

087

Э454

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени С. П. КОРОЛЕВА

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ВАКУУМЕ И ГАЗАХ

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ № 2—14, 2—18, 2—19, 2—31

КУЙБЫШЕВ 1980

87
90

87
90

87

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАМПЫ

Цель работы: определение семейств анодных и сеточных характеристик триода, определение статических параметров триода.

Приборы и инструменты: панель с электронной лампой, вольтметры, миллиамперметр, блок питания.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Электронная лампа представляет собой откачанный баллон, в котором находится система электродов: катод, являющийся источником электронов, анод и управляющие электроды, называемые сетками. Катод нагревается посторонним источником тока, вследствие чего электроны материала катода могут преодолеть потенциальный барьер на внешней границе катода и выйти в вакуум. Это явление называется термоэлектронной эмиссией.

Наименьшая энергия, которую необходимо сообщить электрону, чтобы удалить его из твердого тела (например, катода) в вакуум, называется работой выхода электрона. Значение работы выхода для большинства материалов составляет несколько электронвольт (эВ).

Рассмотрим физические процессы, происходящие в лампе с тремя электродами (катод, сетка и анод). Такая лампа называется триодом. Сетка находится близко от катода, поэтому даже при незначительном изменении потенциала сетки наблюдается сильное влияние ее поля на прикатодную область, что позволяет эффективно управлять анодным током. На рис. 1 представлены силовые линии и эквипотенциальные поверхности поля (пунктир) между анодом и катодом при различных потенциалах сетки относительно катода. При большом отрицательном потенциале сетки электроны не могут преодолеть тормозящее поле, анодный ток равен нулю (рис. 1, а). При большом положительном потенциале сетки поле ускоряет электроны, появляется сеточный ток из числа электронов, перехватываемых сеткой (рис. 1, б). Анодный ток резко возрастает.

Лабораторные работы содержат: краткое введение, знакомящее студентов с физическими процессами протекания тока через вакуум и газ; описание экспериментальной установки; указание о порядке выполнения практической части работы, включая обработку полученных результатов; контрольные вопросы и перечень рекомендуемой литературы. Использована следующая нумерация работ: первая цифра — 2 — шифр лаборатории электричества и магнетизма, принятый на кафедре, второе число — порядковый номер работы, в соответствии с которым пронумерованы все применяемые приборы и принадлежности в лаборатории.

Лабораторные работы выполняются студентами всех факультетов и вечернего отделения.

с.с.с.с.

ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ

обозначенного здесь срока

1М

Учебный фонд

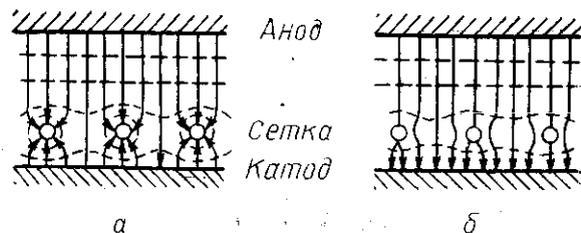


Рис. 1

Если напряжения на электродах лампы постоянны, то режим работы называется статическим. Для нахождения статических параметров триода воспользуемся функциональным уравнением вольтамперной характеристики триода

$$I_a = f(U_a, U_c),$$

где I_a — анодный ток, U_a — анодное напряжение, U_c — сеточное напряжение.

Полный дифференциал анодного тока можно записать следующим образом:

$$dI_a = \left(\frac{\partial I_a}{\partial U_c}\right)_{U_a} dU_c + \left(\frac{\partial I_a}{\partial U_a}\right)_{U_c} dU_a. \quad (1)$$

Если бесконечно малые приращения токов и напряжений заменить конечными и потребовать, чтобы совместное изменение U_c и U_a (по абсолютной величине) не изменяло ток, т. е. чтобы $\Delta I_a = 0$, то из выражения (1) получим

$$-\frac{\Delta U_a}{\Delta U_c} = \left(\frac{\partial I_a}{\partial U_c}\right)_{U_a} \left(\frac{\partial U_a}{\partial I_a}\right)_{U_c}. \quad (2)$$

Знак минус в формуле (2) показывает, что поставленное условие $\Delta I_a = 0$ будет выполнено, если приращения U_a и U_c будут противоположны по знаку. Частные производные в уравнении (1) называются статическими параметрами триода.

Величина S , определяемая формулой

$$S = \left(\frac{\partial I_a}{\partial U_c}\right), \frac{mA}{B} \text{ при } U_a = \text{const}, \quad (3)$$

называется *крутизной* анодно-сеточной характеристики триода. Крутизна показывает величину изменения анодного тока при изменении сеточного напряжения на один вольт при постоянном напряжении анода.

Величина R_i , определяемая формулой

$$R_i = \left(\frac{\partial U_a}{\partial I_a}\right), \text{ кОм при } U_c = \text{const}, \quad (4)$$

называется *внутренним сопротивлением* триода. Оно характеризует сопротивление лампы при постоянном сеточном напряжении.

