

Методическая разработка: Панков Сергей Евгеньевич

ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЕСТЕСТВЕННО – НАУЧНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ФИЗИКИ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7.

**ИЗУЧЕНИЕ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА С ПОМОЩЬЮ ВОЛЬТ - АМПЕРНОЙ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОЭЛЕМЕНТА.**

Тула, 2005 г

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7.

ИЗУЧЕНИЕ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА С ПОМОЩЬЮ ВОЛЬТ - АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОЭЛЕМЕНТА.

Цель работы: изучить явление внешнего фотоэффекта, построить вольт - амперные характеристики фотоэлемента при различной частоте освещающего света, определить численно постоянную Планка.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ.

Квантовые свойства электромагнитного излучения.

Тепловое излучение. Электромагнитное излучение, испускаемое источником, уносит с собой энергию. В зависимости от природы источника различают и виды излучения. Не будем их перечислять, поскольку нас интересует только одно излучение - тепловое, обусловленное нагреванием, т. е. подводом теплоты. Это излучение занимает особое место среди всех других видов излучения. В отличие от них тепловое излучение - это единственный вид излучения, которое может находиться в термодинамическом равновесии с телами.

Чтобы составить себе представление о характере теплового излучения, рассмотрим несколько тел, нагретых до различной температуры и помещенных в замкнутую полость, стенки которой полностью отражают падающее на них излучение. Опыт показывает, что такая система, в конечном счете, приходит в состояние теплового равновесия, при котором температура всех тел становится одинаковой. Так происходит и в том случае, когда между телами в полости будет вакуум, и тела могут обмениваться энергией только путем испускания и поглощения электромагнитных волн. За любой промежуток времени испускаемая телами энергия становится равной поглощаемой энергии, и плотность энергии излучения в пространстве между телами достигает определенной величины, соответствующей установившейся температуре. Такое состояние излучения в полости остается неизменным во времени. Оно находится, как уже было сказано, в термодинамическом равновесии с телами, имеющими определенную температуру, и поэтому его называют равновесным или черным излучением,

Оказывается, плотность энергии равновесного излучения и его спектральный состав совершенно не зависят от размеров и формы полости и от свойств находящихся в ней тел. Характер равновесного излучения зависит только от температуры. Поэтому можно говорить о температуре самого излучения, считая её равной температуре тел, с которыми оно находится в тепловом равновесии. Равновесное излучение однородно, изотропно и неполяризовано.

Для экспериментального изучения спектрального состава равновесного излучения продельывают небольшое отверстие в стенке полости, поддерживаемой при определенной температуре. Выходящее наружу через отверстие излучение обладает таким же спектральным составом, что и внутри полости.

Распределение энергии по длинам волн λ или по частотам ω характеризуют спектральной плотностью излучения, так что величина $u_\lambda d\lambda$ дает энергию единицы объема излучения с длинами волн в интервале $(\lambda, \lambda + d\lambda)$, а $u_\omega d\omega$ — с частотами в интервале $(\omega, \omega + d\omega)$.

В случае равновесного излучения спектральная плотность u_λ или u_ω представляет собой универсальную функцию только частоты (или длины волн) и температуры T . Основная проблема теории теплового излучения и заключалась в нахождении этой функции.

Все попытки решить данную проблему с помощью классических представлений потерпели неудачу. Задача о равновесии излучения с простейшим примером излучающего тела — линейным гармоническим осциллятором приводила к абсурдному результату. Проблема теплового излучения зашла в тупик...

Открытие постоянной Планка. Это произошло в 1900 г. Планк получил формулу для спектральной плотности $u_\omega d\omega$ теплового излучения, хорошо согласующуюся с экспериментальными данными. Однако для этого ему пришлось ввести гипотезу, коренным образом противоречащую представлениям классической физики. Планк предположил, что энергия осциллятора может принимать не любые, а только вполне определенные дискретные значения ε_n , пропорциональные некоторой элементарной порции — кванту энергии ε_0 . В связи с этим испускание и поглощение электромагнитного излучения осциллятором (веществом) осуществляется не непрерывно, а дискретно в виде отдельных квантов, величина которых пропорциональна частоте излучения:

$$\varepsilon_0 = \hbar \omega, \quad (1.1)$$

где коэффициент $\hbar$ получил впоследствии название постоянной Планка. Определенное из опыта значение $\hbar$ равно:

$$\hbar = 1,054 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{с} = 0,659 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с} = 1,0546 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Следует отметить, что, вообще говоря, постоянной Планка следует называть величину $h = 6,6262 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$, а $\hbar$ правильнее называть приведенной постоянной Планка. Т. е. $\hbar = \frac{h}{2\pi}$.

