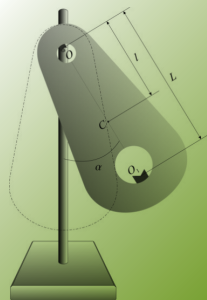
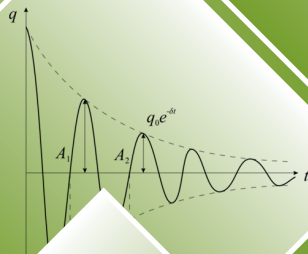
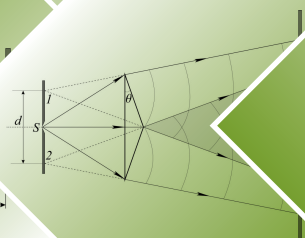
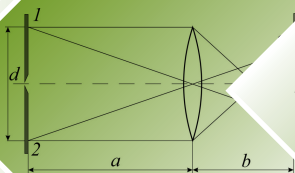


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет
Институт математики, физики и информационных технологий
Кафедра «Общая и теоретическая физика»

В.А. Решетов, И.В. Мелешко, Е.А. Мелешко

КОЛЕБАНИЯ. ОПТИКА. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

Лабораторный практикум



© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет», 2019

ISBN 978-5-8259-1466-4

УДК 534:535:530:145(075.8)

ББК 22.3я73

Рецензенты:

д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры «Общая и теоретическая физика» Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева

Е.К. Башкиров;

д-р физ.-мат. наук, доцент, профессор кафедры «Общая и теоретическая физика» Тольяттинского государственного университета *А.П. Воленко.*

Решетов, В.А. Колебания. Оптика. Квантовая физика : лабораторный практикум / В.А. Решетов, И.В. Мелешко, Е.А. Мелешко. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2019. – 1 оптический диск.

Лабораторный практикум включает методические указания к 13 лабораторным работам по темам «Механические и электромагнитные колебания и волны», «Волновая оптика», «Квантовая физика, физика атома» курса общей физики.

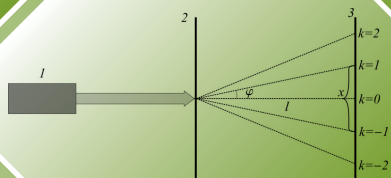
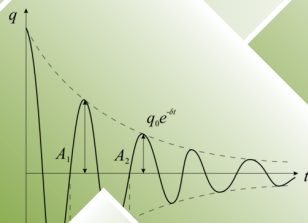
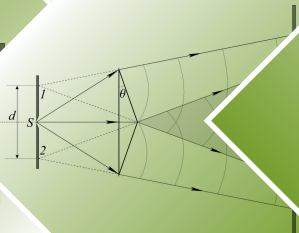
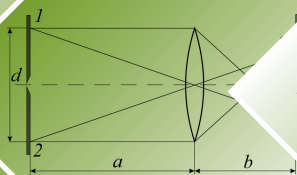
Предназначен для студентов технических специальностей и направлений подготовки бакалавров очной и заочной форм обучения.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; ПИИ 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет», 2019



Редактор *О.В. Горбань*

Технический редактор *Н.П. Крюкова*

Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*

Художественное оформление,

компьютерное проектирование: *Г.В. Карасева, И.В. Карасев*

Дата подписания к использованию 16.10.2019.

Объем издания 3 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-65-18.

Издательство Тольяттинского государственного университета

445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,

тел. 8 (8482) 53-91-47, www.tltsu.ru

Содержание

Введение	5
Лабораторная работа О-1. Изучение гармонических колебаний математического маятника	7
Лабораторная работа О-2. Изучение гармонических колебаний физического маятника	11
Лабораторная работа О-3. Исследование свободных затухающих электромагнитных колебаний	15
Лабораторная работа О-4. Изучение интерференции света с помощью бипризмы Френеля	22
Лабораторная работа О-5. Изучение интерференции света методом Юнга	30
Лабораторная работа О-6. Изучение интерференции света при отражении от плоскопараллельной пластины	35
Лабораторная работа О-7. Изучение интерференции света методом колец Ньютона	42
Лабораторная работа О-8. Определение длины световой волны при помощи дифракционной решетки	49
Лабораторная работа О-9. Изучение затухающих механических колебаний	54
Лабораторная работа О-10. Определение длины волны лазерного излучения при помощи дифракционной решетки ...	58
Лабораторная работа О-11. Изучение поляризации света при отражении	62
Лабораторная работа О-12. Изучение законов теплового излучения	67
Лабораторная работа О-13. Определение постоянной Планка и красной границы внешнего фотоэффекта	72
Библиографический список	77

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум включает 13 работ по дисциплине физика (разделы «Колебания», «Оптика» и «Квантовая физика»), целью изучения которой является создание основ широкой теоретической и практической подготовки, позволяющей будущим специалистам ориентироваться в потоке научной и технической информации. Это обеспечит возможность использования студентами физических принципов в области их специализации. Реализация цели достигается исполнением следующих задач:

- 1) формирование основ научного мышления, правильного понимания границ применимости различных физических понятий, законов и теорий;
- 2) усвоение основных физических явлений и законов физики, методов физического мышления;
- 3) выработка приемов овладения основными методами решения физических задач из разных областей.

Цель данного лабораторного практикума — обеспечить формирование у студентов навыков самостоятельного экспериментального исследования физических процессов и явлений. Задачей практикума является ознакомление с современным лабораторным оборудованием и выработка начальных навыков проведения экспериментальных исследований различных физических явлений, а также оценки погрешности измерений.

В результате выполнения лабораторных работ практикума студент должен

✓ *знать* фундаментальные законы природы и основные физические законы в области оптики и квантовой физики;

✓ *уметь* применять физические методы и законы для решения практических задач;

✓ *владеть навыками:*

— практического применения законов физики;

— выполнения и обработки результатов физического эксперимента.

Физический лабораторный практикум существует на кафедре общей и теоретической физики ТГУ уже много лет, и его содержание постоянно совершенствуется. Авторы выражают благодарность

всем принявшим участие в создании и оформлении лабораторного практикума.

При проведении расчетов студент должен уметь определять погрешности результатов измерений, прямых и косвенных, в соответствии со знаниями, полученными при выполнении лабораторных работ предыдущих двух семестров. Расчет погрешностей прямых и косвенных измерений подробно излагается в лабораторном практикуме «Механика и молекулярная физика», а расчет погрешностей электрических приборов — в лабораторном практикуме «Электричество и магнетизм».

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА О-1 ИЗУЧЕНИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель и задачи работы: ознакомиться с методом определения ускорения свободного падения, рассчитать значение ускорения.

Приборы и принадлежности: математический маятник, секундомер.

Указания к самостоятельной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо:

1. Изучить по рекомендуемой литературе для самостоятельной подготовки следующие вопросы:

- колебательный процесс, амплитуда, круговая частота, фаза гармонических колебаний;
- единый подход к колебаниям различной физической природы;
- комплексная форма представления колебаний;
- векторные диаграммы, маятник.

2. Подготовить бланк отчета по лабораторной работе.

3. Подготовить ответы на вопросы для самоконтроля.

Описание установки

Определение ускорения свободного падения тел производится при помощи математического маятника.

Математическим маятником называется идеализированная система, состоящая из материальной точки массой m , подвешенной на нерастяжимой невесомой нити и колеблющейся под действием силы тяжести. Хорошим приближением математического маятника является тяжелый шарик, подвешенный на нерастяжимой нити (рис. 1) длиной l . Нить укрепляется на вертикальной стойке 1 с нанесенной на боковой поверхности сантиметро-

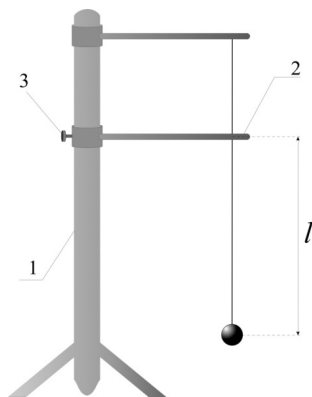


Рис. 1

вой шкалой. Горизонтальная планка 2, через отверстие в которой пропускается нить, может перемещаться по стойке при ослаблении стопорного винта 3, при этом будет меняться длина маятника. Разность длин маятников $l_1 - l_2$ изменяется непосредственно по шкале стойки.

Для получения расчетной формулы ускорения свободного падения тел g , определяемого при помощи математического маятника, запишем уравнения периодов T_1 и T_2 гармонических колебаний маятников различной длины l_1 и l_2 :

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l_1}{g}}; \quad (1)$$

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{l_2}{g}}. \quad (2)$$

Возведя в квадрат уравнения (2) и (1) и вычитая второе из первого, определим g :

$$g = \frac{4\pi^2(l_1 - l_2)}{T_1^2 - T_2^2}. \quad (3)$$

Программа работы

1. Определение периода колебаний маятника при двух его различных длинах.
2. Определение ускорения свободного падения.

Порядок работы

1. Установить муфту с горизонтальной планкой на стойке в произвольном положении a_1 и зафиксировать это положение на шкале стойки. Длина маятника l_1 .
2. Измерить период T_1 собственных колебаний маятника при длине l_1 . Для этого отклонить маятник от положения равновесия на $5-10^\circ$ и, предоставив ему свободно колебаться, измерить секундомером промежуток времени t_1 , в течение которого маятник совершит 10–20 колебаний.
3. Повторить опыт 5–6 раз. Найти среднее значение T_1 и абсолютную погрешность ΔT_1 , пользуясь методом Стюдента.
4. Переместить муфту с горизонтальной планкой по стойке в другое положение $- a_2$ и зафиксировать это положение. Длина маятника l_2 .

5. Измерить период T_2 собственных колебаний маятника при длине l_2 . Повторив опыт 5–6 раз, найти среднее значение T_2 и абсолютную погрешность ΔT_2 .
6. Найти изменение длины маятника $l_1 - l_2 = a_1 - a_2$ и абсолютную погрешность этой величины, зная цену деления шкалы.
7. Вывести и рассчитать абсолютную и относительную погрешности ускорения силы тяжести g .

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется колебаниями, свободными колебаниями, гармоническими колебаниями?
2. Что называется амплитудой, фазой, периодом, частотой, круговой частотой колебаний?
3. Каким выражением связаны амплитуды и фазы смещения, скорости и ускорения при гармонических колебаниях?
4. Какой маятник называется математическим?
5. При каком условии колебания математического маятника будут гармоническими?
6. Запишите закон гармонических колебаний в комплексной форме.
7. Запишите уравнение гармонического осциллятора.
8. Изобразите гармоническое колебание с помощью векторной диаграммы.
9. Выведите формулу периода малых колебаний математического маятника.
10. Выведите расчетную формулу для определения периода малых колебаний математического маятника для метода, используемого в данной работе.
11. Покажите, что функция $\alpha = \alpha_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ является решением уравнения гармонического осциллятора.
12. Как изменять длину маятника на данной установке?
13. Какие величины в данной работе определяются путем прямых измерений, косвенных измерений?
14. Как определить период колебаний маятника?
15. Как определить погрешность измерения периода колебаний, разности длин маятников?

Знания и умения

Для получения зачета по теоретическому материалу необходимо знать:

- определения физических величин, используемых в работе (амплитуда, фаза, смещение гармонического колебания, маятник, математический маятник), единицы измерения физических величин;
- соотношения между физическими величинами;
- закономерности, выполняющиеся при гармонических колебаниях;
- порядок вывода расчетных формул.

Для защиты работы в целом нужно уметь:

- определять периоды колебаний математического маятника;
- оценивать погрешности прямых и косвенных измерений физических величин.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель и задача работы.
3. Приборы и принадлежности.
4. Расчетные формулы: $g =$; $\Delta g =$.
5. Определение периодов колебаний маятника T_1 и T_2 при длине l_1 и l_2 соответственно:

5.1. Результаты измерений:

Положение точек подвеса $a_1 =$ Число колебаний $N =$

$t_1, \text{с}$						
$T_1, \text{с}$						

Положение точек подвеса $a_2 =$ Число колебаний $N =$

$t_2, \text{с}$						
$T_2, \text{с}$						

5.2. Обработка результатов измерений по методу Стьюдента.

6. Расчет среднего значения ускорения силы тяжести $\langle g \rangle$ и абсолютной погрешности измерений Δg .
7. Расчет относительной погрешности измерений $\frac{\Delta g}{\langle g \rangle}$.
8. Запись окончательного результата.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА О-2 ИЗУЧЕНИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель и задачи работы: ознакомиться с методом определения ускорения свободного падения тел, обоснованным теорией гармонических колебаний; определить ускорение свободного падения при помощи физического маятника.

Приборы и принадлежности: физический маятник, секундомер.

Указания к самостоятельной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо:

1. Изучить по рекомендуемой литературе для самостоятельной подготовки следующие вопросы:

- колебательный процесс, амплитуда, круговая частота, фаза гармонических колебаний;
- единый подход к колебаниям различной физической природы;
- маятник, колебания груза на пружине.

2. Подготовить бланк отчета по лабораторной работе.

3. Подготовить ответы на вопросы для самоконтроля.

