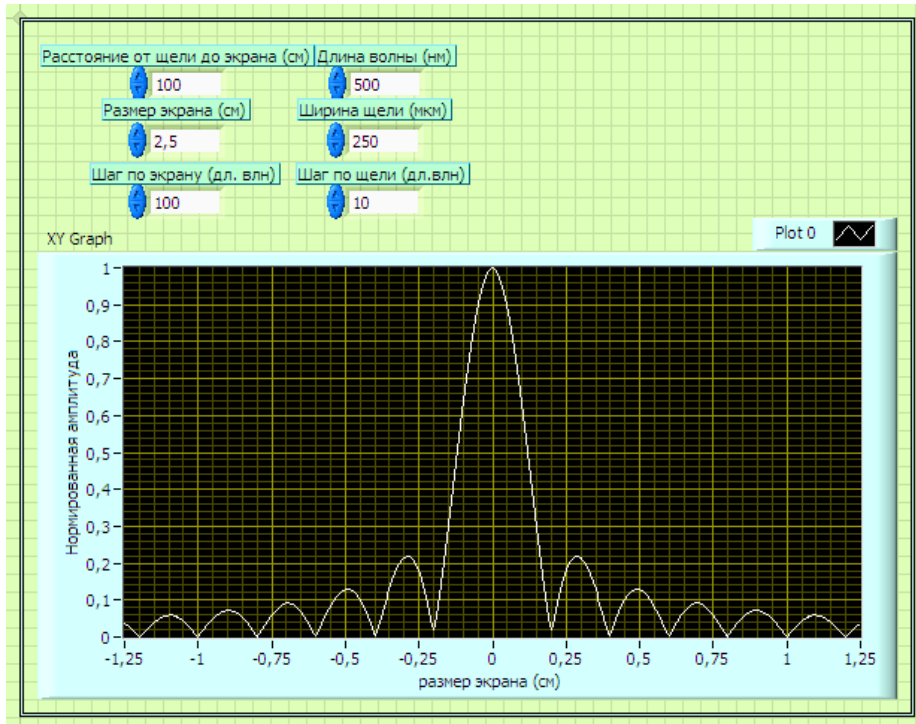


Рис. 2. Лицевая панель прибора моделирующего явление дифракции на щели.

Не лишним будет присвоение значений введенных параметров как значения по умолчанию. Для этого необходимо кликнуть правой кнопкой мыши по элементу управления, выбрать пункт Data Operations → Make Current Value Default.

В дополнение, для оценки результатов работы проверяющее лицо может использовать, разработанную авторами пособия, программу, однако, следует помнить, что она не является единственным правильным решением, и может служить лишь ориентиром.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гудмен Дж. Введение в Фурье-оптику. М.: Мир, 1970.

Лабораторная работа №3

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВ РАБОТЫ ЛАЗЕРА

Цель работы: Дать понимание основных принципов работы лазера.

Объект исследования: Лазерная среда, принципы лазерной генерации.

Задачи, решаемые в работе:

1. Приобретение навыков расчета пороговой инверсной заселенности лазерной среды.
2. Изучение зависимостей плотности фотонов на выходе из резонатора от параметров: коэффициента отражения выходного зеркала, коэффициентов усиления и ослабления среды.

СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

В данной работе мы рассмотрим базовые принципы работы лазера. Слово “лазер” является аббревиатурой слов английского выражения “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” – усиление света вынужденным излучением.

Для понимания работы лазера необходимо рассмотреть основные принципы взаимодействия излучения с веществом.

Оптическое усиление

Системы атомов, ионов и молекул могут иметь только дискретные энергетические состояния. Переход с одного энергетического уровня на другой сопровождается излучением или поглощением фотона (рис.1). Длина волны поглощённого или излученного кванта определяется соотношением Бора.

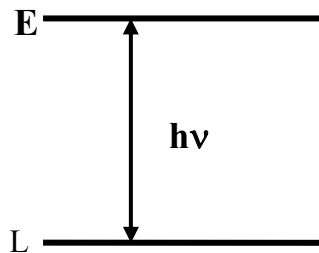


Рис. 1. Переход с одного энергетического уровня на другой

Длина волны поглощённого или излученного кванта определяется соотношением Бора.

$$E_2 - E_1 = h\nu_{21}, \quad (1)$$

где E_2 и E_1 - два дискретных уровня энергии, ν_{21} - частота и $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с - постоянная Планка. Квантовая система (атом, молекула, ион и др.) наиболее устойчива - когда её внутренняя энергия минимальна, т.е. когда нижние энергетические уровни более заселены, чем верхние. Переход квантовой системы в возбужденное состояние происходит при увеличении ее внутренней энергии, что эквивалентно переходу квантовой системы с основного уровня с минимальной энергией на один из возможных возбужденных уровней. Находящаяся в основном состоянии квантовая система может только поглощать излучение, переходя в возбужденное состояние. В лазерах это достигается использованием внешнего источника накачки, который переводит электроны с нижнего энергетического уровня на верхний. Этим достигается инверсия населённости. Электромагнитная волна на частоте ν_{21} , падающая на инвертированное лазерное вещество (лазерный активный элемент), будет усиливаться, потому что падающие фотоны переводят электроны с верхнего уровня на нижний с излучением дополнительных фотонов. В результате, энергия, взятая из лазерного вещества, добавляется к энергии падающей на него электромагнитной волны. Так создаётся стимулированное излучение.

Иначе говоря, когда лазерное вещество возбуждается и количество атомов (или молекул) на верхнем энергетическом уровне больше, чем на нижнем, лазерное вещество становится способным усиливать падающее на него излучение, соответствующей частоты.

Из квантовой механики, описывающей взаимодействие излучения с веществом, следует, что стимулированное излучение имеет абсолютно те же параметры, что и стимулирующее (падающее на вещество) излучение: направление, поляризацию, фазу и спектр. Этот факт и определяет экстремально высокую степень когерентности лазерного излучения.

Многие свойства лазера могут быть описаны в терминах поглощения и испускания, когда атомная (или молекулярная) система взаимодействует с веществом. М. Планк описал спектральное распределение термального излучения. А. Эйнштейн, комбинируя закон М. Планка и статистику Ш. Бозе, сформулировал концепцию стимулированного излучения, создав тем самым теорию, необходимую для описания принципа работы лазера.

Статистика Больцмана

В соответствии с основными принципами статистической механики, когда большое количество одинаковых атомов находятся в равновесии при температуре T градусов, относительная населённость двух энергетических уровней E_1 и E_2 (рис. 2) определяется отношением Больцмана (2)

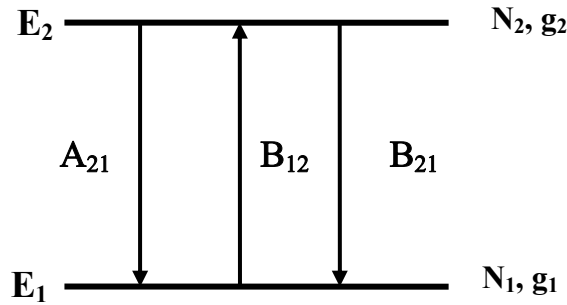


Рис. 2. Два энергетических уровня с населённостью N_1, N_2 и вырождением g_1 и g_2 .

