

НАВОЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

ЭНЕРГО МЕХАНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА «ОБЩАЯ ФИЗИКА»

ОПТИКА

***УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ФИЗИКЕ***



Навои – 2018 г

Методическое пособие разработано на основе рабочей программы учебной дисциплины Физика.

Данный учебно-методическое пособие состоит из 9 новых лабораторных работ от фирме «RHYWE» по курсу общей физики, включающие раздел по оптике.

Описание каждой лабораторной работы имеет краткое изложение теории физического явления, схему опыта, методические указания по выполнению работы и контрольные вопросы.

Необходимость теоретического введения к каждой работе основана на том, что студент выполняет лабораторную работу иногда раньше, чем соответствующий материал изложен в лекционном курсе.

Настоящий учебно-методическое пособие предназначен для студентов технических ВУЗов , изучающих курс общей физики всех форм обучения.

Составители:

доц. Урунов И.О.
Байчаев Ф. Х
Аллаберганова Г.М

Рецензенты:

Кафедра «Общей физики», НППИ,
доцент Э. Н. Худойбердиев

Зав. кафедрой «Электроэнергетика»,
НППИ, к. т. н А. Н. Товбаев

Учебно-методическое пособие утверждена «26» май 2018 г.
(Протокол № 5) на методического Совета Навоийского государственного горного института.

Предисловие

Лабораторные работы являются эффективным средством активизации и мотивации обучения физике, способствуют применению различных методов и приемов обучения для формирования у студентов системы прочных знаний, интеллектуальных и практических умений и навыков, помогают развитию мышления студентов, так как побуждают к выполнению умственных операций: анализу, синтезу, сравнению, обобщению и др.

Выполнение каждой лабораторной работы проводится по следующей схеме:

1. Внимательно изучить описание лабораторной работы в данном методическом указании, если есть необходимость изучить вопросы данной лабораторной работы в учебных пособиях, предложенных в конце методического указания.
2. Ознакомиться с приборами и принадлежностями, которые необходимы для проведения работы и приступить к сборке установки в соответствии с описанием.
3. Провести наблюдения и отсчеты. Все результаты измерений записать в таблицы, которые даны в конце каждой работы.
4. Обработать результаты измерений: вычислить измеряемую величину, дать оценку погрешности измерений.

Для отчета по лабораторной работе необходимо знать:

1. Цель и задачи данного исследования.
2. Метод, используемый в работе для определения той или иной исследуемой величины или какого-либо физического явления.
3. Порядок выполнения работы.
4. Теоретическую часть (определения, вывод формул, единицы измерения, физическое явление и его обоснование).

Студент должен помнить:

1. Все электрические схемы монтируют с помощью изолированных проводов, на концах которых крепятся соответствующие контактные скобки.
2. Контакты должны быть всюду плотными.
3. Перемещение проводов не допускается.
4. Сборка цепи ведется от источника тока, но подключается источник тока в последнюю очередь.
5. Реостаты, включенные в цепь, должны быть установлены на максимум сопротивления.
6. Потенциометры устанавливаются на нуль подаваемого в контур напряжения.
7. Все ключи сборки цепи должны быть разомкнуты.
8. Замыкать цепь только после
9. Ток замыкается только на время отсчета.
10. Переключение схем производится после отключения источника питания.

В конце занятия преподаватель ставит зачет, который складывается из результатов наблюдения за выполнением практической части работы, проверки отчета, ответов на контрольные вопросы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СТЕКЛА С ПОМОЩЬЮ МИКРОСКОПА

Цель работы: ознакомиться с принципом действия микроскопа и научиться определять показателя преломления стеклянной пластинки.

Приборы и принадлежности: измерительный микроскоп с микрометрическим винтом, микрометр, измеряемые стеклянные пластинки со штрихами на обеих поверхностях, осветитель.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Микроскоп — это оптический прибор, используемый для рассматривания деталей мелких объектов. Его главными частями являются две оптические системы: объектив и окуляр, а также вспомогательная система (осветитель). Ход лучей в оптической системе микроскопа показан на рис. 1.1, внешний вид схематически изображен на рис. 1.2, а на рис. 1.3 показано построение изображения в микроскопе.

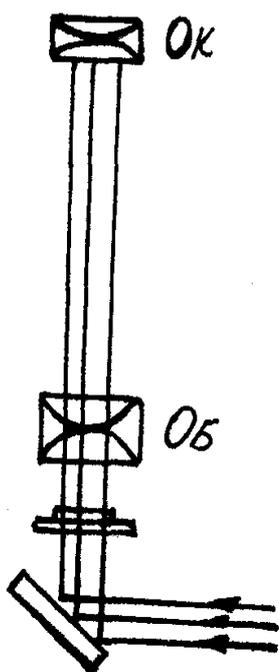
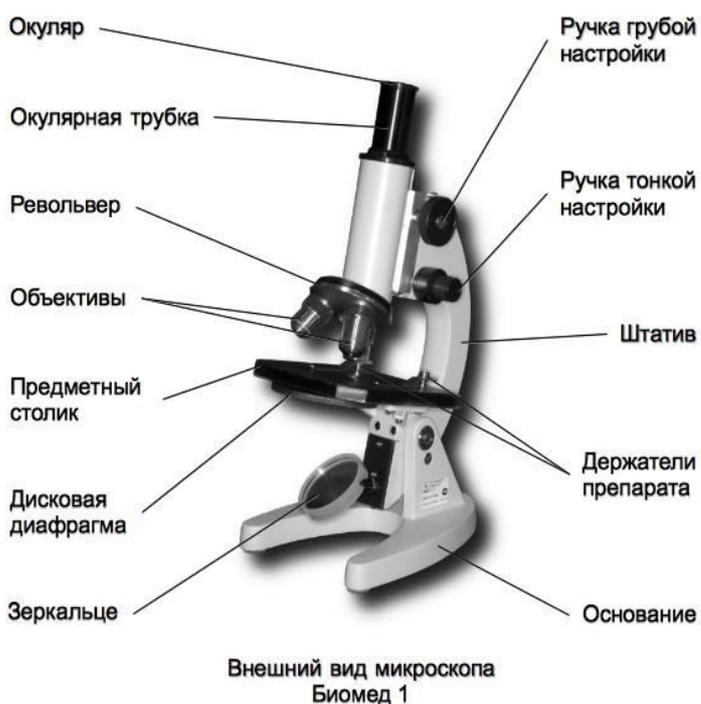


Рис. 1.1

Объектив микроскопа - короткофокусная линза, но в современных микроскопах он состоит из системы линз (иногда до 10 линз), которые скорректированы на хроматическую и сферическую абберации.

Хроматическая абберация — окрашивание фокуса линзы в цвета спектра при освещении её белыми лучами вследствие неодинаковой преломляемости лучей различной длины волны, падающих на линзу общим параллельным пучком.

Сферическая абберация - пересечение параллельных лучей, проходящих



Внешний вид микроскопа Биомед 1

Рис. 1.2

через край линзы, не в фокусе, а в точке, лежащей на оси к вершине линзы.

Изучаемый объект располагается вблизи переднего фокуса объектива между фокусом и двойным фокусом (см. рис. 1.3). В этом случае получается действительное, перевернутое, увеличенное изображение объекта. Это изображение рассматривается через окуляр, который также представляет систему линз, но работает как длиннофокусная собирающая линза. Причем, передний фокус окуляра обычно располагается вблизи заднего фокуса объектива.

Изображение, даваемое объективом, расположено между передним фокусом окуляра и окуляром. При этом получается прямое, увеличенное, но мнимое изображение, т. е. окуляр работает как лупа.

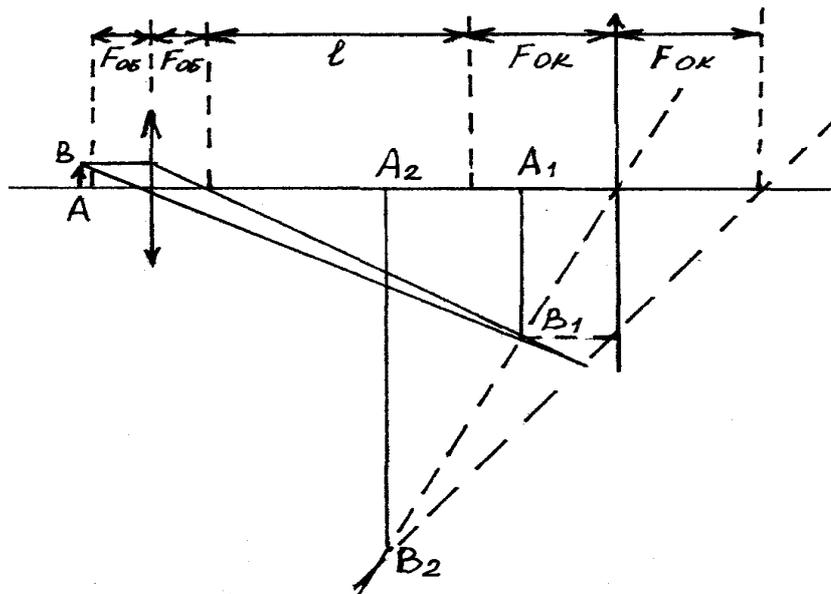


Рис. 1.3

Общее увеличение микроскопа рассчитывается по уравнению:

$$N = \frac{\Delta}{F_1} \cdot \frac{25}{F_2}, \quad (1.1)$$

где N — увеличение микроскопа,

Δ — расстояние между задним фокусом объектива и передним фокусом окуляра. Обычно оно равно длине трубы микроскопа, в один конец которой вставляется объектив, а в другой конец — окуляр,

25 — расстояние наилучшего зрения,

F_1, F_2 — фокусные расстояния объектива и окуляра соответственно.

(Все величины принято выражать в сантиметрах).

Так как в числителе стоят постоянные величины, то чтобы получить большое увеличение, необходимо брать линзы с меньшими фокусными расстояниями. В современных микроскопах применяют линзы $F_1 \approx 1$ мм, а $F_2 \approx 2$ см. Осветитель микроскопа в простейшем случае состоит из вогнутого зеркала, устанавливаемого наклонно таким образом, чтобы лучи источника света концентрировались на рассматриваемом объекте.

Методика эксперимента

Способ определения показателя преломления плоскопараллельной стеклянной пластинки (среды, ограниченной двумя плоскостями) основан на законе преломления света. Абсолютный показатель преломления какой-либо среды равен отношению синуса угла i падения светового луча в вакууме (или в воздухе) к синусу угла j преломления того же луча в среде, т.е.

$$n = \frac{\sin i}{\sin j} \quad (1.1)$$

Известно, что если смотреть на какой-либо предмет, находящийся на дне реки, то этот предмет кажется находящимся на более близком расстоянии от поверхности реки, чем это имеет место в действительности. Такое же явление “приближения” наблюдается у плоскопараллельной стеклянной пластинки, если смотреть через неё на предмет. Пользуясь законом преломления (1.1), легко определить связь между показателем преломления среды n и “приближением”, вызываемым преломлением света на плоской границе раздела двух сред.

В основе метода определения показателя преломления стеклянной пластинки n на микроскопе лежит явление кажущегося уменьшения толщины пластинки вследствие преломления световых лучей, проходящих в стекле при рассматривании пластинки перпендикулярно к ее поверхности. Построение изображения от светящейся точки O дано на рисунке 1.4

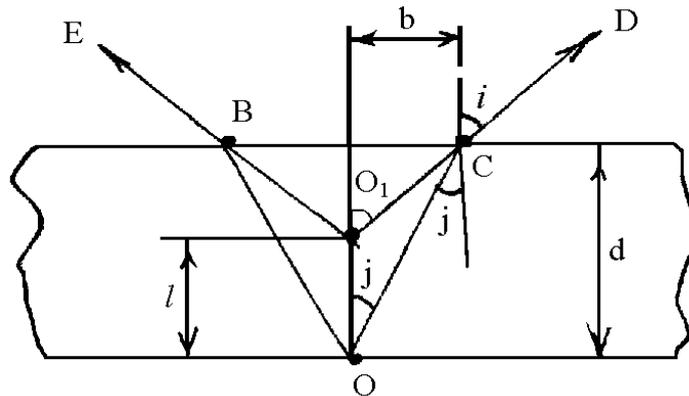


Рис. 1.4

Наблюдатель рассматривает точку O через пластинку толщиной d . Проведем из точки O два произвольных луча OB и OC . После преломления эти лучи пойдут по направлениям CD и BE . Наблюдая сверху, мы увидим изображение точки O на пересечении продолжения лучей DC BE , т.е. в точке O^1 . Таким образом, точка O покажется нам расположенной ближе на величину $OO^1 = l$. Найдем связь между n , d и толщиной кажущегося поднятия точки l . Из рисунка 1.4. находим:

$$\frac{d}{b} = \operatorname{ctg} i; \quad \frac{b}{d-l} = \operatorname{tg} i;$$

перемножив эти равенства, получим

$$\frac{d}{d-l} = \frac{\sin i}{\sin j} \cdot \frac{\cos j}{\cos i},$$

учитывая, что

$$\frac{\sin i}{\sin j} = \frac{n_2}{n_1} = n, \quad \text{а} \quad \cos j = \sqrt{1 - \sin^2 j} = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 i}{n^2}}; \quad \cos i = \sqrt{1 - \sin^2 i},$$

тогда:

$$\frac{d}{d-l} = \sqrt{\frac{n^2 - \sin^2 i}{1 - \sin^2 i}},$$

при $i \rightarrow 0$ $\frac{d}{d-l} \rightarrow n,$

т.е. при вертикальном наблюдении: $n = \frac{d}{d-l}. \quad (1.2)$

Порядок выполнения работы

Поместить испытуемую плоскопараллельную пластинку на предметный столик микроскопа и осветить светом электрической лампы.

1. При помощи микрометрического винта установить микроскоп на отчетливое видение верхней царапины. Если царапина не находится в поле зрения микроскопа, пластинку следует осторожно передвинуть. При этом необходимо помнить, что изображение в микроскопе обратное и передвижение пластинки вправо сместит изображение царапины влево, а перемещение пластинки вверх вызовет смещение ее изображения выше.
2. После установки микроскопа на видение верхней царапины, записать показание положения микрометрического винта m_1 .
3. Вращением микрометрического винта установить отчетливое видение нижней царапины и записать новое положение микрометрического винта m_2 . Для устранения ошибки, вызываемой мертвым ходом винта, следует делать наводку микроскопа на обе царапины, вращая винт в одном и том же направлении.
4. Искомое перемещение тубуса микроскопа будет равно $d - l = (N \cdot z + c \cdot m)$, где N – число полных оборотов барабана микроскопа;
 z – шаг винта, (шаг винта можно определить как произведение цены деления барабана на количество делений барабана);
 c – цена одного деления барабана; m – число делений в неполном обороте барабана.
5. Истинную толщину пластинки измерить микрометром. Измерения толщины пластинки произвести несколько раз (не менее четырех) в различных точках в пределах положения царапины в том месте пластинки, которое было под объективом микроскопа. Вычислить среднее значение

истинной толщины пластинки, абсолютную и относительную погрешности измерений.

6. Из полученных средних значений истинной и кажущейся толщины пластинки по формуле $n = \frac{d}{d-l}$ вычислить показатель преломления стекла.
7. Вычислить также абсолютную и относительную погрешности измерения. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 14.1.
8. Для получения среднего значения кажущейся толщины пластины и нахождения средних абсолютных и относительных погрешностей измерения произвести несколько раз (не менее 4).

Примерное расположение записи в таблице следующее:

№	d, мм	Отсчет микрометрического винта		d - l, мм	Показатель преломления <i>n</i>	Δn	ϵ
		N	m				
1							
2							
3							
Среднее значение	XXXX	XXXXXX					

Контрольные вопросы

1. Дайте определение абсолютного и относительного показателя преломления.
2. Объясните физический смысл показателя преломления из волновой теории света.
3. Выведите расчетную формулу для определения показателя преломления.
4. Начертите ход лучей в микроскопа и объясните схему его устройства.
5. Какие вам известны способы (другие) определения преломления?
6. На чем основан данный метод определения показателя преломления.
7. Выведите формулу для определения средней относительной ошибки, приведенную в работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СТЕКЛА ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Цель работы: изучить явление интерференции света в стеклянной плоскопараллельной пластинке, определить показатель преломления стекла.

Приборы и принадлежности: лазер, оптическая скамья, плоскопараллельная стеклянная пластина, экран с линзой, штангенциркуль, рейтеры, линейка.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Пусть в данную точку пространства O (рис.1) приходят две световые волны, которые описываются уравнениями:

$$E_1 \cos(\omega t + \alpha_1) \qquad E_2 \cos(\omega t + \alpha_2)$$

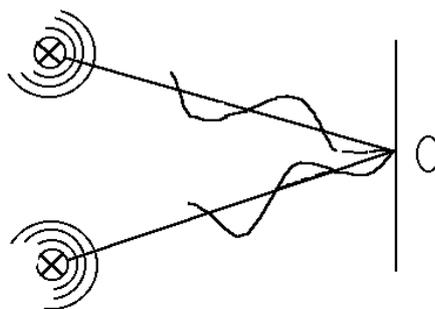


Рис.1

Согласно принципу суперпозиции при наложении этих волн в точке O возникает результирующая световая волна $E \cos(\omega t + \alpha)$ с той же частотой. Как известно из теории колебаний, амплитуда результирующей волны определяется из соотношения

$$E^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos(\alpha_2 - \alpha_1)$$

Учитывая, что интенсивность света, создаваемая световой волной, пропорциональна квадрату ее амплитуды ($I \sim E^2$), можно определить интенсивность света в точке O при наложении двух волн:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 \cdot I_2}(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$$

Будем называть когерентными такие монохроматические волны, у которых разность фаз $(\alpha_2 - \alpha_1)$ постоянна во времени. Из предыдущей формулы видно, что при наложении двух когерентных волн интенсивность света в точке O не меняется со временем и зависит от разности фаз $(\alpha_2 - \alpha_1)$. Если накладываемые волны некогерентны, разность фаз $(\alpha_2 - \alpha_1)$ меняется хаотично и $\cos(\alpha_2 - \alpha_1)$ равновероятно принимает любые значения в интервале от -1 до $+1$. В этом случае среднее значение $\cos(\alpha_2 - \alpha_1) = 0$ и при наложении таких некогерентных волн интенсивность света в точке наблюдения O всегда равна $I = I_1 + I_2$, т.е. сумме интенсивностей, создаваемых каждой волной в

отдельности. При наложении двух когерентных волн в тех точках пространства, где $\cos(\alpha_2 - \alpha_1) < 0$ интенсивность волн $I < I_1 + I_2$, где $\cos(\alpha_2 - \alpha_1) > 0$

интенсивность волн $I > I_1 + I_2$.

