

МФТИ

ФРКТ

Лабораторная работа 5.2.1

Опыт Франка-Герца.

Добровольская Ксения
Гаврилин Илья
Б01-110

1 Аннотация

В данной работе предлагалось измерить значения энергии возбуждения первого уровня атома гелия и сравнить результаты с табличным значением $E = 21.6$ эВ. Для этого мы провели опыт Франка и Герца в двух следующих режимах:

1.) Динамическом. Значение этой величины составило $E_1 = (15.3 \pm 0.6)eB$, что отличается от табличного значения на 29 %.

2.) Статическом. Значение этой величины составило $E_1 = (21.5 \pm 0.6)eB$, что отличается от табличного значения всего лишь на 0.5% и совпадает с учетом погрешности.

2 Опыт Франка и Герца

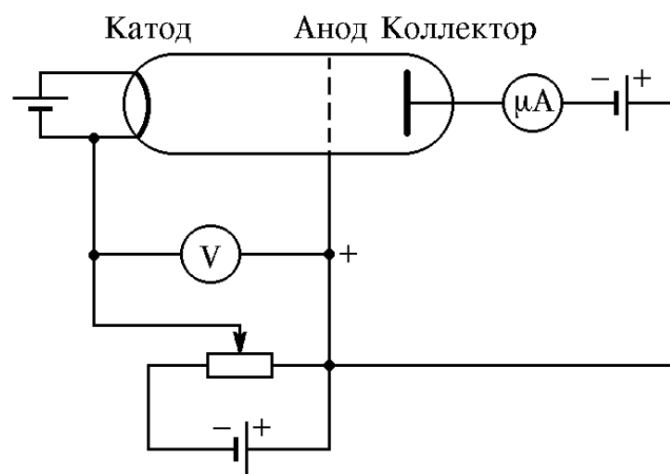


Рис. 1: Принципиальная схема опыта Франка и Герца.

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 трехэлектродную лампу. Электроны, испускаемые разогретым катодом, ускоряются в постоянном электрическом поле, созданном между катодом и сетчатым анодом лампы и сталкиваются с атомами гелия. Если энергия электрона, налетающего на атом, недостаточна для того, чтобы перевести его в возбужденное состояние, то возможны только упругие соударения.

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).

Ток коллектора, пропорциональный числу электронов, попадающих на него за секунду, измеряется микроамперметром.

При увеличении потенциала анода ток в лампе вначале растет. Однако, когда энергия электронов становится достаточной для возбуждения атомов, ток коллектора резко уменьшается. 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 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.

3 Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки приведена на рис.2.

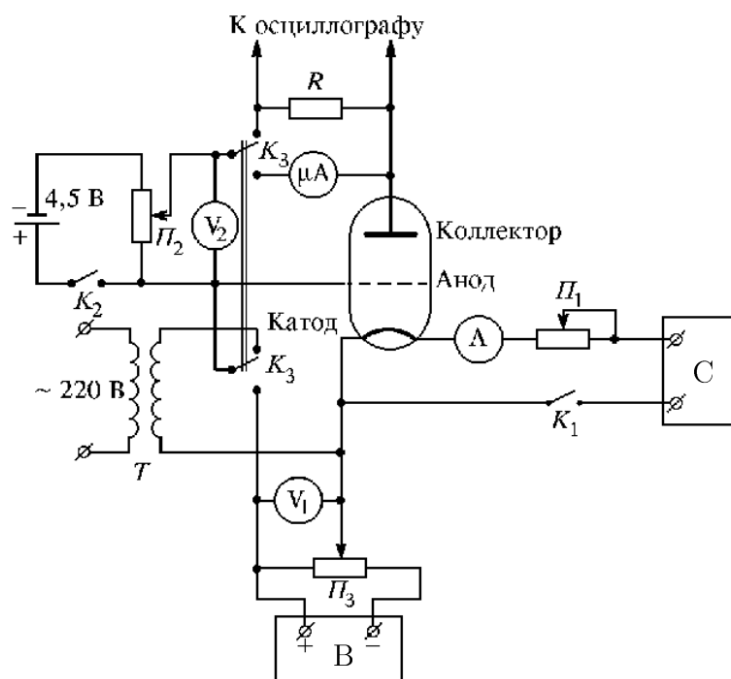


Рис. 2: Схема экспериментальной установки.

Схема экспериментальной установки изображена на рис. 2. Для опыта используется серийная лампа ионизационного манометра ЛМ-2, заполненная гелием. Напряжение накала подается от стабилизированного 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 подается на анод от выпрямителя Б5-10. Величина этого напряжения регулируется потенциометром Π_3 и измеряется вольтметром V_1 . Источник задерживающего потенциала – батарея КБСЛ (4,5 В) – включается ключом K_2 , величина потенциала регулируется потенциометром Π_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.2 две части сдвоенного ключа K_3 изображены отдельно. При динамическом режиме работы ускоряющий потенциал подается с понижающего трансформатора T (220/50 В), а ток коллектора регистрируется осциллографом, подключенным к нагрузочному резистору R . Осциллограф следует синхронизировать 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 потенциалу первого возбужденного уровня. Однако контактная разность потенциалов так сдвигает все максимумы, что расстояние между ними не меняется.

4 Динамический режим

1. При максимальном ускоряющем напряжении измеряем на экране осциллографа расстояния по оси x между первым и вторым максимумами ΔV_1 и между вторым и третьим ΔV_2 для трех значений задерживающего напряжения V :

Чувствительность канала X — 1 В/дел.

Чувствительность канала Y — 1 мВ/дел.

| $V, \text{В}$ | $\Delta V_1, \text{дел}$ | $\Delta V_2, \text{дел}$ | $\Delta V_{cr}, \text{дел}$ |
|---------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 4 | 15 | 17 | 16 |
| 6 | 14 | 16 | 15 |
| 8 | 14 | 16 | 15 |

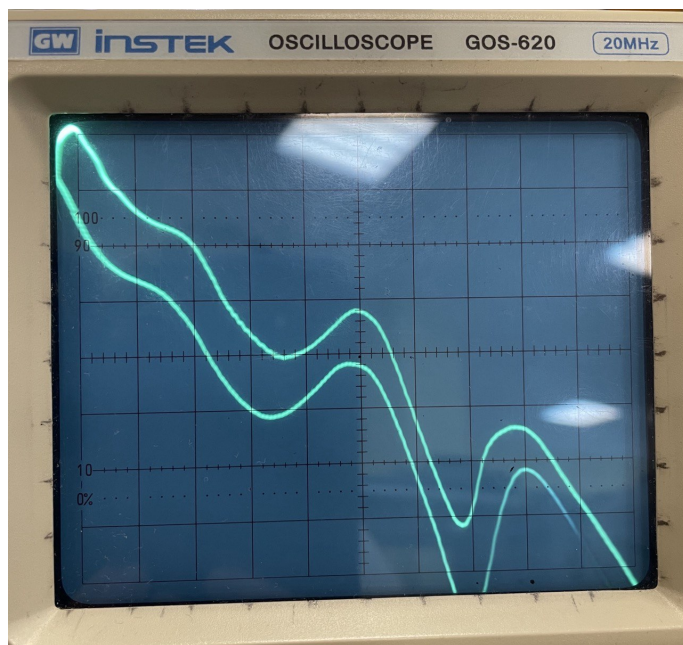


Рис. 3: ВАХ на экране ЭО при $V = 4\text{В}$.

2. Получив средний результат $\Delta V_{cr} = 15.3 \text{ В}$, можем определить энергию возбуждения первого уровня атома гелия в электрон-вольтах

$$E_1 = \Delta V_{cr} = 15.3 \text{ эВ}$$

3. Ошибка измерения учитывает приборную и среднестатистическую погрешности:

$$\delta V_{cr} = \sqrt{\delta V_{pr}^2 + \delta V_{ct}^2}$$

, где приборная $\delta V_{pr} = 0.5B$, а среднестатистическая $\delta V_{ct} = 0.4B$

значит результат с учетом погрешности:

$$E_1 = (15.3 \pm 0.6)eB$$

4. Также по начальному участку можно оценить значение контактной разности потенциалов, в нашем случае его значение составляет $\Delta V_{con} = 10$ В.

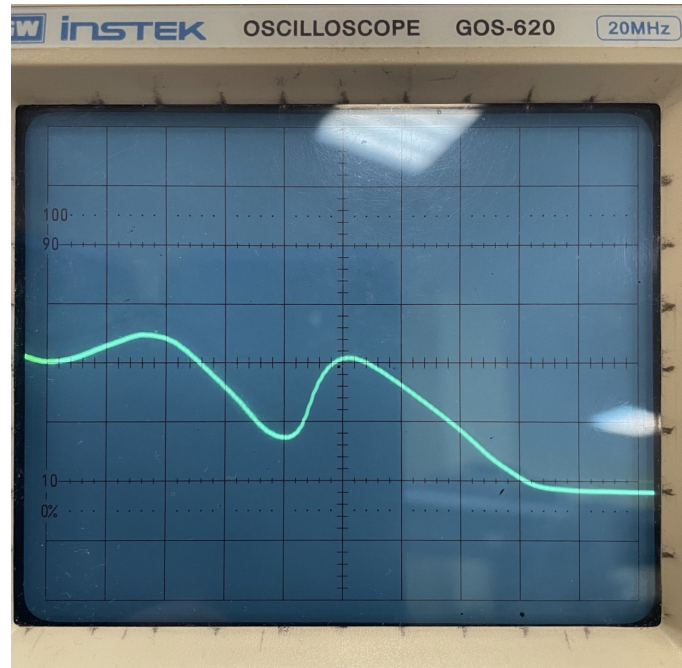


Рис. 4: Контактная разность потенциалов.

5 Статический режим

1. При максимальном накале снимаем зависимость коллекторного тока от анодного напряжения ($I_k = f(V_a)$) для трех значений задерживающего напряжения V .
2. Строим графики зависимости для всех значений задерживающего напряжения V .

1. $V = 4B$

| | | | | | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| I_k, mA | 9 | 71 | 145 | 205 | 225 | 232 | 199 | 180 | 198 | 235 |
| V_a, B | 0.0 | 5.5 | 10.7 | 15.9 | 17.8 | 21.1 | 23.0 | 23.8 | 25.2 | 27.7 |
| I_k, mA | 271 | 330 | 360 | 347 | 338 | 354 | 380 | 410 | 500 | 510 |
| V_a, B | 30.1 | 33.7 | 38.2 | 40.1 | 44.5 | 47.5 | 51.3 | 54.7 | 73.3 | 75.7 |

2. $V = 6B$

| | | | | | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| I_k, mA | 1 | 76 | 152 | 198 | 228 | 212 | 129 | 182 | 237 | 305 |
| V_a, B | 0.0 | 7.2 | 12.3 | 16.0 | 19.5 | 23.0 | 24.8 | 28.3 | 31.5 | 36.3 |
| I_k, mA | 310 | 274 | 277 | 286 | 312 | 312 | 362 | 382 | 395 | 390 |
| V_a, B | 38.7 | 44.9 | 47.9 | 49.9 | 53.7 | 53.7 | 61.4 | 71.9 | 74.7 | 75.2 |

3.V = 8B

| | | | | | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| I_k, mA | 4 | 61 | 146 | 191 | 217 | 186 | 107 | 87 | 141 | 197 |
| V_a, B | 3.3 | 7.9 | 13.6 | 17.2 | 20.8 | 23.8 | 24.3 | 66.5 | 29.7 | 32.7 |
| I_k, mA | 243 | 255 | 242 | 216 | 209 | 236 | 267 | 280 | 283 | 291 |
| V_a, B | 35.7 | 37.7 | 41.3 | 45.5 | 47.8 | 54.3 | 58.9 | 62.9 | 66.5 | 75.0 |

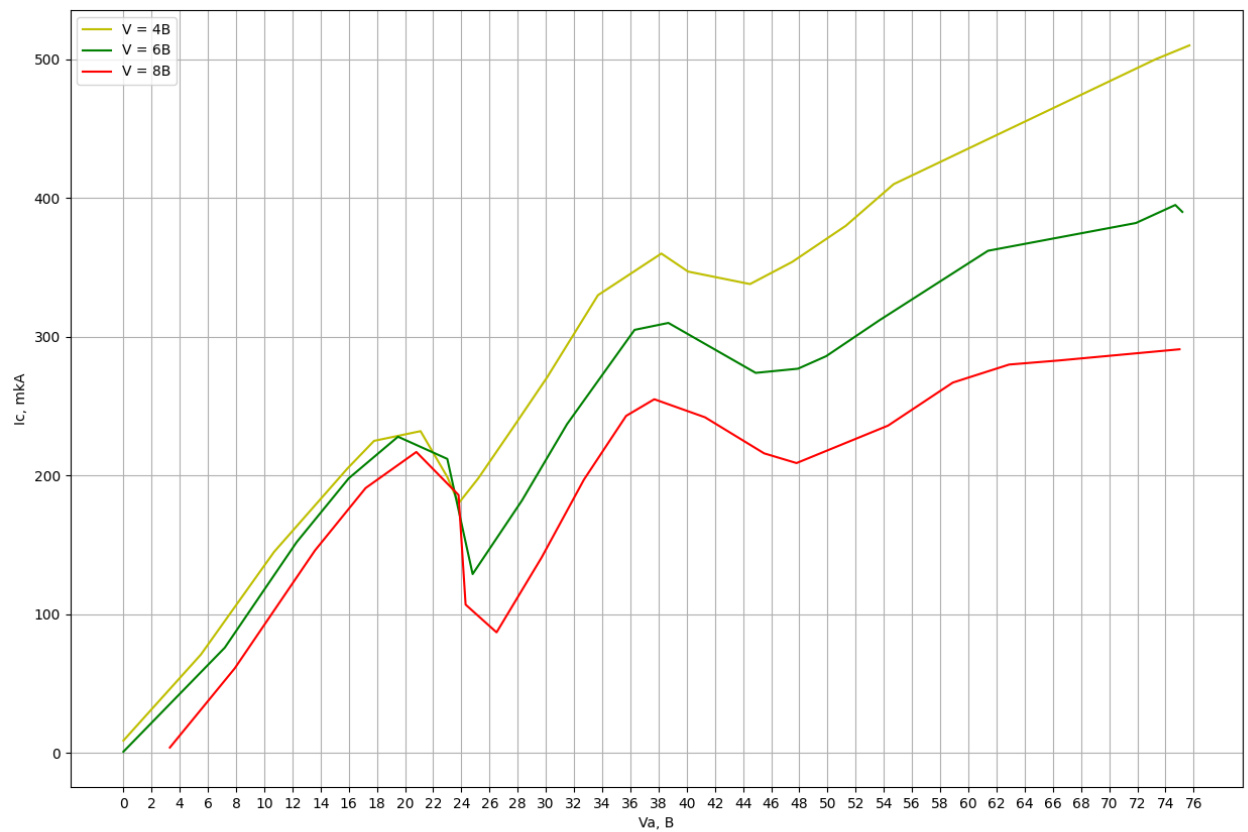


Рис. 5: Статический режим.

3. По графикам заполняем таблицу, аналогичную динамическому режиму:

| $V, \text{ В}$ | $\Delta V_1, \text{ дел}$ | $\Delta V_2, \text{ дел}$ | $\Delta V_{cr}, \text{ дел}$ |
|----------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 4 | 22 | 20 | 21.0 |
| 6 | 23 | 20 | 21.5 |
| 8 | 22 | 22 | 22.0 |

4. По данным таблицы определяем энергию возбуждения первого уровня атома гелия:

$$E_1 = \Delta V_{cr} = 21.5 \text{ эВ}$$

5. Ошибка измерения учитывает приборную, среднестатистическую и графическую погрешности:

$$\delta V_{cr} = \sqrt{\delta V_{pr}^2 + \delta V_{ct}^2 + \delta V_{gr}^2}$$

, где приборная $\delta V_{pr} = 0.05 \text{ В}$, среднестатистическая $\delta V_{ct} = 0.3 \text{ В}$, графическая $\delta V_{gr} = 0.5 \text{ В}$ значит результат с учетом погрешности:

$$E_1 = (21.5 \pm 0.6) \text{ эВ}$$

6 Выводы

В данной работе мы получили значения энергии возбуждения первого уровня атома гелия в:

1.) Динамическом режиме. Значение этой величины составило $E_1 = (15.3 \pm 0.6) \text{ эВ}$, что отличается от табличного значения $E = 21.6 \text{ эВ}$ на 29 %.

2.) Статическом режиме. Значение этой величины составило $E_1 = (21.5 \pm 0.6) \text{ эВ}$, что отличается от табличного значения всего лишь на 0.5% и совпадает с учетом погрешности.

Полученные результаты говорят о том, что измерения первого уровня возбуждения атома гелия в динамическом режиме дают гораздо большее отклонения от табличного значения, чем в статическом. Это связано с грубыми измерениями напряжения по электронному осциллографу и неточностью его показаний. Хорошие результаты в статическом режиме обусловлены точным измерением ВАХ и чувствительностью приборов.