

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

**Методические указания к лабораторной работе № 41
по дисциплине «Физика»**

Уфа 2015

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

Кафедра физики

ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

Методические указания к лабораторной работе № 41

по дисциплине «Физика»

Уфа 2015

Составитель Е. В. Трофимова

УДК 533(07)

ББК 22.333(я7)

Изучение газового разряда: Методические указания к лабораторной работе № 41 по дисциплине «Физика» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. Е. В. Трофимова – Уфа, 2015. – 15 с.

Цель методических указаний – закрепление и совершенствование знаний студентов по дисциплине «Физика» и формирование умений их применять для решения научно-технических задач в теоретических и прикладных аспектах, возникающих в последующей профессиональной деятельности выпускников технического университета.

Знакомят студентов с явлениями протекания электрического тока в газах. Студентам предлагается измерить характеристики самостоятельного газового разряда.

Приведены краткая теория, описание лабораторной установки, методика выполнения работы, форма отчетности.

Предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Физика» по разделу «Электричество и магнетизм» на всех направлениях подготовки бакалавров и специалистов.

Табл. 1. Ил. 6. Библиогр.: 2 назв.

Рецензенты: канд. физ.-мат. наук, доц. Шатохин С. А.,
канд. техн. наук, доц. Строкина В. Р.

© Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2015

Содержание

Введение	4
1. Цель работы.....	5
2. Задачи.....	5
3. Теоретическая часть	5
4. Экспериментальная часть.....	10
5. Требования по технике безопасности	11
6. Задания.....	12
7. Методика выполнения заданий	12
Контрольные вопросы.....	14
Требования к содержанию и оформлению отчета.....	14
Критерии результативности выполнения лабораторной работы ..	14
Список литературы.....	15

Введение

Различные виды газового разряда широко применяются в технике, например: тлеющий – в газосветных трубках, газоразрядных лампах, для катодного напыления металлов; искровой – для воспламенения горючей смеси в двигателях внутреннего сгорания, предохранения линий электропередач; дуговой – для сварки и резки металлов и т.д.; коронный – в электрофильтрах, для нанесения порошковых и лакокрасочных покрытий. Явления, связанные с газовым разрядом, наблюдаются в природе. Изучение газового разряда позволяет понять процессы, сопровождающие электрический ток в различных средах.

В предлагаемой лабораторной работе изучаются теоретические основы протекания электрического тока в газах, экспериментально изучается один из видов самостоятельного газового разряда.

В результате выполнения данной лабораторной работы формируются следующие компетенции:

- способность демонстрировать базовые знания в области общенаучных дисциплин и готовность использовать основные законы в профессиональной деятельности;

- способность проводить эксперименты по заданной методике, обработку результатов, оценку их погрешности и достоверности.

Перечисленные компетенции формируются через умения:

- работать с измерительными приборами;
- рассчитывать физические величины по экспериментальным данным;

- анализировать результаты опыта;

- оформлять отчет;

а также владения:

- теоретическим материалом;

- навыками измерения физических величин по приборам;

- технологией обработки экспериментальных данных.

Лабораторная работа № 41

Изучение газового разряда

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение газового разряда, измерение вольтамперной характеристики газонаполненной лампы, определение ее напряжений зажигания и гашения, изучение релаксационных колебаний.

2. ЗАДАЧИ

1. Усвоение важного физического явления – электрического газового разряда.

2. Приобретение навыков правильной эксплуатации электроизмерительных приборов и оборудования современной физической лаборатории, получение экспериментальных зависимостей между физическими величинами.

3. Измерение электрофизических характеристик газонаполненной лампы.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Прохождение электрического тока через газы называют газовым разрядом. Газы в нормальном состоянии являются изоляторами, носители тока в них отсутствуют. Лишь при создании особых условий в них появляются заряженные частицы (электроны, ионы), и возникает электрический разряд.

Различают несамостоятельную и самостоятельную проводимость газа. Несамостоятельный разряд имеет место, когда носители тока возникают под действием внешнего ионизатора. Если они появляются в результате процессов, обусловленных только электрическим полем, проводимость называют самостоятельной.

Под действием ионизатора в единице объема газа за секунду образуется Δn_i пар ионов. Наряду с ионизацией происходит рекомбинация ионов при их столкновении. Вероятность их встречи пропорциональна как числу положительных, так и числу отрицательных ионов. Таким образом, число Δn_r пар ионов, рекомбинирующих за 1 секунду в единице объема, пропорционально квадрату концентрации этих пар

$$\Delta n_r = r n^2, \quad (3.1)$$

где r – коэффициент рекомбинации, n – концентрация пар ионов.

