



## Республиканская физическая олимпиада 2024 года (Заключительный этап)

### Экспериментальный тур

#### 10 класс.

**Прочтите это в первую очередь!**

1. Полный комплект состоит из одного задания, на выполнение которого отводится пять часов.
2. Ознакомьтесь с перечнем оборудования – проверьте его наличие и работоспособность. При отсутствии оборудования или сомнения в его работоспособности немедленно обращайтесь к представителям оргкомитета.
3. Для Вас приготовлены Листы ответов, в которых отведены поля для занесения выводов формул, полученных результатов, комментариев по ходу выполнения работы. Для результатов измерений в Листах ответов подготовлены Таблицы, для построения графиков – их бланки. Листы ответов – это ваш чистовик. Для черновиков используйте чистые рабочие листы.
4. Так как ваши работы сканируются, пишите только на одной стороне всех листов. Подписывать листы запрещается.
6. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.



**Желаем успехов в выполнении данных заданий!**

**Пакет содержит:**

- титульный лист (1 стр.);
- условие экспериментального задания (7 стр.);
- листы ответов (9 стр.);

## Экспериментальное задание 1. «Шипучка»

Если в раствор соды добавить немного лимонной кислоты, то начнется процесс выделения углекислого газа, то есть раствор станет газированным, т.е. шипучим. В данном задании Вам необходимо исследовать процесс выделения газа.

**Приборы и оборудование:** Шприц 150 мл, манометр с верхним пределом измерения 300 мм. рт. ст., колба с отводом, пробка резиновая с термометром, штуцер, трубки пластиковые соединительные, барометр (один на кабинет), раствор соды, раствор лимонной кислоты, салфетки.

### Внимание!

1. Следите, чтобы показания манометра не превышали 100 мм рт. ст., иначе пробка может выскочить из колбы.
2. Серию экспериментов с растворами Вы сможете провести только 1 раз, поэтому тщательно продумайте последовательность ваших действий и будьте аккуратны при выполнении работы.

В данной работе Вам предоставлен стандартный прибор для изучения газовых законов из комплекта оборудования кабинета физики.

Соберите экспериментальную установку: плотно закройте колбу пробкой, вставьте штуцера в отвод колбы, в одну из соединительных трубок вставьте манометр, установите поршень шприца на отметке 150 мл и вставьте его в другую трубку штуцера. Медленно изменяйте объем воздуха в шприце и наблюдайте за показаниями манометра. Выясните: есть ли утечка воздуха из Вашей установки. Если есть, то устраните её и приступайте к основной части задачи.

В колбу налит раствор соды, он должен находиться там во всех экспериментах.

Используйте следующие обозначения:

$V_0$  – внутренний объем воздуха в установке без объема шприца (объем колбы плюс объем штуцера и соединительных трубок, минус объем раствора в колбе);

$P_0$  – атмосферное давление;

$p$  – разность давления в колбе и атмосферного давления (показания манометра);

$v$  – объем воздуха в части шприца, соединенной с колбой (далее будем называть эту величину для краткости объемом шприца);

$v_{\max} = 150 \text{ мл}$  – полный объем шприца.

Все измерения проводите при комнатной температуре, влажностью воздуха пренебрегайте. Контролируйте постоянство температуры в колбе. Не забывайте привести все формулы (с их выводами), которые использованы Вами в расчетах.

Молярная масса воздуха равна  $M_0 = 29 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ ;

Молярная масса углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) равна  $M_1 = 46 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ ;

Считайте, что давление в 760 мм рт. ст. равно  $1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$

Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$

Допускается измерение давлений в мм рт. ст., и измерение объемов в мл.

### Часть 1. Измерение внутреннего объема.

1.1 Укажите чему равно атмосферное давление  $P_0$  и комнатная температура  $T$ .

1.2 Измерьте зависимость показаний манометра  $p$  от объема шприца  $v$ .

*Укажите, в какой последовательности Вы проводили измерения. Результаты измерений представьте в Таблице 1 Листов ответов.*

1.3 Получите теоретическую формулу описывающую зависимость разности давлений  $p$  от объема воздуха в поршне  $v$  при изотермическом процессе.