Величина, определяемая формулой

$$\mu = -\left(\frac{\partial U_a}{\partial U_c}\right) \text{ при } I_a = \text{const}, \quad (5)$$

называется *статическим коэффициентом усиления*. Он показывает, во сколько раз приращение анодного напряжения больше, чем равноценное по воздействию на анодный ток приращение напряжения сетки.

Подставляя зависимости (3), (4), (5) в выражение (2), получим *внутреннее уравнение триода*

$$\mu = S R_i. \quad (6)$$

Для практического определения μ , S и R_i по характеристикам лампы обычно используются не дифференциальные выражения этих параметров, а приближенные формулы в конечных приращениях:

$$\mu = -\left(\frac{\Delta U_a}{\Delta U_c}\right) \text{ при } I_a = \text{const}; \quad (7)$$

$$S = \left(\frac{\Delta I_a}{\Delta U_c}\right) \text{ при } U_a = \text{const}; \quad (8)$$

$$R_i = \left(\frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}\right) \text{ при } U_c = \text{const}. \quad (9)$$

Если получена система анодных характеристик (рис. 2), то для нахождения параметров лампы, например, в точке А, следует провести через эту точку прямые, параллельные осям координат. После этого можно найти изменение тока ΔI_a , происходящее при изменении сеточного напряжения на $\Delta U_c = U_{c2} - U_{c1}$, а затем вычислить крутизну по формуле (8).

Аналогично находится изменение анодного напряжения ΔU_a , происходящее при изменении сеточного напряжения на $\Delta U_c = U_{c3} - U_{c1}$, после чего коэффициент усиления определяется по формуле (7).

Внутреннее сопротивление лампы определяется котангенсом угла наклона характеристики в точке А. Численное зна-

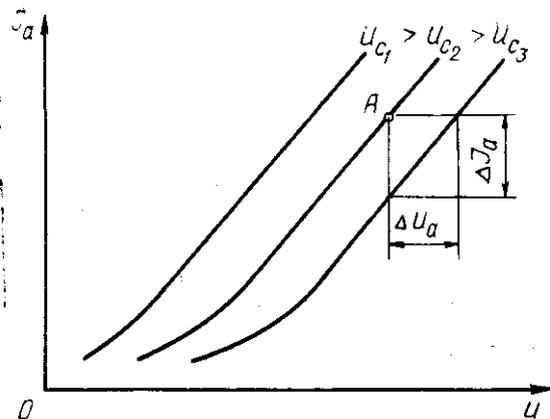


Рис. 2

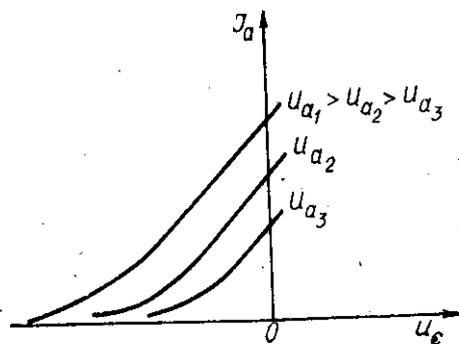


Рис. 3

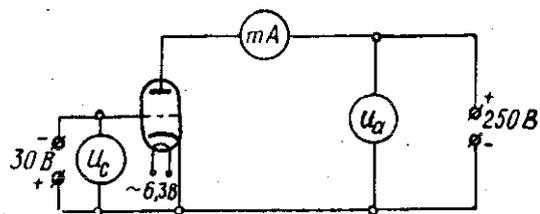


Рис. 4

чение внутреннего сопротивления вычисляется по формуле (9) с использованием найденных значений ΔI_a и ΔU_a .

Следует отметить, что параметры триода могут быть найдены аналогичным способом из семейства анодно-сеточных характеристик, которые представляют собой зависимости вида

$$I_a = f(U_c),$$

полученные при нескольких значениях анодного напряжения (рис. 3).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Собрать схему согласно рис. 4. Потенциал сетки измеряется вольтметром U_c , потенциал анода — вольтметром U_a .
2. Ручки регулировок анодного и сеточного напряжений поставить в положения, при которых выходные напряжения равны нулю.
3. Включить блок питания. После прогрева лампы в течение 1—2 мин. можно приступить к измерениям.
4. Для трех различных, примерно равноотстоящих потенциалов сетки, выбранных в пределах 0 ... —7 В, определить зависимость анодного тока от потенциала анода (не менее 10 точек). Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

U_c В = ...		U_c В = ...		U_c В = ...	
I_a мА	U_a В	I_a мА	U_a В	I_a мА	U_a В

5. Для трех различных, примерно равноотстоящих потенциалов анода, выбранных в пределах 100 ... 250 В, определить зависимость анодного тока от потенциала сетки (не менее 10 точек для каждой кривой). При измерениях потенциал анода поддерживать постоянным. Результаты измерений занести в табл. 2.

