

Введение

Физический практикум предназначен для подготовки к лабораторным занятиям студентов инженерно-технических, физико-математических и естественнонаучных специальностей вузов по разделу курса «Оптика» общего курса физики. Физический практикум помогает студентам глубже и подробнее ознакомиться с физическими приборами, а также овладеть основными методами точных измерений. Настоящее пособие включает описание 4 лабораторных работ, каждое из которых содержит краткое теоретическое введение, схему лабораторной установки, методику выполнения измерений. После описания всех работ приводится список необходимой литературы.

Целью данного пособия является изучение и освоение основных физических явлений и идей, фундаментальных понятий, законов и теорий современной и классической физики. На лабораторных занятиях формируются навыки и умение в проведении физического эксперимента, обработки результатов измерений и их анализа, а также осуществляется ознакомление с методами физического исследования. Использование данного пособия позволяет улучшить организацию лабораторных занятий, улучшить методическое обеспечение, а также образовательный уровень студентов по дисциплине «Физика».

Лабораторная работа № 61 Определение световой волны с помощью дифракционной решетки

Цель работы:

- 1) Изучение интерференции и дифракции на дифракционной решетке;
- 2) Измерение длины световой волны.

Теоретическое введение

Явление интерференции и дифракции света

Свет – электромагнитная волна форма материи, проявляющая как волновые, так и корпускулярные свойства.

Волновые свойства света обнаруживаются в явлениях интерференции и дифракции. Интерференцией называется явление, сопровождающееся пространственным перераспределением интенсивности в области наложения только когерентных световых волн. Поэтому в этом случае наблюдаются устойчивые положения максимумов и минимумов световых волн. Интенсивностью световой волны называется величина, численно равная средней энергии, переносимой световой волной за единицу времени через единицу площади поверхности, перпендикулярной к падающему лучу. Интенсивность пропорциональна квадрату амплитуды падающей волны.

Когерентные волны – это волны с одинаковыми частотами колебаний, с постоянной во времени разностью фаз в точке наложения или с постоянной оптической разностью хода Δ до точки наложения. Кроме того, в световых волнах должны быть одинаковыми направления колебаний.

Максимум интенсивности при интерференции когерентных волн наблюдается, если оптическая разность хода равна: $\Delta = \pm 2m \frac{\lambda}{2}$, а разность фаз $\Delta\varphi = \pm 2m \cdot \pi$, то есть колебания в исследуемую точку приходят в одинаковой фазе.

Минимум интенсивности наблюдается, если $\Delta = \pm(2m + 1) \frac{\lambda}{2}$, и $\Delta\varphi = \pm(2m + 1) \cdot \pi$, то есть колебания в исследуемую точку приходят в противофазе. В данном случае m – целое число $m = 0, 1, 2, 3, \dots$ λ – длина волны в вакууме и в воздухе.

Явление дифракции возникает при нарушении целостности волновой поверхности и проявляется, в частности, в нарушении закона прямолинейного распространения света (проникновении света

в область геометрической тени), то есть огибание волнами препятствий, соизмеримых с длиной падающей волны на это препятствие.

Задача дифракции заключается в нахождении распределения освещенности на экране в зависимости от размеров и формы препятствий. В большинстве случаев явление дифракции можно объяснить используя принцип Гюйгенса – Френеля.

Согласно принципу Гюйгенса, каждую точку, в которую пришла волна от источника, можно принять за центр вторичных волн. Френель дополнил и развил эту идею следующими положениями: вторичные волны когерентны и интерферируют при наложении.

Дифракция света в параллельных лучах называется дифракцией Фраунгофера (источник удален от экрана на большое расстояние). В данной работе изучается дифракция Фраунгофера. В этом случае дифракционная картина наблюдается в виде темных и светлых полос, если падает монохроматический свет, то есть свет с длиной волны λ .

Дифракционная решетка

Рассмотрим систему N одинаковых щелей (рисунок 61.1) шириной a , разделенных одинаковыми непрозрачными промежутками b , такая система называется дифракционной решеткой

