

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физика»

ФИЗИКА

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов всех специальностей и направлений подготовки
очной и заочной форм обучения*

Часть 3

ОПТИКА



Могилев 2021

УДК 535
ББК 22.31
Ф55

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физика» «21» января 2021 г., протокол № 5

Составители: ст. преподаватель В. В. Глущенко;
канд. физ.-мат. наук С. О. Парашков;
д-р физ.-мат. наук, доц. А. В. Хомченко

Рецензент канд. техн. наук, доц. Б. Б. Скарыно

В методических рекомендациях приводится описание лабораторных установок, рассматривается их принцип действия, излагается порядок выполнения работ по разделу «Оптика».

Учебно-методическое издание

Часть 3

ФИЗИКА

Ответственный за выпуск	А. В. Хомченко
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать 20.05.2021 . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 2,33 . Уч.-изд. л. 2,44 . Тираж 36 экз. Заказ № 378.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2021

Содержание

Меры безопасности при проведении лабораторных работ на кафедре «Физика».....	4
1 Лабораторная работа № 3. Изучение вращения плоскости поляризации.....	5
2 Лабораторная работа № 4. Определение радиуса кривизны линзы с помощью колец Ньютона.....	9
3 Лабораторная работа № 5. Определение длины волны монохроматического света с помощью бипризмы Френеля.....	13
4 Лабораторная работа № 6. Определение показателей преломления твердых тел и жидкостей.....	18
5 Лабораторная работа № 11. Определение длины световой волны и постоянной дифракционной решетки.....	26
6 Лабораторная работа № 12. Изучение закона Стефана–Больцмана.....	31
7 Лабораторная работа № 14. Проверка закона Малюса.....	36
Список литературы.....	39

Меры безопасности при проведении лабораторных работ на кафедре «Физика»

1 К работе в учебной лаборатории допускаются студенты, прошедшие инструктаж по охране труда с соответствующей записью в протоколе проверки знаний по мерам безопасности.

2 В учебную лабораторию запрещено входить в верхней одежде.

3 Для работы приборов используется напряжение 220 В, представляющее опасность для жизни, что требует повышенного внимания и обязательного выполнения правил и норм охраны труда.

4 Перед началом проведения лабораторной работы студенту необходимо внимательно осмотреть приборы и оборудование на рабочем столе: нет ли механических повреждений, оголенных или оборванных проводов; проверить наличие заземления на приборах. О неисправностях сообщить преподавателю или лаборанту.

5 При проведении работы следует надёжно закреплять грузы на лабораторной установке, находиться вне зоны действия движущихся предметов.

6 При работе с электроплитками и колбами нужно остерегаться ожогов.

7 Приступить к выполнению лабораторной работы с разрешения преподавателя.

8 При проведении работы следует быть внимательным, не отходить от рабочего места, при нарушении хода работы остановить выполнение и сообщить о неполадках преподавателю или лаборанту.

9 В случае возгорания электрических проводов или приборов необходимо их немедленно обесточить и сообщить преподавателю или лаборанту.

10 В случае поражения работающего электрическим током нужно:

- немедленно отключить оборудование;
- освободить пострадавшего от токоведущих частей;
- уложить пострадавшего;
- проверить у пострадавшего наличие дыхания;
- убедиться в наличии пульса;
- при необходимости приступить к искусственному дыханию, вызвать врача скорой помощи по тел. 103.

11 По окончании лабораторной работы необходимо отключить электрические приборы, навести порядок на своем рабочем месте.

1 Лабораторная работа № 3. Изучение вращения плоскости поляризации

Цель работы: изучение устройства поляриметра; определение концентрации сахара в растворах.

Общие сведения

Свет представляет собой электромагнитные волны. Химическое и биологическое действие связано с электрической составляющей поля электромагнитной волны. Поэтому вектор напряжённости электрического поля называют световым.

Естественный свет представляет собой совокупность волн, излучаемых множеством атомов и молекул источника света. Колебания световых векторов происходят во всевозможных направлениях, и поэтому плоскость их колебаний постоянно изменяет своё положение в пространстве.

Если же направления колебаний светового вектора упорядочены каким-либо образом, то свет называется поляризованным. При некоторых условиях можно получить свет, в котором плоскость колебаний вектора напряжённости электрического поля \vec{E} занимает постоянное положение в пространстве. Такой свет называется плоско поляризованным. Плоскость, в которой происходит колебание вектора напряжённости электрического поля \vec{E} , называется плоскостью поляризации.

Получить поляризованный свет можно различными способами: при отражении от поверхности диэлектрика; при преломлении, рассеянии света; при прохождении через анизотропные кристаллы.

При прохождении поляризованного света через некоторые вещества наблюдается явление вращения плоскости поляризации. Такие вещества называются оптически активными. Они подразделяются на два типа. Вещества первого типа оптически активны в любом агрегатном состоянии (сахар, камфора, винная кислота). Вещества второго типа оптически активны только в кристаллической фазе (кварц, киноварь). У вещества первого типа оптическая активность обусловлена ассиметричным строением их молекул, второго типа – ассиметричным расположением частиц кристалла (отсутствует центр симметрии в кристалле). В зависимости от направления вращения плоскости поляризации кристаллы оптически активных веществ обоих типов всегда существуют в двух формах – правой и левой; при этом решетка правого кристалла зеркально симметрична решетке левого. Молекулы правовращающих и левовращающих оптически активных веществ первого типа (а не образованные из них кристаллы) всегда зеркально симметричны, а молекулы оптически активных веществ второго типа неразличимы.

Если характеризовать оптическую активность вещества углом поворота плоскости поляризации α , то оптическая активность правой и левой форм веществ второго типа имеет разные знаки (правовращающая считается

положительной $\alpha > 0$, левовращающая – отрицательной $\alpha < 0$). Для веществ первого типа термины «правое» и «левое» вращения условны, что не соответствует непосредственно направлению вращения плоскости поляризации в них. Физиологическое и биологическое действие правой и левой форм веществ первого типа совершенно различно. Например, левый никотин в несколько раз ядовитее правого никотина; бактерии подвергают брожению лишь один из типов активных веществ, не затрагивая другой; белки, синтезированные из правых аминокислот, не усваиваются организмом.

В растворах угол α поворота плоскости поляризации пропорционален пути l луча в растворе и концентрации C раствора:

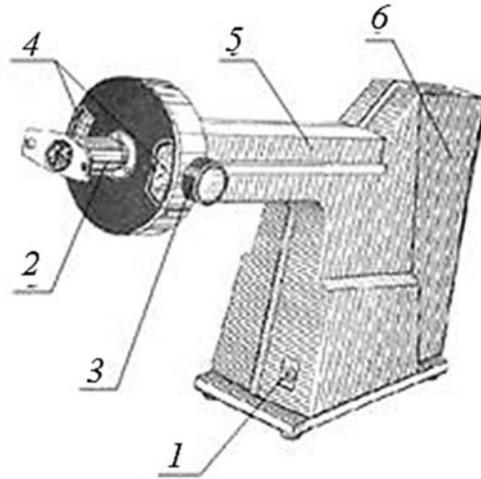
$$\alpha = \alpha_0 Cl, \quad (1.1)$$

где α_0 – удельная постоянная вращения, обратно пропорциональная квадрату длины волны света в вакууме, зависящая от природы вещества и его температуры.

При пропускании поляризованного света через раствор оптически активного вещества плоскости поляризации для различных длин волн будут поворачиваться на разные углы. Это явление называется вращательной дисперсией. Оно позволяет изучать строение вещества, поскольку α_0 чрезвычайно чувствительна к любым изменениям строения вещества и к межмолекулярному взаимодействию. Приборы, предназначенные для измерения угла вращения плоскости поляризации монохроматического света в оптически активных веществах, называются поляриметрами. Поляриметры, применяемые для определения концентрации растворов оптически активных веществ (главным образом сахара), основаны на зависимости угла поворота плоскости поляризации от концентрации раствора и называются сахариметрами.

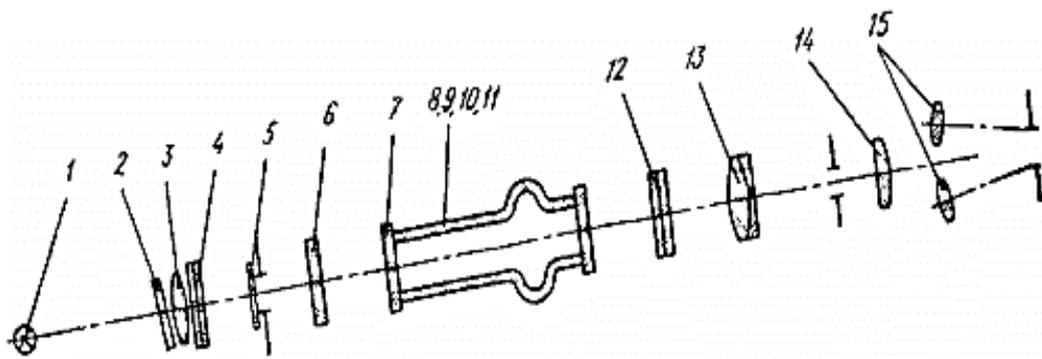
Описание лабораторной установки

В работе используется круговой поляриметр марки СМ-2 (см. рисунок 1.1), оптическая схема которого приведена на рисунке 1.2. Источником света является лампа накаливания 1 (см. рисунок 1.2). Белый свет от лампы падает на светофильтр 2, конденсор 3 и поляризатор 4. Полученный монохроматический свет одной частью проходит через хроматическую фазовую пластинку 5, защитное стекло 6, кювету с раствором и анализатор 8, а другой частью пучка только через защитное стекло, кювету и анализатор. Если между анализатором и поляризатором ввести кювету с оптически активным раствором, равенство яркостей полей сравнения нарушается. Оно может быть восстановлено поворотом анализатора 12 на угол, равный углу поворота плоскости поляризации раствором. Следовательно, разностью двух отсчетов, соответствующих равенству яркости полей сравнения с оптически активным раствором и без него, определяется угол вращения плоскости поляризации данным раствором.



1 – тумблер «Сеть»; 2 – окуляр с втулкой; 3 – регулировочный винт анализатора; 4 – шкала отчетного устройства; 5 – кюветное отделение; 6 – лампа поляриметра в кожухе

Рисунок 1.1 – Внешний вид установки



1 – лампа; 2 – светофильтр; 3 – конденсор; 4 – поляризатор; 5 – хроматическая фазовая пластинка; 6 – защитное стекло; 7 – покровные стекла; 8, 9, 10, 11 – трубка; 12 – анализатор; 13 – объектив; 14 – окуляр; 15 – линзы

Рисунок 1.2 – Оптическая схема поляриметра

Одним из основных предназначений полуволновой фазовой пластинки является поворот плоскости поляризации линейно поляризованного света на заданный угол, который в данном случае равен $\pi / 2$. Поэтому естественный свет после прохождения через поляризатор и одной частью через фазовую пластинку разделяется на две составляющие, полностью поляризованные во взаимно перпендикулярных плоскостях.