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left(\frac{-(E_2 - E_1)}{kT}\right), \quad (2)$$

где N_1, N_2 – это число атомов на энергетических уровнях E_1 и E_2 , соответственно. Из уравнения $E_2 - E_1 = h\nu$ для комнатной температуры ($T = 300$ К) $\nu = 6 \cdot 10^{12}$ Гц, что соответствует длине волны $\lambda = 50$ мкм – дальний инфракрасный спектральный диапазон.

При температуре абсолютного нуля, статистика Больцмана демонстрирует, что все атомы (ионы, молекулы) будут находиться на нижнем энергетическом уровне. При любой другой температуре уровень с меньшей энергией будет заселён больше, чем уровень с большей энергией. То есть N_2 / N_1 всегда меньше 1 для $E_2 > E_1$ и $T > 0$. Это означает, что оптическое усиление не возможно при температурном равновесии.

Коэффициенты Эйнштейна.

Основное состояние квантовой системы - состояние, при котором квантовая система (атом, молекула, ион и др.) наиболее устойчива благодаря тому, что ее внутренняя энергия минимальна. Переход квантовой системы в возбужденное состояние происходит при увеличении ее внутренней энергии, что эквивалентно переходу квантовой системы с основного уровня с минимальной энергией на один из возможных возбужденных уровней. Находящаяся в основном состоянии квантовая система может только поглощать излучение, переходя в возбужденное состояние.

Скорость перехода 1 - 2 и вероятность поглощения W_{12} связаны уравнением:

$$dN_1 / dt = - W_{12} N_1, \quad (3)$$

где N_1 – число атомов в единице объема, которые находятся на уровне 1. Можно записать

$$W_{12} = B_{12} \rho(\nu), \quad (4)$$

где $\rho(\nu)$ – спектральная плотность энергии в падающей волне, а B_{12} – коэффициент Эйнштейна или сечение поглощения.

Поглощение и усиление.

Рассмотрим связь между двумя процессами (поглощением и усилением) очень важными для создания лазерной генерации. Пусть плоская электромагнитная волна с плотностью потока фотонов $F = \rho(\nu)$ проходит через вещество толщиной dz (Рис. 3).

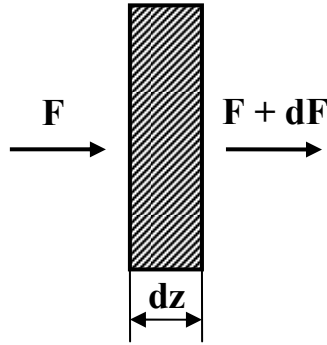


Рис. 3. Прохождение излучения через вещество.

Вещество имеет два энергетических уровня с населённостью нижнего уровня N_1 , а верхнего N_2 . При этом $B_{12} = B_{21} = \sigma$ – сечение вынужденного излучения. Тогда изменение плотности потока фотонов определяется уравнением (5):

$$dF = \sigma F(N_2 - N_1)dz \quad (5)$$

Если $dF < 0$, то происходит поглощение излучения в веществе, а если $dF > 0$, то вещество усиливает проходящее излучение.

Инверсная населённость

В соответствии с распределением Больцмана (2) в ансамбле атомов, находящемся в тепловом равновесии, разница населённостей двух уровней $N_2 - N_1$ всегда положительна. А это, в соответствии с уравнением (3), означает, что падающее излучение будет поглощаться (см. рис. 4-а)

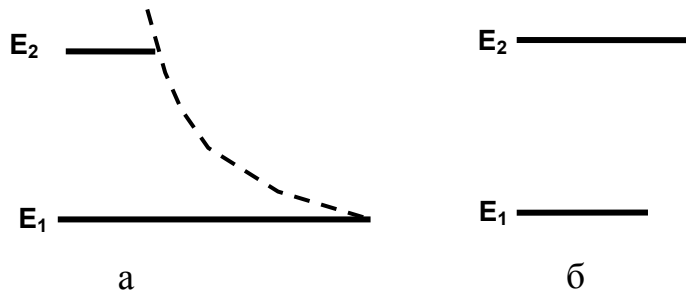


Рис. 4. Населённость двухуровневой системы атомов. а – нормальная, б – инвертированная.

Предположим, что возможна временная ситуация, когда на верхнем уровне находится больше атомов, чем на нижнем. Т. е. разница населённостей двух уровней $N_2 - N_1$ становится положительной. В этом случае падающее излучение стимулирует вынужденное излучение, т. е. падающий сигнал усиливается. Условием, необходимым для усиления является $N_2 > N_1$ и иллюстрируется рисунком 4-б.

Вынужденное поглощение и излучение всегда происходят практически одновременно. В обычном состоянии, когда число атомов на верхнем уровне меньше, чем на нижнем, происходит процесс поглощения. Когда число атомов на обоих уровнях одинаково, то число излучений становится равным числу поглощений и вещество является прозрачным для падающего излучения. По мере того, как населённость верхнего уровня становится больше нижнего, излучательный процесс увеличивается. Для создания инверсной населённости необходимы специальные источники энергии, которые называются в лазерной технике источниками накачки.

Принципы лазерной генерации

На рис. 5. представлена принципиальная схема устройства лазера.

Условия генерации такого лазера могут быть представлены в следующем виде

$$R_1 R_2 \exp[2\sigma(N_2 - N_1)l] = 1. \quad (6)$$

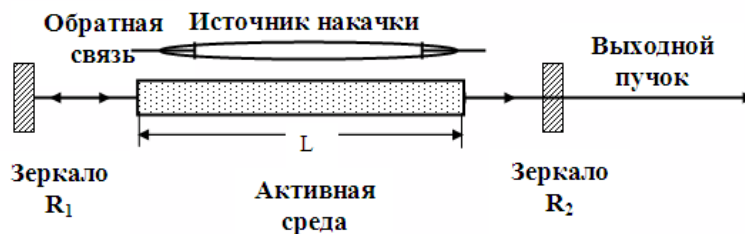


Рис. 5. Принципиальная схема лазера состоящего из:

- Активной среды длиной L
- Источника накачки, например, импульсной лампы.
- Двух зеркал с коэффициентами отражения R_1 и R_2 , образующими резонатор типа интерферометра Фабри-Перо, и создающими обратную связь.

Для создания генерации такого лазера необходимо создать три условия:

1. наличие активной среды с инверсной населенностью
2. присутствие обратной связи
3. превышение усиления над потерями

Лазерная генерация начнется тогда, когда усиление активной среды компенсирует потери в нем, усиление излучения за один проход в активной среде (т. е. отношение выходной и входной плотностей потока фотонов) равно $\exp [2\sigma(N_2 - N_1)L]$.

