

Московский Физико-Технический Институт  
(государственный университет)

Лабораторная работа 5.2.1

---

# Опыт Франка–Герца

---

Автор:

Овсянников Михаил Б01-008



Долгопрудный, 2022

# Содержание

Теоретические сведения . . . . .	3
Экспериментальная установка . . . . .	4
Ход работы . . . . .	5
Подготовка приборов к работе . . . . .	5
Получение ВАХ $I_k = f(V_a)$ на экране осциллографа С1-83 . . .	5
Получение ВАХ $I_k = f(V_a)$ в статическом режиме измерений .	6
Обработка результатов . . . . .	7
Вывод . . . . .	11

**Цель работы:** методом электронного возбуждения измерить энергию первого уровня атома гелия в динамическом и статическом режимах.

## Теоретические сведения

Одним из простых опытов, подтверждающих существование дискретных уровней энергии атомов, является эксперимент, известный под названием опыта Франка и Герца. Схема опыта изображена на рис. 1.

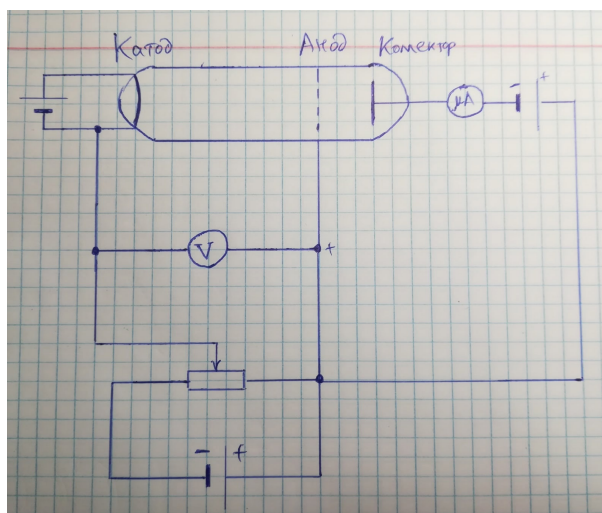
Разреженный одноатомный газ (в нашем случае — гелий) заполняет трехэлектродную лампу. Электроны, испускаемые разогретым катодом, ускоряются в постоянном электрическом поле, созданном между катодом и сетчатым анодом лампы и сталкиваются с атомами гелия. Если энергия электрона, налетающего на атом, недостаточна для того, чтобы перевести его в возбужденное состояние, то возможны только упругие соударения.

По мере увеличения разности потенциалов между анодом и катодом энергия электронов увеличивается и, в конце концов, оказывается достаточной для возбуждения атомов. При таких — неупругих — столкновениях кинетическая энергия налетающего электрона передается одному из атомных электронов, вызывая его переход на свободный энергетический уровень (возбуждение) или совсем отрывая его от атома (ионизация).

Ток коллектора, пропорциональный числу электронов, попадающих на него за секунду, измеряется микроамперметром.

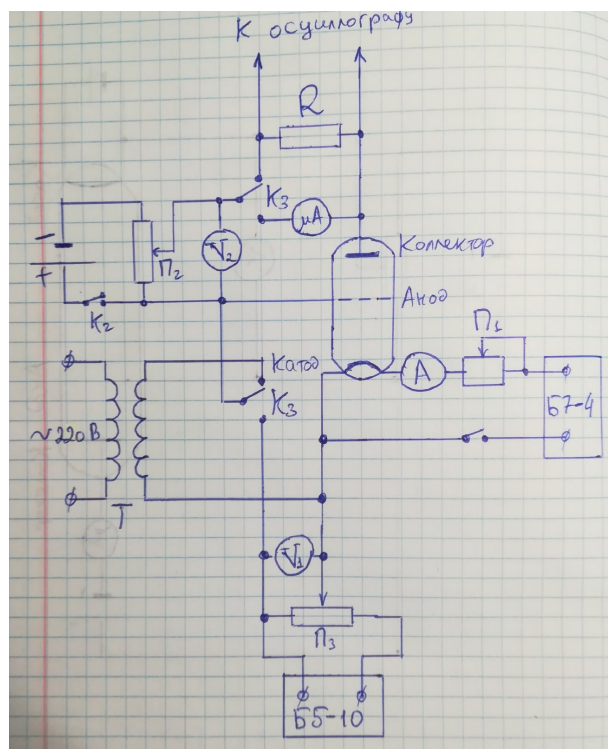
При увеличении потенциала анода ток в лампе вначале растет. Однако, когда энергия электронов становится достаточной для возбуждения атомов, ток коллектора резко уменьшается. При дальнейшем увеличении потенциала анода ток коллектора вновь возрастает.

Следующее замедление роста тока происходит в момент, когда часть электронов неупруго сталкивается с атомами два раза: первый раз посередине пути, второй — у анода и т. д. Таким образом, на кривой зависимости тока коллектора от напряжения анода имеется ряд максимумов и минимумов, отстоящих друг от друга на равные расстояния  $\Delta V$ . Эти расстояния равны энергии первого возбужденного состояния.



**Рис. 1.** Схема опыта Франка и Герца

## Экспериментальная установка



**Рис. 2.** Схема экспериментальной установки

ала – батарея КБСЛ (4,5 В) – включается ключом  $K_2$ , величина потенциала регулируется потенциометром  $\Pi_2$  и измеряется вольтметром  $V_2$ . Ток в цепи коллектора регистрируется микроамперметром.

Схему можно переключать из статического режима измерений в динамический режим с помощью ключа  $K_3$ . На рис. 2 две части сдвоенного ключа  $K_3$  изображены отдельно. При динамическом режиме работы ускоряющий потенциал подается с понижающего трансформатора  $T$  (220/50 В), а ток коллектора регистрируется осциллографом, подключенным к нагрузочному резистору  $R$ . Осциллограф следует синхронизировать от сети 50 Гц.

При определении энергии электронов по разности потенциалов между анодом и катодом следует иметь в виду, что из-за контактной разности потенциалов между катодом и анодом первый максимум не соответствует потенциалу первого возбужденного уровня. Однако контактная разность потенциалов так сдвигает все максимумы, что расстояние между ними не меняется.

Схема экспериментальной установки изображена на рис. 2. Для опыта используется серийная лампа ионизационного манометра ЛМ-2, заполненная гелием. Напряжение накала подается от стабилизированного источника питания Б7-4. Ток накала контролируется амперметром А. Источник Б7-4 включается в цепь тумблером  $K_1$ .

В качестве анода используется двойная спираль, окружающая катод. Роль коллектора играет полый металлический цилиндр, соосный с катодом и анодом.

Ускоряющее напряжение подается на анод от выпрямителя Б5-10. Величина этого напряжения регулируется потенциометром  $\Pi_3$  и измеряется вольтметром  $V_1$ . Источник задерживающего потенци-

## Ход работы

### Подготовка приборов к работе

1. Установим все ручки на источнике питания в крайнее левое положение и включим прибор в сеть.
2. Включим электронный осциллограф в сеть.
3. На канале I, измеряющем анодное напряжение лампы, установим ступенчатый переключатель в положение 1 V/дел, утопим соседнюю кнопку  $\times 10$ .
4. На канале II, измеряющем напряжение, пропорциональное току коллектора лампы, установим переключатель в положение 2 mV/дел, кнопку  $\times 10$  вытянем на себя.
5. Утопим клавиши «х-у» слева и справа от экрана осциллографа.

### Получение ВАХ $I_k = f(V_a)$ на экране осциллографа С1-83

1. Установим динамический режим.
2. Установим задерживающее напряжение 4 В.
3. Установим ручку накала на максимум.
4. Проследим за ходом ВАХ при изменении ускоряющего напряжения (рис. 3).
5. Разместим картину в центре экрана осциллографа.
6. При максимальном ускоряющем напряжении измерим на экране расстояния между максимума и минимумами осциллограммы. Проведем такие измерения для 3-х значений задерживающего напряжения: 4, 6 и 8 В. Результаты пишем в таблицу 1.
7. Прежде, чем перейти к измерениям в статическом режиме, выключим осциллограф.

