

Московский Физико-Технический Институт
(государственный университет)

Работа 5.1.2

Сибгатуллин Булат, ФРКТ

Цель работы:

получить ВАХ эффекта на экране ЭО; измерить расстояние 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 атома, заполняющего лампу.

1 Теоретическая часть

К. Рамзауэр исследовал зависимость поперечных сечений упругого рассеяния электронов (с энергией до 10 ЭВ) на атомах аргона. В результате этих исследований было обнаружено явление, получившее название *эффекта Рамзауэра*.

С точки зрения квантовой теории атом по отношению к электронной волне ведет себя как преломляющая среда с относительным показателем преломления

$$n = \frac{\lambda}{\lambda'} = \sqrt{1 - \frac{U}{E}},$$

где U , E – соответственно потенциальная и полная энергии электрона внутри атома.

Будем считать, что электрон рассеивается на одномерной прямоугольной потенциальной яме конечной глубины. Такая модель является хорошим приближением для атомов тяжелых инертных газов, отличающихся наиболее компактной структурой и резкой внешней границей. Решение задачи о прохождении частицы с энергией E над потенциальной ямой шириной l и глубиной U_0 не составит труда найти из уравнения Шредингера:

$$\psi'' + k^2\psi = 0, \text{ где } k^2 = \begin{cases} 2mE/\hbar^2 & x < 0, x > l \\ (2mE + U_0)/\hbar^2 & 0 < x < l \end{cases}.$$

Коэффициент прохождения равен отношению квадратов амплитуд прошедшей и падающей волн и определяется выражением:

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

Минимум последнего выражения отвечает квантовому аналогу просветления оптики, так как при выполнении условия

$$\sqrt{\frac{2m(E + U_0)}{\hbar^2}} l = \pi n, \quad n \in \mathbb{N}, \quad (*)$$

коэффициент прохождения частицы над ямой становится равным единице, то есть достигает своего максимального значения. Отметим, что условие $(*)$ легко получить, рассматривая интерференцию электронов волн де Бройля в атоме:

- Условие первого интерференционного максимума:

$$2l = \frac{h}{\sqrt{2m(E_1 + U_0)}}. \quad (1)$$

- Условие первого интерференционного минимума:

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

Решая совместно уравнения (1, 2) можно получить:

$$l = \frac{h\sqrt{5}}{\sqrt{32m(E_2 - E_1)}}. \quad (3)$$

Понятно, что энергии E_1 и E_2 соответствуют энергиям электронов, прошедших разность потенциалов V_1 и V_2 , то есть $E_1 = eV_1$ и $E_2 = eV_2$.

По измеренным величинам E_1 и E_2 , используя формулы (1, 2), можно рассчитать эффективную глубину потенциальной ямы атома:

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

Согласно квантовой механике зависимость вероятности рассеяния электрона от его энергии можно определить из соотношения:

$$w(U) = -\frac{1}{C} \ln \frac{I(U)}{I_0}, \quad (5)$$

где I_0 – ток катода, а C – некторая постоянная.

2 Экспериментальная установка

В нашей работе для изучения эффекта Рамзауэра используется тиратрон ТГЗ-01/1.3Б, заполненный инертным газом. Схематическое изображение тиратрона и его конструкция приведены на рис. 1а.

Принципиальная схема установки для изучения эффекта Рамзауэра приведена на рис. 1б. 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.

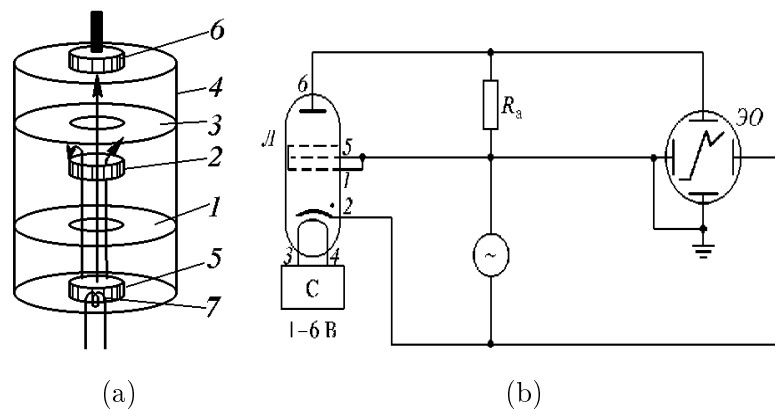


Рис. 1: Экспериментальная установка.