Если потери в резонаторе определяются только пропусканием зеркал, то порог генерации будет достигнут при выполнении условия

$$R_1 R_2 \exp [2\sigma(N_2 - N_1)L] = 1. \quad (7)$$

Это условие показывает, что порог достигается тогда, когда инверсия населенностей приближается к *критической*. Как только достигнута критическая инверсия, генерация разовьется из спонтанного излучения. Действительно, фотоны, которые спонтанно испускаются вдоль оси резонатора, будут усиливаться. Этот механизм и лежит в основе лазерного генератора, называемого обычно просто лазером.

Методы создания инверсной населённости

До сих пор мы рассматривали гипотетические двухуровневые системы. В реальных лазерных системах существует большое число энергетических уровней с комплексом процессов возбуждения и каскадными релаксационными процессами, охватывающими многие уровни. Точное описание лазерной генерации в конкретном активном веществе возможно только с учётом полной многоуровневой энергетической диаграммы. Однако, для понимания главных

принципов лазерной генерации мы рассмотрим два основных случая: 1) трёхуровневую систему и 2) четырёхуровневую систему

Трёхуровневая система.

На рис. 6. изображена диаграмма, демонстрирующая работу, оптически накачиваемого, трёхуровневого лазера (например, рубинового). В исходном состоянии все атомы в лазерном веществе находятся на нижнем уровне 1. Накачка переводит атомы с нижнего уровня на широкополосный уровень 3. Этот широкополосный уровень позволяет использовать в качестве накачки широкополосный источник, например, импульсную лампу. Большинство возбуждённых атомов быстро переходят на средний уровень 2 без излучения. Но окончательно электроны возвращаются на нижний уровень 1 с излучением фотона. Этот переход и является лазерным переходом. Если интенсивность накачки меньше порога лазерной генерации, то излучение, сопровождающее переход атомов с уровня 2 на уровень 1, спонтанно. Когда интенсивность накачки превышает порог генерации, то излучение становится стимулированным. Это происходит, когда населённость уровня 2 превосходит населённость уровня 1. Этого можно добиться если время жизни на уровне 2 будет больше, чем время релаксации с уровня 3 на уровень 2, т. е.

$$\tau_{21} > \tau_{32}. \quad (8)$$

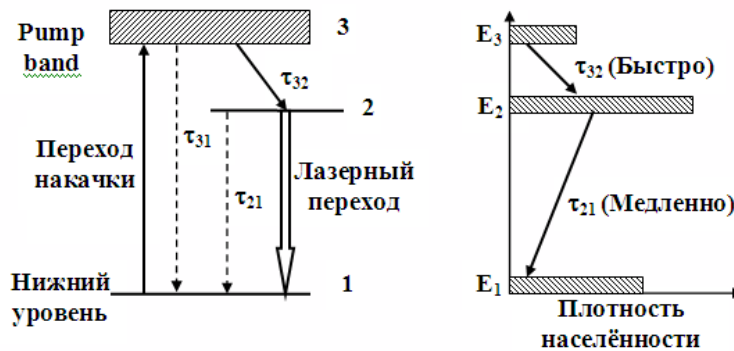


Рис. 6. Энергетические уровни трёхуровневого лазера.

Число атомов N_3 на уровне E_3 мало по сравнению с числом атомов на других уровнях, т. е.

$$N_1 + N_2 \approx N_{общ} \quad (9)$$

Основная идея трёхуровневой системы состоит в том, что атомы эффективно накачиваются с уровня 1 на метастабильный уровень 2, быстро проходя уровень 3. И в этом случае система представляется как двухуровневая. Для генерации необходимо, чтобы населённость уровня 2 была больше, чем населённость уровня 1. Т. е. в трёхуровневой системе для лазерной генерации необходимо, чтобы больше, чем половина атомов с нижнего энергетического уровня 1 была переведена на метастабильный уровень 2.

Четырёхуровневая система

Четырёхуровневая лазерная система, по которой работает большинство лазеров на стекле и кристаллах, активированных ионами редкоземельных элементов, представлена на рис. 7.

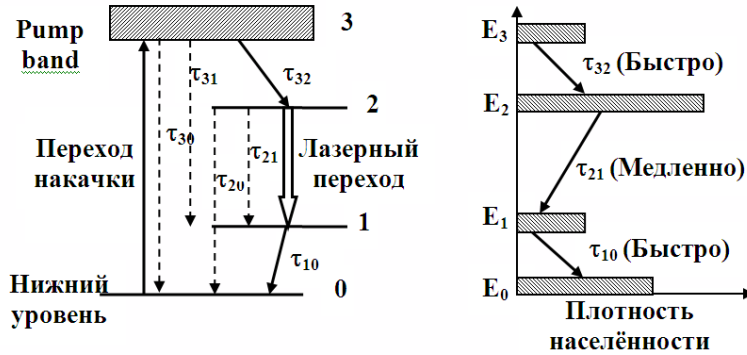


Рис. 7. Энергетические уровни четырёхуровневого лазера.

Следует отметить, что в трёхуровневой системе лазерная генерация происходит между возбуждённым уровнем 2 и нижним уровнем 1, который всегда заселён. А в четырёхуровневой системе лазерный переход осуществляется на уровень 1, который находится выше нижнего уровня и который может быть совсем не заселён или заселён, но значительно меньше, чем самый нижний уровень. А это означает, что создать инверсную населённость в четырёхуровневой системе значительно легче, чем в трёхуровневой. Т. е. порог генерации четырёхуровневой лазерной системе будет значительно ниже, чем в трёхуровневой.

Внутренняя плотность и потоки фотонов в лазерной среде

Выходной поток представляет собой излучение, вышедшее через выходное зеркало M_s с пропусканием T_s . Чем меньше величина T_s , тем больше отражение ($R_s \approx 1 - T_s$) и меньше лазерный порог. С другой стороны, если пропускание равно нулю, то свет вообще не может выйти из резонатора. Таким

образом, с учетом этих двух обстоятельств, существует оптимальная величина отражения. Выходной поток из лазера Φ_{ext} определяется, как половина от внутреннего потока Φ , умноженную на пропускание зеркала:

$$\Phi_{ext} = \frac{1}{2} \Phi_{sat} T_s \left(\frac{2L\gamma_0}{2L\alpha_p - \ln R_e - \ln(1 - T_s)} - 1 \right) \quad (10)$$

$$\Phi = \begin{cases} 0, & \text{если } \gamma_0(\nu) < \alpha_t \\ \Phi_{sat}(\nu) \frac{\gamma_0(\nu)}{\alpha_t} - 1, & \text{если } \gamma_0(\nu) > \alpha_t \end{cases}$$

