

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа электроники, фотоники и молекулярной физики

## Лабораторная работа 5.2.1 Опыт Франка-Герца

Салтыкова Дарья

Б04-105

Допуск \_\_\_\_\_

Выполнение \_\_\_\_\_

Сдача \_\_\_\_\_

# 1 Введение

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

**В работе используются:** трёхэлектродная лампа ЛМ-2, батарея 4,5 В, микроамперметр, понижающий трансформатор, осциллограф, блок источников питания, вольтметр В7-22А.

## 2 Теоретические сведения

Опыт Франка-Герца подтверждает существование дискретных уровней энергии атомов. Разреженный одноатомный газ заполняет трёхэлектродную лампу. Электроны, испускаемые разогретым катодом, ускоряются в постоянном электрическом поле, созданном между катодом и сетчатым анодом лампы. Передвигаясь от катода к аноду, электроны сталкиваются с атомами гелия. Если энергия электрона недостаточна, чтобы возбудить/ионизировать атом - происходит упругое столкновение, электрон не теряет энергию. Если при большой разности потенциалов энергия электрона достаточна для возбуждения атомов - происходит неупругое столкновение, кинетическая энергия передаётся одному из атомных электронов, в результате чего происходит возбуждение или ионизация.

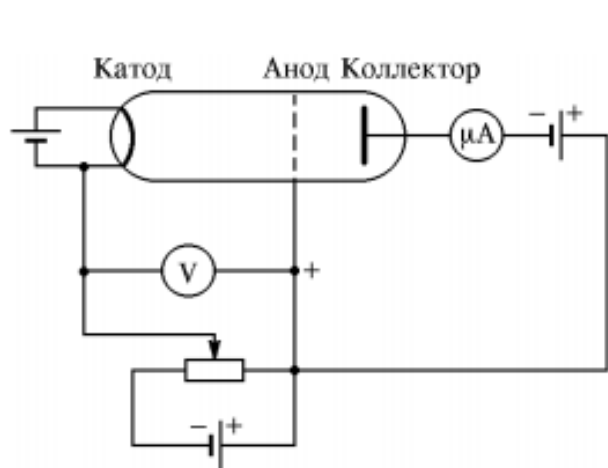


Рис. 1: Схема опыта Франка и Герца

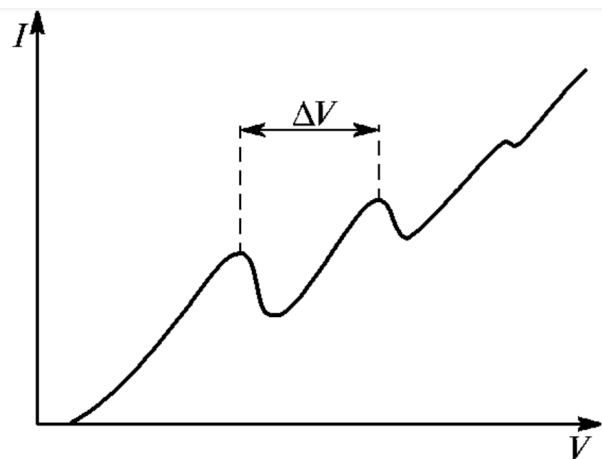


Рис. 2: Схематический вид зависимости тока коллектора от напряжения на аноде

При увеличении потенциала анода ток в лампе сначала растёт (зависимость, подобная ВАХ вакуумного диода). Когда энергия электронов становится достаточной для возбуждения атомов, ток коллектора резко уменьшается. Это происходит потому, что при неупругих соударениях с атомами электроны теряют свою энергию и не могут преодолеть задерживающее напряжение (около 1 В) между анодом и коллектором. При дальнейшем увеличении потенциала ток коллектора вновь возрастает: электроны, испытавшие неупругие соударения, при дальнейшем движении к аноду успевают набрать энергию, достаточную для преодоления задерживающего потенциала. Следующее замедление роста тока происходит в момент, когда часть электронов неупруго сталкивается с атомами два раза. Таким образом, на кривой зависимости тока коллектора от напряжения анода имеется ряд максимумов и минимумов, отстоящих друг от друга на равные расстояния, равные энергии первого возбуждённого состояния.

## 3 Экспериментальная установка

На рис.3 обозначены:

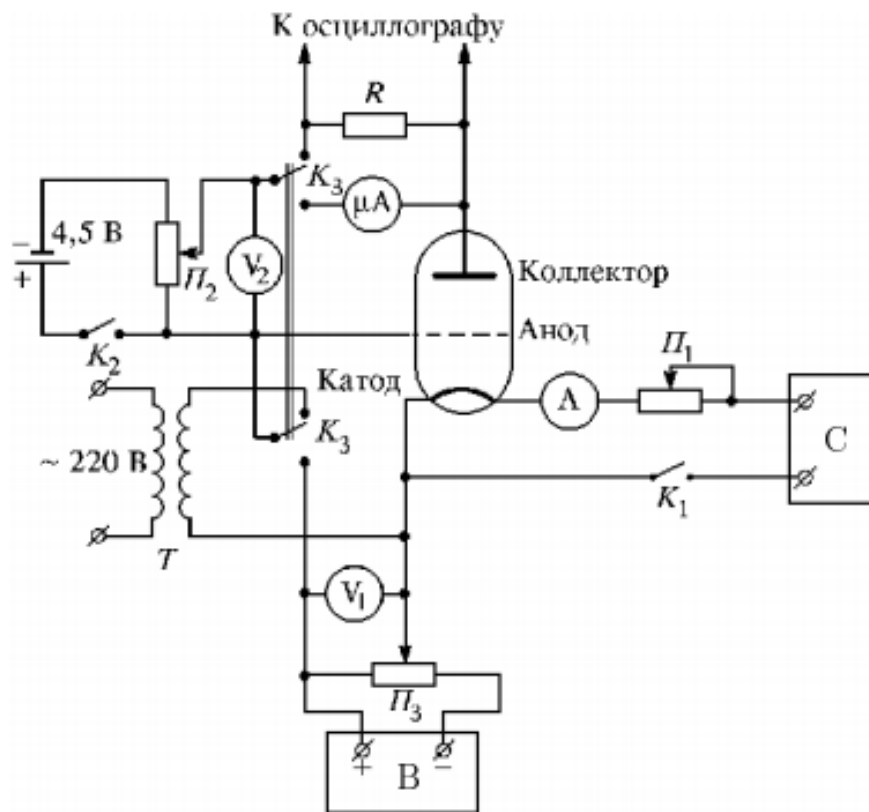


Рис. 3: Схема экспериментальной установки

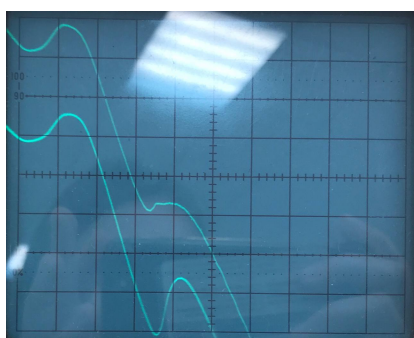
- А - амперметр
- Б7-4 - стабилизированный источник питания (подаёт напряжение накала)
- $K_1$  - тумблер для включения в цепь источника Б7-4
- Б5-10 - выпрямитель (подаёт на анод ускоряющее напряжение)
- $P_{i3}$  - потенциометр, регулирующий величину ускоряющего напряжения
- $V_1$  - вольтметр, измеряющий величину ускоряющего напряжения
- 4,5 В - батарея КБСЛ - источник задерживающего потенциала
- $P_{i2}$  - потенциометр, регулирующий величину задерживающего потенциала
- $V_2$  - вольтметр, измеряющий величину задерживающего потенциала
- $\mu A$  - микроамперметр - регистрирует ток в цепи коллектора
- $K_3$  - ключ, переключающий схему из статического режима в динамический
- Т - понижающий трансформатор - подаёт ускоряющий потенциал при динамическом режиме
- R - нагрузочный резистор

## 4 Ход работы

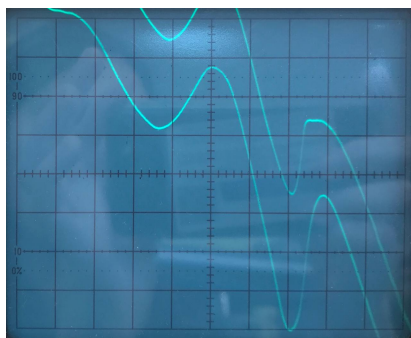
### 4.1 Получение вольт-амперной характеристики $I_k = f(V_a)$ (динамический метод)

1. Подготовим приборы к работе. Выберем динамический режим измерений.
2. При максимальном ускоряющем напряжении измерим на экране расстояние между максимумами и между минимумами осциллограммы. Проведем измерения для трёх значений задерживающего напряжения: 4, 6 и 8 В.

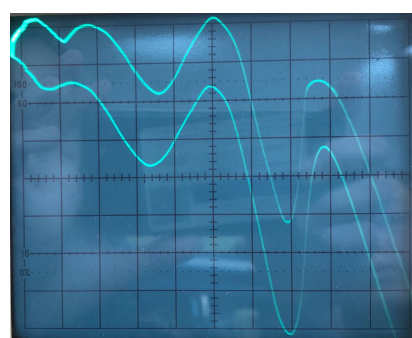
$V_3, \text{В}$	$\Delta V_{\min 1}, \text{В}$	$\Delta V_{\max 1}, \text{В}$	$\Delta V_{\min 2}, \text{В}$	$\Delta V_{\max 2}, \text{В}$
4	17	15		
6	17	14	14	17
8	18	14	13	18



$V_3 = 4\text{В}$



$V_3 = 6\text{В}$



$V_3 = 8\text{В}$

3. По расстоянию между минимумами и максимумами на осциллограммах определим энергию возбуждения первого уровня атома гелия в электрон-вольтах. Оценим ошибку измерения:

$$\sigma_{V_{\text{прибора}}}^2 = \sigma_{V_4}^2 + \sigma_{V_6}^2 + \sigma_{V_8}^2 = 3.46 \text{ В}$$

$$\sigma_{V_{\text{ср}}} = \sqrt{\frac{1}{6} \sum (V_i - \bar{V})^2} = 1.57 \text{ В}$$

Таким образом, полученное значение:

$$V_{\text{эксп1}} = 15.8 \pm 3.8 \text{ эВ } (\varepsilon = 24\%)$$

$$V_{\text{табл}} = 21.6 \text{ эВ}$$

### 4.2 Получение вольт-амперной характеристики $I_k = f(V_a)$ (статический метод)

1. Переключим режим на статический.
2. Снимем зависимость коллекторного тока от анодного напряжения  $I_k = f(V_a)$  для значений задерживающего напряжения 4, 6 и 8 В (данные см. в Приложении).
3. По графикам определим энергию возбуждения первого уровня атома гелия.

Оценим погрешность:

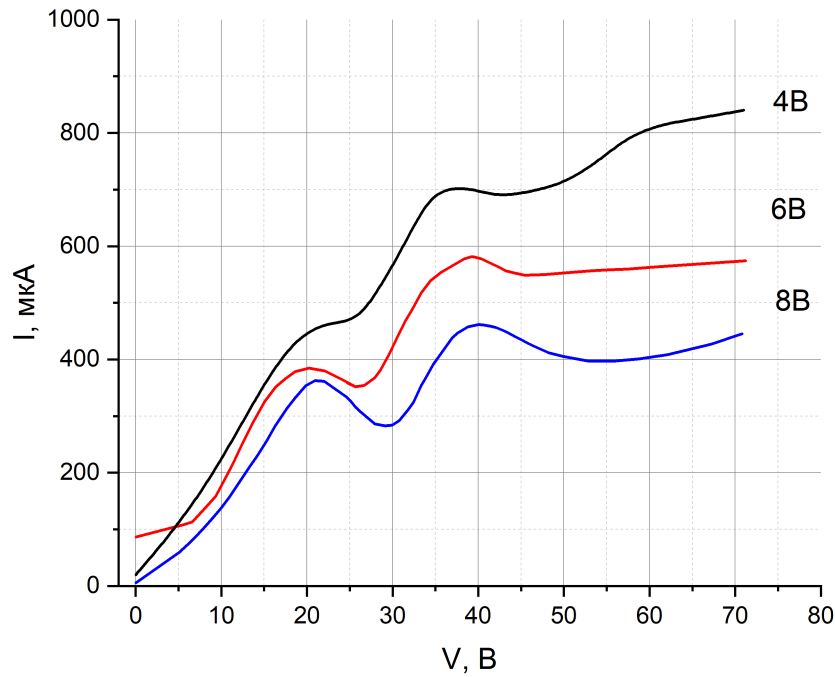


Рис. 4: Вольт-амперные характеристики при различных значениях запирающего напряжения

$V_z, \text{ В}$	$\Delta V_{max}, \text{ В}$	$\Delta V_{max}, \text{ В}$
4	17,11	18,46
6	19,01	19,73
8	18,01	22,9

$$\sigma_{V_{\text{прибора}}}^2 = \sigma_{V_4}^2 + \sigma_{V_6}^2 + \sigma_{V_8}^2 = 3.46 \text{ В}$$

Экспериментальное значение:

$$V_{\text{эксп2}} = 19.2 \pm 3.5 \text{ эВ } (\varepsilon = 18\%)$$

4. Применим быстрое преобразование Фурье к вольт-амперным характеристикам на Рис. 4. Предварительно продифференцируем функции, чтобы избавиться от линейного тренда.

Следует обратить внимание на то, что малое число периодов сигнала не позволяет точно определить фундаментальную гармонику. За погрешность примем расстояние между гармониками с наивысшей амплитудой.

Итого получаем:

$$V_{\text{эксп3}} = 28.1 \pm 9.2 \text{ эВ } (\varepsilon = 33\%)$$

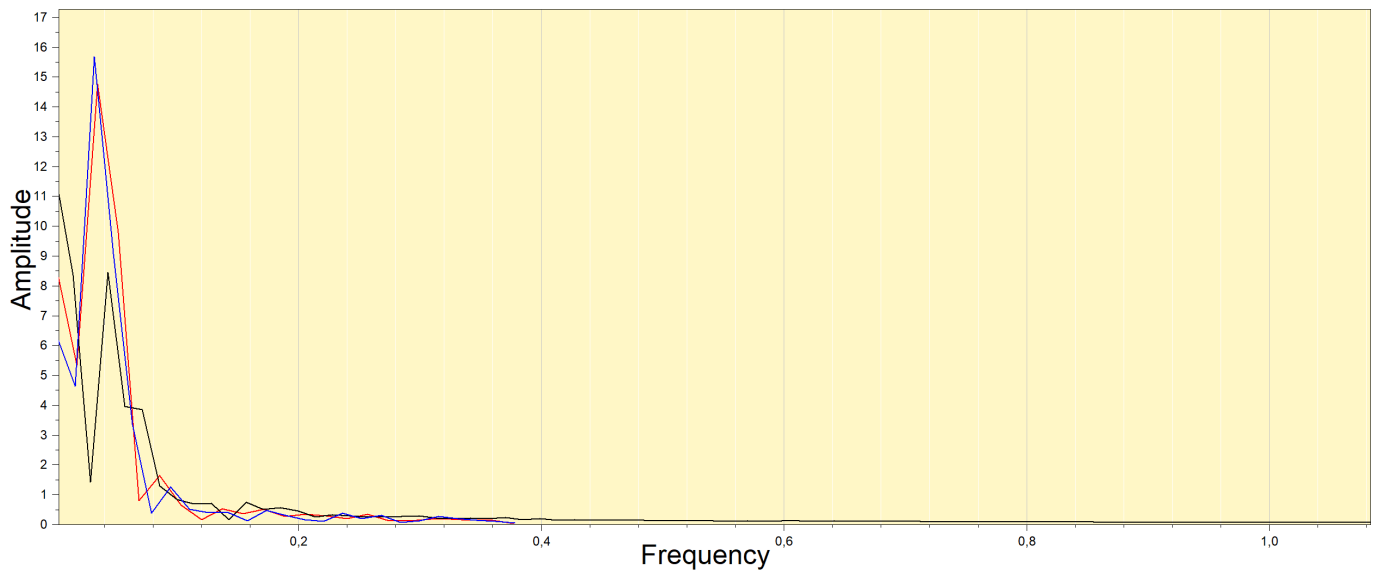


Рис. 5: FFT

## 5 Вывод

В ходе работы была измерена вольт-амперная характеристика трёхэлектродной вакуумной лампы динамическим и статическим способами. По этим данным были определены потенциалы возбуждения атомов гелия.

$$V_{\text{эксп1}} = 15.8 \pm 3.8 \text{ эВ}$$

$$V_{\text{эксп2}} = 19.2 \pm 3.5 \text{ эВ}$$

$$V_{\text{эксп3}} = 28.1 \pm 9.2 \text{ эВ}$$

$$V_{\text{табл}} = 21.6 \text{ эВ}$$

Значения совпадают с табличным по порядку величины. Статический метод показал более точные результаты – они в пределах погрешности совпадают с табличным значением.

## 6 Приложение

4 В		6 В		8 В	
$U, В$	$I, мкА$	$U, В$	$I, мкА$	$U, В$	$I, мкА$
0,04	26	0,04	19	0,04	19
1,26	43	3,75	54	5,07	39
1,51	48	5,54	87	5,98	56
2,03	57	6,61	107	6,83	73
2,65	67	7,97	136	7,97	95
2,89	71	9,35	168	8,87	114
3,26	78	10,16	187	9,94	139
3,63	85	11,3	217	11	164
4,04	92	12,27	242	12,12	193
4,37	98	13,62	277	13,37	227
4,61	103	15,02	315	14,15	245
4,93	110	16,33	346	15,34	277
5,31	117	17,54	375	16,28	304
5,67	124	18,61	399	17,69	335
5,98	130	20,24	432	18,62	359
6,62	143	22,11	458	19,85	384
6,89	150	24,4	470	20,94	405
7,33	159	25,68	296	22,02	424
7,69	167	24,72	309	24,67	437
8,15	177	25,23	298	24,86	444
8,56	187	25,65	296	25,18	230
8,93	196	26,68	312	25,68	210
9,31	206	27,93	355	26,24	202
9,74	216	28,54	377	27,92	213
10,05	225	29,58	412	29,13	245
10,56	238	30,43	443	29,96	277
10,87	246	31,45	468	30,75	308
11,26	256	32,25	495	31,79	343
11,77	269	33,35	528	32,45	371
12,2	281	34,42	562	33,36	394
12,56	290	35,66	586	33,83	413
13,13	304	38,35	603	34,72	435
13,56	316	39,25	597	36,96	458
14	328	39,65	592	37,59	476
14,77	346	40,38	583	38,81	482
15,49	364	41,25	571	40,03	473
16,08	378	42,52	555	40,57	467
17	399	43,17	548	41,39	459
18,08	424	44,02	537	42,06	452
19,33	449	45,41	526	43,21	441
20,55	469	47,78	517	44,18	424
22,76	487	50,46	531	44,86	413
24,15	411	53,32	555	45,82	401
24,15	494	55,39	577	46,55	391
23,83	492	57,41	598	48,24	380
23,92	419	60,79	622	50,02	376
24,81	423	71,23	626	52,86	390

4 В		8 В	
$U, В$	$I, мкА$	$U, В$	$I, мкА$
25,63	440	55,86	416
26,46	465	58,8	438
27,11	480	62,09	453
27,66	497	67,21	448
28,34	525	70,54	440
29,24	545	70,81	438
30,18	572		
31,18	602		
32,01	619		
32,45	638		
32,48	648		
33,45	668		
34,05	688		
34,4	698		
36,13	717		
37,91	722		
38,82	714		
39,74	703		
40,65	693		
41,4	683		
42,5	674		
44,57	668		
47,69	684		
50,67	704		
52,63	727		
54,99	761		
56,73	784		
60,78	813		
71	840		