Таблица 2

$U_a B = \dots$		$U_a B = \dots$		$U_a B = \dots$	
I_a mA	$U_c B$	I_a mA	$U_c B$	I_a mA	$U_c B$

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. По данным табл. 1 и 2 на двух листах миллиметровой бумаги построить семейства анодных и сеточных характеристик.
2. Определить два набора статических характеристик триода, используя прямолинейные участки анодных и сеточных характеристик. Сравнить соответствующие значения характеристик.
3. Проверить выполнение внутреннего уравнения триода.
4. Оценить погрешности результатов измерений.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение величины: работа выхода электрона.
2. Укажите назначение сетки в триоде.
3. Дайте определение величин: статический коэффициент усиления, крутизна анодно-сеточной характеристики, внутреннее сопротивление триода.
4. Определите статические параметры триода по семейству анодных характеристик.
5. Определите статические параметры триода по семейству сеточных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 3. М.: Наука, 1979, гл. IX, § 60, 61.

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ТИРАТРОНА

Цель работы: ознакомление с основными характеристиками тиратрона.

Приборы и инструменты: панель, на которой установлены тиратрон и резисторы, вольтметры, миллиамперметр, блок питания.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Явление прохождения электрического тока через газы называется электрическим разрядом.

Пусть к электродам К и А, которые находятся в баллоне с газом, приложено напряжение U (рис. 5). Для указанной на чертеже полярности электрод К называется катодом, а электрод А — анодом. При нормальных условиях газы электронейтральны, в газах нет свободных электронов и ионов, как, например, в металлах и электролитах. Поэтому для существования разряда необходимо наличие процессов, приводящих к образованию носителей тока. Основными видами таких процессов являются:

Ионизация молекул газа внешними ионизаторами (космические лучи, электромагнитное излучение, γ — лучи).

«Впрыскивание» в разрядный промежуток электронов из катода в результате термоэлектронной эмиссии, холодной эмиссии, фотоэффекта.

«Размножение» электронов непосредственно в разрядном промежутке. Этот процесс может быть представлен следующим образом: электроны под действием электрического поля

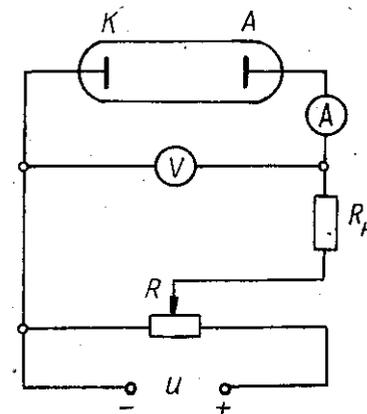


Рис. 5

на длине свободного пробега приобретают энергию, достаточную, чтобы вызвать ионизацию молекул газа при очередном акте соударения. Образовавшийся электрон принимает участие в дальнейшем размножении, которое, таким образом, имеет лавинный характер.

Соударения электронов с анодом и ионов с катодом, вызывающие при достаточной энергии ионов и электронов вторичную эмиссию.

Конкурирующими процессами, приводящими к исчезновению носителей тока, являются:

Переход электронов на анод. Эти электроны образуют анодный ток во внешней цепи разрядной трубки.

Рекомбинация на электродах и стенках разрядного промежутка.

Рекомбинация непосредственно в разрядном промежутке.

В стационарном состоянии, когда разряд установился и его электрические параметры не меняются со временем, в каждой элементарной области газового промежутка должно соблюдаться равновесие указанных выше процессов.

Интенсивность и сочетание различных способов образования и рекомбинации носителей тока обуславливает большое разнообразие газовых разрядов и является основой для их классификации. Прежде всего разряды можно разделить на две группы:

Несамостоятельные разряды. Для них размножение электронов не компенсирует потерь за счет рекомбинации. Дополнительное поступление электронов в разрядный промежуток возможно за счет следующих процессов:

- а) действие внешнего ионизатора;
- б) термоэлектронная эмиссия из катода, нагреваемого *посторонним* источником тока.

Эти процессы могут иметь место как одновременно, так и порознь.

Самостоятельные разряды. Для них потери электронов за счет рекомбинации компенсируются размножением в разрядном промежутке, а также поступлением электронов из катода за счет эмиссионных явлений. Эмиссия вызывается, в конечном итоге тем же электрическим полем, которое обуславливает ток через разрядный промежуток.

Разряды можно классифицировать на основе формы и относительного расположения участков вольтамперной характеристики, т. е. зависимости тока разряда от напряжения между катодом и анодом.

Схема установки для получения вольтамперной характеристики показана на рис. 5. Здесь R_n — резистор, включенный последовательно с разрядным промежутком. Он называется нагрузочным резистором и в то же время играет роль ограничителя разрядного тока. Потенциометр R позволяет изменять напряжение, подаваемое на разрядный промежуток. Ток и напряжение разряда определяются с помощью амперметра A и вольтметра V .