Здесь поток Φ относится к фотонам, распространяющимся в обоих направлениях вдоль резонатора, L – протяженность лазерной среды, R_e и R_s – коэффициенты отражения входного и выходного зеркал, γ_0 – коэффициент усиления в условиях слабого потока или холодного резонатора, α_p – коэффициент ослабления, α_t – полный коэффициент ослабления:

$$\alpha_t = \alpha_p - \frac{1}{2L} \ln R_e R_s \quad (11)$$

Величина Φ_{sat} , фигурирующая в этих формулах называется потоком насыщения, и может быть выражена через сечение перехода σ_{op} и постоянную времени оптического насыщения τ_{sat} :

$$\Phi_{sat} = \frac{1}{\sigma_{op}(\nu) \tau_{sat}} \quad (12)$$

Так же следует упомянуть, что сечение перехода σ_{op} связано с коэффициентом поглощения α_p через разность заселенностей:

$$\alpha_p = \sigma_{op} (n_1 - n_2) \quad (13)$$

ОПИСАНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Работа разделена на 3 части. Чтобы выполнить задания по каждой из частей, ознакомьтесь с данным описанием и следуйте инструкциям, приведенным в разделе «порядок выполнения работы». Рекомендуется сразу же, по ходу работы, записывать начальные данные и все расчеты на листок или в файл – для удобства построения отчета.

1. Основная задача первой части данной работы - научить производить оценку пороговой инверсии заселенности для различных параметров. Начальные параметры:

- Коэффициент отражения глухого зеркала
- Длина резонатора
- Сечение перехода

выставляются один раз (индивидуально задает преподаватель)

- Коэффициент отражения выходного зеркала

Выставляется дважды (а и б) с помощью ручек-спидометров. Таким образом, необходимо рассчитать значения пороговой инверсии заселенности дважды. В случае правильных ответов индикаторы «Ответ а) - верный» и «Ответ б) - верный» загорятся САЛАТОВЫМ цветом. В случае если оба ответа – верные, загорается индикатор – «Задание выполнено».

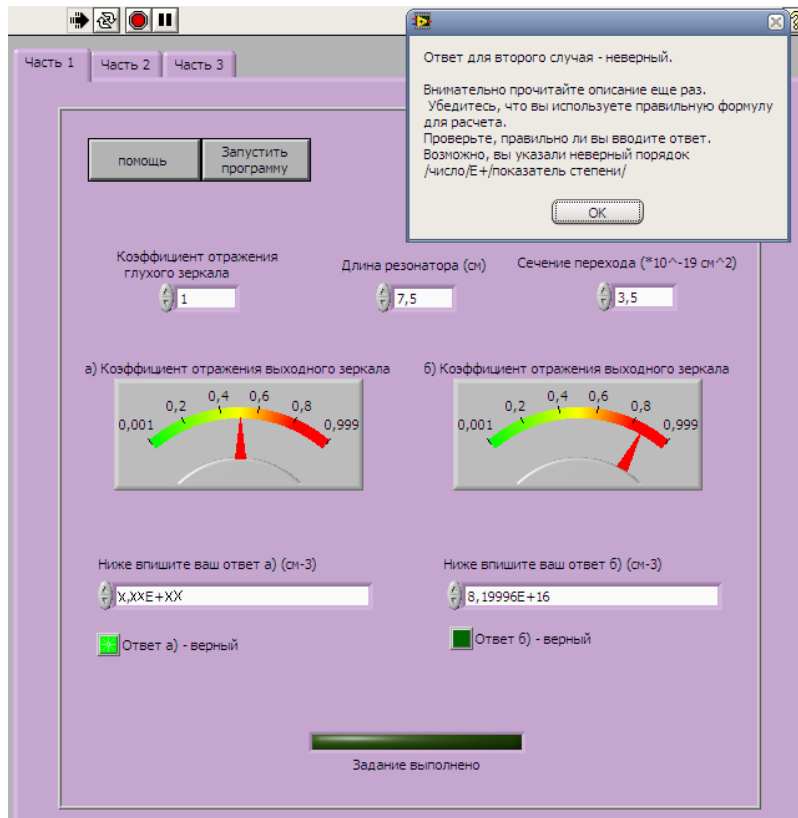


Рис. 8. Интерфейс первой части лабораторной работы.

Когда вы успешно выполните задание по первой части, будет открыт доступ к выполнению второй. Пользуясь виртуальным прибором второй части работы, необходимо получить зависимость пороговой инверсии заселенности от коэффициента поглощения для фиксированных начальных параметров.

Запуск второй части работы:

Чтобы «активировать» вторую часть работы необходимо выполнить следующие действия:

1. Перевести в нажатое положение кнопку «запустить программу» в части 2
2. Перейти на вкладку «Часть 1»
3. Запустить программу в режиме непрерывного выполнения
4. Перевести в нажатое положение кнопку «Запустить программу» в части один.
5. Перейти на вкладку «Часть 2». Программа будет работать. Об этом вы узнаете, перемещая стрелку на ручке-спидометре – внизу будут меняться числа.

2. Во второй части верхняя тройка начальных параметров фиксирована. Необходимо снять зависимость Пороговой инверсии населенности от коэффициента пропускания выходного зеркала.

3. Третья часть может выполняться независимо от первой и второй. Основная задача этой части – сравнить характеристики конкретных лазерных сред: $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$, $\text{Er}^{3+}:\text{SiO}_2$, $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$, Ag^+ , изучить поведения кривых плотностей фотонов в зависимости от различных параметров. Непосредственно задания по третьей части приведены в разделах «порядок выполнения работы» и «обработка результатов». Для разблокирования виртуального прибора, который моделирует эту зависимость для каждой из четырех данных лазерных сред, необходимо рассчитать поток насыщения этих лазерных сред. Вводите ответ в соответствующее поле, и запустите виртуальный прибор в режиме продолжительного выполнения. Программа рассчитает поток, и сравнит с вашим ответом. Допускаются округления до 0,05 от полученного значения. Если значения потока насыщения, которое вы ввели, попадают в интервал округления, вы увидите график зависимости внешнего потока фотонов от функции ПРОПУСКАНИЯ выходного зеркала лазерного резонатора (см. Рис 9). Изменяемые параметры (верхняя четверка на Рис. 9):

- Коэффициент усиления γ_0 (холодного резонатора)
- Коэффициент ослабления α_p (общие потери в системе за исключением выходного зеркала)
- Коэффициент отражения глухого зеркала R_e (R_1 – в первой части)
- Протяженность лазерной среды L

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Часть 1:

- Выставьте начальные параметры задачи, которые скажет преподаватель, и рассчитайте для них значения пороговой инверсии заселенности.

Часть 2:

- Перемещая мышкой стрелку на приборе, и задавая тем самым программе различные значения коэффициента отражения выходного зеркала, вы узнаете значения пороговой инверсии населенности для этих значений.

! Если вторая часть не работает, см. пункт: *запуск второй части работы*, в разделе «описание виртуальной лабораторной работы».