Плоскость пропускания поляризатора сориентирована так, что плоскость поляризации обеих составляющих образует равные углы с плоскостью поляризации анализатора. Поэтому анализатор пропускает два равных по силе света пучка, которые проходят через объектив 13 и окуляр 14 и образуют две равноосвещенные половины поля, разделенные тонкой линией. При помещении

между анализатором и поляризатором оптически активного вещества происходит поворот плоскости поляризации на угол α . Равенство углов между плоскостью анализатора и плоскостями поляризации обеих составляющих пучка нарушается. Для восстановления равновесия необходимо повернуть анализатор на угол, равный повороту плоскости поляризации данным раствором. Вместе с анализатором перемещается шкала лимба 4 (см. рисунок 1.1), по которой снимаются показания в градусах.

Программа работы

Изучение зависимости угла поворота плоскости поляризации от концентрации раствора.

1 Включить прибор в сеть и тумблером 1 включить освещение.

2 Вращением втулки 2 установить окуляр так, чтобы видеть резкое изображение линии раздела полей сравнения.

3 Для установки прибора на нуль вращением ручки 3 повернуть анализатор и добиться равенства яркостей полей сравнения в чувствительном положении.

4 В кюветное отделение 5 поляриметра вложить кювету с испытуемым раствором. Затем на глаз установить втулкой 2 в окуляре наблюдательной трубки резкое изображение линии раздела полей сравнения. При этом изменяется однородность поля зрения.

5 Плавным и медленным поворотом анализатора (рукоятка 3) установить равенство яркостей полей сравнения. Уравнять освещенность поля зрения и снять отсчет по шкале 4 с точностью до $0,1^\circ$.

6 Вращением рукоятки 3 нарушить равенство освещенности и, выставив его, снова снять отсчет по шкале лимба. Измерения повторить 3 раза и вычислить среднее значение.

7 Указанные измерения провести для растворов различной концентрации и полученные данные занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты измерений

Концентрация раствора, %	Угол поворота			
	Первое измерение	Второе измерение	Третье измерение	Среднее значение

8 По данным таблицы 1.1 построить график зависимости $\alpha = f(C)$.

9 По графику $\alpha = f(C)$ определить концентрацию сахара в неизвестном растворе.

Изучение зависимости вращения плоскости поляризации от толщины активного вещества.

1 Отобрать из набора кюветы одинаковой концентрации (5 %), но различной длины и, помещая их поочередно в камеру поляриметра, снять по шкале значения угла поворота плоскости поляризации не менее трех раз. Для этого надо повторить пп. 6 и 7. Полученные данные занести в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты измерений

Длина кюветы, м	Угол поворота			
	Первое измерение	Второе измерение	Третье измерение	Среднее значение

2 По данным таблицы 1.2 построить график $\alpha = f(l)$.

3 По формуле (1.1) рассчитать среднее значение постоянной вращения α_0 .

Контрольные вопросы

- 1 Чем отличается естественный свет от поляризованного света?
- 2 Укажите способы получения поляризованного света.
- 3 В чем заключается явление двойного лучепреломления?
- 4 Какие вещества называются оптически активными?
- 5 Объясните назначение основных элементов оптической схемы поляриметра и принцип его действия.
- 6 От чего зависит угол поворота плоскости поляризации?

2 Лабораторная работа № 4. Определение радиуса кривизны линзы с помощью колец Ньютона

Цель работы: изучение явления интерференции; определение радиуса кривизны линзы с помощью колец Ньютона.

Общие сведения

В волновых процессах большое значение имеет такое свойство волн, как *когерентность*, т. е. их *согласованность в пространстве и времени*. *Когерентными* называются источники, излучающие волны с постоянной во времени разностью фаз и совпадающими плоскостями поляризации. Монохроматические волны с одинаковыми частотами и поляризациями являются когерентными. При наложении когерентных волн наблюдается явление интерференции. *Интерференцией* называется явление

перераспределения энергии когерентных волн в пространстве при их наложении друг на друга. Интерференция проявляется в том, что в одних местах волны взаимно усиливаются (возникают максимумы интенсивности), а в других – ослабляются (возникают минимумы интенсивности). Результат интерференции в некоторой точке зависит от разности путей $\Delta x = x_2 - x_1$, проходимых волнами до этой точки. Величина Δx называется геометрической разностью хода. Волны взаимно усиливаются при условии, если

$$\Delta x_{\max} = \pm 2k \frac{\lambda}{2}, \quad (2.1)$$

и ослабляются, если

$$\Delta x_{\min} = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (2.2)$$

где k – номер максимума или минимума, $k = 0, 1, 2, \dots$;

λ – длина волны.

Рассмотрим когерентность световых волн. По современным представлениям свет возникает при переходе возбужденного атома в состояние с меньшей энергией. Излучение происходит в течение времени $\tau = 10^{-9} \dots 10^{-8}$ с. За это время излучается отрезок волны, называемый *волновым цугом*, или *просто цугом* (рисунок 2.1). Если к атому непрерывно подводить энергию, то он попеременно будет возбуждаться, излучать цуг и возвращаться в невозбужденное состояние. При этом цуги, излучаемые различными атомами вещества, отличаются начальными фазами, амплитудами, частотами и поляризацией.

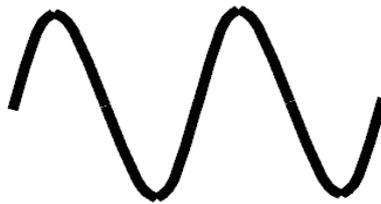


Рисунок 2.1 – Цуг световой волны

Таким образом, излучение нагретого тела (естественный свет) состоит из множества быстро сменяющих друг друга цугов волн с хаотически изменяющимися фазами, амплитудами, частотами и плоскостями поляризации. Поэтому волны естественного света в общем случае не являются ни монохроматическими, ни когерентными. В то же время в пределах каждого цуга характеристики волны сохраняются. В этом случае вводятся такие понятия, как

длина когерентности $l_{\text{ког}}$ и время когерентности $\tau_{\text{ког}}$. Под длиной когерентности понимают протяженность цуга $l_{\text{цуг}}$. Под временем когерентности понимают длительность цуга $\tau_{\text{ког}}$. Например, для видимого солнечного света $\tau_{\text{ког}} \sim 10^{-14}$ с, а $l_{\text{ког}} \sim 10^{-6}$ м. В то же время для лазеров непрерывного действия $\tau_{\text{ког}} \sim 10^{-5}$ с, а $l_{\text{ког}} \sim 10^3$ м. Для наблюдения интерференции естественного света применяют метод расщепления волны на две или более волн, которые затем налагают друг на друга. Если разность хода волн Δx не превышает длины цуга $l_{\text{цуг}}$, то будут налагаться «половинки» каждого расщепленного цуга и возникнет интерференционная картина. Интерференционную картину в естественном свете можно получить разными способами: с помощью линзы, прижатой к пластине (лабораторная работа № 4), бипризмы Френеля (лабораторная работа № 5) и интерферометра (лабораторная работа № 9). Ньютон наблюдал интерференционную картину в виде концентрических колец в точке контакта стеклянной пластинки и линзы, прижатой к пластинке выпуклой стороной (рисунок 2.2, а). Картина получила название колец Ньютона.

В рассматриваемом случае интерферируют лучи 1 и 2, отраженные от нижней поверхности линзы и верхней поверхности пластины под углами, близкими к нормали. Это означает, что результат их наложения определяется толщиной d воздушной прослойки. Так как точки, соответствующие одинаковой толщине этой прослойки, располагаются по окружностям, то интерференционная картина состоит из колец. Радиусы темных колец, возникающих в лучах, падающих и отраженных под углами, близкими к нормали, вычисляются формулой

$$r_m = \sqrt{R\lambda m}, \quad (2.3)$$

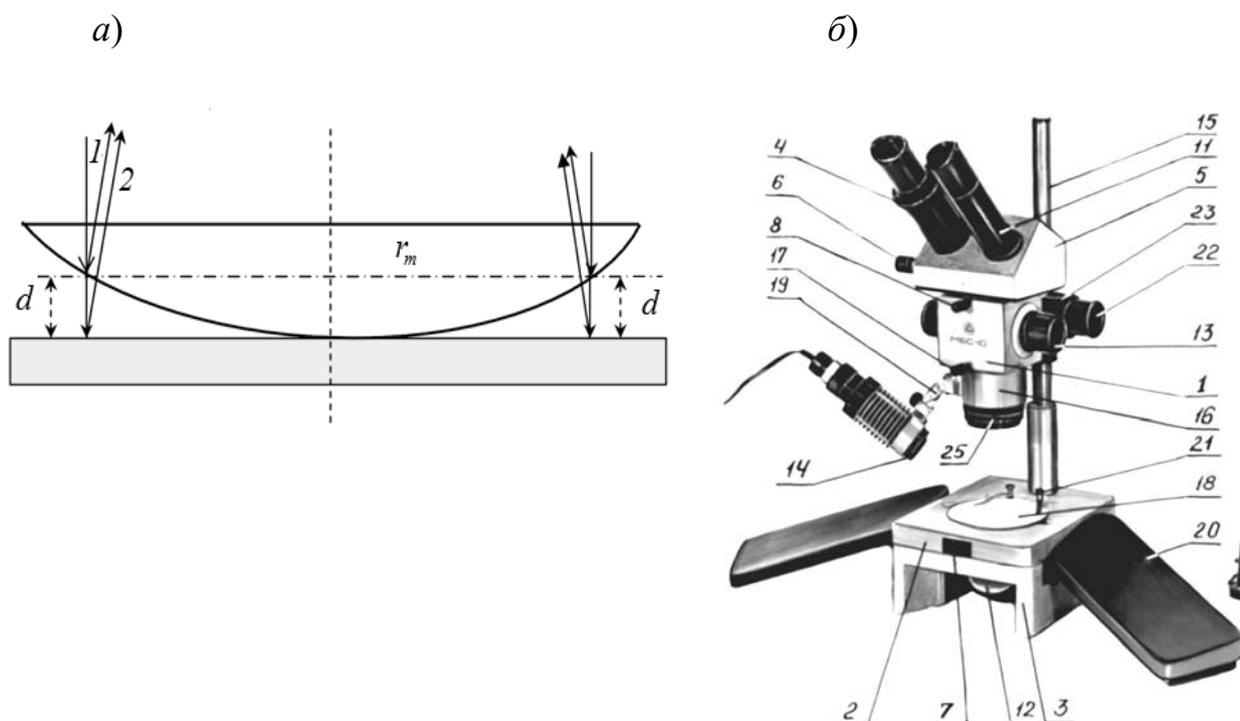
где r_m – радиус m -го кольца;

R – радиус кривизны линзы;

λ – длина волны.

