

# Лабораторная работа 5.1.3

## Изучение рассеяния медленных электронов на атомах (эффект Рамзауэра)

Гаврилин Илья  
Добровольская Ксения  
Б01-110

22 ноября 2023 г.

**Цель работы:** Получить ВАХ эффекта на экране ЭО, измерить расстояния между характерными точками в вольтах; снять ВАХ в статическом режиме; по результатам измерений рассчитать размер электронной оболочки атома, оценить глубину потенциальной ямы и потенциал ионизации газа, заполняющего лампу.

### Теория

#### Эффект Рамзауэра

*Эффективное сечение реакции* — это величина, характеризующая вероятность перехода системы двух сталкивающихся частиц в результате их рассеяния (упругого или неупругого) в определенное конечное состояние. Сечение  $\sigma$  это отношение числа таких переходов  $N$  в единицу времени к плотности потока  $nv$  рассеиваемых частиц, падающих на мишень, т.е. к числу частиц, падающих в единицу времени на единичную площадку, перпендикулярно к их скорости.

$$\sigma = \frac{N}{nv} \quad (1)$$

Эффект Рамзауэра нельзя объяснить с позиции классической теории. С квантовой же точки зрения картина рассеяния выглядит следующим образом: внутри атома потенциальная энергия падающего электрона отлична от нуля, скорость электрона меняется, становясь равной  $v'$  в соответствии с законом сохранения энергии

$$E = \frac{mv^2}{2} = \frac{mv'^2}{2} + U$$

а значит, изменяется и длина его волны де-Бройля. Таким образом, по отношению к электронной волне атом ведет себя как преломляющая среда с относительным показателем преломления

$$n = \frac{\lambda}{\lambda'} = \sqrt{1 - \frac{U}{E}} \quad (2)$$

Решение задачи о рассеянии электрона на сферическом потенциале достаточно громоздко. Поэтому рассматривают более простое одномерное приближение: электрон рассеивается на потенциальной яме конечной глубины. После решения соответ-

ствующего уравнения Шрёдингера получается выражение для коэффициента прохождения:

$$D = \frac{16k_1^2 k_2^2}{16k_1^2 k_2^2 + 4(k_1^2 - k_2^2)^2 \sin^2(k_2 l)} \quad (3)$$

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

Как легко видно, это периодическое выражение с максимумами при

$$k_2 l = \pi n = \sqrt{\frac{2m(E+U_0)}{\hbar^2}} l \quad (4)$$

Это же условие можно получить, рассматривая интерференцию двух волн — прошедшей через атом и отраженной от границ атомного потенциала. Тогда получаются следующие выражения для эффективного размера атома  $l$ :

$$2l = \frac{h}{\sqrt{2m(E_1 + U_0)}} \quad (5)$$

$$2l = \frac{3}{2} \frac{h}{\sqrt{2m(E_2 + U_0)}} \quad (6)$$

Где  $E_1, E_2$  — энергии, соответствующие максимуму и минимуму прохождения электронов соответственно. Исключая  $U_0$  можно найти

$$l = \frac{h\sqrt{5}}{\sqrt{32m(E_2 - E_1)}} \quad (7)$$

А исключая  $l$  можно найти эффективную глубину потенциальной ямы атома:

$$U_0 = \frac{4}{5}E_2 - \frac{9}{5}E_1 \quad (8)$$

Так же можно вывести теоретически формулу, связывающую зависимость вероятности рассеяния электрона от его энергии:

$$w(V) = -\frac{1}{C} \ln \frac{I_a(V)}{I_0} \quad (9)$$

С помощью неё, имея ВАХ тиратрона, можно построить график  $w(V)$ .

## Схема установки

Лампа-тиратрон ТГ301/1.3Б, заполненная инертным газом, расположена непосредственно на корпусе блока источников питания (БИП). Напряжение к электродам лампы подаются от источников питания, находящиеся в корпусе прибора. Регулировка напряжения и выбор режима работы установки производится при помощи ручек управления, выведенных на лицевую панель БИП.

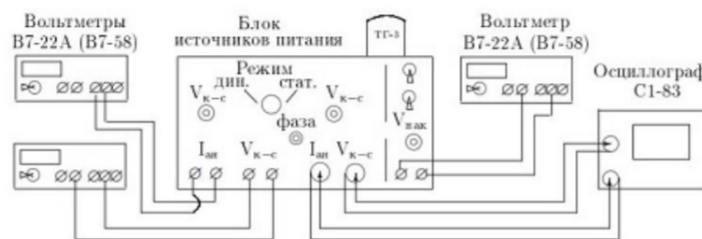


Рис. 1: Блок-схема экспериментальной установки

## Ход работы

### Динамический режим

Снимем с помощью осциллографа ВАХ при двух различных напряжениях, а затем измерим  $U_{\max}$ ,  $U_{\min}$  в зависимости от  $U_{\text{накала}}$ . Все данные занесем в таблицу.

$U$ , В	$U_{\max}$ , В	$U_{\min}$ , В
2.60	2.0	6.0
2.83	2.0	7.0

Таблица 1: Показания в динамическом режиме

Используя полученные данные и формулы (7) - (8) рассчитаем  $l$  и  $U_0$ .

$U$ , В	2.6	2.83
$l$ , А	3.43	3.07
$U_0$ , эВ	1.2	2

Таблица 2: Результаты вычисления  $l$ ,  $U_0$

Сравним полученные результаты с табличными значениями.

	$l$ , А	$U_0$ , эВ
эксперимент	$3.25 \pm 0.21$	$1.6 \pm 0.1$
теория	3.8	2.5

Таблица 3: Сравнение результатов, полученных в динамическом режиме

Перейдем к статическому режиму.

### Статический режим

Проведем измерение при двух значениях напряжения накала ( $U_{\text{нак}}$ ), результаты занесем в таблицу. По полученным данным построим графики, по ним определим максимальное и минимальное напряжение.

$U_{\text{нак}} = 2.60 \text{ В}$		$U_{\text{нак}} = 2.83 \text{ В}$	
$I$ , отн. ед.	$U$ , В	$I$ , отн. ед.	$U$ , В
0.1	0.0	0.1	0.0
0.3	0.5	0.5	0.5
42.0	1.0	54.6	1.0
166.5	1.6	175.0	1.5
174.1	1.7	184.5	1.8
157.1	2.0	182.2	1.9
164.8	1.9	183.9	1.6
170.6	1.9	187.1	1.7
175.2	1.8	186.8	1.7
99.9	2.6	170.5	2.1
70.7	3.0	137.7	2.6
51.2	3.6	115.2	3.1
40.9	4.1	98.3	3.6
35.1	4.6	85.1	4.2
31.7	5.1	79.8	4.5
29.3	5.6	73.4	5.1
24.6	6.2	69.8	5.6
27.3	6.7	67.7	6.1
27.4	7.1	67.8	6.5
27.6	7.5	67.7	7.1
29.2	8.1	67.8	6.7
31.0	8.6	70.4	7.5
33.2	9.1	74.7	8.1
36.8	9.6	79.9	8.6
45.7	10.1	87.7	9.1
47.0	10.6	95.9	9.6
55.5	11.2	119.2	10.1
61.0	11.6	127.0	11.2
		148.6	11.2

Таблица 4: Результаты замеров в статическом режиме

На построенных графиках определим координаты максимума и минимума, используя их рассчитаем  $l$ ,  $U_0$ .

$U$ , В	$l$ , Å	$U_0$ , эВ
2.60	$3.1 \pm 0.2$	$2.1 \pm 0.3$
2.83	$3.1 \pm 0.2$	$2.1 \pm 0.3$
среднее	$3.1 \pm 0.2$	$2.1 \pm 0.3$
табличное	3.8	2.5

Таблица 5: Результаты в статическом режиме

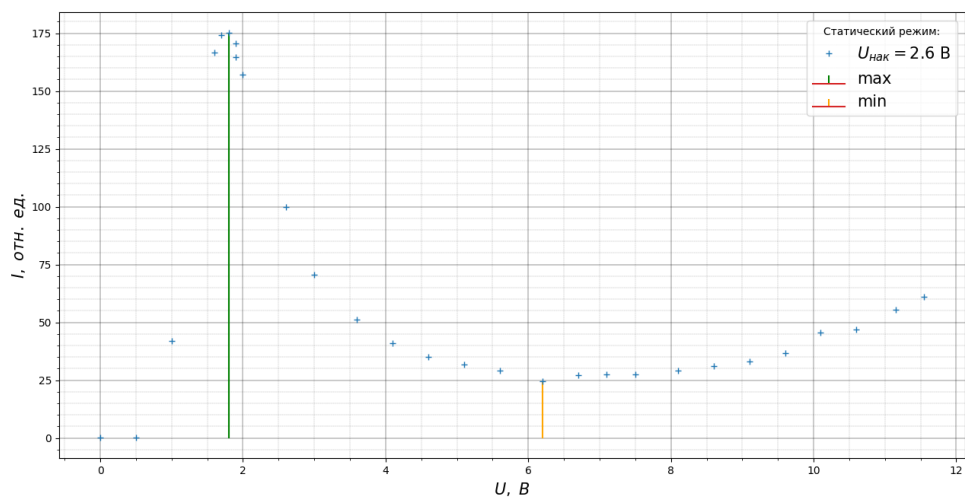


Рис. 2: Результаты при  $U_{\text{нак}} = 2.60 \text{ В}$

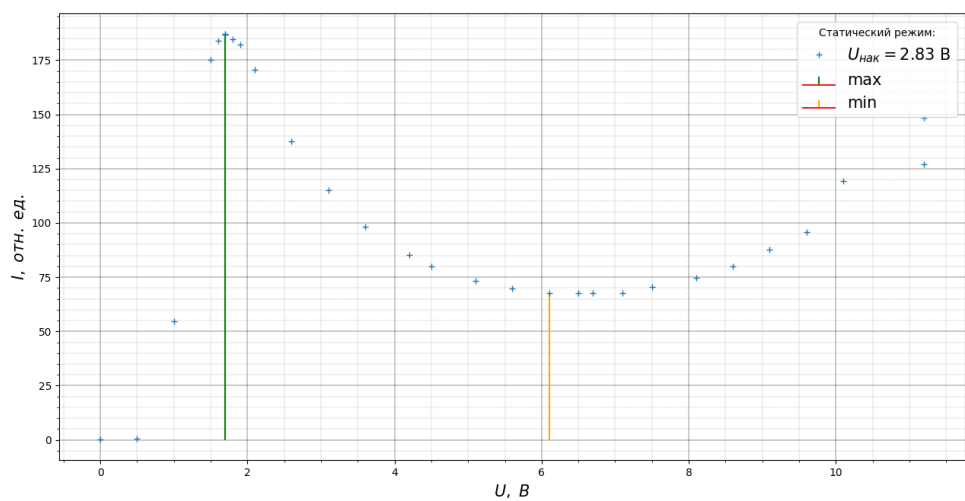


Рис. 3: Результаты при  $U_{\text{нак}} = 2.83 \text{ В}$

Используя формулу (9) можем построить зависимость вероятности рассеяния от напряжения, приведем качественный график.

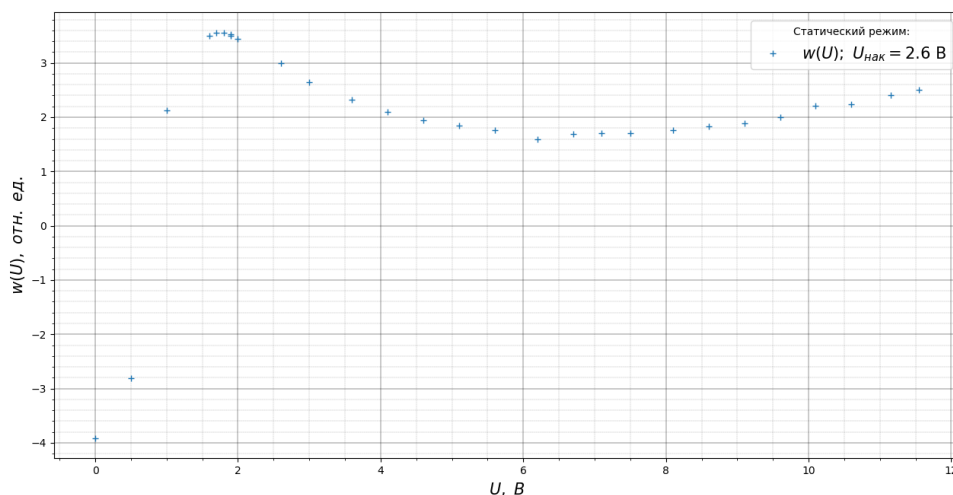


Рис. 4: Качественная зависимость  $w(U)$

## Выводы

В данной лабораторной работе была получена ВАХ эффекта Рамзауэра на экране осциллографа в динамическом режиме.

Для динамического режима были рассчитаны размер электронной оболочки атома  $l = (3.25 \pm 0.21) \text{ \AA}$ , глубина потенциальной ямы  $U_0 = 1.6 \pm 0.1 \text{ эВ}$ .

Была снята ВАХ в статическом режиме. По результатам измерений рассчитан размер электронной оболочки атома  $l = (3.1 \pm 0.2) \text{ \AA}$ , а также глубина потенциальной ямы  $U_0 = 2.1 \pm 0.3 \text{ эВ}$ .

Табличные значения для данных величин составляют:  $l = 3.8 \text{ \AA}$ ,  $U_0 = 2.5 \text{ эВ}$ . Экспериментальные данные немного отличны от табличных.

Также в ходе работы были оценены значения энергий, при которых должны появляться максимумы в коэффициенте прохождения электронов для  $n = 2$ ,  $n = 3$ , что соответственно составляют следующие величины (из формулы (4)):  $E_2 = 13.5 \text{ эВ}$ ,  $E_3 = 32.9 \text{ эВ}$ .

Более того, была получена качественная зависимость вероятности рассеяния электрона от напряжения на тиратроне.