В результате наложения двух когерентных волн возникает перераспределение в пространстве светового потока с образованием *max* и *min* интенсивности. Это явление называется интерференцией световых волн. Наиболее отчетливо интерференция проявляется, когда амплитуды обеих волн одинаковы $E_1 = E_2$. В этом случае интенсивности, создаваемые волнами, также одинаковы $I_1 = I_2 = I'$. Выражение для интенсивности результирующей световой волны в точке наблюдения O примет вид:

$$I = 2I' + 2I' \cos(\alpha_2 - \alpha_1)$$

Если в некоторых точках пространства разность фаз $(\alpha_2 - \alpha_1) = \pm 2\pi \cdot k$, $k = 0, 1, 2, \dots$, то $\cos(\alpha_2 - \alpha_1) = 1$ и в этих точках пространства будет наблюдаться максимум интенсивности $I = I_{\max} = 4I'$. Если же разность $(\alpha_2 - \alpha_1) = \pm(2k + 1)\pi$, $k = 0, 1, 2, \dots$, то $\cos(\alpha_2 - \alpha_1) = -1$ и при наложении таких когерентных волн получится минимум интенсивности $I = I_{\min} = 0$.

Наблюдать интерференцию не так просто. Если включить два независимых источника, световые волны от них будут накладываться, но никакой интерференции наблюдаться не будет. Дело в том, в излучении любого тела участвуют миллиарды и миллиарды атомов. Излучение каждого атома длится 10^{-8} с, после чего он "отдыхает". За это время излучения атом испускает "обрывок" электромагнитной волны длиной ~ 3 м (цуг волн). Одни атомы "вспыхивают", другие - "гаснут", и фазы отдельных цугов, излучаемых разными атомами, никак не связаны между собой. Результирующая световая волна, излучаемая источником, - это результат наложения цугов волн, излучаемых многими атомами. Именно поэтому фаза световой волны естественного источника света меняется хаотично. При наложении двух таких волн разность фаз их также будет быстро и хаотично меняться во времени, и результирующая интенсивность будет в любой точке равна сумме интенсивностей $I = I_1 + I_2$, создаваемых каждой волной в отдельности. Интерференции не будет.

Когерентные световые волны можно получить, разделив с помощью отражения или преломления световую волну, излучаемую одним источником, на две части. Если заставить эти волны пройти разные пути, а затем наложить их друг на друга, можно наблюдать интерференцию. Разность путей, проходимых волнами, не должна превышать размер цуга, чтобы складывающиеся колебания принадлежали одним и тем же излучающим атомам. На этом основаны методы получения интерференции с помощью зеркал Френеля, бипризмы Френеля, щелей Юнга.

Формулы, описывающие интерференционные максимумы $(\alpha_2 - \alpha_1) = \pm 2\pi \cdot k$ и минимумы $(\alpha_2 - \alpha_1) = \pm(2k + 1)\pi$, редко используются для решения практических задач. Выведем эквивалентные им соотношения для наиболее общего случая. Пусть точечный источник света находится в точке

О на границе раздела 2-х сред с показателями преломления n_1 и n_2 . От источника получили две когерентные волны, которые распространяются по разным геометрическим путем S_1 и S_2 и затем сходятся в точке P (рис.2).

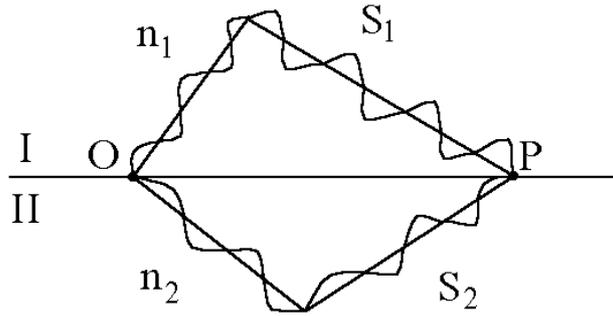


Рис.2

Если в точке O световую волну можно записать в виде $E \cos \omega t$, то уравнение световой волны, пришедшей в точку P от первого луча, будет иметь вид:

$$E_1 \cos \omega \left(t - \frac{S_1}{v_1} \right) = E_1 \cos \omega \left(t - \frac{S_1 \cdot n_1}{c} \right),$$

где v_1 - скорость света в среде; c - скорость света в вакууме.

Уравнение световой волны, пришедшей в точку P от второго луча, запишем аналогично:

$$E_2 \cos \omega \left(t - \frac{S_2 \cdot n_2}{c} \right)$$

Разность фаз между этими двумя когерентными волнами будет равна:

$$\delta = \omega \left(\frac{S_1 \cdot n_1}{c} - \frac{S_2 \cdot n_2}{c} \right) = \frac{2\pi\nu}{c} (S_2 n_2 - S_1 n_1) = \frac{2\pi}{\lambda_0} (S_2 n_2 - S_1 n_1) = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta,$$

где $S_2 n_2 - S_1 n_1 = \Delta$ - оптическая разность хода; $S_2 n_2, S_1 n_1$ - оптические длины путей, λ_0 - длина световой волны в вакууме.

Если разность хода между двумя когерентными лучами $\Delta = \pm k \lambda_0$ ($k = 0, 1, 2, \dots$), то разность фаз между соответствующими волнами будет кратна 2π , $\delta = \pm 2\pi \cdot k$ (условие интерференционного максимума). Значит и предыдущее условие также характеризует интерференционный максимум. Аналогично, условие $\Delta = \pm (2k + 1) \frac{\lambda_0}{2}$ ($k=0, 1, 2, 3, \dots$) является условием интерференционного минимума, т.к. разность фаз при наложении двух таких волн будет кратна нечетному числу π , $\delta = \pm (2k + 1)\pi$, что дает "ослабление" света в результирующей волне. Таким образом, явление интерференции можно описывать или через разность фаз световых волн, или через оптическую разность хода лучей. Эти два способа совершенно равнозначны, т.к. Δ и δ взаимосвязаны формулой $\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta$.

Интерференцию света можно получить при отражении его от тонких пленок. Если луч света падает на плоскопараллельную пластину с

показателем преломления n и толщиной b , он разделяется на два луча (рис.3).

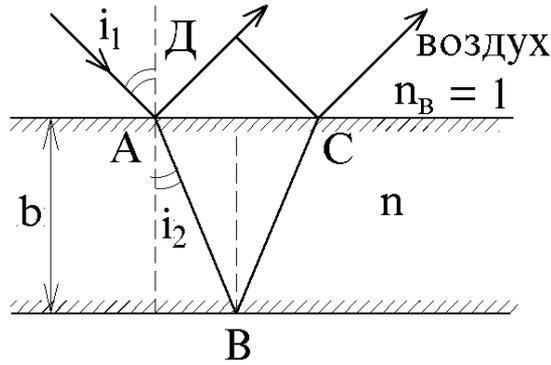


Рис.3

Лучи 1 и 2, отраженные от обеих поверхностей пластины, когерентны и поэтому при наложении интерферируют. Начиная от точек D и C между лучами 1 и 2 не возникает дополнительной разности хода. Разность хода возникает, когда они, начиная от точки A , идут по разным путям в разных средах. Считая, что верхняя среда - воздух, разность хода между лучами 1 и 2 можно записать: $\Delta' = (AB + BC)n - AD$

После несложных преобразований ее можно представить в виде

$$\Delta' = 2bn \cos i_2$$

Однако Δ' не является полной оптической разностью хода между лучами 1 и 2. Решение уравнений Максвелла для световых волн, а также опыт показывают, что при отражении света от оптически более плотной среды по сравнению со средой, в которой он распространяется, фаза световой волны скачкообразно меняется на π . При этом между лучами 1 и 2 возникает дополнительная разность хода, которую можно учесть, прибавив или вычтя из $\Delta' \frac{\lambda_0}{2}$, где λ_0 - длина световой волны в вакууме. Поэтому полная оптическая разность хода выражается формулой:

$$\Delta = 2bn \cos i_2 \pm \frac{\lambda_0}{2}$$

Если разность хода Δ равна целому числу длин волн,

$$2bn \cos i_2 - \frac{\lambda_0}{2} = k\lambda_0, \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

то при наложении соответствующих волн будет наблюдаться интерференционный максимум. Формулу для максимума удобно записать в виде:

$$2bn \cos i_2 (2k + 1) \frac{\lambda_0}{2}, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Минимум интенсивности будет наблюдаться, если оптическая разность хода между лучами равна нечетному числу полуволен:

$$2bn \cos i_2 + \frac{\lambda_0}{2} = (2k + 1) \frac{\lambda_0}{2}$$

или

$$2bn \cos i_2 = k\lambda,$$

$$k = 0, 1, 2, \dots$$

Интерференцию можно наблюдать и в проходящем свете (рис.4), если собрать на экране с помощью линзы лучи 1' и 2', прошедшие через пластину.

При отражении обеих лучей от оптически менее плотной, чем сама пластина, среды не происходит скачкообразного изменения фазы на π . Поэтому условия для интерференционных максимумов и минимумов для проходящего света поменяются местами по сравнению с соответствующими условиями для отраженного света.

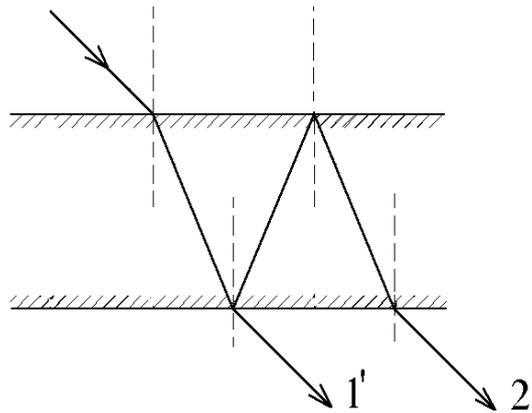


Рис.4

Если освещать пластинку рассеянным монохроматическим светом и собрать с помощью линзы интерферирующие лучи, в ее фокальной плоскости на экране возникает интерференционная картина в виде чередующихся concentric светлых и темных колец. Каждое кольцо соответствует определенному углу падения лучей на пластину. Поэтому интерференционные полосы, образующиеся при освещении тонких плоскопараллельных пластин, называются полосами равного наклона. При освещении пластины обычным, белым светом полосы оказываются окрашенными.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

В данной лабораторной работе в качестве источника света используется газовый лазер. Его излучение характеризуется рядом замечательных свойств, главными из которых являются высокая степень когерентности и монохроматичности, малая угловая расходимость. Схема установки, на которой выполняется работа, показана на рис.5.

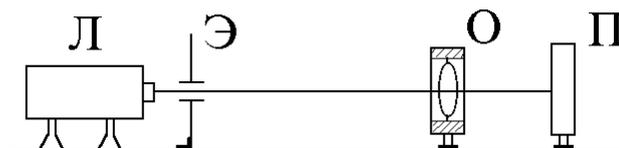


Рис.5

Л - лазер, Э - экран с отверстием, О - объектив (короткофокусная линза) в оправе, П - плоскопараллельная пластинка. Элементы установки расположены на оптической скамье и снабжены юстировочными винтами,

что позволяет установить их по высоте, а также изменять вертикальный наклон.

Обращаем внимание на то, что попадание в глаза прямого лазерного пучка опасно для зрения !

При работе с лазером его излучение можно наблюдать только после отражения от рассеивающих поверхностей.

ЗАДАНИЕ

Изучение интерференции света при отражении от толстой стеклянной пластины

Высокая степень когерентности лазерного излучения позволяет наблюдать интерференцию световых волн при очень большой оптической разности хода. При выполнении этого задания толстую плоскопараллельную стеклянную пластину Π освещают расходящимся световым пучком, который получают с помощью микроскопического объектива O (рис.6).

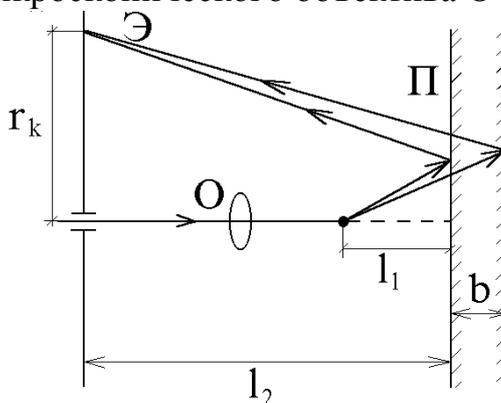


Рис.6

Когерентные световые волны, излучаемые лазером, отражаясь от передней и задней поверхностей пластины, интерферируют при наложении и дают на экране \mathcal{E} интерференционную картину в виде концентрических светлых и темных колец. На рис.6 показан ход лучей при отражении от пластины. Здесь r_k - радиус темного кольца на экране, соответствующего k - му порядку интерференции, l_1 -расстояние от точки фокуса линзы до передней поверхности пластины, l_2 - расстояние между пластиной и экраном, b - толщина пластины. В условиях данного опыта r_k и $b \ll (l_1 + l_2)$. Расчет показывает, что для этого случая справедливо соотношение:

$$\frac{r_k^2}{(l_1 + l_2)} = 2n^2 - \left(\frac{\lambda_0 n}{b} \right) k$$

где k - порядок интерференции, n - показатель преломления, λ_0 - длина световой волны.

Из этой формулы видно, что r_k^2 линейно зависит от порядка интерференции. Это означает, что r_k^2 линейно зависит и от номеров колец N , наблюдаемых на экране. Поэтому, если построить график зависимости

$\frac{r_k^2}{(l_1 + l_2)^2}$ от N , то тангенс угла наклона этого графика даст возможность определить коэффициент при k в предыдущем равенстве, а значит и показатель преломления n :

$$\frac{\lambda_0 n}{b} = \frac{1}{(l_1 + l_2)} \cdot \frac{\Delta(r_N^2)}{\Delta N}$$

откуда

$$n = \frac{\Delta r_N^2}{\Delta N} \cdot \frac{b}{\lambda_0 (l_1 + l_2)^2}$$

На этом основан графический метод определения показателя преломления стеклянной пластины, используемой в задании.

ПОДГОТОВКА УСТАНОВКИ.

Установить пластину Π на расстоянии $l_2 = 1250$ мм от экрана \mathcal{E} . Включить лазер (с помощью лаборанта или преподавателя). С помощью юстировочных винтов установить пластину так, чтобы отраженный от нее пучок падал в центр отверстия экрана \mathcal{E} . Установить объектив O на расстояние $l_1 = 100$ мм от пластины Π (расстояние l_1 измеряется между пластиной и плоскостью оправы объектива, с которой совмещена точка его фокуса). С помощью юстировочных винтов установить объектив так, чтобы луч лазера проходил через его центр, а луч, отраженный от его плоской поверхности, попадал в центр отверстия на экране. После этого на экране должны появиться интерференционные кольца. Их центр должен совпадать с центром отверстия на экране. В случае необходимости произвести дополнительную юстировку стеклянной пластины и объектива.

ИЗМЕРЕНИЯ.

Укрепить на экране лист бумаги с отверстием, сделанным в его центре, чтобы луч лазера мог свободно проходить сквозь отверстие в экране. Отметить на листе карандашом диаметрально противоположные точки, соответствующие пяти соседним темным интерференционным кольцам, начиная с кольца самого меньшего диаметра. После этого измерить диаметры этих колец и найти их радиусы r_N . Номера $N = 1, 2, 3$ и т.д. приписывают кольцам в порядке возрастания их радиусов (номер $N = 1$ приписывают первому темному кольцу, которое полностью видно вблизи отверстия экрана). Результаты измерений и вычислений заносятся в лабораторный журнал.

ВЫЧИСЛЕНИЯ.

1. Определить квадраты радиусов колец r_N^2 .
2. Построить график зависимости r_N^2 от номера кольца N . График должен иметь вид прямой. Масштабы нужно выбрать так, чтобы эта прямая составляла с осями угол, близкий к 45° . Размер графика должен быть не менее 15×15 см.

3. Из наклона прямой вычислить отношение r_N^2/N и в соответствии с полученной выше формулой найти показатель преломления. При подстановке числовых значений в эту формулу учесть, что длина волны света, излучаемого лазером $\lambda_0 = 632 \cdot 10^{-9}$ м, а толщину пластины узнать у преподавателя.

4. Оценить максимальный порядок интерференции, который, как следует из формулы, связывающей r_N^2 и k , определяется соотношением:

$$k_{\max} = \frac{2bn}{\lambda_0}.$$

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчет требуется включить оптическую схему установки для наблюдения интерференционных колец равного наклона, а также схему хода лучей при отражении от пластины. Отчет должен содержать расчетные формулы, таблицу с результатами измерений, расчет показателя преломления и максимального порядка интерференции.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как математически описывается световая волна?
2. Как связаны интенсивность света и амплитуда световой волны?
3. Какие световые волны называются когерентными?
4. В чем заключается явление интерференции света?
5. Какому условию должна удовлетворять разность фаз световых волн, чтобы при их наложении наблюдался *max* (или *min*) интенсивности в точке наблюдения на экране?
6. Будет ли наблюдаться интерференционная картина от двух независимых источников света и почему?
7. Что такое оптическая разность хода между лучами и как она связана с разностью фаз соответствующих световых волн?
8. Какому условию должна удовлетворять оптическая разность хода между лучами, чтобы при их наложении наблюдался *max* (или *min*) интенсивности в точке наблюдения на экране?
9. Как возникает интерференция света при освещении плоскопараллельной пластинки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ В ОПЫТЕ С БИПРИЗМОЙ ФРЕНЕЛЯ

Цель: изучение явления интерференции света и определение длины волны света от источника.

Оборудование: гелий-неоновый лазер – источник оптического когерентного излучения; бипризма Френеля; столик с держателем для бипризмы; линзы в оправе ($f = +20$ мм и $f = +300$ мм); держатели; оптическая скамья, $l = 1,0$ м; измерительная рулетка длиной 2 м.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Явление *интерференции* света заключается в пространственном перераспределении светового потока при наложении двух или нескольких световых волн, в результате чего в одних местах возникают максимумы, а в других - минимумы интенсивности света. Наблюдение интерференции возможно лишь в том случае, когда складываемые световые волны *когерентны*, с одинаковыми частотами и имеют постоянную во времени разность фаз.

Излучение обычных (не лазерных) источников света является некогерентным. Однако можно осуществить различные схемы, в которых когерентные волны создаются путем деления световой волны, исходящей из одного источника, на две части и последующего наложения их в определенной области пространства. В области перекрытия этих волн - зоне интерференции - возникает устойчивая интерференционная картина. При этом разделенные волны можно рассматривать исходящими из двух мнимых когерентных источников, на чем и основывается расчет интерференции.

