

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

Физический факультет

Кафедра общей физики

Мезенцев Никита Сергеевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Особенности закона Пашена для газового разряда в
диэлектрическом канале**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа 18302

Научный руководитель:

А. С. Золкин

Оценка научного руководителя:

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума:

В. Т. Астрелин

Оценка преподавателя практикума:

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

В. Т. Астрелин

Итоговая оценка:

«_____» _____ 20__ г.

Особенности закона Пашена для газового разряда в диэлектрическом канале

Мезенцев Никита Сергеевич

Физический факультет. Электромагнитный практикум. Курсовая работа.

Группа №18302, 3 семестр, 2019 год.

Научный руководитель: к. ф.-м. н. **Золкин А.С.**

Преподаватель: к. т. н. **Астрелин В.Т.**

Аннотация

Проведено исследование зависимости напряжения пробоя от давления и расстояния между плоскими электродами для аргона в установке с кварцевой газоразрядной трубкой, внешний диаметр которой $D_{\text{внеш}} = 40$ мм, а внутренний — $D_{\text{внутр}} = 36$ мм, при постоянном течении газа в газоразрядную область.

Измерения проводились для давлений и расстояний в диапазоне 0.0048 – 0.55 Torr и 50 – 182 мм.

Напряжение пробоя фиксировалось с помощью мультиметра по резкому росту силы тока при зажигании.

Для чистоты проводимого эксперимента использовались криогенные средства очистки.

Данная работа относится к физике газового разряда, а также к плазменным технологиям.

Содержание

1	Введение	3
2	Теоретическая часть	4
3	Экспериментальная часть	7
3.1	Требования к эксперименту	7
3.2	Экспериментальная установка	7
3.3	Методика измерения	8
4	Результаты измерений	9
5	Обсуждение результатов	12
6	Заключение	12
7	Список литературы	13
8	Приложение	14

1 Введение

Цель данной работы заключается в получении и исследовании кривых Пашена для аргона.

Кривые Пашена — важнейшая характеристика газового разряда. Существует множество экспериментальных данных по определению кривых Пашена для различных газов.

Однако, результаты этих экспериментов сильно зависят от различных условий проведения эксперимента, в частности от количества примесей, содержащихся в исследуемом газе.

Электрофизические свойства газа применяются для разработки новейших технологий в области физики плазмы. Также газовый разряд применяется в:

- Сварке и резке;
- Люминесцентных лампах как источник освещения;
- Очистке газа от пыли;
- Лазерах;
- Синтезе алмазоподобных наноплёнок.

Алмазоподобные наноплёнки применяются: в оптике для защиты оптических приборов от физических воздействий (царапины и т. д.); в машиностроении для уменьшения трения между поверхностями; в медицине как биологически совместимый материал; в электронике для покрытия электрических схем, чипов и т. д.

2 Теоретическая часть

Электрический разряд в газе (газовый разряд) — прохождение электрического тока через газообразную среду. Газовые разряды подразделяют на самостоятельные и несамостоятельные.

Электрический разряд, для поддержания которого требуется эмиссия электронов внешним ионизатором, называется несамостоятельным.

Электрический разряд, для поддержания которого не требуется внешний ионизатор, называют самостоятельным. При самостоятельном разряде генерация и движение зарядов в разрядном промежутке осуществляется только за счёт энергии электрического поля, действующего между электродами — катодом и анодом.

Пусть имеются два электрода (анод и катод). Пусть n_0 — количество электронов, вылетающих из катода в единицу времени под действием ионизации, α — первый коэффициент Таунсенда (число ионизаций, создаваемых электроном на единице пути к аноду), $n(x)$ — число электронов, зависящее от расстояния от катода. Тогда приращение числа электронов в слое dx на расстоянии x от катода равно

$$dn = \alpha n(x) dx$$

Отсюда имеем

$$n = n_0 e^{\alpha d}$$

где n - поток электронов на анод, d - расстояние между электродами. Тогда ток на аноде равен

$$i = i_0 e^{\alpha d}$$

где i_0 - ток электронов на канодe.

Коэффициент α зависит от энергии электрона и прямо пропорционален концентрации газа, а значит его давлению. Отсюда можно сделать вывод, что [2, с. 133]

$$\alpha = pf(eE\lambda)$$

Учитывая, что $\lambda \sim \frac{1}{p}$, получаем

$$\frac{\alpha}{p} = f\left(\frac{E}{p}\right) \quad (1)$$

Рассмотрим вторичную электронную эмиссию (выбивание электронов из катода ионами). Число электронов, попавших на анод, минус число электронов, улетевших с катода, равно числу ионов, попавших на катод:

$$n - (n_0 + n_+) = \frac{n_+}{\gamma}$$

Комбинируя две последние формулы, получим:

$$i = i_0 \frac{e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)}$$

При $\gamma + 1 = \gamma e^{\alpha d}$ [1, с. 319–320] знаменатель равен нулю, т. е. величина тока бесконечно велика, следовательно в газе наступает пробой. Обычно $\gamma \ll 1$, поэтому при пробое

$$\gamma e^{\alpha d} = 1 \quad (2)$$

γ — третий коэффициент Таунсенда (число электронов, выбиваемых ионом при ударе о катод). Условие (2) называется **критерием Таунсенда** (необходимое и достаточное условие пробоя). γ определяется только энергией иона. Поэтому

$$\gamma = \psi\left(\frac{E}{p}\right) \quad (3)$$

Учитывая условие (2), формулы (1) и (3) и соотношение $U = Ed$ получаем

$$\psi\left(\frac{U}{pd}\right) e^{f\left(\frac{U}{pd}\right)pd} = 1$$

p и d входят в эту формулу лишь в виде произведения, поэтому U зависит только от pd . Этот закон называется **законом Пашена**.

Получается, что $U = f(pd)$ при $T = const$. Таким образом, напряжение зависит от давления и расстояния между анодом и катодом, и эта зависимость называется **кривой Пашена**.

Таунсенд экспериментально установил, что зависимость α от p и E имеет вид: $\alpha = Ape^{-B\frac{p}{E}}$ где A и B — некоторые константы, свои для каждого газа, что γ слабо зависит от энергии ионов. Учитывая, что $U = Ed$ получаем:

$$U_{пр} = \frac{Bpd}{\ln\left(\frac{Apd}{\ln\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right)}\right)}$$

Примеры кривых Пашена для различных газов:

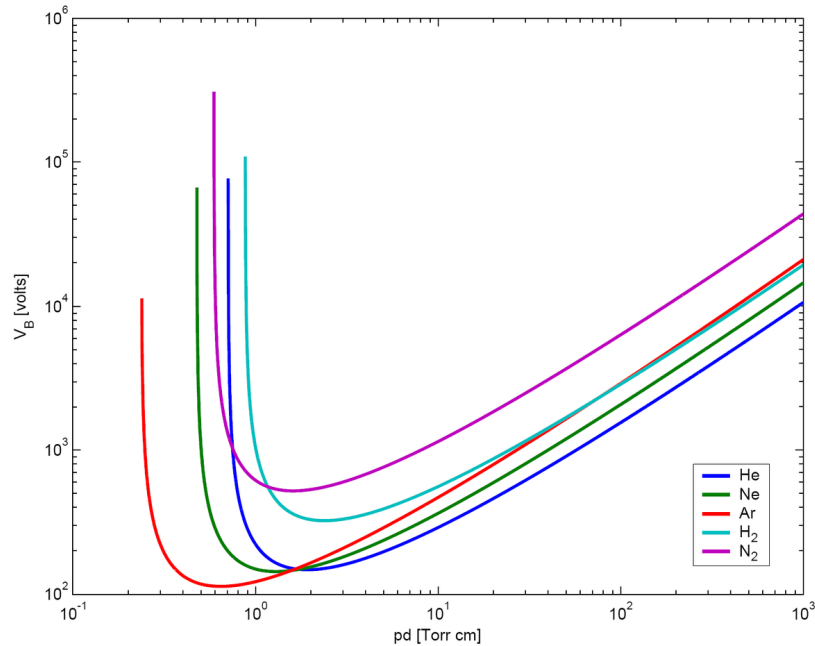


Рис. 1. Кривые Пашена для различных газов

3 Экспериментальная часть

3.1 Требования к эксперименту

Сильное влияние на результаты, полученные во время эксперимента, оказывают примеси в газоразрядной камере.

Поэтому, для проведения эксперимента должны соблюдаться условия:

1. Исследуемый газ должен быть максимально чистым;
2. Минимальное натекание в установку;
3. Необходимость системы очистки газа в установке от проникаемых паров масла и посторонних газов.

3.2 Экспериментальная установка

Экспериментальная установка состоит из нескольких основных частей:

- 2 мультиметра для измерения напряжения пробоя и тока зажигания;
- 2 азотные ловушки для очистки камеры от примесей и паров масла;
- Газоразрядная трубка;
- Источник высокого напряжения;
- Форвакуумный насос для откачивания газа;
- Трубка хода катода.

Внутри газоразрядной трубки размещены два электрода: подвижный катод и неподвижный анод. Передвижение катода осуществляется с помощью магнитного привода, придуманного А. С. Золкиным.

Одна из азотных ловушек подключается непосредственно к газоразрядной камере, другая подключается к форвакуумному насосу.

Рядом с газоразрядным промежутком подключается ионизационно–термопарный вакуумметр для снятия давления в области разряда.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 2.

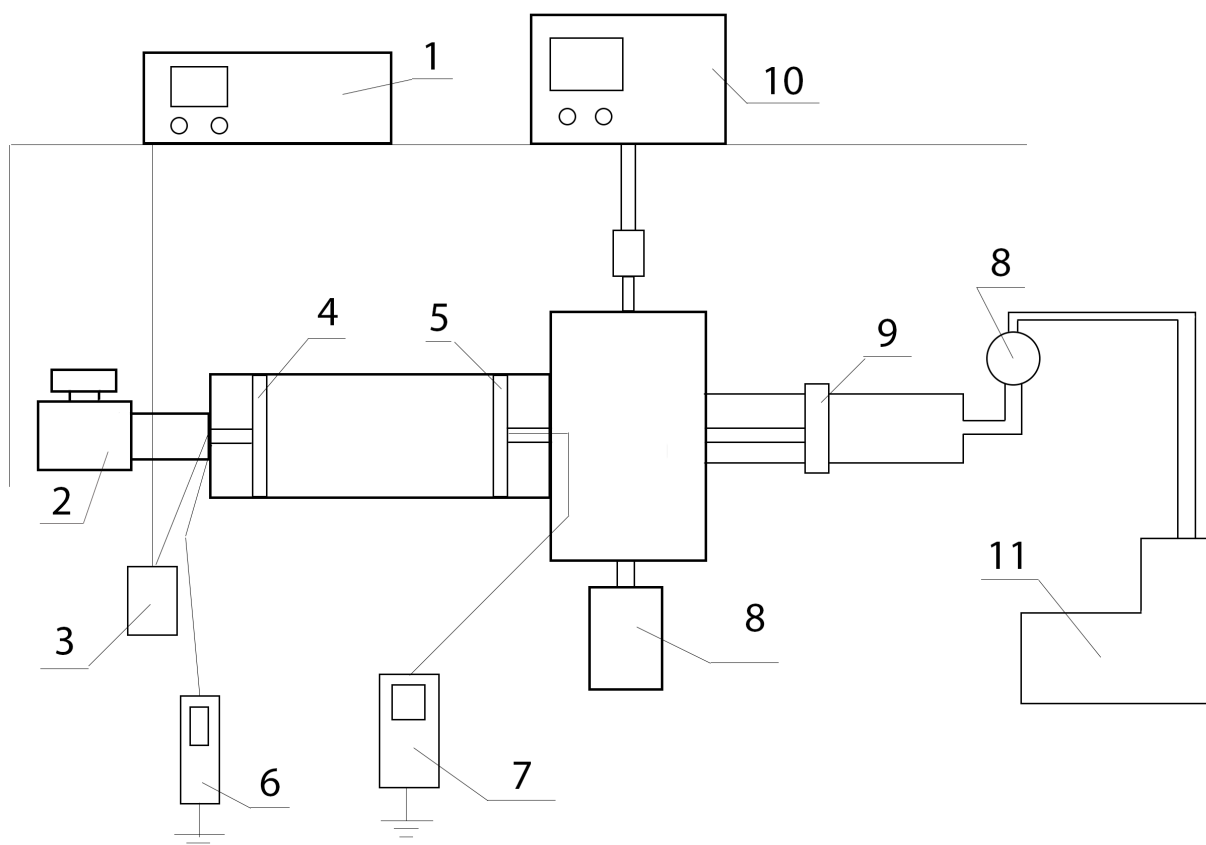


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 — источник высокого напряжения ТВ-3, 2 — натекатель, 3 — балластное сопротивление, 4 — анод, 5 — катод, 6, 7 — мультиметры Victor 88E, 8 — азотная ловушка, 9 — магнитный привод, 10 — ионизационно-термопарный вакуумметр ВИТ-2, 11 — форвакуумный насос.

3.3 Методика измерения

В данной работе измерения проводились таким методом: устанавливаются определённые p и d , затем напряжение U , подаваемое от источника высокого напряжения, повышается от нуля до значения, при котором происходит пробой.

Пробой в аргоне определялся по скачку силы тока на амперметре.

4 Результаты измерений

Эксперимент по определению напряжения пробоя аргона $U_{пр}$ проводился при 5 значениях давления, а также в диапазоне расстояний между электродами от 50 до 182 мм с шагом 4 мм.

Значения давлений, при которых выполнялся эксперимент:

1. 0.55 Torr;
2. 0.28 Torr;
3. 0.15 Torr;
4. 0.09 Torr;
5. 0.067 Torr.

Результаты эксперимента приведены ниже в виде графиков:

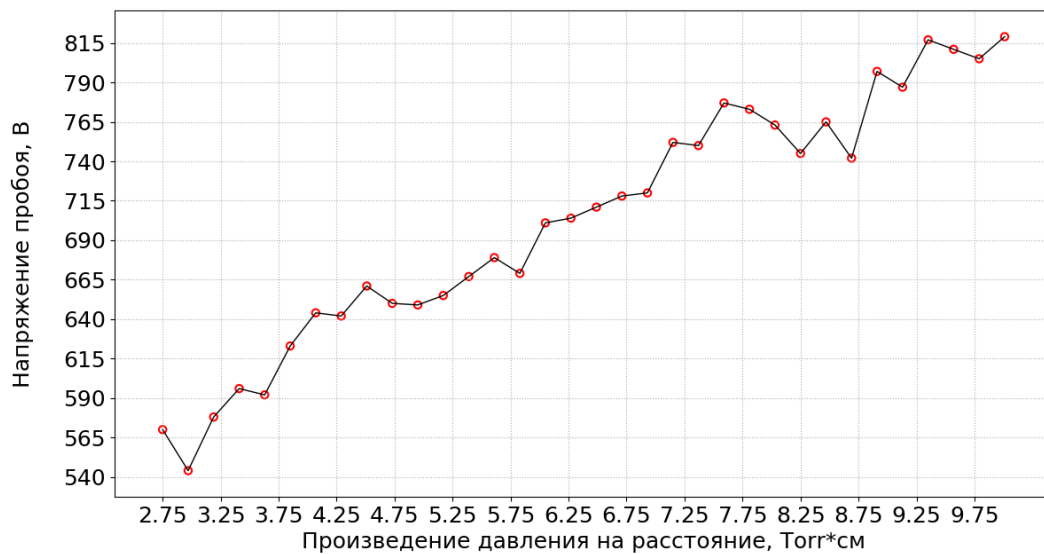


Рис. 3. $U_{пр}$ аргона в зависимости от расстояния между электродами при давлении 0.55 Torr

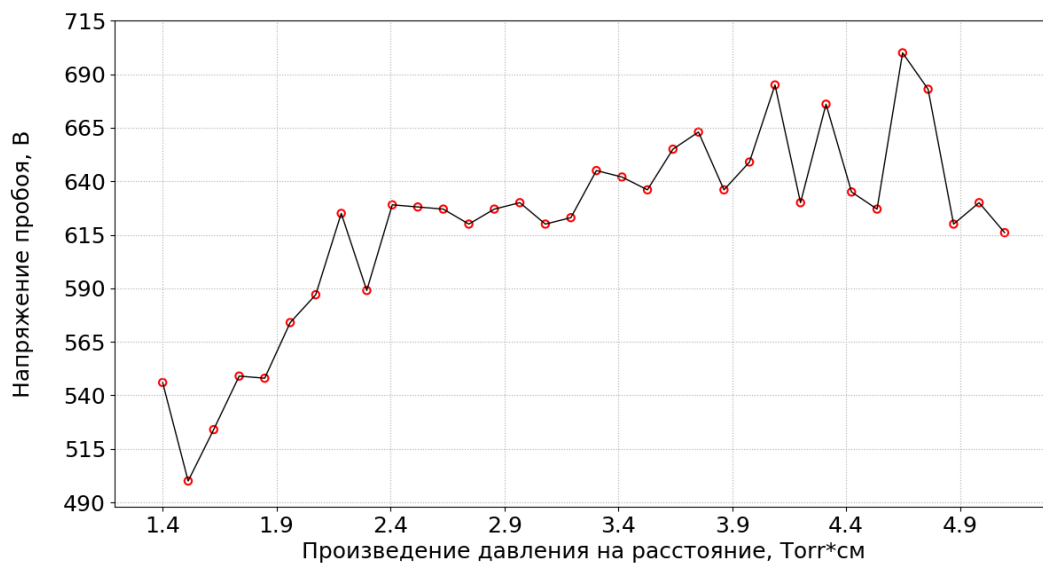


Рис. 4. $U_{\text{пр}}$ аргона в зависимости от расстояния между электродами при давлении 0.28 Torr

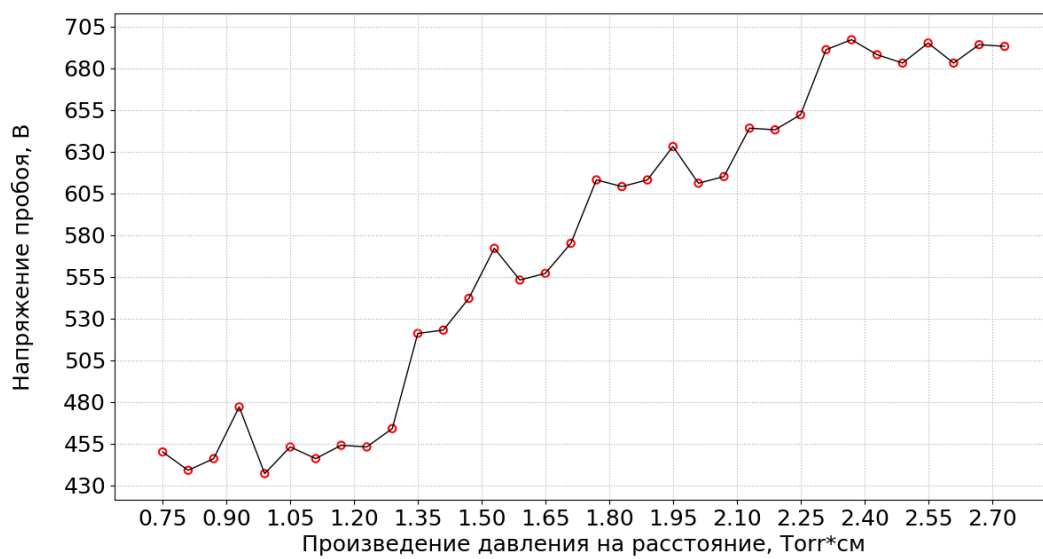


Рис. 5. $U_{\text{пр}}$ аргона в зависимости от расстояния между электродами при давлении 0.15 Torr

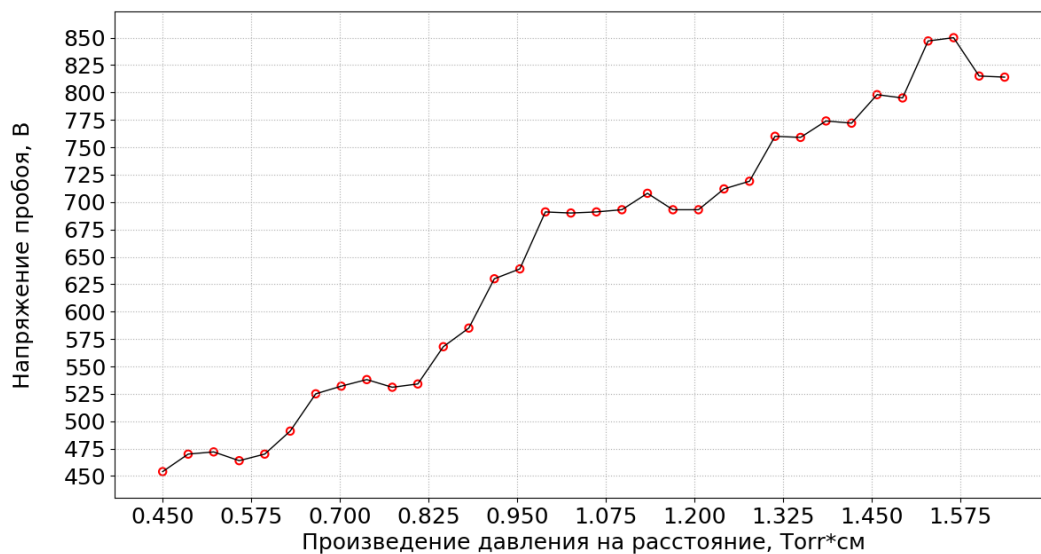


Рис. 6. $U_{\text{пр}}$ аргона в зависимости от расстояния между электродами при давлении 0.09 Torr

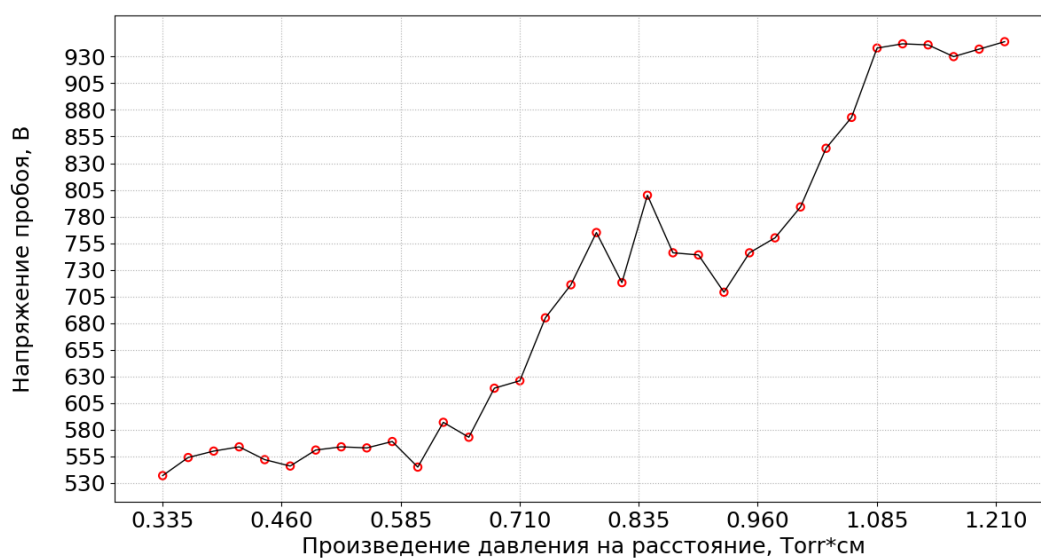


Рис. 7. $U_{\text{пр}}$ аргона в зависимости от расстояния между электродами при давлении 0.067 Torr

Все графики строились при помощи программы, написанной на языке программирования Python 3.7 [3] с использованием библиотек Matplotlib, NumPy [4, 5].

5 Обсуждение результатов

Полученные в ходе эксперимента экспериментальные данные не соответствуют кривой Пашена для аргона (рис. 1).

Причина несоответствия справочным данным заключается в том, что обычный закон Пашена для пробоя газа выполняется только для газоразрядных трубок, для которых расстояние между электродами L не больше радиуса трубки R , то есть при соотношении $\frac{L}{R} \leq 1$.

Внутренний диаметр трубки, использовавшейся в нашей установке, $D = 36$ мм, то есть $R = 18$ мм, а минимальное расстояние между электродами $L = 50$ мм, то есть для наших условий проведения эксперимента невозможно получить кривую Пашена по обычному закону Пашена. Основной вклад в погрешность давали:

1. Скачки давления в газоразрядной камере;
2. Изменение значений напряжения U и силы тока I на мультиметрах.
3. Испарение жидкого азота в азотных ловушках.

6 Заключение

В ходе эксперимента было измерено напряжение пробоя $U_{пр}$ для различных давлений и расстояний между электродами в газоразрядной трубке.

По полученным данным были построены графики зависимости напряжения пробоя $U_{пр}$ от расстояния между электродами при различных давлениях в газоразрядной камере для газового разряда в аргоне.

Полученные в ходе эксперимента данные не соответствуют справочным данным по закону Пашена по причине ограниченности условий его выполнения.

7 Список литературы

Список литературы

- [1] Ю. П. Райзер. Физика газового разряда: Учеб. руководство.—М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1987.— 592 с., ил.
- [2] Б. А. Князев. Низкотемпературная плазма и газовый разряд: Учебное пособие.—Новосиб. гос. ун-т., Новосибирск, 2003.— 290 с.
- [3] <https://www.python.org/>
- [4] <https://matplotlib.org/>
- [5] <https://numpy.org/>
- [6] К. В. Воронцов. $\text{\LaTeX}$ 2 ϵ в примерах. 16 декабря 2005.
- [7] Tobias Oetiker, Hubert Partl, Irene Hyna и Elisabeth Schlegl. Не очень краткое введение в $\text{\LaTeX}$ 2 ϵ , или $\text{\LaTeX}$ 2 ϵ за 137 минут. Версия 4.12, 13 April, 2003.— 137 с.

8 Приложение

Фотография экспериментальной установки:



Рис. 8. Экспериментальная установка