В состоянии равновесия $\Delta n_i = \Delta n_r = r n^2$ и равновесная концентрация пар равна

$$n = \sqrt{(\Delta n_i / r)}. \quad (3.2)$$

Если пространство между электродами, на которые подано напряжение, заполнено газом, то часть ионов будет уходить на электроды, создавая ток. За 1 секунду из единицы объема газа на электроды уходит Δn_j пар ионов

$$\Delta n_j = \frac{j}{e \cdot l}, \quad (3.3)$$

где j – плотность тока, e – заряд иона, l – расстояние между электродами.

В равновесии

$$\Delta n_i = \Delta n_r + \Delta n_j. \quad (3.4)$$

Плотность тока обусловлена движением положительных и отрицательных ионов со скоростями v^+ и v^- соответственно

$$j = e \cdot n \cdot v^+ + e \cdot n \cdot v^- = e \cdot n (u^+ + u^-) E. \quad (3.5)$$

Здесь введено обозначение $u^\pm = \frac{v^\pm}{E}$ – подвижность носителей тока.

При слабых полях плотность тока мала и $\Delta n_r \gg \Delta n_j$. Тогда

$$n \approx \sqrt{\frac{\Delta n_i}{r}} = \text{const} \text{ и}$$

$$j = \sqrt{\frac{\Delta n_i}{r}} e (u^+ + u^-) E. \quad (3.6)$$

Сравнивая выражение (3.6) с законом Ома

$$j = \sigma E, \quad (3.7)$$

можно определить электропроводность газа

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Delta n_i}{r}} e (u^+ + u^-). \quad (3.8)$$

$$\begin{aligned} \text{При сильных полях } r n^2 \ll \frac{j}{e \cdot l} \text{ и } \Delta n_i = \Delta n_j \\ j \approx e \Delta n_i l. \end{aligned} \quad (3.9)$$

Эта плотность тока образована всеми ионами, создаваемыми ионизатором, в единицу времени.

Зависимость плотности тока от напряженности поля показана на рис. 3.1. При очень сильных полях ионы приобретают такую энергию, что сами могут ионизировать нейтральные атомы. Происходит лавинообразное размножение первичных ионов, созданных ионизатором, и плотность тока резко растет.

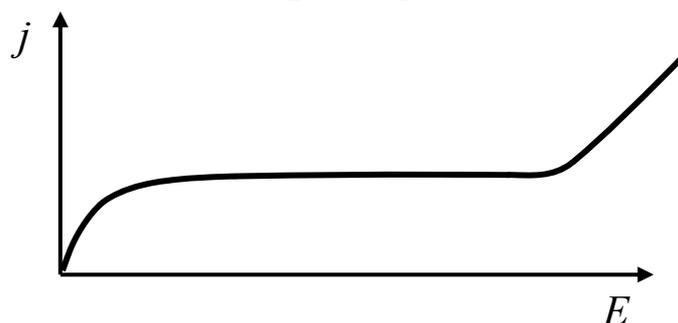


Рис. 3.1

Самостоятельный разряд может возникнуть, если в газе происходит процесс, непрерывно производящий новые электроны взамен ушедших на анод. Например, это может быть вторичная электронная эмиссия с катода под действием бомбардировки его положительными ионами. Если положительный ион при своем движении к катоду приобретает достаточную энергию, то он может выбить из катода несколько электронов. Повышая напряжение на электродах, можно возбудить подобные процессы и осуществить переход от несамостоятельного к самостоятельному разряду. Этот переход называется электрическим пробоем газа, а соответствующее напряжение – напряжением зажигания U_3 . Оно зависит от давления и химической природы газа, материала катода, формы, размеров электродов и расстояния между ними.

Идеальная вольтамперная характеристика изучаемой в данной работе газонаполненной лампы приведена на рис. 3.2. При напряжениях $U < U_3$ токи в лампе пренебрежимо малы. Если увеличивать разность потенциалов на электродах лампы, то при значении $U = U_3$ скачком устанавливается значение тока, равное I_3 , и

лампа «загорается». При дальнейшем росте напряжения ток растет по закону, близкому к линейному. Если уменьшать напряжение на «горящей лампе», то при напряжении, равном U_3 , лампа еще не гаснет. Продолжая уменьшать напряжение, можно увидеть, что лишь при некотором напряжении (напряжении гашения U_{Γ}), которое меньше, чем U_3 , лампа «гаснет» и ток резко падает. При этом самостоятельный разряд в лампе прекращается. У реальной лампы зависимость $I = f(U)$ является не вполне линейной, где $U > U_3$. Кривые, снятые при возрастании и убывании напряжения, не совпадают. Однако эти отличия не существенны, и ими можно пренебречь.

