

**Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования**

**ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный
университет»**

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра физики и математики

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА

Казань, 2021

УДК 535.215.1

ББК 22.343

Составители: Рахматуллина Р.Г., Валиев А.А.

Рецензенты: Медведев В.М., к.т.н., доцент кафедры эксплуатации и ремонт машин Казанского ГАУ.

Иванов В.В., к.т.н., зам. директора по научной работе ООО «НПП Эко Энерго Маш».

Печатается по решению кафедры физики и математики протокол № 4 от 16.11.2020 г., методической комиссии ИМ и ТС протокол № 4 от 25.12. 2020 г.

Рахматуллина, Р.Г. Изучение законов внешнего фотоэффекта: практикум / Р.Г. Рахматуллина, А.А. Валиев.- Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2021. – 32 с.

Практикум по курсу физики составлено для студентов всех специальностей и направлений подготовки института механизации и технического сервиса, агрономического факультета, факультета лесного хозяйства и экологии.

В практикуме представлена пятая часть физического практикума по курсу общей физики. Выполнение лабораторной работы включает предварительную подготовку, проведение экспериментов и составление отчета о результатах исследований. Лабораторная работа содержит краткое изложение теории изучаемого физического явления, описание экспериментальной установки, обсуждение методики выполнения работ и контрольные вопросы для самостоятельной подготовки студентов.

УДК 535.215.1

ББК 22.343

© Казанский государственный аграрный университет, 2021 г.

Содержание

Лабораторная работа № 4-5. Тема: «Изучение законов внешнего фотоэффекта»	4
1.1. Краткая теория	4
1.2. Анализ вольтамперной характеристики	10
1.3. Квантовая гипотеза. Фотоны	13
1.4. Применение фотоэффекта	15
2.1. Порядок выполнения работы	22
3.1. Техника безопасности при выполнении лабораторной работы	24
Контрольные вопросы	24
Библиографический список	26

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 - 5

ТЕМА: ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА

Цель работы: ознакомиться с явлением внешнего фотоэффекта. Исследовать основные свойства вакуумного фотоэлемента. Установить 1) зависимость фототока от напряжения при постоянном световом потоке (вольтамперная характеристика); 2) зависимость фототока от светового потока, падающего на фотоэлемент при постоянном напряжении (световая характеристика).

Приборы и принадлежности: оптическая скамья, реостат, вакуумный фотоэлемент, источник света, вольтметр, микроамперметр.

1.1. Краткая теория

Фотоэффектом называется явление вырывания электронов под действием света. Различают внешний и внутренний фотоэффект (рис.1). Если под действием электромагнитного излучения происходит испускание электронов твердыми телами и жидкостями в вакуум или другую среду, то такое явление называется **внешним фотоэффектом**.

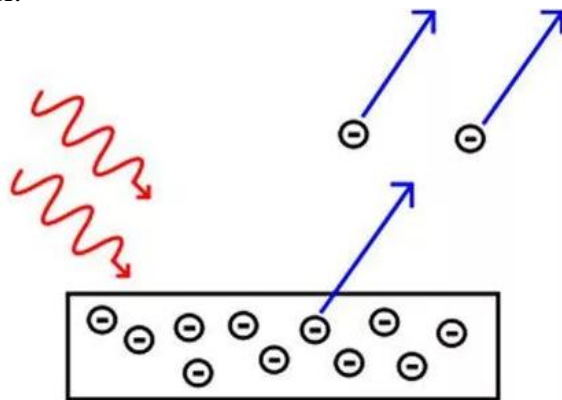


Рисунок 1 – Освобождение электронов с вещества

При **внутреннем фотоэффекте** под действием света электроны переходят из заполненной зоны в зону проводимости, оставаясь внутри твердого тела и увеличивая его проводимость.

Приборы, устройство которых основано на явлениях фотоэффекта, называются фотоэлементами. Фотоэлементы очень разнообразны по своей конструкции и типу и находят широкое применение в технике.

Различают фотоэлементы с внешним фотоэффектом, так называемые вакуумные или газонаполненные и фотоэлементы с внутренним фотоэффектом и фотоэлементы, основанные на фотоэффекте с запирающим слоем.

В данной работе используются вакуумный фотоэлемент с внешним фотоэффектом.

Рассмотрим фотоэффект с поверхности металлов. Если металл освещается видимым светом, то фотоэффект связан с поглощением фотонов электронами. Для того чтобы эти электроны могли покинуть металл, они должны иметь энергию, достаточную для преодоления потенциального барьера, существующего вблизи поверхности металла. Этот барьер определяется величиной как работа выхода электрона (рис.2).

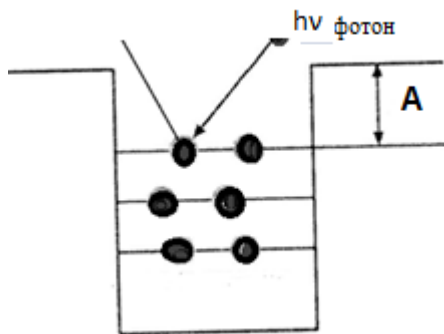


Рисунок 2 - Определение работы выхода электрона

На рисунке 3 приведена экспериментальная установка для изучения закономерностей внешнего фотоэффекта.

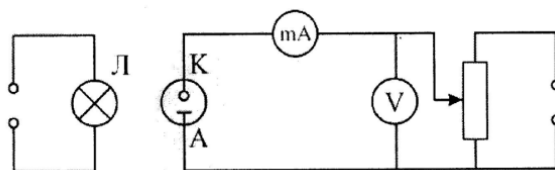


Рисунок 3 - Схема экспериментальной установки

В установке имеется два электрода анод A и катод K . При освещении светом катод K , электроны перемещаются под действием электрического поля к аноду A . В цепи возникает фототок, величина которого измеряется микроамперметром.

Зависимость фототока от анодного напряжения (вольтамперная характеристика фотоэлемента) имеет вид (рис.4).

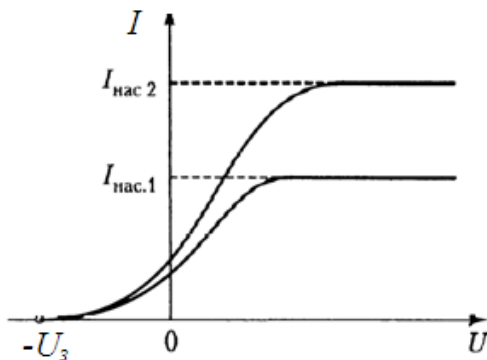


Рисунок 4 - Вольтамперная характеристика фотоэлемента

При ($U = 0$) фототок не равен нулю. Для того, чтобы фототок стал равным нулю, нужно приложить задерживающее напряжение U_3 . При таком напряжении задерживающее поле совершает работу eU_3 . Ток насыщения – это максимальный ток, при котором все электроны, испущенные катодом, попадают на анод:

$$eU_3 = \frac{mv_{max}^2}{2}. \quad (1)$$

Если световой поток не меняется ($\Phi = const$), то при некотором напряжении фототок достигает насыщения.

При изменении светового потока относительно фотоэлемента меняется количество падающих на катод K фотонов и, следовательно, изменяется число электронов и обусловленный ими ток насыщения:

$$I_H = N \cdot e, \quad (2)$$

где N – число электронов, вырванных за 1 секунду с поверхности катода.

Первый закон фотоэффекта (закон Столетова):
Ток насыщения пропорционален световому потоку:

$$I_H = \gamma \cdot \Phi, \quad (3)$$

где γ - чувствительность фотоэлемента - величина, численно равная току при падении на фотоэлемент светового потока в 1 люмен.

Зависимость тока насыщения $I_H(\Phi)$ от светового потока называется световой характеристикой. Эта характеристика имеет линейную зависимость и показана на рисунке 5.

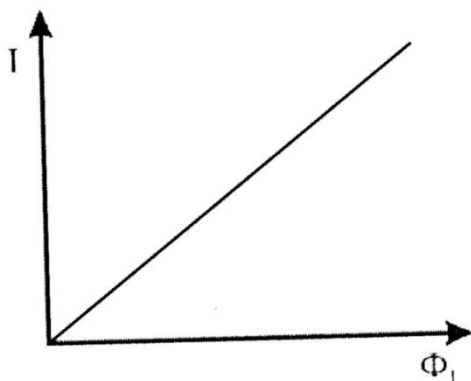


Рисунок 5 - Световая характеристика фотоэлемента

Для фотоэффекта имеют место и другие закономерности.

