

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5.13.

## ЭФФЕКТ РАМЗАУЭРА.

**Цель работы:** исследовать энергетическую зависимость вероятности рассеяния электронов атомами аргона, определить энергии эл-нов, при которых наблюдается "пробегание" Аг, оценить размер е-оболочки Аг.

**Оборудование:** тиратрон, заполненный инертным газом, осциллограф, вольтметры, пробол, источник.

### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

ЭФФЕКТИВНОЕ СЕЧЕНИЕ РЕАКЦИИ — это величина, характеризующая вероятность перехода системы из одного стационарного состояния в другое в результате их рассеяния в определенное конечное состояние:  $\sigma = N/nv$ , где  $N$  — число таких переходов,  $v$  — скорость частиц,  $n$  — плотность числа падающих частиц. Качественно результат эксперимента Рамзауэра при энергии эл-нов порядка десятков эВ на аргоне показан на рис. 1. Внутренний атом под действием поля электрона  $U$  отливает от ядра, скорость эл-на становится  $v'$ ; 3-й:  $E = \frac{mv'^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + U$ , а значит изм. длина волны де-Бройля. Т.е. атом ведет себя как преломляющая среда. С этим показателем преломления:  $n = \frac{\lambda}{\lambda'} = \sqrt{1 - \frac{U}{E}}$ .

Примеч.: осцил. потенциалы кон. электр. в-е Шредингера:  $\psi'' + k^2\psi = 0$ ;

( $k_1 = \sqrt{2m(E + U_0)}$ ,  $k_2 = \sqrt{2m(E + U_0)}$  в вакууме)

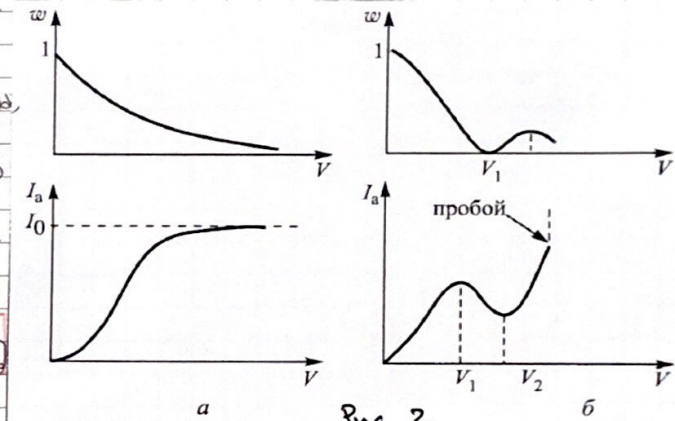
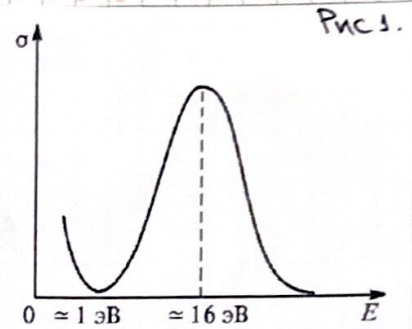
Если  $k_1 l = 0, \pi$ , то  $\sin k_1 l = 0 \Rightarrow$  коэф. прохождения 1 (отр. волна отсутствует).

(Аналог прозрачности оптики);

Проникающая волна уменьшается:

$2l = \frac{h}{\sqrt{2m(E + U_0)}}$ , осцил.:  $2l = \frac{3}{2} \frac{h}{\sqrt{2m(E + U_0)}}$

$l = \frac{h}{\sqrt{2m(E + U_0)}}$ , равен:  $U_0 = \frac{4}{5} E = \frac{3}{5} E$



### СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ.

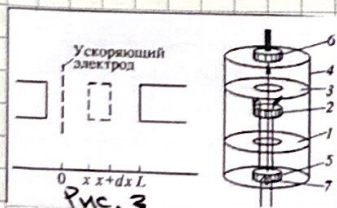
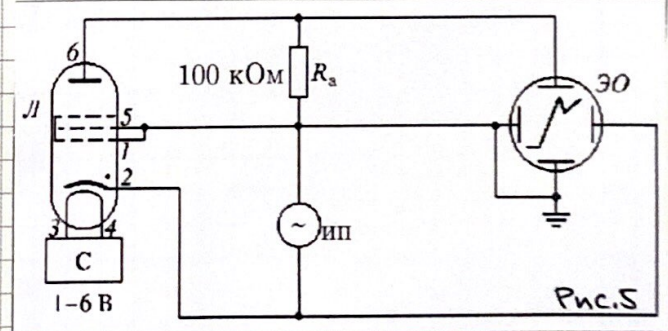
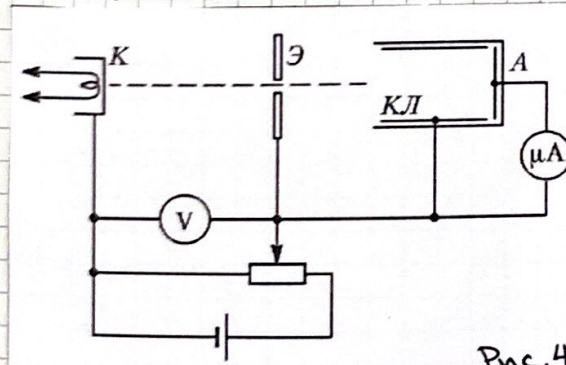


Рис 3 - Схема тиратрона (1, 2, 3 - сетки; 4 - вращающийся металлический цилиндр; 5 - катод; 6 - анод; 7 - нагреваемая спираль).

Рис 5 - Схема включения тиратрона.

Рис 4 - Схема установки для измерения сечения рассеяния электронов в инертных газах.

Рис 2 - Вероятность рассеяния электронов атомом инертного газа и газах тиратрона при (а) классическом и (б) квантовом рассеянии.



## ИЗМЕРЕНИЯ.

1)  $U_{катод} = 2,82 \text{ В};$

ДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД

$$I_a = \frac{U_{анод}}{100 \text{ КОМ}} \text{ (СТАТИЧ. МЕТОД)}$$

$U_{катод}, \text{В}$	1	2	3	3,2	2,4	2,8	3,6	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0	6,4	6,8	7,2
-----------------------	---	---	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

$U_{анод}, \text{МВ}$	0	0	26	52	4	32	60	64	66	64	62	60	56	54	50	46
-----------------------	---	---	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

$U_{катод}, \text{В}$	7,6	8,0	8,4	8,8	9,2	9,6	10,0	10,4	10,8	11,2	11,6	12,0	12,4	12,8	13,2	13,6
-----------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

$U_{анод}, \text{МВ}$	44	40	38	34	32	34	34	34	36	36	38	38	40	40	40	42
-----------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

$U_{катод}, \text{В}$	14,0	14,4	14,8	15,2	15,6	16,0	16,4	16,4
-----------------------	------	------	------	------	------	------	------	------

$U_{анод}, \text{МВ}$	44	48	52	76	92	104	116	160
-----------------------	----	----	----	----	----	-----	-----	-----

$U = 2,62 \text{ (ДИНАМИЧ.)}$

$U_{катод}, \text{В}$	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0	6,4
-----------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

$U_{анод}, \text{МВ}$	0	0	0	0	0	0	16	28	30	28	26	24	22	22	20	20
-----------------------	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

$U_{катод}, \text{В}$	6,8	7,2	7,6	8,0	8,4	8,8	9,2	9,6	10,0	10,4	10,8	11,2	11,6	12,0	12,4	12,8
-----------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------

$U_{анод}, \text{МВ}$	16	14	12	12	10	10	10	10	10	12	12	12	12	12	12	14
-----------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

$U_{катод}, \text{В}$	13,2	13,6	14,0	14,4	14,8	15,2	15,6	16,0	16,4	16,8	18,0
-----------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

$U_{анод}, \text{МВ}$	14	14	16	18	20	28	32	34	40	44	52
-----------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

2) СТАТИЧ. МЕТОД  $U_n = 2,63$

$U_{катод}, \text{В}$	0,027	0,044	0,325	2,016	2,343	2,451	2,463	2,502	2,510	2,535	2,560	2,572	2,594	2,584	2,586	2,590
-----------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