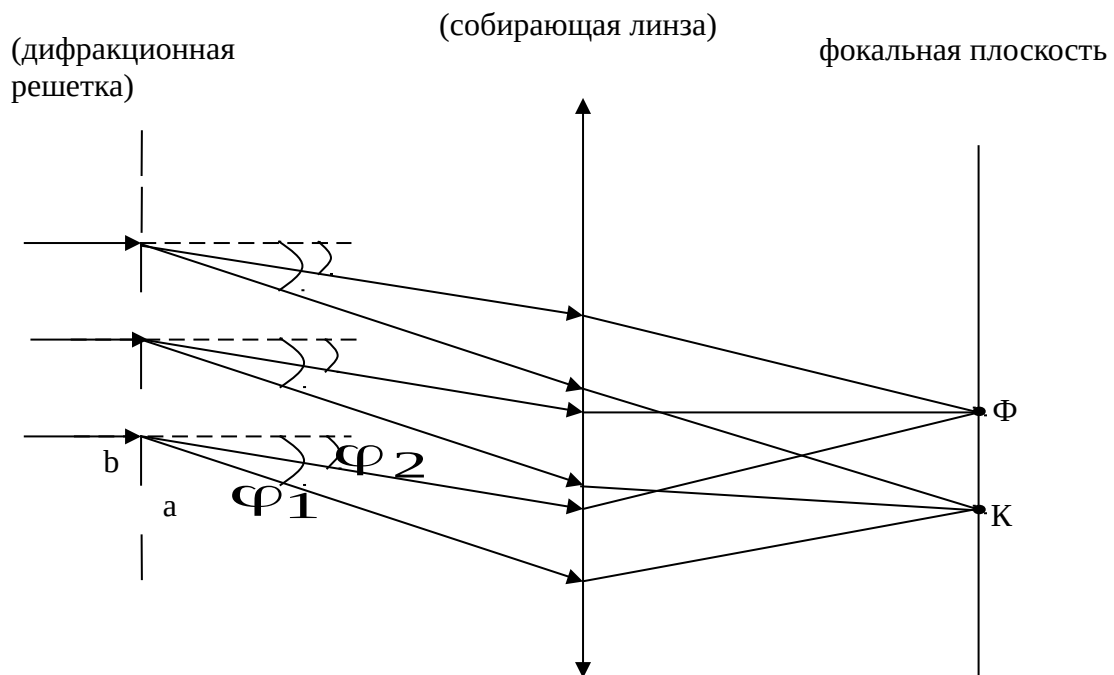


Рисунок 61.1

Пусть свет падает на решетку нормально. За щелями в результате дифракции лучи будут распространяться под различными углами к лучам, падающими на решетку. Если на пути этих лучей поместить собирающую линзу, то в фокальной плоскости этой линзы в одной точке соберутся лучи, отклоненные под одинаковыми углами. Оптическая разность хода между соответствующими лучами от соседних щелей равна: $\Delta = (a+b) \cdot \sin \varphi$, где угол φ - это угол между направлением падающего луча на щель и отклонённым лучом при дифракции, или $\Delta = d \sin \varphi$, где $d = a+b$ - называется периодом дифракционной решетки, этой разности хода соответствует разность фаз $\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta}{\lambda}$.

Если $\Delta = \lambda$, то $\delta = 2\pi$, следовательно, лучи придут в одинаковых фазах, и будут усиливать друг друга.

Условие образования максимумов в этом случае имеет вид: $d \sin \varphi = m \lambda$, где $m = 0; \pm 1; \pm 2$. Эти максимумы называются главными.

Из условия максимума следует, что при $m=0$, $\varphi = 0$. На экране получается максимум нулевого порядка. При $m = \pm 1$ по обе стороны от нулевого возникают два дифракционных максимума первого порядка и так далее.

При освещении дифракционной решетки белым светом, полоса нулевого порядка белого цвета, так как для $\varphi = 0$ условие максимума выполняется для любых длин волн. Каждая полоса порядка $m \neq 0$ представляет собой спектр, причем красному его краю соответствует больший угол дифракции.

Интенсивность максимумов постепенно убывает, число дифракционных спектров ограничено и определяется условием

$$\sin \varphi = m \frac{\lambda}{d} \leq 1. \quad (61.1)$$

Дифракционная решетка является хорошим спектральным прибором, широко используется в спектроскопии, в частности, для измерения длин волн света.

Описание экспериментальной установки и метода измерений

Используемый в работе прибор состоит из линейки (1) с делениями, на одном конце которой закреплена дифракционная решетка (2), вдоль которой свободно может перемещаться экран со щелью и миллиметровой шкалой (3). (Рисунок 61.2).

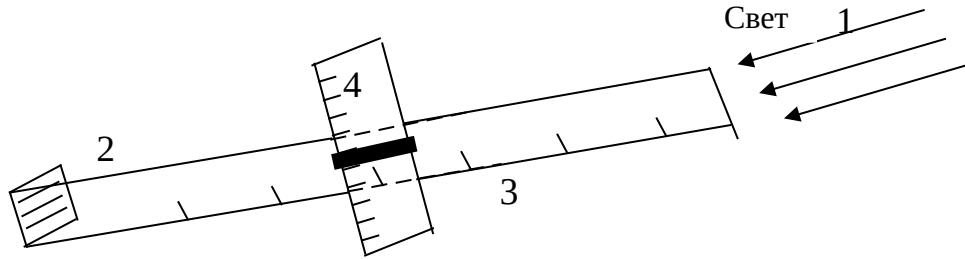


Рисунок 61.2

Если на щель (4) направить пучок света от источника, то посмотрев на нее через дифракционную решетку (2), по обе стороны от нее на шкале подвижного экрана (3) можно увидеть дифракционную картину - максимумы нескольких порядков, разделенные минимумами. Если свет белый, то максимумы будут представлять собой спектры белого света. Явление это объясняется следующим образом: на сетчатке глаза в фокальной плоскости хрусталика глаза собираются параллельные пучки лучей, отклоненные решеткой. Если угол отклонения (φ) удовлетворяет условию $d \sin \varphi = m\lambda$, то в точке Φ (рисунок 61.1) получается изображение щели, соответствующее длине волны λ . Наблюдатель увидит это изображение на шкале на продолжении лучей, попавших в глаз.

Из формулы $d \sin \varphi = m\lambda$ следует, что $\lambda = \frac{d \sin \varphi}{m}$. (61.2)

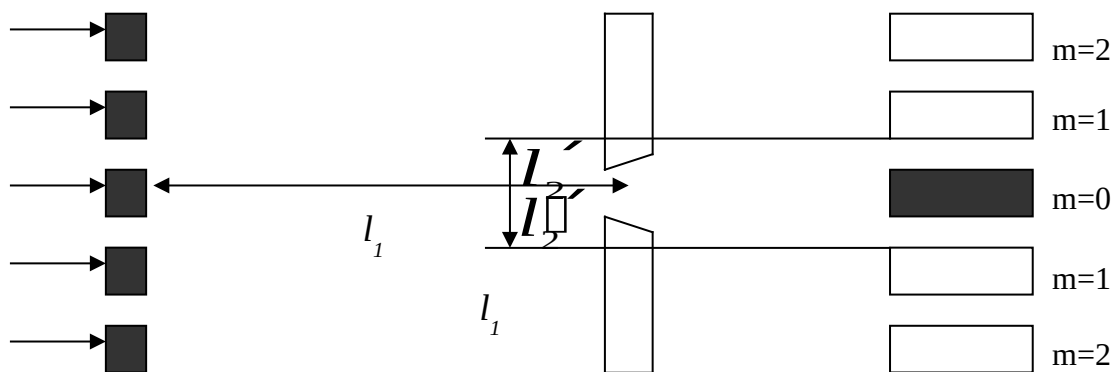


Рисунок 61.3

Для спектров малых порядков отклонения лучей угол мал, так

$$l_2 \ll l_1$$

как $l_2 \ll l_1$ (рисунок 61.3), где

l_1 - расстояние, отсчитанное по линейке (1) от дифракционной решетки до экрана со щелью;

l_2 - расстояние от щели до выбранной линии спектра, отсчитанное по шкале подвижного экрана (3). (Рисунок 61.3).

$$\text{Тогда } \sin \varphi \cong \text{tg } \varphi = \frac{l_2}{l_1}, \text{ откуда}$$

$$\lambda = \frac{dl_2}{l_1} \text{ или } \lambda = \frac{l_2}{Nl_1} \text{ где } N = \frac{1}{d}.$$

N – число щелей на единицу длины для данной дифракционной решетки.

