

Лабораторная работа 1.3

Эффект Рамзауэра

Кагарманов Радмир Б01-102

4 декабря 2023 г.

Цель работы: исследовать энергетическую зависимость вероятности рассеяния электронов атомами инертного газа; определить энергии электронов, при которых наблюдается «просветление» газа; и оценить размер его электронной оболочки.

Теория

Решим одномерное уравнение Шредингера для частицы, налетающей на потенциальную яму.

$$U = \begin{cases} 0 & , x < 0 \\ -U_0 & , 0 < x < l \\ 0 & , x > l \end{cases}$$

В силу произвольности падающего потока частиц, удобно отнормировать его таким образом, чтобы A была коэффициентом отражения, а B - коэффициентом прохождения. Тогда решение для волновой функции надо искать в виде:

$$\psi = \begin{cases} e^{ik_1x} + Ae^{-ik_1x} & , x < 0 \\ C_1e^{ik_2x} + C_2e^{-ik_2x} & , 0 < x < l \\ Be^{ik_1x} & , x > l \end{cases}$$

Где $k_1^2 = \frac{2mE}{\hbar^2}$, $k_2^2 = \frac{2m(E+U_0)}{\hbar^2}$.

Из требований непрерывности и гладкости при $x = 0$ и $x = l$ получаем систему уравнений и можем найти B .

$$B = \frac{4k_1k_2e^{-ik_1l}}{(k_1 + k_2)^2e^{-ik_2l} - (k_1 - k_2)^2e^{ik_2l}} \quad (1)$$

Коэффициент прохождения над ямой:

$$D = |B|^2 \quad (2)$$

После арифметических преобразований получаем:

$$D = \frac{1}{1 + \frac{1}{4}(\sqrt{\frac{E}{E+U_0}} - \sqrt{\frac{E+U_0}{E}})^2 \sin^2(\sqrt{E+U_0}[\text{эВ}] \frac{l[\text{Å}]}{1.95})} \quad (3)$$

Условие «просветления»: $\sqrt{E+U_0}[\text{эВ}] \frac{l[\text{Å}]}{1.95} = \pi n$, условие «затемнения»: $\sqrt{E+U_0}[\text{эВ}] \frac{l[\text{Å}]}{1.95} = \pi n + \frac{\pi}{2}$

Экспериментальная установка

В нашей работе для изучения эффекта Рамзауэра используется тиратрон, заполненный инертным газом. Схематическое изображение тиратрона и его конструкция приведены на Рис. 1. Электроны, эмитируемые катодом тиратрона, ускоряются напряжением V , приложенным между катодом и ближайшей к нему сеткой. Затем электроны рассеиваются на атомах инертного газа. Все сетки 1, 2, 3 соединены между собой и имеют одинаковый потенциал, примерно равный потенциалу анода 6. Поэтому между первой сеткой 1 и анодом практически нет поля. Рассеянные электроны отклоняются в сторону и уходят на сетку, а оставшаяся часть электронов достигает анода и создаёт анодный ток I_a . 5 - катод, 7 - накаливаемая спираль.

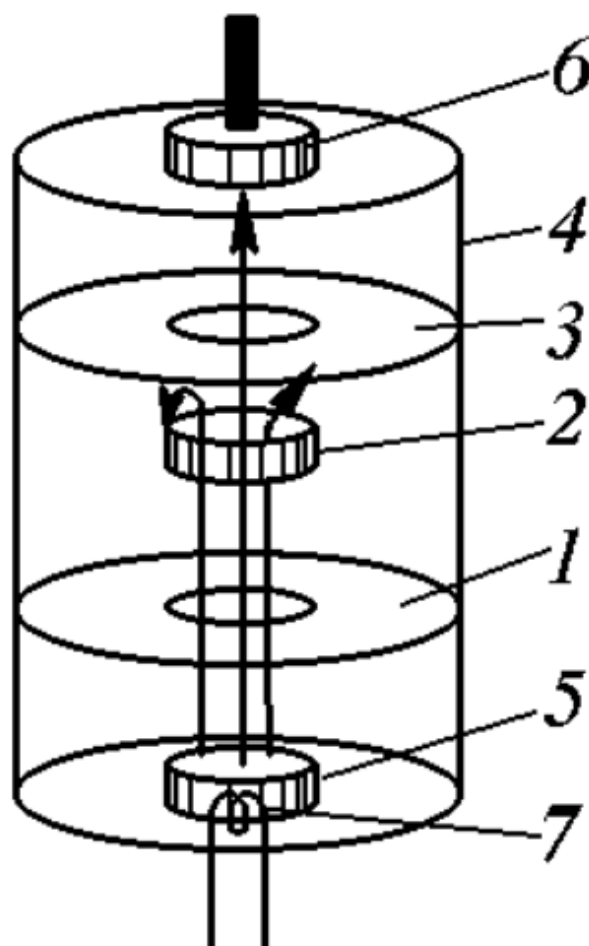


Рис. 1: Схема тиратрона

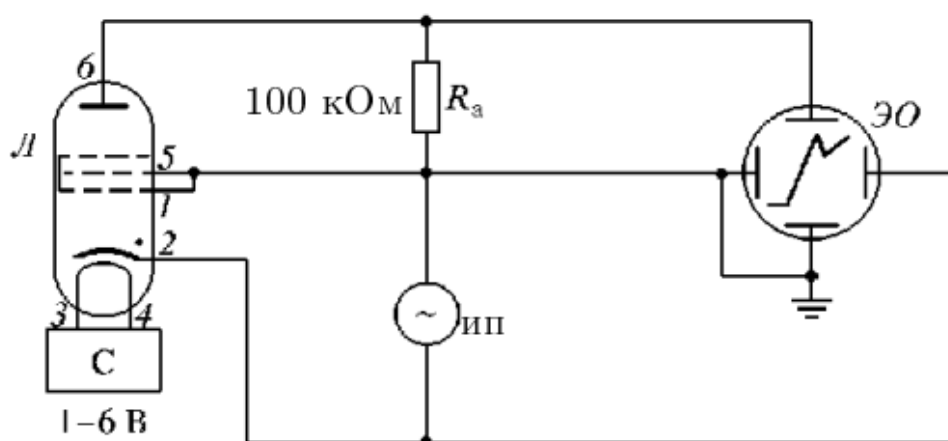


Рис. 2: Схема включения тиратрона

Принципиальная схема установки для изучения эффекта Рамзауэра приведена на рис. 2. На лампу Л подаётся синусоидальное напряжение частоты 50 Гц от источника питания ИП, С — стабилизированный блок накала катода: исследуемый сигнал подаётся на

электронный осциллограф (ЭО); цифрами обозначены номера ножек лампы.

Реально на экране ЭО удаётся надёжно наблюдать лишь один (первый, при $n = 1$) минимум в сечении рассеяния электронов и следующий за ним максимум. Дело в том, что уже при $n = 2$ напряжённость поля столь велика, что с большой вероятностью происходит ионизация атомов и возникает пробой тиратрона.

Ход работы и обработка результатов

1. Для двух различных напряжений накала мы получили ВАХ в динамическом режиме на ЭО. Они изображены на Рис. 3 и Рис. 4.

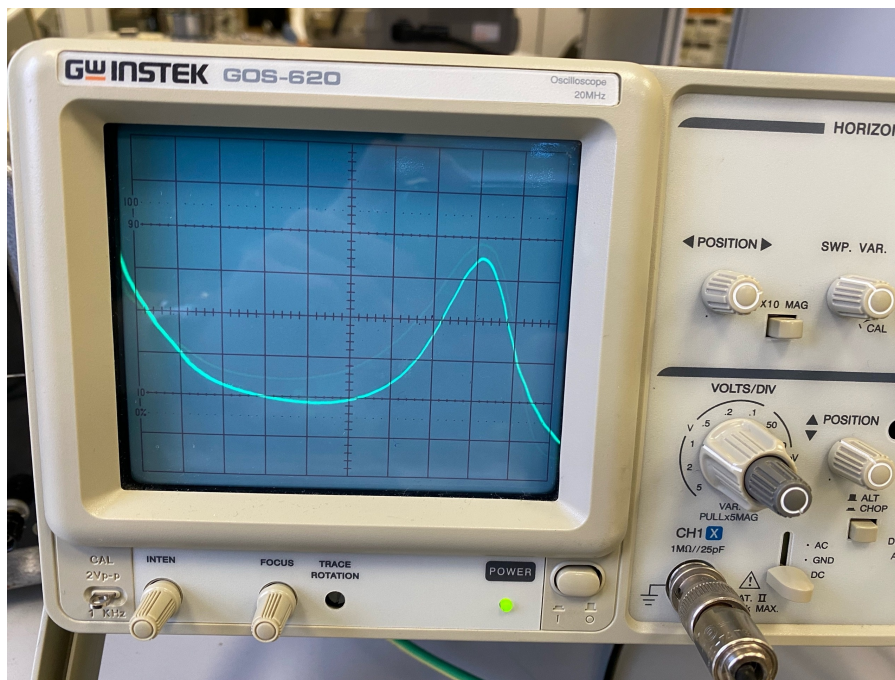


Рис. 3: ВАХ для $U_{\text{нак}} = 2,964 \text{ В}$

2. Затем в статическом режиме, изменяя напряжение на катоде, измеряли напряжение на аноде для двух токов накала. Зная сопротивление, легко получить ток. Результаты измерений приведены на Рис. 5 и Рис. 6.

3. Оценим размер атома газа. Примем $U_0 = 2,5 \text{ В}$. Тогда по формуле $\sqrt{E_{\text{light}} + U_0} [\text{эВ}] \frac{l}{1,95} [\text{Å}] = \pi$ получаем:

$$l = 2,95 [\text{Å}]$$

Исключив U_0 , по формуле $\sqrt{E_{\text{dark}} - E_{\text{light}}} [\text{эВ}] (\frac{l}{1,95} [\text{Å}])^2 = \frac{1}{4}\pi^2 + \pi^2$ получаем:

$$l = 3,7 [\text{Å}]$$

4. Разделив условия «просветления» и «затемнения» можно исключить размер ямы и выразить потенциальную глубину:

$$U_0 = \frac{4}{5}E_{\text{dark}} - \frac{9}{5}E_{\text{light}} = 0,92 \text{ В} \quad (4)$$

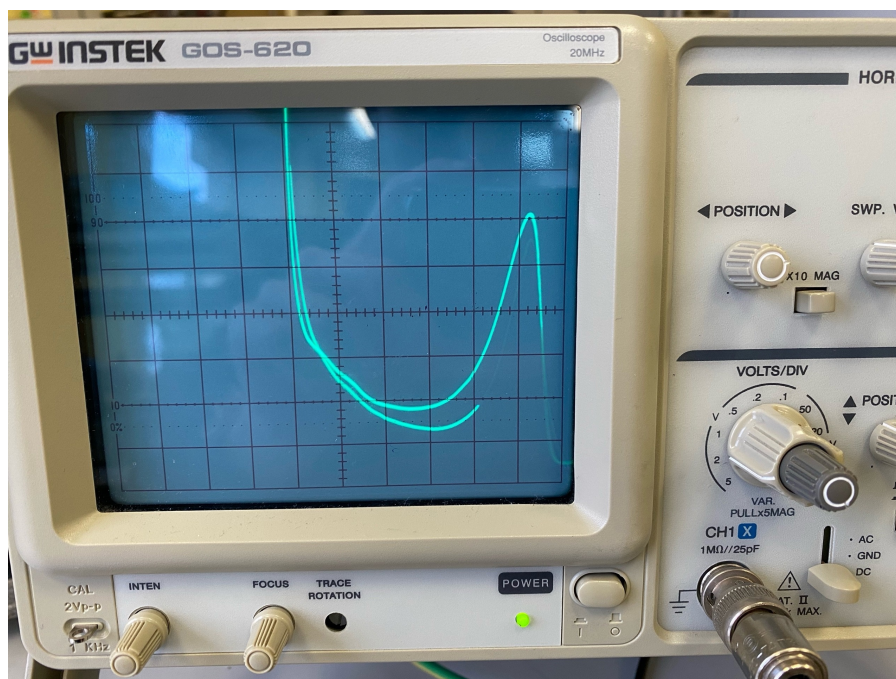


Рис. 4: ВАХ для $U_{\text{нак}} = 2,75 \text{ В}$

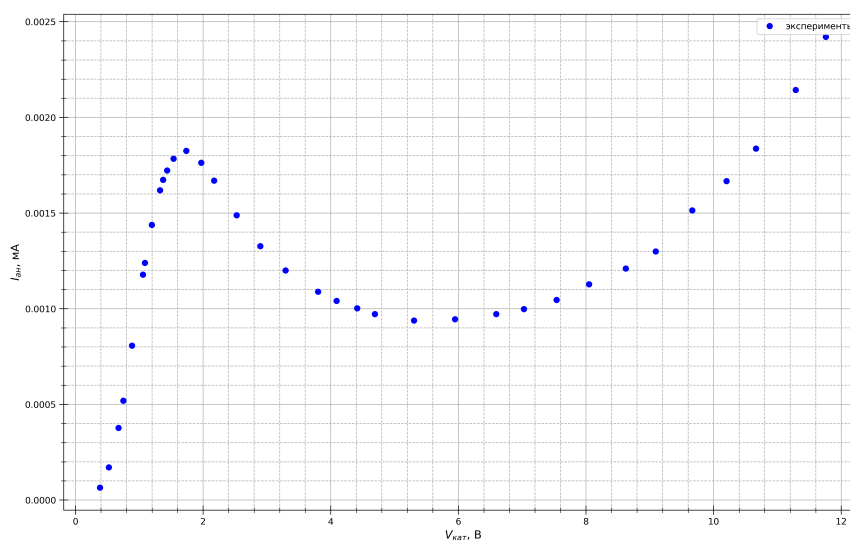


Рис. 5: ВАХ для $U_{\text{нак}} = 2,964 \text{ В}$

5. Пробой тиратрона происходит приблизительно при 12 В, а ионизационный потенциал ксенона 12,1 эВ. Значит, в тиратроне ксенон.

Табличный размер атома ксенона 216 пм. Значения, получившиеся в предыдущих пунктах, близки.

Вывод: в данной лабораторной работе мы исследовали ВАХ тиратрона. Из ВАХ нашли энергии «просветления» и «затемнения», оценили размер атома инертного газа, глубину потенциальной ямы и определили газ в тиратроне.