$U_{анод}, \text{МВ}$	0,12	0,12	0,10	0,05	0,06	0,50	0,52	1,00	1,19	1,51	1,97	2,12	3,10	5,02	3,12	3,29
-----------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

$U_{катод}, \text{В}$	2,611	2,653	2,663	2,637	2,707	2,727	2,732	2,746	2,797	2,939	3,018	3,324	3,603	3,864	4,096	4,222
-----------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

$U_{анод}, \text{МВ}$	3,86	5,12	5,35	6,61	7,03	7,73	8,73	8,72	11,03	14,70	20,02	25,39	31,54	33,56	34,64	34,29
-----------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

$U_{катод}, \text{В}$	4,608	5,033	6,442	7,116	8,001	9,090	9,981	10,436	11,244	12,122
-----------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	--------

$U_{анод}, \text{МВ}$	33,52	22,33	26,71	23,79	19,65	15,84	14,90	14,42	14,96	15,83
-----------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

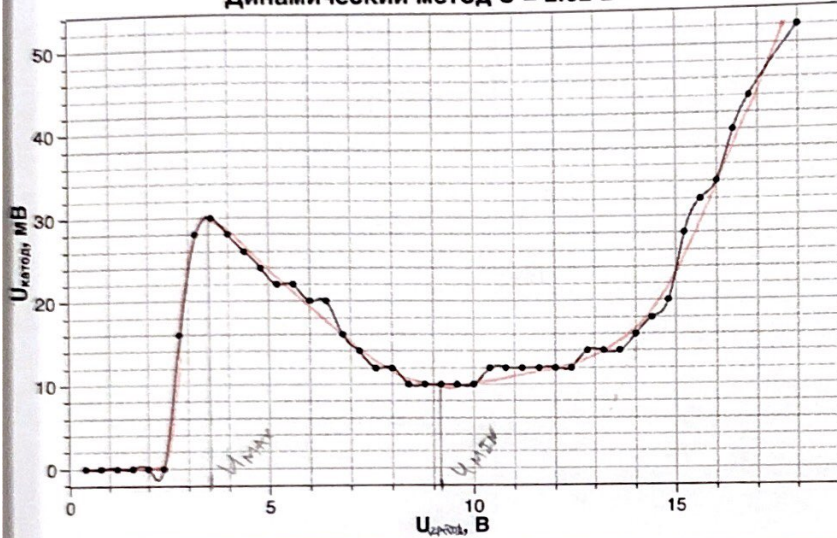
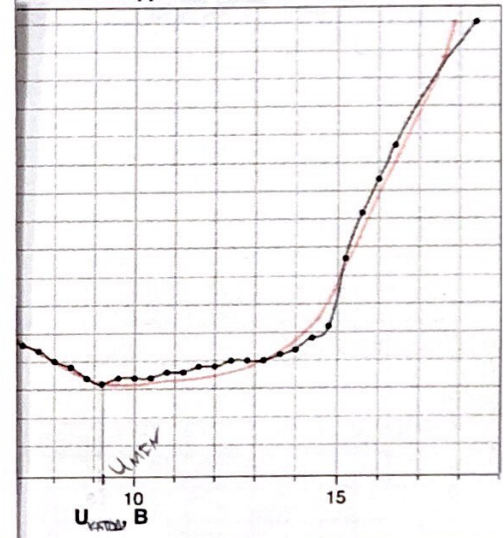
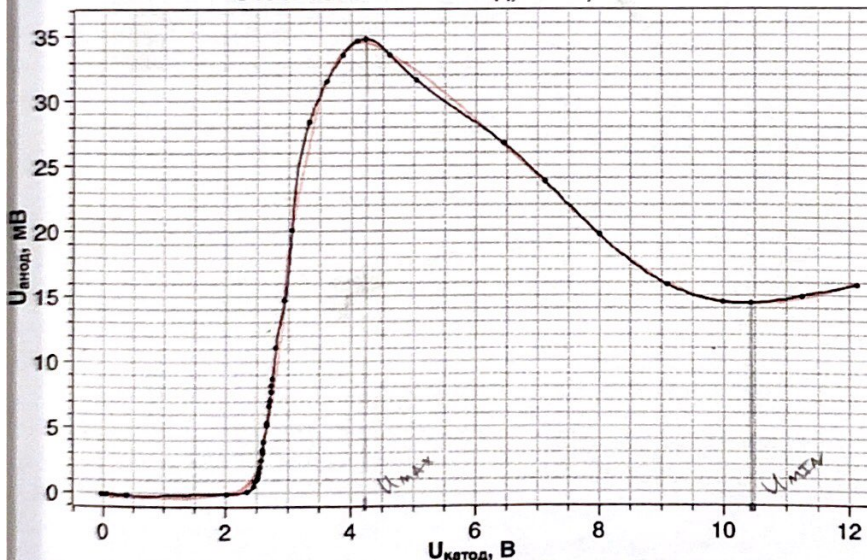
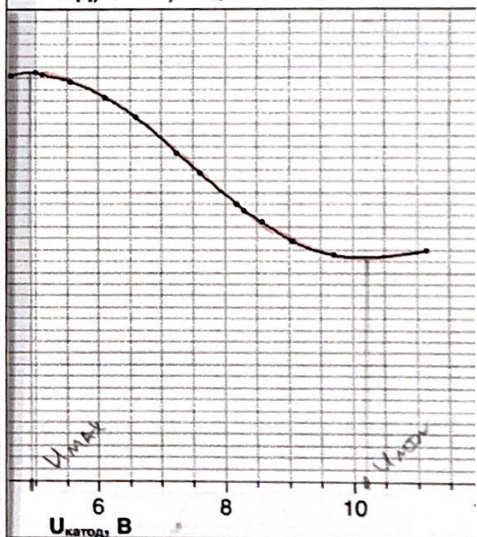


$$U_H = 2,85 \text{ В}$$

$U_{\text{катод}}, \text{В}$	0,012	2,051	2,342	2,482	2,564	2,686	2,770	2,838	2,926	3,005	3,035	3,144	3,243	3,500	3,582	3,676	3,72
$U_{\text{анод}}, \text{В}$	0,11	0,08	0,36	1,94	4,34	8,46	15,6	20,49	27,40	33,23	35,54	42,12	47,40	51,57	57,49	59,43	61,07
$U_{\text{анод}}, \text{В}$	3,900	4,015	4,203	4,586	4,990	5,099	5,163	6,108	6,586	7,245	7,608	8,187	8,311	8,581	9,066	9,707	11,145
$U_{\text{анод}}, \text{В}$	62,97	67,35	66,81	68,40	69,99	68,68	67,35	64,61	61,22	54,92	57,37	48,01	47,90	42,85	39,50	37,13	37,87

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ.

27.09.19

Динамический метод  $U = 2,62 \text{ В}$ Статический метод  $U = 2,85 \text{ В}$ Рис 6 - Графики З-ти  $U_a(U_k)$  для динам. методаСтатический метод,  $U = 2,63 \text{ В}$ Динамический метод,  $U = 2,85 \text{ В}$ Рис 7 - Гр-ки З-ти  $U_a(U_k)$  для статич. метода

- 1) По таблицам из пункта "Измерения" построим графики зависимости  $U_{\text{анод}}(U_{\text{катод}})$  для динамического метода и статического метода на рис 6-7
- 2) По графикам на рис 6-7 определим значения  $U_k$ , при которых достигается первый максимум  $U_{\text{max}}$  и минимум  $U_{\text{min}}$ , и  $U_{\text{анод}}$  не превышает предель (приблизительно).



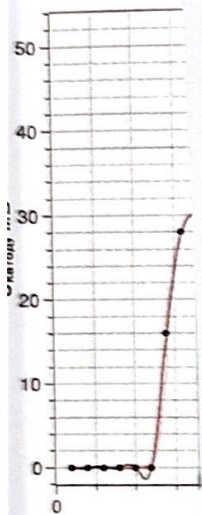
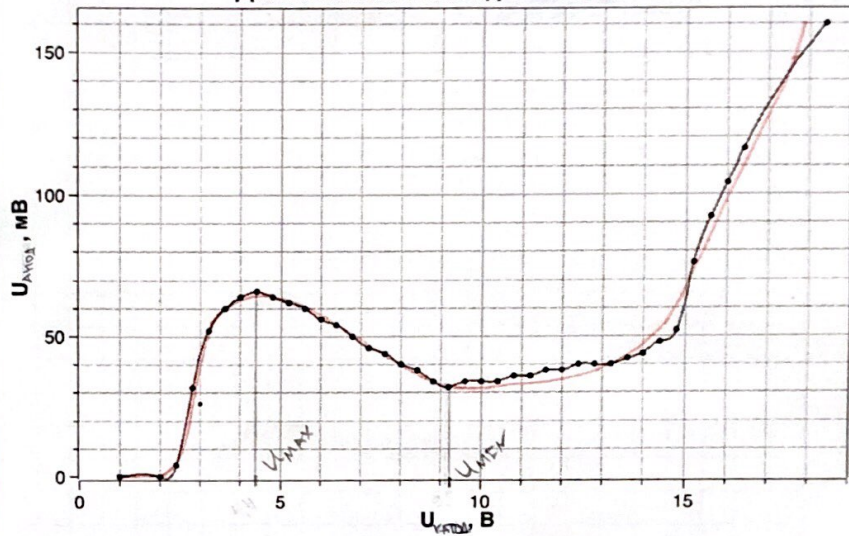
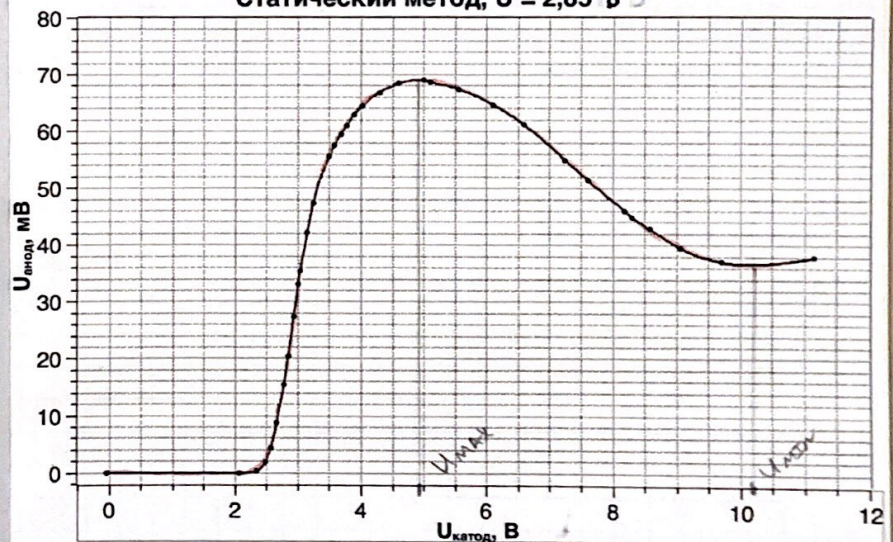
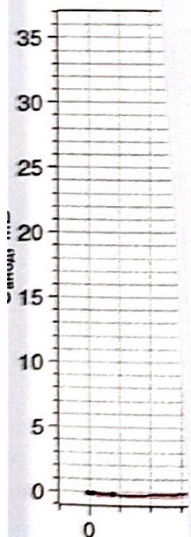
$$U_H = 2,85 \text{ В}$$

$U_{\text{катод, В}}$	0,012	2,051	2,342	2,482	2,564	2,656	2,720	2,838	2,926	3,005	3,035	3,144	3,243	3,500	3,582	3,676	3,72
$U_{\text{анод, мВ}}$	0,011	0,08	0,36	1,91	4,34	8,66	15,56	20,49	24,40	33,73	35,54	42,17	47,40	51,57	57,49	59,43	61,07
$U_{\text{катод, В}}$	3,900	4,015	4,293	4,586	4,990	5,099	5,163	6,108	6,536	7,245	7,608	8,187	8,311	8,581	9,066	9,707	11,145
$U_{\text{анод, мВ}}$	62,97	63,35	66,81	68,40	68,99	68,68	67,35	64,61	61,22	54,92	51,37	48,01	44,90	42,85	39,50	37,13	37,57

ОБРАТ

ИНТАТОР.

27.09.19

Динамический метод  $U = 2,85 \text{ В}$ Рис 6 - Графики 3-ти  $U_A(U_K)$  для динам. методаСтатический метод,  $U = 2,85 \text{ В}$ 

- 1) По графикам 3-ти  $U_A(U_K)$  для статич. метода  $U_{\text{анод}} (U_{\text{катод}})$  для динамического метода и статического метода на рис 6-7.
- 2) По графикам на рис 6-7 определим значения  $U_K$ , при которых достигается первый максимум  $U_{\text{max}}$  и минимум  $U_{\text{min}}$ , и  $U_{\text{проб}}$  (приблизительно).



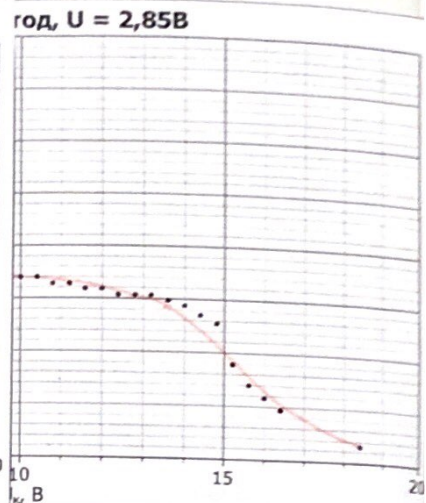
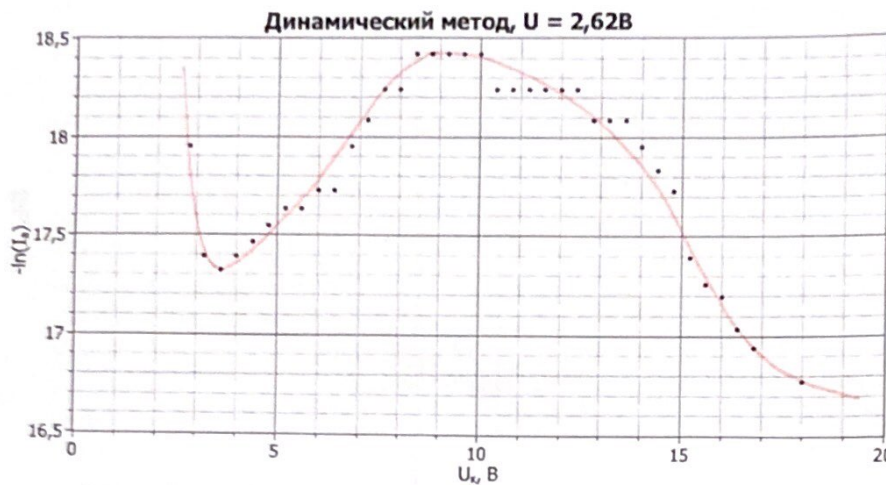


Рис. 8 - 3-ти  $-\ln(I_a)(U_k)$  для Дин. метода

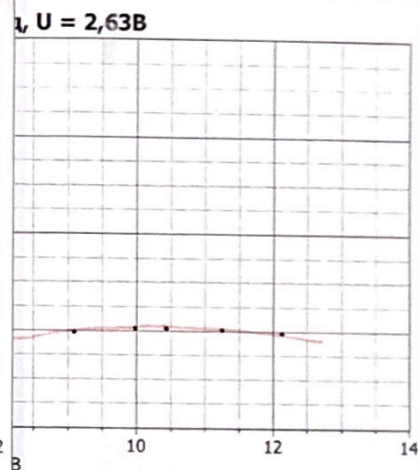
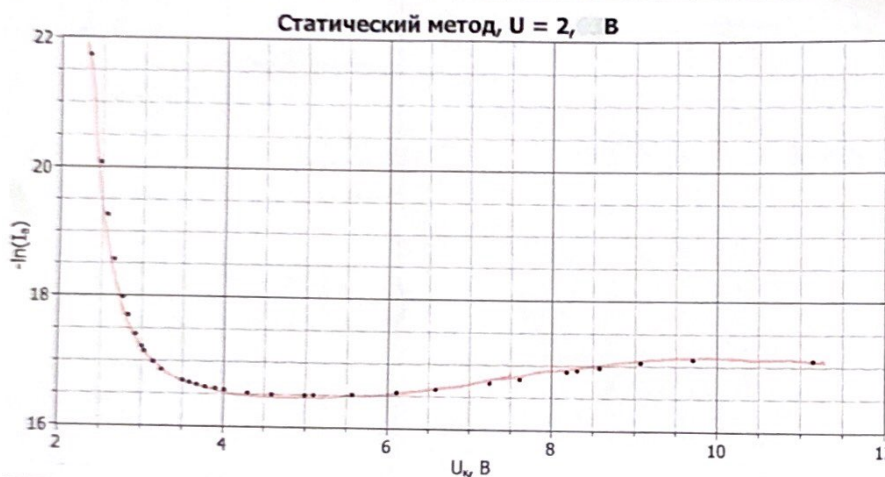


