

МОСКОВСКИЙ  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ)



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5.1.3:  
**Эффект Рамзауэра.**

**Выполнил:**  
**Маслюк Руслан**  
**группа Б05-871**

4 декабря 2020 г.

# 1 Цель

Исследовать энергетическую зависимость вероятности рассеяния жлектронов атомами ксенона, определяются энергии электронов, при которых наблюдается ‘Просветление’ ксенона, и оценивается размер его внешней электронной оболочки.

## 2 Схема установки

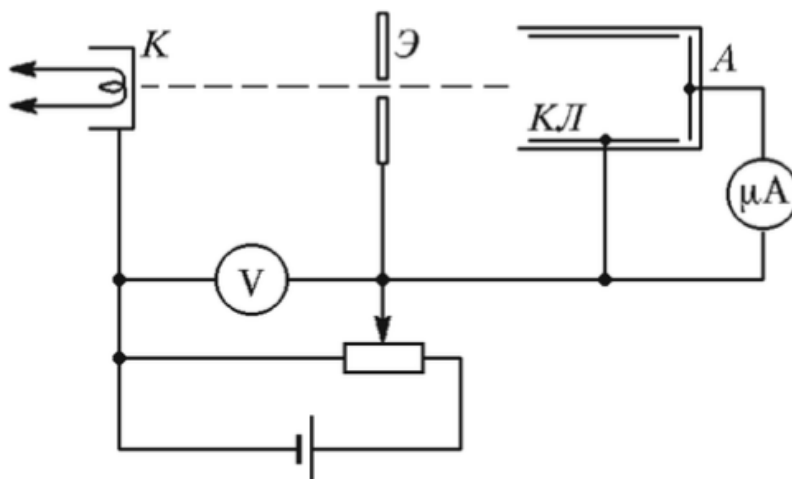


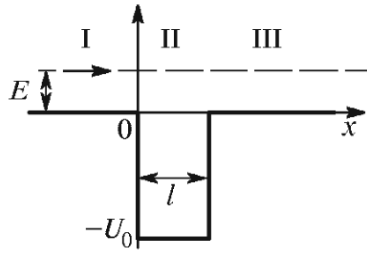
Рис. 1: Схема установки для измерения сечения рассеянных электронов в газах

Пучок электронов вылетает из накаливаемого катода К, проходит ускоряющую разность потенциалов  $V$ , приложенную между катодом и электродом Э, и приобретает энергию  $E = \frac{mv^2}{2} = eV$ . При прохождении через газ часть электронов рассеивается на атомах, уходит в сторону и собирается коллектором КЛ, а прошедшие без рассеяния электроны попадают на анод А и создают анодный ток  $I$ .

## 3 Теоритическая часть

Рассмотрим атомы газа как сферическую потенциальную яму. Это сложно, поэтому рассмотрим более грубую модель, одномерную потенциальную яму прямоугольной формы, эта модель хорошо отличается для атомов тяжелых инертных газов, отличающихся компактной структурой и

резкой внешней границей. Решение задачи о прохождении частицы с энергией  $E$  над потенциальной ямой шириной  $l$  и глубиной  $U_0$



Уравнение Шредингера в областях I, II, III имеет вид:

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

Найдем коэффициент прохождения через барьер:

Рис. 2: Задача об одномерной потенциальной яме

$$D = \frac{j_{\text{прош}}}{j_{\text{пад}}} = \frac{16k_1^2 k_2^2}{16k_1^2 k_2^2 + 4(k_1^2 - k_2^2)^2 \sin^2(k_2 l)}$$

Видно, что коэффициент прохождения частицы над ямой имеет чередующиеся минимумы и максимумы в зависимости от энергии. Если  $k_2 l = \pi + 2\pi n$ , то коэффициент прохождения равен 1, то есть электрон беспрепятственно проходит через атом. Таким образом условие максимального коэффициента пропускания:

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

Условие первого дифференциального максимума

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

Условие первого интерференционного минимума

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

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

Эффективная глубина потенциальной ямы:

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

## 4 Ход работы

### 4.1 Динамический режим

Измерим напряжения на катоде для максимумы и минимумов на аноде в динамическом режиме По формулам (2)-(5) определим размер электрон-

Таблица 1: Экстремумы в ВАХ

напряжение накала, В	$V_1$ (максимум), В	$V_2$ (минимум), В
3	2,34	7,1
2,6	2,31	7,42

ной оболочки получим  $l_{\text{ср}} = 2,94 \cdot 10^{-10}\text{м}$  и относительная погрешность  $\varepsilon = 2,21\% \implies$

$$l \approx (2,94 \pm 0,07) \cdot 10^{-10}\text{м}$$

По формуле(5) оценим глубину потенциальной ямы  $U_0$  По результатам

Напряжение накала,В	$U_0, В$
3	2,89
2,6	3,26

измерения напряжения пробоя оценим потенциал ионизации инертного газа.

$$I = 12,5 \pm 0,5 \implies \text{титатрон наполнен ксеноном}$$

## 4.2 Статистический режим

Теперь применим статистический метод.