Часть 3:

1. Не меняя начальных параметров, рассчитайте и введите в соответствующее поле значение потока насыщения для первой среды. Программа построит график для некоторого диапазона T_s . В отчете объясните вид графика!
2. Меняя начальные параметры, добейтесь, чтобы кривая располагалась на всем интервале пропускания $T_s \in [0,1]$.
3. Меняя начальные параметры, или используя изложенную теорию, найдите наиболее полный ответ на вопрос: В каком случае выходной поток фотонов равен нулю?
4. Рассчитывая потоки насыщения для 4 сред: $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$, $\text{Er}^{3+}:\text{SiO}_2$, $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$, Ag^+ , необходимо сравнить кривые $\Phi_{\text{ext}}(T_s)$ на всем интервале $T_s \in [0,1]$, для данных сред. Подумайте, какие параметры лучше выбрать для этого!
5. Обратите внимание, что сечение поглощения связано с коэффициентом ослабления α_p через разность заселенности верхнего и нижнего уровня. Для рассмотренных значений коэффициента ослабления рассчитайте разности заселенностей для каждой из четырех лазерных сред. Учитывайте при этом значения других параметров.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Подготовьте отчет в соответствии с ходом работы, в котором дайте ответы на контрольные вопросы.

Часть 1:

1. Занесите используемые параметры в отчет вместе с правильными ответами.

Часть 2:

1. По полученным данным в отчете представьте график и таблицу со снятыми на приборе данными.

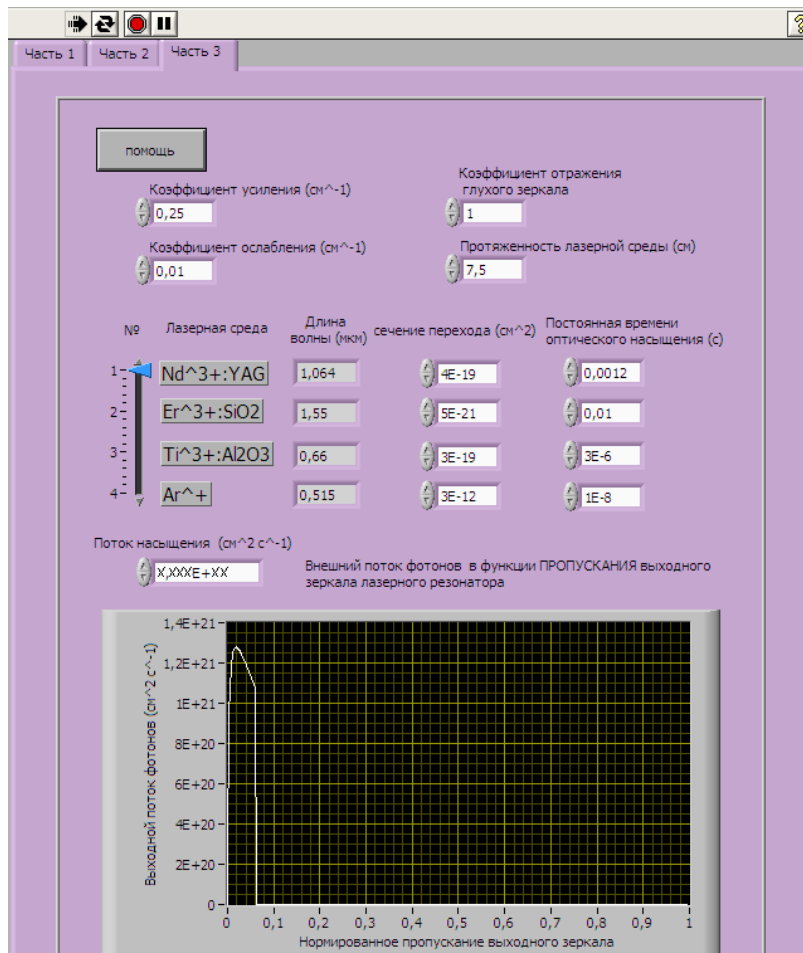


Рис. 9. График $\Phi_{\text{ext}}(T_s)$

Часть 3:

1. В отчете объясните вид графика!
2. Подробно опишите, какие параметры вы меняли, и что при этом происходило с лазерной системой!
3. Дайте развернутый ответ на вопрос: В каком случае выходной поток фотонов равен нулю?
4. Подготовьте сравнительную таблицу полученных результатов. В какой среде достигается наибольший выходной поток фотонов?

5. Приведите расчет разностей заселенностей для каждой из четырех лазерных сред и все необходимые параметры. Оцените эффективность генерации для них, и сравните.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как связаны величина пропускания выходного зеркала и поток фотонов на выходе из резонатора?
2. Как меняется пороговое усиление, при уменьшении коэффициента отражения выходного зеркала резонатора?
3. Дайте определение сечения поглощения.
4. Что определяют коэффициенты Эйнштейна?
5. Как зависит внутренний поток фотонов в резонаторе от потока насыщения?

ЛИТЕРАТУРА

1. О. Звелто. Принципы лазеров. М. Мир. 1984.
2. Н.В. Карлов. Лекции по квантовой электронике. М. Наука. 1983.
3. А. Ярив. Введение в оптическую электронику. Высшая школа. 1983.
4. Оптиинформатика. Часть 1. Учебно-методическое пособие.
5. W. Koechner. Solid-state laser engineering. Springer-Verlag. 1999

Лабораторная работа №4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИКИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

Цель работы: Ознакомится с принципами использования дифракционной оптики для выполнения математических и логических операций над матрицами.

Объект исследования: Схемы и элементы для выполнения математических операций оптическими методами.

Задачи, решаемые в работе:

1. Знакомство с влиянием дифракционных решеток на распространение излучения и методов их использования.
2. Изучение возможных схем для выполнения математических операций.
3. Анализ необходимых условий для составления схем обработки оптического сигнала.

СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Дифракционная решетка — оптический прибор, работающий по принципу дифракции света, представляет собой совокупность большого числа регулярно расположенных штрихов (щелей, выступов), нанесённых на некоторую поверхность.

Решетки бывают двух типов:

- **Отражательные:** Штрихи нанесены на зеркальную (металлическую) поверхность, и наблюдение ведется в отраженном свете
- **Прозрачные:** Штрихи нанесены на прозрачную поверхность (или вырезаются в виде щелей на непрозрачном экране), наблюдение ведется в проходящем свете.

При прохождении решетки фронт световой волны разбивается штрихами решетки на отдельные пучки когерентного света. Эти пучки претерпевают дифракцию на штрихах и интерферируют друг с другом.

В данной работе предполагается использовать прозрачные дифракционные решетки. На рис. 1 представлена схема, используемая для выполнения математических операций.

