

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»
Кафедра общей физики

ФИЗИКА. ОПТИКА

*Методические указания
к лабораторному практикуму*

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета
2020

Составители: *Д.В. Баяндин, В.Г. Беспрозванных, Г.Н. Воинов,*
О.М. Зверев, А.В. Перминов, В.С. Постников

УДК 53(07):378
Ф48

Рецензент
канд. физ.-мат. наук, доцент *В.И. Колесниченко*
(Пермский национальный исследовательский
политехнический университет)

Ф48 **Физика.** Оптика : метод. указания к лабораторному
практикуму / сост. Д.В. Баяндин, В.Г. Беспрозванных,
Г.Н. Воинов, О.М. Зверев, А.В. Перминов, В.С. Постников. –
Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2020. – 59 с.

Включают описание 9 лабораторных работ. Для каждой описан метод измерения и рекомендуемый порядок выполнения. Даны ссылки на изложение теоретического материала в основной и дополнительной учебной литературе, приведены вопросы для самоконтроля.

Для студентов, обучающихся по всем направлениям подготовки очного отделения.

УДК 53(07):378

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. Определение показателя преломления твердых тел с помощью микроскопа	4
Лабораторная работа № 2. Определение показателя преломления стеклянной пластины по смещению луча	9
Лабораторная работа № 3. Определение фокусного расстояния собирающей и рассеивающей линз	13
Лабораторная работа № 4. Определение длины световой волны при помощи бипризмы Френеля	18
Лабораторная работа № 5. Изучение дифракции Фраунгофера	25
Лабораторная работа № 6. Изучение поляризованного света полупроводникового лазера	30
Лабораторная работа № 7. Исследование явления фотоэффекта	38
Лабораторная работа № 8. Определение постоянной Стефана – Больцмана с помощью пирометра с исчезающей нитью	43
Лабораторная работа № 9. Определение постоянной Планка с помощью светодиода	51
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	57
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	58

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ С ПОМОЩЬЮ МИКРОСКОПА

Цель работы: знакомство с методом измерения показателя преломления тел с помощью микроскопа.

Приборы и принадлежности: микрометр, микроскоп, пластинки из силикатного стекла и оргстекла.

Теоретические сведения

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика: учеб. пособие для вузов. – СПб.: Лань, 2005. – Т. 2. §§110, 115.

2. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – 11-е изд., стер. – М.: Академия, 2006. – 560 с. §165.

3. Вотинцов Г.Н., Перминов А.В. Физика: учеб. пособие для вузов. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. §4.1, с. 176–179.

4. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука: Физматлит, 1996. §V.2.1.

Описание метода измерений

Пусть имеется прозрачная плоскопараллельная пластинка, толщина которой d . На верхнюю и нижнюю поверхности этой пластинки в точках O_1 и O_2 (рис. 1.1) нанесены каким-либо способом (например, тушью) метки в виде точек или линий. Если такую пластинку освещать рассеянным светом, то метки будут отражать свет во всех направлениях.

Рассмотрим два луча, отраженных от нижней метки O_2 . Пусть первый из них идет перпендикулярно обеим поверхностям пластинки и потому проходит верхнюю поверхность без преломления, а второй падает на эту поверхность под углом β и выходит в воздух под углом α . Если эти лучи направить в глаз наблюдателя (например, с помощью объектива микроскопа), то точка O_2 будет ему *казаться* расположенной на пересечении продолжения преломленного

луча 2' с лучом 1, т.е. в точке O . Расстояние $x = O_1O$ при этом имеет смысл *кажущейся* толщины пластинки.

Положение точки O и расстояние O_1O при данной толщине d пластинки зависит от ее показателя преломления n и может быть использовано для его измерения.

Действительно, из треугольника OO_1C (см. рис. 1.1) следует, что отрезок $O_1C = x \cdot \operatorname{tg} \alpha$, а из треугольника O_2O_1C – что тот же отрезок $O_1C = d \cdot \operatorname{tg} \beta$. Тогда, исключая O_1C , получим

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{d}{x}.$$

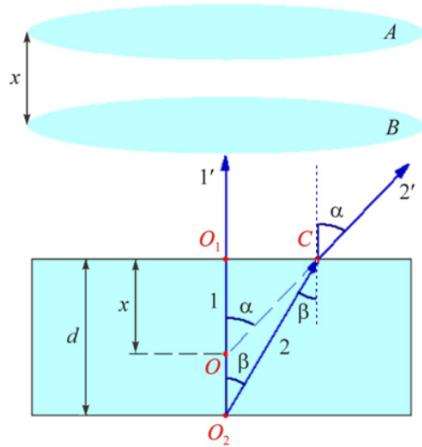


Рис. 1.1

Для малых углов α и β (только такие лучи попадают в объектив микроскопа) имеет место равенство

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta} \approx \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}.$$

С другой стороны, по закону преломления

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n. \quad (1.1)$$

Таким образом,

$$n = d/x. \quad (1.2)$$

Итак, для определения показателя преломления n пластинки нужно измерить d – истинную толщину пластинки – и x – кажущуюся толщину. В настоящей работе d измеряется микрометром, а x – с помощью микроскопа, тубус которого снабжен микрометрическим

винтом. Для измерения величины x нужно один раз сфокусировать микроскоп на метке O_1 (положение A объектива на рис. 1.1), а другой раз – на метке O_2 (положение B объектива). Расстояние, на которое пришлось при этом поднять (или опустить) тубус, и есть значение x .

Порядок выполнения работы

1. Измерьте микрометром толщину одной из данных пластинок 5–7 раз. Результаты этих и последующих измерений занесите в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Вещество	Номер измерения	d_i , мм	$(d_i - \langle d \rangle)^2$, мм ²	x_i , мм	$(x_i - \langle x \rangle)^2$, мм ²	$\langle n \rangle$
	1					
	.					
	7					
Сумма						
Среднее значение						

2. Расположите на предметном столике микроскопа ту же пластинку с нанесенными на ней метками. С помощью винта грубой настройки получите поочередно резкое изображение каждой метки. Убедитесь таким образом, что обе метки попадают в поле зрения.

3. Измерьте *кажущуюся* толщину x пластинки 5–7 раз. Для этого, пользуясь винтом грубой настройки, получите резкое изображение одной из меток, а затем, перемещая тубус микроскопа при помощи микрометрического винта, добейтесь резкого изображения другой метки. Разность показаний микрометрического винта дает значение x .

Примечания:

а) перед наведением резкости на первую из меток микрометрический винт необходимо перевести в крайнее положение (подумайте, в которое), совместив ноль его шкалы с меткой на основании микроскопа;

б) в случае толстых пластинок микрометрический винт при измерении x приходится поворачивать на несколько оборотов. Один оборот соответствует перемещению тубуса на 0,5 мм; цена деления винта 0,05 мм.

4. Вычислите средние значения величин $\langle d \rangle$ и $\langle x \rangle$, рассчитайте по ним средний показатель преломления вещества $\langle n \rangle = \langle d \rangle / \langle x \rangle$.

5. Определите погрешность измерения показателя преломления n пластинки, для чего:

а) найдите для величины d отклонения от среднего значения для результатов отдельных измерений ($d_i - \langle d \rangle$), затем квадраты этих отклонений и их сумму (см. табл. 1.1), вычислите квадрат среднеквадратичной погрешности:

$$\Delta S_d^2 = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (d_i - \langle d \rangle)^2,$$

где N – число измерений;

б) задавшись надежностью $\alpha = 0,95$ и выбрав из таблицы значение коэффициента Стьюдента $t_{\alpha, N}$, рассчитайте полуширину доверительного интервала для величины d :

$$\Delta d = \sqrt{t_{\alpha, N}^2 \cdot \Delta S_d^2 + \left(\alpha \frac{\Delta}{2} \right)^2},$$

где Δ – цена деления шкалы измерительного прибора (здесь – микрометра);

в) аналогично проделанному в пунктах *a* и *b* определите при той же надежности полуширину доверительного интервала Δx для величины x ;

г) по найденным значениям Δd и Δx вычислите относительную и абсолютную погрешности определения показателя преломления:

$$\varepsilon_n = \sqrt{\left(\frac{\Delta d}{\langle d \rangle} \right)^2 + \left(\frac{\Delta x}{\langle x \rangle} \right)^2}, \quad \Delta n = \varepsilon_n \langle n \rangle;$$

д) результаты запишите в виде $n = \langle n \rangle + \Delta n$, $\varepsilon_n = \dots$ при $\alpha = \dots$.

6. Аналогичные измерения выполните для каждой из прочих предложенных пластинок, определите значения их показателей преломления. Результаты занесите в таблицы, аналогичные табл. 1.1. Погрешности измерения для этих пластинок *по согласованию с преподавателем* могут не определяться.

Контрольные вопросы

1. Какова физическая природа света?
2. Назовите и сформулируйте законы геометрической оптики.
3. Поясните физический смысл относительного и абсолютного показателей преломления.
4. Выведите законы отражения и преломления на основе принципа Гюйгенса.
5. Выведите законы отражения и преломления на основе принципа Ферма.
6. Как измерить показатель преломления стекла с помощью микроскопа? Выведите рабочую формулу (1.2).

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СТЕКЛЯННОЙ ПЛАСТИНЫ ПО СМЕЩЕНИЮ ЛУЧА

Цель работы: знакомство с одним из методов определения показателя преломления.

Приборы и принадлежности: полупроводниковый лазер для лабораторных работ, кассета для стеклянных пластин, стеклянные пластины, экран, оптическая скамья (направляющая), набор рейтеров, штангенциркуль, линейка, транспортир, лист бумаги, карандаш, магнитные шайбы.

Теоретические сведения (см. описание лабораторной работы № 1)

Описание метода измерений

Как и в работе № 1, метод измерения основан на применении закона Снеллиуса (1.1). Пусть параллельный пучок света падает на плоскопараллельную стеклянную пластину под углом φ (рис. 2.1). На выходе из пластины луч идет параллельно первоначальному направлению, но со сдвигом на величину h . Из рисунка видно, что чем больше толщина пластины d , тем больше сдвиг луча. Величина h зависит от угла падения φ и толщины пластины d .

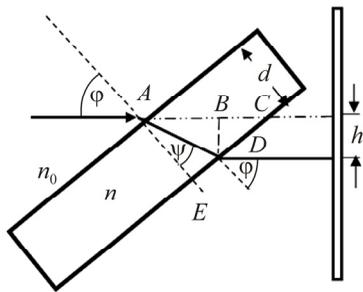


Рис. 2.1

Измерив в эксперименте величину сдвига луча h , можно найти показатель преломления n пластины. Рассмотрим на рис. 2.1 треугольники ACE , ADE и ABD . Параллельное смещение луча $BD = h$ можно записать (выполните подробные вычисления вплоть до получения формулы (2.1) самостоятельно) в виде

$$BD = h = d [\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \psi] \cdot \sin(90^\circ - \varphi) = d [\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \psi] \cos \varphi.$$

Это уравнение позволяет определить величину угла ψ . Подставляя формулу для ψ в закон Снеллиуса, получаем для показателя преломления n пластины следующее выражение:

$$n = \frac{n_0 \sin \varphi}{\sin \psi} = \frac{n_0 \sin \varphi}{\sin \left[\arctg \left(\operatorname{tg} \varphi - \frac{h}{d \cos \varphi} \right) \right]}. \quad (2.1)$$

Таким образом, зная толщину пластины d , смещение светового луча h и угол падения φ , можно определить показатель преломления стекла. Показатель преломления воздуха n_0 следует принять равным 1.