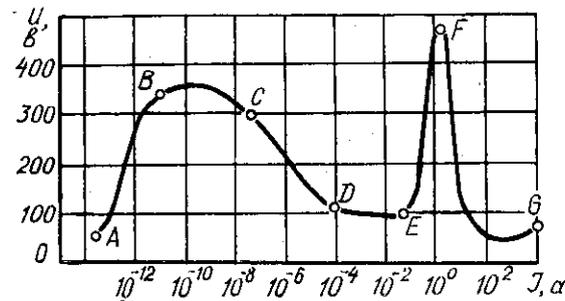


Рис. 6

В качестве примера рассмотрим вольтамперную характеристику разряда с холодным катодом (рис. 6), характерные участки которой позволяют классифицировать разряды следующим образом:

- $O-A$ — несамостоятельный тихий разряд,
- $A-B$ — несамостоятельный лавинный разряд,
- $B-C$ — самостоятельный тихий (или темный) разряд,
- $C-D$ — переходная область,
- $D-E$ — нормальный тлеющий разряд,
- $E-F$ — аномальный тлеющий разряд,
- $F-G$ — дуговой разряд.

Как видно из графика, характеристика каждого вида разряда существенно нелинейная. Это свойство разрядов и используется при создании газоразрядных приборов, которые применяются в электронных схемах для генерирования, детектирования, модуляции сигналов.

Примером газоразрядных приборов с холодным катодом являются: а) неоновые лампы — двухэлектродные приборы, работающие в режиме аномального тлеющего разряда; б) стабилитроны — двухэлектродные приборы, работающие в режиме нормального тлеющего разряда. Для стабилитронов

характерно постоянство напряжения при изменении силы тока (рис. 6, участок $D-E$).

Кроме приборов с холодным катодом широкое применение нашли приборы с катодом, нагреваемым внешним источником тока. Примером такого прибора является газотрон — управляемый ионный вентиль с несамостоятельным дуговым разрядом в газе или парах ртути. Вольтамперная характеристика газотрона приведена на рис. 7. Рассмотрим процессы, определяющие отдельные участки характеристики.

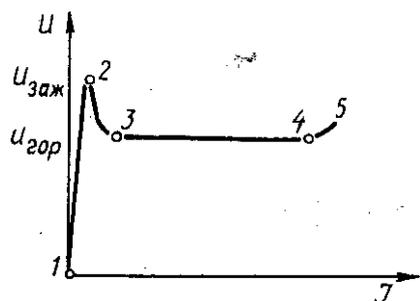


Рис. 7

При небольших анодных напряжениях (участок 1—2 характеристики) сила тока медленно увеличивается с увеличением напряжения. Это объясняется тем, что при малых значениях U_a не все электроны, испускаемые катодом, достигают анода. Часть электронов образует между катодом и анодом электронное облако (пространственный заряд), поле которого препятствует движению к аноду вновь вылетающих из катода электронов. При этом взаимодействие электронов с атомами газа носит характер упругих соударений. Следовательно, на участке 1—2 ток через лампу — чисто электронный, ограниченный пространственными зарядами.

С увеличением анодного напряжения увеличивается и скорость электронов. При некотором значении напряжения $U = U_{зж}$ в газотроне устанавливается дуговой несамостоятельный разряд. Процесс перехода к дуговому разряду называется зажиганием газотрона, а соответствующее значение напряжения между электродами — потенциалом зажигания $U_{зж}$. После зажигания увеличивается падение напряжения на ограничительном резисторе, что приводит к уменьшению напряжения на газотроне (участок 2—3 характеристики).

Особенностью участка 3—4 является постоянство анодного напряжения при увеличении силы тока. Здесь происходит постепенное исчезновение отрицательного пространственного заряда, заканчивающееся в конце участка (точка 4). Даль-

нейшее увеличение напряжения вызывает усиленное разрушение катода и выход газотрона из строя (участок 4—5). Тиратрон отличается от газотрона тем, что у него имеются один или два дополнительных электрода, позволяющие путем изменения потенциала на них управлять моментом зажигания. Дополнительный электрод называется управляющей сеткой.

Пусть на анод тиратрона подан некоторый потенциал U_a , положительный относительно катода; а на сетку — потенциал U_c ; отрицательный относительно катода. При больших отрицательных потенциалах на сетке электрическое поле препятствует движению электронов к аноду. Ионизация газа при этом мала, а анодный ток практически равен нулю. С увеличением отрицательного потенциала на сетке ионизация усиливается, и при некотором значении U_c в тиратроне возникает дуговой разряд.

Процессы, происходящие в тиратроне, аналогичны процессам в газотроне. После зажигания тиратрона положительные ионы, притягиваемые отрицательно заряженной сеткой, образуют вокруг нее экранизирующий «чехол» (рис. 8). Вследствие этого сетка теряет свои управляющие свойства, т. е. ток, протекающий через тиратрон после зажигания, уже не зависит от потенциала сетки.

