

Изучение плазмы газового разряда в неоне.

Дмитрий Павлов, 790

17 декабря 2018 г.

Содержание

1. Вступление.	3
1.1. Цель работы.	3
1.2. Оборудование.	3
1.3. Экспериментальная установка.	3
2. Словарь.	4
3. Практическая часть.	5
3.1. Вольт-амперная характеристика.	5
3.2. Зондовые характеристики.	6
3.3. Рассчитаем плазменную частоту колебаний электронов и дебаевский радиус.	8

1. Вступление.

1.1. Цель работы.

Снять ВАХ тлеющего разряда и зондовые характеристики при различных токах разряда и по результатам измерений рассчитать концентрацию и температуру электронов в плазме, степень ионизации, плазменную частоту и дебаевский радиус экранирования.

1.2. Оборудование.

- Стеклоянная газоразрядная трубка, наполненная изотопом неона;
- Высоковольтный источник питания (ВИП);
- Источник питания постоянного тока;
- Делитель напряжения;
- Потенциометр, амперметры, вольтметры, резистор, переключатели.

1.3. Экспериментальная установка.

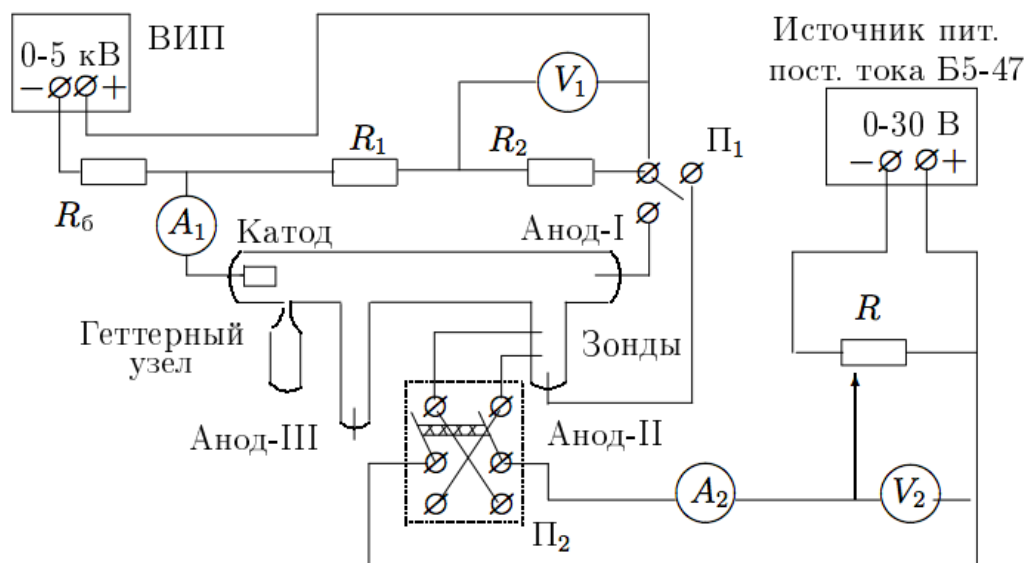


Рис. 1. Схема установки для исследования газового разряда.

Стеклоянная газоразрядная трубка имеет холодный (ненакаливаемый) полный катод, три анода и геттерный узел — стеклоянный баллон, на внутреннюю поверхность которого напылена газопоглощающая пленка (геттер). Трубка наполнена изотопом неона ^{22}Ne при давлении 2 мм рт. ст. Катод и один из анодов (I или II) с помощью переключателя Π_1 подключаются через балластный резистор R_6 (450 кОм) к регулируемому высоковольтному источнику питания (ВИП) с выходным напряжением до 5-ти кВ.

При подключении к ВМП 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 , подключенным к трубке через высокоомный (25 МОм) делитель напряжения с коэффициентом $(R_1 + R_2)/R_2 = 10$.

При подключении к ВИП анода-II возникает в пространстве между катодом и анодом-II, где находится двойной зонд, используемый для диагностики плазмы положительного столба. Зонды изготовлены из молибденовой проволоки диаметром $d = 0.2$ мм и имеют длину $l = 5.2$ мм. Они подключены к источнику питания GPS через потенциометр R . переключатель Π_2 позволяет изменять полярность напряжения на зондах. Величина напряжения на зондах измеряется с помощью дискретного переключателя V выходного напряжения источника питания и потенциометра R , а измеряется цифровым вольтметром V_2 (GDM). Для измерения зондового тока используется мультиметр A_2

2. Словарь.

- 1) Дебаевский радиус — расстояние, на которое распространяется действие электрического поля отдельного заряда в квазинейтральной среде, содержащей свободные положительно и отрицательно заряженные частицы (плазма, электролиты). Вне сферы радиуса дебаевской длины электрическое поле экранируется в результате поляризации окружающей среды.

3. Практическая часть.

3.1. Вольт-амперная характеристика.

	1	2	3	4	5	6	7	8		
U , В	35	33,8	32,7	31	28,7	28,6	27,6	26,6	26	25,7
I , мА	0,52	1,04	1,56	2,12	2,6	3,12	3,64	4,16	4,68	5,2

$$\sigma_I = 0.05 \cdot 10^{-3} \text{ A}, \sigma_U = 0.4 \text{ В}.$$

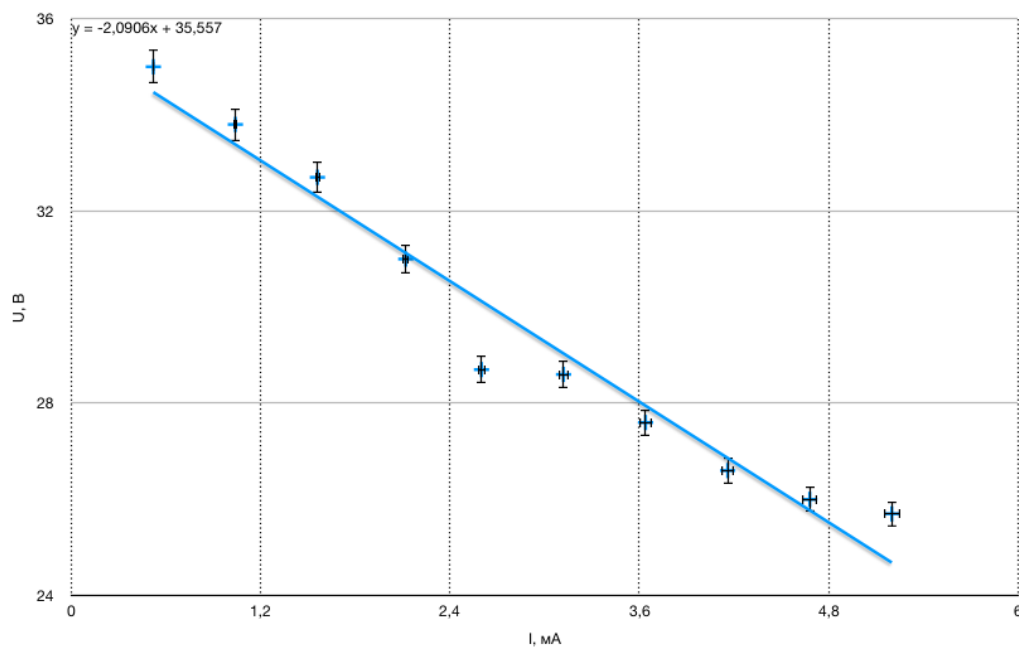


Рис. 2. ВАХ тлеющего разряда.

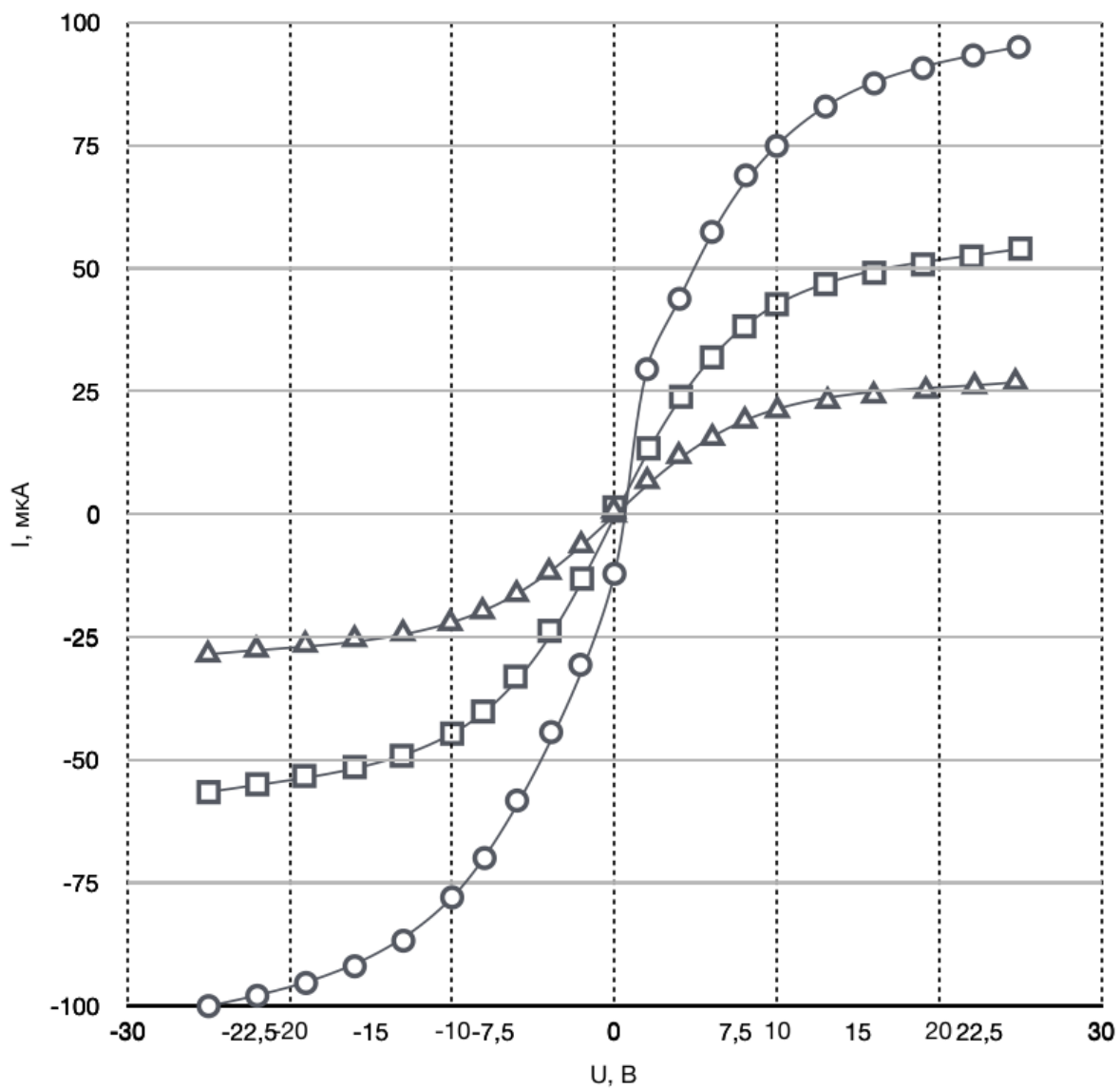
3.2. Зондовые характеристики.

I = 5,2 мА		I = 3,12 мА		I = 1,56 мА	
U_2, В	A_2, мкА	U_2, В	A_2, мкА	U_2, В	A_2, мкА
-25	-100	25	54	-25,04	-28,6
-22	-97,9	22	52,4	-22,06	-27,6
-19	-95,3	19	50,8	-19,05	-26,6
-16	-91,9	16	49,1	-16,01	-25,5
-13	-86,7	13	46,8	-13,03	-24,3
-10	-77,9	10	42,7	-10,12	-22,2
-8	-69,9	8	38,2	-8,13	-19,8
-6	-58,2	6	31,9	-6,03	-16,3
-3,9	-44,3	4,1	23,9	-4,03	-11,8
-2,1	-30,6	2,1	13,4	-2,05	-6,36
0	-12,1	0	1,4	-0,01	-0,14
2	29,5	-2	-13,1	-0,05	0,66
4	43,8	-4	-23,7	2,01	6,7
6	57,4	-6,1	-33	3,96	11,8
8,1	68,9	-8,1	-40,1	6,03	15,5
10	74,9	-10	-44,6	8,03	19
13	82,9	-13,1	-49,1	10,03	21,1
16	87,6	-16	-51,4	13,13	23
19	90,7	-19,1	-53,2	15,97	24,1
22,1	93,3	-22	-54,9	19,18	25,1
24,9	95	-25	-56,5	22,18	26
				24,7	26,8

$$\sigma_I = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ А}, \sigma_U = 0,05 \text{ В}.$$

Зондовые характеристики. Данные снятые с зонда при разных I , по ним построим ВАХ для каждого I . Определим температуру электронов по формуле:

$$kT_e = \frac{1}{2} \frac{eI_{\text{иН}}}{\left. \frac{dI}{dU} \right|_0} \quad (1)$$

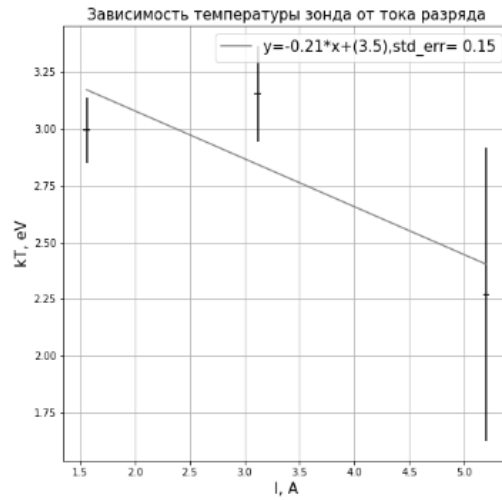


I, mA	kT, eV	σ_{ins}	σ_{std}	σ
5.2	2.3	0.02	0.65	0.7
ε		1%	28%	28%
3.12	3.2	0.05	0.21	0.21
ε		2%	7%	7%
1.56	3.0	0.09	0.11	0.14
ε		3%	4%	5%

Определим концентрацию электронов по формуле Бома:

$$n_e = \frac{I_{\text{iH}}}{0.4eS} \sqrt{\frac{m_e}{2kT}} \quad (2)$$

$$S = \pi \cdot d \cdot l = \pi \cdot 0.9 \text{ мм} \cdot 5.2 \text{ мм}.$$



I, mA	n, M^{-3}	σ
5.2	8	2
3.12	3.8	0.3
1.56	1.83	0.09

3.3. Рассчитаем плазменную частоту колебаний электронов и дебаевский радиус.

$$\omega_p = \sqrt{\frac{4\pi n_e e^2}{m_e}}, \quad (3)$$

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

I, mA	$w_p, \text{c}^{-1} \cdot 10^9$	σ	I, mA	r_D, cm	σ
5.2	16	5	5.2	16	4
3.12	11	0.7	3.12	27.1	1.8
1.56	7.6	0.4	1.56	37.8	1.8

Убедимся, что число частиц $N_D \gg 1$:

$$N_D = n_i \frac{4}{3} \pi r_D^3. \quad (5)$$

I, mA	$N_D, 10^{14}$
5.2	13
3.12	31
1.56	41

Определим относительное число ионов:

I, mA	$\alpha, 10^{-10}$	σ
5.2	33	9
3.12	15	1
1.56	7.6	0.4