Второй закон фотоэффекта: кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с увеличением частоты падающего света и не зависит от его интенсивности.

Третий закон фотоэффекта: для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, то есть такая наименьшая частота света ниже которой фотоэффект невозможен.

Объяснение этим закономерностям можно дать, используя уравнение Эйнштейна - закон сохранения энергии для фотоэффекта:

$$\varepsilon = h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2}, \quad (4)$$

где v_{max} - максимальная скорость фотоэлектронов.

Энергия падающего фотона $\varepsilon = h\nu$ идет на работу выхода электрона A и сообщение ему кинетической энергии.

Из формулы (4) видно, что кинетическая энергия электронов линейно связана с частотой падающего света, так

как работа выхода A , есть величина постоянная для данного вещества.

Если работа выхода A больше энергии падающего света $\varepsilon = h\nu$, выбивания электронов не происходит, фотоэффект не наблюдается. Если $\nu = 0$, то из формулы (4) имеем $h\nu = A$, откуда

$$\nu_0 = \frac{A}{h}, \quad \lambda_0 = \frac{hc}{A} \quad (5)$$

где ν_0 - красная граница фотоэффекта.

При облучении поверхности вещества мощным излучением возможно поглощение одним электроном двух или нескольких фотонов. При этом красная граница сдвигается в область более длинных волн и зависит от интенсивности светового потока. Физический смысл закона - закон сохранения энергии в применении к фотоэффекту.

Величина красной границы фотоэффекта $\lambda_{\text{кр}}$ у многих металлов приходится на диапазон ультрафиолетовых волн.

В металлическом фотокатode фотоэлектроны, сталкиваясь со свободными носителями зарядов (с электронами проводимости), теряют энергию возбуждения. Необходимо также учитывать большое значение коэффициента отражения R у металлических материалов (особенно в областях ультрафиолета и в видимой области спектра излучения). Перечисленные особенности металлов в значительной степени влияют на выбор материала в процессах производства фотокатодов.

Следует также отметить, что диэлектрические материалы неприемлемы для изготовления фотокатодов в силу малой величины электропроводимости. В настоящее время наибольшее распространение в качестве материалов при производстве фотокатодов получили полупроводники. Это обусловлено тем, что у полупроводников величина коэффициента R существенно меньше значений у металличе-

ских образцов. Коэффициент поглощения у полупроводников значительно выше величин для металлов.

Все современные приемники света можно подразделить на фотосопротивления, электронно-оптические преобразователи, фотоэлементы, фотодиоды, фотоэлектронные умножители, приемники света с фотоэлектромагнитным эффектом. Такие электронные устройства обладают свойством избирательности (селективности) по отношению к величинам энергий отдельных поглощённых квантов света.

Эффективность применения фотосопротивлений и других подобных устройств (с фотоэлектромагнитным эффектом) определяется возможностью их использования для работы в области инфракрасного света (10-30 мкм).

В области спектроскопии, при калориметрических, в фотометрии, в области автоматизации, в звуковом кино и многих других областях практического использования находят все большее применение различные фотоэлементы. Можно также отметить их значимую роль в экспериментах ядерной физики, в квантовой электронике и т.д.

1.2. Анализ вольтамперной характеристики

На рисунке 6 представлена электрическая схема включения фотоэлемента, с помощью которой можно получить вольт-амперную характеристику фотоэлемента (функциональную зависимость тока, протекающего через фотоэлемент, от величины приложенного напряжения внешнего источника).

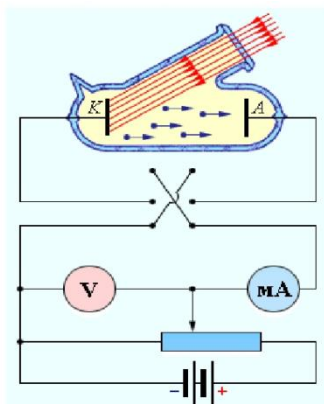


Рисунок 6 - Электрическая схема включения фотоэлемента

Световой поток источника света направляется на поверхность фотокатода. Вырванные светом с поверхности металла фотоэлектроны ускоряются внешним электрическим полем и устремляются в направлении анода, замыкая электрическую цепь. При этом величина электрического тока, обусловленная фотоэффектом (фототок), при постоянном значении светового потока нелинейно зависит от величины напряжения, прикладываемаемого к фотоэлементу.

Зависимость фототока от величины внешнего напряжения на фотоэлементе, полученная в эксперименте с использованием монохроматического источника, представлена на рисунке 7.

Как видно из графика на рисунке 7, при возрастании приложенного к фотокатоду напряжения величина фототока также увеличивается, но нелинейно. При этом характерным является наличие у функции фототока предельного значения, которое называют током насыщения. Также характерным для вольтамперной характеристики фотокатода является наличие граничного значения обратного напряжения (задерживающая разность потенциалов), при которой величина фототока в цепи фотоэлемента обращается в ноль.

Величина наибольшей кинетической энергии выбитых с поверхности фотокатода электронов определяется выражением (6):

$$eU_3 = \frac{mv_{\max}^2}{2}. \quad (6)$$

Используя закон Эйнштейна для внешнего фотоэффекта, можно получить линейную зависимость запирающего напряжения от величины частоты используемого в эксперименте источника света:

$$U_3 = \frac{h\nu}{e} - \frac{A}{e}. \quad (7)$$

Полученное выражение (7) позволяет выполнить экспериментальное определение величины постоянной Планка. Для этого необходимо получить график экспериментальной функции $U_3 = f(\nu)$.

Угловой коэффициент линейной зависимости $U_3 = f(\nu)$ численно равен отношению постоянной Планка к величине элементарного заряда. При этом координата точки пересечения экспериментальной прямой с осью напряжений равна отношению работы выхода к величине элементарного заряда. Прямая $U_3 = f(\nu)$ пересекает горизонтальную ось (ось линейных частот) в точке ν_0 . Это граничная частота для данного материала, из которого изготовлен фотокатод.

Графики, построенные при использовании фотокатодов из различных материалов, пройдут параллельно, но будут смещены друг относительно друга (рис.7).

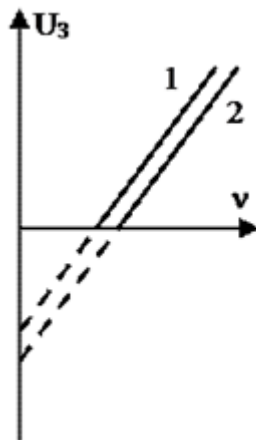


Рисунок 7 - Экспериментальная функция $U_3 = f(\nu)$

1.3. Квантовая гипотеза. Фотоны

Законы теплового излучения черного тела — законы Стефана— Больцмана и Вина — не смогли количественно описать спектральный состав излучения черного тела. Попытки найти на основе классических приближений теоретическую зависимость спектральной плотности энергетической светимости $r_{\lambda T}$ от длины волны λ были не только неудачными, но и привели к результатам, которые противоречили фундаментальному закону сохранения энергии.

В 1900 г. немецкий физик М. Планк выдвинул квантовую гипотезу, согласно которой атомы излучают энергию не непрерывно, а определенными конечными порциями — квантами, энергия которых пропорциональна частоте света.

Энергия кванта определяется формулой (8):

$$\varepsilon_0 = h\nu, \quad (8)$$

где ν - частота света (Гц), h - постоянная Планка ($h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с).

Согласно Планку, излучающее тело всегда испускает энергию, равную $n h \nu$, где n — любое целое положительное число.

Развивая гипотезу Планка, А. Эйнштейн в 1905 г. предположил, что электромагнитное излучение не только испускается, но и поглощается и распространяется определенными порциями энергии — квантами. В переводе с латинского «квант» означает — количество. Кванты впоследствии были названы фотонами.

Планк вывел следующую формулу (9) для спектральной плотности энергетической светимости черного тела:

$$r_{\lambda,T} = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/(k\lambda T)} - 1}, \quad (9)$$

где c - скорость распространения света в вакууме ($\frac{м}{с}$), k - постоянная Больцмана ($k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{Дж}{К}$), λ - длина волны (м), T - термодинамическая температура тела (К).

Эта формула блестяще согласуется с экспериментальными данными по распределению энергии в спектре черного тела во всем интервале длин волн и температуры. Из формулы Планка могут быть получены частные законы Стефана – Больцмана и Вина.

В квантовой оптике свет рассматривается как поток особых частиц — фотонов (квантов электромагнитного излучения), всегда движущихся со скоростью $c = 3 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$ — скоростью распространения света в вакууме. Фотоны не существуют в состоянии покоя, их масса и энергия покоя равны нулю. Это не противоречит тому, что скорость света в среде всегда меньше c : $v = c/n$, (n - показатель преломления среды). Согласно квантовой электродинамике, фотоны по-

глощаются и вновь испускаются частицами среды, что и приводит к тому, что скорость света в среде меньше.

Основными характеристиками фотона являются его энергия ε_0 и импульс p :

$$\varepsilon_0 = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (10)$$

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}, \quad (11)$$

где ν - частота световой электромагнитной волны.

Таким образом, квант электромагнитного поля всегда распространяется со скоростью света, обладая при этом конечными значениями энергии и импульса.

1.4. Применение фотоэффекта

Фотоэффект применяется в разных областях науки и техники. На основе внешнего фотоэффекта работают фотоэлементы – приемники излучения, в которых по действием падающего на них света энергия излучения преобразуется в электрическую.

Простейший фотоэлемент — вакуумный — стеклянный баллон, из которого откачан воздух; внутренняя сторона баллона (кроме окошка для света) покрыта фото-чувствительным слоем и служит катодом (рис. 8). В центре фотоэлемента расположен анод, например в виде кольца. При освещении фотокатода из него вследствие фотоэффекта вылетают электроны, и в цепи, в которую включен фотоэлемент, потечет ток.

Вакуумные фотоэлементы безынерционны, для них также соблюдается строгая пропорциональность фототока интенсивности облучения. Поэтому их применяют в схемах световой сигнализации, для воспроизведения звука в кино.



Рисунок 8 - Простейший вакуумный фотоэлемент

Для увеличения чувствительности вакуумных фотоэлементов баллоны наполняются разреженным газом. Такие фотоэлементы называют газонаполненными. Работа полупроводниковых фотоэлементов (их называют также фоторезисторами) основана на явлении внутреннего фотоэффекта. Простейший фоторезистор — стеклянная пластинка, на которую наносится тонкий слой полупроводника. При освещении фоторезистора в слое полупроводника возникают дополнительные электроны или дырки, в зависимости от типа полупроводника увеличивается фотопроводимость полупроводника, что приводит к увеличению тока в цепи, в которую включен фоторезистор. Фоторезисторы обладают большей чувствительностью. Преимущество фоторезисторов — возможность измерений в далекой инфракрасной области спектра, малые габариты, низкое напряжение питания, высокая чувствительность в разных областях спектра. Однако им присуща заметная инерционность (поэтому их невозможно применять для регистрации быстропротекающих процессов), а также зависимость свойств от температуры. Полупроводниковые фотоэлементы используют, в частности, в микрокалькуляторах, часах и т. д.

Работа вентильных фотоэлементов основана на явлении вентильного фотоэффекта. В данном случае между металлом и полупроводником вблизи поверхности контакта образуется запирающий слой, обладающий односторонней проводимостью, возникает поток электронов, идущих только в одном направлении. Вентильные фотоэлементы непосредственно превращают световую энергию в энергию электрического поля. Их используют в солнечных батареях, на космических спутниках и кораблях в качестве измерителей освещенности люкметров, фотоэкспонетров и т.д.

Давление света. Согласно квантовой теории, свет, представляющий собой поток фотонов, должен оказывать на поверхность давление. Это связано с тем, что каждый фотон, обладая импульсом, при соударении с поверхностью передает ей этот импульс.

Пусть на тело перпендикулярно поверхности падает пучок монохроматического излучения (частотой ν). При столкновении фотона с поверхностью твердого тела фотон либо поглощается, либо отражается. Если за 1 с на 1 м² падает N фотонов, то ρN фотонов от поверхности тела отразится (ρ — коэффициент отражения), а $(1 - \rho)N$ поглотится. Каждый отраженный фотон передает поверхности импульс:

$$\left[\frac{h\nu}{c} - \left(-\frac{h\nu}{c} \right) \right] = \frac{2h\nu}{c}. \quad (12)$$

Каждый поглощенный — импульс $\frac{h\nu}{c}$.

Давление света на поверхность тела определяется импульсом, который передают поверхности за 1 с N фотонов:

$$p = \frac{2h\nu}{c} \rho N + \frac{h\nu}{c} (1 - \rho) N = \frac{N h \nu}{c} (1 + \rho), \quad (13)$$

где $N h \nu$ — энергия всех фотонов.

Если $\frac{Nh\nu}{c} = \omega$ обозначим как объемную плотность энергии падающего света, тогда давление света будет определяться выражением (14):

$$p = \frac{Nh\nu}{c} (1 + \rho) = \omega(1 + \rho). \quad (14)$$

Под действием электрического поля E электромагнитной волны, электроны в металле будут двигаться в направлении, противоположном электрическому полю E (рис. 9). Магнитное поле в электромагнитной волны действует на движущиеся электроны с силой Лоренца, направление которой определяется правилом левой руки. Сила Лоренца перпендикулярна поверхности металла. Следовательно, электромагнитная волна оказывает на поверхность металла давление.

Таким образом, давление света теоретически одинаково успешно объясняется как квантовой, так и волновой теорией. Выводы теории Максвелла о существовании светового давления вызвали большие сомнения даже у крупных ученых. Поэтому следовало экспериментально подтвердить наличие светового давления. Это была очень трудная задача, так как световое давление очень и очень мало (давление света в солнечную погоду ~ 5 мкПа).

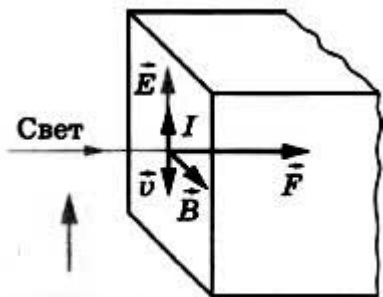


Рисунок 9 – Движение электронов в металле

В 1890 г. русский ученый П. Н. Лебедев измерил давление света в твердых телах и в 1907—1910 гг. — на газах.

Прибор Лебедева (рис. 10) состоит из легкого подвеса на нити, по краям которого укреплены тонкие крылышки — зеркальные отражающие падающий на них свет и черные поглощающие падающий на них свет. Для исключения побочных эффектов подвес помещали в баллон с откачанным воздухом, а также использовалась подвижная система зеркал (позволяла направлять свет на все поверхности крылышек). Значение светового давления на крылышки определялось по углу закручивания нити подвеса, оно совпало с рассчитанным теоретически. Из формулы (14), следует, что давление света на зеркальную поверхность в два раза больше, чем на черную поверхность.

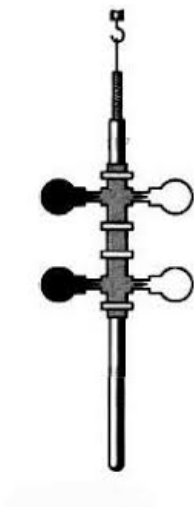


Рисунок 10 – Прибор Лебедева

Историческое значение опытов Лебедева огромно как с точки зрения очень тонкого эксперимента, так и утверждения электромагнитной теории Максвелла.

Понятие об эффекте Комптона. В 1922 г. американский физик А. Комптон обнаружил, что в рассеянном пучке наряду с излучением первоначальной длины волны λ_0 наблюдается также излучение с большей длиной волны λ . На основе квантовых представлений Комптон получил формулу (15):

$$\lambda - \lambda_0 = 2\lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2}, \quad (15)$$

где θ - угол рассеяния, λ_c - комптоновская длина волны ($\lambda_c = 2,43$ нм).

Из формулы (15) видно, что разность волн $\lambda - \lambda_0$ — не зависит от длины волны падающего излучения, а определяется только углом рассеяния.

Этот эффект не вписывался в рамки волновой теории. Эффект Комптона качественно можно объяснить на основе квантовой теории. Если считать, как это делает квантовая теория, что излучение представляет собой поток фотонов, то эффект Комптона — результат упругого столкновения рентгеновских фотонов со свободными электронами вещества. В процессе этого столкновения фотон передает электрону часть своих энергии и импульса. Уменьшение энергии фотона (а также уменьшение импульса) в результате столкновения с электроном приводит к уменьшению частоты, т. е. к увеличению длины волны рассеянного излучения.