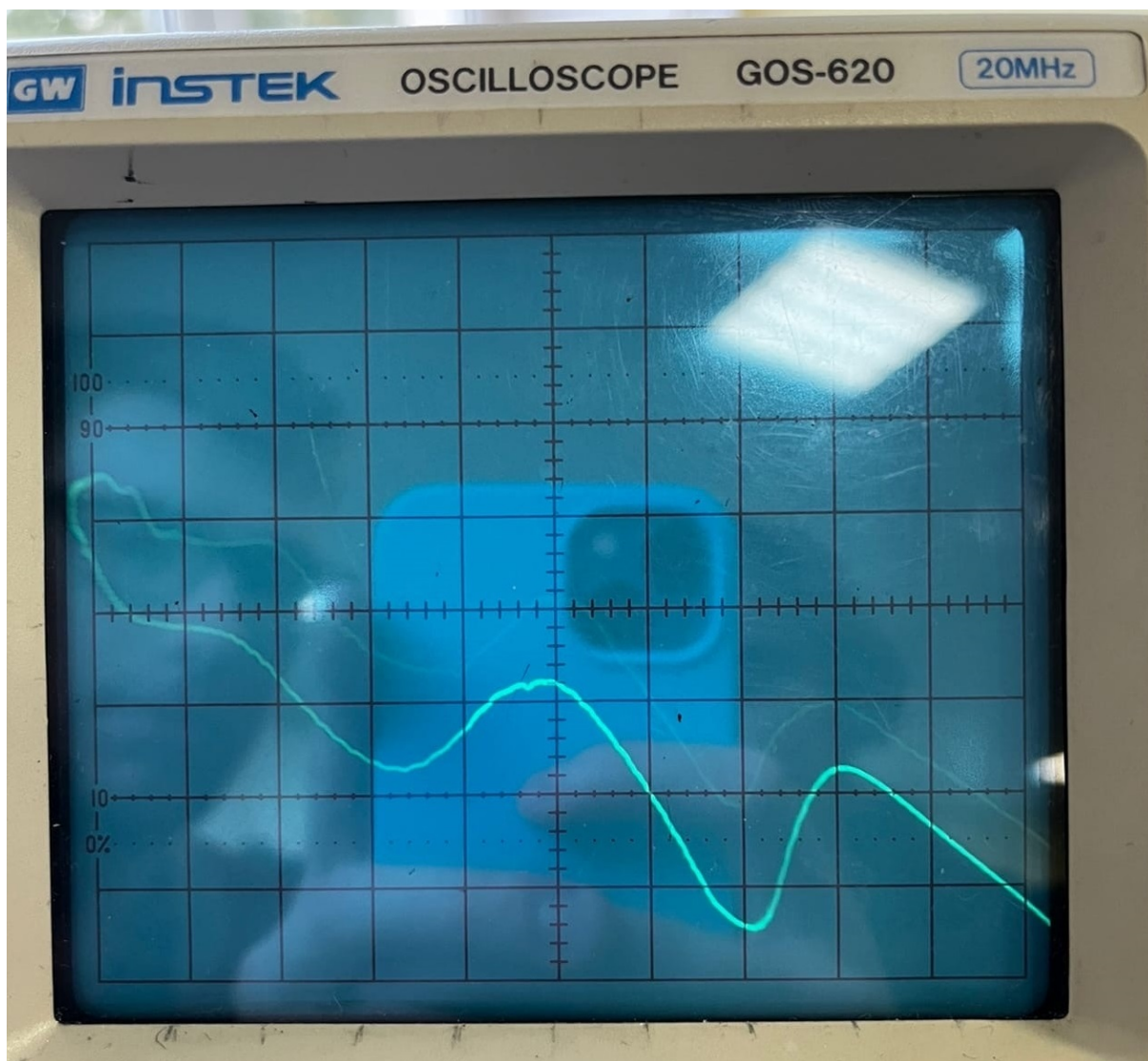


Рис. 3. ВАХ на экране осциллографа

### Получение ВАХ $I_k = f(V_a)$ в статическом режиме измерений

1. Переведем режим в статический
2. Установим максимальный накал и задерживающее напряжение на 4 В.
3. Включим микроамперметр и вольтметр.
4. Снимем зависимость коллекторного тока от анодного напряжения  $I_k = f(V_a)$  для 3-х различных значений задерживающего напряжения  $V_2 = 4, 6, 8$  В. Результаты занесем в таблицу 2.
5. Закончив работу, отключим все приборы.

## Обработка результатов

1. По расстоянию между соседними максимумами на осциллограммах определим энергию возбуждения первого уровня атома гелия.

