

5376

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ТЕРМОЭЛЕКТРОНОВ ПО СКОРОСТЯМ
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ТЕМПЕРАТУРЫ**

Методические указания
к лабораторной работе

Рязань 2019

УДК 537.0(075)

Изучение распределения термоэлектронов по скоростям и определение их температуры: методические указания к лабораторной работе / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: А.С. Иваников, Ю.В. Черкасова, В.В. Иняков. – Рязань, 2019. – 12 с.

Содержат основные теоретические положения, описание методики эксперимента, порядок выполнения работы.

Предназначены для студентов всех специальностей, изучающих курс «Физика».

Табл. 2. Ил. 8. Библиогр.: 3 назв.

Интегральная и дифференциальная функции распределения, распределение Максвелла, термоэлектронная эмиссия, потенциальный барьер, электровакуумный диод, вольт-амперная характеристика диода

Печатается по решению редакционно-издательского совета Рязанского государственного радиотехнического университета.

Рецензент: кафедра общей и экспериментальной физики РГРТУ (зав. кафедрой доц. М.В. Дубков)

Изучение распределения термоэлектронов по скоростям
и определение их температуры

Составители: И в а н и к о в Александр Сергеевич
Ч е р к а с о в а Юлия Вадимовна
И н я к о в Валерий Викторович

Редактор М.Е. Цветкова
Корректор С.В. Макушина

Подписано в печать 15.05.19. Формат бумаги 60 х 84 1/16.

Бумага писчая. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 0,75.

Тираж 200 экз. Заказ

Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ.

Цель работы: изучить распределение электронов по скоростям, покидающих катод вакуумного диода при термоэлектронной эмиссии, а также вольт-амперную характеристику диода и определить значение работы выхода электрона из металла.

Приборы и принадлежности: учебная установка ФЭЛ-5.

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ

Интегральная и дифференциальная функции распределения

Молекулярно-кинетическая теория вещества рассматривает тела, состоящие из множества атомов или молекул, у которых в результате взаимных столкновений, происходящих миллиарды раз за секунду, хаотично меняются скорости, импульсы, энергия и т.д. Поведение таких систем описывается законами, которые называются *статистическими*. К ним относятся распределения молекул газа по скоростям, энергиям, импульсу и т.д.

Центральное понятие статистической физики – понятие плотности вероятности $f(x)$, т.е. дифференциальной функции распределения. Вероятность того, что переменная x лежит в интервале от x до $x + dx$, определяется как

$$dp = f(x)dx. \quad (1)$$

Интегральной функцией распределения называется вероятность нахождения переменной в интервале от a до x (здесь a – минимально возможное значение переменной). Эта функция определяется выражением

$$p(x) = \int_a^x f(x')dx'. \quad (2)$$

Интегральная функция распределения может быть выражена как площадь под графиком дифференциальной функции распределения. Наоборот, дифференциальная функция распределения при данном значении переменной равна угловому коэффициенту касательной к графику интегральной функции распределения.

Распределение Максвелла

При изучении распределения молекул по скоростям бессмысленно задаваться вопросом о числе частиц с заданной скоростью, поскольку множество частиц счетно, а множество скоростей – непрерывно. Строго говоря, каждой конкретной скорости соответствует ноль молекул. Правильная постановка вопроса такова: сколько частиц имеет скорость в заданном интервале (например, от 300,0 м/с до 300,5 м/с)? Число частиц со скоростями, лежащими в интервале от V_x до $V_x + dV_x$, от V_y до $V_y + dV_y$, от V_z до $V_z + dV_z$, определяется как

$$dN = N \cdot f(V_x, V_y, V_z) \cdot dV_x dV_y dV_z,$$

где N – полное количество частиц, f – дифференциальная функция распределения, которая является функцией трех переменных (компонент скорости молекул). Из всех возможных функций распределения в статистической физике особую роль играет *распределение Максвелла*, поскольку оно определяет распределение описываемых классической механикой частиц в состоянии термодинамического равновесия:

$$f(V_x, V_y, V_z) = \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \exp \left(-m \frac{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}{2kT} \right), \quad (3)$$

где m – масса частицы, T – температура, $k = 1,38 \cdot 10^{-34}$ Дж/К – постоянная Больцмана. Распределение микрочастиц по каждой компоненте скорости совпадает с нормальным (гауссовым) распределением, причем средняя скорость молекул в проекции на любую координатную ось равна нулю, а стандартное отклонение равно $\sigma = \sqrt{kT/m}$.