Снимем зависимость тока на аноде от напряжения.

Таблица 2: Зависимость тока на аноде от напряжения при напряжении накала 3,0В

Напряжение катода, В	Напряжение Анода, В	1,824	22,03
0,07	-0,02	1,83	22,9
0,5	-0,02	1,85	26,4
0,74	-0,02	1,87	29,7
1,03	0	1,89	34,3
1,2	0,04	1,91	36,9
1,25	0,07	1,93	41,9
1,295	0,12	1,94	43,9
1,33	0,2	1,974	50,3
1,37	0,29	2	55,4
1,395	0,38	2,026	60,5
1,408	0,44	2,077	69,5
1,42	0,52	2,114	75,5
1,45	0,66	2,2	86,8
1,47	0,87	2,28	90,4
1,49	1	2,3	91,14
1,51	1,14	2,34	91,87
1,54	1,61	2,42	91,38
1,58	2,25	2,48	90,37
1,59	2,77	2,51	89,8
1,605	3,16	2,55	88,2
1,61	3,45	2,63	84,6
1,62	3,86	2,71	81,4
1,635	4,38	2,806	77,3
1,65	5,08	2,96	72,2
1,66	5,8	3,1	69,2
1,69	7,5	3,34	63,6
1,675	6,52	3,7	58,4
1,707	8,67	4,27	53,5
1,718	9,5	4,88	49,1
1,73	10,3	5,56	45,65
1,75	12,6	7,1	42,36
1,761	13,5	7,5	42,6
1,77	14,9	7,36	42,54
1,786	16,5	8,27	43,9
1,796	18,2	9,1	48,1
1,8	18,6	10,4	56,75
1,81	20	10,88	65

Таблица 3: Зависимость тока на аноде от напряжения при напряжении накала 2,6 В

Напряжение катода, В	Напряжение Анода, В	V	V
0,01	0,02	4,4	11,7
0,16	0,02	4,53	11,5
0,25	0,01	4,7	11,3
0,32	0,01	5	10,9
0,42	0,01	5,2	10,6
0,55	0,01	5,43	10,4
0,85	0,01	5,556	10,3
1,09	0	5,7	10,2
1,171	0,01	5,88	10,1
1,25	0,02	6	10,02
1,35	0,03	6,83	9,8
1,37	0,06	6,85	9,78
1,57	0,46	6,86	9,79
1,62	0,66	6,88	9,79
1,68	1,28	6,92	9,82
1,73	2,17	6,94	9,83
1,8	4,5	7,1	9,8
1,93	11,07	7,2	9,74
2	15,3	7,264	9,7
2,15	20,1	7,37	9,69
2,27	22,53	7,398	9,68
2,31	22,68	7,42	9,63
2,32	22,67	7,45	9,65
2,33	22,63	7,52	9,65
2,39	22,22	7,6	9,65
2,41	21,9	7,69	9,67
2,45	21,73	7,78	9,67
2,54	20,5	7,93	9,76
2,7	18,53	8	9,8
2,79	17,66	8,24	9,92
2,9	16,66	8,85	10,45
3	15,67	9,1	10,7
3,47	13,71	9,87	11
3,8	12,8	9,97	11,1
4	12,35	10,25	11,86
4,2	12,1	10,9	14,42
4,32	11,87	11,4	14,8