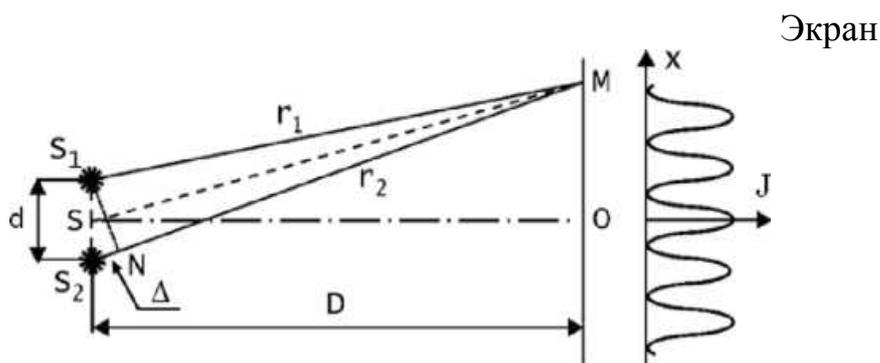


Рис. 4.1. Схема интерференции от двух когерентных источников

Пусть имеются два когерентных источника - узкие параллельные щели S_1 и S_2 , расстояние между которыми равно d . Оба источника излучают монохроматический свет одинаковой длины волны λ . На расстоянии D от источников параллельно щелям поставлен экран (рис.4. 1), на котором

наблюдается картина интерференции чередующиеся светлые и темные параллельные полосы. В правой части рис. 1 изображено распределение интенсивности света J на экране вдоль оси x .

Интенсивность в произвольной точке экрана M определяется *оптической разностью хода* Δ ; если обе волны распространяются в одинаковой среде, то оптическая разность хода равна геометрической

$$\Delta = r_2 - r_1.$$

Максимум интенсивности света наблюдается в тех точках экрана, для которых разность хода лучей, пришедших от источников S_1 и S_2 , равна целому числу длин волн. В этом случае колебания приходят в данную точку в одной фазе и, следовательно, максимально усиливают друг друга. *Условие интерференционного максимума* записывается в виде

$$\Delta = \pm m \lambda, \quad (1)$$

где m - целое число (*порядок* максимума интерференции), которое принимает значения $m = 0, 1, 2, \dots$.

Минимум интенсивности света наблюдается в тех точках экрана, для которых разность хода лучей, пришедших от источников S_1 и S_2 , равна нечетному числу длин полуволн. В этом случае колебания приходят в данную точку в противофазе и, следовательно, максимально ослабляют друг друга. *Условие интерференционного минимума* записывается в виде

$$\Delta = \pm (2m + 1) \lambda / 2 \quad (2)$$

где $m = 0, 1, 2, \dots$.

Лучи, приходящие в точку экрана с координатой $x = 0$, имеют разность хода $\Delta = 0$, что соответствует условию максимума с $m = 0$. Этот максимум называется центральным.

Координату x точки M , которой соответствует максимум (минимум) интенсивности света, найдем из подобия треугольников S_1S_2N и SMO (рис. 1). При условии $D \gg d$ можно приближенно считать

$$x = \frac{D\Delta}{d} \lambda$$

Подставляя в это выражение условие максимума (минимума) интерференции, получаем координаты максимумов (минимумов) на экране:

$$x_{max} = \pm \frac{D}{d} m \lambda \quad x_{min} = \frac{D}{d} (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

Найдем на основании формул (3) расстояние между соседними максимумами (расстояние между соседними минимумами) на экране, т.е. *ширину интерференционной полосы*:

$$\Delta x = x_{m+1} - x_m = \frac{D}{d} \lambda \quad (4)$$

Методика эксперимента

В данной работе изучается явление интерференции света методом деления волнового фронта с помощью бипризмы Френеля. Бипризма Френеля представляет собой двойную призму с весьма малыми величинами преломляющих углов θ . При таких преломляющих углах луч после прохождения призмы отклоняется на угол ϕ , который не зависит от угла падения, если он мал, но зависит от величины преломляющего угла θ и показателя преломления материала призмы.

Схему прохождения лучей через призму иллюстрирует рис. 4.1. Рассмотрим точечный источник S . Если лучи, прошедшие через призму, продолжить назад до пересечения между собой, то получим изображение S' точечного источника S . Поскольку пересекаются не сами лучи, а их продолжения, то такое изображение источника будет мнимым.

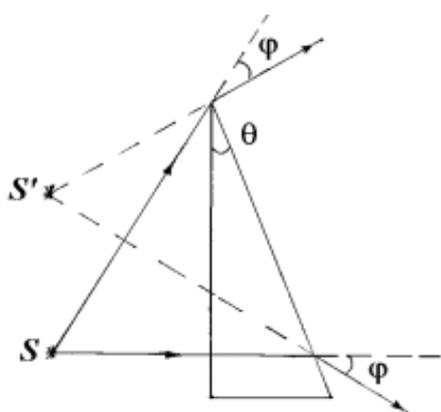


Рис. 4.1

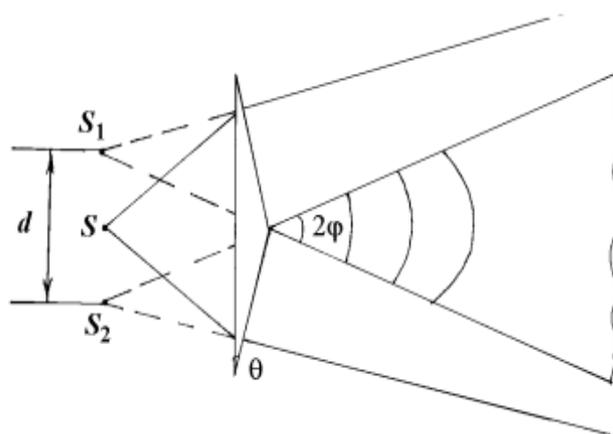


Рис. 4.2

Таким образом, после прохождения призмы световая волна распространяется так, как если бы ее источник помещался в точке S' , а призма отсутствовала.

Если теперь склеить две одинаковые призмы по узким граням, то получится бипризма Френеля. Такая призма сформирует два точечных источника (рис. 4.2). При малых преломляющих углах источник S и оба его мнимых изображения S_1 и S_2 лежат практически в одной плоскости. Таким образом, после прохождения призмы формируются две такие же волны, как если бы их источники располагались в точках S_1 и S_2 . Принципиально важным для наблюдения интерференции является когерентность рассматриваемых волн. Это связано с тем, что испускаются они одним и тем же источником S .

Область перекрытия двух волн образует зону интерференции, угловая ширина которой равна 2ϕ . Если в зоне интерференции за бипризмой установить на соответствующем расстоянии l от источника экран, то на нем будет наблюдаться система чередующихся интерференционных полос. Для увеличения четкости интерференционной картины используют источники света с большой степенью монохроматичности. По этой причине в настоящей работе источником света служит гелий-неоновый лазер, излучающий в очень узком спектральном диапазоне.

Ширина одной полосы определяется известной формулой:

$$x = \lambda l / d, \quad (4.1)$$

где λ – длина световой волны, испускаемой источником; d – расстояние между мнимыми источниками S_1 и S_2 . Величины x и l , входящие в формулу (4.1), могут быть измерены непосредственно, в то время как расстояние d непосредственно измерить нельзя.

Для того чтобы определить расстояние между мнимыми источниками, поместим между бипризмой и экраном Э собирающую линзу Л с известным фокусным расстоянием $f = f_d$ (рис. 4.3). Подберем ее положение так, чтобы на экране, удаленном на расстоянии b , возникли четкие изображения источников S_1^* и S_2^* .

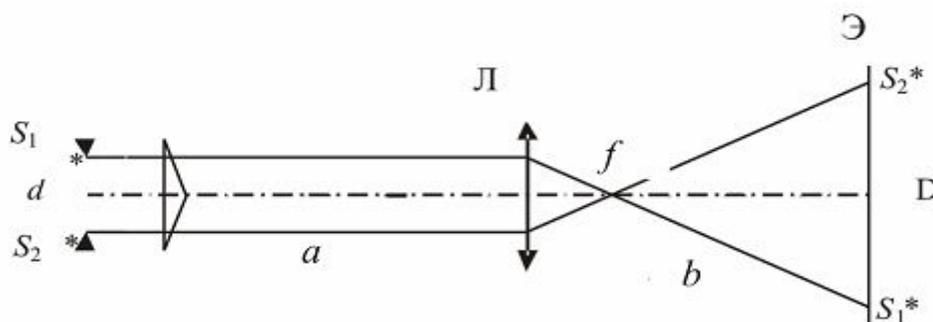


Рис. 4.3

Измерив, расстояние D между действительными изображениями S_1^* и S_2^* , можно вычислить расстояние d , воспользовавшись подобием треугольников

$$\frac{D}{d} = \frac{b-f}{f} \quad (4.2)$$

Получим
$$d = \frac{Df}{b-f} \quad (4.3)$$

Подставив (4.3) в (4.1), получим расчетную формулу для длины волны источника света:

$$\lambda = \frac{\Delta x d}{l} = \frac{\Delta x D f}{l(b-f)} \quad (4.4)$$

- Таким образом, измерив:
- а) ширину интерференционной полосы Δx ;
 - б) расстояние D между изображениями мнимых источников;
 - в) расстояние b от линзы до экрана;
 - г) расстояние $l = a + b$ от источника до экрана,

можно по формуле (4.4) определить длину волны λ источника света при известном фокусном расстоянии f линзы Л.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Фотография установки приведена на рис. 4.4.



Рис. 4.4

Все элементы экспериментальной установки смонтированы на рейтерах, устанавливаемых в держатели, закрепляемые на оптической скамье 1. Как уже отмечалось, в качестве источника оптического излучения в работе используется гелий-неоновый лазер 2 ($\lambda=632,8$ нм), дающий слабо расходящийся, практически монохроматический луч. В средней части сечения луча излучение можно считать близким к плоской монохроматической волне. Излучение лазера падает на собирающую короткофокусную линзу 3 ($f_k = +20$ мм). После прохождения этой линзы параллельные лучи собираются в одной точке – фокусе за линзой, а затем расходятся. Этим в данной работе достигается моделирование точечного источника. За линзой 3 располагается бипризма Френеля 4 на столике 5 с держателем для бипризмы. Экраном служит белый лист бумаги, укрепленный на стене на расстоянии нескольких метров от установки (на рисунке не показан). Кроме того, установка укомплектована дополнительной длиннофокусной линзой 6 ($f_d = 300$ мм), предназначенной для косвенного измерения расстояния d между мнимыми источниками S_1 и S_2 , снимаемой с оптической скамьи во время измерения ширины интерференционной полосы. Эта дополнительная линза 6 устанавливается для производства измерений D и b , по которым определяется d (см. формулу (4.4)). Лазер снабжен выключателем, замыкаемым с помощью ключа, для предотвращения несанкционированного включения. Для измерения расстояния от линзы 6 до экрана используется рулетка 7.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

При работе с источниками когерентного излучения (лазерами), даже малой интенсивности, требуется неукоснительно соблюдать меры безопасности, исключающие поражение органов зрения. Связано это, прежде всего, с тем, что когерентное излучение может быть достаточно точно сфокусировано в малой области, размеры которой определяются дифракционными эффектами и могут иметь размер порядка длины волны. При попадании луча лазера в глаз может сложиться именно такая ситуация, когда хрусталик глаза сфокусирует луч в малой области на сетчатке. В этом случае когерентное излучение даже маломощного лазера может создать интенсивности, вполне достаточные для разрушения тканей

глаза. Поэтому категорически запрещается «заглядывать» в луч лазера, а также вносить в него блестящие или какие-либо зеркально отражающие свет предметы. Даже многократно отраженное излучение лазера не теряет свойства когерентности и представляет опасность для глаз.

Установка (в данной работе корпус лазера), питаемая от сети, должна быть заземлена, для исключения опасности поражения электрическим током при нарушении электропрочности изоляции.

Порядок выполнения работы:

Определение длины волны света

1. Произведите наладку установки. Закрепите на оптической скамье 1 лазер 2, линзу 3 и бипризму 4, если они не были установлены заранее. Ключом включите лазер. По нижнему краю оптической скамьи проложена измерительная лента длиной 1 м, а на держателях элементов оптической схемы сделаны вертикальные риски, что позволяет устанавливать элементы схемы на определенных расстояниях между собой и от края скамьи. Закрепите лазер на расстоянии 2 см, линзу 3– 23,3 см, бипризму – 45 см от края скамьи. С помощью крепежных винтов на рейтерах оптических элементов отцентрируйте лазер, линзу и бипризму по высоте так, чтобы луч лазера попадал на бипризму. Перемещая бипризму, укрепленную с помощью держателя на столике, добейтесь того, чтобы луч лазера попадал в центральную часть угла бипризмы.

Будьте осторожны! Бипризма легко перемещается по столику. Не уроните ее! Линзу можно брать только за торцы, а не за отшлифованную часть, чтобы не оставить на ней отпечатки пальцев.

В результате тщательного выполнения предварительной настройки установки на экране должна появиться интерференционная картина в виде примерно полутора десятков интерференционных полос.

Внимание! В случае если установка отъюстирована и готова к измерениям, этот пункт задания выполнять не надо.

2. С помощью линейки измерьте расстояние Δl между $m = 5$ полосами в центральной части интерференционной картины.

Повторите еще дважды эти измерения, работая с разными минимумами интерференционной картины.

Выберите другое число полос $m = 7$ и проделайте описанные выше измерения.

Данные измерений занесите в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Число полос m	$m_1 = 5$			$m_2 = 7$		
	Δl_i , мм					
$\Delta x_i = \Delta l_i / m$, мм						

3. Поставьте на оптическую скамью дополнительную линзу b ($f_d = 300$ мм) и, перемещая ее по оптической скамье, получите на экране изображение двух мнимых точечных источников. Измерьте расстояние D между ними три раза.

4. С помощью рулетки 7 измерьте расстояние b от экрана до линзы b и расстояние L от экрана до линзы 3 . Расстояние $l = a + b$ от источников S_1 и S_2 до их изображений на экране находится как $L - f$, где $f = f_k = 20$ мм – фокусное расстояние линзы 3 .

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Для каждого измерений рассчитать ширину интерференционной полосы Δx и записать результаты в таблицу.
2. Для каждого из пяти измерений рассчитать расстояние между изображениями мнимых источников света d по формуле (4.3) и записать результаты в таблицу.
3. Рассчитать для каждого из пяти измерений длину волны λ по формуле (4.4) и записать результаты в таблицу.
4. Рассчитать среднее значение длины волны $\langle \lambda \rangle$, доверительный интервал $\Delta \lambda$ и относительную погрешность ε (см. приложение 1).

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

Полученное значение длины волны λ сравните с ее паспортным значением для гелий-неонового лазера: $\lambda = 632,8$ нм. Попадает или нет это значение в доверительный интервал $\lambda \pm \Delta \lambda$?

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему бипризму делаются очень малым преломляющим углом?
2. Что произойдет с интерференционной картиной, если одну половину бипризмы перекрыть тонкой прозрачной пластинкой (толщиной порядка нескольких длин волн)?
3. Что может определять максимальное число полос наблюдаемой интерференционной картины?
4. Получить формулу (4.1), предполагая малыми величины преломляющего угла призмы и угла падения луча.
5. По каким причинам в опыте с бипризмой Френеля следует направлять луч лазера в центральную часть угла бипризмы?
6. Из каких соображений записывается формула (4.2)?
7. Вывести формулу (4.4) для ширины интерференционной полосы.
8. Почему в качестве источника в работе используется лазер?
9. Зачем нужна короткофокусная линза 3 ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ ЖИДКОСТИ.

Цель работы: Изучения законов поглощения света.

Приборы и принадлежности: Люксметр, осветитель, цилиндрический сосуд с прозрачным дном. Исследуемая жидкость.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

Свет, проходя через какую – либо среду, частично в ней поглощается. Поглощение света связано с преобразованием в веществах энергии электромагнитного излучения в другие виды энергии. С точки зрения электронной теории, взаимодействие света и вещества сводится к взаимодействию электромагнитного поля световой волны с атомами вещества. Электроны, входящие в состав атома, под действием проходящей световой волны, совершают вынужденные колебания. Поглощенная при этом энергия переходит частично в теплоту, частично возвращается обратно в виде вторичного излучения направленного во все стороны.

Оба эти процесса, если рассматривать плоскую волну, будут по мере проникновения волны в вещество вызывать ее ослабление. Первый процесс представляет собой «истинное» поглощение, т.к. связан с переходом лучистой энергии в другие виды. Второй процесс фактически не вызывает поглощения, а лишь рассеивает энергию.

Поглощение света, не касаясь деталей механизма взаимодействия света с атомами вещества в общих чертах можно объяснить с энергетической точки зрения. Предложим, что на поверхности поглощающего вещества толщиной l - нормально к его поверхности, падает лучистый монохроматический поток $\Phi_0\lambda$ (рис.1). Разобьем этот слой на ряд элементарных слоев толщиной d^l . Ослабление потока слоя d^l будет пропорционально величине падающего потока $\Phi_0\lambda$ и толщине слоя, т.е.

$$d\Phi\lambda = m\lambda\Phi\lambda d^l \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности $m\lambda$ называется коэффициентом L поглощения и зависит от свойств поглощающего вещества и от длины волны падающего потока. Разделим обе части равенства (1) на $\Phi\lambda$ и процентируем в пределах от 0 до l , получим закон поглощения света (закон Бугера).

$$\frac{d\Phi_{1\lambda}}{\Phi_{0\lambda}} = -m_\lambda dl; \int_{\Phi_0}^{\Phi} \frac{d\Phi_\lambda}{\Phi_\lambda} = -\int_0^l m_\lambda dl; \ln \Phi \Big|_{\Phi_0}^{\Phi} = -m_\lambda l \Big|_0^l;$$
$$\ln \frac{\Phi}{\Phi_0} = -m_\lambda l \quad \Phi = \Phi_0 l^{-m_\lambda} \quad (2)$$

Где $\Phi_{0\lambda}$ – падающий поток, $\Phi_{1\lambda}$ – вышедший поток, l – толщина поглощающего слоя. Для удобства расчетов перейдем к десятичным логарифмам:

$$\lg \frac{\Phi_{0x}}{\Phi_{ox}} = -\kappa_{\lambda} l \quad \text{или} \quad \frac{\Phi_l}{\Phi_{o,l}} = 10^{-\kappa_{\lambda} l} \quad (3)$$

Из равенства (2) и (3) следует, что $10^{-\kappa l} = e^{-ml}$ коэффициент также характеризует поглощающую способность вещества и связан с коэффициентом поглощения m_{λ} зависимостью: $\kappa = m_{\lambda} l g e$. После подстановки значения ($l g e = 0,4343$) связь между коэффициент примет вид:

$$\kappa_{\lambda} = m \times 0,4343 \quad (4)$$

В работе требуется определить суммарный коэффициент поглощения белого света для жидкости. Исследуемая жидкость наливается в стеклянную цилиндрическую банку. При прохождении света через сосуд с жидкостью имеет место ряд других явлений: 1) отражение света от границ воздух – вода; 2) отражение света от границ вода – стекло: верхи поверхность дна сосуда; 3 – поглощение света дном сосуда; 4) отражение света на границе стекло – воздух, нижняя поверхность дна сосуда.

