МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М.АУЭЗОВА

Кафедра «Физика для технических специальностей»

Пономаренко Е.В.

Методические указания по проведению лабораторных занятий по дисциплине «Физика 2» для студентов специальностей 5В073100 - Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды, 5В070800 – Нефтегазовое дело, 5В072400 – Технологические машины и оборудование (по отраслям)

Шымкент – 2015 г.

УДК 378.6:53

Составитель: Пономаренко Е.В. Методические указания по проведению лабораторных занятий по дисциплине «Физика 2» для студентов специальностей 5В073100 - Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды, 5В070800 – Нефтегазовое дело, 5В072400 – Технологические машины и оборудование (по отраслям). – Шымкент: ЮКГУ им. М.Ауэзова, 2015. – 48 с.

Методические указания по проведению лабораторных занятий составлены в соответствии с требованиями учебного плана и программой дисциплины «Физика 2» и включают все необходимые сведения по выполнению лабораторных работ курса.

Методические указания по проведению лабораторных занятий составлены в полном соответствии типовой, рабочей программе дисциплины, силлабусу, календарно-тематическим планам лабораторных занятий и содержат: введение; типовую инструкцию по технике безопасности; правила оформления, защиты и оценки лабораторных работ; цель, задачи, описание всех лабораторных работ; контрольные вопросы; список литературы.

Методические указания по проведению лабораторных занятий предназначены для студентов специальностей 5В073100 - Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды, 5В070800 – Нефтегазовое дело, 5В072400 – Технологические машины и оборудование (по отраслям).

Рецензент:
Ортаева К. – к.п.н., ст.преп. кафедры «Физика для ТС» ЮКГУ им. М.Ауэзова

Рассмотрено и рекомендовано к печати заседанием кафедры «Физика для технических специальностей»
(протокол № ____ от «_____»_____2015 г.) и
методической комиссией факультета «Строительство и транспорт»
(протокол № ____ от «_____»_____2015 г.) и

Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом ЮКГУ им. М.Ауэзова, протокол № ____ от «_____»_____2015 г.

© Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауэзова, 2015 г.

Ответственный за выпуск: Пономаренко Е.В.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
ТИПОВАЯ ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ 5
ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ 6
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА КРИВИЗНЫ ЛИНЗЫ С ПОМОЩЬЮ ЯВЛЕНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ 8
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ДИФРАКЦИЕЙ 13
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ИЗУЧЕНИЕ ДИСПЕРСИИ СВЕТА 20
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА 24
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВАКУУМНОГО ФОТОЭЛЕМЕНТА 30
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 36

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные занятия являются важным видом учебной работы студентов по дисциплине «Физика 2» и выполняются в пределах часов, предусмотренных типовой программой. Описание каждой лабораторной работы включает: цели и задачи; содержание; оборудование, технические и инструментальные средства; порядок выполнения; контрольные вопросы; список литературы.

Общие цели и задачи лабораторных занятий – углубление и расширение знаний в процессе выполнения конкретных практических задач, развитие инициативы и самостоятельности студентов, приобретение умений анализировать полученные экспериментальные результаты и навыков использования технических средств, эксплуатации оборудования, конструкций.

В содержании указаны тематика лабораторного занятия согласно рабочей программе, краткие теоретические сведения, поясняющие сущность работы, достаточные для ее выполнения, методические рекомендации студентам по подготовке к занятию.

Оборудование, технические и инструментальные средства содержат перечень необходимого оборудования, технические и инструментальные средства либо компьютерные программы, используемые при проведении занятия.

Порядок выполнения работы включает в себя изложение общих правил и последовательность проведения занятия, формулировку темы занятия, проверку готовности студентов к занятию, анализ результатов выполнения работы и рекомендации к формированию выводов. Работы выполняются в соответствии с календарно-тематическим планом.

Контрольные вопросы предназначены для самоконтроля знаний и умений, полученных в результате выполнения работы. Формулируются задачи, вопросы (или указываются источники) с градацией по уровням сложности с указанием весомости каждого задания. В соответствии с модульно-рейтинговой системой и графиком контроля знаний (ГКЗ) результаты работы каждого студента оцениваются баллами (см. силлабус).

В списке литературы указываются учебно-информационные источники и другие материалы, которые могут быть использованы при подготовке и проведении занятия.

ТИПОВАЯ ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

- Не приступайте к работе в верхней одежде.
- Не приступайте к работе без разрешения преподавателя. Приступать к занятиям, только получив предварительно допуск к работе.
- Размещайте приборы, материалы, оборудование на своем рабочем месте так, чтобы исключить их падение или опрокидывание.
- Перед выполнением работы внимательно изучите ее содержание и последовательность действий.
- Не допускайте во время опытов предельных нагрузок измерительных приборов.
- Следите за исправностью механизмов. Не прикасайтесь и не наклоняйтесь к вращающимся частям установок.
- При сборке электрических цепей используйте провода с прочной изоляцией.
- Подключайте электропитание в последнюю очередь, после проверки правильности собранной схемы.
- Не прикасайтесь к корпусу стационарного электрооборудования и к зажимам даже отключенных конденсаторов.
- Пользуйтесь электроинструментами с изолирующими ручками.
- По окончании работы отключите источник питания, затем разберите цепь.
- Обнаружив неисправность в электрическом устройстве, находящемся под напряжением, немедленно отключите источник электропитания и сообщите о неисправности преподавателю или лаборанту.
- В лаборатории нужно поддерживать порядок и чистоту. После выполнения работы приведите рабочее место в порядок.
- Помнить о том, что студенты несут ответственность за используемые принадлежности и препараты.
- Перед уходом из лаборатории проверить, отключены ли штепсельные вилки.

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Чтобы приступить к выполнению лабораторной работы, предварительно нужно получить у преподавателя допуск, для чего необходимо:

1. Внимательно прочитать методические указания к работе.
2. Изучить теоретический материал, необходимый для усвоения знаний по работе. При необходимости изучить дополнительную литературу.
3. На листах формата А-4 аккуратно написать: цель и задачи работы; содержание; оборудование, технические и инструментальные средства; порядок выполнения работы; таблицу для записи результатов измерения; формулы для расчетов.
4. При подготовке к занятию ознакомиться с лабораторной установкой, выяснить для себя, что и как измерять.
5. Во время аудиторного лабораторного занятия получить допуск к работе у преподавателя.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Титульный лист: Министерство образования и науки РК, ЮКГУ им. М.Ауэзова, кафедра «Физика для технических специальностей», название и номер лабораторной работы, ФИО студента, группа, ФИО преподавателя, город, год.
2. Начиная со второго листа, аккуратно, без грамматических ошибок, пишутся: цель и задачи работы; содержание; оборудование, технические и инструментальные средства; порядок выполнения работы; таблица с результатами измерения; формулы; расчеты; контрольные вопросы и ответы на них.
3. Ксерокс, сканирование текста, распечатка методических указаний не допускаются.
4. Если в работе нужно строить графики, то их необходимо чертить на миллиметровой бумаге.

ЗАЩИТА И ОЦЕНКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Чтобы защитить выполненную лабораторную работу, нужно представить преподавателю письменный и устный отчет по работе. Максимальный балл за лабораторную работу выставляется студенту, если:

1. Студент выполнил работу в полном объеме.
2. Студент знает название, цель и задачи, содержание, порядок выполнения работы.
3. Студент знает оборудование, технические и инструментальные средства, используемые в работе, а также на лабораторной установке может показать, как он выполнял работу, что и как измерял.

4. Студент может написать и объяснить используемые в работе формулы и прокомментировать свои расчеты.
5. Студент дает полные и правильные ответы на контрольные вопросы.

Минимальный балл за лабораторную работу выставляется студенту, если он выполнил работу в полном объеме, правильно ее оформил, но во время защиты предоставил только письменный отчет.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА КРИВИЗНЫ ЛИНЗЫ С ПОМОЩЬЮ ЯВЛЕНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ

Цель работы: изучение явления интерференции на примере колец равной толщины и определение радиуса кривизны линзы интерференционным методом.

Оборудование: лазер, плоско-выпуклая линза в оправе, экран с координатной сеткой, оптическая скамья, рейтеры.

Введение

При наложении двух или более световых пучков друг на друга наблюдается усиление света в одних точках пространства и ослабление в других. Это явление называется интерференцией света. Устойчивую интерференционную картину могут давать только *когерентные волны,* т.е. такие, которые имеют *одинаковую частоту* и *постоянную разность фаз*. Для получения контрастной интерференционной картины необходимо также, чтобы их интенсивности были соизмеримы и плоскости колебаний вектора напряженности электрического поля $\vec{E}$ совпадали.

Один из методов получения когерентных волн основан на разделении на две части волны, излучаемой одним источником. Эти волны до попадания в заданную точку пространства проходят различные расстояния (или одинаковые расстояния в средах с различными показателями преломления). Между ними возникает постоянная разность фаз, вследствие чего получается интерференционная картина.

Если разность фаз $\Delta\varphi$ в данной точке пространства равна $2\ m\pi$, где m - целое число, то в этом месте происходит усиление колебаний (максимум освещенности), если же разность фаз равна $(2m + 1)\pi$, то будет наблюдаться ослабление колебаний (минимум освещенности).

Оптическая разность хода Δy связана с разностью фаз $\Delta\varphi$ соотношением

$$\Delta y = \frac{\lambda}{2\pi} \qquad (1)$$

Что позволяет получить условия максимума и минимума в виде

$$\Delta y = m\lambda \qquad (2)$$

$$\Delta y = (2m+1)\frac{\lambda}{2} \qquad (3)$$

где λ - длина волны интерферирующего света, $m = 0, 1, 2, 3\ldots$ - порядок полосы.

Следует отметить, что интерференция будет наблюдаться, если оптическая разность хода не превышает *длину когерентности* излучения. Длина когерентности есть такая предельная оптическая разность хода, при которой разность фаз при наложении двух волн изменяется *не случайно* с течением времени. С увеличением номера полосы "m" разность хода растет и при достижении ее величины длины когерентности интерференционная картина

исчезает. В качестве примера укажем, что длина когерентности $1_к$ для не лазерных источников света представляет величину порядка 1 мм и меньше. В случае лазерных источников $1_к$ достигает нескольких сантиметров и выше, вплоть до десятков метров.

Описание метода измерений

Интерференционную картину можно получить следующим образом. Если осветить плоско-выпуклую линзу плоской световой волной с большой длиной когерентности (от лазерного источника), то эта волна частично отразится как от передней выпуклой поверхности, так и от задней плоскости поверхности линзы (рис.1). Две отраженные волны интерферируют друг с другом, и интерференционную картину в виде концентрических темных и светлых колец можно наблюдать на экране.

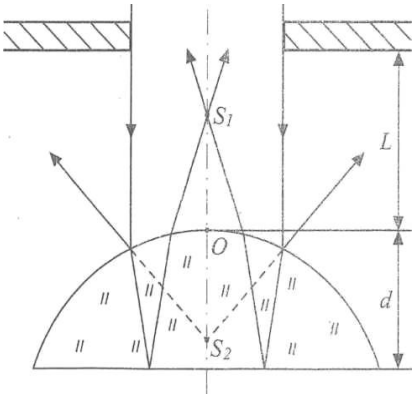


Рис.1

Эти кольца являются примером *полос равной толщины*. Радиусы колец r_m зависят от радиуса кривизны линзы K и расстояния между линзой и экраном L.

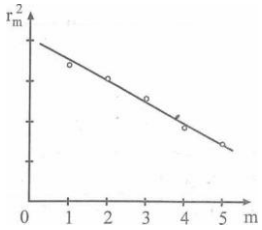
Таким образом, измерив радиусы интерференционных колец и расстояние между линзой и экраном, можно определить радиус кривизны линзы. Поскольку диаметр лазерного пучка обычно много меньше размеров линзы, то при выводе рабочей формулы можно использовать приближение параксиальных лучей, т.е. лучей, проходящих вблизи главной оси линзы. В параксиальном приближении интерференционная картина на экране может рассматриваться как результат интерференции двух сферических волн от источников, расположенных в точках S_1 и S_2. Если оптическая разность хода этих лучей до экрана

$$l_1 - 1_2 - m\lambda \qquad (4)$$

то в какой-либо точке на экране будет наблюдаться максимум интерференционной картины, т.е. светлое кольцо. Опуская вывод формул для определения положения мнимых источников S_1 и S_2 относительно вершины линзы O, запишем выражение для квадрата радиуса r_m светлых колец на экране

$$r_m^2 = -\frac{4L^2(n-1)\lambda}{Rn}m + 2L^2 \qquad (5)$$

здесь n - коэффициент преломления стекла линзы. Знак " в формуле (5) объясняется тем, что нумерация колец в данной задаче ведется в обратном порядке, т.е. кольцо с минимальным радиусом имеет максимальный номер, соответствующий наибольшей разности хода. Если на экране измерить радиусы колец r_m и построить график зависимости $r^2 (m) = Km$, то можно



определить радиус K кривизны линзы по угловому коэффициенту K прямой $r_m^2 \ (m)$(см.рис.2).Таким образом, радиус кривизны линзы определяется выражением

Рис.2

$$R = \frac{4L^2\lambda(n-1)}{Kn} \quad (6)$$

Описание установки

Схема установки представлена на рис.3.

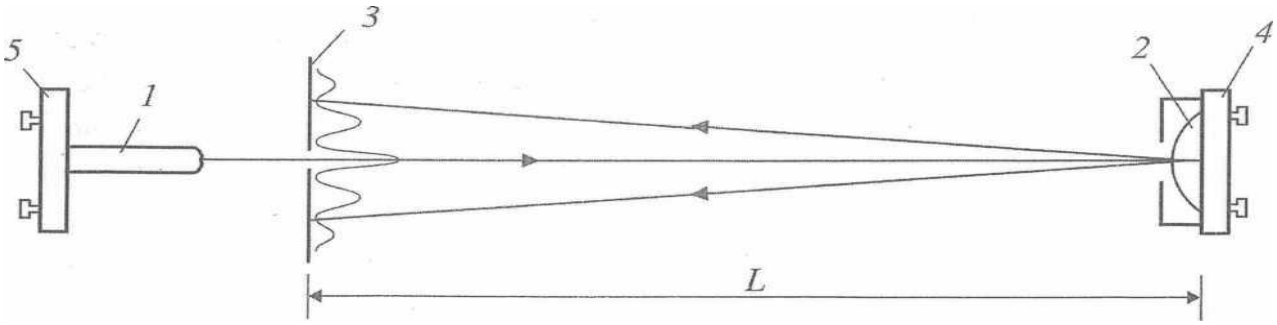


Рис. 3

1 - полупроводниковый лазер λ=0,65 мкм
2 - плоско-выпуклая линза в оправе
3 - измерительный экран
4, 5 - юстируемые держатели оптики

Излучение лазера 1 направляется на линзу *2* со стороны выпуклой поверхности. Для получения контрастной интерференционной картины на обе поверхности линзы нанесено отражающее покрытие *Al*. Коэффициент отражения от выпуклой поверхности линзы составляет 20% , от плоской поверхности - 100%. Стекло *К-8*, из которого изготовлена линза, имеет показатель преломления n = 1,52. Длина когерентности $1_к$ излучения используемого лазера больше двух максимальных толщин линзы (в данном случае $1_к$=20 мм). Для увеличения эффективной длины *1>>d* свет в установке распространяется по маршруту лазер – линза – зеркало – экран. На экране нанесена координатная сетка, с помощью которой можно измерить диаметры (радиусы) светлых интерференционных колец (см. рис.4).

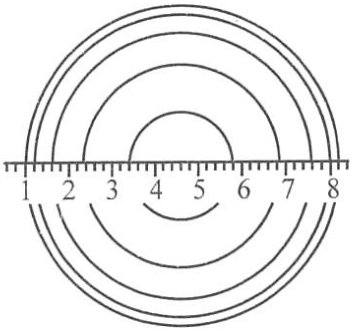


Рис. 4

Юстировка лабораторной установки

Для визуализации на экране *3* интерференционной картины необходимо выполнить следующие операции:

1. Включить лазер. Для этого пружинным элементом зафиксировать кнопку включения лазера.
2. С помощью котировочных винтов *5* держателя лазера *1* направить лазерное излучение примерно как центр линзы и наблюдать в отраженном поле два расширенных пучка света, сформированных отражением от передней и задней поверхностей линзы.
3. Котировочными винтами держателей *4* и *5* добиться совмещения этих пучков на экране *3*. Характерным признаком эффективности совмещения является образование интерференционной картины.
4. Котировочными винтами держателей *4* и 5 направить излучение на экран *3* в область координатной сетки.

Методика лабораторного эксперимента

1. Котировочными винтами держателя *4* позиционировать интерференционную картину симметрично координатной шкалы.
2. С помощью линейки измерить расстояние L от линзы *2* до экрана
3. Измерить по шкале координаты светлых колец слева и справа от центра интерференционной картины и занести их в таблицу 1.

Таблица 1

Номер кольца m		1	2	3	4	5
Координаты колец Ньютона, мм	Слева					
	Справа					
Диаметр кольца D, мм						
Радиус кольца r,мм						
r_m^2, мм						

4. Построить график линейной зависимости (см. рис.2).
5. Вычислить по графику угловой коэффициент κ.
6. Рассчитать по формуле 6 радиусы кривизны линзы $\bar{R}$.
7. Найти доверительный интервал Δk и рассчитать доверительный

интервал для радиуса кривизны линзы $\overline{R}$:

$$\Delta_R = (\Delta k / k)\overline{R} :$$

8. Записать результат в виде $R = \vec{R} \pm \Delta_R$.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой свет?
2. Что называют интерференцией?
3. Какие лучи дают устойчивую интерференционную картину?
4. Приведите примеры интерференции в природе, практического использования этого явления.
5. Дайте определение оптической разности хода световых лучей.
6. Как связана разность фаз с оптической разностью хода?
7. Выпишите условия максимума (минимума) при интерференции?
8. В чем состоит способ получения интерференционной картины, предложенной Ньютоном?
9. Можно ли получить светлое пятно в центре интерференционной картины в отраженном свете?
10. Покажите, как с помощью колец. Ньютона можно определить радиус кривизны линзы.
11. Как можно определить длину волны монохроматического света с помощью колец Ньютона?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ДИФРАКЦИЕЙ

Цель работы: наблюдение дифракции света на дифракционной решетке, определение периода дифракционной решетки и области пропускания светофильтров

Оборудование: дифракционные решетки, экраны с щелью, оптическая скамья, источники света (ртутная лампа, лампа накаливания).

Содержание работы:

Дифракцией называется явление огибания волнами препятствий. Применительно к световым волнам дифракция означает проникновение света в область геометрической тени. Одним из наиболее распространенных технических средств для создания дифракционных эффектов служит дифракционная решетка. *Дифракционной решеткой* называется тонкая структура, содержащая ряд параллельных равноотстоящих и близко расположенных друг от друга щелей.

Расстояние d между серединами соседних щелей или сумма прозрачной a и непрозрачной b частей называется постоянной (периодом) дифракционной решетки и находится по формуле

$$d=a+b$$

(рис.1).

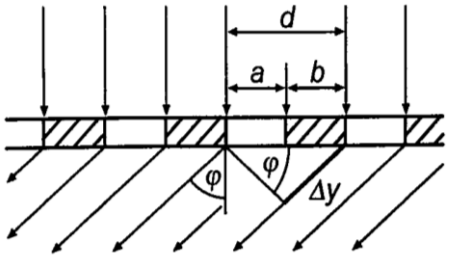


Рис. 1

При падении плоской световой волны на решетку каждый элемент её поверхности становится источником вторичных когерентных волн. Результирующее световое колебание в любой точке пространства определяется согласно *принципу Гюйгенса-Френеля* суммированием вторичных волн, проходящих в данную точку от всех элементов решетки, с учетом их амплитуд и фаз.

Если на пути волн за решеткой поставить собирающую линзу, то в плоскости будет наблюдаться дифракционная картина (рис.2). Дифракционную картину можно наблюдать глазом, воспринимая лучи, прошедшие сквозь решетку. Роль линзы в этом случае играет хрусталик глаза.

Главные дифракционные *максимумы* возникают в тех направлениях, для которых оптическая разность хода лучей, идущих от соседних щелей решетки,

равна целому числу длин волн λ:

$$\Delta y = m \cdot \lambda$$

Из рис.1 видно, что оптическая разность хода лучей, идущих от двух соседних щелей под углом дифракции φ,

$$\Delta y = d \cdot sin\varphi. \quad (1)$$

Таким образом, углы дифракции, под которыми наблюдаются максимумы, определяются условием

$$d \cdot sin\varphi = m \cdot \lambda. \quad (2).$$

Здесь m=0,±1,±2…- порядок дифракционного максимума.

Из формулы (2) следует, что если падающий свет содержит несколько различных длин волн, то решетка разложит его в спектр (рис.3). В направлении начального распространения света (φ=0) возникает максимум нулевого порядка (m=0). Справа и слева от него возникнут сплошные или линейчатые спектры различных порядков (m=±1,±2…). В каждом из спектров максимумы более коротких длин волн располагаются ближе к центральной полосе.

Угловой дисперсией спектрального прибора D_φ называют величину

$$D_\varphi = \frac{d\varphi}{d\lambda},$$

где $d\varphi$ – угловое расстояние между близкими спектральными линиями, $d\lambda$ – разность длин волн этих спектральных линий.

Для нахождения конкретного вида выражения D_φ продифференцируем уравнение (2). Тогда получим

$$D_\varphi = \frac{m}{d\ cos\varphi},$$

где m – максимальной порядок спектра, который можно получить с помощью решётки, d – период решетки, φ - угол между нормалью и направлением на m-й порядок спектра (для малых φ: $D_\varphi = m/d$).

Линейной дисперсией называют величину, численно равную отношению расстояния *dl* на экране (или фотопластинке) между близкими спектральными линиями к разности $d\lambda$ длин волн этих спектральных линий

$$D_i = \frac{dl}{d\lambda}$$

Из рис. 4 следует, что при малых φ отрезок $dl = f d\varphi$, где f- главное фокусное расстояние линзы. Тогда

$$D_i = f\frac{dl}{d\lambda} = fD_\varphi$$

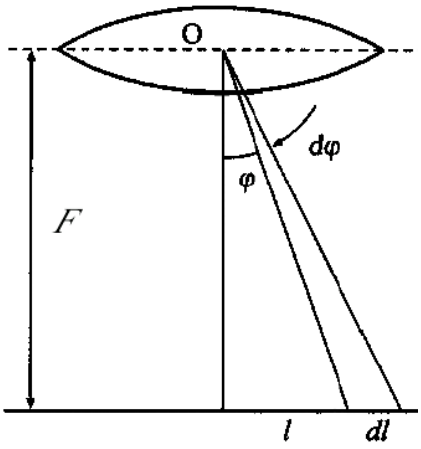


Рис.4

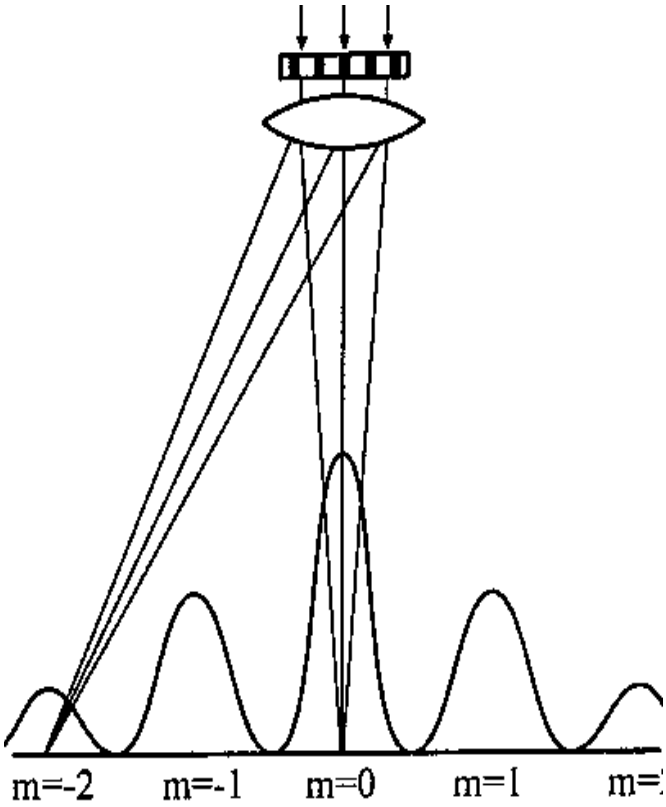


Рис. 2

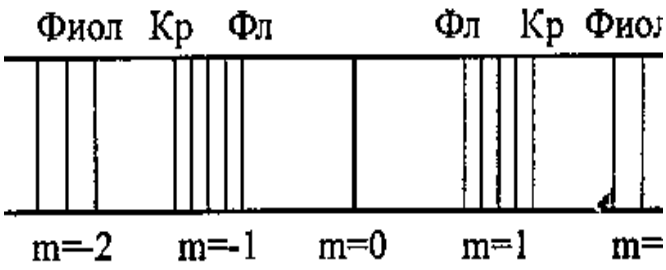


Рис. 3

Описание установки

Оптическая схема установки показана на рис.5. все элементы установки помещаются в стойках на оптической скамье.

Свет от источника 1, пройдя через щель 2, попадает на дифракционную

решетку 3. Дифракционная картина наблюдается непосредственно глазом на экране 4. Максимум нулевого порядка (центральный) совпадает со щелью. По обе стороны от нее расположены главные максимумы первого, второго и т.д. порядков.
На экране находится отсчетная линейка. Из рис.5 видно, что

$$sin\varphi = \frac{l}{\sqrt{L^2+l^2}}, \qquad (3)$$

где L – расстояние от экрана до дифракционной решетки;
l – расстояние от щели до максимума с углом дифракции φ.

Подставляя значение синуса в уравнение (2), получаем для d

$$d = m\frac{\sqrt{L^2+l^2}}{l}\lambda, \qquad (4)$$

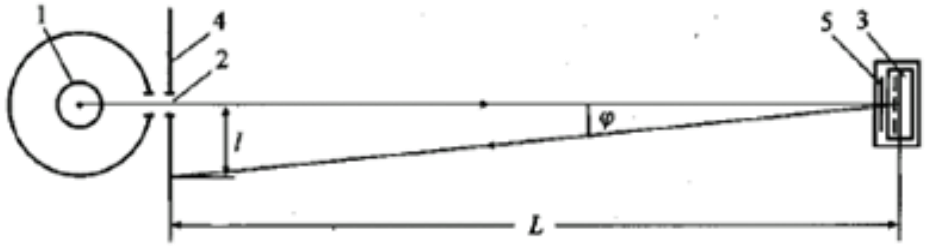


Рис.5

Задание 1 *Исследование линейчатого спектра (определение постоянной дифракционной решетки)*
1.На оптическую скамью (рис.5) устанавливаем ртутную лампу 1, дающую линейчатый спектр, экран 4 со щелью 2 и дифракционную решетку 3.
2.Подключив ртутную лампу к «Блоку питания ламп» в разъём «Ртутная лампа», включаем ртутную лампу и, перемещая щель или дифракционную решетку в вертикальном направлении, добиваемся попадания светового луча на дифракционную решетку.

ВНИМАНИЕ! Если после включения клавиши выключателя *ртутная лампа не загорится, нужно немедленно выключить блок питания, дать лампе остыть и затем повторно включить лампу.*

3.Наблюдаем через дифракционную решетку на экране со шкалой дифракционную картину в виде линейчатых спектров. Регулируя расстояние между решеткой и экраном со щелью, получаем четкое изображение спектров 1 и 2 порядков.
4.Измеряем расстояние между дифракционной решеткой и экраном.
5.По шкале влево l' и вправо l'' от центрального максимума определяем положение первой фиолетовой линии в спектре 1 и 2 порядка, и результаты заносим в табл. 1.

Таблица 1

L = мм							
λ, нм	Порядок спектра	Отсчёт по шкале		$l = \frac{l' + l''}{2}$ мм	d_i, мм	$(d_i - \bar{d})$, мм	$(d_i - \bar{d})^2$ мм^2
		влево l',мм	вправо l'', мм				
Фиолетовая 407,8	1						
	2						
Синяя 435,8	1						
	2						
Голубая 491,6	1						
	2						
Зелёная 546,1	1						
	2						
Жёлтая 577,0	1						
	2						
				Среднее		Сумма	

6.Аналогичные измерения проводим для других ярких линий спектра.

7.По полученным данным для каждой линии рассчитываем её среднее расстояние l' от центрального максимума и постоянную решетки по формуле (4). Находим среднее значение величины $\bar{d}$.

Задание 2. *Исследование светофильтра (определение области прозрачности светофильтра в видимой части спектра с помощью дифракционной решетки).*

Часть сплошного спектра, для которой данный фильтр прозрачен называется областью прозрачности светофильтра или полосой пропускания светофильтра. Цель данного упражнения - определить область прозрачности фильтра. Для этого надо найти коротковолновую $\lambda_к$ и длинноволновую $\lambda_д$ границу области прозрачности фильтра. Область прозрачности находится между $\lambda_к$ и $\lambda_д$.

1. На оптическую скамью (рис.5) устанавливаем лампу накаливания 1, дающую сплошной спектр, экран 4 со щелью 2 и дифракционную решетку 3. Постоянная решетки указана на ее корпусе.
2. Подключив галогеновую лампу к «Блоку питания ламп» в разъём «Галогеновая лампа», включаем галогеновую лампу и, перемещая щель или дифракционную решетку в вертикальном направлении, добиваемся попадания светового луча на дифракционную решетку.
3. Наблюдаем через дифракционную решетку на экране со шкалой 4 дифракционную картину в виде сплошных спектров. Регулируя расстояние

между дифракционной решеткой и щелью, получаем четкое изображение спектров 1 и 2 порядков.

4. Устанавливаем исследуемый светофильтр 5 (рис.5) и записываем его цвет в табл.2
5. Измеряем расстояние *L* между дифракционной решеткой и экраном.
6. Наблюдаем спектры первого порядка. По шкале слева l' и справа l'' от центрального максимума определяем положение коротковолновой границы пропускаемого светофильтром света (рис.6) с точностью до 1мм. Результаты измерения вносим в таблицу 2.

Таблица 2

L = мм					d = мм		
Цвет фильтра	Порядок спектра *m*	Граница области прозрачности					
		коротковолновая $\lambda_к$			длинноволновая $\lambda_д$		
		отсчёт по шкале, мм					
		Влево l'	Вправо l''	$l_к = \frac{l' + l}{2}$	Влево l'	Вправо l''	$l_д = \frac{l' + l''}{2}$
	1						
	2						
среднее значение λ, нм		$\lambda_к$=			$\lambda_д$=		

7. Находим среднее значение $l_к$ и по формуле (4) рассчитываем коротковолновую $\lambda_к$ границу спектра.
8. Аналогичные измерения и расчеты проводим для спектра второго порядка. Из двух полученных значений $\lambda_к$ по 1 и 2 порядку спектра берем среднее. Это и будет значением коротковолновой границы пропускаемого света.
9. Повторяем пункты 6-8 для нахождения длинноволновой границы пропускаемого светофильтром света. Результаты измерений и расчетов заносим в табл.2.

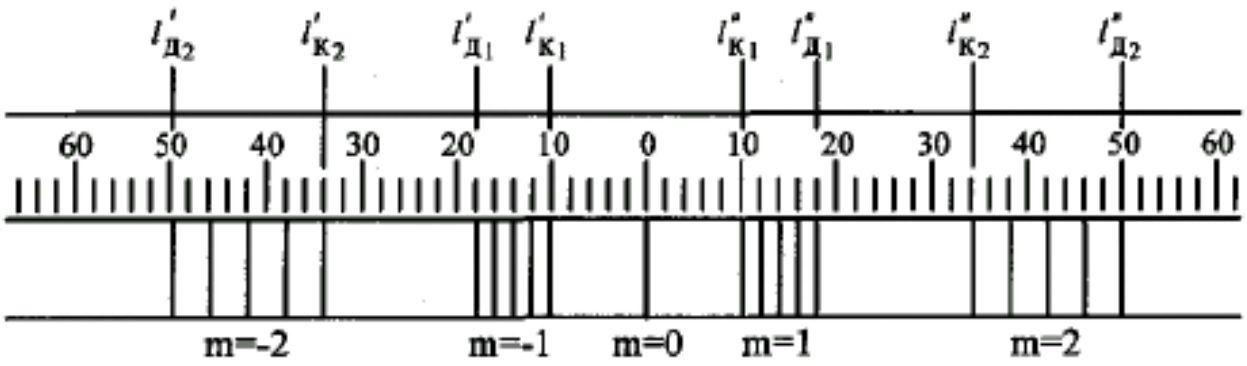


Рис. 6

10.Аналогичные измерения и расчеты проводим для других светофильтров.

Контрольные вопросы

1. Что такое дифракция света?
2. В чем заключается принцип Гюйгенса-Френеля?
3. Каково отличие дифракции Фраунгофера от дифракции Френеля?
4. Запишите и поясните формулу минимума для дифракционной решетки.
5. Дайте определение угловой дисперсии и разрешающей способности дифракционной решетки.
6. В чем отличие дифракционной картины при наблюдении в монохроматическом и белом свете?
7. Что называется областью прозрачности светофильтра?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ИЗУЧЕНИЕ ДИСПЕРСИИ СВЕТА

Цель: исследовать зависимость оптической силы линзы и коэффициента преломления стекла от длины волны исследуемого света.

Оборудование: источник света, набор светофильтров, исследуемая линза, экран, слайд, линейка.

Содержание работы

Дисперсия – зависимость показателя преломления света в веществе от длины волны света. Следствие дисперсии света – разложение белого света в спектр при прохождении его сквозь призму и один из серьезных недостатков оптических систем – хроматизм положения изображения (рис. 1).

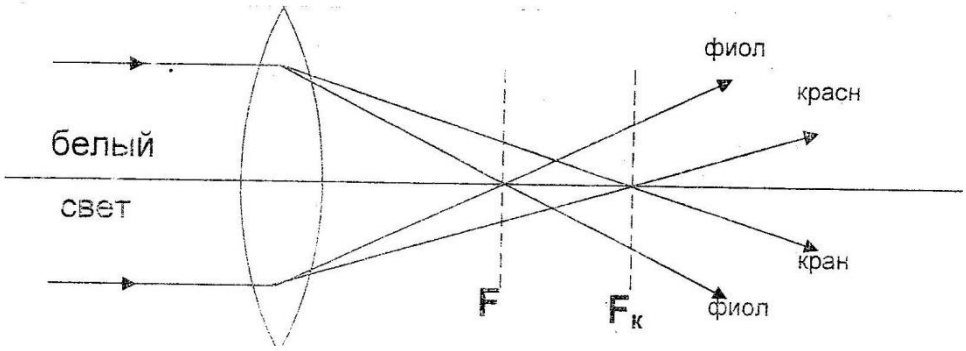


Рис. 1

Это значит, что нехроматический пучок имеет совокупность фокусов, расположенных вдоль оптической оси. Или, другими словами, линза дает ряд четких изображений предмета, расположенных на разных расстояниях от линзы, если изображения предмета получают в нехроматическом свете.

Оптическая сила тонкой линзы связана с показателем преломления n материала из которого изготовлена линза и радиусами кривизны R_1 и R_2поверхностей линзы (рис. 2).

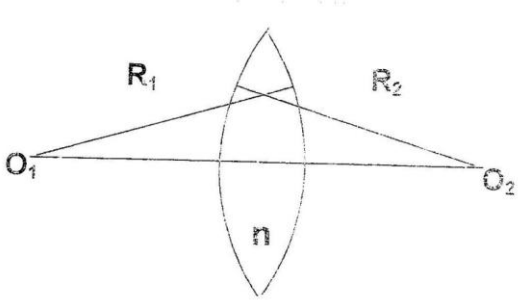


Рис. 2

$$D = (n-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right) \quad (1)$$

Таким образом, определяя экспериментально оптическую силу линзы для различных частей оптического спектра, можно исследовать ее зависимость от показателя преломления длины волн (дисперсию света).

Оптическую силу линзы достаточно просто рассчитать по положению изображения высотой H, получаемого с помощью линзы (рис. 3) от предмета высотой h.

$$D = \frac{1}{d}+\frac{1}{f} \quad (2)$$

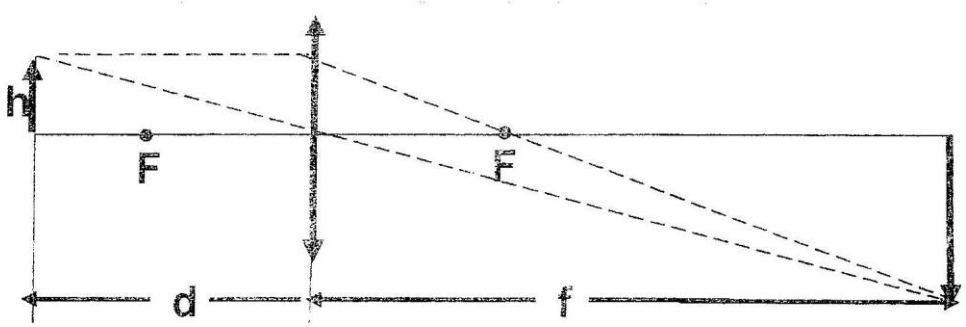


Рис. 3

Описание установки

Оптическая система установки изображена на рис. 4.

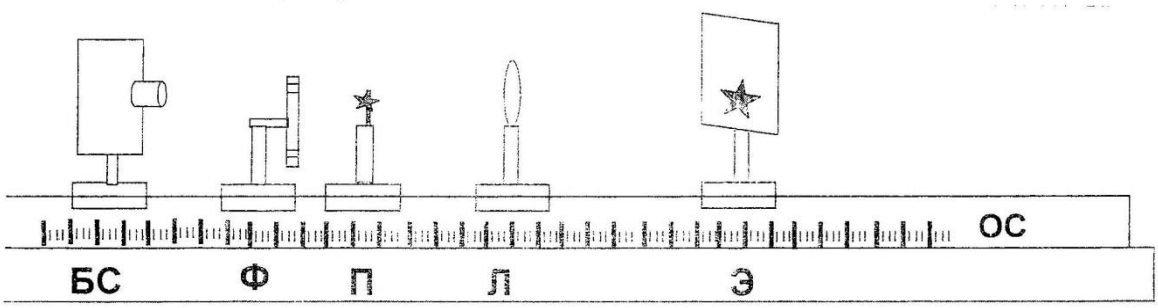


Рис. 4

ОС – оптическая скамья с нанесенной на ней шкалой,
БС – источник белого света,
Ф – обойма с набором светофильтров,
П – предмет,
Л – исследуемая линза,
Э – экран.

Если на оптической скамье расположить на определенном расстоянии ***d*** (больше ***F***) от линзы предмет, то, перемещая экран вдоль скамьи, можно получить его четкое изображение.

Порядок выполнения работы

1. Установите исследуемую линзу на оптическую скамью и закрепите ее. В таблицу запишите значения радиусов кривизны поверхностей линзы и длин волн, пропускаемых светофильтрами.

Таблица 1

R_1= м; R_2 = м; d = м					
λ, нм	№	f	D	$D_{ср}$	n
$\lambda_к$ =	1				
	2				
	3				
$\lambda_з$ =	1				
	2				
	3				
$\lambda_с$ =	1				
	2				
	3				

2. Установите в рабочее положение один из светофильтров (например, красный). Перемещая экран вдоль оптической скамьи, подберите такое его положение, при котором получается четкое изображение предмета.

Примечание: особенно уделите внимание тому, чтобы плоскость экрана и предмета были перпендикулярны оптической оси линзы.

3. Зафиксируйте положение светофильтра и измерьте расстояния ***d*** и ***f*** (рис. 3) с возможно большей точностью. Результаты запишите в таблицу.

4. Перемещая экран, получите четкое изображение предмета с зеленым и синим светофильтрами. Для каждого фильтра измерьте расстояние ***f*** и запишите его в таблицу.

5. Еще дважды проведите измерения (пункт 3) с другими светофильтрами и занесите в таблицу результаты измерения расстояния от линзы до экрана.

6. Для каждого светофильтра рассчитайте оптическую силу линзы по формуле 2, найдите ее среднее значение (расчеты выполняйте с точностью до

третьего знака после запятой).

7. Рассчитайте по формуле 1 показатель преломления стекла n для каждого фильтра.

8. Постройте график зависимости показателя преломления от длины волны.

Контрольные вопросы

1. Что такое дисперсия света?
2. Чем отличается нормальная дисперсия от аномальной?
3. Каковы различия спектров, полученных с помощью призмы и дифракционной решетки?
4. Что представляет собой дисперсия света с точки зрения классических представлений?
5. В чем заключается основная задача дисперсии?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА

Цель работы: исследование поляризации света при отражении от диэлектрика, определение угла полной поляризации. Исследование прохождения света через поляроиды.

Оборудование: специальная установка, осветитель, измеритель интенсивности света.

Содержание работы:

Из электромагнитной теории света следует, что световая волна является поперечной, то есть три вектора: напряженность электрического поля E, напряженность магнитного поля H и скорость распространения света c взаимно перпендикулярны. Свет от обычных источников состоит из множества цугов волн, световой вектор E которых ориентирован случайным образом, а колебания различных направлений равновероятны. Такой свет называется естественным.

Свет, в котором направления колебаний каким-либо образом упорядочен, называется поляризованным, процесс получения поляризованного света называется поляризацией. Если колебания вектора происходят в одной плоскости относительно луча, то свет считается плоскополяризованным.

Частично поляризованный свет - свет, в котором имеется преимущественное направление колебаний вектора Е. Эти случаи схематически изображены на рис. 1 (луч перпендикулярен плоскости рисунка).

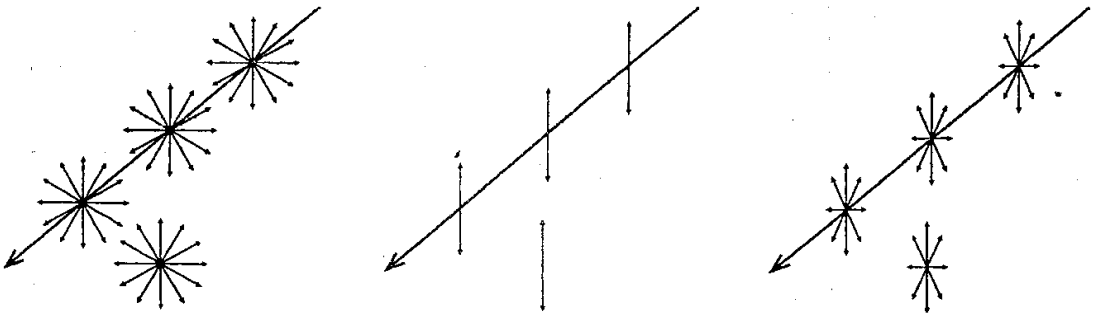


Рис. 1

Плоскость, в которой колеблется электрический вектор E, называется *плоскостью колебаний*, или плоскостью поляризации.

Поляризация света наблюдается при отражении, преломлении и при прохождении света через анизотропные вещества. Приборы для получения поляризованного света называются *поляризаторами.* Визуально поляризованный свет нельзя отличить от неполяризованного. Анализ поляризованного света делают с помощью поляризатора, через который пропускают исследуемый свет. В таких случаях поляризатор называют *анализатором*.

Для явления поляризации справедливы следующие законы.

1. При отражении световых лучей от поверхности изотропных диэлектриков, например от поверхности стекла, воды и так далее, отраженные лучи оказываются частично поляризованными в плоскости, перпендикулярной плоскости падения. Степень поляризации отраженных лучей меняется при изменении угла падения. Отраженный луч будет *плоскополяризован только* в том случае, *если* угол падения имеет определенную величину, называемую *углом полной поляризации.* Теория и опыт показывают, что угол полной поляризации в этом случае удовлетворяет условию

$$\operatorname{tg} \varphi_{Бр} = n \qquad (1)$$

где n - относительный показатель преломления второй среды относительно первой. Это *закон Брюстера.* Преломленный свет частично поляризован.

2. Если на анализатор падает плоскополяризованный свет, плоскость поляризации которого составляет угол α с плоскостью поляризации лучей, пропускаемых анализатором, то интенсивность пропущенного им света $I_П$ будет определяться соотношением

$$I_A = I_П \cos^2 \alpha \qquad (2)$$

Здесь $I_П$ - интенсивность света, падающего на анализатор. *Это закон Малюса.* Если частично поляризованный свет пропускать через анализатор, то интенсивность I_A прошедшего света будет меняться в зависимости от положения плоскости поляризации анализатора (ППА). Она достигает максимального значения I_{max}, если ППА и плоскость преимущественных колебаний частично поляризованного света совпадает. Если эти плоскости перпендикулярны друг другу, то интенсивность света, прошедшего через поляризатор, будет минимальной $\boldsymbol{I_{min}}$.

Для характеристики поляризованного света вводится величина, называемая *степенью поляризации* света P,

$$P = \frac{I\,max - Imin}{I\,max + I\,min} \qquad (3)$$

Для естественного света P=0, так как $I_{min} = I_{max}$, а для плоскополяризованного света P=1, так как $I_{min} = 0$.

Для исследования законов Брюстера и Малюса используется специальная установка, которая крепится на оптической скамье (рис.2).

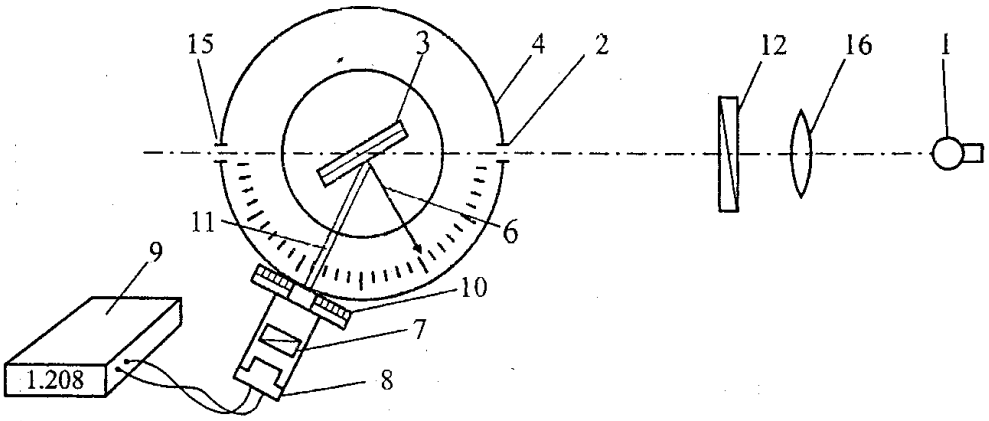


Рис. 2

Свет от лампы 1 через отверстие в корпусе лампы падает на стеклянную пластину 3, помещенную в фиксаторы поворотного столика. Изменение угла падания света осуществляется поворотом столика со стеклянными пластинами. Стрелка 6 поворотного столика указывает угол падения света. К установке прилагается набор съемных стеклянных пластин, закреплённых в обоймы (по 2, 4, 7, 12 шт.). Отраженный от пластины частично поляризованный свет через анализатор 7 попадает на фотоэлемент 8, подключенный к измерителю интенсивности света (ИИС) 9.

Показания ИИС пропорциональны световому потоку, попадающему на фотоэлемент. Положение плоскости поляризации анализатора отмечается по шкале *10* с помощью указателя.

Узел анализатор-фотоэлемент закреплён на коромысле *11,* которое может поворачиваться вокруг вертикальной оси на угол от 50° до 180.

Отражающая пластина *3* может вращаться вокруг вертикальной оси, и у отраженного от нее частично поляризованного света плоскость преимущественных колебаний вертикальна. На фотоэлемент *8* попадает световой поток, зависящий от положения ППА 7 - он будет максимальным (показание ИИС 9 максимально), если ППА вертикальна, и минимальным, если ППА горизонтальна.

Как следует из теоретических представлений, интенсивность этих двух составляющих (а следовательно, и показания вольтметра), поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях, будет меняться в зависимости от угла падения света φ в соответствии с графиком (рис.3). Изменяя угол падения света на пластину и отмечая показания вольтметра, можно найти *угол полной поляризации или угол Брюстера.* Для изучения закона Малюса используется дополнительный поляризатор *12.*

Порядок выполнения работы:

1. Изучение установки, знакомство с основными узлами и элементами:

а) изменение угла падения света на пластину;

б) изменение положения ППА;

в) узел анализатор-фотоэлемент.

2. Включите источник света и, вращая его вокруг вертикальной оси, добейтесь, чтобы световой луч был направлен вдоль оптической скамьи.

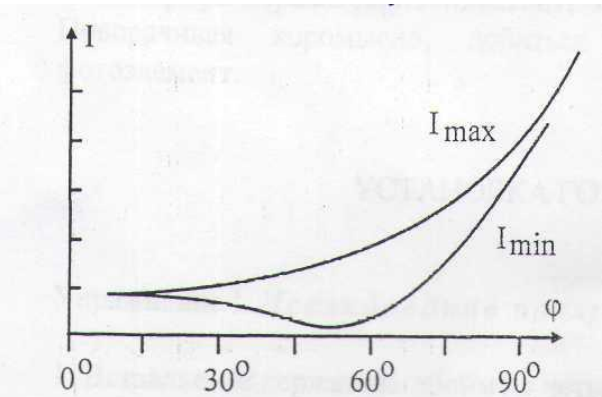


Рис. 3

3. Закрепите в держателе обойму с четырьмя пластинами. Установите держатель так, чтобы указатель угла поворота стоял на нулевом делении, а отраженный световой луч был направлен вдоль оптической скамьи.

Контролировать правильность установки осветителя дополнительно можно по отраженному от пластины свету: пятно света, отраженное на осветитель, должно быть симметрично относительно выходного отверстия осветителя.

4. Ознакомьтесь с устройством и работой анализатора и датчика интенсивности света. Для этого поверните коромысло узла анализатора так, чтобы свет, прошедший через пластину, попал на анализатор и фотоэлемент. Включите ИИС и подключите к нему фотоэлемент. Меняя положение ППА от 0° до 180°, убедитесь, что величина сигнала не меняется. Следовательно, свет, прошедший через пластину, не поляризован.

5. Поверните отражающую пластину, и задайте угол падения света φ = 25°-80°. Поворачивая коромысло, добейтесь попадания отраженного света на фотоэлемент.

Выполнение упражнений

Упражнение I. *Исследование поляризации отраженного света.*

1. Вставляем в держатель обойму с четырьмя пластинами и устанавливаем угол падения света 25°. Поворачивая коромысло, добиваемся попадания на фотоэлемент отраженного света. Измеряем интенсивность света при положениях ППА 0° и 90°. Аналогичные измерения проводим для других углов падения (указаны в таблице) и результаты заносим в табл. 1.

2. Повторяем все измерения еще дважды и находим среднее значение показаний ИИС для каждого угла падения.

3.Для каждого угла падения по формуле 3 рассчитываем степень поляризации отраженного света.

Таблица 1

Угол падения, φ, град		25	30	35	40	45	*50*	53	55	57	59	62	65	70	75
I_{max}, мВ	1														
	2														
	3														
среднее															
I_{min}, мВ	1														
	2														
	3														
среднее															
Степень поляриза-ции, Р															
Угол Брюстера $\varphi_{Бр}$ =						Показатель преломления n =									

4. Строим графики зависимости: $\mathbf{I_{max}=f(\varphi)}$; $\mathbf{I_{min}=f(\varphi)}$; $\mathbf{P=f(\varphi)}$, с помощью которых находим угол Брюстера.

5.По формуле (1) рассчитываем показатель преломления n материала пластины (стекла).

Упражнение 2. *Исследование поляризации прошедшего через пластину света*

1.Вставляем обойму с двумя пластинами (N=2) и устанавливаем угол падения света, равный углу Брюстера, найденному в упражнении 1.

2.Устанавливаем фотоэлемент для регистрации интенсивности *прошедшего через* пластины света.

3.Измеряем интенсивность прошедшего через пластины света при двух положениях ППА: I_{max} - при 90° и I_{min} - при 0°.

4.Аналогичные измерения проводим для N=4, 7, 12 пластин. Рассчитываем степень поляризации света для всех случаев и вносим в таблицу 2.

Таблица 2

Число пластин N	Показания вольтметра, мВ		Степень поляризации, Р
	I_{max}	I_{min}	
2			
4			
7			
12			

5.Строим график $P = f(N)$.

Упражнение 3. *Изучение закона Малюса.*

1. Снимаем с установки обойму с пластинами, коромысло узла анализатор-фотоэлемент устанавливаем в положение 180°, между источником света и установкой помещаем поляризатор 12 ($\varphi_{ППП} = 0°$).

2. Устанавливаем ППА на 0° и, *меняя положение* ППА ($\varphi_{ППА}$)от 0° до 180° через каждые 15°, отмечаем показания ИИС $I_{п}$ (интенсивность света, прошедшего через поляризатор и анализатор). Результаты всех измерений заносим в табл. 3.

Таблица 3

$\varphi_{ППП} = 0°$	$\varphi_{ППА}$	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
	$I_{П}$													
$\cos^2\varphi$		0,00	0,07	0,25	0,50	0,75	0,93	1,00	0,93	0,75	0,50	0,25	0,07	0,00
$I_{П}^2$														

3. Проводим расчеты, необходимые для заполнения таблицы.

4. Строим график $\mathbf{I^2=f(\cos^2\varphi)}$

Контрольные вопросы

1. Чем отличается естественный свет от поляризованного?
2. Перечислите способы получения поляризованного света.
3. В чем состоит явление двойного лучепреломления?
4. Сформулируйте закон Брюстера.
5. Докажите, что отраженный и преломленный лучи при соблюдении условия Брюстера будут взаимно перпендикулярны.
6. Сформулируйте закон Малюса.
7. Почему при любом положении анализатора частично поляризованный свет проходит через него?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВАКУУМНОГО ФОТОЭЛЕМЕНТА

Цель работы: снятие вольт – амперной характеристики фотоэлемента, определение красной границы фотоэффекта, работы выхода электрона и постоянной Планка.

Оборудование: вакуумный фотоэлемент, галогеновая лампа, набор светофильтров, электронный блок приборов (включает микроамперметр, вольтметр, источник питания).

Введение

Внешним фотоэффектом называют процесс испускания электронов с поверхности металла под действием света. Согласно квантовой теории всякое тело может поглощать и испускать энергию порциями, содержащими целое число элементарных порций – *квантов энергии*. Энергия фотона ε определяется по *формуле Планка*:

$$\varepsilon = h\nu$$

Закон сохранения энергии при неупругом взаимодействии фотона со свободным электроном металла выражается *уравнением Энштейна*:

$$h\nu = \mathrm{A} + \frac{mV^2}{2} \qquad (1)$$

Из уравнения Энштейна видно, что максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона зависит не от интенсивности света, а от его частоты и работы выхода A. При уменьшении частоты света скорость выбитых электронов уменьшается и при некоторой частоте становится равной нулю. Частоту, ниже которой фотоэффект у данного металла не наблюдается, называют *граничной частотой фотоэффекта*:

$$h\nu_0 = \mathrm{A} \qquad (2)$$

Особенности фотоэлементов определяются их спектральной и вольт – амперной характеристиками. *Спектральная характеристика* определяет область спектра, в которой может применяться фотоэлемент.

Вольт – амперная характеристика (ВАХ) фотоэлемента (рис.1) выражает зависимость фототока I от разности потенциалов U между электродами. С увеличением U фототока растет до определенного предельного значения - тока насыщения, который согласно закону Столетова, пропорционален световому потоку $Ф$, падающему на катод:

$$I_н \sim \Phi \qquad (3)$$

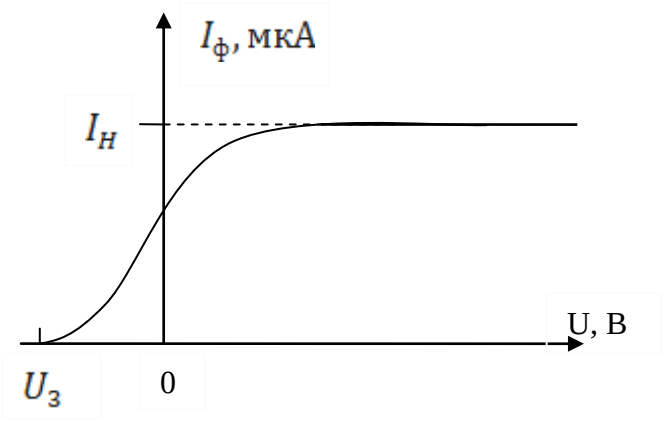


Рис. 1

Фототок полностью прекращается при создании задерживающего напряжения обратной полярности по сравнению с ускоряющим. При некотором условии кинетическая энергия фотоэлектронов снижается до нуля под действием электрического поля, т.к. равна работе, совершаемой полем:

$$eU_з = \frac{mV^2}{2} \qquad (4)$$

Метод измерений

В соответствии с уравнениями (1) и (4) имеем:

$$U_з = \frac{h}{e}\nu - \frac{A}{e} \qquad (5)$$

Это соотношение указывает на возможность экспериментального определения работы выхода *A* и постоянной Планка *h* по зависимости задерживающего потенциала от частоты падающего на фотоэлемент света. Согласно уравнению (5) зависимость $U_з = f(\nu)$ представляет собой прямую линию (рис.2). На оси ординат прямая отсекает отрезок. Этот способ определения *A* основан на экстраполяции графика.

Изучение закона Столетова состоит в построении графика зависимости фототока насыщения от светового потока *Ф*, падающего на фотокатод. При изменении накала лампы изменяется и спектральный состав света. Поэтому для изменения *Ф* в работе изменяют расстояние от лампы до фотоэлемента. Если лампу считать изоторопным источником света, то на расстоянии *r* от нее освещенность

$$E = \frac{I_0}{r^2} \qquad (6)$$

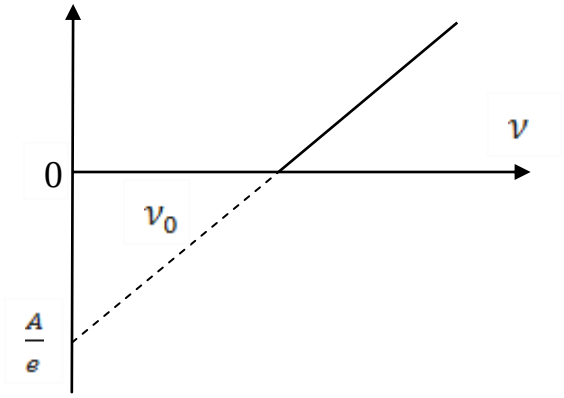


Рис. 2

Световой поток, падающий на фотокатод с площадью S

$$\Phi = E \cdot S = \frac{I_0 S}{r^2} \qquad (7)$$

Согласно этому выражению закону Столетова соответствует прямая линия на графике зависимости $I = f\left(\frac{1}{r^2}\right)$

Описание установки

Фотоэффект изучают на установке (рис.3), состоящей из фотоэлемента лампы накаливания, размещаемых на оптической скамье, а также цифровых микроамперметра и вольтметра, конструктивно объединенных вместе с реостатом в один электронный блок приборов. Вакуумный фотоэлемент заключен в защитный кожух с окном и представляет собой стеклянный баллон, половина которого изнутри покрыта тонким слоем щелочного металла. Этот слой является катодом фотоэлемента. Анодом служит металлическое кольцо, расположенное в центре баллона. Источником света является галогеновая лампа накаливания, напряжение на которой может регулироваться ручкой, размещенной в левой части лицевой панели электронного блока. Монохроматическое излучение получают с помощью светофильтров, закрепленных во вращающейся оправе. Фототок измеряют цифровым микроамперметром. Напряжение на фотоэлементе может изменяться вращением ручки реостата и измеряется цифровым вольтметром. Для переключения режимов задерживающего и ускоряющего напряжений служит специальный переключатель полярности, расположенный в нижней части панели электронного блока.

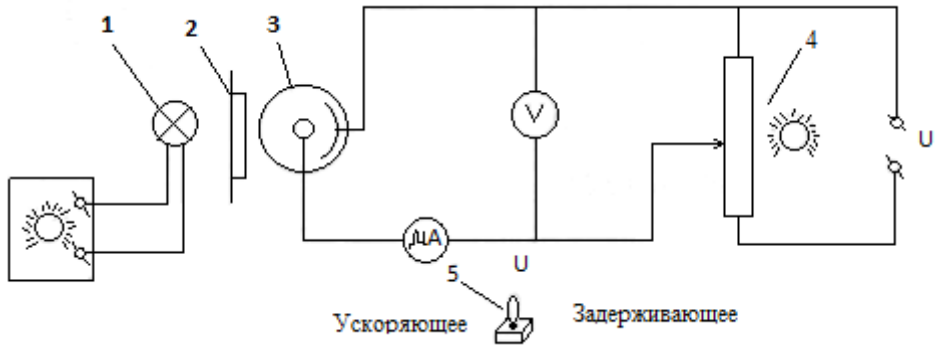


Рис. 3

Схема установки:

1 – лампа накаливания;
2 – светофильтры в оправе;
3 – фотоэлемент;
4 – реостат;
5 – переключатель полярности.

Порядок выполнения работы

Задание 1. Построение вольт – амперной характеристики

1. На оптической скамье расположить источник света, набор светофильтров и фотоэлемент *как можно ближе друг к другу*.
2. Включить электронный блок приборов и установит режим ускоряющего напряжения. Выбрать один из светофильтров и подобрать такой накал лампы (световой поток), чтобы фототок при $U=0$ был 0.2 – 0.3 мкА.
3. Увеличивать напряжение на фотоэлементе, как показано в табл.1, измерять фототок до момента наступления тока насыщения. Результат записать в табл.1.

Таблица 1

$\lambda =$ нм										
Напряжение U, В		0	1,	2,	3,	5,	8,	12,	16,	
Фототок I, мкА	0									

4. При том же светофильтре переключите режим работы на задерживающее напряжение, определите задерживающий потенциал (т.е. минимальное напряжение, при котором фототок становится равным 0) и результат запишите в первую графу табл.1.
5. Постройте график зависимости $I = f(U)$.

Задание 2. Определение работы выхода и постоянной Планка.

1. На оптической скамье расположите источник света, набор светофильтров и фотоэлемент *как можно ближе друг к другу*. Установите в лампе накаливания максимальный ток.
2. В таблице 2 запишите длины волн λ, пропускаемых светофильтрами, в порядке их уменьшения.

Таблица 2

Цвет фильтра						
λ, нм						
ν, х10^{14} Гц						
Задерживающий потенциал $U_з$, В						
Средний $\overline{U_з}$, В						

3. Поменяйте полярность напряжения на фотоэлементе. Для этого переключите тумблер в нижней части панели электронного блока в режим задерживающего напряжения.
4. Плавно вращая ручку реостата (правая часть панели), определите задерживающий потенциал для каждого из светофильтров (не менее трех раз) и среднее . Результаты запишите в табл.2.
5. Постройте график линейной зависимости $U_з = f(\nu)$. Экстраполируйте прямую до пересечения с осью ординат (см.рис.2).
6. По графику найдите граничную частоту ν и задерживающее напряжение $U_з = \frac{A}{e}$.
7. По формуле $A = U_з \cdot e$ (эВ) $= U_з \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}$(Дж) вычислите работу выхода электрона *A*.
8. Вычислите постоянную Планка $h = \frac{A}{\nu_0}$.
9. Вычислите относительную погрешность.

$$\delta_h = \frac{h - h_{\text{ТАБЛ}}}{h_{\text{ТАБЛ}}}$$

Табличное значение постоянной Планка 6,624*10**(-34) Дж*с.

10. Вычислите абсолютную погрешность

$$\Delta_h = h \cdot \delta_h$$

Задание 3. Изучение закона Столетова.

1. Установите режим ускоряющего напряжения.
2. Разместите на оптической скамье лампу накаливания и потический фотоэлемент *как можно ближе друг к другу* (~185 мм). Установите напряжение на фотоэлементе, соответствующее началу эффекта насыщения (см.табл.1).
3. Установите максимальный накал лампы. Измерьте фототок.
4. Отодвигая фотоэлемент каждый на ~20 мм (*и сохраняя при этом ориентацию фотоэлемента на источник света*), измеряйте фототок при различных расстояниях *r* от источника света до фотоэлемента. Результаты измерений записывайте в табл.3.

Таблица 3

Расстояние , м							
Величина $\frac{1}{r^2}$, $м^{-2}$							
Фототок I_H, мкА							

5. Постройте график зависимости $I_H = f\left(\frac{1}{r^2}\right)$.

Контрольные вопросы

1. Что такое световой поток?
2. Связь между длиной волны, частотой и скоростью света.
3. Что такое фотон?
4. Чему равна энергия фотона?
5. В чем заключается явление фотоэффекта?
6. Законы Столетова для фотоэффекта.
7. Сформулируйте и объясните уравнение Энштейна для фотоэффекта.
8. Что понимают под красной границей фотоэффекта?
9. Объясните термин «задерживающая разность потенциалов».
10. Как зависит задерживающий потенциал от частоты падающего света?
11. От чего зависит скорость фотоэлектронов?
12. Как устроен вакуумный фотоэлемент?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цели и задачи работы: Изучение основных закономерностей теплового излучения – получение кривых излучения нагретого нихрома, проверка закона смещения Вина и закона Стефана - Больцмана.

Содержание работы:

Самым распространенным видом электромагнитного излучения является тепловое излучение. Оно совершается за счет энергии теплового движения атомов и молекул вещества, т.е. за счет внутренней энергии вещества. Тепловое излучение свойственно всем телам, при любой температуре, отличной от 0 К. Тепловое излучение, имеет сплошной спектр длин волн (или частот), однако распределение энергии в нем сильно зависит от температуры: при низких температурах излучение в основном является инфракрасным при высоких – видимым и ультрафиолетовым.

Любое тело, излучая само, вместе с тем поглощает энергию, испускаемую окружающими телами. При этом оно нагревается и может прийти с ними, в так называемое тепловое равновесие.

Количественной характеристикой теплового излучения служит спектральная плотность излучательности тела *R (λ, T)*:

$$R(\lambda,T)=\frac{dW^{изл}(\lambda,\lambda+\Delta\lambda)}{\Delta\lambda} \qquad (1)$$

где $dW^{изл}$ (λ, $\lambda + \Delta\lambda$) - энергия излучения, испускаемого за единицу времени (мощность излучения) с единицы площади поверхности тела в интервале длин волн от λ до $\lambda + \Delta\lambda$.

Зная *R (λ,T),* можно найти излучательность тела *R(T)*

$$R(T)=\int_0^{\infty} R(\lambda,T)\cdot d\lambda \qquad (2)$$

т.е. мощность излучения с единицы поверхности тела по всем длинам волн.

Способность тела поглощать падающее излучение характеризует спектральная поглощательная способность *A(λ,T)*:

$$A(\lambda,T)=\frac{dW^{погл}(\lambda,\lambda+\Delta\lambda)}{dW^{пад}(\lambda,\lambda+\Delta\lambda)} \qquad (3)$$

покрывающая, какая доля падающей энергии поглощается телом в интервале длин волн от λ до $\lambda + \Delta\lambda$.

Величины $R(\lambda, T)$ и $A(\lambda,T)$ зависят от природы тела, температуры и длины волны излучения. Тело, способное поглощать при любой температуре все падающее на него излучения любой длины волны, называется абсолютно черным телом. Следовательно для него при любых λ и T $A^o(\lambda,T)\equiv 1$. В природе абсолютно черного тела нет, можно рассматривать лишь его модели.

Существует также понятие серого тела. Для него при любых λ $A^o(\lambda,T) = A^o(T)$=const<1. Для серого тела $A^o(T)$ зависит or температуры, материала тела и состояния ее поверхности.

Отношение спектральной плотности излучательности $R(\lambda,T)$ к спектральной поглощательной способности $A(\lambda,T)$ не завис не от природы тела и является универсальной функцией длины волны и температуры $r(\lambda,T)$ (закон Кирхгофа):

$$r(\lambda,T)=\frac{R(\lambda,T)}{A(\lambda,T)} \qquad (4)$$

Для абсолютно черного тела $A^o(\lambda,T)\equiv 1$, поэтому из (4) вытекает, что универсальной функцией $r(\lambda,T)$ является спектральная плотность излучательности абсолютно черного тела $R^ч(\lambda,T)$, т.е. $r(\lambda,T) = R^ч(\lambda,T)$

Согласно (4) для излучательности любого тела можно записать по (2):

$$R(T)=\int_0^\infty A(\lambda,T)\cdot r(\lambda,T)d\lambda$$

Для серого тела $A(\lambda,T)=A(T)$, поэтому

$$R(T)=A(T)\int_0^\infty r(\lambda,T)d\lambda = A(T)\cdot R_r$$

или

$$R(T)=A(T)\cdot R_r \qquad (5)$$

т.е. излучательность серого тела пропорциональна излучательности абсолютно черного тела. Очевидно

$$R_r=\int_0^\infty r(\lambda,T)d\lambda \qquad (6)$$

является излучательностью абсолютно черного тела.

Согласно закону Стефана- Больцмана

$$R_r=U\cdot T^4 \qquad (7)$$

т.е. излучательность абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени его температуры, где σ - постоянная Стефана - Больцмана ее значение равно $5{,}67 \cdot 10^{-3}$Вт/(м^{2}К$^{-4}$)

Экспериментальные кривые зависимости функции $r(\lambda,T)$ при различных температурах от длины волны λ представлены на рис.1

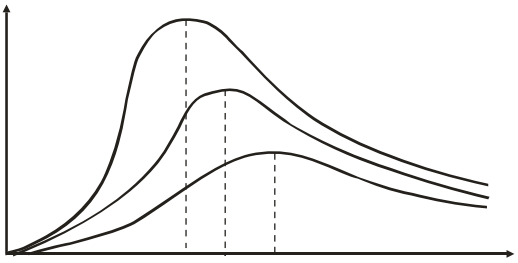


Рис. 1

Площадь, ограниченная кривой $r(\lambda,T)=f(\lambda)$ и осью абсцисс, пропорциональна излучательности абсолютно черного тела и следовательно, четвертой степени температуры.

По закону смещения Вина

$$T = \frac{b}{\lambda_{\max}} \qquad (8)$$

т.е. длина волны λ_{max}, соответствующая максимальному значению спектральной плотности излучательности абсолютно черного тела, обратно пропорционально его температуре, где $в$ - постоянная Вина, ее значение $2{,}9 \cdot 10^{-3}$мК. Смещение максимумов кривых при росте температуры заметна на рис.1

Тепловое излучение абсолютно черного тела хорошо описывается формулой Планка. Она получена в предположении, что свет излучается порциями - квантами. Законы Стефана - Больцмана и закон Вина являются частными случаями теории Планка.

Целью настоящей работы и является проверка выполнения этих законов на примере излучения серого тела - нихрома.

Внешний вид экспериментальной установки представлен на рис.2. Установка состоит из двух частей: оптико-механического блока в левой части и электронного в правой части.

Принцип действия установки заключается в измерении энергия, излучаемой нихромовой спиралью, в узком спектральном диапазоне при фиксированном значении температуре излучателя.

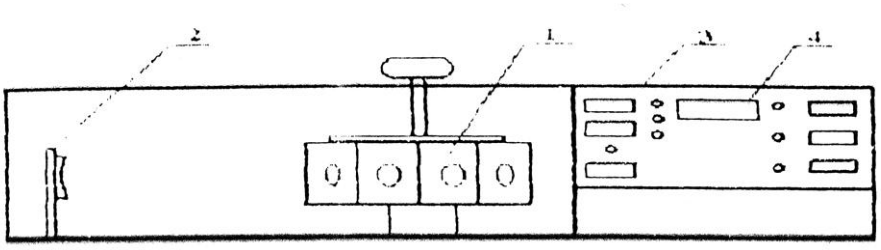


Рис. 2

Излучатель - нихромовая спираль расположена в центре восьмигранного цилиндрического барабана 1. Его излучение модулируется механическим модулятором, расположенном в том же барабане. Модуляция необходима для выделения и эффективной обработки полезного сигнала.

Фильтры предназначены для выделения из потока инфракрасного излучения энергию узкого спектрального состава. Применив набор фильтров с различными λ, можно по результатам измерений получить спектральную кривую излучения нагретого тела $r(\lambda,T)=f(\lambda)$. В установке применяется семь фильтров, расположенных на гранях барабана. Их оптические характеристики даны в табл.1

Таблица 1.

номер фильтра	1	2	3	4	5	6	7
длина волны	2,08	2,51	3,21	3,90	4,59	6,21	8,40

Смена фильтров осуществляется поворотом барабана с фильтрами с помощью его рукоятки.

Поток излучения из барабана, отражаясь от зеркала 2, попадает в электронный блок 3. В этом блоке энергия теплового излучения преобразуется в начале в электрический сигнал, а затем в цифровом вольтметре принимает цифровую форму. Таким образом, показания вольтметра U, прямо пропорциональны соответствующим значениям испускательной способности $r(\lambda,T)$ излучателя.

Цифровой вольтметр 4 имеет два диапазона измерений, первый – 0÷1,99 В, второй – 0÷5,97 В. Переход на второй диапазон осуществляется нажатием кнопки «ДИАПАЗОН» панели прибора, при этом показания вольтметра нужно учитывать, увеличив в 3 раза.

На панели прибора имеются также кнопки «СЕТЬ» для включения установки, «МОДУЛЯТОР» для запуска модулятора; кнопки «Т1» «Т2» «Т3» для установки температуры излучателя соответственно 630К, 740К и 900К. Все кнопки снабжены индикаторами.

Оборудование, технические и инструментальные средства: Специальная лабораторная установка ЭД - 010.

Порядок выполнения работы:

Упражнение 1. Построение кривых излучения серого тела.

1. Проверить состояние установки. Все кнопки на панели должны быть в отжатом состояния.

2. Включить установку в работу нажатом кнопки «СЕТЬ».

3. Нажать кнопку «МОДУЛЯТОР».

4. Нажать кнопку «Т1». При этом начинает нагреваться излучатель. Выждать 10-15 мнн.

5. Последовательно меняя фильтры от №l до №7 поворотом рукоятки барабана, записать соответствующие показания *U* цифрового вольтметра в таблицу 2.

Примечание: При показаниях вольтметра менее 2В измерения проводить в I диапазоне. При превышении 2В нажатием кнопки «ДИАПАЗОН» нужно перейти во II диапазон измерений, При этом показания вольтметра записывать, увеличив в 3 раза.

6. Нажать кнопку «Т2»

7. Выждав 5 мин, полностью повторить п.5.

8. Нажать кнопку «Т3».

9. Выждав 5 мин, полностью повторить п.5.

10. Отключить установку, последовательно отжимая кнопки «Т3» «МОДУЛЯТОР», «СЕТЬ» и при необходимости «ДИАПАЗОН».

Таблица 2.

Номера фильтров

Т	*U*	1	2	3	4	5	6	7
Т1, 623К	U_1В							
Т2, 740К	U_2 В							
Т3, 900К	U_3 В							

11. Построить графики зависимостей $U=f(\lambda)$ для трех температур. Значения λ для фильтров взять из таблицы графики следует строить на миллиметровой бумаге, масштаб: по оси длин волн 1 мкм = 20мм. по оси напряжений 1В = 50мм. В интервале длин волн 0–0,2 мкм и 0,5–10 мкм изобразить предполагаемый ход кривых в соответствии с теоретическими положениями.

Упражнение 2. Проверка справедливости закона смещения Вина

1. Определить из графиков $U=f(\lambda)$ величины λ_{max} для трех температур.

2. Определить по формуле $T = \frac{b}{\lambda_{\max}}$ значение T_1, T_2, T_3 (σ –2,9·10^{-3}мК).

3. Сравнить полученные результаты с заданными для установки

величинами температур 630К, 740К, 900К. Вычислить отклонения расчетных температур от заданных. Сделать выводы

Упражнение 3. Проверка справедливости закона Стефана - Больцмана.

1. Подсчитать по полученным графикам кривых излучения площади S_1 S_2, S_3 ограниченные кривыми $U=f(\lambda)$и осью абсцисс для трех температур,
2. Проверить выполнение соотношения

$$\frac{S_1}{630^4} = \frac{S_2}{740^4} = \frac{S_3}{900^4}$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называют тепловым излучением?
2. Что собой представляет спектральная плотность излучения, излучательность и спектральная поглощающая способность тел?
3. Что такое абсолютно черное тело и серое тело?
4. Сформулируйте закон Кирхгофа для теплового излучения.
5. Как связаны излучательности серого тела и абсолютно черного тела?
6. Сформулируйте закон Стефана - Больцмана и закон смещения Вина и запишите их формулы.
7. Опишите принцип действия и устройство установки.

Елена Валерьевна Пономаренко

Методические указания по проведению лабораторных занятий
по дисциплине «Физика 2» для студентов специальностей
5В073100 - Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды,
5В070800 – Нефтегазовое дело,
5В072400 – Технологические машины и оборудование
(по отраслям)

Подписано в печать _____

Формат бумаги $X^{x}Y$ 1/16

Бумага типографская. Печать офсетная. Объем 3 п.л.
Тираж 50 экз. Заказ №_____

© Издание Южно-Казахстанского государственного университета
им. М.Ауэзова

Издательский центр ЮКГУ им. М.Ауэзова, г. Шымкент,
пр. Тауке хана, 5