

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
НАБЕРЕЖНОЧЕЛНИНСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)

Г.Х. Тазмеев, И. К. Хафизов, Ф. Ф. Рамазанов, Р. Р. Рахимов

**ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА И ГЕНЕРАЦИЯ
РЕЛАКСАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ**

Учебно-методическое пособие к лабораторному практикуму по физике

Набережные Челны
2025

УДК 537.523(075.8)(076.5)
T13

*Печатается по рекомендации Учебно-методической комиссии
Высшей технической школы Набережночелнинского института (филиала) Казанского
(Приволжского) федерального университета
(протокол №1.3.2.37-01/02 от 09.09.2025 г.)*

Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан», соглашение No 42/2024-ПД от 16.12.2024 г.

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент **А.Н. Илюхин**
кандидат технических наук, доцент **А.Т. Галиакбаров**

**T13 ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА И ГЕНЕРАЦИЯ
РЕЛАКСАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ:** учебно-методическое
пособие / Г.Х. Тазмеев, И.К. Хафизов, Ф.Ф. Рамазанов, Р. Р. Рахимов.
– Набережные Челны: Отдел информации и связей с общественностью
Набережночелнинского института КФУ, 2025. – 15 с.

Учебное пособие составлено в соответствии с рабочей учебной программой дисциплины «Физика» для технических специальностей и предназначено в помощь студентам первого и второго курсов при подготовке к лабораторному практикуму по физике.

© Г.Х. Тазмеев, И.К. Хафизов, Ф.Ф. Рамазанов, Р.Р. Рахимов

© Набережночелнинский институт КФУ, 2025

Содержание

Цель работы	4
1. Теоретические основы работы	4
Задание 1.	11
Задание 2.	13
2. Контрольные вопросы	14
Список литературы.....	15

Лабораторная работа

«Изучение газового разряда и генерация релаксационных колебаний»

Цель работы: снятие вольтамперной характеристики газонаполненной лампы и определение периода релаксационных колебаний.

Приборы и принадлежности: модуль ФПЭ 12/13, неоновая лампа, вольтметр, микроамперметр, электронный осциллограф, магазин сопротивлений, магазин емкостей.

I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Прохождение тока через газовую среду, сопровождающееся изменением состояния газа, называется электрическим разрядом в газах. Электрические разряды в газах подчиняются закону Ома лишь при очень малой, приложенной извне, разности потенциалов, поэтому их электрические свойства описывают с помощью вольтамперной характеристики (Рис.1)

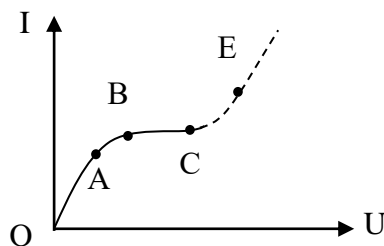


Рисунок 1 – Вольтамперная характеристика

Газы в нормальном состоянии являются изоляторами, носители тока в них отсутствуют. Они становятся электропроводными в результате их ионизации. Электрический разряд в газах, происходящий только при вызывающем и поддерживающем ионизацию внешнем воздействии (при действии так называемых внешних ионизаторов), называют **несамостоятельным разрядом**.

Внешними ионизаторами могут быть: радиоактивное излучение, космические лучи, свет, пучки быстрых электронов.

Электрический разряд в газах, продолжающийся и после прекращения действия внешнего ионизатора, называется самостоятельным разрядом. Несамостоятельный разряд при малом значении разности потенциалов между анодом и катодом в газе называется тихим разрядом. При повышении напряжения U сила тока I тихого разряда сначала, увеличивается пропорционально напряжению (участок кривой ОА на рис.1), затем рост тока замедляется (участок кривой АВ) и, когда все заряженные частицы, возникающие под действием ионизатора в единицу времени, уходят за то же время на катод и на анод, усиление тока с ростом напряжения не происходит (участок ВС). При дальнейшем росте напряжения ток снова возрастает и тихий разряд переходит в самостоятельный лавинный разряд (участок СЕ). Сила тока зависит от интенсивности ионизатора, от давления газа и напряжённости электрического поля в области, занимаемой разрядом. Тихий разряд наблюдается при давлении газа порядка атмосферного.