Все эти перечисленные побочные явления уменьшают проходящий поток света через сосуд жидкости. Поэтому отношение (Φ_o/Φ_o) будет в действительности меньшим, чем в уравнении (3), чтобы учесть это уменьшение формулы (3) нужно записать в виде: $\frac{\Phi}{\Phi_o} = 10^{-(\kappa l - \gamma)}$ (5)

Где ($\gamma > 0$) не зависит от толщины слоя жидкости. Возьмем уравнение обратное уравнению (5): $\frac{\Phi}{\Phi_o} = 10^{-(\kappa l + \gamma)}$ и найдем десятичный логарифм от

него, получим уравнение, прямой: $\lg \frac{\Phi_o}{\Phi} = \kappa l + \gamma$ (6)

Коэффициент κ равен тангенсу наклона прямой. Следовательно, коэффициент поглощения жидкости можно найти из графика прямой, построенной в системе координат.

$$X = l \quad y = \lg \frac{\Phi_o}{\Phi}$$

Для построения графика нужно иметь ряд значений соответствующих им значений $\lg = \frac{\Phi_o}{\Phi_i}$ Отношение световых потоков находят при помощи фотоэлемента, замкнутого на гальванометр. Рис –2

При освещении фотоэлемента в его цепи возникает электрический ток, пропорциональный световому потоку $I = C \Phi$.

Если световому потоку Φ_0 соответствует ток $I_0 = C \Phi_0$ а потоку Φ_1 , ток $I_1 = C \Phi_1$ то будем иметь:

$$\frac{\Phi_0}{\Phi_1} = \frac{C I_0}{C I_1} = \frac{C n_0}{C n_1} = \frac{n_0}{n_1}$$

n_0 и n_1 – отклонения стрелки гальванометра

Описание установки

Вся установка имеет вид, показанный на рис.3.

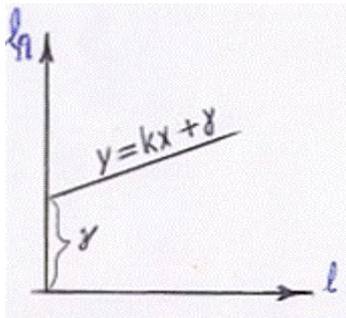


Рис -2.

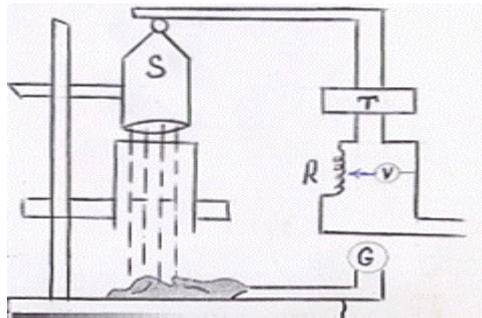


рис -3.

1. Осветитель, дающий направленный параллельный пучок света.
2. Цилиндрический стеклянный сосуд, в который наливается исследуемая жидкость. Определение уровня жидкости в сосуда производится по вертикальной шкале, прикрепленной к сосуду.
3. Полупроводниковый фотоэлемент, помещенный в металлический футляр, с выдвигающейся верхней крышкой.
4. Зеркальный гальванометр с осветителем и шкалой, смонтированными на стене. Гальванометр, включается в цепь фотоэлемента. Лампочка осветителя (I) и осветителя гальванометра питаются от понижающего трансформатора (Т), напряжением 6в. Трансформатор включается в сеть последовательно с реостатом R. С помощью реостата и вольтметра (V), включенного параллельно первичной обмотке трансформатора, подбирается рабочий режим осветителя и поддерживается его постоянство во время измерений.

Порядок выполнения работы

1. Собирают электрическую схему (рис -3). Вставляется вилка в розетку сети и ползунком реостата подбирается напряжение в первичной обмотке трансформатора 80в (собранныю схему без проверки преподавателя в сеть не включать)
2. Проверяют правильность установки осветителя. При правильной установки осветителя свет должен проходить через дно сосуда попадая на его боковые стенки и равномерно освещать рабочую поверхность под элементом.
3. Определяет начальные значения светового потока (с сосуда).
5. Постепенно доливается жидкость до 2, 3, 4, 5, 6, 7 см и определяется отклонение показания гальванометра соответствующее потоками $\Phi_2, \Phi_3 \dots$
- 6.

№	Толщина слоя, l см	Показания приборов Φ_i	Отношен $\frac{\Phi_0}{\Phi_1}$	$\lg \frac{\Phi_0}{\Phi_1}$	Кэфф. Поглощ	
					к	т
1.	0					
2.	1					

3.	2				
4.	3				
5.	4				
.					

7. По результатам измерений строится график прямой (6), при этом откладывают по оси X толщину слоя жидкости l, а по оси. У логарифмы отношения потоков.

Затем определяется тангенс прямо с осью X. $\operatorname{tg}\alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x}$

Величина тангенса угла наклона будет равна численному значению коэффициент поглощения жидкости K.

Контрольные вопросы.

1. Объяснить механизм поглощения света веществом.
2. Сделать вывод закона поглощения света, закон Бугера
3. Вывести связь между коэффициент поглощения K и m
4. Объяснить метод, принятый в работе для определения коэффициент поглощения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ ПРИ ПОМОЩИ ПРОЗРАЧНОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ

Цели работы: Изучение явления дифракции световых волн на узкой плоскопараллельной щели и на дифракционной решетке; экспериментальная проверка выполнимости условий для максимумов и минимумов дифракции; определение опытным путем длины волны излучения и периода дифракционной решетки.

Приборы и принадлежности: Лазер (He-Ne 1,0 мВт, 110 В ~), универсальный измерительный усилитель, оптическая скамья (150 см), 2 линзы (в оправе, +20 мм и 100 мм), фотоэлемент для оптического диска, дифракционная решетка, цифровой мультиметр, соединительные шнуры (красный и синий).

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Дифракцией называется совокупность не укладывающихся в рамки законов геометрической оптики явлений, наблюдаемых при распространении света в среде с резкими неоднородностями. В случае непрозрачных препятствий, например, щелей или отверстий, дифракция приводит к огибанию световыми волнами этих препятствий и проникновению света в область геометрической тени. В результате дифракции на экране за препятствием образуется дифракционная картина с регулярно расположенными в пространстве максимумами и минимумами интенсивности света.

Различают два типа дифракции: если фронт падающей на препятствие волны плоский, а экран расположен на расстоянии, значительно превышающем размеры препятствия, то говорят о дифракции Фраунгофера или о дифракции в параллельных лучах. В случае сферического фронта волны говорят о дифракции Френеля.

Для объяснения явления дифракции можно воспользоваться принципом Гюйгенса–Френеля. Согласно этому принципу, волновой фронт представляется в виде совокупности большого числа вторичных когерентных источников, излучающих вторичные волны в сторону распространения волны. В этом случае образование дифракционной картины является результатом интерференции излучений от вторичных источников, а интенсивность в каждой точке экрана зависит от разностей фаз между волнами, приходящими в эту точку от вторичных источников.

На рис.5.1 показано характерное распределение интенсивности в дифракционной картине от узкой щели при падении на нее плоской световой волны в случае, когда расстояние от щели до экрана L значительно превышает ширину щели b (дифракция Фраунгофера). Результат интерференции волн от вторичных источников в некоторой точке экрана O (рис.5.2) зависит от разности фаз между практически параллельными световыми лучами, идущими от вторичных источников, расположенных на

открытом участке щели АВ. Эта разность фаз, в свою очередь, определяется разностью хода между лучами. Например, для вторичных источников, расположенных в точках А и В, указанная разность хода равна $BC = AB \cdot \sin \varphi = b \sin \varphi$.

Строгий анализ явления интерференции излучения от вторичных источников приводит к следующему распределению интенсивности в дифракционной картине от узкой щели:

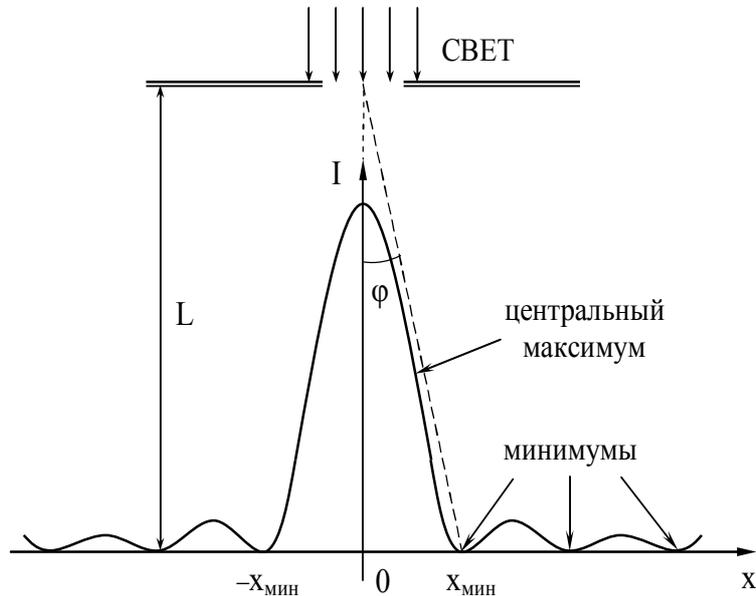


Рис.5.1. Распределение интенсивности на экране при дифракции плоской волны на узкой щели (дифракция Фраунгофера)

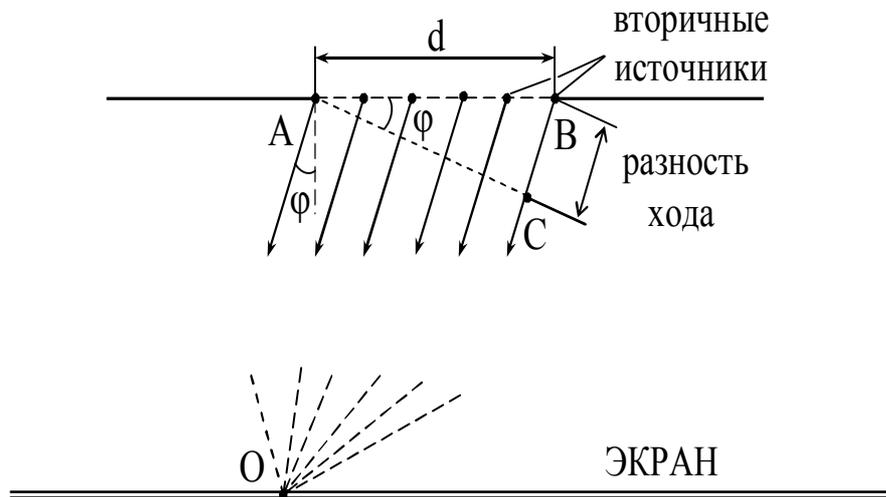


Рис. 5.2. Интерференция вторичных волн в некоторой точке экрана О

$$I(\varphi) = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi\right)}{\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi\right)^2}, \quad (1)$$

где I_0 —интенсивность в середине основного максимума, b — ширина щели, λ — длина волны излучения. Из формулы (1) следует, что минимумы интенсивности на дифракционной картине ($I = 0$) наблюдаются при условии

$$\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi\right) = 0,$$

то есть при углах

$$\sin \varphi_{\text{мин}} = \pm \frac{\lambda}{b} n \quad (n = 1, 2, 3, \dots). \quad (2)$$

Целое число n в формуле (2) называется порядком минимума.

Из рис. 1 следует, что $\text{tg} \varphi = x/L$, и поскольку при малых углах $\text{tg} \varphi \approx \sin \varphi \approx \varphi$, то условие минимума (2) можно записать в виде

$$x_{\text{мин}} = \pm \frac{\lambda L}{b} n, \quad (3)$$

где $x_{\text{мин}}$ — координата минимума на дифракционной картине.

Между минимумами расположены максимумы, координаты которых определяются из условия

$$\frac{\partial I(\varphi)}{\partial \varphi} = 0$$

Из этого условия следует, что максимумы при дифракции плоских волн на одной щели определяются соотношением:

$$b \sin(\varphi_{\text{max}}) = m' \lambda$$

$$m' = 1.43 \ 2.46, \dots$$

Система из N лежащих в одной плоскости одинаковых параллельных узких щелей ширины b , разделенных непрозрачными промежутками ширины a , называется дифракционной решеткой. Расстояние $d = a + b$ называется периодом или постоянной дифракционной решетки. Интерференция вторичных волн от соседних щелей решетки приводит к появлению на экране распределения интенсивности света, которое описывается следующим соотношением:

$$(I) = I_0 \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{\pi b \sin \varphi}{\lambda}\right)}{\left(\frac{\pi b \sin \varphi}{\lambda}\right)^2} \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{\pi N d \sin \varphi}{\lambda}\right)}{\sin^2\left(\frac{\pi d \sin \varphi}{\lambda}\right)} \quad (4)$$

где b - ширина щели; d - расстояние между щелями; N - число щелей.

Здесь первая дробь характеризует распределение интенсивности в результате дифракции плоской волны на каждой одиночной щели, а множитель

$$\frac{\sin^2\left(\frac{\pi N}{\lambda} \cdot d \sin\varphi\right)}{\sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda} \cdot d \sin\varphi\right)}$$

учитывает интерференцию между пучками, исходящими от всех щелей. I_0 - интенсивность света в направлении $\varphi = 0$, т.е. в центре дифракционной картины. Можно отметить, что $I_0 = (Nb)^2$ части падающего волнового фронта. Из анализа выражения (4) можно сделать следующие выводы:

1. Положение главных минимумов в спектре дифракционной решетки
2. определяется соотношением:

$$\sin(\varphi_{min}) = \frac{\lambda}{b} m$$

$$(m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$$

Положение главных максимумов определяется соотношением:

$$\sin(\varphi_{max}) = \frac{\lambda}{b} m \quad (m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$$

Положение побочных минимумов определяется соотношением:

$$\sin\left(\frac{\pi N}{\lambda} \cdot d \sin\varphi\right) = 0$$

$$\sin\left(\frac{\pi}{\lambda} d \sin\varphi\right) \neq 0$$

$$d \sin(\varphi_{min}) = \frac{\lambda}{N} m'$$

$$(m' = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \pm N-1)$$

число дополнительных минимумов между двумя ближайшими главными максимумами равно $N-1$. В результате интерференции дифрагированных волн поток энергии распределяется, в основном, вблизи направлений, соответствующих главным максимумам.

Распределение интенсивности электромагнитных волн для трех щелей графически показано на Рис.(5.3). По оси абсцисс отложены значения $\sin\varphi$, по оси ординат отложены значения интенсивности относительно его максимального значения. Распределение потока соответствует дифракции на трех щелях ($N = 3$) при условии $b = 3a$.

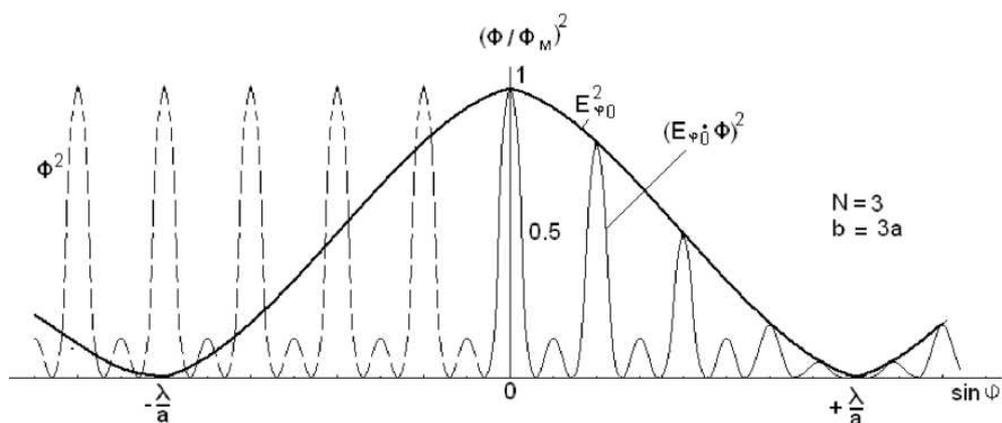


Рис. 5.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Лабораторная работа выполняется на установке фирмы RHYWE (рис.5.4)

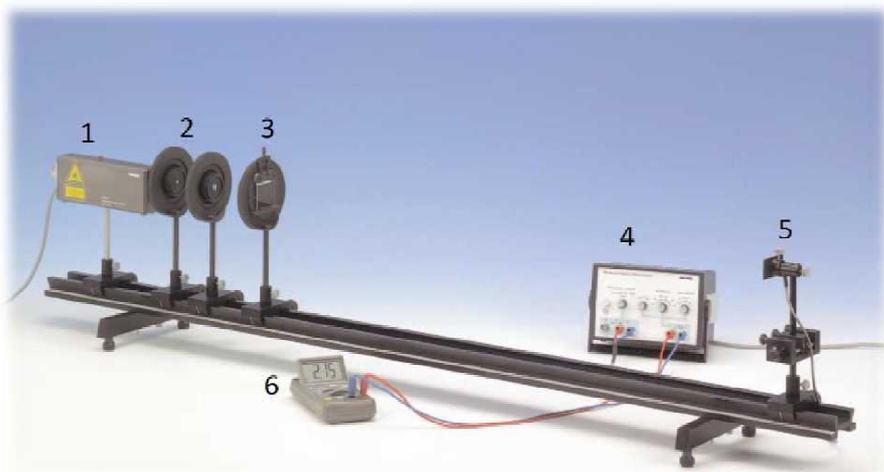


Рис. 3.

На оптической скамье располагаются: источник световых волн — газовый гелий- неоновый лазер (1) с длиной волны $\lambda = 632,8$ нм, рейтеры с коллимирующими линзами (2) и перемещаемый вдоль скамьи держатель (3), на котором закрепляются дифракционная щель или дифракционная решетка и узел регистрации на оптическом столике (5). Оптический столик снабжен неподвижной шкалой, вдоль которой с помощью регулировочного винта

может перемещаться экран прорезью для фотодатчика. Фотодатчик подсоединен к усилителю-преобразователю электрического сигнала (4). После усиления сигнал преобразуется в цифровую форму мультиметром (6), показания которого пропорциональны интенсивности света, падающего на фотодатчик. Таким образом, измерительная система позволяет фиксировать пространственные положения дифракционных максимумов и минимумов, а также измерять относительные интенсивности света в различных точках дифракционной картины.

Описание шкалы микрометрического винта

На шкале микрометрического винта в окошке над круговой шкалой указано полное число оборотов винта, сделанное после прохождения ближайшего нулевого отсчета (см. рис. 5.5, 6, 7). При вращении винта вправо, по часовой стрелке, показания шкалы растут, при вращении влево, против часовой стрелки, показания уменьшаются. Один полный оборот микрометрического винта соответствует перемещению фотоэлемента в горизонтальном направлении на 0,5 мм. Числа оборотов (число в окошке шкалы) может принимать значение от 0 до 20. После совершения 20 полных оборотов показания обнуляются и начинаются заново.

Круговая шкала имеет 50 делений. Поворот винта на 1 деление круговой шкалы соответствует перемещению фотоэлемента в горизонтальном направлении на 0,01 мм. Обратите внимание, что деления на круговой шкале занумерованы числами 10, 20, ... 90 через каждые 5 делений. Таким образом, при повороте винта, например, от деления с номером 10 до деления с номером 20, фотоэлемент перемещается на расстояние:

$$5 \times 0,01 = 0,05 \text{ мм.}$$

Покажем, как определить положение фотоэлемента на нескольких примерах. Пусть начальному положению фотоэлемента соответствуют показания шкалы микрометрического винта на рис.5.5.

