

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

**Г.Х. Тазмееев, 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 № 42/2024-ПД от 16.12.2024 г.*

**Рецензенты:**

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

**ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА И ГЕНЕРАЦИЯ**  
**T13 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.

## **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)

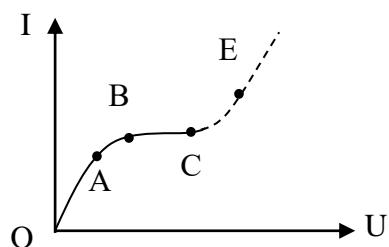


Рисунок 1 – Вольтамперная характеристика

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, называются 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 несамостоятельный 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 газах 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  $U_3$  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  $U_3$  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.

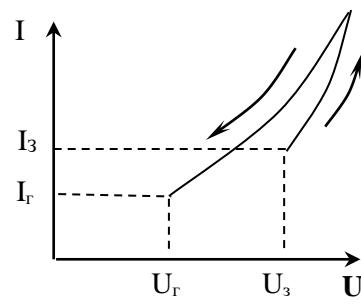


Рис.2.

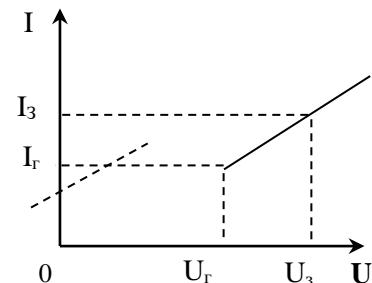


Рис.3.

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 **K** вначале происходит зарядка конденсатора **C** ( лампа не горит – напряжение на лампе меньше  $U_3$  ).

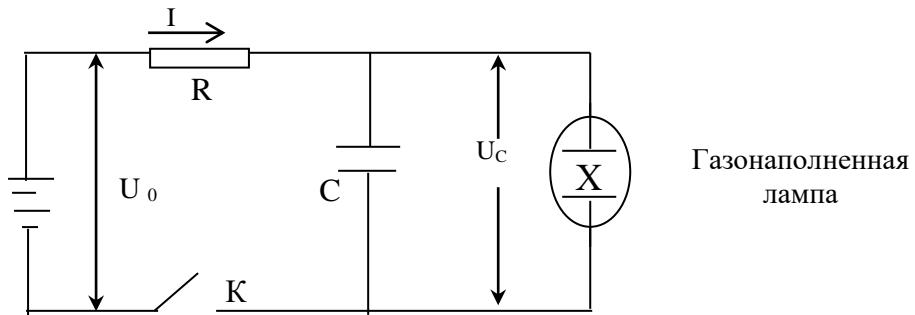


Рисунок 4 – При замыкании цепи через ключ **K** вначале происходит зарядка конденсатора **C**

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

$$IR + U_c = U_o,$$

где  $I$  – ток в цепи,

$U_o$  – напряжение на клеммах источника.

Подставляя в это уравнение известные соотношения:

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

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

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

Как видно из формулы (1), напряжение  $U_c$  растёт во времени и стремиться 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  $U_0$ .

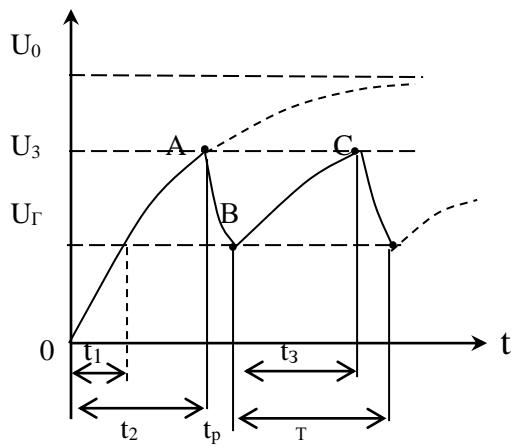


Рисунок 5 – Зарядка и разрядка конденсатора

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 горящей лампы значительно меньше сопротивления R.

Когда напряжение U уменьшается до напряжения гашения разряда  $U_r$ , 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  $(U_3 - U_r)$ . 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  $U_r$ , была бы меньше, чем сила тока  $I_r$  через лампу, когда она еще горит.

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

$$I = \frac{U_o - U_r}{R}, \quad I_r = \frac{U_r - U'}{R_l}.$$

где  $U'$  – теоретическое значение напряжение гашения лампы.

