

# Лабораторная работа 2.1

## Опыт Франка-Герца.

Пылаева Анастасия, Васильев Михаил  
Группа Б01-906  
МФТИ  
Долгопрудный

### Аннотация

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

### Оборудование:

- серийная лампа ионизационного манометра ЛМ-2
- вольфрамовый катод
- амперметр
- двойная спираль в качестве анода
- роль коллектора выполняет металлический цилиндр
- осциллограф
- источник питания
- вольтметр

### Теория

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.

- энергия электрона недостаточна, чтобы возбудить/ионизировать атом -> *упругое столкновение*, электрон не теряет энергию

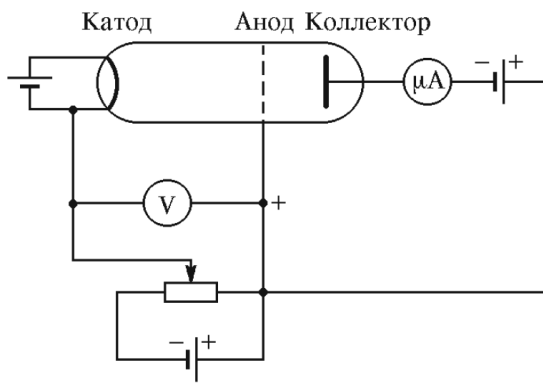


Рис. 1: Схема опыта Франка и Герца

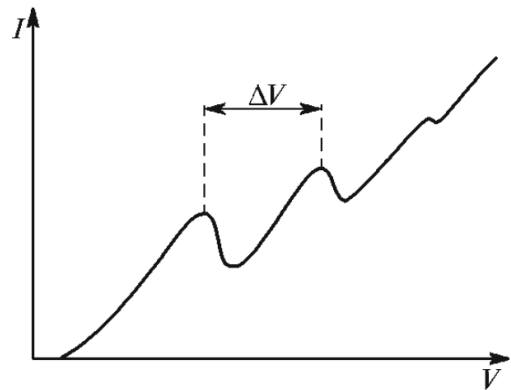


Рис. 2: Схематический вид зависимости тока коллектора от напряжения на аноде

- при большой разности потенциалов энергия электрона достаточна для возбуждения атомов -> *неупругое столкновение*, кинетическая энергия передаётся одному из атомных электронов, в результате чего происходит:

Объясним вид зависимости тока коллектора от напряжения на аноде. При увеличении потенциала анода ток в лампе сначала растёт. 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.

## Экспериментальная установка

На рис.3 обозначены:

- 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)
- ПЗ - потенциометр, регулирующий величину ускоряющего напряжения
- $V_1$  - вольтметр, измеряющий величину ускоряющего напряжения
- 4,5 В - батарея КБСЛ - источник задерживающего потенциала

