

# Лабораторная работа

## Опыт Франка-Герца

Опыт Франка-Герца - один из простых опытов, подтверждающих существование дискретных уровней энергии атомов. Схема опыта изображена на рис. 1.

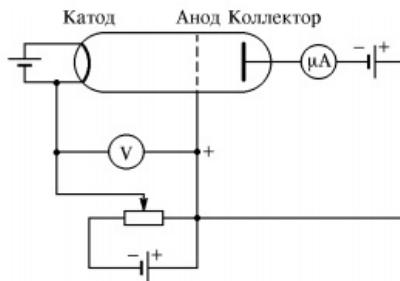


Рис. 1. Принципиальная схема опыта Франка и Герца

## Теоретические сведения

Опыт Франка-Герца --- простой опыт, подтверждающий дискретность внутренней энергии атома. Разреженный одноатомный газ (Не) заполняет трёхэлектродную 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 недостаточна для того, чтобы перевести его в возбужденное состояние (или ионизировать), то возможны только упругие столкновения. По мере увеличения разности потенциалов энергия электронов увеличивается и оказывается достаточной для возбуждения атомов. При таких неупругих столкновениях кинетическая энергия 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. Ток коллектора измеряется микроамперметром. При увеличении потенциала анода ток в лампе вначале растет, а когда энергия электронов становится достаточной для возбуждения атомов, ток коллектора резко уменьшается, так как электроны почти полностью теряют свою энергию при неупругих соударениях с атомами. При дальнейшем увеличении потенциала анода ток коллектора вновь возрастает. Следующее замедление роста тока происходит в момент, когда часть электронов неупруго сталкивается с атомами два раза: первый раз посередине пути, второй -- у анода. Таким образом, на кривой зависимости тока коллектора от напряжения анода имеется ряд максимумов и минимумов, отстоящих друг от друга на равные расстояния  $\Delta V$ , равные энергии первого возбуждённого состояния.

Теория, описывающая дискретность энергетических уровней атома Не довольно сложная в плане вычислений, а концептуально всё сводится к решению уравнения Шредингера.

Гамильтониан системы выглядит следующим образом

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m}\Delta_1 - \frac{\hbar^2}{2m}\Delta_2 - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon r_1} - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon r_2} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon r_{12}}$$

Решить требуется стационарное уравнение Шредингера

$$H\Psi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) = E\Psi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)$$

Гамильтониан можно переписать в виде

$$H = H_1 + H_2 + V_{12},$$

где  $V_{12}$  описывает взаимодействие электронов, которым традиционно пренебрегают, разделяют переменные и решают одноэлектронные уравнения Шредингера, получая приблизительную волновую функцию, затем используя соображения о принципе запрета Паули и т.д. учитывают спин электронов и делают поправки на их взаимодействие. Описание этой процедуры выходит за рамки работы, поэтому нет нужды описывать её подробно.

## Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки изображена на рис. 3

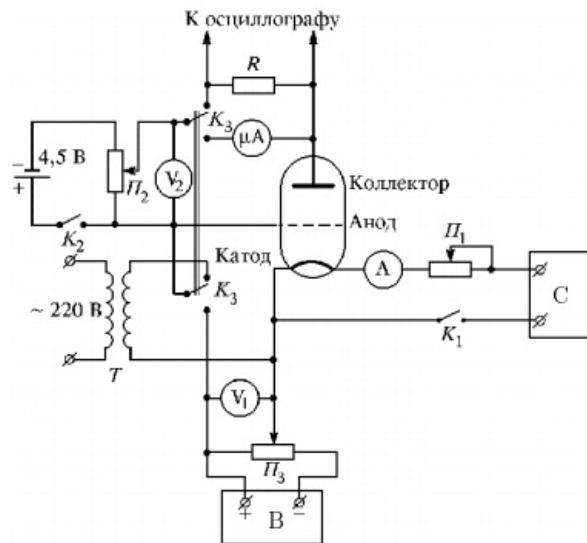


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

Блок-схема всей установки изображена на рис. 4

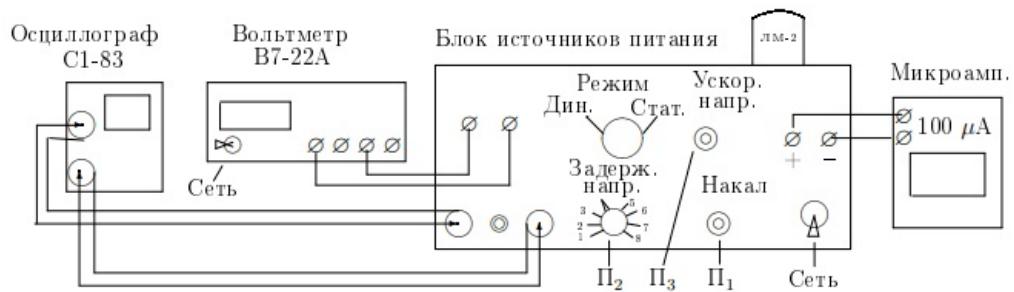
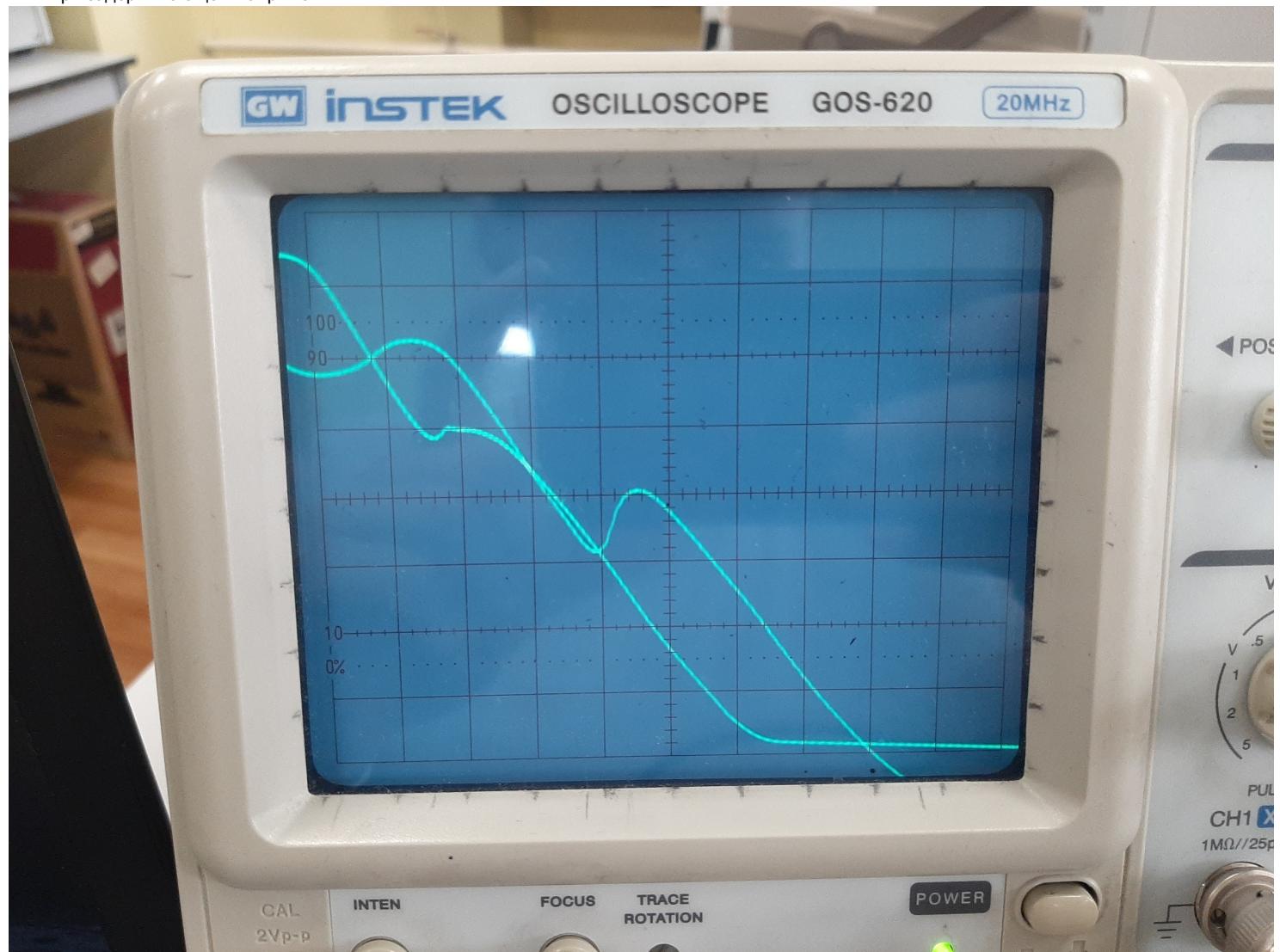


