

---

Московский Физико-Технический Институт  
(государственный университет)

Лабораторная работа по курсу общей физики № 5.2.1

---

## Опыт Франка-Герца

---

**Автор:**

Филиппенко Павел Б01-009



Долгопрудный, 2022

## Цель работы

Методом электронного возбуждения измерить энергию первого уровня атома гелия в динамическом и статическом режимах.

## Теоретические сведения

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).

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 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.

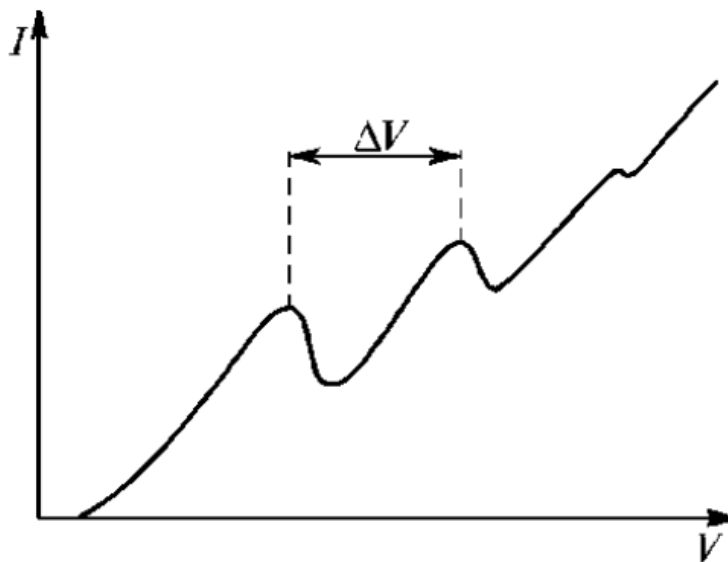


Рис. 1: Характер зависимости  $I(U)$

## Оборудование

Схема экспериментальной установки отображена на рис. 2 и 3.

