

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.5.1

Изучение плазмы газового разряда в неоне

Пилюгин Л. С.

Б02-212

Победин Н. К.

Б02-212

1 октября 2023 г.

1 Аннотация

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

Оборудование: стеклянная газоразрядная трубка, наполненная неоном; высоковольтный источник питания; источник питания постоянного тока; делитель напряжения; потенциометр; амперметры; вольтметры; переключатели.

2 Оборудование

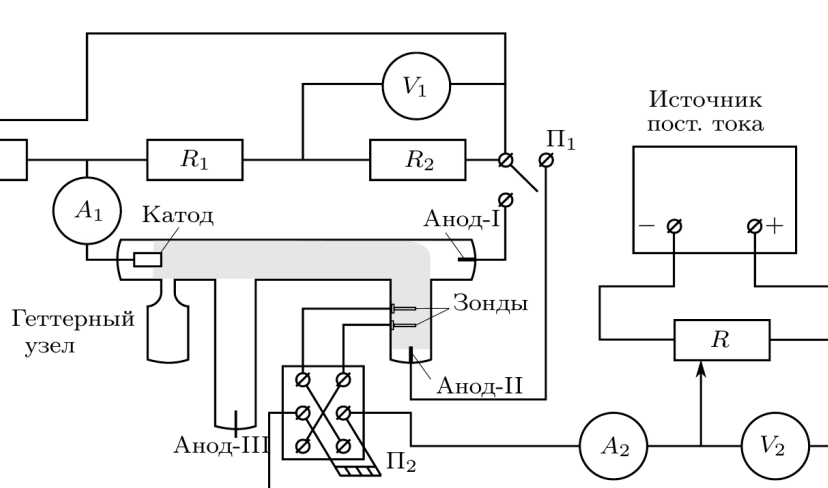


Схема установки приведена на рисунке. Стеклянная газоразрядная трубка имеет холодный полый катод, три анода и геттерный узел — стеклянный баллон, на внутреннюю поверхность которого напылена газопоглощающая плёнка (геттер). Трубка наполнена изотопом неона ^{22}Ne при давлении 2 мм рт.ст. Катод и один из анодов с помощью выключателя Π_1 подключаются через балластный резистор $R_6 \approx 500 \text{ КОм}$ к регулируемому высоковольтному источнику питания (ВИП) с выходным напряжением до нескольких киловольт.

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 — вольтметром V_1 , подключённым к трубке через высоковольтный (несколько МОм) делитель напряжения с коэффициентом $(R_1 + R_2) / R_2$.

При подключении к ВИП анода-II разряд возникает в пространстве между катодом и анодом-II, где находится двойной зонд, используемый для диагностики плазмы положительного столба. Зонды изготовлены из молибденовой проволоки диаметром d и имеют длину l . Они подключены к 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 вольтметром V_2 . Для измерения зондового тока используется микроамперметр A_2 . Анод-III в работе не используется.