Описание установки

Определение ускорения свободного падения тел g производится при помощи физического маятника (рис. 2). Он представляет собой массивную пластину с параллельными друг другу опорными призмами, расположенными в точках O и O_1 . Физический маятник с двумя параллельными друг другу закрепленными опорными призмами, относительно которых он может совершать колебания, называется оборотным маятником. Точка на прямой, соединяющей точку подвеса O с центром инерции C , лежащая на расстоянии приведенной длины L от оси вращения, называется центром качания физического маятника.

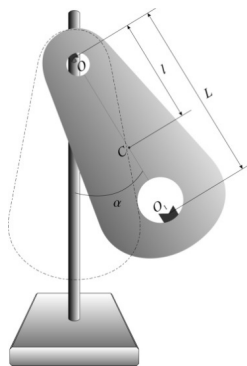


Рис. 2

Периоды колебаний T оборотного маятника относительно точки подвеса O и центра качаний O_1 одинаковы и определяются выражением:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}. \quad (1)$$

Отсюда находим

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}. \quad (2)$$

Программа работы

1. Измерение периода колебаний T и приведенной длины оборотного маятника L .
2. Расчет ускорения свободного падения g .

Порядок работы

1. Определить период колебаний оборотного маятника T_1 относительно одной из опорных призм. Опыт повторить 5–6 раз.
2. Рассчитать абсолютную ошибку ΔT_1 методом Стьюдента.
3. Определить период T_2 относительно другой опорной призмы.
4. Рассчитать абсолютную ошибку ΔT_2 методом Стьюдента.
5. Убедиться при сравнении результатов расчетов, что периоды колебаний маятника относительно обеих его опорных призм одинаковы, в противном случае маятник не будет оборотным.
6. Измерить расстояние между опорными призмами L , определить абсолютную погрешность ΔL .
7. Вычислить значение ускорения свободного падения g . Вывести и рассчитать абсолютную и относительную погрешности ускорения силы тяжести g .

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется колебаниями, свободными колебаниями, гармоническими колебаниями?
2. Дайте определение амплитуды, фазы, периода, частоты, круговой частоты колебаний.
3. Как связаны амплитуды и фазы смещения, скорости и ускорения при гармонических колебаниях?

4. При каком условии колебания маятника будут гармоническими?
5. Какой маятник называется физическим, оборотным?
6. Запишите закон гармонического колебания в комплексной форме.
7. Что называется центром качания физического маятника?
8. Запишите момент, возникающий при отклонении физического маятника на малый угол α (рис. 2), используя уравнение вращательного движения.
9. Запишите дифференциальное уравнение гармонических колебаний физического маятника. Что является решением такого уравнения?
10. Выведите формулу для периода колебаний физического маятника.
11. Выведите формулу для определения ускорения свободного падения с помощью оборотного маятника.
12. Чем определяются частота и период малых колебаний физического маятника?
13. Опишите устройство оборотного маятника.
14. Какие величины в данной работе определяются путем: прямых измерений; косвенных измерений?
15. Как определить период колебаний маятника?
16. Как определить погрешность измерения: периода колебаний; приведенной длины оборотного маятника; ускорения свободного падения?

Знания и умения

Для получения зачета по теоретическому материалу необходимо знать:

- определения физических величин и понятий, используемых в работе (физический маятник, оборотный маятник, приведенная длина физического маятника, центр качания и т. д.), единицы измерения физических величин;
- закономерности, описывающие гармонические колебания физического маятника;
- соотношения между физическими величинами, используемыми в работе;
- порядок вывода расчетных формул.

Для защиты работы в целом нужно уметь:

- определять периоды колебаний физического маятника;
- оценивать погрешности прямых и косвенных измерений величин, определяемых в работе.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель и задача работы.
3. Приборы и принадлежности.
4. Расчетные формулы: $g =$; $\Delta g =$.
5. Определение периода колебаний физического маятника T_1 относительно одной из опорных призм:

5.1. Результаты измерений.

Число колебаний $N =$

$t_1, \text{с}$						
$T_1, \text{с}$						

5.2. Обработка результатов измерений по методу Стьюдента.

6. Определение периода колебаний T_2 относительно другой призмы:

6.1. Результаты измерений.

Число колебаний $N =$

$t_2, \text{с}$						
$T_2, \text{с}$						

6.2. Обработка результатов измерений по методу Стьюдента.

7. Вывод (является ли физический маятник оборотным).
8. Измерение расстояния L между опорными призмами и расчет абсолютной погрешности ΔL .
9. Расчет среднего значения ускорения силы тяжести $\langle g \rangle$ и абсолютной погрешности измерений Δg .
10. Расчет относительной погрешности измерений $\frac{\Delta g}{\langle g \rangle}$.
11. Запись окончательного результата.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА О-3 ИССЛЕДОВАНИЕ СВОБОДНЫХ ЗАТУХАЮЩИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Цель и задача работы: ознакомиться с одним из методов определения характеристик свободных затухающих колебаний; определить характеристики свободных затухающих колебаний в колебательном контуре.

Приборы и принадлежности: генератор импульсов в осциллографе, колебательный контур.

Указания к самостоятельной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо:

1. Изучить по рекомендуемой литературе для самостоятельной подготовки следующие вопросы:

- кинематика гармонических колебаний;
- гармонический осциллятор;
- колебательный контур;
- свободные затухающие колебания;
- коэффициент затухания, логарифмический декремент, добротность.

2. Подготовить бланк отчета по лабораторной работе.

3. Подготовить ответы на вопросы для самоконтроля.

Описание лабораторной установки

Для исследования затухающих электромагнитных колебаний используется установка, схема которой представлена на рис. 3.

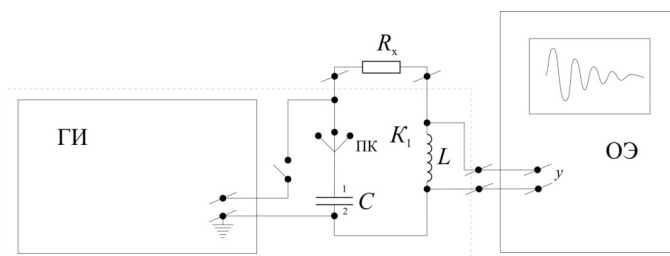


Рис. 3

В качестве генератора импульсов ГИ используется генератор развертки осциллографа ОЭ. От него периодически подзаряжают конденсатор C . При замыкании цепи колебательного контура K_1 , содержащего катушку индуктивности L с сопротивлением R_L и резистор R_x , в ней возникнут затухающие электромагнитные колебания, устойчивая картина которых будет наблюдаться на экране осциллографа.

Программа работы

1. Определение логарифмического декремента электромагнитных колебаний Λ в контуре.
2. Исследование влияния параметров системы колебательного контура на характеристики затухающих колебаний: декремент затухания, добротность.

Порядок работы

1. Установить переключателем ПК одно из значений емкости конденсатора C .
2. Установить рукоятку делителя напряжения входа осциллографа ОЭ в положение «1:1», рукоятку вида синхронизации в положение «Вн».
3. Включить осциллограф и дать ему прогреться 2–3 мин. Затем через ключ K подать импульсы с генератора импульсов на конденсатор колебательного контура.
4. Регулируя частоту развертки осциллографа, добиться получения на экране устойчивой картины затухающих колебаний.
5. Измерить значения амплитуд A_i и A_{i+n} затухающих электромагнитных колебаний и рассчитать логарифмический декремент колебаний Λ , добротность контура Q .
6. Оценить абсолютную и относительную погрешности логарифмического декремента затухания колебаний Λ и добротности контура Q .
7. Изменяя значение сопротивления резистора R_x и емкости конденсатора C колебательного контура K_1 , исследовать влияние этих параметров на величину логарифмического декремента колебаний Λ и добротность контура Q .

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется электромагнитными колебаниями?
2. Из каких основных элементов состоит колебательный контур?
3. С какой целью в схему (рис. 3) включены генератор импульсов, осциллограф?
4. Какое устройство служит генератором импульсов в данной работе?
5. Как определить полное активное сопротивление контура (рис. 3)?
6. Что называется емкостью конденсатора?
7. Что называется индуктивностью катушки?
8. Что называется свободными незатухающими колебаниями колебательного контура?
9. Опишите процессы превращения энергии в колебательном контуре.
10. Запишите выражение энергии электрического и магнитного поля.
11. В чем заключается аналогия колебательных процессов в контуре и механических колебаний пружинного маятника?
12. Определите характеристики электромагнитных колебаний (период, частота, амплитуда, фаза колебаний).
13. Определите характеристики затухающих колебаний (коэффициент затухания, логарифмический декремент затухания).
14. Запишите дифференциальное уравнение свободных незатухающих колебаний.
15. Какой физический смысл имеют логарифмический декремент затухания и добротность контура?

Знания и умения

Для получения зачета по теоретическому материалу необходимо знать:

- определение физических величин и понятий, используемых в работе (активное сопротивление, электроемкость конденсатора, индуктивность катушки, электромагнитные колебания, характеристики затухающих электромагнитных колебаний и т. д.), единицы измерения физических величин;

- закономерности, описывающие электромагнитные колебания;
- соотношения между физическими величинами, используемыми в работе;
- порядок вывода расчетных формул.

Для защиты работы в целом нужно уметь:

- собирать электрическую схему;
- измерять амплитуды колебаний;
- пользоваться магазином сопротивлений, осциллографом;
- отвечать на вопросы для самоконтроля;
- оценивать погрешности прямых и косвенных измерений величин, определяемых в работе.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Приборы и принадлежности.
4. Схема измерительной установки.
5. Расчетные формулы: $\Lambda =$; $\Delta\Lambda =$;
 $Q =$; $\Delta Q =$.
6. Определение логарифмического декремента затухания Λ и добротности контура Q :
 - 6.1. Результаты измерений:
 $C =$; $R_x =$; $L =$; $R_L =$.

№	A_i	A_{i+n}	Λ	Q
1				
2				
3				
n				

6.2. Обработка результатов измерений, нахождение абсолютной и относительной погрешности величин Λ и Q .

6.3. Запись окончательного результата.

7. Исследование влияния сопротивления резистора R_x и емкости конденсатора C на величину логарифмического декремента колебаний Λ и добротности контура Q :

7.1. Результаты измерений:

№	C_i	R_{xi}	Λ	Q
1	C_1			
2	C_2	R_{x1}		
3	C_3			
1		R_{x1}		
2	C_1	R_{x2}		
3		R_{x3}		

7.2. Выводы.

Получение расчетных формул

Колебательный контур – электрический осциллятор, являющийся источником электромагнитных волн. При наличии в колебательном контуре активного сопротивления энергия, запасенная в контуре, постепенно расходуется в этом сопротивлении на нагревание, вследствие чего свободные электромагнитные колебания затухают. Запишем для цепи колебательного контура K (рис. 3) закон Ома:

$$IR = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}, \quad (1)$$

где I – сила тока в цепи; R – активное сопротивление контура (в данной работе $R = R_x + R_L$); $\varphi_1 - \varphi_2 = -\frac{q}{C}$ – разность потенциалов на обкладках конденсатора с зарядом q и емкостью C .

Электродвижущая сила, возникающая в катушке индуктивности L при прохождении тока dI в единицу времени dt

$$\varepsilon_{12} = -L \frac{dI}{dt} = -L \frac{d^2q}{dt^2}.$$

Подставим эти выражения в (1) и разделим полученное уравнение на L , тогда уравнение (1) примет вид:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L} \cdot \frac{dq}{dt} + \frac{1}{LC} q = 0 \quad (2)$$

– дифференциальное уравнение свободных затухающих электромагнитных колебаний в контуре. Уравнение (2) запишем в виде:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + 2\delta \cdot \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0, \quad (3)$$

где $2\delta = \frac{R}{L}$; δ – коэффициент затухания; $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ – квадрат циклической частоты свободных незатухающих колебаний контура.

При отсутствии потерь энергии в контуре ω_0 называется собственной частотой колебательной системы.

В случае малых затуханий ($\delta^2 < \omega_0^2$) решение уравнения (3) находится в виде

$$q = q_0 e^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi), \quad (4)$$

где $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ – частота затухающих колебаний;

$$q_0 e^{-\delta t} = A. \quad (5)$$

Выражение (5) – амплитуда затухающих колебаний в контуре.

Зависимость (4) показана на рис. 4 сплошной линией. Зависимость (5) – пунктирной. Если $A(t)$ и $A(t + T)$ – амплитуда колебаний, соответствующих моментам времени, отличающимся на период T , то отношение

$$\frac{A(t)}{A(t + T)} = e^{\delta T} \quad (6)$$

называется декрементом затухания, где $e = 2,7$; его логарифм

$$\Lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t + T)} = \delta T = \frac{T}{\tau} = \frac{1}{N_e} \quad (7)$$

называется логарифмическим декрементом затухания.

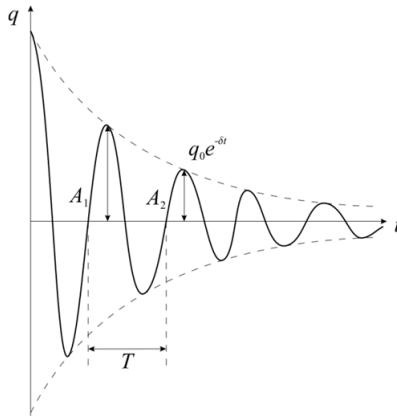


Рис. 4

В (7) $\tau = \frac{1}{\delta}$ – время релаксации – промежуток времени, в течение которого амплитуда затухающих колебаний уменьшается в $e = 2,7$ раз; N_e – число колебаний, совершаемых за это время.

Для характеристики колебательной системы пользуются понятием добротности Q . При малом затухании

$$Q = \frac{\pi}{\Lambda} = \pi N_e = \frac{\pi}{\delta T_0} = \frac{\omega_0}{2\delta}. \quad (8)$$

Для колебательного контура выражение (8) преобразуется в вид

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (9)$$

В работе для нахождения логарифмического декремента затухания Λ и добротности контура Q используют определения (7) и (8). Теоретические значения Λ и Q можно оценить, используя уравнения (9) и (8).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА О-4 ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА С ПОМОЩЬЮ БИПРИЗМЫ ФРЕНЕЛЯ

Цель и задачи работы: изучить явление интерференции, приобрести навыки экспериментальной работы с оптическими приборами; экспериментально получить интерференционную картину и определить длину световой волны.

Приборы и принадлежности: установка для наблюдения интерференции света.

Указания к самостоятельной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо:

1. Изучить по рекомендуемой литературе для самостоятельной подготовки следующие вопросы:
 - волновые процессы;
 - волны;
 - плоская синусоидальная волна;
 - длина волны;
 - интерференция синусоидальных волн;
 - плоские электромагнитные волны.
2. Подготовить бланк отчета по лабораторной работе.
3. Подготовить ответы на вопросы для самоконтроля.

Описание лабораторной установки

На рельсе (рис. 5) расположены устройства: осветитель 1, светофильтр 2, регулируемая щель 3, бипризма 4, линза 5, отсчетный микроскоп 6. Все детали смонтированы на ползунах. Предусмотрена возможность перемещения и закрепления деталей в вертикальном и горизонтальном направлениях.

На рис. 5 обозначены: a — расстояние от щели главной плоскости линзы 5, b — расстояние от главной плоскости линзы 5 до экрана микроскопа 6, l — расстояние от щели до фокуса оптической системы микроскопа, в котором расположен экран микроскопа с наблюдаемой на нем интерференционной картиной.

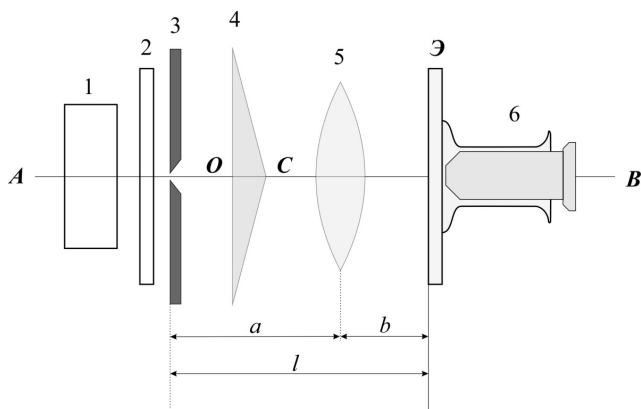


Рис. 5

Программа работы

1. Получение и наблюдение интерференционной картины.
2. Получение изображений мнимых источников света.
3. Измерение ширины интерференционной полосы.
4. Расчет длины световой волны фиолетового света.

Порядок работы

1. Расположить все устройства и приспособления (пока без линзы 5) в порядке, указанном на рис. 5. При этом середина щели 3, точки O , C бипризмы 4, центр экрана Э микроскопа б должны находиться на оси AB .

2. Включить осветитель. Регулируя винтом ширину щели 3 и перемещая устройства 4 и б по вертикали, добиться того, чтобы в поле зрения микроскопа б было видно светлое поле с четкой или размытой интерференционной картиной. Если полосы картины размыты, то необходимо уменьшить ширину щели 3 до появления четкого изображения полос.

Устройство с заключенной в него бипризмой Френеля должно быть расположено так, чтобы ребро бипризмы было параллельно щели 3. Конструкция держателя предусматривает возможность необходимого поворота бипризмы вокруг оси AB .

3. Поместить между бипризмой и микроскопом собирающую линзу 5 и, перемещая ее вдоль рельса и по вертикали, получить в поле зрения микроскопа отчетливые действительные изображения мнимых источников света. По окулярной шкале микроскопа определить расстояние d' между ними (рис. 7). Цена деления шкалы указана на трубке микроскопа.
4. Измерить, не сдвигая линзу, расстояние a от главной плоскости линзы (ее положение отмечено черточкой на оправе линзы) до щели и расстояние b от главной плоскости линзы до экрана микроскопа, расположенного в фокальной плоскости оптической системы микроскопа (рис. 7).
5. Убрать линзу, пронаблюдать интерференционную картину и записать, пользуясь шкалой окуляра, каким отметкам N_1 и N_2 (м) шкалы соответствуют середины крайних левой и правой темных полос. Вычислить среднее значение ширины интерференционной полосы:

$$Z = \frac{N_2 - N_1}{k}, \quad (1)$$

где k — общее число светлых полос между крайними темными полосами.

6. Измерить при помощи масштабной линейки расстояние l от щели до экрана микроскопа.
7. Произвести расчет длины волны, абсолютной и относительной погрешностей длины волны.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем состоит явление интерференции света?
2. Как устроена бипризма Френеля? Для чего она служит?
3. Будет ли наблюдаться стационарная интерференционная картина, если левую половину бипризмы Френеля закрыть красным светофильтром, а правую — зеленым?
4. Что называется шириной интерференционной полосы? Как измерить среднее значение ширины интерференционной полосы?
5. Каким образом определить погрешность измерения: расстояния между изображениями мнимых источников света; ширины интерференционной полосы; расстояния между линзой и экраном;

- длины световой волны; расстояния между щелью и экраном; расстояния между щелью и линзой?
6. Изобразите: ход лучей в бипризме Френеля; порядок расположения приборов установки.
 7. Выведите расчетную формулу для определения длины световой волны и ее погрешности.
 8. Что называется электромагнитной волной? Что называется длиной волны, фазой волны?
 9. Запишите уравнение плоской монохроматической волны.
 10. Какова взаимная ориентация световых лучей и фронта волны в изотропной среде?
 11. Как связана интенсивность света с амплитудой электрического вектора монохроматической волны?
 12. Запишите условия максимума и минимума интенсивности света при интерференции.
 13. Что называется оптической длиной пути? Какова связь между оптической и геометрической длинами пути между двумя точками?
 14. Какова связь между длинами волны в вакууме и среде с абсолютным показателем преломления n ?
 15. Какие волны называются когерентными? Какие способы получения когерентных источников света вы знаете?
 16. Почему нельзя наблюдать интерференционную картину от двух независимых источников света?

Знания и умения

Для получения зачета по теоретическому материалу необходимо знать:

- определения физических величин, используемых в работе (волна, длина волны, амплитуда, фаза, электромагнитная волна и т. д.), единицы измерения физических величин;
- в чем заключается изучаемое физическое явление — явление интерференции синусоидальных волн;
- связь между физическими величинами; используемый в работе метод наблюдения интерференционной картины;
- порядок вывода рабочей формулы.

Для защиты работы в целом нужно уметь:

- получать интерференционную картину на данной установке;
- производить измерения ширины интерференционной полосы;
- оценивать погрешности измерений величин, определяемых в работе.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Приборы и принадлежности.
4. Расчетные формулы: $\lambda =$; $\Delta\lambda =$;
 $Z =$; $\Delta Z =$.
5. Результаты наблюдений и вычислений:
Цена деления шкалы микроскопа:
Положение левой темной полосы $N_1 =$
Положение правой темной полосы $N_2 =$
Число светлых полос между ними $k =$
Ширина интерференционной полосы $Z =$; $\Delta Z =$; $\frac{\Delta Z}{Z} =$.
Расстояние от щели (от мнимых источников света) до линзы
 $a =$; $\Delta a =$; $\frac{\Delta a}{a} =$.
Расстояние между действительными изображениями мнимых источников $d =$; $\Delta d =$; $\frac{\Delta d}{d} =$.
Расстояние от щели до экрана $l =$; $\Delta l =$; $\frac{\Delta l}{l} =$.
Расстояние от линзы до экрана (до действительного изображения мнимых источников) $b =$; $\Delta b =$; $\frac{\Delta b}{b} =$.
6. Расчет длины волны фиолетового света: $\lambda =$.
7. Расчет относительной погрешности длины волны $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$.
8. Запись окончательного результата.
9. Выводы.

Вывод расчетной формулы

Бипризма Френеля представляет собой две сложенные основаниями призмы с малыми углами θ . В результате преломления света, исходящего из узкой щели (рис. 6), параллельной ребру тупого угла бипризмы, образуются две цилиндрические волны, как бы исходящие из мнимых источников 1 и 2 , колебания в которых происходят синфазно.

Преломленные пучки света от мнимых источников частично перекрываются в области, называемой полем интерференции (область OAB , рис. 6). Во всей этой области чередуются участки с максимальной и минимальной интенсивностью, наблюдать которые можно при помощи микроскопа (рис. 5). Поставив линзу 3 на пути пучков от линейных источников 1 и 2 , можно получить действительные изображения мнимых источников 1 и 2 (рис. 7).

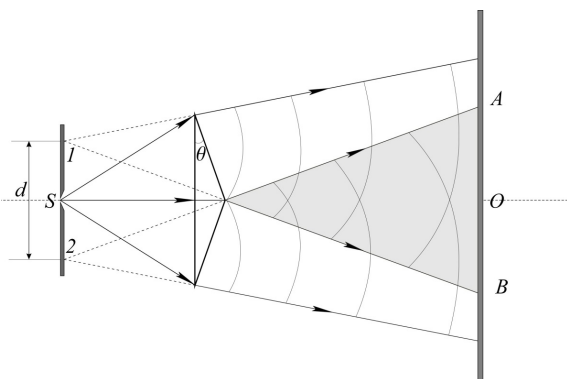


Рис. 6

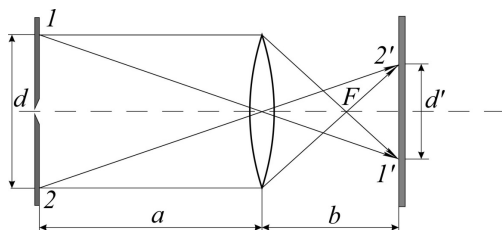


Рис. 7

Рис. 7 иллюстрирует, что расстояние между мнимыми источниками света d рассчитывается по формуле

$$d = \frac{a}{b} d', \quad (2)$$

где d' — расстояние между действительными изображениями мнимых источников.

Ширина наблюдаемых интерференционных полос определяется как разность координат соседних темных полос x_m, x_{m+1} (рис. 8).

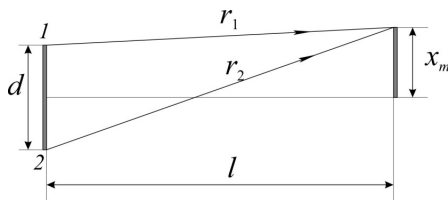


Рис. 8

По теореме Пифагора

$$r_2^2 = l^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2; \quad (3)$$

$$r_1^2 = l^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2, \quad (3a)$$

где r_1, r_2 — длины путей световых лучей от когерентных источников 1 и 2; l — расстояние от источников до экрана; d — расстояние между источниками; x_m — координата темной полосы.

Вычитая уравнение (3a) из уравнения (3), получим

$$(r_2 - r_1)(r_2 + r_1) = 2xd. \quad (4)$$

Так как $l \ll d$, то $r_1 + r_2 \approx 2l$, поэтому $r_2 - r_1 = \frac{xd}{l}$, тогда оптическая разность хода лучей от источников 1 и 2

$$n(r_2 - r_1) = r = n \frac{x_m d}{l}. \quad (5)$$

Условие минимума интенсивности

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (6)$$

где λ — длина световой волны.

Сравнивая выражения (5) и (6), получаем

$$x_m = \pm(2m+1)\frac{l}{d} \cdot \frac{\lambda}{2}. \quad (7)$$

С учетом (7) ширина интерференционной полосы

$$Z = x_{m+1} - x_m = \frac{l}{d} \cdot \lambda. \quad (8)$$

Используя формулы (2) и (8), получаем выражение для определения длины световой волны в данной работе:

$$\lambda = \frac{Zad'}{lb}. \quad (9)$$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА О-5

ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА МЕТОДОМ ЮНГА

Цель и задачи работы: изучить явление интерференции синусоидальных волн; рассчитать длину световой волны лазерного излучения.

Приборы и принадлежности: установка для наблюдения интерференции света методом Юнга.

Указания к самостоятельной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо:

1. Изучить по рекомендуемой литературе для самостоятельной подготовки следующие вопросы:
 - волны;
 - плоская синусоидальная волна;
 - длина волны;
 - волновое число;
 - интерференция синусоидальных волн;
 - интерференция монохроматических волн.
2. Подготовить бланк отчета по лабораторной работе.
3. Вывести рабочую формулу. При выводе рабочей формулы для расчета длины волны λ лазерного излучения необходимо воспользоваться формулой (8) работы О-5 для расчета ширины интерференционной полосы. Тогда

$$\lambda = \frac{Zd}{l}, \quad (1)$$

где Z – ширина интерференционной полосы; d – расстояние между щелями; l – расстояние между экраном микроскопа и пластиной со щелями.

4. Подготовить ответы на вопросы для самоконтроля.

Описание лабораторной установки

При использовании метода Юнга источниками когерентных волн являются две узкие щели 1 и 2 в непрозрачной пластине (рис. 9). Обычно первичным источником света служит ярко освещенная щель, которая параллельна щелям 1 и 2 и находится от них

на одинаковом расстоянии. При использовании лазерного пучка света опыт Юнга можно осуществить без этой щели (рис. 10).

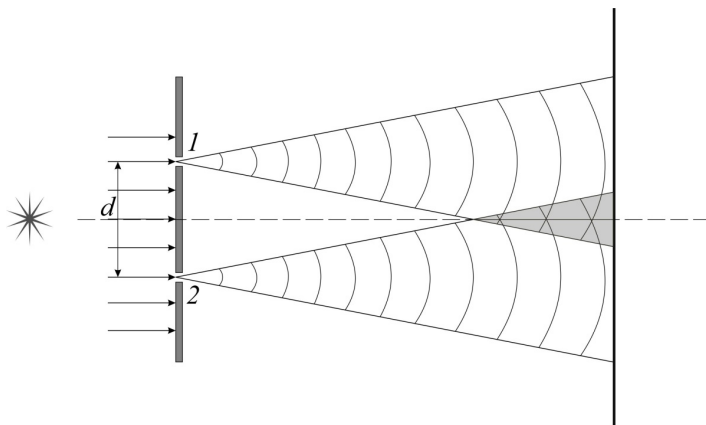


Рис. 9

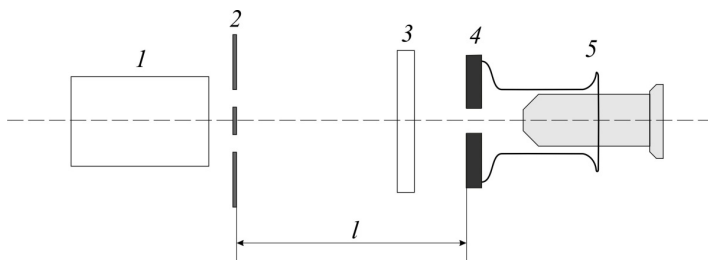


Рис. 10

Рабочее расположение приборов показано на рис. 10. Лазер 1 и отсчетный микроскоп 5 установлены в ползунах, которые могут перемещаться вдоль рельса. Пластика 2 с двумя щелями укреплена в держателе и располагается перед выходным отверстием лазера.

Микроскоп сфокусирован на плоскость отверстия в экране 4. Перед экраном укреплен поляририд 3, вращая который можно уменьшить освещенность поля зрения микроскопа, ибо излучение лазера является линейно поляризованным.

Программа работы

1. Получение интерференционной картины.
2. Измерение ширины интерференционной полосы.
3. Измерение расстояния между плоскостью щелей и экраном.
4. Определение длины волны.

Порядок работы

1. Расположить приборы в порядке, указанном на рис. 10, так, чтобы они имели общую оптическую ось.
2. Включить лазер и наблюдать интерференционную картину в поле зрения микроскопа.
3. Отфокусировать, перемещая окуляр, микроскоп по своему глазу. Перемещая микроскоп по рельсу, добиться совпадения середин крайних темных полос с какими-нибудь отметками шкалы окуляра. Записать значения N_1 и N_2 этих отметок и вычислить среднее значение ширины интерференционной полосы:

$$Z = \frac{N_2 - N_1}{k}, \quad (2)$$

где k — число светлых полос между зафиксированными темными полосами.

4. Измерить при помощи миллиметровой линейки расстояние между плоскостью пластины со щелями и экраном микроскопа (рис. 10).
5. Вычислить длину волны излучения лазера (расстояние d между щелями указано на установке).

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется интерференцией волн?
2. Какие источники света называются когерентными?
3. Каким способом — делением амплитуды или фронта волны — получают когерентные источники на данной установке?
4. Что называется интерференционной полосой; шириной интерференционной полосы?
5. Для чего в данной работе используются микроскоп, поляриод, окулярная шкала?
6. Какие величины определяются в данной работе путем прямых измерений; косвенных измерений?

7. Выведите расчетную формулу для расчета длины волны лазерного излучения.
8. Почему нельзя наблюдать интерференцию света от двух и более независимых источников света?
9. Каков физический смысл абсолютного показателя преломления среды?
10. Выведите условие максимумов и минимумов интенсивности света при интерференции.
11. Какому условию должна удовлетворять разность хода интерферирующих лучей для наблюдения в данной точке минимума интенсивности света?
12. Какова связь между разностью фаз и разностью хода интерферирующих лучей?
13. В каком случае наблюдается стационарная интерференционная картина?
14. Какие способы получения когерентных источников света вы знаете?
15. Выведите формулу для расчета ширины интерференционной полосы и ее погрешности.

Знания и умения

Для получения зачета по теоретическому материалу необходимо знать:

- определения физических величин, используемых в работе (длина волны, волновое число, когерентные волны, монохроматические волны и т. д.), единицы измерения физических величин;
- связь между физическими величинами;
- законы, описывающие явление интерференции;
- порядок вывода рабочей формулы.

Для защиты работы в целом нужно уметь:

- определять ширину интерференционной полосы;
- оценивать погрешности измерений величин, определяемых в работе.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Приборы и принадлежности.
4. Расчетные формулы: $\lambda =$; $\Delta\lambda =$;
 $Z =$; $\Delta Z =$.
5. Результаты наблюдений и вычислений:
Отметка шкалы окуляра, соответствующая середине крайней слева темной полосы $N_1 =$.
Отметка шкалы окуляра, соответствующая середине крайней справа темной полосы $N_2 =$.
Число светлых полос между отметками N_1 и N_2 $k =$.
Расстояние между щелями $d =$; $\Delta d =$; $\frac{\Delta d}{d} =$.
Расстояние между экраном и щелями $l =$; $\Delta l =$; $\frac{\Delta l}{l} =$.
6. Ширина интерференционной полосы $Z =$; $\Delta Z =$; $\frac{\Delta Z}{Z} =$.
7. Расчет длины волны $\lambda =$.
8. Расчет относительной погрешности длины волны $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$.
9. Запись окончательного результата.
10. Выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА О-6

ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА ПРИ ОТРАЖЕНИИ ОТ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ

Цель и задачи работы: ознакомление с интерференционной картиной в виде полос равного наклона; пронаблюдать интерференционную картину, определить показатель преломления стекла для света длиной волны 633 нм.

Приборы и принадлежности: лазер, стеклянная пластинка, экран.

Указания к самостоятельной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо:

1. Изучить по рекомендуемой литературе для самостоятельной подготовки следующие вопросы:
 - волны;
 - плоская синусоидальная волна;
 - фазовая скорость;
 - длина волны;
 - волновое число;
 - интерференция синусоидальных волн;
 - интерференция монохроматических волн.
2. Подготовить бланк отчета по работе.

Описание лабораторной установки

Схема установки приведена на рис. 11. Параллельный пучок лазерного излучения L при помощи микрообъектива O превращается в расходящийся и падает на плоскопараллельную стеклянную пластину n . Задний фокус микрообъектива совпадает с плоскостью экрана Θ , на котором наблюдается интерференционная картина, возникающая при интерференции лучей 3 и 4 , отраженных от передней и задней поверхностей пластины n . Интерференционная картина имеет вид концентрических светлых и темных колец, которые представляют собой полосы равного наклона, так как лучи 1 и 2 падают на пластину практически под одним и тем же углом.

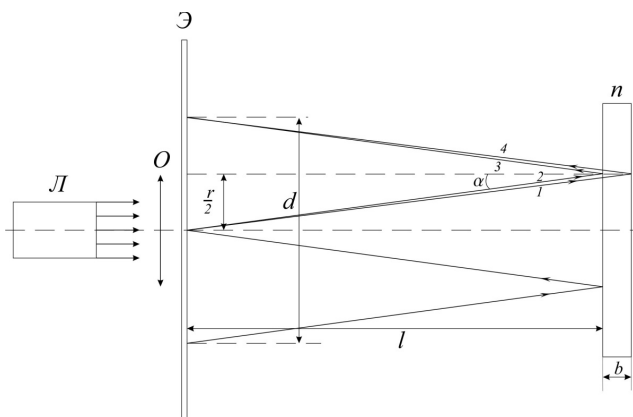


Рис. 11

Программа работы

1. Получение интерференционной картины.
2. Измерение диаметров двух темных интерференционных колец.
3. Определение показателя преломления стекла.
4. Определение максимального порядка интерференции.

Порядок работы

1. Включить лазер. У выходного отверстия лазера расположить ползун с экраном \mathcal{E} . Закрыв отверстие в экране листом бумаги, перемещать ползун до тех пор, пока пятно света не стянется в точку. Убрать лист бумаги. На экране должна наблюдаться интерференционная картина со световым пятном в центре.
2. Измерить с помощью штангенциркуля диаметры двух темных колец, достаточно удаленных друг от друга (например, третьего и тринадцатого). Число световых колец между этими окружностями даст разность порядков интерференции ($k - m$).
3. Выключить лазер.
4. Измерить расстояние между передней плоскостью пластины n и экраном \mathcal{E} .
5. Вычислить значение показателя преломления стекла (толщина стеклянной пластины указана на установке).

6. Вычислить величину максимального порядка интерференции. Из выражения (10) для радиуса темного кольца будет видно, что центральному кольцу отвечает максимальный порядок интерференции; его значение можно определить, приравняв значение радиуса нулю, когда кольцо стягивается в центральное светлое пятно.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается явление интерференции света?
2. Что называется интерференционными полосами, полосами равного наклона, полосами равной толщины?
3. Как на данной установке получают когерентные волны?
4. Каков физический смысл абсолютного показателя преломления вещества?
5. Что называется порядком интерференции?
6. Как в данной работе определяется максимальный порядок интерференции?
7. Как на установке определяются радиус темного кольца; длина волны излучения лазера; разность порядков интерференции?
8. Каким образом определяется погрешность измерения: показателя преломления стекла; толщины стеклянной пластины; длины волны лазерного излучения?
9. Какие интерференционные полосы — равной толщины или равного наклона — получаются на данной установке?
10. Какой вид имеют интерференционные полосы на данной установке? Где наблюдается на данной установке интерференционная картина?
11. Выведите расчетные формулы, а также формулы для определения абсолютных погрешностей.
12. Запишите уравнение плоской монохроматической волны.
13. Какому условию должна удовлетворять разность фаз интерферирующих лучей для наблюдения в данной точке максимума интенсивности света?
14. Что называется разностью хода лучей?
15. Запишите формулу для разности хода лучей, интерферирующих в отраженном свете при нормальном падении света на плоскопараллельную пластину с показателем преломления n .

Знания и умения

Для получения зачета по теоретическому материалу необходимо знать:

- определения физических величин, используемых в работе (длина волны, волновое число, когерентные волны, интерференционная полоса, полосы равного наклона и т. д.), единицы измерения физических величин;
- способ наблюдения полос равного наклона;
- порядок вывода рабочей формулы.

Для защиты работы в целом нужно уметь:

- получить полосы равного наклона на экране установки;
- произвести измерение диаметров колец;
- оценить погрешности измерений величин, определяемых в работе.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Приборы и принадлежности.
4. Расчетные формулы: $n =$; $\Delta n =$;
 $m_{\max} =$; $\Delta m_{\max} =$.
5. Результаты наблюдений и вычислений:
Длина волны лазерного излучения $\lambda_0 =$; $\Delta \lambda_0 =$; $\frac{\Delta \lambda_0}{\lambda_0} =$.
Толщина пластинки $b =$; $\Delta b =$; $\frac{\Delta b}{b} =$.
Диаметр кольца с номером m : $d_m =$; $\Delta d_m =$; $\frac{\Delta d_m}{d_m} =$.
Диаметр кольца с номером k : $d_k =$; $\Delta d_k =$; $\frac{\Delta d_k}{d_k} =$.
Расстояние между экраном и передней плоскостью пластинки
 $l =$; $\Delta l =$; $\frac{\Delta l}{l} =$.
6. Расчет показателя преломления света $n =$.
7. Расчет относительной погрешности показателя преломления $\frac{\Delta n}{n}$.
8. Расчет максимального порядка интерференции $m_{\max} =$.
9. Расчет относительной погрешности максимального порядка интерференции $\frac{\Delta m_{\max}}{m_{\max}}$.

10. Запись окончательного результата.

11. Выводы.

Вывод расчетных формул

Воспользовавшись рис. 10, найдем соотношение между углом падения лучей α на стеклянную плоскопараллельную пластинку и расстоянием до пластинки l :

$$\sin \alpha = \frac{r}{2\sqrt{l^2 + \frac{r^2}{4}}} = \frac{r}{\sqrt{4l^2 + r^2}}, \quad (1)$$

где r — радиус темного кольца.

Так как $r \ll l$, то

$$\sin^2 \alpha = \frac{r^2}{4l^2}. \quad (2)$$

Рассчитаем интерференционную картину, возникающую при падении плоской световой монохроматической волны, которую можно рассматривать как параллельный пучок лучей, на прозрачную плоскопараллельную пластинку (рис. 12).

