МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Лабораторная работа 5.2.1

Опыт Франка-Герца

Выполнили:

Гисич Арсений

Вазюля Василиса

Б03-101

Долгопрудный

2023

1 Аннотация

В данной работе методом электронного возбуждения измерялась энергия первого уровня атома гелия в динамическом и статическом режимах.

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.

- энергия электрона недостаточна, чтобы возбудить/ионизировать атом -> *упругое столкновение*, электрон не теряет энергию
- при большой разности потенциалов энергия электрона достаточна для возбуждения атомов -> *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

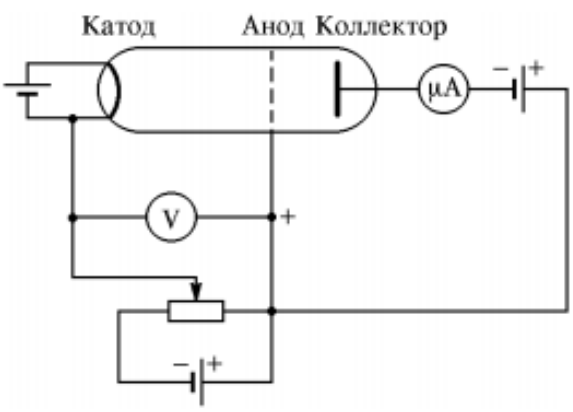


Рис. 1: Схема опыта Франка и Герца

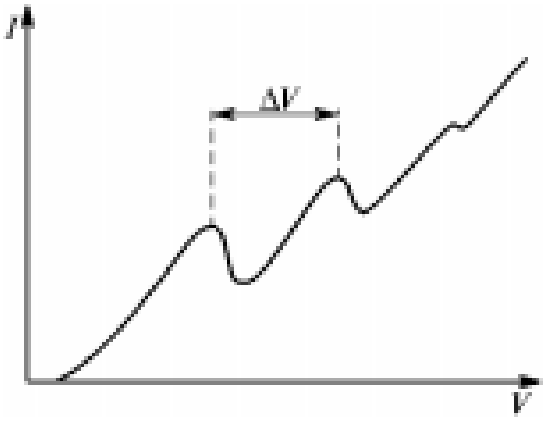


Рис. 2: Схематический вид зависимости тока коллектора от напряжения на аноде

Объясним вид зависимости тока коллектора (измеряется микроамперметром) 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 Методика измерений

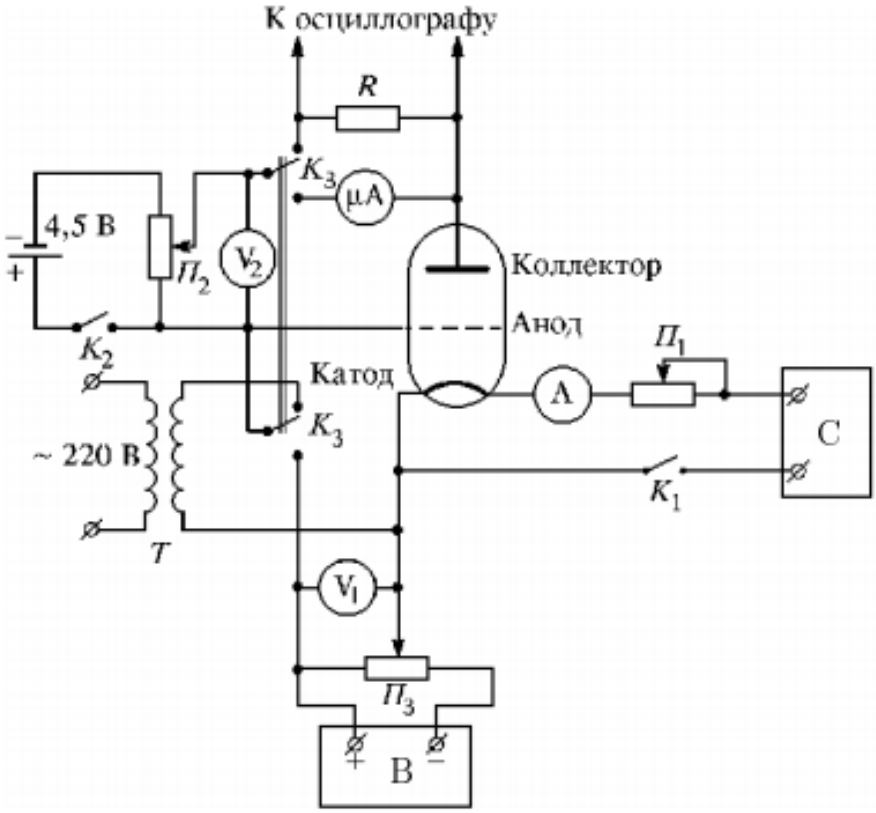


Рис. 3: Схема экспериментальной установки

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)
- 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
- μA — микроамперметр — регистрирует ток в цепи коллектора

- K_3 — ключ, переключающий схему из статического режима в динамический
- T — понижающий трансформатор — подаёт ускоряющий потенциал при динамическом режиме
- R — нагрузочный резистор

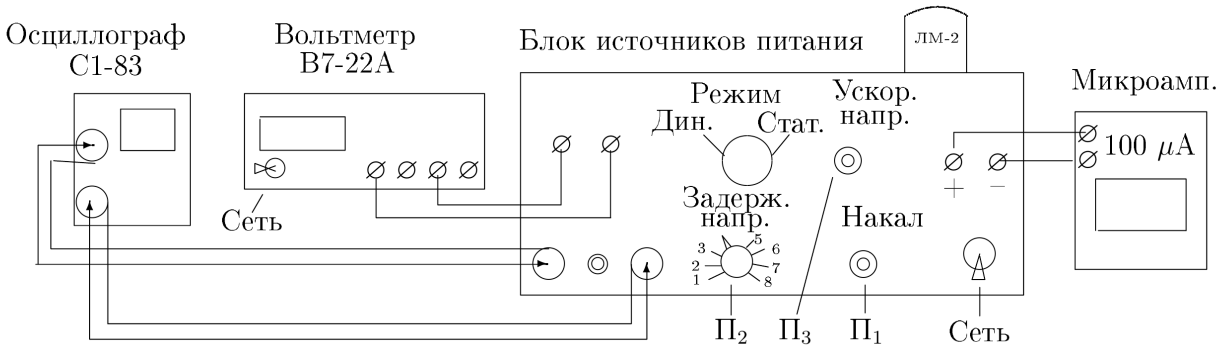


Рис. 4: Блок-схема экспериментальной установки

4 Используемое оборудование

1. вольтметр;
2. блок питания;
3. микроамперметр;
4. лампа ионизационного манометра ЛМ-2;
5. осциллограф;

5 Результаты измерений и обработка данных

5.1 Динамический режим

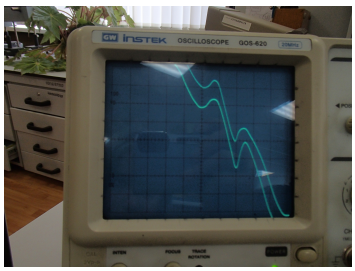
Осциллограмма ВАХ при измерении в динамическом режиме при различных значениях задерживающего напряжения представлена на рис. 5.

По осциллограмме определим расстояние между максимумами и минимумами:

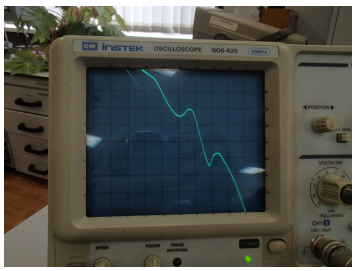
Задерживающие напряжение	ΔV_{max}, В	ΔV_{min}, В
4 В	$18,0 \pm 0,5$	$20,0 \pm 0,5$
6 В	$18,0 \pm 0,5$	$22,0 \pm 0,5$
8 В	$18,0 \pm 0,5$	$22,0 \pm 0,5$

Таблица 1: Полученные значения в динамическом режиме измерений

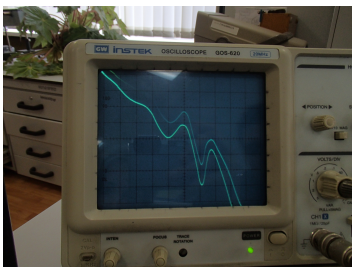
Таким образом, энергия возбуждения первого уровня атома гелия $E = 18,0 \pm 1,2$ *эВ*.



a)



b)



c)

Рис. 5: Осциллограммы: (a) $V = 4\ B$, (b) $V = 6\ B$, (c) $V = 8\ B$

5.2 Статический режим

Полученные данные в статическом режиме измерений представлены в таб. 2. По этим данным построим график на рис. 6.

Задерживающее напряжение					
4 В		6 В		8 В	
V_a, В	mA	V_a, В	mA	V_a, В	mA
0,04	0,0115	0,04	0,0069	0,03	0,007
4,42	0,0617	3,53	0,0296	3,89	0,0117
9,25	0,1388	7,62	0,0907	8,58	0,0772
13,57	0,2	11,06	0,1481	16,06	0,1963
16,62	0,2363	13,76	0,1895	21,49	0,2463
20,09	0,2605	21,89	0,2551	23,25	0,1974
22,25	0,2589	23,3	0,194	25,32	0,0926
24,03	0,1965	25,08	0,1409	27,02	0,087
26,08	0,239	26,3	0,1372	28,71	0,1132
28,54	0,2713	27,02	0,1722	30,04	0,1601
33,71	0,362	31,1	0,2588	34,65	0,2563
38,74	0,38967	33,74	0,3095	38,93	0,2857
40,57	0,3857	39,8	0,3403	48,31	0,2269
42,4	0,3682	45,4	0,3045	55,75	0,2674
44,99	0,3786	50,34	0,3195	64,47	0,3064
48,58	0,3885	56,25	0,3688	76,95	0,3181
54,22	0,4363	61,83	0,401	50,92	0,213
62,27	0,495	70,85	0,417	46,37	0,209
67,84	0,5108	76,77	0,4387		
76,05	0,5591	43,42	0,2722		
		47,23	0,2672		

Таблица 2: Полученные значения в статическом режиме измерений

По графику (рис. 6) определим расстояние между максимумами и минимумами ВАХ. Тогда получаем значение энергии $E = 17,5 \pm 2,7\ эВ$.

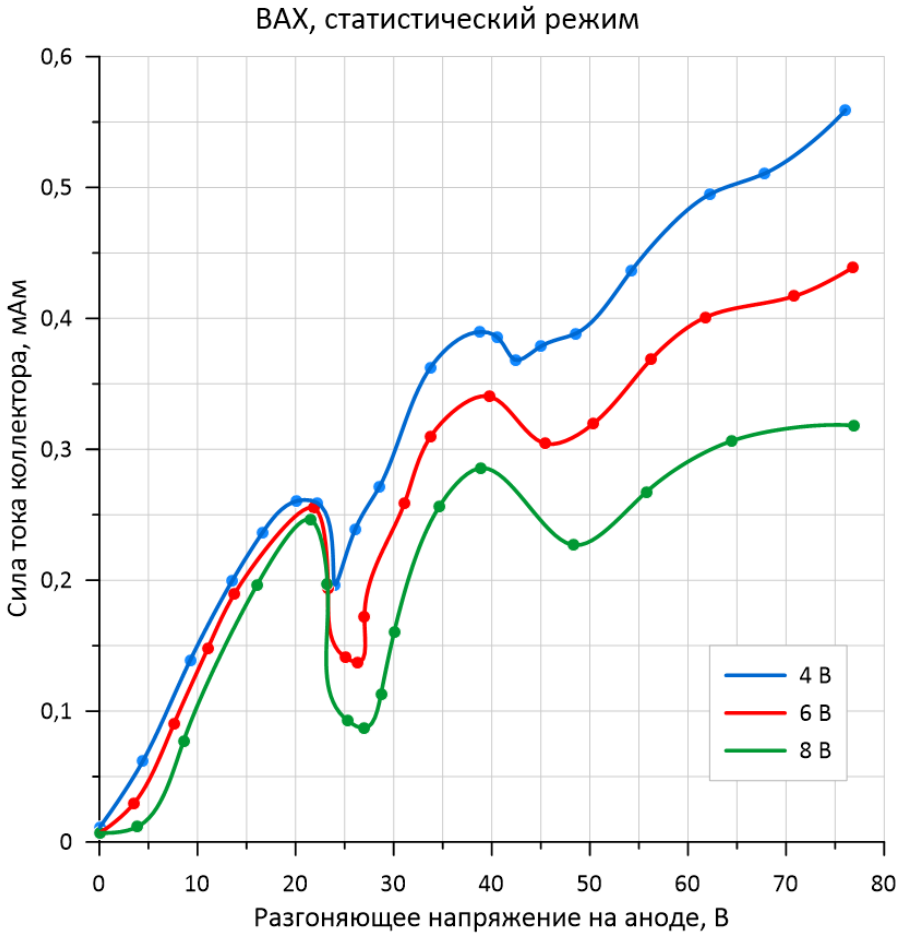


Рис. 6: Вольт-амперная характеристика лампы

Задерживающие напряжение	ΔV_{max}, В	ΔV_{min}, В
4 В	$18,0 \pm 2,5$	$18,0 \pm 2,5$
6 В	$18,0 \pm 2,5$	$19,0 \pm 2,5$
8 В	$17,0 \pm 2,5$	$20,0 \pm 2,5$

Таблица 3: Полученные значения в статическом режиме измерений

6 Обсуждение результатов и выводы

В ходе работы был воспроизведён 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 (одноатомный газ, заполняющий лампу). Полученные значения:

$$\boxed{E_{дин} = 18,0 \pm 1,2\ эВ; \quad E_{стат} = 17,5 \pm 2,7\ эВ}$$

Табличное значение для данной величины — $E = 21,6\ эВ$. Полученные результаты совпадают по порядку величины, также значение потенциала возбуждения атома гелия в пределах погрешности совпадает с табличным значением. Статический метод оказался менее точным, чем динамический, так как по конечному набору точек сложнее определить экстремумы.