

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ОТЧЁТ
О ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Изучение плазмы газового
разряда в неоне

Работу выполнил,
студент ФЭФМ группы Б04-107 _____ Луговцов Г.С.

Долгопрудный 2022

Реферат

В работе изучаются состояние и свойства плазмы газового разряда в неоне. Для этого экспериментально находится вольт-амперная характеристика разряда, одиночного и двойного зондов. В результате были получены такие характеристики плазмы как электронная температура, концентрация электронов, ленгмюровская частота колебаний электронов, дебаевский радиус, среднее число ионов в дебаевской сфере и долю ионизованных атомов для различных значений тока разряда.

Содержание

Введение	4
1 Методика	5
1.1 Описание установки	5
1.2 Одиночный и двойной зонды	6
2 Обсуждение результатов	8
2.1 Исследование ВАХ разряда	8
2.2 Исследование зондовых характеристик	9
Заключение	12
Список использованных источников	13

Введение

Как известно, вещество может находиться в трёх агрегатных состояниях – твёрдом, жидком и газообразном, которые последовательно сменяют друг друга при росте температуры. Если мы и дальше будем нагревать газ, то молекулы сначала диссоциируют на атомы, а затем и атомы распадутся на ионы и электроны. Такой газ называют ионизованным. Если степень ионизации газа оказывается достаточно велика, то поведение частиц приобретает коллективный характер и газ начинают называть плазмой. Такой газ начинает обладать качественно новыми свойствами, для описания которых вводятся такие параметры как плазменная частота, радиус Дебая, среднее число ионов в дебаевской сфере. В этой работе мы постараемся подробно изучить поведение плазмы на примере двойного зонда и разряда.

1 Методика

1.1 Описание установки

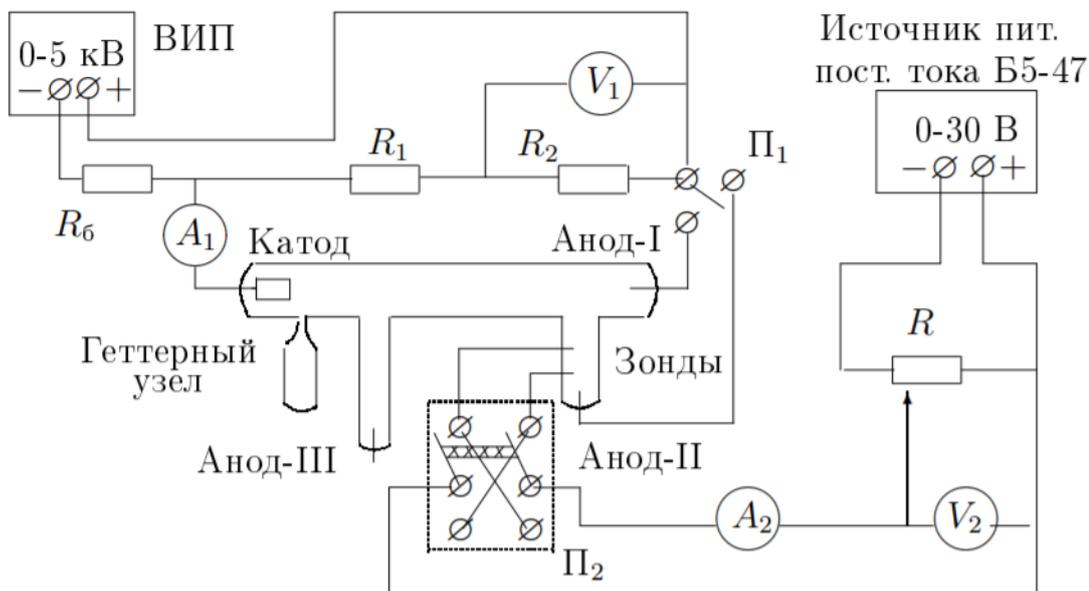


Рисунок 1.1 — Принципиальная схема установки. Установка состоит из высоковольтного источника питания (ВИП), стеклянной газоразрядной трубки, источника питания постоянного тока, вольтметров и амперметров.

Стеклянная газоразрядная трубка имеет холодный (ненакаливаемый) полый катод, три анода и *геттерный* узел – стеклянный баллон, на внутреннюю поверхность которого напылена газопоглощающая плёнка (*геттер*). Трубка наполнена изотопом неона ^{22}Ne при давлении 2 торр. Катод и один из анодов (I и II) с помощью переключателя Π_1 подключается через балластный резистор R_6 к регулируемому высоковольтному источнику питания (ВИП).

При подключении к ВИП анода-I между ним и катодом возникает газовый разряд. Ток разряда измеряется миллиамперметром A_1 , а падение напряжения на разрядной трубке – цифровым вольтметром V_1 , подключённым к трубке через высокоомный делитель напряжения.

При подключении к ВИП анода-II разряд возникает в пространстве между катодом и анодом-II, где находятся двойной зонд, используемый для диагностики плазмы положительного столба. Зонды изго-

товлены из молибденовой проволоки. Они подключены к отдельному источнику питания через потенциометр R . Переключатель Π_2 позволяет изменять полярность напряжения на зондах. Величина напряжения на зондах изменяется с помощью дискретного переключателя « V » выходного напряжения источника питания и потенциометра R , а измеряется цифровым вольтметром V_2 . Для измерения зондового тока используется мультиметр A_2 .

1.2 Одиночный и двойной зонды

При внесении в плазму уединённого проводника – зонда – с потенциалом, изначально равным потенциалу точки плазмы, в которую его помещают, на него поступают токи электронов и ионов:

$$\begin{aligned} I_{e0} &= \frac{n\langle v_e \rangle}{4} eS, \\ I_{i0} &= \frac{n\langle v_i \rangle}{4} eS, \end{aligned} \quad (1.1)$$

где $\langle v_e \rangle$ и $\langle v_i \rangle$ – средние скорости электронов и ионов, S – площадь зонда, n – плотность электронов и ионов. Скорости электронов много больше скорости ионов, поэтому $I_{i0} \ll I_{e0}$. Зонд будет заряжаться до некоторого равновесного напряжения U_f – плавающего потенциала (рис. ??).

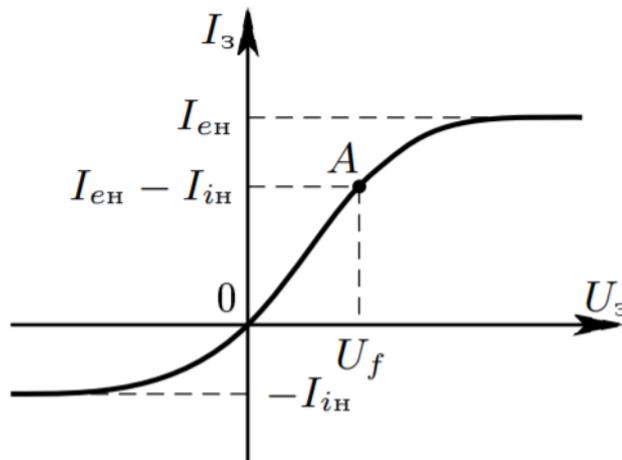


Рисунок 1.2 — Вольт-амперная характеристика одиночного зонда

Будем подавать потенциал $U_з$ на зонд и снимать значение зондового тока $I_з$. Максимальное значение тока $I_{ен}$ – электронный ток насыщения, а минимальное $I_{ин}$ – ионный ток насыщения.

Двойной зонд – система из двух одинаковых зондов, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга, между которыми создаётся разность потенциалов, меньшая U_f . Рассчитаем ток между ними вблизи $I = 0$. При небольших разностях потенциалов ионные токи на оба зонда близки к току насыщения и компенсируют друг друга, а значит величина результирующего тока полностью связана с разностью электронных токов.

Реальная зависимость описывается формулой

$$I = I_{iH} \operatorname{th} \frac{eU}{2kT_e} + AU. \quad (1.2)$$

Из этой формулы можно найти формулу для T_e : для $U = 0$ мы найдём I_{iH} , продифференцируем в точке $U = 0$ и с учётом $\operatorname{th} \alpha \approx \alpha$ при малых α и $A \rightarrow 0$ получим:

$$kT_e = \frac{1}{2} \frac{eI_{iH}}{\left. \frac{dI}{dU} \right|_{U=0}}. \quad (1.3)$$

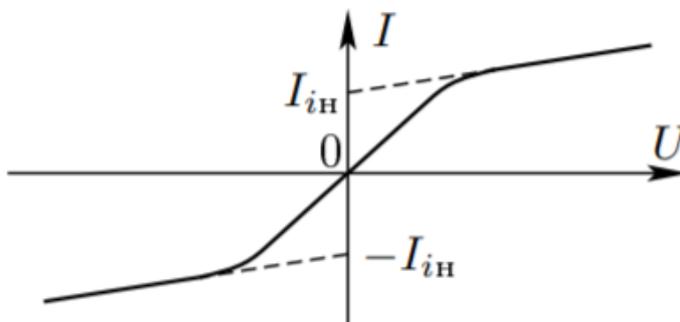


Рисунок 1.3 — Вольт-амперная характеристика двойного зонда

2 Обсуждение результатов

2.1 Исследование ВАХ разряда

Зажигаем плазму и строим ВАХ разряда в координатах $I_p(U_p)$:

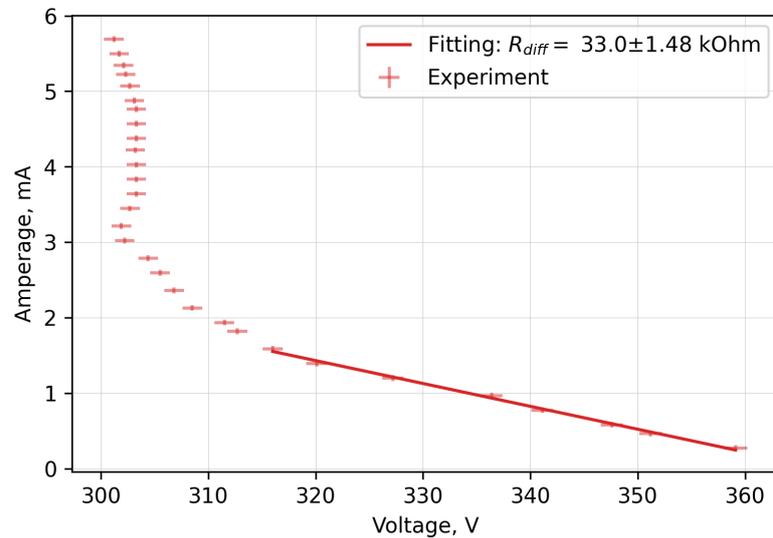


Рисунок 2.1 — ВАХ разряда

По наклону того участка кривой, который приближен к линии, находим максимальное дифференциальное сопротивление разряда $R_{\text{диф}}$ (обратный коэффициент прямой):

$$R_{\text{диф}} = \frac{dU}{dI} = 33.0 \pm 1.5 \text{ кОм} \quad (2.1)$$

Сравнивая полученную кривую с рисунком 2.2 мы приходим к выводу, что состояние будет называться *поднормальным тлеющим зарядом* (участок ГД). Полное описание есть на стр. 283 практикума [1].

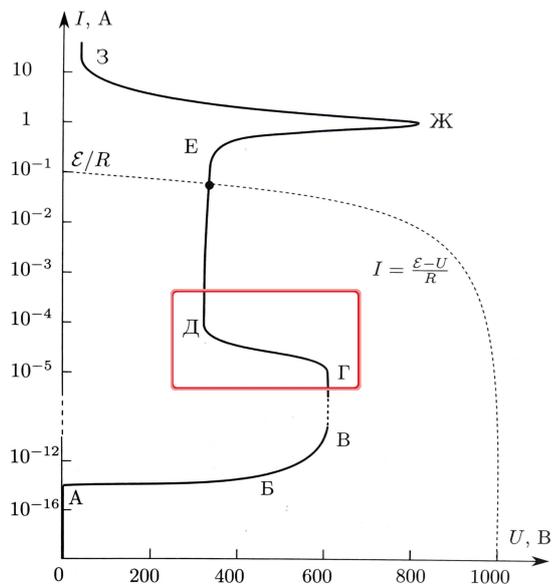


Рисунок 2.2 — Вольт-амперная характеристика разряда в неоне при давлении 1 торр. Пунктиром изображён пример нагрузочной прямой, соответствующей режиму нормального тлеющего разряда.

2.2 Исследование зондовых характеристик

Построим зондовые характеристики для разных токов и отцентрируем кривые:

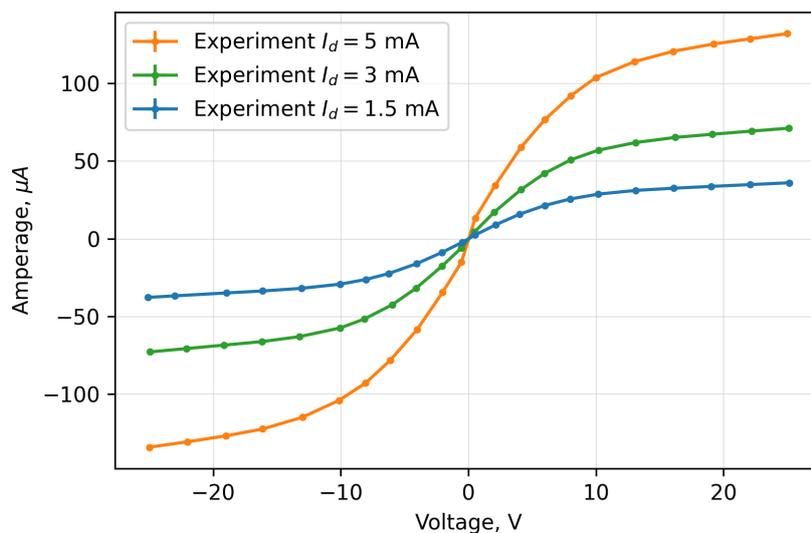


Рисунок 2.3 — ВАХ двойного зонда

Определим асимптоты:

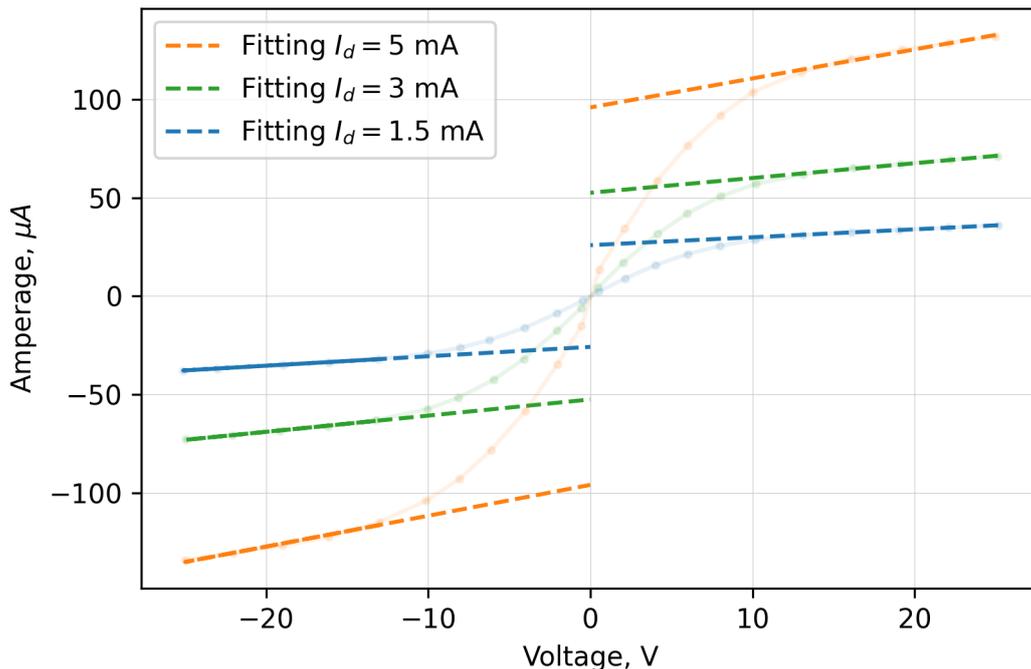


Рисунок 2.4 — Асимптоты ВАХ зондов

И по точкам пересечения асимптот с осью ординат найдём ионный ток насыщения:

$$I_{iH}^{5B} = 95.8 \pm 0.5 \text{ мкА},$$

$$I_{iH}^{3B} = 52.5 \pm 0.2 \text{ мкА},$$

$$I_{iH}^{1.5B} = 25.9 \pm 0.1 \text{ мкА}.$$

Используя полученные данные вычислим электронную температуру T_e , концентрацию электронов n_e , частоту собственных продольных колебаний пространственного заряда в однородной плазме в отсутствие магнитного поля – ленгмюровскую частоту колебаний электронов ω_p , расстояние, на которое распространяется действие электрического поля отдельного заряда в квазинейтральной среде – дебаевский радиус r_D , среднее число ионов в дебаевской сфере N_D и долю ионизованных атомов α для различных значений тока разряда:

I_p , mA	T_e , 10^5 K	n_e , 10^{16} m $^{-3}$	ω_p , 10^5 рад/с	r_D , 10^{-4} см	N_D	α , 10^{-7}
5.0	4.1 ± 0.4	5.8 ± 0.6	14.4 ± 1.0	4.9 ± 0.3	30	24
3.0	4.2 ± 0.4	3.3 ± 0.4	10.7 ± 0.9	6.6 ± 0.5	40	13
1.5	4.1 ± 0.6	1.62 ± 0.21	7.5 ± 0.8	9.4 ± 1.0	57	7

Таблица 2.1 — Параметры плазмы для различных значений тока разряда I_p .

Заключение

Исследовав ВАХ разряда, мы пришли к выводу, что плазма находилась в состоянии поднормального тлеющего заряда.

При исследовании зондовых характеристик удалось выяснить, что плазма идеальна (энергия кулоновского взаимодействия много меньше тепловой) и квазинейтральна (суммарный заряд в любом малом по сравнению с размерами системы объёме равен нулю).

Полученные в результате обработки экспериментальных данных характеристики плазмы позволяют достаточно точно описать её поведение не только в рамках эксперимента, но и в других исследовательских задачах, использующих плазму в подобных условиях.

Список использованных источников

1. М.Г., Никулин. Лабораторный практикум по общей физике: учеб. пособие. В трёх томах. Т. 2. Электричество и магнетизм / Никулин М.Г., Попов П.В., Нозик А.А. — Москва: МФТИ, 2019. — 370 с.