



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Робототехника и мехатроника»

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ** к проведению лабораторных занятий

# **«Исследование свойств лазерного луча, используемого для передачи информации по оптическому каналу»**

Авторы  
Карнаухов Н.Ф.,  
Мартынов В.В.

Ростов-на-Дону, 2015



## Аннотация

Рассматриваются и экспериментально исследуются основные свойства лазерного луча, позволяющие использовать его для передачи информации (в том числе измерительной) по оптическим каналам связи, для прецизионных измерений расстояний и перемещений элементов мехатронных систем; рассматриваются и экспериментально исследуются способы формирования измерительного лазерного пучка.

Для студентов дневной формы, обучающихся по направлению 221000 «Мехатроника и робототехника» подготовки бакалавров, профили «Мехатроника» и «Роботы и робототехнические системы».

## Авторы

к.т.н., профессор Н.Ф. Карнаухов

к.т.н., доцент В.В. Мартынов





## Оглавление

1. Цель работы .....	4
2. Используемые приборы и оборудование.....	5
3. Элементы теории.....	6
Методы оптического измерения расстояний (перемещений) ...	7
4. Описание лабораторного стенда .....	10
5. Требования техники безопасности при работе с лазерным излучением .....	11
6. Программа выполнения работ .....	12
7. Содержание отчета .....	14
8. Контрольные вопросы .....	15
Литература.....	16



## **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Ознакомление со свойствами лазерного луча, основными принципами передачи информации по оптическим каналам связи, методами измерения расстояний и перемещений с использованием лазера, способами формирования измерительного лазерного пучка; экспериментальное определение параметров луча и формирование измерительного пучка с заданными параметрами.



## 2. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

При выполнении работы используются оптические элементы, показанные на рис. 1: 1 – призма, 2 – дифракционная решетка, 3 – сферическая линза, 4 – цилиндрическая линза, 5 – угловой отражатель (А – падающий луч, В – параллельный ему отраженный луч). Кроме того, в работе используются поляризационная пластина, гелий-неоновый лазер ЛГН-207Б мощностью 3 мВт с длиной волны 0,62 мкм (красный цвет), полупроводниковые лазеры, дающие излучение синего и зеленого цветов, оптические диски CD, DVD, BluRay.

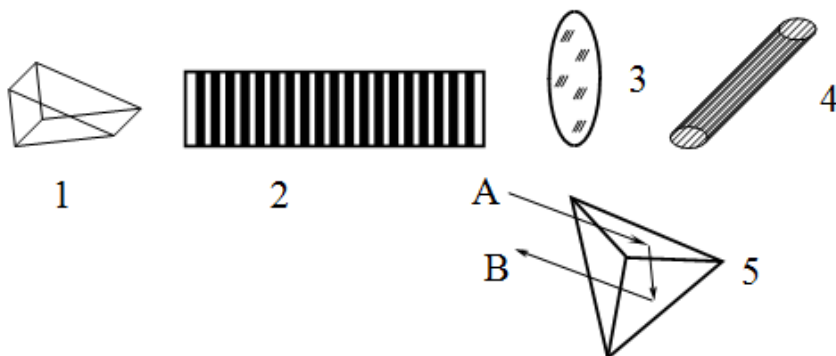


Рис.1. Оптические элементы, используемые для исследования параметров лазерного луча, а также для измерения расстояний и перемещений



### 3. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ

Основными свойствами лазерного луча являются высокая яркость, монохроматичность (одноцветность), когерентность (разность фаз всех световых волн луча не зависит от времени), поляризация и малая расходимость. Монохроматичным называется излучение, в котором все колебания имеют одну и ту же частоту  $\nu$ . Степень монохроматичности характеризуется шириной оптической спектральной линии  $\Delta\nu$ . Излучение лазера наиболее близко к идеальному монохроматичному ( $\Delta\nu \leq 10^3$  Гц). Монохроматичный луч не разлагается оптической призмой на составляющие цвета и может быть сфокусирован собирающей линзой в пятно меньшего диаметра, чем многоцветный луч. В поляризованном луче электрические векторы всех световых волн имеют одно и то же направление. Когерентность лазерного луча проявляется, в частности, в том, что при попадании его на дифракционную решетку он расщепляется на множество лучей нулевого, первого, второго и более высоких порядков (рис. 2).

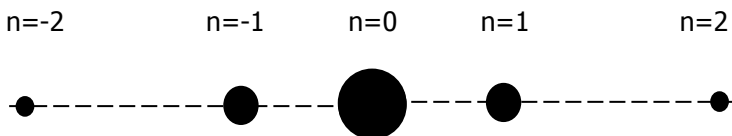


Рис.2. Расщепление лазерного луча круглого сечения на несколько пучков различных порядков  $n$ .

Постоянная  $d$  дифракционной решетки (равная сумме ширины штриха и ширины прозрачного промежутка между двумя соседними штрихами, рис. 3), угол  $\psi$  между нормалью к плоскости дифракционной решетки и направлением оси выходящего из решетки луча  $n$ -го порядка и длина волны  $\lambda$  излучения лазера связаны между собой соотношением

$$d \sin \psi = \pm n \lambda, \quad (1)$$

позволяющим экспериментально определить либо длину волны  $\lambda$  излучения лазера при известном значении  $d$ , либо  $d$  при известной длине волны.

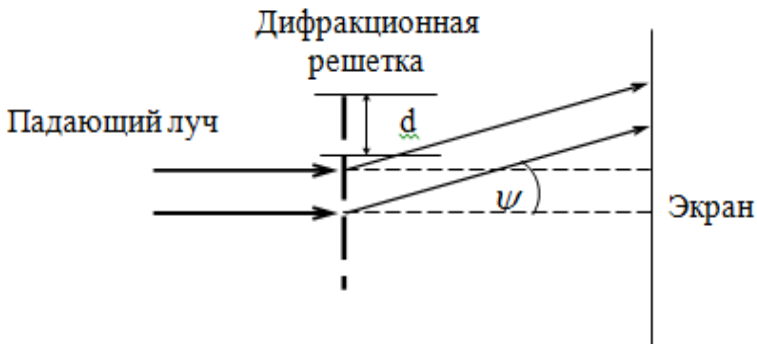


Рис.3. Дифракция лазерного луча на дифракционной решетке (показан только выходящий пучок первого порядка).

При формировании измерительного лазерного пучка используются собирающие сферические и цилиндрические линзы. (Вспомним, что, проходя через сферическую линзу, параллельный лазерный луч собирается в фокусе линзы, а затем расходится в виде светового конуса; при прохождении через цилиндрическую линзу луч фокусируется в линию, а затем веерообразно расходится в плоскости, перпендикулярной оси линзы; в плоскости же, проходящей через оси луча и линзы, размер луча не изменяется) /1/.

Оптические схемы, формирующие лазерный пучок, используются для получения светового пятна малого диаметра в лазерных системах слежения, наведения, прицеливания, прецизионного позиционирования узлов мехатронных систем, при считывании информации с оптических носителей (CD, DVD, BluRay), а также для ввода лазерного луча в приемный торец оптоволоконна при передаче информации по оптоволоконным линиям связи /1, 2/.

### Методы оптического измерения расстояний (перемещений)

**Подсчет непрозрачных штрихов, нанесенных на стеклянную подложку.** Элементы оптопары (источник излучения и фотоприемник) располагаются по обе стороны подложки. При перемещении подложки относительно оптопары непрозрачные штрихи периодически перекрывают



## Исследование свойств лазерного луча, используемого для передачи информации по оптическому каналу

свет, направленный на фотоприемник, в результате чего фотоприемник выдает электрические импульсы, количество которых пропорционально величине измеряемого перемещения. Для определения направления перемещения обычно используют две оптопары, сдвинутые друг относительно друга на 0,25 шага штрихов подложки.

**Методы раstra и муара.** Эти методы основаны на использовании двух растров с разными (метод раstra) или одинаковыми (метод муара) шагами. При взаимном смещении растров в проходящем свете наблюдаются области сгущений и разрежений, причем наблюдаемое перемещение этих областей значительно больше, чем измеряемое.

**Интерференционный метод.** Лазерный луч разделяется на два пучка, которые затем попадают на фотоприемник, проходя разные расстояния; первый пучок (опорный) направляется на фотоприемник непосредственно, а второй (измерительный) – после отражения от исследуемого объекта. Поскольку луч лазера обладает свойством когерентности, встретившиеся пучки света интерferируют, в результате чего на фотоприемнике наблюдаются чередующиеся светлые и темные полосы. Перемещение объекта вызывает изменение разности пути между опорным и измерительным пучками, в результате чего темные и светлые полосы на фотоприемнике перемещаются, что, в свою очередь, вызывает появление импульсов фототока. По количеству импульсов фототока судят о величине перемещения объекта. Интерференционный метод обладает очень высокой точностью (доли микрометра) и используется в прецизионных мехатронных устройствах, например гексаподах, для измерения относительного перемещения его узлов.

**Локация.** Измеряется промежуток времени между моментом появления переднего фронта испускаемого лазером короткого светового импульса и моментом регистрации фронта этого же импульса, отраженного от объекта, расстояние до которого измеряется. Искомое расстояние определяется как половина произведения измеренного промежутка времени на скорость света. В качестве зеркала, отражающего луч обратно, часто используется уголкоый отражатель (поз. 5 на рис. 1), устраняющий необходимость точно направлять отраженный «зайчик» в обратном направлении (именно с помощью таких уголковых отражателей, располагавшихся на крышке лунохода, с высокой точностью определялось мгновенное значение





Исследование свойств лазерного луча, используемого  
для передачи информации по оптическому каналу

расстояние от Земли до Луны во время ее лазерной локации).

**Сканирование.** Измерительный луч лазера обегает (сканирует) по специальной траектории (чаще всего линейно или по круговой спирали) пространство, в котором расположен исследуемый объект. Искомое расстояние определяется по времени прохождения луча между заданными точками объекта /3/.



## **4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА**

Лабораторные работы выполняются на специальном стенде, собранном на базе оптической скамьи ОСК-2. Оптическая скамья представляет собой массивную стальную балку специального сечения с расположенными на ней держателями оптических элементов. В основании оптической скамьи имеется шкала с миллиметровыми делениями для измерения расстояний между оптическими элементами. Элементы, закрепленные на оптической скамье, позволяют формировать световые пучки различного сечения и выполнять оптические измерения.



## **5. ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

Несмотря на очень малую мощность, излучение используемого лазера может представлять опасность при попадании в глаз. В связи с этим необходимо соблюдать следующие требования:

- 1) во время работы лазер должен быть закреплен, а ось луча должна располагаться ниже уровня глаз;
- 2) не заглядывать в выходное отверстие лазера;
- 3) при размещении на пути луча предметов с зеркальной поверхностью следить, чтобы отраженный луч не попадал в глаза никому из находящихся в помещении людей.



## 6. ПРОГРАММА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

1. Используя знания о свойствах лазерного луча из курса физики, убедиться экспериментально в его поляризации, монохроматичности и когерентности с помощью поляризационной пластины, оптической призмы и дифракционной решетки. Ознакомиться с основным свойством уголкового отражателя: направляя на него лазерный луч с расстояния нескольких метров, убедиться, что отраженный луч направляется обратно в сторону лазера, независимо от ориентации уголкового отражателя.

2. С помощью цилиндрической линзы сформировать из лазерного луча узкую вертикальную световую полосу (она будет использоваться в следующей работе).

3. Разместив на пути лазерного луча дифракционную решетку, получить на экране дифракционную картину, подобную изображенной на рис. 2. Замерив расстояния от решетки до пятна нулевого порядка и между центрами пятен нулевого и первого (или второго) порядков, определить с помощью формулы (1) постоянную  $d$  используемой дифракционной решетки. Повторить измерения, используя в качестве отражающей дифракционной решетки диски CD, DVD или Blu Ray (рис. 4). Рассчитанное значение  $d$  определит расстояние между дорожками на этих оптических дисках.

4. С помощью сферических линз получить сходящийся и расходящийся световые пучки.

5. Выполнить необходимые измерения и рассчитать диаметр  $d_1$  лазерного луча на выходе из лазера. Для этого, расположив короткофокусную сферическую линзу непосредственно у выходного отверстия лазера и направив расходящийся пучок на черный экран, измерить диаметр  $D$  светового пятна на экране и расстояние  $L$  от сферической линзы до экрана. Зная фокусное расстояние  $F$  линзы рассчитать (используя геометрические построения) диаметр  $d_1$ .



## Исследование свойств лазерного луча, используемого для передачи информации по оптическому каналу

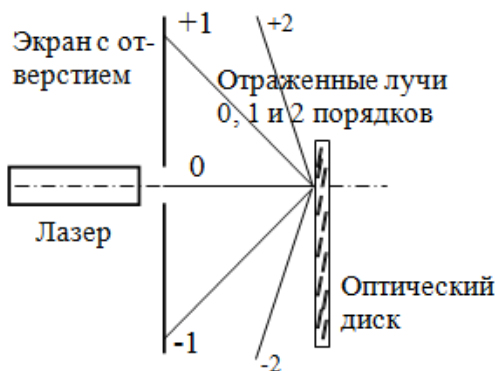


Рис.4. Оптическая схема измерения расстояния между дорожками оптического диска

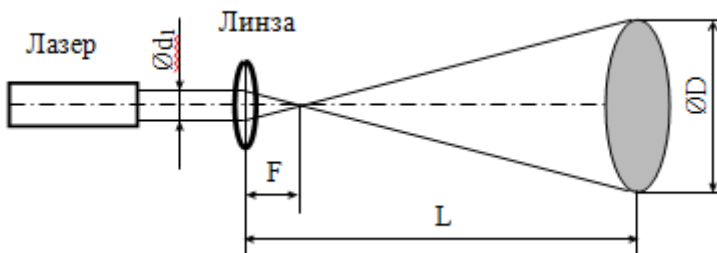


Рис.5. Оптическая схема измерения диаметра лазерного луча

6. Повторить определение диаметра  $d_2$  лазерного луча, расположив короткофокусную линзу на расстоянии 20-50 см от выходного отверстия лазера. Зная значения диаметров луча на разных расстояниях от выходного отверстия лазера и расстояние  $b$  между измеряемыми сечениями луча, рассчитать угол расходимости луча по формуле  $\alpha = 180^\circ \arctg(d_2 - d_1) / \pi b$ . Используя геометрические построения, объяснить происхождение последней формулы.

7. Определить длину волны  $\lambda_1$  синего (или зеленого) лазера, используя дифракционную решетку и результаты ранее выполненных измерений.



## **7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

Каждый студент оформляет отчет о проделанной работе индивидуально. На титульном листе отчета приводятся наименование работы, номер группы, фамилия, инициалы и подпись студента, фамилия преподавателя, год выполнения работы (внизу). Внутри отчета - цель работы, типы используемых приборов и оборудования, используемые оптические схемы, расчетные формулы, таблицы с экспериментальными данными (с указанием единиц измерения), результаты проведенных исследований, краткие выводы по работе, дата выполнения работы.



## 8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы основные особенности лазерного луча?
2. Как можно экспериментально убедиться в монохроматичности, когерентности и поляризации лазерного луча?
3. Как изменяется луч при прохождении через цилиндрическую линзу?
4. Как измеряется перемещение (расстояние) оптическими методами?
5. Каковы меры безопасности при работе с лазерным излучением?
6. Как измеряются диаметр и расходимость лазерного луча?
7. Как по дифракционной картине определить постоянную дифракционной решетки или длину волны излучения лазера?
8. Как по дифракционной картине определить расстояние между дорожками оптического диска?
9. Как по дифракционной картине определить длину волны вспомогательного синего (или зеленого) лазера?



## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Конюхов Н. Е. и др. Оптоэлектронные измерительные преобразователи. Л.: «Энергия», 2010.
2. Оптические дисковые системы: Пер. С англ./ Г. Боухьюз и др. - М.: Радио и связь, 2011.
3. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин: (Измерительные преобразователи). Учеб. пособие для вузов. - Л.: Энергоатомиздат, 2012.