При наблюдении интерференционной картины в отраженном свете в центре наблюдается минимум интенсивности, обусловленный изменением фазы на π при отражении световой волны от оптически более плотной среды. Если же линза неплотно прилегает к пластине, то центральное пятно оказывается светлым. Записав выражение для радиусов двух любых темных m -го и k -го колец и взяв их разность, получим расчетную формулу для радиуса кривизны линзы

$$R = \frac{(r_m - r_k)(r_m + r_k)}{(m - k)\lambda}. \quad (2.4)$$



1 – корпус с барабаном; 2 – столик для работы в отраженном свете; 3 – столик для работы в проходящем свете; 4 – кольцо диоптрийной наводки; 5 – бинокулярная насадка; 6 – рукоятка механизма изменения межзрачкового расстояния; 7 – фиксатор столика; 8, 17 – винты, фиксирующие бинокулярную насадку и объектив $f' = 90$ мм; 11 – окулярная трубка; 12 – зеркало и матовая пластина в оправе; 13 – рукоятка переключения увеличений; 14 – светофильтр; 15 – стойка; 16 – объектив $f' = 90$ мм; 18 – предметное стекло; 19 – кронштейн; 20 – подлокотники; 21 – прижим; 22 – рукоятка фокусировки; 23 – рукоятка регулировки хода; 24 – блок питания; 25 – кольцо

Рисунок 2.2 – Ход лучей в линзе, расположенной на предметном столике микроскопа

Программа работы

1 Поместить блок с линзой и пластиной на предметный столик 1 (рисунок 2.2, б) микроскопа так, чтобы точка касания нижней поверхности линзы с поверхностью пластины оказалась против объектива 2. Осветить установку с помощью настольной лампы и получить интерференционную картину (кольца Ньютона) в окуляре 3. При необходимости вращением рукоятки 4 подрегулировать четкость картины.

2 Измерить диаметры 1, 3 и 5-го темных колец. Показания, снятые в делениях шкалы микроскопа, умножить на цену деления, равную 0,018 мм. По формуле (2.4) для каждой пары колец вычислить радиус кривизны линзы. Длину волны принять $\lambda = 7 \cdot 10^{-4}$ мм.

Контрольные вопросы

- 1 В чем заключается явление интерференции?
- 2 Какие источники являются когерентными?
- 3 Как записываются условия минимумов и максимумов света при интерференции?
- 4 Почему наблюдаемая картина состоит из ряда темных и светлых колец?
- 5 При наблюдении в отраженном свете центральный круг оказывается светлым. Почему?
- 6 Где плотнее расположены интерференционные кольца – в центре или на периферии? Почему?

3 Лабораторная работа № 5. Определение длины волны монохроматического света с помощью бипризмы Френеля

Цель работы: определение экспериментальным путем длины волны монохроматического света с помощью бипризмы Френеля.

Общие сведения

Основные понятия и формулы, относящиеся к интерференции, приведены в первой части лабораторной работы № 4. Здесь интерференция в естественном свете наблюдается с помощью бипризмы Френеля, состоящей из двух призм с очень малыми преломляющими углами α , сложенных основаниями (рисунок 3.1).

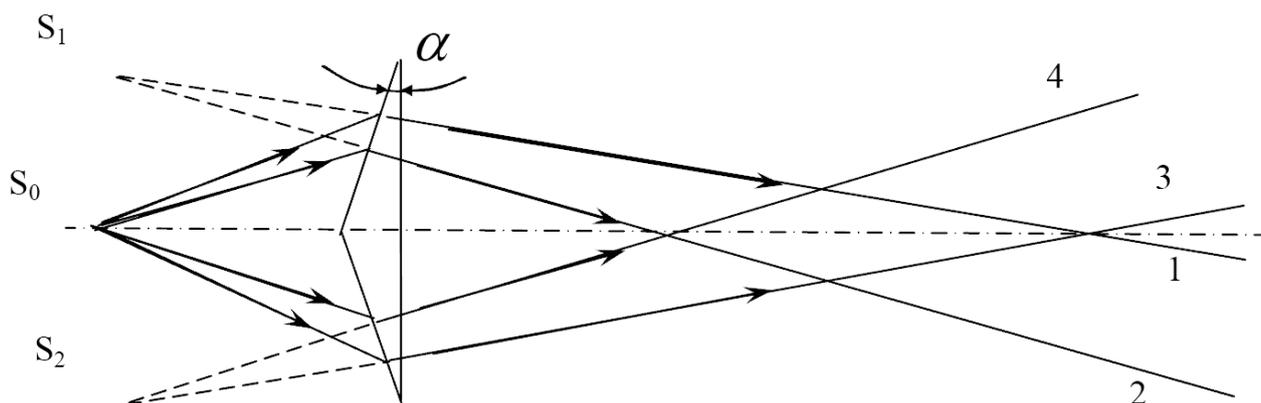


Рисунок 3.1 – Ход лучей в бипризме

Угол α выбирается малым для того, чтобы разность хода налагающихся лучей была соизмерима с длиной когерентности. Лучи от источника S_0 в виде тонкой освещенной щели, расположенной параллельно ребру призмы, падают на бипризму. Вследствие преломления в бипризме формируются два

перекрещивающихся пучка лучей, исходящих из двух мнимых изображений S_1 и S_2 источника S_0 . Так как источники S_1 и S_2 происходят от одного источника S_0 , то они являются когерентными и в области пересечения лучей 1–4 возникнет интерференционная картина в виде чередующихся светлых и темных полос.

Получим формулу для расчета интерференционной картины. Для этого параллельно плоскости, в которой лежат источники S_1 и S_2 , на расстоянии L от нее поставим экран (рисунок 3.2). Так как разность хода волн, приходящих от источников в точку O , равна нулю, то в этой точке будет находиться центральная светлая полоса.

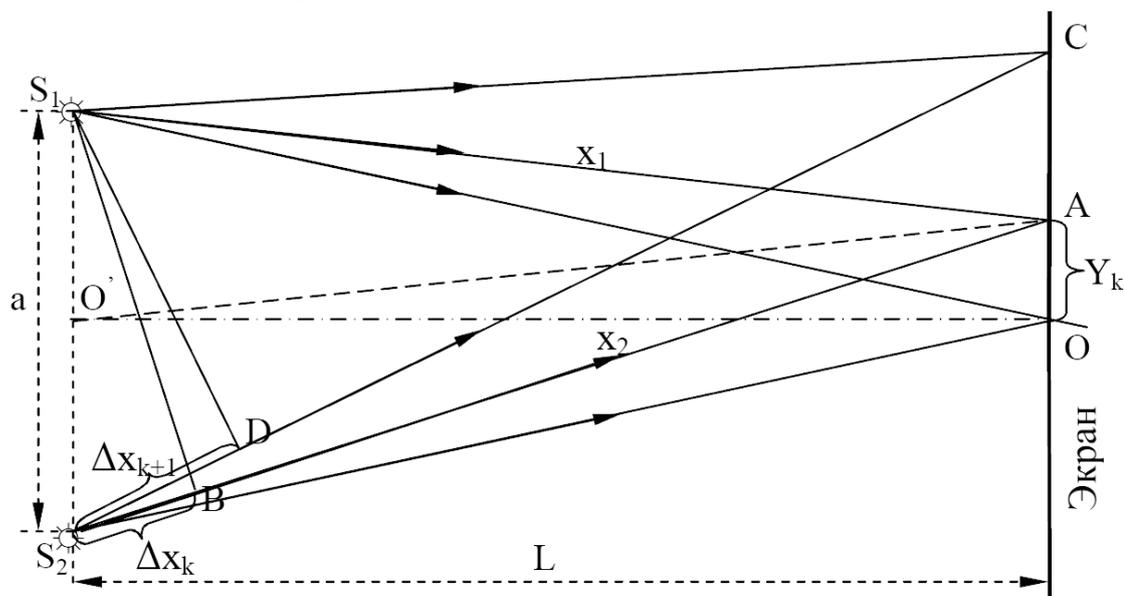


Рисунок 3.2 – Оптическая схема наблюдения интерференции

Пусть k -я светлая полоса расположена на расстоянии Y_k от центральной полосы. Чтобы получить разность хода Δx_k лучей S_1A и S_2A , рассмотрим два треугольника (ΔS_1S_2B и $\Delta O'A O$). Разность хода налагающихся лучей будет соизмерима с длиной когерентности в случае, когда $L \gg a$. Из этого следует, что рассматриваемые треугольники можно считать подобными и можно записать соотношение

$$\frac{\Delta x_k}{a} = \frac{Y_k}{L}.$$

Тогда для разности хода в точке A получим

$$\Delta x_k = \frac{aY_k}{L}. \quad (3.1)$$

Если в точке A наблюдается светлая полоса, то

$$\Delta x_{\max} = \pm k\lambda. \quad (3.2)$$

Подставив (3.2) в (3.1), получим формулу для координат светлых полос

$$Y_k = \pm k \frac{L\lambda}{a}. \quad (3.3)$$

Очевидно, что полосы будут располагаться сверху и снизу симметрично относительно точки О. Взяв разность координат двух соседних светлых полос k и $k + 1$, найдем ширину интерференционной полосы:

$$\Delta Y = Y_{k+1} - Y_k = \frac{L\lambda}{a}. \quad (3.4)$$

Из последней формулы можно найти длину волны:

$$\lambda = \frac{a\Delta Y}{L}. \quad (3.5)$$

Для определения величины a пользуются линзой с известным фокусным расстоянием F , которая устанавливается между бипризмой и окулярным микрометром, как показано на рисунке 3.3.

