

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5.2.1

Опыт Франка-Герца

Автор работы: Хоружий Кирилл

От: 20 октября 2021 г.

## Цель работы

1. Повторить опыт Франка-Герца.
2. Методом электронного возбуждения измерить энергию первого уровня атома гелия в динамическом и статическом режимах.

## Оборудование

Трёхэлектродная лампа ЛМ-2; батарея 4,5 В; микроамперметр; понижающий трансформатор; осциллограф; блок источников питания; вольтметр В7-22А.

## Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки изображена на рис. 1. На рисунке 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);  $Pi_3$  – потенциометр, регулирующий величину ускоряющего напряжения;  $V_1$  – вольтметр, измеряющий величину ускоряющего напряжения; 4,5 В – батарея КБСЛ, – источник задерживающего потенциала;  $Pi_2$  – потенциометр, регулирующий величину задерживающего потенциала;  $V_2$  – вольтметр, измеряющий величину задерживающего потенциала;  $\mu A$  – микрометр – регистрирует ток в цепи коллектора;  $K_3$  – ключ, переключающий схему из статического режима в динамический; Т – понижающий трансформатор, – подаёт ускоряющий потенциал при динамическом режиме.

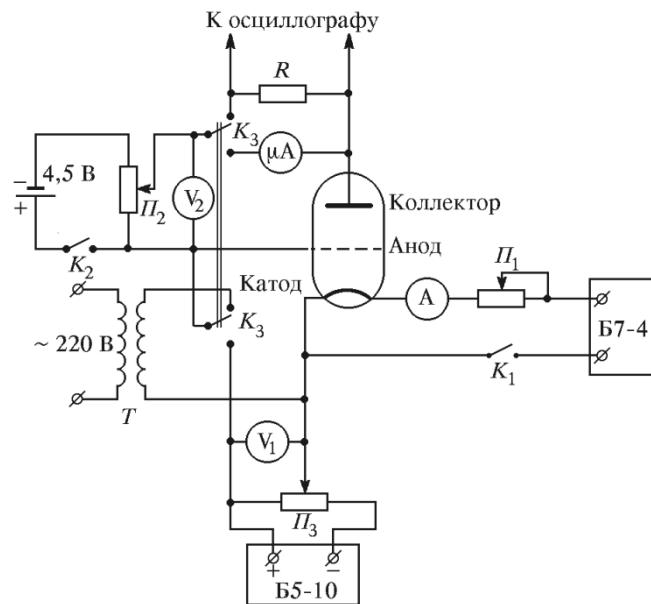


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

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.

## Теория

Рассмотрим столкновение электрона с атомом Не. Если энергия электрона недостаточна, чтобы возбудить/ионизировать атом то *упругое столкновение*, электрон не теряет энергию.

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

- **возбуждение** – переход одного из атомных электронов на свободный энергетический уровень;
- **ионизация** – отрыв электрона от атома.

А значит, измерив  $\Delta U_1$  между максимумами и минимумами, отстоящими на равное расстояние, определим энергию первого возбужденного состояния.

## Измерения

Далее используются обозначения:  $U_2$  – задерживающий потенциал,  $U_1$  – ускоряющее напряжение,  $I$  – ток коллектора.

**Динамический режим.** В динамическом режиме, измерим ВАХ лампы  $I(U)$ , см. рис. 2. Оцифруем полученные зависимости, и измерим для них  $\Delta U$ , см. таблицу 1.

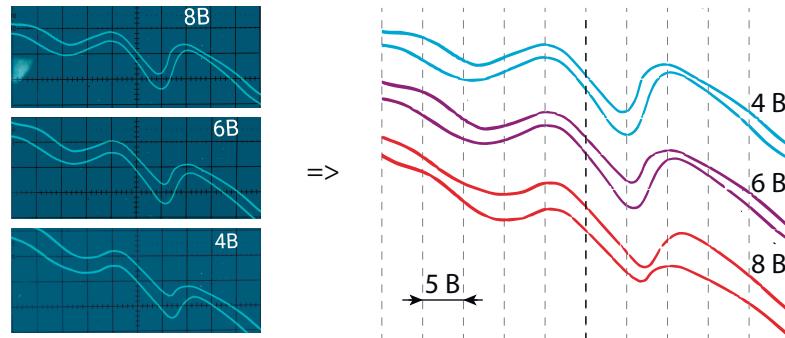


Рис. 2: Измерение  $\Delta U_1$  в динамическом режиме

Среднее значение для  $\Delta U_{1,dyn}$  получилось:  $\Delta U_{1,dyn} = (18 \pm 1)$  В. Погрешность обусловлена разбросом снятых с ВАХ значений.

**Статический режим.** В статическом режиме, посмотрим на ВАХ лампы  $I(U)$ , см. таблицу 2. Погрешность измерений:  $\sigma[U_1] = 0.1$  В,  $\sigma[I] = 0.5 \mu\text{A}$ . Построим зависимость  $I(U)$  для различных запирающих напряжений, см. рис. 3.

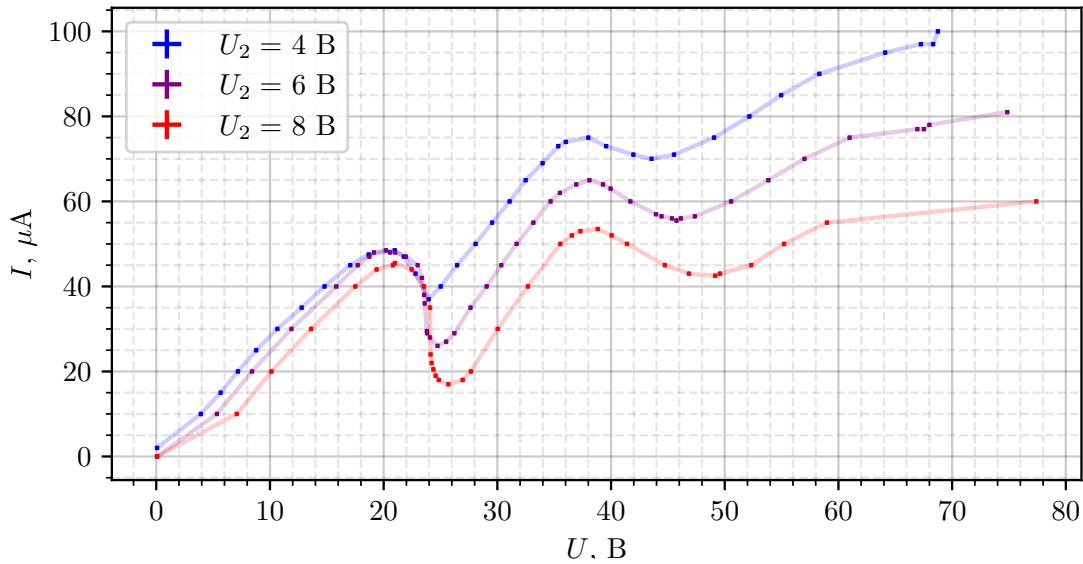


Рис. 3: Измерение ВАХ в статическом режиме при различных запирающих напряжениях.

Определим максимумы и минимумы найденных зависимостей, см. таблицу 1. Заметим, что расстояние для максимумов и минимумов  $\Delta U$  различается. Возможно, это связана с особенностями измерения максимумов и минимумов. Скорее всего это связано с особенностями установки.

$U_2$ , В	$U_1^{\min I}$ , В	$U_1^{\min II}$ , В	$\Delta U_1^{\min}$ , В	$U_1^{\max I}$ , В	$U_1^{\max II}$ , В	$\Delta U_1^{\max}$ , В	$\Delta U_{1,dyn}^{\min}$ , В
4	24.0	43.6	20	21.0	38.0	17	17
6	24.7	45.8	21	20.2	38.1	18	18
8	25.7	49.2	23	21.0	38.1	17	18

Таблица 1: Результаты измерения экстремумов

**Про измерение максимумов.** В статическом режиме тщательно измерялись области вблизи экстремумов. За экстремум бралась точка такая, что изменения  $U_1$  приводили к отступлению вверх/вниз от экстремума на  $\sigma[I] = 0.5 \mu\text{A}$ .

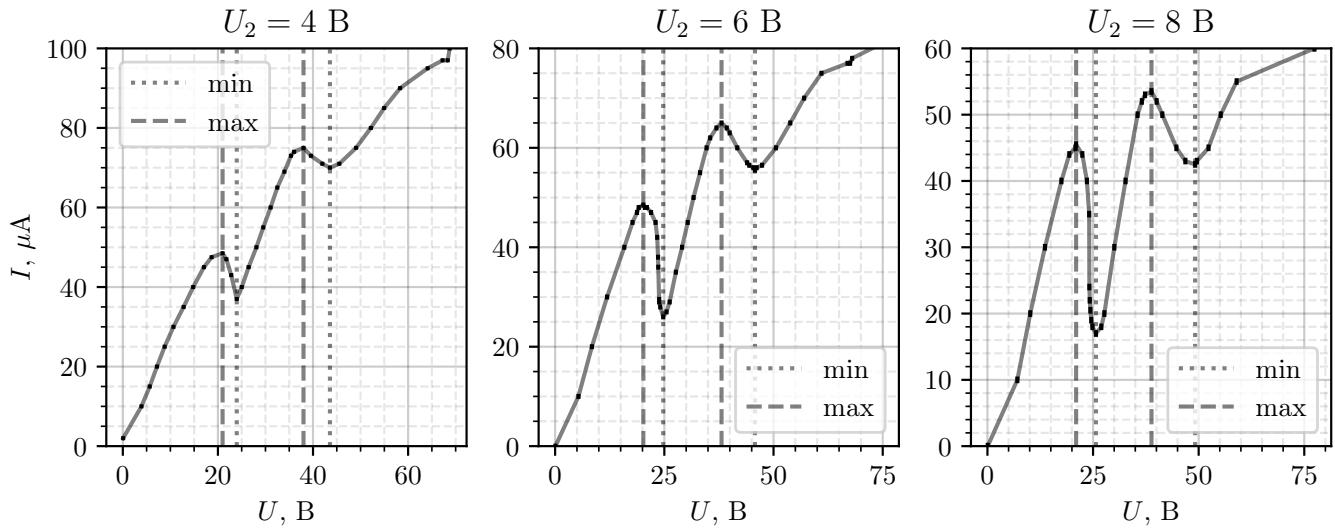


Рис. 4: Определение экстремумов ВАХ лампы в статическом режиме

На рис. 4 приведены измеренные таким образом значения для экстремумов.

**Результат измерений.** Итого, средние значения для  $\Delta U$  в статическом режиме получились:

$$\Delta U_{1,\text{stat}}^{\min} = (21 \pm 1) \text{ В},$$

$$\Delta U_{1,\text{stat}}^{\max} = (17 \pm 1) \text{ В},$$

$$\Delta U_{1,\text{dyn}} = (18 \pm 1) \text{ В},$$

$$\Delta U_{1,\text{table}} = 21.6 \text{ В},$$

где также приведено табличное значение  $\Delta U_1^{\text{table}}$ . Нетрудно перевести эти результаты в единицы энергии  $E$  возбуждения первого уровня атома Не:

$$E_{\text{stat}}^{\min} = (21 \pm 1) \text{ эВ},$$

$$E_{\text{stat}}^{\max} = (17 \pm 1) \text{ эВ},$$

$$E_{\text{dyn}} = (18 \pm 1) \text{ эВ},$$

$$E_{\text{table}} = 21.6 \text{ эВ}.$$

Ближе всего к табличному оказалось значение  $E_{\text{stat}}^{\min}$ .

## Выводы

Воспроизведен опыт Франка-Герца. Подтверждено наличие дискретных уровней возбуждения атомов. Двумя способами измерен ВАХ вакуумной лампы, по которому определена энергия возбуждения первого уровня атома Не, совпадающие с табличным значением по порядку.

Наиболее близким к табличному, оказалось измерения  $E$  по минимуму в статическом режиме:

$$E_{\text{stat}}^{\min} = (21 \pm 1) \text{ эВ}, \quad E_{\text{table}} = 21.6 \text{ эВ}.$$

## Приложение

Таблица 2: Измерения  $U_2 = 4$  В

$U_1$ , В	$I$ , $\mu\text{A}$
0.1	2.0
3.9	10.0
5.6	15.0
7.1	20.0
8.7	25.0
10.6	30.0
12.7	35.0
14.8	40.0
17.0	45.0
18.6	47.5
20.9	48.5
21.7	47.0
22.8	43.0
23.9	37.0
25.0	40.0
26.4	45.0
28.0	50.0
29.5	55.0
31.0	60.0
32.4	65.0
33.9	69.0
35.3	73.0
36.0	74.0
38.0	75.0
39.5	73.0
41.9	71.0
43.5	70.0
45.5	71.0
49.0	75.0
52.1	80.0
54.9	85.0
58.3	90.0
64.1	95.0
67.2	97.0
68.3	97.0
68.7	100.0

Таблица 3: Измерения  $U_2 = 6$  В

$U_1$ , В	$I$ , $\mu\text{A}$
0.1	0.0
5.3	10.0
8.4	20.0
11.8	30.0
15.8	40.0
17.7	45.0
18.7	47.0
19.1	48.0
20.2	48.5
20.5	48.0
21.0	48.0
21.9	47.0
22.9	45.0
23.3	42.0
23.5	38.0
23.6	36.0
23.8	29.5
23.8	29.0
24.0	28.0
24.7	26.0
25.5	27.0
26.2	29.0
27.6	35.0
29.0	40.0
30.3	45.0
31.6	50.0
33.1	55.0
34.6	60.0
35.5	62.0
36.9	64.0
38.1	65.0
39.2	64.0
39.9	63.0
41.7	60.0
43.9	57.0
44.4	56.5
45.3	56.0
45.7	55.5
46.1	56.0
47.3	56.5
50.5	60.0
53.8	65.0
57.0	70.0
60.9	75.0
66.9	77.0
67.5	77.0
68.0	78.0
74.8	81.0

Таблица 4: Измерения  $U_2 = 8$  В

$U_1$ , В	$I$ , $\mu\text{A}$
0.1	0.0
7.0	10.0
10.1	20.0
13.6	30.0
17.5	40.0
19.3	44.0
20.8	45.0
20.9	45.5
22.4	44.0
23.5	40.0
24.0	35.0
24.1	24.0
24.2	22.0
24.3	20.5
24.5	19.0
24.8	18.0
25.6	17.0
26.9	18.0
27.6	20.0
30.0	30.0
32.6	40.0
35.5	50.0
36.5	52.0
37.3	53.0
38.8	53.5
40.0	52.0
41.4	50.0
44.7	45.0
46.8	43.0
49.1	42.5
49.5	43.0
52.3	45.0
55.2	50.0
58.9	55.0
77.4	60.0