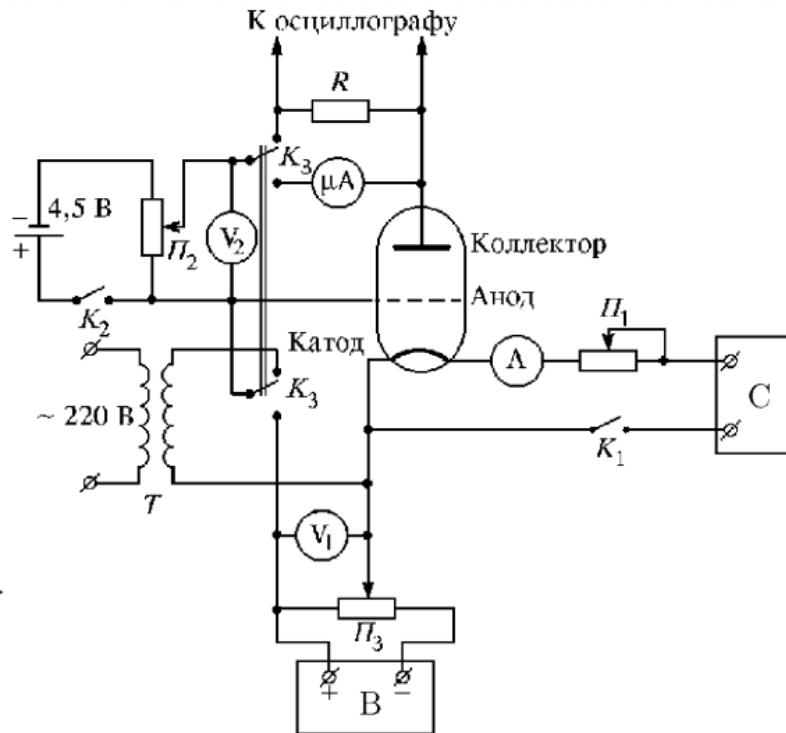


Рис. 2: Принципиальная схема установки

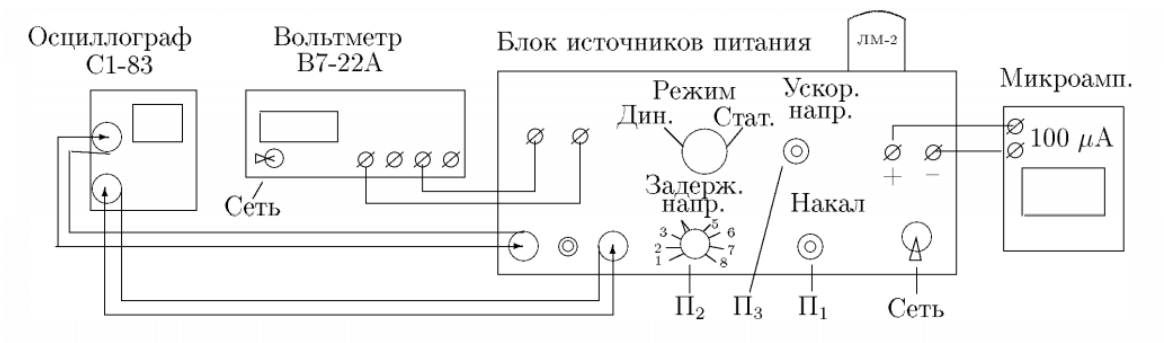


Рис. 3: Блок-схема экспериментальной установки

## Задача о потенциальной яме

Решим задачу о частице в потенциальной яме. Найдем разрешенные уровни энергии частицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Положим, что масса частицы  $m$ , а ширина ямы  $a$ .

Составим уравнение Шредингера в общем виде

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\psi'' + u\psi = E\psi$$

Для области внутри ямы

$$\psi'' + \frac{2m}{\hbar^2}E\psi = 0$$

положим  $k^2 = \frac{2m}{\hbar^2}E$ , тогда решение волнового уравнения в общем виде запишется:

$$\psi(x) = A \sin kx + B \cos kx$$

Найдем константы из граничных условий:

$$\psi(0) = 0 \Rightarrow B = 0; \quad \psi(a) = 0 \Rightarrow A \sin ka = 0 \Rightarrow$$

$$k_n a = n\pi \quad (n \in \mathbb{N})$$

$$k_n = \frac{\pi}{a} n$$

$$E = \frac{\hbar^2 k_n^2}{2m} = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2} n^2$$

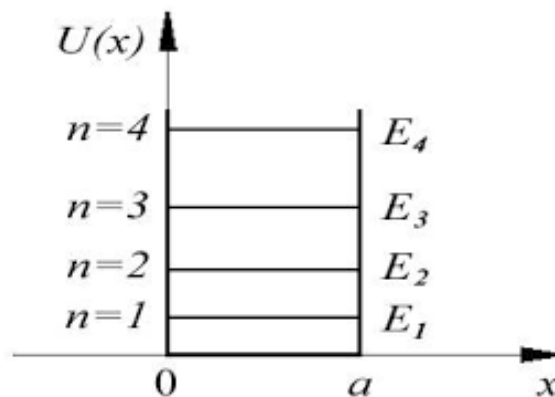


Рис. 4: Потенциальная яма

## Обработка данных

В динамическом режиме получили на экране осциллографа инвертированную вольтамперную характеристику рис 5.

Цена деления по горизонтали 5 В. Таким образом, интервал напряжения между соседними пиками порядка 15 В. Точное значение интервала между пиками установить по осциллографу сложно. Данный этап дает лишь оценочное значение.

В статическом режиме снимим вольтамперную характеристику при значениях запирающего напряжения 4 В, 6 В и 9 В.

По данным из таблицы 1 для каждого значения запирающего напряжения построим вольтамперную характеристику рис 6, 7, 8, 9.

Таким образом, при различных значениях запирающего напряжения мы получили энергию первого возбужденного состояния атома гелия  $E = e\Delta V$ .

При запирающем напряжении  $V_1 = 4$  В  $E = (17.6 \pm 0.02)$  эВ

При запирающем напряжении  $V_1 = 6$  В  $E = (19.0 \pm 0.02)$  эВ

При запирающем напряжении  $V_1 = 9$  В  $E = (17.0 \pm 0.02)$  эВ

Посчитаем среднее значение найденной величины и погрешность.

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{\sum (\bar{E} - E)^2}{N(N-1)}}$$

$$\bar{E} = (17.9 \pm 0.6) \text{ эВ}$$

4 В		6 В		9 В	
V±0.01, В	I ±0.001 мА	V±0.01, В	I ±0.001 мА	V±0.01, В	I ±0.001 мА
4.25	0.062	2.60	0.019	5.28	0.015
6.25	0.094	6.05	0.066	10.0	0.090
8.14	0.127	9.12	0.120	12.6	0.133
10.8	0.171	12.3	0.169	14.9	0.167
14.6	0.223	16.0	0.221	17.4	0.203
17.5	0.258	16.7	0.228	19.5	0.228
17.9	0.262	17.4	0.239	20.7	0.235
18.7	0.269	18.1	0.249	21.6	0.236
19.7	0.274	19.1	0.258	22.5	0.233
21.0	0.274	20.0	0.263	24.0	0.203
21.9	0.271	21.0	0.263	24.3	0.183
22.3	0.261	21.9	0.257	24.5	0.098
22.7	0.251	22.5	0.252	25.2	0.078
23.0	0.221	23.2	0.236	26.5	0.071
23.3	0.211	23.4	0.221	27.6	0.077
24.3	0.213	23.5	0.205	28.8	0.093
24.7	0.218	23.8	0.169	29.6	0.112
25.4	0.232	24.8	0.144	30.6	0.138
26.3	0.249	25.8	0.152	31.6	0.160
26.8	0.259	27.7	0.194	33.8	0.207
27.6	0.275	29.0	0.220	35.8	0.240
28.5	0.293	29.9	0.240	37.0	0.250
29.4	0.309	31.9	0.277	38.6	0.255
32.1	0.359	33.4	0.306	39.4	0.253
33.8	0.389	35.0	0.333	41.1	0.241
35.0	0.409	36.9	0.346	42.9	0.229
37.3	0.419	39.0	0.347	44.4	0.218
38.5	0.419	40.9	0.330	46.4	0.201
39.4	0.411	42.9	0.316	48.2	0.196
40.5	0.400	44.5	0.308	50.1	0.192
40.9	0.395	46.1	0.305	51.7	0.199
41.7	0.391	47.7	0.308	52.7	0.204
42.7	0.387	49.4	0.317		
44.5	0.388	51.6	0.330		
45.2	0.390	53.1	0.343		
49.4	0.417	56.0	0.370		

Таблица 1: Таблица экспериментальных данных для трех запирающих напряжений

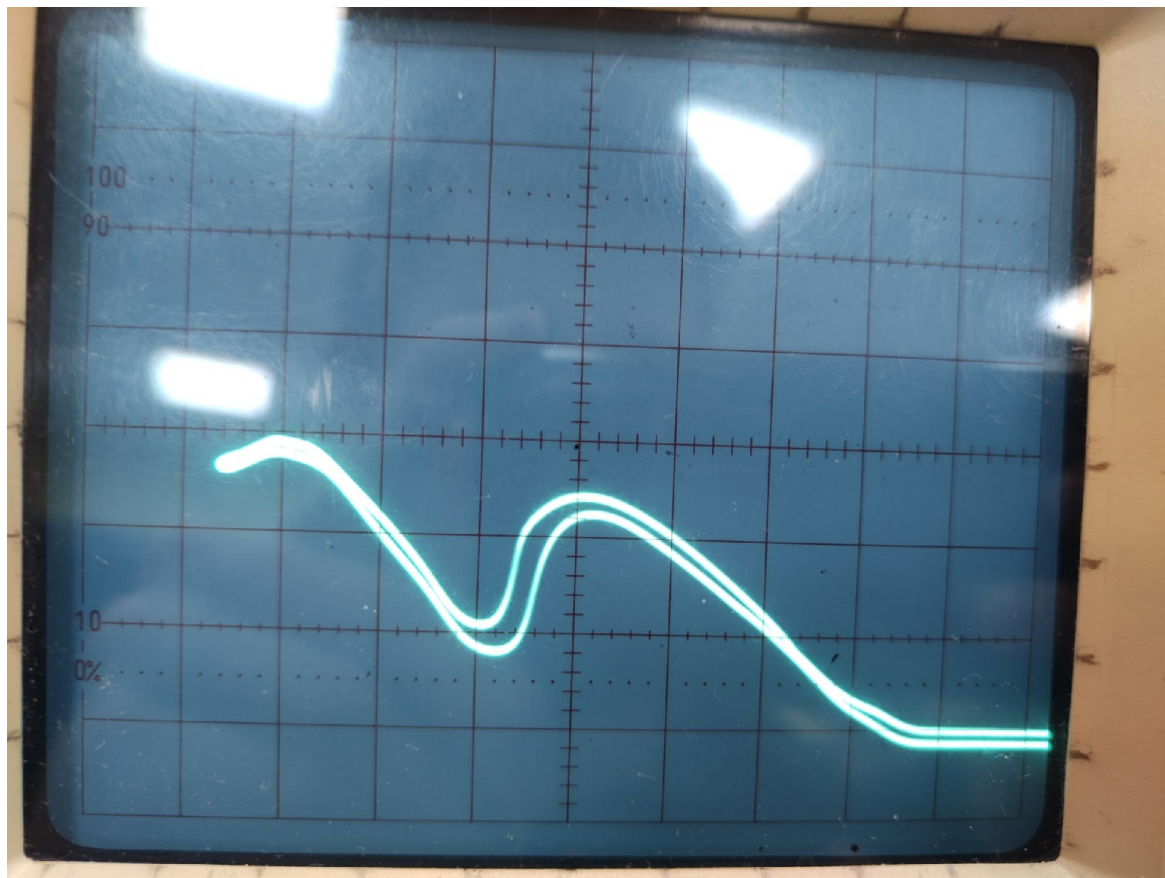


Рис. 5: Вольтамперная характеристика, полученная в динамическом режиме

**Замечание:** на графиках вольтамперных характеристик при увеличении запирающего напряжения уменьшаются значения тока, а так же усиливаются провалы после пиков. Это объясняется тем, что ток зависит от количества электронов, попадающих на коллектор. Чем выше запирающее напряжение, тем меньше электронов после столкновения с гелием смогут набрать необходимую энергию для прохождения этой разности потенциалов.

## Вывод

В данной работе мы получили энергию первого уровня ионизации атома гелия, используя эксперимент Франка-Герца. Были использованы два метода определения энергии: динамический (по картинке на осциллографе) и статический (по ВАХ). Оба метода являются достаточно грубыми и подходят для оценки реального значения.

Мы так же убедились в том, что при увеличении запирающего напряжения расстояние между пиками ВАХ не меняется. Это доказывает, что энергия первый уровень энергии является чисто параметром вещества и не зависит от внешних факторов.

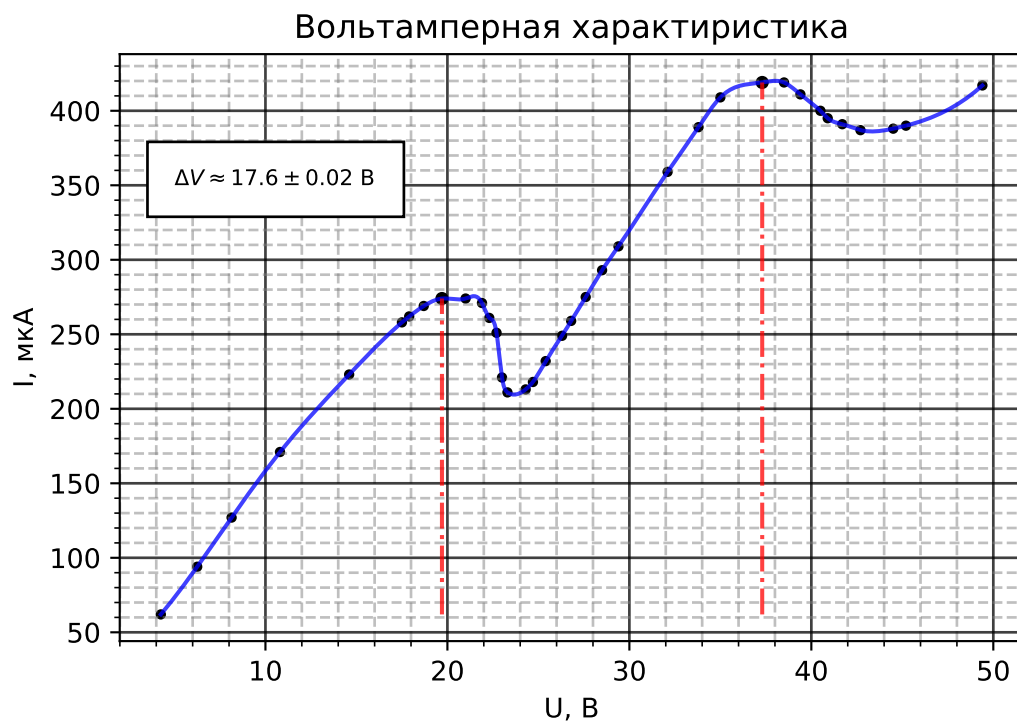


Рис. 6: ВАХ для запирающего напряжения 4 В

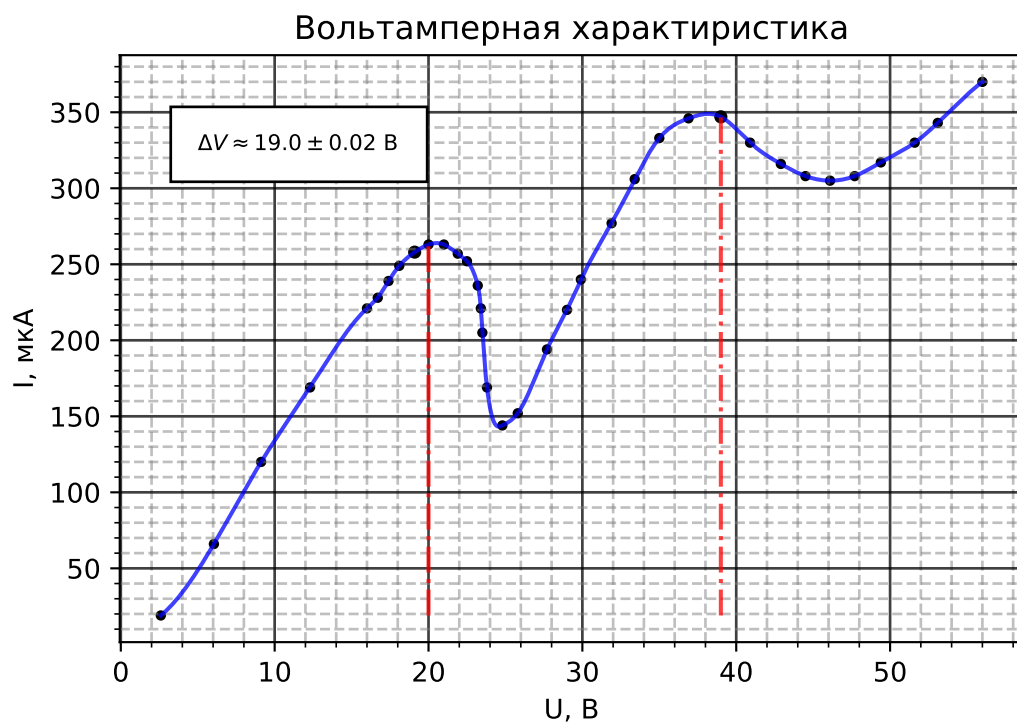


Рис. 7: ВАХ для запирающего напряжения 6 В

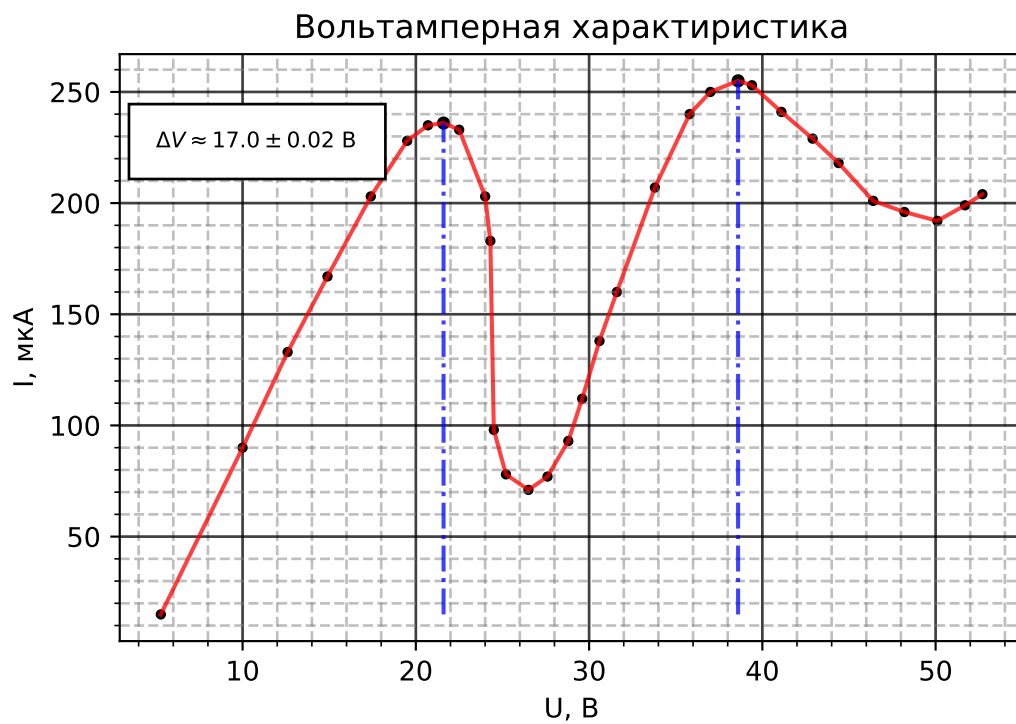


Рис. 8: ВАХ для запирающего напряжения 9 В

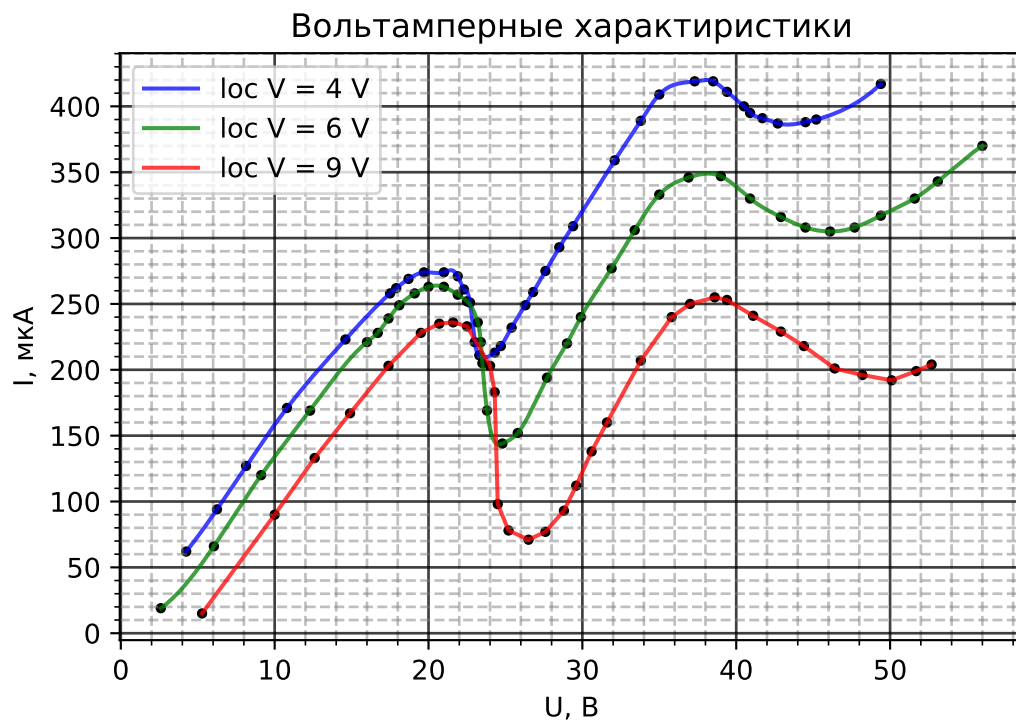


Рис. 9: ВАХ для трех значений запирающего напряжения