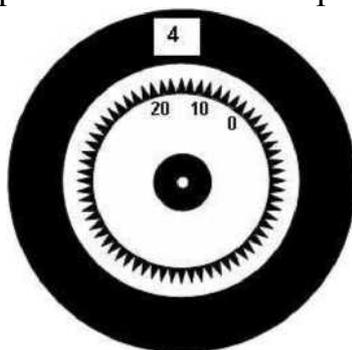


Рис. 5.5. К определению положения фотоэлемента

Найдем полное число оборотов, сделанное после прохождения ближайшего нуля шкалы (число в окошке)- 4. Найдем номер того деления круговой шкалы, которое находится напротив окошка - 8. Именно 8, а не 13, поскольку между делением с номером 0 и делением с номером 10 находятся только 5 делений!

Тогда положение x_1 относительно ближайшего нуля шкалы определится следующим образом:

$$\begin{aligned} x_1 &= (4: 2) \times 1\text{мм} + (10: 2 + 3) \times 0,01\text{мм} = \\ &= 2\text{ мм} + 8 \times 0,01\text{мм} = 2,08\text{мм} \end{aligned}$$

Пусть следующему положению фотоэлемента соответствуют показания шкалы микрометрического винта на рис. 5.6.

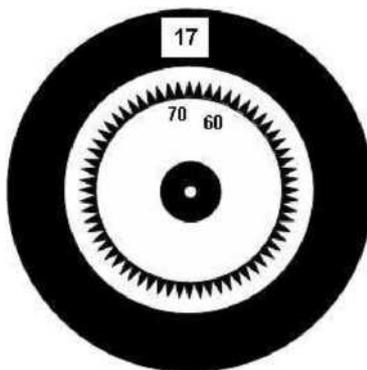


Рис. 5.6. К определению положения фотоэлемента.

Если при переходе от первого положения ко второму винт вращался только вправо, и число оборотов ни разу не достигло 20 (показания в окошке шкалы не обнулялись), то положение фотоэлемента x_2 определим следующим образом:

$$\begin{aligned} x_2 &= (17: 2) \times 1\text{мм} + (60: 2 + 4) \times 0,01\text{мм} = \\ &= 8,5\text{мм} + 34 \times 0,01\text{мм} = 8,5\text{мм} + 0,34\text{мм} = 8,84\text{мм} \end{aligned}$$

Таким образом, между первым и вторым положениями фотоэлемент переместился в горизонтальном направлении на расстояние $\Delta x = x_2 - x_1 = 8,84\text{мм} - 2,08\text{мм} = 6,76\text{мм}$. Пусть следующему положению фотоэлемента соответствуют показания шкалы микрометрического винта на рис. 5.7.

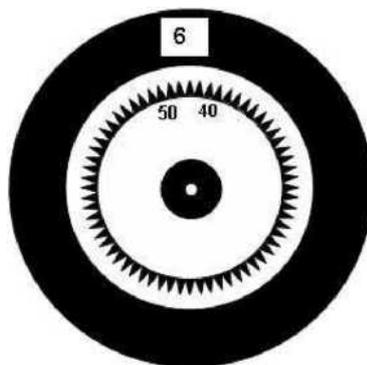


Рис. 5.7. К определению положения фотоэлемента

Если при переходе от второго положения к третьему винт вращался только вправо, и число оборотов один раз достигло 20, то следует к значению числа оборотов в окошке добавить 20, тогда положение фотоэлемента x_3 определим следующим образом:

$$X_3 = ((20 + 6) : 2) \times 1 \text{ мм} + (40 : 2 + 3) \times 0,01 \text{ мм} = \\ = 13 \text{ мм} + 23 \times 0,01 = 13,23 \text{ мм}$$

Таким образом, между вторым и третьим положениями фотоэлемент переместился в горизонтальном направлении на расстояние $\Delta x = x_3 - x_2 = 13,23 \text{ мм} - 8,84 \text{ мм} = 4,39 \text{ мм}$.

Порядок выполнения работы

1. Получите у лаборанта принадлежности к установке: ключ для запуска лазера, наборы щелей и дифракционных решеток. Дифрагирующие объекты требуют аккуратного обращения с ними. У решеток и щелей есть только два допустимых месторасположения: либо в чехле в контейнере с остальными принадлежностями, либо в держателе на оптической скамье. Категорически воспрещается касаться руками или какими-либо предметами рабочих поверхностей объектов измерений, брать их следует только за оправы.

2. Расположите компоненты установки на следующих расстояниях на оптической скамье:

лазер — 2,5 см;

линза с фокусным расстоянием $f=20$ мм — 14,5 см;

линза с фокусным расстоянием $f=100$ мм — 27,5 см;

держатель для дифрагирующих объектов — 33 см;

передвижное устройство с фотоприемником — 147,5 см.

Включите лазер.

Категорически запрещается смотреть в прямой лазерный луч или его зеркальное отражение, **а также располагать любые отражающие предметы на пути лазерного луча!**

Перед проведением эксперимента во избежание нежелательных колебаний интенсивности лазер и измерительный усилитель прогрейте в течение 15 мин. Подключите фотодатчик ко входу 10^4 Ом измерительного усилителя-преобразователя (при измерениях используйте коэффициент усиления 10^3 - 10^5). Мультиметр должен находиться в режиме измерения постоянного напряжения. В процессе измерений при изменении коэффициента усиления обязательно проверяйте нулевой уровень сигнала усилителя и при необходимости корректируйте его, перекрывая лазерный луч каким-либо непрозрачным предметом. Вращая маховик с круговой шкалой на

передвижном устройстве, расположите фотоприемник в середине зоны его возможного перемещения. Расширенный и коллимированный при помощи линз лазерный луч должен равномерно освещать всю площадь входного окна фотоприемника. При необходимости произведите точную юстировку установки, аккуратно поворачивая лазер в его держателе.

3. Аккуратно установите в держатель диафрагму с одинарными щелями. Убедитесь по виду дифракционной картины, что диафрагма находится в вертикальном положении. Сместив ее в держателе в горизонтальном направлении, осветите одну из щелей (удобнее начать измерения со щели с максимальной шириной).

4. Плавно вращая регулировочный винт на узле регистрации, перемещайте входное окно фотоприемника вдоль дифракционной картины, одновременно регистрируя значение интенсивности света с помощью мультиметра. Ввиду того, что интенсивность света меняется в дифракционной картине в больших пределах, может потребоваться изменение коэффициента усиления преобразователя. При превышении значением сигнала уровня 10 В следует уменьшить коэффициент усиления. Шаг по пространственной координате следует выбирать равным 0.1-0.2 мм. Профиль интенсивности дифракционной картины запишите в Таблицу 1. Область регистрации должна включать в себя по 3-4 минимума интенсивности по обе стороны от главного дифракционного максимума. Отдельно запишите в протокол координаты минимумов и максимумов дифракционной картины (с точностью 0.01 мм).

По указанию преподавателя повторите измерения профиля дифракционной картины для щелей меньшей ширины, заполнив для каждой из них отдельный экземпляр Таблицы 5.1.

Таблица 5.1

Координата x , мм	Коэффициент усиления	Напряжение, В	Угол дифракции $\varphi = \frac{x-x_0}{L}$ рад	Относительная интенсивность $I(x)/I_{\max}$

5. Замените дифрагирующий объект на диафрагму с наборами щелей. Количество щелей в наборе (кратность: $N = 2,3,4,5$) выбирается по указанию преподавателя. Ширина каждой щели в наборе $b = 0,1$ мм, период следования щелей $d \frac{b}{g}$, $g = 0,25$. Аналогично предыдущей части работы измерьте и запишите в протокол в виде рабочей таблицы профиль интенсивности дифракционной картины. Отдельно выпишите координаты и интенсивности соответствующие главным максимумам.

6. Выберите по указанию преподавателя в качестве объекта одну из дифракционных решеток. В комплектации к данной лабораторной работе имеются решетки с плотностью 8, 10, 50 штрихов на миллиметр. Измерьте расстояния от середины центрального дифракционного максимума до центров всех видимых главных максимумов. Для решетки 50 штрихов/мм максимумы лежат вне зоны сдвига фотоэлемента, поэтому их координату следует отметить на листе бумаги, а расстояние измерить линейкой. Область регистрации должна включать в себя по 3-4 максимума интенсивности по обе стороны от нулевого порядка дифракции. Запишите результаты измерений в Таблицу 5.2.

Номер порядка дифракции, τ	+1	-1	+2	-2	+3	-3	+4	-4
Координата максимума $\Delta x_m = x_0 - x_m$								

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Произведите нормировку профиля интенсивности на максимальное значение и заполните последний столбец Таблицы 1. Постройте график профиля относительной интенсивности дифракционной картины от одиночной щели (в качестве переменной выберите угол дифракции). С помощью соотношения (3) найдите для каждого зарегистрированного минимума значение ширины щели. Значение длины волны лазера считайте заданным. Рассчитайте погрешность данной величины по формулам нахождения погрешностей прямых многократных измерений.

2. По табличным данным постройте график профиля интенсивности дифракционной картины от набора щелей. Для каждого зарегистрированного главного максимума произведите расчет относительной интенсивности с помощью соотношения (4) и запишите результат расчета в отчет. Произведите сравнение расчетного значения с результатами измерений.

3. По данным Таблицы 2 и формуле (5) найдите длину волны для каждого максимума в дифракционном спектре решетки. Ввиду малости угла дифракции можно считать $\sin(\varphi_m) = \sin(\varphi_m \frac{\Delta x_m}{L})$.
Рассчитайте погрешность длины волны по формулам нахождения погрешностей прямых многократных измерений.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается явление дифракции света и в каком случае оно наблюдается.
2. В чем состоит принцип Гюйгенса – Френеля?
3. Каковы условия максимума и минимума интенсивности света при дифракции от одной щели? Уметь вывести из взаимосвязи разности фаз с разностью хода.
4. Что называются дифракционной решеткой? Какие дифракционные решетки известны и как они изготавливаются?
5. Каковы условия максимума и минимума интенсивности света при дифракции от решетки?
6. Какой вид имеет дифракционная картина в случае монохроматического света и в случае белого света.
7. Рассчитайте величину угла φ для минимума первого порядка при дифракции света с длиной волны $\lambda = 0,63$ мкм на плоскопараллельной щели шириной $d = 0,05$ мм.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА МАЛЮСА

Цель работы: ознакомиться с явлением поляризации света и изучить основные законы поляризации света.

Приборы и принадлежности: установка для проведения эксперимента, диэлектрическое зеркало, лазер (He-Ne 1,0 мВт, 110 В ~), 2-х поляроидов, фоторезистора и микроамперметра

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Естественный луч представляет собой сложное явление, имеет двойственную корпускулярно-волновую природу. В одних случаях он ведет себя как электромагнитные волны, в других случаях—как поток частиц (квантов и фотонов).

При изучении явления поляризации свет проявляет свои свойства поперечных электромагнитных волн.

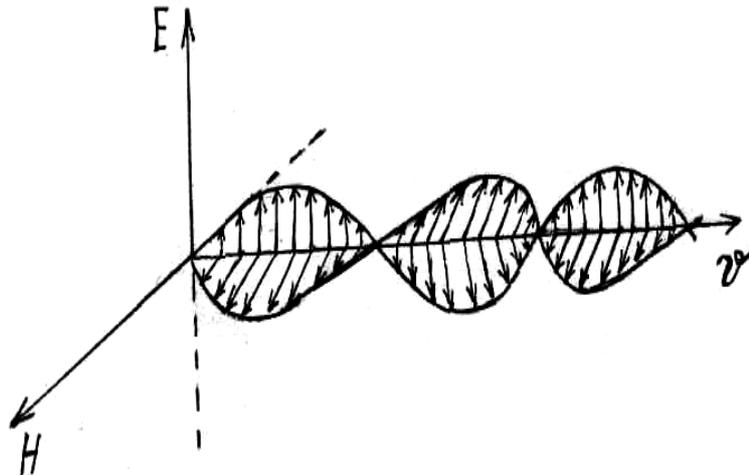


Рис. 1

График электромагнитной волны представлен на рис. 6.1. Как видно из рисунка (мгновенной фотографии электромагнитной волны) — это одновременное распространение колебание во времени и в пространстве электрического поля, описываемого вектором E — напряженностью электрического, и H — напряженностью магнитного поля. Оба поля колеблются в одинаковой фазе, т. е. одновременно достигают \max и \min , во взаимно перпендикулярных плоскостях, перпендикулярных скорости распространения волны.

Как показывает опыт, физиологические, фотохимические, фотоэлектрические и другие действия света обусловлены взаимодействием электрического вектора с веществом. Поэтому вектор напряженности электрического поля E часто называют “световым” вектором, а плоскость колебаний этого вектора называют плоскостью колебаний луча, а перпендикулярную плоскость — плоскостью поляризации. Последнее понятие обладает меньшей наглядностью, имеет только историческое

значение и при объяснении явлений поляризации света не употребляется.

Следует отметить, что световая волна, показанная на рис. 6.1, является абстрактным понятием. Естественный свет излучается возбужденными атомами вещества отдельными вспышками в виде цуга волн, длительностью порядка 10^{-8} с. Каждый цуг волн имеет свою амплитуду, фазу и плоскость колебаний.

Волны естественного света складываются из отдельных цугов, излучаемых миллиардами атомов. Поэтому плоскость колебаний и амплитуда “светового” вектора волны быстро и беспорядочно меняются во времени и пространстве. Мгновенное положение плоскостей и амплитуд светового вектора показаны на рис. 6.2. Свет, в котором плоскости колебаний упорядочены, называется поляризованным (рис. 6.3).

Большинство источников излучает естественный свет, который можно превратить в поляризованный, если на его пути поставить такой прибор, который выделил бы из всех плоскостей колебаний только одну. Прибор, поляризующий свет, называется ПОЛЯРИЗАТОРОМ. Так как глаз человека не может отличать естественный луч от поляризованного, то для этой цели применяется другой прибор, называемый АНАЛИЗАТОРОМ. Поляризатор и анализатор имеют аналогичное устройство и принцип работы и могут взаимно заменять друг друга.

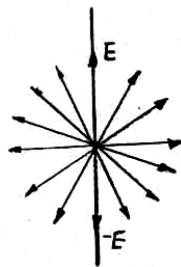


Рис. 2



Рис. 3

Если на анализатор падает естественный луч света, то при вращении анализатора вокруг луча, как вокруг оси, интенсивность луча, прошедшего через анализатор, не меняется.

Если на анализатор падает уже поляризованный свет, то при вращении анализатора вокруг луча, как вокруг оси, интенсивность прошедшего через анализатор света, меняется.

Малюс установил, что интенсивность поляризованного света, прошедшего через анализатор, прямо пропорциональна квадрату косинуса угла между оптическими плоскостями анализатора и поляризатора.

Пусть AA - след плоскости пропускания анализатора (оптическая ось анализатора), E_p - амплитуда электрического вектора плоскополяризованного луча, прошедшего через поляризатор (см. рис. 6.4) PP - оптическая ось поляризатора, φ — угол между оптическими плоскостями поляризатора и анализатора. Из простых рассуждений $E_2 = E_p \cdot \cos \varphi$, а так как интенсивность колебаний пропорциональна квадрату амплитуды, то

$$I_a = I_p \cdot \cos^2 \varphi \quad (6.1)$$

Уравнение (5.1) выражает закон Малюса.

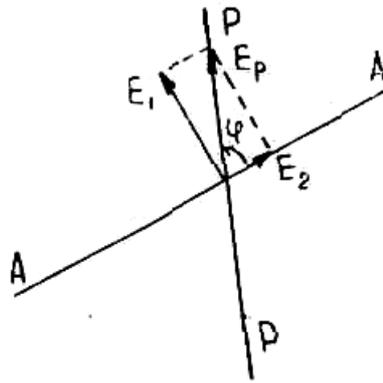


Рис.4

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Внешний вид экспериментальной установки для изучения закона Малюса представлен на рис. 5: 1 – лазер He-Ne с линейно поляризованным излучением; 2 – поляризатор в поворотном устройстве с транспортом; 3 – фотоэлемент; 4 – мультиметр, регистрирующий ток фотоэлемента, 5 – оптическая скамья.

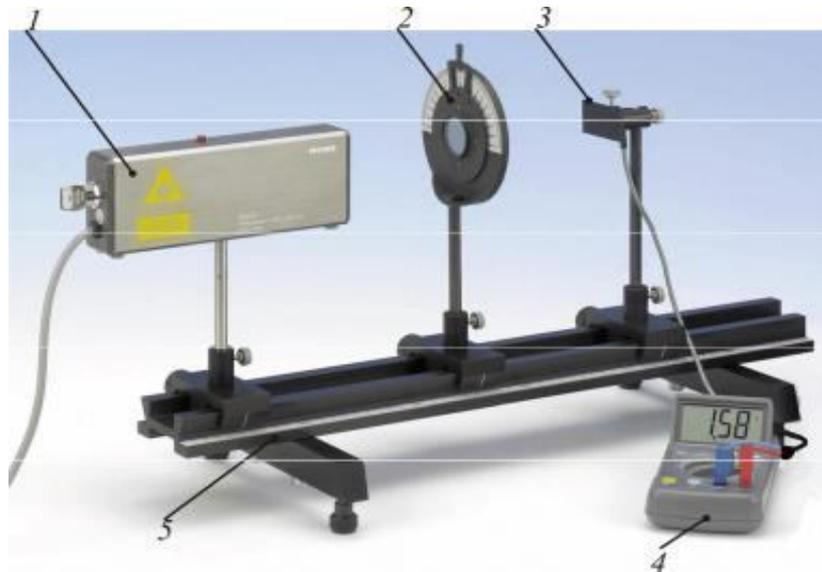


Рис. 5

Сила тока фотоэлемента прямо пропорциональна интенсивности света, освещающего фотоэлемент.

Перед началом работы лазер необходимо разогреть в течение 30 мин. Затем проверить юстировку установки, т.е. убедиться, что фотоэлемент полностью освещен.

При проведении эксперимента в незатемненной комнате следует определить фоновый ток I_0 при выключенном лазере. В дальнейшем полученное значение необходимо учитывать при расчетах.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Внимание! При работе с лазером его свет можно наблюдать только после отражения от рассеивающих поверхностей. Попадание в глаза прямого пучка ОПАСНО ДЛЯ ЗРЕНИЯ.

ЗАДАНИЕ

Проверка закона Малюса

1. Проверьте и при необходимости проведите юстировку установки, т.е. убедитесь, что фотозаэлемент полностью освещен.

2. Установите поляризатор в поворотном устройстве с транспортиром вблизи выхода светового излучения лазера.

3. Перекрыв пучок лазерного излучения, уточните величину фона I_0 . Убедитесь, что излучение лазера линейно-поляризовано. В том случае, если излучение лазера линейно-поляризовано, вращая за рукоятку обойму поворотного держателя поляризирующего фильтра, определите максимальную I_{\max} и I_{\min} интенсивность прошедшего через поляризатор светового излучения.

№	α , град	I_1	I_2	I_3	...	$\langle I \rangle - I_0$	φ ,	$\cos^2 \varphi$	$\left(\frac{\langle I \rangle - I_0}{I_{\max} - I_0} \right)$
1	0								
2	5								
3									

5. Поворачивая поляризатор с шагом в 5° между положениями $\alpha = \pm 90^\circ$, определите соответствующий ток фотозаэлемента I . Повторите измерения 3–5 раз. Результаты измерений занесите в табл. 1.

5. Перекрыв пучок лазерного излучения, еще раз уточните величину фона I_0 .

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ

1. Определите степень поляризации излучения.

2. По результатам измерений (см. табл. 1) определите среднее значение тока фотозаэлемента $\langle I \rangle$ для каждого значения α и его погрешность.

3. По результатам измерений (см. табл. 1) определите угол φ между плоскостью пропускания анализатора и плоскостью колебаний электрического поля падающей волны при различных значениях α .

1. Оцените погрешность $\cos^2 \varphi$, используя цену деления транспортира.

2. Оцените погрешность $\left(\frac{\langle I \rangle - I_0}{I_{max} - I_0}\right)$, используя метод расчета ошибок косвенных измерений.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

Постройте графики зависимости $\left(\frac{\langle I \rangle - I_0}{I_{max} - I_0}\right)$ от $\cos^2 \varphi$ для положительных и отрицательных α .

2. Сделайте выводы о характере поляризации лазерного излучения.
3. Сделайте вывод о направлении плоскости поляризации лазерного луча.
4. Сделайте вывод о выполнении закона Малюса.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Запишите уравнения электромагнитной волны.
2. Перечислите свойства электромагнитных волн.
3. Чем линейно-поляризованный свет отличается от естественного?
4. Что называется плоскостью поляризации света?
5. Выведите закон Малюса.
6. Как практически можно отличить линейно-поляризованный свет от естественного?
7. Объясните принципы действия поляризационного устройства.
8. Как рассчитать интенсивность прошедшей через поляризатор плоскополяризованной световой волны?
9. Каким образом можно повернуть плоскость поляризации на угол φ ?
10. Как определить угол φ между плоскостью пропускания анализатора и плоскостью колебаний электрического поля падающей волны при различных значениях α ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЕ СТЕФАНА-БОЛЬЦМАНА

Цель работы: Исследовать зависимость интегральной испускательной способности нити накала лампы от температуры. Рассмотреть законы излучения абсолютно черного и серого тела.

Приборы и принадлежности: Термоэлемент, Защитная трубка, универсальный измерительный усилитель, источник питания(, регул.15 В пер./12 В пост./5 А), Ламповый патрон E14 на стержне, лампы накаливания (6В/5А, E14), коммуникационная коробка, резистор (100 Ом), Оптическая скамья ($l=60$ см), цифровой мультиметр, Соединительные провода ($l=500$ мм, синий и красный)

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В данной работе рассматривается тепловое излучение тел, т.е. излучение нагретых тел. Особенность этого излучения состоит в том, что оно равновесное, т.е. в состоянии термодинамического равновесия тело получает в единицу времени столько энергии, сколько излучает. Если же тело получает больше, чем излучает, то его температура повышается (и наоборот).

Закономерности теплового излучения объясняет квантовая теория. Физические тела поглощают и излучают по-разному. Различают:

- а) абсолютно черное тело (АЧТ), которое поглощает излучение всех длин волн, т.е. его коэффициент поглощения $A=1$;
- б) абсолютно белое тело (АБТ), которое отражает все падающее на него излучение, т.е. $A=0$;
- в) нечерное тело, $0 < A < 1$;
- г) серое тело, если $0 < A < 1$ и не зависит от длины волны λ

Энергия, излучаемая нагретым телом в единицу времени с единицы поверхности в единичном спектральном интервале, называется испускательной способностью. При экспериментальном измерении испускательной способности ϵ АЧТ от длины волны λ получили зависимость, показанную на рис.8.

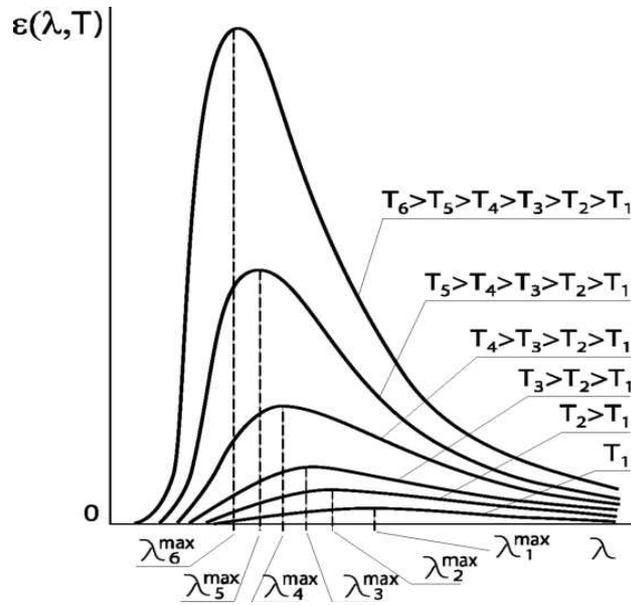


Рис.8.1. Зависимость испускательной способности $\varepsilon(\lambda, T)$ АЧТ от длины волны и температуры; λ_i^{max} - длина волны, соответствующая максимальному значению ε .

Спектральное распределение $\varepsilon(\lambda, T)$ при различных температурах АЧТ точно описывает формула Планка:

$$\varepsilon(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{kE\lambda}} - 1} \quad (8.1)$$

где h – постоянная Планка, k – постоянная Больцмана, c – скорость света в вакууме.

Интегрируя формулу Планка по всему спектральному интервалу, получаем закон Стефана-Больцмана, т.е.

$$R_T = \int_0^{\infty} \varepsilon(\lambda, T) d\lambda = \frac{2\pi^5 R^4}{15c^{-2} R^3} T^4 = \sigma T^4 \quad (8.2)$$

где R_T — интегральная испускательная способность АЧТ (энергетическая светимость), представляется площадью под кривой; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ - постоянная Стефана- Больцмана.

Наконец, если решить задачу на нахождение экстремума функции Планка $\varepsilon(\lambda, T)$, т.е. $\frac{\partial \varepsilon(\lambda, T)}{\partial \lambda}$, то получим закон Вина, который записывается, как:

$$\lambda^{max} \cdot T = 2898 \text{ мкм} \cdot \text{К} \quad (8.3)$$

- произведение длины волны λ_i^{max} , которой соответствует максимум функции $\varepsilon(\lambda, T)$ на температуру T равно постоянной величине.

Для любых нечерных тел был установлен закон Кирхгофа:

$$\varepsilon(\lambda, T) = \frac{E_{\lambda, T}}{A_{\lambda, T}} \quad (8.4)$$

- отношение испускательной способности нечерных тел, обозначаемой $E(\lambda, T)$ к его поглощательной способности $A(\lambda, T)$ не зависит от природы тела и равно испускательной способности АЧТ, т.е. функции Планка $\varepsilon(\lambda, T)$.

Методика эксперимента

В данной лабораторной работе изучается интенсивность излучения вольфрамовой нити накала лампы (серой тело) в зависимости от ее температуры. Излучение от нити попадает на термоэлемент; при фиксированном расстоянии между лампой и термоэлементом термоЭДС, обозначаемая $U_{TЭ}$, будет пропорциональна интегральной испускательной способности лампы, а значит, пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры нити (закон Стефана-Больцмана), т.е.

$$U_{TЭ} = AT^4 \quad (8.5)$$

где A — некоторая величина, не зависящая от температуры. Далее учтем, что нить лампы не является абсолютно черным телом (АЧТ), поэтому надо применить закон Кирхгофа (4) и надо разделить $U_{TЭ} = E_T$ на коэффициент поглощения. $A = 0,43$.

Кроме этого $U_{TЭ}$ зависит от расстояния его до лампы. На постоянную площадь термоэлемента падают не параллельные лучи, а сферическая волна, радиус которой возрастает с расстоянием между лампой и термоэлементом (с постоянной принимающей площадью). Логарифмирую формулу (5), получим для абсолютно черного тела:

$$\lg U_{TЭ} = 4 \lg T + \lg A \quad (8.6)$$

Построив график зависимости $\lg U_{TЭ}$, от $4 \lg T$ и проведя затем линейную аппроксимацию, получим по тангенсу угла наклона прямой показатель степени, равный «4»

Температуру нити накала T можно определить по сопротивлению $R(t)$ нити накала лампы, которая зависит от температуры по известной формуле:

$$R(t) = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2) \quad (8.7)$$

где R_0 — сопротивление при температуре 0°C ; $\alpha = 4,82 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$; $\beta = 6,76 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-2}$; t — температура по шкале Цельсия; T - температура по шкале Кельвина.

Т.к. в данной работе не предусмотрено охлаждать нить до 0°C , то сопротивление

R_0 рассчитывают по сопротивлению $R_{\text{ком}}$ при комнатной температуре $t_{\text{ком}}$

Из закона Ома найдем $R_{ком}$: $R_{ком} = \frac{U}{I}$:

и подставим в формулу:
$$R_0 = \frac{R_{ком}}{1 + \alpha t_{ком} + \beta t_{ком}^2} \quad (8.9)$$

Определив сопротивление вольфрамовой нити накала R_0 , переходим к измерению сначала $R(t)$, а затем к расчету T при разных токах через лампу I_1 в соответствии с индивидуальным заданием. Сопротивление $R(t)$ определяем по закону Ома, а температуру нити накала лампы считаем по формуле:

$$T = 273 + \frac{1}{2\beta} \left[\sqrt{\alpha^2 + 4\beta \left(\frac{R(t)}{R_0} - 1 \right)} - \alpha \right] \quad (8.10)$$

Описание экспериментальной установки

Лабораторная работа выполняется на установке фирмы RHYWE (рис.8.1).

Установка состоит из источника питания (1), усилителя (2), термостолбика (3), лампы накаливания (4), двух вольтметров, амперметра и резистора 100 Ом.

В работе использованы две схемы подключения: 1) – для измерения сопротивления нити при комнатной температуре (рис.4). Резистор 100 Ом, подсоединяется в цепь последовательно с лампой для более точного регулирования силы тока.

2) – Резистор больше не нужен. Нить запитана от переменного источника напряжения (рис. 5). Амперметр позволяет измерять ток до 6 А. Напряжение можно увеличивать до 8 V. Перед снятием показаний на лампу и на термостолбик, который находится на расстоянии 30 см от лампы, подается напряжение 1V до тех пор, пока термо ЭДС не покажет максимум. Термо ЭДС составляет несколько mV, поэтому в работе используется усилитель с коэффициентом усиления 10^4 . Усилитель используется в режиме 10^4 Ом с постоянной времени 1 с.



Рис. 8.1. Экспериментальная установка для изучения закона Стефана-Больцмана

Перед снятием термо ЭДС нужно провести нулевую регулировку. Для этого необходимо удалить лампу вместе с подставкой на несколько минут со скамьи. После возвращения лампы можно снимать показания, если термостолбик достиг равновесия. Это занимает около минуты. Необходимо соблюдать осторожность, т.к. фоновое излучение нарушает измерение.

Порядок выполнения работы

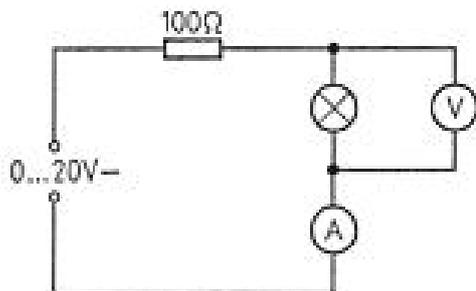


Рис.8.2: Схема для измерения сопротивления нити при комнатной температуре.

Задание 1. Определение сопротивления нити лампы накаливания при комнатной температуре.

- 1) Соберите установку по схеме, указанной на рисунке 8.2. Предел измерения вольтметра выставите на 200 mV, амперметра на 200 mA.
- 2) Включите установку в сеть.
- 3) Установите по цифровому вольтметру напряжение на лампе 5 mV ручкой 1 на источнике питания. Снимите значение силы тока с амперметра.
- 4) П.3 повторите для напряжения 10 mV и 15 mV. Данные занесите в таблицу 1.
- 5) Рассчитайте по закону Ома сопротивление нити при комнатной температуре. Рассчитайте среднее значение.
- 6) По формуле (5) рассчитайте сопротивление при 0 °C. Результаты занесите в таблицу 1.

Таблица 1

Напряжение на лампе U, mV	Сила тока, I, mA	Сопротивление при комнатной температуре, $R_{\text{ком}}, \text{Ом.}$
R_{cp} (среднее знач. сопротивления при комнатной температуре)=		
R_0 (сопротивление при 0°C)=		

Примечание: напряжение питания лампы накаливания 6 В переменного тока. Можно применять напряжение до 8 В постоянного тока, если время измерения ограничено несколькими минутами.

Задание 2. Определение сопротивления нити лампы накаливания при различных напряжениях. Проверка закона Стефана – Больцмана.

- 1) Отключите установку от сети.
- 2) Соберите установку по схеме на рисунке 8.1.
- 3) Включите установку.
- 4) Изменяя напряжение на лампе от 2 до 6 В с шагом 0,5В, снимите значение силы тока на лампе и напряжение на столбике. Данные занесите в таблицу 2 (пределы измерений вольтметров установите на 20V, амперметра – 20А, Значение напряжения на термостолбике умножьте на коэффициент усиления).
- 5) По закону Ома рассчитайте для каждого напряжения сопротивление нити.
- 6) По формуле (6) рассчитайте температуру нити для различных сопротивлений. Вычислите четвертую степень температуры. Результаты занесите в таблицу 2.
- 7) Постройте графики зависимостей $U_{TЭ}=f(T)$, $U_{TЭ}=f(T^4)$.
- 8) По второму графику определите постоянную А, как тангенс угла наклона прямой с осью х. Определите постоянную Стефана-Больцмана, считая вольфрамовую нить серым телом с коэффициентом поглощения равном 0,34. Сравните полученный результат с табличным значением.
- 9) Сделайте выводы и сдайте отчет преподавателю.

Таблица 2

Напряжение на лампе, U, V	Сила тока, I, A	Напряжение на термостолбике, $U_{TЭ} (\text{mV})$	Сопротивление лампы, $R(t), \text{Ом}$	Температура нити накаливания, T, K	T^4, K^4

Обработка результатов эксперимента

1. По данным таблицы 2 рассчитать по формуле (8.9) сопротивление вольфрамовой нити накала лампы.
2. По данным таблицы 3 построить график зависимости $\lg \overline{\Delta U}$ от $\lg T$. Определите по наклону прямой показатель степени в законе Стефана-Больцмана.

Контрольные вопросы

1. В чем разница в определении света по волновой теории, по квантовой теории и по геометрической оптике?
2. Что такое абсолютно черное тело?
3. Какой формулой описывается спектральное распределение «абсолютно черного тела» от длины волны и температуры?
4. Для каких тел справедлив закон Кирхгофа?
5. Что такое закон Стефана-Больцмана?
6. Как рассчитывается сопротивление нити лампы при температуре $t = 0^\circ\text{C}$?
7. По какой формуле рассчитывается температура нити лампы накаливания?
8. В чем суть работы «Закон Стефана-Больцмана»?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ПРОВЕРКА ЗАКОНЫ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА

Цель работы: ознакомиться с законами фотоэффекта и квантовой природой света; исследовать зависимость энергии фотоэлектронов от частоты света, получить численное значение постоянной Планка.

Приборы и принадлежности: Фотоэлемент в кожухе, интерференционные фильтры (набор из 5 шт.), экспериментальная лампа, источник питания (12 В пост./ 6 В, 12 В пер.ток), универсальный измерительный усилитель, цифровой мультиметр, соединительные провода (красн 4 на 50 см, синий 3 на 50 см, желтый 1 на 50 см, черный 2 на 50 см, синий 1 на 100 см)

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Классическая теория электромагнитных волн Максвелла столкнулась с непреодолимыми трудностями при объяснении фотоэффекта. Согласно классической теории, интенсивность волны Φ (Вт/м) пропорциональна квадрату амплитуды напряженности E_m электрического поля волны (Н/Кл):

$$\Phi \sim E_{\text{т}}^2.$$

С классической точки зрения, в переменном электрическом поле волны на электроны проводимости металла действует переменная сила. Следовательно, при достаточно большой интенсивности света сила велика и должен произойти фотоэффект. Однако это противоречит опыту.

Согласно опыту, фотоэлектронная эмиссия отсутствует даже при большой интенсивности, если частота света меньше некоторого значения (красной границы ν_0). А если частота больше красной границы, то электроны испускаются и при слабом свете. Кроме того, скорость испущенных электронов возрастает с частотой света и не зависит от его интенсивности. Таким образом, классическая теория не может объяснить второй и третий законы фотоэффекта.

Законы фотоэффекта были объяснены *фотонной (квантовой) теорией света*, которая утверждает следующее.

1. Свет и другие электромагнитные волны (радиоволны, УФ-излучение, рентгеновские лучи т.д.) состоят из «порций» электромагнитных волн, называемых *квантами* или *фотонами*.

2. Для монохроматического света с частотой ν и длиной волны $\lambda = c/\nu$ фотон обладает энергией

$$E = h\nu = hc/\lambda \quad (3)$$

и импульсом

$$p = h\nu/c = h/\lambda,$$

где h - универсальная физическая константа, называемая *постоянной Планка* ($h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Джс).

3. В процессе испускания или поглощения света фотоны рождаются или поглощаются как нечто неделимое.

4. В любой инерциальной системе отсчета фотон движется в вакууме со скоростью $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

5. Фотоны перемещаются в пространстве и испытывают интерференцию и дифракцию, как волны с длиной волны λ .

Квантовую гипотезу выдвинул Макс Планк (1900 г.) в связи с теорией теплового излучения. Только с помощью квантов ему удалось объяснить спектр теплового излучения абсолютно черного тела. Квантовая гипотеза получила дальнейшее развитие и подтверждение в работе Эйнштейна (1905 г.) по объяснению фотоэффекта.

Согласно Эйнштейну, испускание электрона из металла есть результат трех последовательных процессов:

- а) поглощения одного фотона электроном проводимости, в результате чего энергия фотона $h\nu$ передается одному электрону;
- б) движения этого электрона к поверхности, при котором часть его энергии может рассеяться за счет взаимодействия с другими электронами или дефектами и колебаниями кристаллической решетки;
- в) вылета электрона из металла, при котором электрон должен затратить энергию на выход из потенциальной ямы.