$V_{\text{задерж}}, \text{ В}$	$\Delta V_{\text{max}}, \text{ В}$	$\Delta V_{\text{min}}, \text{ В}$
4	14	17
	15	12
6	15	18
	16	13
8	14	19
	15	12

**Таблица 1.** Расстояние между максимумами и расстояние между минимумами в динамическом режиме. Погрешность измерения каждого напряжения  $\sigma_V = 1 \text{ В}$

Тогда среднее значение:

$$\Delta V = (15,0 \pm 3,5) \text{ В} \quad (\text{погрешность} \sim 23\%)$$

То есть энергия возбуждения первого уровня атома гелия:

$$E_1 = (15,0 \pm 3,5) \text{ эВ} \quad (\text{погрешность} \sim 23\%)$$

2. По результатам таблицы 2 построим графики зависимостей  $I_{\text{к}} = f(V_a)$  для трех значений задерживающего напряжения.

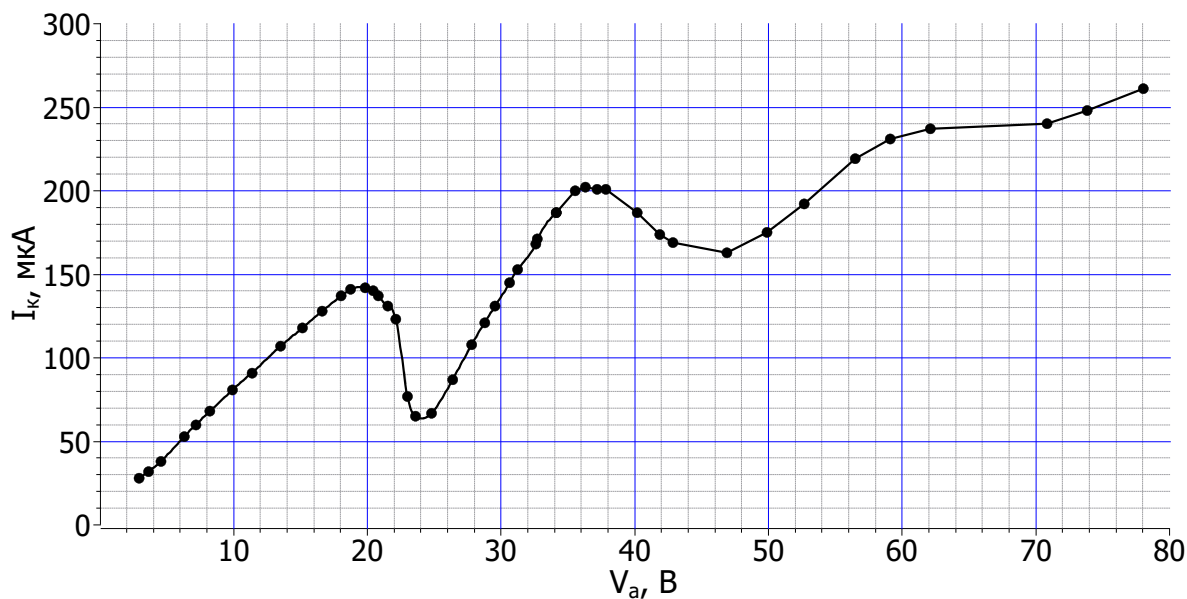
$V_{\text{задерж}} = 4 \text{ В}$	
$V_a, \text{ В}$	$I_k, \text{ мкА}$
2,95	28
3,65	32
4,55	38
6,33	53
7,18	60
8,24	68
9,94	81
11,37	91
13,52	107
15,17	118
16,61	128
18,05	137
18,77	141
19,83	142
20,42	140
20,82	137
21,53	131
22,14	123
23,01	77
23,61	65
24,81	67
26,38	87
27,82	108
28,77	121
29,56	131
30,66	145
31,25	153
32,58	168
32,74	171
34,12	187
35,54	200
36,29	202
37,18	201
37,83	201
40,18	187
41,86	174
42,85	169
46,87	163
49,91	175
52,67	192
56,51	219
59,09	231
62,12	237
70,86	240
73,85	248
78,03	261

$V_{\text{задерж}} = 6 \text{ В}$	
$V_a, \text{ В}$	$I_k, \text{ мкА}$
2,35	13
4,22	22
5,76	32
6,44	36
8,58	55
9,71	64
11,42	77
13,88	96
16,02	114
17,61	125
19,34	135
19,97	137
20,62	136
21,31	134
22,67	117
23,30	88
23,79	41
24,24	35
25,08	33
25,62	35
27,82	54
29,46	78
30,66	96
32,06	115
33,96	140
35,29	155
37,06	161
38,42	162
39,33	158
41,96	138
44,39	122
46,13	114
47,80	110
50,67	115
52,09	120
54,54	134
57,86	153
60,02	160
62,91	163
66,21	160
72,19	154
77,99	160

$V_{\text{задерж}} = 8 \text{ В}$	
$V_a, \text{ В}$	$I_k, \text{ мкА}$
5,94	17
9,25	40
12,23	69
13,79	81
15,30	93
16,33	101
18,22	116
20,41	126
20,57	127
22,76	119
23,36	105
23,59	100
23,86	41
23,94	39
24,44	28
25,69	15
26,49	12
27,52	14
28,95	23
30,29	36
32,50	71
33,90	92
35,24	109
37,53	119
38,47	121
40,07	112
41,90	101
44,07	89
46,83	71
48,95	62
51,06	59
52,86	63
55,36	75
59,75	91
63,64	94
66,85	89
71,51	78
78,01	72

Таблица 2. ВАХ для значений задерживающего напряжения 4, 6 и 8 В



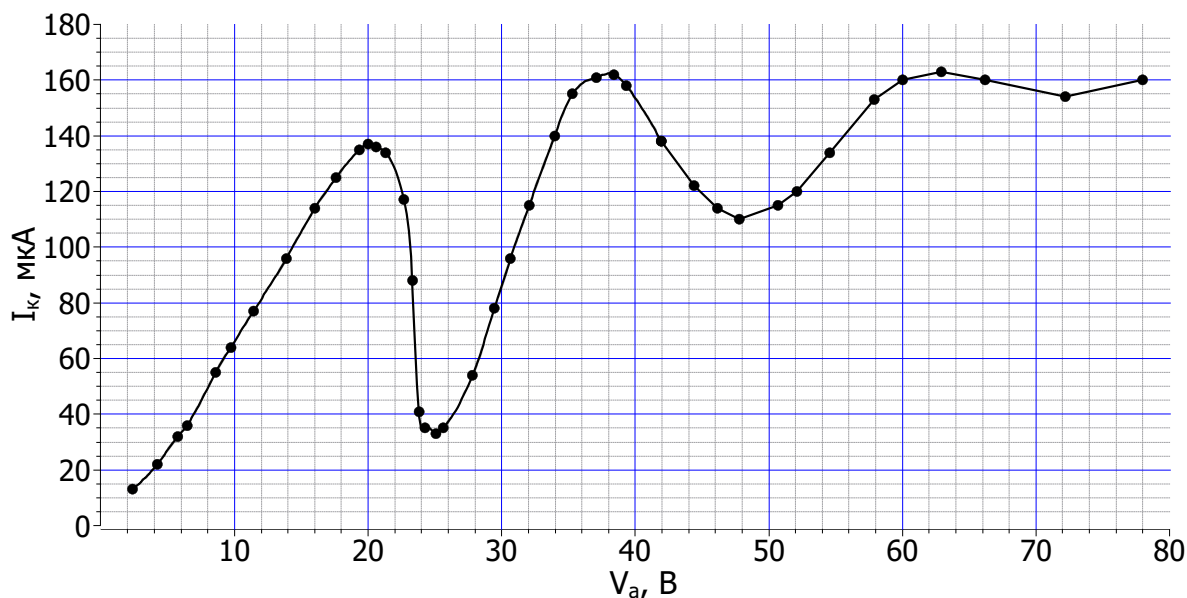


**Рис. 4.** Зависимость  $I_k(V_a)$  при задерживающем напряжении 4 В

По графику находим:

$$\Delta V = (21,72 \pm 0,07) \text{ В} \quad (\text{погрешность} \sim 0,32\%)$$

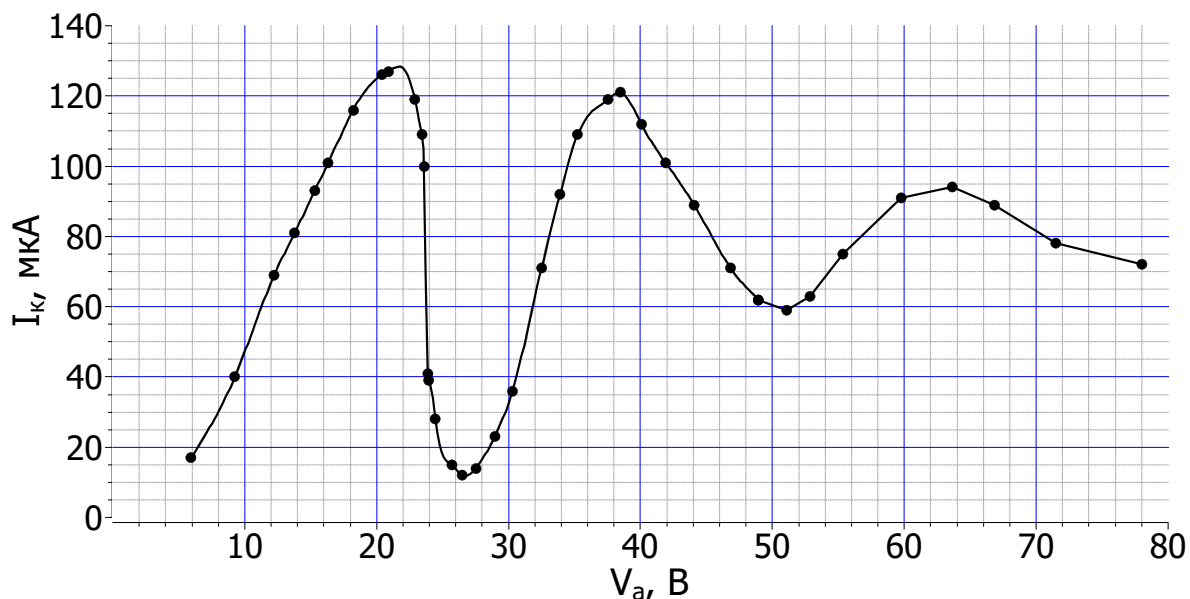
Такая высокая точность достигается благодаря вольтметру и амперметру, которые в данном случае имеют погрешности 0,01 В и 1 мкА соответственно.



**Рис. 5.** Зависимость  $I_k(V_a)$  при задерживающем напряжении 6 В

По этому графику находим:

$$\Delta V = (21,89 \pm 0,09) \text{ В} \quad (\text{погрешность} \sim 0,41\%)$$



**Рис. 6.** Зависимость  $I_k(V_a)$  при задерживающем напряжении 8 В

По данному графику находим:

$$\Delta V = (22,0 \pm 0,2) \text{ В} \quad (\text{погрешность} \sim 0,91\%)$$

И если посчитать среднее значение по этим трем графикам, то получим:

$$\Delta V^\Sigma = (21,9 \pm 0,3) \text{ В}$$

А значит, энергия возбуждения первого уровня атома гелия равна:

$$E_1^\Sigma = (21,9 \pm 0,3) \text{ эВ}$$

Погрешность составляет  $\sim 1,4\%$ .

3. В итоге мы наблюдаем такую картину: значения, полученные при динамическом и статическом методах достаточно сильно разнятся. Однако и погрешность у динамического метода велика – около 23%. Статический метод оказался гораздо лучше в плане точности – его погрешности порядка всего лишь процента.

Вдобавок, значение, вычисленное при статическом методе, оказывается чрезвычайно близко к табличному значению в 21,6 эВ, что даже укладывается в полученный интервал для  $E_1$ .

## Вывод

В данной работе мы воспроизвели опыт Франка–Герца, который подтверждает наличие дискретных уровней возбуждения атомов. Опыт был проведен в динамическом и статическом режимах, из которых были получены следующие результаты для энергии возбуждения первого уровня атома гелия:

- $E_{\text{dynamic}} = (15,0 \pm 3,5) \text{ эВ}$  (погрешность  $\sim 23\%$ )
- $E_{\text{static}} = (21,9 \pm 0,3) \text{ эВ}$  (погрешность  $\sim 1,4\%$ )

Причем табличное значение  $E = 21,6 \text{ эВ}$ . Как видим, статический метод дает очень близкое к нему значение и даже в пределах погрешностей совпадает. Динамический метод имеет куда большую ошибку, а также дает результат, находящийся гораздо дальше от табличного.

Ошибка динамического метода связана с несовершенством техники измерения. Погрешности при статическом методе все же имеют куда меньшие значения благодаря точности вольтметра и амперметра. В контексте этой работы, процентаж ошибки этих приборов составляет всего лишь  $\sim 0,1 - 3\%$ .