1.4 Представьте полученную зависимость в линеаризованном виде, т.е. найдите такую безразмерную функцию некоторой величины  $Z(p)$ , чтобы ее зависимость от объема воздуха в шприце была линейной

$$Z = Av + B \quad (1)$$

*Величины  $Z(p)$  должны быть рассчитаны на основании экспериментальных данных. Изменения объемов и давлений нельзя считать малыми.*

1.5 На основании экспериментальных данных постройте график зависимости  $Z(v)$ . Найдите численные значения коэффициентов  $A, B$  в функции (1).

1.6 Рассчитайте внутренний объем прибора  $V_0$ . Оцените погрешность найденного значения.

1.7 Рассчитайте массу воздуха в колбе и количество молей этого воздуха.

### Часть 2. Выделение газа.

В этой части Вам необходимо провести исследование процесса выделения газа в ходе химической реакции между содой и лимонной кислотой. Предлагаем следующую последовательность проведения эксперимента:

- установите поршень шприца в крайнее положение  $v = 0$ ;
- откройте пробку колбы и аккуратно влейте внутрь 20 мл (это выданная вам порция) раствора лимонной кислоты;
- дождитесь, когда закончится бурное выделение газа (этот процесс длится примерно 10 с); плотно закройте колбу пробкой, закрепите ее с помощью резинок;
- слегка встряхните колбу с шипучкой, чтобы процесс выделения газа пошел активнее; подождите несколько секунд, чтобы поршень сдвинулся, затем быстро, чтобы можно было пренебречь выделением газа за время измерений, проведите необходимые измерения;
- повторите процесс встряхивания (и последующие измерения) 3 раза;
- после этого приступайте к обработке результатов измерений.

**Расчёт погрешностей в данной части не требуется.**

После каждого встряхивания проведите следующие измерения следующих величин:

2.1 После остановки поршня шприца измерьте объем газа в шприце  $v_0$  и показания манометра  $p_0$ .

2.2 Плавно изменяя объем газа в шприце, измерьте зависимость разности давлений (показания манометра)  $p(v)$  от объема газа в шприце  $v$  (достаточно 4-5 измерений).

После проведения всех измерений проведите следующую их обработку (для каждой серии измерений, после каждого встряхивания)

**2.3** На одном бланке постройте графики зависимостей  $p(v)$  после каждого встряхивания.

**2.4** По построенным графикам рассчитайте массы углекислого газа, выделившегося после начала измерений.

*Кратко опишите методику расчета массы углекислого газа. Приведите расчетные формулы. Можете предложить графический метод расчета.*

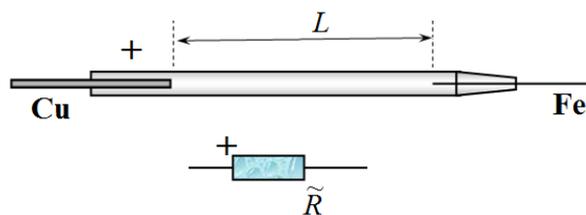
**2.5** Используя результаты проведенных измерений (а при необходимости можете провести дополнительные измерения), рассчитайте силу трения поршня о стенки шприца.

## Экспериментальное задание 2. Жидкая... проволока

Процессы, происходящие в растворах электролитов при протекании электрического тока сложны и многочисленны: движение ионов в растворителе, появление гальванической ЭДС, возникновение двойного электрического слоя у поверхности электродов, появление контактной разности потенциалов, которая может зависеть от протекающего тока, химические реакции с участием электролита и электродов и т.д. При выполнении данного задания вам нет необходимости (да и возможности) вникать во все тонкости протекающих процессов – надо тщательно и аккуратно провести необходимые измерения, обработать их результаты, высказать некоторые разумные предположения по качественному объяснению Ваших экспериментов.

**Приборы и оборудование:** раствор лимонной кислоты, капиллярная трубка со стальной проволокой, кусок медной проволоки, мультиметр, источник электрического тока 1,5 В, переменный резистор 22 кОм, цепочка из 5 резисторов сопротивлением 10 кОм каждый, линейка 30 см, соединительные провода.