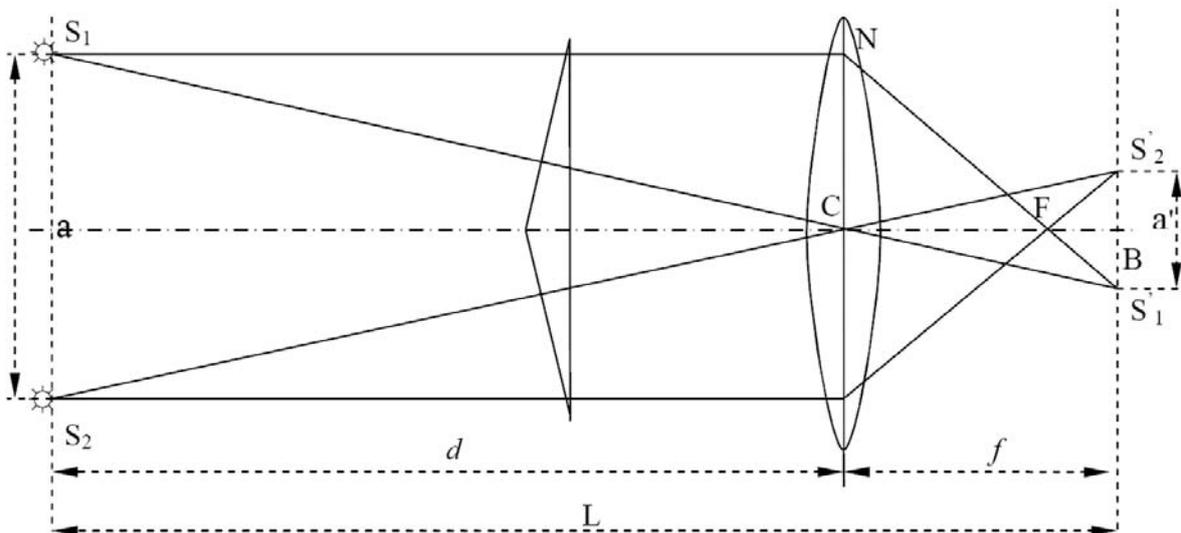


Рисунок 3.3 – Ход лучей в лабораторной установке

С помощью этой линзы проектируют мнимые источники S_1 и S_2 на плоскость окулярного микрометра и по его шкале определяют расстояние a' между изображениями S_1 и S_2 . Тогда истинное расстояние a между S_1 и S_2 можно найти из подобия треугольников ΔNCF и ΔFBS_1 :

$$a = a' \frac{F}{f - F}, \quad (3.6)$$

где a – истинное расстояние между источниками S_1 и S_2 ;
 f – расстояние между линзой и плоскостью изображения источников;
 F – главное фокусное расстояние линзы.
 В то же время на рисунке 3.3 видно, что

$$\frac{a}{a'} = \frac{d}{f}. \quad (3.7)$$

Из выражений (3.6) и (3.7) и формулы тонкой линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

после преобразования получим

$$\frac{d + f}{f} = \frac{f}{f - F}. \quad (3.8)$$

Из рисунка 3.3 видно, что

$$d + f = L.$$

Тогда с учетом (3.8) получим

$$L = \frac{f^2}{f - F}. \quad (3.9)$$

Подставив значения (3.9) и (3.6) в формулу (3.5), получим окончательную формулу для длины волны

$$\lambda = \Delta y \frac{a' F}{f^2}. \quad (3.10)$$

Описание лабораторной установки

Внешний вид установки показан на рисунке 3.4.

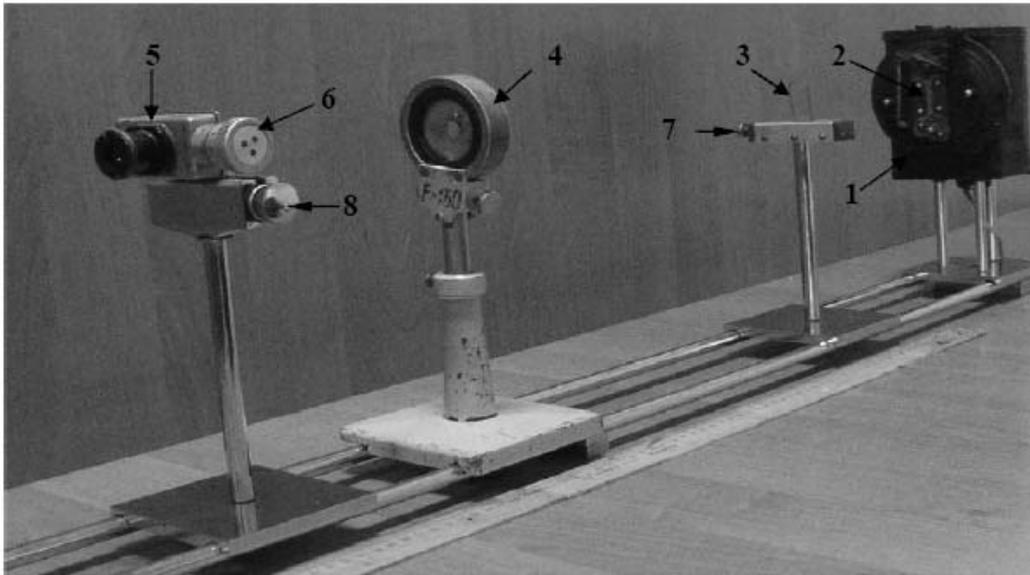


Рисунок 3.4 – Внешний вид установки

Установка состоит из источника света *1* со щелью *2*, бипризмы *3*, линзы *4* и окулярного микрометра *5* с микрометрическим винтом *6*.

Программа работы

1 Включить осветитель *1* (см. рисунок 3.4) в сеть и перед щелью *2* на расстоянии 25...30 см поставить бипризму *3*. Ребро её должно быть расположено параллельно щели. На расстоянии 100...110 см от бипризмы поместить окулярный микрометр *5*. Снять линзу с оптической скамьи.

Изменяя ширину щели, расположение бипризмы Френеля (вращением винта *7*) и окулярного микрометра (вращением винта *8*), получить четкое изображение интерференционных полос в окулярном микрометре.

С помощью окулярного микрометра измерить расстояние между четко видимыми крайними темными полосами. Для этого, вращая микрометрический винт *6* (см. рисунок 3.4), центр перекрестия, видимого в окулярный микрометр, установить на левую крайнюю видимую полосу и записать её координату *N*. По шкале в поле зрения микрометра измеряются целые, а по барабану – сотые доли миллиметра. Затем перевести центр перекрестия на правую крайнюю видимую полосу и записать её координату *K*. Посчитать число *n* полос, укладывающихся на отрезке *K–N*.

2 Определить расстояние Δy между двумя соседними темными полосами по формуле

$$\Delta y = \frac{K - N}{n},$$

где *n* – число полос, укладывающихся на отрезке *K–N*.

Значение Δu определить не менее трёх раз для разного числа n полос.

3 Линзу 4 (см. рисунок 4) с фокусным расстоянием F поставить на оптическую скамью между бипризмой и окулярным микрометром и, перемещая ее по скамье, получить в окуляре четкие изображения S_1' и S_2' . С помощью окулярного микрометра измерить их координаты и расстояние a' между ними.

4 Измерить линейкой расстояние f между линзой и окуляром.

5 По формуле (3.10) подсчитать λ . Измерения произвести не менее трёх раз. Определить среднее значение $\langle \lambda \rangle$ и сравнить его с табличным значением.

Контрольные вопросы

1 В чем заключается явление интерференции?

2 Какие источники называются когерентными?

3 Запишите условия максимумов и минимумов при интерференции.

4 Почему тупой угол бипризмы должен быть близким к 180° ?

5 Какой вид будет иметь интерференционная картина, если убрать светофильтр?

4 Лабораторная работа № 6. Определение показателей преломления твердых тел и жидкостей

Цель работы: изучение законов геометрической оптики; определение экспериментальным путем показателей преломления твердых тел при помощи микроскопа и жидкостей с помощью рефрактометра.

Общие сведения

Геометрическая оптика изучает явления (отражение и преломление), связанные с прямолинейным распространением света. Световым лучом называется линия, касательная к которой в каждой её точке совпадает с направлением распространения волны света. Эта линия совпадает с направлением переноса энергии волной. В однородной среде световые лучи имеют вид прямых линий. При падении на плоскую границу раздела двух сред с разными оптическими свойствами световой луч частично отражается и частично преломляется (рисунок 4.1).

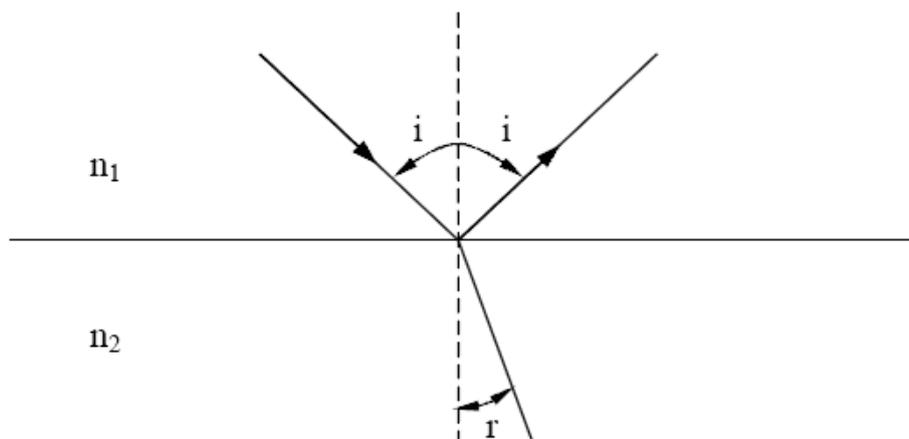


Рисунок 4.1 – Отражение и преломление луча света

Преломление или рефракция света – это явление изменения направления распространения луча на границе раздела сред.

Абсолютным показателем преломления среды называется величина n , равная отношению скорости c света в вакууме и его фазовой скорости v в данной среде:

$$n = \frac{c}{v}.$$

Относительным показателем преломления двух сред называется величина n_{21} , равная отношению абсолютных показателей преломления этих сред:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Угол между преломлённым лучом и нормалью к границе раздела (угол преломления r) связан с углом падения i законом преломления (законом Снеллиуса):

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}. \quad (4.1)$$

Вследствие преломления луча света предмет, рассматриваемый через слой прозрачного вещества, имеющего большую оптическую плотность по сравнению с воздухом, кажется нам расположенным ближе.

Поясним это на таком примере. Пусть через стеклянную пластинку с толщиной H и показателем преломления n мы рассматриваем точку O на её нижней поверхности. Построим ход лучей, вышедших из точки O и попавших в глаз наблюдателя (рисунок 4.2).

Так как наблюдение ведется по вертикали, то один из лучей OA направлен перпендикулярно поверхности пластинки, а другой OB – под малым углом α к перпендикуляру (при больших α лучи не попадут в глаз). После преломления на верхней поверхности стеклянной пластинки лучи идут расходящимся пучком, вершина которого представляет собой мнимое изображение O' точки O .

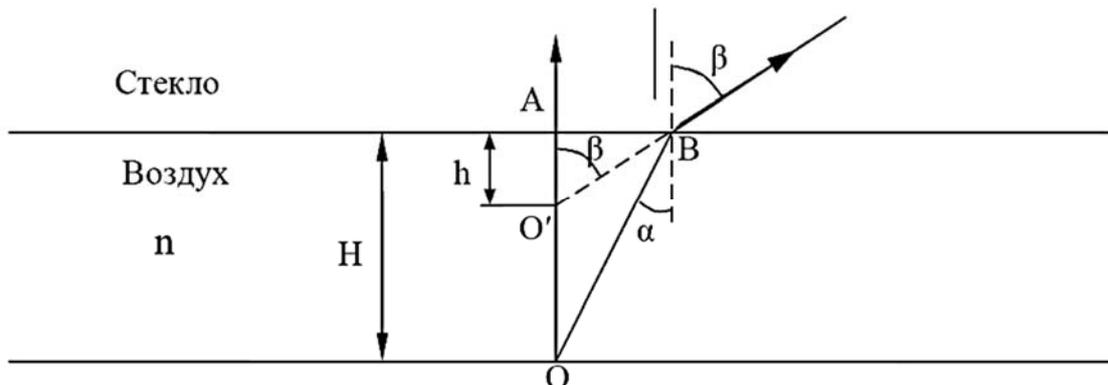


Рисунок 4.2 – Расчетная оптическая схема

Из рисунка 4.2 следует, что

$$AB = H \tan \alpha = h \tan \beta, \quad (4.2)$$

откуда получим

$$\frac{H}{h} = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha}. \quad (4.3)$$

Так как углы α и β малы, то

$$\frac{\tan \beta}{\tan \alpha} \approx \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = n. \quad (4.4)$$

Совместно решая (4.3) и (4.4), получим формулу для показателя преломления

$$n = \frac{H}{h}. \quad (4.5)$$

Таким образом, показатель преломления можно найти из отношения истинной толщины H стеклянной пластинки и кажущейся её толщины h .