В физике есть величина, имеющая размерность «энергия $\times$ время». Ее называют действием. Постоянная Планка имеет ту же размерность, поэтому ее иногда называют квантом действия.

Постоянная Планка была определена экспериментально не только с помощью законов теплового излучения, но и другими, более прямыми и точными методами. Значения $\hbar$, полученные на основе разных физических явлений (тепловое излучение, фотоэффект, коротковолновая граница сплошного рентгеновского спектра и др.), хорошо согласуются друг с другом.

Постоянная Планка — это важнейшая универсальная константа, играющая в квантовой физике такую же фундаментальную роль, как скорость света в теории относительности. Открытие постоянной Планка и связанной с ней идеи квантования ознаменовало рождение новой, квантовой теории. Физику, как науку, стали подразделять на классическую (нерелятивистскую и релятивистскую) и квантовую, неразрывно связанную с фундаментальной константой $\hbar$.

Итак, Планк доказал, что правильную формулу для спектральной плотности энергии теплового излучения можно получить только в том случае, если допустить квантование энергии, противоречащее классическим представлениям.

Трудно было примириться с таким отказом от классических представлений, и Планк, совершив великое открытие, еще в течение нескольких лет пытался понять квантование энергии с позиций классической физики. Безуспешность этих попыток привела его к окончательному выводу, что в рамках классической теории природу теплового излучения понять невозможно.

Фотоэффект

Световые кванты. Квантовая гипотеза Планка была оценена по достоинству и получила дальнейшее развитие, прежде всего в работах Эйнштейна. Он первый указал на то, что кроме теплового излучения существуют и другие явления, которые можно объяснить на основе квантовой гипотезы.

В 1905 г. Эйнштейн выдвинул гипотезу световых квантов. Он предположил, что дискретный характер присущ не только процессам испускания и поглощения света, но и самому свету. Гипотеза о корпускулярных свойствах света позволила объяснить результаты экспериментов по фотоэффекту, совершенно непонятные с позиций классической электромагнитной теории. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Фотоэлектрическим эффектом, или фотоэффектом называют испускание электронов веществом под действием света. Исследование закономерностей фотоэффекта проводят на установке, схематически показанной на рис. 1.1. При освещении катода К монохроматическим светом через кварцевое окошко (пропускающее и ультрафиолетовые лучи) из катода вырываются фотоэлектроны, и в цепи возникает фототок, регистрируемый гальванометром G. График за-

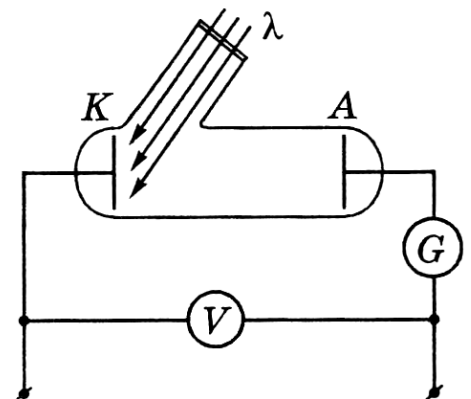


Рис. 1.1

зависимости фототока I от приложенного внешнего напряжения V между катодом и анодом А представлен на рис. 1.2. Этот график называют вольт – амперной характеристикой фотоэлемента, т. е. того прибора, в котором наблюдают фотоэффект. Для этой зависимости характерно наличие участка тока насыщения $I_{\text{нас}}$, когда все электроны, вырванные светом с поверхности катода К, попадают на анод А, и другого участка, на котором фототок уменьшается до нуля при некотором внешнем задерживающем напряжении V_1 (на рис. 1.2 $V_1 < 0$).

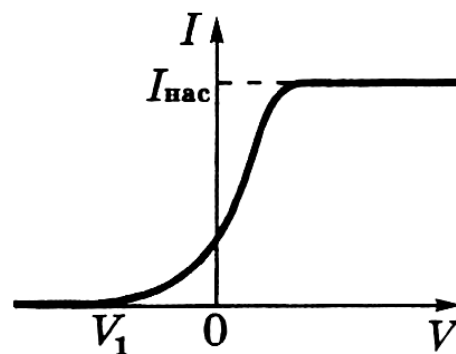


Рис. 1.2

Многочисленными экспериментами были установлены три основные закономерности фотоэффекта:

1. Фототок насыщения пропорционален падающему световому потоку (при одном и том же спектральном составе). Это значит, что число электронов, вырываемых светом ежесекундно, пропорционально мощности падающего света. Впервые это было установлено А.Г. Столетовым (1889).