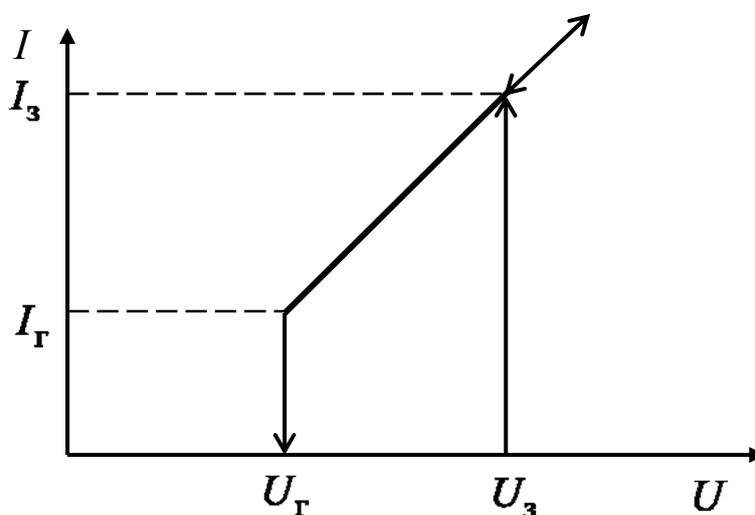


Рис. 3.2

Газонаполненные лампы часто используют для получения релаксационных колебаний. Принципиальная схема генератора релаксационных колебаний показана на рис. 3.3. Этот генератор включает источник постоянного напряжения U_0 , конденсатор емкостью C , сопротивление R и газоразрядную лампу L . Если включить источник, то в цепи пойдет ток, который будет заряжать конденсатор. Разность потенциалов на обкладках конденсатора будет расти. Одновременно растет разность потенциалов на электродах лампы. Когда она достигнет величины напряжения зажигания U_3 , лампа зажжется, ее сопротивление скачком уменьшится, и она начнет проводить ток. В зажженном состоянии сопротивление лампы значительно ниже сопротивления R , поэтому поддерживать ток в основном будут заряды на обкладках конденсатора. Это приведет к

быстрому падению напряжения на конденсаторе, и когда оно достигнет величины напряжения гашения U_{Γ} , лампа погаснет и процесс повторится. В результате возникнут релаксационные колебания, происходящие по закону, изображенному в виде графика на рис. 3.4.