Для наблюдения параллельного смещения луча лазера плоско-параллельной пластиной используется установка, схема которой изображена на рис. 2.2, 2.3. Лазер устанавливают в положение 1 направляющей. Экран ставят в положение 7. После этого в положение 4 помещают кассету для пластин.

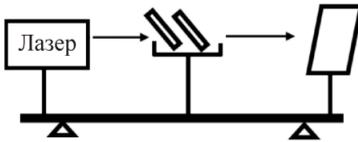


Рис. 2.2

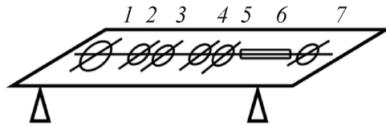


Рис. 2.3

Порядок выполнения работы

Внимание! Все наблюдения за лазерным лучом во время настройки оптической схемы и выполнения задания производить только по изображениям на экране! Не допускать попадания луча лазера в глаза!

1. Соберите установку согласно рис. 2.2, 2.3, не помещая пока в кассету пластины. На экране с помощью магнитных шайб закрепите чистый лист бумаги. Положение луча лазера в отсутствие пластин отметьте на листе бумаги карандашом.

2. Измерьте с помощью штангенциркуля общую толщину $N \cdot d$ всех используемых N плоскопараллельных пластин. Установите их одну за другой в кассету. Транспортиром измерьте угол ($90^\circ - \varphi$), под которым пластины расположены к горизонтали. Результаты занесите в табл. 2.1.

Таблица 2.1

$N = \dots, N \cdot d = \dots \text{ мм}, \varphi = \dots^\circ$						
Номер измерения	$h_1, \text{ мм}$	$h_2, \text{ мм}$	$h = \frac{h_1 + h_2}{2}, \text{ мм}$	$\gamma = \frac{h}{Nd}$	n	$(n_i - \langle n \rangle)^2$
1						
...						
Сумма						
Среднее значение						

3. При установке каждой новой пластины луч лазера смещается. Когда все пластины будут установлены в кассету, отметьте положение луча на листе бумаги карандашом.

Замечание. Контролируйте ход луча лазера в пределах кассеты: вход и выход луча в стекло должен происходить через плоскости (длинные поверхности) пластины, а не через торцевые срезы.

4. Разверните кассету с пластинами на 180° . В этом случае луч сместится в противоположном направлении. Отметьте положение луча на листе.

5. Снимите пластины и сдвиньте лист бумаги. Снова сделайте отметку положения лазерного луча без пластин. Вновь установите все пластины и отметьте карандашом положение луча при двух вариантах ориентации кассеты. Прodelайте эту операцию 5–7 раз.

6. Снимите лист бумаги с экрана и произведите измерение величин сдвига луча h_1 и h_2 (h_1 соответствует сдвигу луча в одну, а h_2 – в другую сторону от исходного положения луча) при двух вариантах ориентации кассеты. Результаты занесите в табл. 2.1.

7. Используя значение $\gamma = h/(N \cdot d)$, рассчитайте показатель преломления пластины по формуле

$$n = \frac{n_0 \sin \varphi}{\sin \left[\arctg \left(\operatorname{tg} \varphi - \frac{\gamma_i}{\cos \varphi} \right) \right]}.$$

8. Задавшись надежностью α и выбрав из таблицы значение коэффициента Стьюдента $t_{\alpha, N}$, рассчитайте полуширину доверительного интервала для показателя преломления

$$\Delta n = t_{\alpha, N} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (n_i - \langle n \rangle)^2}{N(N-1)}}$$

(здесь N – число измерений) и относительную погрешность $\varepsilon_n = \Delta n / \langle n \rangle$.

9. Результат запишите в виде $n = \langle n \rangle \pm \Delta n$, $\varepsilon_n = \dots$ при $\alpha = \dots$.

Контрольные вопросы

1. Какова физическая природа света?
2. Назовите и сформулируйте законы геометрической оптики.
3. Поясните физический смысл относительного и абсолютного показателей преломления.
4. Выведите законы отражения и преломления света на основе принципа Гюйгенса.
5. Как измерить показатель преломления стекла с помощью источника света, линейки и транспорта? Выведите рабочую формулу (2.1).

Лабораторная работа № 3
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ
СОБИРАЮЩЕЙ И РАССЕИВАЮЩЕЙ ЛИНЗ

Цель работы: знакомство с методами определения фокусного расстояния собирающей и рассеивающей линз.

Приборы и принадлежности: оптическая скамья (направляющая), набор рейтеров, лазер, призма, набор линз, экран, линейка, штангенциркуль.

Теоретические сведения

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика: учеб. пособие для вузов. – СПб.: Лань, 2005. – Т. 2. §116–117.

2. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – 11-е изд., стер. – М.: Академия, 2006. – 560 с. §166.

3. Вотинов Г.Н., Перминов А.В. Физика: учеб. пособие для вузов. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. §4.1, с. 179–181.

4. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука: Физматлит, 1996. §V.2.1.

Методика измерений и порядок выполнения работы

Упражнение 1.

Определение фокусного расстояния собирающей линзы

Согласно определению, фокусом собирающей линзы называется точка, в которой пересекаются лучи, шедшие до падения на линзу параллельно главной оптической оси. Поэтому в данном случае фокусное расстояние f_c может быть измерено непосредственно (линейкой), если использовать источник света, дающий параллельный пучок лучей.

1. Лазер, делительную призму, собирающую линзу и экран с использованием рейтеров установите на направляющей (рис. 3.1).

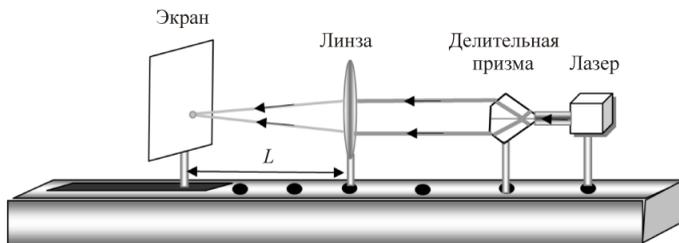


Рис. 3.1

Внимание! Все наблюдения за лазерным лучом во время настройки оптической схемы и выполнения задания производить только по изображениям на экране. Не допускать попадания луча лазера в глаза!

2. Включите лазер. Установите делительную призму относительно луча лазера так, чтобы ее ребро разделяло исходный луч на два. В этом случае на экране возникнет два световых пятна, соответствующих двум лучам. Перемещая призму по высоте, убедитесь в приблизительно одинаковой яркости обоих лучей.

3. Передвигая экран по пазу, добейтесь, чтобы лучи сходились в одной точке. Если лучи не сходятся, переставьте линзу в другое гнездо. Измерьте расстояние L между серединой линзы и экраном. Это расстояние является фокусным для собирающей линзы. Проведите измерения 5 раз. Результаты для первой собирающей линзы занесите в табл. 3.1.

Таблица 3.1

№ п/п	L_1 , мм	$(\langle L_1 \rangle - L_{1i})^2$, мм ²	L_2 , мм	$(\langle L_2 \rangle - L_{2i})^2$, мм ²
1				
...				
5				
Сумма				
Среднее значение				

4. Прodelайте изложенное в п. 3 для второй собирающей линзы.
 5. Рассчитайте погрешности $\Delta L_{1,2}$ в определении $L_{1,2}$ по формуле

$$\Delta L = t_{\alpha, N} \sqrt{\frac{\sum (\langle L \rangle - L_i)^2}{N(N-1)}},$$

где N – число измерений; α – требуемая надежность; индексы 1, 2 при величине L здесь не написаны для упрощения вида формулы.

6. Результаты измерений фокусных расстояний обеих собирающих линз запишите в виде доверительных интервалов с указанием относительной погрешности:

$$f_{c1} = (\langle L_1 \rangle \pm \Delta L_1), \varepsilon_{c1} = \dots, \alpha = \dots,$$

$$f_{c2} = (\langle L_2 \rangle \pm \Delta L_2), \varepsilon_{c2} = \dots, \alpha = \dots.$$

Определите оптическую силу линз D_{c1} и D_{c2} .

Упражнение 2.

Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы

В отличие от упражнения 1, фокусное расстояние рассеивающей линзы f_p не измеряется непосредственно, а рассчитывается по формуле

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}. \quad (3.1)$$

где a и b – расстояния от линзы до источника и изображения.

Поскольку для рассеивающей линзы параллельные лучи после преломления расходятся, для нахождения фокуса такой линзы нужно использовать не параллельный, а *сходящийся* пучок лучей. Поэтому в качестве источника для исследуемой рассеивающей линзы используется точка фокуса вспомогательной собирающей линзы, в которой сходятся после преломления в ней параллельные лучи от лазера, полученные с помощью делительной призмы (рис. 3.2). При этом рассеивающая линза должна находиться *между* собирающей линзой и ее фокусом. Источник для рассеивающей линзы в этом случае является мнимым. В качестве величины a в формуле (3.1)

используется расстояние a_2 от оптического центра рассеивающей линзы, фокусное расстояние которой надо определить (в нашем случае это линза 2), до заднего фокуса вспомогательной линзы 1. Величина a в формуле (3.1) берется отрицательной, так как источник мнимый. Величина b_2 есть расстояние от оптического центра линзы 2 до изображения на экране. Поскольку изображение действительно, эта величина положительна.

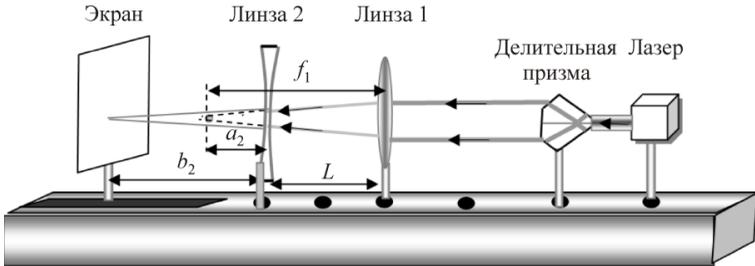


Рис. 3.2

1. Прделайте пп. 1 и 2 из упражнения 1, используя собирающую линзу 1 с известным фокусным расстоянием f_{c1} или f_{c2} (ниже оно обозначается f_1).