Важной характеристикой тиратрона является его пусковая характеристика, выражающая зависимость минимальных значений анодного и сеточного напряжений, при которых происходит зажигание тиратрона.

По выполняемым функциям тиратрон подобен одностороннему реле.

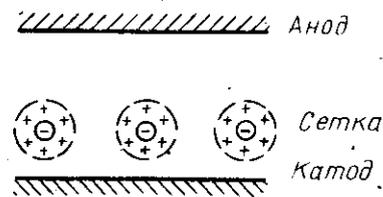


Рис. 8

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Упражнение 1. Определение пусковой характеристики тиратрона

1. Собрать схему согласно рис. 9.
2. Ручки регулировок анодного и сеточного напряжений поставить в положения, при которых выходные напряжения равны нулю.

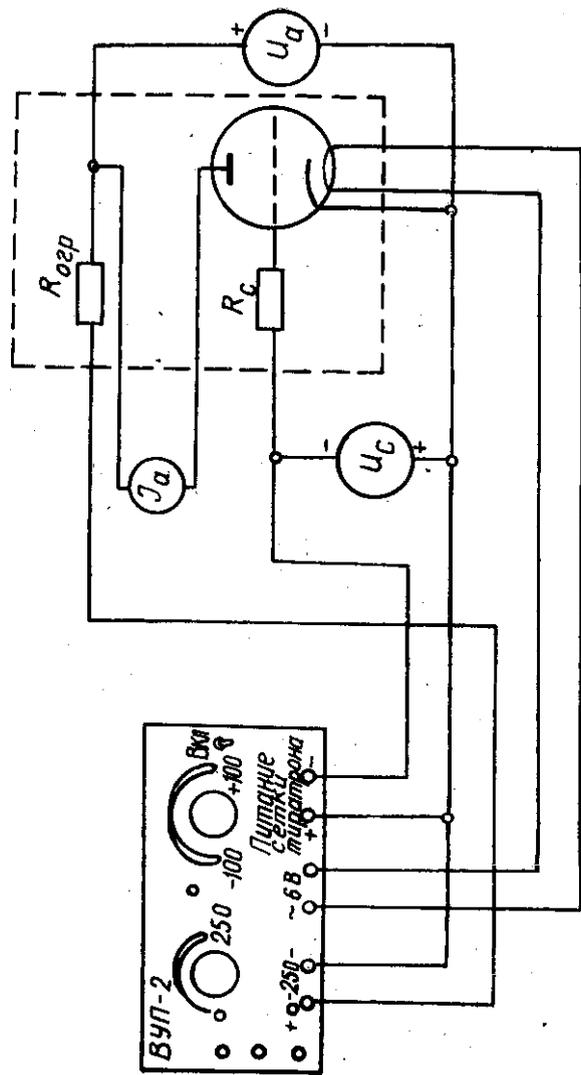


Рис. 9

3. Включить блок питания. После прогрева лампы в течение 1—2 мин можно приступить к измерениям.
4. Установить наибольшее сеточное напряжение.
5. Постепенно увеличивая анодное напряжение, определить потенциал зажигания $U_{a_{зж}}$. В момент зажигания анодное напряжение резко уменьшится.
6. Уменьшить анодное напряжение до нуля.
7. Измерения провести для значений U_c от макс до 0 через 2 В.
8. Данные измерений занести в табл. 1.
9. Построить графики зависимости $U_{a_{зж}}$ от U_c .

Таблица 1

U_c В	
$U_{a_{зж}}$ В	

Упражнение 2. Определение вольтамперной характеристики тиратрона (схема установки та же, что и в упр. 1).

1. Из пусковой характеристики тиратрона выбрать два значения U_c .
2. Ручку регулировки анодного напряжения поставить в положение, при котором выходное напряжение равно нулю.
3. Установить сеточное напряжение, равное одному из выбранных значений.
4. Увеличивая анодное напряжение от 0 до максимального значения, определить характерные точки вольтамперной характеристики (рис. 7, точки 2, 3, 4).
5. Измерения провести для второго значения сеточного напряжения.
6. Данные измерений занести в табл. 2.
7. Построить графики зависимости I_a от U_a при выбранных значениях U_c .

Таблица 2

U_c В = ...		U_c В = ...	
U_a В	I_a мА	U_a В	I_a мА

Упражнение 3. Определение сеточной характеристики тиратрона (схема установки та же, что и в упр. 1)

1. Из пусковой характеристики выбрать два значения U_a .
2. Установить наибольшее сеточное напряжение U_c .
3. Установить U_a равным одному из выбранных значений U_a .
4. Изменяя U_c от максимального значения до нуля с шагом 2 В, определить I_a для каждого значения U_c .
5. Измерения провести для второго значения U_a .
6. Данные измерений занести в табл. 3.
7. Построить графики зависимостей I_a от U_c при выбранных двух значениях U_a .