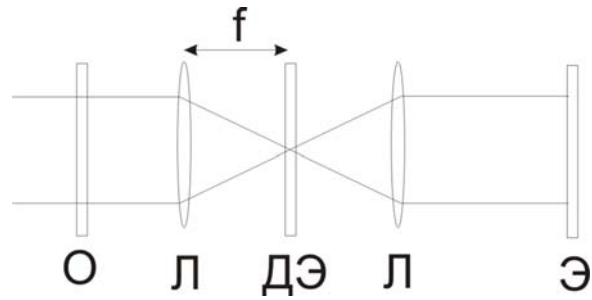


Рис. 1. О – входная матрица, над которой производится математическая операция, Л – линза, ДЭ – дифракционный элемент, Э – экран наблюдения картины.

Сложение с помощью дифракционных элементов

Для получения суммы и разности сигналов, подаваемых на вход оптической схемы, в фокусе линзы следует разместить синусоидальную решетку, максимальное пропускание которой смещено на 1/4 ширины штриха от оптической оси.

Для получения разности изображений следует подать их специальным образом - симметрично относительно линии, параллельной линиям дифракционной решетки, проходящей через оптическую ось системы на равных расстояниях от оптической оси.

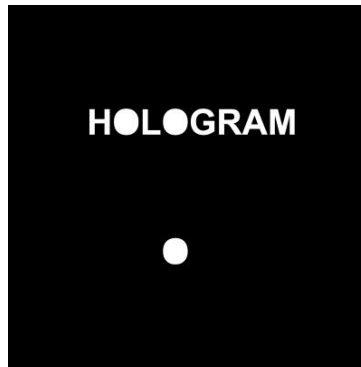


Рис 2. Подготовка изображения для первой части работы.

Чтобы проанализировать процесс, запишем функцию пропускания решетки в виде:

$$H(p, q) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \exp\left[i\left(px + \frac{\pi}{2}\right)\right] + \exp\left[-i\left(px + \frac{\pi}{2}\right)\right] \right\} . \quad (1)$$

Амплитуду плоского фронта монохроматической волны, прошедшей через входное изображение, можно представить следующей функцией:

$$G_i(p, q) = G_1(p, q)e^{-ipx} + G_2(p, q)e^{ipx} , \quad (2)$$

где $G_1(p, q)$ и $G_2(p, q)$ - Фурье - образы входных функций g_1 и g_2 (в верхней и нижней полуплоскостях). Тогда амплитуда света за решеткой дается выражением:

$$G_0(p, q) = G_i(p, q)H(p, q) = \frac{1}{2} \left(G_1(p, q)e^{i\pi/2} + G_2(p, q)e^{-i\pi/2} \right) + 4 \text{ слагаемых} . \quad (3)$$

Таким образом, на выходе мы получаем:

$$g_0(x, y) = \frac{i}{2} (g_1(x, y) - g_2(x, y)) . \quad (4)$$

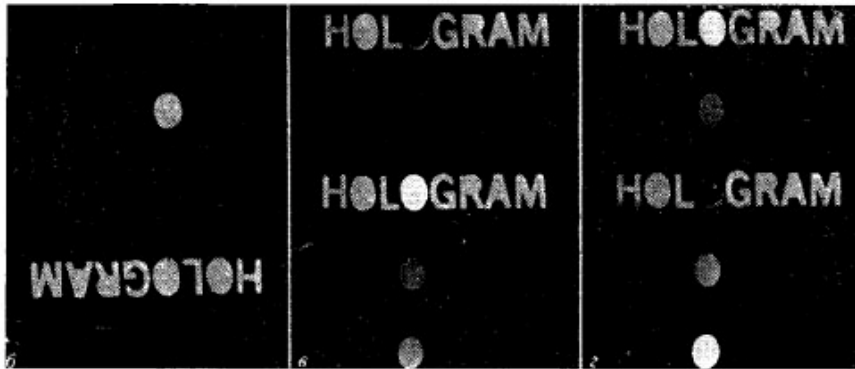


Рис. 3. Результаты при удачном подборе параметров – исходное изображение, сумма и разность.

Дифференцирование изображений

Для дифференцирования изображений необходимы две синусоидальные решетки со слегка отличающимися пространственными частотами. Передаточная характеристика такой системы имеет вид

$$H(p, q) = 1 + \text{Cos}(px) - \text{Cos}((p + \varepsilon)x) . \quad (5)$$

Тогда при прохождении плоского фронта монохроматического излучения через такую систему будет (проверьте!)

$$h(x, y) = \frac{1}{2} \left(\delta \left(x + \frac{2\pi}{p}, y \right) - \delta \left(x + \frac{2\pi}{p+\varepsilon}, y \right) \right) + 3 \text{ слагаемых} \cdot \quad (6)$$

И в выходной плоскости будет наблюдаться результат дифференцирования входного изображения, в одном из порядков дифракции.

$$g_0(x, y) \sim \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{1}{\varepsilon} \left(g(x, y) \otimes \left(\delta \left(x + \frac{2\pi}{p}, y \right) - \delta \left(x + \frac{2\pi}{p+\varepsilon}, y \right) \right) \right) = \quad (7)$$

$$= \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{1}{\varepsilon} \left(g \left(x + \frac{2\pi}{p}, y \right) - g \left(x + \frac{2\pi}{p+\varepsilon}, y \right) \right) = \frac{\partial g}{\partial x}$$

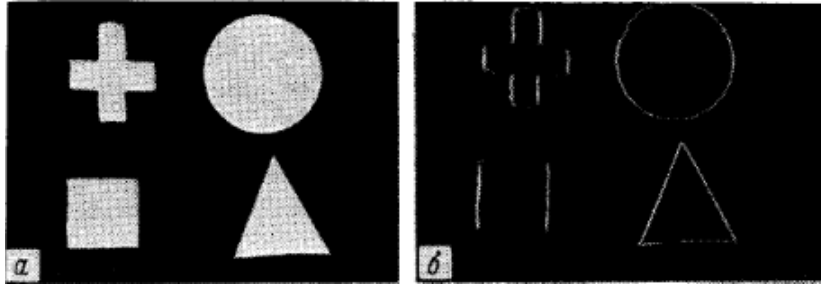


Рис 4. Результаты моделирования дифракции при удачном подборе параметров.



Рис 5. Дружественный интерфейс виртуального прибора

ОПИСАНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа состоит из двух частей, внешний вид ее предельно прост (рис. 5):

Часть 1 - для реализации разности матричных элементов

Часть 2 - для реализации операции дифференцирования

- Часть 1.

Единственное окно предназначено исключительно для ввода периода решетки, в длинах волн. Объект задается посредством создания bmp изображения размером 2^n на 2^n grayscale. Если объект задан в неверном формате, виртуальный прибор работать не будет.

При запуске ВП откроется диалог открытия файла, где следует указать файл, созданный как объект, во втором файловом диалоге следует указать имя файла, в который будет помещен результат. Если ввести новое имя файла, он будет создан.

