

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Отчёт по лабораторной работе 5.2.1
Опыт Франка-Герца

Выполнили студенты:

Сериков Василий Романович

Сериков Алексей Романович

группа: Б03-102

Москва, 2023 г.

Аннотация

Цель работы:

Методом электронного возбуждения измерить энергии первого уровня атома гелия в динамическом и статическом режимах.

Теория

Одним из простых опытов, подтверждающих существование дискретных уровней энергии атомов, является эксперимент Франка и Герца.

Разреженный одноатомный газ заполняет трехэлектродную лампу. Электроны, испускаемые разогретым катодом, ускоряются в постоянном электрическом поле, созданным между катодом и сетчатым анодом лампы. Передвигаясь от катода к аноду, электроны сталкиваются с атомами гелия. Если энергия электрона, налетающего на атом, недостаточна для того, чтобы перевести его в возбуждённое состояние (или ионизовать), то возможны только упругие соударения, при которых электроны почти не теряют энергии, так как их масса в тысячи раз меньше массы атомов.

При увеличении напряжения на электродах увеличивается энергия электронов и оказывается достаточной для возбуждения атомов, при этом ток коллектора резко уменьшается. При дальнейшем увеличении потенциала анода ток коллектора возрастает, электроны, испытавшие неупругие соударения набирают энергию, достаточную для преодоления задерживающего потенциала.

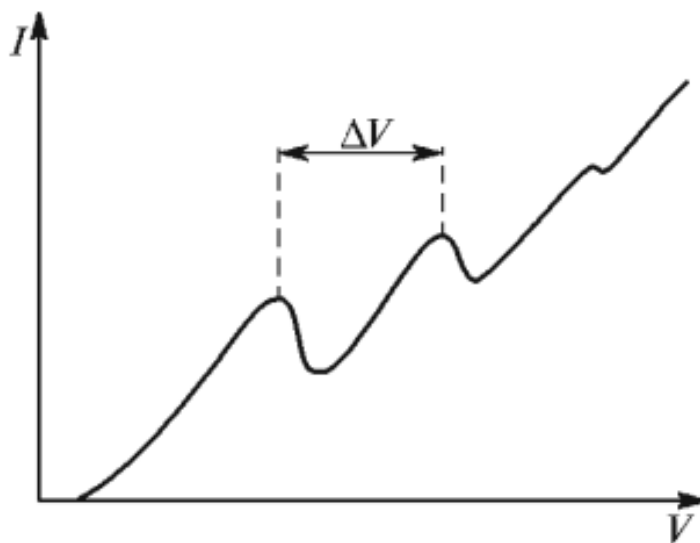


Рис. 1: Схематический вид зависимости тока коллектора от напряжения на аноде

Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки изображена на рис.2

Источником электронов является вольфрамовый катод, нагреваемый переменным током. В качестве анода используется двойная спираль, окружающая катод. Коллектор — полый цилиндр, соосный с катодом и анодом.