Порядок выполнения работы

1 Перед началом работы устанавливают осветитель и, глядя на щель через дифракционную решетку, измеряют расстояние от щели до красных спектров первого и второго порядков ($m = \pm 1, m = \pm 2$), соответствующих самым длинным видимым красным лучам. Отсчет необходим для правого l_2' и левого l_2'' спектров, то есть по обе стороны от центрального максимума, для которого $m=0$ (белый свет). Из полученных данных определить среднее значение

$$\langle l_2 \rangle = \frac{l_2' + l_2''}{2} \quad (61.3)$$

2 Измерить расстояние l_1 от щели до дифракционной решетки.

3 Для еще двух значений l_1 измерить соответствующее значение l_2 для тех же красных лучей, то есть для $m = \pm 1$; и $m = \pm 2$.

4 Найти значение λ_i соответствующее различным значениям l_1 и m по формуле

$$\lambda_i = \frac{\langle l_2 \rangle d}{m \cdot l_1} \quad (61.4)$$

где $d = \frac{1}{N}$ - постоянная дифракционной решетки, причем N – число штрихов на единицу длины $N=10^5\text{м}^{-1}$.

5 Вычислить абсолютную $\Delta\lambda$ и относительную ε погрешности по формулам

$$\Delta\lambda = t(n) \sqrt{\frac{\sum (\langle \lambda \rangle - \lambda_i)^2}{n(n-1)}}; \quad \varepsilon = \frac{\Delta\lambda}{\langle \lambda \rangle} \cdot 100\%, \quad (61.5)$$

где $t(n)$ – коэффициент Стьюдента для n , n – число измерений.

6 Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.

Таблица измерений и вычислений

№	l_1	m	l_2	l_2'	λ	$\langle l_2 \rangle$ $\langle \lambda \rangle$	$\sum (\langle \lambda \rangle - \lambda_i)^2$	$\Delta\lambda$	ε	
	м		м	м	м	м		м	м ²	м
1		1								
		2								
2		1								
		2								
3		1								
		2								
ср.										

Записать результат измерений в виде доверительного интервала

$$\lambda = (\langle \lambda \rangle \pm \Delta\lambda) \text{ м} \quad (61.6)$$

Контрольные вопросы

1. Что такое свет?
2. Какое явление называется интерференцией?
3. Перечислите признаки когерентных волн.
4. Укажите условия наблюдения максимума и минимума при интерференции.
5. Какое оптическое явление называется дифракцией света? Когда оно наблюдается?
6. В чем заключается принцип Гюйгенса, Гюйгенса-Френеля?
7. Как происходит дифракция света на дифракционной решетке?
8. Покажите ход лучей после решетки?
9. Опишите дифракционную картину от решетки. Запишите условия появления максимумов и минимумов.
10. Каков порядок следования цветов в дифракционных спектрах? Почему?
11. Почему при дифракции белого света центральный минимум окрашен в белый свет?

Лабораторная работа № 65 Проверка Закона Малюса

Цель работы:

- 1) Изучение свойств плоскополяризованного света;
- 2) Проверка закона Малюса.

Теоретическое введение

Поляризация света

Световые волны - это электромагнитные волны, у которых векторы напряженностей электрического E и магнитного H полей волны взаимно перпендикулярны и колеблются перпендикулярно вектору скорости V распространения волны. Поэтому все рассуждения ведутся относительно светового вектора – вектора напряженности E электрического поля, так как электрическое поле действует на электроны в атомах вещества. Плоскость, в которой происходят колебания вектора E , называется плоскостью поляризации. Свет представляет собой суммарное электромагнитное

излучение множества атомов. Атомы же излучают световые волны независимо друг от друга, поэтому световая волна, излучаемая телом в целом, характеризуется всевозможными равновероятными колебаниями светового вектора. (Рисунок 65.1а).

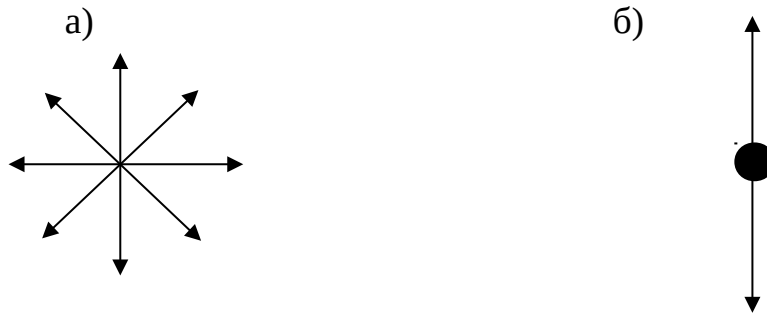


Рисунок 65.1

Это естественный свет. Если свет, в котором вектор E колеблется в определенной плоскости, называется плоскополяризованным (рисунок 65.1б).

Естественный свет можно преобразовать в плоскополяризованный, используя так называемые поляризаторы, пропускающие колебания только определенного направления и полностью задерживающие колебания перпендикулярно этой плоскости. Из природных кристаллов в качестве поляризатора используется турмалин. Рассмотрим классические опыты с турмалином.

