

Лабораторная работа 5.2

Опыт Франка-Герца.

Жарков Андрей 495

22 апреля 2017 г.

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 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, 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.

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 передаётся одному из атомных электронов, вызывая его переход на свободный энергетический уровень (возбуждение) или совсем отрывая его от атома (ионизация).

Третьим электродом лампы является коллектор. Между ним и анодом поддерживается небольшое задерживающее напряжение (потенциал коллектора меньше потенциала анода). Ток коллектора, пропорциональный числу попадающих на него за секунду электронов, измеряется микроамперметром.

При увеличении потенциала анода ток в лампе вначале растёт, подобно тому как это происходит в вакуумном диоде (рис. 2). Однако, когда энергия электронов становится достаточной для возбуждения атомов, ток коллектора резко уменьшается. Это происходит потому, что при неупругих соударениях с атомами электроны почти полностью теряют свою энергию и не могут преодолеть задерживающего потенциала (около 1 В) между анодом и коллектором. При дальнейшем увеличении потенциала анода ток коллектора вновь возрастает: электроны, испытавшие неупругие соударения, при дальнейшем движении к аноду успевают набрать энергию, достаточную для преодоления задерживающего потенциала.

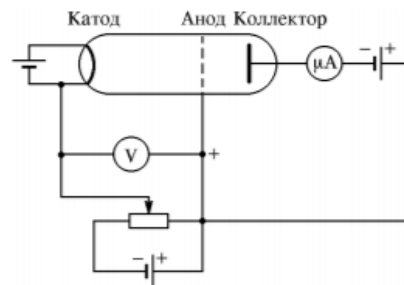


Рис. 1. Принципиальная схема опыта Франка и Герца

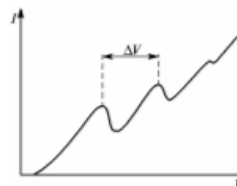


Рис. 2. Зависимость тока коллектора от напряжения на аноде

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 ΔV ; эти расстояния равны энергии первого возбуждённого состояния (рис. 2).

При тщательной постановке опыта можно увидеть и тонкую структуру кривой спада тока, содержащую ряд минимумов, соответствующих возбуждению других уровней и ионизации атома гелия. Для этого нужны лампы специальной конструкции. В нашей постановке опыта эта тонкая структура не видна.

Экспериментальная установка. Схема экспериментальной установки изображена на рис. 3. Для опыта используется серийная лампа ионизационного манометра ЛМ-2, заполненная гелием до давления ~ 1 Торр. Источником электронов является вольфрамовый катод, нагреваемый переменным током. Напряжение накала подаётся от стабилизируемого источника питания С. Ток накала контролируется амперметром А.

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

Ускоряющее напряжение подаётся на анод от выпрямителя В. Величина этого напряжения регулируется потенциометром Π_3 и измеряется вольтметром V_1 .

Источник задерживающего напряжения — батарея 4,5 В; величина напряжения регулируется потенциометром Π_2 и измеряется вольтметром V_2 . Ток в цепи коллектора регистрируется микроамперметром.

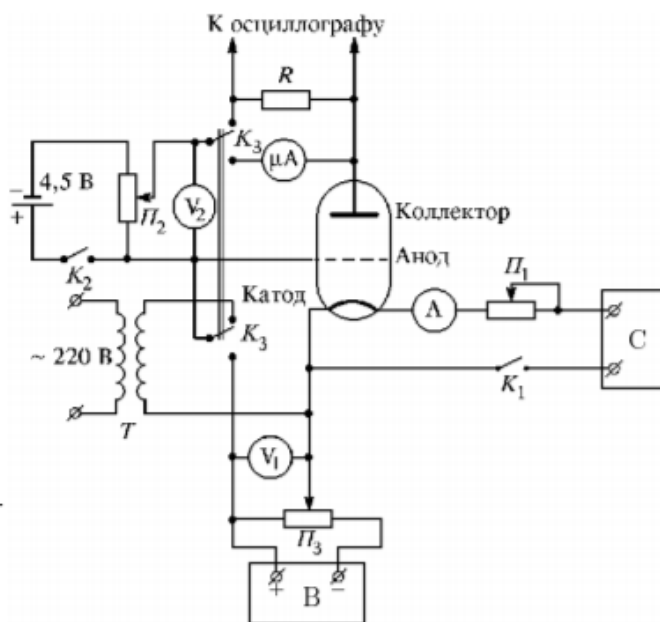


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

Ход работы.

1. Получим ВАХ $I_K = f(V_a)$ в динамическом режиме. Для этого сначала измерим при максимальном ускоряющем напряжении расстояния между максимумами и минимумами осциллограммы при различных значениях задерживающего напряжения.

№	$V_{\text{задерж}}, \text{В}$	$\Delta V_{\text{max}}, \text{В}$	$\Delta V_{\text{min}}, \text{В}$
1	4	15	17
2	6	16	20
3	8	16	20

При измерениях $\sigma_{V_{max}} = \sigma_{V_{min}} = 0.5B$.

Определим энергию возбуждения первого уровня атома гелия по формуле:

$$E_1 = e\Delta U$$

Ошибку оценим по формуле погрешности среднего арифметического:

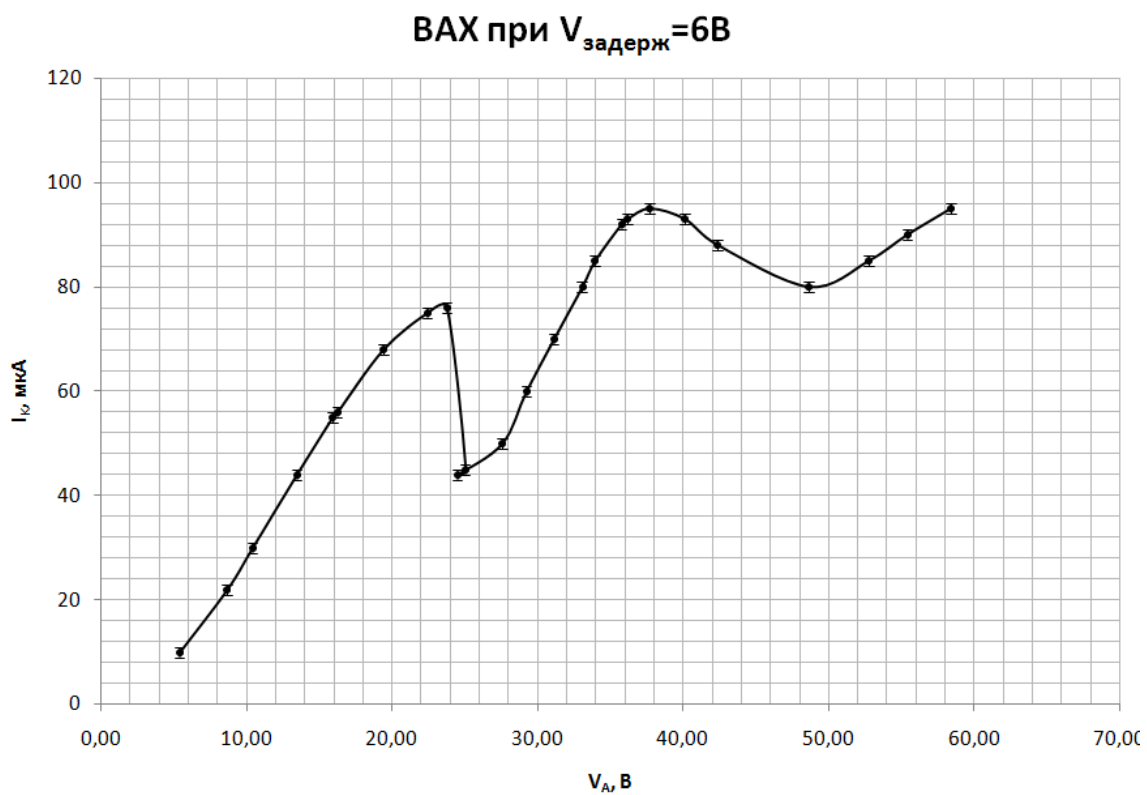
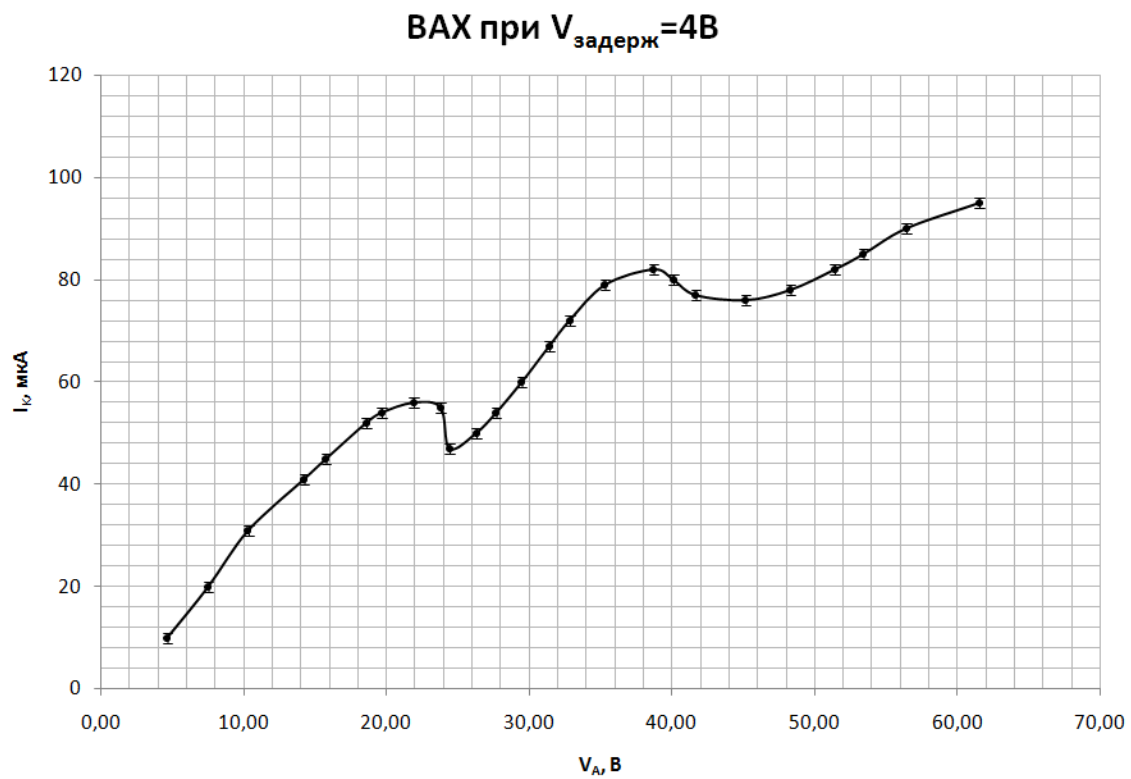
$$\sigma_{\Delta U} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \Sigma(\Delta U_i - \Delta U_{cp})^2}$$

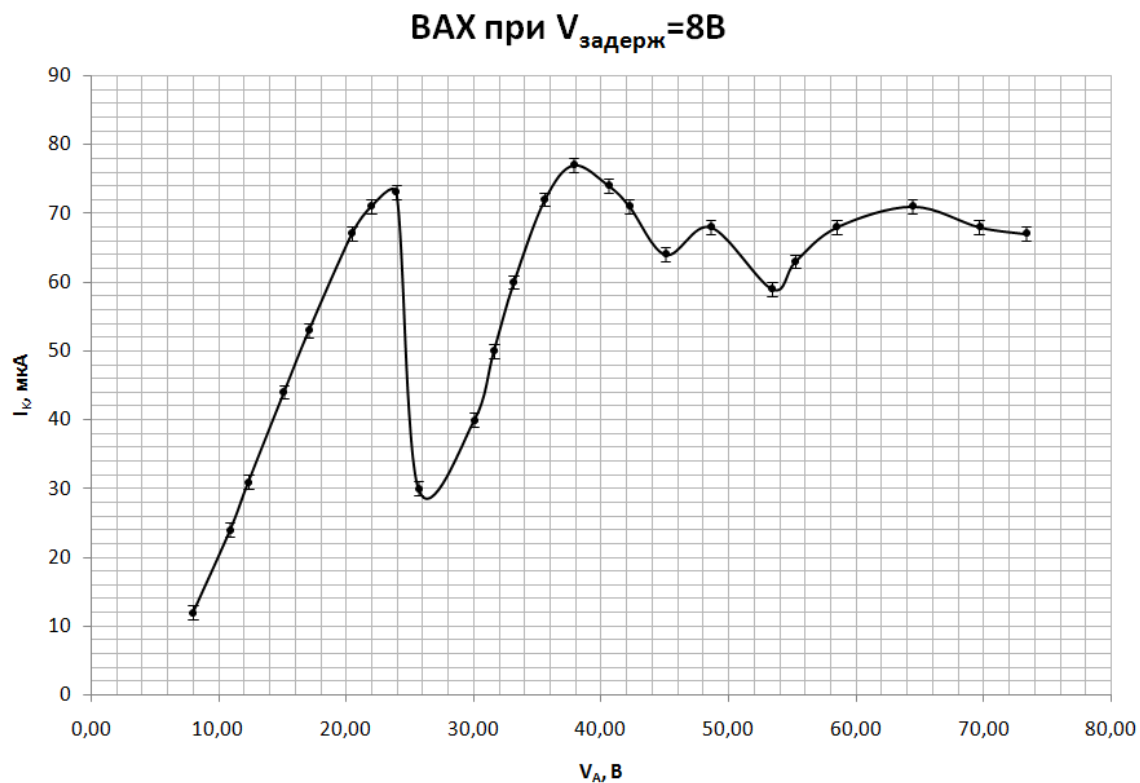
Итак, $E_1 = 17 \pm 2$ эВ.

2. Теперь получим вольт-амперную характеристику в статическом режиме. Снимем зависимость коллекторного тока от анодного напряжения $I_K = f(V_a)$ для нескольких значений задерживающего напряжения. Результаты измерений приведены в таблице:

№	V _{задерж} = 4В		V _{задерж} = 6В		V _{задерж} = 8В	
	V _A , В	I _K , мкА	V _A , В	I _K , мкА	V _A , В	I _K , мкА
1	4,65	10	5,38	10	8,01	12
2	7,53	20	8,64	22	10,91	24
3	10,33	31	10,38	30	12,35	31
4	14,23	41	13,42	44	15,13	44
5	15,78	45	15,89	55	17,09	53
6	18,58	52	16,22	56	20,45	67
7	19,65	54	19,38	68	21,98	71
8	21,90	56	22,40	75	23,95	73
9	23,81	55	23,73	76	25,68	30
10	24,42	47	25,02	45	30,05	40
11	26,28	50	24,45	44	31,58	50
12	27,68	54	27,55	50	33,15	60
13	29,48	60	29,20	60	35,58	72
14	31,40	67	31,10	70	37,83	77
15	32,82	72	33,04	80	40,59	74
16	35,31	79	33,93	85	42,21	71
17	38,70	82	35,74	92	45,05	64
18	40,09	80	36,17	93	48,58	68
19	41,65	77	37,67	95	53,40	59
20	45,15	76	40,08	93	55,20	63
21	48,28	78	42,34	88	58,46	68
22	51,39	82	48,62	80	64,39	71
23	53,40	85	52,72	85	69,62	68
24	56,39	90	55,37	90	73,31	67
25	61,51	95	58,36	95		

Построим графики для каждого значения задерживающего напряжения:





Для каждого графика определим ΔU_{max} и, воспользовавшись формулой $E_1 = e\Delta U$ определим энергию возбуждения.

При $V_{\text{задерж}} = 4\text{В}$ $E_1 = 18 \pm 1\text{эВ}$

При $V_{\text{задерж}} = 6\text{В}$ $E_1 = 18 \pm 1\text{эВ}$

При $V_{\text{задерж}} = 8\text{В}$ $E_1 = 16 \pm 1\text{эВ}$

Как видим, установленное на опыте значение энергии возбуждения первого уровня атома гелия несколько меньше табличного (табличное значение 19,8 эВ).

Возможно, это связано с неидеальностью установки (например, гелий несколько разбавлен воздухом).