2. Установите на направляющей рассеивающую линзу 2 так, как показано на рис. 3.2. Для того чтобы изображение, создаваемое линзой 2, было действительным, фокус линзы 1, как было сказано выше, должен располагаться за линзой 2. Убедитесь, что это требование выполняется.

3. Изменяя положение экрана, установите его так, чтобы лучи, прошедшие линзу 2, сошлись на экране в точку.

4. Измерьте расстояние L между линзами и расстояние b_2 между линзой 2 и экраном. Найдите расстояние $a_2 = f_1 - L$ (f_1 было определено в упражнении 1).

5. По формуле (3.1) найдите фокусное расстояние f_p рассеивающей линзы 2. В этой формуле $a = -|a_2|$, $b = b_2$.

6. Пункты 3–5 проделайте 5–7 раз, желательно используя различные L и b_2 . Для этого рейтер с линзой 2 нужно установить в паз направляющей, что позволяет перемещать как линзу 2, так и экран. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 3.2.

Таблица 3.2

$f_1 = \dots \text{ мм}$					
№ п/п	$L, \text{ мм}$	$a_2, \text{ мм}$	$b_2, \text{ мм}$	$f_p, \text{ мм}$	$(\langle f_p \rangle - f_p)^2, \text{ мм}^2$
1					
...					
Среднее значение =					Сумма =

7. Рассчитайте погрешность Δf_p определения f_p

$$\Delta f_p = t_{\alpha, N} \sqrt{\frac{\sum (\langle f_p \rangle - f_{pi})^2}{N(N-1)}}$$

для надежности $\alpha = 0,95$ и выбранного числа измерений N .

Запишите результат в виде $f_p = \langle f_p \rangle \pm \Delta f_p, \epsilon_p = \dots, \alpha = \dots$

Вычислите и запишите оптическую силу линзы: D_p .

Контрольные вопросы

1. Что такое геометрическая оптика? Когда она применима?
2. Что такое тонкая линза и какие величины ее характеризуют?
3. Дайте определения основных элементов линзы (центры и радиусы кривизны, оптический центр, главная и побочные оптические оси, главный и побочный фокусы, фокальная плоскость), изобразите их на рисунках.
4. Как производится построение изображения в собирающей и рассеивающей линзах при прохождении параллельных и сходящихся лучей?
5. Как можно экспериментально определить фокусные расстояния собирающей и рассеивающей линз?
6. Изобразите оптические схемы обоих экспериментов, поясните ход лучей, порядок измерений и вычислений значений фокусного расстояния для собирающей и рассеивающей линз.

Лабораторная работа № 4
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ
ПРИ ПОМОЩИ БИПРИЗМЫ ФРЕНЕЛЯ

Цель работы: познакомиться с одним из методов наблюдения интерференции света; определить длину световой волны с помощью бипризмы Френеля.

Приборы и принадлежности: полупроводниковый лазер, бипризма Френеля, короткофокусная линза, экран для наблюдения с магнитными шайбами для крепления бумаги, оптическая скамья с набором рейтеров, линейка, рулетка, карандаш.

Теоретические сведения

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика: учеб. пособие для вузов. – СПб.: Лань, 2005. – Т. 2. §119–121.

2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – М.: Академия, 2008. §§31.1–31.2.

3. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – 11-е изд., стер. – М.: Академия, 2006. – 560 с. §172, 173.

4. Вотинов Г.Н., Перминов А.В. Физика: учеб. пособие для вузов. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. §4.2, с. 182–191.

5. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука: Физматлит, 1996. §V.1.1–V.1.2.

Описание метода измерений

Для наблюдения интерференции света должны быть соблюдены определенные условия: 1) исходный источник света должен обладать высокой степенью монохроматичности $\nu/\Delta\nu$ ($\Delta\nu$ – ширина полосы излучения, ν – средняя частота этой полосы); 2) получение когерентных световых волн достигается тем, что исходная волна разделяется каким-либо образом на две или более частей, проходящих в точку наложения разными путями.

Одним из инструментов разделения волны на две когерентные части является бипризма Френеля, состоящая из двух стеклянных призм с малыми (порядка десятков угловых минут) преломляющими углами, сложенных своими основаниями. Принципиальный ход лучей от точечного источника S в бипризме Френеля показан на рис. 4.1 (реально должно выполняться $d \ll L$).

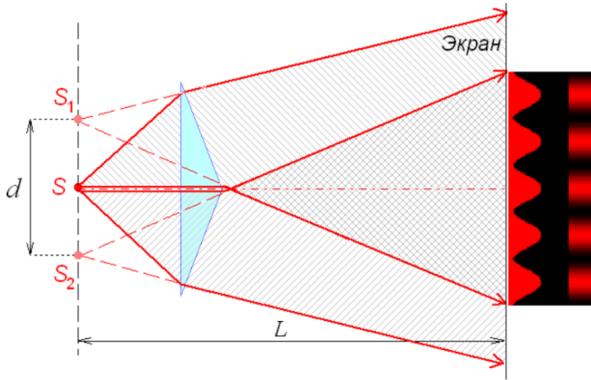


Рис. 4.1

Призмы отклоняют лучи в разных направлениях и, таким образом, возникают два мнимых когерентных источника света S_1 и S_2 . Лучи от этих источников, перекрываясь в области экрана, дают интерференционные полосы. На рисунке через d обозначено расстояние между мнимыми источниками, через L – расстояние от источников до экрана.

Можно показать, что при малых углах отклонения лучей от оси симметрии системы ширина Δx интерференционной полосы (расстояние между интерференционными максимумами)

$$\Delta x = \frac{L}{d} \lambda. \quad (4.1)$$

При выполнении данной работы используется излучение лазера. Пучок его практически параллельных лучей пропускается через короткофокусную собирающую линзу, благодаря чему задний фокус линзы играет в экспериментальной установке роль точечного

источника света, обозначенного на рис. 4.1 через S . После прохождения фокуса свет идет расходящимся пучком.

Для нахождения расстояния d между мнимыми источниками в формуле (4.1) рассмотрим ход лучей, образующих центральный максимум (рис. 4.2).

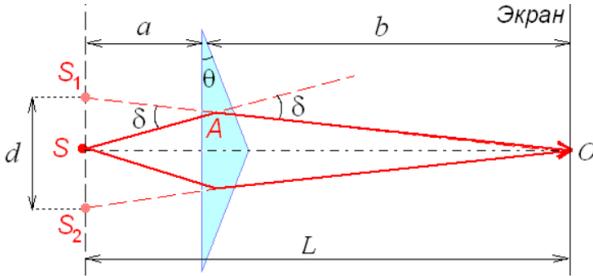


Рис. 4.2

Здесь a – расстояние от источника света до бипризмы; b – расстояние от бипризмы до экрана; θ – преломляющий угол бипризмы; δ – отклоняющий угол бипризмы (т.е. угол, на который изменяется направление хода луча после прохождения через бипризму). Этот угол, являющийся характеристикой бипризмы, определяется выражением

$$\delta = \theta(n - 1), \quad (4.2)$$

где n – показатель преломления материала бипризмы.

Учитывая малость углов δ и θ , из ΔSAS_1 , можно записать

$$\frac{d}{2} = a\delta \quad \text{или} \quad d = 2a\delta$$

с последующей подстановкой d в (4.1).

Таким образом, если в эксперименте измерить параметры a , δ , Δx и L , то длину волны используемого излучения можно определить по формуле

$$\lambda = \frac{2a\delta\Delta x}{L}. \quad (4.3)$$

Порядок выполнения работы

1. Измерьте фокусное расстояние F короткофокусной собирающей линзы. Установите на оптической скамье лазер, линзу и экран (рис. 4.3). Включите лазер. Перемещая экран, найдите такое его положение, при котором сечение светового луча станет минимальным. Расстояние между линзой и экраном будет искомым величиной. Измерьте ее 5–7 раз, результаты измерения запишите в таблицу (составьте ее самостоятельно), найдите среднее значение $\langle F \rangle$.

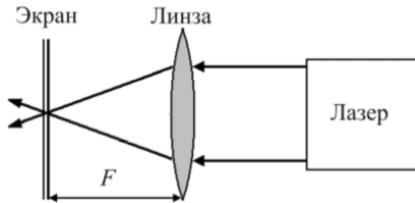


Рис. 4.3

2. Определите отклоняющий угол бипризмы δ . Для этого установите экран с прикрепленной к нему с помощью магнитных шайб миллиметровой бумагой на расстоянии 2–5 м от лазера. Отметьте на экране точку, в которую попадает луч. Затем поместите на пути луча бипризму так, чтобы луч проходил через *одну* из ее половин. При этом светящаяся точка на экране сместится; отметьте ее новое положение и запишите величину смещения Δs .

Измерьте расстояние от бипризмы до экрана b . Величина угла δ , выраженная в радианах, равна $\Delta s/b$.

Повторите замеры при 4–6 других значениях b . Результаты измерений занесите в табл. 4.1, вычислите соответствующие значения характеристики δ и среднюю ее величину.

Таблица 4.1

Номер измерения	Δs , мм	b , мм	δ , рад
1			
...			
5			
Среднее значение $\langle \delta \rangle$			

3. Соберите экспериментальную установку (рис. 4.4), соблюдая следующий порядок действий:



Рис. 4.4

- установите на скамье четыре рейтера;
- в крайние рейтеры установите лазер и экран, используя при этом всю длину скамьи;
- включите лазер и направьте его луч в центр экрана;
- установите рядом с лазером линзу, повернув ее патрубком к лазеру;
- проверьте ход луча после линзы, ориентируя его на центр экрана;
- на расстоянии не более 10 см от линзы установите бипризму Френеля так, чтобы середина луча падала на ее разделительную грань;
- перемещая элементы оптической схемы вдоль скамьи, получите на экране четкую интерференционную картину.

Замечание. Для получения крупной и четкой интерференционной картины экран следует перенести на расстояние 2–5 м от лазера.

4. Линейкой (рулеткой) измерьте расстояния a' от линзы до бипризмы и L' от линзы до экрана. Из найденных значений для получения параметров a и L (см. рис. 4.2) следует вычесть фокусное расстояние линзы F :

$$a = a' - \langle F \rangle \text{ и } L = L' - \langle F \rangle,$$

поскольку мнимые источники расположены в фокальной плоскости линзы.

5. Закрепите на экране с помощью магнитных шайб лист миллиметровой бумаги размером не менее 1/4 формата А4. Ручкой или

остро отточенным карандашом отметьте на интерференционной картине двумя точками *каждую* светлую полосу, выдерживая расстояние между точками не менее 2 см.

6. Определите ширину интерференционной полосы Δx для используемых a и L . Для этого снимите лист бумаги с экрана и по отмеченным точкам проведите линии, соответствующие светлым полосам интерференционной картины. Пользуясь линейкой, измерьте суммарную ширину h не менее чем четырех интерференционных полос. Найдите величину $\Delta x = h/(N-1)$, где N – число линий на измеряемом участке. Результаты измерений занесите в табл. 4.2.