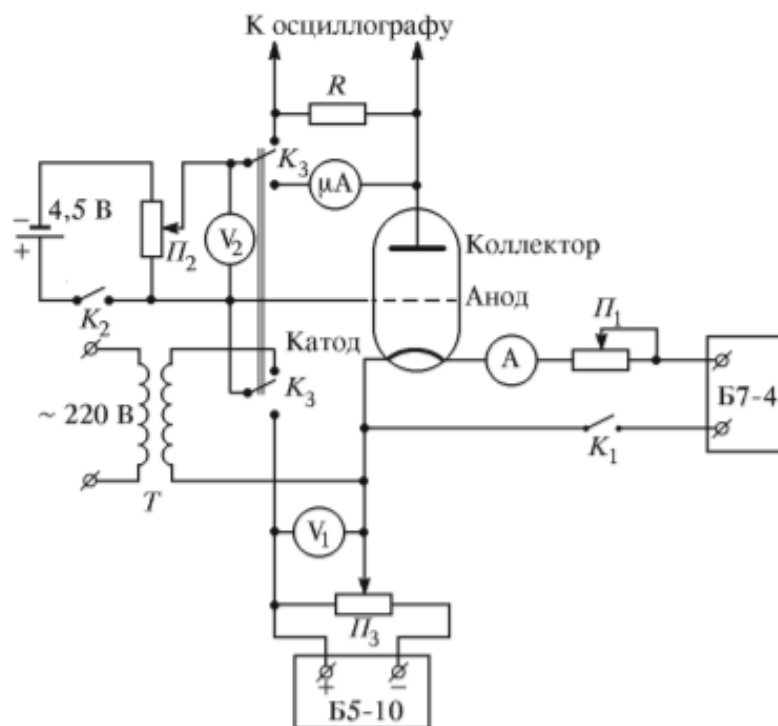


Рис. 3: Схема экспериментальной установки

- $\Pi_2$  - 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
- - нагрузочный резистор

## Ход работы

### Получение вольт-амперной характеристики $I_k = f(V_a)$ на экране осциллографа (динамический режим)

1. При максимальном ускоряющем напряжении измерим на экране расстояние между максимумами и между минимумами осциллограммы. Измерения проведём при трёх значениях задерживающего напряжения: 4, 6 и 8 В. Результаты измерений занесём в таблицу 1.
2. Определим значение энергии первого возбуждённого состояния атома гелия.

$$\overline{\Delta V_{max}} = 15.3 \pm 1.2 \text{ В} \quad \overline{\Delta V_{min}} = 18.3 \pm 1.0 \text{ В}$$

Таблица 1: Максимумы и минимумы напряжения на осциллограммах

Задерж. напряже- ние	$V_{max1}$	$V_{max2}$	$V_{min1}$	$V_{min2}$	Погрешность	$\Delta V_{max}$	$\Delta V_{min}$
4 В	0 В	16 В	11 В	30 В	1 В	16 В	19 В
6 В	0 В	15 В	10 В	28 В	1 В	15 В	18 В
8 В	0 В	15 В	7 В	25 В	1 В	15 В	18 В

Погрешности определения средних значений определим, используя формулу

$$\sigma_{V1} = 1 \text{ В} - \text{погрешность прибора}$$

$$\sigma_{V2} = \sqrt{\frac{1}{6} \sum (V_i - \bar{V})^2} - \text{погрешность среднего значения}$$

$$\sigma_{Vmax} = 1.2 \text{ В} \quad \sigma_{Vmin2} = 1.0 \text{ В}$$

Среднее значение первого возбуждённого состояния атома гелия по результатам эксперимента:

$$V = 16.8 \pm 1.6 \text{ эВ (относительная погрешность составляет 15\%)}$$

При этом табличное значение данной величины составляет

$$V = 19.8 \text{ эВ}$$

С учётом погрешности, экспериментальные данные близки к теоретическим.

## Получение вольт-амперной характеристики $I_k = f(V_a)$ в статическом режиме измерений

1. Снимем зависимость коллекторного тока от анодного напряжения  $I_k = f(V_a)$  для значений задерживающего напряжения 4, 6 и 8 В. Результаты измерений занесём в таблицы 2-4

Таблица 2: Значения коллекторного тока и анодного напряжения, задерживающее напряжение 4 В

V, В	3.16	6.18	9.1	12.02	15.08	15.86	16.9	17.38	18.41	19.21	20.35	21.42	22.19	23.58	24.48
I, $\mu$ A	6	14	20	25	30	33	35	36	37	36	34	33	31	26	24
V, В	25.72	26.33	27.63	28.18	29.93	33.55	36.26	37.22	39.52	40.82	41.56	42.50	43.75	44.44	45.03
I, $\mu$ A	26	28	31	32	36	46	53	57	58	54	54	53	52	51	52
V, В	46.58	47.73	51.09	54.48	57.55	60.27	63.55	66.62	69.15	72.31	75.22				
I, $\mu$ A	53	54	58	65	72	77	79	84	85	89	93				

2. Представим графики вольт-амперных характеристик трёхэлектродной лампы при разных задерживающих напряжениях
3. Определим по результатам измерений энергию первого возбуждения атома гелия.

Таблица 3: Значения коллекторного тока и анодного напряжения, задерживающее напряжение 6 В

V, В	3,26	6,09	9,43	12,73	15,55	17,3	18,61	19,33	20,46	21,68	22,82	23,88	24,16	25,3	26,51
I, $\mu$ A	2	8	17	24	29	33	34	34	33	31	27	22	18	15	21
V, В	27,37	28,5	29,3	30,91	33,79	36,69	37,35	38,6	39,8	40,65	41,24	42,11	43,73	44,91	45,59
I, $\mu$ A	22	23	26	29	38	46	48	47	48	46	45	44	41	40	39
V, В	46,61	47,29	48,91	49,84	51,54	54,71	57,8	60,25	63,97	66,68	69,28	72,73	75,8	79,89	
I, $\mu$ A	39	40	41	42	43	49	56	59	62	63	65	67	69	74	

Таблица 4: Значения коллекторного тока и анодного напряжения, задерживающее напряжение 8 В

V, В	3,11	6,61	9,39	12,42	15,54	17,02	18,91	19,72	20,42	21,37	22,02	23,62	24,3	25,47	26,33
I, $\mu$ A	1	5	13	20	26	29	32	32	31	30	29	24	18	11	9
V, В	27,42	28,7	29,93	30,5	31,49	32,61	33,52	36,36	37,72	38,71	39,58	40,91	41,45	42,38	45,72
I, $\mu$ A	8	10	15	17	21	24	27	36	38	39	39	37	36	35	30
V, В	46,58	47,62	48,49	49,07	50,86	51,37	52,65	53,8	54,5	55,6	57,55	60,42	63,64	66,51	69,59
I, $\mu$ A	29	28	28	27	29	30	31	33	34	36	38	43	45	46	45

4. Определим значение потенциала возбуждения атома гелия, оно соответствует расстоянию между экстремумами одного типа

$$\overline{\Delta V_{max}} = 20.73 \pm 1.43 \text{ В} \quad \overline{\Delta V_{min}} = 20.57 \pm 1.28 \text{ В}$$

Погрешности определения средних значений определим, используя формулу

$$\sigma_{V1} = 1 \text{ В} - \text{погрешность прибора}$$

$$\sigma_{V2} = \sqrt{\frac{1}{6} \sum (V_i - \bar{V})^2} - \text{погрешность среднего значения}$$

$$\sigma_{V_{max2}} = 1.43 \text{ В} \quad \sigma_{V_{min2}} = 1.28 \text{ В}$$

Среднее значение первого возбуждённого состояния атома гелия по результатам эксперимента:

$$V = 20.65 \pm 1.92 \text{ эВ (относительная погрешность составляет 5\%)}$$

При этом табличное значение данной величины составляет

$$V = 19.8 \text{ эВ}$$

С учётом погрешности, экспериментальные данные близки к теоретическим.

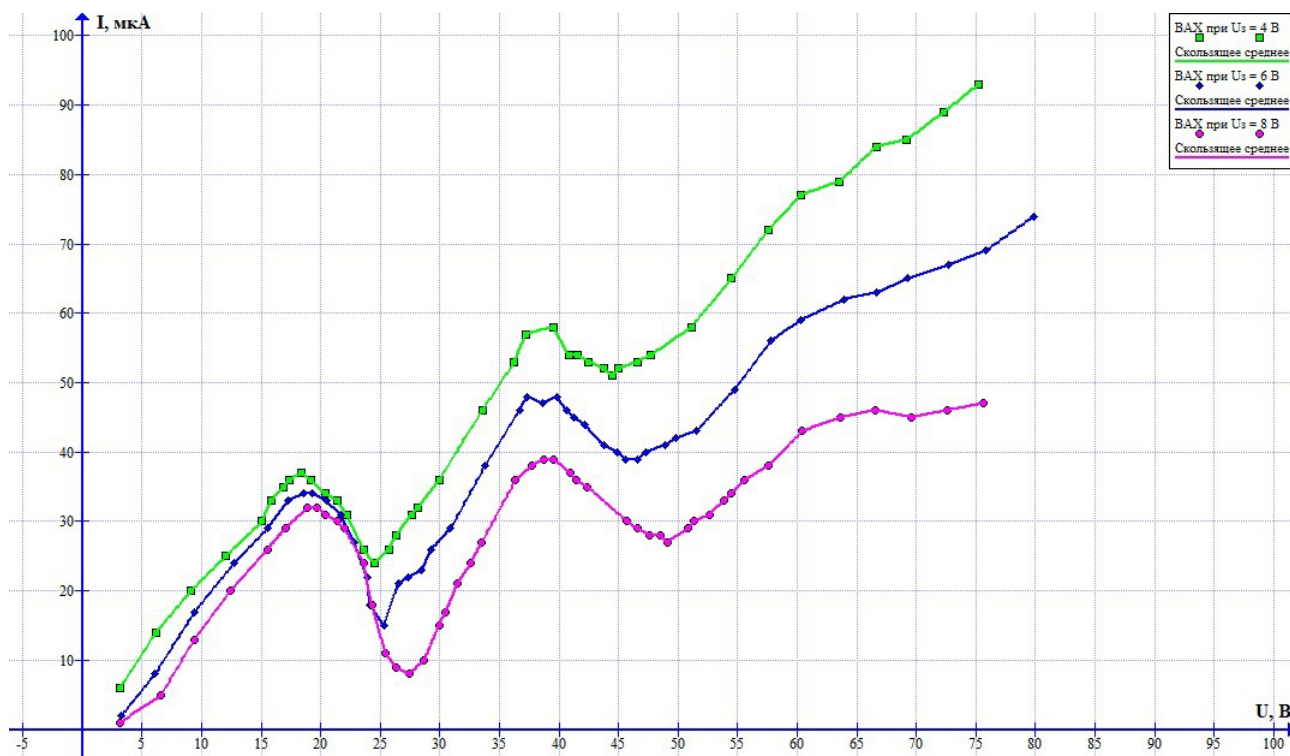


Рис. 4: Вольт-амперные характеристики трёхэлектродной вакуумной лампы при разных значениях запирающего напряжения

Таблица 5: Максимумы и минимумы напряжения на осциллограммах

Задерж. напряже- ние	$V_{max1}$	$V_{max2}$	$V_{min1}$	$V_{min2}$	Погрешность	$\Delta V_{max}$	$\Delta V_{min}$
4 В	18.41 В	40.82 В	24.48 В	44.44 В	1 В	22.41 В	19.96 В
6 В	18.61 В	38.60 В	26.51 В	46.61 В	1 В	19.99 В	20.10 В
8 В	18.91 В	38.71 В	27.42 В	49.07 В	1 В	19.80 В	21.65 В

## Вывод

Провели опыт Франка-Герца, подтверждающий наличие дискретных уровней возбуждения атомов. Вольт-амперная характеристика трёхэлектродной вакуумной лампы была измерена двумя способами - динамическим и статическим. По этим ВАХ были экспериментально определены потенциалы возбуждения атомов гелия.

$$\begin{aligned}
 V_{stat} &= 20.65 \pm 1.92 \text{ эВ} \\
 V_{din} &= 16.8 \pm 1.6 \text{ эВ} \\
 V_t &= 19.8 \text{ эВ}
 \end{aligned}$$

Результаты совпадают по порядку величины, также значение потенциала возбуждения атома гелия в пределах погрешности совпадает с табличным значением. Статический метод оказался более точным, чем динамический.