Переход несамостоятельного разряда в газе в самостоятельный характеризуется резким увеличением электрического тока (точка Е на кривой рис.1). В газе появляются сильно выраженные световые и тепловые эффекты. Если теперь прекратить действие ионизатора, то разряд продолжается. Это значит, что ионы, необходимые для поддержания электропроводности газа, создаются самим разрядом, в результате процессов, происходящих в разряде. Такие газовые разряды называются самостоятельными разрядами. Соответствующее напряжение U_z называется напряжением зажигания, это та наименьшая разность потенциалов между электродами в газе, которая необходима для возникновения самостоятельного разряда. Самостоятельный разряд поддерживается за счёт вторичной электронной эмиссии с катода, интенсивность этого процесса возрастает с увеличением разности потенциалов между электродами. Величина напряжения зажигания U_z зависит от природы и

давления газа, от материала, формы, состояния поверхности электродов и от расстояния между ними.

Газонаполненная лампа - газоразрядный прибор, конструктивно выполненный в виде двух параллельных или коаксиальных электродов, помещённых в баллон, наполненный неоном или другим газом при небольшом давлении. Разряд возникает в результате процессов, обусловленных в газе созданным электрическим полем. В этом случае говорят о самостоятельной проводимости.

Характерной особенностью газонаполненной лампы является то, что при малых напряжениях лампа не горит и совсем не пропускает ток. Она начинает проводить ток при напряжении равном напряжению зажигания - U_3 .

Вольтамперная характеристика газонаполненной лампы, не подчиняется закону Ома, рис.2.

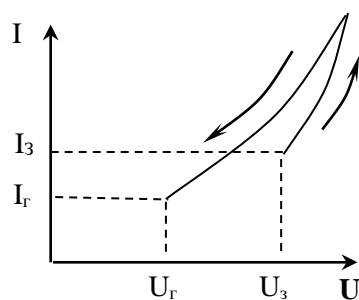


Рис.2.

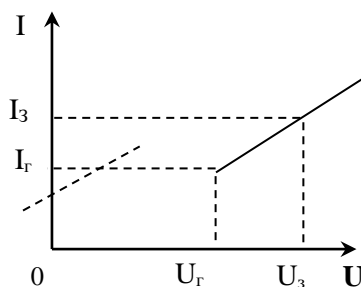


Рис.3.

Рисунок 2, Рисунок 3 – Вольтамперная характеристика газонаполненной лампы

Благодаря тому, что $U_3 > U_r$, возможна генерация релаксационных колебаний в газонаполненной лампе.

При малых напряжениях на электродах ток через лампу равен нулю. При достижении напряжения зажигания в лампе возникает разряд и ток скачком достигает некоторой величины I_3 . При дальнейшем увеличении напряжения сила тока в лампе возрастает. Если уменьшать напряжение, то падение тока идёт по другой кривой и лишь при достижении напряжения гашения - U_r , которое меньше напряжения зажигания - U_3 , сила тока скачком падает от тока гашения - I_r до нуля и лампа гаснет. Для упрощения пользуют идеализированную характеристику газонаполненной лампы, представленную отрезком прямой линии на рис.3. Для того, чтобы лампа могла вспыхнуть (рис.4), напряжение на

источнике тока U_0 должно быть больше U_3 . При замыкании цепи через ключ **К** вначале происходит зарядка конденсатора **С** (лампа не горит – напряжение на лампе меньше U_3).

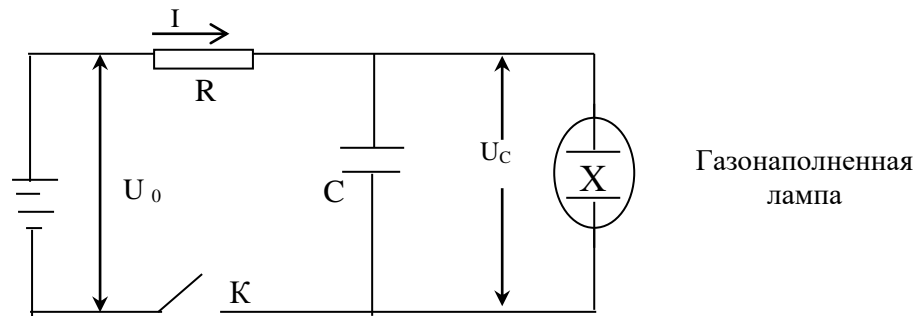


Рисунок 4 – При замыкании цепи через ключ **К** вначале происходит зарядка конденсатора **С**

Закон изменения напряжения на конденсаторе U_c при его зарядке можно найти, применив второе правило Кирхгофа к контуру RC:

$$IR + U_c = U_0,$$

где I – ток в цепи,

U_0 – напряжение на клеммах источника.