Таблица 4.2

$\langle F \rangle = \dots$ мм, $\langle \delta \rangle = \dots$ рад						
Номер измерения	a' , мм	a , мм	L' , мм	L , мм	Δx , мм	λ , нм
1						
...						
5						
Среднее значение $\langle \lambda \rangle$						

7. Повторите измерения пп. 5 и 6 при различных значениях a и L 5–7 раз.

По формуле (4.3) вычислите длину волны λ , найдите ее среднее значение, оцените абсолютную и относительную погрешности измерений (способ определения погрешности обсудите с преподавателем). Запишите результат в виде доверительного интервала:

$$\lambda = \langle \lambda \rangle \pm \Delta \lambda, \quad \varepsilon_\lambda = \dots \quad \text{при } \alpha = 0,95.$$

8. По формуле (4.2) определите преломляющий угол θ используемой бипризмы.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит сущность явления интерференции волн?
2. В чем состоит особенность получения когерентных источников в оптике?

3. Что такое степень монохроматичности, время когерентности, длина когерентности? Каков порядок этих величин для лазера, неоновой лампы, лампы накаливания?

4. Сформулируйте условия возникновения максимумов и минимумов освещенности при интерференции.

5. Изобразите и объясните ход лучей в бипризме.

6. Объясните способ получения в данной работе точечного источника света.

7. Выведите формулу (4.2).

8. Выведите расчетную формулу (4.3) для длины световой волны.

Лабораторная работа № 5

ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИИ ФРАУНГОФЕРА

Цель работы: изучить явление дифракции в монохроматическом свете при помощи дифракционной решетки и щели.

Приборы и принадлежности: лазер, дифракционная решетка, щель, экран, оптическая скамья с набором рейтеров, измерительная линейка.

Теоретические сведения

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика: учеб. пособие для вузов. – СПб.: Лань, 2005. – Т. 2. §125–130.

2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – М.: Академия, 2008. §§32.1–32.4.

3. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – 11-е изд., стер. – М.: Академия, 2006. – 560 с. §179, 180, 183.

4. Вотинин Г.Н., Перминов А.В. Физика: учеб. пособие для вузов. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. §4.3, с. 194–203.

5. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука: Физматлит, 1996. §§V.2.1, V.2.3.

Описание установки

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 5.1, где: 1 – оптическая скамья, 2 – источник света – лазер, 3 – рейтер для установки дифракционной решетки (или щели) 4; 5 – рейтер для установки экрана 6.

Поскольку в качестве источника света используется лазер, дающий параллельный световой пучок малого сечения, то нет необходимости использовать линзы, которые часто ставят позади дифракционной решетки. Дифракционная картина получается четкой при сравнительно небольшом (в пределах оптической скамьи) расстоянии от экрана до дифракционной решетки.

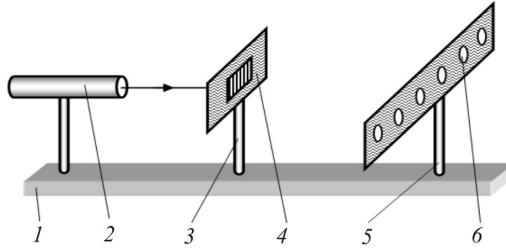


Рис. 5.1

Порядок выполнения работы

Упражнение 1.

Определение длины световой волны лазерного луча

1.1. Ознакомьтесь с установкой. С помощью магнитов закрепите на экране лист миллиметровой бумаги. Дифракционную решетку в обойме установите на рейтере 3.

1.2. Включите лазер в сеть.

1.3. Направьте луч лазера на дифракционную решетку. Перемещая ее и экран вдоль скамьи, добейтесь того, чтобы дифракционная картина была четкой, занимала по ширине весь экран и при этом было видно возможно большее количество максимумов. Максимум, который при перемещениях решетки и экрана не смещается, является центральным (имеет нулевой порядок).

1.4. Измерьте с помощью линейки расстояние L между дифракционной решеткой и плоскостью экрана. По надписи на решетке установите значение ее постоянной n (в количестве штрихов на мм), вычислите значение периода решетки $d = 1/n$. Оба результата запишите в табл. 5.1.

1.5. Зафиксируйте вид полученной дифракционной картины. *Вариант 1:* отметьте положение максимумов карандашом на миллиметровой бумаге, выделив центральный максимум. *Вариант 2:* сфотографируйте дифракционную картину. Выключите лазер.

1.6. Снимите миллиметровую бумагу (обработайте фотографию). Введите координатную ось, начало отсчета (ноль) которой можно, например, совместить с центральным максимумом. Опреде-

лите координаты всех левых $x_{\text{Л}}$ и правых $x_{\text{П}}$ видимых максимумов. Результаты занесите в табл. 5.1. Здесь и далее будьте внимательны при записи единиц измерения всех величин.

Таблица 5.1

$L = \text{мм}, d = \text{мм}$							
Порядок максимумов m	$x_{\text{П}}, \text{мм}$	$x_{\text{Л}}, \text{мм}$	$l_m = x_{\text{П}} - x_{\text{Л}}, \text{мм}$	$\text{tg } \varphi_m$	φ_m	$\sin \varphi_m$	$\lambda = \frac{d \sin \varphi_m}{m}$, нм
1							
...							
5							
Среднее значение $\langle \lambda \rangle$							

1.7. Вычислите расстояния l_m между левым и правым максимумами одного порядка (m – порядок максимумов). По формуле $\text{tg} \varphi_m = l_m / (2L)$ (здесь φ_m – угол дифракции для m -го максимума) вычислите $\text{tg} \varphi_m$, а затем φ_m и $\sin \varphi_m$. Результаты занесите в табл. 5.1.

1.8. Из условия главных максимумов $d \sin \varphi_m = m\lambda$ вычислите длину волны λ лазерного луча по данным, полученным для каждого порядка m спектра, и среднее значение длины волны $\langle \lambda \rangle$.

1.9. По формулам для расчета угловой дисперсии D_φ и разрешающей способности R дифракционной решетки

$$D_\varphi = \frac{m}{d}, \quad R = mN$$

(N – общее число штрихов решетки) вычислите значения этих характеристик для третьего порядка спектра. Число штрихов решетки можно определить, разделив ширину решетки на ее период (если решетка голографическая, то примите ширину равной 1 см).

Упражнение 2. Определение ширины щели

2.1. В рамку рейтера 3 вместо дифракционной решетки вставьте металлическую щель. На экране закрепите лист миллиметровой бумаги.

2.2. Направьте луч лазера на щель. Перемещая ее и экран вдоль скамьи, а также изменяя ширину щели (если это предусмотрено), добейтесь четкой дифракционной картины.

2.3. Измерьте с помощью линейки расстояние L от щели до экрана. Запишите результат в табл. 5.2 вместе с длиной волны лазера $\langle \lambda \rangle$, полученной в упражнении 1.

Таблица 5.2

$L = \text{мм}, \lambda = \text{нм}$					
Порядок минимумов m	$x_{\text{п}}, \text{мм}$	$x_{\text{л}}, \text{мм}$	$l_m = x_{\text{п}} - x_{\text{л}}, \text{мм}$	$\sin \varphi_k \approx \text{tg} \varphi_k$	$a = \frac{k\lambda}{\sin \varphi_k}$

2.4. Отметьте на дифракционной картине положение центрального максимума и минимумов одного и того же порядка, по возможности, *наиболее удаленных друг от друга, но четко различимых*. Зафиксируйте порядок этих минимумов m в первом столбце табл. 5.2. (Ввиду малой ширины дифракционной картины выполняется только одно измерение.)

2.5. Запишите в табл. 5.2 координаты выбранных в п. 2.4 левого $x_{\text{л}}$ и правого $x_{\text{п}}$ минимумов и расстояние l_m между ними. Вычислите синус угла дифракции $\sin \varphi_m$ для минимума m -го порядка. Поскольку угол φ_m при дифракции на щели мал, то $\sin \varphi_m \approx \text{tg} \varphi_m = l_m / (2L)$.

2.6. Из условия минимумов на щели $a \sin \varphi_m = m\lambda$ вычислите ширину щели a . Результат запишите в табл. 5.2.

Контрольные вопросы

1. Явление дифракции света.
2. Принципы Гюйгенса и Гюйгенса – Френеля.
3. Метод зон Френеля: идея и свойства зон.
4. Дифракция Фраунгофера.
5. Дифракция Фраунгофера на щели. Условия минимумов и максимумов.

6. Структура дифракционной картины от дифракционной решетки. Условия главных и дополнительных максимумов и минимумов. Характер изменения картины при увеличении числа щелей.

7. В чем состоит отличие дифракционной картины от решетки в монохроматическом и белом свете?

8. Какими величинами характеризуют качество дифракционной решетки?

9. Что такое угловая (линейная) дисперсия дифракционной решетки? Как ее вычислить?

10. С чем связана необходимость введения понятия разрешающей силы дифракционной решетки? Что это такое?

Лабораторная работа № 6

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА

Цель работы: изучить поляризованный свет полупроводникового лазера; определить степень поляризации лазерного излучения, угол Брюстера для стеклянной пластины, коэффициент преломления стекла; убедиться в справедливости закона Малюса.

Приборы и принадлежности: полупроводниковый лазер, стеклянная пластина на вращающейся подставке с измерителем угла, поляризатор в неподвижной оправе, поляризатор во вращающейся оправе с измерителем угла, фотоприемное устройство с измерителем мощности лазерного излучения и цифровым отсчетом, экран с магнитами для крепления бумаги, подставка для экрана и фотоприемника, оптическая скамья (направляющая) с набором рейтеров.

Теоретические сведения

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика: учеб. пособие для вузов. – СПб: Лань, 2005. – Т. 2. §134–135.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – М.: Академия, 2008. §34.1.
3. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – 11-е изд., стер. – М.: Академия, 2006. – 560 с. §190, 191.
4. Вотинков Г.Н., Перминов А.В. Физика: учеб. пособие для вузов. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. §4.4, с. 203–206.
5. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука: Физматлит, 1996. §§V.4.1.

Методика измерений и порядок выполнения работы

Схемы всех экспериментов собираются на оптической скамье (рис. 6.1).

Излучение используемого в данной работе полупроводникового лазера практически линейно поляризовано. После прохождения спе-

циальной оптики, встроенной в лазерный модуль, на выходе лазера область излучения имеет вид излучающей щели. Электрический вектор излучения лазера параллелен направлению излучающей щели.

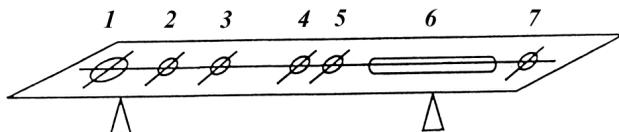


Рис. 6.1. Оптическая скамья (направляющая)

Длина щели в несколько раз больше ее ширины. Это хорошо видно невооруженным глазом на экране наблюдения (рис. 6.2). Лазерный модуль выставляют так, чтобы светящаяся лазерная щель составляла с горизонтальной плоскостью стола угол, близкий к 45° (с целью наклонной ориентации плоскости поляризации лазерного излучения). В этом положении лазерный модуль закрепляется.

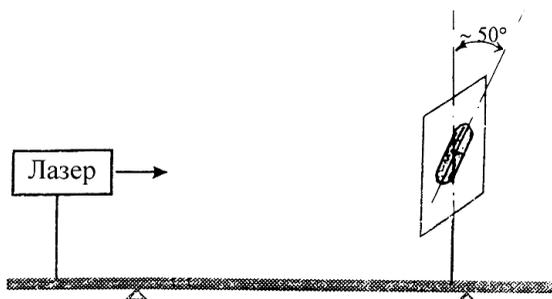


Рис. 6.2. Схема ориентации излучающей щели лазера в опытах

Упражнение 1.

Определение степени поляризации лазерного излучения

Схема опыта представлена на рис. 6.3. Излучение лазера направляется через поляририд во вращающейся оправе П1 на фотоприемное устройство. Измеряется мощность лазерного излучения, прошедшего поляририд. Вращением поляриоида П1 определяются поло-

жения, при которых показания измерителя на фотоприемнике максимальны и минимальны. По этим показаниям оценивается степень поляризации лазерного излучения.

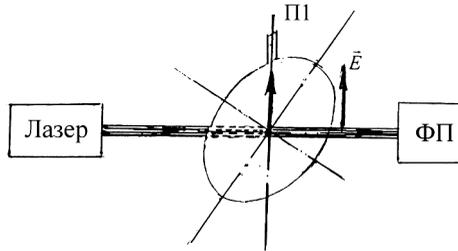


Рис. 6.3. Схема для определения степени поляризации лазерного излучения

1. Лазер в оправе и на рейтере установите в положение 1 направляющей (см. рис. 6.1). Экран наблюдения поместите на направляющей в положение 7. На экране закрепите лист бумаги. Включите лазер. На экране видно вытянутое пятно. Ослабьте стопорный винт оправы лазера. Поверните корпус лазера в оправе так, чтобы вытянутое пятно на экране приняло положение близкое к 45° по отношению к плоскости лабораторного стола (см. рис. 6.2). Выключите лазер.

2. В положение 7 направляющей вместо экрана установите фотоприемник (ФП) с измерителем мощности излучения лазера. Включите его. Зафиксируйте мощность естественного фона $N_{\text{фон}}$ и занесите значение в табл. 6.1.

3. Включите лазер. Направьте пучок его излучения на фотоприемник, добейтесь максимальных показаний прибора. В положение 5 направляющей поставьте рейтер с поляроидом П во вращающейся оправе (рис. 6.3).

Вращая поляроид вокруг луча лазера, наблюдайте за изменением показаний измерительного прибора. Получите максимальные показания; запишите в табл. 6.1 значения мощности и соответствующего угла на шкале поляроида.

Аналогично получите и зафиксируйте минимальное показание прибора и соответствующее значение угла.

Таблица 6.1

$N_{\text{фон}}, \text{ мВт}$	$N_{\text{max}}, \text{ мВт}$	$\varphi_{\text{max}}, ^\circ$	$N_{\text{min}}, \text{ мВт}$	$\varphi_{\text{min}}, ^\circ$
$N_{\text{max}}^{\text{лазера}}, \text{ мВт}$	$N_{\text{min}}^{\text{лазера}}, \text{ мВт}$		P	

4. Выключите лазер. Рассчитайте мощность прошедшего излучения лазера, вычтя из показаний прибора мощность естественного фона:

$$N^{\text{лазера}} = N - N_{\text{фон}}.$$

Рассчитайте степень поляризации лазерного излучения:

$$P = \frac{N_{\text{max}}^{\text{лазера}} - N_{\text{min}}^{\text{лазера}}}{N_{\text{max}}^{\text{лазера}} + N_{\text{min}}^{\text{лазера}}}.$$

Упражнение 2.

Определение угла Брюстера и коэффициента преломления стеклянной пластины

Схема опыта представлена на рис. 6.4. Отраженное от пластины ПП лазерное излучение, пройдя поляроид во вращающейся оправе П1, падает на экран.

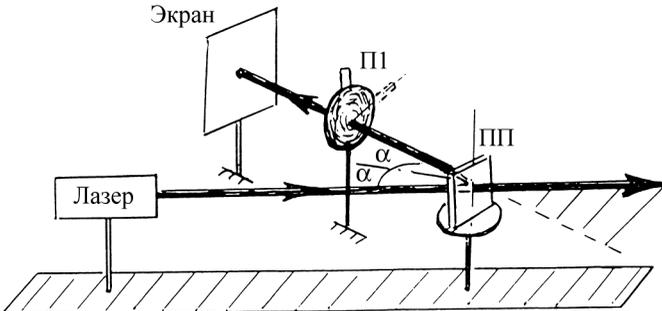


Рис. 6.4. Ход лучей в эксперименте по изучению поляризации отраженного света

Ведется визуальное наблюдение за яркостью лазерного пятна на экране. Вращая вокруг вертикальной оси отражающую пластину ПП и поляририд П1 вместе с экраном, добиваются минимальной яркости пятна на экране. Определяется угол Брюстера. По углу Брюстера определяется коэффициент преломления стеклянной пластинки.

1. Положение лазера оставьте тем же, что в упражнении 1. Снимите с направляющей поляририд. Соберите схему согласно рис. 6.4. В положение 4 направляющей (см. рис. 6.1) поместите рейтер со стеклянной пластиной ПП на вращающейся подставке. Включите лазер. Отраженный от пластины лазерный луч направьте на лазерный модуль. Подведите отраженный луч как можно ближе к падающему. Запишите показания угла α_1 на шкале подставки пластинки ПП в табл. 6.2. Примите это значение за начало отсчета.

Таблица 6.2

$\alpha_1, ^\circ$	$\alpha_2, ^\circ$	$\alpha_{\text{Бр}}, ^\circ$	n	$\varphi_{\text{min}}, ^\circ$	$\varphi_{\text{max}}, ^\circ$

2. Поверните подставку с пластинкой на угол, близкий к 50° ; отраженный от пластинки луч лазера будет при этом поворачиваться в горизонтальной плоскости. Расположите по ходу отраженного луча вспомогательную подставку с установленными на ней рейтерами с поляриридом П1 во вращающейся оправе и с экраном с закрепленным листом белой бумаги. Отраженный от стеклянной пластины и прошедший сквозь поляририд П1 свет наблюдайте на экране.

3. При вращении поляририда вокруг направления луча яркость пятна на экране меняется. Найдите положение поляририда, при котором яркость минимальна. После этого начинайте вращать стеклянную пластину ПП вокруг вертикальной оси (и синхронно перемещать подставку с поляриридом и экраном).

Добейтесь минимальной (в идеале – нулевой) яркости пятна на экране; такое положение соответствует минимальной интенсивности отражения луча от пластины ПП. Это означает, что пластина установлена под углом Брюстера.

Запишите в табл. 6.2 соответствующие значения угла α_2 по шкале подставки пластинки ПП и значение угла поворота поляроида φ_{\min} , при котором яркость пятна на экране минимальна. Определите величину угла Брюстера:

$$\alpha_{\text{Бр}} = |\alpha_2 - \alpha_1|.$$

Вычислите значение коэффициента преломления стеклянной пластины:

$$n = \text{tg}\alpha_{\text{Бр}}.$$

Сравните полученное значение с табличным.

4. Не меняя положения пластины ПП (т.е. при величине угла падения луча на пластину, равной углу Брюстера), поверните поляроид П1 вокруг направления луча так, чтобы на экране была получена максимальная яркость пятна. Зафиксируйте это положение и запишите в табл. 6.2 значение угла поворота поляроида φ_{\max} . Это значение соответствует плоскости пропускания поляроида П1. Убедитесь, что величина $|\varphi_{\max} - \varphi_{\min}|$ близка к 90° .

Выключите лазер.

Упражнение 3. **Подтверждение закона Малюса**

Схема опыта представлена на рис. 6.5. С помощью поляроида в неподвижной оправе П2 фиксируют плоскость колебаний вектора \vec{E} . Вращением поляроида П1 изменяют угол α между плоскостями пропускания поляроидов. Измеряют мощность сигнала на выходе с помощью фотоприемника ФП. Убеждаются в справедливости закона Малюса.

1. Соберите схему согласно рис. 6.5, для чего в положение 5 (см. рис. 6.1) направляющей поставьте рейтер с поляроидом П1 во вращающейся оправе. Перед поляроидом П1 (в положение 4) поставьте поляроид П2 в неподвижной оправе. В положение 7 направляющей установите фотоприемник (ФП) Включите лазер.

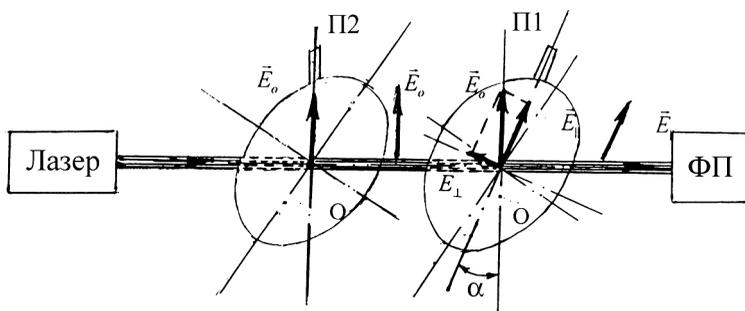


Рис. 6.5. Схема для изучения закона Малюса

2. Вращая поляризатор П1 (который играет роль анализатора) и наблюдая за показаниями фотоприемника, найдите положение поляризатора, соответствующее максимальной интенсивности прошедшего света. Соответствующее значение угла поворота поляризатора φ_{\max} по его шкале запишите в табл. 6.3. Этому значению соответствует величина угла α между плоскостями пропускания поляризаторов, равная нулю.

Таблица 6.3

$\varphi, ^\circ$											$\varphi_{\max} = \dots ^\circ$
$\alpha, ^\circ$	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	
$N, \text{ мВт}$											
$N_{\text{фон}}, \text{ мВт}$											
$N_{\text{лазера}}, \text{ мВт}$											

3. Снимите зависимость показаний мощности N на фотоприемнике от угла поворота α поляризатора с интервалом 10° . Угол α отсчитывайте от положения, соответствующего максимальному значению в показаниях прибора; при этом значение $\varphi = \varphi_{\max} \pm \alpha$. Результаты занесите в табл. 6.3. Выключите лазер.

4. Рассчитайте мощность прошедшего от лазера излучения $N_{\text{лазера}}$, вычтя из показаний прибора мощность $N_{\text{фон}}$ естественного фона (показания при выключенном лазере).

5. Заполните табл. 6.4. Величина $N_{\max}^{\text{лазера}}$ соответствует $\alpha = 0$ (или $\varphi = \varphi_{\max}$).

Таблица 6.4

$\alpha, ^\circ$	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
$\cos^2 \alpha$	0	0,030	0,117	0,250	0,413	0,587	0,750	0,883	0,970	1
$\frac{N_{\text{лазера}}}{N_{\max}^{\text{лазера}}}$										1

6. Убедитесь в справедливости закона Малюса, построив график исследуемой зависимости на миллиметровой бумаге. Для этого по оси абсцисс отложите значения $\cos^2 \alpha$, а по оси ординат – величину показаний прибора в относительных единицах $N^{\text{лазера}} / N_{\max}^{\text{лазера}}$. На теоретическую (прямую пропорциональную) зависимость наложите экспериментальные точки. Объясните результат.

Контрольные вопросы

1. Свет как электромагнитные волны.
2. Естественный свет.
3. Линейно-поляризованный свет.
4. Частично-поляризованный свет.
5. Поляриды (поляризаторы).
6. Степень поляризации. Экспериментальное определение.
7. Закон Брюстера. Экспериментальное определение угла Брюстера.
8. Закон Малюса. Экспериментальное подтверждение.

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ФОТОЭФФЕКТА

Цель работы: изучить закономерности фотоэффекта путем получения вольт-амперной и люкс-амперной характеристики вакуумного фотоэлемента и фотосопротивления.

Приборы и принадлежности: выпрямитель, источник света, вакуумный фотоэлемент СЦВ-4, фотосопротивление, оптическая скамья, вольтметр, миллиамперметр.

Теоретические сведения

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц: учеб. пособие для вузов. – СПб: Лань, 2005. – Т. 3. §9.

2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – М.: Академия, 2008. §§36.1–36.2.

3. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – М.: Академия, 2006. – 560 с. §§ 202–204.

4. Вотинов Г.Н., Перминов А.В. Физика: учеб. пособие для вузов. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. §4.6, с. 213–217.

5. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука: Физматлит, 1996. §V.6.1.

Виды фотоэлементов

Вакуумный фотоэлемент представляет собой откачанный стеклянный баллон, часть внутренней поверхности которого покрыта тонким слоем светочувствительного металла, играющего роль фотокатода. Анод A находится в центре баллона (рис. 7.1). При освещении фотоэлемента из катода вылетают электроны (*внешний фотоэффект*) и под действием электрического поля попадают на анод. По цепи идет ток.

Газонаполненный фотоэлемент содержит какой-либо инертный газ под небольшим давлением. Первичные фотоэлектроны ионизируют атомы газа, что приводит к увеличению тока, проходящего через элемент.

Фотосопротивление. Действие основано на явлении фотопроводимости (*внутренний фотоэффект*). На рис. 7.2 показано включение фотосопротивления в электрическую цепь. Без освещения фотосопротивления ток в цепи практически отсутствует, при освещении ток возрастает в тысячи раз.

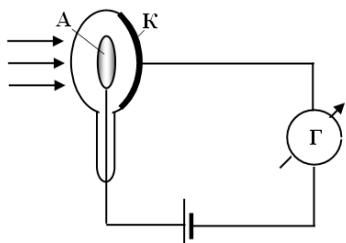


Рис. 7.1

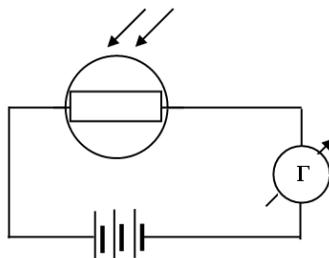


Рис. 7.2

Фотосопротивления обладают чувствительностью в сотни и тысячи раз большей, чем фотоэлементы с внешним фотоэффектом. Кроме того, они имеют широкий диапазон спектральной чувствительности – от инфракрасных до рентгеновских и γ -лучей. Недостатками их являются значительная инерционность и зависимость свойств от температуры.

Вентильные фотоэлементы (фотоэлементы с запирающим слоем). В вентильных фотоэлементах используется фотогальванический эффект (разновидность *внутреннего фотоэффекта*). В отличие от других фотоэлементов, вентильные фотоэлементы не требуют при работе источника тока, так как сами являются таким источником.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с имеющимися на лабораторном столе приборами.
2. Снимите вольт-амперную характеристику вакуумного фотоэлемента СЦВ-4:
 - А. Установите фотоэлемент СЦВ-4 на оптической скамье и соберите электрическую цепь по рис. 7.3.

Б. Подайте напряжение сети на выпрямитель и источник света. Изменяя напряжение U на фотоэлементе от 0 до 120–150 В, снимите зависимость (7–10 точек) силы фототока I_{ϕ} от напряжения для двух расстояний r_1 и r_2 фотоэлемента от источника света. Результаты измерений занесите в табл. 7.1.

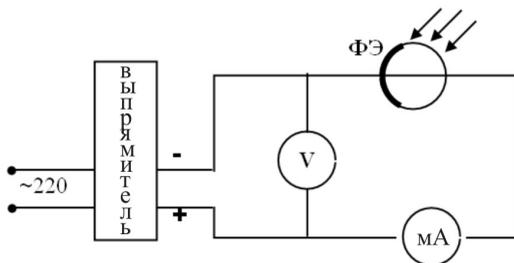


Рис. 7.3

Таблица 7.1

Номер измерения	$U, \text{В}$	$I_{\phi}, \text{мА}$	
		$r_1 = \dots, \text{см}$	$r_2 = \dots, \text{см}$
1			
...			
8			

Замечание. Расстояния r_1 и r_2 следует подбирать такими, чтобы шкала миллиамперметра использовалась как можно полнее. Фототок можно измерять в относительных единицах (в делениях шкалы прибора).

В. По измеренным значениям характеристик постройте графики $I_{\phi} = f(U)$.

3. Снимите люкс-амперную характеристику вакуумного фотоэлемента:

А. При постоянном напряжении ($U = \text{const}$) снимите зависимость силы фототока I_{ϕ} от освещенности E фотоэлемента. Поскольку освещенность обратно пропорциональна квадрату расстояния r от источника до фотоэлемента ($E \sim r^{-2}$), то изменять ее можно путем изменения r . Результаты измерений занесите в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Номер измерения	$U = \dots$ В		
	r , см	I_{ϕ} , мА	$E \sim 1/r^{-2}$, см ⁻²
1			
...			
8			

Замечание. $U = \text{const}$ должно быть подобрано таким, чтобы r можно было менять в широком пределе, причем ток фотоэлемента оставался бы в состоянии насыщения.

Б. По данным табл. 7.2 постройте график зависимости $I_{\phi} = f(E) = f(1/r^2)$.

4. Снимите характеристики фотосопротивления.

А. Выключите выпрямитель. На место фотоэлемента подключите в цепь фотосопротивление, установив его на оптическую скамью. Аналогично пп. 2 и 3 снимите две вольт-амперных и одну люкс-амперную зависимости для фотосопротивления. Результаты занесите в таблицы, аналогичные табл. 7.1 и 7.2.

Б. По измеренным данным постройте графики $I_{\phi} = f(U)$, $I_{\phi} = f(E)$.

5. Проанализируйте четыре типа полученных зависимостей, сопоставьте с теоретическими представлениями. Объясните наблюдаемые закономерности.

Контрольные вопросы

1. Квантовые свойства света. Энергия кванта света.
2. Явление внешнего фотоэффекта и его закономерности.
3. Внутренний фотоэффект и его объяснение на основе зонной теории строения вещества.
4. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта, его физический смысл.
5. «Красная граница» фотоэффекта.
6. Объяснение закономерностей фотоэффекта на основе представления о квантовой природе света.

7. Вольт-амперная и люкс-амперная характеристики вакуумного фотоэлемента.

8. Зависимость тока насыщения фотоэлементов от освещенности.

9. Задерживающая разность потенциалов и ее связь с кинетической энергией электрона, вылетевшего из катода в результате фотоэффекта.

10. Зависимость проводимости фотосопротивления от освещенности.

11. Вольт-амперная и люкс-амперная характеристики фотосопротивления.

Лабораторная работа № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ СТЕФАНА – БОЛЬЦМАНА С ПОМОЩЬЮ ПИРОМЕТРА С ИСЧЕЗАЮЩЕЙ НИТЬЮ

Цель работы: познакомиться с одним из методов определения постоянной Стефана – Больцмана.

Приборы и принадлежности: источник излучения (пластинка никеля), автотрансформатор, трансформаторы напряжения и тока, ваттметр, пирометр с исчезающей нитью ЛОП-72, термометр.

Теоретические сведения

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц: учеб. пособие для вузов. – СПб: Лань, 2005. – Т. 3. §§1–4.

2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – М.: Академия, 2008. §§35.1–35.3.

3. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – М.: Академия, 2006. – 560 с. §§ 197–199, 201.

4. Вотинов Г.Н., Перминов А.В. Физика: учеб. пособие для вузов. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. §4.5, с. 208–213.

5. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука: Физматлит, 1996. §§V.5.1–V.5.4.

Описание метода измерений и установки

Определение постоянной Стефана – Больцмана в данной работе производится из следующих соображений. За одну секунду единица поверхности реального тела, имеющего температуру T , излучает в окружающую среду с температурой T_0 энергию

$$R' = K \sigma (T^4 - T_0^4). \quad (8.1)$$

Здесь R' – энергетическая светимость реального (серого) тела; K – степень черноты (серости) реального тела; σ – постоянная Стефана – Больцмана.

Таким образом, если K задано, то для определения σ достаточно измерить R' , T_0 и T .

Если излучающее тело, например в виде никелевой пластинки, нагревать путем пропускания через нее электрического тока, то R' можно определить по мощности этого тока. Считая, что все выделяющееся в пластине тепло уносится излучением, можно записать

$$R' = \frac{IU}{2S}, \quad (8.2)$$

где I – сила тока, проходящего через пластинку; U – падение напряжения на пластинке; S – ее площадь; коэффициент 2 в знаменателе связан с тем, что излучают обе поверхности пластинки.

Сравнивая выражения (8.1) и (8.2), получим

$$\sigma = \frac{IU}{2KS(T^4 - T_0^4)} = \frac{P}{2KS(T^4 - T_0^4)},$$

где P – мощность тока, $P = IU$.

В настоящей работе пластинка нагревается до температуры более 2000 °С, в то время как T_0 – комнатная температура. В связи с этим можно пренебречь вторым слагаемым в скобке, так что окончательная формула, по которой будет определяться постоянная Стефана – Больцмана,

$$\sigma = \frac{P}{2KST^4}. \quad (8.3)$$

Схема включения никелевой пластинки в цепь показана на рис. 8.1.