Схема экспериментальной установки, изображённая на рис. 1б в нашей работе конструктивно осуществлена следующим образом. Лампа-тиратрон ТГЗ-01/1.3Б, заполненная инертным газом, расположена непосредственно на корпусе блока источника питания (БИП). Напряжение к электродам лампы подаётся от источников питания, находящихся в корпусе прибора. Регулировка напряжения и выбор режима работы установки производится при помощи ручек управления, выведенных на лицевую панель БИП.

3 Выполнение работы

3.1 Динамический метод

1. Проведем измерения в динамическом режиме, запишем результаты измерений в таблицу:

напряжение лампы накала:	2,7В	2,9В	2.5В
максмум напряжения:	2В	2В	2В
минимум напряжения:	6В	7В	7В
напряжение пробоя:	13В	13В	12В

Рис. 2: Измерения в динамическом режиме

Здесь минимум напряжения это E_2 , а максимум это E_1 - формула (4). Погрешность измерения в динамическом режиме: $\sigma_E = 0,5 \text{ В}$.

2. По результатам измерений рассчитаем размер электронной оболочки атома инертного газа, заполняющего лампы используя формулы (1 - 3). Эффективную глубину потенциальной ямы U_0 можно оценить по формуле (4). Запишем получившиеся значения в таблицу.

$U_{\text{накала}}$	$U_0, \text{ эВ}$	$\sigma_{U_0}, \text{ эВ}$	$l, \text{ пм}$	$\sigma_l, \text{ пм}$
2,5	2,00	0,53	307	81
2,7	1,20	0,32	343	91
2,9	2,00	0,53	307	81

Итоговое значение для глубины ямы: $U_0 = 1,73 \pm 0,46 \text{ эВ}$. Для размера электронной оболочки: $l = 319 \pm 84 \text{ пм}$. Табличные значения для $l = 280 \text{ пм}$, $U_0 = 2,5 \text{ эВ}$. В итоге получаем, что размер электронной оболочки совпадает с табличным с учетом погрешности, а глубина ямы нет.

3. По напряжени пробоя понимаем, что газ находящийся в лампе является ксеноном ($U_{\text{ion}} = 12,1 \text{ эВ}$).

3.2 Статический метод

1. Проведем измерения для статического метода на тех же напряжениях. Запишем результаты измерений в таблицу:
2. Нанесем получившиеся точки на график:
3. Аналогично расчетам в динамическом режиме приведем расчеты в статическом режиме:

$U_{\text{накала}}, \text{ В}$	2,5	2,7	2,9
$U_{\text{max}}, \text{ В}$	1,8	1,8	1,7
$U_{\text{min}}, \text{ В}$	6,7	6,5	5,7

$U_{\text{накала}}$	$U_0, \text{ эВ}$	$\sigma_{U_0}, \text{ эВ}$	$l, \text{ пм}$	$\sigma_l, \text{ пм}$
2,5	2,12	0,01	310	2
2,7	1,96	0,01	317	2
2,9	1,5	0,01	343	2

V, 2,7В		V, 2,9В		V, 2,5В	
U, В	I, мА	U, В	I, мА	U, В	I, мА
0,25	0,08	0,16	0,20	0,27	0,20
0,50	0,47	0,26	0,20	0,72	1,80
0,86	16,70	0,52	1,10	1,07	44,50
1,14	89,70	0,87	29,80	1,18	76,50
1,37	159,90	1,14	108,40	1,32	124,00
1,47	173,70	1,24	141,70	1,46	156,80
1,52	182,40	1,30	158,70	1,56	175,80
1,59	188,50	1,33	162,50	1,68	185,40
1,66	202,00	1,35	169,10	1,77	187,20
1,81	193,00	1,45	188,60	1,93	179,80
1,90	189,00	1,53	197,70	2,06	167,20
2,02	186,00	1,68	203,80	2,26	142,80
2,26	165,00	1,72	203,50	2,55	111,30
2,52	142,00	1,81	200,70	2,86	87,40
2,87	116,00	1,98	188,50	3,00	79,60
3,28	93,00	2,12	177,00	3,30	65,20
3,62	79,00	2,22	168,30	3,52	57,60
3,99	68,40	2,43	152,60	4,14	44,40
4,24	62,70	2,73	133,90	4,50	39,10
4,75	54,60	3,22	112,50	4,87	35,40
5,04	51,23	3,78	97,30	5,23	32,70
5,48	47,70	4,13	90,90	5,90	29,60
6,01	45,40	4,60	84,50	6,46	28,90
6,54	44,00	4,81	82,80	6,70	27,90
6,92	44,30	5,26	80,20	7,54	28,20
7,61	45,50	5,66	79,20	8,44	30,60
8,03	47,33	6,34	80,10	9,01	33,40
8,71	51,90	6,76	82,00	9,81	42,10
9,61	62,30	7,45	87,30	11,58	62,50
10,80	82,77	8,06	94,00		
11,40	101,40	8,55	102,30		
		9,20	114,60		
		9,89	140,10		
		11,02	177,00		

Рис. 3: Измерения в статическом режиме

- Итоговое значение для глубины ямы: $U_0 = 1,86 \pm 0,01$ В, для размера электронной оболочки атома: $l = 323 \pm 3$ пм. Значения отличаются от табличных.
- Построим график зависимости вероятности рассеяния электронов (с точностью до константы) от энергии.

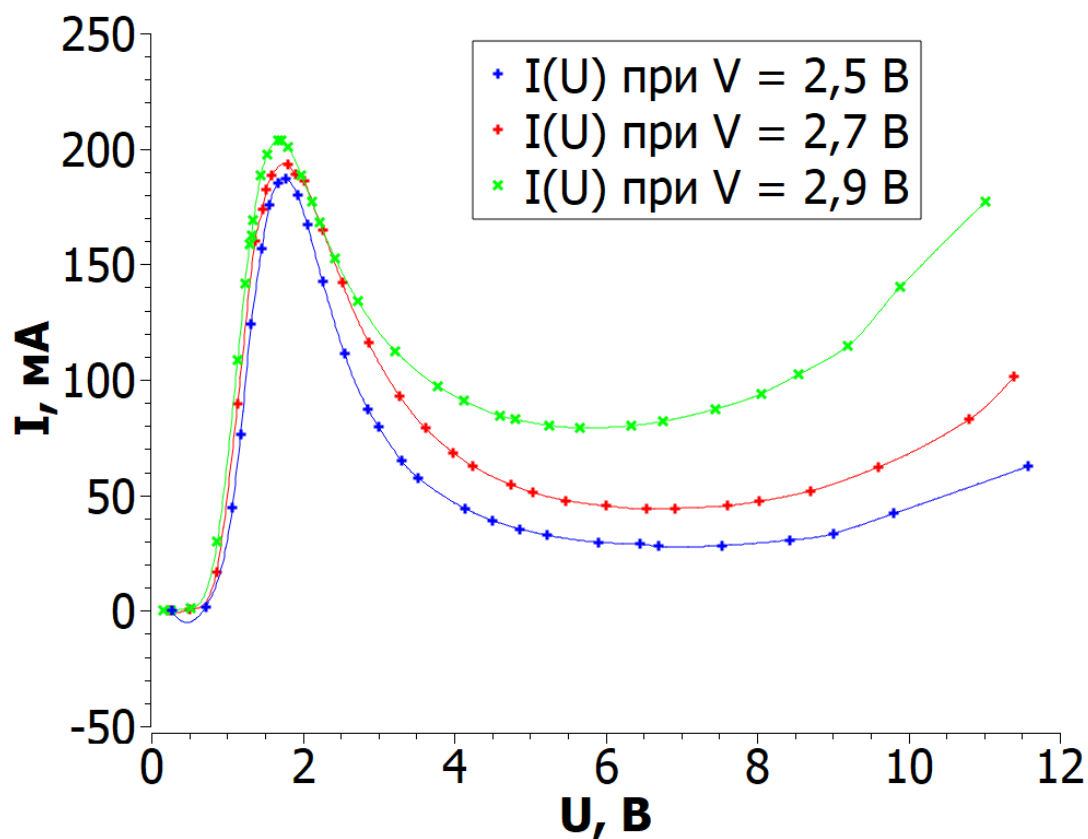
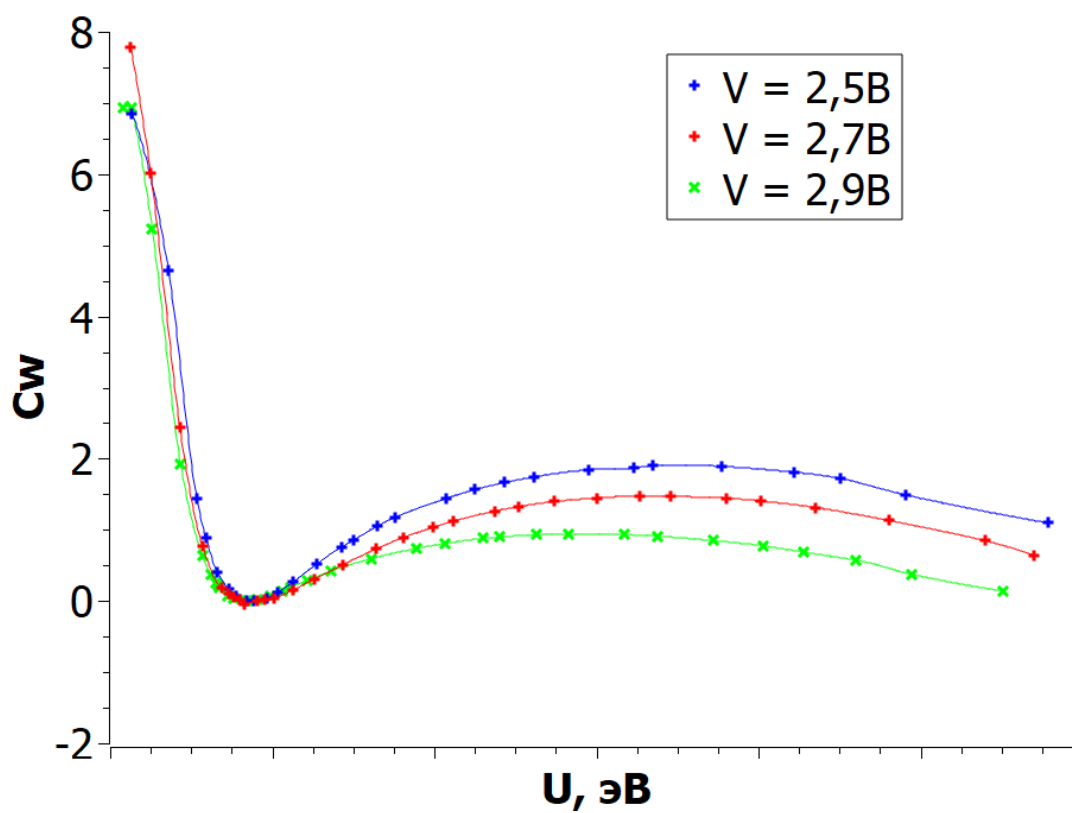
Рис. 4: График зависимости $I(U)$ в статическом режиме

Рис. 5: Зависимость вероятности рассеяния электронов (с точностью до константы) от энергии

4 Вывод

Провели измерения для тиратрона. Определили газ, который находится в лампе - ксенон. Получили значения для глужины ямы в статическом и динамическом методе. В динамическом методе получили совпадение размера электронной оболочки (ввиду большой погрешности, а не высокой точности данных). В статическом методе хоть и была получена высокая точность данных, мы получили значения, отличающиеся от табличных.