

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРО-
ФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА «ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА»

С.О. Зубович, Т.А. Сухова

**ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРОННОЙ
ЭМИССИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТЫ
ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ МЕТАЛЛА**

Методические указания



Волгоград
2013

УДК 53 (075.5)

Рецензент:

Канд. тех. наук, доцент А.Л. Суркаев

Издается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Зубович, С.О. Изучение термоэлектронной эмиссии и определение работы выхода электронов из металла [Электронный ресурс]: методические указания / С.О. Зубович, Т.А. Сухова //Сборник «Методические указания» Выпуск 3.-Электрон. текстовые дан.(1файл:141Кb) – Волжский: ВПИ (филиал) ГОУВПО ВолгГТУ,2013.-Систем.требования:Windows 95 и выше; ПК с процессором 486+; CD-ROM.

Методические указания содержат рекомендации к выполнению лабораторной работы, представленной в третьей части практикума кафедры «Прикладная физика» Волжского политехнического института.

Предназначены для студентов всех форм обучения.

© Волгоградский
государственный
технический
университет, 2013
© Волжский
политехнический
институт, 2013

Лабораторная работа № 362

ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТЫ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ МЕТАЛЛА

362.1. Цель работы: Изучить явление термоэлектронной эмиссии, определить работу выхода электрона из металла.

362.2. Содержание работы

Термоэлектронной эмиссией называется явление испускания электронов нагретыми телами.

Термоэлектронная эмиссия представляет собой контактное явление на границе раздела металл-вакуум. Для электронов проводимости, находящихся внутри металла, на этой границе раздела существует потенциальный барьер, который препятствует выходу электронов в вакуум. Чтобы покинуть металл, электрон должен совершить работу. Эта работа идет на увеличение потенциальной энергии электрона. Электрон, покинувший металл, становится свободным от действия сил со стороны металла, поэтому его потенциальную энергию в вакууме принимают равной нулю. Тогда потенциальная энергия электрона внутри металла окажется отрицательной.

На рис.362.1 изображен график потенциальной энергии электрона внутри металла и в тонком слое вблизи поверхности раздела (потенциальная яма). Расстояние от дна ямы является мерой кинетической энергии электронов.

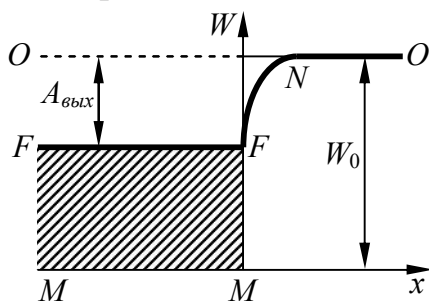


Рис.362.1

Электроны внутри металла имеют самые разные значения энергии. Уровень *MM* соответствует нулевой кинетической энергии электронов внутри металла. Уровень *FF* соответствует максимальной кинетической энергии электронов в металле при 0 K (уровень Ферми). Уровень *OO* соответствует энергии электронов, покинувших металл с нулевой скоростью. Кривая *FNO* — изменение потенциальной энергии электрона вблизи поверхности металла.

W_0 — высота потенциального барьера, т.е. энергия, которую нужно сообщить электрону с минимальной кинетической энергией, чтобы он вылетел из металла.

Энергия $A_{\text{вых}}$, которую нужно сообщить электрону, обладающему наибольшей энергией при 0 K , для удаления его из металла, называется *работой выхода*.

При комнатной температуре количество электронов, обладающих энергией достаточно для преодоления потенциального барьера, незначи-

тельно. С повышением температуры количество таких электронов резко возрастает и возникает эмиссия.

Для исследования термоэлектронной эмиссии применяется установка, схема которой изображена на рис.362.2.

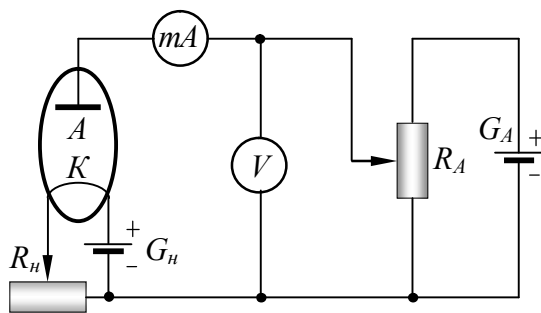


Рис.362.2

Основным элементом схемы является двухэлектродная лампа (вакуумный диод). Она представляет собой хорошо откачанный баллон, внутри которого, имеются два электрода – катод K и анод A . В простейшем случае катод имеет форму тонкой прямой нити, анод – коаксиального с ней цилиндра. Катод нагревается током, создаваемым источником тока G_n .

Температуру катода можно изменять с помощью реостата R_n . В промежутке между катодом и анодом с помощью источника тока G_A создается электрическое поле E . Напряжение между анодом и катодом (анодное напряжение U_A) можно изменять потенциометром R_A и измерять вольтметром V . Испускаемые термоэлектроны движутся к аноду и создают ток I_A , измеряемый миллиамперметром mA . График зависимости тока эмиссии от напряжения между катодом и анодом при постоянной температуре катода (вольт-амперная характеристика) представлен на рис. 362.3.

При значении $U_A = 0$ в анодной цепи течет слабый ток (участок OC). Вылетевшие из раскаленного катода электроны образуют вокруг него отрицательный пространственный заряд – электронное облако, поле которого E' накладывается на внешнее поле E . Это поле E' будет тормозить движение электронов к аноду.

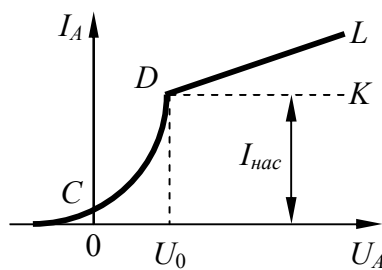


Рис.362.3

При отсутствии анодного напряжения и при малых его значениях до анода могут доходить лишь те термоэлектроны, начальные скорости которых достаточны для преодоления тормозящего электрического поля у катода. С увеличением напряжения между анодом и катодом сила анодного тока будет возрастать, так как увеличивается число электронов, перешедших из

электронного облака на анод.

На участке CD сила анодного тока изменяется по закону, установленному Богуславским - Ленгмюром («Закон трех вторых»):

$$I_A = k_\ell U_A^{3/2}, \quad (362.1)$$

где k_ℓ – коэффициент пропорциональности, зависящий от формы и размеров электродов.

С ростом U_A все большее число электронов переходит из электронного облака на анод. При определенном значении U_0 анодного напряжения элек-

тронное облако полностью рассасывается и все электроны, покинувшие катод, попадают на анод. При этом анодный ток достигает насыщения:

$$I_{нас} = en, \quad (362.2)$$

где $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона; n – число электронов, вылетающих из катода за 1 с.

Сила тока насыщения зависит от температуры катода, так как с повышением температуры число электронов, способных преодолеть потенциальный барьер, быстро растет. На рис. 362.4 изображено семейство вольт-амперных характеристик, полученных при различных температурах катода.

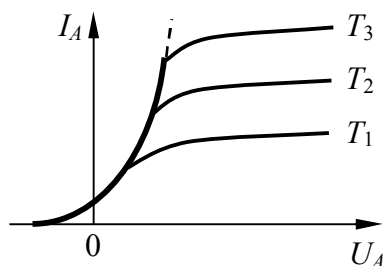


Рис.362.4

Если бы число электронов, вылетающих из катода, не зависело от анодного напряжения, то при постоянной температуре катода ток насыщения оставался бы постоянным (участок DK на рис.362.3). Однако из опыта известно, что ток термоэлектронной эмиссии не имеет истинного насыщения и возрастает с увеличением электрического поля (участок DL).

Объяснение этому явлению дано Шоттки. Оно обусловлено влиянием электрического поля на работу выхода электрона. На рис.362.5 показано, как изменяется потенциальная энергия электрона у поверхности катода при наличии ускоряющего поля.

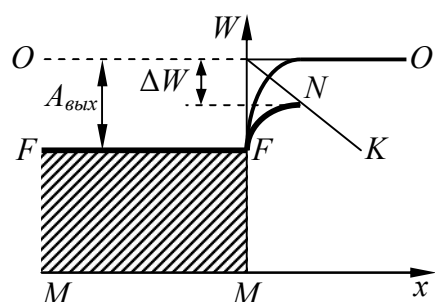


Рис.362.5

Когда электрическое поле отсутствует, изменение потенциальной энергии электрона, покинувшего металл, изображается кривой FNO . В электрическом поле, которое считается однородным, потенциальная энергия электрона изменяется по линейному закону (прямая OK). Суммарная потенциальная энергия изображается кривой FMK . Из рис.362.5 видно, что за счет воздействия

электрического поля, которое создается в диоде между катодом и анодом, край потенциальной ямы загибается вниз. Высота потенциального барьера уменьшается на величину ΔW . Зависимость плотности тока насыщения от температуры выражается формулой Ричардсона-Дэшмана:

$$j_{нас} = BT^2 e^{-\frac{A_{вых}}{kT}} \quad (362.3)$$

где $A_{вых}$ – работа выхода электрона; T – абсолютная температура; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана; B – постоянная, которая для всех металлов имеет одно и то же значение; $e = 2,71$ – экспонента.