Подставляя в это уравнение известные соотношения:

$$I = \frac{dq}{dt}, \quad q = CU_c, \quad I = C \frac{dU_c}{dt}, \quad \text{получаем:} \quad RC \frac{dU_c}{dt} + U_c = U_0.$$

Решение, удовлетворяющее начальному условию $U_c=0$, при $t=0$, будет иметь вид

$$U_c = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right). \quad (1)$$

Как видно из формулы (1), напряжение U_c растёт во времени и стремится асимптотически к значению U_0 (кривая ОА рис.5). Если бы газонаполненной лампы не было, то напряжение конденсатора U_c увеличивалось бы с течением времени согласно пунктирной кривой (рис.5) и стремилось бы асимптотически к напряжению источника тока U_0 .

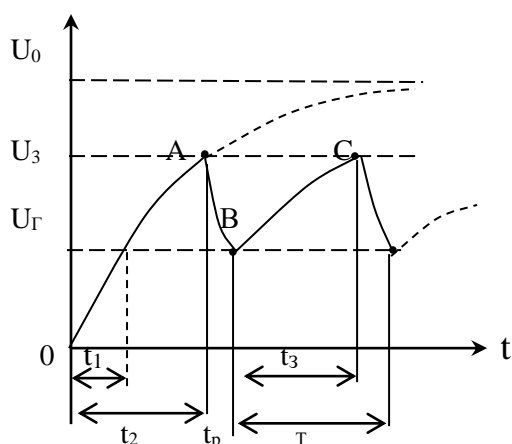


Рисунок 5 – Зарядка и разрядка конденсатора

При наличии газонаполненной лампы происходит следующее.

Когда напряжение U_c достигает напряжения U_3 , в лампе возникает газовый разряд и конденсатор начинает быстро разряжаться (кривая AB), т.к. сопротивление горячей лампы значительно меньше сопротивления R .

Когда напряжение U уменьшается до напряжения гашения разряда $U_Г$, разряд в лампе прекращается и конденсатор начинает опять заряжаться, отчего напряжение вновь увеличивается (кривая BC). Затем, при $U = U_3$, в лампе снова возникает разряд и описанные процессы повторяются периодически. Амплитуда этого колебания равна разности $(U_3 - U_Г)$. Таким образом, возбуждаются электрические колебания, состоящие из двух апериодических процессов: процесса зарядки конденсатора через большое сопротивление R и процесса разрядки конденсатора через малое сопротивление - газонаполненную лампу. Такие автоколебания, отличающиеся от синусоидальных, называют **релаксационными**.

Рассмотрим условия возбуждения колебаний. Для возбуждения колебаний нужно, чтобы сила тока I , притекающего в схему от источника тока в момент, когда напряжение на обкладках конденсатора $U_Г$, была бы меньше, чем сила тока $I_Г$ через лампу, когда она еще горит.

Из схемы (рисунок 4) и идеализированной характеристики газонаполненной лампы (рисунок 3) получаем:

$$I = \frac{U_o - U_\Gamma}{R}, \quad I_\Gamma = \frac{U_\Gamma - U'}{R_\lambda}.$$

где U' – теоретическое значение напряжение гашения лампы.

R_λ – сопротивление лампы.

Таким образом, условие возбуждения колебаний можно записать в виде неравенства:

$$\frac{U_o - U_\Gamma}{R} < \frac{U_\Gamma - U'}{R_\lambda}$$

Из неравенства следует, что для возникновения колебаний необходимо, чтобы при данном U_o сопротивление R было больше, чем

$$R_{кр} = \frac{U_o - U_\Gamma}{U_\Gamma - U'} \cdot R_\lambda$$

И, наоборот, при данном R напряжение U_c было меньше определённой величины (но, конечно, не меньше U_3). Если указанные условия не выполняются, то колебания прекращаются. Определим период релаксационных колебаний. Время одного полного колебания T есть время разрядки конденсатора через лампу и последующей зарядки его до потенциала зажигания (рис. 5).