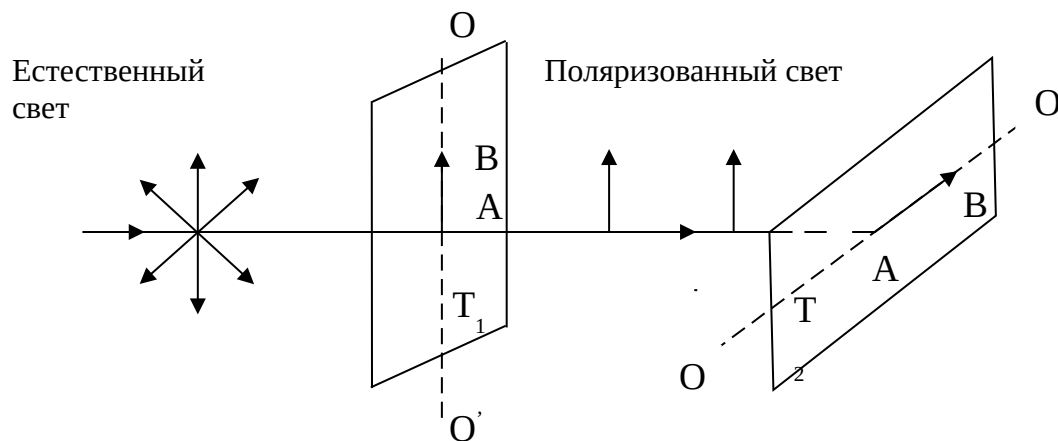


Рисунок 65.2

Направим естественный свет перпендикулярно пластинке турмалина T_1 , вырезанной параллельно оптической оси OO' . Вращая кристалл T_1 ,

вокруг направления луча, никаких изменений интенсивности J_0 прошедшего через турмалин света не наблюдаем. Если на пути луча поставить вторую пластинку турмалина T_2 и вращать её вокруг направления луча, то интенсивность света J , прошедшего через пластинки, меняется в зависимости от угла φ между оптическими осями кристаллов по закону Малюса

$$J = J_0 \cos^2 \varphi, \quad (65.1)$$

J - интенсивностью световой волны называется величина численно равная средней энергии, переносимой световой волной за единицу времени через единицу площади поверхности, перпендикулярной к лучу. Интенсивность пропорциональна квадрату амплитуды волны.

Описание установки и метода измерения

Экспериментальная установка представлена на рисунке 65.3

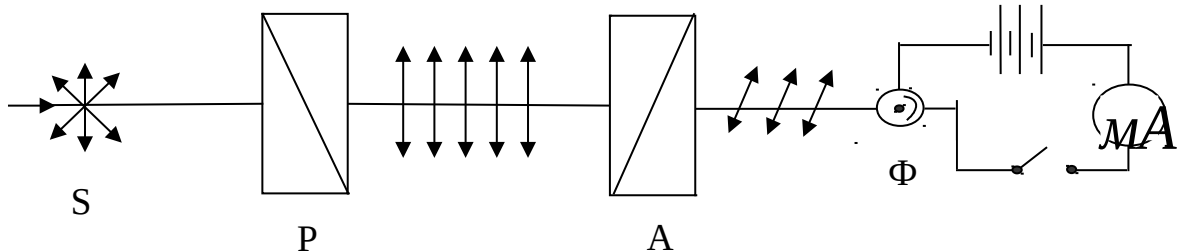


Рисунок 65.3

В данной работе используется: S - естественный источник света, P - поляризатор, это поляроид, свет пройдя через него будет плоскополяризованным, интенсивностью J_0 . На пути поляризованного света находится ещё один поляроид, называемый анализатором A, который может вращаться вокруг оптической оси, интенсивность света, вышедшего из анализатора J зависит от угла φ . Свет, вышедший из анализатора, падает на фотокатод вакуумного фотоэлемента Φ . Величина фототока I измеряемая микроамперметром MA , пропорциональна интенсивности света, проходящего через анализатор. При вращение анализатора она должна изменяться по закону Малюса

$$I = I_0 \cos^2 \varphi \quad (65.2)$$

Максимальный фототок I_0 через фотоэлемент соответствует значению угла $\varphi = 0$, минимальный фототок наблюдается при $\varphi = 90^\circ$. Если на фотоэлемент не попадает рассеянный свет со стороны, то минимальный фототок должен быть равен нулю.

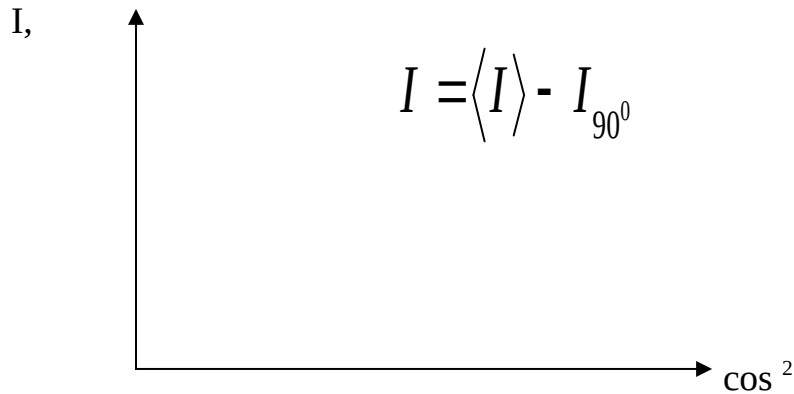
Порядок выполнения работы

- 1 Включить источник света
- 2 Вращая плоскость поляризатора, добиться максимального значения фототока. При этом $\varphi = 0$ на анализаторе поставить $\varphi = 0$
- 3 Вращая плоскость анализатора от 0° до 90° , через каждые десять градусов замерять фототок и заносить в таблицу.
- 4 Продолжая вращать плоскость анализатора от 90° до 180° в этом же направлении, записываем фототок через каждые десять градусов. При этом ток при 90° должен быть минимальным, а при 0° и 180° – максимальным.
- 5 По таблицам найти значение $\cos \varphi$ от 0° до 90° и возвести в квадрат.
- 6 Все полученные измерения и вычисления занести в таблицу.

