

Московский физико-технический институт

Лабораторная работа № 3.5.1.  
Изучение плазмы газового разряда в неоне.



Осипов Егор. Б03-005  
22.09.2021  
г. Долгопрудный

# Содержание

<b>1</b>	<b>Подготовка к работе.</b>	<b>2</b>
1.1	Экспериментальная установка. . . . .	2
<b>2</b>	<b>Задача.</b>	<b>3</b>
2.1	Предполагаемый ход выполнения. . . . .	3
2.2	Заметки по теории. . . . .	3
2.3	Формулы, которые могут понадобиться. . . . .	4
<b>3</b>	<b>Результаты эксперимента и их обработка.</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Вывод.</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Вывод</b>	<b>7</b>

**Цель работы:** изучение вольт-амперной характеристики газового тлеющего разряда; изучение свойств плазмы методом зондовых характеристик.

**В работе используется:** стеклянная газоразрядная трубка, наполненная изотопом неона, высоковольтный источник питания, источник питания постоянного тока, делитель напряжения, резистор, потенциометр, амперметр, вольтметры, переключатель.

## 1 Подготовка к работе.

### 1.1 Экспериментальная установка.

Схема установки приведена на рисунке (1.1). Стеклянная газоразрядная трубка имеет холодный (ненакаливаемый) полый катод, три анода и *геттерный узел* - стеклянный баллон, на внутреннюю поверхность которого напылена газопоглощающая пленка (*геттер*). Трубка наполнена изотопом неона  $^{22}\text{Ne}$  при давлении 2 мм.рт.ст. Катод и один из анодов (**I** или **II**) с помощью переключателя  $\Pi_1$  подключаются через балластный резистор  $R_6 \simeq 450\text{кОм}$  к регулярному высоковольтному источнику питания (ВИП) с выходным напряжением до 3 кВ.

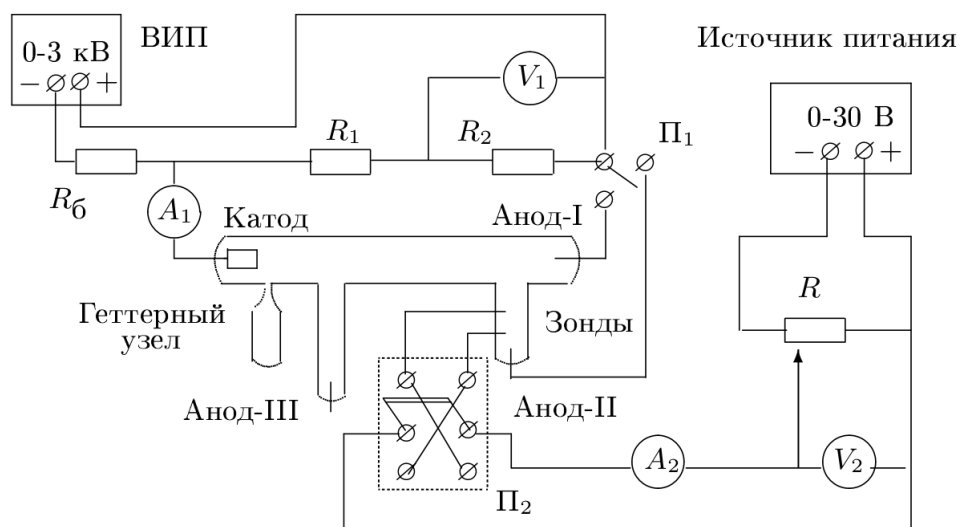


Рис. 1: Схема установки для исследования газового разряда.

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  $V_1$ , подключенный к трубке через высокоомный (25 МОм) делитель напряжений с коэффициентом  $(R_1 + R_2)/R_2 = 10$ .

При подключении к ВИП анода **II** разряд возникает между катодом и анодом **II**, где находится двойной зонд, используемый для диагностики

плазмы положительного столба. Зонды изготовлены из молибденовой проволоки диаметром  $d = 0.2\text{мм}$  и имеют длину  $l = 5.2\text{мм}$ . Они подключены к источнику питания через потенциометр **Р**. Переключатель **П<sub>2</sub>** позволяет изменять полярность напряжений на зондах. Величина напряжений на них изменяется с помощью дискретного переключателя «**V**» выходного напряжения источника питания и потенциометра **Р** и измеряется вольтметром **V<sub>2</sub>**. Для измерения зондового тока используется микроамперметр **A<sub>2</sub>**.

Анод-**III** в работе не используется.

## 2 Задача.

### 2.1 Предполагаемый ход выполнения.

В работе предлагается снять вольт-амперную характеристику тлеющего разряда и зондовые характеристики при разных токах разряда и по результатам измерений рассчитать концентрацию и температуру электронов в плазме, степень ионизации, плазменную частоту и дебаевский радиус экранирования.

1. Снимем вольт-амперную характеристику разряда. Для этого: установим переключатель **П<sub>1</sub>** в положение «Анод-**I**»; ручку регулировки входного напряжения ВИП - на минимум; включим ВИП в сеть. Плавно увеличивая выходное напряжение ВИП, определим напряжение зажигания разряда, снимем зависимость напряжения  $U_1$  на разрядной трубке от протекающего в ней тока  $I_p$ . Ток разряда изменяем в диапазон от 0.5 до 5 мА.

2. Снимем зондовые характеристики. Уменьшим напряжение ВИП до 0, переведем переключатель **П<sub>1</sub>** в положение «Анод-**II**» и будем плавно увеличивать напряжение ВИП до возникновения разряда. Установим разрядный ток  $I_p = 1\text{мА}$ . Включим источник питания постоянного тока Б5-47 и снимем вольт-амперную характеристику двойного разряда  $I = f(U)$ . Повторим измерения при другой полярности (переключатель **П<sub>2</sub>**).

Повторим измерения зондовых характеристик при токах разряда равных 2, 3, 4 и 5 мА.

### 2.2 Заметки по теории.

Дебаевский радиус характеризует экранирование ионов электронами, в следствии чего потенциал исчисляется по формуле (1).

**Плазмой называется ионизированный газ, дебаевский радиус которого  $r_D$  существенно меньше характерного размера  $l$  объема, занимаемого этим газом.**

$N_D$  - число частиц в дебаевской сфере. Для плазмы газового разряда это примерно  $10^4$ . Формула (2).

Плазменная (**ленгмюровская**) частота получается из смещения электронов относительно ионов в воображаемом параллелепипеде. **Это время отклика на флуктуацию заряда в плазме.** В таком случае дебаевская частота – это амплитуда ленгмюровских колебаний плазмы.

## 2.3 Формулы, которые могут понадобиться.

$$\varphi = \frac{Ze}{r} e^{-r/r_D} \quad (1)$$

$$N_D \approx n \frac{4}{3} \pi r_D^3 \approx 0.1 \frac{(kT_e)^{3/2}}{n^{1/2} e^3} \quad (2)$$

$$kT_e = \frac{1}{2} \frac{eI_{iH}}{\left. \frac{dI}{dU} \right|_{U=0}} \quad (3)$$

$$I_{iH} = 0.4 n_e e S \sqrt{\frac{2kT_e}{m_i}} \quad (4)$$

$$\omega_p = \sqrt{\frac{n_e e^2}{\epsilon_0 m_e}} \quad (5)$$

Дебаевский радиус  $r_d$

$$r_d = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k T_i}{n e^2}} \quad (6)$$

## 3 Результаты эксперимента и их обработка.

Приведем таблицу зависимости вольт-амперной характеристики заряда

Таблица 1: Вольт-амперная характеристика разряда.

U В	30.93	30.59	30.35	30.25	30.42	30.31	31.46	34.19	36.71
I мА	2.09	2.61	3.37	5.11	4.45	3.17	1.70	0.74	0.17

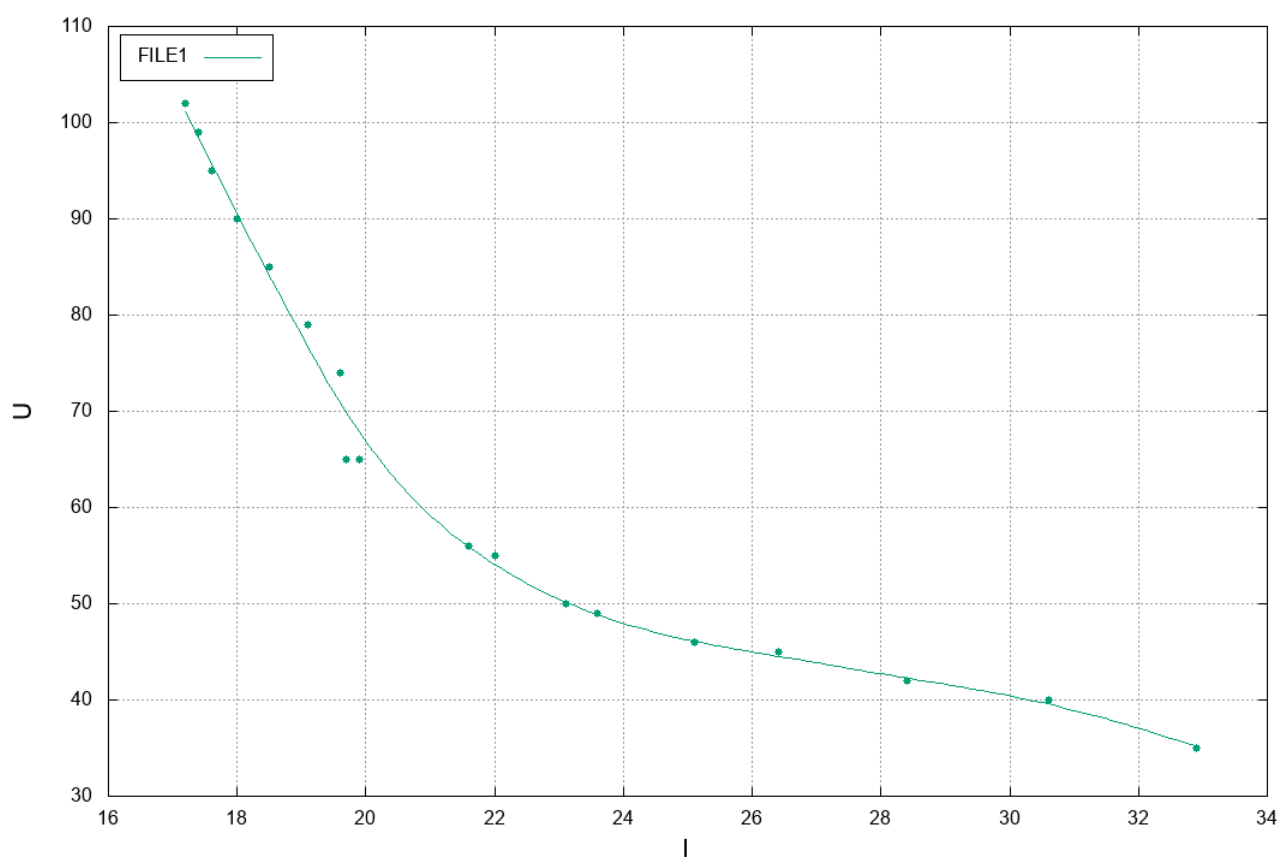


Рис. 2: Вольт-амперная характеристика разряда.

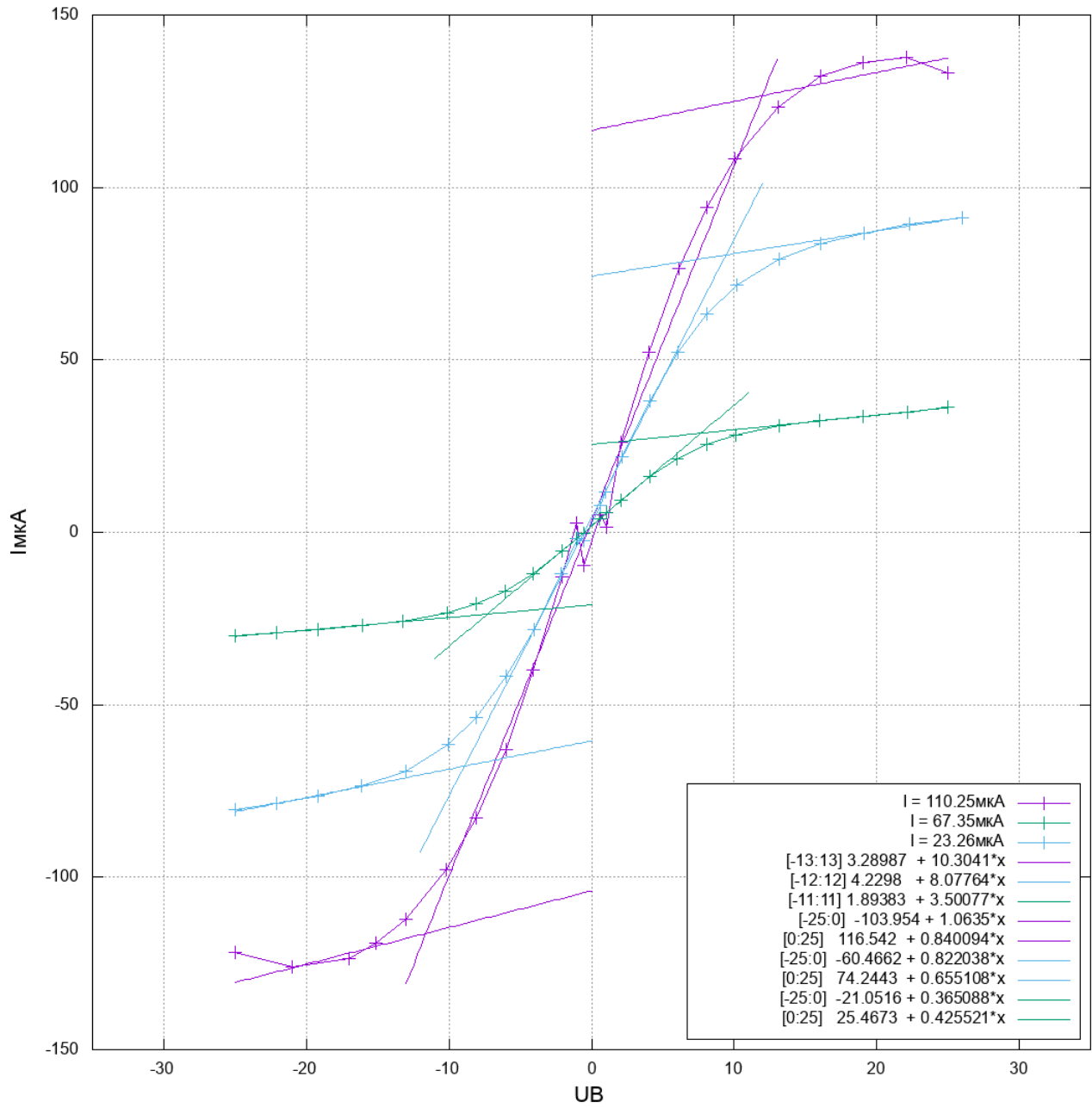


Рис. 3: Зондовые характеристики.

Рассчитаем температуру электронов в электрон-вольтах, концентрацию электронов, плазменную частоту колебаний, дебаевский радиус и число электронов в дебаевской сфере по формулам:

$$kT_e = \frac{1}{2} \cdot \frac{eI_{iH}}{\frac{\delta I}{\delta U}|_{U=0}} \quad n_e = \frac{I_{iH}}{0.4eS} \sqrt{\frac{m_i}{2kT_e}} \quad \omega_p = \sqrt{\frac{n_e e^2}{\varepsilon_0 m_e}} \quad (7)$$

$$r_D = \sqrt{\frac{\varepsilon_0 kT_e}{ne^2}} \quad N_D = \frac{4}{3} n \pi r_D^3 \quad (8)$$

Таблица 2: Расчетные величины.

	$kT_e \cdot 10^{-6}$	$n_e \cdot 10^{-6}$	$\omega_p \cdot 10^{-4}$	$r_D \cdot 10^{12}$	$N_D \cdot 10^{-16}$
(1)	5.35	1.55	6.94	3.83	3.67
(2)	4.17	1.07	5.78	4.60	4.41
(3)	3.32	4.17	3.59	7.40	7.09

## 4 Вывод

Исследован спектр сигнала переодической последовательности прямоугольных импульсов, переодической последовательности цугов и сигнала, промодулированного по амплитуде. Установлены качественные изменения картин спектров при изменении параметров колебаний.