

МОСКОВСКИЙ
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.1

Опыт Франка - Герца

Студенты

Ислам РАГИМОВ
Алексей ПЕТРЕНКО
618 группа

Преподаватель

Евгений Викторович
ФЕДОТОВ



25 сентября 2018 г.

Цель работы: Определить энергию возбуждения первого уровня атома гелия двумя способами: статическим и динамическим. Сравнить результаты измерений.

Теоритический аспект

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 трехэлектронную лампу. Электроны, испускаемые разогретым катодом ускоряются в постоянном электрическом поле, созданным 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 возбужденное 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 передается 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 измеряется микроамперметром.

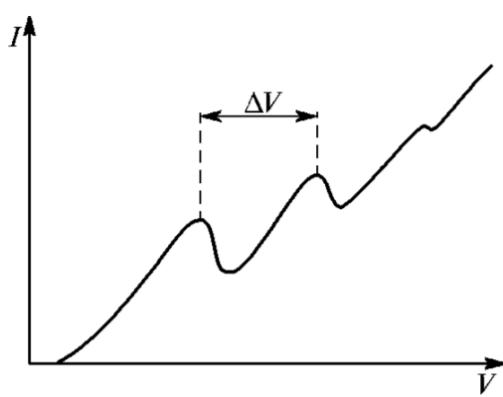


Рис. 2: Схематический вид зависимости тока коллектора от напряжения

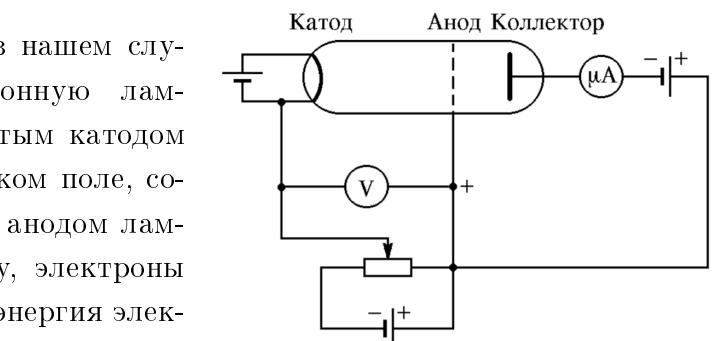


Рис. 1: Схема опыта Франка и Герца

При увеличении потенциала анода ток в лампе вначале растет, 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.

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 возбужденного состояния (рис.refdep).

Экспериментальная установка

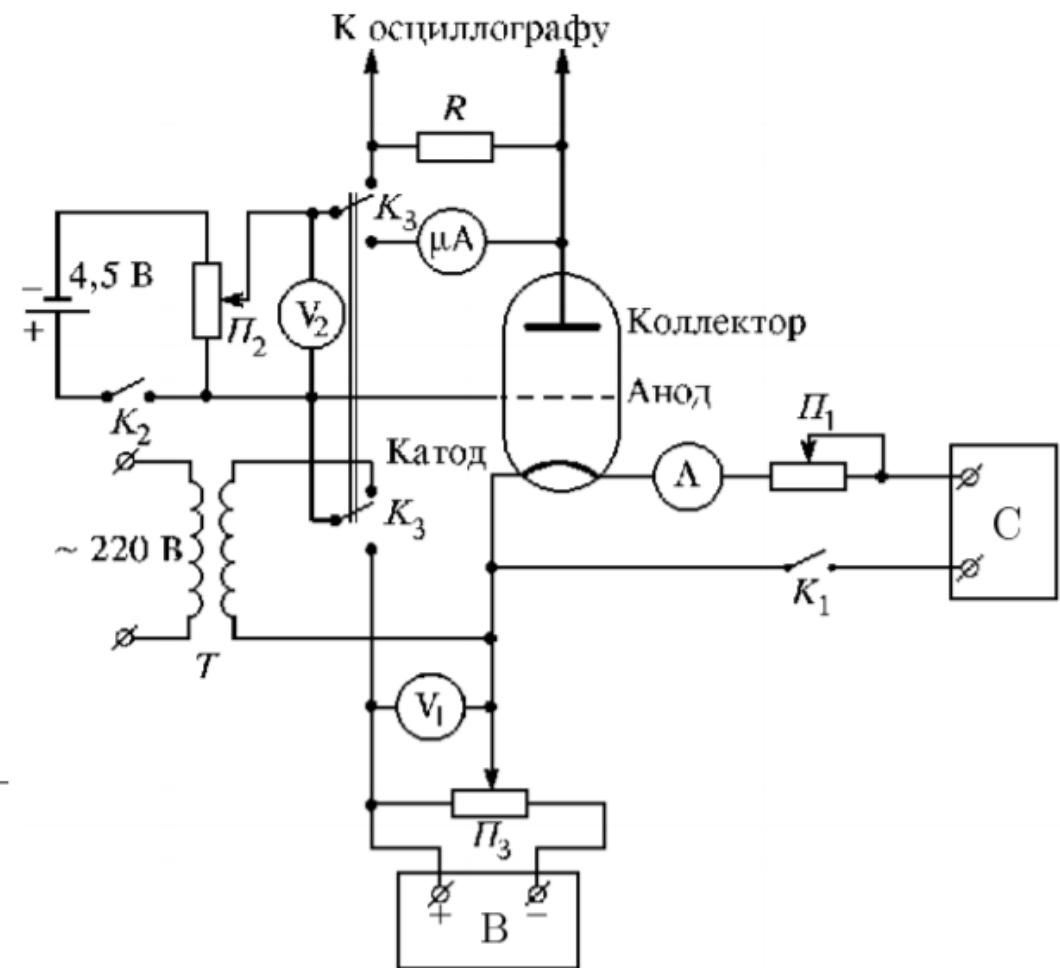


Рис. 3: Схема экспериментальной установки

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 Б7-4. Ток накала контролируется амперметром А. Источник Б7-4 включается в цепь тумблером K_1 .

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 3 и измеряется вольтметром V_1 . Источник задерживающего напряжения батарея 4,5 В; величина напряжения регулируется потенциометром 2 и измеряется вольтметром V_2 . Ток в цепи коллектора регистрируется микроамперметром.

Схему можно переключать из статического режима измерений в динамический режим с помощью ключа K_3 . На рис. 3 две части сдвоенного ключа K_3 изображены отдельно. При динамическом режиме работы ускоряющий потенциал подаётся с понижающего трансформатора Т (220/50 В), а ток коллектора регистрируется осциллографом, подключённым к нагрузочному резистору R. Осциллограф следует синхронизовать от сети 50 Гц.

При определении энергии электронов по разности потенциалов между анодом и катодом следует иметь в виду, что из-за контактной разности потенциалов между катодом и анодом первый максимум не соответствует потенциальному первого возбуждённого уровня. Однако контактная разность потенциалов сдвигает все максимумы одинаково, так что расстояние между ними не меняется.

Ход работы

Подготовка приборов к работе

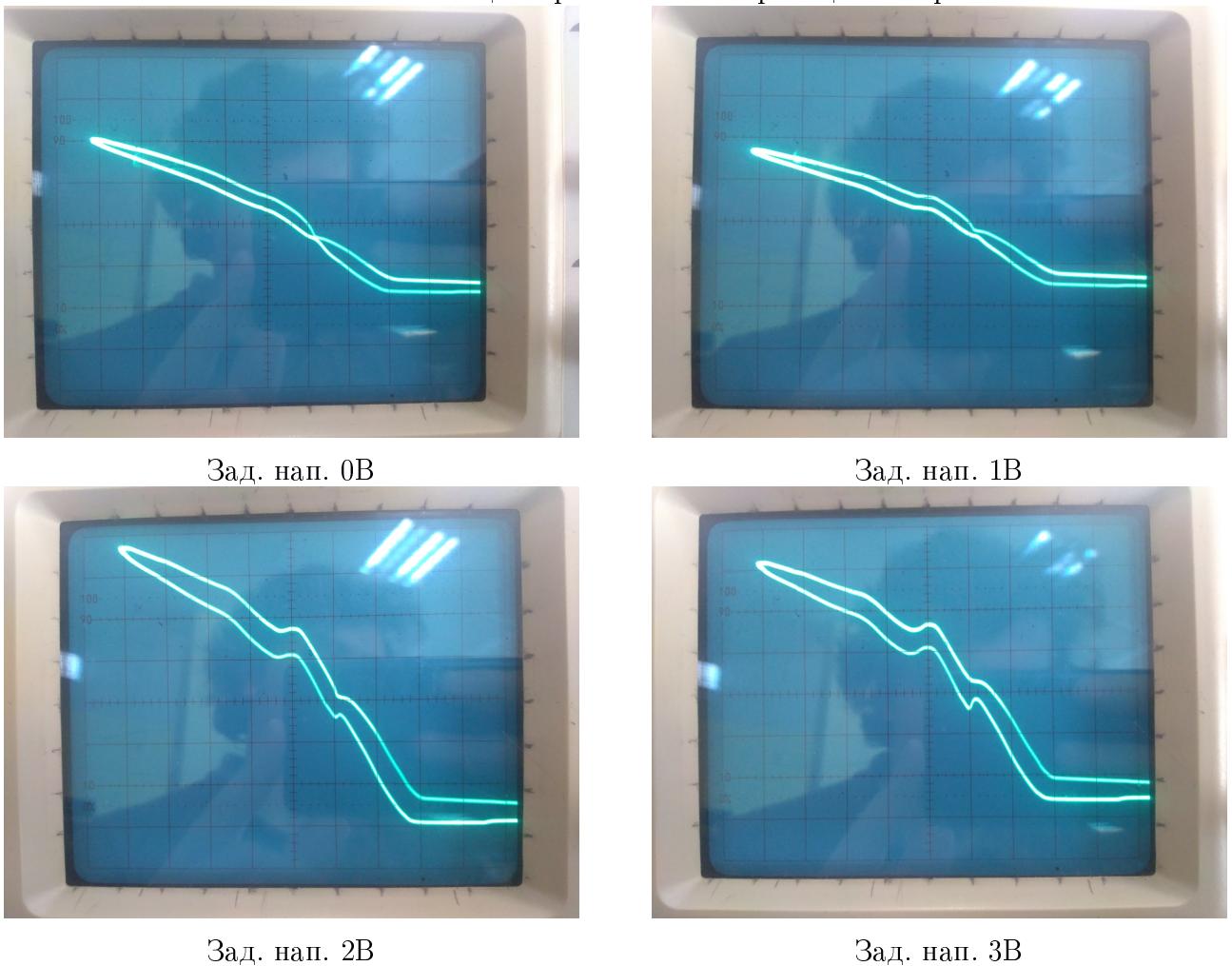
Получение вольт-амперной характеристики $I_k = f(V_a)$ на экране осциллографа С1-83.

1. Перемещая сигнал ручками и меняя чувствительность канала Y, мы добились размещения картин в центре экрана.
2. Меняя значения запирающего напряжения и цену деления канала Y мы проследили за ходом вольт-амперной характеристики на экране ЭО.
3. Запишем полученный данные в таблицу 1 и продемонстрируем увиденные нами на осциллографе картины:

Таблица 1: Параметры, при которых производилось наблюдение

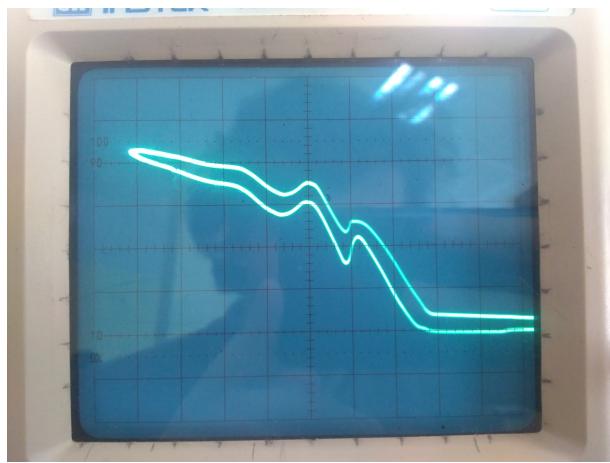
Задерж. нап., В	Y, мВ/дел.	X, В/дел.
1	50	25/11
2	50	25/11
3	20	25/11
4	20	25/11
5	20	25/11
6	20	25/11
7	10	25/11
8	10	25/11
9	10	25/11
10	10	25/11

Рис. 4: зависимость осцилограммы от запирающего напряжения.

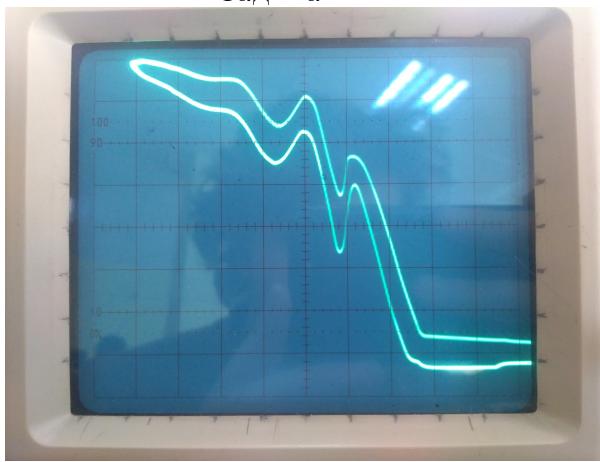




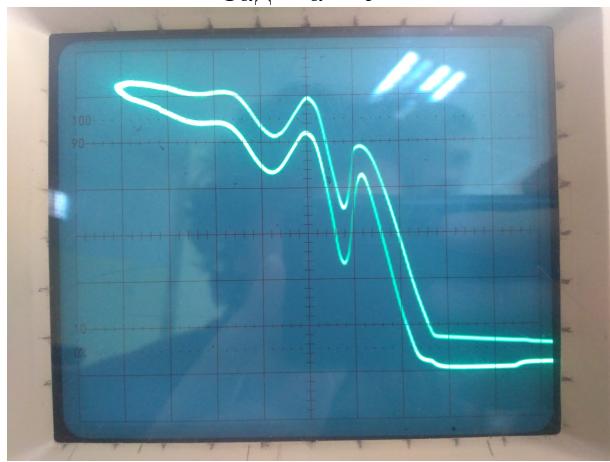
Зад. нап. 4В



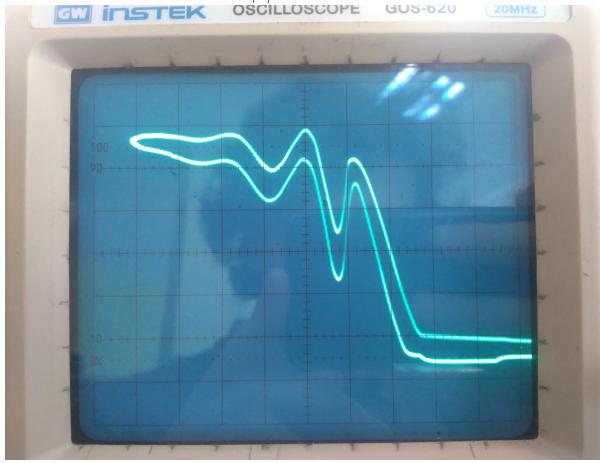
Зад. нап. 5В



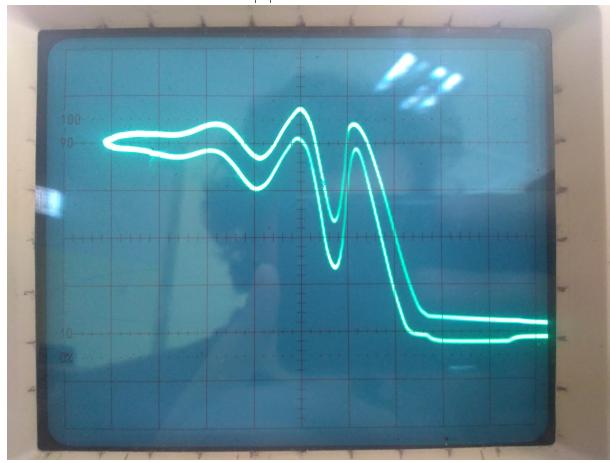
Зад. нап. 6В



Зад. нап. 7В



Зад. нап. 8В



Зад. нап. 9В

4. Из полученных на экране картинок и выбранной по оси X цены деления найдем расстояние между соседними максимумами для трех значений задерживающего напряжения: 4, 6 и 8В. Запишем их в таблицу 2:

Таблица 2: Расстояние между пиками

Задерж нап.	ΔV , дел	ΔV , В
4В	6	13,64
6В	6	13,64
8В	6	13,64

5. Таким образом по полученным данным энергию возбуждения первого уровня атома:

$$A = 13,64 \text{ эВ}$$

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 3-х различных значений задерживающего напряжения $V_2 = 4, 6, 8$ В. Особенно тщательно (медленно) проводим измерения в тех областях характеристики, где наблюдаются максимумы и минимумы тока I_k .

Снятые данные занесем в таблицы 3-5:

Таблица 3: $V = 4\text{B}$

№	I_k , дел.	I_k , мА	V_a , В
1	10	50	4,23
2	20	100	7,51
3	30	150	10,81
4	40	200	14,5
5	50	250	18,3
6	53	265	23
7	53	265	23,37
8	45	225	24,65
9	55	275	28,41
10	65	325	31,43
11	75	375	34,47
12	80	400	38,2
13	78	390	40,13
14	75	375	43,13
15	80	400	50,55
16	90	450	57,07

Таблица 4: $V = 6\text{В}$

№	Ik , дел.	Ik , мА	Va , В
1	0	0	0,03
2	20	100	12,87
3	40	200	19,64
4	60	300	21,04
5	70	350	22,78
6	71	355	22,88
7	43	215	25,2
8	50	250	27,75
9	70	350	31,4
10	90	450	36,61
11	91	455	38,26
12	90	450	39,23
13	77	385	46,81
14	90	450	56,76

Таблица 5: $V = 6\text{В}$

№	Ik , дел.	Ik , мА	Va , В
1	0	0	0,03
2	40	200	12,87
3	80	400	19,64
4	95	475	22,78
5	100	500	24,82
6	39	195	26,73
7	60	300	30,28
8	80	400	32,75
9	105	525	38,55
10	90	450	44,04
11	77	385	50,68
12	89	445	70,37

2. По данным этих таблиц отметим точки на графике:

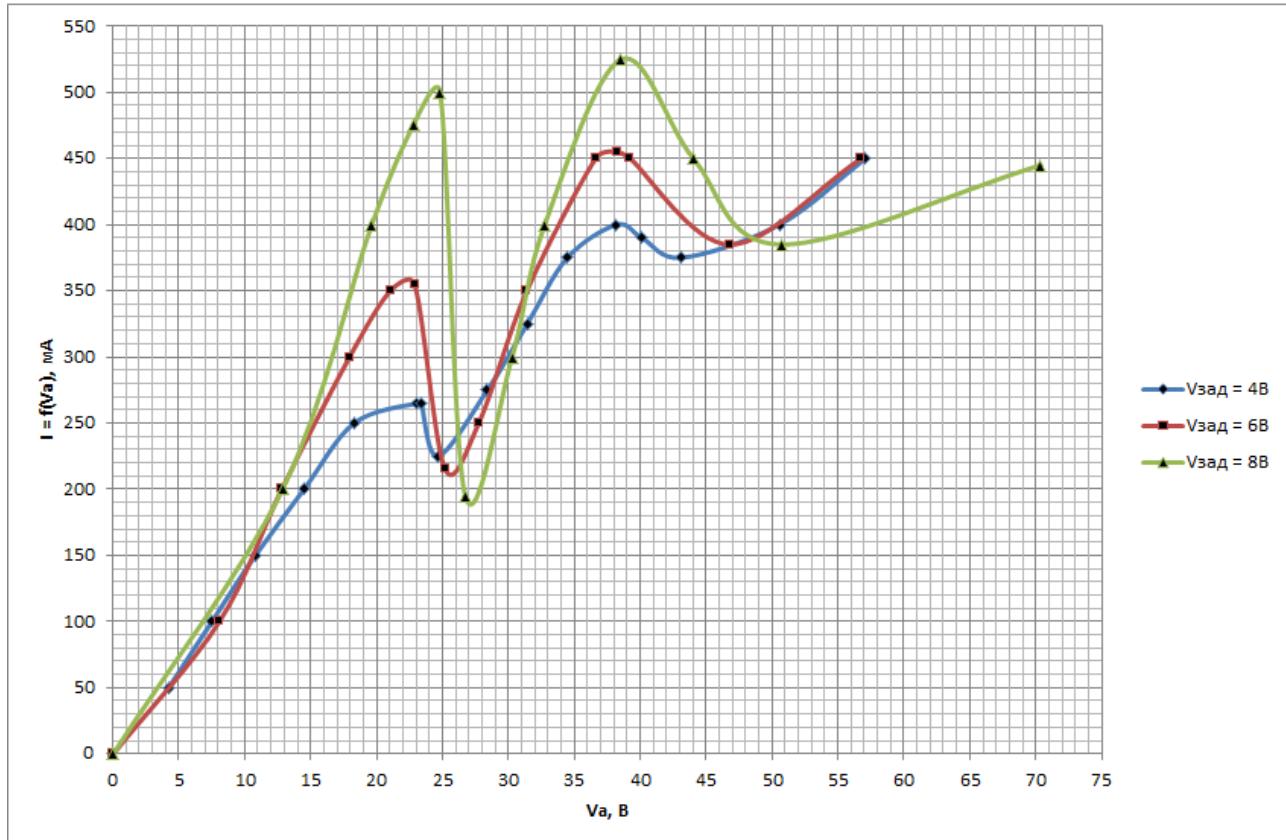


Рис. 5: Зависимость $I_k = f(V_a)$

3. Из графиков 5 получим значения энергии возбуждения первого уровня атома.

Таблица 6: Значение энергии возбуждения

V _{зад.} , В	4	6	8
A, эВ	15,34	16,2	14,8

Оценка ошибок измерения

1. Оценка ошибки динамического метода:

Возьмем ошибку человеческого глаза - половину цены деления, которая была указана в нашем опыте и равняется $25/11$ В.

Таким образом измеряя расстояние между пиками мы совершаём ошибку вдвое большую чем оговоренная.

Ошибка в определении энергии возбуждения первого уровня атома равна:

$$\varrho = 2,3 \text{ эВ}$$

А результат первого ксперимента равен:

$$\varepsilon_d = 13,64 \pm 2,30 \text{ эВ}$$

2. Оценка ошибки статического метода:

Проведя опыт, мы получили три примерно равных но несколько отличающихся значений. За результат эксперимента будем считать их среднее арифметическое. Тогда ошибкой будет среднеошибочное отклонение полученных значений от результата.

$$\varepsilon_s = 15,45 \pm 0,50 \text{ эВ}$$

1. Вывод

В ходе опыта были получены значения первого энергетического уровня атома гелия в динамическом ($13.64 \pm 2.3\text{эВ}$) и статическом ($15.45 \pm 0.50\text{эВ}$) режимах. Полученные результаты совпадают между собой с учетом прогрешности, однако с табличным значением (19.82эВ) они совпадают лишь по порядку и лежать в одном десятке.