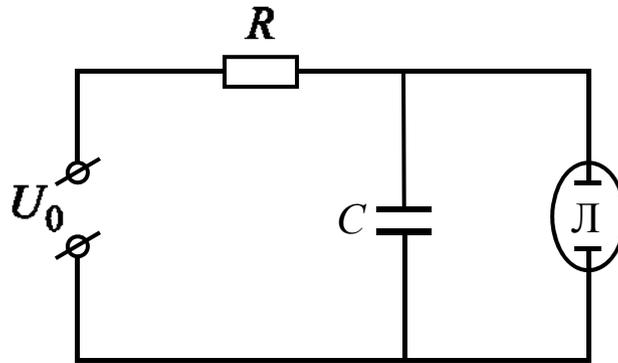


Рис. 3.3

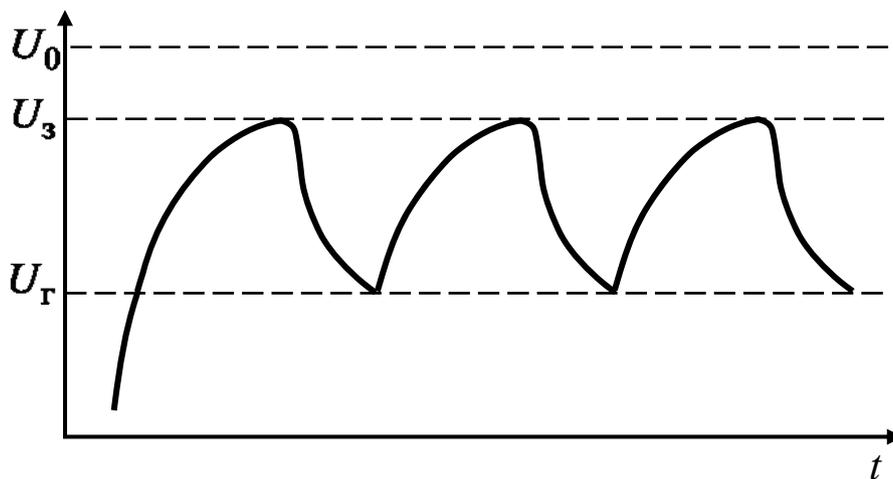


Рис. 3.4

Время заряда конденсатора определяется величиной сопротивления R , а время разряда – сопротивлением лампы в проводящем состоянии $R_{\text{л}}$. Поскольку $R \gg R_{\text{л}}$, то время разряда мало по сравнению со временем заряда (рис. 3.4).

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Приборы и оборудование.

Электрическая схема установки собрана в кассете ФПЭ-12 (рис. 4.1).

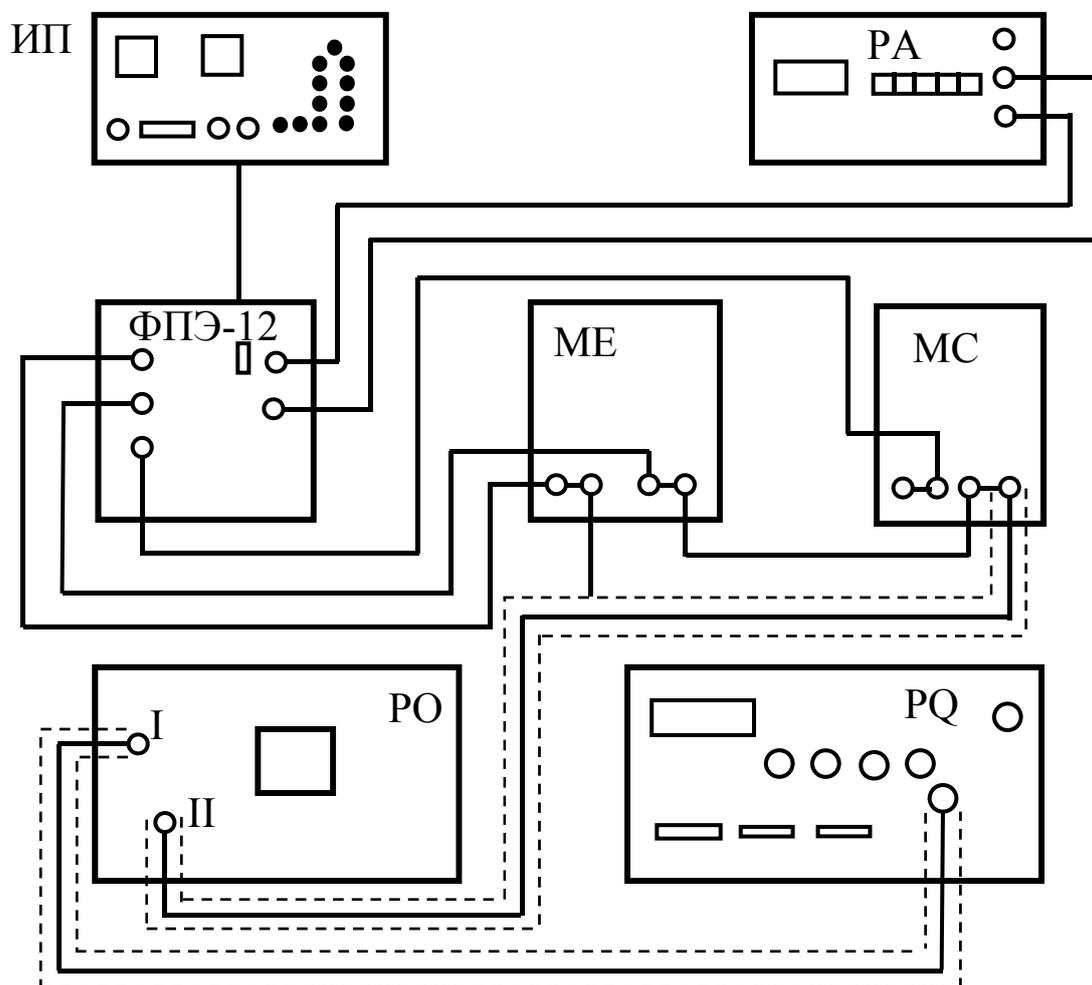


Рис. 4.1

При отжатой кнопке «режим» подключается схема измерения вольтамперной характеристики газонаполненной лампы. При нажатой кнопке «режим» подключается схема генератора релаксационных колебаний (рис. 3.3). Магазины емкостей МЕ и сопротивления МС выполняют роль емкости C и сопротивления R упомянутого генератора.