Таблица 3

U_a В = ...		U_a В = ...	
U_c В	I_a мА	U_c В	I_a мА

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие процессы приводят к образованию носителей заряда в газоразрядных приборах?
2. Какова роль сетки в тиратроне до зажигания разряда? После зажигания?
3. Какой вид имеет вольтамперная характеристика тиратрона?
4. Какие процессы обуславливают различный характер зависимости тока от напряжения на отдельных участках характеристики?
5. Какую зависимость выражает пусковая характеристика тиратрона?

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 2. М.: Наука, 1978, гл. XII, § 80, 83, 84, 85, 86.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТЫ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНА ПО ПРЯМЫМ РИЧАРДСОНА

Цель работы: определение зависимости тока насыщения от температуры катода и вычисление работы выхода электрона по прямым Ричардсона.

Приборы и инструменты: панель с электронной лампой, вольтметры, амперметры, блок питания.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Электронная лампа представляет собой откачанный баллон, в котором находится система электродов: катод, являющийся источником электронов, анод и управляющие электроды, называемые сетками. Катод нагревается посторонним источником тока, вследствие чего электроны могут преодолеть потенциальный барьер на внешней границе катода и выйти в вакуум. Это явление называется термоэлектронной эмиссией. Наименьшая энергия, которую необходимо сообщить электрону, чтобы удалить его из твердого тела (например, катода) в вакуум, называется работой выхода электрона. Значение работы выхода для большинства материалов составляет несколько электронвольт (эВ).

Рассмотрим физические процессы, происходящие в двухэлектродной вакуумной лампе — диоде. Типичная вольтамперная характеристика диода показана на рис. 10.

При низких анодных напряжениях катод окружен пространственным зарядом из электронов, которые непрерывно испускаются и поглощаются катодом. Наличие пространственного заряда приводит к уменьшению напряженности поля у като-

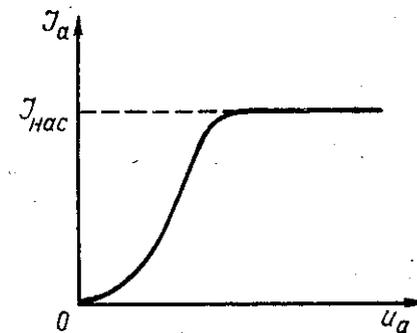


Рис. 10

да. В этом режиме, который называется режимом пространственного заряда, ток через диод определяется законом «трех вторых» или уравнением Богуславского—Ленгмюра:

$$I_a = cU_a^{3/2}.$$

По мере увеличения напряжения при достаточно больших токах пространственный заряд исчезает, ток ограничивается лишь скоростью эмиссии электронов и не зависит от потенциала анода. Этот процесс называется режимом насыщения лампы. Зависимость плотности тока насыщения от температуры катода описывается формулой Ричардсона—Дешмена

$$j_n = a T^2 e^{-\frac{e\varphi}{kT}}, \quad (10)$$

где T — температура катода; $e\varphi$ — работа выхода электрона из катода; a — постоянная, равная $1,2 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2 \cdot \text{град}^2$.

Для нахождения работы выхода воспользуемся формулой Ричардсона—Дешмена (10). Разделим левую и правую части формулы на T^2 и, логарифмируя полученное выражение, найдем

$$\ln \frac{j_n}{T^2} = \text{const} - \frac{e\varphi}{kT}.$$

Отсюда следует, что график зависимости $-\ln \frac{j_n}{T^2} = f\left(\frac{1}{T}\right)$ представляет собой прямую, угловой коэффициент которой равен $\frac{e\varphi}{k}$. Таким образом, определив из графика угловой коэффициент $\text{tg } \varphi$, можно легко вычислить работу выхода электрона $e\varphi$:

$$e\varphi = k \cdot \text{tg } \varphi. \quad (11)$$

Чтобы получить значение работы выхода сразу в электронвольтах, нужно взять значение постоянной Больцмана $k = 8,62 \cdot 10^{-5} \text{ эВ/К}$.

Экспериментальное определение необходимой зависимости тока насыщения от температуры катода производится на установке, схема которой приведена на рис. 11. Анодное напряжение U_a и анодный ток I_a регистрируются соответственно вольтметром V_1 и миллиамперметром mA . Значение этих величин устанавливаются с помощью ручки на передней панели блока питания. Ток накала I_k и падение напряжения на нити накала U_k регистрируются соответственно амперметром A и вольтметром V_2 . Значения тока накала устанавливаются ступенча-

то путем шунтирования резисторов R_1, R_2, R_3 с помощью тумблеров K_1, K_2, K_3 .