2. Для каждого металла существует максимальная длина волны света (или минимальная частота ω_k), при которой еще происходит вырывание электронов. Если длина волны превышает λ_k — так называемую красную границу фотоэффекта, — то испускание фотоэлектронов отсутствует даже при достаточно большой интенсивности падающего света. Следует отметить, что при очень больших интенсивностях излучения красная граница фотоэффекта исчезает (сфокусированное лазерное излучение).

3. Максимальная кинетическая энергия K фотоэлектронов линейно зависит от частоты ω облучающего света (причем $K_{\text{макс}}$ растет с увеличением ω) и не зависит от интенсивности света. Заметим, что максимальное значение кинетической энергии фотоэлектронов определяют по так называемой задерживающей разности потенциалов (этот вопрос рассмотрен ниже и именно по этой методике в данной работе определяется постоянная Планка).

С точки зрения классических волновых представлений сам факт вырывания электронов из металла не удивителен, так как падающая электромагнитная волна вызывает вынужденные колебания электронов в металле. Электрон, поглощая энергию, может накопить ее в количестве, достаточном для преодоления потенциального барьера, удерживающего электрон в металле, т. е. для совершения работы выхода. Если это так, то энергия фотоэлектронов должна зависеть от интенсивности света. Увеличение же интенсивности света приводит лишь к возрастанию числа фотоэлектронов.

Более того, резкое расхождение теории с опытом возникает при очень малой интенсивности света. По классической волновой теории фотоэффект в этих условиях должен протекать с заметным запаздыванием, поскольку требуется конечное время для накопления необходимой энергии. Однако опыт показывает, что фотоэффект появляется практически мгновенно, т.е. одно-

временно с началом освещения (промежуток времени между началом освещения и появлением фототока не превышает 10^{-9} с).

Все трудности отпадают, если фотоэффект рассматривать на основе гипотезы Эйнштейна о световых квантах. В соответствии с этой гипотезой падающее монохроматическое излучение рассматривается как поток световых квантов — фотонов, энергия ε которых связана с частотой ω простым соотношением:

$$\varepsilon = \hbar\omega \quad (1.2)$$

При поглощении фотона его энергия целиком передается одному электрону. Таким образом, электрон приобретает кинетическую энергию не постепенно, а мгновенно. Этим и объясняется безынерционность фотоэффекта.

Формула Эйнштейна. Полученная электроном энергия $\hbar\omega$ частично затрачивается на освобождение из металла. А оставшаяся часть переходит в кинетическую энергию вылетевшего из металла фотоэлектрона. Минимальную энергию, необходимую для освобождения электрона из металла, т. е. для преодоления потенциального барьера, называют работой выхода A . Следовательно, для фотоэлектронов с максимальной кинетической энергией $K_{\text{макс}}$ закон сохранения энергии в элементарном акте поглощения фотона можно записать так:

$$\hbar\omega = A + K_{\text{макс.}} \quad (1.3)$$

Эта формула впервые была получена Эйнштейном и носит его имя — формула Эйнштейна.

Вернемся к формуле Эйнштейна (1.3). Из нее автоматически вытекают следующие закономерности, находящиеся в строгом согласии с опытом.

1. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно зависит от частоты падающего света и не зависит от его интенсивности. Интенсивность обуславливает только количество фотоэлектронов, но совершенно не влияет на их максимальную кинетическую энергию. Кстати отметим, что наклон прямой на графике $K_{\text{макс}}(\omega)$ как видно из формулы (1.3), т. е.

$\frac{dK_{\text{макс.}}}{d\omega} = \hbar$. На этом основан наш метод определения постоянной Планка.

2. Существует низкочастотная граница — порог фотоэффекта, т.е. такая частота ω_0 , ниже которой фотоэффект отсутствует. Эта частота согласно (1.3) соответствует равенству $\hbar\omega = A$. Если $\omega < \omega_0$, то энергии фотона не хватает, чтобы электрон мог преодолеть потенциальный барьер «высотой» A и выбраться из металла. На этом основан один из методов определения работы выхода. Однако следует заметить, что работа выхода может быть определена экспериментально независимо от фотоэффекта, например, с помощью исследования термоэлектронной эмиссии. Эта работа зависит от ряда факторов и имеет порядок нескольких эВ.