Подбором периода синусоидальной решетки (в длинах волн) следует организовать систему, которая будет выполнять вычитание верхней половины изображения из нижней посредством совмещения порядков дифракции.

Возьмите любой период решетки и посмотрите результат моделирования, затем незначительно измените его и обратите внимание, как сдвинулись порядки дифракции, добейтесь их совмещения в фазе или противофазе - для сложения или вычитания.

- Часть 2.

Два окна параметров ВП окно предназначены для ввода периода решетки расстройки периода второй решетки, смещение решеток друг относительно друга реализуется автоматически.

Объект задается посредством создания bmp изображения размером 2^n на 2^n grayscale. Если объект задан в неверном формате, виртуальный прибор работать не будет.

При запуске ВП откроется диалог открытия файла, где следует указать файл, созданный как объект, во втором файловом диалоге следует указать имя файла, в который будет помещен результат. Если ввести новое имя файла, он будет создан.

Подбором периода решетки (в длинах волн) следует организовать систему, которая будет выполнять дифференцирование изображения.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Часть 1.

1. Создать рисунок-объект в программе paint или любой другой, способной создавать grayscale bmp изображения согласно описанию, приведенному в теории.
2. Запустить ВП, подбором параметров решетки, учитывая условие равноотстояния подобрать период решетки, необходимый для выполнения условия разности.
3. Описать порядок действий, в отчете привести исходный объект, указать его размеры в пикселях, период решетки и результаты моделирования.

Часть 2.

1. Создать рисунок-объект в программе paint или любой другой, способной создавать grayscale bmp изображения.
2. Запустить ВП, изменяя параметры решетки, подобрать период и расстройку частоты второй решетки, необходимые для выполнения дифференцирования входного изображения.
3. Описать порядок действий, в отчете привести исходный объект, указать его размеры в пикселях, период решетки и результаты моделирования

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Подготовьте отчет в соответствии с ходом работы, приведите исходные объекты и параметры виртуального прибора, на которых были получены успешные результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оптическая Голография. Под ред. Г. Колфилда, том II, М. Мир. 1982. .

Лабораторная работа №5

УСИЛЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ. ФОРМУЛА ФРАНЦА-НОДВИКА

Цель работы: Ознакомится с механизмом лазерного усиления на примере работы с многопроходовым усилителем.

Объект исследования: Фемтосекундная лазерная система на кристалле титан - сапфира

Задачи, решаемые в работе:

1. Исследование зависимости коэффициента усиления от числа проходов при фиксированной длине кристалла титан – сапфира.
2. Исследование зависимости коэффициента усиления от входного сигнала.

СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

В данной работе мы рассмотрим принципы усиления фемтосекундных импульсов. Использование усиления фазомодулированных лазерных импульсов с последующей их рекомпрессией (CPA-лазеры) широко применяется для получения импульсов тераваттной мощности. Как известно, суммарный коэффициент усиления в CPA-системах может достигать 10^9 - 10^{11} . Для эффективной реализации столь высокого усиления в качестве первого каскада, как правило, используется регенеративный усилитель, позволяющий легко пройти диапазон ненасыщенного усиления и достигнуть миллиджоульной энергии импульса. Однако в связи с тем, что резонатор регенеративного усилителя обычно содержит значительное число оптических элементов (электрооптический затвор, поляризаторы, линзы и др.), использование регенеративного усилителя для усиления лазерных импульсов с шириной спектра ~ 100 нм (что для $\lambda = 800$ нм соответствует длительности импульса менее 10 фс) в определенном смысле становится проблематичным.

Для реализации тераваттного CPA-лазера на титан-сапфире с длительностью импульса ~ 10 фс требуется детальный расчет системы с учетом всех ее оптических элементов. Кроме того, использование в оптической схеме лазера рефракционной оптики, вносящей различные фазовые набеги в пределах апертуры пучка (нескомпенсированные линзы, клинья), становится недопустимым. В связи с этим в ряде лабораторий для тераваттных лазерных Ti:Sapphire систем был сформирован подход, основанный на минимизации числа оптических элементов лазера и использовании многопроходных усилителей вместо регенеративных. Рис. 1.



Рис. 1. Схема многопроходового усилителя.

Многопроходовой усилитель

Использование многопроходовых усилителей – один из наиболее эффективных способов получения импульсов высокой энергии и высокой пиковой мощности. Ячейка Поккельса используется для инжекции одиночного импульса из цуга, генерируемого лазером фемтосекундных импульсов и прошедшего через стретчер, в усилитель, где он совершает 8-10 проходов через активную среду с малым пространственным смещением на каждом проходе. Соответственно, импульс несет существенно меньшие потери, приобретает меньший временной чирп и только один раз проходит через ячейку Поккельса, по сравнению с регенеративным усилителем. Импульс на выходе многопроходового усилителя легче поддается компрессии, и получение импульсов длительностью < 25 фс на выходе компрессора возможно без применения каких либо сложных методик. Кроме того, выделение одиночного импульса из цуга достаточно простая процедура и менее подвержено разбюстировке. По сравнению с регенеративным усилителем, в многопроходовой схеме нет необходимости использовать сложные системы генерации высоковольтных импульсов для ячейки Поккельса, электрооптический затвор может быть настроен при малых энергиях независимо от усилителя.

Формула Франца-Нодвика

Рассмотрим простую теоретическую модель, учитывающую потери в усилительной системе и насыщение усиления в активной среде: для однородных по сечению распределения интенсивности излучения накачки и усиливаемого сигнала, справедливо выражение, описывающее изменение плотности энергии усиливаемого импульса за один проход в резонаторе усилителя:

$$F_{out} = F_{sat} \ln \left\{ 1 + G \left[\exp \left(\frac{F_{in}}{F_{sat}} \right) - 1 \right] \right\}. \quad (1)$$

Это выражение известно в литературе как формула Франца-Нодвика. Здесь F_{sat} - плотность энергии насыщения, G - усиление слабого сигнала за один проход. Считая, что потери $1-T$ при однократном прохождении усиливаемого сигнала в усилителе постоянны, используем формулу столько раз, сколько имеется проходов через резонатор. Запасенная при первом проходе активной средой плотность энергии

$$F_{sto} = \eta F_{abs} \xi. \quad (2)$$

где F_{abs} - плотность поглощенной энергии накачки; $\xi = \lambda_p / \lambda_{las}$ - квантовый дефект; λ_p и λ_{las} - длины волн усиливаемого сигнала и накачки; η - отношение квадратов их апертур. Учтем, что усиление слабого сигнала:

$$G = \exp(F_{sto} / F_{sat}). \quad (3)$$

а запасенные в активной среде плотность энергии и энергия усиливаемого импульса изменяются от прохода к проходу следующим образом:

$$F_{in}[k] = TF_{out}[k-1], \quad F_{sto}[k+1] = F_{sto}[k] + F_{out}[k]. \quad (4)$$

В случае ненасыщенного усиления деформацию спектра в лазерной системе можно оценить, учитывая только неактивные потери, обусловленные спектральной зависимостью отражения от оптических элементов лазера, а также спектральную зависимость усиления активной среды:

$$I_{out}(\omega) = I_{in}(\omega) R_{dg}^s(\omega) R_{dm}^m(\omega) R_{Au}^n(\omega) G^p(\omega), \quad (5)$$

где $I_{in}(\omega)$ и $I_{out}(\omega)$ - спектральные интенсивности на входе и выходе лазера; $R_{dg}^s(\omega)$ - отражение от дифракционных решеток стретчера; $R_{dm}^m(\omega)$ и $R_{Au}^n(\omega)$ - спектральные зависимости отражения зеркал с диэлектрическим и золотым покрытием, $G(\omega)$ - спектральная зависимость усиления активной среды. Показатели степени учитывают: s - число отражений от дифракционных решеток, m - диэлектрических зеркал и n - золотых зеркал, а также число проходов через активную среду p .

ОПИСАНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Виртуальный прибор рассчитывает энергию на выходе из многопроходowego усилителя, опираясь на уравнения, указанные выше. Названия элементов управления виртуального прибора соответствуют обозначениям, используемым в формулах.

Number of passes	– число проходов в усилителе
wavelength-p (nm)	– центр линии усиления
wavelength-las (nm)	– длина волны излучения накачки
aperture-p (um)*	– диаметр пучка усиливаемого сигнала
aperture-las (um)	– диаметр пучка излучения накачки
F-sat (J/cm ²)	– плотность энергии насыщения для Ti: Sapphire

E-abs (mJ)	– поглощаемая энергия накачки
E-in (nJ)	– энергия усиливаемого сигнала
1-T	– потери за 1 проход
E-out (J)	– энергия излучения на выходе из усилителя
K	– коэффициент усиления

При работе с прибором следует помнить, что реальные значения энергии на выходе из усилителя для фемтосекундного излучения не должны превышать нескольких мДж, поскольку при больших значениях происходит разрушение кристалла. Для избегания этого, в реальной конструкции многопроходового усилителя пучок расширяют с увеличением числа проходов, и на выходе из усилителя диаметр пучка становится около 5 мм.

*Примечание: Приставка μ перед метрами в LabVIEW обозначает микроны.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Снять зависимости коэффициента усиления и энергии на выходе из усилителя от числа проходов (1-8) при фиксированных начальных параметрах.
2. Увеличивая значение поглощаемой энергии накачки, и снимать зависимости аналогичные п. 1. Найти порог насыщения
3. повторить пункты 1 и 2 для разных значений потерь в усилителе.
4. Рассмотреть, как влияет изменение диаметров пучков излучения и накачки на усиление.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Подготовьте отчет в соответствии с ходом работы, в котором графически отобразите полученные результаты. Графики представьте таким образом, чтобы можно было проследить изменение кривой усиления с изменением параметров усилителя.

Дайте ответы на контрольные вопросы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Опишите принцип действия регенеративного усилителя?
2. Как меняется мода излучения усиливаемого сигнала по мере прохода усилителя?
3. Чем обусловлено сужение и сдвиг спектра усиливаемого импульса, которое имеет место в реальных фемтосекундных системах?
4. В каком диапазоне длин волн может варьироваться излучение накачки для титан-сапфира? Почему?

ЛИТЕРАТУРА

1. О. Звелто. Принципы лазеров. М. Мир. 1984.
2. М.П. Калашников, Г. Зоммерер, П. Никлес, В. Занднер,
"Многопроходный усилитель для тераваттных лазерных систем на сапфире с титаном", Квант. Электроника 24 №5, стр. 415-418 (1997)



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «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 годы.

КАФЕДРА ФОТОНИКИ И ОПТОИНФОРМАТИКИ

Кафедра Фотоники и Оптикоинформатики создана в 2002 году и работает под руководством лауреата премии Ленинского комсомола по науке и технике профессора С.А.Козлова. Одной из важнейших задач кафедры является организация учебного процесса и подготовка специалистов по оптикоинформатике – стремительно развивающейся новой области науки и техники, в которой разрабатываются оптические технологии сверхбыстрой передачи, обработки и записи информации, создаются быстродействующие оптические компьютеры и системы искусственного интеллекта. Разработка таких оптических информационно-телекоммуникационных технологий, представляющих собой информационные технологии нового поколения, является приоритетным направлением развития российской науки, техники и технологий.

В рамках образовательного направления 200600 студентам читаются лекционные курсы по оптической физике, теории информации и кодирования, архитектуре вычислительных систем, технологии программирования, цифровым оптическим вычислениям, оптическим технологиям искусственного интеллекта, голографическим системам записи и отображения информации, другим актуальным проблемам оптикоинформатики, а также по квантовой информатике. Эти лекционные курсы поддержаны эксклюзивными учебно-исследовательскими экспериментальными практикумами.

Научные подразделения кафедры:

- Проблемная лаборатория волновых процессов, основная задача которой – организация научного руководства студентами и аспирантами молодежной научной ассоциации «Оптика-XXI век», руководитель: д. ф.-м. н., проф. С. А. Козлов.
- Научно-образовательный центр фемтосекундной оптики и фемтотехнологий – руководитель: д. ф.-м. н., проф. В. Г. Беспалов.
- Лаборатория параллельных вычислений, нанофотоники и оптоинформатики – руководитель: д. ф.-м. н., проф. Н. Н. Розанов.
- Лаборатория квантовой информатики – руководитель: к. ф.-м. н., доцент С. А. Чивилихин.
- Лаборатория прикладной голографии – руководитель: к. ф.-м. н., доцент О. В. Андреева

На кафедре сформирована признанная научно-педагогическая школа по фемтосекундной оптике и фемтотехнологиям – руководители: д. ф.-м. н., проф. С. А. Козлов и д. ф.-м. н., проф. В. Г. Беспалов.

Среди студентов и аспирантов кафедры – стипендиаты Президента и Правительства Российской Федерации, победители конкурсов научных работ, проводимых Российской Академией наук, крупнейшими мировыми научными обществами, такими как INTAS (Фонд научно-исследовательских работ Европейского сообщества), SPIE (Международное общество инженеров-оптиков), CRDF (Американский фонд гражданских исследований и развития), OSA (Оптическое общество Америки).

Кафедра Фотоники и Оптоинформатики постоянно занимает призовые места по итогам конкурсов ведущих научно-педагогических коллективов Университета ИТМО.

Н.В. Петров
А.А. Городецкий
В.Г. Беспалов

ОСНОВЫ ОПТОИНФОРМАТИКИ

Методические материалы
к виртуальному лабораторному практикуму

В авторской редакции

Дизайн

Н. В. Петров

Верстка

Н. В. Петров

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

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Лицензия ИД № 00408 от 05.11.09

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе