

---

### Отчёт по работе 5.1.3

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

Бичина Марина, Карташов Константин Б04-005

---

## I Анотация

**Цель работы:** Исследовать энергетическую зависимость вероятности рассеяния электронов атомам ксенона, определение энергии электроном, при которых наблюдается «просветление» ксенона, и оценить размер его внешней электронной оболочки.

**Оборудование:**

- ▷ Тиратрон
  - ▷ Источник переменного и постоянного напряжения
  - ▷ Электронный осциллограф
  - ▷ Вольтметры
- 

## II Теоретическая часть

Из условия первого интерференционного максимума ( $\Delta = 2l = \lambda'$ ) можно рассчитать размер потенциальной ямы  $l$ , как:

$$l = \frac{1}{2} \frac{h}{\sqrt{2m(E_{\max} + U_0)}}, \quad (1)$$

из условия первого интерференционного минимума ( $\Delta = 2l = 3/2\lambda'$ ) можно рассчитать  $l$  как:

$$l = \frac{3}{4} \frac{h}{\sqrt{2m(E_{\min} + U_0)}}. \quad (2)$$

Совмещая (1) и (2) можно рассчитать  $l$  и  $U_0$  по формулам:

$$l = \frac{h\sqrt{5}}{\sqrt{32m(E_{\min} - E_{\max})}}, \quad (3)$$

$$U_0 = \frac{4}{5}E_{\min} - \frac{9}{5}E_{\max}. \quad (4)$$

По измеренной вольт-амперной характеристике можно определить зависимость вероятности рассеяния электрона от его энергии из соотношения:

$$w(V) = -\frac{1}{C} \ln \frac{I_{\text{анод}}(V)}{I_{\text{катод}}} \quad (5)$$

---

измерение	$V_{\text{нак}}, \text{ В}$	$V_{\text{max}}, \text{ В}$	$\sigma_{V_{\text{max}}}, \text{ В}$	$V_{\text{min}}, \text{ В}$	$\sigma_{V_{\text{min}}}, \text{ В}$
1	3.05	2.7	0.1	6.3	0.7
2	2.75	2.7	0.1	5.5	0.7

Таблица 1: Значения измеренные динамическим методом

### III Экспериментальная часть

#### i Вольт-амперная характеристика тиратрона в динамическом режиме

Включим установку в динамическом режиме, выставим установив напряжение накала  $V_1 = 3.05 \text{ В}$  и получим на экране осциллографа изображение кривой вольт-амперной характеристики (рис. 1 (а)). Зная, что одно деление по оси  $X$  осциллографа соответствует 2 В, найдём напряжения первого максимума и минимума, и напряжение пробоя:

$U_{\text{max}} = 1.35 \text{ дел} = 2.7 \text{ В}$ , оценим погрешность  $\sigma_{U_{\text{max}}} \approx 0.05 \text{ дел} = 0.1 \text{ В}$ ,  $U_{\text{min}} = 3.15 \text{ дел} = 6.3 \text{ В}$ , оценим погрешность  $\sigma_{U_{\text{min}}} \approx 0.35 \text{ дел} = 0.7 \text{ В}$ ,  $U_{\text{проб}} = 6 \text{ дел} = 12 \text{ В}$ .

Изменим напряжение на накала до  $V_2 = 2.75 \text{ В}$ . Изображение на экране осциллографа изменилось (рис. 1 (б)). Также найдём напряжения первого максимума и минимума, и напряжение пробоя:

$U_{\text{max}} = 1.35 \text{ дел} = 2.7 \text{ В}$ , оценим погрешность  $\sigma_{U_{\text{max}}} \approx 0.05 \text{ дел} = 0.1 \text{ В}$ ,  $U_{\text{min}} = 2.75 \text{ дел} = 5.5 \text{ В}$ , оценим погрешность  $\sigma_{U_{\text{min}}} \approx 0.35 \text{ дел} = 0.7 \text{ В}$ ,  $U_{\text{проб}} = 6 \text{ дел} = 12 \text{ В}$ .

Измеренные данные занесём в таблицу 1.

По измеренным данным оценим размер электронной оболочки атома инертного газа, заполняющего лампу, приняв  $U_0 = 2.5 \text{ В}$  по формулам (1) и (2), получим:  $l_1 = 2.7 \pm 0.1 \text{ Å}$ ,  $l_2 = 3.1 \pm 0.3 \text{ Å}$ ,  $l_3 = 2.7 \pm 0.1 \text{ Å}$ ,  $l_4 = 3.3 \pm 0.4 \text{ Å}$  для  $V_{\text{max}}$  и  $V_{\text{min}}$  при  $V_1$  и  $V_2$  соответственно. Среднее и среднеквадратичное отклонение:  $\bar{l} = 2.95 \text{ Å}$ ,  $\sigma_l = 0.26 \text{ Å}$ .

Найдём  $l$  по формуле (3), получим:  $l_1 = 3.6 \pm 0.4 \text{ Å}$ ,  $l_2 = 4.1 \pm 0.5 \text{ Å}$  для  $V_1$  и  $V_2$  соответственно. Среднее и среднеквадратичное отклонение:  $\bar{l} = 3.85 \text{ Å}$ ,  $\sigma_l = 0.25 \text{ Å}$ .

Найдём соответствующие значения размера потенциальной ямы  $U_0$  по формуле (4):  $U_{0,1} = 0.2 \pm 0.6 \text{ В}$ ,  $U_{0,1} = -0.5 \pm 0.6$  – эти значения явно не соответствуют действительности, так как их модуль меньше погрешности, и отрицательное значение не должно быть возможным. Такие ошибки могли возникнуть из-за некачественного изображения полученного на осциллографе. Занесём вычисленные значения в таблицу 2.

Оценим потенциал ионизации инертного газа. Напряжение пробоя получилось  $V_{\text{проб}} \approx 12 \text{ В}$ , что соответствует ионизационному потенциалу ксенона – 12.1 эВ. Из этого можно заключить, что тиратрон заполнен ксеноном.

формула, $V_i$	(1), 1	(2), 1	(1), 2	(2), 2	сред.	(3), 1	(3), 2	сред.
$l, \text{\AA}$	2.7	3.1	2.7	3.3	2.95	3.6	4.1	3.85
$\sigma_l, \text{\AA}$	0.1	0.3	0.1	0.4	0.26	0.4	0.5	0.25

Таблица 2: Значения найденные динамическим методом

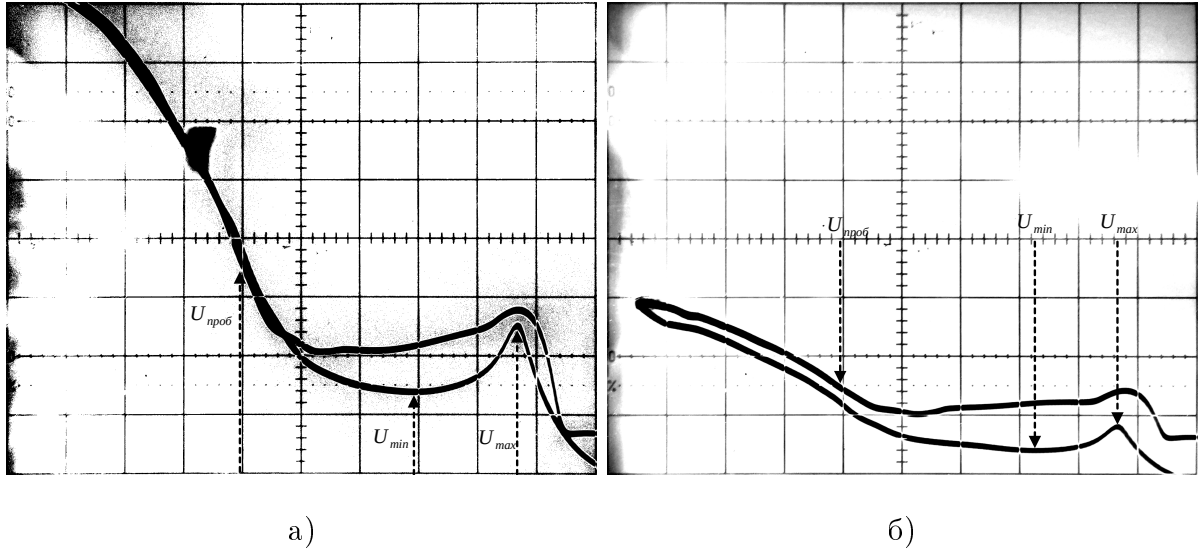


Рис. 1: Кривые на экране осциллографа при а)  $V_{\text{накал}} = V_1$  б)  $V_{\text{накал}} = V_2$

## ii Вольт-амперная характеристика тиратрона в статическом режиме

Переведём установку в статический режим. При помощи двух вольтметров показывающих напряжение и ток (в относительных единицах) построим вольт-амперную характеристику при напряжениях накала близких к  $V_1$  и  $V_2$  из п.п. i (рис. 2).

Полученные напряжения  $V_{\text{max},1} = 2.36 \text{ В}$ ,  $V_{\text{max},2} = 2.39 \text{ В}$ ,  $V_{\text{min},1} = 7.00 \text{ В}$ ,  $V_{\text{min},2} = 7.04 \text{ В}$ . Оценим погрешность как  $\sigma_V = 0.05 \text{ В}$ . Найдём  $l$ ,  $U_0$ , подобно п.п. i, полученные значения занесём в таблицу 3

Найдём зависимость вероятности рассеяния электронов от энергии по формуле (5) и построим соответствующий график (рис. 3).

## IV Выводы

1. Получили качественное изображение вольт-амперной характеристики тиратрона динамическим способом - при помощи источника переменного напряжения и электронного осциллографа. Эта характеристика неточной из-за значительного искажения изображения.

Ф., $V_i$	(1), 1	(2), 1	(1), 2	(2), 2	сред.	(3), 1	(3), 2	сред	–	(4), 1	(4), 2	сред
$l, \text{\AA}$	2.78	2.98	2.77	2.98	2.88	3.18	3.18	3.18	$U_0, \text{В}$	1.69	1.66	1.68
$\sigma_l, \text{\AA}$	0.06	0.02	0.06	0.02	0.1	0.07	0.07	–	$\sigma_{U_0}, \text{В}$	0.1	0.1	0.02

Таблица 3: Значения найденные статическим методом

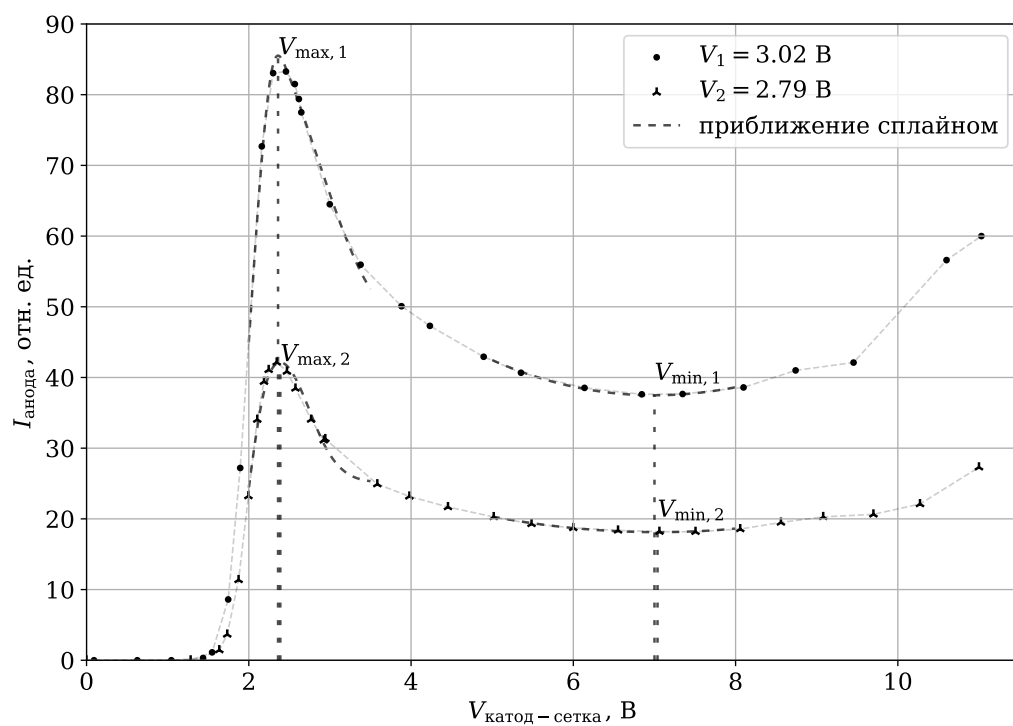


Рис. 2: Графики вольт-амперной характеристики снятые в статическом режиме

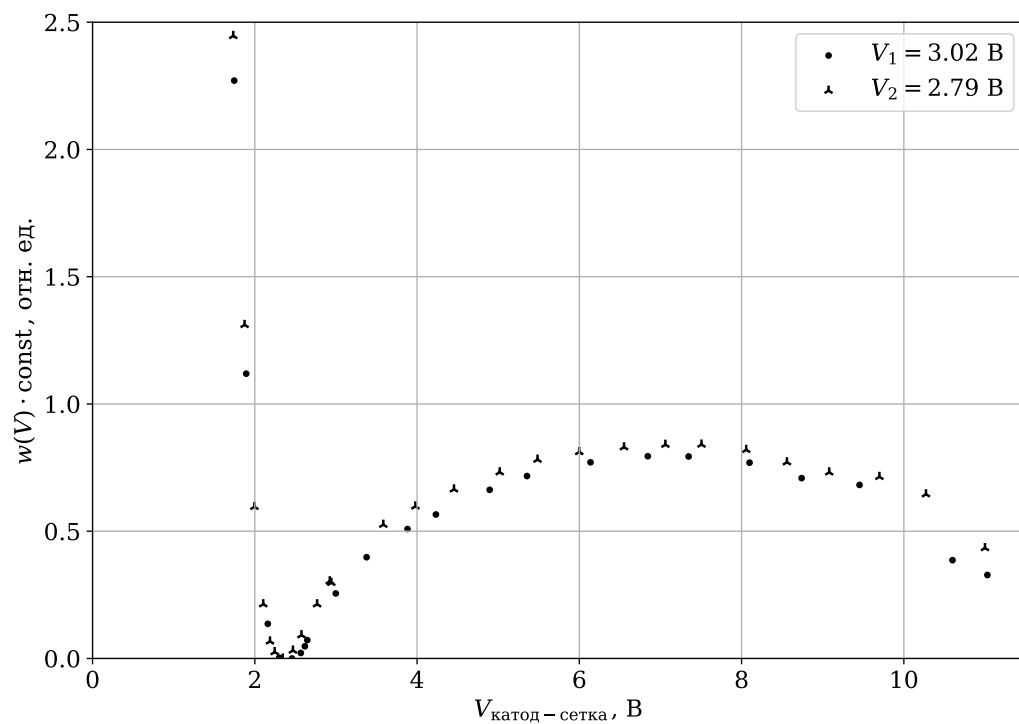


Рис. 3: График вероятности рассеяния электрона

2. Основывая на полученной динамическим способом вольт-амперной характеристике напряжение максимума и минимума пропускания, а также напряжение пробоя.
  3. По напряжению максимума и минимума оценили размер внешней оболочки ксенона, получили значения в районе  $2.7 \div 4.1 \text{ \AA}$ . По данным справочника ковалентный радиус ксенона  $r = 130 \div 140 \text{ \AA}$ , что при умножении на два даёт близкое значение к полученным.
  4. Попытались оценить глубину потенциальной ямы атома, что не удалось из-за высокой погрешности.
  5. Статическим способом сняли более точную вольт-амперную характеристику.
  6. По новой ВАХ нашли размер внешней оболочки ксенона  $l = 3.18 \pm 0.07 \text{ \AA}$  и глубину потенциальной ямы атома  $U_0 = 1.7 \pm 0.1 \text{ В}$ .
  7. Построили график зависимости вероятности рассеяния электрона от напряжения.
-