По этим данным построим графики зависимости Вычислим значе-

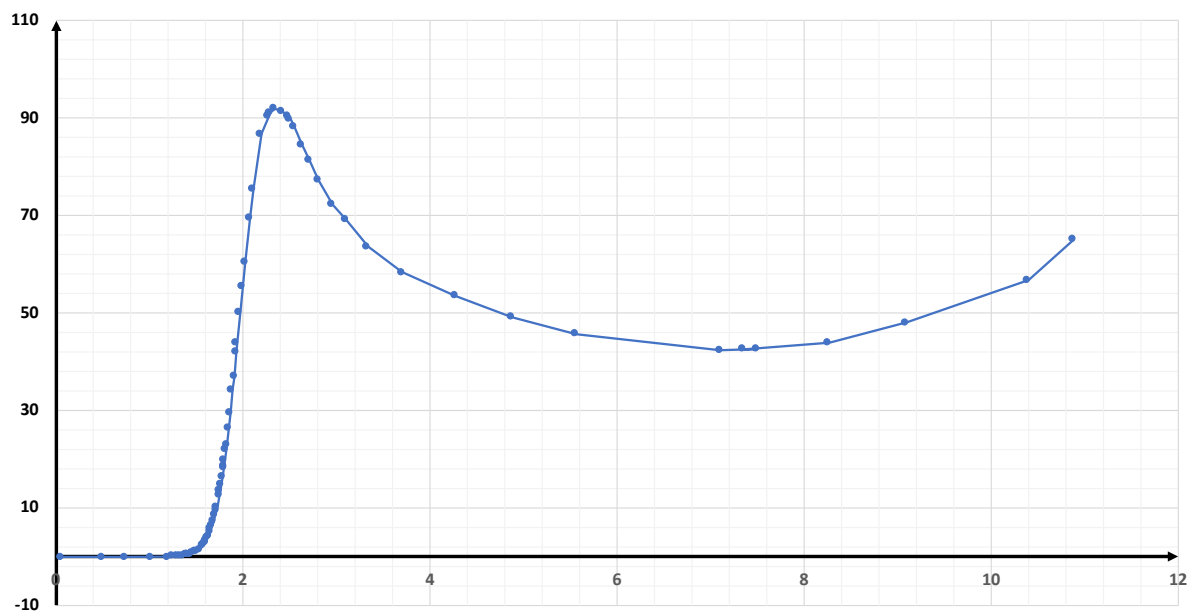


Рис. 3: График зависимости  $I_a(V)$  при напряжении накала 3,0 В

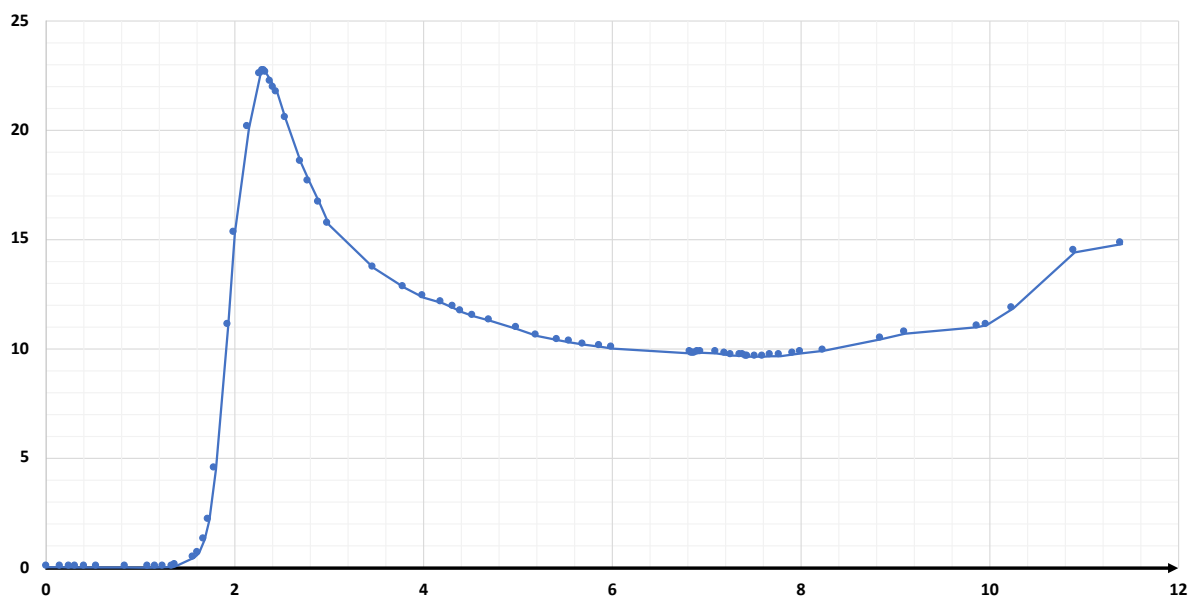


Рис. 4: График зависимости  $I_a(V)$  при напряжении накала 2,6 В

ния  $l, U_0$  Оценим напряжения про которых должны появляться максимумы в коэффициенте прохождения электронов для  $n = 2, 3$  по формуле (1):

$$k_2 l = \sqrt{\frac{2m(E_n - E_0)}{\hbar^2}} = \pi n$$

$\Rightarrow$

$$E_n = \frac{(\pi n \hbar)^2}{2ml^2} - U_0, \text{ где}$$

Таблица 4:  $1, U_0$  в статистическом методе

Напряжение накала, В	$1, 10^{-10}$ м	$U_0, \text{В}$
3	2,97	2,89
2,6	2,86	3,26

$$\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$U_0 = 2,5 \text{ эВ}$$

$$m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$l = 3,0 \cdot 10^{-10} \text{ м (с учетом вычисления для } U_{\text{нак}} = 2,6 \text{ В и } U_{\text{нак}} = 3,0 \text{ В)} \Rightarrow$$

$$E_2 \approx 20,9 \text{ эВ}, U_2 \approx 20,9 \text{ В}$$

$$E_3 \approx 52,0 \text{ эВ}, U_3 \approx 52,0 \text{ В}$$

По формуле  $\omega(U) = -\frac{1}{c} \ln\left(\frac{U_a(U)}{U_0}\right)$  определим вероятность рассеивания электронов (с точностью до константы), где  $U_0 = U_{\text{нак}}$

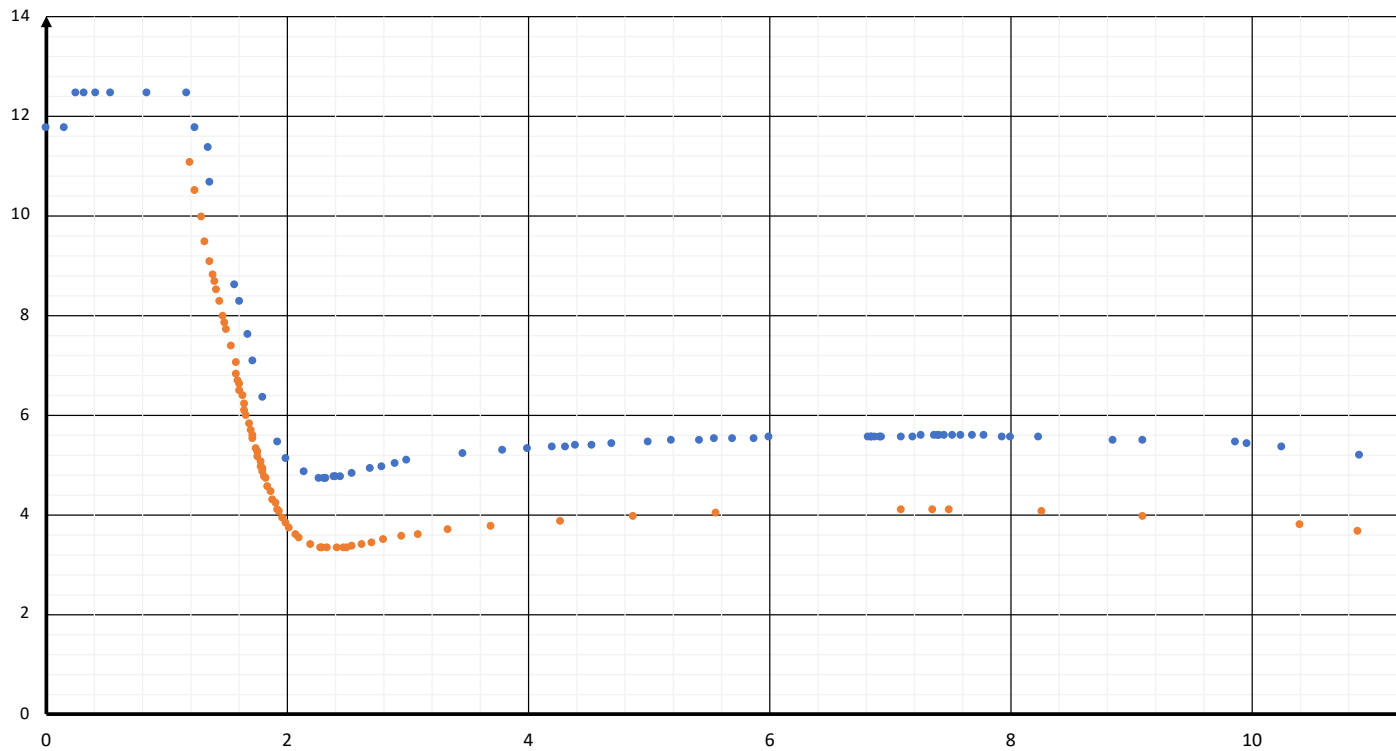


Рис. 5: Зависимость вероятности рассеивания электронов от напряжения на катоде



## 5 Итоговые результаты

Таблица 5: итоговая таблица

Напряжение накала	$U_0$ , В	$I$ , $10^{-10}$ А	$U_1$ , В	$U_2$ , В
Для $U_{\text{нак}} = 2,6$ В	3,26	2,86	2,31	7,42
Для $U_{\text{нак}} = 3,0$ В	2,89	2,97	2,34	7,1

## 6 Вывод

В процессе работы исследовались энергетическую зависимость вероятности рассеивания электронов атомами инертного газа, определили электроны, при которых наблюдается просветление и оценили размер внешней оболочки атома.