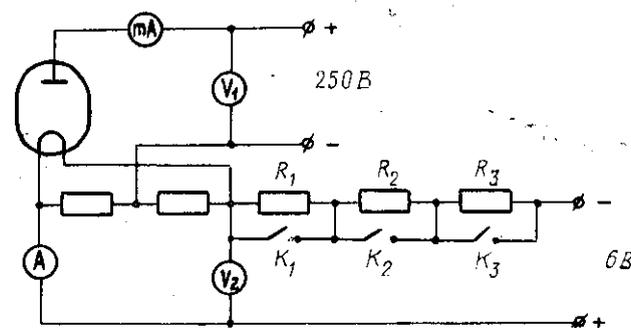


Рис. 11

Температура катода определяется по графику $T = f(R_T/R_{273})$. Аргументом этой функции является отношение сопротивления катода при искомой температуре R_T к сопротивлению катода при температуре 273 К — R_{273} . Значение R_{273} указано на панели установки. Значение R_T находится с помощью закона Ома:

$$R_T = \frac{U_k}{I_k}. \quad (12)$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Собрать схему согласно рис. 11.
2. Включить блок питания. Установить ручку регулировки анодного напряжения в крайнее левое положение. Установить с помощью тумблеров минимальный ток катода.
3. Увеличивая анодное напряжение, определить вольтамперную характеристику при выбранном токе катода, включая область насыщения.
4. Аналогичным образом найти вольтамперные характеристики для ряда других возможных значений тока катода. Результаты измерений записать в табл. 1. Значения тока катода I_k и напряжения на катоде U_k регистрируются при достижении насыщения на вольтамперных характеристиках.

Таблица 1

$I_k A = \dots$	$I_k A = \dots$	$I_k A = \dots$	$I_k A = \dots$	$I_k A = \dots$	$I_k A = \dots$								
$U_k B = \dots$	$U_k B = \dots$	$U_k B = \dots$	$U_k B = \dots$	$U_k B = \dots$	$U_k B = \dots$								
$I_a \text{ мА}$	$U_a \text{ В}$												

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Построить графики вольтамперных характеристик.
2. Для каждой характеристики определить ток насыщения I_n , используя построенные графики, и рассчитать плотность тока насыщения по формуле

$$j_n = \frac{I_n}{S},$$

где S — площадь поверхности катода (значение S указано на панели с лампой).

3. По формуле (12) вычислить сопротивление катода для каждого тока I_k , а затем по графику, приложенному к установке, определить соответствующие значения температуры катода.

4. Для каждой характеристики рассчитать $\frac{1}{T}$, $\frac{j_n}{T^2}$, $-\ln \frac{j_n}{T^2}$. Результаты расчетов представить в виде табл. 2.

Таблица 2

№ характеристики	$R_T \text{ Ом}$	$\frac{R_T}{R_{273}}$	$T \text{ К}$	$\frac{1}{T}$	$j_n \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$	$\frac{j_n}{T^2}$	$-\ln \frac{j_n}{T^2}$

5. Построить график $-\ln \frac{j_n}{T^2} = f\left(\frac{1}{T}\right)$ следующим образом (рис. 12): нанести на поле графика экспериментальные точки; провести прямую так, чтобы отклонения точек от этой прямой были бы в среднем минимальны.

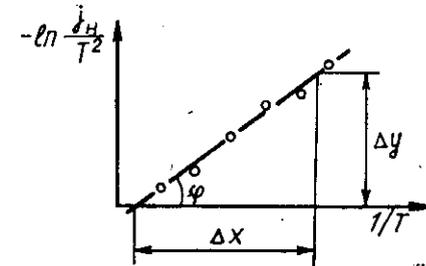


Рис. 12

6. Найти $\text{tg} \varphi$ как отношение отрезков Δy к Δx , взятых с учетом масштаба по осям.

7. По формуле (11) рассчитать работу выхода электрона из материала катода.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Запишите формулу Ричардсона-Дешмена.
2. От каких величин зависит плотность тока насыщения?
3. Дайте определение величины: работа выхода электрона.
4. Опишите метод определения работы выхода электрона, примененный в данном задании.
5. В каких единицах обычно измеряется работа выхода?

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 3, М.: Наука, 1979, гл. IX, § 60, 61.
2. Дулин В. Н. Электронные приборы. М.: Энергия, 1977, гл. 2, § 2—2.

Лабораторная работа № 2—31

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА

Цель работы: экспериментальное определение удельного заряда электрона с помощью закона Богуславского—Ленгмюра.

Приборы и инструменты: панель с электронной лампой, вольтметры, амперметры, блок питания.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Электронная лампа представляет собой откачанный баллон, в котором находится система электродов: катод, являющийся источником электронов, анод и управляющие электроды, называемые сетками. Катод нагревается посторонним источником тока, вследствие чего электроны могут преодолеть потенциальный барьер на внешней границе катода и выйти в вакуум. Это явление называется термоэлектронной эмиссией. Наименьшая энергия, которую необходимо сообщить электрону, чтобы удалить его из твердого тела (например, катода) в вакуум, называется работой выхода электрона. Значение работы выхода для большинства материалов составляет несколько электронвольт (эВ).