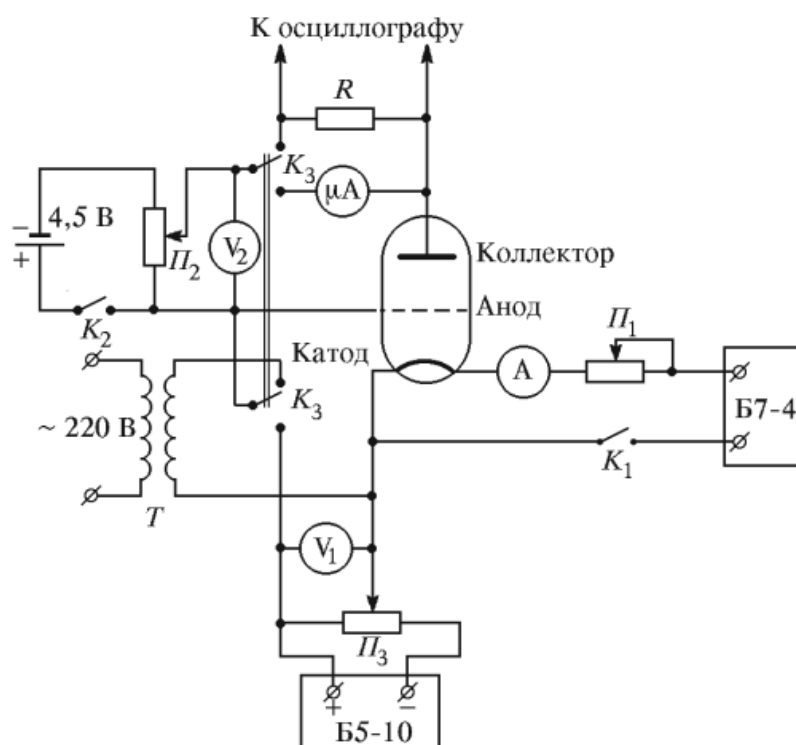


Рис. 2: Схематический вид зависимости тока коллектора от напряжения на аноде

Ход работы:

1. При максимальном ускоряющем напряжении измерим на экране осциллографа расстояние между максимумами и расстояние между минимумами осциллограммы. Результаты занесем в таблицу 1. Сфотографируем осциллограммы для трех значений задерживающего напряжения: 4В, 6В, 8В. Полученные фото изобразим на рисунках 3-5.

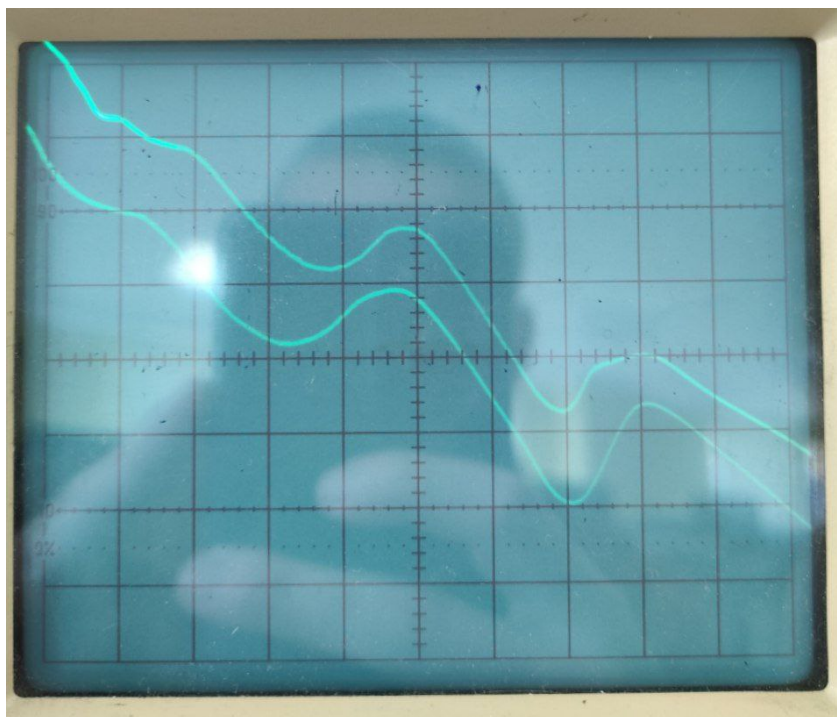


Рис. 3: Осциллограмма полученная для запирающего напряжения 4В

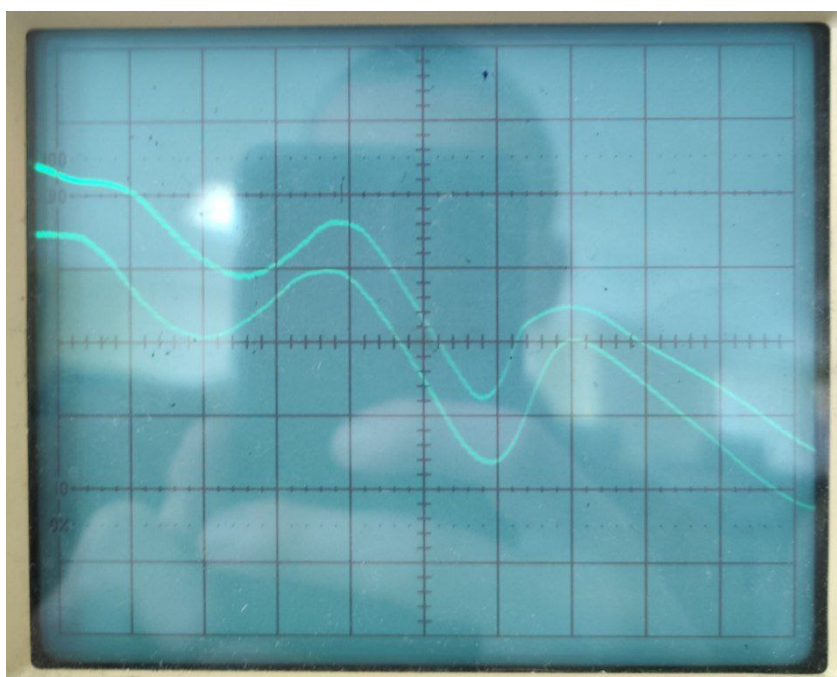


Рис. 4: Осциллограмма полученная для запирающего напряжения 6В

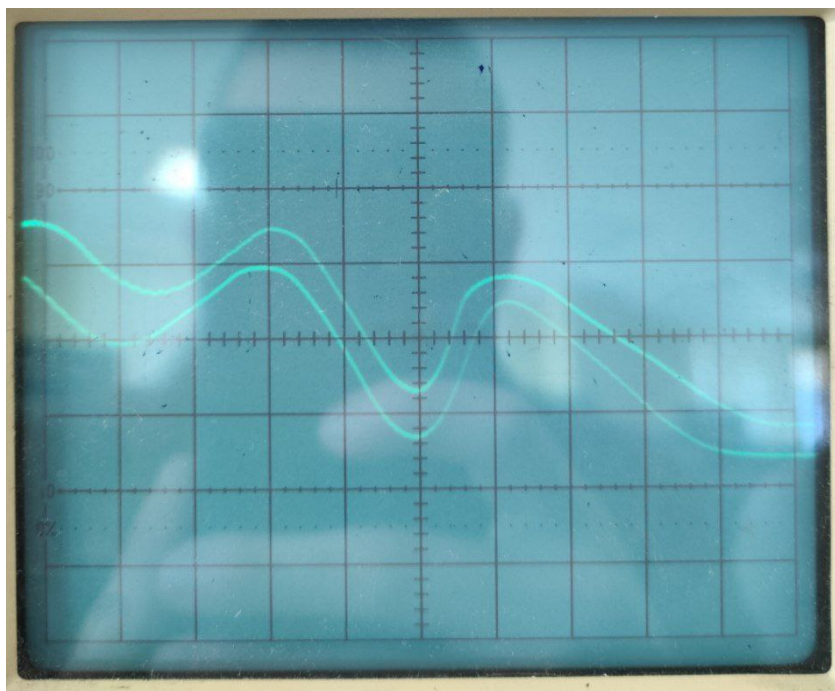


Рис. 5: Осциллограмма полученная для запирающего напряжения 8В

$V_{\text{зап.}}, \text{ В}$	$\Delta V_{\text{max}}, \text{ Дел.}$	$\Delta V_{\text{min}}, \text{ Дел.}$	$\sigma_{\Delta V_{\text{max/min}}}, \text{ Дел.}$	$\Delta V_{\text{max}}, \text{ В}$	$\Delta V_{\text{min}}, \text{ В}$	$\sigma_{\Delta V_{\text{max/min}}}, \text{ В}$
4	3,4	3,9	0,2	17	20	1
6	3,4	3,9		17	20	
8	3,2	3,8		16	19	

Таблица 1: Полученные результаты для расстояния между максимумами и минимумами на осциллограмме

$$\overline{\Delta V_{\text{max}}} = 17 \pm 1 \text{ В}$$

$$\overline{\Delta V_{\text{min}}} = 20 \pm 1 \text{ В}$$

$$\overline{\Delta V} = 19 \pm 2 \text{ В}$$

Расчет погрешности проводился по формулам:

$$\sigma_{\Delta V_{max/min}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\overline{\Delta V} - \Delta V_i)^2}$$

$$\sigma_{\Delta V} = \sqrt{\sigma_{\Delta V_{max/min}}^2 + \sigma_{\Delta V_{max/min}}^2}$$

2. Снимем зависимость коллекторного тока от анодного напряжения $[I_k = f(V_a)]$ для трех различных значений запирающего напряжения $V_2 = 4, 6, 8$ В. Результаты измерений внесем в таблицу 2. По полученным данным построим графики зависимости $I_k = f(V_a)$

$I_{k1}, \text{ mA}$	$V_{a1}, \text{ B}$	$I_{k2}, \text{ mA}$	$V_{a2}, \text{ B}$	$I_{k3}, \text{ mA}$	$V_{a3}, \text{ B}$
18,5	3,33	6,1	3,01	5,0	4,68
34,0	5,66	16,0	4,98	8,9	5,43
41,0	6,65	30,6	7,1	13,9	6,49
45,8	7,31	43,5	8,88	31,3	8,93
53,2	8,40	51,3	10,03	58,0	12,79
61,5	9,69	60,1	11,35	83,6	16,95
67,7	10,68	74,2	13,47	95,0	20,38
74,9	11,87	94,9	16,90	88,6	22,22
81,2	12,92	103,6	19,15	47,0	23,44
86,4	13,27	96,0	21,53	23,7	24,45
92,7	14,82	60,7	22,91	17,5	24,98
98,3	15,79	45,2	23,51	16,2	26,97
105,1	21,90	36,6	24,47	46,2	30,04
86,6	22,30	47,0	26,80	76,8	32,62
64,9	23,80	65,0	27,50	112,3	36,20
79,7	25,71	92,6	30,11	114,5	39,75
100,8	27,75	119,8	32,50	101,7	41,81
125,0	30,13	141,3	34,92	86,6	44,75
144,6	32,03	148,0	36,32	74,8	50,12
171,2	34,85	147,4	38,65	87,6	54,31
181,5	37,51	131,5	41,07	103,4	57,09
172,0	40,18	123,4	42,67	115,3	60,27
155,1	44,63	116,4	44,30	117,0	65,50
161,5	47,39	111,9	46,70	113,6	69,01
173,9	50,23	115,6	49,10	112,6	75,57
196,3	54,06	142,2	55,01	120,0	79,40
217,6	57,71	169,2	61,03	90,0	18,13
229,0	60,65	171,1	66,57	70,4	22,92
233,5	64,20	180,6	75,58	25,2	29,10
241,5	69,28	191,3	79,63	100,3	34,21
248,5	72,29	75,5	22,12	79,5	47,35
265,1	77,25	40,1	26,08	80,1	52,07
276,3	80,19	130,8	53,10	20,0	28,51
108,5	18,01	175,2	72,31	-	-
111,2	20,43	155,1	53,15	-	-
95,2	22,13	-	-	-	-
75,3	23,18	-	-	-	-
90,1	26,82	-	-	-	-
161,3	42,02	-	-	-	-

Таблица 2: Полученная зависимость $I_k = f(V_a)$. Индексам 1, 2, 3 сопоставлены значения напряжения $V_2 = 4, 6, 8 \text{ В}$ соответственно

