

№ 4434

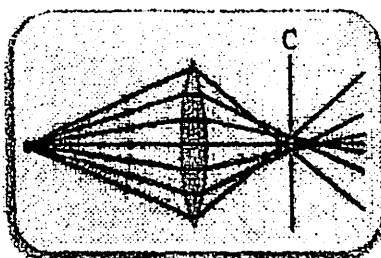
**МИНИСТЕРСТВО ПО РАЗВИТИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ МУХАММАДА АЛ-ХОРАЗМИЙ**

КАФЕДРА ФИЗИКИ

**Методическое пособие по выполнению лабораторных работ по
физике на многомодульном лабораторном устройстве**

ОПТИКА



Ташкент 2022

Авторы: К.П. Абдурахманов, Х.М.Холмедов, А.С.Ганиев,
“ОПТИКА”. Методическое пособие для выполнения лабораторных
работ по предмету «Физика». – Ташкент: ТУИТ имени Мухаммада
ал-Хоразмий. 2022, 68 с.

Данное методическое пособие разработано на основе учебной
программы предмета «Физика» для студентов 1-курса бакалавриата
Ташкентского Университета информационных технологий имени
Мухаммада ал-Хоразмий, в ней представлены: темы лабораторных
работ, цель работы, необходимое оборудование, краткие
теоретические сведения, порядок выполнения работы,
необходимые формулы и понятия для выполнения математических
расчётов, а также таблицы для ввода данных. Также представлены
вопросы по теоретическому материалу, а также список литературы
для самостоятельного изучения.

Данное методическое пособие предназначено для студентов
1 го курса всех направлений бакалавриата ТУИТ имени Мухаммада
ал-Хоразмий.

Методическое пособие утверждено и рекомендовано к
тиражированию НМС ТУИТ имени Мухаммада ал-Хоразмий
(протокол №5(162)от «27» 12 _____ 2022 г.)

Ташкентский университет информационных технологий
имени Мухаммада ал-Хоразмий, 2022

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

При выполнении лабораторной работы осуществляются два последовательных этапа:

- а) измерения в ходе опытов;
- б) вычисление и обработка результатов измерений.

Измерением какой-либо физической величины называется операция, в результате которой мы узнаем, во сколько раз измеряемая величина больше (или меньше) соответствующей величины, принятой за эталон.

Различают два вида измерений: прямое и косвенное.

Прямыми называют такие измерения, при которых измеряемая величина определяется каким-либо прибором. Известно, что непосредственно могут быть измерены лишь немногие физические величины, такие, как длина, масса тела, промежутки времени, температура и др. Остальные величины мы определяем с помощью вычислений, пользуясь функциональными связями между физическими величинами, найденными прямыми измерениями. Таким образом, если физическая величина определяется на основании формулы, то такое измерение называется косвенным.

Основное качество измерения — его точность. Оценка точности результата измерения — неотъемлемая часть эксперимента. Эту оценку можно сделать, найдя погрешность измерения. При оценке измерений следует исходить из того, что

Авторы: К.П. Абдурахманов, Х.М.Холмедов, А.С.Ганиев,
“ОПТИКА”. Методическое пособие для выполнения лабораторных
работ по предмету «Физика». – Ташкент: ТУИТ имени Мухаммада
ал-Хоразмий. 2022, 68 с.

Данное методическое пособие разработано на основе учебной
программы предмета «Физика» для студентов 1-курса бакалавриата
Ташкентского Университета информационных технологий имени
Мухаммада ал-Хоразмий, в ней представлены: темы лабораторных
работ, цель работы, необходимое оборудование, краткие
теоретические сведения, порядок выполнения работы,
необходимые формулы и понятия для выполнения математических
расчётов, а также таблицы для ввода данных. Также представлены
вопросы по теоретическому материалу, а также список литературы
для самостоятельного изучения.

Данное методическое пособие предназначено для студентов
1 го курса всех направлений бакалавриата ТУИТ имени Мухаммада
ал-Хоразмий.

Методическое пособие утверждено и рекомендовано к
тиражированию НМС ТУИТ имени Мухаммада ал-Хоразмий
(протокол №5(162) от «27» 12 _____ 2022 г.)

Ташкентский университет информационных технологий
имени Мухаммада ал-Хоразмий, 2022

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

При выполнении лабораторной работы осуществляются два последовательных этапа:

- а) измерения в ходе опытов;
- б) вычисление и обработка результатов измерений.

Измерением какой-либо физической величины называется операция, в результате которой мы узнаем, во сколько раз измеряемая величина больше (или меньше) соответствующей величины, принятой за эталон.

Различают два вида измерений: прямое и косвенное.

Прямыми называют такие измерения, при которых измеряемая величина определяется каким-либо прибором. Известно, что непосредственно могут быть измерены лишь немногие физические величины, такие, как длина, масса тела, промежутки времени, температура и др. Остальные величины мы определяем с помощью вычислений, пользуясь функциональными связями между физическими величинами, найденными прямыми измерениями. Таким образом, если физическая величина определяется на основании формулы, то такое измерение называется косвенным.

Основное качество измерения — его точность. Оценка точности результата измерения — неотъемлемая часть эксперимента. Эту оценку можно сделать, найдя погрешность измерения. При оценке измерений следует исходить из того, что

все измерения являются приближенными с ограниченной точностью. Приближенные величины можно разделить на три типа:

1. **Математические приближенные величины:** π , e , логарифмы чисел и т.п., приводимые в специальных таблицах. Они могут быть взяты практически с любой точностью. При вычислениях берут такие их значения, которые превышают на порядок точность других рассматриваемых величин.
2. **Физические постоянные.** Постоянные (плотность, коэффициент расширения, удельное сопротивление и т.п.) получены в результате точных измерений с малой погрешностью, которую необходимо учитывать лишь при очень точном измерении других связанных с ними величин. **Фундаментальные, или мировые, постоянные** (гравитационная постоянная, число Авогадро, постоянная Больцмана, постоянная Планка, скорость света и др.) определяются с максимально возможной для данного времени точностью измерений. Погрешность измерений мировых постоянных обычно намного меньше погрешности измерений рядовых постоянных, поэтому ею, как правило, пренебрегают.
3. **Данные обычных лабораторных измерений.** Точность их ниже, чем точность величин первого и второго типа, указанных выше. Ошибки, допущенные при измерениях, делятся на систематические, случайные и грубые (просчеты).
4. **Систематические ошибки** могут быть обусловлены методом измерений. Например, определение ускорения свободного

падения g из периода колебаний математического маятника по

формуле:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

является приближенным, прежде всего, потому, что формула для вычисления приближенная. Более точна формула

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g} \left[1 + \left(\frac{1}{2} \right)^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right]}$$

Систематическая ошибка может вноситься измерительными приборами или инструментом (за счет смещения нуля, трения в подвижной системе прибора и т.д.). Кроме того, каждый прибор имеет определенный класс точности показаний (0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0). Это означает, что максимальные расхождения деления его шкалы с истинными значениями, или погрешность измерений, может составить для отдельных измерений соответственно: 0,1; 0,2; ... 4% от наибольшего значения величины, измеряемой по шкале прибора. Величина систематической ошибки одинакова во всех измерениях, проводимых одним и тем же методом с помощью одних и тех же приборов, и не уменьшается с увеличением числа измерений.

Для уменьшения влияния систематических ошибок требуются тщательный анализ метода измерений, проверка показаний приборов по другим, более точным и надежным приборам и соответствующее их исправление, учет постоянно действующих внешних влияний.

Классификация ошибок измерения по характеру проявления в эксперименте

Грубые ошибки (просчеты) вызываются неверными отсчетами или неправильными записями показаний приборов, просчетами при вычислениях, являются следствием недостатка внимания и усталости экспериментатора.

Для их выявления нужно анализировать результаты сразу после их измерения и вычисления. Если результат измерения в эксперименте значительно отличается от результатов других измерений, то его следует исключить из рассмотрения и провести повторные измерения. Если при расчетах получен результат, значительно отличающийся от других, то необходимо повторить расчеты.

Случайные ошибки являются неизбежным следствием любых измерений и обусловлены:

а) неточностью отсчетов по шкале приборов и инструментов;
б) не идентичностью условий повторных измерений;
в) беспорядочными изменениями внешних условий (температуры, давления, силового поля и т.д.), которые невозможно контролировать;

г) всеми другими воздействиями на измерения, причины которых нам неизвестны. Величину случайной погрешности можно свести к минимуму путем многократного повторения эксперимента и соответствующей математической обработки полученных результатов.

Случайные ошибки подчиняются определенной закономерности. Функция распределения случайных погрешностей впервые была определена Гауссом, который создал теорию случайных погрешностей, так называемый закон нормального распределения случайных погрешностей.

Систематическая ошибка – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях.

Классификация погрешностей по источнику появления

Методическая погрешность – составляющая погрешности измерений, зависящая от несовершенства метода измерений, несовершенства теории, положенной в основу экспериментального метода и т.п.

Погрешность эксперимента – совокупность погрешностей, связанных непосредственно с измерениями. Это погрешность отсчитывания показаний приборов, погрешность интерполяции, погрешность от параллакса и т.п.

Погрешность средств измерения – инструментальная погрешность. Она зависит от погрешностей, связанных с принципом действия и точностью изготовления применяемых измерительных приборов. Включает в себя как систематическую, так и случайную составляющие.

Погрешность измерения.

Любая физическая величина обладает истинным значением, идеальным образом отражающим соответствующие свойства объекта.

Однако, несовершенство средств измерений, физическая природа самой измеряемой величины, а также другие факторы приводят к тому, что эксперимент дает не истинное значение физической величины, а ее приближенное значение.

Действительным значением физической величины называют значение физической величины, найденное экспериментальным путем. Это значение должно быть достаточно близко к истинному значению, чтобы быть использованным вместо него.

При многократных измерениях в качестве действительного значения физической величины принимают среднее арифметическое значение результатов измерений. Оценка погрешности производится следующим образом:

1. Проводят серию из n измерений.

2. Вычисляют среднее арифметическое значение результатов измерений.

3. Используя методы математической статистики и теории вероятностей, определяют ширину доверительного интервала, о котором известно, что истинное значение измеряемой физической величины лежит в его пределах с заданной вероятностью

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

4. Абсолютную погрешность принимают равной половине ширины доверительного интервала .

5. Значение измеренной физической величины записывают в виде:

$$x = (\bar{x} \pm \Delta x).$$

Абсолютная и относительная погрешность.

По форме числового выражения различают абсолютную и относительную погрешности.

Абсолютная погрешность приближенного числа есть абсолютная величина разности между истинным значением величины и данным ее приближенным значением.

При однократных измерениях

$$\Delta x = |x_{\text{изм}} - x|$$

где x – истинное значение; $x_{\text{изм}}$ – измеренное значение.

При многократных измерениях

$$\Delta x = |\bar{x} - x|$$

где x – истинное значение; \bar{x} – среднее арифметическое значение.

Поскольку истинное значение величины обычно остается неизвестным, неизвестной остается также и абсолютная погрешность. Вместо нее приходится рассматривать оценку абсолютной погрешности, так называемую предельную абсолютную погрешность, которая означает число, не меньшее абсолютной погрешности (далее, в том случае, если это не принципиально, будем под абсолютной погрешностью понимать именно предельную абсолютную погрешность).

Абсолютная погрешность - показывает, насколько неизвестное экспериментатору истинное значение измеряемой величины может отличаться от измеренного значения. Результат измерения записывают так:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x$$

Относительной погрешностью δx приближенного значения величины X называют абсолютную величину отношения его абсолютной погрешности к истинному значению этой величины. Часто эту относительную погрешность выражают в процентах. С учетом положительности абсолютной погрешности можно

записать:

$$\delta x = \frac{\Delta x}{x}$$

Ввиду того, что фактически вместо абсолютной погрешности приходится рассматривать предельную, относительную погрешность также заменяют предельной относительной погрешностью, которая означает число, не меньшее относительной погрешности.

o

Лабораторная работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

ВВЕДЕНИЕ

Интерференция волн - явление усиления или ослабления амплитуды результирующей волны в зависимости от соотношения между фазами складывающихся в пространстве двух или нескольких волн с одинаковыми периодами. Интерференция имеет место для волн любой природы – акустических, радио, световых и т.д. Условием наблюдаемости интерференционной картины является когерентность интерферирующих волн. Напомним, что две волны одной частоты называются когерентными, если разность фаз колебаний, возбуждаемых волнами в данной точке пространства, постоянна во времени.

Наилучшие условия для наблюдения устойчивой картины интерференции могут быть созданы, если в качестве источников света использовать лазеры, излучение которых обладает очень высокой степенью когерентности. Кроме того, излучение лазера монохроматично, а в монохроматическом свете интерференционная картина получается наиболее четкой.

Целью настоящей работы является изучение интерференции электромагнитных волн видимого диапазона, генерируемых газовым гелий – неоновым лазером, и исследование характеристик интерференционной картины.

Методической основой работы является классический интерференционный опыт Юнга.

1. КРАТКАЯ ТЕОРИЯ ОПЫТА ЮНГА

В эксперименте Юнга источниками света служат две узкие щели S_1 и S_2 , освещаемые различными участками одного и того же волнового фронта. Световые пучки, проходящие через щели S_1 и S_2 , расширяются в результате дифракции и частично перекрываются. Во всей области перекрытия наблюдается чередование мест с максимальной и минимальной интенсивностью света. Если в эту область внести экран, то на нем будет видна интерференционная картина, которая имеет вид чередующихся светлых и темных полос. Вычислим ширину этих полос в предположении, что экран параллелен плоскости, проходящей через щели S_1 и S_2 , и находится от нее на расстоянии, значительно превышающем расстояние между щелями (рис.1.1). На рис. 1.1 bb',cc' – экраны; S, S_1, S_2 – щели; d – расстояние между щелями; l – расстояние между экранами; h – координата точки наблюдения M ; x_1, x_2 – геометрические пути интерферирующих лучей; Δ – разность хода лучей. Положение точки на экране будем характеризовать координатой h , отсчитываемой от точки O относительно которой щели S_1 и S_2 расположены симметрично. Известно [6.1], что условиями максимумов и минимумов интенсивности интерференционной картины являются

$$\Delta = \pm m\lambda_0 \quad (\text{максимум}), \quad (1.1)$$

$$\Delta = \pm (m+1/2)\lambda_0 \quad (\text{минимум}), \quad (1.2)$$

где Δ – оптическая разность хода, равная разности оптических длин путей, проходимых интерферирующими волнами;

$m = 0, 1, 2, \dots$ – порядок максимума или минимума интенсивности;

λ_0 — длина волны в вакууме

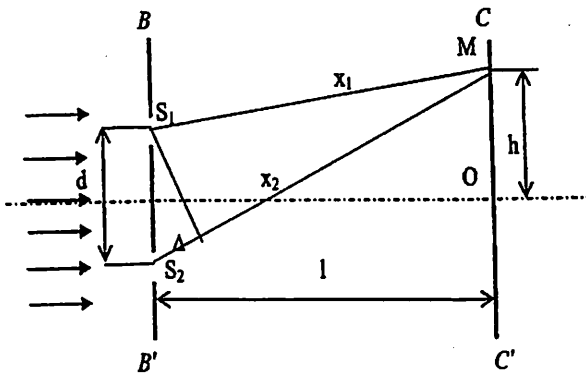


Рисунок 1.1. Схема опыта Юнга

С учетом того, что оптическая длина пути, равная произведению геометрической длины пути на показатель преломления среды n , в условиях проводимого эксперимента ($n = 1$) совпадает с геометрической длиной пути, а также, что $l \gg d$, из Рис.1.1 легко определить величину Δ :

$$\Delta = x_2 - x_1 = \frac{x_2^2 - x_1^2}{x_1 + x_2} \approx \frac{2hd}{2l} = h \frac{d}{l}. \quad (1.3)$$

Тогда координата m -го максимума определяется как

$$h_m^{\max} = m \frac{l}{d} \lambda_0, \quad (1.4)$$

где $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, а координата m -го минимума — как

$$h_m^{\min} = (m + \frac{1}{2}) \frac{l}{d} \lambda_0, \quad (1.5)$$

где $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Воспользовавшись формулой (1.5), можно найти ширину интерференционной полосы, определяемую как расстояние между соседними минимумами:

$$\Delta h = h_{m+1}^{\min} - h_m^{\min} = \frac{l\lambda_0}{d}. \quad (1.6)$$

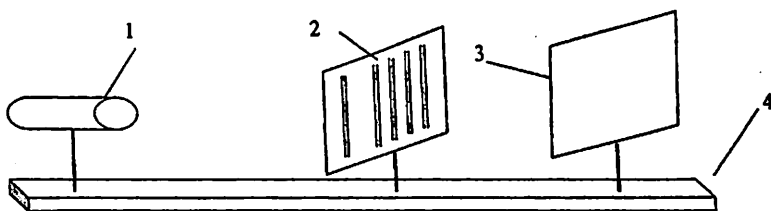
Из формулы (1.4) вытекает, что расстояние между соседними полосами, определяемое как расстояние между двумя максимумами, также вычисляется по формуле (1.6).

Обсудим влияние геометрии опыта на качество интерференционной картины. В соответствии с формулой (1.6) расстояние между полосами растет с уменьшением расстояния между щелями d и с увеличением расстояния от экрана до щелей l и длины волны λ_0 . Существенное значение имеет условие $l \gg d$, т.к. в противном случае расстояние между полосами становится соизмеримым с длиной волны, т.е. измеряется долями микрона. Ясно, что в этом случае отдельные полосы становятся неразличимыми.

Характерной особенностью лазерных источников света является высокая степень когерентности световых колебаний по сечению излучаемых световых пучков. Поэтому при использовании лазера в опыте Юнга необходимо лишь следить, чтобы расстояние между щелями S_1 и S_2 было меньше ширины лазерного луча.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Для получения картины интерференции лазерного излучения собирается установка по схеме, изображенной на рис.2.1.



1 – лазер; 2 – пары щелей; 3 – экран; 4– оптическая скамья.

Рисунок 2.1-Схема эксперимента

Установка состоит из полупроводникового лазера 1, используемого в качестве источника монохроматического когерентного излучения, рамки 2 с набором пар щелей, укрепленной на перемещающемся в трех плоскостях столике и экрана 3. В экране устроена щель, вдоль которой электромеханически перемещается фотоприемник. Сигнал с фотоприемника, пропорциональный интенсивности света, регистрируется цифровым прибором, размещенным на горизонтальной части установки. Рамка со щелями расположена на оптической скамье 4, на которой имеется шкала с миллиметровыми делениями.

На рис. 4.2 приведен рисунок установки в рабочем положении с указанием органов управления.

3. ЗАДАНИЕ

3.1. Получить интерференционную картину на экране и измерить ширину интерференционной полосы.

3.2. Определить длину волны лазерного излучения и рассчитать погрешность измерения.

3.3. Определить расстояние между щелями второй, третьей, четвертой и пятой пар щелей и рассчитать погрешность измерения.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

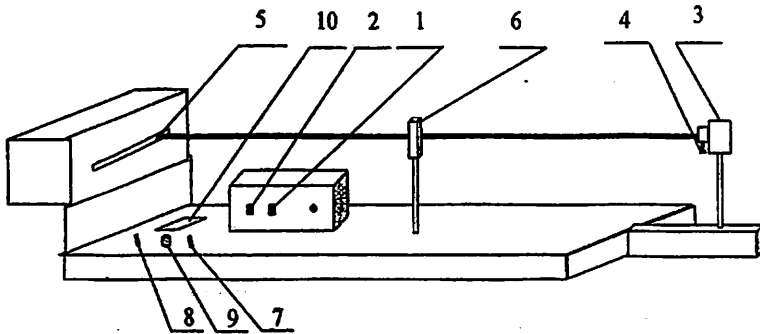


Рисунок 4.1 – Внешний вид экспериментальной установки. 1- выключатель «сеть», 2 – включение лазера, 3 – лазер, 4 – винт, 5- фотоприемник, 6 – подставка с набором щелей, 7 – направление перемещения, 8 – пуск электродвигателя, 9 – кнопка включения двигателя, 10 – ток фотоприемника.

4.1. Перевести установку в рабочее состояние из походного положения согласно инструкции. В случае использования установки, сопряженной с компьютером, подключить кабели к разъемам установки, контроллера и компьютера. Включить питание установки выключателем 1. При этом загорится сигнальная лампочка на вертикальной панели. Включить питание лазера выключателем 2, при этом появится луч лазера.

4.2. С помощью манипулятора «мышь» войти в среду «лаборатория» и выбрать нужную работу. Далее действовать по описанию к программе, которое также вызывается манипулятором.

4.3. Перемещая стойку лазера 3 и вращая регулировочный винт 4, добиться попадания луча в щель приемного устройства 5. Установить на скамью подставку с набором пар щелей 6 и, манипулируя винтами, совместить крайнюю пару щелей с лучом лазера. Убедиться в наличии на экране интерференционной картины.

4.4. Установить направление перемещения переключателем 7 на горизонтальной панели и включить устройство перемещения фотоприемника тумблером 8. Кнопкой 9 установить фотоприемник точно в край щели приемного устройства.

4.5. Очистить экран компьютера и, включив перемещение фотоприемника, зарисовать на экране компьютера распределение интенсивности света.

4.6. В случае автономного использования установки, т.е. без компьютера, следует наблюдать интерференционную картину на экране и измерять параметры интерференционной картины с помощью линейки, укрепленной на экране. При этом положение максимума можно контролировать, останавливая датчик в точке, соответствующей максимальному показанию прибора 10.

4.7. Определить длину волны излучения лазера, воспользовавшись формулой (1.6). Расстояние между щелями крайней пары равно $1,4 \cdot 10^{-4}$ м. Измерению подлежат ширина интерференционной полосы Δh и расстояние l . Результаты всех измерений внести в таблицу 4.1. При измерении Δh целесообразно взять отсчет расстояния между несколькими максимумами (или минимумами) и использовать при расчете среднее значение Δh .

4.8 Произвести определение длины волны при 5-7 различных значениях l .

4.9. Рассчитать общую погрешность измерения λ_0 .

4.10. Добиться совмещения с лучом лазера второй пары щелей так, чтобы сечение лазерного луча перекрывало только исследуемую пару щелей. Зная длину волны излучения лазера λ_0 и, измерив величины l и Δh , определить расстояние d между этими щелями. Расстояние от щелей до экрана l установить таким, чтобы интерференционная картина была наиболее четкой. Выбранное значение l поддерживать постоянным при измерениях для всех пар щелей. Результаты всех измерений внести в таблицу 4.2.

Таблица 4.1 - Результаты прямых и косвенных измерений для определения длины волны лазерного излучения

Номер опыта	Ширина интерференц. картины из m полос	Число полос	Ширина одной интерференц. полосы	Расстояние от экрана до щелей	Длина волны излучения лазера
	$(\Delta h \cdot m)$, М	m	Δh_{φ} , М	l , М	λ_0 , М
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

Таблица 4.2 - Результаты прямых и косвенных измерений для определения расстояния между щелями

Номер опыта	l , м	λ_0 , м	$(\Delta h * m)$, м	m	$\Delta h_{ср.}$, м	d , м
1						
2						
3						
4						
5						

4.11. Рассчитать погрешность измерения d .

4.12. Повторить п. 4.11 и 4.12 для третьей, четвертой и пятой пар щелей.

4.13. Проверить справедливость формулы (1.6). Для этого построить линеаризованный график зависимости ширины интерференционной полосы Δh от $1/d$. При линейном характере этой зависимости (в пределах погрешностей измерений) определить по угловому коэффициенту длину волны и сравнить с ранее рассчитанным значением λ_0 .

4.14. Выключить установку выключателем СЕТЬ.

4.15. Проанализировать полученные результаты опытов.

5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. В чем заключается явление интерференции волн?

5.2. Какие волны называются когерентными?

5.3. Можно ли наблюдать интерференционную картину от двух отдельных гелий-неоновых лазеров?

5.4. Что будет наблюдаться в центре картины интерференции в опыте Юнга?

5.5. Как изменится картина интерференции, если лазер, излучающий красный свет, заменить лазером, излучающим в синей области спектра?

5.6. Как отразится на интерференционной картине уменьшение расстояния между щелями?

5.7. В чем заключается физический смысл понятия «оптическая длина пути»?

5.8. Каковы условия максимума и минимума интенсивности при интерференции света?

6. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

6.1 Abduraxmanov Q.P., Xamidov V.S., Axmedova N.A., FIZIKA. Darslik. Tashkent. 2018 y.

6.2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1. 2 перераб. Изд.- М.: Наука, 1982. –т.2, 496 с..

6.3. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Наука, 1973, 654 с.

6.4 Мухачев В.А. Оценка погрешностей измерений. –Томск: Ротапринт Томского института АСУ и радиоэлектроники, 2003.

Лабораторная работа № 2

ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ЩЕЛИ

1. ВВЕДЕНИЕ

Дифракцией называется совокупность явлений, возникающих при распространении света в неоднородной среде, в которой могут находиться непрозрачные экраны или области пространства со сравнительно резким изменением показателя преломления.

В зависимости от схемы наблюдения дифракционные явления условно разделяют на дифракцию Френеля и дифракцию Фраунгофера. Дифракция Френеля наблюдается в расходящихся пучках лучей, дифракция Фраунгофера - в параллельных лучах. Последний случай весьма важен для практики, поскольку он находит применение при рассмотрении многих вопросов, касающихся действия оптических приборов (дифракционной решетки, оптических инструментов и т.д.).

Условия, близкие к условиям Фраунгофера, можно осуществить, поместив точечный источник света в фокусе линзы и собрав свет при помощи другой линзы в некоторой точке экрана, расположенной в ее фокальной плоскости. Помещая между линзами экраны с отверстиями различной величины и формы, можно наблюдать изменение дифракционной картины на экране.

Применение в качестве источника света оптического квантового генератора (лазера) позволяет обходиться без системы

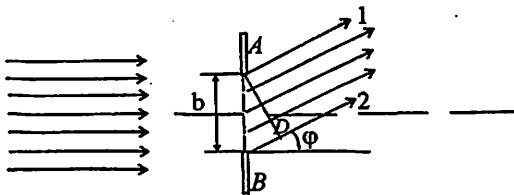
линз, поскольку излучение лазера обладает рядом свойств, существенно отличающих его от обычных источников света. Это высокая степень монохроматичности, направленность излучения, высокая интенсивность световых потоков, временная и пространственная когерентность. Целью данной работы является изучение дифракции Фраунгофера на щели и определение размеров щели дифракционным методом.

2. КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Пусть на бесконечно длинную щель падает плоская световая волна. В соответствии с принципом Гюйгенса щель можно рассматривать как совокупность новых источников, колеблющихся в одинаковых фазах. В качестве таких источников могут быть взяты зоны Френеля, которые в данном случае будут представлять собой полосы, параллельные краям щели.

Рассмотрим лучи, идущие под углом φ к направлению падающего света (рис.2.1). Проведем фронт дифрагированных волн (плоскость АД). Распределение фаз, которое будет иметь место в этой плоскости, определяет соотношение фаз волн, собирающихся на экране. Разность хода между лучами 2 и 1, идущими от краев щели, обозначим ВД.

Поскольку фронт дифрагированных волн АД перпендикулярен лучам 1,2, угол ВАД равен углу дифракции φ , следовательно, разность хода ВД равна $AB \cdot \sin\varphi$ или $b \cdot \sin\varphi$.



b - ширина щели; 1,2 - лучи, идущие от краев щели;
 φ - угол отклонения (дифракции).

Рисунок. 2.1- Дифракция от щели в параллельных лучах

Разобьем щель по ширине b на полосы (зоны Френеля) таким образом, чтобы разность хода от краев этих полос была равна $\lambda/2$. Всего в щели уложится $(b \sin \varphi : \lambda/2)$ зон. Поскольку площади каждой зоны Френеля одинаковы, следовательно одинаковы и амплитуды колебаний, возбуждаемых действием каждой зоны Френеля в плоскости, где происходит наложение вторичных волн. Фазы колебаний, возбуждаемых соседними зонами, противоположны, т.к. разность хода составляет $\lambda/2$. В силу этого вторичные волны, посылаемые соседними зонами, полностью друг друга гасят. Следовательно, если на ширине щели при некотором угле φ уложится четное число зон Френеля, то при наложении все вторичные волны погасят друг друга. В соответствующем направлении, определяемом углом дифракции φ , интенсивность света будет равна нулю. Эти направления определяются соотношением

$$b \sin \varphi = 2 m \lambda / 2, \quad (2.1)$$

где $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4 \dots$ - порядок минимума.

Если на ширине щели при некотором угле φ уложится нечетное число зон Френеля, то в этом направлении будет наблюдаться максимум света. Условие максимума дается соотношением

$$b \sin \varphi = (2m-1) \lambda / 2. \quad (2.2)$$

Следует отметить, что в направлении первичного пучка ($\varphi=0$) вся щель действует как одна зона Френеля. В этом направлении интенсивность света J_0 наибольшая. С увеличением угла φ наблюдается чередование максимумов и минимумов света в соответствии с условиями (2.1) и (2.2), при этом интенсивность максимумов уменьшается по закону

$$J_{\varphi} = J_0 (\sin U / U)^2, \quad (2.3)$$

где

$$U = (\pi b / \lambda) \sin \varphi.$$

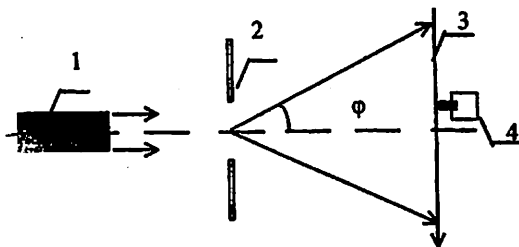
Если взять интенсивность центрального максимума за 100 и обозначить интенсивность первого, второго и третьего максимумов через J_1, J_2, J_3 , то формула (2.3) дает следующее отношение

$$J_0 : J_1 : J_2 : J_3 = 100 : 4,7 : 1,7 : 0,5. \quad (2.4)$$

На практике довольно легко можно увидеть первые максимумы. Благодаря высокой плотности лазерного излучения удастся наблюдать максимумы до десятого порядка.

3. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Дифракция света на щели исследуется на экспериментальной установке, схематично изображенной на рис.3.1.



1 - лазер; 2 - щель; 3 - экран с миллиметровой шкалой; 4 - фотоприемник.

Рис.3.1-Схема наблюдения дифракции Фраунгофера

Пучок когерентных параллельных лучей, испускаемых лазером 1, падает на щель 2. За щелью образуется поле вторичных волн, которые создают дифракционную картину, наблюдаемую на экране 3, отстоящем достаточно далеко от щели. Распределение интенсивности света регистрируется фотоприемником 4, перемещаемом электромеханически, и выводится на экран компьютера. Сигнал может также считываться со шкалы цифрового прибора, расположенного на горизонтальной панели. На рис. 3.2 показан внешний вид установки в рабочем положении.

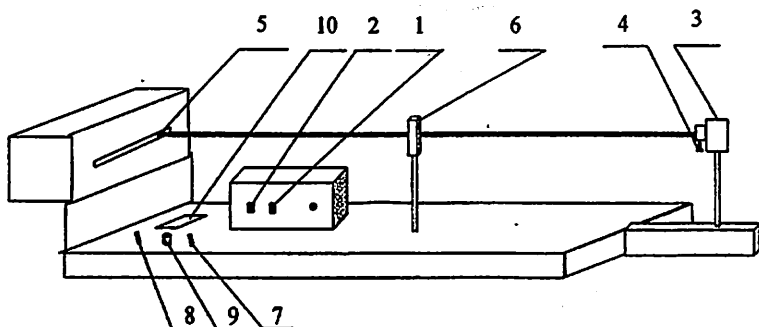


Рисунок 3.2. Внешний вид экспериментальной установки.

1- выключатель «сеть», 2 – включение лазера, 3 – лазер, 4 – винт, 5- фотоприемник, 6 – подставка с набором щелей, 7 – направление перемещения, 8 – пуск электродвигателя, 9 – кнопка включения двигателя, 10 – ток фотоприемника.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Перевести установку в рабочее состояние из походного положения согласно инструкции. В случае использования установки, сопряженной с компьютером, присоединить кабели к разъемам установки, контроллера и компьютера. Включить питание установки выключателем 1. При этом загорится сигнальная лампочка на вертикальной панели. Включить питание лазера выключателем 2, при этом появится луч лазера.

4.2. С помощью манипулятора «мышь» войти в среду «лаборатория» и выбрать нужную работу. Далее действовать по описанию к программе, которое также вызывается манипулятором.

4.3. Перемещая стойку лазера 3 и вращая регулировочный винт 4, добиться попадания луча в щель приемного устройства 5. Установить на скамью подставку с набором пар щелей 6 и, манипулируя винтами, совместить крайнюю щель с лучом лазера. Убедиться в наличии на экране дифракционной картины.

4.4. Установить направление перемещения переключателем 7 на горизонтальной панели и включить устройство перемещения фотоприемника тумблером 8. Кнопкой 9 установить фотоприемник точно в край щели приемного устройства.

4.5. Очистить экран компьютера и, включив перемещение фотоприемника, зарисовать на экране компьютера распределение интенсивности света.

4.6. Измерить интенсивности света в максимумах, включая центральный, и сравнить соотношение интенсивностей с теоретическим (2.4).

4.7. Задание 1

Исследование зависимости угла дифракции от ширины щели ($m = \text{const}$).

4.7.1. Устанавливая последовательно щели с разной шириной b , получить дифракционные картины. Ширины щелей приведены в табл.4.1.

4.7.2. Измерить расстояние $2X_m$ между левым и правым дифракционными минимумами $m^{\text{ого}}$ порядка. Под расстояниями между дифракционными минимумами следует понимать расстояние между серединами темных полосок. На экране компьютера это расстояние между минимумами интенсивности.

Не рекомендуется m брать равным единице, поскольку возрастает неточность измерений, обусловленная влиянием интенсивного центрального максимума.

4.7.3. Меняя щели, каждый раз измерять $2X_m$.

4.7.4. Результаты измерений записать в табл.4.1.

Таблица 4.1. Данные для зависимости угла дифракции от ширины щелей

Номер опыта	b , мкм	$2X_m$, мкм	l , мм	φ , м	$1/\varphi$, м	Примечание
1	40					Порядок минимума $m =$
2	70					
3	100					
4	130					
5	160					

4.7.5. Вычислить углы дифракции φ_m , используя полученное из рис.4.1 соотношение

$$\operatorname{tg} \varphi = 2X_m / l, \quad (4.1)$$

где $2X_m$ - расстояние между центрами темных полосок; l - расстояние от щели до экрана.

Поскольку углы дифракции малы, можно считать верным равенство

$$\operatorname{tg} \varphi_m = \sin \varphi_m = \varphi_m \quad (4.2)$$

4.7.6. Полученные значения углов дифракции записать в табл.4.1.

4.7.7. По данным табл.4.1 построить график зависимости угла дифракции от ширины щели в координатах $1/\varphi_m = f(b)$.

4.7.8. Из графика $1/\varphi_m = f(b)$ вычислить длину волны излучения лазера, воспользовавшись формулой

$$\lambda = \Delta b : \{m \Delta(1/\varphi)\} \quad (4.3)$$

где Δb , $\Delta(1/\varphi)$ - разность между значениями соответствующих величин, взятых для любых двух точек на прямой зависимости $1/\varphi_m = f(b)$.

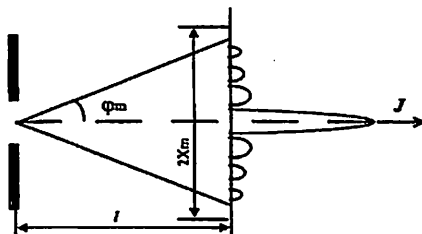


Рисунок 4.1 - К расчету угла дифракции

φ_m - угол дифракции; $2X_m$ - расстояние между минимумами m порядка; l - расстояние от щели до экрана; $J(x)$ - распределение интенсивности в дифракционной картине.

4.6. Задание 2

Исследование зависимости угла дифракции от порядкового номера дифракционного минимума ($b = \text{const}$)

4.6.1. Установить ширину щели такой, чтобы на экране были видны максимумы не менее, чем 10 порядков.

4.6.2. Измерить расстояние $2X_m$ между левым и правым минимумами m порядка ($m = 1, 2, 3, \dots, 10$).

4.6.3. Измерить расстояние l между щелью и экраном по шкале оптической скамьи.

4.6.4. Результаты измерений записать в табл.4.2.

Таблица 4.2 - Данные для зависимости угла дифракции от номера минимума

Порядок минимума	$2X_m$, мм	l , мм	φ_m	Примечание
1				Ширина щели $b =$
2				
3.				
.				

4.6.5. Вычислить углы дифракции φ_m по формуле (4.1).

4.6.6. Полученные значения углов дифракции записать в табл.4.2.

4.6.7. По данным табл.4.2 построить график зависимости угла дифракции от номера дифракционного минимума $\varphi_m = \varphi_m(m)$.

4.6.8. Провести анализ полученных графических зависимостей $1/\varphi = f(b)$ и $\varphi_m = \varphi_m(m)$. Сделать вывод о справедливости условия дифракционных минимумов при дифракции от щели (формула (2.1)).

4.6.9. Из графика $\varphi_m = \varphi_m(m)$ определить ширину щели по формуле

$$b = \Delta m \lambda / \Delta \varphi, \quad (4.4)$$

где Δm , $\Delta \varphi$ - разность между значениями соответствующих величин, взятых для любых двух точек на прямой зависимости $\varphi_m = \varphi_m(m)$, λ - длина волны лазерного излучения, которую можно определить из экспериментов со щелью (см.п.4.5.10), либо взять из технического паспорта лазера (640 нм).

4.6.10. Сравнить вычисленную по формуле (4.4) ширину щели с заданной. Оценить погрешность определения ширины щели дифракционным методом.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. В чем заключается явление дифракции света?

5.2. Какой тип дифракции - Френеля или Фраунгофера - реализуется в данном эксперименте и почему?

5.3. Как изменяется дифракционная картина с уменьшением ширины щели?

5.4. Как изменится дифракционная картина, если экран приближать к щели, нити?

5.5. Как определяется угол дифракции в данной работе?

6. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

6.1 Abduraxmanov Q.P., Xamidov V.S., Axmedova N.A., FIZIKA. Darslik. Tashkent. 2018 y.

6.2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1. 2 перераб. Изд.- М.: Наука, 1982. –т.2, 496 с..

6.3. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Наука, 1973, 654 с.

6.4 Мухачев В.А. Оценка погрешностей измерений. –Томск: Ротал, изд. Томского института АСУ и радиоэлектроники, 2003.

Лабораторная работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА

1. ВВЕДЕНИЕ

Из электромагнитной теории света известно, что световые волны поперечны, т.е. колебания векторов напряженности электрического поля \vec{E} и магнитного поля \vec{H} происходят в направлении, перпендикулярном линии, вдоль которой в оптически изотропной среде распространяется световая волна (Рис. 1.1). В световой волне вектора \vec{E} и \vec{H} взаимосвязаны и всегда строго перпендикулярны друг к другу. В оптике принято оперировать с вектором \vec{E} , который называют световым вектором, т.к. с этим вектором связаны физиологическое, фотохимическое, фотоэлектрическое и другие действия света.

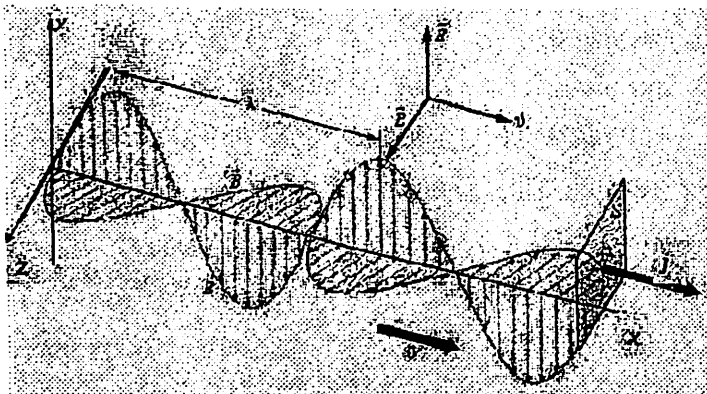


Рисунок 1.1 - Плоская электромагнитная волна

Световые волны с неизменяющимся во времени направлением вектора \vec{E} , т.е. с колебаниями светового вектора, происходящими в одной плоскости, называют линейно- или плоскополяризованными. Существуют и другие виды поляризации света, которые в данной работе не рассматриваются. Оптические приборы, при прохождении через которые свет становится линейнополяризованным, называют поляризаторами. В настоящей работе изучаются явления поляризации света и изменение интенсивности света при помощи поляризаторов.

2. КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Большинство источников естественного света испускают неполяризованный или слабополяризованный свет. При помощи поляризаторов естественный свет может быть превращен в линейнополяризованный. Направление колебаний вектора \vec{E} в световой волне, прошедшей через поляризатор, называют разрешенным направлением поляризатора или плоскостью поляризатора. Поляризованный свет может быть исследован при помощи другого поляризатора, который в этом случае будет называться анализатором.

Амплитуда светового вектора \vec{E} (и связанного с ним вектора \vec{H}) после прохождения света через анализатор зависит от угла α , образованного плоскостью колебаний светового вектора с разрешенным направлением анализатора $\vec{E} = \vec{E}_0 \cos \alpha$, где \vec{E}_0 - амплитуда светового вектора поляризованного света, поступающего на анализатор. Так как поток энергии W ,

переносимый световой волной, пропорционален E^2 , то для поляризованного света, прошедшего через анализатор, поток энергии W_n , будет равен

$$W_n = W_{n0} \cos^2 \alpha, \quad (2.1)$$

где W_{n0} - поток энергии, переносимый поляризованным светом, падающим на анализатор.

Соотношение (2.1), называемое законом Малюса, впервые было сформулировано Малюсом в 1810 году. Изменение интенсивности света при помощи поляризаторов нашло широкое применение в науке и технике.

Очень часто приходится иметь дело со светом, поляризованным лишь частично. Такой свет может быть представлен как смесь естественного и линейнополяризованного света. Для характеристики содержания поляризованной составляющей в таком свете используется величина, называемая степенью поляризации P :

$$P = \frac{J_{\max} - J_{\min}}{J_{\max} + J_{\min}}, \quad (2.1)$$

где J_{\max} и J_{\min} - максимальная и минимальная интенсивности света, прошедшего через анализатор.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Для изучения явления поляризации света и проверки закона Малюса используется установка, принципиальная схема которой представлена на рис. 3.1, а конструкция показана на рис. 3.2. В

качестве источника света S используется полупроводниковый лазер с длиной волны излучения 655 нм.

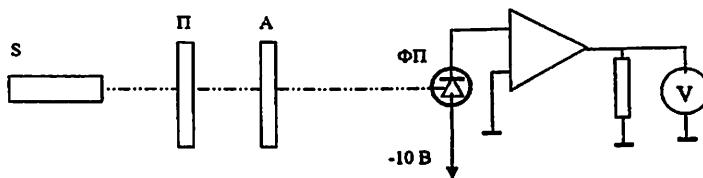


Рисунок 3.1. Принципиальная схема установки

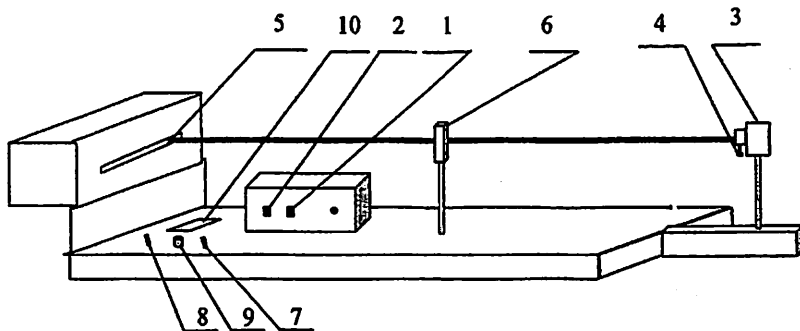


Рисунок 3.2 – Внешний вид экспериментальной установки. 1- выключатель «сеть», 2 – включение лазера, 3 – лазер, 4 – винт, 5- фотоприемник, 6 – подставка с поляридом, 7 – направление перемещения, 8 – пуск электродвигателя, 9 – кнопка включения двигателя, 10 – ток фотоприемника.

Свет в виде параллельного пучка лучей поступает на пленочный поляризатор Π , затем проходит через анализатор A и регистрируется при помощи фотоприемника ФП. Поляриод, используемый в качестве поляризатора, располагается непосредственно на выходном окне лазера.

Для подготовки установки к выполнению работы следует перевести ее из походного состояния в рабочее согласно инструкции по эксплуатации. После этого кнопками 1 и 2 включить установку и лазер 3. Винтом 4 закрепить поляроид, а фотоприемник 5 с помощью кнопок 7, 8, 9 подвести под луч лазера. В подставку 6 поместить второй поляроид. С прибора 10 снять показания тока фотоприемника.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТА

Фотодиод ФД-256, применяемый в настоящей работе в качестве фотоприемника, обладает максимумом чувствительности на длине волны 650 нм, практически совпадающей с длиной волны лазера. В то же время пленочные поляризаторы, используемые в данной работе, не обеспечивают 100% поляризации света на этой длине волны. Поэтому фотоприемник регистрирует интенсивность частично поляризованного света, т.е. света представляющего «смесь» естественного и поляризованного. При проверке закона Малюса следует из интенсивности света прошедшего через поляризатор и анализатор вычесть интенсивность неполяризованного света. Отметим, что, поскольку не представляется возможным измерить абсолютную интенсивность света, измеряемая интенсивность света пропорциональна току I , возникающему в фотодиоде и регистрируемому прибором.

5. ЗАДАНИЕ

5.1. Измерить интенсивность света без поляризаторов.

5.2. Измерить интенсивность света: с первым и вторым поляризаторами.

5.3. Провести измерение зависимости интенсивности света, прошедшего через поляризатор и анализатор, от углового положения анализатора. Результаты измерений занести в таблицу.

α	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
J, мкА										
$\cos \alpha$	1	0,985	0,940	0,866	0,766	0,643	0,500	0,342	0,174	0
$\cos^2 \alpha$	1	0,970	0,883	0,750	0,587	0,413	0,250	0,117	0,030	0
J-J _n , мкА										

В таблице $J=J_n+J_n$, где J_n – интенсивность поляризованной составляющей света, прошедшего через поляризатор, J_n – интенсивность неполяризованной составляющей света, прошедшего через поляризатор и анализатор. J_n определяется при $\alpha=90^\circ$, т.е., когда разрешенные плоскости анализатора и поляризатора расположены взаимно перпендикулярно.

5.4. Построить график зависимости $J_n=J_{no}(\alpha)$, где J_{no} – интенсивность поляризованной составляющей света, прошедшего через анализатор и поляризатор при $\alpha=0^\circ$.

5.5. Построить график зависимости $J_n=J_{no}(\cos^2 \alpha)$ и убедиться в его линейности.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6.1. В чем заключается явление поляризации?
- 6.2. Какие источники естественного света вы знаете?
- 6.3. Какая световая волна называется линейно поляризованной?
- 6.4. Какое направление называют разрешенным направлением поляризатора?
- 6.5. Почему интенсивность поляризованного света, прошедшего через анализатор, пропорциональна $\cos^2 \alpha$?
- 6.6. Чему равна интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор?

7. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Abduraxmanov Q.P., Xamidov V.S., Axmedova N.A., FIZIKA. Darslik. Tashkent. 2018 y.
2. Голдин Л.Л. Руководство к лабораторным занятиям по физике. – М.: Наука, 1964, с.393-402.
3. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Наука, 1976, с. 370-388.
4. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.4. – М: Наука, 1998, с. 188-192.
5. Чужков Ю.П. Общие требования и правила оформления отчета о лабораторной работе по физике. – Томск, 2001. – 19 с.
6. Фриш С.Э. и Тиморева А.В. Курс общей физики. Т.3. – М.: Фитматгиз, 1961, с.171-175, 189-192.

Лабораторная работа № 4

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СВЕТИМОСТИ СЕРОГО ТЕЛА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

1 ВВЕДЕНИЕ

Целью работы является изучение характера зависимости между температурой тела и излучаемой им энергией.

2 КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Столкновения при тепловом движении - хаотическом в газах и жидкостях и колебательном в твёрдых телах - приводят молекулы в возбуждённое состояние. Возбуждение приводит, в частности, к повышению энергии части атомарных электронов. Возвращение молекулы в исходное энергетическое состояние происходит ступенчато или однократно, и сопряжено с освобождением энергии в виде порций электромагнитного излучения. Таким образом, *тепловое излучение тел - частный вид электромагнитного излучения*. Порциям энергии теплового излучения присущи разные частоты ω и, соответственно, разные длины волн λ . В общем потоке излучения с поверхности тела количество порций одинаковой частоты (с одинаковой длиной волны) *неодинаково, т.е. интенсивность теплового излучения неравномерно распределена по частотам или по длинам волн*.

Важным в теории теплового излучения является распределение его интенсивности в ситуации, когда потери энергии, испускаемой телом, компенсируются энергией поглощаемого данным телом теплового излучения, испускаемого

окружающими телами. Такая ситуация соответствует *равновесному излучению*. Мощность теплового равновесного излучения с единицы площади поверхности тела во всём диапазоне частот или длин волн (“во всём спектральном диапазоне”) называют *энергетической светимостью вещества тела*.

Целью настоящей работы является изучение зависимости энергетической светимости от температуры тела, а также косвенное измерение некоторых характеристик тела, связанных с тепловым излучением.

Энергетическая светимость $R(T)$ является *интегральной* характеристикой нагретого (т.е. с температурой выше абсолютного нуля) тела, имеющего выраженную поверхность, т.к. учитывает интенсивность излучения во всём спектральном диапазоне частот или длин волн. Мощность излучения с единицы площади поверхности тела в *единичных* спектральных диапазонах частот $r(\omega, T)$ или длин волн $e(\lambda, T)$ являются *дифференциальными* характеристиками излучающего тела. Характеристики $r(\omega, T)$ и $e(\lambda, T)$ называют *распределениями излучательной способности тела*, соответственно, по частотам или длинам волн. Итак,

$$e(\lambda, T) = \frac{dR(T)}{d\lambda}, \quad r(\omega, T) = \frac{dR(T)}{d\omega}, \quad R(T) = \int_0^{\infty} r(\omega, T) d\omega = \int_0^{\infty} e(\lambda, T) d\lambda. \quad (2.1)$$

На рис. 2.1 изображены типовые распределения излучательной способности тел по длинам волн $e(\lambda, T)$ (а), и по частотам $r(\omega, T)$ (б), в условиях равновесного излучения.

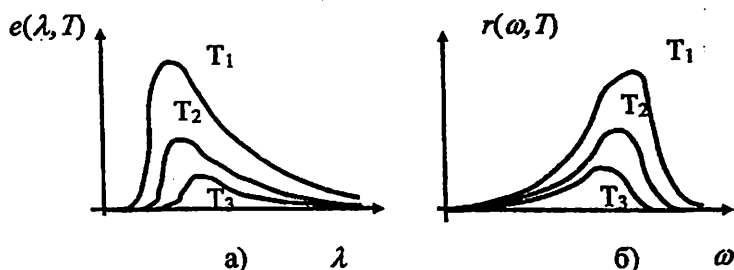


Рисунок 2.1 - Спектральные распределения теплового излучения. ($T_1 > T_2 > T_3$)

Доля поглощаемой части падающего на вещество потока теплового излучения, относящаяся ко всему спектральному диапазону, называется *интегральной поглощательной способностью* тела $a(T)$, а доля, выраженная для единичных интервалов длин волн или частот - *дифференциальной поглощательной способностью* $a(\lambda, T)$ или $a(\omega, T)$. Интегральную поглощательную способность $a(T)$ также называют *коэффициентом серости* (степенью черноты) тела. Кирхгоф установил, что в условиях равновесного излучения отношение функций $e(\lambda, T)$ и $a(\lambda, T)$ для любого тела есть одна и та же функция $E(\lambda, T)$, названная *универсальной функцией Кирхгофа* или *излучательной способностью абсолютно чёрного тела*.

“Абсолютно чёрное тело”(а.ч.т.) - абстрактное понятие,- тело, у которого коэффициент серости $a_{\text{а.ч.т.}}(T)$ максимален и равен 1. Если бы а.ч.т. существовало реально, то оно полностью поглощало бы падающее излучение с любой длиной волны. У реальных же тел $a(T)$, $a(\lambda, T)$, $a(\lambda, T)$ меньше единицы.

Аналитические выражения $r(\omega, T)$ и $e(\lambda, T)$ носят название формулы Планка:

$$r(\omega, T) = \frac{\hbar \omega^3}{\pi^2 c^2} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{\hbar \omega}{kT}\right) - 1}; \quad e(\lambda, T) = \frac{4\pi^2 \hbar c^3}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{2\pi \hbar c}{kT\lambda}\right) - 1} \quad (2.2)$$

Здесь: \hbar - "постоянная Планка", равная $1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж.с; c - скорость света в вакууме; k - постоянная Больцмана ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К). Учитывая, что $a_{\text{а.ч.т.}}(T) = 1$, выражение для $e_{\text{а.ч.т.}}(\lambda, T)$ (2.2) полагают универсальной функцией Кирхгофа $E(\lambda, T)$.

Энергетическая светимость $R_{\text{а.ч.т.}}(T)$ максимальна, а у реального тела $R(T) = \alpha(T) \cdot R_{\text{а.ч.т.}}(T)$. Стефан и Больцман установили закон, состоящий в том, что в условиях равновесности излучения $R_{\text{а.ч.т.}}(T)$ пропорциональна четвёртой степени абсолютной температуры тела. Аналитической формулой этого закона для реального тела является выражение:

$$R(T) = \alpha(T) \cdot \sigma T^4, \quad (2.3)$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/м²К⁴ и называется *постоянной Стефана - Больцмана*.

Хотя $\alpha(T)$, являясь характеристикой конкретного тела, зависит от температуры, но в интервале температур, используемом в предстоящей работе, его величину предлагается считать постоянной и равной α . Степень z при T в формуле закона Стефана - Больцмана у реальных тел может отличаться от четырёх из-за наложения факторов, отличающих условия излучения тела от условий излучения а.ч.т., - например, состояния поверхности, теплопроводности

через соприкасающиеся объекты и прочих факторов неравновесности излучения. Поскольку $R=P/S$, где P – излучаемая мощность, а S – площадь излучения, то подстановка в (2.3) дает

$$\frac{P}{S} = \alpha \sigma T^z. \quad (2.4)$$

Логарифмирование этого выражения приводит к

$$\ln P = \ln S + \ln \sigma + z \ln T. \quad (2.5)$$

Выражение (2.5) является рабочей формулой, поскольку при условии, что экспериментальная зависимость спрямляется в координатах $\ln P$, $\ln T$, по наклону прямой можно определить показатель степени z , а затем по (2.4) вычислить коэффициент серости α .

3 ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ.

Согласно определению, энергетическая светимость есть отношение потока (мощности) энергии излучения к площади излучающей поверхности. Поток лучистой энергии, теряемой телом, при поддержании постоянной температуры равен мощности, подводимой к телу - без учёта конвекции и теплопроводности. Конвекцию устраняют, помещая излучающий объект в вакуумный баллон. Так как потери энергии через детали пропорциональны первой степени температуры ($\sim T$) нагретого тела, то доля этих потерь, по сравнению с долей энергии, уходящей через излучение ($\sim T^4$), при росте температуры снижается в пользу приблизительного равенства подводимой и излучаемой мощности.

Схема установки для измерений зависимости энергетической светимости платиновой нити от температуры изображена на рис.

3.1. Подводимая от выпрямителя 2 к платиновой нити 6 (длина $l = 7,0$ см и диаметр $d = 0,20$ мм) электрическая мощность составляет $P = UI$, где I - сила тока, U - падение напряжения на концах нити. Площадь излучающей поверхности нити - площадь боковой поверхности цилиндра - $S = \pi dl$.

В соответствии с законом Стефана - Больцмана

$$R(T) = \alpha \sigma T^2 = \frac{U \cdot I}{\pi dl} \quad (3.1)$$

Таким образом, энергетическую светимость можно изменять регулировкой мощности нагрева платиновой нити - изменением напряжения на выходе блока питания 2, отслеживая напряжение и ток накала нити приборами 3 и 4.