Распределение Максвелла можно записать не только в декартовой, но и в других координатных системах. Цилиндрическую систему координат удобнее всего использовать в тех задачах, где имеется симметрия относительно некоторой оси. С помощью распределения Максвелла в этой системе координат можно определить плотность вероятности для радиальной (т.е. перпендикулярной к оси симметрии) компоненты скорости частиц V_r :

$$f(V_r) = \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \cdot \exp \left(-\frac{mV_r^2}{2kT} \right) \cdot 2\pi V_r, \quad (4)$$

где $V_r^2 = V_x^2 + V_y^2$. Наивероятнейшее значение *радиальной* скорости равно

$$V_r = \sqrt{kT/m}. \quad (5)$$

Сферическая система координат используется тогда, когда изучаемая физическая система обладает центральной симметрией. Распределение Максвелла, записанное в этой координатной системе, позволяет найти распределение частиц по модулю скорости:

$$f(V) = 4\pi V^2 \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \exp \left(-\frac{mV^2}{2kT} \right). \quad (6)$$

Отсюда следует, что наивероятнейшее значение модуля скорости частицы равно

$$V = \sqrt{2kT/m}. \quad (7)$$

Из формулы (3) следует также распределение по кинетическим энергиям $mV^2/2$:

$$f(E) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left(\frac{1}{kT} \right)^{3/2} \cdot \sqrt{2E} \exp\left(-\frac{E}{kT}\right). \quad (8)$$

На рис. 1 приведены графики, иллюстрирующие распределения по скоростям и энергиям согласно формулам (3), (4), (6), (8).

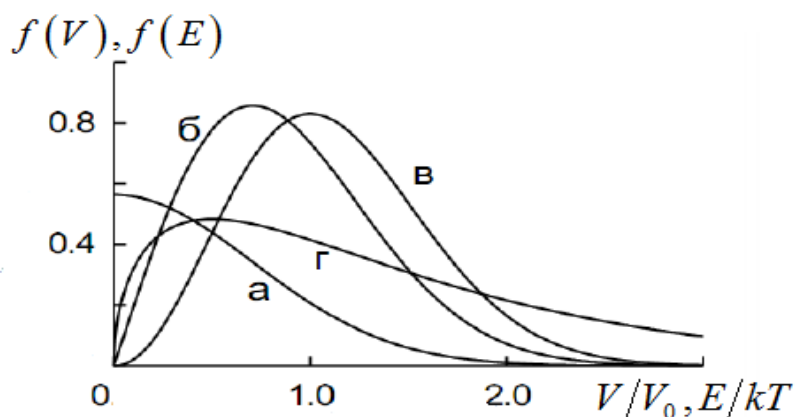


Рис. 1. Распределение Максвелла по компоненте вектора скорости в декартовой системе координат (а); по радиальной компоненте вектора скорости (б); по модулю скорости (в); по энергиям (г). По горизонтальной оси отложено отношение скорости молекулы к наиболее вероятной V_0 либо энергии к величине kT

Термоэлектронная эмиссия

Для изучения распределения термоэлектронов по скоростям и определения работы выхода используется явление термоэлектронной эмиссии и исследование зависимости тока в вакуумном диоде от температуры катода и напряжения между катодом и анодом.

Термоэлектронная эмиссия (ТЭ) – испускание электронов нагретыми твердыми (реже жидкими) телами. Для большинства веществ ТЭ наблюдается при температурах, значительно более высоких, чем комнатная. Так, для получения ТЭ заметной величины большинство тугоплавких металлов необходимо нагревать до температуры 2000 – 2500 К. Явление термоэлектронной эмиссии можно объяснить на основании современных представлений о строении металлов. Металл представляет собой кристаллическое тело, в узлах решетки которого расположены положительно заряженные ионы. Между ионами находятся валентные электроны, которые могут свободно перемещаться внутри металла (электроны проводимости).

Вблизи поверхности металла существует потенциальный барьер, препятствующий выходу электронов из металла, и, следовательно, чтобы удалить электрон из металла, нужно затратить некоторую энергию.

Можно считать, что потенциальная энергия электронов на границе металл – вакуум изменяется, как показано на рис. 2, где A – уровень по-

тенциальной энергии электрона внутри металла. Потенциальная энергия электрона вне металла полагается равной нулю, следовательно, внутри металла она отрицательна.

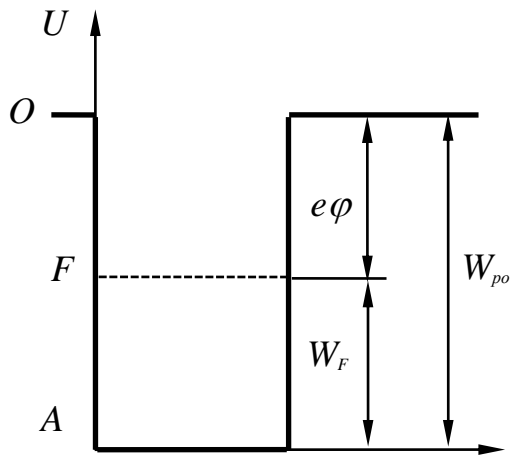


Рис. 2. Потенциальный барьер

Для того чтобы электрон мог покинуть металл, его кинетическая энергия должна быть больше глубины потенциальной ямы W_{po} . Распределение электронов по энергиям в металле подчиняется распределению Ферми – Дирака (рис. 3):

$$\frac{dn}{dW} \approx \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{W - W_F}{kT}\right)}. \quad (9)$$

Здесь W – энергия электрона; T – абсолютная температура; dn – число электронов с энергией в интервале $(W, W+dW)$.

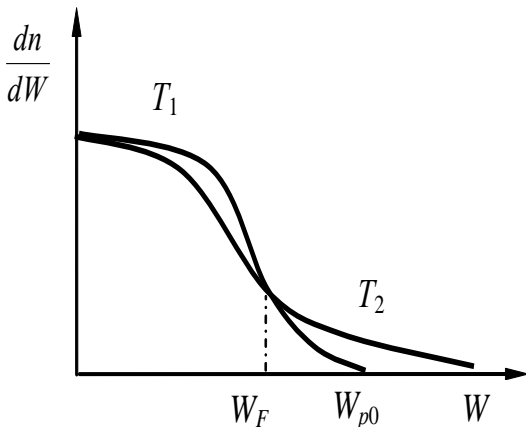


Рис. 3. Распределение электронов по энергиям в металле

Из распределения следует, что только незначительная часть электронов в металле обладает энергиями, большими некоторого значения W_F , называемого энергией Ферми (обычно $kT \ll W_F$; при комнатной температуре $kT \approx 1/40$ эВ, W_F – порядка нескольких эВ). Энергия Ферми определяется положением верхнего заполненного энергетического уровня в металле при абсолютном нуле температуры, называемого уровнем Ферми F . Уровень Ферми является характеристикой данного металла, причем $W_F < W_{po}$. Энергию, равную разности между глубиной потенциальной ямы W_{po} и уровнем Ферми W_F , называют работой выхода электрона из металла и обозначают $e\phi$ (e – заряд электрона, ϕ – потенциал выхода). Обычно $e\phi$ измеряется в электронвольтах.

При комнатной температуре количество электронов, обладающих энергией, достаточной для выхода из металла (кривая T_1 на рис. 3). При нагревании металлов резко возрастает (кривая T_2 на рис. 3) и в

Прибором, с помощью которого изучают электровакуумный диод. Схематическое устройство на рис. 4.

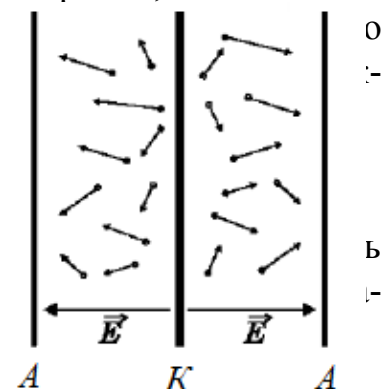


Рис. 4. Катод в вакуумном диоде

Между электродами создается электрическое поле \vec{E} , тормозящее движение испарившихся с катода электронов. Отрицательное напряжение играет роль фильтра, пропускающего только те электроны, радиальная скорость которых достаточно велика, чтобы преодолеть потенциальный барьер между анодом и катодом (радиальное поле не влияет на продольную компоненту скорости).

На анод попадут электроны, энергия которых больше работы сил электрического поля по их торможению:

$$mV_r^2/2 > eU, \quad (10)$$

где U – потенциал анода. Отсюда следует условие попадания электрона на анод:

$$V_r \geq V_{\min} = \sqrt{\frac{2eU}{m}}. \quad (11)$$

Измеряя анодный ток при изменении величины отрицательного анодного напряжения, можно непосредственно исследовать распределение термоэлектронов по скоростям или энергиям. Для этого рассмотрим вольт-амперную характеристику (ВАХ) вакуумного диода, т.е. зависимость между анодным током и разностью потенциалов между электродами, построив ее в полулогарифмическом масштабе (рис. 5).

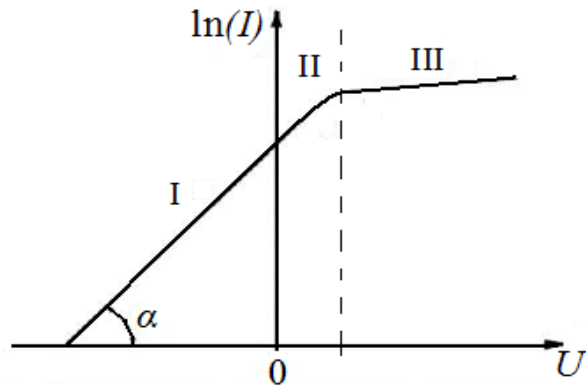


Рис. 5. Вольт-амперная характеристика вакуумного диода

При больших положительных потенциалах ток практически не зависит от напряжения, так как все вылетающие с катода электроны попадают на анод. Это предельное значение тока называется *током насыщения* (участок III на рис. 5).

При напряжении $U < 0$ анодный ток вычисляется следующим образом. Рассмотрим только электроны с радиальными скоростями от V_r до $V_r + dV_r$. Плотность тока, создаваемого этими частицами:

$$dj = e \cdot V_r \cdot dn. \quad (12)$$

Здесь e – заряд электрона, dn – число частиц в этом интервале скоростей, которое выражается через функцию распределения Максвелла в цилиндрической системе координат как

$$dn = n_0 \cdot f(V_r) \cdot dV_r, \quad (13)$$

где n_0 – полное число частиц на расстоянии r от оси цилиндра. Полный ток через цилиндрическую поверхность радиуса r определяется через интеграл:

$$I(U) = S \int_{V_{\min}(U)}^{\infty} dj, \quad (14)$$

где S – площадь цилиндрической поверхности внутри диода. Подставляя в формулу (14) выражение для плотности тока (12) и учитывая выражение (13), получаем:

$$I(U) = en_0 S \int_{V_{\min}(U)}^{\infty} V_r \cdot f(V_r) \cdot dV_r. \quad (15)$$

Перепишав (15) с учетом функции распределения Максвелла в цилиндрической системе координат для радиальной составляющей скорости (4), имеем:

$$I(U) = en_0 S \int_{V_{\min}(U)}^{\infty} V_r \cdot f(V_r) \cdot dV_r = en_0 S \left(\frac{m}{kT} \right)^{3/2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{V_{\min}(U)}^{\infty} V_r^2 \cdot e^{-\frac{mV_r^2}{2kT}} \cdot dV_r. \quad (16)$$

Введем константу $C_1 = en_0 S \left(\frac{m}{kT} \right)^{3/2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}}$, перепишем (16) в виде:

$$I(U) = C_1 \cdot \int_{V_{\min}(U)}^{\infty} V_r^2 \cdot e^{-\frac{mV_r^2}{2kT}} \cdot dV_r. \quad (17)$$

Если ток не зависит от времени, то через любую цилиндрическую поверхность с осью, совпадающей с катодом, за равные промежутки времени проходит одно и то же число электронов, т.е. произведение $n_0 S$ не зависит от расстояния до оси диода. Таким образом, выражение (17) определяет анодный ток.

Вводя новую переменную $x = eU/kT$ и производя замену переменной интегрирования в интеграле (17), получаем выражение для анодного тока как функцию от x :

$$I(x) = C \int_{\sqrt{x}}^{\infty} t^2 \cdot \exp(-t^2) \cdot dt, \quad (18)$$

где t – промежуточная переменная интегрирования ($t = \sqrt{mV_r^2/2kT}$).

Интеграл не выражается аналитически через элементарные функции. Однако можно применить следующий прием. Проинтегрируем по частям выражение (18), получим:

$$I(x) = C \cdot \left(\sqrt{x} e^{-x} + \int_{\sqrt{x}}^{\infty} \exp(-t^2) \cdot dt \right). \quad (19)$$

Константу C можно получить из условия, что при отсутствии запирающего напряжения ($x = 0$) должен получиться полный ток эмиссии I_0 . Интегрируя (19), с учетом этого условия получаем $C = 2I_0/\sqrt{2\pi}$.

Второй член в выражении (19) важен лишь при малых запирающих напряжениях U , пренебрегая им и логарифмируя, получаем:

$$\ln\left(\frac{I}{\sqrt{U}}\right) = \text{const} - \frac{eU}{kT}. \quad (20)$$

Отсюда следует, что при отрицательных потенциалах на логарифмической вольт-амперной характеристике вакуумного диода имеется приближенно линейный участок (см. рис. 6).

Таким образом, график зависимости $\ln\left(\frac{I}{\sqrt{U}}\right)$ от U

есть прямая линия с угловым коэффициентом e/kT , что позволяет оценить температуру электронного газа. Её можно сравнить с температурой катода. Температуру катода прямого накала можно рассчитать по величине тока накала I_n и падения напряжения на катоде U_n . Для оценки температуры нити накала определяется величина статического сопротивления нити ($R = U_n/I_n$) и рассчитывается ее температура.

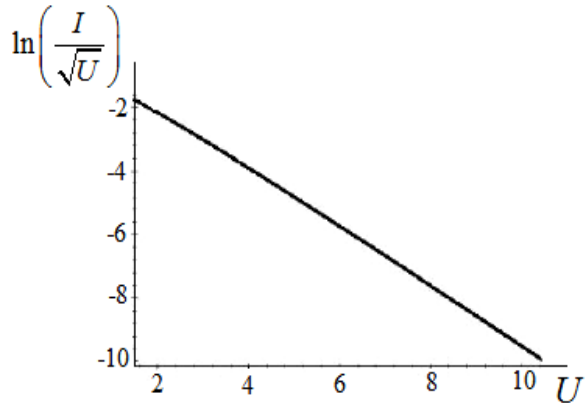


Рис. 6. Логарифмическая ВАХ диода

Таким образом, в данной работе температура катода определяется косвенным методом на основании зависимости сопротивления проводника от температуры. Если при температуре T_0 сопротивление проводника равно R_0 , а при температуре T равно R_T , то температурный коэффициент сопротивления определяется как

$$\alpha = \frac{R_T - R_0}{R_0 \cdot (T - T_0)}. \quad (21)$$

В качестве температур T и T_0 можно брать и абсолютную термодинамическую температуру в Кельвинах, и температуру по шкале Цельсия. Выражая из формулы (21) температуру T , получаем расчетную формулу для оценки температуры накаливаемого катода лампы:

$$T = \frac{R_T - R_0}{\alpha R_0} + T_0, \quad (22)$$

$$R_T = U_{\text{нак}} / I_{\text{нак}}, \quad (23)$$

где α – температурный коэффициент сопротивления материала, из которого изготовлен катод, R_0 – сопротивление катода при температуре T_0 . В нашем случае лампа имеет оксидный вольфрамовый накальный катод и можно принять, что $\alpha = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

В формуле (22) предпочтительнее использовать температуры T и T_0 , выраженные по шкале Кельвина, для последующего их непосредственного сравнения с полученными в ходе обработки эксперимента значениями.

За начальное значение R_0 следует принять сопротивление нити накала при комнатной температуре $T_0 \approx 300 \text{ K}$ и считать равным $R_0 \approx 0,16 \text{ Ом}$, сопротивление же разогретого катода определяется по закону Ома путем измерения U_{nk} , I_{nk} встроенным «ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ ПРИБОРОМ» по формуле (23).

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Блок-схема учебной установки для изучения распределения термоэлектронов по скоростям методом задерживающего потенциала представлена на рис. 7. Перед началом работы с помощью прилагаемых перемычек типа «тюльпан-тюльпан» необходимо собрать схему для работы, подключив накал лампы к понижающему трансформатору, а анод – к отрицательному полюсу регулируемого источника питания постоянного тока. Для этого перемычками соединить выводы соответственно попарно: XS1 – XS3; XS2 – XS4; XS5 – XS6.

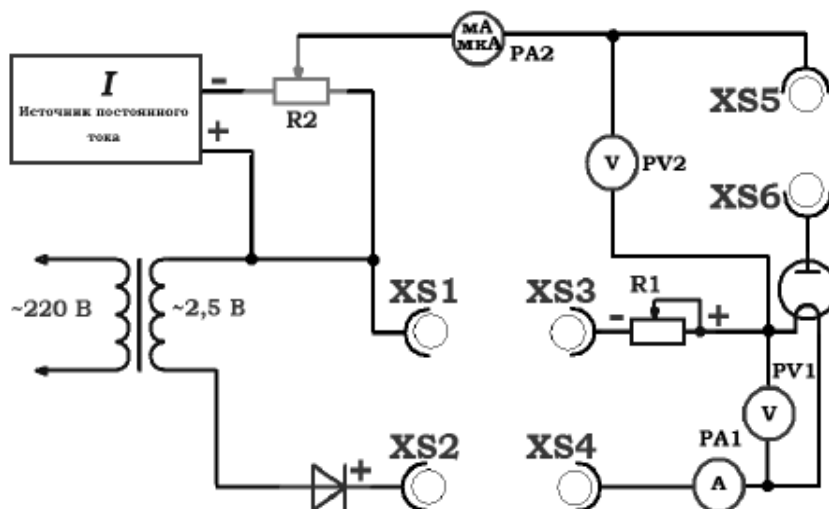


Рис. 7. Блок-схема установки

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучение функции распределения электронов по скоростям

1. Включить лабораторный модуль в сеть $\sim 220 \text{ В}$.
2. Перевести переключатель СЕТЬ на панели установки в положение «ВКЛ», при этом должен загореться соответствующий сигнальный светодиод. Дать прибору прогреться не менее 5 - 7 минут.

3. Собрать схему для исследования ВАХ вакуумного диода в области отрицательных напряжений на аноде, соединяя контрольные точки блок-схемы (рис. 7).

4. Записать значение тока накала (катода) Ink и падения напряжения на накале (катоде) Unk . Результаты занести в табл. 1.

5. Рассчитать по формуле (23) сопротивление накаливаемой до некоторой температуры нити катода R_T , а по формуле (22) температуру катода T .

6. Нажать кнопку «УПРАВЛЕНИЕ» и, удерживая её в течение ~ 3 секунд, войти в режим снятия ВАХ диода при отрицательных напряжениях на аноде при данном токе накала (температуре катода).

7. Плавное вращая ручку «НАПРЯЖЕНИЕ АНОДА», снять зависимость тока анода I_A от задерживающего потенциала на аноде U_A . При этом следует учесть, что амперметр в цепи анода снабжен автоматическим переключателем пределов измерения, показания могут индигироваться в mA (миллиамперах), mkA (микроамперах), nA (наноамперах). Текущая единица измерения отображается после соответствующего числового значения на дисплее. Результаты измерения занести в табл. 1.

8. Рассчитать величины $\sqrt{U_A}$ и $\ln(I_A/\sqrt{U_A})$, результаты также записать в табл. 1.

Таблица 1

$Unk = \dots B; \quad Ink = \dots A; \quad T = \dots K$					
U_A, B	I_A, A	$\sqrt{U_A}$	$\ln(I_A/\sqrt{U_A})$	ν, c^{-1}	$V_r, m/c$
...		

9. Используя выражение (11), рассчитать значение минимальной скорости электронов V_r , достигших анода, для каждого значения U_A . Принять численное значение констант: масса электрона $m = 9 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$, заряд электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$. Результаты занести в табл. 1.

10. Исходя из значений анодного тока I_A и условия $I_A = e \cdot \nu$, рассчитать количество электронов ν , достигающих анода лампы за 1 секунду. Результаты также занести в табл. 1.

11. Построить график зависимости $\ln(I/\sqrt{U})$ от U . Убедиться, что экспериментальные точки достаточно хорошо ложатся на прямую, т.е. эта зависимость имеет вид $\ln(I/\sqrt{U}) = a + b \cdot U$ (см. рис. 8). Здесь коэффициент наклона прямой определяется как

$$b = \frac{e}{kT} = \frac{\Delta \ln(I/\sqrt{U})}{\Delta U}, \quad (24)$$

а температура электронного газа

$$T = \left| \frac{e}{b \cdot k} \right|. \quad (25)$$

В формуле (25) мы учли, что $b < 0$, поэтому, так как абсолютная

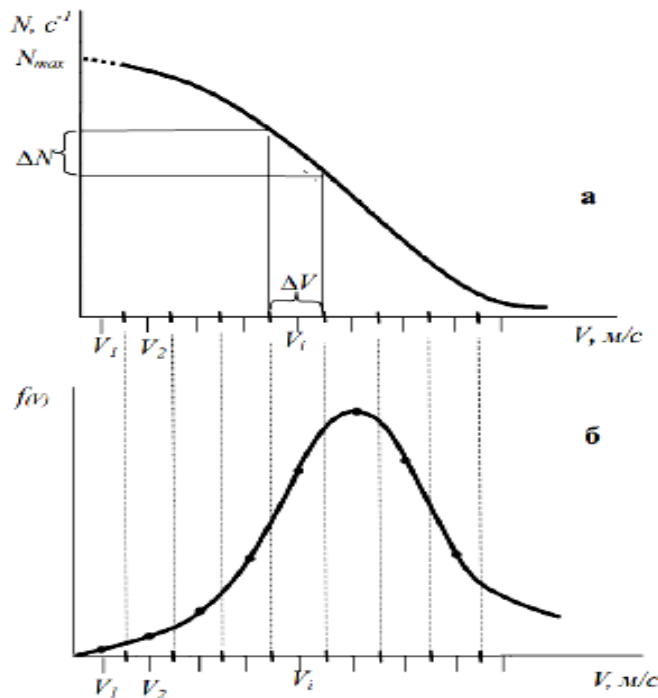


Рис. 8

температура $T > 0$, выражение (25) берется по модулю ($k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана). Сравнить полученное значение T со значением, рассчитанным в п.5.

12. При найденной температуре электронного газа T по формуле (5) определить наиболее вероятное значение радиальной скорости и построить зависимость $N = \nu = \nu(V_r)$. Эта зависимость играет в данном эксперименте роль интегральной функции распре-

деления электронов в анодном токе. Если вы все сделали правильно, то должна получиться кривая, похожая на кривую, изображенную на рис. 8, а.

13. Следующий этап – построение дифференциальной функции распределения электронов анодного тока по скоростям (рис. 8, б). Эта функция равна угловому коэффициенту касательной к графику интегральной функции распределения. В данной работе эта величина вычисляется приближенно. Для этого следует разбить ось абсцисс (рис. 8, а) на равные интервалы ΔV , начиная с наименьшей скорости. Получить для каждого интервала соответствующие отношения числа электронов $\Delta \nu_i$, достигнувших анода, к интервалу скоростей ΔV_i .

При построении кривой отложить на оси абсцисс середину выбранного интервала скоростей V_i , на оси ординат – величину

$$f(V) = \frac{1}{\nu_{\max}} \Delta \nu / \Delta V, \text{ где } \nu_{\max} - \text{полное число электронов, попавших на}$$

анод за единицу времени, оно определяется экстраполяцией эксперимен-

тальной кривой до пересечения ее с осью Y . Желательно иметь не менее 15 экспериментальных точек.

14. Нажать и удерживать в течение ~ 3 секунд кнопку «УПРАВЛЕНИЕ», выйти из режима измерения ВАХ диода и перейти в режим изменения тока накала лампы.

15. Одиночно кратковременно ($\sim 0,5$ секунды) нажимая кнопку «УПРАВЛЕНИЕ», изменить ток накала I_{nk} диода и повторить действия пп. 4 - 13 для другого тока накала, все измеренные и вычисленные значения занести в таблицу, аналогичную табл. 1.

16. Повторить аналогичные действия для третьего значения тока накала (температуры катода).

2. Определение работы выхода электрона из металла

1. Повторить действия пп. 1 - 3 (часть 1).

2. Записать значение тока накала (катода) I_n и падения напряжения на накале (катоде) U_n .

3. Вычислить сопротивление катода $R_k = U_n / I_n$ и определить температуру катода T по формуле (22).

4. Нажать кнопку «УПРАВЛЕНИЕ» и, удерживая её в течение 3 секунд, войти в режим снятия ВАХ диода при отрицательных напряжениях на аноде при данном токе накала (температуре катода).

5. Плавное вращая ручку «НАПРЯЖЕНИЕ АНОДА», снять зависимость тока анода I_A от задерживающего потенциала на аноде $I_A = f(U_A)$.

Построить зависимость $I_A = f(U_A)$. Определить ток при $U_A = 0$ В.

6. Повторить пп. 2 - 5 для двух других значений тока накала I_n и падения напряжения на накале U_n . Для этого нажать и удерживать в течение 3 секунд кнопку «УПРАВЛЕНИЕ», выйти из режима снятия ВАХ диода и перейти в режим изменения тока накала I_n лампы.

Затем кратковременно ($\sim 0,5$ секунды) нажимая кнопку «УПРАВЛЕНИЕ», изменить ток накала I_n диода. Результаты измерений следует записать в табл. 2.

7. Определить токи насыщения при различных температурах путем умножения тока при $U_A = 0$ на коэффициенты «1», «20», «50»: $I_{нас} = I_{U_A=0} \cdot k$.

8. По окончании работы отключить установку от сети, поставив переключатель «СЕТЬ» в положение «ВЫКЛ», и вынуть сетевую вилку из розетки.

9. Построить график: $\ln\left(\frac{I_{нас}}{T^2}\right) = f\left(\frac{1}{T}\right)$, где температура катода T

измеряется в единицах Кельвина.

10. Вычислить работу выхода $e\varphi$ вольфрама. Для этого проводится прямая на графике $\ln\left(\frac{I_{нас}}{T^2}\right) = f\left(\frac{1}{T}\right)$ и по угловому коэффициенту прямой

определяется $e\varphi$, т.е. $tg\alpha = \frac{\Delta \ln\left(\frac{I_{нас}}{T^2}\right)}{\Delta\left(\frac{1}{T}\right)} = \frac{e\varphi}{k}$ или $\varphi = \frac{tg\alpha \cdot k}{e}$, где k – постоянная Больцмана, e – элементарный заряд.

Таблица 2

$I_n =$ $U_n =$		$I_n =$ $U_n =$		$I_n =$ $U_n =$	
U_A	I_A	U_A	I_A	U_A	I_A
...		

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какой общий вид имеет вольт-амперная характеристика вакуумного диода?
2. Почему поверхность металла представляет для электрона потенциальную яму?
3. Что такое уровень Ферми и работа выхода электронов из металла?
4. Что такое термоэлектронная эмиссия?
5. Почему при термоэлектронной эмиссии распределение свободных электронов можно описать классическим распределением Максвелла?
6. Зачем в схеме для снятия вольт-амперной характеристики в данной работе измеряются ток и напряжение накала?
7. По какому графику и как вычисляются работы выхода в данной работе?
8. Что такое распределение Ферми - Дирака? Когда оно используется?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. М.: Высшая школа, 2000.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. СПб.: Лань, 2007.
3. Калашников С.Г. Электричество. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.