3 Результаты измерений

$$U_{\text{зак}} = 2180 \pm 10 \text{ В}$$

Таблица 1. ВАХ

U , В	I , мА
$34,30 \pm 0,10$	$(528,7 \pm 1,5) \cdot 10^{-3}$
$33,07 \pm 0,10$	$(796 \pm 2) \cdot 10^{-3}$
$32,25 \pm 0,10$	$(1105 \pm 3) \cdot 10^{-3}$
$31,70 \pm 0,10$	$(1412 \pm 3) \cdot 10^{-3}$
$31,05 \pm 0,09$	$(1713 \pm 4) \cdot 10^{-3}$
$28,03 \pm 0,08$	$(2007 \pm 4) \cdot 10^{-3}$
$23,62 \pm 0,07$	$(2319 \pm 5) \cdot 10^{-3}$
$21,11 \pm 0,06$	$(2694 \pm 6) \cdot 10^{-3}$
$19,27 \pm 0,06$	$(2904 \pm 6) \cdot 10^{-3}$
$17,80 \pm 0,05$	$(3201 \pm 7) \cdot 10^{-3}$
$16,73 \pm 0,05$	$(3495 \pm 7) \cdot 10^{-3}$
$16,18 \pm 0,05$	$(3806 \pm 8) \cdot 10^{-3}$
$15,63 \pm 0,05$	$(4094 \pm 9) \cdot 10^{-3}$
$15,13 \pm 0,05$	$(4393 \pm 9) \cdot 10^{-3}$
$14,52 \pm 0,04$	$4,711 \pm 0,010$
$14,05 \pm 0,04$	$4,992 \pm 0,010$
$14,46 \pm 0,04$	$4,707 \pm 0,010$
$15,00 \pm 0,05$	$(4408 \pm 9) \cdot 10^{-3}$
$15,45 \pm 0,05$	$(4095 \pm 9) \cdot 10^{-3}$
$15,97 \pm 0,05$	$(3750 \pm 8) \cdot 10^{-3}$
$16,55 \pm 0,05$	$(3510 \pm 7) \cdot 10^{-3}$
$17,69 \pm 0,05$	$(3200 \pm 7) \cdot 10^{-3}$
$19,18 \pm 0,06$	$(2898 \pm 6) \cdot 10^{-3}$
$21,10 \pm 0,06$	$(2585 \pm 6) \cdot 10^{-3}$
$23,76 \pm 0,07$	$(2283 \pm 5) \cdot 10^{-3}$
$27,69 \pm 0,08$	$(2006 \pm 4) \cdot 10^{-3}$
$31,11 \pm 0,09$	$(1682 \pm 4) \cdot 10^{-3}$
$31,67 \pm 0,10$	$(1410 \pm 3) \cdot 10^{-3}$
$32,22 \pm 0,10$	$(1102 \pm 3) \cdot 10^{-3}$
$33,04 \pm 0,10$	$(804 \pm 2) \cdot 10^{-3}$
$34,47 \pm 0,10$	$(496,8 \pm 1,4) \cdot 10^{-3}$

Этот участок ВАХ соответствует участку ДГ.

$$R_{\max} = (-141 \pm 9) \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

$$I_{1,5\text{нл}} = 18,63 \pm 0,07 \text{ мкА}$$

$$I_{1,5\text{нп}} = (-23543,3 \pm 1,5) \cdot 10^{-3} \text{ мкА}$$

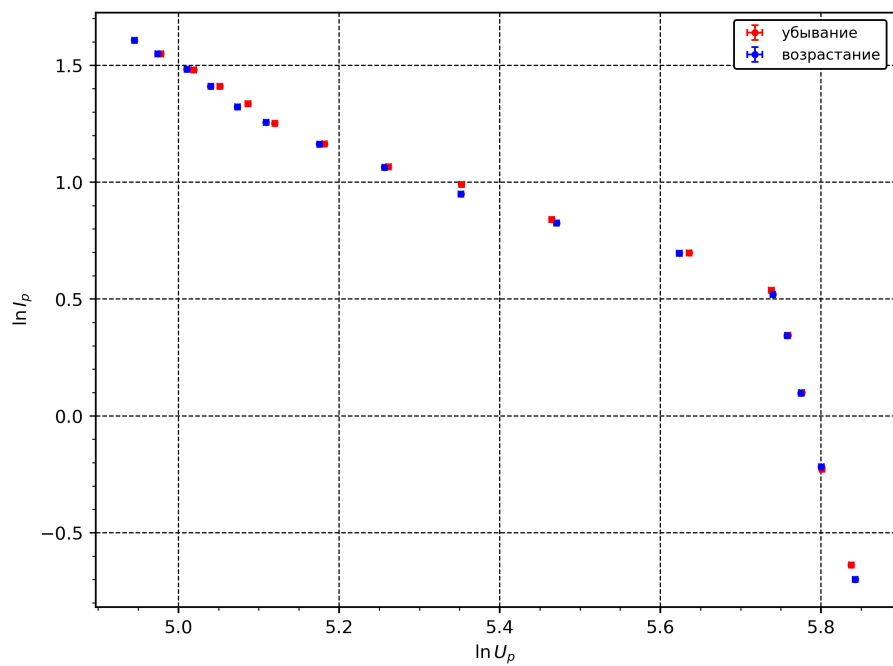
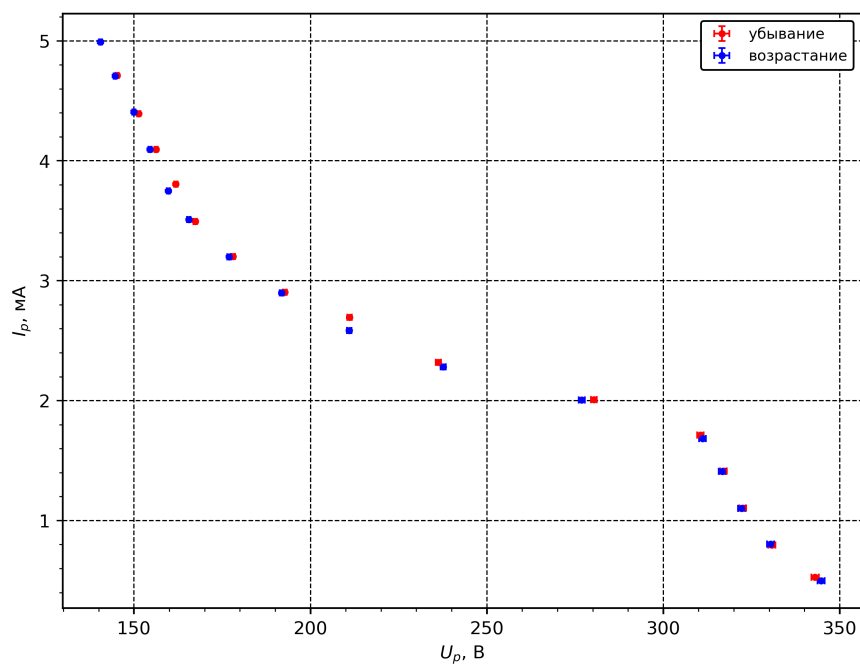
$$I_{3\text{нл}} = -47,1 \pm 0,7 \text{ мкА}$$

$$I_{3\text{нп}} = 38,47 \pm 0,03 \text{ мкА}$$

$$I_{5\text{нл}} = 58 \pm 2 \text{ мкА}$$

$$I_{5\text{нп}} = -64,4 \pm 0,8 \text{ мкА}$$

$$I_{1,5\text{н}} = 21 \pm 2 \text{ мкА}$$

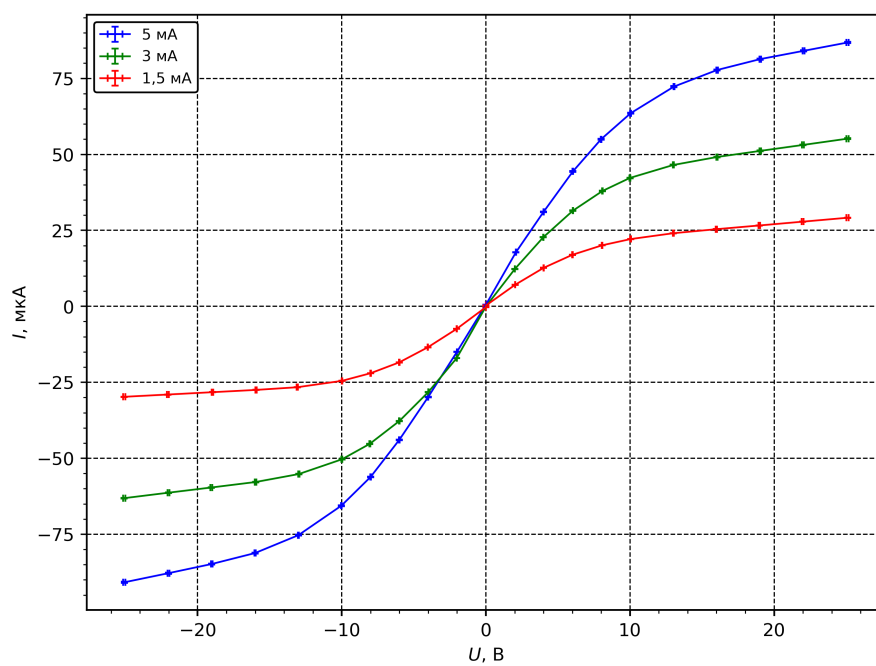
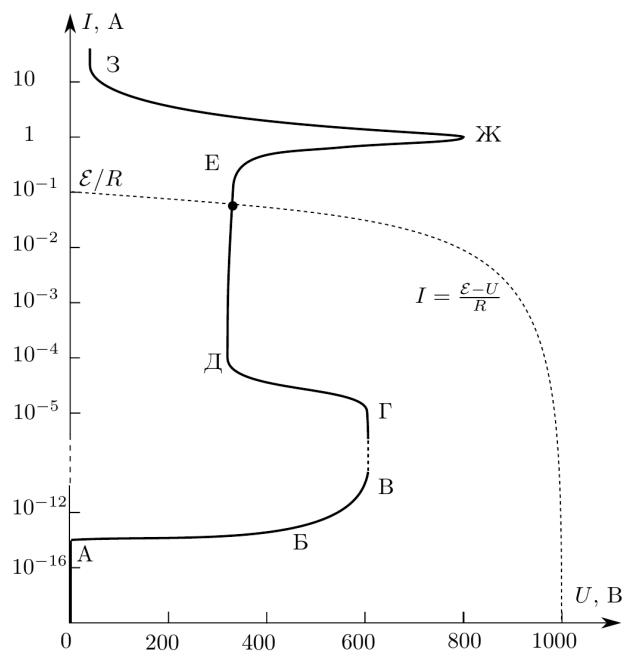


$$I_{3H} = 43 \pm 4 \text{ мкА}$$

$$I_{5H} = 61 \pm 3 \text{ мкА}$$

$$\frac{dI}{dU_{1,5}} = 3,63 \pm 0,09 \text{ мкА/В}$$

$$\frac{dI}{dU_3} = 5,8 \pm 0,2 \text{ мкА/В}$$



$$\frac{dI}{dU_5} = 8,0 \pm 0,2 \text{ mA/B}$$

$$n_e = \frac{2,5I_H}{e\pi dl \sqrt{\frac{2kT_e}{m_i}}}$$

$$T_e = \frac{eI_H}{2k \frac{dI}{dU}}$$

$$w_p = \sqrt{\frac{4\pi n_e e^2}{m_e}}$$

$$\begin{aligned}
r_{De} &= \sqrt{\frac{kT_e}{4\pi n_e e^2}} \\
r_D &= \sqrt{\frac{kT_i}{4\pi n_e e^2}} \\
N_D &= \frac{4}{3}\pi r_D^3 n_i \\
\alpha &= n_e/n \\
P &= nkT \\
T_{e1,5} &= (34 \pm 4) \cdot 10^3 \text{ K} \\
T_{e3} &= (43 \pm 5) \cdot 10^3 \text{ K} \\
T_{e5} &= (45 \pm 3) \cdot 10^3 \text{ K} \\
n_{15} &= (19,9 \pm 1,2) \cdot 10^{15} \text{ м}^{-3} \\
n_3 &= (36 \pm 2) \cdot 10^{15} \text{ м}^{-3} \\
n_5 &= (50,3 \pm 1,4) \cdot 10^{15} \text{ м}^{-3} \\
\omega_{1,5} &= (79 \pm 2) \cdot 10^8 \text{ с}^{-1} \\
\omega_3 &= (106 \pm 3) \cdot 10^8 \text{ с}^{-1} \\
\omega_5 &= (126 \pm 2) \cdot 10^8 \text{ с}^{-1} \\
r_{De1,5} &= (85 \pm 3) \cdot 10^{-5} \text{ см} \\
r_{De3} &= (71 \pm 3) \cdot 10^{-5} \text{ см} \\
r_{De5} &= (61,5 \pm 1,2) \cdot 10^{-5} \text{ см} \\
r_{D1,5} &= (205 \pm 6) \cdot 10^{-6} \text{ см} \\
r_{D3} &= (152 \pm 4) \cdot 10^{-6} \text{ см} \\
r_{D5} &= (129 \pm 2) \cdot 10^{-6} \text{ см} \\
r_D &\ll 1 \text{ см}
\end{aligned}$$

Поэтому плазма квазинейтральна.