$R_l$  – сопротивление лампы.

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

$$\frac{U_o - U_r}{R} < \frac{U_r - U'}{R_l}$$

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

$$R_{kp} = \frac{U_o - U_r}{U_r - U'} \cdot R_l$$

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  $U_r$ ,

$t_2$  – время зарядки конденсатора от  $U_r$  до напряжения  $U_3$ .

Величины  $t_1$  и  $t_2$  могут быть определены из выражений:

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

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

Время зарядки

$$t_3 = t_2 - t_1 = R C \ell n \frac{U_o - U_\Gamma}{U_o - U_3}. \quad (2)$$

Обычно сопротивление  $R$  выбирают существенно больше сопротивления лампы ( $R \gg R_a$ ). 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.

Следовательно  $T \approx t_3 = R C \ell n \frac{U_o - U_\Gamma}{U_o - U_3}$ . (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  $C_\Pi$ . Поэтому период колебаний полученный из опыта  $T_\vartheta$  будет больше периода  $T$ , полученного из расчётных формул, на величину  $T_\Pi$  – **«паразитное время»**.

$$T_\vartheta = T + T_\Pi$$

С учётом **паразитной** ёмкости  $C_\Pi$  получаем:

$$T_\vartheta = R(C + C_\Pi) \ell n \frac{U_o - U_\Gamma}{U_o - U_3} = T + T_\Pi$$

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

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

## Задание 1.

Определение напряжения зажигания и напряжения гашения лампы

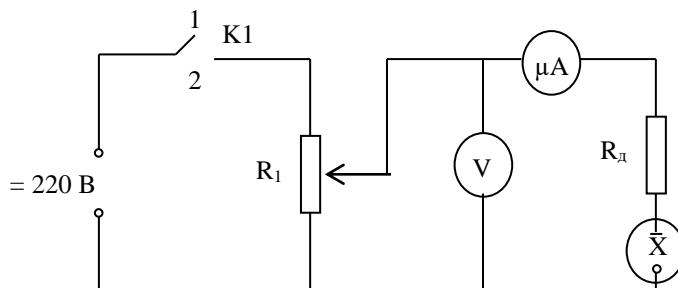


Рисунок 6 – В схеме в качестве газонаполненной лампы используется стабилитрон типа СГ1П  
(газонаполненный диод)

### Описание установки

В схеме в качестве газонаполненной лампы используется стабилитрон типа СГ1П (газонаполненный диод). Для того, чтобы предохранить лампу от перегорания, между её анодом и соответствующей клеммой панели включено добавочное сопротивление  $R_d$ .

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  $U_G$  будет то минимальное напряжение перед гашением лампы, которое показывал вольтметр. Соответствующее значение тока гашения  $I_G$  определить по микроамперметру.

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

## Задание 2.

Наблюдение релаксационных колебаний и определение их периода

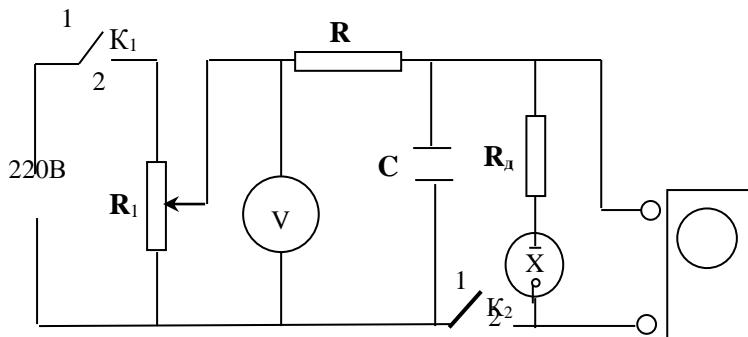


Рисунок 7 – В схеме используется газонаполненный диод СГ1П (или СГ2П, СГ16П).

## 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 осцилограмму релаксационных колебаний. Добиться стабильного изображения.
5. С помощью осциллографа измерить период релаксационных колебаний.  $T_\vartheta = \kappa l$ , где  $\kappa$  – коэффициент развертки (смотри ступенчатый переключатель мс/дел),  $l$  – период колебаний в делениях.
6. Сравнить полученное значение  $T_\vartheta$  с теоретическим  $T_t$ , 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 Клирменович 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.