Таким образом, эффект Комптона — упругое рассеяние коротковолнового электромагнитного излучения (в частности, рентгеновского) на свободных электронах вещества, сопровождающееся увеличением длины волны, доказывает существование фотонов и то, что они обладают энергией и импульсом.

Существование в рассеянном пучке излучения с первоначальной длиной волны λ_0 объясняется тем, что фотоны соударяются не только со свободными электронами, но и обмениваются энергией и импульсом с атомами, а массы атомов по сравнению с массами электронов очень велики, поэтому атому передается лишь ничтожная часть энергии и импульса фотонов.

Корпускулярно-волновая природа света. С конца XVII в. существовали две теории света — корпускулярная и волновая. Опыты Юнга, Френеля и теория Максвелла, казалось бы, приводили к единственному выводу: свет — это электромагнитная волна. Однако представления Эйнштейна, опыты Комптона, а также другие исследования, опять-таки вроде бы однозначно доказывали, что свет — это поток фотонов (квантов) — частиц, обладающих энергией и импульсом. Возник естественный вопрос, какой теории следует отдать предпочтение?

Такие явления, как фотоэффект, эффект Комптона и химические действия света, служат доказательством квантовых (корпускулярных) представлений о природе света. С другой стороны, интерференция, дифракция, поляризация и дисперсия света надежно подтверждают волновую (электромагнитную) природу света. Наконец, давление и преломление света объясняются как квантовой, так и волновой теориями. Таким образом, свет обнаруживает единство непрерывных (волновых) и дискретных (квантовых) свойств.

Кроме того, дальнейшие исследования привели к выводу, что эти, казалось бы, взаимоисключающие свойства (непрерывность и дискретность), не следует противопоставлять друг другу. Свет одновременно обладает как волновыми, так и корпускулярными свойствами.

Двойственная корпускулярно - волновая природа света, так называемый корпускулярно-волновой дуализм свойств света, находит отражение в формулах, связывающих корпускулярные свойства электромагнитного излучения

(энергия и импульс) с волновыми характеристиками (частота или длина волны):

$$\varepsilon = h\nu, \quad (16)$$

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \quad (17)$$

Согласно формулам (16) и (17), чем больше длина волны, тем меньше энергия и импульс фотона, т. е. труднее обнаружить квантовые свойства света. Этим можно объяснить наличие красной границы фотоэффекта. Наоборот, чем длина волны меньше, тем больше энергия и импульс фотона, т. е. труднее обнаружить волновые свойства света.

2.1. Порядок выполнения работы

Задание 1. Снятие вольтамперной характеристики фотоэлемента.

1. Ознакомьтесь с установкой.
2. Подключите установку и установите тумблер «сеть» и в положение «вкл».
3. Включите вольтметр и установите предел измерений вольтметра 100 В.
4. Увеличивая напряжение от 0 до 50 В, через каждые 2 В измерьте фототок, соответствующий каждому значению напряжения на аноде.
5. Результаты измерений занесите в таблицу 1.
6. Постройте график вольтамперной характеристики $I=f(U)$.
7. Определите ток насыщения I_H и напряжение U_H , при котором он достигается.

Таблица 1

$U, В$								
$I, мкА$								

Задание 2. Снятие световой характеристики фотоэлемента.

1. Установить напряжение $U_H = 50 В$, при котором наблюдалось насыщение фототока.
2. Увеличивая расстояние между лампочкой и фотоэлементом через каждые 1 см, измерьте фототок.
3. Для каждого положения лампочки подсчитайте световой поток по формуле (18):

$$\Phi = \frac{JS}{l^2}, \quad (18)$$

где l - расстояние между лампочкой и фотоэлементом (м), S - площадь фотокатода, м² ($S = 4 \text{ см}^2$), Φ - величина светового потока (лм-люмен), J - сила света (кд-кандела).

Сила света лампы равна $J = 25 \text{ кд}$.

4. Данные занести в таблицу 2.
5. Постройте световую характеристику $I = f(\Phi)$.

Таблица 2

$l, м$							
$\Phi, лм$							
$I, мкА$							

3.1. Техника безопасности при выполнении лабораторной работы

1. Лабораторные работы выполняются студентами в составе подгруппы под руководством преподавателя, каждый студент ведет записи измерений и наблюдений и проводит их анализ самостоятельно.

2. Студент обязан бережно относиться к имуществу, приборам и оборудованию лаборатории.

3. Устанавливать приборы и приспособления, включать электроприборы без разрешения преподавателя и в его отсутствие запрещается.

4. При выявлении неисправности используемого оборудования немедленно прекратить работу и поставить в известность преподавателя или лаборанта.

5. Запрещается оставлять установку включенной.

6. Схемы, графики, вычисления и другие записи должны выполняться аккуратно.

7. Каждая лабораторная работа визируется преподавателем после выполнения (снятия данных) подписью в специальном бланке для каждой работы отдельно.

Контрольные вопросы

1. Запишите формулу Планка, пояснив смысл его квантовой гипотезы.

2. В чем отличие квантовой теории Эйнштейна от квантовой гипотезы Планка?

3. Что изучает квантовая оптика?

4. Каковы основные свойства фотона?

5. Каковы основные характеристики фотона? Которые из них определяют его волновые свойства? корпускулярные свойства?

6. Назовите виды фотоэффекта и дайте их определение.

7. Сформулируйте законы внешнего фотоэффекта.
8. Что представляет собой вольтамперная характеристика фотоэлемента?
9. От чего зависит сила фототока?
10. Как по задерживающему напряжению определить максимальную скорость фотоэлектронов?
11. От чего зависит (не зависит) максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов?
12. Чем определяется красная граница фотоэффекта?
13. Сформулировав и записав уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, объясните на его основе законы фотоэффекта.
14. При замене одного металла другим длина волны, соответствующая красной границе фотоэффекта, увеличивается. Что можно сказать о работе выхода электронов из этого металла?
15. Интенсивность света, падающего на фотокатод, уменьшилась в два раза. Что можно сказать о скорости фотоэлектронов? силе фототока?
16. Почему фотоэлектрические измерения чувствительны к состоянию поверхности фотокатода?
17. Какие виды фотоэлементов вам известны?
18. Приведите возможные применения фотоэлементов, не указанные в книге.
19. В чем заключается химическое действие света?
20. Что называют фотохимическими реакциями? Приведите примеры.
21. Объясните механизм давления света на основе квантовой теории, волновой теории.
22. Выведите формулу для давления света на основе квантовых представлений.
23. Сравните давление света на зачерненную и зеркальную поверхности. Почему они различны?

- 24.Поясните суть и значение опытов Лебедева по обнаружению светового давления.
- 25.Что представляет собой эффект Комптона?
- 26.Можно ли эффект Комптона объяснить на основе волновой теории? квантовой теории? Ответ обоснуйте.
- 27.Почему в рассеянном рентгеновском излучении наблюдается излучение с первоначальной длиной волны и с большей длиной волны?
- 28.В чем заключается корпускулярно-волновой дуализм свойств света?

Библиографический список

1. Грабовский, Р.И. Курс физики: учебное пособие/ Р.И. Грабовский. — СПб: Изд-во «Лань», 2012. - 608с.
2. Трофимова, Т.И. Курс физики: учебное пособие / Т.И. Трофимова.— М.: Издательский центр «Академия», 2015. — 560с.
3. Трофимова, Т. И. Курс физики: учебное пособие для инженер.-техн. специальностей вузов / Т. И. Трофимова. - 18-е изд., стер. - Москва: Academia, 2010. – 557 с.
4. Савельев, И. В. Курс общей физики: учебное пособие для вузов по техн. специальностям: в 4 т. / И. В. Савельев; под общ. ред. В. И. Савельева. Т. 2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. - Москва: КНОРУС, 2009. - 570 с.: ил.
5. Савельев, И. В. Курс общей физики : учебное пособие для вузов по техническим специальностям: в 4 т. / И. В. Савельев; под общ. ред. В. И. Савельева. Т. 3: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. - Москва: КНОРУС, 2009. - 359 с.
6. Детлаф, А. А. Курс физики: учебное пособие для втузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. — 8-е изд., стер. — Москва: Academia, 2009. — 719 с.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«Казанский государственный аграрный университет»

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра физики и математики

Отчёт по лабораторной работе № 4-5

«Изучение явления внешнего фотоэффекта»

Выполнил студент
группы
Ф.И.О.

Проверил
ФИО преподавателя

Казань, 20_