Рис. 4. Блок-схема экспериментальной установки

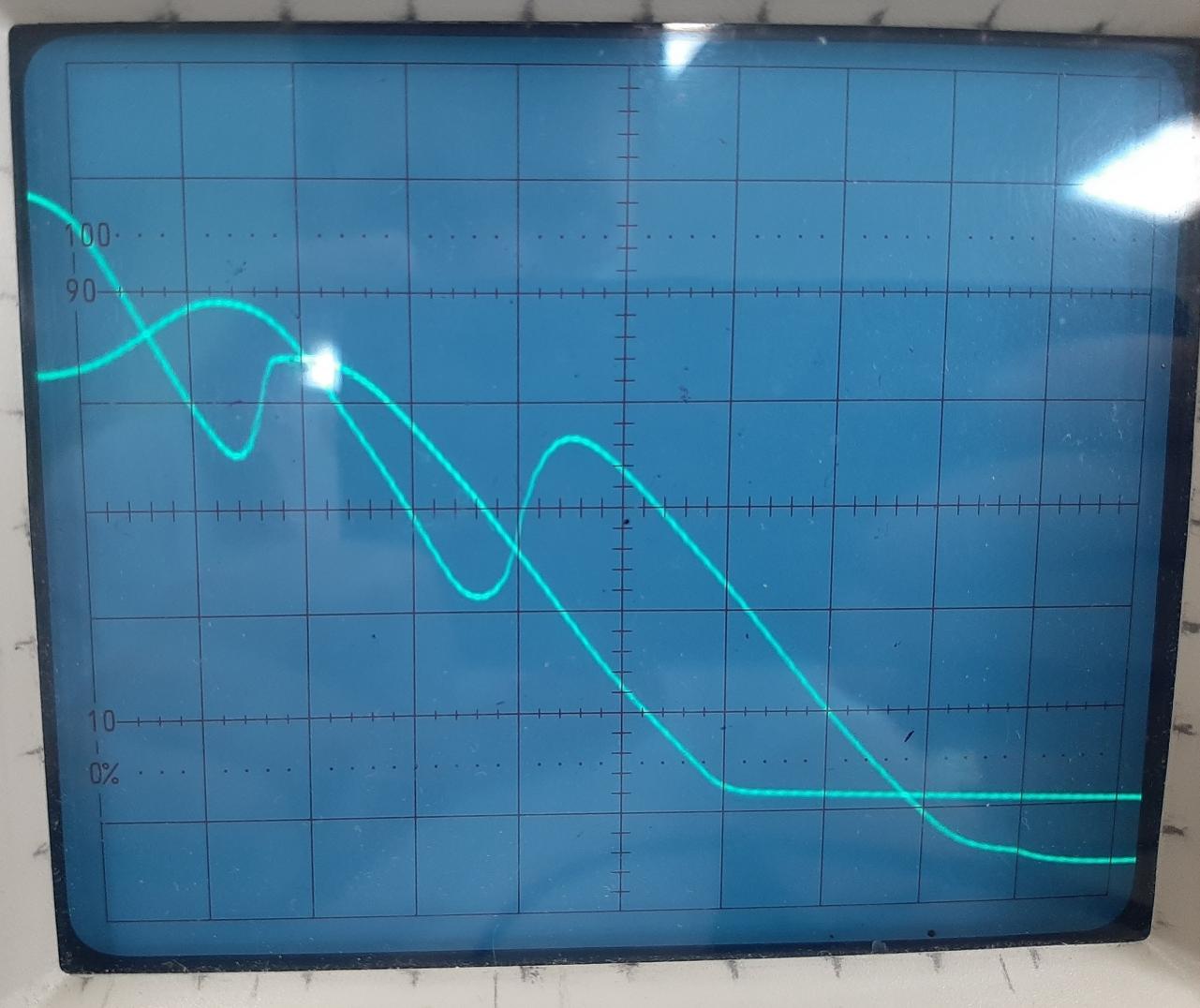
## Ход работы

1. Подготовили приборы к работе. Получаем ВАХ в динамическом режиме с помощью осциллографа при задерживающем напряжении 4,6,8 В (цена деления шкалы по X - 5В\дел).