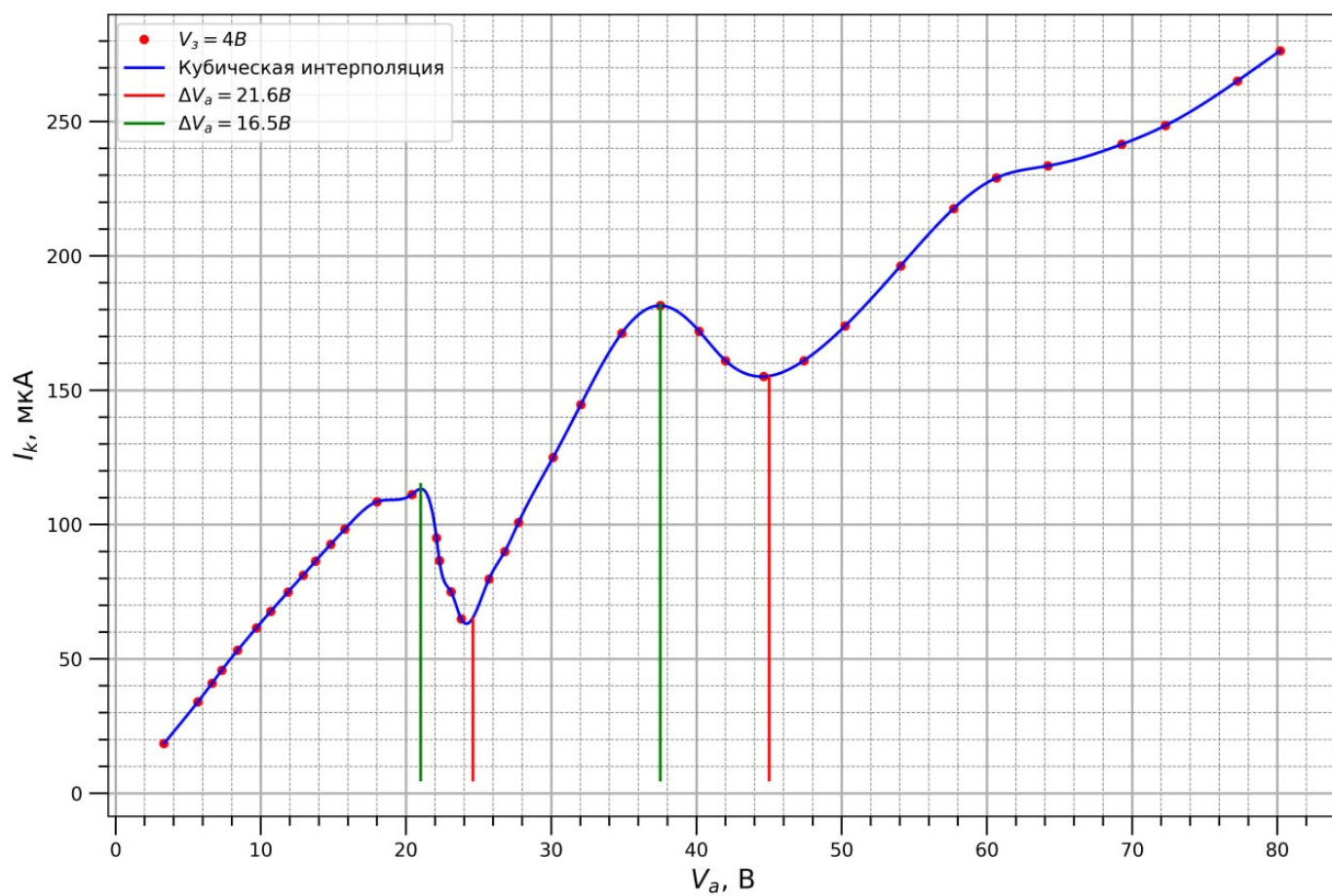


Рис. 6: График зависимости коллекторного тока от анодного напряжения при запирающем напряжении 4В. Интерполяция кубическая