Основной элемент исследования – тонкая капиллярная трубка с раствором лимонной кислоты. В узкое горлышко трубки вставлена тонкая железная проволока, конец которой закреплен. Со второго конца в трубку можно вставлять кусок медного провода в изоляции с оголенным концом. Этот провод можно передвигать по трубке, устанавливая нужное расстояние  $L$  между концами проводов. Провода служат электродами, положительным электродом будем считать медный провод. На рисунке показано обозначение трубки на электрических схемах.

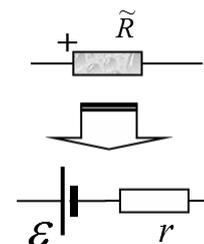


Для заполнения трубки раствором кислоты извлеките медный провод из трубки, опустите толстый конец трубки в стакан с раствором и, всасывая воздух через тонкий конец трубки (не доставая стальной проволоки), заполните трубку.

### **Внимание!**

- Не доставайте железную проволоку из трубки – вставлять ее обратно не просто!
- Меняйте раствор в трубке для каждой серии экспериментов, не оставляйте кислоту в трубке после проведения измерений (это приводит к коррозии электродов и снижению числа полученных баллов).
- Следите, чтобы в трубке не оказалось пузырьком воздуха.
- Используйте дезинфицирующую салфетку для протирки трубки перед ее заполнением.
- Лимонная кислота абсолютно безопасна – нет ничего страшного, если она немного попадет Вам в рот, но пить ее не рекомендуется.
- Всегда соблюдайте полярность подключения трубки, согласно приведенным электрическим схемам.

Так как два разных металла погружены в раствор электролита, то данную трубку можно рассматривать как гальванический элемент – источник тока со своими характеристиками: ЭДС ( $\varepsilon$ ) и внутренним сопротивлением ( $r$ ).



### Часть 1. Измерения ЭДС и внутреннего сопротивления

**1.1** Попробуйте измерить ЭДС трубки непосредственно с помощью мультиметра.

**1.1.1** В каком режиме должен работать мультиметр?

**1.1.2** Запишите показания мультиметра при двух полярностях подключения трубки.

**1.1.3** Можно ли считать эти показания значением ЭДС трубки?

**1.2** Попробуйте измерить внутренне сопротивление трубки с помощью мультиметра.

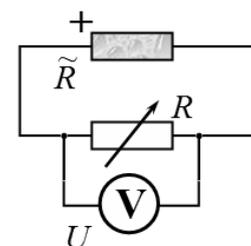
**1.2.1** В каком режиме должен работать мультиметр?

**1.2.2** Запишите показания мультиметра при двух полярностях подключения трубки.

**1.2.3** Можно ли считать эти показания значением ЭДС трубки?

Для более надежного исследования характеристик источника тока, как правило, измеряется его *нагрузочная характеристика*: зависимость напряжения на внешней цепи от силы тока в этой цепи.

Схема цепи для измерения этой характеристики показана на рисунке. В качестве переменного резистора используйте цепочку постоянных резисторов. Убедитесь, что их сопротивления равны 10 кОм. В противном случае обращайтесь к организаторам олимпиады.



**1.3 Теоретическое описание.**

**1.3.1** Получите теоретическую зависимость напряжения на резисторе от силы тока через него -  $U(I)$ , при заданных значениях ЭДС ( $\varepsilon$ ) и внутреннего сопротивления источника ( $r$ ).

**1.3.2** Постройте схематический график зависимости  $U(I)$ . Укажите физический смысл координат точек пересечения графика с осями координат.

**1.3.3** Укажите, как с помощью построенного графика определить (рассчитать) ЭДС и внутренне сопротивление источника наиболее простым способом.

**1.3.4** Укажите, как по известному значению сопротивления нагрузки  $R$  и измеренному значению напряжения на нем  $U$  рассчитать силу тока в цепи.

*Заполните трубку раствором. Соберите электрическую цепь, показанную на рисунке. Проведите необходимые измерения, после этого удалите раствор из трубки (в стакан для использованного раствора) и только после этого приступайте к расчетам.*

#### 1.4 Измерения и расчеты.

**1.4.1** Измерьте зависимость напряжения  $U$  на нагрузке (резисторе  $R$ ) от ее сопротивления при 5 различных расстояниях между электродами трубки.