Если луч света переходит из оптически более плотной среды в оптически менее плотную среду ($n_1 > n_2$), то, как следует из (4.1), угол преломления больше угла падения, как это видно для луча I на рисунке 4.3 ($r_1 > i_1$).

По мере увеличения угла падения угол преломления будет расти, и при некотором значении угла падения $i_{кр}$ (см. рисунок 4.3, луч 2) преломлённый луч будет скользить вдоль границы раздела сред. При этом угол преломления будет равен $\pi/2$. При дальнейшем увеличении угла падения (см. рисунок 4.3, луч 3) преломление не будет происходить, и весь падающий свет отразится от границы раздела сред. Это явление называется полным внутренним отражением света, а угол падения $i_{кр}$, при котором $r_{кр} = \pi/2$ и преломленный луч отсутствует, называется критическим (или предельным) углом падения света.

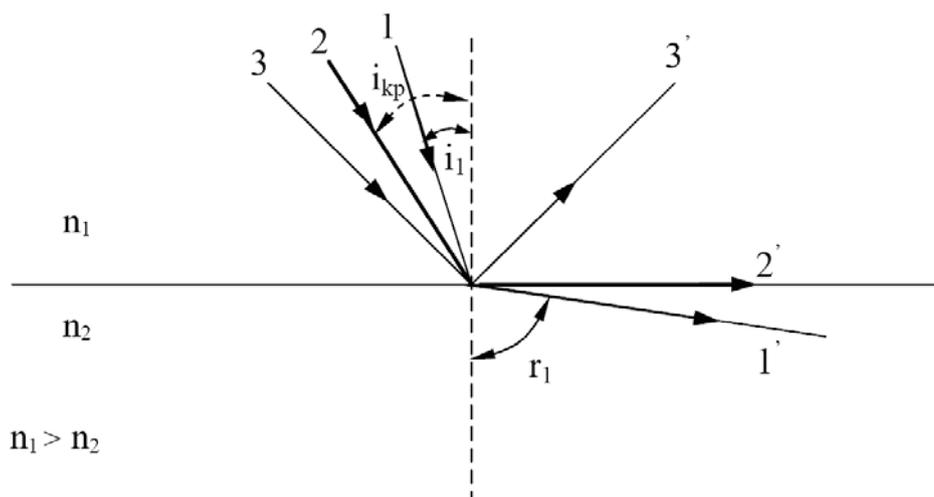


Рисунок 4.3 – Ход преломленных и отраженных лучей

При $r = r_{кр}$ закон преломления запишется в виде

$$n_{21} = \frac{\sin i_{кр}}{\sin \frac{\pi}{2}} = \frac{n_2}{n_1}$$

или

$$\sin i_{кр} = \frac{n_2}{n_1} \quad (4.6)$$

Рефрактометрами называются приборы, служащие для определения показателей преломления жидкостей. Работа рефрактометра основана на явлении, обратном полному внутреннему отражению. Основной частью рефрактометра являются две прямоугольные призмы P_1 и P_2 (рисунок 4.4), выполненные из стекла с большим показателем преломления.

В разрезе призмы имеют вид прямоугольных треугольников, обращённых друг к другу гипотенузами. Зазор между призмами имеет ширину порядка 0,1 мм и заполняется исследуемой жидкостью.

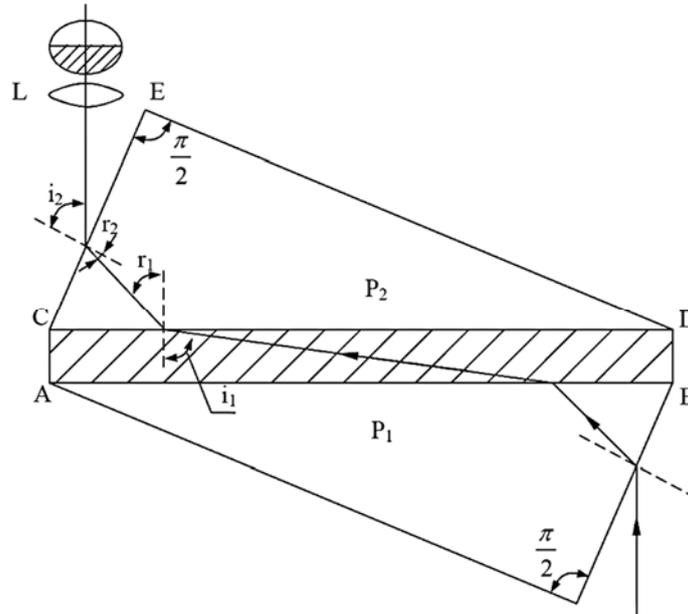


Рисунок 4.4 – Ход лучей в головке рефрактометра

В рефрактометре используется метод скользящего луча, показанного на рисунке 4.4. Пучок света от источника направляется на боковую грань призмы P_1 и, преломившись на ней, попадает в исследуемую жидкость через матовую грань АВ. Свет, рассеянный матовой поверхностью, проходит слой жидкости и под всевозможными углами ($0 \leq i_1 \leq \frac{\pi}{2}$) падает на грань CD призмы P_2 . Если показатель преломления жидкости меньше показателя преломления стекла, то скользящему лучу в жидкости ($i_1 = \frac{\pi}{2}$) соответствует предельный угол преломления $r_{1кр} < \frac{\pi}{2}$.

Лучи, преломлённые на углы, большие $r_{1кр}$, не наблюдаются. В связи с этим угол i_2 выхода лучей из грани СЕ может изменяться лишь в интервале от некоторого значения $i_{2кр}$ до 2π . Если свет, выходящий через грань СЕ призмы P_2 , пропустить через собирающую линзу L , то поле зрения в ее фокальной плоскости будет разделено на светлую и темную области.

Положение границы раздела света и тени определяется предельным углом преломления, зависящим от показателя преломления исследуемой жидкости.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из микроскопа (рисунок 4.5) и рефрактометра (рисунок 4.6). К микроскопу прилагаются штангенциркуль и стеклянная пластина с нанесенными на ее стороны перекрещивающимися

линиями. К рефрактометру прилагается набор кювет с растворами различных концентраций.

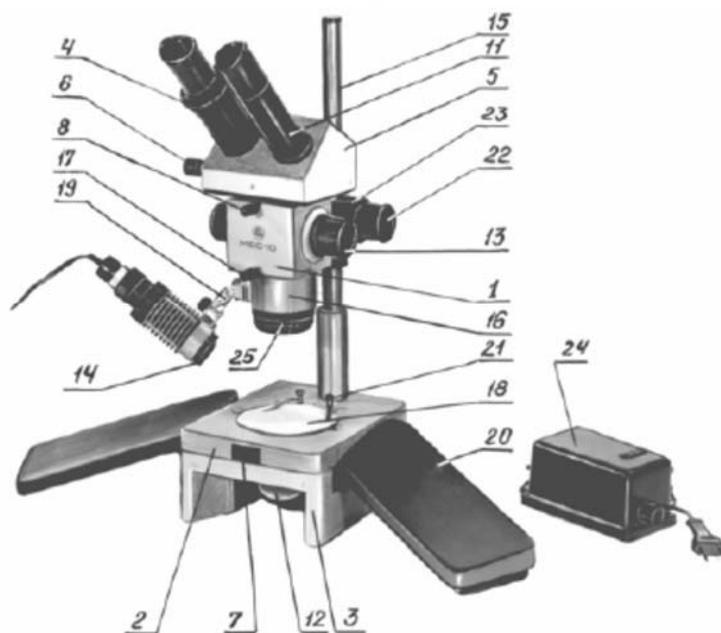
Программа работы

Определение показателя преломления стеклянной пластины с помощью микроскопа.

1 Измерить штангенциркулем не менее трех раз толщину H исследуемой стеклянной пластины.

2 Положить пластину с нанесенными по обе ее стороны линиями на предметный столик микроскопа так, чтобы перекрестие оказалось в поле зрения окуляра (см. рисунок 4.5). Вращением рукоятки 22 получить в окуляре резкое изображение верхней линии перекрестия. Штангенциркулем измерить высоту h_1 верхнего края тубуса микроскопа.

3 Не сдвигая пластины, сфокусировать микроскоп на ее нижнюю линию и измерить высоту h_2 верхнего края тубуса микроскопа.



1 – корпус с барабаном; 2 – столик для работы в отраженном свете; 3 – столик для работы в проходящем свете; 4 – кольцо диоптрийной наводки; 5 – бинокулярная насадка; 6 – рукоятка механизма изменения межзрачкового расстояния; 7 – фиксатор столика; 8, 17 – винты, фиксирующие бинокулярную насадку и объектив $f' = 90$ мм; 11 – окулярная трубка; 12 – зеркало и матовая пластина в оправе; 13 – рукоятка переключения увеличений; 14 – светофильтр; 15 – стойка; 16 – объектив $f' = 90$ мм; 18 – предметное стекло; 19 – кронштейн; 20 – подлокотники; 21 – прижим; 22 – рукоятка фокусировки; 23 – рукоятка регулировки хода; 24 – блок питания; 25 – кольцо

Рисунок 4.5 – Внешний вид микроскопа

4 Измерения значений H , h_1 и h_2 повторить три раза и полученные результаты занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты измерений толщины пластины

H , мм	$\langle H \rangle$, мм	h_1 , мм	h_2 , мм	$\langle h_1 \rangle$, мм	$\langle h_2 \rangle$, мм	$\langle h \rangle = \langle h_2 \rangle - \langle h_1 \rangle$	$\langle n \rangle$

5 По формуле (4.5) вычислить среднее значение показателя преломления стекла и сравнить его с табличным значением.

Определение показателя преломления жидкостей с помощью рефрактометра.

1 Установить источник света так, чтобы свет попадал на зеркало 1 (рисунок 4.6) рефрактометра и на осветительную призму его измерительной головки 2.

2 Откинуть верхнюю часть головки 2 рефрактометра и пипеткой осторожно, не касаясь призмы, нанести на нижнюю призму две-три капли дистиллированной воды. Опустить осветительную призму и прижать ее застёжкой.