Таблица измерений и вычислений

φ_1 , град	I_1 (мкА)	φ_2 , град	I_2 (мкА) $\langle I \rangle = \frac{I_1 + I_2}{2}$	$\langle I \rangle - I_{90^\circ}$	$\cos \varphi$	$\cos^2 \varphi$	
0		180					
10		170					
20		160					
30		150					
40		140					
50		130					
60		120					
70		110					
80		100					
90		90					

7 По полученным значениям построить график зависимости $\langle I \rangle - I_{90^\circ}$ от $\cos^2 \varphi$, где I_{90° - это ток при угле в 90° .



Контрольные вопросы

1. Что собой представляют световые волны?
2. Почему световым вектором является вектор напряженности электрического поля?
3. Как получают плоскополяризованный свет?
4. Записать и объяснить закон Малюса
5. Характеристикой каких волн является поляризация?

Лабораторная работа № 68 Изучение вакуумного фотоэлемента

Цель работы:

- 1) Снять вольт-амперную и световую характеристики вакуумного фотоэлемента.
- 2) Изучить вакуумный фотоэлемент.

Теоретическое введение

Испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения получило название фотоэлектрического эффекта или фотоэффекта. Различают три вида фотоэффекта: внешний, внутренний и вентильный. Если электроны вылетают с поверхности освещенного тела в окружающее пространство, то фотоэффект называется внешним, он характерен для металлов.

Для внешнего фотоэффекта установлены следующие законы Столетова:

1) фотоэффект безинерционен, то есть нет запаздывания между началом освещения и появлением фотоэлектронов;

2) число электронов, вырываемых из вещества в единицу времени с единицы поверхности (ток насыщения) пропорционально интенсивности падающего света при неизменном его спектральном составе;

3) скорость электронов, испускаемых веществом, является функцией частоты ν поглощаемого света. С увеличением частоты скорость фотоэлектронов, а следовательно, и их начальная кинетическая энергия $\frac{mv^2}{2}$ возрастают линейно;

4) для каждого вещества существует определенная частота $\nu_{кр}$, ниже которой фотоэффект не происходит. Эта частота называется красной границей фотоэффекта.

Количественную связь между энергией, получаемой электроном при освобождении светом и частотой этого света установил Эйнштейн на основе закона сохранения энергии в квантовых процессах; то есть уравнение Эйнштейна

$$h\nu = A_{\phi} + \frac{mv^2}{2} \quad (68.1)$$

где $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж с – постоянная Планка;

ν - частота падающего света;

$h\nu$ - энергия падающего фотона;

m – масса электрон;

v - скорость вылетающего электрона;

A_{ϕ} - работа выхода электрона из металла.

Это уравнение следует понимать так: фотон, имеющий энергию $h\nu$, попадая на металл, отдает свою энергию электрону. Эта энергия идет, во-первых, на совершение работы выхода из металла и, во-вторых, на сообщение электрону кинетической энергии $\frac{mv^2}{2}$. Если же $h\nu < A_{\phi}$ фотоэффект не имеет места. Для большинства веществ красная граница фотоэффекта находится в ультрафиолетовой части спектра и лишь для щелочных металлов в видимой и даже инфракрасной области.

Устройство и работа фотоэлемента

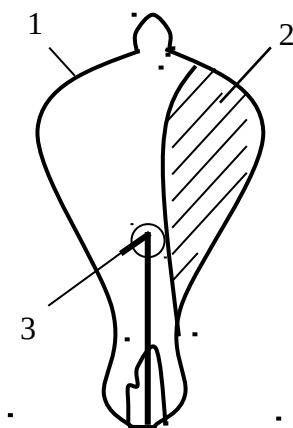


Рисунок 68.1

Приемники излучения, преобразующие световой сигнал в электрический называются фотоэлементами. Внешний фотоэффект положен в основу принципа действия вакуумного фотоэлемента. Вакуумный фотоэлемент (рисунок 68.1) состоит из стеклянного баллона 1, на внутренней стенке которого нанесен фотоэлектрический чувствительный слой 2, служащий фотокатодом, и коллектора электронов 3, служащего анодом. В баллоне создается вакуум при давлении порядка 10^{-7} мм рт. ст. Наиболее широко распространены фотоэлементы с сурьмяно-цезиевыми и кислородно-серебрянными фотокатодами. Если к фотоэлементу приложить напряжение, то при освещении фотокатода в цепи возникнет ток.

Важнейшими характеристиками фотоэлементов с внешним фотоэффектом являются:

1) чувствительность интегральная $S = \frac{\partial I}{\partial \Phi}$ и спектральная $S_{\lambda} = \frac{\partial I}{\partial \Phi_{\lambda}}$ (∂I - изменение фототока, вызванного изменением светового потока на величину $\partial \Phi$; $\partial \Phi_{\lambda}$ - изменение монохроматического потока с длиной волны λ);

2) световая характеристика – зависимость фототока от светового потока (при постоянном напряжении на фотоэлементе);

3) вольт-амперная характеристика – зависимость фототока от напряжения на фотоэлементе (при постоянном световом потоке).

Важным достоинством вакуумным фотоэлементов является их высокое постоянство и линейность связи светового потока с фототоком.

Однако чувствительность их не велика (в пределах 20-100 мкА на 1лм светового потока). В большинстве случаев технического

применения фотоэлементов возникает потребность в усилении слабых первичных фототоков прежде всего в самих фотоэлементах. Фотоэлемент наполняется каким-либо инертным газом при низком давлении (-10^{-2} мм рт. ст.). Усиление тока происходит вследствие того, что фотоэлектроны, вырванные с катода, ускоряясь электрическим полем, ионизируют молекулы газа, следовательно возникают новые электроны. Чувствительность газонаполненных фотоэлементов в несколько раз выше, но они обладают большей инерционностью и нелинейной вольт-амперной характеристикой. Это ограничивает их применение. Другой метод усиления первичного фототока с помощью вторичной электронной эмиссии с дополнительных электродов лежит в основе приборов, называемых фотоэлектронными умножителями – ФЭУ. Таких электродов может 10-15. Коэффициент усиления таких систем достигает $10^7 - 10^6$, а интегральная чувствительность ФЭУ достигает тысяч ампер на люмен. Это позволяет регистрировать малые световые потоки. Однокаскадные и многокаскадные фотоумножители находят сейчас самое широкое применение.

Порядок выполнения работы

На рисунке 68.2 приведена схема экспериментальной установки

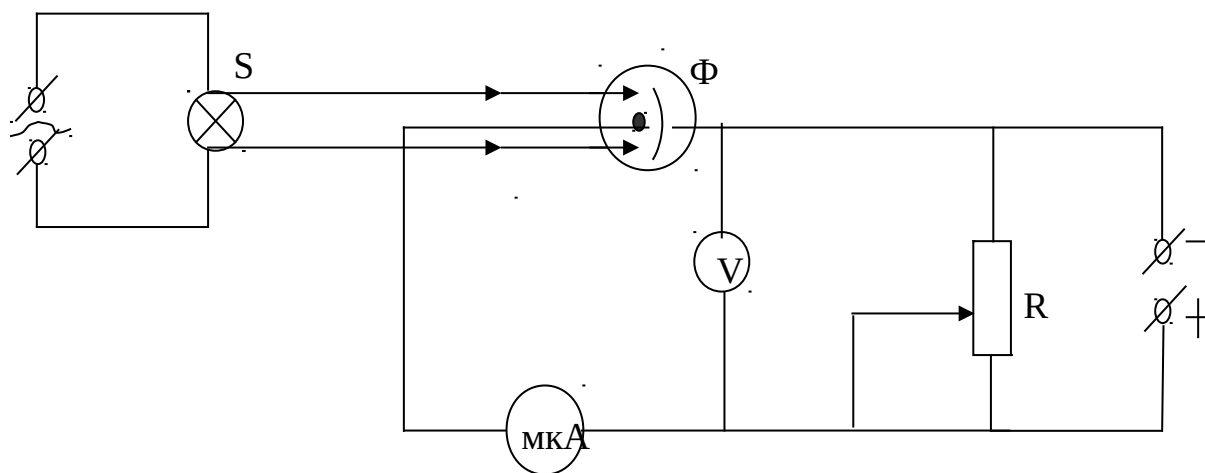


Рисунок 68.2

Φ – фотоэлемент, S – источник света, V – вольтметр, мкА – микроамперметр, R – потенциометр.

Фотоэлемент и источник света устанавливаются на оптической скамье.

Для снятия вольт-амперной характеристики:

- 1) установить осветитель на небольшом расстоянии от фотоэлемента (световой поток);
- 2) постепенно увеличивая анодное напряжение (через 6-10В) записать показания вольтметра и амперметра в таблицу 68.1;
- 3) переместить источник света на небольшое расстояние и повторить измерения пунктов 1 и 2;

Таблица 68.1

I, mA	
U, В	

4) построить вольт-амперные характеристики $I=f(U)$.

Для снятия световой характеристики:

1) определить из графиков $I=f(U)$ напряжения, характеризующие области насыщения;

2) установить анодное напряжение, соответствующее области насыщения (I_n), где I_n – ток насыщения для обоих световых потоков. Изменяя расстояние между осветителем и фотоэлементом (5-6 раз), измерить освещенность окна фотоэлемента люксметром. Записать для этих расстояний показания микроамперметра в таблицу 68.2;

Таблица 68.2

E, лк	
Φ, лм	
I, мкА	
J, мкА/лм	

3) вычислить световой поток для каждого расстояния по формуле

$$\Phi = E \cdot S \quad (68.2)$$

где S – площадь фотоэлемента, $S = (5,0 \pm 0,1) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$;

4) вычислить чувствительность $j = \frac{I}{\Phi}$ для всех значений светового потока;

5) построить график $I_n = f(\Phi)$.

Примечание: Предел Люксметра установить к.р $3 \cdot 10^3 \text{ Лк}$.

Контрольные вопросы

1. Какое явление называется фотоэффектом.
2. Какие типы фотоэффектов вы знаете.
3. Законы фотоэффекта (законы Столетова).
4. Записать и объяснить уравнение Эйнштейна
5. Устройство и работа фотоэлемента.
6. Объяснить графики, полученные в данной работе.

Лабораторная работа № 69 Определение постоянной Стефана-Больцмана

Цель работы:

- 1) Знакомство с устройством и работой оптического пирометра.
- 2) Экспериментальное определение постоянной Стефана-Больцмана.

Теоретическое введение

Тела, нагретые до высоких температур, светятся. Свечение тел, обусловленное нагреванием, называется тепловым (температурным) излучением. Тепловое излучение – это электромагнитное излучение, которое совершается за счет энергии теплового движения атомов и молекул вещества. Оно свойственно всем телам, имеющим температуру выше нуля по Кельвину. При высоких температурах излучаются короткие и ультрафиолетовые волны, при низких преимущественно инфракрасные. Из всех видов излучения лишь тепловое может быть равновесным в адиабатически изолированной замкнутой системе. Более нагретые тела в такой системе будут излучать больше, чем поглощать, менее нагретые наоборот. Это приведет к равновесному распределению энергии между телами и их тепловым излучением.

Количественной характеристикой теплового излучения служит:

- 1) излучательность тела – это мощность излучения с единицы площади поверхности тела в интервале частот единичной ширины

$$R_{\nu,T} = \frac{dW_{\nu,\nu+d\nu}^{изл.}}{d\nu} \quad (69.1)$$

где $dW_{\nu,\nu+d\nu}^{изл.}$ - энергия электромагнитного излучения, испускаемого за единицу времени с единицы площади поверхности

тела в интервале частот от ν до $\nu + d\nu$. Единица измерения излучательности ($\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$).

2) способность тел поглощать падающие на них излучения характеризуется поглощательной способностью

$$A_{\nu, T} = \frac{dW_{\nu, \nu+d\nu}^{\text{погл.}}}{dW_{\nu, \nu+d\nu}} \quad (69.2)$$

которая показывает, какая доля энергии $dW_{\nu, \nu+d\nu}$, приносимой за единицу времени на единицу площади поверхности тела падающими на нее электромагнитными волнами в интервале единичных частот поглощается телом $dW_{\nu, \nu+d\nu}^{\text{погл.}}$.