*Результаты измерений занесите в Таблицу 1 листов ответов. Не забудьте указать единицы измерения всех физических величин. Значения расстояний между электродами укажите в верхней строке таблицы.*

**1.4.2** Рассчитайте значения сил токов  $I$ , для всех проведенных измерений. Результаты расчетов также занесите в Таблицу 1.

**1.4.3** На одном бланке постройте 5 графиков зависимостей напряжения на нагрузке от силы тока в цепи  $U(I)$ .

**1.4.4** С помощью построенных графиков найдите значения ЭДС и внутренних сопротивлений трубки-источника для 5 различных расстояний между электродами. Результаты занесите в нижние строки Таблицы 1.

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

**1.5.1** По результатам измерений постройте график зависимости внутреннего сопротивления от расстояния между электродами  $r(L)$ .

**1.5.2** Качественно (т.е. без формул и чисел) объясните полученную зависимость.

**1.5.3** Предложите простую формулу, описывающую полученную зависимость  $r(L)$ . Найдите численные значения ее параметров.

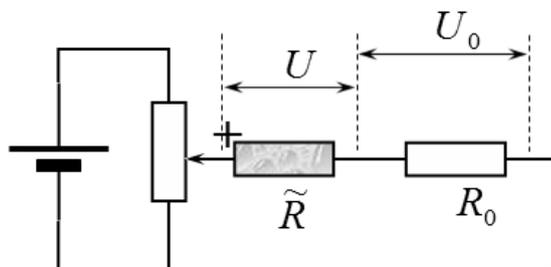
**1.5.4** Укажите, чему равно электрическое сопротивление 1 см столбика раствора в трубке.

#### Часть 2. Трубка во внешней цепи.

В данной части задания Вам необходимо исследовать характеристики трубки с раствором при наличии в цепи источника электрического тока. Традиционно основной характеристикой элемента считается зависимость силы тока через этот элемент от напряжения на нем ( $ВАХ$  – *вольтамперная характеристика*). Однако в данном случае для упрощения обработки результатов Вам предлагается построить и проанализировать обратную зависимость: зависимость напряжения на трубке от силы тока через нее  $U(I)$ .

Для проведения измерений используйте цепь, показанную на следующем рисунке.

Для изменения напряжения используйте выданный переменный резистор. Порядок подключения его выводов определите самостоятельно. В качестве постоянного резистора  $R_0$  используйте один резистор из цепочки (раскручивать цепочку не надо)  $R_0 = 10 \text{ кОм}$ . Источник тока – батарейка 1,5 В (измерьте эту ЭДС, если она окажется меньше 1,4 В попросите заменить батарейку).



**2.1 Теоретическое описание.**

**2.1.1** Получите формулу, описывающую зависимость напряжения на трубке от силы тока через нее  $U(I)$ .

**2.1.2** Постройте схематический график зависимости  $U(I)$  в данной цепи (считайте, что напряжение может быть как положительным, так и отрицательным).

**2.1.3** Укажите физический смысл координат точек пересечения графика с осями координат.

*Заполните трубку раствором лимонной кислоты, установите расстояние между электродами равным  $L = 15$  см, соберите электрическую цепь, проведите необходимые измерения, освободите трубку от кислоты после чего приступайте к обработке результатов измерений.*

**2.2 Измерения и обработка результатов.**

**2.2.1** Проведите измерения зависимости напряжения на трубке  $U$  от силы тока  $I$ . Укажите, как вы определяли силу тока.

*Результаты измерений и расчетов занесите в Таблицу 2 листов ответов. Измерения проведите при двух полярностях подключения батарейки: прямой (как показано на рисунке) и обратной. Полярность подключения вольтметров не меняйте – напряжения могут быть как положительными (при прямом подключении), так и отрицательными.*

**2.2.2** Постройте график полученной зависимости  $U(I)$ .

**2.2.3** Рассчитайте значения ЭДС и внутреннего сопротивления трубки (для каждой полярности подключения батарейки отдельно). Оцените погрешности найденных значений.

**2.2.4** Сравните результаты, полученные в этой части, с характеристиками трубки, найденными в части 1. Дайте качественное объяснение возможных расхождений.

**2.2.5** Дайте качественное объяснение основных особенностей полученной зависимости  $U(I)$ .

## Листы ответов

### Экспериментальное задание 1. «Шипучка»

#### Часть 1. Измерение внутреннего объема.

##### 1.1 Атмосферное давление

$$P_0 =$$

температура воздуха

$$T =$$

##### 1.2 Результаты измерений зависимости разности давлений от объема газа в шприце

Таблица 1.

$v$ , мл	$p$ , мм рт. ст.	параметр $Z$

##### 1.3 Теоретическая зависимость $p(v)$ : вывод формулы и ее вид.

**1.4** Возможная линейризация данной зависимости:  
безразмерный параметр  $Z$

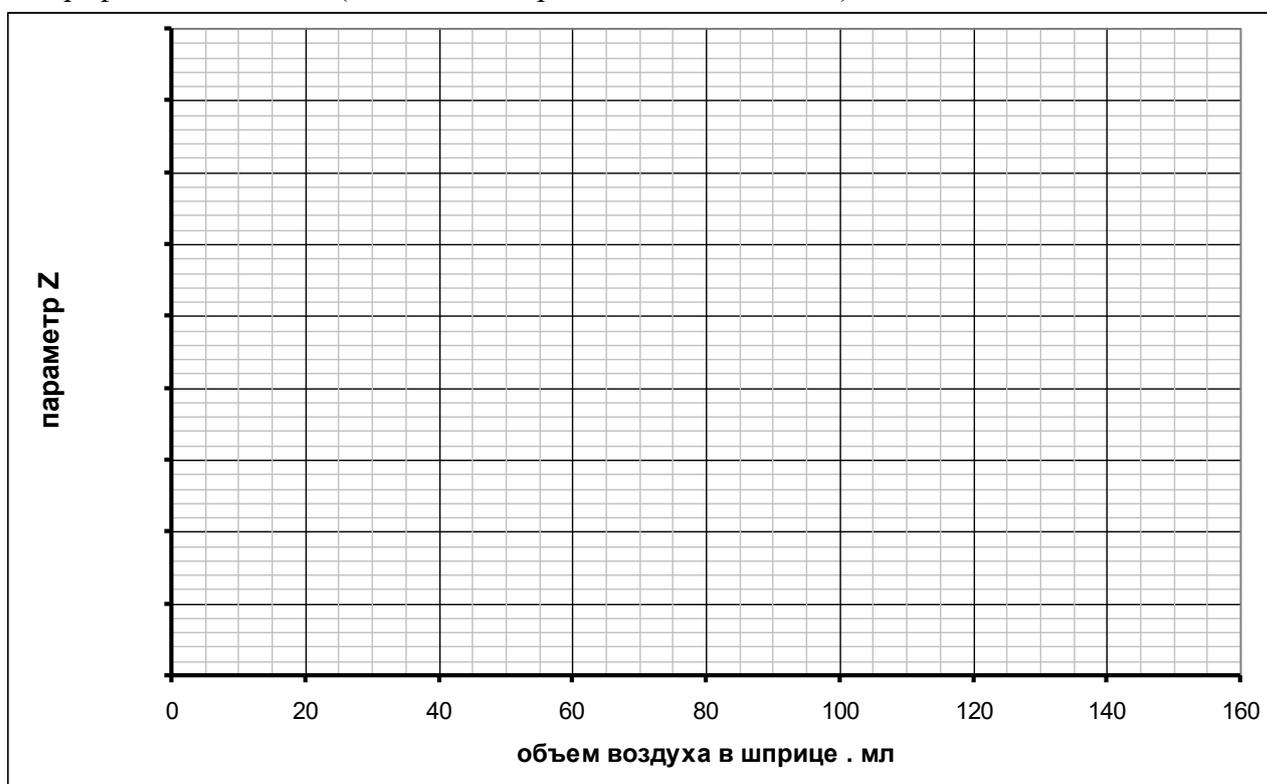
$$Z =$$

Коэффициенты линейной зависимости

$$A =$$

$$B =$$

**1.5** График зависимости (значения  $Z$  приведите в Таблице 1.)



**1.6** Внутренний объем (формула, численное значение, погрешность)

$$V_0 =$$

**1.7** Масса воздуха в колбе (формула, численное значение)

$$m =$$

**Часть 2. Выделение газа.**

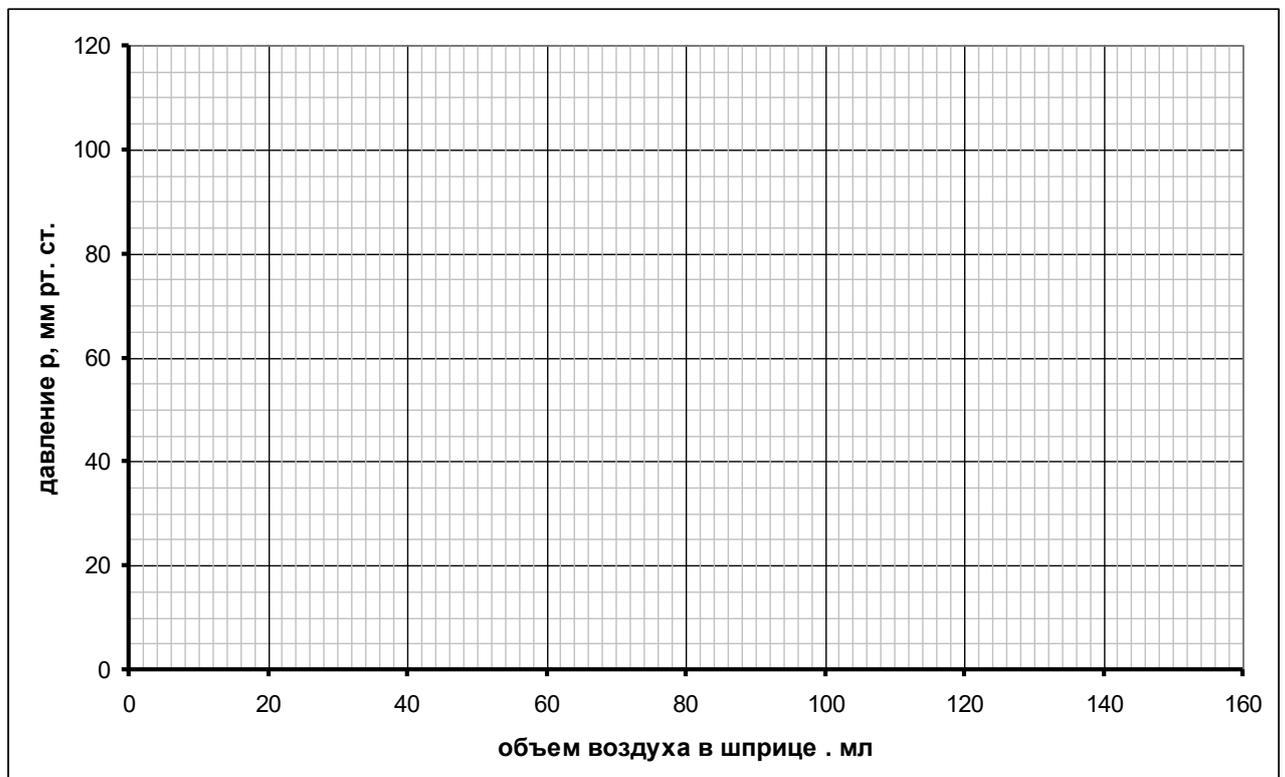
**2.1 – 2.2 Результаты измерений**

В первой строке поместите значения  $(v_0, p_0)$ , в последней строке укажите значения масс выделившегося углекислого газа.

**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.

**2.3 Графики зависимостей  $p(v)$**



**2.4** Расчет масс углекислого газа (вывод расчетной формулы, методика расчета)  
Значения масс поместите в Таблицу 2.

**2.5** Сила трения поршня о стенки шприца (методика измерения, результаты измерений,  
расчетная формула, численное значение)

## Листы ответов

### Экспериментальное задание 2. Жидкая... проволока

#### 1.1

1.1.1 Режим мультиметра

1.1.2 Показания мультиметра

1.1.3 Да, нет, не знаю? Почему?

#### 1.2

1.2.1 Режим мультиметра

1.2.2 Показания мультиметра

1.2.3 Да, нет, не знаю? Почему?

#### 1.3 Теоретическое описание.

1.3.1 Вывод зависимости  $U(I)$ :

1.3.2 Схематический график зависимости  $U(I)$ . Физический смысл координат точек пересечения графика с осями координат.

1.3.3 Как определить (рассчитать) ЭДС и внутренне сопротивление источника?

**1.3.4 Как рассчитать силу тока в цепи?**

**1.4 Измерения и расчеты.**

Таблица 1.

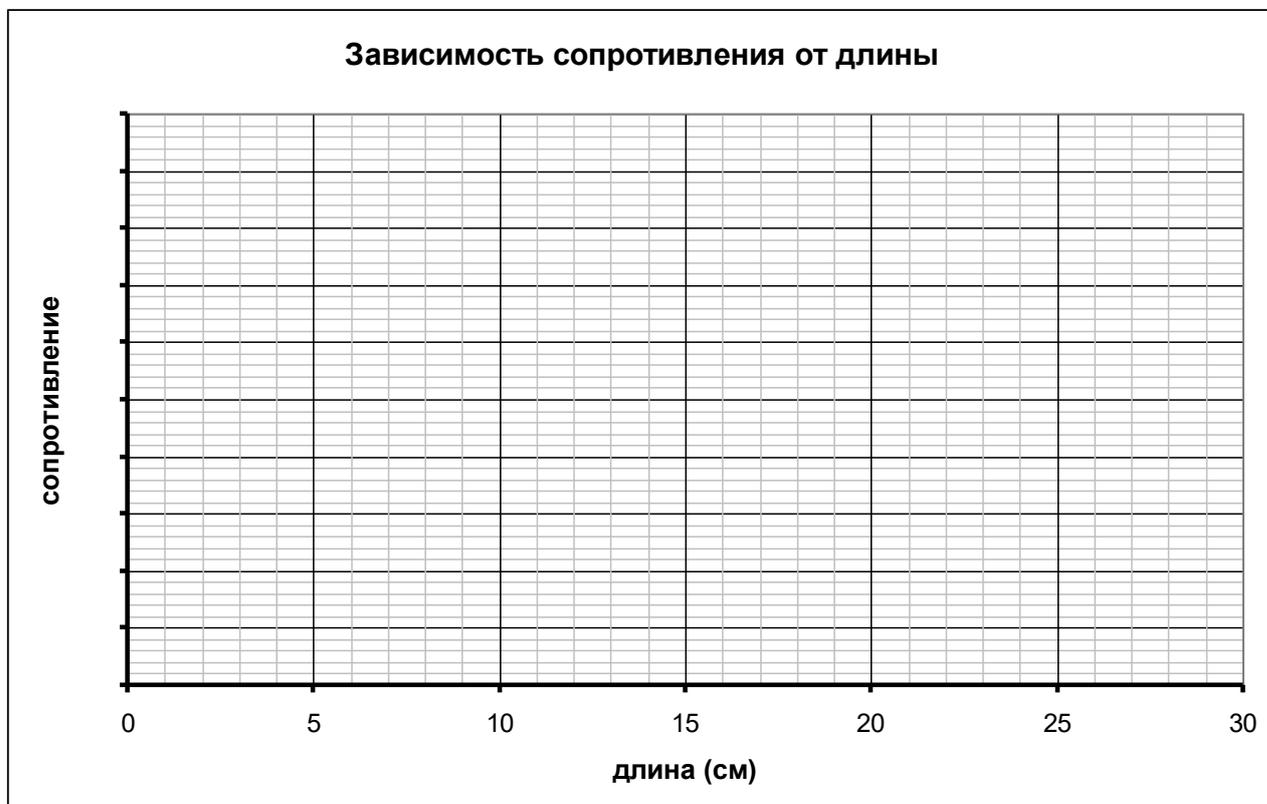
$L,$ см										
	$U$	$I$								
10										
20										
30										
40										
50										
ЭДС										
$r$										