Наибольшую кинетическую энергию $T_{max} = \frac{mu_{max}^2}{2}$ вне металла будет иметь электрон, испущенный с уровня Ферми и не потерявший энергии в столкновениях перед вылетом (рис. 7, а):

$$\frac{mu_{max}^2}{2} = h\nu - A \quad (4)$$

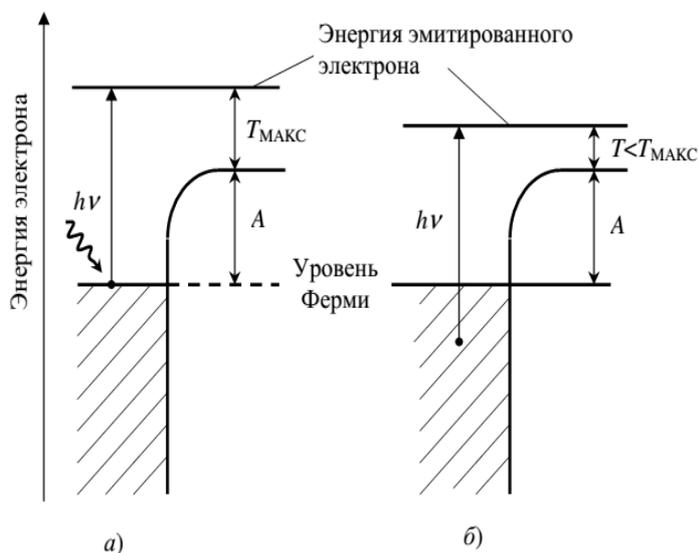


Рис. 7. Фотоэлектронная эмиссия с уровня Ферми (а) и с более низкого уровня (б)

Если электрон испущен с более низкого энергетического уровня, чем уровень Ферми (рис. 7, б), или потерял часть энергии в столкновениях, то его кинетическая энергия будет меньше максимальной ($T < T_{max}$). Поэтому при освещении даже монохроматическим светом электроны имеют различную энергию, верхняя граница которой определяется формулой (4).

Таким образом, в квантовой теории света все законы внешнего фотоэффекта получают полное и ясное объяснение.

1. Максимальная кинетическая энергия испущенных электронов не зависит от интенсивности излучения, но связана с частотой света линейным законом, причем с увеличением частоты света энергия возрастает (см. формулу (4)).

2. Если энергия фотона меньше работы выхода, то электрон не может выйти из потенциальной ямы. Красная граница фотоэффекта

соответствует случаю, когда энергия фотона равна работе выхода:

$$h\nu_0 = hc / \lambda_0 = A.$$

При $\nu < \nu_0$, когда энергия фотона меньше работы выхода, фотоэмиссия невозможна.

3. С увеличением интенсивности излучения растет число падающих фотонов и, следовательно, число испущенных электронов.

Вакуумные фотоэлементы нашли широкое практическое применение для измерения интенсивности света. *Спектральной чувствительностью* $S(\lambda)$ фотоэлемента называют отношение тока насыщения I_0 к вызывающему его лучистому потоку Φ монохроматического света с длиной волны λ :

$$S(\lambda) = I_0 / \Phi, \quad \text{мкА/Вт.}$$

Если измерить ток насыщения I_0 для монохроматического излучения с известной длиной волны, то поток излучения можно найти по формуле:

$$\Phi = I_0 / S(\lambda).$$

Для изготовления фотокатодов обычно используют подходящий полупроводник вместо металла. При этом удается повысить чувствительность $S(\lambda)$ фотоэлемента, а также сместить красную границу в область больших длин волн. Серийные вакуумные фотоэлементы чувствительны в диапазоне 115 - 1100 нм.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Методика измерения постоянной Планка

Фотоны с энергией $h\nu$ при освещении фотокатода с работой выхода A выбивают электроны с максимальной кинетической энергией $\frac{mu_{max}^2}{2}$. Эти величины связаны формулой Эйнштейна для внешнего фотоэффекта (см. формулу (4)):

$$h\nu = A + \frac{mu_{max}^2}{2} \quad (5)$$

Максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов $\frac{mu_{max}^2}{2}$ определяют *методом запирающего (задерживающего) напряжения*. Для этого фотоэлемент включают в электрическую схему, в которой измеряют ток фотоэлемента при *обратной* полярности напряжения между фотокатодом и анодом. При обратной полярности испущенные фотокатодом электроны движутся в тормозящем электрическом поле фотоэлемента. При увеличении обратного напряжения то фотоэлемента уменьшается, и при некотором напряжении $U_{зап}$ (*запирающее напряжение*) ток обращается в нуль (см. рис. 2). Максимальная кинетическая энергия электронов равна (см. формулу (2)):

$$\frac{mu_{max}^2}{2} = eU_{зап} \quad (6)$$

где e - заряд электрона ($e = 1,610^{-19}$ Кл).

Объединяя формулы (5) и (6), получим: $h\nu = A + eU_{зап}$ (7)

В лабораторной работе измеряют запирающее напряжение $U_{зап}$ при освещении фотоэлемента монохроматическим светом различной частоты ν . По результатам измерений строят графическую зависимость $U_{зап}$ от ν (рис. 8).

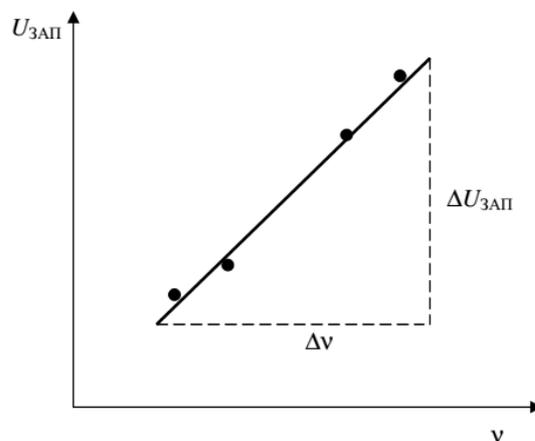


Рис. 8. Графическое определение постоянной Планка

Используя полученный график, определяют постоянную Планка. Для этого преобразуем формулу (7), взяв приращения (дифференциалы) $\Delta U_{\text{зап}}$ запирающего напряжения и $\Delta \nu$ частоты:

$$h\Delta\nu = e\Delta U_{\text{зап}}$$

Отсюда следует формула для определения постоянной Планка:

$$h = \frac{e\Delta U_{\text{зап}}}{\Delta\nu} \quad (8)$$

Дифференциалы $\Delta \nu$ и $\Delta U_{\text{зап}}$ определяют из графика (см. рис. 8).

Описание экспериментальной установки

Принципиальная схема установки показана на рис. 9. Источником света служит лампа накаливания Л со сплошным спектром излучения. Лампа питается от источника ИСТ-1 переменного напряжения 12 В.

С помощью узкополосных интерференционных светофильтров СФ выделяется монохроматическое излучение с различной длиной волны. Интерференционный светофильтр представляет собой стеклянную пластинку, на которую нанесены методом вакуумного напыления тонкие (порядка длины волны света) слои диэлектрика с чередующимися значениями (высокий - низкий) показателя преломления. Толщина слоев строго определенная, а общее число слоев может достигать нескольких десятков. Свет отражается от границ раздела слоев, при этом возникает многолучевая интерференция света. В результате получают, что через светофильтр проходит свет в узкой полосе длин волн, а все остальное излучение отражается обратно.

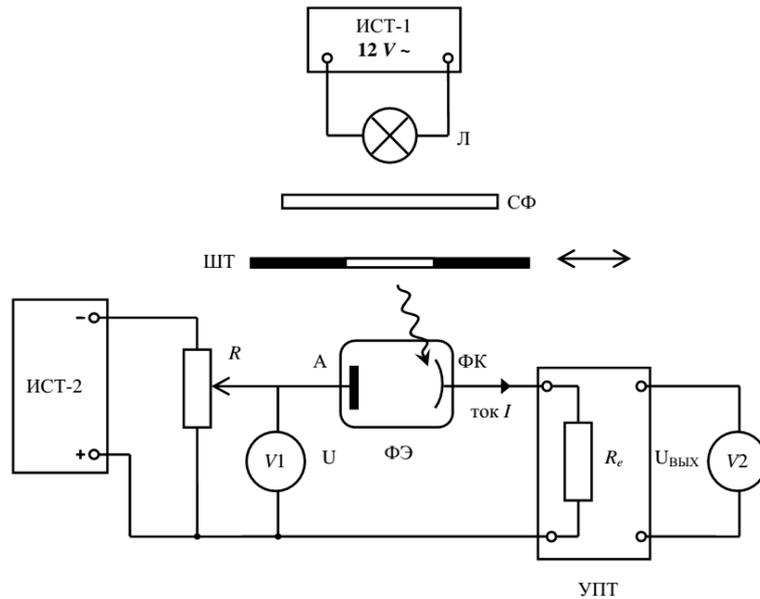


Рис. 9. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки

На электроды фотоэлемента (ФЭ) подается напряжение от источника питания ИСТ-2 так, чтобы минус источника был подключен к аноду. При этом электрическое поле в фотоэлементе будет тормозящим для электронов, вылетевших из фотокатода (ФК). Напряжение источника можно регулировать от 0 до 12 В. Дополнительная, более тонкая регулировка напряжения на фотоэлементе осуществляется с помощью реостата R. Напряжение U между электродами фотоэлемента, анодом (А) и фотокатодом (ФК), измеряют вольтметром V1.

Для регистрации очень слабого тока I фотоэлемента его необходимо усилить. Для этого служит усилитель постоянного тока (УПТ), коэффициент усиления K которого можно изменять. К входным гнездам «In» усилителя подключен (внутри усилителя) входной резистор R_e , через который протекает ток I фотоэлемента. Входное сопротивление R_e можно изменять. К выходным гнездам «Out» усилителя подключен вольтметр V2 для измерения выходного напряжения $U_{\text{вых}}$. По результатам измерения напряжения $U_{\text{вых}}$ находят силу тока I фотоэлемента по формуле:

$$I = \frac{U_{\text{вых}}}{KR_e} \quad (9)$$

Для изменения интенсивности света перед фотоэлементом ФЭ установлена шторка (ШТ), имеющая круглое отверстие и щель. Шторку можно перемещать.

В состав установки входят (рис. 10): лампа и фотоэлемент, заключенные в светонепроницаемые корпуса; блок питания лампы и фотоэлемента; усилитель тока фотоэлемента; реостат; два универсальных цифровых измерительных прибора (мультиметры); набор интерференционных светофильтров на пять различных длин волн и соединительные проводники с вилками.



Рис. 10. Фотография лабораторной установки

Монтажная электрическая схема установки показана на рис. 11.

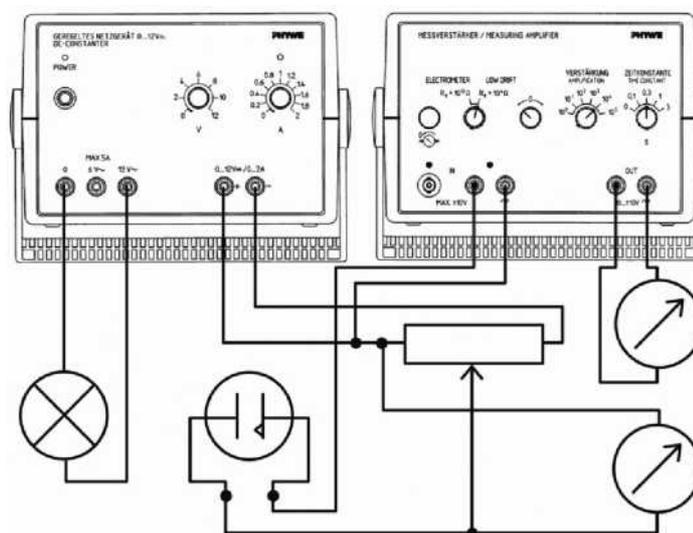


Рис. 11. Монтажная электрическая схема

Выполнение лабораторной работы

Задание 1. Ознакомление с лабораторной установкой

Усилитель тока имеет входные «In» и выходные «Out» гнезда. В усилителе можно изменять входное сопротивление R_e (10^{13} или 10^4) и коэффициент усиления K (Amplification) от 10^0 до 10^5 .

С помощью переключателя «Time constant» можно варьировать время усреднения результатов измерения силы тока в пределах от 0 до 3 с. Если установлено, например, время 0,3 с, то в усилителе происходит в течение 0,3 с усреднение тока фотоэлемента, в результате уменьшаются переменные электрические помехи и повышается точность измерения силы постоянного тока.

В усилителе имеется регулировка, называемая «установка нуля». Если при отсутствии тока на входе усилителя на его выходе имеется напряжение, то его надо устранить. Для этого проводником с вилками замыкают входные гнезда «In» усилителя и вращением ручки « $\leftarrow 0 \rightarrow$ » усилителя добиваются нулевого напряжения на выходе усилителя. После описанной процедуры убирают проводник, которым замыкали входные

гнезда.

Напряжение $U_{\text{вых}}$ на выходных клеммах усилителя не может превышать 10 В независимо от величины входного тока. Если выходное напряжение достигло 10 В, то усилитель может быть «перегружен», а результат измерения тока искажен. В этом случае необходимо уменьшить коэффициент усиления.

В блоке питания имеются выходные гнезда на переменные (AC) напряжения 6 В и 12 В и на постоянное (DC) напряжение, регулируемое от 0 до 12 В. Постоянное напряжение изменяют ручкой «V». Ручкой «A» устанавливают предельный ток источника постоянного напряжения (до 1 А).

Мультиметры типа 3335 DMM используются для измерения постоянных напряжений между электродами фотоэлемента и на выходе усилителя. Напряжение подают на клеммы «com» и «V-Ω».

Порядок выполнения задания.

1. Зарисовать в рабочей тетради принципиальную схему установки (см. рис. 9).
2. Установить в блоке питания ручку «A» в положение 1 А (один ампер), а ручку «V» - на 2 В (предельное напряжение в лабораторной работе).
3. Мультиметры установить в режим измерения постоянного напряжения «V=» с пределом измерений 2 В. Включить питание мультиметров.
4. С помощью переключателей установить рабочий режим усилителя тока: входное сопротивление $R_e = 10^4 \Omega$, усиление («Amplification») $K = 10^3$, время усреднения тока («Time constant» 0,3 с).
5. Включить сетевое питание усилителя и источников тока. Для этого вставить сетевые вилки в розетки и включить питание тумблером, расположенным на задней стенке приборов. При этом в блоке питания должен загореться индикатор «Power».
6. Отрегулировать нуль усилителя. Для этого замкнуть проводником с вилками входные гнезда «In» усилителя; при этом не следует отключать другие проводники от входных гнезд. Вращением ручки «←0→» усилителя добиться нулевого напряжения на выходе усилителя. После описанной процедуры убрать проводник, которым замыкали входные гнезда усилителя.

Задание 2. Измерить запирающее напряжение для различных частот и интенсивности света

Измерения выполняют, изменяя частоту света с помощью узкополосных светофильтров, пропускающих излучение с различной длиной волны. Длина волны указана на оправе светофильтра.

Интенсивность света изменяют перемещением шторки на входном окне блока фотоэлемента. Назовем интенсивность *нормальной*, когда свет проходит через круглое отверстие полностью. Если шторку сдвинуть на половину диаметра отверстия, то интенсивность света уменьшится примерно вдвое (*уменьшенная* интенсивность).

Порядок выполнения задания.

Результаты измерения запирающего напряжения

Таблица 1

λ , нм	ν , 10^{14} Гц	Запирающее напряжение $U_{\text{зап}}$, В		
		При нормальной интенсивности	При уменьшенной интенсивности	Среднее для двух интенсивностей
366	8,2			
405	7,41			
436	6,88			
546	5,50			
578	5,20			

Подготовить табл. 1 для записи результатов измерений.

ВНИМАНИЕ! Очень бережно обращаться с интерференционными светофильтрами, не дотрагиваться до их поверхности, не протирать, не ронять.

1. Присоединить к блоку с лампой один из светофильтров. Шторку на блоке фотоэлемента установить так, чтобы свет проходил через круглое отверстие полностью. Плотно соединить блок фотоэлемента с блоком лампы. Исключить засветку фотоэлемента посторонними источниками света.
2. Перемещением движка реостата установить максимальное напряжение U на фотоэлементе (примерно 2 В). При этом выходное напряжение усилителя $U_{\text{вых}}$ должно быть отрицательным. Отрицательному выходному напряжению соответствует отрицательный ток фотоэлемента.
3. Отрицательный ток объясняется небольшим побочным эффектом - эмиссией фотоэлектронов с поверхности анода. При напряжении ≥ 2 В обратной полярности электроны, испущенные с фотокатода, уже не достигают анода. Однако имеется небольшая эмиссия электронов с поверхности анода, который также освещается. Для электронов, испущенных анодом, напряжение является прямым (а не обратным), поэтому они достигают фотокатода, создавая наблюдаемый отрицательный ток.
4. Медленно уменьшая реостатом напряжение на фотоэлементе, следить за напряжением $U_{\text{вых}}$ на выходе усилителя. При этом отрицательное выходное напряжение усилителя должно уменьшаться по величине, и пройдя через нулевое значение, изменить полярность на положительную, а затем возрастет при дальнейшем уменьшении напряжения между катодом и анодом.
5. Анализ показывает, что напряжение U на фотоэлементе, при котором ток фотоэлемента равен нулю (выходное напряжение усилителя $U_{\text{вых}} = 0$), можно принять за напряжение запираения $U_{\text{зап}}$.
6. Медленным перемещением движка реостата определить, как можно точнее, запирающее напряжение $U_{\text{зап}}$. Результат измерения $U_{\text{зап}}$ записать в табл. 1 в столбец для нормальной интенсивности.

7. Уменьшить интенсивность света примерно в два раза, сдвинув шторку на половину диаметра круглого отверстия. Повторить измерения п. 8. Результат измерения записать в табл. 1 в столбец для уменьшенной интенсивности.
8. Повторить измерения пунктов 8, 9 для светофильтров с другими длинами волн. Результаты измерений записать в табл. 1.
9. Выключить питание установки.

Обработка результатов измерений

1. По результатам измерения (см. табл. 1) запирающего напряжения $U_{зан}$ при различной интенсивности света, но одинаковой частоте, сделать вывод, зависит ли максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов от интенсивности света?
2. По результатам измерения запирающего напряжения $U_{зан}$ при различной интенсивности света вычислить среднее значение запирающего напряжения для каждой частоты. Результат вычисления записать в табл. 1.
3. По результатам измерений (см. табл. 1) построить графическую зависимость запирающего напряжения $U_{зан}$ (среднего значения) от частоты ν излучения. Для этого нанести на график экспериментальные точки (хорошо заметными значками) и провести через них наилучшую прямую (см. рис. 8).
4. Сделать вывод, подтверждает ли полученный график второй закон фотоэффекта?

Используя построенный график, определить постоянную Планка h по методике, описанной выше (см. формулу (8)). Полученное значение h представить в табл. 2.