Частоте ω_0 соответствует красная граница фотоэффекта, длина волны которой $\lambda_k = \frac{2\pi c}{\omega_0}$. Наличие такой границы совершенно непонятно с волновой точки зрения. Значения λ_k для некоторых металлов приведены в табл. 1.1:

Таблица 1.1

Металл	Cs	Na	Zn	Ag	Pt
λ_k , мкм	0,60	0,53	0,33	0,28	0,20

В справочной литературе наблюдается довольно большой разброс в значениях λ_k для одних и тех же металлов. Поэтому к значениям λ_k в табл. 1.1 следует относиться с определенной осторожностью.

Экспериментальная часть

Трудности эксперимента. Необходимо заметить, что получение точных результатов в данной работе сильно затрудняют два обстоятельства:

1) экспериментальная кривая $I(V)$ в области V_I (см. рис. 1.2) подходит к оси V практически асимптотически, вследствие чего определение V_I довольно неопределенно;

2) всю кривую $I(V)$ смещает (влево или вправо) наличие так называемой контактной разности потенциалов, т. е. разности потенциалов, которая возникает между двумя различными металлами (а это приходится, как правило, делать, поскольку катод K и анод A изготавливают по необходимости из различных металлов). Причем известно, что контактная разность потенциалов между катодом и анодом не зависит от природы проводников, их соединяющих.

Неизбежное присутствие контактной разности потенциалов и трудность ее учета, а также ряд других экспериментальных затруднений и источников ошибок — все это привело к тому, что достаточно точное подтверждение уравнения Эйнштейна (1.3) было получено не сразу.

Это уравнение было подтверждено в тщательных опытах Милликена (1916) и последующих исследователей, создавших установку, в которой катод K имел форму небольшого шарика, помещенного в центр сферической обкладки — анода A (рис. 1.3). При такой конфигурации

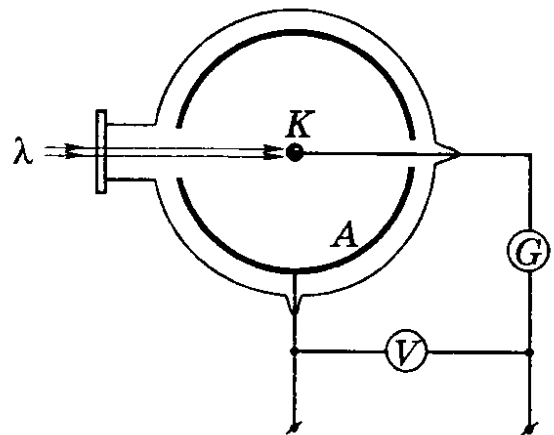


Рис. 1.3

практически все электроны, вырванные светом из катода, попадают на анод и в отсутствие ускоряющей разности потенциалов. Кроме того, характеристика такого фотоэлемента $I(V)$ спадает к нулю достаточно круто, и значение V_1 (см. рис. 1.2) может быть определено с хорошей точностью.

Задерживающая разность потенциалов. Именно эта величина позволяет задержать фотоэлектроны, вылетающие из катода с максимальной кинетической энергией $K_{\text{макс}}$, что и приводит к прекращению фототока. Если бы катод и анод фотоэлемента были изготовлены из одного и того же металла, то контактная разность потенциалов отсутствовала бы, и определение задерживающей разности потенциалов сводилось бы просто к измерению внешнего задерживающего напряжения, т. е. показаниям вольтметра $V_3 < 0$ (рис. 1.4). Действительно, при $V = 0$ все фотоэлектроны вне зависимости от начальной скорости достигали бы анода, и мы уже имели бы ток насыщения.