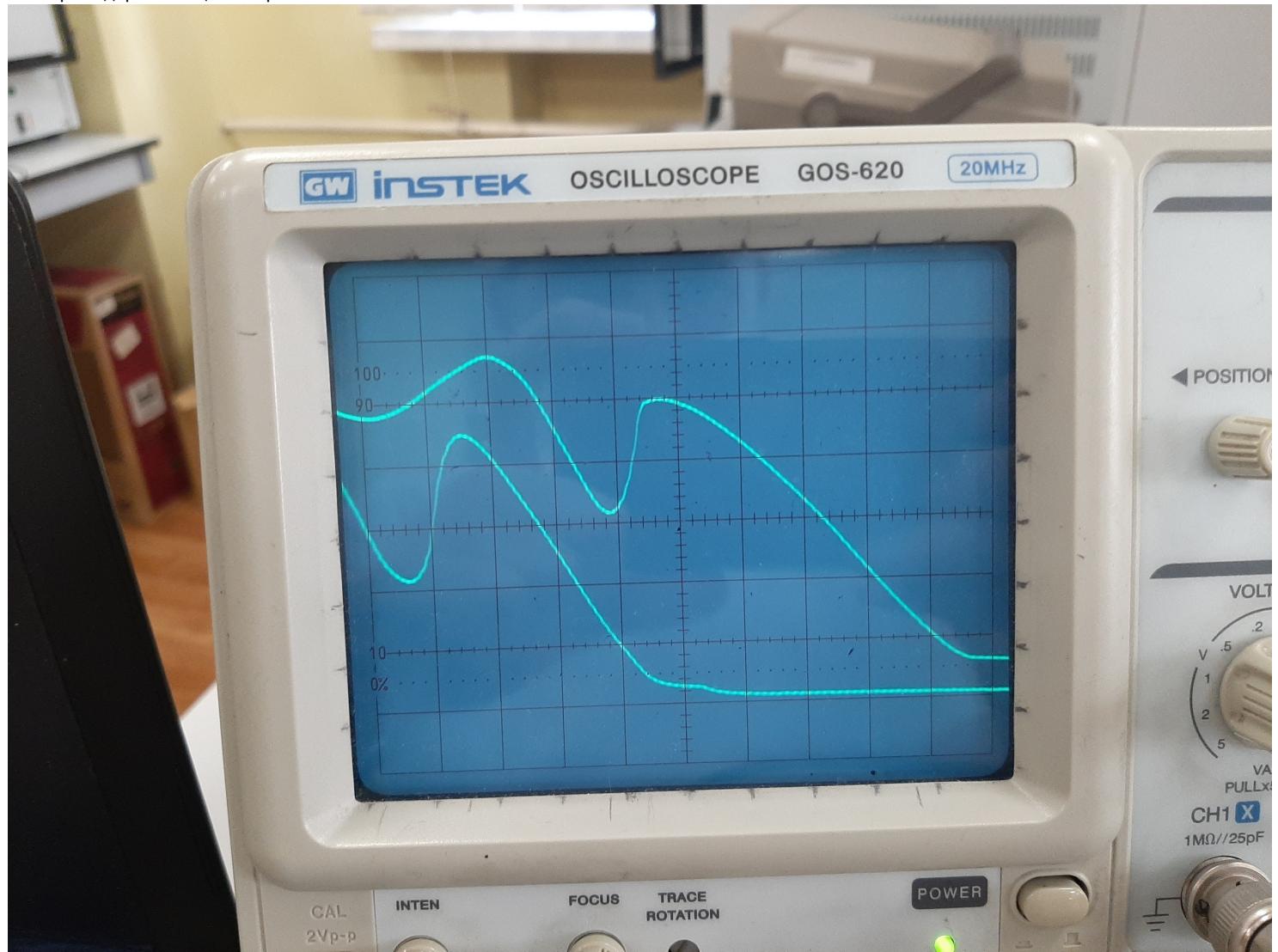
ВАХ при задерживающем напряжении 4 В



ВАХ при задерживающем напряжении 6 В



BAX при задерживающем напряжении 8 В



2. Исследуем BAX в статичеком режиме при задерживающем напряжении 4,6,8 В, заносим данные в таблицу и строим графики зависимости.

In [1]:

```
import numpy as np
import pandas as pd
from matplotlib import pyplot as plt
```

In [8]:

```
table4 = pd.read_csv('C:\\Users\\Nikeyson-PC\\Desktop\\Laba2-1\\4.csv')
table6 = pd.read_csv('C:\\Users\\Nikeyson-PC\\Desktop\\Laba2-1\\6.csv')
table8 = pd.read_csv('C:\\Users\\Nikeyson-PC\\Desktop\\Laba2-1\\8.csv')
```

In [9]:

```
table4
```

Out[9]:

	V	A
0	0.00	0.0
1	3.87	8.5
2	5.88	14.0
3	8.15	22.0
4	9.81	27.0
5	12.93	36.0
6	15.27	44.0
7	17.21	50.0
8	17.92	52.5
9	18.81	55.0
10	19.63	57.0
11	21.61	59.0
12	24.58	49.0
13	23.66	59.0
14	22.54	59.0
15	25.67	52.0
16	27.01	56.0
17	28.17	60.0
18	29.28	64.0
19	30.20	67.0
20	31.18	71.0
21	31.95	74.0
22	32.84	77.0
23	34.33	82.0
24	34.44	83.0
25	35.10	85.0
26	35.62	86.0
27	36.21	87.0
28	38.04	88.0
29	40.05	86.0
30	39.18	88.0
31	40.85	85.0
32	42.67	83.0
33	44.63	82.0
34	46.19	83.0
35	47.82	85.0
36	49.56	87.0
37	51.02	89.0
38	53.03	92.0
39	55.21	96.0
40	57.52	100.0

In [10]:

```
table6
```

Out[10]:

	V	A
0	0.00	0.0
1	5.99	9.0
2	9.08	19.0
3	12.03	30.0
4	15.02	40.0
5	18.12	50.0
6	18.87	52.0
7	19.19	53.0
8	19.66	54.0
9	20.05	55.0
10	20.60	56.0
11	21.27	57.0
12	22.44	58.0
13	23.52	58.0
14	25.03	57.0
15	25.36	36.0
16	26.36	35.5
17	27.59	40.0
18	28.72	45.0
19	29.96	50.0
20	31.17	55.0
21	32.30	60.0
22	33.61	65.0
23	35.04	70.0
24	35.33	71.0
25	35.82	72.0
26	36.46	73.0
27	37.35	74.0
28	38.38	75.0
29	39.64	74.0
30	40.33	72.5
31	41.40	71.0
32	42.27	70.0
33	43.37	68.0
34	44.83	66.0
35	46.15	65.0
36	48.60	65.0
37	51.12	67.0
38	53.42	70.0
39	55.53	73.0
40	56.87	75.0
41	68.42	80.0
42	74.92	81.5

In [11]:

table8

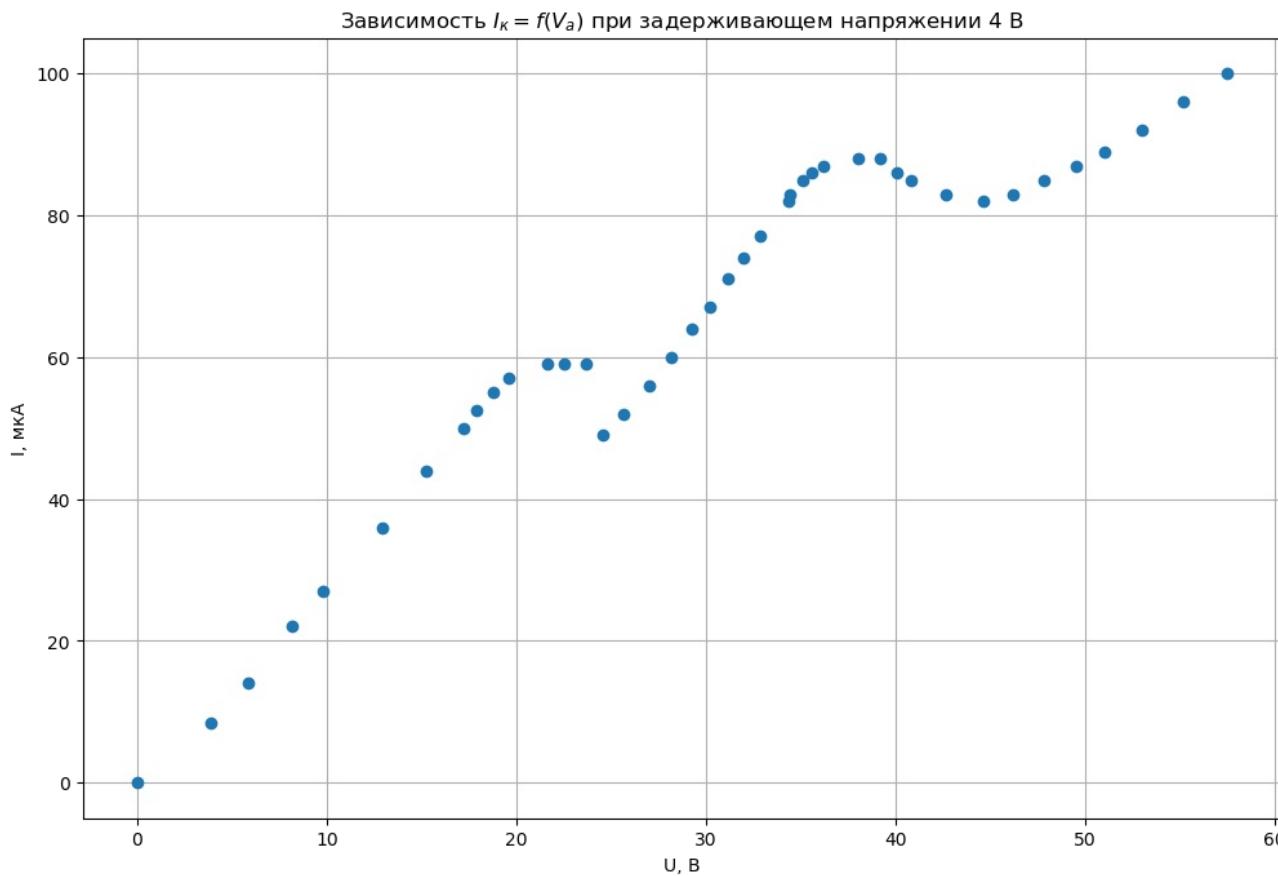
Out[11]:

	V	A	Unnamed: 2
0	0.00	0.0	NaN
1	6.40	5.0	NaN
2	8.17	10.0	NaN
3	9.71	15.0	NaN
4	10.99	20.0	NaN
...	...	...	...
60	65.57	56.0	NaN
61	68.43	55.5	NaN
62	69.83	55.0	NaN
63	74.60	55.0	NaN
64	74.90	55.0	NaN

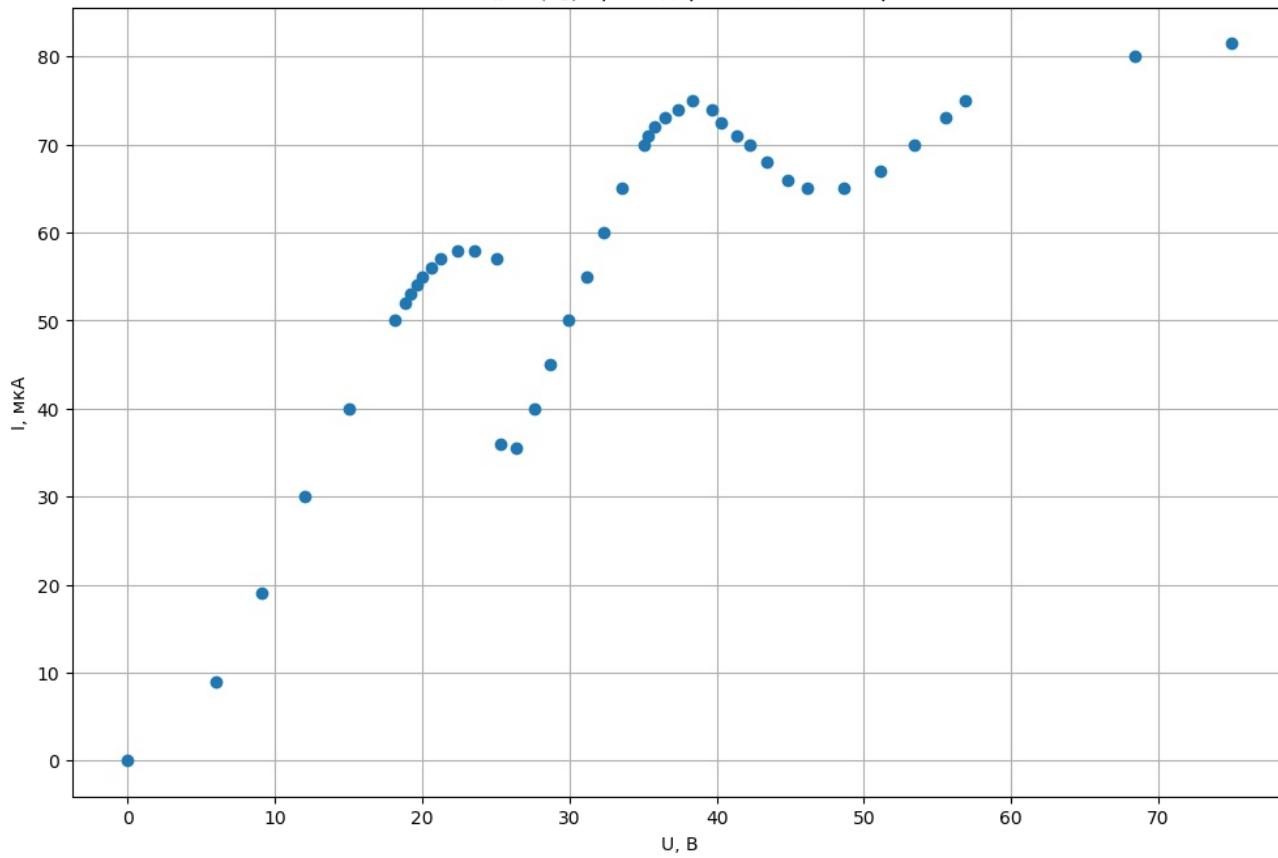
65 rows × 3 columns

In [21]:

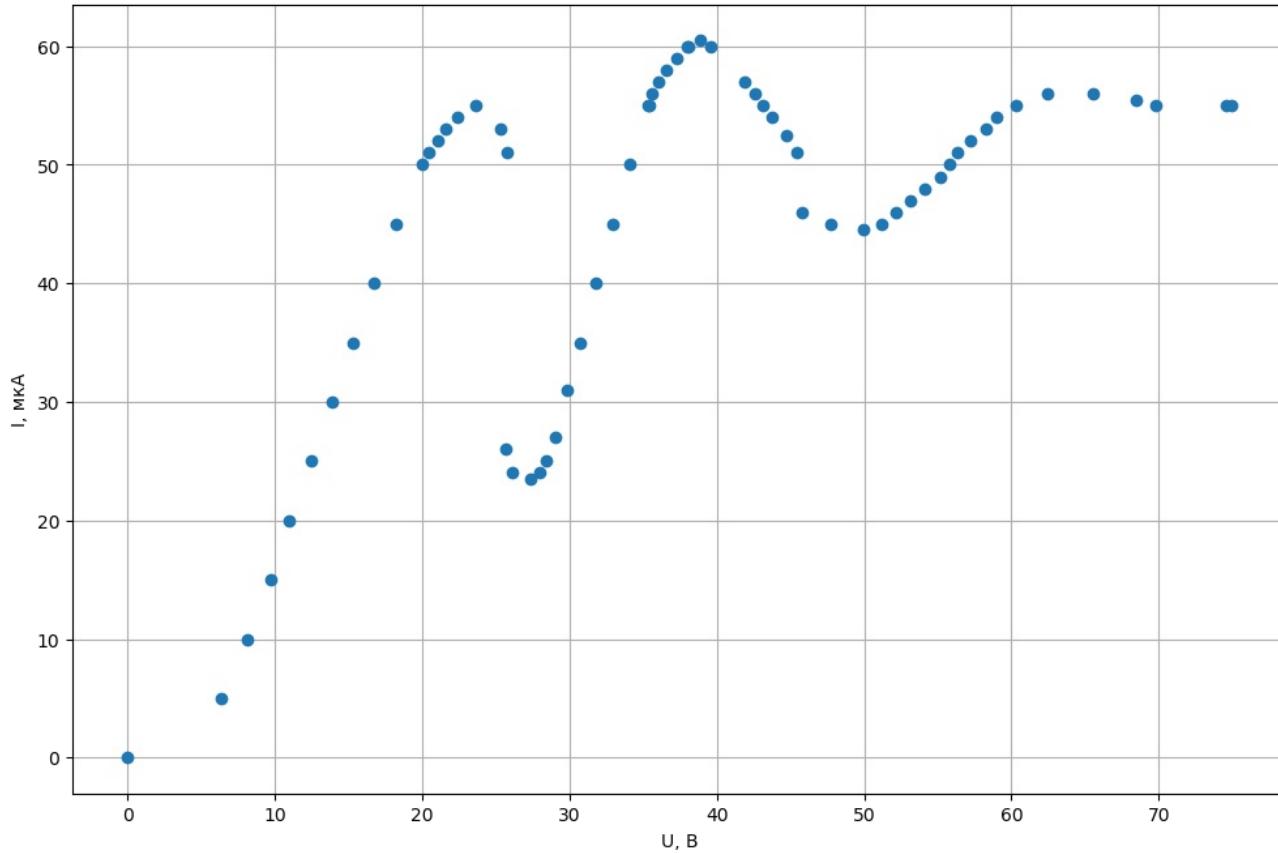
```
def print_table(table, name) :  
    x = np.array(table.iloc[:, 0])  
    y = np.array(table.iloc[:, 1])  
    #print(x, y)  
    fig = plt.figure(figsize= (12, 8), dpi= 100)  
    ax1 = fig.add_subplot()  
    ax1.plot(x, y, 'o' ,label= "Всё")  
    ax1.grid(True)  
    plt.xlabel("U, В")  
    plt.ylabel("I, мкА")  
    plt.title(name)  
    plt.show()  
print_table(table4, "Зависимость $I_K= f(V_a)$ при задерживающем напряжении 4 В")  
print_table(table6, "Зависимость $I_K= f(V_a)$ при задерживающем напряжении 6 В")  
print_table(table8, "Зависимость $I_K= f(V_a)$ при задерживающем напряжении 8 В")
```



Зависимость  $I_K = f(V_a)$  при задерживающем напряжении 6 В



Зависимость  $I_K = f(V_a)$  при задерживающем напряжении 8 В



Определяем максимумы на осцилограмме, их разность, из них определяем энергию возбуждения первого уровня атома гелия

In [17]:

```
dV4 = 12.5
dV6 = 12.5
dV8 = 15.0
dVe = (dV4+dV6+dV8)/3
print("dV4 = ", dV4, "+- 1.3 eB")
print("dV6 = ", dV6, "+- 1.3 eB")
print("dV8 = ", dV8, "+- 1.3 eB")
print("dV = ", round(dVe, 1), "+- 1.3 eB")
```

```
dV4 = 12.5 +- 1.3 eB
dV6 = 12.5 +- 1.3 eB
dV8 = 15.0 +- 1.3 eB
dV = 13.3 +- 1.3 eB
```

Из граффиков, определяем максимумы и минимумы осцилограммы, из них определяем энергию возбуждения первого уровня атома гелия

In [19]:

```
V4max1 = 22.54
V4max2 = 38.38
V4min1 = 24.58
V4min2 = 44.63
V6max1 = 23.52
V6max2 = 38.38
V6min1 = 26.36
V6min2 = 48.60
V8max1 = 23.68
V8max2 = 38.86
V8min1 = 27.35
V8min2 = 49.96
dV4max = V4max2 - V4max1
dV6max = V6max2 - V6max1
dV8max = V8max2 - V8max1
dV4min = V4min2 - V4min1
dV6min = V6min2 - V6min1
dV8min = V8min2 - V8min1
#Усредняем
dV = (dV4max + dV6max + dV8max + dV4min + dV6min + dV8min)/6
print("dV = ", round(dV,2), "+- 0.01 eB")
```

```
dV = 18.46 +- 0.01 eB
```

Табличное значение - 19,82 эВ. Результаты опыта в статическом режиме достаточно близки к табличным значениям, в динамическом измерение получилось не очень точным

## Вывод

Убедились в дискретности энергетических уровней в атоме гелия. Измерили энергию возбуждения атома, она близка к табличной