Рисунок 4.6 – Внешний вид рефрактометра

3 Вращая окуляр 3, добиться отчетливой видимости перекрестия. Поворотом зеркала 1 установить наилучшую освещенность шкалы.

4 Поворотом маховика 4 границу светотени ввести в поле зрения окуляра. Затем с помощью маховика 5 устранить окраску граничной линии. Наблюдая

в окуляр, маховиком 4 навести границу светотени точно на перекрестие и по шкале показателей преломления снять отсчет.

Индексом для отсчета служит неподвижный вертикальный штрих в поле зрения окуляра. Цена деления шкалы равна $5 \cdot 10^{-4}$. Целые, десятки, сотые и тысячные доли отсчитывают по шкале.

При правильной настройке рефрактометра показание шкалы для дистиллированной воды должно быть $n = 1,333$ (при $20\text{ }^\circ\text{C}$).

5 Измерить аналогичным образом показатели преломления растворов поваренной соли известных концентраций и неизвестной концентрации. Причем перед нанесением раствора с другой концентрацией протереть поверхности призмы сухой салфеткой до полного удаления предыдущего раствора. Показатель преломления n каждого раствора измерить по три раза и для каждой концентрации найти среднее значение $\langle n \rangle$. Результаты измерений занести в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты измерений показателей преломления растворов

$C, \%$	n_1	n_2	n_3	Среднее значение $\langle n \rangle$

6 Построить график зависимости показателя преломления n от концентрации раствора C .

$$n = f(C).$$

7 С помощью построенного графика по измеренному значению показателя преломления неизвестного раствора найти его концентрацию.

Контрольные вопросы

1 Что называется абсолютным и относительным показателями преломления?

2 Почему предмет под водой кажется расположенным ближе?

3 По какой формуле определяется показатель преломления стекла в данной работе?

4 Поясните явление полного внутреннего отражения.

5 Поясните ход лучей в рефрактометре.

6 Как в работе определяется концентрация жидкости?

5 Лабораторная работа № 11. Определение длины световой волны и постоянной дифракционной решетки

Цель работы: изучение явления дифракции; измерение длины волны; определение периода дифракционной решетки.

Общие сведения

Дифракцией световых волн называется совокупность явлений, наблюдаемых при распространении света в среде с резко выраженными оптическими неоднородностями (вблизи границ непрозрачных тел, сквозь малые отверстия и т. д.). Дифракция света проявляется в появлении света в области геометрической тени (огибание волнами препятствий) и появлении максимумов и минимумов освещенности (дифракционная картина), когда длина волны одного порядка с размерами препятствий или источник света находится на большом расстоянии от места наблюдения дифракции и препятствия.

Захождение волн в область геометрической тени (огибание волнами препятствий) и возникновение дифракционной картины объясняются принципом Гюйгенса–Френеля. Согласно этому принципу каждая точка среды, до которой в данный момент времени дошел фронт волны, становится точечным источником вторичных когерентных волн.

Поверхность, огибающая эти волны, является новым положением волнового фронта. На рисунке 5.1 показано перемещение волнового фронта, а рисунок 5.1, б поясняет захождение волн в область геометрической тени.

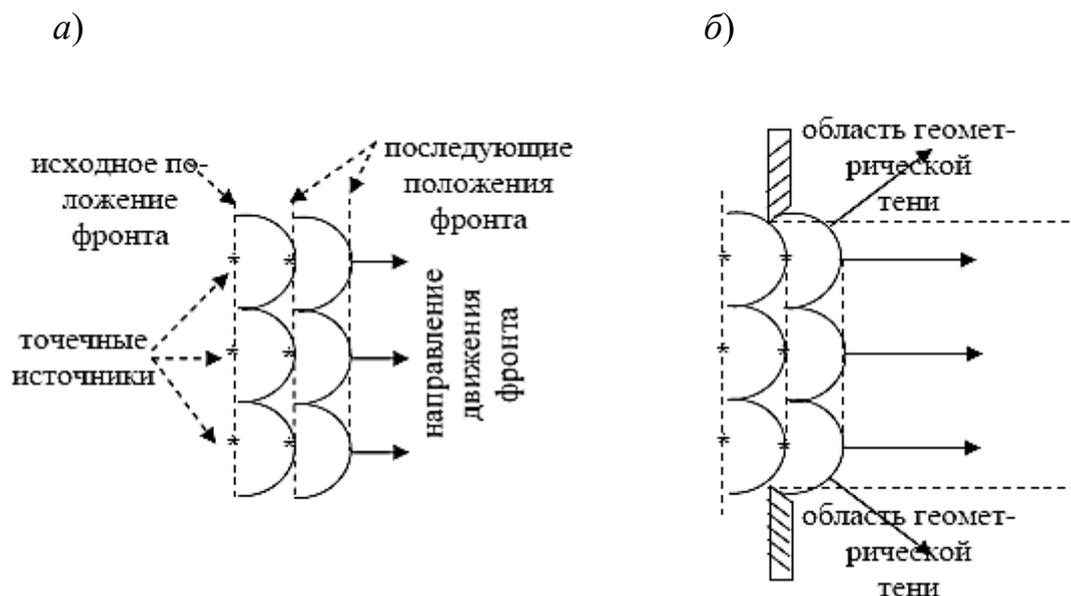


Рисунок 5.1 – Перемещение волнового фронта

Дифракционные картины от одной и многих щелей отличаются друг от друга. Дифракционная картина от одной щели представляет собой совокупность широких темных (минимумы) и светлых (максимумы) полос с быстро уменьшающейся интенсивностью. Положения минимумов определяются следующим выражением:

$$a \sin \varphi = \pm m \lambda, \quad m = \pm 1, \pm 2 \text{ и т. д.}, \quad (5.1)$$

а максимумов – по формуле

$$a \sin \varphi = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad m = \pm 1, \pm 2 \text{ и т. д.}, \quad (5.2)$$

где a – ширина щели;

φ – угол дифракции;

m – порядок (номер) минимума или максимума;

λ – длина волны.

В то же время при дифракции от многих щелей возникают главные и менее интенсивные дополнительные максимумы, отделенные минимумами. На рисунке 5.2 показаны для сравнения дифракционные картины от одной и двух щелей (когда расстояние между щелями равно их ширине).

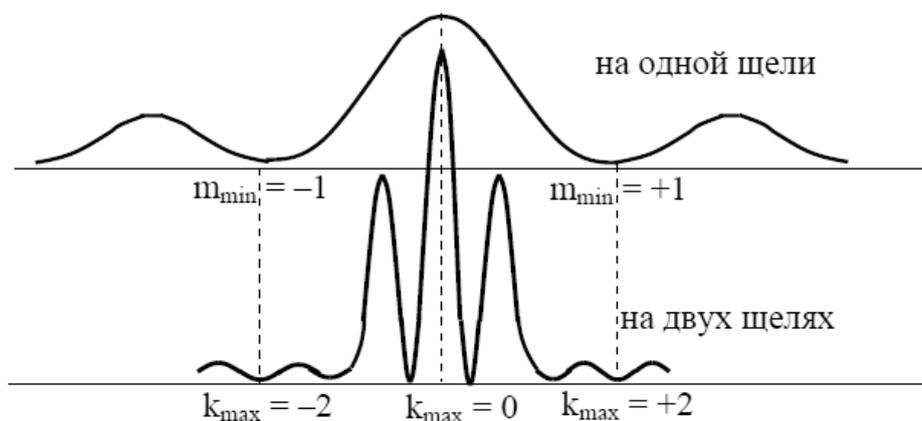


Рисунок 5.2 – Сравнение дифракционных картин на одной и двух щелях

Дифракционная решетка представляет собой пластину (пленку) с большим числом узких параллельных щелей. Если a – ширина щели и b – ширина непрозрачного участка, то $a + b = d$ называется периодом решетки.

Период решетки связан с числом штрихов n на единицу ее длины следующей формулой:

$$d = \frac{1}{n}. \quad (5.3)$$

Положения главных дифракционных максимумов, в случае многих щелей, не зависят от числа последних. Поэтому формулу для главных максимумов можно получить на примере двух щелей.

В случае дифракции на двух и более щелях дифракционную картину можно рассматривать как результат наложения волн от двух и более когерентных источников.

Как известно, в этом случае условия максимумов имеют следующий вид:

$$\Delta = \pm 2k \frac{\lambda}{2}, \quad (5.4)$$

где Δ – оптическая разность хода волн в рассматриваемой точке;

k – порядок (номер) максимума;

λ – длина волны.

В простейшем случае нормального падения света на щели разность хода Δ волн от соседних щелей (рисунок 5.3)

$$\Delta = d \sin \varphi. \quad (5.5)$$

С учетом (5.4) получим формулу для положений главных максимумов

$$d \sin \varphi = \pm k \lambda. \quad (5.6)$$

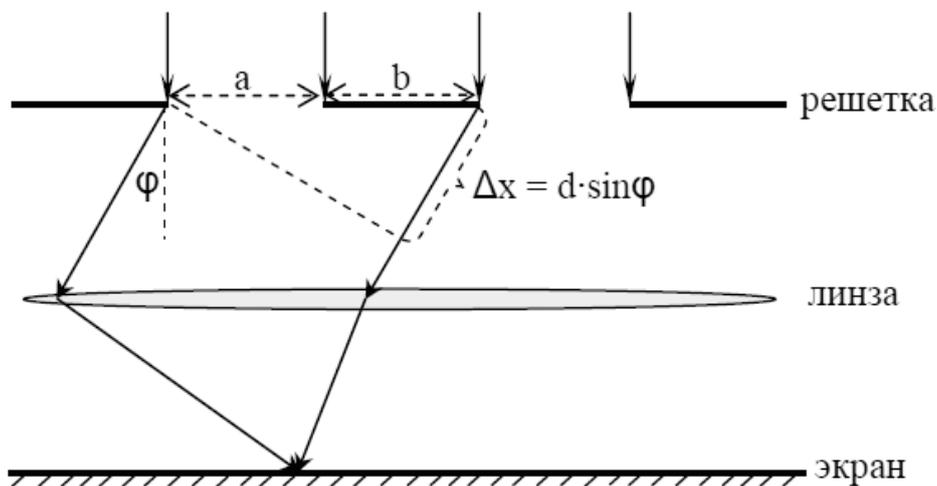


Рисунок 5.3 – Дифракция на двух щелях

Положения главных минимумов, как и в случае одной щели, определяются формулой (5.1). Сравнивая формулы (5.1) и (5.6), можно видеть, что при выполнении условия

$$\frac{k}{m} = \frac{a}{d} \quad (5.7)$$

положения главных максимумов и минимумов совпадут. В этом случае главный максимум соответствующего порядка не возникает. Например, если $a = b$, то $a = d / 2$, и максимумы, соответствующие $m = \pm 2, \pm 4$ и т. д., не возникают. На рисунке 5.2 видно, что главный максимум второго порядка для двух щелей отсутствует.