Рис. 9 - 3-ти  $-\ln(I_a)(U_k)$  для стат. метода

5) Записать данные и значения, рассчитанные для (с учетом того, что  $E_1 = eV_{max}$ ;  $E_2 = eV_{min}$ )

$U_{max}, В$	2,85	2,62	2,63	2,85
$U_{min}, В$	1,55	0,85	1,59	2,05
$U_{max}, В$	6,35	5,78	7,81	7,40
$I, А$	3,13	3,09	2,75	2,97
$U_0, В$	2,29	3,09	3,33	2,23
$U_{max}, В$	16,4	16,8		
$E_{n=2}, В$	13,05	12,67		
$E_{n=3}, В$	32,28	32,36		

4). Напряжение пробоя в динамическом методе практически совпадает с потенциалом ионизации атома Ar из-за специально подобранных размеров тиратрона. Если убедиться, каким газом он заполнен, то и получится аргон.

5). Построим графики зависимости  $\omega(V)$  от  $E_{n1}$ , учитывая, что

$$\omega(V) = -\frac{1}{e} \ln \frac{I_a(V)}{I_0}, E_{n1} = eU_k, \text{ т.е.}$$

$E_{n1} \sim U_k$ , а вид графика от смещения по оси  $y$  и сдвига по оси  $x$  на константы не изменится ( $\omega(V) = -\frac{1}{e} \ln I_a(V) + \frac{1}{e} \ln(I_0)$ ).

**Выводы:** исследована зависимость верти рассеяния  $n$ -нов атомами аргона; определен газ, которым заполнен тиратрон; найден приблизительно атомный радиус.



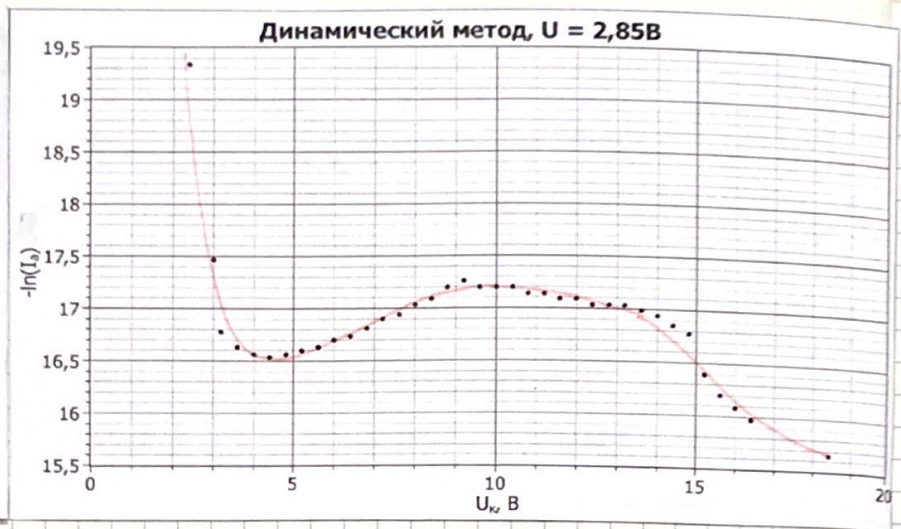


Рис. 8 - 3-ти  $-\ln(I_a)(U_k)$  для Динт метода

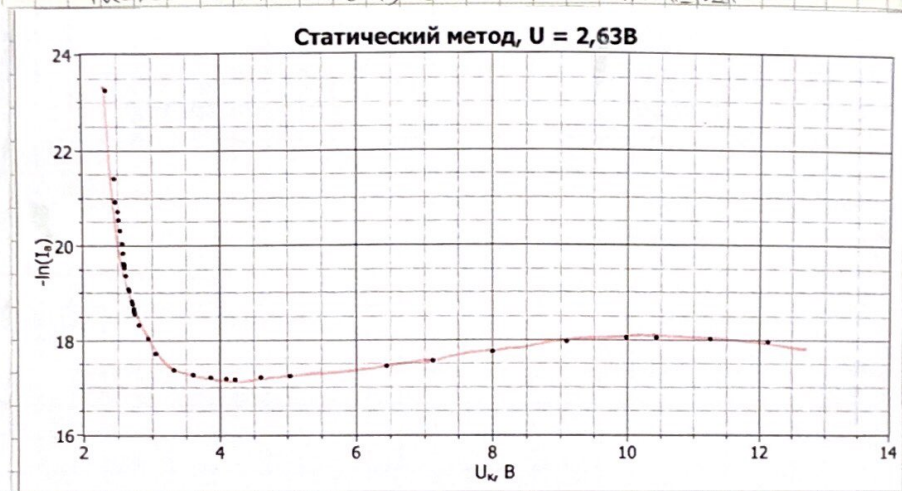


Рис. 9 - 3-ти  $-\ln(I_a)(U_k)$  для статич. метода

5) ЗАМЕЧАЕМ ДАННЫЕ И ЗАМЕЧАЕМ, РАССЧИТЫВАЕМ ДЛЯ ( С ЧЕТОМ ТОГО, ЧТО  $E_1 = eV_{max}$ ;  $E_2 = eV_{min}$

$U_{max}, В$	2,85	2,62	2,63	2,85
$U_{min}, В$	1,55	0,85	1,59	2,05
$U_{max}, В$	6,35	5,78	7,81	7,40
$l, \text{Å}$	3,13	3,09	2,75	2,97
$U_0, \text{эВ}$	2,29	3,09	3,39	2,23
$U_{max}, В$	16,4	16,8		
$E_{n=2}, \text{эВ}$	13,05	12,67		
$E_{n=3}, \text{эВ}$	32,28	32,36		

4). НАПРЯЖЕНИЕ ГРОБА В ДИНАМИЧЕСКОМ МЕТОДЕ ПРАКТИЧЕСКИ СОСТАВЛЯЕТ С ПОТЕНЦИАЛОМ ИОНИЗАЦИИ АТОМА АР ИЗ-ЗА СПЕЦИАЛЬНО ПОДОБРАННЫХ РАЗМЕРОВ ТИРЭТРОНА. ЕСЛИ ОЖИДАТЬ, ЧТО КЛИМ ТАЗОМ ОН ЗАПОЛНЕН, ТО И ПОЛУЧАЕТСЯ АРГОН.

5). ПОСТРОИМ ГРАФИКИ ЗАВИСИМОСТИ  $\omega(V)$  ОТ  $E_{\text{эп}}$ , УЧИТЫВАЯ ЧТО

$$\omega(V) = -\frac{1}{C} \ln \frac{I_a(V)}{I_0}, \quad E_{\text{эп}} = eU_k, \text{ т.е.}$$

$E_{\text{эп}} \sim U_k$ , А ВНА ГРАФИКА ОТ СМЕНЕНИЯ ПО ОСИ  $U$  И СМЕРЯ ПО ПЕРТ ЖЕ НА КОНСТАНТУ НЕ ИЗМЕНЯЕТСЯ ( $\omega(V) = -\frac{1}{C} \ln I_a(V) + \frac{1}{C} \ln(I_0)$ ).

**ВЫВОДЫ:** ИССЛЕДОВАНА ЗАВИСИМОСТЬ ВЕРТ-ТИ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ АТОМНЫМ АРГОНОМ; ОПРЕДЕЛЕН РАЗ, КОТОРЫМ ЗАПОЛНЕН ТИРЭТРОН; НАЙДЕН ПРИМЕНИТЕЛЬНО АТОМАРНЫЙ РАДИУС.