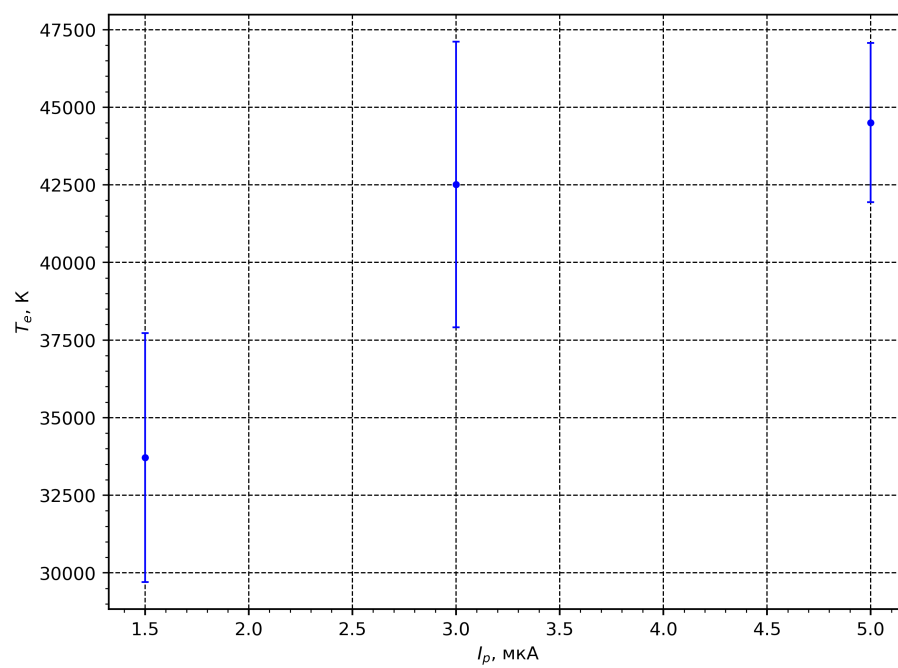
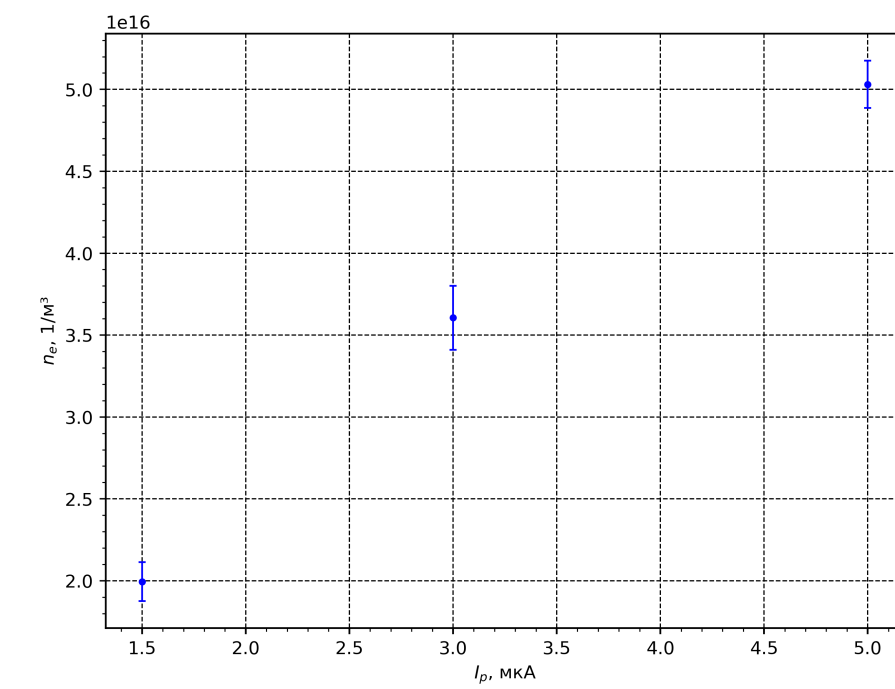
$$\begin{aligned}
N_{1,5} &= 0,72 \pm 0,02 \\
N_3 &= (451 \pm 6) \cdot 10^{-3} \\
N_5 &= 0,533 \pm 0,014 \\
N_D &\approx 1
\end{aligned}$$

поэтому плазма неидеальная.

$$\begin{aligned}
\alpha_{1,5} &= (31 \pm 2) \cdot 10^{-8} \\
\alpha_3 &= (78 \pm 2) \cdot 10^{-8} \\
\alpha_5 &= (56 \pm 3) \cdot 10^{-8}
\end{aligned}$$

Энергия электронов и их концентрация либо одновременно растут, либо одновременно падают (т.к. с ростом энергии растет вероятность того, что электрон ионизирует атом и наоборот). При этом если они одновременно падают, то и ток должен уменьшиться. Поэтому они одновременно растут.

Концентрация электронов от времени растет линейно с хорошей точностью. О виде зависимости энергии электронов от тока говорить сложно из-за больших погрешностей и малого числа точек.



4 Вывод

В работе были изучены ВАХ тлеющего разряда и свойства плазмы методом зондовых характеристик.