Напряжение 220 В подается на автотрансформатор (ЛАТР), откуда поступает на первичную обмотку силового понижающего трансформатора (СТ), во вторичную обмотку которого включена никелевая пластинка. Тепловая мощность, выделяемая пластинкой, оценивается по мощности потребляемого тока, которая измеряется ваттметром W .

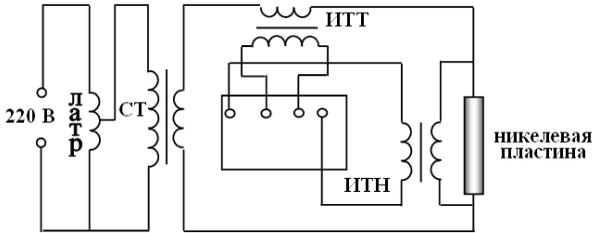


Рис. 8.1

Поскольку сила тока, идущего через пластинку, велика, а падение напряжения на пластинке мало, то токовая обмотка и обмотка напряжения ваттметра подключаются соответственно через измерительные трансформаторы тока (ИТТ) и напряжения (ИТН). Коэффициенты трансформации ИТТ и ИТН подобраны таким образом, что одно деление шкалы ваттметра соответствует 5 Вт.

Измерение температуры тела (никелевой пластинки) определяется с помощью пирометра с исчезающей нитью ЛОП–72.

Оптическая схема и конструкция пирометра ЛОП–72

Работа пирометра основана на измерении квазимонохроматической яркости излучения нагретого объекта путем уравнивания ее с яркостью эталона. В качестве эталона яркости используется пирометрическая лампа, для которой задана зависимость температуры нити от тока, протекающего по ней. Изображение источника излучения, температуру которого хотят измерить, с помощью объектива проецируется в плоскости нити пирометрической лампы. Наблюдатель, смотрящий в окулярный микроскоп, видит нить пирометрической лампы на фоне изображения источника излучения. Изменяя силу тока в пирометрической лампе, уравнивают яркость нити лампы с яркостью измеряемого объекта. Температура объекта определяется согласно Свидетельству о государственной поверке по величине тока, протекающего по нити пирометрической лампы в момент уравнивания яркостей нити и изображения источника излучения (никелевой пластинки). Оптическая схема пирометра приведена на рис. 8.2.

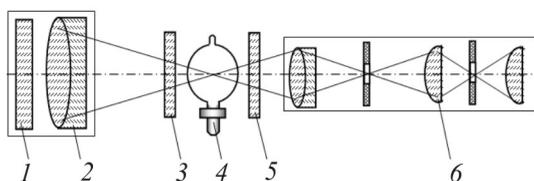


Рис. 8.2

В нее входят объектив 2, микроскоп 6, являющийся окуляром пирометра, пирометрическая лампа 4, светофильтры 5, поглощающие стекла 1 и 3.

Микроскоп обеспечивает четкую видимость нити пирометрической лампы. Для устранения влияния отраженного света при фотометрировании баллон пирометрической лампы изготовлен со скошенными торцами. Дугообразная вольфрамовая нить лампы диаметром 100 мкм с одной стороны отшлифована на половину диаметра и обращена ею к микроскопу (наблюдателю).

Внешний вид пирометра показан на рис. 8.3.

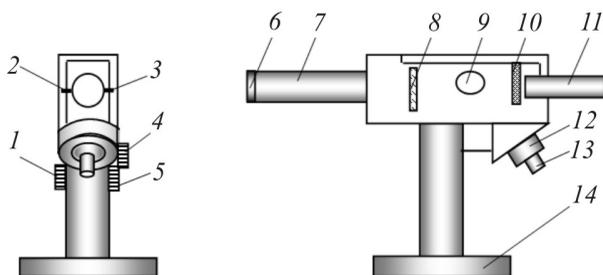


Рис. 8.3

Поворотом ручки 1 оптическая система пирометра перемещается в вертикальном направлении в пределах 100 мм, а ручкой 5 фиксируется в выбранном положении. При необходимости поворота в горизонтальной плоскости или наклона пирометра следует ослабить ручку 4 и вручную повернуть или наклонить оптическую систему пирометра, после чего зафиксировать выбранное положение. Конструкция пирометра обеспечивает поворот оптической системы

на угол 360° и наклон его на угол 15° . Подставка пирометра *14* имеет опоры, позволяющие плавно наклонять оптическую ось прибора в пределах 3° .

Для получения четкого изображения объектов, расположенных на различных расстояниях от прибора, объектив пирометра *7* перемещается вдоль оптической оси путем вращения наружного кольца. Перемещение окуляра микроскопа *11* вдоль оптической оси обеспечивает необходимую диоптрийную наводку. Лампа *9* закреплена в патроне. Для расширения температурной шкалы пирометр снабжен сектором *8* с поглощающими стеклами и съемным поглотителем *6*. С помощью ручки *2* поворотный механизм сектора поглотителей *8* обеспечивает введение нужных стекол в поле зрения окуляра микроскопа. Для монохроматизации светового потока используется сектор *10* со светофильтрами. С помощью ручки *3* поворотный механизм сектора *10* обеспечивает введение соответствующих светофильтров в поле зрения окуляра микроскопа.

Изменение тока пирометрической лампы производится реостатом с секциями грубой регулировки *13* и тонкой регулировки *12*, имеющими плавный ход. Указано направление вращения ручек, соответствующее увеличению тока пирометрической лампы. Реостат позволяет установить ток в интервале от 0,3 до 0,6 А с точностью 10 мкА при напряжении источника в пределах от 4 до 6 В.

Работа с пирометром ЛОП-72

Для измерения температуры светящегося объекта пирометром ЛОП-72 необходимо следующее:

1. Установите прибор перед исследуемым объектом на расстоянии 700–1000 мм.
2. Снимите защитные крышки (если они имеются) с объектива и окуляра.
3. Убедитесь в том, что источник стабилизированного напряжения *2* и измерительный прибор *1* подключены к пирометру согласно измерительной схеме (рис. 8.4).
4. Увеличивая ток в цепи при помощи реостата (рукоятка *13* на рис. 8.3), обеспечьте видимое свечение нити лампы.

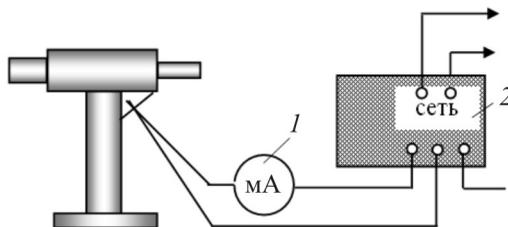


Рис. 8.4

5. Добейтесь четкого изображения нити лампы перемещением окуляра микроскопа. Вершина нити пирометрической лампы должна находиться в центре поля зрения окуляра.

6. Установите сектор светофильтров *10* (см. рис. 8.3) в положение *1*, а сектор поглотителей *8* – в положение *2*.

7. Наводку пирометра на исследуемый объект следует производить следующим образом:

а) ослабить ручку *4* (см. рис. 8.3) и навести оптическую систему на объект, температуру которого необходимо измерить (в данной работе – на никелевую пластинку), затем ручкой *4* зафиксировать выбранное положение;

б) вращением кольца объектива *7* добиться четкого изображения исследуемого объекта в поле зрения окуляра. При этом изображения объекта и нити пирометрической лампы, полученные с помощью перемещения окуляра микроскопа *11*, должны быть одинаково четкими.

8. Изменяя накал нити пирометрической лампы с помощью реостатов грубой и тонкой регулировки, добейтесь исчезновения рабочего участка нити на фоне изображения объекта измерения (произведите фотометрирование). К состоянию уравнивания яркостей приближайтесь то со стороны большей, то со стороны меньшей яркости пирометрической лампы (по отношению к яркости объекта).

9. Измерьте силу тока, протекающего по нити лампы.

10. После окончания измерений реостат установите в крайнее левое положение, отключите источник питания. Оптическую систему закройте крышками.

Порядок выполнения работы

1. Снимите с отключенной от сети лабораторной установки защитный кожух и ознакомьтесь с основными узлами электрической схемы нагрева никелевой пластины. Запишите температуру окружающей среды T_0 .

2. После ознакомления с электрической схемой питания никелевой пластины закройте ее защитным кожухом.

3. Установите пределы измерения для ваттметра: $U = 150$ В, $I = 5$ А; при этом цена деления шкалы ваттметра будет равна 5 Вт. Тогда значение мощности вычисляется по формуле

$$P = \frac{5N}{K_{\text{ТР}}},$$

где $K_{\text{ТР}}$ – коэффициент трансформации установки.

4. Убедитесь, что рукоятка регулировки напряжения ЛАТРа стоит на минимуме, после чего подайте на автотрансформатор напряжение 220 В от сети.

5. Разогрейте никелевую пластину, увеличивая потребляемую пластиной мощность от N_1 до N_2 , где N – число делений ваттметра. Пределы измерений по числу делений шкалы ваттметра N_1 (нижний предел) и N_2 (верхний предел) для каждой установки задаются преподавателем (лаборантом) или указываются в приложении к установке. Выполните первый замер при мощности, соответствующей показанию ваттметра N_2 .

6. Изменяя мощность (в сторону уменьшения), сделайте в указанных пределах 5–7 измерений, фиксируя каждый раз значение мощности и соответствующее значение тока пирометрической лампы. Данные занесите в табл. 8.1.

6. Пользуясь градуировочной кривой, определите значение температуры пластинки T и рассчитайте соответствующие значения постоянной Стефана – Больцмана по формуле (8.3). Степень черноты K и площадь пластинки S должны быть заданы.

7. По результатам вычислений определите среднее значение $\langle \sigma \rangle$. Сравните его с табличным, оцените погрешность измерений.

Таблица 8.1

Номер измерения	N , дел	P , Вт	I , мА	T_0 , К	T , К	σ Вт/(м ² ·К ⁴)	$\langle\sigma\rangle$ Вт/(м ² ·К ⁴)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							

Контрольные вопросы

1. Тепловое излучение.
2. Величины, характеризующие излучение и излучающие тела.
3. Абсолютно черное тело. Законы теплового излучения для абсолютно черных тел.
4. Принцип определения постоянной Стефана – Больцмана в данной работе.
5. Фотодиод. Устройство и принцип действия.
6. Порядок выполнения работы.

Лабораторная работа № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА С ПОМОЩЬЮ СВЕТОДИОДА

Цель работы: ознакомиться с одним из методов определения постоянной Планка.

Приборы и принадлежности: светодиод с экраном, выпрямитель, вольтметр, дифракционная решетка, оптическая скамья, масштабная линейка.

Теоретические сведения

1. Савельев И.В. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц: Курс общей физики: учеб. пособие для вузов. – СПб: Лань, 2005. – Т. 3. §§7, 57–59, 64–65.

2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – М.: Академия, 2008. §§35.2, 43.3–43.5.

3. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – М.: Академия, 2006. – 560 с. §§ 200, 240–243, 245.

4. Вотинов Г.Н., Перминов А.В. Физика: учеб. пособие для вузов. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. §4.5, с. 212–213.

5. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука: Физматлит, 1996. §V.5.3.

Описание метода измерений

Постоянная Планка определяется в данной работе через изучение свойств светодиода (СД) – полупроводникового прибора, преобразующего электрическую энергию в энергию оптического излучения. Действие СД основано на явлении электролюминесценции, которое может возникать при протекании электрического тока в полупроводниковом (ПП) кристалле с электронно-дырочным переходом.

При определенном подборе материалов можно создать такую систему с *n-p*-переходом, что при подключении ее к источнику

с прямым напряжением $U > U_0$ электроны будут беспрепятственно переходить в p -область и там спонтанно рекомбинировать с дырками с испусканием света. При этом устанавливается равновесное состояние: скорость рекомбинации электронов и их инжекция уравниваются (аналогичные процессы идут и с переходом дырок в n -область). Такая система непрерывно излучает световую энергию.

Конструктивно СД состоит из полупроводниковой структуры с n - p -переходом, омических контактов и элементов конструкции, предназначенных для сбора и обеспечения направленности излучения (рис. 9.1).

Материалом для СД служат соединения типа $A^{III}B^V$ (фосфид галлия – GaP), имеющие ширину запрещенной зоны порядка 1,5–2,0 эВ и дающие красный или зеленый свет. Объем СД невелик $\sim 200 \text{ мм}^3$.

При увеличении прямого напряжения, подаваемого на СД, ток, идущий через него, растет очень медленно. Но как только напряжение достигнет напряжения U_0 (или чуть больше), сила тока резко возрастает и СД начинает излучать свет. Зависимость сила тока от напряжения показана на рис. 9.2.

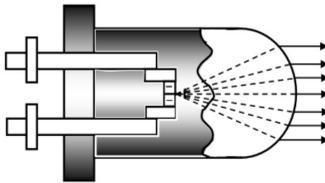


Рис. 9.1

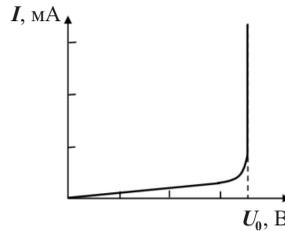


Рис. 9.2

Поскольку при каждом акте рекомбинации электрона и дырки получается один квант света с энергией $\epsilon = h\nu$, а внешнее электрическое поле на перемещение электрона через n - p -переход совершает работу $A = eU_0$ (e – заряд электрона, U_0 – величина внешнего поля, при котором СД начинает светиться), то $eU_0 = h\nu$, откуда $h = eU_0/\nu$, где ν – частота излучаемого света.

С учетом $v = c/\lambda$, где c – скорость света в вакууме, λ – длина волны света рабочая формула имеет вид

$$h = \frac{eU_0\lambda}{c}, \quad (9.1)$$

Таким образом, для определения h нужно измерить U_0 и λ (e и c – универсальные постоянные).

Напряжение U_0 находят по показанию вольтметра, непосредственно подключенного к СД.

Для нахождения длины волны монохроматического света, излучаемого СД, используется дифракционная решетка (ДР).

Линза и экран, имеющие место при обычном способе наблюдения, заменяются глазом наблюдателя (рис. 9.3): функцию линзы выполняет оптическая система глаза, а функцию экрана – сетчатка глаза.

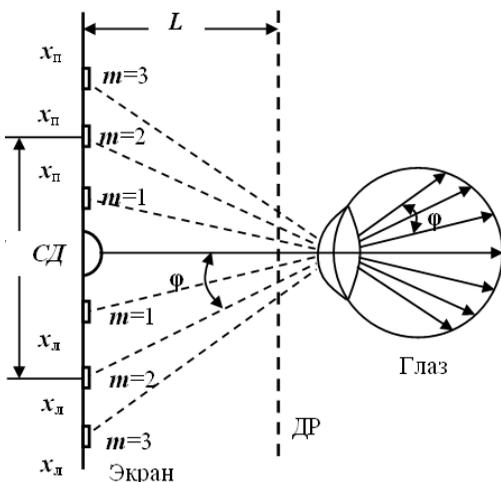


Рис. 9.3

Наблюдатель, глядя через ДР в сторону СД, видит дифракционную картину на экране, расположенном на уровне СД.

Определив угол дифракции φ , из условия максимума для ДР $d \cdot \sin \varphi = m\lambda$, где d – период решетки, m – порядок максимума, можно вычислить длину волны

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{m}. \quad (9.2)$$

Порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с используемыми приборами.
2. Соберите электрическую цепь (рис. 9.4), соблюдая полярность подаваемого на СД напряжения.

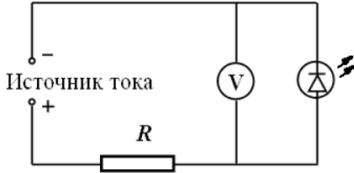


Рис. 9.4

3. Определите «напряжение зажигания» U_0 .

а) убедитесь в том, что при повышении напряжения, подаваемого на СД (вращением ручки выпрямителя), последний начинает светиться;

б) повторяя операцию, определите напряжение в момент зажигания

U_0 по показанию вольтметра. Измерения повторите не менее 7 раз. Результаты занесите в табл. 9.1. Вычислите среднее значение

Таблица 9.1

№	$U_{0,i}$	$\langle U_0 \rangle$
1		
...		
7		

4. Определите длину волны λ света, излучаемого СД.

а) подайте на СД напряжение примерно на 0,5 В больше напряжения U_0 . Глядя через ДР и перемещая ее, убедитесь в наличии на экране (см. рис. 9.3) дифракционных максимумов;

б) выбрав некоторое расстояние L между СД и ДР, определите координаты трех левых $x_{\text{л}}$ и трех правых $x_{\text{п}}$ видимых максимумов. Результаты занесите в табл. 9.2;

в) проделайте те же измерения при других значениях L (общее число «обследованных» максимумов разных порядков должно быть не менее 9);

Таблица 9.2

L , мм	m	x_1	x_2	$l = x_2 - x_1$	$\text{tg}\varphi$	φ	$\sin\varphi$	λ , нм
	1							
	2							
	3							
	1							
	2							
	3							
	1							
	2							
	3							
$d = \dots$ мм		$\langle \lambda \rangle = \dots$ нм				$\langle h \rangle = \dots$		

г) вычислите расстояния l_m между левым и правым максимумами одного порядка (m – порядок максимумов). По формуле $\text{tg}\varphi_m = l_m / (2L)$ (здесь φ_m – угол дифракции для m -го максимума) вычислите $\text{tg}\varphi_m$, а затем φ_m и $\sin\varphi_m$. Результаты занесите в табл. 9.2;

д) по надписи на решетке установите значение ее постоянной n (в количестве штрихов на мм), вычислите значение периода решетки $d = 1/n$. По данным, полученным для каждого порядка m спектра, с использованием формулы (9.2) вычислите длину волны λ лазера и среднее значение длины волны $\langle \lambda \rangle$.

5. По формуле (9.1) вычислите постоянную Планка:

$$\langle h \rangle = \frac{e \langle U_0 \rangle \langle \lambda \rangle}{c}.$$

Полученный результат сравните с табличным значением для h и вычислите относительное расхождение δ между $\langle h \rangle$ и $h_{\text{табл}}$.

Контрольные вопросы

1. Каков смысл выражения «квантовая природа света»? Что такое постоянная Планка?

2. Какие вещества называют полупроводниками? Полупроводники n -типа и p -типа.

3. Что такое n - p (p - n)-переход, его основное свойство?

4. Что такое светодиод? Механизм его действия как источника излучения.

5. Теоретические основы определения постоянной Планка в данной работе.

6. Что называется дифракцией света? Дифракционная решетка, период решетки.

7. В чем состоит условие максимума при дифракции на решетке?

8. Порядок выполнения работы с обсуждением результата.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Предельные погрешности некоторых приборов				Коэффициенты Стьюдента $t_{\alpha,n}$			
№ п/п	прибор	значение меры	$\Delta x_{пр}$	α	0,90	0,95	0,98
				n			
1	Линейка металлическая	150, 350,	0,1 мм	2	6,31	12,7	31,82
		500 мм		3	2,92	4,30	6,96
2	Линейка деревянная	200, 400,	0,5 мм	4	2,35	3,18	4,54
		500 мм		5	2,13	2,76	3,75
3	Линейка пластмассовая	200, 250,	1 мм	6	2,02	2,57	3,36
		300 мм		7	1,94	2,45	3,14
4	Штангенциркули с ценой деления: 0,1 мм 0,05 мм	0–155 мм 0–250 мм	0,1 мм 0,05 мм	8	1,89	2,36	3,00
				9	1,86	2,31	2,90
				10	1,83	2,26	2,82
				∞	1,65	1,96	2,34
5	Микрометры с ценой деления 0,01 мм	0–50 мм	4 мкм				

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Абсолютные показатели преломления некоторых веществ

Вещество	n	Вещество	n
Стекло	1,5–1,6	Вода	1,33
Алмаз	2,42	Глицерин	1,47
Кварц	1,46	Спирт	1,36
Лед	1,31		

Длины волн видимой области спектра

Спектральная область	Длины волн, мкм
Красная	760–640
Желтая	640–580
Зеленая	580–495
Голубая	495–440
Фиолетовая	440–400

Работа выхода электронов

Вещество	A , эВ	Вещество	A , эВ
Алюминий	4,20	Оксид бария	1,0–1,6
Вода	6,10	Оксид цезия	1,0–1,2
Натрий	2,28	Цезий	1,94
Калий	2,00	Цинк	4,25
Медь	4,36	Серебро	4,74
Вольфрам	4,50	Платина	5,30

Некоторые физические постоянные

Атомная единица массы	$1 \text{ а.е.м.} = 1,66053 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Заряд электрона	$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса покоя электрона	$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Масса покоя протона	$m_p = 1,6725 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя нейтрона	$m_n = 1,6747 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Постоянная Планка	$h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$
Скорость света в вакууме	$c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Постоянная Стефана – Больцмана	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Постоянная закона смещения Вина	$b = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м}\cdot\text{К}$
Постоянная Ридберга	$R = 1,10 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$

Учебное издание

ФИЗИКА. ОПТИКА

*Методические указания
к лабораторному практикуму*

Составители:

Баяндин Дмитрий Владиславович,
Беспрозванных Владимир Геннадьевич,
Вотинов Георгий Николаевич,
Зверев Олег Михайлович,
Перминов Анатолий Викторович,
Постников Валерий Сергеевич

Редактор и корректор *Е.И. Герман*

Подписано в печать 17.11.2020. Формат 60×90/16.
Усл. печ. л. 3,75. Тираж 100 экз. Заказ № 182/2020.

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета.
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.
Тел. (342) 219-80-33.