



# Республиканская физическая олимпиада 2024 года (Заключительный этап)

## Экспериментальный тур

# Решения задач 10 класс (для жюри)

Уважаемые члены жюри!

Задачи, предложенные школьникам для решения на олимпиаде, не стандартные и достаточно сложные. Предложенные здесь варианты путей решений не являются единственно возможными. Участники олимпиады могут предложить свои способы решения. Если эти способы приводят к правильным ответам и физически обоснованы, то задача (или ее отдельные пункты) должны оцениваться максимальными баллами.

Не забывайте, что Вы должны оценивать не только конечные ответы, но и отдельные правильные шаги в ходе решения!



***Не жалейте баллов (если, конечно, есть за что!) для наших замечательных школьников!***

## Экспериментальное задание 1. «Шипучка» (Решение)

### Часть 1. Измерение внутреннего объема.

1.1 Измерения проводились при атмосферном давлении

$$P_0 = 730 \text{ мм рт. ст.}$$

и температуре

$$T = 23^\circ\text{C} = 296\text{K}$$

1.2 Результаты измерений зависимости разности давлений от объема газа в шприце приведены в Таблице 1.

Таблица 1.

$v$ , мл	$p$ , мм рт. ст.	параметр $Z$
150	0	1,000
140	12	0,984
130	25	0,967
120	36	0,953
110	49	0,938
100	60	0,925
90	75	0,907
80	93	0,888
70	116	0,864
60	124	0,856

1.3 Теоретическая зависимость  $p(v)$  следует из закона Бойля – Мариотта:

$$(P_0 + p)(V_0 + v) = P_0(V_0 + v_{\max}) \Rightarrow p = \frac{P_0(V_0 + v_{\max})}{(V_0 + v)} - P_0. \quad (1)$$

1.4 Возможная линеаризация данной зависимости имеет вид

$$\frac{P_0}{P_0 + p} = \frac{(V_0 + v)}{(V_0 + v_{\max})} = \frac{1}{(V_0 + v_{\max})} v + \frac{V_0}{(V_0 + v_{\max})}. \quad (2)$$

В этой зависимости безразмерный параметр  $Z$  есть

$$Z = \frac{P_0}{P_0 + p}. \quad (3)$$

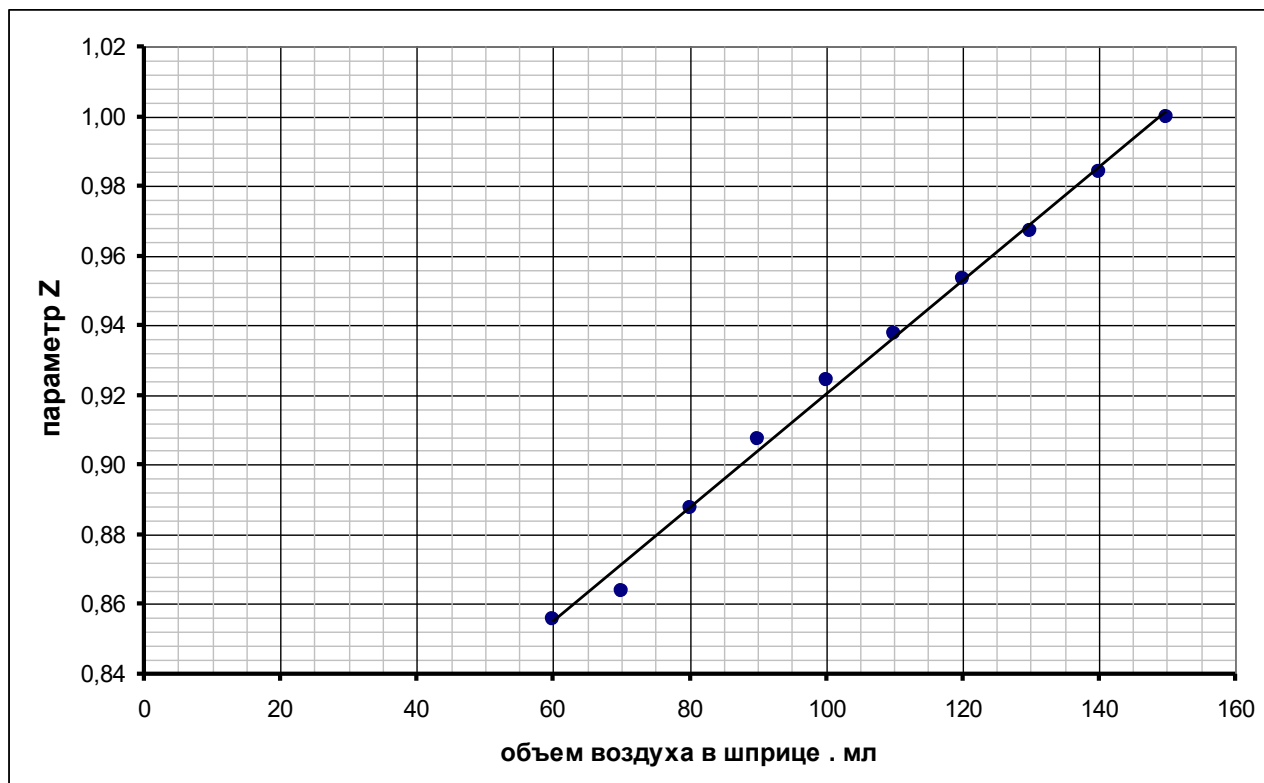
Коэффициенты линейной зависимости выражаются формулами