Тело, способное поглощать полностью при любой температуре все падающее на него излучение любой частоты называется абсолютно черным. Следовательно, для абсолютно черного тела $A_{\nu, T}^{\text{ч}} = 1$. Идеальной моделью абсолютно черного тела является замкнутая полость с небольшим отверстием O внутренняя поверхность которого зачернена.

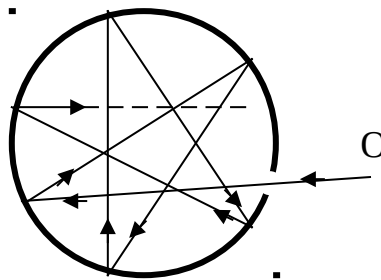


Рисунок 69.1

Луч света испытывает отражение, в результате он полностью поглощается. Кирхгоф установил количественную связь

$$\frac{R_{\nu, T}}{A_{\nu, T}} = r_{\nu, T} \quad (69.3)$$

Это отношение спектральной плотности излучательности к спектральной поглощательной способности не зависит от природы тела и является для всех тел универсальной функцией, то есть $r_{\nu, T} = f(\nu, T)$

Современная теория дает для $r_{\nu, T}$ следующее выражение

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{KT\lambda}}} - \text{уравнение Планка} \quad (69.4)$$

где $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ - постоянная Планка

$K = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} / \text{К}$ - постоянная Больцмана

Из этой формулы выведены законы излучения абсолютно черного тела.

Закон Стефана – Больцмана

Излучательность абсолютно черного тела R_T пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры

$$R_T = \sigma \cdot T^4 \quad (69.5)$$

где σ - постоянная Стефана-Больцмана $\sigma = 5,6 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$

Закон Вина

Длина световой волны, на которую приходится максимум спектральной плотности излучательности абсолютно черного тела обратно пропорциональна абсолютной температуре

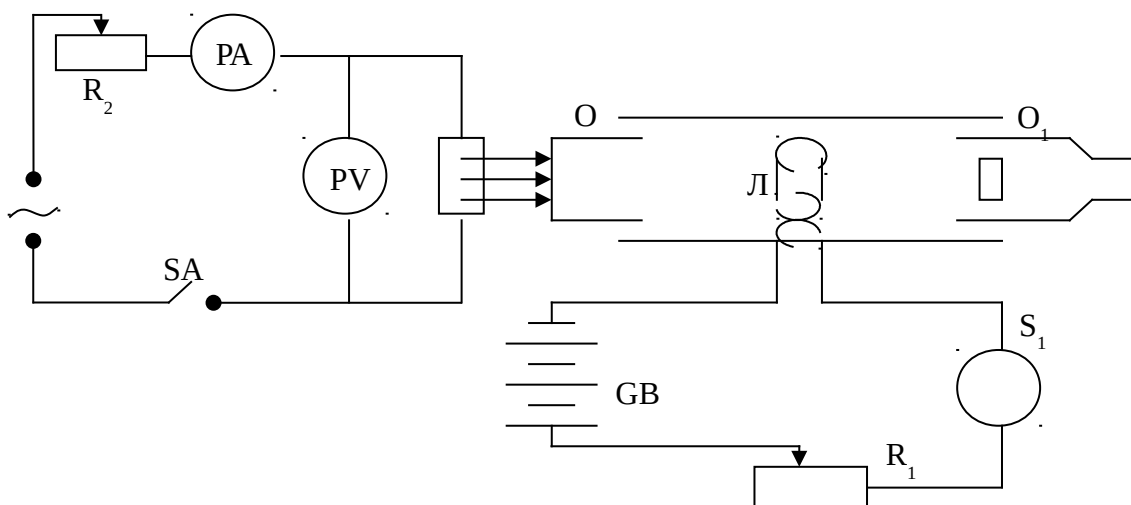
$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} \quad (69.6)$$

где $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ - постоянная Вина.

Методы измерения температур с помощью законов излучения лежат в основе оптической пирометрии, то есть определения абсолютных температур нагретых тел оптическим путем без непосредственного контакта с ними. В настоящее время эти методы являются единственными при измерении относительно высоких температур (свыше 2000К). В зависимости от того, какой из законов излучения лежит в основе метода, рассматривают три температуры: радиационную, световую, яркостную. Эти температуры находятся в определенных соотношениях с истинной температурой. Соответствующие пирометры называют радиационными, цветовыми и яркостными.

Постоянная Стефана-Больцмана может быть определена из закона Стефана-Больцмана, если измерить температуру тела и его излучательность.

Схема экспериментальной установки



O - объектив; Л – фотометрическая лампа; O₁ - окуляр; GB - батарея; R₁ – реостат пирометра; R₂ – реостат цепи; S₁ - источник излучения

Рисунок 69.2

В качестве излучающего тела используется вольфрамовая спираль специальной формы, помещенная в стеклянный баллон, в котором создан вакуум. Спираль нагревается переменным током, величина которого регулируется реостатом R₂. Потребляемая мощность P_э определяется по показаниям амперметра pA и вольтметра pV

$$P_{э}=IU \quad (69.7)$$

где I – сила тока, U – напряжение.

При стационарном режиме мощность P_p, которая рассеивается излучателем, должна быть равна потребляемой. Кроме электрической мощности P_э спираль поглощает излучение мощностью P_{cp} от окружающих тел, имеющих комнатную температуру T_{cp}

$$P_{cp}=\sigma T_{cp}^4 S \quad (69.8)$$

где S - площадь поверхностей излучателя.

Мощность P_p рассеивается в основном за счет теплового излучения:

$$P_p=\sigma T^4 S$$

где T - температура излучателя.