Поэтому при изготовлении дифракционных решеток выбирают такие соотношения между значениями a и d , при которых не наблюдается совпадений главных минимумов и максимумов.

При дифракции в естественном (белом) свете центральный максимум имеет белый цвет. Так, в этом случае $m = 0$, $\varphi = 0$ и условие усиления (5.6) удовлетворяет всем длинам волн. В остальных максимумах происходит пространственное распределение белого света в спектр. При этом возникают две системы спектров, расположенных симметрично справа и слева от центральной светлой полосы. Предельное число спектров, которое можно получить при помощи данной решетки, определяется выражением

$$k_{\max} \leq \frac{d}{\lambda}. \quad (5.8)$$

Описание лабораторной установки

Стенд состоит из алюминиевого основания 1, на котором установлены источник излучения 2, крепление 3 для сменных дифракционных решеток 4, экран 5. Блок питания для источника излучения установлен непосредственно в его корпусе.

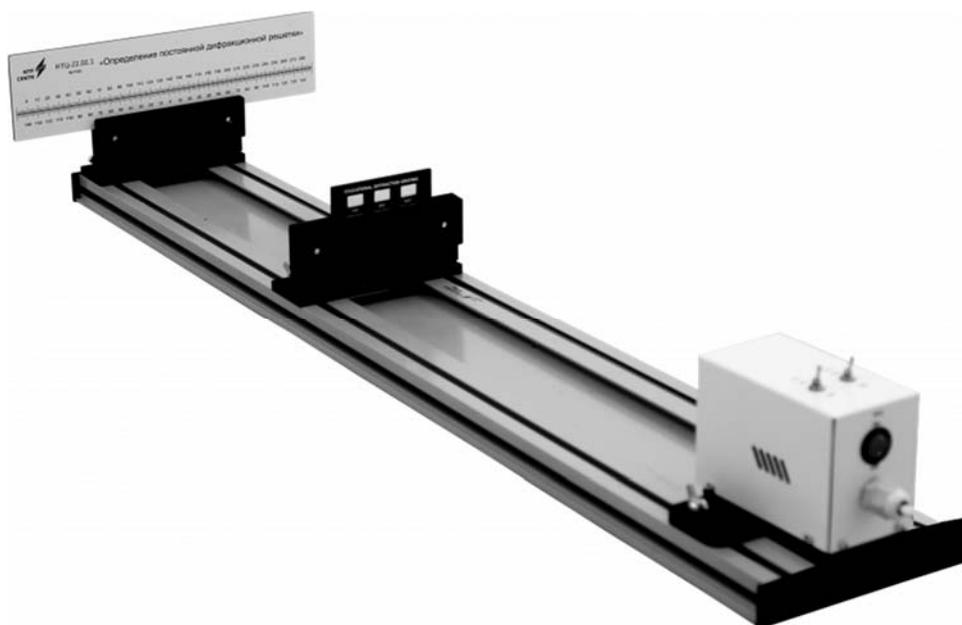


Рисунок 5.4 – Внешний вид установки

Программа работы

Определение длины световой волны.

1 Установить дифракционную решетку с известным периодом $d = 1/300$ штрихов/мм.

2 Включить источник излучения тумблером. При необходимости отрегулировать положение излучателя, чтобы световой пучок попадал в точку «0» нижней шкалы экрана. Если наблюдается рассеяние излучения, необходимо изменить положение линзы относительно источника излучения.

3 Измерить расстояние Δx_k между нулевым и k -ми максимумами ($k = 1, 2, 3$).

4 Измерить расстояние между решеткой и экраном L .

5 Для каждого максимума найти угол φ_k по формуле

$$\varphi_k = \operatorname{arctg}\left(\frac{\Delta x_k}{L}\right).$$

6 Вычислить длину волны света по формуле

$$\lambda_k = \frac{d \sin \varphi_k}{k},$$

где k – порядок максимума для данного угла φ_k .

7 Вычислить среднее значение длины световой волны.

Определение постоянной дифракционной решетки.

1 Установить дифракционную решетку с неизвестным периодом.

2 Измерить расстояние Δx_k между нулевым и k -ми максимумами ($k = 1, 2, 3$).

3 Для каждого максимума найти угол φ_k по формуле

$$\varphi_k = \operatorname{arctg}\left(\frac{\Delta x_k}{L}\right).$$

4 Определить среднее значение угла $\langle \varphi \rangle$ и вычислить период дифракционной решетки по формуле

$$d = \frac{m\lambda}{\sin \langle \varphi \rangle}.$$

5 Сравнить распределения интенсивности в дифракционной картине для двух решеток и объяснить их различия.

Контрольные вопросы

- 1 В чем заключается явление дифракции?
- 2 Поясните сущность принципа Гюйгенса–Френеля.
- 3 Запишите и поясните условия максимумов и минимумов при дифракции на одной щели.
- 4 Запишите и поясните условия главных максимумов и минимумов при дифракции на решетке.
- 5 Под каким углом будет наблюдаться второй главный максимум для света с длиной волны $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ м, если период решетки $d = 10^{-5}$ м при расстоянии между щелями $b = 5 \cdot 10^{-6}$ м?

6 Лабораторная работа № 12. Изучение закона Стефана–Больцмана

Цель работы: проверка экспериментальным путем закона Стефана–Больцмана; определение постоянной Стефана–Больцмана.

Общие сведения

По современным представлениям испускание света веществом происходит при переходе возбужденных атомов, молекул и других атомных систем из состояния с большей энергией в состояние с меньшей энергией. Атомы и атомные системы могут быть переведены в возбужденное состояние различными способами: за счет химической реакции, за счет облучения частицами или электромагнитным излучением либо за счет атомных столкновений при тепловом движении. В последнем случае возникающее излучение называется тепловым. Таким образом, тепловое излучение – это электромагнитные волны, которые излучаются атомами вещества, возбужденными в результате взаимных столкновений при тепловом движении.

Энергия теплового движения атомов определяется температурой вещества. Поэтому свойства теплового излучения определяются температурой. Для характеристики теплового излучения используются такие физические величины, как поток излучения и интегральная излучательная способность (интегральная светимость).

Потоком излучения называется физическая величина, равная энергии, излучаемой телом в единицу времени:

$$\Phi = \frac{E}{\Delta t}, \quad (6.1)$$

где Φ – поток;
 E – энергия;
 Δt – время.

Интегральной светимостью называется физическая величина, равная потоку, излучаемому единицей поверхности тела:

$$R = \frac{\Phi}{S} = \frac{E}{S\Delta t}, \quad (6.2)$$

где R – интегральная светимость;

S – площадь излучающей поверхности.

Характерной особенностью теплового излучения является способность находиться в равновесии с веществом (излучаемыми телами). Для изучения свойств теплового излучения используется модель, называемая абсолютно черным телом (АЧТ). Абсолютно черное тело – это тело, которое полностью поглощает падающее на него излучение любой длины волны при любой температуре. Близкими по свойствам к АЧТ являются черный бархат, сажа, черненная платина.

Экспериментально были установлены три основных закона теплового излучения: закон Кирхгофа, закон Стефана–Больцмана и закон смещения Вина. Закон Стефана–Больцмана гласит, что интегральная светимость абсолютно черного тела прямо пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры:

$$R^* = \sigma T^4, \quad (6.3)$$

где σ – постоянная Стефана–Больцмана.

Для реальных тел, которые в одинаковой степени поглощают энергию во всех частях спектра (серые тела), закон Стефана–Больцмана записывается в следующем виде:

$$R = \alpha \sigma T^4, \quad (6.4)$$

где α – коэффициент черноты, показывающий, какую долю от излучения абсолютно черного тела составляет излучение данного тела.

В данной лабораторной работе в качестве серого тела используется нихромовая спираль нагревателя. Если предположить, что вся электрическая мощность P , потребляемая нагревателем, полностью превращается в тепловое излучение, то справедливо равенство

$$\frac{P}{S} = R, \quad (6.5)$$

где S – площадь поверхности спирали нагревателя;

R – интегральная светимость спирали нагревателя.

Так как P – это мощность, которая необходима для нагревания спирали нагревателя от температуры окружающей среды T_1 до некоторой температуры T_2 , то интегральная светимость R определится следующим соотношением:

$$R = \alpha \sigma (T_2^4 - T_1^4). \quad (6.6)$$

Подставив формулу (6.6) в формулу (6.5) и выразив σ , получим

$$\sigma = \frac{P}{\alpha S (T_2^4 - T_1^4)}. \quad (6.7)$$

Мощность, потребляемую спиралью нагревателя, можно определить как

$$P = IU \quad (6.8)$$

с помощью ваттметра, входящего в состав лабораторной установки.

Температуру спирали нагревателя можно измерить непосредственно с помощью термопары, при этом

$$T = t + 273^\circ. \quad (6.9)$$

Электрическое сопротивление нити накаливания можно определить по закону Ома, измерив падение напряжения U на нити и силу тока I через нее.

Описание лабораторной установки

На рисунке 6.1 приведена электрическая схема лабораторной установки. Она состоит из спирали нагревателя L , подключаемой к источнику постоянного напряжения.

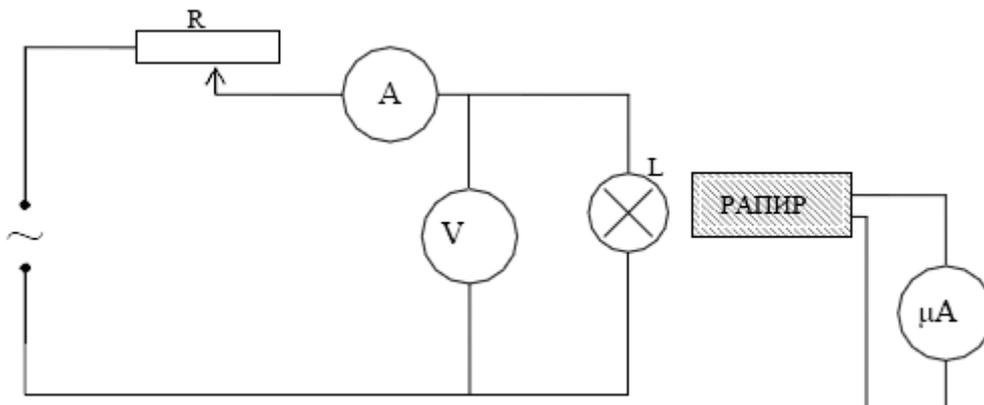


Рисунок 6.1 – Электрическая схема лабораторной установки



Рисунок 6.2 – Внешний вид установки

Программа работы

Так как закон Стефана–Больцмана устанавливает прямую пропорциональную зависимость интегральной светимости тела от его абсолютной температуры в четвертой степени, то проверка закона сводится к проверке такой зависимости.

1 Подключить установку к розетке, включить ее тумблером Сеть.

2 Включить измеритель мощности и измеритель температуры соответствующими кнопками.