Результаты измерения постоянной Планка и энергии фотона

Таблица 2

Постоянная Планка	$h =$
Относительная погрешность измерения	$\varepsilon =$ %
Энергия фотона видимого света ($\lambda = 546$ нм)	$E =$ Дж = эВ

5. Из сравнения полученного в лабораторной работе значения h с табличным значением $h = 6,6262 \cdot 10^{-34}$ Джс вычислить относительную погрешность измерения ε в %.

6. Вычислить энергию фотона зеленого света ($\lambda = 546$ нм) в Дж и эВ. Результаты вычислений представить в табл. 2.

Контрольные вопросы

1. Почему необходимо затратить энергию для вырывания электрона из металла? Что такое работа выхода электрона?
2. Что такое ток насыщения и как он связан с числом испущенных электронов, а также с потоком излучения?

3. В чем заключается метод запирающего напряжения для измерения кинетической энергии заряженных частиц?
4. Как формулируются законы фотоэффекта и основные положения фотонной теории света?
5. В чем суть формулы Эйнштейна для фотоэффекта?
6. В чем состоят противоречия между классической теорией света и законами фотоэффекта?
7. В чем заключается методика измерения постоянной Планка в данной работе?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

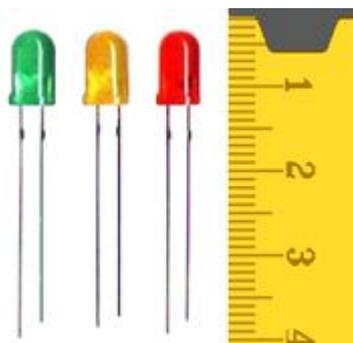
ВОЛЬТ -АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СВЕТОДИОДОВ

Цель работы: Изучить ВАХ (вольт-амперные характеристики) светодиодов, построить вольт-амперные характеристики по измеренным значениям I и U , сделать вывод.

Приборы и принадлежности: Светодиоды разного света (инфракрасный, красный, зеленый, синий, ультрафиолетовый), трубка для светодиода, источник питания (рег. 0...12 В), цифровые мультиметры, соединительные провода (красный и синий)

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Светодиоды – это полупроводниковые приборы, которые преобразуют электрическую энергию в световую. В основе их работы лежит физическое явление, называемое люминесценцией. Люминесценция это электромагнитное нетепловое излучение, длительность которого значительно превышает период световых колебаний. Для возникновения люминесценции требуется подвод энергии. В зависимости от вида подводимой к веществу энергии различают фото-, хими-, электро- и другие виды люминесценции.



В

светодиодах излучение световой энергии достигается за счет инжекционной электролюминесценции, которая возникает при прямом смещении диода.

Впервые инжекционная электролюминесценция наблюдалась О.В. Лосевым в 1923 г. на карбиде кремния. Полупроводниковые приборы, основанные на этом явлении, получили название светоизлучающих диодов, (или просто светодиодов); если излучение происходит не в видимом, а инфракрасном диапазоне, приборы называют излучающими диодами.

При прямом включении р-п-перехода навстречу друг другу идут диффузионные потоки электронов из n – области в р-область, а дырок — из р- в n-область. При встрече электронов и дырок происходит их рекомбинация, которая может быть безызлучательной (в большинстве приборов) или излучательной. В излучающих диодах созданы условия для излучательной рекомбинации. Длины излучаемых электромагнитных волн

зависят от ширины запрещенной зоны полупроводника и расположения в ней *рекомбинационных ловушек*.

Если излучение относится к инфракрасному диапазону, то диоды называют *излучающими*, а если к видимому – светоизлучающими или просто - *светодиодами*. Светодиоды изготавливают из карбида кремния (желтого свечения), фосфида галлия (красного и зеленого свечения), нитрида галлия (голубого свечения), а также из некоторых тройных соединений. Излучение светодиодов **некогерентно**.

Основой светодиода является электронно-дырочный переход (p-n - переход), возникающий при контакте двух полупроводников p- и n- типа. При приложении к p-n - переходу электрического поля в *прямом* направлении (“+” к p- области, а “-” к n- области) возникают встречные диффузионные потоки электронов и дырок. Через p-n - переход дырки движутся из p- области в n- область, а электроны из n- области в p- область, т.е. наблюдается инжекция основных носителей заряда (рис.2).

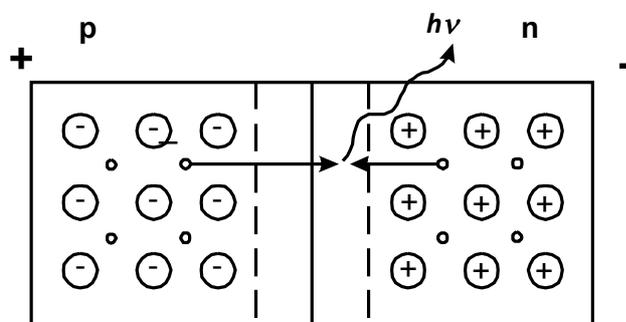


Рис.2. Рекомбинация электронов и дырок в p-n - переходе

Инжектированные носители заряда рекомбинируют либо в самом переходе, либо вблизи него. Рекомбинация сопровождается излучением квантов света. При этом через p-n - переход протекает прямой ток, который является мерой инжекции. Чем больше инжектировано основных носителей через p-n - переход, тем больше актов рекомбинации происходит в единицу времени, тем больше яркость свечения. Поэтому яркость свечения пропорциональна величине прямого тока.

Для получения полной информации и поведении светодиода следует изучить его вольт-амперную характеристику (ВАХ).

Вольт-амперная характеристика светодиода – это зависимость прямого тока I через p-n - переход от напряжения U на нем.

Для p-n - перехода, включенного в прямом направлении, эта зависимость имеет вид:

$$I = I_0 \cdot e^{\frac{qU}{nkT}}, \quad (1)$$

где I_0 , n - постоянные величины; n - коэффициент, зависящий от температуры, величины прямого тока и механизма рекомбинации.

При обратном включении светодиода, он не излучает свет, так как через него протекает малый ток утечки $I_{обр}$.

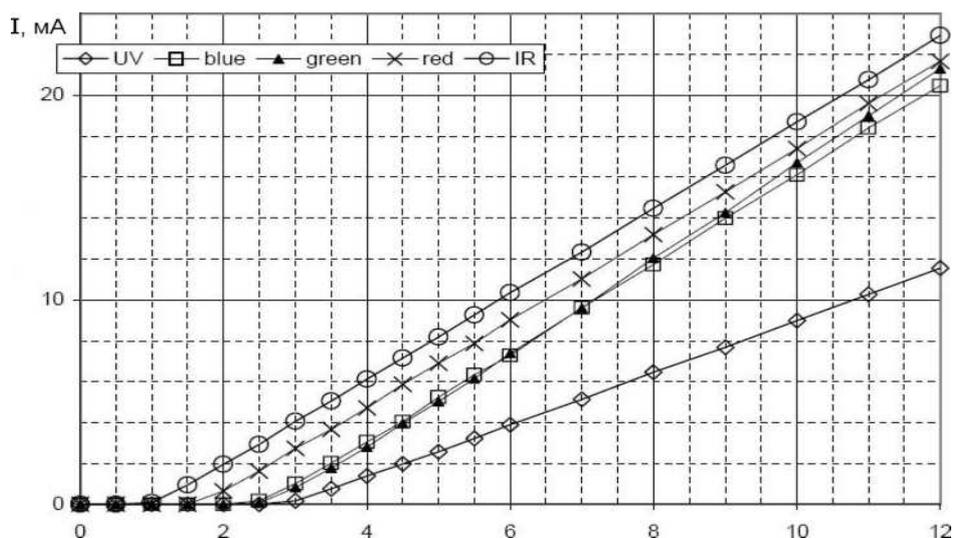


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика разного светодиода

Важно, чтоб приложенное к светодиоду обратное напряжение не превышало предельно допустимого обратного напряжения $U_{обр}$. Поскольку может произойти пробой полупроводника. Рабочий режим светодиода отображает правая часть ВАХ, круто уходящая вверх. Чтоб светодиод не вышел из строя, протекающий через него ток не должен превышать предельно допустимый прямой ток $I_{пр.д}$.

ВАХ светодиода качественно не отличается от обычного выпрямительного диода на основе кремния или германия. Однако за счет большей ширины запрещенной зоны используемого в светодиоде полупроводника напряжение отсечки (т.е. контактная разность потенциалов) у светодиода выше.

Порядок выполнения работы

1. Соберите электрическую цепь, по схеме, приведенной на рис. 4.
Внимание: Соблюдайте полярность!

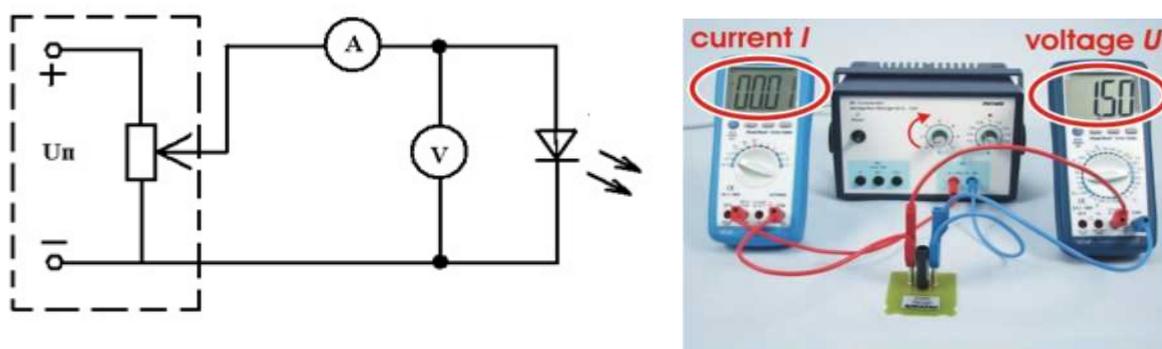


Рис. 4. Электрическая схема и фотография лабораторной установки

2. Установите рассеивающую свет трубку на светодиод и закройте большим пальцем отверстие для предотвращения попадания света.
 3. Включите источник питания. Постепенно увеличивайте напряжение, как указано в таблице 1, и отмечайте соответствующий ток.
- Запишите расстояние от центра до первого максимума, как в таблице 1
4. Установите напряжение на источнике питания на ноль и замените светодиод.
 5. Повторите измерения с другими светодиодами.
 6. Отметьте значения измерений из таблицы на диаграмме.

таблица 1

U, В	Сила тока, мА				
	ультрафио	синий	зеленый	красный	инфракрас
0					
0.5					
1					
1.5					
2					
2.5					
3					
3.5					
4					
4.5					
...					
....					
12					

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется электролюминесценцией?
2. Принцип действия светодиода.
3. Объясните излучение светодиода с точки зрения зонной теории.
4. Устройство светодиода, его особенности и применение.
5. Характеристики светодиода и их объяснение.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Основные физические постоянные

Физическая постоянная	Числовое значение
Гравитационная постоянная	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 / \text{кг} \cdot \text{сек}^2$
N_0 – число Авагадро N_A	$6,025 \cdot 10^{26} \text{ кмоль}^{-1}$
	$22,4 \text{ м}^3 / \text{моль}$
Универциальная газовая постоянная R	$8,31 \cdot 10^3 \text{ ж/кмоль} \cdot \text{град}$
Постоянная Больцмана k	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ ж/град}$
Число Фарадея F	$9,6710^4 \text{ кмоль}$
Постоянная Стефана-Больцмана σ	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}^4$
Постоянная Планка h	$6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{сек}$
Заряд электрона e	$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса покоя электрона m_0	$9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг} = 5,49 \cdot 10^{-4} \text{ а.е.м.}$
Масса покоя протона m_0	$1,672 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00795 \text{ а.е.м.}$
Масса покоя нейтрона m_0	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00899 \text{ а.е.м.}$
Скорост света в вакууме c	$3,00 \cdot 10^8 \text{ м/сек}$

Работа выходов электронов из металла (eV)

W	4,5
W+Cs	1.6
W+Th	2.63
Pt+Cs	1.40
Pt	5.3
Ag	4.74
Li	2.4
Na	2.3
K	2.0
Cs	1.9

Показателя переломления .

Алмаз	2.42
Вода	1.33
Лед	1.31
Сероуглерод	1.63
Скипидар	1.48
Стекло	1.5-1.9

граница к-серии рентгеновских лучей для различных материалов антикатода (A^0)

Volfram	0.178
Oltin	0.153
Mis	1.38
Platina	0.158
Kumush	0.484

Спектральные линии ртутной дуги (Å^0)

2537	4047	5461	6128
3650	4358	5770	6908
3655	5235	5791	7082

Массы некоторых изотопов а.е.м.

Изотоп	Масса	Изотоп	Масса	Изотоп	Масса
${}^1_1\text{H}^1$	1.00814	${}^9_4\text{Be}^9$	9.01505	${}^{30}_{14}\text{Si}^{30}$	29.98325
${}^2_1\text{H}^2$	2.01474	${}^{10}_4\text{B}^{10}$	10.011612	${}^{40}_{20}\text{Ca}^{40}$	39.97542.
${}^3_1\text{H}^3$	3.01700	${}^{12}_6\text{C}^{12}$	12.00380	${}^{56}_{27}\text{Co}^{56}$	55.95769
${}^3_2\text{H}^3$	3.01699	${}^{13}_7\text{N}^{13}$	13.00987	${}^{63}_{29}\text{Cu}^{63}$	62.94962
${}^4_2\text{H}^4$	4.00388	${}^{14}_7\text{N}^{14}$	14.00752	${}^{113}_{48}\text{Cd}^{113}$	112.94206
${}^6_3\text{Li}^6$	6.01823	${}^{17}_8\text{O}^{17}$	17.00453	${}^{200}_{80}\text{Hg}^{200}$	200.02800.
${}^7_3\text{Li}^7$	7.01823	${}^{23}_{12}\text{Mg}^{23}$	23.00145	${}^{235}_{92}\text{U}^{235}$	235.11750
${}^7_4\text{Be}^7$	7.01916	${}^{24}_{12}\text{Mg}^{24}$	23.99267	${}^{238}_{92}\text{U}^{238}$	238.12376
${}^8_4\text{Be}^8$	8.00785	${}^{27}_{13}\text{Al}^{27}$	26.99010	-	-

Периоды полураспада некоторых радиоактивных элементов

${}^{45}_{20}\text{Ca}^{45}$	164 сут
${}^{90}_{38}\text{Sr}^{90}$	28 лет
${}^{210}_{84}\text{Po}^{210}$	1.38 сут
${}^{222}_{86}\text{Rn}^{222}$	3.82 сут
${}^{226}_{88}\text{Ra}^{226}$	1590 лет
${}^{235}_{92}\text{U}^{235}$	$7.1 \cdot 10^8$ лет
${}^{238}_{92}\text{U}^{238}$	$4.5 \cdot 10^9$ лет

0°-90° градусов для sin и cos

град	sin	tg	град	sin	tg	град	sin	tg
0	0,0000	0,0000	31	0,5150	0,6009	61	0,8746	1,804
1	0,0175	0,0175	32	0,5299	0,6249	62	0,8829	1,881
2	0,0349	0,0349	33	0,5446	0,6494	63	0,8910	1,963
3	0,0523	0,0524	34	0,5592	0,6745	64	0,9888	2,050
4	0,0698	0,0699	35	0,5736	0,7002	65	0,9063	2,145
5	0,0872	0,0875	36	0,5878	0,7265	66	0,9135	2,246
6	0,1045	0,1051	37	0,6018	0,7536	67	0,9205	2,356
7	0,1219	0,1228	38	0,6157	0,7813	68	0,9272	2,4755
8	0,1392	0,1405	39	0,6193	0,8098	69	0,9336	2,605
9	0,1564	0,1584	40	0,6428	0,8391	70	0,9397	2,747
10	0,1736	0,1763	41	0,6561	0,8693	71	0,9455	2,904
11	0,1908	0,1944	42	0,6691	0,9004	72	0,9511	3,078
12	0,2079	0,2126	43	0,6820	0,9323	73	0,9563	3,271
13	0,2250	0,2309	44	0,6947	0,9657	74	0,9613	3,486
14	0,2419	0,2493	45	0,7071	1,000	75	0,9659	3,732
15	0,2588	0,2679	46	0,7193	1,036	76	0,9703	4,011
16	0,2756	0,2867	47	0,7314	1,072	77	0,9744	4,331
17	0,2924	0,3057	48	0,7431	1,111	78	0,9781	4,705
18	0,3090	0,3249	49	0,7547	1,150	79	0,9816	5,145
19	0,3256	0,3443	50	0,7660	1,192	80	0,9848	5,671
20	0,3420	0,3640	51	0,7771	1,235	81	0,9877	6,314
21	0,3584	0,3839	52	0,7880	1,280	82	0,9903	7,115
22	0,3746	0,4040	53	0,7986	1,327	83	0,9925	8,114
23	0,3907	0,4245	54	0,8090	1,376	84	0,9945	9,514
24	0,4067	0,4452	55	0,8192	1,428	85	0,9962	11,43
25	0,4226	0,4663	56	0,8290	1,483	86	0,9976	14,30
26	0,4384	0,4877	57	0,8387	1,540	87	0,9986	19,08
27	0,4540	0,5095	58	0,8490	1,600	88	0,9994	28,64
28	0,4695	0,5317	59	0,8572	1,664	89	0,9998	57,28
29	0,4848	0,5543	60	0,8660	1,734	90	1,000	∞
30	0,5000	0,5774						

ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Савельев В.И. Курс общей физики. Кн. 4. Волны. Оптика. М.: Наука, 2003.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 4. Оптика. М. Наука, 2002.
3. Трофимова Т.И. Курс физики. М. Высшая школа, 2003.
4. Калашников Н.П., Смондырев М.А. Основы физики. Т. 2. М.: Дрофа, 2004.
5. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 4. М. Астрель, АСТ, 2004, 2009.
6. *Иродов И.Е.* Квантовая физика. Основные законы. - М. Лаборатория базовых знаний, 2001.

Дополненные

1. Ландсберг Г.Г. Оптика. М.: Наука, 1976.
2. Бутиков Е.И. Оптика. М. Высшая школа, 1986.
3. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. М. Высшая школа, 1999.
4. Зисман А.Г. Тодес О.М. Курс общей физики. Т. 3. М. Наука, 1970.
5. Матвеев А.Н. Оптика. М. Оникс, Мир и Образование, 2007.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1 Определение показателя преломления стекла с помощью микроскопа.....	4
2 Определение показателя преломления стекла интерференционным методом.....	9
3 Изучение явления интерференции в опыте с бипризмой Френеля ...	17
4 Определение коэффициента поглощения жидкости	24
5 Определение длины световой волны при помощи прозрачной дифракционной решетки.....	28
6 Изучение закона М алюса.....	39
7 Определение постоянное Стефана - Больцмана.....	44
8 Проверка законы внешнего фотоэффекта.....	51
9 Вольт -амперная характеристика светодиодов.....	61
Приложение	65
Литература	68