Тогда можно записать: $P_p = P_э + P_{cp}$ или $\sigma T^4 S = IU + \sigma T_{cp}^4 S$, отсюда

$$IU = \sigma (T^4 - T_{cp}^4) S \quad (69.9)$$

Для измерения температуры накала спирали в данной работе применяется оптический пирометр с «исчезающей» нитью ОПИИР-17, в котором использован метод фотометрического сравнения яркостей исследуемого тела и эталона. В фокусе объектива O пирометра (рисунок 69.2) находится лампа L с нитью, изогнутой в форме полуокружности. Излучения, исходящие из исследуемой поверхности, попадая в объектив, и в его в фокальной плоскости возникает изображение этой поверхности, совмещенное с нитью накала лампы L . В окуляре O видны увеличенные изображения. В тубусе окуляра расположен светофильтр Φ , который пропускает лишь красные лучи с длиной волны порядка $0,65 \mu\text{м}$. Яркость нити лампы L регулируется кольцевым реостатом R_1 . При совпадении яркости нити накала и изображения излучателя нить «исчезает», то есть становится неразличимой на фоне изображения. В момент «исчезновения» нити производятся отсчеты по шкале электроизмерительного прибора, проградуированного по излучению абсолютно черного тела в градусах Цельсия. На приборе имеются две шкалы: одна для измерений в интервале температур от $700-1400^\circ\text{C}$, другая для интервала $1200-2000^\circ\text{C}$.

Если источник света отличается от абсолютно черного тела, то определенная таким образом яркостная температура отличается от истинной, то есть прибор дает то значение температуры $T_я$, при котором яркость абсолютно черного тела для $\lambda = 0,65 \mu\text{м}$ равна яркости исследуемого тела при истинной температуре $T_н$. Истинная $T_н$ и яркостная $T_я$ температуры связанная соотношением

$$T_н = \frac{T_я}{1 - AT_я} \quad (69.10)$$

где $A = 3,81 \cdot 10^{-5}$ - постоянная характерная для данного материала (Вольфрам).

Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться с электрической цепью излучателя и устройством пирометра.

2 Ввести все сопротивления R_1 реостата пирометра, поворачивая кольцо до упора.

3 Включить цепь излучателя, установить соответствующее напряжение.

4 Нажав на кнопку выключатель SA, замкнуть цепь эталонной лампы.

5 Для получения монохроматического света использовать красный светофильтр.

6 Окуляром O_1 добиться резкого изображения нити эталонной лампы.

7 Направить объектив O пирометра на получатель и, передвигая тумблер объектива, добиться резкости ее изображения.

8 Постепенно увеличивая накал нити эталонной лампы, добиться того, чтобы средний участок (вершина дуги) «исчез» на фоне изображения излучателя, произвести отсчет температуры по шкале прибора. Снять показания приборов PA и PV в цепи источника излучения.

9 Прodelать опыт 3 раза при разных напряжениях в цепи излучения. Все данные занести в таблицу.

10 По формуле
$$\sigma = \frac{IU}{(T_n^4 - T_{cp}^4)S} \quad (69.11)$$

определить постоянную Стефана-Больцмана σ

где $S=4,3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$;

T_n – температура, измеренная по шкале пирометра (яркостная);

T_n – истинная температура;

T_{cp} – температура окружающей среды, то есть комнатная.

Таблица измерений и вычислений

№ п/п	T_{cp} , К	T_n , К	T_n , К	I , А	U , В	S , м ²	σ , Вт/м ² к	$\Delta\sigma = t_\alpha \sqrt{\frac{\sum(\sigma - \sigma_1)}{n(n-1)}}$ Вт/м ² к ⁴	ε , %
1									
2									
3									
ср.									

11 Вычислить абсолютную погрешность $\Delta\sigma$ по формуле

$$\Delta\sigma = t(n) \sqrt{\frac{\sum (\langle\sigma\rangle - \sigma_i)^2}{n(n-1)}} \quad (69.12)$$

где n – число измерений $n=3$

$t(n)$ – коэффициент Стьюдента для трех измерений

$\langle\sigma\rangle$ - среднее значение постоянной Стефана-Больцмана.

σ_i - каждое вычисленное значение постоянной Стефана-Больцмана.

12 Записать значения σ в виде доверительного интервала

$$\sigma = (\langle\sigma\rangle \pm \Delta\sigma) \frac{Вт}{м^2 К^4}.$$

Контрольные вопросы

1. Какое излучение называется тепловым? Что оно собой представляет?
2. Характеристики теплового излучения:
 - а) излучательность;
 - б) поглощательность;
3. Какое тело называется абсолютно черным?
4. Объяснить законы абсолютно черного тела:
 - а) закон Стефана-Больцмана;
 - б) закон Вина.
5. Объяснить, как работает оптический пирометр.
6. Вывести рабочую формулу.
7. Какие свойства световых волн подтверждаются в данной работе?

Литература

1 Детлаф А.А, Яворский Б.М. Курс физики: учебное пособие для втузов / Детлаф А.А, Яворский Б.М. – М. : Высшая школа 1989. – 650 с.

2 Евграфова А.Г, Коган В.Л. Руководство к лабораторным работам по физике. – М., 1970. – 398 с.

3 Иверонова В. И. Физически практикум – 2-ое изд. – М., 1967. – 323 с.

4 Кортнев А.В и др. Практикум по физике: учебное пособие для втузов. – М., 1965. – 549 с.

5 Майсова Н.Н Практикум по курсу общей физики: учебное пособие для студентов заоч. втузов и факультетов. – 2-ое изд., перераб. и доп. – М., 1970. – 484 с.

6 Савельев И.В Курс общей физики. – М., 1989. – 368 с.

7 Трофимова Т.И Курс физики: учебное пособие для вузов. – 7-ое изд. – М., 2003. – 588 с.

Содержание

	Введение	3
1	Лабораторная работа № 61 Определение световой волны с помощью дифракционной решетки	4
2	Лабораторная работа № 65 Проверка Закона Малюса	10
3	Лабораторная работа № 68 Изучение вакуумного фотоэлемента	14
4	Лабораторная работа № 69 Определение постоянной Стефана-Больцмана	19
	Литература	27

