

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Ярцева Мария Андреевна

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Определение потенциалов возбуждения и ионизации атомов газа
в тиратроне**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19305

Научный руководитель:

к.ф-м.н И. А. Иванов

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

аспирант А. С. Матвеев

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. В. Т. Астрелин

Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск 2020

Аннотация

Цель данной работы – определить потенциалы возбуждения и ионизации атомов газа. Для этой цели была использована схема на основе тиратрона, заполненного инертным газом, записаны осциллограммы вольт-амперной характеристики тиратрона. На основании полученных данных были определены потенциалы возбуждения и ионизации, рассчитаны частота и длина волны излучения возбужденных атомов, величина скорости “первичных” электронов. Определен тип газа, которым был заполнен тиратрон.

Ключевые слова: возбуждение атомов, ионизация, электрический ток в газе, тиратрон, вольт-амперная характеристика.

Оглавление

1. Введение	4
2. Метода измерений и экспериментальная установка.....	7
3. Результаты измерений	8
4. Обработка экспериментальных данных	9
5. Выводы	10
6. Список литературы	10

1. Введение

В обычном состоянии газы электрически нейтральны. Проводить электрический ток могут только ионизованные газы, в которых помимо нейтральных атомов содержатся электроны, положительные и отрицательные ионы. Ионы в газах могут возникать под действием высоких температур, рентгеновских и ультрафиолетовых лучей, лучей радиоактивных элементов, космических лучей или в результате столкновений атомов газа с электронами и другими быстрыми элементарными и атомными частицами. Положительные ионы образуются в результате ионизации - вырывания одного или нескольких электронов из электронной оболочки атома. Освободившиеся электроны могут присоединиться к нейтральным атомам, образуя отрицательные ионы. Чтобы из нейтрального атома удалить электрон требуется затратить энергию. Минимальное значение такой энергии называется энергией ионизации. Разность потенциалов, которую должен пройти электрон, чтобы приобрести энергию, равную энергии ионизации, называют потенциалом ионизации.[1]

Во время движения заряженных частиц в электрическом поле происходит их ускорение, но при этом они сталкиваются с атомами газа. В результате заряженные частицы приобретают определенную среднюю скорость, которая пропорциональна электрическому полю и времени между столкновениями.

$$v_{\pm} = b_{\pm}E \quad (1)$$

где b_{\pm} - подвижность заряженных частиц, равная средней скорости, приобретаемой ими в электрическом поле единичной напряженности. Формула (1) справедлива, если длина свободного пробега заряженных частиц во много раз меньше расстояния между электродами.

Локальные концентрации положительных и отрицательных ионов в газе могут отличаться друг от друга, что приводит к появлению объемного заряда, который приводит к дополнительному электрическому полю. Концентрация

заряженных частиц может изменяться в процессе разряда в результате ионизации и рекомбинации (соединения положительных и отрицательных ионов с образованием нейтральных атомов после прекращения действия ионизатора) и зависеть от напряженности электрического поля. В свою очередь, протекание тока по газу может изменять свойства газа, такие как давление или температура. Указанные причины приводят к тому, что газовые проводники, как правило, не подчиняются закону Ома.[2]

Возбуждение атомов – квантовый переход атома или молекулы с более низкого уровня энергии на более высокий при поглощении ими фотонов (фотовозбуждение) или при столкновениях с электронами и другими частицами (возбуждение ударом).[3]

Можно создать условия, когда ток обеспечивается, в основном, движением электронов. При этом средняя скорость потока электронов будет определяться столкновениями с атомами или молекулами газа. Атомы газа могут находиться в состояниях с различными значениями энергии – в основном состоянии, когда энергия атома минимальна (W_0), и в одном из возбужденных состояний.

Разность

$$\Delta W_{mn} = W_m - W_n \quad (2)$$

называют энергией перехода из состояния (или энергетического уровня) номер m в состояние (на уровень) номер n . А величина

$$U_n = \frac{W_n - W_0}{e} \quad (3)$$

называется потенциалом возбуждения n -го уровня. При переходе на более высокий (с большей энергией) уровень атомы поглощают энергию, а на более низкий – отдают ее.

В случае безизлучательных переходов (под действием электронного удара) оказывается, что поглощение энергии электронов проходящих через газ существенно зависит от значения энергии электронов.

Если газовый промежуток находится в электрическом поле с небольшой напряженностью, его проводимость близка к нулю. Появление конечной проводимости называется пробоем газового промежутка. Основной причиной электрического пробоя газового промежутка является появление в нем электронной лавины. Её источником может быть, например, эмиссия электронов с поверхности электродов, ионизация газа космическим излучением или искусственным ионизатором, молекулярные процессы. Эти первичные электроны, дрейфуя в электрическом поле, при достаточной величине напряженности, могут возбуждать и ионизовать атомы или молекулы среды, что приводит к размножению электронов и появлению в объеме ионов и фотонов. Ток в промежутке увеличивается. Образовавшиеся в промежутке ионы и фотоны достигают электродов, вызывая эмиссию вторичных электронов. Это может привести к развитию самостоятельного или несамостоятельного газового разряда. В развитии разряда определяющую роль играют электроны, так как они более легкие, по сравнению с ионами частицы, способны быстрее набирать энергию в электрическом поле и ионизовать газ в промежутке.

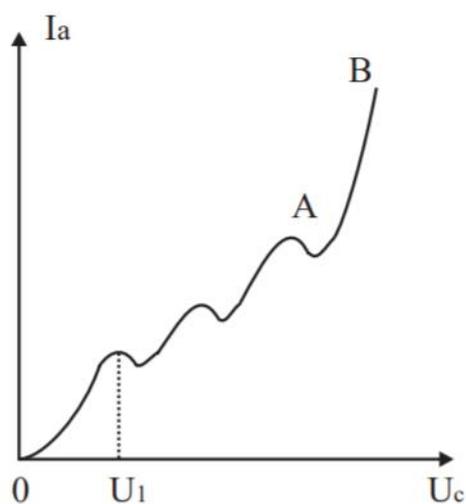


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика тиратрона

Если энергия электрона равна энергии возбуждения какого-либо из уровней атома, удар происходит неупругий; часть кинетической энергии расходуется на возбуждение атома. Электроны, претерпевшие соударение, теряют всю свою энергию и не могут преодолеть задерживающий потенциал анода. На вольт-амперной характеристике это выглядит, как уменьшение анодного тока с образованием провала, как изображено на

Рис.1. Аналогично, провалы будут появляться при энергии электронов равной энергиям других уровней возбуждения. Можно наблюдать провалы при

напряжениях кратных второму потенциалу возбуждения атома, или при напряжении равных сумме первого и второго потенциалов возбуждения. Однако экспериментальная методика при этом должна быть видоизменена. При неупругом соударении электронов с атомами газа может произойти не только возбуждение, но и ионизация атома.

Для реализации режима ионизации необходимо увеличить ускоряющий потенциал сетки до значения, соответствующего потенциалу ионизации атома. Тогда в процессе соударения появляются вторичные свободные электроны и положительно заряженные ионы. Двигаясь под действием поля к катоду, ионы нейтрализуют часть пространственного заряда. Вследствие этого термоэлектронный ток значительно увеличивается и происходит резкий рост анодного тока (участок АВ на рис. 1).

Таким образом, цель данной работы – экспериментально изучить явление взаимодействие электронов малой энергии с атомами газа и измерить потенциалы возбуждения и ионизации по вольт-амперной характеристике тиратрона.

2. Метод измерений и экспериментальная установка

На катод мы подаём определённое напряжение. Электроны, эмитируемые катодом тиратрона, приобретают под действием ускоряющего поля в пространстве катод – сетка кинетическую энергию $W_k = eU_{СК}$, где $U_{СК}$ – разность потенциалов сетка – катод. Разность потенциалов между сеткой и анодом мала $U_{СА} = I_e R_1 \ll U_{СК}$, где I_e – ток электронов. Поэтому электроны движутся с энергией $eU_{СК}$. Зависимость электронного тока от величины ускоряющего напряжения сетки позволит определить потенциалы возбуждения и ионизации атомов.

Собрав установку по схеме на рис. 2, проведем измерения зависимости сеточного и анодного токов тиратрона от напряжения катод – сетка, определим потенциал ионизации. По полученным экспериментальным данным рассчитаем

частоту и длину волны излучения возбуждения, рассчитаем величину скорости «первичных» электронов.

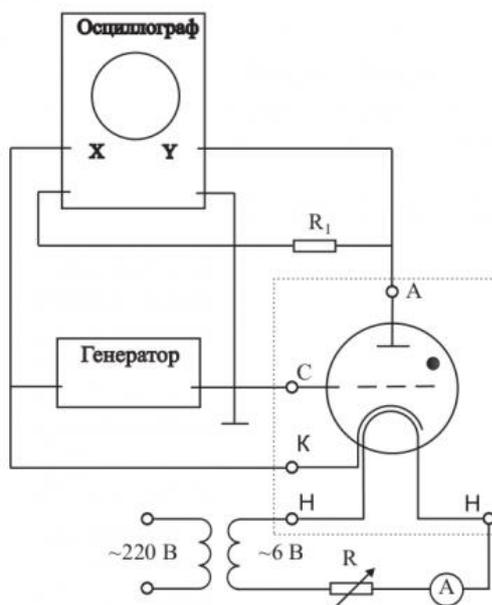


Рис 2. Схема установки для измерения потенциалов возбуждения и ионизации по вольт-амперной характеристике тиратрона.

3. Результаты измерений

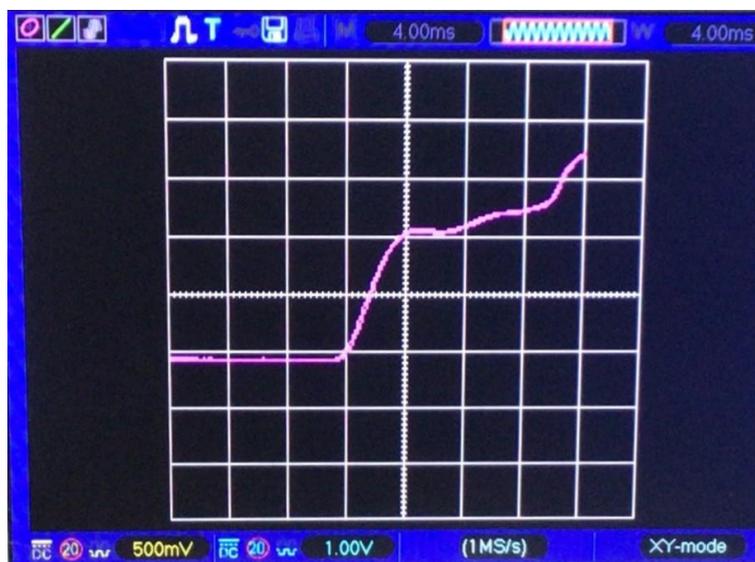


Рис. 3. ВАХ тиратрона при токе накала $I_H = 0,36$ А.

Регулировкой тока накала был найден оптимальный тепловой режим (когда на ВАХ 2-3 провала) при $I_H = 0,36$ А. В схеме имелся делитель напряжения, поэтому значения напряжения на ВАХ в 10 раз меньше, чем есть на самом деле.

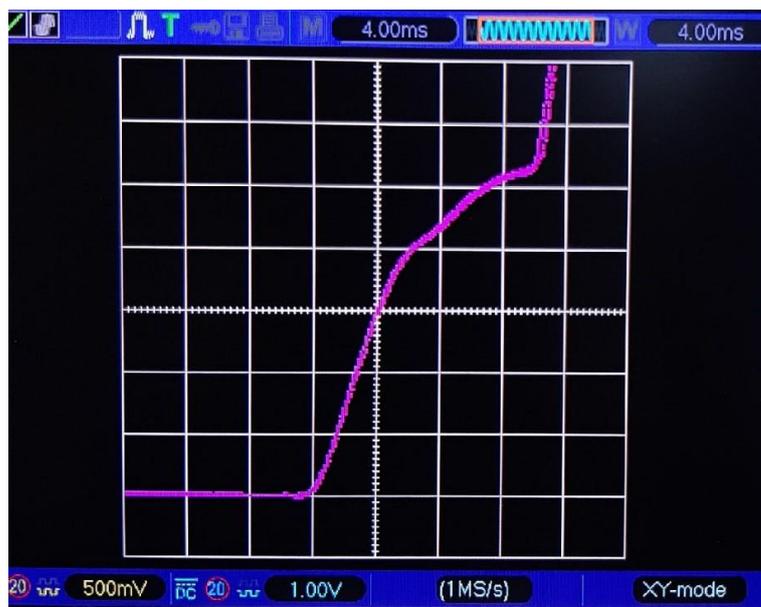


Рис. 4. ВАХ тиратрона при токе накала $I_n = 0,42$ А.

Согласно вольт-амперной характеристике (рис.3) потенциалы возбуждения равны $U_{B1} = 8$ В и $U_{B2} = 13$ В. Также по рис. 4 можно определить, что потенциал ионизации равен $U_{и} = 17$ В.

4. Обработка экспериментальных данных

Будем считать, что электроны при ударе теряют всю свою энергию, запишем закон сохранения энергии.

$$eU_{B1} = \frac{mV^2}{2},$$

Отсюда скорость “первичных” электронов:

$$V = \sqrt{\frac{2eU_{B1}}{m}} = \sqrt{\frac{2 * 1,6 * 10^{-9} * 8}{9,109 * 10^{-31}}} = 1,68 * 10^6 \frac{м}{с}$$

Энергия излучения возбуждённых атомов тратится на их ионизацию, поэтому

$$eU_{и} = h\nu,$$

Отсюда частота и длина волны излучения возбуждённых атомов:

$$\nu = \frac{eU_{и}}{h} = \frac{1,6 * 10^{-9} * 17}{6,63 * 10^{-34}} = 4,1 * 10^{15} \text{ Гц}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = 137 \text{ нм}$$

Также мы можем определить, какой газ заполнял тиратрон (табл.1). Полученные результаты схожи с данными для аргона. Небольшие расхождения могут возникнуть из-за падения напряжения на анодном сопротивлении (при этом напряжение сетка-анод ненулевое), деградации катода (газ будет содержать примеси металла катода), внешних условий проведения эксперимента (а именно, температура окружающей среды). Нужно учитывать, что в данном эксперименте важно не перегреть лампу, это также может привести к ошибочным результатам.

Таблица 1. Потенциалы возбуждения и ионизации для различных газов

Газы	Гелий	Неон	Аргон	Криптон	Ксенон	Пары ртути
Потенциал возбуждения, В	20,8	16,6	11,6	9,9	8,4	4,9
Потенциал ионизации, В	24,5	21,5	15,7	14,0	12,1	10,4

5. Выводы

В ходе выполнения работы получены следующие результаты:

1. При выполнении работы тиратрон был заполнен аргоном;
2. Потенциалы возбуждения $U_{В1} = 8 \text{ В}$ и $U_{В2} = 13 \text{ В}$, а потенциал ионизации $U_{и} = 17 \text{ В}$;
3. Частота излучения $\nu = 4,1 * 10^{15} \text{ Гц}$, длина волны $\lambda = 137 \text{ нм}$, скорость «первичных» электронов $V = 1,68 * 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

6. Список литературы

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 3. Электричество. Ч. 2. М: Наука. Физматлит. 1996г.
2. Б. А. Князев, А. А. Корепанов, А. С. Кудрявцев, И. И. Морозов. Лабораторный практикум “Электричество и магнетизм”. Выпуск 3. Электрический ток в газах и жидкостях. Новосибирск: НГУ, 2008.

3. А. М. Прохоров, Д. М. Алексеев, А. М. Балдин, А. М. Бонч-Бруевич, А. С. Боровик-Романов и др. Физическая энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия. Т. 1. Ааронова – Бома эффект – Длинные линии. 1988.
4. https://scask.ru/c_book_oet.php?id=179