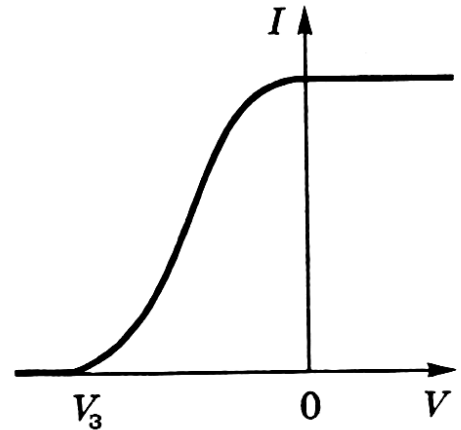


Рис. 1.4

Определение задерживающей разности потенциалов усложняется, если катод и анод изготовлены из разных металлов (что обычно и бывает). В этом случае начинает играть заметную роль контактная разность потенциалов. Если она есть и, например, такова, что тормозит вылетающие из катода фотоэлектроны, то приходится прикладывать внешнее напряжение ускоряющее напряжение V (измеряемое вольтметром), чтобы выйти на насыщение. И если это напряжение таково, что компенсирует тормозящую контактную разность потенциалов, то начало горизонтального участка (тока насыщения) — точка 2 на рис. 1.5 — сдвинется вправо, в сторону положительных значений показания вольтметра V .

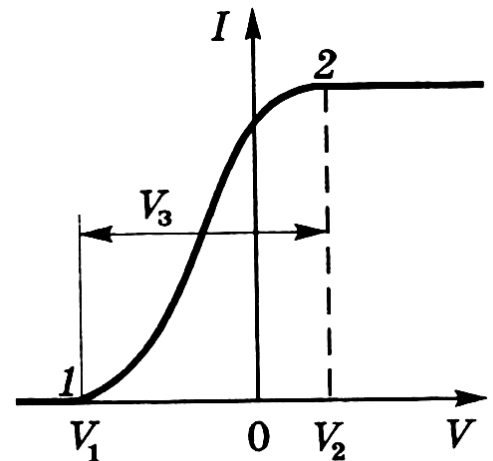


Рис. 1.5

Таким образом, по модулю, задерживающая разность потенциалов V_3 будет равна:

$$V_3 = V_2 - V_1 \quad (1.4)$$

как показано на рис. 1.5, где $V_1 < 0$. Заметим, что, вообще говоря, V_1 есть величина алгебраическая, она может иметь любой знак или равняться нулю.

Если контактная разность потенциалов не тормозит, а ускоряет фотоэлектроны, т.е. имеет противоположный знак, то характеристика фотоэле-

мента $I(V)$ вместе с точкой 2 сместится влево. При этом выражение (1.4) для V_3 остается, как легко убедиться, прежним, только в нем оба показания вольтметра (V_2 и V_1) могут оказаться отрицательными, но их разность по-прежнему будет по модулю положительной и равной V_3 .

Итак, определив V_3 , мы тем самым находим максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов — $K_{\text{макс}}$ в формуле Эйнштейна (1.3):

$$K_{\text{макс.}} = eV_3 = e(V_2 - V_1) \quad (1.5)$$

Замечание 1. Отметим, что положение точки 2 на рис. 1.5, т. е. показание вольтметра $V = V_2$, зависит только от контактной разности потенциалов, положение же точки 1, т. е. показание V_1 вольтметра — от частоты ω_0 падающего света. Значит, и задерживающая разность потенциалов V_3 тоже зависит от ω_0 .

Если построить экспериментальный график зависимости $K_{\text{макс.}}(\omega_0)$, то получается прямая (рис. 1.6), что является убедительным подтверждением формулы Эйнштейна (1.3).

Заметим, что точка пересечения прямой с осью абсцисс определяет частоту ω_0 соответствующую красной границе фотоэффекта, а точка пересечения продолжения прямой с осью ординат — работу выхода A . Если же на оси ординат откладывать V_1 ; (показание вольтметра, при котором фототок обращается в нуль); то отмеченные две точки не будут соответствовать ω_0 и A (из-за наличия контактной разности потенциалов). К сожалению, это часто не учитывают, и полученные результаты сильно отличаются от действительных значений.

Однако в данной работе мы ставим задачу как можно точнее определить именно постоянную Планка. Точное же определение точки насыщения (точки 2 на рис. 1.5) сильно затруднено, и как следствие, значение $V_3 = V_2 - V_1$ остается достаточно неопределённым. Поэтому поступим следующим образом. Перепишем (1.3) с учетом (1.5):

$$e(V_2 - V_1) = h\nu - A \quad (1.6)$$

Учтём **замечание 1** и т.к. $V_2 = \text{const}$ (материал катода и анода не изменяются), то можно записать:

$$|eV_1| = h\nu - (A + eV_2) \quad (1.7)$$

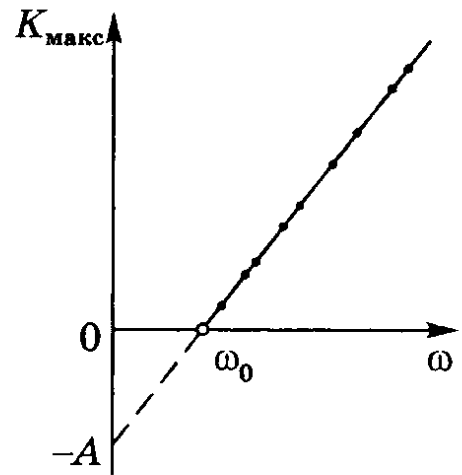


Рис. 1.6

Таким образом, пришли к уравнению прямой (1.7): $|eV_1|(\nu) = B\nu + A_0$, из которого численным способом находя коэффициент наклона $B=h$, получаем искомое значение постоянной Планка. Коэффициент A_0 в данном случае нас мало интересует. В то же время уравнение (1.7) не позволяет точно определить ни работу выхода электронов из металла, ни красную границу фотоэффекта ν_0 , т. к. по-прежнему остаётся неопределенной величина контактной разности потенциалов.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

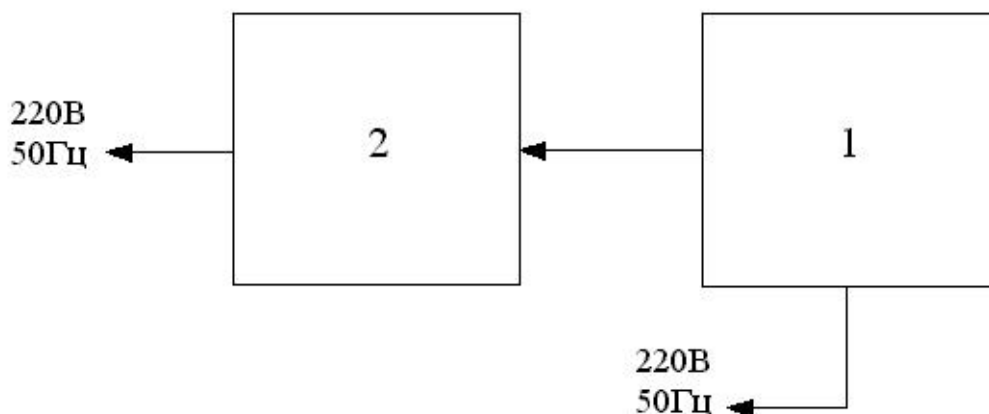
Приборы и оборудование

Модуль ФПК-10.

Основные блоки установки – блок облучения, содержащий лампу ДРС-50., блок, содержащий фотоэлемент и блок управления и индикации, на передней панели которого размещены кнопка “прям-обр” для выбора режима измерения прямой и обратной ветви ВАХ фотоэлемента, цифровой индикатор значений фототока (мкА) и напряжения (В) фотоэлемента. Интервал регулирования напряжений кнопками “+”, “-”, ”сброс” от 0 до 10 В в прямом режиме и от 0 до 1 В – в обратном. Схематическое изображение установки показано на рис 2.1.

Рис. 2.1

СХЕМАТИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ СОЕДИНЕНИЯ УСТРОЙСТВ УСТАНОВКИ ФПК 10



1. Устройство измерительное 2. Объект исследования

1. Установите фотоприемник с исследуемым фотоэлементом (представляющий собой блок, выполненный в виде куба) на контактную площадку объекта исследования. При установке приемника его приемное окно совмещается с выходным окном осветителя.

2. Подключите сетевые шнуры устройства измерительного и облучателя к сети и включите **устройство измерительное** (представляющее собой блок, на передней панели которого размещены кнопка “прям-обр”, цифровой индикатор значений фототока (мкА) и напряжения (В) фотоэлемента) выключателем СЕТЬ на его задней панели. **Облучатель (объект исследования) при этом должен быть выключен!** При этом должны загореться индикаторы ПРЯМАЯ, В и мкА устройства измерительного. На индикаторе В должны установиться нули (допускается индикация до значения 2 младшего разряда). После **5 минутного прогрева** ручками УСТАНОВКА НУЛЯ на объекте исследования **установить нулевое значение** на индикаторе мкА устройства измерительного.

3. Включите облучатель выключателем СЕТЬ на его передней панели. При этом должен загореться индикатор СЕТЬ объекта исследования (облучателя).

4. Дать ртутной лампе осветителя прогреться в течении 10-15 минут.

5. С помощью кнопки ПРЯМАЯ-ОБРАТНАЯ на панели устройства измерительного **выбрать режим измерения прямой ветви ВАХ**, для чего **нажать на кнопку «ПРЯМАЯ»**.

6. Установить светофильтр №1 (фиолетовый).

7. Выбрать шаг изменения напряжения, подаваемого на фотоэлемент (для измерения прямой ветви шаг должен быть порядка $\sim 0,4$ В), позволяющий достаточно точно отразить вольт - амперную характеристику. Изменяя значения напряжения с помощью кнопок "+", "-" на передней панели измерительного устройства через выбранный промежуток и считывая показания фототока с индикатора "мкА" получите данные для построения прямой ветви вольт-амперной характеристики.

8. Не меняя светофильтра с помощью кнопки ПРЯМАЯ-ОБРАТНАЯ на панели устройства измерительного **выбрать режим измерения обратной ветви ВАХ**, для чего **нажать на кнопку «ОБРАТНАЯ»**, **предварительно обнулив показания кнопкой «СБРОС»**.

9. Выбрать шаг изменения напряжения, подаваемого на фотоэлемент. Для обратной ветви шаг должен быть порядка $\sim 0,05 - 0,1$ В). Изменяя значения напряжения с помощью кнопок "+", "-" на передней панели измерительного устройства через выбранный промежуток и считывая показания фототока с индикатора "мкА" получите данные для построения обратной ветви вольт-амперной характеристики.

10. После окончания измерения для данного светофильтра обнулить показания измерительного устройства, нажав на кнопку «сброс».

11. Сменить светофильтр на №2 (синий) и повторить пп. 7-9.

12. Прodelать пп. 7-9 для светофильтров №3 (зеленый), и №4 (желтый). Затем, **по окончании работы необходимо отключить питание установки выключателями СЕТЬ** (на задней панели устройства измерительного и передней панели объекта исследования) и отключить сетевые вилки устройства измерительного и объекта исследования от питающей сети.

13. Построить на миллиметровой бумаге семейство прямых и обратных ветвей вольт-амперных характеристик фотоэлемента для различных светофильтров.

14. Для каждой вольт-амперной характеристики найти напряжение V_1 , соответствующее полной задержки электронов (обратный ток фотоэлемента при этом напряжении равен нулю – это показания вольтметра V_1 на рис. 1.5).

15. Найти значение величины $|eV_1|$ (модуля произведения обратного напряжения на заряд электрона $e=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл) для каждого светофильтра.

16. Все измерения и вычисления свести в таблицу 1.2. В таблице 1.2 также указаны длины волн, которые пропускает каждый светофильтр. Для каждого светофильтра необходимо вычислить частоту, которую пропускает светофильтр $\nu = \frac{c}{\lambda}$, $c=3 \cdot 10^8$ м/с. Это и будет частота света, который, попадая на фотоэлемент, вызывает фотоэффект.

Таблица 1.2

№ светофильтра	Длина, волны, кот. пропускает светофильтр, λ , нм	Частота, кот. пропускает светофильтр, $\nu = c/\lambda$, Гц	V_1 , В	$ eV_1 $, Дж
1. Фиолетовый	407			
2. Синий	435			
3. Зеленый	546			
4. Желтый	578			

18. С помощью метода наименьших квадратов построить график зависимости $|eV_1|(\nu)$. График должен иметь вид прямой линии.

19. Из графика найти значение постоянной Планка (тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс), оценить ошибку определения постоянной Планка Δh .

Сведения о методе наименьших квадратов, а также другую дополнительную информацию см. в приложении.

Примечание 1. При необходимости с помощью поворота кольца, расположенного на выходном окне объекта исследования можно изменять освещенность фотоэлемента.

Примечание 2. При определении запирающего напряжения фотоэлемента необходимо нулевое значение тока считать при уменьшении напряжения от нулевого значения до значения запирающего напряжения, а не наоборот. Не рекомендуется также устанавливать значение напряжения ниже запирающего. Режим работы установки прерывистый – через каждые 2 часа работы делается перерыв на 10–15 мин.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. В чем состоит явление внешнего фотоэффекта?
2. Что такое “красная граница ” фотоэффекта?
3. Сформулировать законы фотоэффекта.
4. Что такое контактная разность потенциалов и каким образом она влияет на характеристику фотоэлемента.
5. Почему максимальная кинетическая энергия электронов, соответствующая данной частоте ν падающего света определяется как $K_{\text{макс.}} = eV_{\text{задерж.}}$?
6. При последовательном освещении катода светом с частотой $\nu = 1,0 \cdot 10^{15}$ Гц и $\nu' = 1,4 \cdot 10^{15}$ Гц показания вольтметра, при которых фототок прекращался, оказались $V_1 = - 0,40$ В и $V_1' = - 2,0$ В (см. рис. 1.5). Найдите постоянную Планка, учитывая, что между катодом и анодом существует некоторая контактная разность потенциалов.
7. Для чего при проведении данного опыта необходим набор светофильтров с различной полосой пропускания длины волны λ ?
8. Объяснить ход прямой и обратной ветвей на вольт-амперной зависимости фототока от напряжения между катодом и анодом.
9. Почему в данной работе в качестве источника света используется именно газонаполненная (ртутная) лампа? Можно ли использовать лампу накаливания?

ПРИЛОЖЕНИЕ.

Совместные измерения. Понятие о методе наименьших квадратов (МНК)
Рассмотрим случай совместных измерений двух величин β и α . Если уравнения измерения, связывающие эти величины, линейны, то для определения β и α в результате многократных измерений некоторых других величин x_i и y_i получится линейная система условных уравнений, каждое из которых имеет вид

$$y_i = \beta x_i + \alpha \quad (1)$$

где x_i, y_i - результаты i -го измерения величин x и y ; β и α - искомые величины.

Система уравнений (1) будет, вообще говоря, несовместна, так как результаты измерений x и y неизбежно содержат погрешности. Поэтому из этих уравнений можно определить только оценки величин β и α (соответственно B и A), которые являются случайными величинами.

Для наглядности изложения представим все опытные данные x_i и y_i на графике (см. рис. 1). Геометрически задача измерения α и β состоит в определении параметров некоторой прямой: значения ординаты при нулевом значении абсциссы и тангенса угла наклона соответственно.

Так как между точками на графике можно провести не одну прямую, возникает задача - провести прямую наилучшим образом. Такая прямая характеризуется наиболее точными оцен-

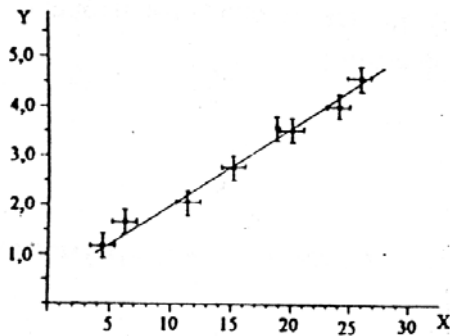


рис. 1

ками коэффициентов β и α , т.е. наиболее вероятным.

Оценка β (значение B) определяется выражением

$$B = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i \cdot y_i) - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

Оценка α (значение A) определяется выражением

$$A = \bar{y} - B\bar{x}$$

Можно показать, что оценка стандартного отклонения коэффициента B выражается следующим образом:

$$S_B = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - Bx_i - A)^2}{(n-2) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}$$

Интервал, в котором с установленной вероятностью α_0 может находиться коэффициент β , записывается в виде $\Delta B = t_{\alpha_0, (n-2)} S_B$

Тогда можно записать:

$$\beta = B \pm \Delta B$$

Стандартное отклонение коэффициента A определяется по формуле

$$S_A = \sqrt{\left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right) \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - Bx_i - A)^2}{n-2}}$$

СПЕКТР РТУТНОЙ ЛАМПЫ

Окраска линии	Относительная яркость	Длина волны, нм
Желтая	10	579,07
Желтая	8	576,96
Зеленая	10	546,07
Голубая	1	491,60
Синяя	8	435,83
Фиолетовая	1	407,78
Фиолетовая	2	404,66

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

При составлении данного методического руководства использовалась следующая литература.

1. Иродов И. Е., Квантовая физика. Основные законы., М. 2002
2. Савельев И. В. Курс общей физики. М., 1982, т. 3
3. Шпольский Э. В., Атомная физика т.1, т.2
4. Курс физики, под редакцией Лозовского В.Н., С-Пб 2001.
5. Рохлин Г. Н., Разрядные источники света, М., Энергоатомиздат, 1991.
6. Лабораторный практикум по физике, под ред. К. А. Барсукова, М. 1988.