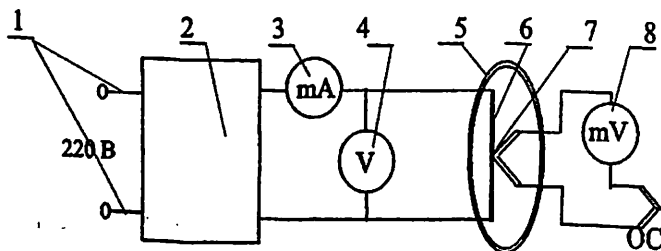


Рисунок 3.1 – Схема установки

1 - сеть; 2 - блок питания; 3 - миллиамперметр тока накала нити; 4 - вольтметр напряжения накала; 5 - вакуумированный стеклянный баллон; 6 - исследуемое тело - платиновая нить; 7 - хромель-копелевая термопара; 8 - милливольтметр для измерения термо-э.д.с.

Определение температуры платиновой нити производится по градуировочной характеристике термопары, представленной в

виде аппроксимирующей функции. Термо-э.д.с. измеряемая милливольтметром 8, соответствует линейной функции $E_{\text{тэдс}}=k(T-T_{\text{ср.}})$, где k - коэффициент пропорциональности, равный $0,1 \text{ mV/K}$, $T_{\text{ср.}}$ - абсолютная температура окружающей среды (на рис. 3.1 - ОС), т.е. температура другого спая термопары. Из этой аппроксимирующей функции следует, что

$$T = \frac{E_{\text{эмф}}}{k} + T_{\text{ср.}} \approx 10 \cdot E_{\text{эмф}} + T_{\text{ср.}} \quad (3.2)$$

если $E_{\text{тэдс}}$ измерять в милливольтгах.

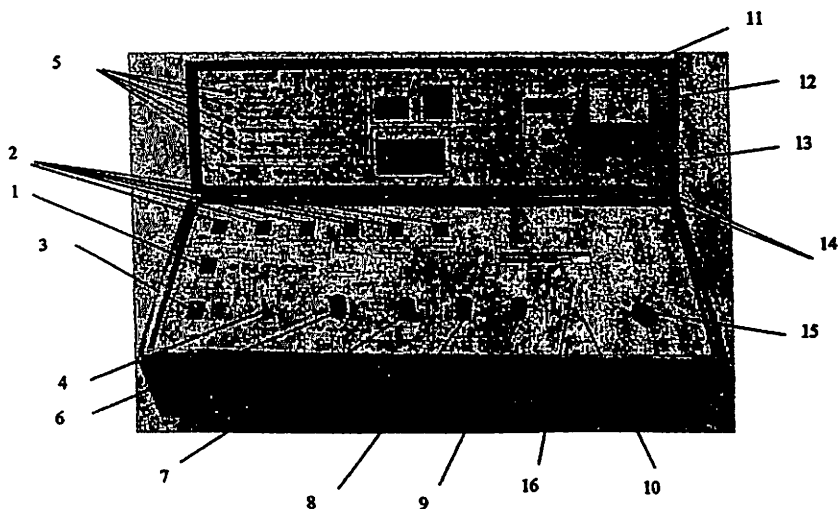


Рисунок 3.2 – Внешний вид установки

Конструктивно установка оформлена в виде настольного блока, внешний вид которого приведен на рис. 3.2. На горизонтальной панели установки расположены органы управления, а на наклонной панели – контрольно-измерительные приборы. В настоящей работе используются кнопки: 1 «Сеть», 2

«Тепловое излучение» и рукоятка 4 «Накал лампы». Термо-э.д.с. считывается с цифрового прибора 11 в милливольтгах, а ток и напряжение накала измеряются стрелочным прибором 12 при соответствующем положении переключателя 13. При этом используются множители $\times 5 \text{ мА}$, $\times 0,02 \text{ В}$.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Перед началом работы все регулировки на установке вывести в крайнее положение против часовой стрелки. Все выключатели в положение «Выключено». Включить установку кнопкой «Сеть» (1) и кнопкой 2 выбрать работу «Тепловое излучение». При этом убедиться в зажигании соответствующего индикатора 5.

4.2. Выждать 1 – 2 мин для установления значения термо-э.д.с. $E_{\text{ТЭДС}}$, после чего записать ток I , напряжение U и $E_{\text{ТЭДС}}$ в таблицу 4.1. измеряя их по приборам 11, 12 с использованием переключателя 13.

4.3. Рукояткой 7 увеличить ток и напряжение накала нити, после чего повторить п.4.2. Повторяя пп. 4.3 и 4.2, снять зависимость $E_{\text{ТЭДС}}$ от мощности накала.

Для уменьшения влияния инерционности нагрева на точность измерений зависимость $E_{\text{ТЭДС}}$ от мощности накала можно измерить сначала увеличивая подводимую мощность, а затем, уменьшая. Внести показания приборов в таблицу 4.1. Рассчитать среднеарифметические значения $\langle I \rangle$, $\langle E_{\text{ТЭДС}} \rangle$ и соответствующие им значения T для каждого значения U .

Таблица 4.1. Результаты эксперимента.

№ изм	U, В	I увел. мА	I умен. мА	<I> мА	E увел. мВ	E умен. мВ	<E> мВ	$\frac{IU}{S}$ Вт/м ²	Ln R	T ,К	lnT
1											
2											
...											

4.5. Для проверки наличия степенной зависимости R от T следует рассчитать величину R согласно (3.1) и нанести экспериментальные точки на график в координатах $\ln R$, $\ln T$, после чего оценить абсолютные погрешности этих величин и также нанести их на график. Если теперь удастся по экспериментальным точкам провести прямую, то это и будет означать наличие искомой степенной зависимости.

4.6. Согласно формулам (2.5) и (2.4) определить величины z и α .

4.7. Сделать вывод по результатам проделанной работы.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. Какое излучение называют тепловым?

5.2. Почему тепловое излучение называют равновесным?

5.3. Что такое излучательность тела?

5.4. Что такое поглощательная способность тела?

5.5. Зависят ли поглощательная способность и излучательность тела от температуры?

5.6. Какие тела можно назвать абсолютно черными?

5.7. Как связаны излучательность и поглощающая способность абсолютно черного тела и реальных тел.

- 5.8. Что называют энергетической светимостью тела?
- 5.9. Как зависит энергетическая светимость от излучательности тела?
- 5.10. Как записывается закон Стефана-Больцмана для нечерных тел?
- 5.11. Сформулируйте закон смещения Вина. Изобразите зависимость излучательной способности тела от длины волны для различных температур.
- 5.12. Запишите формулу Планка для испускательной способности абсолютно черного тела.

6. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 6.1. Abduraxmanov Q.P., Xamidov V.S., Axmedova N.A., FIZIKA. Darslik. Tashkent. 2018 y.
- 6.2. Чужков Ю.П. Общие требования и правила оформления отчета о лабораторной работе по физике. – Томск, 2001. – 19 с.
- 6.3. Рипп А.Г. Оценка погрешностей измерений. Методические указания к лабораторным работам по курсу физики. – ТУСУР, 2007.
- 6.4. Савельев И. В. Курс физики. Кн. 5. 2004 г.

Лабораторная работа № 5
ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ. ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА
СТОЛЕТОВА И ПРОВЕРКА ФОРМУЛЫ ЭЙНШТЕЙНА

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является изучение основных законов внешнего фотоэффекта на основе измерения световой и вольтамперной характеристик вакуумного фотоэлемента.

2 КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Внешним фотоэффектом называется явление испускания электронов под действием света. Закономерности, которым подчиняется это явление, формулируются в виде трех положений:

- 1) фототок насыщения ($I_{нас}$) пропорционален световому потоку;
- 2) максимальная скорость фотоэлектронов определяется длиной волны (частотой) света и не зависит от его интенсивности;
- 3) для каждого материала существует минимальная частота света (максимальная длина волны), при которой еще возможен внешний фотоэффект. Другими словами, существует “красная граница фотоэффекта”.

Первое положение называется законом Столетова, второе и третье объединяются формулой Эйнштейна.

Согласно современным воззрениям, свет представляет собой поток световых квантов – фотонов, энергия каждого из которых равна $h\nu$ (ν – частота, h – постоянная Планка). При поглощении света веществом каждый фотон отдает свою энергию одному электрону

(монофотонный фотоэффект), который при определенном соотношении между энергией поглощенного фотона и величиной потенциального барьера на границе вещество-вакуум (работа выхода) может покинуть вещество. Фотоэлектроны могут накапливаться в вакууме вблизи поверхности вещества так, что их совокупный отрицательный пространственный заряд оказывается способным возвращать вышедшие электроны обратно в вещество. Для устранения такого влияния фотоэлектроны необходимо удалять от поверхности вещества. Это достигается подачей ускоряющей электроны разности потенциалов между фотокатодом и анодом. Начиная с некоторой разности потенциалов (20 – 30 В) фототок перестает от нее зависеть, т.е. становится током насыщения. Очевидно, что в условиях отсутствия пространственного заряда количество фотоэлектронов, безвозвратно покидающих вещество в единицу времени, а следовательно, и фототок, прямо пропорциональны числу фотонов, падающих на поверхность вещества в единицу времени, т.е. световому потоку. При этом энергия фотона не оказывает влияния на количество фотоэлектронов. Получив энергию от фотона, электрон теряет часть ее вследствие случайных столкновений в веществе. Энергия, равная работе выхода A , тратится электроном на преодоление потенциального барьера на границе металл-вакуум. Оставшаяся часть энергии образует кинетическую энергию электрона, вышедшего в вакуум. Максимальной кинетической энергией обладают электроны, вышедшие в вакуум непосредственно с поверхности вещества. Для таких электронов

потери на столкновения равны нулю, и их кинетическая энергия $\frac{mv^2}{2}$ связана с энергией фотона и работой выхода A формулой Эйнштейна

$$\frac{mv^2}{2} = h\nu - A. \quad (2.1)$$

3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Проверка первого закона фотоэффекта заключается в подтверждении линейной зависимости между фототоком насыщения $I_{нас}$ и световым потоком, падающим на фотоэлемент. Изменять световой поток можно изменением расстояния r между источником света и фотоэлементом. Действительно, если N – число фотонов, испускаемых точечным источником света в единицу времени, то число фотонов Φ , попадающих на фотоэлемент (которое пропорционально световому потоку) равно

$$\Phi = \frac{N}{4\pi r^2} S, \quad (3.1)$$

где S – площадь катода фотоэлемента.

Т.е., задача сводится к подтверждению линейной зависимости между фототоком насыщения $I_{нас}$ и $1/r^2$, поскольку коэффициент перед $1/r^2$ в выражении (3.1) представляет собой константу в условиях постоянства накала источника света.

Проверка выражения (2.1) состоит в установлении линейной зависимости между кинетической энергией фотоэлектронов и частотой света, а также в определении постоянной Планка h и работы выхода A материала фотокатода. Частоту света можно изменять плавно, используя монохроматор, или дискретно,

располагая между источником белого света и фотоэлементом светофильтры. В настоящей работе цвет излучения изменяют последовательным включением разных светодиодов. При этом следует отметить, что ширина спектра излучения светодиода значительно уже полосы пропускания светофильтра. В настоящей работе рекомендуется полагать излучение светодиода монохроматичным и однозначно сопоставлять ему длину волны λ и частоту ν . Определение кинетической энергии фотоэлектронов в данной работе производится методом задерживающего потенциала, при подаче на фотоэлемент напряжения в заперном направлении и увеличении его до тех пор, пока фототок не станет равным нулю.

При этом максимальная кинетическая энергия $\frac{mv^2}{2}$ фотоэлектронов и напряжение запираения U_z фотоэлемента оказываются связанными соотношением

$$eU_z = \frac{mv^2}{2}, \quad (3.2)$$

где e – заряд электрона.

С учетом изложенного, выражение (2.1) преобразуется в

$$eU_z = h\nu - A \quad (3.3)$$

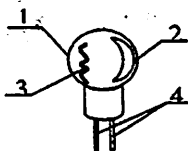
или, после деления на e , в

$$U_z = \frac{h}{e}\nu - \frac{1}{e}A. \quad (3.4)$$

Выражение (3.4) является рабочим и отражает линейную зависимость U_z от частоты ν . Из сравнения (3.4) с экспериментальной зависимостью могут быть найдены h и A .

4. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Внешний фотоэффект используется в приборах, которые называются фотоэлементами. В данной работе используется вакуумный фотоэлемент типа СЦВ-4. Фотоэлемент состоит из стеклянного баллона 1 (рис. 4.1), фотокатода 2 в виде тонкого слоя сурмяно-цезиевого сплава на внутренней поверхности баллона, металлического анода 3 и внешних выводов 4. Кроме фотоэлемента (ФЭ) (рис. 4.2), экспериментальная установка включает в себя источник постоянного напряжения E , потенциометр R_1 для регулировки напряжения, подаваемого на ФЭ, переключатель K для смены полярности напряжения и приборы для измерения фототока и напряжения на ФЭ.



1 – стеклянный баллон; 2 – фотокатод; 3 – анод; 4 – выводы

Рис. 4.1 Схематическое изображение фотоэлемента

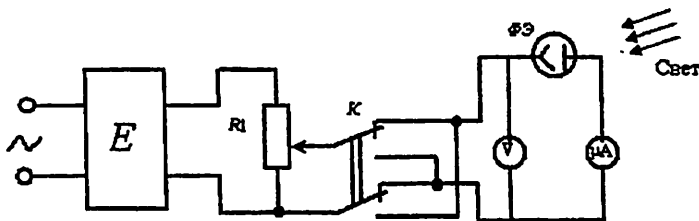


Рисунок 4.2 – Схема экспериментальной установки

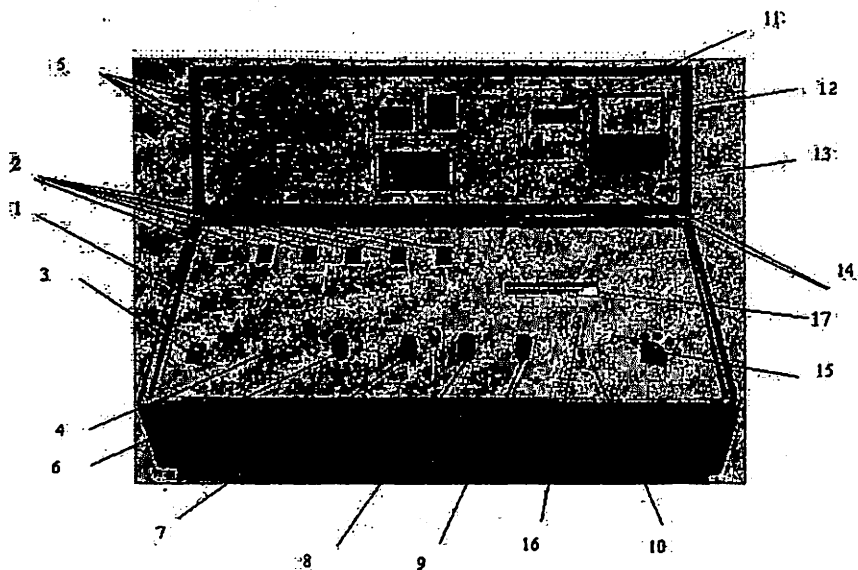


Рисунок 4.3 – Внешний вид установки

Конструктивно установка оформлена в виде настольного блока, внешний вид которого приведен на рис. 4.3. Органы управления выведены на горизонтальную панель установки, а на наклонной панели расположены контрольно-измерительные приборы. Рукоятки 8, 9 служат для регулировки напряжения на фотоэлементе. Приборы 11, 12 показывают фототок и напряжение на фотоэлементе. Расстояние от источника света до фотоэлемента измеряют по линейке 17. Изменяют расстояние кнопкой 10 и переключателем 16. Переключатель 15 позволяют использовать в качестве источника света лампу накаливания либо цветные светодиоды.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1 Перед началом работы повернуть все потенциометры против часовой стрелки в крайнее положение. Все кнопки поставить в положение "0", т.е. «выкл». Включить установку кнопкой «Сеть» 1, при этом загорится сигнальная лампочка.

Лабораторная работа рассчитана на выполнение двух предложенных заданий.

Задание 1. Проверка закона Столетова.

5.2. Выбрать соответствующую работу переключателем 2 (Рис. 4.3), при этом загорится соответствующий индикатор 5. Включив тумблер направления движения 16 источника света «влево» и нажав кнопку «пуск» 10, переместить источник света в ближнее к фотоэлементу положение. Переключателем 15 выбрать в качестве источника света лампу накаливания.

5.3. Зафиксировать расстояние r по линейке и занести его в таблицу в рабочей тетради. Вращая рукоятку 8 и регистрируя ток и напряжение по приборам 11, 12, снять зависимость фототока от прямого напряжения. Результаты измерений занести в таблицу 6.1. Учсть, что прибор 11 дает показания в мкА, а прибор 12 в вольтах с использованием множителя $\times 1 \text{ В}$.

5.4. Повторить п. 5.3 для 8 – 9 других значений r . Рассчитать величины $1/r^2$. Результаты всех измерений занести в таблицу.

Таблица 6.1. Значения фототока I при различных значениях U и расстояниях r от источника света до фотоэлемента

$r = \text{см}$					$1/r^2 = 1/\text{м}^2$				
$U, \text{В}$									
$I, \text{мкА}$									
$r = \text{см}$					$1/r^2 = 1/\text{м}^2$				
$U, \text{В}$									
$I, \text{мкА}$									
$r = \text{см}$					$1/r^2 = 1/\text{м}^2$				
$U, \text{В}$									
$I, \text{мкА}$									

5.3 Построить семейство вольтамперных характеристик. Зафиксировать величины тока насыщения для каждого значения r .

5.5 Нанести экспериментальные точки на график в координатах $I_{\text{нас}}, 1/r^2$. Рассчитать погрешности измерений. Убедиться в линейности зависимости $I_{\text{нас}}$ от $1/r^2$. Сделать вывод относительно справедливости фотонной модели и закона Столетова.

Задание 2. Проверка формулы Эйнштейна.

6.6. Выключить кнопку 2 «Закон Столетова» и включить «Закон Эйнштейна». Убедиться в загорании соответствующего индикатора 5 и передвижении ЛН в ближнее к ФЭ положение, о чем будет свидетельствовать загорание лампочки «Готов» на наклонной панели

установки. Переключателем 15 установить в качестве источника света красный светодиод. Вращая рукоятку 9, определить по прибору 12 напряжение, при котором фототок, измеряемый прибором 11, равен нулю. Учесть, что при измерении напряжения следует использовать множитель 0,02 В. Зафиксировать это напряжение запирающего и занести его в таблицу 6.2.

6.7. Повторить измерения с тремя другими светодиодами выбирая их переключателем 15.

Таблица 6.2. Значения напряжения запирающего U_s при использовании различных светофильтров.

Светофильтр	Красный	Оранжевый	Зеленый	Синий
ρ				
λ_s , нм	655	615	495	440
ν_s , с ⁻¹				
U_s , В				

6.8. Рассчитать частоты ν излучения светодиодов, исходя из длин волн λ , указанных в таблице, и используя соотношение $\nu = c/\lambda$. Нанести экспериментальные точки на график в координатах U_s , ν . Убедиться в наличии линейной зависимости. Определить постоянную Планка h и работу выхода A . Оценить погрешности измерений. По рекомендации преподавателя можно воспользоваться методом наименьших квадратов.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1. В чем заключается сущность явления внешнего фотоэффекта?

7.2. Объясните принцип работы фотоэлемента с внешним фотоэффектом.

7.3. Что такое «красная граница» фотоэффекта? Чем обусловлено ее наличие и положение на шкале длин волн?

7.4. Объясните причину различия вольтамперных характеристик в прямом направлении для разных световых потоков.

7.5. При каких условиях возникает ток насыщения?

7.6. Изобразите вольтамперную характеристику в обратном направлении; поясните ее.

8. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

8.1 Abduraxmanov Q.P., Xamidov V.S., Axmedova N.A., FIZIKA. Darslik. Tashkent. 2018 y.

8.2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Атомная физика. Т. 5, Ч. 1., – М.: «Наука», 1986. – 425 с.

8.3. Иродов И.Е. Квантовая физика. Основные законы.: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Высш. шк., 1991. – 271 с.

8.4. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 3. Квантовая механика: Уч. пособие для студентов вузов. 3-е изд., исправл. – М.: Наука, 1987. – 317 с.

8.5. Савельев И. В. Курс физики. Кн. 5. 2004 г.

8.6. Чужков Ю.П. Общие требования и правила оформления отчета о лабораторной работе по физике. – Томск, 2001. – 19 с.

8.7. Рипп А.Г. Оценка погрешностей измерений. Методические указания к лабораторным работам по курсу физики. – ТУСУР, 2007

Лабораторная работа № 6

ВНУТРЕННИЙ ФОТОЭФФЕКТ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является изучение внутреннего фотоэффекта на основе измерения световой характеристики полупроводникового фотоэлемента.

2. КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Внутренним фотоэффектом называется перераспределение электронов по энергетическим состояниям в твердых и жидких полупроводниках и диэлектриках, происходящее под действием света. Он проявляется в изменении концентрации носителей тока в среде и приводит к возникновению фотопроводимости или вентильного фотоэффекта. Фотопроводимостью называется увеличение электрической проводимости вещества под действием света. Вентильным фотоэффектом (фотоэффектом в запирающем слое) называется возникновение под действием света ЭДС (фото-ЭДС) в системе, состоящей из контактирующих полупроводника и металла или двух разнородных полупроводников (например, в *p-n* переходе).

Взаимодействие света с полупроводниками представляет собой достаточно сложное явление. Качественно можно рассмотреть простые случаи. К фотопроводимости приводят следующие виды поглощения света:

Собственное или фундаментальное поглощение света приводит к переходу электрона из связанного состояния в свободное. Т.е. электрон под действием света переходит из валентной зоны в зону проводимости. Собственное поглощение возможно лишь при

условии, что энергия кванта света превышает ширину запрещенной зоны. Оно приведет к появлению электронов и дырок, участвующих в создании проводимости полупроводника.

Примесное поглощение вызвано ионизацией атомов примеси, т.е. переходом электрона с примесного уровня в зону проводимости или из валентной зоны на уровень примеси. При этом также возникают носители заряда, участвующие в проводимости.

Поглощение света свободными носителями заряда. Электрическое поле световой электромагнитной волны может ускорять свободные носители заряда, при этом происходит её ослабление. Этот вид поглощения не приводит к изменению концентрации носителей заряда, однако при этом нарушается равновесное распределение носителей заряда по состояниям. Они становятся более «горячими», и их подвижность увеличивается, что приводит к изменению проводимости.

В любом случае, изменение электрического сопротивления полупроводника, можно описать величиной световой проводимости:

$$\gamma_{св} = eb_n \cdot \Delta n + eb_p \cdot \Delta p. \quad (2.1)$$

где e – элементарный заряд, b_n , b_p – подвижности электронов и дырок соответственно, Δn и Δp – избыточная концентрация электронов и дырок, создаваемая светом.

Если $\gamma_{св}$ увеличивается при освещении светом, то это положительный фоторезистивный эффект, если уменьшается, то – отрицательный.

Основная проводимость полупроводника обусловлена тепловым возбуждением и называется темновой γ_T . Полная проводимость γ может быть представлена в виде суммы темновой и световой проводимостей:

$$\gamma = eb_n(n + \Delta n) + eb_p(p + \Delta p) = \gamma_T + \gamma_{ос}. \quad (2.2)$$

где n и p – концентрации электронов и дырок в отсутствие света.

Экспериментально доказано, что количество образующихся зарядов, а, следовательно, и проводимость пропорциональна световому потоку.

Явление внутреннего фотоэффекта используется в фотодиодах. При освещении р-п перехода, во внешней цепи появляется фототок, обусловленный рождением дополнительных носителей заряда.

3. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В работе используется фотодиод (р-п переход), включенный в обратном направлении, как это показано на рис.3.1.

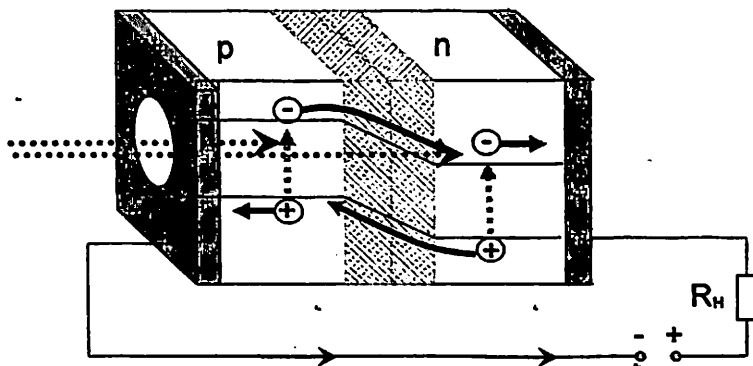


Рисунок 3.1 – Схема включения фотодиода.

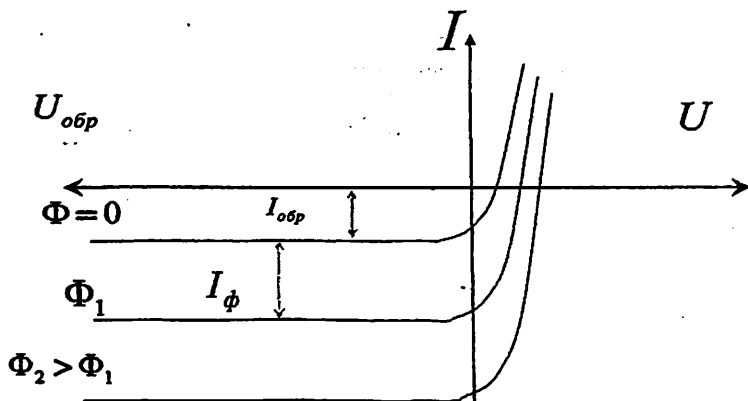


Рисунок 3.2 – Типичное семейство ВАХ для различных световых потоков

При таком включении ток через p-n переход можно представить в виде суммы двух составляющих: фототока I_ϕ определяемого освещенностью и темнового обратного тока $I_{обр}$.

Изучение фотоэффекта заключается в подтверждении линейной зависимости между фототоком I_ϕ и световым потоком, падающим на фотодиод. Изменять световой поток можно изменением расстояния r между источником света и фотодиодом. Действительно, если N – число фотонов, испускаемых точечным источником света в единицу времени, то число фотонов Φ , попадающих на фотодиод (которое пропорционально световому потоку) равно

$$\Phi = \frac{N}{4\pi r^2} S, \quad (3.1)$$

где S – освещаемая площадь p-n перехода.

Т.о., задача сводится к подтверждению линейной зависимости между фототоком I_{ϕ} и $1/r^2$, поскольку коэффициент перед $1/r^2$ в выражении (3.1) представляет собой константу в условиях постоянства накала источника света.

Конструктивно макет выполнен в виде блока, изображенного на рис. 3.3. В работе используются выключатели 1 «Сеть», 2 «Выбор работы», переключатель 13 «Напр.-Ток», 16 «< >», кнопка 10 «Пуск», рукоятка 15 «Источник света», рукоятка потенциометра 7 и измерительные приборы 11, 12.

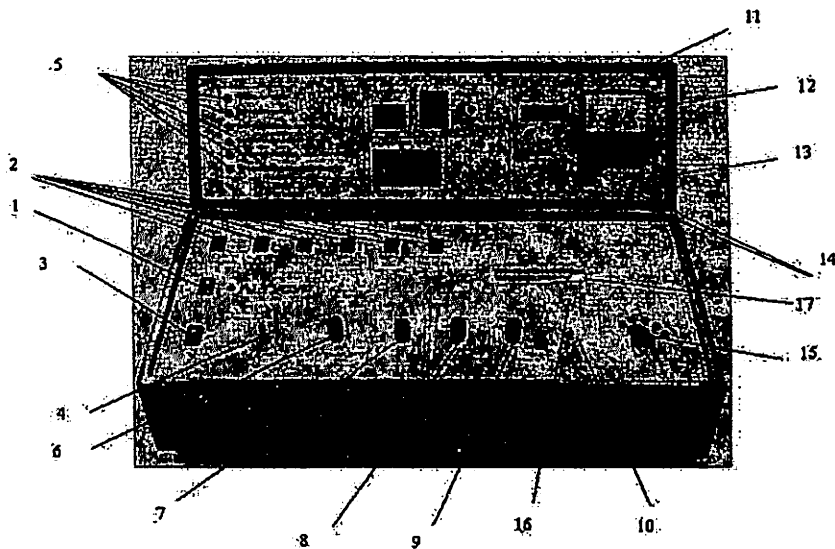


Рисунок 3.3 – Внешний вид установки

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Перед началом работы повернуть все потенциометры против часовой стрелки в крайнее положение. Все кнопки поставить в

положение “-”, т.е. «выкл». Включить установку кнопкой «Сеть» 1, при этом загорится сигнальная лампочка.

4.2. Кнопкой 2 выбрать соответствующую работу.

4.3. Убедиться, что рукоятка 15 «Источник света» поставлена в положение «Выкл». Вращая рукоятку потенциометра 7 снять зависимость (7-10 точек) тока от напряжения на фотодиоде, т.е. темновую вольтамперную характеристику. Результаты измерений занести в табл. 4.1. При этом напряжение считывается в милливольтмах с цифрового прибора 11 с использованием множителя $\times 5$ мВ, а ток в микроамперах считывается непосредственно с прибора 12. Рекомендация. Поскольку темновой ток мал, рекомендуется выставлять напряжение в интервале 0÷1 В и регистрировать показания токового прибора. Следует иметь в виду, что измерения проводятся на обратной ветви вольтамперной характеристики диода.

4.4. При помощи переключателя 16 и кнопки 10 установить фотодиод максимально близко к источнику света. Расстояние r вычислить по формуле $r = r_{изм} - 4,5\text{см}$, где $r_{изм}$ – расстояние, считанное по шкале 17 (Рис. 3.3). Записать значение расстояния r в таблицу 4.1 и включить лампу накаливания, поставив рукоятку 15 в положение «Ламп». Снять вольтамперную характеристику фотодиода.

Рекомендация. Измерения проводить в диапазоне токов от нуля до максимального. Иметь в виду, что фототок равен нулю при положительном напряжении на диоде. Поскольку характеристика

резко нелинейна, то в ее начале следует устанавливать ток и измерять напряжение, а затем делать наоборот.

4.5. Повторить п.4.4 для 5-6 других значений расстояния, изменяя их через 0,5 см.

4.6. На одном графике построить семейство вольтамперных характеристик фотодиода. Для каждого значения расстояния определить фототок I_f на участке насыщения для одного и того же напряжения U , вычитая темновой ток из полного.

4.7. Построить график в координатах I_f и $1/r^2$. Убедиться в наличии линейной зависимости между фототоком и освещенностью.

4.8. Сделать выводы по работе.

Таблица 4.1 – Вольтамперные характеристики фотодиода для различных освещенностей.

Темновая		г, см =		г, см =		г, см =		г, см =		г, см =	
		$1/r^2=$		$1/r^2=$		$1/r^2=$		$1/r^2=$		$1/r^2=$	
U, мВ	I, мкА	U, мВ	I, мкА	U, мВ	I, мкА	U, мВ	I, мкА	U, мВ	I, мкА	U, мВ	I, мкА

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. Что называют внутренним фотоэффектом?

5.2. Чем внутренний фотоэффект отличается от внешнего?

5.3. Какие виды поглощений приводят к появлению фотопроводимости?

5.4. Поясните принцип работы фотодиода.

5.5. Где можно использовать фотодиоды?

5.6. Существует ли красная граница внутреннего фотоэффекта?

6. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

6.1 Abduraxmanov Q.P., Xamidov V.S., Axmedova N.A., FIZIKA. Darslik. Tashkent. 2018 y.

6.2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Атомная физика. Т. 5, Ч. 1., – М.: «Наука», 1986. – 425 с.

6.3. Иродов И.Е. Квантовая физика. Основные законы.: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Высш. шк., 1991. – 271 с.

6.4. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 3. Квантовая механика: Уч. пособие для студентов вузов. 3-е изд., исправл. – М.: Наука, 1987. – 317 с.

6.5. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Энергия, 1973. – 655 с.

6.6. Савельев И. В. Курс физики. Кн. 5. 2004 г.

6.7. Чужков Ю.П. Общие требования и правила оформления отчета о лабораторной работе по физике. – Томск, 2001. – 19 с.

6.8. Рипп А.Г. Оценка погрешностей измерений. Методические указания к лабораторным работам по курсу физики. – ТУСУР, 2007.

СОДЕРЖАНИЕ

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА	3
Лабораторная работа № 1 ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.	11
Лабораторная работа № 2 ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ЩЕЛИ.	21
Лабораторная работа № 3 ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА.	32
Лабораторная работа № 4 ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СВЕТИМОСТИ СЕРОГО ТЕЛА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ	39
Лабораторная работа № 5 ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ. ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА СТОЛЕТОВА И ПРОВЕРКА ФОРМУЛЫ ЭЙНШТЕЙНА .	49
Лабораторная работа № 6 ВНУТРЕННИЙ ФОТОЭФФЕКТ	59

Формат 60x84 1/16. Печ. лист 4,25.
Заказ № 56. Тираж 20.
Отпечатано в «Редакционно издательском»
отделе при ТУИТ.
Ташкент ул. Амир Темур, 108.

Методическое пособие по выполнению лабораторных работ по курсу физики «Оптика»

Предназначена для студентов Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий

Рассмотрено и рекомендовано к публикации на заседании кафедры «Физика», (протокол № ~~16~~ от 22.11.2022 года).

Рассмотрено и рекомендовано к публикации на заседании факультета Телевизионных технологий (протокол №2 от 29.11.2022 года).

Рассмотрено и рекомендовано к публикации на заседании Совета ТУИТ имени Мухаммада ал-Хоразмий, ¹⁶² (протокол № - от 27.12.2022 года).

Авторы:

д.ф.-м.н, проф. К.П.Абдурахманов

к.ф.-м.н, доц. Х.М.Холмедов

к.ф.-м.н, доц. А.С.Ганиев

Рецензент:

к.т.н.(PhD). Очилова О.О.

Ответственный редактор: