

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3.5.1

**Изучение плазмы газового разряда в
неоне.**

выполнила студентка группы Б04-108

Брюквина Дарья

Долгопрудный, 2022 г.

1 Аннотация

В данной работе исследовались основные характеристики плазмы неона. Для этого была получена вольтамперная характеристика тлеющего разряда, на основе которой были вычислены температура электронов, дебаевский радиус плазмы, характерная частота дебаевских колебаний и среднее количество ионизированных атомов в сфере с дебаевским радиусом. На основе полученных данных сделаны выводы о характере изучаемой плазмы.

2 Введение

Одним из важных направлений изучения сильно ионизированного газа является изучение явления проводимости в плазме. Известно, что сильно ионизированный газ проводит электрический ток по закону, отличному от классического описания проводимости газа с малым количеством заряженных частиц. Для того, чтобы получить концентрацию и температуру электронов в плазме, а так же ряд других параметров необходимо снять вольт-амперную характеристику тлеющего разряда и зондовые характеристики при разных токах разряда. Целью данной работы было изучение вольт-амперной характеристики тлеющего разряда и изучение свойств плазмы методом зондовых характеристик.

3 Методика

Для описания поведения плазмы рассмотрим модельную ситуацию: выделим в нейтральной плазме некоторый объем параллелепипеда. Считая, что концентрация ионов в плазме равно n_e и численно равна концентрации электронов. Если в данном параллелепипеде сдвинуть на небольшое расстояние все электроны, считая ионы при этом неподвижными, возникнет возвращающая сила, зависящая от расстояния, на которое отвели электроны. Тогда закон изменения возвращающей силы имеет следующий вид:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{eE}{m} = -\frac{4\pi n_e e^2}{m} \Delta x, \quad (1)$$

откуда видно, что полученное уравнение описывает гармонические колебания с частотой

$$\omega_p = \sqrt{\frac{4\pi n_e e^2}{m_e}}, \quad (2)$$

которую называют плазменной.

При возбуждении плазменных колебаний за счет теплового движения амплитуду колебаний можно описать следующим образом:

$$r_D = \sqrt{\frac{kT_i}{4\pi n_e e^2}}. \quad (3)$$

Данную называют дебаевским радиусом.

При погружении в плазму проводника, он подвергается "бомбардировке" со стороны заряженных частиц, составляющих плазму. Поскольку электроны двигаются гораздо быстрее ионов, внесенный проводник зарядится отрицательно до потенциала $-U_f$ - называемым плавающим потенциалом. Считая, что при внесении проводника в плазму его потенциал был U_f можно найти ионные и электронные токи:

$$I_{e0} = \frac{nv_e}{4} eS, I_{i0} = \frac{nv_i}{4} eS, \quad (4)$$

откуда, согласно закону распределения Больцмана, следует

$$I_e = I_{e0} \exp\left(\frac{eU_f}{k_B T_e}\right). \quad (4)$$

При внесении в плазму системы из двух проводников одинакового размера, соединенных последовательно, зависимость проходящего через систему тока от подаваемого на зонды малого напряжения выражается по следующей формуле, используемой в данной работе:

$$I = I_{\text{ин}} \tanh \frac{eU}{2k_B T_e}. \quad (5)$$

Для установления зависимости тока от напряжения, на основе которой, по приведенным выше формулам, выражаются характеристики плазмы, была использована экспериментальная установка, в состав которой входили стеклянная газоразрядная трубка, имеющая холодный (ненакаливаемый) полый катод, три анода и геттерный узел — стеклянный баллон, на внутреннюю поверхность которого была напылена газопоглощающая плёнка (геттер). Газоразрядная трубка была наполнена изотопом неона ^{22}Ne при давлении $p = 2$ ммрт.ст.

Катод и один из анодов (I или II) с помощью переключателя Π_1 подключались через балластный резистор $R_6 \approx 450$ кОм к регулируемому высоковольтному источнику питания (ВИП) с выходным напряжением до 3кВ.

Ток разряда измерялся миллиамперметром A_1 , а падение напряжения на разрядной трубке — цифровым вольтметром V_1 подключённым к трубке через высокоомный делитель напряжения с коэффициентом $(R_1 + R_2)/R_2$.

Зонды были изготовлены из молибденовой проволоки диаметром $d = 0,2$ мм и имели длину $l = 5,2$ мм, и были подключены к источнику питания (0–30В) через потенциометр R .

Величина напряжения на зондах измерялась с помощью дискретного переключателя V выходного напряжения источника питания и потенциометра R . Для измерения зондового тока используется микроамперметр A_2 .

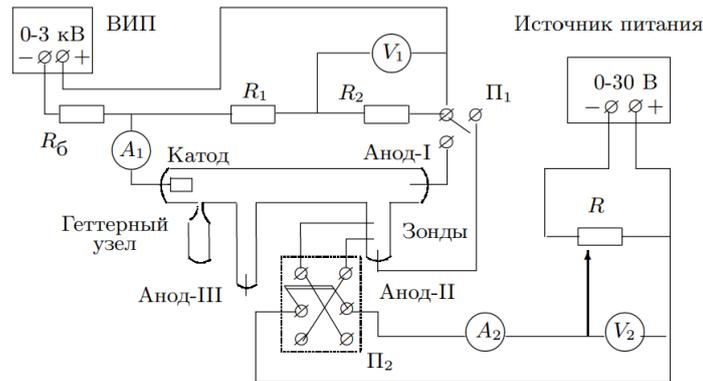


Рисунок 1. Схема используемой экспериментальной установки. На схеме: ВИП - высоковольтный источник питания, V - дискретный переключатель напряжения на зондах, V_1 - вольтметр, измеряющий падение напряжения на трубке, V_2 - вольтметр, измеряющий напряжение на зондах. A_1 - амперметр для измерения тока разряда, A_2 - амперметр для измерения зондового тока. Π_1 и Π_2 - переключатели, R_6 - балластный резистор, $R_1 - R_2$ - делитель напряжения, R - потенциометр.

4 Результаты и их обсуждения

В первой части работы была определена зависимость $\ln I_p(U_p)$. Данная зависимость оказалась линейной, что подтверждает справедливость использования закона распределения Больцмана в формуле 4.

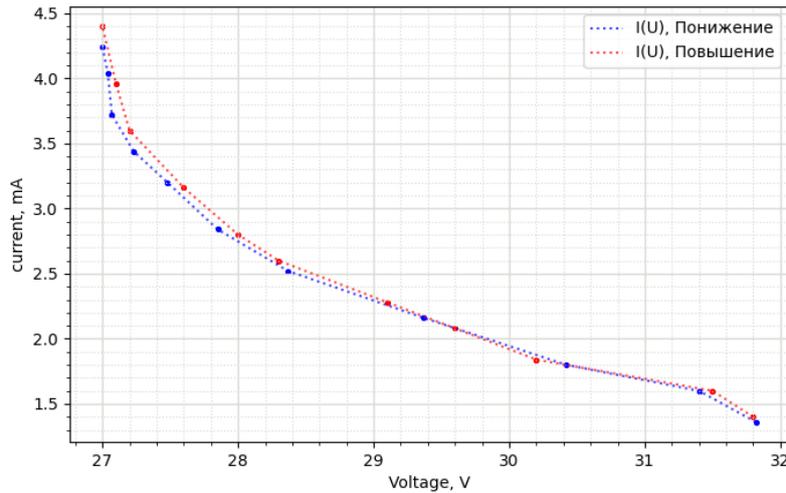


Рисунок 3. График зависимости $I_p(U_p)$. Красным цветом - ВАХ при повышении значений напряжения, Синим цветом - ВАХ при понижении напряжения

Во второй части работы определялась вольтамперная характеристика двойного зонда при различных токах заряда.

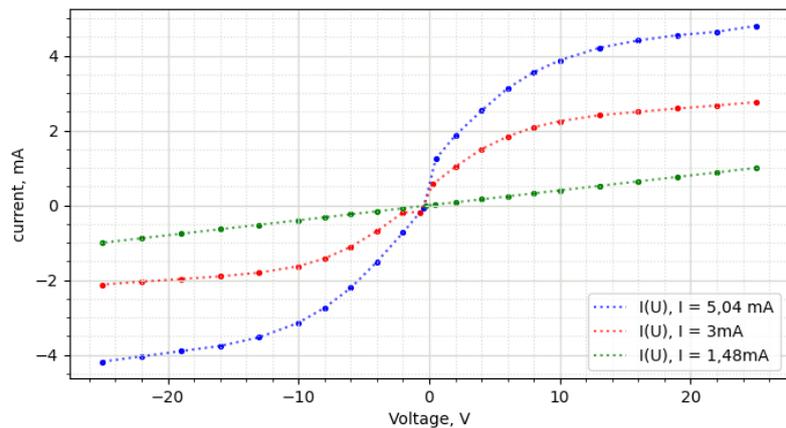


Рисунок 3. График зависимости $I(U)$ при различных токах разряда I . Зеленым цветом - ВАХ при токе разряда $I = 1,48 \text{ mA}$, Красным цветом - ВАХ при токе разряда $I = 3 \text{ mA}$, Синим цветом - ВАХ при токе разряда $I = 5,4 \text{ mA}$,

Получившиеся зависимости имеют линейные участки вблизи нуля, что показывает, что при напряжении на зондах близкому к плавающему потенциалу, ток становится подавляюще ионным или электронным.

Также получившиеся зависимости имеют явные асимптоты, соответствующие токам насыщения.

По полученным графикам зависимостей были найдены коэффициенты наклонов касательных в точке $U = 0$ для различных значений тока разряда, а так же приблизительно посчитаны асимптоты к тем же графикам.

Используя приближение формулы 4

$$k_6 T_e = \frac{1}{2} \frac{e I_{in}}{\left. \frac{dI}{dU} \right|_{U=0}},$$

получим значение температуры электронов, которое оказалось равным для всех значений токов разряда и оказалось численно равным $T_e = 5,4 \pm 0,1 \text{ эВ}$.

Из формулы 4, 2 и 3 были найдены значения частот гармонических колебаний:

$$\omega_p(I_p = 5,04\text{мА}) = 1,40 \cdot 10^6 \pm 0,02 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1};$$

$$\omega_p(I_p = 3,00\text{мА}) = 1,12 \cdot 10^6 \pm 0,02 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1};$$

$$\omega_p(I_p = 1,48\text{мА}) = 0,60 \cdot 10^6 \pm 0,02 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}.$$

Аналогично были найдены значения дебаевских радиусов для разных токов разряды:

$$r_d(I_p = 5,04\text{мА}) = 5,1 \cdot 10^{-4} \pm 0,1 \cdot 10^{-4} \text{ см};$$

$$r_d(I_p = 3,00\text{мА}) = 6,9 \cdot 10^{-4} \pm 0,1 \cdot 10^{-4} \text{ см};$$

$$r_d(I_p = 1,48\text{мА}) = 9,7 \cdot 10^{-4} \pm 0,1 \cdot 10^{-4} \text{ см}.$$

Последний найденный параметр - количество частиц в дебаевском радиусе, которое находилось по формуле $N_D = 4/3\pi n_i r_D^3$, и для 3х различных токов разряда было равным:

$$N_d(I_p = 5,04\text{мА}) = 32;$$

$$N_d(I_p = 3,00\text{мА}) = 41;$$

$$N_d(I_p = 1,48\text{мА}) = 56.$$

Поскольку $N_d \gg 1$, следовательно можно сделать вывод о том, что исследуемую плазму можно считать идеальной с удовлетворительной точностью.

5 Выводы

В результате настоящей работы исследована плазма неона. Было экспериментально подтверждено теоретическое предположение о характере поведения тока в плазме, а так же найдены основные характеристики плазмы неона, на основе которых был сделан вывод о том, что исследуемая плазма была идеальной с достаточной точностью.