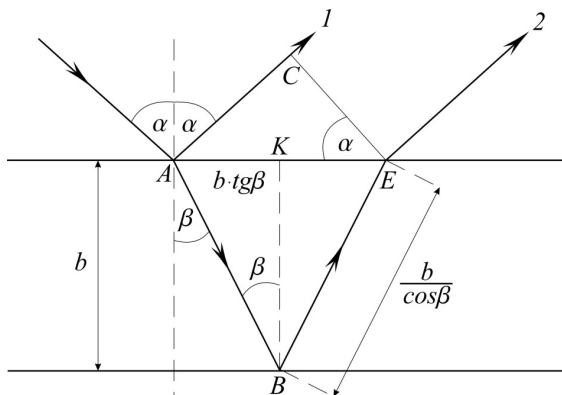


Рис. 12

Разность хода Δ интерферирующих лучей 1, 2 с учетом потери полуволны при отражении от оптически более плотной среды в точке А определится выражением

$$\Delta = 2 \frac{bn}{\cos \beta} - AC + \frac{\lambda_0}{2}. \quad (3)$$

Из треугольника ACE , так как $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$, получаем

$$AC = 2bn \frac{\sin^2 \beta}{\cos \beta}. \quad (4)$$

Подставив выражение (4) в формулу (3), получим

$$\Delta = 2 \frac{bn}{\cos \alpha} (1 - \sin^2 \beta) + \frac{\lambda}{2}. \quad (5)$$

Так как $1 - \sin^2 \beta = \cos^2 \beta$, а $\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{n^2}}$, то выражение (5) принимает вид

$$\Delta = 2bn \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{n^2}} + \frac{\lambda}{2}. \quad (6)$$

Условием интерференционного минимума является условие

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2}, \quad (7)$$

где m — порядок интерференционного минимума.

Тогда, объединяя выражения (6) и (7), получим условие получения темных интерференционных полос равного наклона:

$$2bn \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{n^2}} = m\lambda_0. \quad (8)$$

Преобразуем множитель $b \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{n^2}}$ в формуле (8). Используем разложение в ряд Тейлора. Ограничившись первыми членами ряда и подставив в него соотношение (2), получим

$$\sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{n^2}} = 1 - \frac{\sin^2 \alpha}{2n^2} = 1 - \frac{r^2}{8l^2 n^2}. \quad (9)$$

Тогда из выражения (8) с учетом (9) получим формулу для расчета радиуса темного кольца с номером m :

$$r_m^2 = 8n^2 l^2 - m\lambda_0 \frac{4l^2 n}{b}. \quad (10)$$

Запишем выражение (10) для двух колец с порядками m и k и вычтем одно уравнение из другого, выразив радиусы колец через

их диаметры. Получим выражение для нахождения показателя преломления стеклянной пластинки:

$$n = \frac{(d_m^2 - d_k^2)b}{16l^2\lambda_0(k - m)}. \quad (11)$$

Из выражения (10) следует, что с увеличением порядка интерференции m радиус кольца r_m уменьшается. Центральному кольцу соответствует максимальный порядок интерференции m . Положим $r = 0$ в выражении (10), тогда

$$8n^2l^2 = m\lambda_0 \frac{4l^2n}{b};$$

отсюда

$$m = \frac{8n^2l^2b}{4l^2\lambda_0n} = \frac{2nb}{\lambda_0} \quad (12)$$

— максимальный порядок интерференции.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА О-7 ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА МЕТОДОМ КОЛЕЦ НЬЮТОНА

Цель и задачи работы: изучить условия возникновения интерференционных полос равной толщины; познакомиться с одним из методов определения радиусов кривизны сферической поверхности.

Приборы и принадлежности: источник света, микроскоп, линза, закрепленная со стеклянной пластинкой.

Указания к самостоятельной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо:

1. Изучить по рекомендуемой литературе для самостоятельной подготовки следующие вопросы:
 - волны;
 - плоская синусоидальная волна;
 - фазовая скорость;
 - длина волны;
 - волновое число;
 - интерференция синусоидальных волн;
 - одномерное волновое уравнение.
2. Подготовить бланк отчета по работе.

Описание лабораторной установки

Схема установки приведена на рис. 13. Линза 3 и пластинка 4 помещены на предметный столик 2 микроскопа. Перемещение столика в двух взаимно перпендикулярных направлениях производится при помощи рукояток 1. В качестве осветителя 6, дающего монохроматическое излучение, используется лампа со светофильтром. Свет падает на полупрозрачную пластину 7, частично отражается, и проходит через объектив 5, и падает на систему «линза 3 – пластинка 4». Наведение на резкое изображение колец производится винтами 9 и 10 микроскопа. Измерение диаметра темного кольца производится следующим образом. При помощи рукоятки 2 столик перемещается до совмещения креста нитей окуляра 8 с серединой кольца слева от центра интерференционной картины, в таблицу за-

писывается положение столика по соответствующей шкале. Затем столик перемещается до совмещения креста нитей с серединой того же кольца справа от центра картины. Разность отсчетов по шкале даст значение диаметра кольца.

Длина волны используемого света указана на установке.

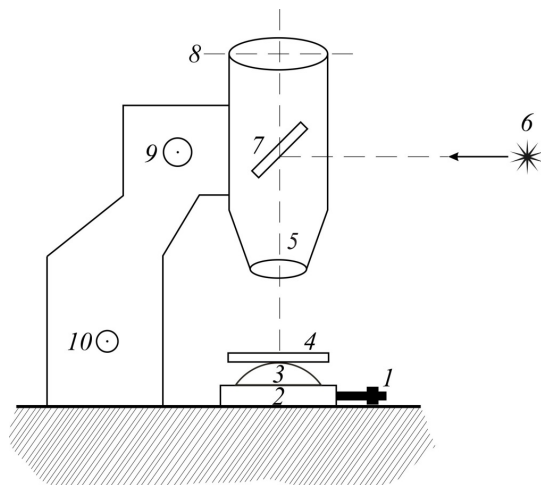


Рис. 13

Программа работы

1. Получение интерференционной картины.
2. Измерение диаметров двух темных колец.
3. Определение радиуса кривизны линзы.

Порядок работы

1. Зажечь ртутную лампу тумблерами «Сеть» и «Лампа ДРТ» на блоке питания, предварительно включив его в сеть напряжением 220 В. Если лампа сразу не загорается, нажать несколько раз кнопку «Пуск».
2. Поместить видимую невооруженным глазом интерференционную картину (в виде «карандашной» точки в месте соприкосновения линзы 3 и пластинки 4) под центром объектива 5.

3. Получить, опуская тубус микроскопа винтами 9 и 10, четкое изображение колец Ньютона.
4. Совместить при помощи рукояток 1 центр темного пятна с центром поля зрения окуляра 8.
5. Провести измерение диаметров двух темных колец Ньютона, достаточно удаленных друг от друга (например, третьего и тринадцатого). Измерение каждого диаметра провести не менее шести раз. Чтобы учесть «мертвый ход винта», необходимо подводить крест нитей окуляра к кольцу при повторных измерениях с одной и той же стороны.
6. Вывести уравнения для определения радиуса кривизны линзы.
7. Определить значение радиуса кривизны линзы, абсолютной и относительной погрешностей измерения.

Вопросы для самоконтроля

1. С какой целью используются в установке линза и стеклянная пластинка; микроскоп; монохроматор; шкала микроскопа?
2. Какие величины измеряются в работе путем прямых измерений; косвенных измерений?
3. Кольца Ньютона – полосы равной толщины или равного наклона?
4. Какие волны называются когерентными? Как на данной установке получают когерентные волны (поясните по рисунку)?
5. Какой вид имеет интерференционная картина на данной установке?
6. Что называется интерференционными полосами равной толщины?
7. Выведите расчетные формулы, а также формулы для определения абсолютных погрешностей.
8. Какова взаимная ориентация световых лучей и фронта волны в изотропной среде?
9. Какому условию должна удовлетворять разность фаз интерферирующих лучей для наблюдения в данной точке минимума интенсивности света?
10. Выведите условие максимума интенсивности света при интерференции. Как связаны разность фаз и разность хода интерферирующих лучей?

11. Что называется оптической длиной пути? Какова связь между оптической и геометрической длинами пути между двумя точками?
12. По какой формуле рассчитывается разность хода лучей, интерферирующих в отраженном свете при нормальном падении света на воздушный клин?
13. Что называется кольцами Ньютона? Какие лучи интерферируют между собой в отраженном свете при образовании колец Ньютона?
14. Напишите формулу для разности хода лучей, интерферирующих в отраженном свете при нормальном падении света на клин из вещества с абсолютным показателем преломления.
15. Выведите формулу для радиусов светлых колец Ньютона в отраженном свете при точечном контакте линзы и пластинки.
16. В каком случае наблюдаются интерференционные полосы равной толщины?

Знания и умения

Для получения зачета по теоретическому материалу необходимо знать:

- определения физических величин, используемых в работе (интерференционная полоса, полосы равной толщины, полосы равного наклона, электромагнитная волна, характеристики волн и т. д.), единицы измерения физических величин;
- законы, используемые при подготовке к работе;
- порядок вывода расчетных формул.

Для защиты работы в целом нужно уметь:

- пользоваться микроскопом для наблюдения колец Ньютона;
- оценивать погрешности измерений величин, определяемых в работе.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Приборы и принадлежности.
4. Расчетные формулы: $R =$; $\Delta R =$.

5. Результаты наблюдений и вычислений:

5.1. Измерение диаметра кольца с номером m :

Отсчет слева l_1 , мм					
Отсчет справа l_2 , мм					
Диаметр кольца, мм					

5.2. Измерение диаметра кольца с номером k :

Отсчет слева l_1 , мм					
Отсчет справа l_2 , мм					
Диаметр кольца, мм					

5.3. Вычисление абсолютных погрешностей величин.

6. Обработка результатов измерений, нахождение абсолютной и относительной погрешностей величин λ и R :

$$\text{Длина волны } \lambda_0 = \quad ; \Delta\lambda_0 = \quad ; \frac{\Delta\lambda_0}{\lambda_0} = \quad .$$

$$\text{Радиус кривизны линзы } R = \quad ; \Delta R = \quad ; \frac{\Delta R}{R} = \quad .$$

7. Запись окончательного результата.

8. Выводы.

Вывод расчетных формул

Примером интерференционных полос равной толщины являются кольца Ньютона. Если плосковыпуклую линзу положить на плоскую стеклянную пластину, то между ними образуется воздушная прослойка, постепенно утолщающаяся к краям линзы. Пусть на эту схему сверху нормально падает параллельный пучок монохроматического света (рис. 14).

В отраженном свете существенной является интерференция лучей, отраженных от соприкасающихся поверхностей (рис. 14). При отражении от границы воздух-стекло (в точке K) фаза волны меняется на противоположную (происходит потеря полуволны), а при отражении от границы стекло-воздух (в точке C) остается неизменной. Интерференционная картина имеет вид темных и светлых колец. Интерференционные полосы равной толщины в форме колец, расположенных концентрически вокруг точки касания сферы и плоскости, называются кольцами Ньютона.

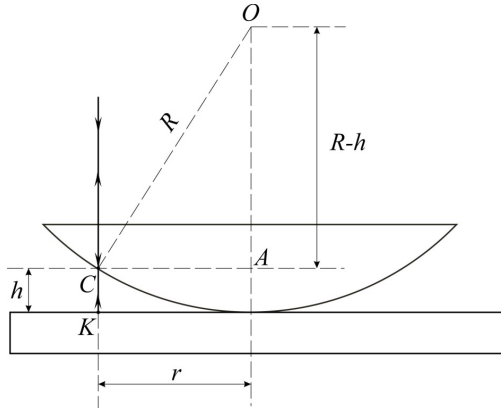


Рис. 14

На рис. 14 видно, что оптическая разность хода лучей Δ , отраженных в точках C и K , с учетом потери полуволны в точке K равна:

$$\Delta = 2hn + \frac{\lambda_0}{2}, \quad (1)$$

где $n = 1$ для вакуума.

С другой стороны, для наблюдения темного кольца Ньютона в точке C оптическая разность хода этих лучей должна быть равна нечетному числу полуволн:

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2}, \quad (2)$$

где $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Сравнивая выражения (1) и (2), получаем условие образования темных колец Ньютона:

$$2hn = m\lambda_0. \quad (3)$$

Радиус кольца определяется из треугольника OAC :

$$r^2 = 2Rh - h^2. \quad (4)$$

Так как $h \ll R$, то величиной h^2 можно пренебречь. Сравнивая выражения (3) и (4), получаем уравнения для радиусов темных колец Ньютона с номерами n и k :

$$\begin{aligned} r_m^2 &= mR\lambda_0, \\ r_k^2 &= kR\lambda_0. \end{aligned} \quad (5)$$

Из (5) получим

$$r_m^2 - r_k^2 = (m - k)R\lambda_0. \quad (6)$$

Выразим радиусы колец через их диаметры, тогда радиус кривизны линзы R определяется из уравнения (6) выражением

$$R = \frac{d_m^2 - d_k^2}{4(m - k)\lambda_0}. \quad (7)$$

Использование разности квадратов диаметров двух колец связано со следующими соображениями. Вследствие упругой деформации или падения пылинок в место соприкосновения поверхностей практически трудно добиться идеального контакта сферической поверхности и плоскости в одной точке. Из-за этого темному кольцу с номером m в действительности будет соответствовать порядок интерференции не m , а $m + p$, где p — одинаковое для всех колец число. Производя вычисления длины волны по разности квадратов диаметров колец Ньютона, мы исключаем это неизвестное число.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА О-8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ ПРИ ПОМОЩИ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ

Цель и задачи работы: изучить явление дифракции Фраунгофера; познакомиться с одним из методов определения длины световой волны.

Приборы и принадлежности: гониометр, дифракционная решетка, источник света.

Указания к самостоятельной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо:

1. Изучить по рекомендуемой литературе для самостоятельной подготовки следующие вопросы:
 - принцип Гюйгенса – Френеля;
 - дифракционная решетка;
 - вывод формулы для расчета длины световой волны.
2. Подготовить бланк отчета по работе.

Описание лабораторной установки

Установка состоит из ртутной лампы с источником питания, гониометра и дифракционной решетки. Гониометр (рис. 15) – прибор для измерения двугранных углов оптическим методом.

Гониометр состоит из следующих основных частей: горизонтального металлического круга *1*, предметного столика *2*, отсчетного устройства *3*, неподвижного коллиматора *4* и подвижной зрительной трубы *5*.

Коллиматор имеет линзу и щель *6*, расположенную в фокальной плоскости линзы, благодаря чему из коллиматора выходит параллельный пучок света. Зрительная труба имеет объектив *7* и подвижный окуляр *8*, в фокальной плоскости которого расположена нить. На столике гониометра помещается дифракционная решетка *9*.

Для подготовки прибора к работе перед щелью коллиматора помещают источник света, зрительную трубу располагают против коллиматора и, двигая окуляр, добиваются четкого изображения нити окуляра. Затем перемещают обойму, в которую вставлен окуляр, до

тех пор, пока не получится четкое изображение щели коллиматора. Подготовка считается законченной, если при небольшом смещении глаза изображение щели не перемещается относительно нити (отсутствует параллакс).

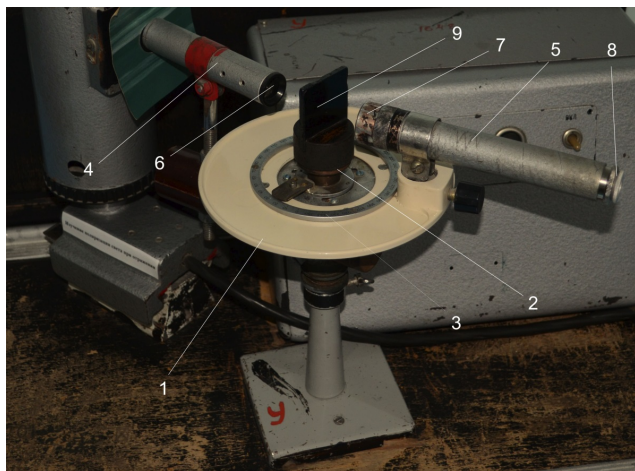


Рис. 15

На предметный столик помещают решетку и устанавливают ее так, чтобы плоскость решетки оказалась перпендикулярной падающему на нее световому пучку. Для этого при помощи кругового нониуса фиксируют начальное положение зрительной трубы (максимум нулевого порядка). Затем трубу поворачивают до совмещения нити окуляра с серединой первого максимума и вновь фиксируют ее положение. Разность отсчетов указанных двух положений трубы равна углу, под которым виден правый максимум первого порядка. Затем определяют угол, под которым виден левый максимум первого порядка. При правильной установке решетки эти углы равны с точностью, оцениваемой погрешностью кругового нониуса. Если углы окажутся различными, то, поворачивая столик с решеткой, нужно добиться правильной установки решетки.

Программа работы

1. Подготовка гониометра к работе.
2. Определение периода решетки.
3. Определение длины световой волны.

Порядок работы

1. Определить точность кругового нониуса.
2. Включить источник света и подготовить гониометр к работе.
3. Совместить нить окуляра зрительной трубы с изображением щели и произвести отсчет начального положения α_0 зрительной трубы. Повторить эту операцию 5–6 раз.
4. Вращая трубу, совместить нить с зеленой линией спектра ртути ($\lambda_0 = 546$ нм) первого порядка. Произвести 6–7 отсчетов конечного положения α зрительной трубы.
5. Рассчитать угол дифракции $\varphi = |\alpha - \alpha_0|$ и абсолютную погрешность. Абсолютную погрешность измерения угла дифракции следует выразить в радианах: $1^\circ = 1,745 \cdot 10^{-2}$ рад.
6. Вычислить по формулам постоянную решетки и ее абсолютную и относительную погрешности.
7. Произвести отсчеты положений зрительной трубы для одной из спектральных линий, указанных преподавателем.
8. Определить длину волны этой линии, абсолютную и относительную погрешности.

Вопросы для самоконтроля

1. Каково назначение гониометра?
2. Как в данной работе находится абсолютная погрешность измерения угла дифракции, положения зрительной трубы, периода решетки, длины зеленой линии спектра ртути?
3. Что понимают под дифракцией света?
4. Какие приборы используются в данной работе?
5. Как находится угол дифракции?
6. Путем каких измерений – прямых или косвенных – определяют в данной работе положение зрительной трубы, угол дифракции, длина волны, период решетки?
7. Что называется дифракционной картиной?

8. Какие положения составляют содержание принципа Гюйгенса – Френеля?
9. Что называется дифракционной решеткой? Что называется периодом дифракционной решетки?
10. От чего зависит амплитуда световой волны, приходящей в данную точку от какой-то щели дифракционной решетки?
11. Как записывается при дифракции света на дифракционной решетке условие главного максимума, главного минимума, добавочного минимума?
12. Каков порядок следования спектральных линий в дифракционном спектре?
13. Что называется шириной дифракционного максимума?
14. Как изменяется дифракционный спектр при увеличении числа освещаемых щелей решетки без изменения ее периода?
15. От чего зависит предельное число спектров, которое можно получить при помощи дифракционной решетки?
16. Нарисуйте вид векторной диаграммы, когда имеет место главный максимум, побочный минимум.

Знания и умения

Для получения зачета по теоретическому материалу необходимо знать:

- определения физических величин, используемых в работе (интенсивность света, длина волны, разность хода лучей, период решетки и т. д.), единицы измерения физических величин;
- законы и соотношения, используемые в работе;
- порядок вывода расчетных формул.

Для защиты работы в целом нужно уметь:

- измерять углы дифракции, пользуясь гониометром;
- определять период дифракционной решетки, длину световой волны в дифракционном спектре;
- оценивать погрешности измерений величин, определяемых в работе.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Приборы и принадлежности.
4. Расчетные формулы: $\lambda =$; $\Delta\lambda =$;
 $d =$; $\Delta d =$.
5. Определение начального положения α_0 зрительной трубы:
 - 5.1. Исключение грубых погрешностей.
 - 5.2. Обработка результатов по методу Стьюдента.
6. Определение положения α_1 зрительной трубы при наблюдении зеленой линии λ_0 спектра ртути.

Длина волны зеленой линии $\lambda = 560$ нм; $\Delta\lambda = 1$ нм.

Угол, определяющий положение зеленой линии в спектре m порядка: $\varphi_1 =$; $\Delta\varphi_1 =$; $\sin \varphi_1 =$.

Период дифракционной решетки $d =$; $\Delta d =$; $\frac{\Delta d}{d} =$.
7. Определение положения α_0 зрительной трубы при наблюдении длины волны фиолетового света λ .

Угол, определяющий положение фиолетовой линии в спектре m порядка: $\varphi_2 =$; $\Delta\varphi_2 =$; $\sin \varphi_2 =$.
8. Обработка результатов измерений, нахождение абсолютной и относительной погрешностей величины λ :

длина волны $\lambda =$; $\Delta\lambda =$; $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} =$.
9. Запись окончательного результата.
10. Выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА О-9 ИЗУЧЕНИЕ ЗАТУХАЮЩИХ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Цель и задачи работы: ознакомиться с одним из методов определения коэффициента затухания и логарифмического декремента затухания.

Приборы и принадлежности: П-образный маятник, секундомер.

Указания к самостоятельной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо:

1. Изучить по рекомендуемой литературе для самостоятельной подготовки следующие вопросы:
 - затухающие механические колебания;
 - коэффициент затухания;
 - логарифмический декремент затухания.
2. Подготовить бланк отчета по работе.

Описание лабораторной установки

Маятник (рис. 16) выполнен в виде двух стрелок 1, соединенных планкой, в которую вмонтированы два шарика 2. Шарики опираются на стальную плиту (столик) 3. Столик укреплен на цилиндрической стойке 4 с массивным основанием 5. Вертикальность стойки проверяется по отвесу, к стойке прикреплена шкала с нулевым делением в середине. Установка маятника против нуля шкалы осуществляется с помощью дужки 6. Для выведения маятника из положения равновесия и его пуска служит приспособление в виде рукоятки 7.

Коэффициент затухания можно определить, используя закон убывания амплитуды. Пусть в момент начала наблюдения $t = 0$ амплитуда маятника равна A_0 . Тогда через промежуток времени t амплитуда будет

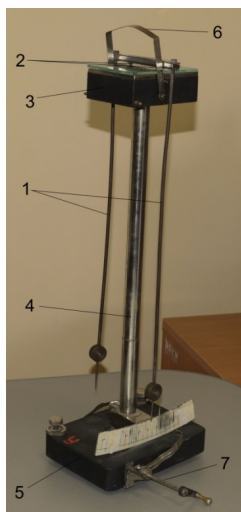


Рис. 16

$$A_t = A_0 e^{-\delta t}. \quad (1)$$

Взяв логарифм отношения значений этих амплитуд, получаем

$$\ln \frac{A_0}{A_t} = \ln \frac{A_0}{A_0 e^{-\delta t}} = \delta t, \quad (2)$$

откуда

$$\delta = \frac{1}{t} \ln \frac{A_0}{A_t}. \quad (3)$$

Логарифмический декремент затухания

$$\Lambda = \ln \frac{A_0}{A_T} = \delta T. \quad (4)$$

Подставляя (3) в (4) и помня, что $t = nT$, получим

$$\Lambda = \frac{1}{n} \ln \frac{A_0}{A_t}, \quad (5)$$

где n — число полных колебаний, совершенных маятником за промежуток времени t .

Программа работы

1. Определение коэффициента затухания.
2. Определение логарифмического декремента затухания.

Порядок работы

1. Положить на столик под планку маятника стеклянную пластинку.
2. Определить время t и число полных колебаний n маятника при уменьшении его начальной амплитуды A_0 в два раза.
3. Повторить опыт не менее пяти раз.
4. Вычислить для каждого опыта коэффициент затухания и логарифмический декремент затухания. Рассчитать абсолютные погрешности.
5. Прodelать то же, положив под планку маятника деревянную пластинку.
6. Сравнить полученные результаты и сделать вывод.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие колебания называются свободными?
2. Какие системы называются диссипативными?
3. Какие колебания называются затухающими?
4. Какие силы действуют на колеблющееся тело в реальных условиях?
5. Напишите уравнение динамики колебательного движения.
6. Решите дифференциальное уравнение затухающих колебаний.
7. При каких условиях затухающие колебания можно считать гармоническими?
8. Напишите закон изменения амплитуды затухающих колебаний.
9. От чего зависит скорость затухания колебаний?
10. Как условный период колебаний зависит от коэффициента затухания? Запишите связь коэффициента затухания и времени релаксации.
11. Дайте определение логарифмического декремента затухания. Выведите расчетную формулу для определения коэффициента затухания и его погрешности.
12. Выведите расчетную формулу для определения логарифмического декремента затухания.
13. Зависит ли величина коэффициента затухания от материала подложки маятника?
14. Как коэффициент затухания взаимосвязан с коэффициентом сопротивления среды?
15. Каков физический смысл логарифмического декремента затухания?
16. Как влияет коэффициент затухания на скорость затухания колебаний?

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Приборы и принадлежности.
4. Расчетные формулы $\delta =$; $\Delta\delta =$;
 $\Lambda =$; $\Delta\Lambda =$.
5. Результаты наблюдений и вычислений:

5.1. Исследование стеклянной пластинки.

№ опыта	A_0	A_t	t	n	δ	Λ

5.2. Исследование деревянной пластинки.

№ опыта	A_0	A_t	t	n	δ	Λ

6. Обработка результатов измерений, нахождение абсолютной и относительной погрешности величин δ и Λ :

коэффициент затухания $\delta =$; $\Delta\delta =$; $\frac{\Delta\delta}{\delta} =$;

логарифмический декремент затухания $\Lambda =$; $\Delta\Lambda =$; $\frac{\Delta\Lambda}{\Lambda} =$.

7. Запись окончательного результата.
8. Выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА О-10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ

Цель и задачи работы: изучить явление дифракции света, определить длину волны лазерного излучения.

Приборы и принадлежности: лазер, дифракционная решетка с периодом 0,01 мм, экран, измерительная линейка, штангенциркуль.

Указания к самостоятельной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо:

1. Изучить по рекомендуемой литературе для самостоятельной подготовки следующие вопросы:
 - явление дифракции света;
 - устройство простейшей дифракционной решетки;
 - закономерности в образовании дифракционной картины от дифракционной решетки.
2. Подготовить бланк отчета по работе.

Описание лабораторной установки

В установку (рис. 17) входят лазер 1, установленный на одном конце рельса, экран 3 – на другом. Лазер является источником монохроматических когерентных световых лучей. Между лазером и экраном устанавливается дифракционная решетка 2. Решетка устанавливается таким образом, чтобы плоскость решетки оказалась перпендикулярной падающему на нее световому пучку.

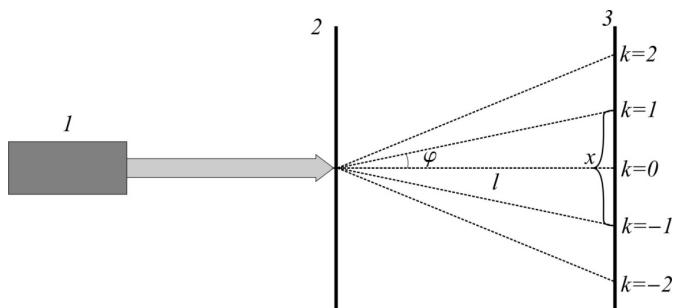


Рис. 17

При прохождении излучения через дифракционную решетку вследствие явления дифракции на экране образуется совокупность максимумов и минимумов – дифракционный спектр. Исследуя дифракционный спектр, можно определить длину волны излучения.

Программа работы

1. Получение дифракционного спектра.
2. Определение длины волны лазерного излучения.

Порядок работы

1. Расположите приборы так, как показано на рис. 17.
2. Включите лазер, предварительно изучив инструкцию о правилах включения лазера.
3. Установите экран 3 на таком расстоянии от дифракционной решетки 2, чтобы на нем получилось четкое изображение дифракционного спектра.
4. Определите при помощи масштабной линейки расстояние l от экрана до дифракционной решетки.
5. Определите при помощи штангенциркуля расстояние между серединами главных максимумов первого порядка. Повторите это измерение для главных максимумов 2-го и 3-го порядка. Результаты наблюдений внесите в таблицу.
6. По результатам наблюдений рассчитайте длину волны λ лазерного излучения.

Вопросы для самоконтроля

1. Какова цель работы?
2. Какова программа работы?
3. Какие приборы используются в работе?
4. Каково устройство простейшей дифракционной решетки?
5. Нарисуйте схему установки.
6. Что называется дифракцией света?
7. Как формулируется принцип Гюйгенса?
8. Что называется дифракционной картиной?
9. Какие положения составляют содержание принципа Гюйгенса – Френеля?

10. Что называется дифракционной решеткой?
11. Что называется периодом дифракционной решетки?
12. Как записывается при дифракции света на дифракционной решетке условие главного максимума, главного минимума, добавочного минимума?
13. Какова связь между разностью хода и разностью фаз колебаний двух лучей?
14. Запишите расчетную формулу для длины волны в данной работе.
15. Как изменяется дифракционный спектр при увеличении числа освещаемых щелей решетки без изменения ее периода?
16. Как изменяется дифракционный спектр при увеличении периода решетки без изменения числа освещаемых щелей?

Знания и умения

Для получения зачета по теоретическому материалу необходимо знать:

- определения физических величин, используемых в работе (длина волны, угол дифракции, период дифракционной решетки и т. д.), единицы измерения физических величин;
- законы, используемые при подготовке к работе;
- порядок вывода расчетных формул.

Для защиты работы в целом нужно уметь:

- применять законы, используемые в работе;
- оценивать погрешности измерений величин, определяемых в работе.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Приборы и принадлежности.
4. Расчетные формулы $\lambda =$; $\Delta\lambda =$.
5. Результаты наблюдений и вычислений.

Порядок спектра k	Расстояние между серединами максимумов x , м	Расстояние от экрана до дифракционной решетки l , м	Длина волны λ , м
± 1			
± 2			
± 3			

6. Расчет длины волны лазерного излучения: $\lambda =$
7. Расчет относительной погрешности длины волны $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$.
8. Запись окончательного результата.
9. Выводы.

Вывод расчетных формул

Условие возникновения главных максимумов интенсивности света определяется из соотношения:

$$d \sin \varphi = \pm k \lambda, \quad (1)$$

где d – период решетки; φ – угол дифракции; k – порядок максимума ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$). Решая уравнение (1) относительно λ , получим:

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{k}. \quad (2)$$

Для определения длины волны λ в формуле (2) необходимо знать $\sin \varphi$. Из рисунка 17 видно, что

$$\sin \varphi = \frac{x}{\sqrt{4l^2 + x^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2l}{x}\right)^2}}. \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), получим окончательную формулу:

$$\lambda = \frac{d}{k \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{2l}{x}\right)^2}}. \quad (4)$$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА О-11

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА ПРИ ОТРАЖЕНИИ

Цель и задачи работы: изучить явление поляризации света и один из способов получения линейно-поляризованного света, определить показатель преломления стеклянной пластинки.

Приборы и принадлежности: источник света, гониометр.

Указания к самостоятельной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо:

1. Изучить по рекомендуемой литературе для самостоятельной подготовки следующие вопросы:
 - поляризация при отражении и преломлении;
 - закон Брюстера;
 - вывод формулы абсолютной и относительной погрешности показателя преломления.
2. Подготовить бланк отчета по работе.

Описание лабораторной установки

Установка состоит из источника света и гониометра. Гониометр (рис. 18) – прибор для измерения двугранных углов, состоящий из горизонтального металлического круга *1*, предметного столика *2*, отсчетного устройства *11*, неподвижного коллиматора *9* и подвижной зрительной трубы *4*. Коллиматор имеет линзу *8* и щель *10*, расположенную в фокальной плоскости линзы *8*, благодаря чему из коллиматора выходит параллельный пучок света. Зрительная труба имеет объектив *5* и подвижный окуляр *3*, в фокальной плоскости которого вертикально расположена нить.

На столике гониометра помещается темное зеркало *7*, служащее поляризатором. Перед объективом зрительной трубы расположен поляроид *6*, предназначенный для анализа света, отраженного от зеркала.

Подготовка гониометра к работе сводится к следующему. Включают источник света. Зрительную трубу располагают против коллиматора и, перемещая окуляр, добиваются четкого изображения нити. Затем перемещают обойму, в которую вставлен окуляр, до

тех пор, пока не получится четкое изображение щели коллиматора. Подготовка считается законченной, если при небольшом смещении глаза изображение щели не перемещается относительно нити (отсутствует параллакс).

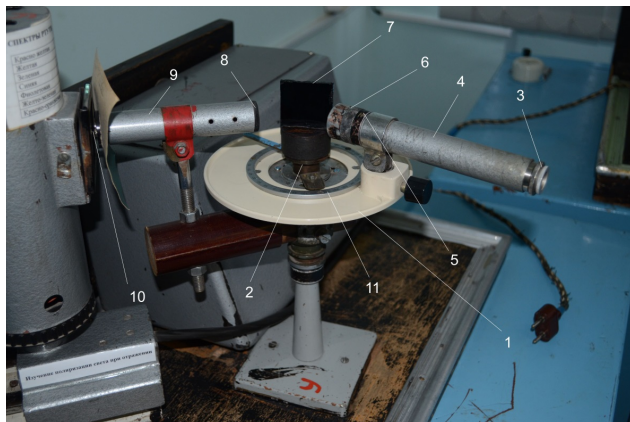


Рис. 18

Программа работы

1. Определение угла Брюстера.
2. Определение показателя преломления стекла.

Порядок работы

1. Подготовить гониометр к работе. Совместив нить зрительной трубы с изображением щели, произвести первоначальный отсчет β_0 (рис. 19, положение I).
2. Повернуть столик с зеркалом так, чтобы его плоскость была параллельна оптической оси установки. Вращая поляроид b и наблюдая изменение интенсивности света, выходящего из поляроида, сделать вывод о характере поляризации света, идущего от источника.
3. Повернуть столик с зеркалом на небольшой угол ($10-15^\circ$). В том же направлении поворачивать зрительную трубу до тех пор, пока снова изображение щели коллиматора не совместится с нитью окуляра зрительной трубы. Вращая анализатор, сделать вывод о характере поляризации света, отраженного от зеркала.

4. Найти такое положение, когда при вращении анализатора достигается максимальное затемнение изображения щели. Зафиксировать положение зрительной трубы β (рис. 19, положение II). Произвести отсчет β несколько раз (3–5). Найти среднее арифметическое.
5. Определить угол Брюстера и его абсолютную погрешность.

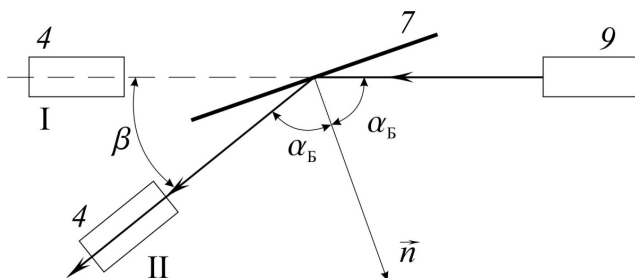


Рис. 19

На рис. 19 изображено взаимное расположение темного зеркала 7, коллиматора 9 и зрительной трубы 4 при падении света под углом Брюстера. Следовательно,

$$\alpha_B = \frac{\pi}{2} - \frac{\beta}{2}. \quad (1)$$

Поэтому формула для нахождения угла Брюстера имеет вид:

$$\alpha_B = \frac{\pi}{2} - \frac{|\langle \beta \rangle - \beta_0|}{2}, \quad (2)$$

где β_0 – отсчет, соответствующий первоначальному положению зрительной трубы (положение I); $\langle \beta \rangle$ – среднее арифметическое отсчетов, соответствующих конечному положению зрительной трубы (положение II).

6. Рассчитать показатель преломления вещества зеркала n , абсолютную и относительную погрешности.

Вопросы для самоконтроля

1. Что представляет собой гониометр?
2. Как при помощи гониометра определяют угол Брюстера?
3. Что называется показателем преломления среды: абсолютным; относительным?
4. Путем каких измерений – прямых или косвенных – определяется в данной работе положение зрительной трубы; угол Брюстера; показатель преломления?
5. Как находится погрешность определения положения зрительной трубы; угла Брюстера; показателя преломления?
6. В какой плоскости поляризована отраженная волна при падении света на диэлектрик под углом Брюстера?
7. Выведите расчетные формулы и формулы для определения погрешностей величин.
8. Какой свет называется поляризованным; естественным? Какие типы поляризованного света вы знаете?
9. Что называется поляризатором; линейным поляризатором; анализатором; плоскостью пропускания поляризатора?
10. Почему при отражении свет оказывается частично поляризованным?
11. Колебания какого направления преобладают в волне отраженной; преломленной?
12. Что называется степенью поляризации света?
13. Как формулируется закон Брюстера? Как объяснить закон Брюстера с физической точки зрения?
14. Как формулируется закон Малюса?
15. Как практически можно отличить естественный свет от линейно-поляризованного; частично поляризованного?
16. Что называется двойным лучепреломлением? В чем заключается явление дихроизма?

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Приборы и принадлежности.
4. Расчетные формулы $\alpha_B =$; $\Delta\alpha_B =$;
 $n =$; $\Delta n =$.
5. Результаты наблюдений и вычислений:
начальное положение зрительной трубы β_0 ;
конечное положение зрительной трубы $\langle\beta\rangle$.
6. Обработка результатов измерений, нахождение абсолютной и относительной погрешностей величин α_B и n :
угол Брюстера $\alpha_B =$; $\Delta\alpha_B =$; $\frac{\Delta\alpha_B}{\alpha_B} =$;
показатель преломления $n =$; $\Delta n =$; $\frac{\Delta n}{n} =$.
7. Запись окончательного результата.
8. Выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА О-12 ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель и задачи работы: изучить законы теплового излучения, определить коэффициент теплового излучения.

Приборы и принадлежности: установка для определения коэффициентов теплового излучения.

Указания к самостоятельной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо:

1. Изучить по рекомендуемой литературе для самостоятельной подготовки следующие вопросы:
 - противоречия классической физики;
 - проблемы изучения черного тела;
 - элементарная квантовая теория излучения;
 - тепловое равновесное излучение.
2. Подготовить бланк отчета по работе.

Описание лабораторной установки

Установка состоит из лампы накаливания, амперметра, вольтметра, автотрансформатора (рис. 20). Автотрансформатор имеет возможность подавать напряжение U на нить накала лампы в пределах от 0 до 220 В.

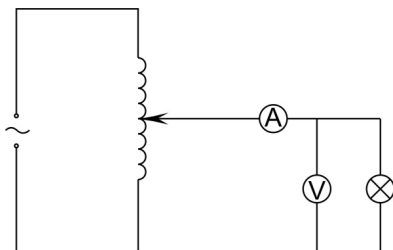


Рис. 20

Программа работы

1. Измерение силы тока, проходящего через нить накала лампы.
2. Расчет коэффициента теплового излучения вольфрама.

Порядок работы

1. Выполнить измерение силы тока в нити лампы при напряжении на лампе 140 В.
2. Рассчитать температуру, сопротивление вольфрамовой нити накала.
3. Рассчитать по формуле (9) значение коэффициента теплового излучения ε при температуре вольфрамовой нити накала лампы, соответствующей заданному напряжению.

Вопросы для самоконтроля

1. Как определяются абсолютные погрешности коэффициента теплового излучения, тока, напряжения, температуры?
2. Как определяется сопротивление нагретой вольфрамовой спирали лампы накаливания?
3. Какие законы постоянного тока используются в работе?
4. Как рассчитывается значение потока излучения?
5. Запишите расчетную формулу для коэффициента теплового излучения.
6. Какое излучение называется тепловым?
7. Как в данной работе можно определить поток излучения лампы накаливания?
8. Как в данной работе можно определить энергетическую светимость нити накала?
9. Что называется коэффициентом теплового излучения?
10. Какое тело называется абсолютно черным; серым?
11. Сформулируйте закон Кирхгофа.
12. Какая связь существует между спектральной плотностью энергетической светимости и спектральным коэффициентом поглощения любого тела?
13. Как рассчитать максимум спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела для различных температур?
14. Сформулируйте закон Стефана – Больцмана.
15. Сформулируйте закон смещения Вина.
16. Получите выражение для расчета коэффициента теплового излучения в данной работе.

Знания и умения

Для получения зачета по теоретическому материалу необходимо знать:

- определения физических величин, используемых в работе (коэффициент теплового излучения, энергетическая светимость, абсолютно черное тело и т. д.), единицы измерения физических величин;
- законы, используемые при подготовке к работе;
- порядок вывода расчетных формул.

Для защиты работы в целом нужно уметь:

- применять законы, используемые в работе;
- оценивать погрешности измерений величин, определяемых в работе.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель и задачи работы.
3. Приборы и принадлежности.
4. Расчетные формулы: $\varepsilon =$; $\Delta\varepsilon =$.
5. Результаты наблюдений и вычислений:
Постоянная Стефана – Больцмана: $\sigma =$; $\Delta\sigma =$.
Площадь спирали нити накала лампы: $S =$; $\Delta S =$.
Сопротивление нити накала при комнатной температуре:
 $R_k =$; $\Delta R_k =$.
Комнатная температура: $T_k =$; $\Delta T_k =$.
Сила тока в лампе: $I =$; $\Delta I =$.
Напряжение на лампе: $U =$; $\Delta U =$.
6. Обработка результатов измерений, нахождение абсолютной и относительной погрешности величины ε :
коэффициент теплового излучения $\varepsilon =$; $\Delta\varepsilon =$; $\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} =$.
7. Запись окончательного результата.
8. Выводы.

Вывод расчетных формул

Излучательные свойства источника теплового излучения характеризуют коэффициентом теплового излучения, который равен отношению энергетической светимости теплового излучателя к энергетической светимости черного тела при той же температуре

$$\varepsilon = \frac{R_T}{R_T^0}. \quad (1)$$

Воспользуемся определением энергетической светимости. Энергетической светимостью R_T излучающего тела называется физическая величина, определяемая отношением потока излучения $d\Phi$, исходящего от рассматриваемого малого участка поверхности dS к площади этого участка

$$R_T = \frac{d\Phi}{dS}. \quad (2)$$

Поток теплового излучения вольфрамовой нити можно найти как произведение напряжения U на лампе на силу тока I , протекающего через нее, учитывая тот факт, что почти вся энергия электрического тока в нити накаливания, разогретой до температуры T , преобразуется в энергию теплового излучения:

$$\Phi = U \cdot I. \quad (3)$$

Значение площади спирали нити S приведено на установке.

Для определения температуры нити накала T воспользуемся зависимостью сопротивления проводника R от температуры T :

$$R = R_0 \alpha T, \quad (4)$$

где $\alpha = \frac{1}{273}$ — температурный коэффициент; R_0 — сопротивление проводника при 0°C . Если температура равна комнатной, то из (4):

$$R_0 = \frac{R_k}{\alpha T_k}, \quad (5)$$

где T_k — значение комнатной температуры; R_k — сопротивление при комнатной температуре (приведено на установке). Из (4) с учетом (5) найдем температуру нити накала

$$T = \frac{UT_k}{IR_k}. \quad (6)$$

Из закона Стефана – Больцмана

$$R_T^0 = \sigma T^4 . \quad (7)$$

Энергетическая светимость нити

$$R_T = \frac{\Phi}{S} = \frac{UI}{S} . \quad (8)$$

Подставляя (7) и (8) в (1) с учетом (6), получим окончательно

$$\varepsilon = \frac{R_k^4 I^5}{\sigma S T_k^4 U^3} . \quad (9)$$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА О-13 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА И КРАСНОЙ ГРАНИЦЫ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА

Цель и задачи работы: изучение явления внешнего фотоэффекта; определение постоянной Планка – одной из фундаментальных постоянных квантовой физики; определение красной границы внешнего фотоэффекта.

Приборы и принадлежности: фотоэлемент, вольтметр, потенциометр, сменные светофильтры.

Указания к самостоятельной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо:

1. Изучить по рекомендуемой литературе для самостоятельной подготовки следующие вопросы:
 - внешний фотоэффект;
 - «красная граница» внешнего фотоэффекта.
2. Подготовить бланк отчета по работе.

Внешним фотоэффектом называется явление вырывания электронов с поверхности металла под действием света.

При внешнем фотоэффекте энергия фотона поглощается целиком электроном

$$W = h\nu, \quad (1)$$

где $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с – постоянная Планка – квант действия – одна из важнейших постоянных квантовой физики; ν – частота падающего света.

Часть поглощенной энергии затрачивается электроном на работу выхода из металла – A , а остаток является кинетической энергией электрона.

На основании закона сохранения энергии Эйнштейн получил уравнение:

$$h\nu = A + \frac{mV_{\max}^2}{2}, \quad (2)$$

которое объясняет основные закономерности внешнего фотоэффекта и называется уравнением Эйнштейна для фотоэффекта.

Основные закономерности внешнего фотоэффекта:

- 1) фотоэффект безынерционен: свет попадает на поверхность металла и в цепи появляется фототок;
- 2) величина тока насыщения при прочих равных условиях пропорциональна световому потоку, падающему на фотоэлемент (закон Столетова);
- 3) скорость фотоэлектронов зависит от частоты падающего света;
- 4) красная граница фотоэффекта: для каждого металла существует минимальная частота, при которой начинается фотоэффект.

Вольт-амперная характеристика внешнего фотоэффекта приведена на рис. 21.

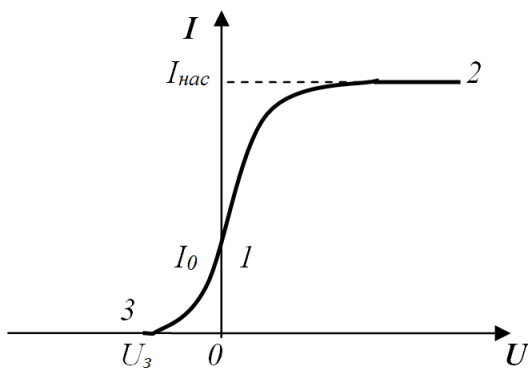


Рис. 21

Из графика видно, что сила фототока отлична от нуля при $U = 0$ (точка 1). Это обусловлено тем, что часть вырванных светом электронов по инерции достигает анода, обуславливая ток I_0 . При увеличении прямого напряжения на электродах величина фототока возрастает, достигая максимального значения — тока насыщения — $I_{нас}$. При этом все вырванные светом за единицу времени электроны достигают анода (точка 2).

Если изменить полярность электродов, т. е. на анод подать (–), а на катод (+), то фототок при увеличении обратного напряжения будет уменьшаться и при некотором напряжении U_3 станет равным нулю (точка 3). Это напряжение называют задерживающим напряжением.

Ток через фотоэлемент будет равен нулю, когда максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов равна работе задерживающего поля:

$$eU_3 = \frac{mV_{\max}^2}{2}, \quad (3)$$

где e – заряд электрона; m – его масса.

Тогда уравнение Эйнштейна можно переписать через задерживающий потенциал:

$$h\nu = A + eU_3. \quad (4)$$

Определяя задерживающее напряжение для разных частот, лежащих в видимой области спектра, можно построить график зависимости U_3 от ν , которая должна иметь вид, приведенный на рис. 22.

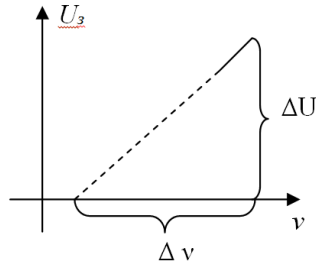


Рис. 22

По графику путем аппроксимации экспериментальных точек прямой (сплошная линия) и экстраполяции прямой до пересечения с осью частот (пунктирная линия) можно определить красную границу фотоэффекта $\nu_{\text{кр}}$ для данного фотокатода. При этом энергия кванта равна работе выхода электронов из металла:

$$h\nu_{\text{кр}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}} = A.$$

Используя графическое усреднение, по графику можно оценить величину постоянной Планка, которая определяет угол наклона прямой (рис. 22):

$$h = e \frac{\Delta U}{\Delta \nu}. \quad (5)$$

Описание лабораторной установки

Общая схема установки приведена на рис. 23.

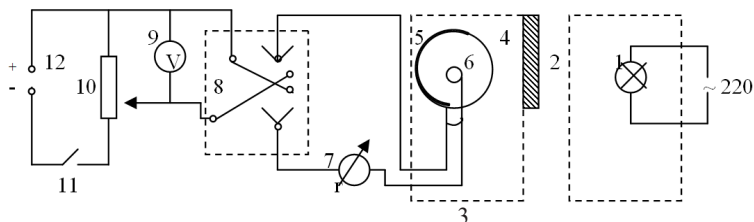


Рис. 23

На схеме установки: *1* – источник света – лампочка накаливания в защитном чехле; *2* – сменные светофильтры – окрашенные стекла, пропускающие только определенную область видимого света; *3* – сурьмяно-цезиевый вакуумный фотоэлемент СЦВ, представляющий собой откачанный стеклянный баллон *4*, на половину внутренней поверхности которого нанесен слой, служащий фотокатодом *5*. Анодом служит металлическая полусфера или кольцо *6*, расположенное в центральной части баллона; *7* – гальванометр для измерения фототока; *8* – четырехполюсный переключатель для изменения знака потенциала на фотоэлементе; *9* – вольтметр для измерений напряжения, подаваемого на фотоэлемент; *10* – потенциометр; *11*, *12* – ключ и источник постоянного тока.

Порядок работы

1. Вставить в пазы кожуха фотоэлемента красный светофильтр.
2. Включить лампочку накаливания и, подав небольшое напряжение (0,2–0,3 В), определить положения четырехполюсного переключателя для прямого и обратного напряжения. Установить переключатель таким образом, чтобы подать на фотоэлемент обратное напряжение.
3. Найти величину задерживающего напряжения для красного светофильтра (при этом гальванометр должен показывать нулевой ток). Измерения повторить 3 раза. Найти среднее значение $\langle U_3 \rangle$.
4. Выполнить пункт 3 для всех светофильтров.

5. Построить график зависимости задерживающего напряжения от частоты падающего света $U_3 = f(\nu)$. Аппроксимировать точки прямой, наиболее близкой ко всем точкам, продолжить прямую до пересечения с осью частот.
6. Найти по графику частоту красной границы фотоэффекта и рассчитать длину волны для красной границы.
7. Вычислить работу выхода электронов из катода.
8. Определить постоянную Планка. Оценить точность определения постоянной Планка.

Вопросы для самоконтроля

1. Какое явление называется фотоэффектом, внешним фотоэффектом?
2. В чем заключается метод задерживающего потенциала?
3. Что собой представляет вольт-амперная характеристика внешнего фотоэффекта? Каковы ее особенности?
4. Приведите формулы Эйнштейна для фотоэффекта.
5. Каково назначение светофильтров в работе?
6. Что называется красной границей фотоэффекта?
7. Что такое работа выхода и от чего она зависит?
8. Каковы основные закономерности фотоэффекта?
9. Какие противоречия с экспериментом возникают при объяснении фотоэффекта с волновой точки зрения?
10. Чему равна энергия фотона?
11. Чему равен импульс фотона?
12. Как объяснить давление света с корпускулярной точки зрения? Вывести формулу для давления света.
13. Что называется эффектом Комптона?
14. Вывести формулу для изменения длины волны при эффекте Комптона.
15. В чем заключается концепция корпускулярно-волнового дуализма?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иродов, И.Е. Волновые процессы: основные законы : учеб. пособие для вузов / И.Е. Иродов. — 2-е изд., доп. — М. : Лаб. базовых знаний : ЮНИМЕДИАСТАЙЛ, 2002. — 263 с.
2. Матвеев, А.Н. Оптика : учеб. пособие для вузов / А.Н. Матвеев. — М. : Высш. шк., 1985. — 351 с.
3. Мелешко, И.В. Квантовая физика. Физика атома и атомного ядра : электрон. учеб.-метод. пособие / И.В. Мелешко, В.А. Решетов. — Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. — 1 электрон. опт. диск.
4. Мелешко, И.В. Колебания и волны. Волновая оптика : электрон. учеб.-метод. пособие / И.В. Мелешко, В.А. Решетов. — Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. — 1 электрон. опт. диск.
5. Савельев, И.В. Курс общей физики : учеб. пособие для вузов. В 5 кн. Кн. 4. Волны. Оптика / И.В. Савельев. — М. : Астрель : АСТ, 2004. — 256 с.
6. Сивухин, Д.В. Общий курс физики : учеб. пособие. В 5 т. Т. 4. Оптика / Д.В. Сивухин. — 3-е изд., стер. — М. : Физматлит, 2005. — 791 с.
7. Трофимова, Т.И. Курс физики : учеб. пособие для вузов / Т.И. Трофимова. — 14-е изд., стер. — М. : Академия, 2007. — 558 с. — (Высшее профессиональное образование).