3 Измерить выделяемую мощность на спирали нагревателя в ходе его нагрева от комнатной температуры до 700 °С через каждые 50°. Записать значение температуры и тепловой мощности в таблицу.

4 Отключить источник питания от сети, выключить измеритель мощности и измеритель температуры.

5 Рассчитать значения T и T^4 .

6 Построить график зависимости P от T^4 . Убедиться в прямой пропорциональной зависимости P от T^4 .

7 Найти тангенс угла наклона полученного графика по формуле

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\Delta P}{\Delta T^4},$$

где ΔP – разность двух значений P , выбранных на графике;

ΔT^4 – разность соответствующих значений T^4 .

8 Определить постоянную Стефана–Больцмана по формуле

$$\sigma = \frac{\text{tg} \gamma}{\alpha S},$$

где α – коэффициент черноты, $\alpha = 0,25$;

S – площадь излучающей поверхности спирали нагревателя, $S = 10 \text{ см}^2$.

Таблица 6.1 – Результаты измерений и вычислений

$T, \text{К}$	$T^4, \text{К}^4$	$P, \text{мВт}$	$\tan \gamma$	σ

Сравнить полученное значение σ с табличным.

Контрольные вопросы

1 Что называется тепловым излучением? Испускательная и поглощательная способности тел.

2 Запишите и сформулируйте закон Стефана–Больцмана.

3 Закон Кирхгофа о связи поглощательной и излучательной способности тела.

4 Что такое абсолютно черное тело? Серое тело? Модели абсолютно черного тела.

5 К чему сводится проверка закона Стефана–Больцмана в данной работе?

6 Кривая распределения энергетической светимости абсолютно черного тела по частотам и длинам волн. Гипотеза Планка.

7 Лабораторная работа № 14. Проверка закона Малюса

Цель работы: проверка экспериментальным путем закона Малюса.

Общие сведения

Естественный свет представляет собой совокупность волн с различной ориентацией плоскости поляризации. В естественном свете нет преимущественного направления колебания вектора напряженности электрического поля \vec{E} .

На рисунке 7.1 показана модель естественного света в сечении, перпендикулярном направлению распространения.

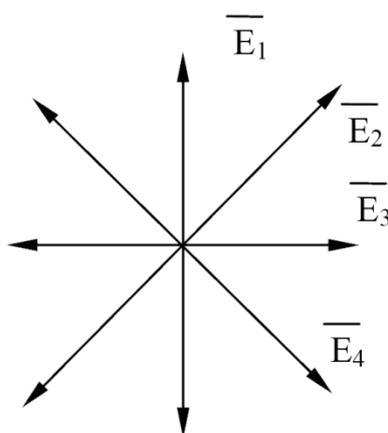


Рисунок 7.1 – Ориентация плоскостей поляризации волн в естественном свете

Плоскополяризованным называется свет, в котором вектор напряженности электрического поля \vec{E} колеблется в одной плоскости. Плоскополяризованный свет можно получить из естественного света, пропустив его через поляризатор (например, через поляроид, который представляет собой целлулоидную пленку с нанесенным на нее слоем турмалина). Поляризатор пропускает ту составляющую вектора напряженности электрического поля, которая параллельна его оптической оси. Визуально поляризованный свет не отличается от естественного света. Поляризованность света можно установить с помощью другого поляризатора, вращая его вокруг светового луча. В этом случае поляризатор называется анализатором. Из сказанного следует, что поляризатор и анализатор имеют одинаковое устройство и отличаются лишь назначением. Получим закон изменения интенсивности поляризованного света при его прохождении через анализатор. Ориентация оптических осей анализатора и поляризатора и ход луча показаны на рисунке 7.2.

Луч естественного света, пройдя поляризатор, становится плоскополяризованным в плоскости, параллельной $O_{\Pi}-O_{\Pi}$, с амплитудой вектора

напряженности электрического поля, равной E_{Π} . Плоскость поляризации поляризованного луча не совпадает с оптической плоскостью анализатора.

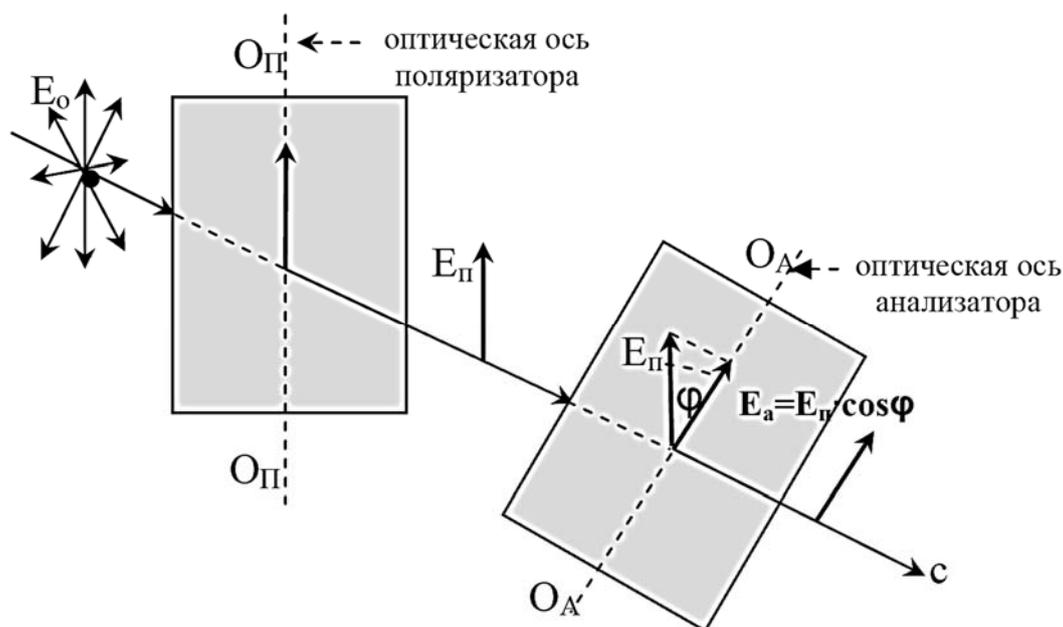


Рисунок 7.2 – Пояснение к выводу формулы закона Малюса

Поэтому анализатор пропустит лишь ту составляющую E_a , которая параллельна его оптической оси. Из рисунка 7.2 видно, что

$$E_a = E_{\Pi} \cos \varphi. \quad (7.1)$$

Интенсивность света пропорциональна квадрату амплитуды вектора напряженности электрического поля. Поэтому, возведя обе части формулы (7.1) в квадрат, получим

$$I_a = I_{\Pi} \cos^2 \varphi. \quad (7.2)$$

Полученная формула является математической формулой закона Малюса – интенсивность света, прошедшего через анализатор, прямо пропорциональна квадрату косинуса угла между оптическими плоскостями поляризатора и анализатора.

Описание лабораторной установки

Оптическая схема установки приведена на рисунке 7.3.

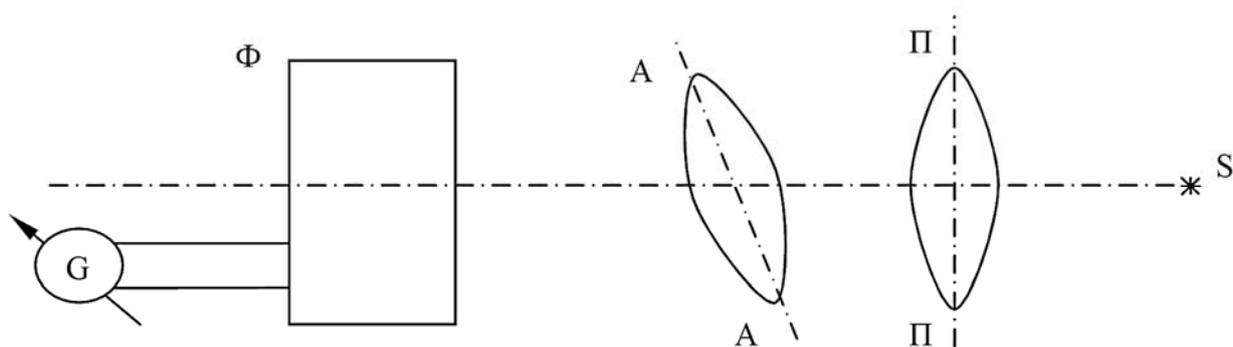


Рисунок 7.3 – Оптическая схема лабораторной установки

Установка состоит из источника естественного света S , поляризатора Π , анализатора A , фотоэлемента Φ и измерительного модуля G . Внешний вид лабораторной установки приведен на рисунке 7.4.



Рисунок 7.4 – Внешний вид лабораторной установки

Программа работы

- 1 Включить измерительный модуль в сеть.
- 2 Включить источник света.
- 3 На анализаторе с помощью рукоятки установить указатель на нуль.
- 4 Поворачивая анализатор от 0° до 180° , снять показания гальванометра через каждые 10° . Измерения повторить, поворачивая анализатор от 180° до 0° . Данные записать в таблицу 1 и для каждой пары значений I , измеренных при одинаковых углах, найти средние значения $\langle I \rangle$.
- 5 Выключить источник света и измерительный модуль.
- 6 В ряду средних значений $\langle I \rangle$ выбрать максимальное I_{\max} и все средние значения разделить на I_{\max} . Получить ряд значений.

Таблица 7.1 – Результаты измерений интенсивности при различных углах

Число делений анализатора, φ	φ	0	10°	20°	30°	И т. д. до 180°
	$I(0^\circ \dots 180^\circ)$					
	$I(180^\circ \dots 0^\circ)$					
	$\langle I \rangle$					
	$\langle I \rangle / I_{\max}$					

7 Построить график зависимости $\langle I \rangle / I_{\max} = f(\varphi)$ и нанести на него график функции $\cos^2 \varphi = f(\varphi)$ для углов 0°, 30°, 60°, 90° и так далее до 180°. Из сравнения полученных графиков сделать вывод о выполнимости закона Малюса.

Контрольные вопросы

- 1 В чем состоит отличие плоскополяризованного света от естественного?
- 2 Поясните устройство поляризатора и анализатора в данной работе.
- 3 В чем состоит отличие анализатора от поляризатора?
- 4 Выведите формулу и дайте формулировку закона Малюса.
- 5 Как можно отличить поляризованный свет от естественного?

Список литературы

- 1 Савельев, И. В. Курс общей физики / И. В. Савельев. – Москва: Наука, 1987. – Т. 3. – 320 с.
- 2 Ландсберг, Г. С. Оптика: учебное пособие для вузов / Г. С. Ландсберг. – Москва: Физматлит, 2003. – 848 с.
- 3 Детлаф, А. А. Курс физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – Москва: Высшая школа, 1989. – 608 с.
- 4 Мойсова, Н. М. Практикум по курсу общей физики / Н. М. Мойсова. – Москва: Высшая школа, 1970. – 230 с.