В работе определяется период релаксационных колебаний двумя способами. Первый способ заключается в том, что сигнал от полученных в цепи релаксационных колебаний поступает на вход осциллографа, и на экране последнего можно наблюдать изображение этих колебаний. Период можно измерить непосредственно с экрана при работе осциллографа в режиме измерения длительности сигнала.

Второй способ, более точный, заключается в том, что дополнительно на второй вход осциллографа поступает сигнал определенной частоты. В электронно-лучевой трубке происходит сложение двух взаимно перпендикулярных колебаний: релаксационных колебаний лампы и синусоидальных колебаний, подаваемых на второй вход осциллографа с генератора PQ. В результате на экране появятся фигуры Лиссажу. Если частоты складываемых колебаний относятся как целые числа, то картина на экране неподвижна. Зная частоту подаваемого сигнала, по виду фигуры Лиссажу можно определить соотношение частот и частоту релаксационных колебаний.

В отличие от сложения гармонических колебаний фигура Лиссажу при соотношении частот 1:1 не имеет вид эллипса (рис. 4.2). Кривые а) и б) отличаются разностью фаз колебаний.

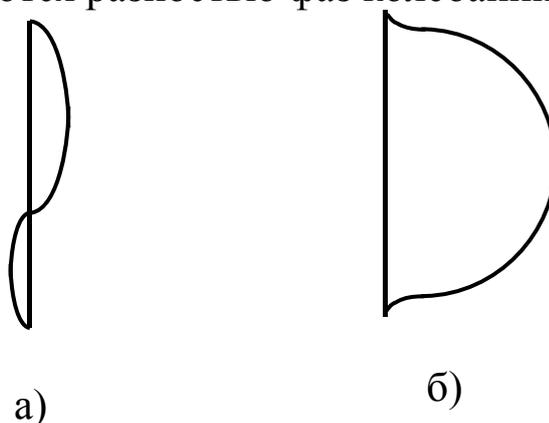


Рис. 4.2

5. ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Для электропитания лабораторной установки используется переменное напряжение 220 В. Все токоведущие части установки изолированы, что исключает случайное прикосновение к ним.

При выполнении работы необходимо:

- 1) внимательно ознакомиться с заданием и оборудованием;
- 2) визуально проверить целостность изоляции токоведущих проводов;
- 3) не оставлять без присмотра включенную установку;
- 4) не загромождать рабочее место посторонними предметами и оборудованием, не относящимися к выполняемой работе;
- 5) о замеченных неисправностях немедленно сообщить преподавателю;
- 6) по окончании работы отключить установку от сети, привести в порядок рабочее место.

6. ЗАДАНИЯ

1. Получить вольтамперные характеристики газонаполненной лампы. Определить напряжения зажигания и гашения.
2. Изучить работу генератора релаксационных колебаний: получить изображение колебаний и определить их частоту.

7. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ

Задание 1. Получить вольтамперную характеристику газонаполненной лампы. Определить $U_з$ и $U_г$.

1. Подготовить приборы к работе: кнопку «Режим» кассеты ФПЭ-12 отжать. Ручку регулировки напряжения 120 В источника питания установить в крайнее левое положение.

2. Включить лабораторный стенд, источник питания ИП и измерительный прибор РА. На приборе нажать кнопки $I=$ и АВП.

3. Ручкой регулировки напряжения источника питания изменять напряжение от 40 В до 120 В. Через 10 В измерять силу тока $I_{пр}$. Значение силы тока записать во вторую строку таблицы.

4. Уменьшая напряжение от 120 В до 40 В, измерить силу тока $I_{обр}$. Результаты занести в третью строку таблицы.

5. Определить напряжение зажигания и гашения лампы. Для этого выбрать из таблицы интервал напряжений, в котором лампа зажглась (погасла). В выбранном интервале, постепенно увеличивая (уменьшая) напряжение на 1-2 В, зафиксировать такое напряжение, при котором ток в лампе скачком увеличивается от нуля до конечной величины (либо уменьшается до нуля). Это и будет напряжение зажигания (гашения). Результаты записать под таблицей.

6. Выключить измерительный прибор.

7. Построить графики зависимости тока I от напряжения U .

Таблица

$U, В$	40	50	60	70	80	90	100	110	...
$I_{пр}, мА$									
$I_{обр}, мА$									

Задание 2. Изучить работу генератора релаксационных колебаний.

1. Подготовить приборы к работе: нажать кнопку «режим» кассеты ФПЭ-12. Установить на магазине сопротивлений $R = 10^6$ Ом. На магазине емкостей установить емкость $C = 3 \cdot 10^{-3}$ мкФ. На источнике питания ручку регулирования выходного напряжения 120 В установить в крайнее левое положение. Осциллограф подготовить к работе в режиме измерения длительности сигнала. Для этого должны быть нажаты кнопки: слева X – Y и справа I, II.

2. Включить лабораторный стенд, источник питания и осциллограф. Установить ручкой регулировки такое напряжение источника питания, чтобы на экране осциллографа появилось изображение релаксационных колебаний, подобное изображенным на рис. 3.4. Это напряжение в дальнейшем не менять. Усиление по оси Y осциллографа установить таким, чтобы размер изображения на экране осциллографа по вертикали составлял $2 \div 4$ см. Установить такую частоту развертки, чтобы на экране были видны одно-два релаксационных колебания. Зарисовать форму релаксационных колебаний.

3. Измерить период релаксационных колебаний с помощью звукового генератора PQ. На осциллографе справа и слева нажать кнопки X - Y. Включить генератор. Подобрать выходное напряжение с генератора и чувствительность I канала осциллографа, чтобы горизонтальный и вертикальный размеры изображения на экране были соизмеримы. Изменяя частоту выходного сигнала генератора, получить на экране осциллографа устойчивую фигуру Лиссажу, соответствующую соотношению частот 1:1 (рис. 4.2). Зарисовать фигуру и записать значение частоты генератора. Увеличивая частоту сигнала, получить фигуру Лиссажу, соответствующую соотношению частот 1:2. Зарисовать форму и записать значение частоты. Уменьшая частоту сигнала, получить фигуру Лиссажу, соответствующую соотношению частот 2:1. Зарисовать форму и записать значение частоты.

4. Рассчитать частоту релаксационных колебаний по формуле

$$f = \frac{f_n}{n},$$

где f – частота сигнала генератора PQ, измеренная в первом,

втором, третьем случаях: $n = 1, 2, 1/2$. Число n может быть целым или дробным в зависимости от того, частота которого генератора больше.

5. Выключить осциллограф, генератор, источник питания и лабораторный стенд.

6. Рассчитать погрешность определения периода релаксационных колебаний, используя относительную погрешность генератора $\delta f \approx 1\%$. Случайную погрешность определить по разбросу полученных значений частоты и полную погрешность рассчитать по формуле: $\Delta f = \sqrt{(\Delta f_{сл})^2 + (\Delta f_{пр})^2}$.

Контрольные вопросы

1. От чего зависит электропроводность газов?
2. Объясните вольтамперную характеристику несамостоятельного газового разряда.
3. Каков механизм возникновения самостоятельного разряда?
4. Как работает генератор релаксационных колебаний?
5. Что такое фигуры Лиссажу и как они получаются в данной работе?

Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет должен содержать:

1. Номер, название и цель работы.
2. Краткий конспект теоретической части.
3. Схематическое описание лабораторной установки и метода измерений.
4. Таблицу с результатами измерений.
5. График вольтамперной характеристики газоразрядной лампы.
6. График релаксационных колебаний $U(t)$.
7. Рисунки фигур Лиссажу, полученные при трех значениях частоты генератора и расчет средней частоты генератора релаксационных колебаний с указанием погрешности.
8. Выводы по выполненной работе.

Критерии результативности выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа считается выполненной, если студент:

- овладел знаниями о природе электрического разряда в газах, особенностях несамостоятельного и самостоятельного разрядов;
- правильно выполнил экспериментальную и расчетную части работы;

- составил отчет, соответствующий требованиям;
- сформулировал выводы о проделанной работе;
- грамотно ответил на все контрольные вопросы.

Список литературы

1. *Детлаф А. А., Яворский Б. М.* Курс физики – М.: Академия, 2009.
2. *Трофимова Т. И.* Курс физики – М.: Академия, 2012.

Составитель ТРОФИМОВА Евгения Владимировна

ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

Методические указания к лабораторной работе № 41
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2015. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 1,1. Усл.-кр.-отт. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.

Тираж 100 экз. Заказ №

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет
Центр оперативной полиграфии УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12