$$A = \frac{1}{(V_0 + v_{\max})}, \quad B = \frac{V_0}{(V_0 + v_{\max})}. \quad (4)$$

Если рассчитать эти коэффициенты, то искомый объем прибора вычисляется по простой формуле

$$V_0 = \frac{B}{A}. \quad (5)$$

1.5 Рассчитанные значения параметра  $Z$  приведены в Таблице 1. График линейризованной зависимости показан на рисунке



Значения коэффициентов линейной зависимости, рассчитанные по МНК, равны

$$\begin{aligned} A &= (1,63 \pm 0,08) \text{мл}^{-3} \\ B &= 0,757 \pm 0,008 \end{aligned} \quad (6)$$

1.6 Объем воздуха в колбе, рассчитанный по формуле (5), равен

$$V_0 = (456 \pm 23) \text{мл} \quad (7)$$

1.7 Массу воздуха в колбе можно посчитать, исходя из уравнения состояния Менделеева – Клапейрона

$$m = \frac{1}{M} \frac{P_0 V_0}{T} = 0,55 \text{ г} \quad (8)$$

## Часть 2. Выделение газа.

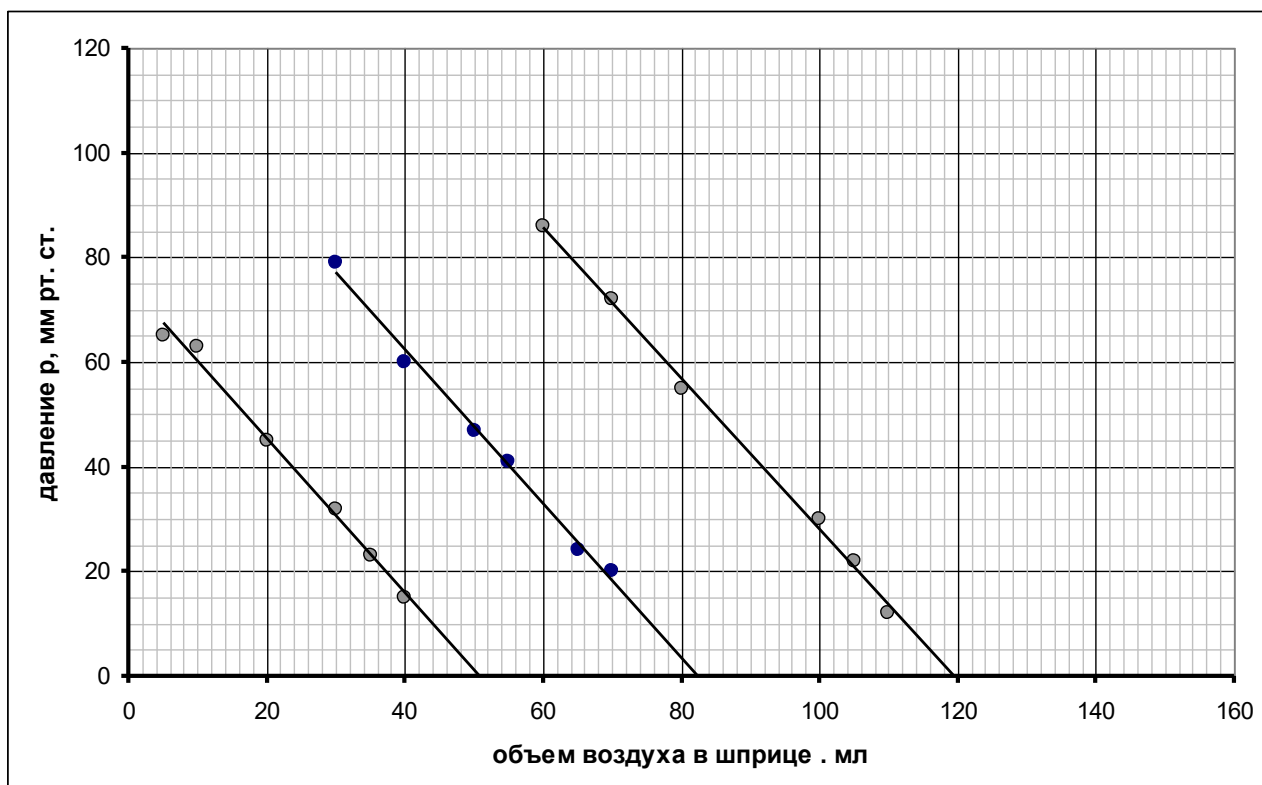
2.1 – 2.2 Результаты измерения зависимостей  $p(v)$  после встряхивания колбы приведены в Таблице 2.

Таблица 2.

первое встряхивание		второе встряхивание		третье встряхивание	
$v$ , мл	$p$ , мм рт. ст.	$v$ , мл	$p$ , мм рт. ст.	$v$ , мл	$p$ , мм рт. ст.
30	32	40	60	100	30
40	15	55	41	60	86
20	45	30	79	80	55
10	63	50	47	70	72
5	65	65	24	110	12
<b>35</b>	<b>23</b>	<b>70</b>	<b>20</b>	<b>105</b>	<b>22</b>
<b><math>m=4,3\text{мг}</math></b>		<b><math>m=7,2\text{мг}</math></b>		<b><math>m=10,5\text{мг}</math></b>	

Жирным шрифтом в Таблице 2 выделены значения  $v_0$ ,  $p_0$ .

2.3 Графики этих зависимостей показаны на рисунке.



2.4 Полученные графики практически линейны, что позволяет считать изменения объемов и давлений относительно малыми. В этом приближении уравнение состояния газа в приборе имеет вид

$$\begin{aligned}(P_0 + p)(V_0 + v) &= (v_0 + \Delta v)RT \Rightarrow \\ P_0 v + V_0 p &= \Delta v RT\end{aligned}\quad (9)$$

Из которого следует, что полученные зависимости могут быть описаны линейной функцией

$$p = -\frac{P_0}{V_0} v + \frac{\Delta m}{M_2} \frac{RT}{P_0}.\quad (10)$$

Построенные графики хорошо подтверждают эту зависимость: во-первых, они линейны; во-вторых, коэффициенты наклона примерно одинаковы и примерно равны теоретическому значению.

Свободные члены в функциях (10) легко определить графически с помощью точек пересечения графиков с осью объемов  $v'$ . Полагая для этих точек  $p = 0$ , получим формулу для расчета массы выделившегося углекислого газа

$$-\frac{P_0}{V_0} v' + \frac{\Delta m}{M_2} \frac{RT}{P_0} = 0 \Rightarrow \Delta m = \frac{M_2 P_0^2}{V_0 RT} v'.\quad (11)$$

Рассчитанные по этой формуле значения масс приведены в последней строке таблицы 2.

2.5 Для определения силы трения поршня о стенки шприца достаточно заметить, что если сжать газ, а затем освободить поршень, он останавливается при показаниях манометра примерно равным 23 мм рт. ст. Значит при этой разности давлений сила трения уравнивает давления газа, поэтому она равна

$$F = pS = 3,6H.\quad (12)$$

## Экспериментальное задание 2. Жидкая... проволока (Решение)

### Часть 1. Измерения ЭДС и внутреннего сопротивления

#### 1.1

1.1.1 Мультиметр должен быть включен в режим измерения напряжения (режим вольтметра)

1.1.2 Показания мультиметра

$$U_1 = 652 \text{ мВ}$$

$$U_2 = -656 \text{ мВ}$$

1.1.3 Да, это значения ЭДС, так как сопротивление мультиметра значительно превышает сопротивление трубки – источника.

#### 1.2

1.2.1 Мультиметр надо включить в режим измерения сопротивлений (режим омметра)

1.2.2 Показания мультиметра

$$R_1 = 55 \text{ кОм}$$

$$R_2 = -27 \text{ кОм}$$

1.2.3 Нет, это не есть сопротивление трубки, так как трубка имеет источник ЭДС.

### 1.3 Теоретическое описание.

1.3.1 Из закона Ома для полной цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}, \quad (1)$$

следует, что искомая зависимость напряжения на внешней цепи  $U = IR$  от силы тока имеет вид

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \Rightarrow I(R + r) = \varepsilon \Rightarrow U = \varepsilon - Ir \quad (2)$$

1.3.2 Схематический график зависимости (2) является прямой линией с отрицательным наклоном (см. рис.). Продолжение графика до пересечения с осями координат отсекает:

на оси напряжений значение ЭДС -  $\varepsilon$ ;

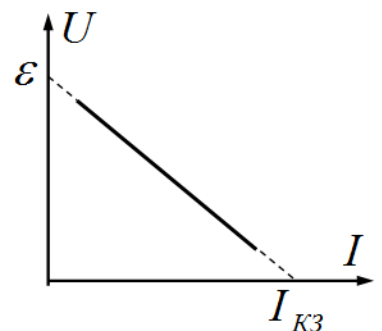
на оси сил токов значение тока короткого замыкания  $I_{КЗ} = \frac{\varepsilon}{r}$ .

1.3.3 Значение ЭДС снимается непосредственно с графика, а значение внутреннего сопротивления рассчитывается по формуле

$$r = \frac{\varepsilon}{I_{КЗ}}. \quad (3)$$

1.3.4 Значение силы тока рассчитывается на основании закона Ома для участка цепи

$$I = \frac{U}{R}. \quad (4)$$

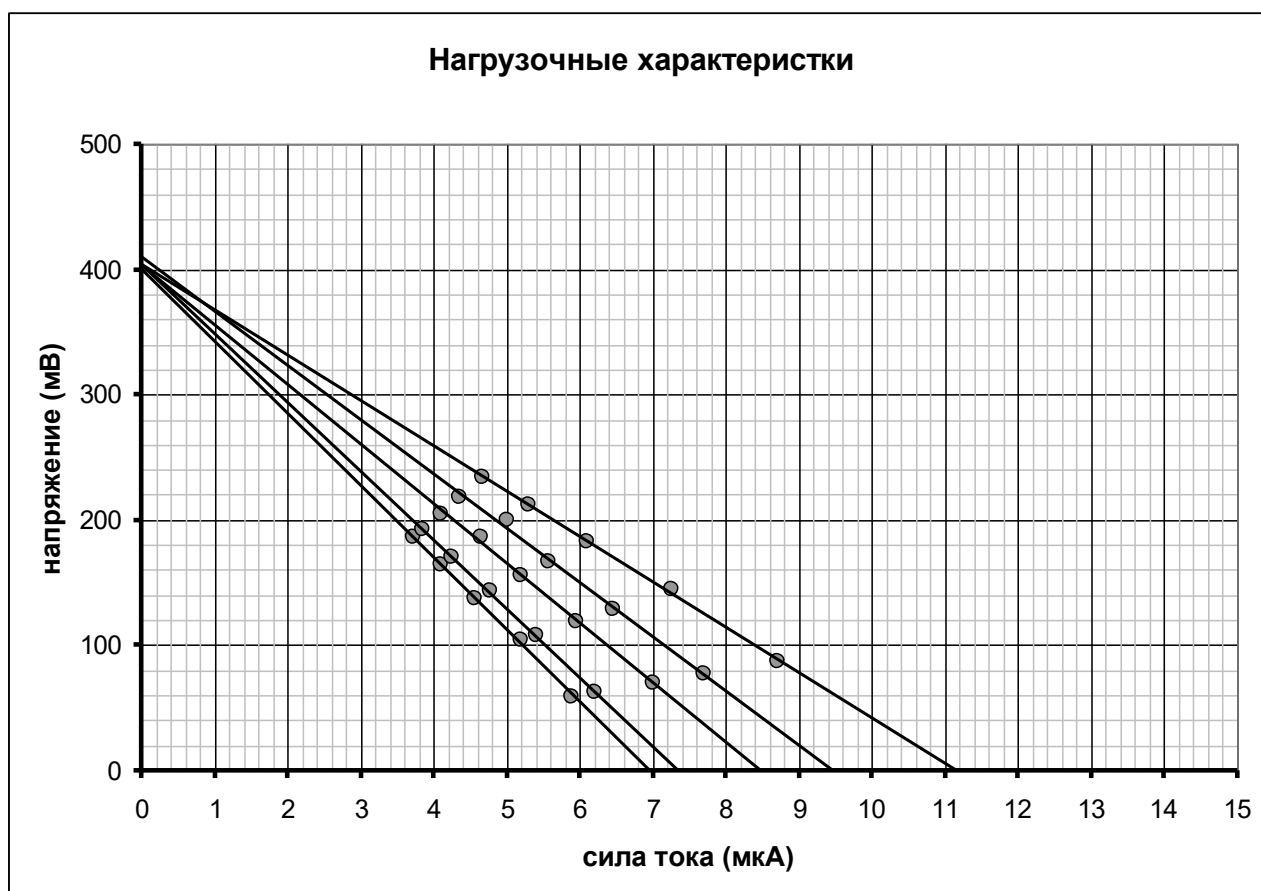


### 1.4 Измерения и расчеты.

Результаты измерений и расчетов приведены в Таблице 1.  
Таблица 1.

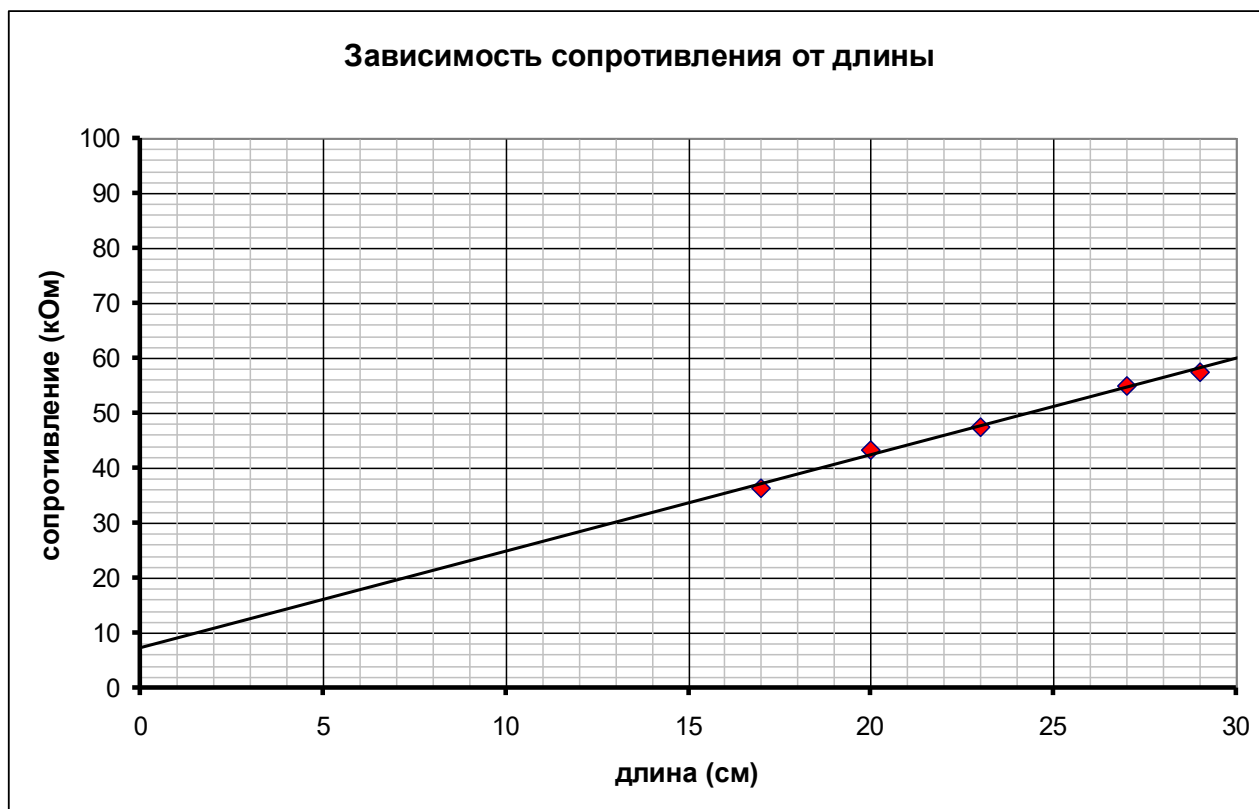
$L$ , см	29		27		23		20		17	
$R$ , кОм	$U$ , мВ	$I$ , мкА	$U$ , мВ	$I$ , мкА	$U$ , мВ	$I$ , мкА	$U$ , мВ	$I$ , мкА	$U$ , мВ	$I$ , мкА
10	59	5,90	62	6,20	70	7,00	77	7,70	87	8,70
20	104	5,20	108	5,40	119	5,95	129	6,45	145	7,25
30	137	4,57	143	4,77	156	5,20	167	5,57	183	6,10
40	164	4,10	170	4,25	186	4,65	200	5,00	212	5,30
50	186	3,72	192	3,84	205	4,10	218	4,36	234	4,68
ЭДС, мВ	400		404		403		410		405	
$r$ , кОм	58		55		47		43		36	

Графики полученных нагрузочных характеристик показаны на рисунке.



### 1.5 Зависимость внутреннего сопротивления от расстояния между электродами.

1.5.1 График зависимости внутреннего сопротивления от расстояния между электродами  $r(L)$ .



1.5.2 Данная зависимость линейна, но не проходит через нуль. По-видимому, помимо сопротивления самого столбика раствора присутствует заметное дополнительное сопротивление – сопротивление «контактов» электродов с раствором кислоты.

1.5.3 Формулу, описывающую полученную зависимость  $r(L)$ , является линейной функцией

$$r = r_0 + \rho L. \quad (5)$$

Параметры этой функции можно найти по графику, или По МНК.

Численные значения:

$r_0 = 1,8 \text{ кОм}$  - имеет смысл сопротивления контактов;

$$\rho = 7,2 \frac{\text{кОм}}{\text{см}}$$

1.5.4 Электрическое сопротивление 1 см столбика раствора в трубке и есть параметр  $\rho$ .

## Часть 2. Трубка во внешней цепи.

2.1 Теоретическое описание.

2.1.1 Формула, описывающая зависимость напряжения на трубке от силы тока через нее непосредственно следует из закона Ома

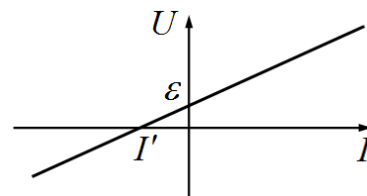
$$U(I) = \varepsilon + Ir. \quad (6)$$

Экспериментальный тур.

10 класс. Решения задач. Бланк для жюри.



2.1.2 Построенный схематический график зависимости  $U(I)$  в данной цепи показан на рисунке



2.1.3 Точка пересечения с осью напряжений – ЭДС элемента; точка пересечения с осью тока -  $I'$  - значение силы тока, когда напряжение на нем равно и противоположно ЭДС.

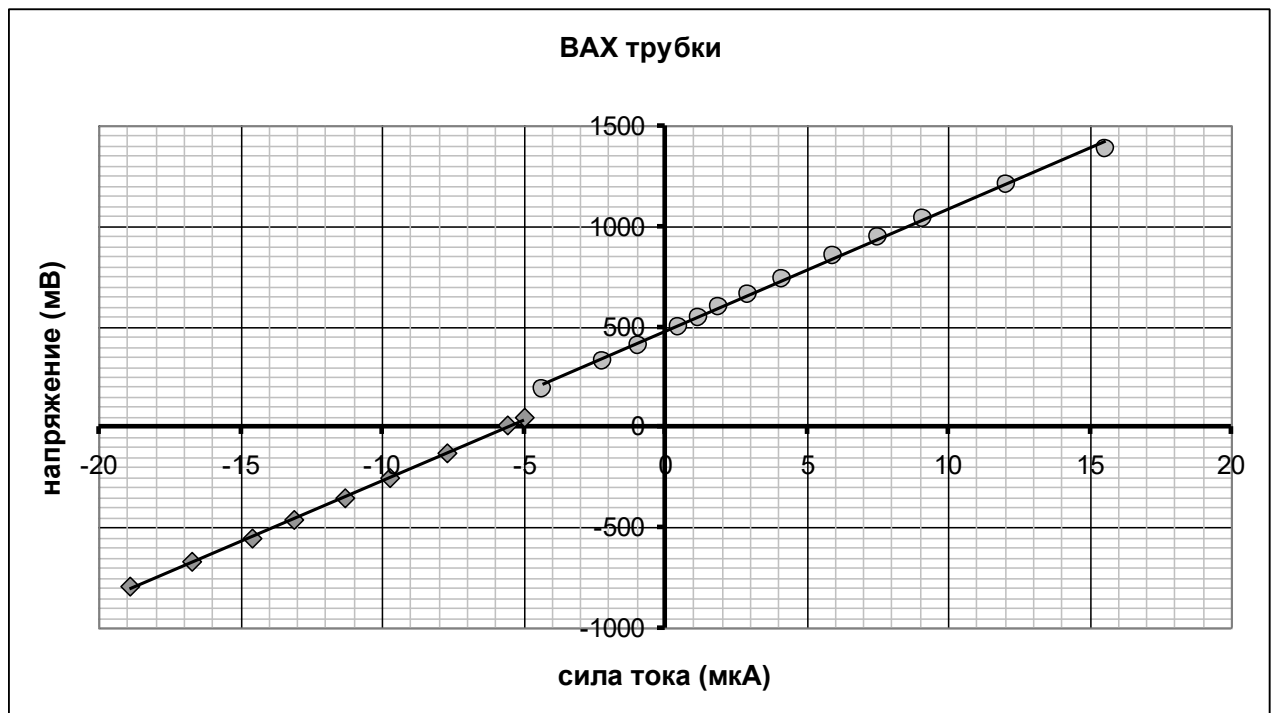
## 2.2 Измерения и обработка результатов.

Результаты измерений и расчетов приведены в Таблице 2. график зависимости на рисунке.

Таблица 2.

прямое подключение			обратное подключение		
$U_0, мВ$	$U, мВ$	$I, мкА$	$U_0, мВ$	$U, мВ$	$I, мкА$
156	1388	15,6	-189	-790	-18,9
121	1206	12,1	-167	-668	-16,7
91,4	1036	9,14	-146	-552	-14,6
75,6	943	7,56	-131	-460	-13,1
59,8	849	5,98	-113	-352	-11,3
41,6	738	4,16	-97	-255	-9,7
29,4	662	2,94	-77	-129	-7,7
19,1	596	1,91	-55,5	9	-5,55
12,1	545	1,21	-50	48	-5
4,8	498	0,48			
-9,2	405	-0,92			
-22	325	-2,2			
-43	192	-4,3			
-52	126	-5,2			
-61	64	-6,1			
ЭДС, мВ	$(463 \pm 32) мВ$		ЭДС, мВ	$(339 \pm 25) мВ$	
$r$	$(61,7 \pm 1,4) кОм$		$r$	$(60,5 \pm 1,0) кОм$	

### 2.2.3



Силы токов рассчитаны по формуле  $I = \frac{U_0}{R_0}$

**2.2.4** Рассчитанные здесь значения внутреннего сопротивления примерно в два раза отличаются от полученных в части 1. Значения ЭДС также отличаются от полученных ранее. Это свидетельствует о том, что под действием электрического тока изменяются свойства контактного слоя, примыкающего к электродам.

**2.2.5** Наиболее существенная особенность полученной зависимости – разрыв графика, проявляющийся в различных значениях ЭДС трубки при разных полярностях внешнего поля. Это означает, что под действием электрического тока возникает дополнительная контактная ЭДС, зависящая от направления тока. Подтверждением этого служит тот факт, что среднее значение ЭДС по двум полярностям подключения примерно равно ЭДС, полученной в первой части. Поэтому дополнительная ЭДС оказывается примерно равной 60 мВ.