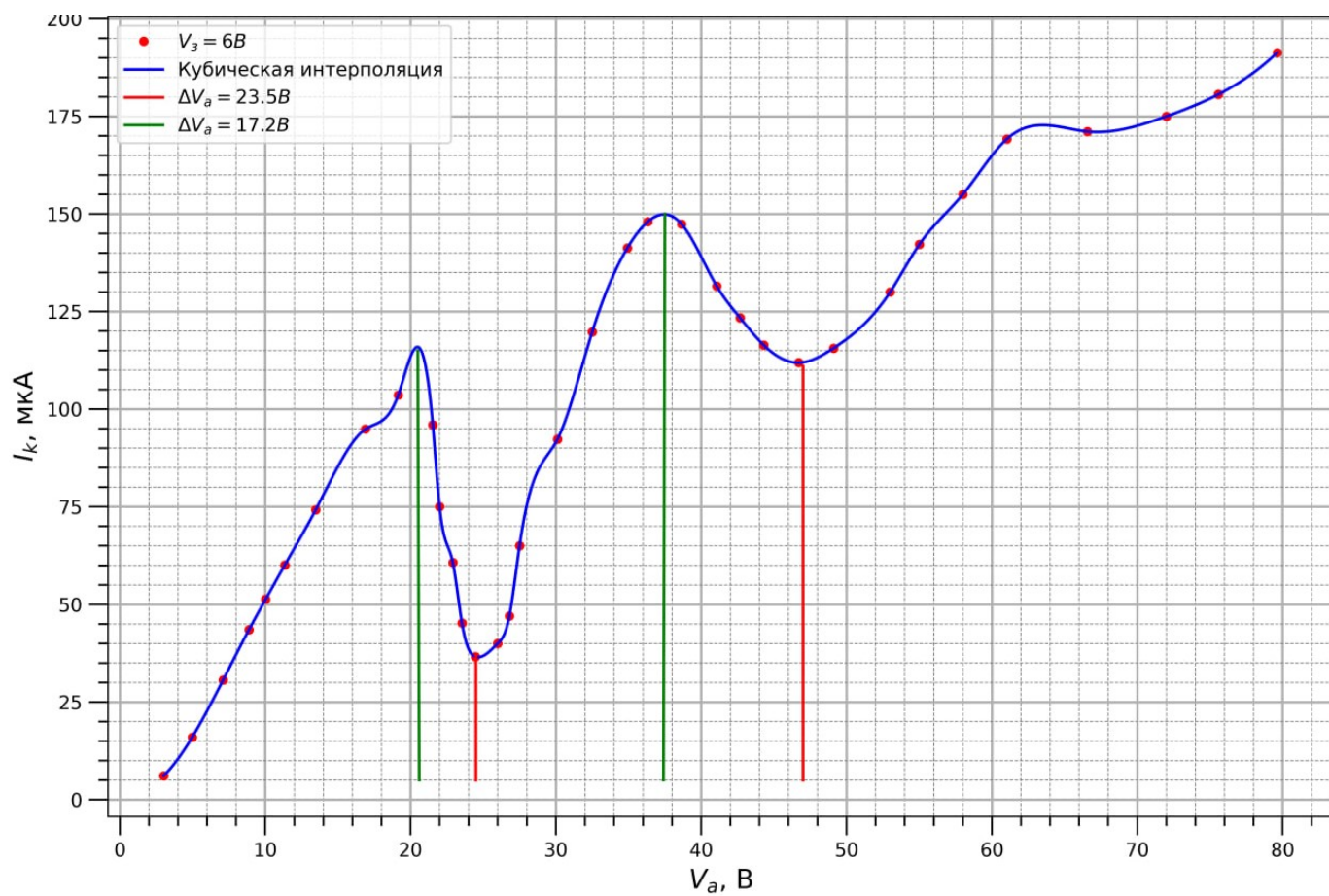


Рис. 7: График зависимости коллекторного тока от анодного напряжения при запирающем напряжении 6В. Интерполяция кубическая

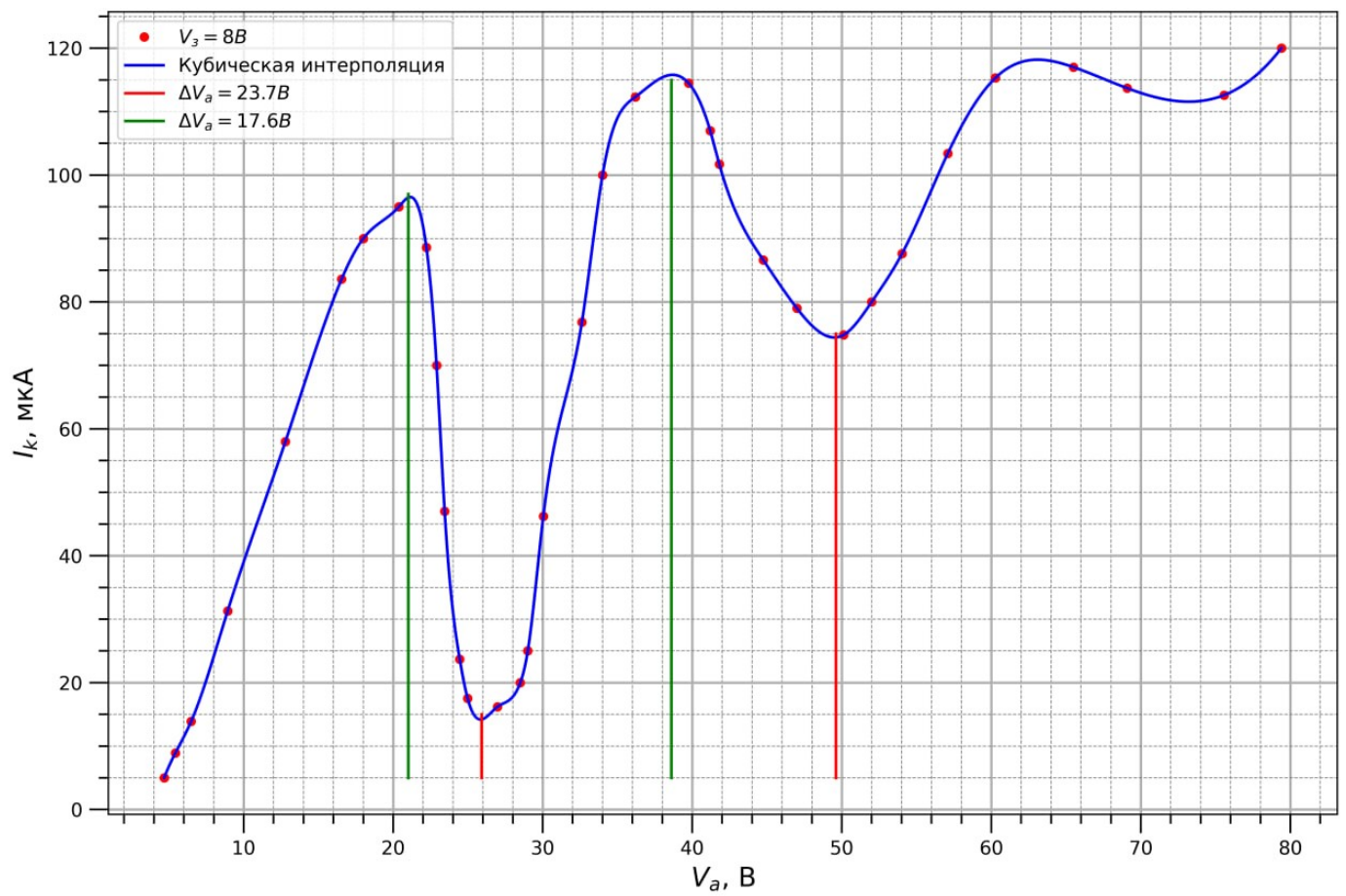


Рис. 8: График зависимости коллекторного тока от анодного напряжения при запирающем напряжении 8В. Интерполяция кубическая

3. Определим по графикам разность напряжений ΔV_{max} и ΔV_{min} для каждого значения запирающего напряжения. Полученные данные запишем в таблицу 3.

$V_{зап.}, \text{ В}$	$\Delta V_{max}, \text{ В}$	$\Delta V_{min}, \text{ В}$	$\sigma_{\Delta V_{max/min}}, \text{ В}$
4	17	21	2
6	18	23	
8	17	24	

Таблица 3: Полученные результаты для расстояния между максимумами и минимумами по построенным графикам

$$\overline{\Delta V_{max}} = 17 \pm 2 \text{ В}$$

$$\overline{\Delta V_{min}} = 23 \pm 2 \text{ В}$$

$$\overline{\Delta V} = 20 \pm 3 \text{ В}$$

Расчет погрешности проводился по формулам из пункта 1

4. По полученным напряжениям на осциллограммах и графиках определим энергию возбуждения первого уровня атома гелия. Результаты полученные статическим и динамическим методами занесем в таблицу 4.

$\Delta V_{\text{стат.}}, \text{ В}$	$\Delta V_{\text{дин.}}, \text{ В}$	$E_{\text{стат.}}, \text{ эВ}$	$E_{\text{дин.}}, \text{ эВ}$
19 ± 2	20 ± 3	19 ± 2	20 ± 3

Таблица 4: Полученные результаты динамическим и статическим методами для энергии возбуждения первого уровня атома гелия

Обсуждение результатов и выводы:

В ходе данной работы мы с помощью метода электронного возбуждения измерили энергию первого уровня атома гелия в динамическом и статическом режимах. Полученные данные совпадают в пределах погрешности с табличным значением $E_{\text{теор.}} = 20,8 \text{ эВ}$. Табличные данные изображены на рисунке 9.

Основной вклад в погрешность полученных результатов для обоих методов дают погрешности измерения. В первом случае это погрешность цены деления шкалы на осциллографе, во втором погрешность из-за малого количества точек на графиках. Можно попытаться уменьшить эти погрешности, если использовать другую развертку на осциллографе, при которой на экране будет помещаться только два пика или два минимума, а не вся картина целиком. В статическом случае можно уменьшить погрешность, если снять большее количество точек, тогда интерполяция будет точнее описывать истинную зависимость $I_k = f(V_a)$ и получится установить максимумы и минимумы точнее, используя более мелкую сетку.

Газы	Гелий	Неон	Аргон	Криптон	Ксенон	Пары ртути
Потенциал возбуждения $U_{\text{в}}$, В	20,8	16,6	11,6	9,9	8,4	4,9
Потенциал ионизации $U_{\text{и}}$, В	24,5	21,5	15,7	14,0	12,1	10,4

Рис. 9: