

Отчет о выполнении лабораторной работы 1.3

"Эффект Рамзауэра"

Калашников Михаил, Б03-202

Цель работы: Исследование энергетической зависимости вероятности рассеяния электронов атомами ксенона, определение энергии электронов, при которых наблюдается "просветление" ксенона, и оценивание размера его внешней электронной оболочки.

1. Теоретические сведения

Эффективным сечением реакции называется величина, характеризующая вероятность перехода системы двух сталкивающихся частиц в результате их рассеяния в определенное конечное состояние. Сечение σ равно отношению числа N таких переходов в единицу времени к плотности nv потока рассеиваемых частиц.

$$\sigma = \frac{N}{nv}$$

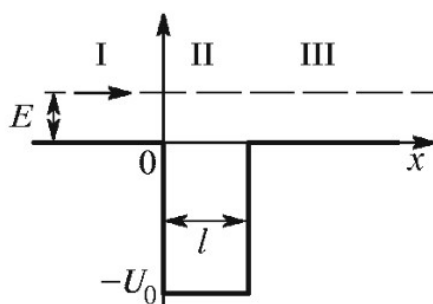
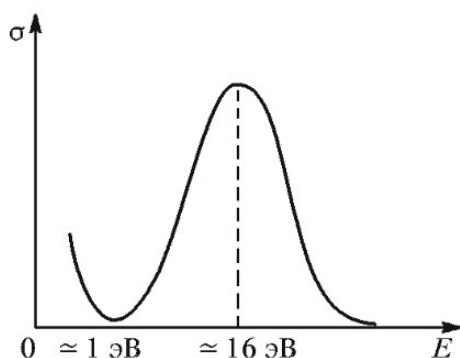


Рис. 2: Схематическое изображение прямоугольной

Рис. 1: Качественная картина результатов измерения потенциальной ямы, над которой пролетает частица с энергией E

Объяснение эффекта, приведенного на рисунке выше, требует учета волновой природы электронов. Рассмотрим электрон, проходящий через плоскую прямоугольную потенциальную яму шириной l и глубиной U_0 . Уравнение Шредингера в данном случае примет вид:

$$\psi'' + k^2\psi = 0, \quad \text{где } k^2 = \begin{cases} k_1^2 = \frac{2mE}{\hbar^2} & \text{в областях I и III;} \\ k_2^2 = \frac{2m(E+U_0)}{\hbar^2} & \text{в области II.} \end{cases} \quad (1)$$

Коэффициент прохождения D при этом равен отношению квадратов амплитуд прошедшей и падающей волн:

$$D^{-1} = 1 + \frac{U_0^2}{4E(E+U_0)} \sin^2 k_2 l.$$

Коэффициент прохождения максимален при условии:

$$k_2 l = \sqrt{\frac{2m(E+U_0)}{\hbar^2}} l = n\pi, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Рассмотрим интерференцию электронных волн де Бройля в атоме. Прошедшая волна усилится дважды отраженной при условии $\Delta = 2l = \lambda'$. С другой стороны, прошедшая волна ослабится если $\Delta = 2l = (3/2)\lambda'$. Получим два уравнения:

$$2l = \frac{h}{\sqrt{2m(E_1 + U_0)}}, \quad 2l = \frac{3}{2} \frac{h}{\sqrt{2m(E_2 + U_0)}}.$$

Решая эти два уравнения можно найти эффективный размер атома l и эффективную глубину потенциальной ямы атома:

$$l = \frac{h\sqrt{5}}{\sqrt{32m(E_2 - E_1)}}, \quad U_0 = \frac{4}{5}E_2 - \frac{9}{5}E_1.$$

2. Экспериментальная установка

Для изучения эффекта Рамзауэра используется тиратон ТГЗ-01/1.3Б, заполненный инертным газом.

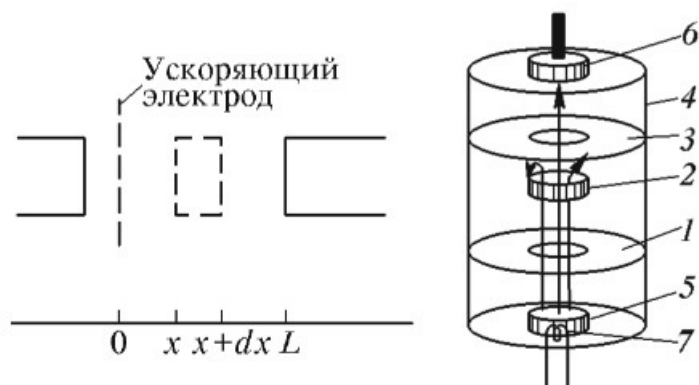


Рис. 3: Схематическое изображение тиратона (слева) и его конструкция (справа): 1, 2, 3 – сетки; 4 – внешний металлический цилиндр; 5 – катод; 6 – анод; 7 – накаливаемая спираль

Электроны, эмитируемые катодом тиратона, ускоряются напряжением V , приложенным между катодом и ближайшей к нему сеткой. Затем электроны рассеиваются на атомах ксенона.

3. Проведение эксперимента

1. Включим блок питания в сеть и настроим установку.
2. Переключим установку в динамический режим работы. Установим напряжение накала $V_{\text{накала}} = 3.383$. Оно не будет менять на протяжении всей работы.
3. Пронаблюдаем вольт-амперную характеристику тиратона на экране электронного осциллографа.

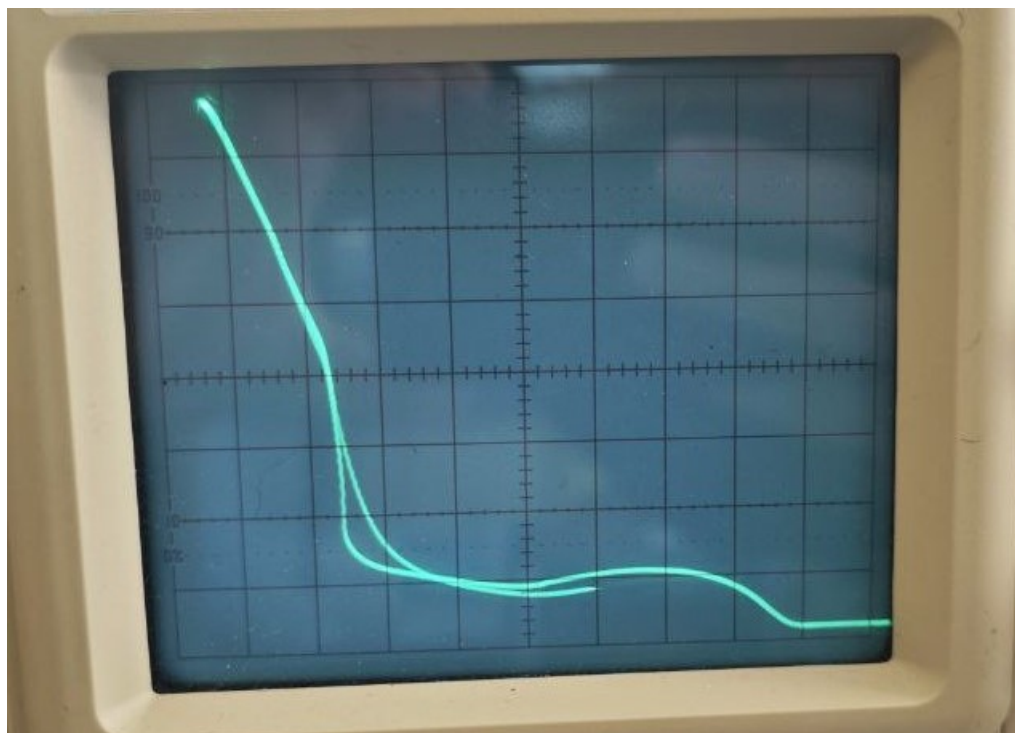


Рис. 4: Измерение ВАХ в динамическом режиме

4. Перейдем к статическому режиму измерений. Проведем подробное измерение вольт-амперной характеристики. Особенно тщательно проведем измерения в областях максимума и минимума характеристики.

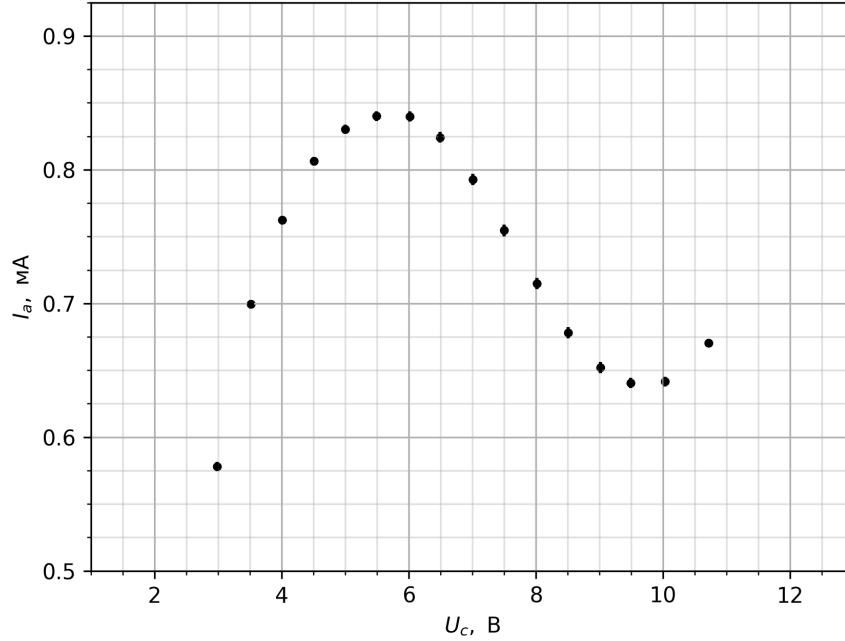


Рис. 5: Зависимость анодного тока от ускоряющего напряжения

5. Установим все ручки регуляторов в минимальное положение и отключим все приборы.

4. Обработка результатов

1. По результатам измерений в динамическом режиме оценим размер электронной оболочки атома, приняв $U_0 = 2.5$ В. Погрешность таких измерения составляет $\sigma_E \approx 1$ В.

$$E_1 \approx 6 \text{ В}, \quad E_2 \approx 10 \text{ В}$$

$$l_1 = \frac{1}{2} \frac{h}{\sqrt{2m(E_1 + U_0)}} = (2.10 \pm 0.12) \text{ Å}$$

$$l_2 = \frac{3}{4} \frac{h}{\sqrt{2m(E_2 + U_0)}} = (2.60 \pm 0.10) \text{ Å}$$

$$l = \frac{h\sqrt{5}}{\sqrt{32m(E_2 - E_1)}} = (3.4 \pm 0.2) \text{ Å}$$

$$U_0 = \frac{4}{5}E_2 - \frac{9}{5}E_1 = (-2.8 \pm 1) \text{ В}$$

2. В результате измерения напряжения пробоя, получим $U_{\text{пр}} = 15.5$ В. Это примерно соответствует потенциалу ионизации аргона, равному $U_{\text{пр,Ar}} = 15.8$ В.
3. Построим график $I_a = f(U_c)$ для статического режима. По графику определим положения экстремумов зависимости, аппроксимировав их параболлами вида $I_a = k(U_c - U_{\text{в}})^2 + I_{\text{в}}$.

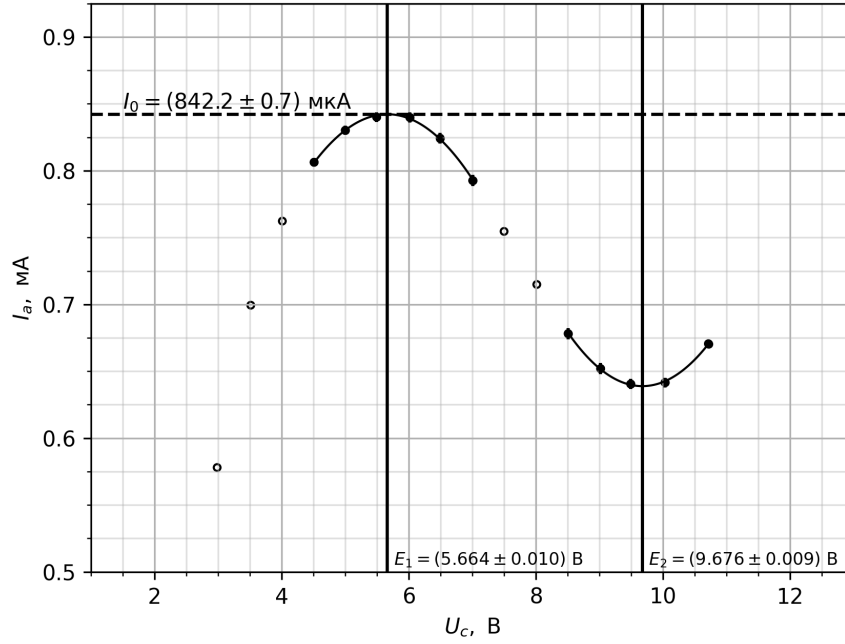


Рис. 6: Определение положения пиков ВАХ

Проведем те же расчеты, что и в динамическом режиме.

$$I_{\text{стат}} = (3.423 \pm 0.002) \text{ А}, \quad U_{0, \text{стат}} = (-2.46 \pm 0.04) \text{ В}$$

Также из графика определим величину $I_0 = (842 \pm 0.7) \text{ мкА}$ как высоту первого экстремума.

- Оценим при каких напряжения должны появляться максимумы в коэффициенте прохождения электронов для $n = 2, 3$. Для этого выразим следующую зависимость:

$$E_n = f(E_1, n) = n^2 E_1 + (n^2 - 1) U_0$$

$$E_2 = 4E_1 + 3U_0 = (15.3 \pm 0.2) \text{ В}$$

$$E_3 = 9E_1 + 8U_0 = (31.3 \pm 0.4) \text{ В}$$

Пик анодного тока при $n = 2$ на АЧХ трудно различим из-за наличия пробоя ($U_{\text{пр}} = 15.5 \text{ В}$). Пик при $n = 3$ в данном эксперименте пронаблюдать не удастся.

- Найдем зависимость вероятности рассеяния электронов от энергии. Построим график зависимости

$$w(V) = -\frac{1}{C} \ln \frac{I_a(V)}{I_0}.$$

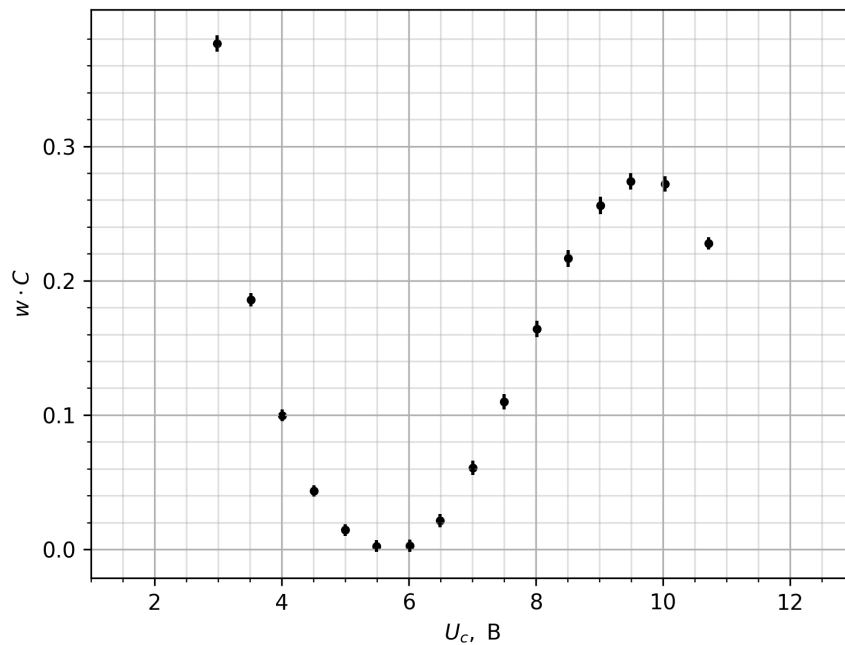


Рис. 7: График зависимости $w(V)$

6. При поднесения постоянного магнита к тиратрону изменяется его АЧХ. Пронаблюдаем изменения в динамическом режиме.

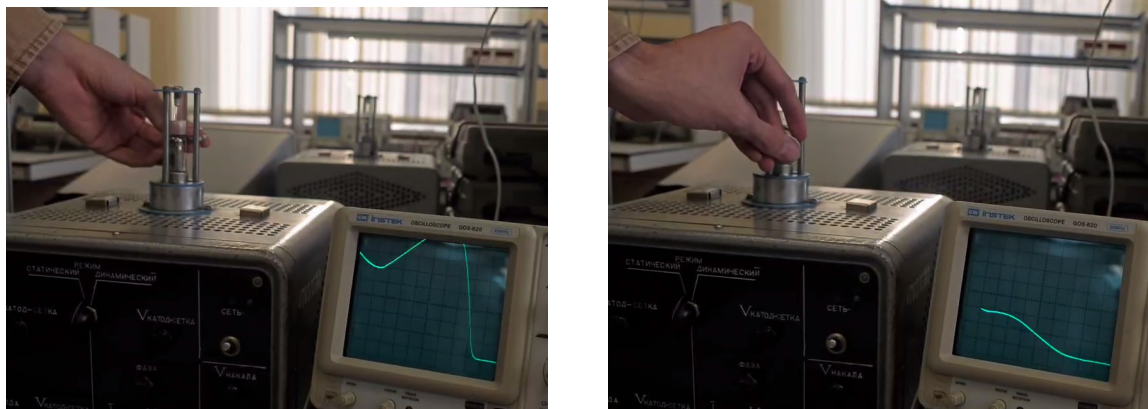


Рис. 8: Изменения АЧХ при поднесении магнита

При соосном расположении магнита и тиратрона анодный ток заметно усиливается, а при перпендикулярной ориентации анодного тока практически нет. Данный эффект обусловлен взаимодействием движущихся электронов с магнитным полем постоянного магнита.

Определение внутреннего устройства тиратрона затруднено практическим отсутствием документации. Единственное, что удалось найти, это данная схема. Судя по ней анод-катод тиратрона расположены перпендикулярно продольной оси устройства.

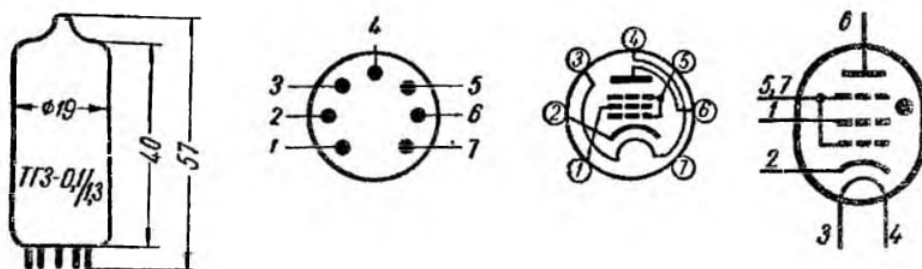


Рис. 29. Тиратрон ТГЗ-0,1/1,3:

1 — вторая сетка; 2 — катод; 3 и 4 — подогреватель (накал); 5 и 7 — первая и третья сетки; 6 — анод.

Рис. 9: Схема тиратрона ТГЗ-0.1/1.3

5. Выводы

В ходе работы был определен газ, наполняющий тиратрон, размер и глубину эффективной одномерной прямоугольной потенциальной ямы, соответствующей атому аргона. Обратившись к справочным данным, узнаем, что диаметр атома аргона составляет $d = 3.76 \text{ \AA}$, что довольно близко к полученному размеру l . Крайне малые погрешности, полученные в результате выполнения работы нельзя считать корректными. Неучтенные неточности модели вносят гораздо большие погрешности.