Графики зависимостей



### 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 Качественное объяснение полученной зависимости.

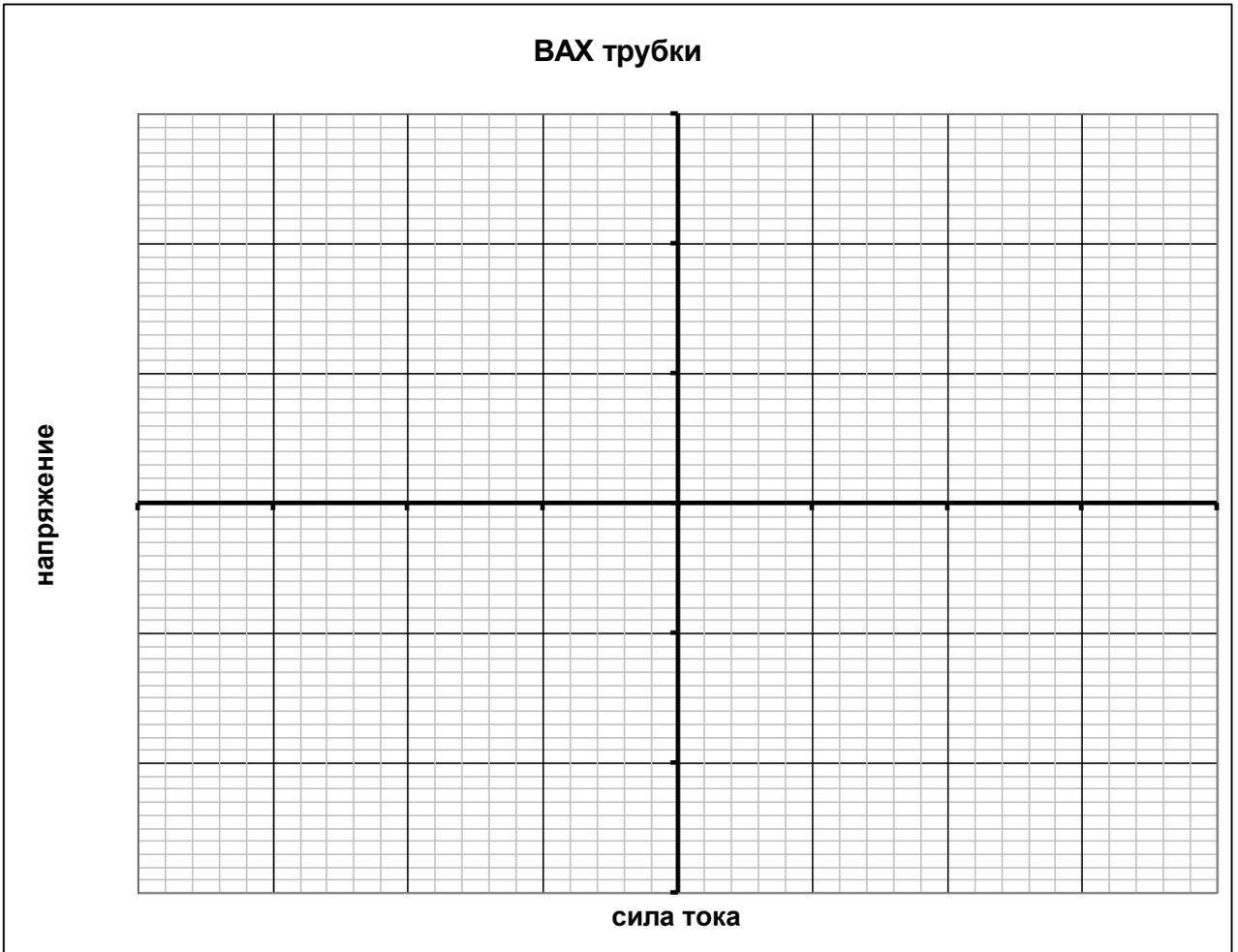
1.5.3 Формула, описывающую зависимость  $r(L)$ , ее параметры

1.5.4 Электрическое сопротивление 1 см столбика раствора в трубке



2.2.3

График зависимости напряжения от силы тока



2.2.4 Сравнение результатов. Качественное объяснение возможных расхождений.

2.2.5 Качественное объяснение основных особенностей полученной зависимости  $U(I)$ .