

Лабораторная работа 5.2.1 Эффект Франка–Герца

Иван Сладков

19 февраля 2022 г.

1 Аннотация

В данной работе проводится измерение энергии первого уровня атома гелия методом электронного возбуждения в динамическом и статическом режимах.

2 Теоретические сведения

Разреженный одноатомный газ (в нашем случае – гелий) 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, 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.

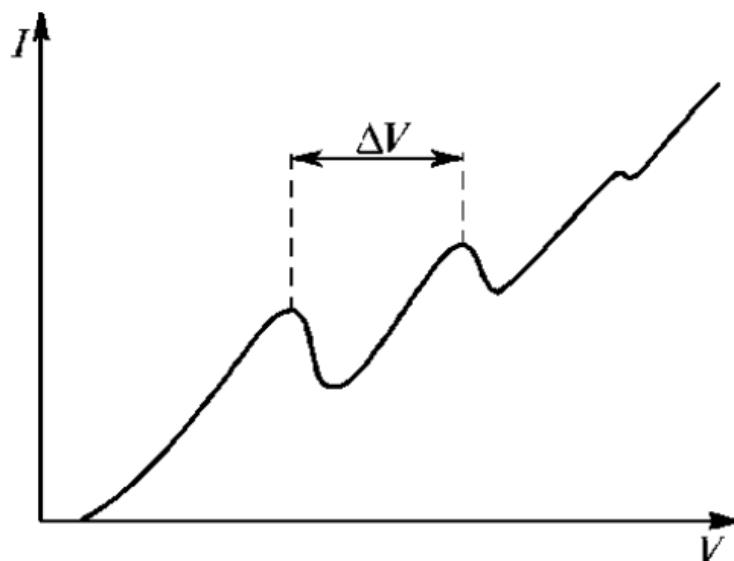


Рис. 1: Характер зависимости $I(U)$

2.1 Расчётные формулы

Кинетическая энергия электрона 1 уровня равна:

$$E = \bar{e} \Delta V [\text{эВ}], \quad (1)$$

где ΔV – разность между двумя пиками (см. рис. 1).

3 Оборудование и инструментальные погрешности

Схема экспериментальной установки отображена на рис. 2 и 3.

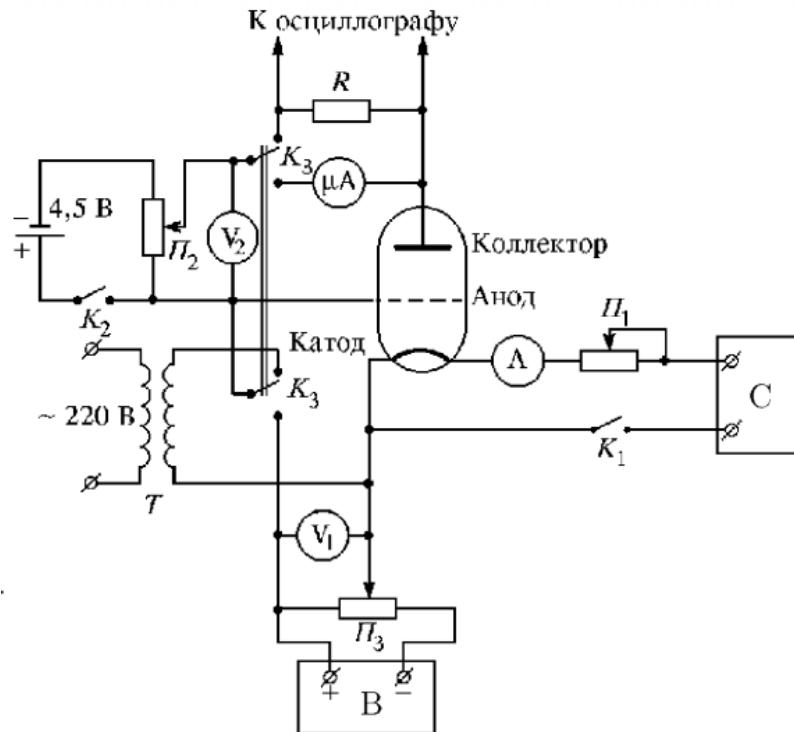


Рис. 2: Принципиальная схема установки



Рис. 3: Блок-схема экспериментальной установки

В работе используются:

Осциллограф: $\Delta = \pm 0.4 \text{ В}$ (в данном опыте)

Вольтметр: $\Delta = \pm 0.1 \text{ В}$

Миллиамперметр: $\Delta = \pm 0.5 \text{ мА}$

Блок источников питания

Газонаполненная лампа (гелий)

4 Результаты измерений и обработка данных

4.1 Динамический метод

По результатам, полученным на экране осциллографа (рис. 4, 5, 6) получим данные табл. 4.1.

V_3 , В	ΔV , В	E , эВ
4	15 ± 2	15 ± 2
6	18 ± 2	18 ± 2
8	18 ± 2	18 ± 2

Таблица 1: Результаты динамического измерения

По итогу,

$$E \approx 17 \pm 3 \text{ эВ.} \quad (2)$$

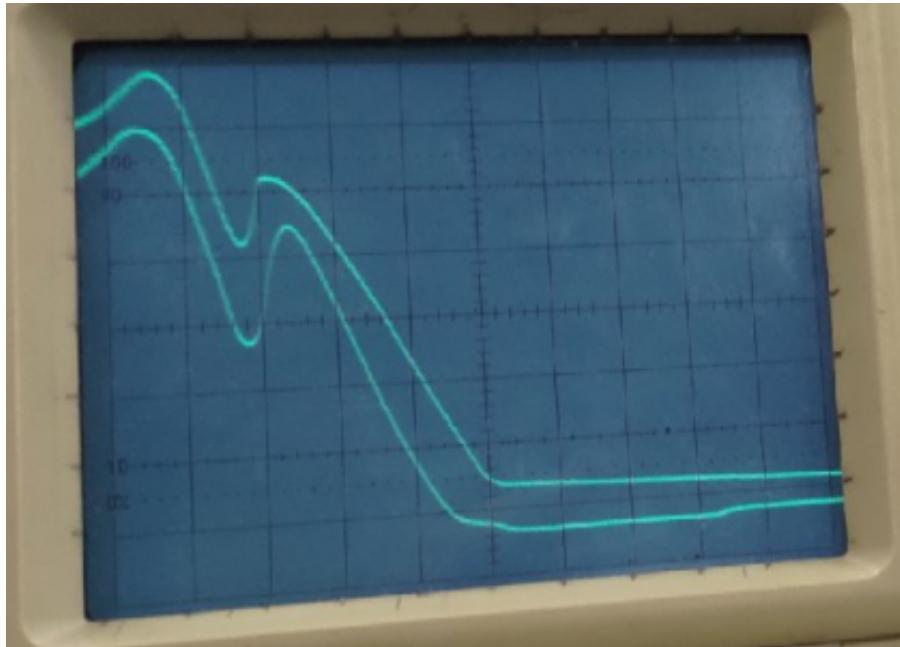


Рис. 4: Результат для $V_3 = 4$ В

4.2 Статический метод

Полученные статическим методом результаты отобразим на графиках. По 1 и 2 графику невозможно судить о положении максимумов, но 3 график позволяет их найти. Учтём как минимум, так и максимум.

V_3 , В	ΔV , В	E , эВ
8	23.9	23.9
8	16.4	16.4

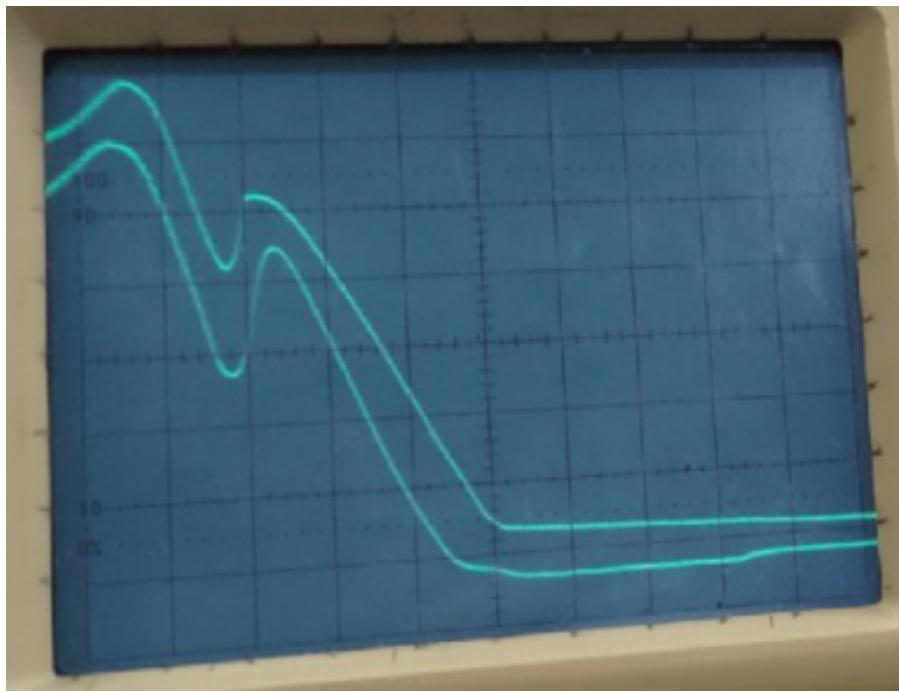
Таблица 2: Результат измерения статическим методом

$$E \approx 20 \pm 5 \text{ эВ.} \quad (3)$$

4.3 Оценка погрешностей

В случае динамического метода, учитываются как случайные

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum (x - \langle x \rangle)^2}, \quad (4)$$

Рис. 5: Результат для $V_3 = 6$ В

так и систематические погрешности

$$\delta = E \frac{\delta_{\Delta V}}{\Delta V}.$$

В статическом методе учёт инструментальных погрешностей не имеет смысла, т. к. случайные существенно больше. Используется формула (4).

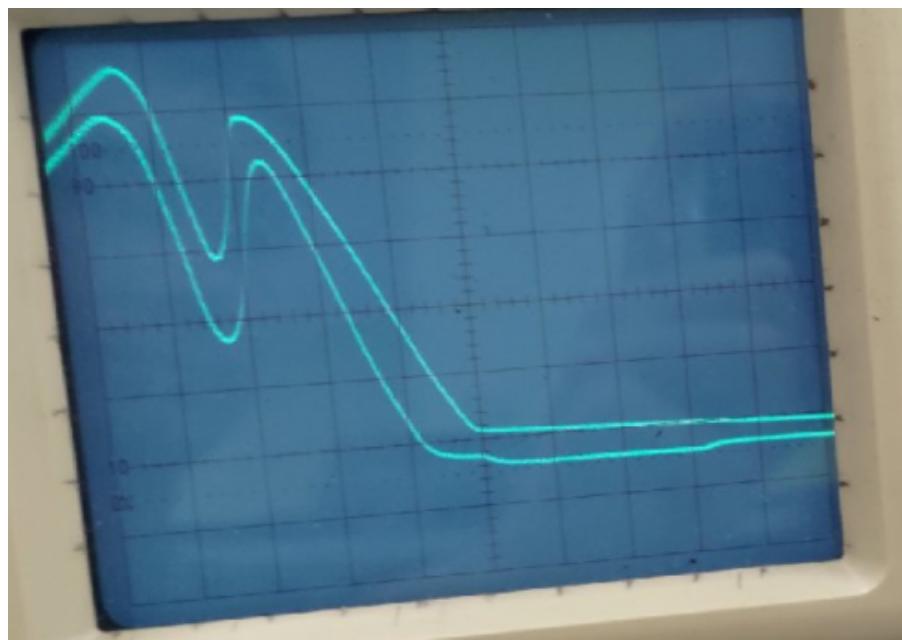
5 Вывод

Оба метода являются достаточно грубыми, однако статический даёт менее точный результат, т. к. необходимо заранее знать точку, в окрестности которой делать более качественные измерения.

Референсное значение энергии 1 уровня:

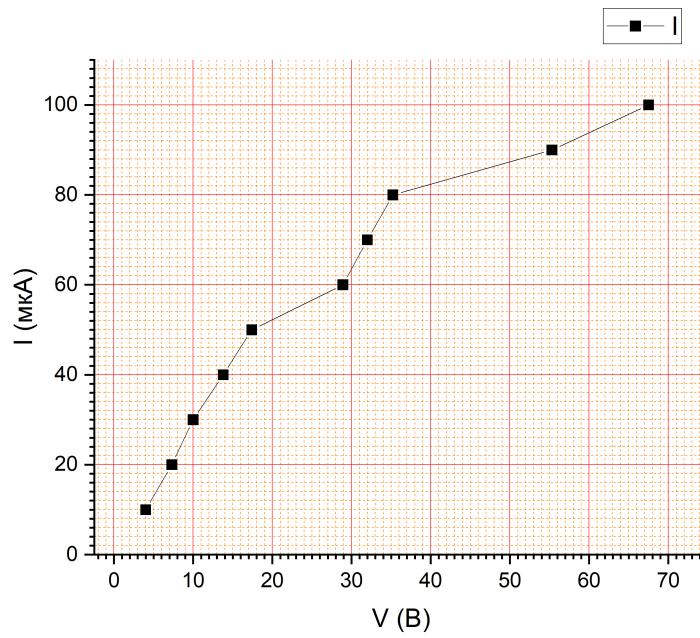
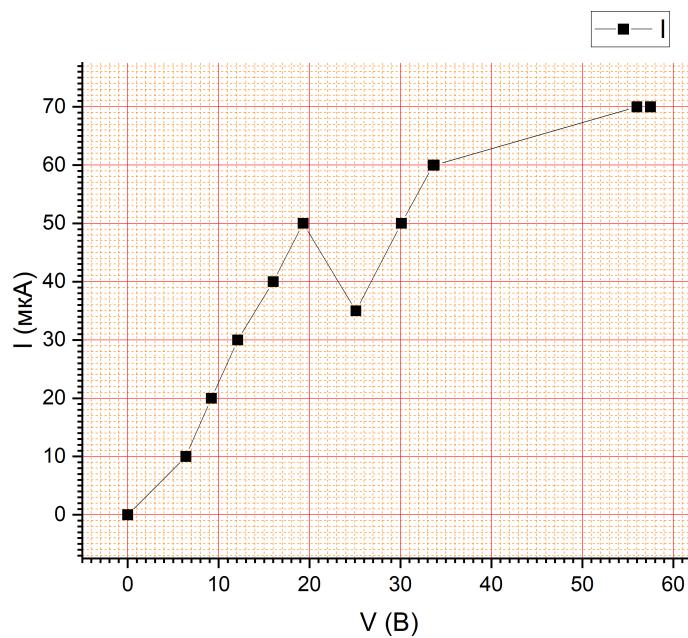
$$E = 21.6 \text{ эВ.}$$

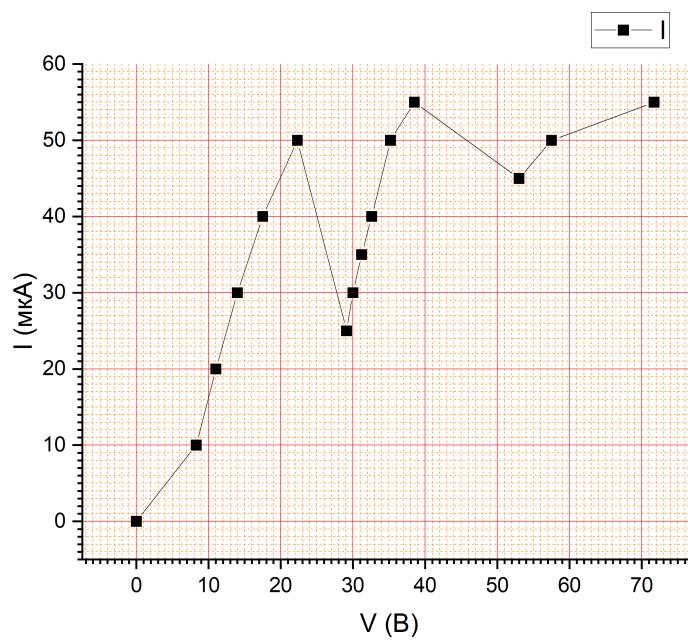
В целом, в пределах погрешности, результаты согласуются с табличными.

Рис. 6: Результат для $V_3 = 8$ В

Список литературы

- [1] Сивухин Д. В. *Общий курс физики. Том 5 Атомная физика*, 2004
- [2] *Лабораторный практикум по общей физике. Квантовая физика* под ред. Ю. М. Ципенюка

Рис. 7: $V_3 = 4$ ВРис. 8: $V_3 = 4$ В

Рис. 9: $V_3 = 4$ В