Если учесть влияние электрического поля E на величину работы выхода, то в формуле (362.3) вместо работы выхода $A_{вых}$ нужно подставить $A_{вых} - \Delta W$. Тогда формула эффекта Шоттки принимает вид:

$$j = j_{нас} e^{a\sqrt{U_A}}, \quad (362.4)$$

где $j_{нас}$ – плотность тока насыщения, определяемая формулой (362.3); a – величина, постоянная для данной температуры. С возрастанием напряженности электрического поля число электронов, покинувших катод, при постоянной температуре будет увеличиваться вследствие уменьшения работы выхода электрона, что приводит к росту тока насыщения.

Из формулы (362.3) следует, что ток насыщения сильно возрастает с уменьшением работы выхода. Для тугоплавких металлов (W, Mo, Pt) работа выхода относительно велика. Величина работы выхода очень чувствительна к состоянию поверхности металла. Подобрав надлежащим образом покрытие поверхности, можно значительно снизить работу выхода. Так, например, нанесение на поверхность вольфрама слоя окисла щелочно - земельного металла снижает работу выхода с 4,5 до 1,5 - 2 эВ.

362.3. Описание лабораторной установки

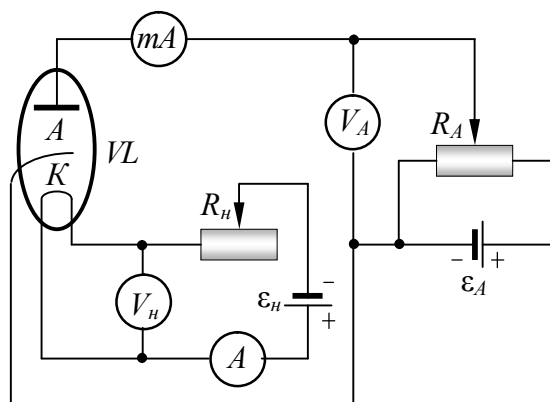


Рис.362.8

Принципиальная схема установки изображена на рис.362.8. Основу установки составляет вакуумный диод VL , с косвенным накалом. Анодный ток измеряется миллиамперметром mA , анодное напряжение - вольтметром V_A . Установка анодного напряжения осуществляется потенциометром R_A от источника ϵ_n . Напряжение накала определяется вольтметром V_n .

362.4. Методика проведения эксперимента

Метод определения работы выхода основан на зависимости тока насыщения от температуры.

Для определения температуры накала катода используется зависимость сопротивления материала катода от температуры. В диапазоне температур 300 – 2500 K эту зависимость можно считать приблизительно линейной:

$$R = r(T - d), \quad (362.5)$$

где R – сопротивление катода при температуре T ; r и d – константы (для вольфрама $d = 114 K$), $r = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ Ом/К}$.

Если при комнатной температуре T_0 сопротивление катода R_0 то:

$$R_0 = r(T_0 - d), \quad (362.6)$$

Из (362.5) и (362.6) следует, что:

$$T = d + R \frac{T_0 - d}{R_0}, \quad (362.7)$$

где $R = U_n/I_n$ (по закону Ома); U_n – напряжение нити накала; I_n – ток, протекающий через нить накала; R_0 – заданная величина.

Для определения тока насыщения используется зависимость тока эмиссии от внешнего электрического поля. Если учесть, что $I = jS$, где S – площадь катода, то, прологарифмировав формулу (362.4), получим:

$$\ln I = \ln I_{нас} + a\sqrt{U_A}. \quad (362.8)$$

Из выражения (362.8) следует, что график зависимости $\ln I$ от $\sqrt{U_A}$ при постоянной температуре катода должен представлять собой прямую линию (рис. 362.6).

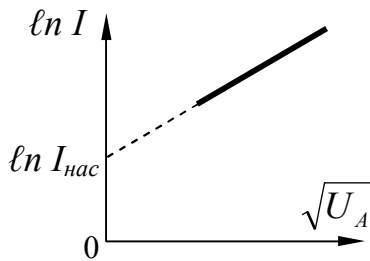


Рис.362.6

Если экстраполировать построенную прямую к значению $U_A = 0$, то из графика можно определить логарифм тока эмиссии при нулевом электрическом поле, т.е. $\ln I_{нас}$.