Таким образом, период колебаний T складывается из времени t_3 зарядки конденсатора и разрядки t_p :

$$T = t_3 + t_p$$

Время зарядки конденсатора в процессе колебания может быть определена как

$$t_3 = t_2 - t_1,$$

где t_1 – время зарядки конденсатора от $U=0$ до напряжения U_Γ ,

t_2 – время зарядки конденсатора от U_Γ до напряжения U_3 .

Величины t_1 и t_2 могут быть определены из выражений:

$$U_3 = U_o(1 - e^{-\frac{t_2}{RC}}), \quad U_\Gamma = U_o(1 - e^{-\frac{t_1}{RC}}) \text{ (см.(1))};$$

$$t_2 = -RC \ln \frac{U_o - U_3}{U_o}, \quad t_1 = -RC \ln \frac{U_o - U_\Gamma}{U_o}.$$

Время зарядки

$$t_3 = t_2 - t_1 = RC \ln \frac{U_o - U_{\Gamma}}{U_o - U_3}. \quad (2)$$

Обычно сопротивление R выбирают существенно больше сопротивления лампы ($R \gg R_{\lambda}$). В этом случае t_p - время разрядки будет много меньше t_3 - времени зарядки ($t_3 \gg t_p$), и временем разрядки t_p можно пренебречь.

$$\text{Следовательно} \quad T \approx t_3 = RC \ln \frac{U_o - U_{\Gamma}}{U_o - U_3}. \quad (3)$$

Из формулы (3) следует, что период колебаний пропорционален произведению RC .

В лампе между анодом и катодом всегда существует небольшая ёмкость, которую называют **паразитной** ёмкостью C_{Π} . Поэтому период колебаний полученный из опыта $T_{\text{Э}}$ будет больше периода T , полученного из расчётных формул, на величину T_{Π} – «**паразитное время**».

$$T_{\text{Э}} = T + T_{\Pi}$$

С учётом **паразитной** ёмкости C_{Π} получаем:

$$T_{\text{Э}} = R(C + C_{\Pi}) \ln \frac{U_o - U_{\Gamma}}{U_o - U_3} = T + T_{\Pi}$$

Таким образом для **паразитной** ёмкости получим выражение:

$$C_{\Pi} = \frac{T_{\Pi}}{R \ln \left[(U_o - U_{\Gamma}) / (U_o - U_3) \right]} \quad (4)$$

Задание 1.

Определение напряжения зажигания и напряжения гашения лампы

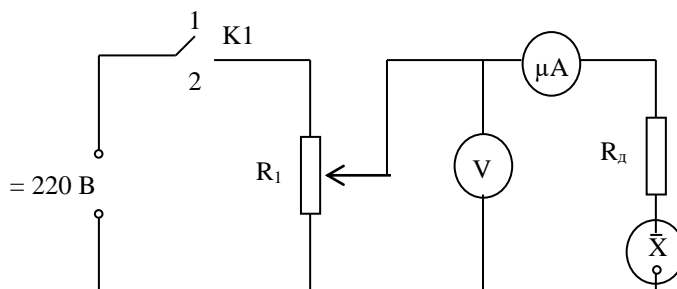


Рисунок 6 – В схеме в качестве газонаполненной лампы используется стабилитрон типа СГП (газонаполненный диод)

Описание установки

В схеме в качестве газонаполненной лампы используется стабилитрон типа СГП (газонаполненный диод). Для того, чтобы предохранить лампу от перегорания, между её анодом и соответствующей клеммой панели включено добавочное сопротивление $R_{\text{д}}$.

Это сопротивление остается включенным при всех измерениях. Напряжение источника питания может регулироваться с помощью реостата R_1 . Сила тока, проходящего через лампу, измеряется микроамперметром (мкА). Для определения потенциалов зажигания и гашения служит вольтметр V .

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить схему, изображенную на (рис. 6). Перед началом измерений ручку реостата R_1 на источнике питания повернуть против часовой стрелки до упора.

2. Включить источник питания. Отжать кнопку (красную) «ВАХ-генерация» на ФПЭ 12/13.

3. Изменяя (увеличивая) медленно напряжение на лампе поворотом ручки реостата R_1 на источнике питания по часовой стрелке, замерить напряжение, при

котором лампа загорается. В момент зажигания лампы стрелка вольтметра сместится влево на несколько делений. Нужно заметить то напряжение, которое показала стрелка перед смещением влево. Это напряжение и будет напряжением зажигания лампы U_3 . Определить по микроамперметру I_3 ток зажигания.

4. Снять зависимость тока от напряжения в газонаполненной лампе. Медленно увеличивать напряжение на лампе (до 110-120В), следя за показанием микроамперметра.

Данные занести в табл. 1.

Таблица 1

U, В												
I, мкА												

5. Медленно вращая ручку R_1 против часовой стрелки, снять зависимость тока от напряжения и занести в табл.2.

Таблица 2

U, В												
I, мкА												

В момент гашения напряжение на лампе скачком возрастает на несколько делений. Напряжением гашения U_{Γ} будет то минимальное напряжение перед гашением лампы, которое показывал вольтметр. Соответствующее значение тока гашения I_{Γ} определить по микроамперметру.

6. Построить график зависимости тока от напряжения $I=f(U)$.

Задание 2.

Наблюдение релаксационных колебаний и определение их периода

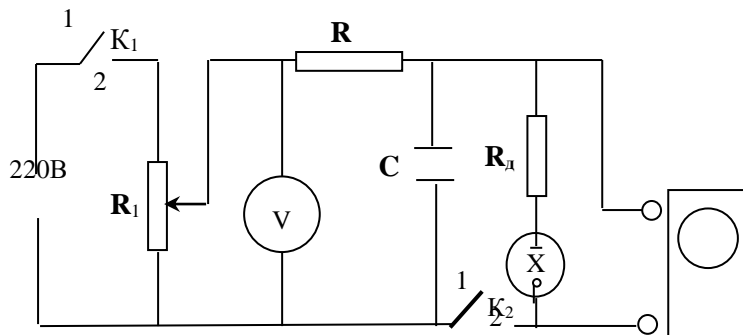


Рисунок 7 – В схеме используется газонаполненный диод СГ1П (или СГ2П, СГ16П).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить схему, изображенную на рисунке 7. Перед началом измерений ручку реостата R_1 повернуть против часовой стрелки до упора.
2. Включить осциллограф С1-73. Нажать кнопку (красную) «ВАХ-генерация» на ФПЭ 12/13.
3. Установить на блоке питания напряжение порядка 100-120В.
4. Получить на экране осциллограмму релаксационных колебаний. Добиться стабильного изображения.
5. С помощью осциллографа измерить период релаксационных колебаний. $T_{\text{э}} = \kappa l$, где κ – коэффициент развертки (смотри ступенчатый переключатель мс/дел), l – период колебаний в делениях.
6. Сравнить полученное значение $T_{\text{э}}$ с теоретическим $T_{\text{т}}$, вычисленным по формуле (3) и сделать выводы.

2. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните образование тока в газе.
- 2 Вольтамперная характеристика тока в газе.
1. Самостоятельный и несамостоятельный разряды.
2. Устройство газонаполненной лампы. Её характеристики, установление рабочего режима лампы, включение её в цепь.
3. Какие колебания называются релаксационными? Условия самовозбуждения колебаний. Период релаксационных колебаний.
4. Почему напряжение гашения газонаполненной лампы меньше напряжения зажигания?

Список литературы

1. Савельев И.В. Курс общей физики. - М.: 1982, т.2
2. Калашников Э.Г. Электричество. - М.: Наука, 1977
3. Руководство к лабораторным занятиям по физике / Под редакцией Л.Л. Гольдина М.: Наука, 1979.
4. Трофимов Т.И. Курс общей физики. М.: Высшая школа, 2000.

Электронное учебное издание

Гаяз Харисович Тазмеев
Ильназ Клименович Хафизов
Фарит Фатихович Рамазанов
Радик Рафисович Рахимов

ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА И ГЕНЕРАЦИЯ РЕЛАКСАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ

В авторской редакции

Редактор
Г. Ф. Таипова

Компьютерная верстка
Н.Н. Савицкая

Подписано в печать 27.10.2025. Объем 199 Кб
Уч.-изд. л. 0, 3847 Заказ 1890
Отдел информации и связей с общественностью
Набережночелнинского института
Казанского (Приволжского) федерального университета

423810, г. Набережные Челны, Новый город, проспект Мира, 68/19.
тел./факс (8552) 38-46-30,
e-mail: ic-nchi-kpfu@mail.