Рассмотрим физические процессы, происходящие в двух-электродной вакуумной лампе — диоде. При низких анодных напряжениях катод окружен пространственным зарядом из электронов, которые непрерывно испускаются и поглощаются катодом. Наличие пространственного заряда приводит к уменьшению напряженности поля и даже к созданию тормозящего поля у катода. В этом режиме, который называется режимом пространственного заряда, ток через диод определяется законом «трех вторых» или уравнением Богуславского—Ленгмюра:

$$I_a = c U_a^{3/2}. \quad (13)$$

Величина c для коаксиальных цилиндрических электродов может быть вычислена по теоретической формуле

$$c = \frac{2\sqrt{2}}{9} \sqrt{\frac{e}{m} \frac{4\pi\epsilon_0 l}{r\beta^2}}, \quad (14)$$

где $\frac{e}{m}$ — удельный заряд электрона; l — длина катода; r — радиус анода; β — коэффициент, зависящий от отношения радиусов анода и катода; ϵ_0 — электрическая постоянная.

Если построить участок характеристики (13) в координатах $U_a^{3/2} - I_a$, то получим прямую, угловой коэффициент которой равен c .

Используя формулу (14), можно найти удельный заряд электрона:

$$\frac{e}{m} = \left(\frac{9cr\beta^2}{8\pi\sqrt{2}\epsilon_0 l} \right)^2.$$

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 13.

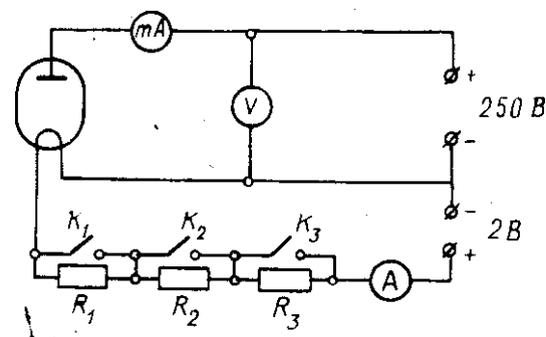


Рис. 13

Анодное напряжение U_a и анодный ток I_a регистрируются соответственно вольтметром V и миллиамперметром mA . При малых анодных токах вместо миллиамперметра может применяться микроамперметр. Значения этих величин устанавливаются с помощью ручки на передней панели блока питания. При повороте ручки регулировки в крайнее левое положение напряжение выхода будет равно нулю.

Ток накала I_a регистрируется амперметром A , а значение тока устанавливается ступенчато путем шунтирования резисторов R_1, R_2, R_3 с помощью тумблеров K_1, K_2, K_3 .

Основные данные установки приведены на панели, где установлена электронная лампа. Следует отметить, что в работе используется лампа с цилиндрическими коаксиальными электродами, поскольку только для такой геометрии электродов справедлива формула (14).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Собрать схему согласно рис. 13.
2. Включить блок питания. Установить минимальные значения анодного напряжения и тока накала.

3. Увеличивая анодное напряжение при установленном токе накала, определить данные, необходимые для построения вольтамперной характеристики.

4. Аналогичным образом найти вольтамперные характеристики для ряда других возможных значений тока накала. Результаты измерений записать в таблицу.

$I_k A = \dots$											
$U_a B$	$U_a^{3/2}$	$I_a mA$									

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Каждое значение U_a возвести в степень $3/2$. Результат расчета записать в таблицу.

2. Построить графики $I_a = f(U_a^{3/2})$ для каждого значения тока накала. Для идеального диода эти графики должны совпадать. Для реального диода наблюдается различный ход графиков. Это объясняется, главным образом, неравномерностью температуры и потенциала по длине катода.

3. Найти угловой коэффициент s с каждого построенного графика. Эту операцию рекомендуется выполнять согласно п. 5 и 6 задания 2—19.

4. Вычислить удельный заряд электрона по найденным значениям s . Оценить влияние тока накала на значения удельного заряда.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каково теоретическое значение удельного заряда электрона?
2. Сформулируйте закон Богуславского-Ленгмюра и дайте его математическую формулировку.
3. Нарисуйте схему экспериментальной установки.
4. Опишите метод определения удельного заряда электрона, примененный в данной работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 3. М.: Наука, 1979, гл. IX, § 60, 61.
2. Дулин В. Н. Электронные приборы. М.: Энергия, 1977, гл. 2, § 2—2.

Составители: *Леонид Павлович Муркин, Людмила Александровна Полякова*

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ВАКУУМЕ И ГАЗАХ

Лабораторные работы № 2—14, 2, 18, 2—19, 2—31

Редактор Т. К. Кретинина
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор С. С. Рубан

Сдано в набор 11.09.80 г. Подписано в печать 10.11.80 г. Формат 60x84^{1/16}.
Бумага оберточная белая. Литературная гарнитура. Высокая печать.
Усл. п. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,3. Тираж 2000 экз. Заказ № 880. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный
институт имени С. П. Королева, г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Типография УЭЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.

Усл. п. л. 1,4. Уч.-изд.