Для определения работы выхода нужно прологарифмировать формулу (362.3) с учетом, $I_{нас} = j_{нас}S$:

$$\ln I_{нас} = \ln(BS) + \ln T^2 - \frac{A_{вых}}{k} \cdot \frac{1}{T}$$

Так как $\ln T^2$ изменяется медленно по сравнению с $1/T$, то с большей степенью точности можно записать:

$$\ln I_{нас} = const - \frac{A_{вых}}{k} \cdot \frac{1}{T} \quad (362.9)$$

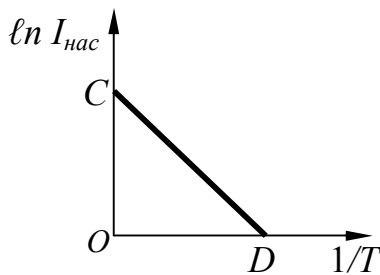


Рис.362.7

Из выражения (362.9) следует, что график зависимости $\ln I_{нас}$ от $1/T$ должен представлять собой прямую линию, угловой коэффициент которой равен $A_{вых}/k$. Построив график зависимости $\ln I_{нас}$ от $1/T$ и определив угловой коэффициент этой прямой, т.е. $A_{вых}/k = OC/OD$ в выбранном масштабе (рис. 362.7), можно определить работу выхода по формуле:

$$A_{вых} = k \frac{OC}{OD}. \quad (362.10)$$

Описанный выше метод определения работы выхода $A_{вых}$ называют *методом прямых Ричардсона*.

362.5. Порядок выполнения работы

1. Изучите схему установки.
2. Определите цену деления шкал вольтметров и амперметров.
3. Включите установку в сеть.
4. Установите реостатом R_n ток в цепи накала $0,1 A$.
5. По вольтметру V_n определите значение напряжения накала U_n .
6. С помощью потенциометра R_A установите значение U_A в пределах от 100 до $200 B$, через $20 B$ каждый раз снимая показания I_A по миллиамперметру.
7. Значения, полученные по пунктам 4-6, занести в табл. 362.1 и 362.2.
8. Повторите действия по пунктам 4-7 меняя ток в цепи накала от $0,1 A$ до $0,6 A$ через $0,1 A$.
9. Полученные данные занести в таблицы 362.1, 362.2 и 362.3.

362.6. Обработка результатов измерений

1. По данным значениям U_n и I_n рассчитайте по формуле (362.7) значения сопротивления R и температуры T катода.
2. По данным таблицы 362.2 найдите значения $\ln I_A$ и $\sqrt{U_A}$. Постройте график зависимости $\ln I_A = f(\sqrt{U_A})$ и по нему определите значение $\ln I_{нас}$.
3. Построить график зависимости $\ln I_A = f\left(\frac{1}{T}\right)$ и по нему определите угловой коэффициент наклона прямой, т.е. $\text{tg } \alpha$.
4. По формуле (362.10) определит работу выхода $A_{вых}$ электронов из катода.
5. Сравните полученные результаты и сделайте вывод.

Таблица 362.1.

№	$R_0,$ Ом	$R,$ Ом	$U_n,$ B	$I_n,$ A	$T_0,$ K	$d,$ K	$T,$ K	$1/T,$ K^{-1}
1								
...								
5								

Таблица 362.2.

$T_1 =$				$T_2 =$				$T_{...} =$				$T_6 =$			
U_A	I_A	$\ln I_A$	$\sqrt{U_A}$	U_A	I_A	$\ln I_A$	$\sqrt{U_A}$	U_A	I_A	$\ln I_A$	$\sqrt{U_A}$	U_A	I_A	$\ln I_A$	$\sqrt{U_A}$

Таблица 362.3.

№ п/п	$\ln I_{нас}$	$\text{tg } \alpha$	$A_{вых}$	
			Дж	эВ
1				
2				
3				
4				
5				

362.7. Контрольные вопросы

1. Что называется работой выхода электрона? В каких единицах она измеряется?

2. Что называется термоэлектронной эмиссией? При каких условиях она возникает?

3. Объясните устройство диода и нарисуйте принципиальную схему его включения.

4. Как зависит сила термоэлектронного тока диода от анодного напряжения?

5. Что такое ток насыщения?

6. По какому закону изменяется анодный ток при изменении анодного напряжения при небольших значениях напряжения?

7. Как зависит плотность тока насыщения от температуры катода, от работы выхода электрона?

8. Как влияет электрическое поле на работу выхода электрона?

9. Объясните сущность метода определения работы выхода электрона.

10. Как определяется в работе температура катода?

Литература, рекомендуемая для обязательной проработки: [1], §60, 61; [2], §§101; [3], §156, ..., 162; [4], §104, 105.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики. – М.: Наука, 1982. – Т.3. – 432 с.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. – М.: Наука, 1977. – Т.3. – 520 с.
3. Калашников С.Г. Общий курс физики. – М.: Наука, 1977.
4. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1985. – 462 с.

Учебное издание

Сергей Олегович **Зубович**
Татьяна Александровна **Сухова**

ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТЫ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ МЕТАЛЛА

Методические указания

План электронных изданий 2010 г. Поз. № 16В
Подписано на «Выпуск в свет» 08.10.10. Уч-изд. л. 1,08.
На магнитоносителе.

Волгоградский государственный технический университет.
400131, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.