

## 24. Электроемкость конденсатора.

**Задание.** Измерьте неизвестную электроемкость конденсатора.

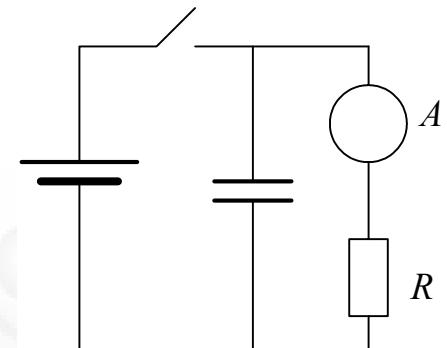
**Оборудование.** Источник тока, конденсатор неизвестной емкости, резистор сопротивлением 240 кОм, микроамперметр, провода соединительные (6 штук), часы, бумага миллиметровая (для построения графиков).

### Выполнение работы.

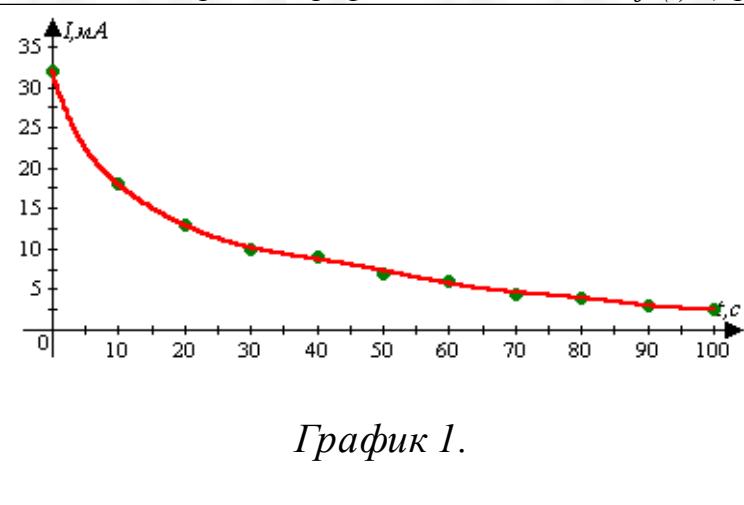
Собираем цепь по схеме, изображенной на рисунке. Замкнув ключ, заряжаем конденсатор до некоторой разности потенциалов. Разомкнув ключ, отмечаем значение силы тока разрядки конденсатора с интервалом времени 10 с. Данные заносим в таблицу 1.

Таблица 1

$T$ (С)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$i$ мка	32	18	13	10	9	7	6	4,5	4	3	2,5
$\ln i/i_0$	0	0,57	0,9	1,2	1,3	1,5	1,7	2	2,1	2,4	2,5



По данным строится график зависимости  $I = f(t)$  (График 1)



Емкость конденсатора

$$C = \frac{\Delta q}{\Delta U}$$

Где  $\Delta q$  - заряд, прошедший через резистор за время  $\Delta t$ . Величина этого заряда определится, как площадь криволинейной трапеции, расположенной под графиком (см. график 1).  $\Delta U = i_1 R - i_2 R$  - изменение напряжения на обкладках конденсатора за это же время, а  $i_1$   $i_2$  - значения

силы тока в начале и в конце этого промежутка времени. По полученным данным имеем  $C = (205 \pm 8)$  мкФ.

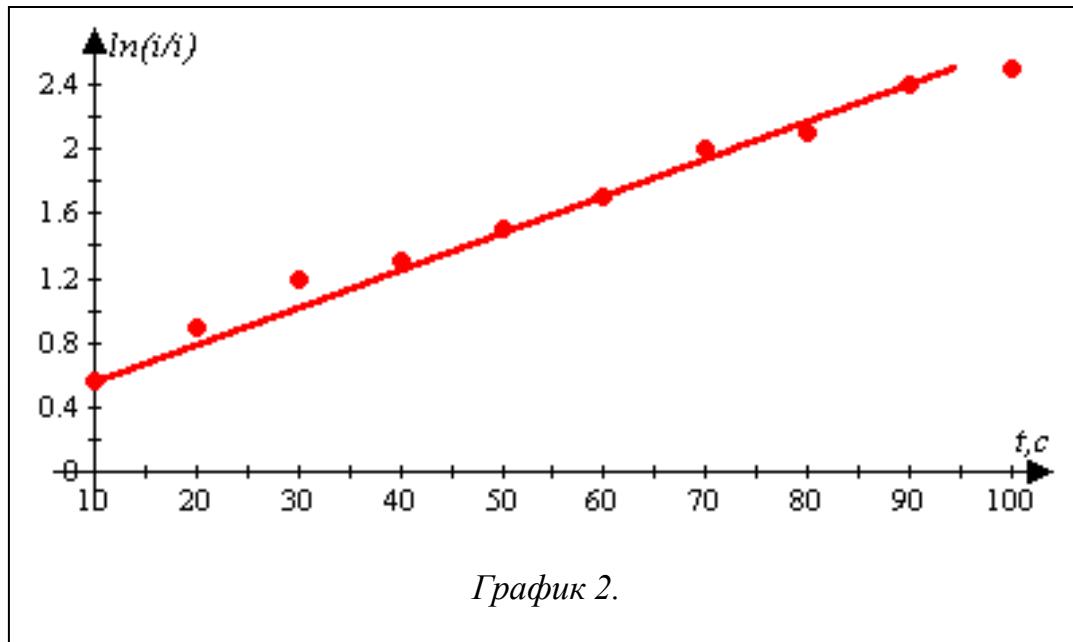
Второй вариант решения состоит в следующем.

Мы знаем, что разряд конденсатора через постоянное сопротивление происходит по закону:

$$i = i_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

Прологарифмируем выражение и получим:  $-\ln \frac{i}{i_0} = \frac{1}{RC} t$ .

Построим график зависимости  $-\ln(i/i_0) = f(t)$



Как видно из графика 2, зависимость  $\ln i/i_0$  от времени линейна, а  $\frac{1}{RC} = \tan \alpha$ ,

где  $\alpha$  - угол наклона графика к оси абсцисс. Проведя необходимые расчеты, получим значение электроемкости:

$$C = (214 \pm 14) \text{ мкФ}; \quad \mathcal{E} = 6 \text{ %}.$$

## 25. Удельное сопротивление проволоки.

Задание. Определите удельное сопротивление проволоки

Оборудование. Источник тока с известной ЭДС  $\mathcal{E}$ , амперметр лабораторный, кусок проволоки с большим удельным сопротивлением, бумага миллиметровая.

### Выполнение работы

1. Соберем цепь, состоящую из последовательно включенных: источника тока, амперметра, проволоки. Измеряем силу тока, включив проволоку на всю длину. В этом случае сила тока  $I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$  (1), где  $r$  - внутреннее сопротивление источника тока и амперметра,  $\mathcal{E}$  - ЭДС источника тока.

2. Измеряем силу тока, включив проволоку на  $3/4$  ее длины. В этом случае

$$I_2 = \frac{\mathcal{E}}{\frac{3}{4}R+r} \quad (2). \quad \text{Решая систему уравнений, получим:}$$

$$R = 4\mathcal{E} \left( \frac{1}{I_1} - \frac{1}{I_2} \right) \quad (3)$$

3. Определяем удельное сопротивление проволоки:

$$\rho = \frac{RS}{L} = 4\mathcal{E} \left( \frac{1}{I_1} - \frac{1}{I_2} \right) \frac{\pi d^2}{4L} \quad (4),$$

где  $d$  - диаметр проволоки,  $L$  - длина проволоки. Диаметр проволоки измеряем, намотав  $N$  витков на длинную клемму источника или карандаш.

Погрешности оцениваем методом границ.

*Примечание.* Проволоку удобно брать от реостата РПШ-0,6

## 26. Сопротивление подводящих проводов.

**Задание.** Измерьте сопротивление подводящих проводов

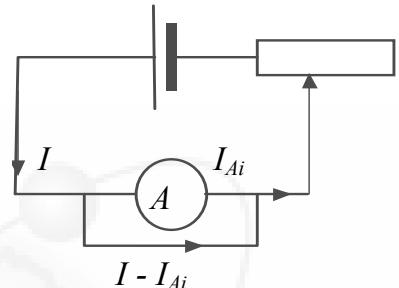
**Оборудование:** источник тока ЛИП - 90, амперметр лабораторный, реостат лабораторный, линейка ученическая, соединительные провода (4 шт), медная проволока.

### Выполнение работы.

Собираем установку, схема которой приведена на рисунке.

Если амперметр зашунтируют одним из соединительных проводов, то в этом случае сопротивление данного провода определится, как сопротивление шунта.

$$R_{sh} = \frac{U_{sh}}{I_{sh}} = R_A \frac{I_A}{I - I_A} \quad (1)$$



где  $I$  – показания амперметра без шунта,  $I_A$  – показания амперметра с подключенным шунтом,  $R_A$  – сопротивление амперметра. Меняя проводники, получим другие значения силы тока. Общее сопротивление всех проводом определится как:

$$R = R_A \sum_{i=1}^4 \frac{I_{Ai}}{I - I_{Ai}} \quad (2)$$

Сопротивление амперметра можно определить, используя в качестве шунта данную медную (алюминиевую, стальную) проволоку. Зашунтирував амперметр этой проволокой, добьемся того, чтобы показания амперметра уменьшились вдвое. В таком случае

$$R_A = R_0 = \rho_0 \frac{4l_0}{\pi d_0^2} \quad (3)$$

Установим реостатом ток  $I = (1,00 \pm 0,05)$  А. Параллельно амперметру включаем медную проволоку такой длины, чтобы показания амперметра уменьшились вдвое. Тогда:

Возможен и другой вариант решения. Например, рассчитать сопротивление амперметра как и в первом случае, только шунтом служит медный провод. Его длину измеряем линейкой. Диаметр можно измерить намотав на карандаш несколько витков (или при помощи штангенциркуля).

В наших измерениях было получено.

Длина шунта из медной проволоки  $L = (15 \pm 0,5)$  см.  $\Delta L = \pm 0,5$  см

Подключая параллельно амперметру поочередно каждый из четырех проводников, получили показания амперметра.

- $I_1 = 0,40 \pm 0,05$  А;
- $I_2 = 0,80 \pm 0,05$  А;
- $I_3 = 0,50 \pm 0,05$  А;
- $I_4 = 0,55 \pm 0,05$  А;

Подставляя числовые значения, получим:  $R = (6,45 \pm 1,25) \times 10^{-2}$  Ом;  $\varepsilon = 19\%$ .

Результаты в данном случае удобно обрабатывать методом границ.

## 27. Подвижность ионов

Электрический ток в электролитах обусловлен движением ионов под действием электрического поля. Следовательно, проводимость электролитов – ионная. Прохождение же электрического тока через раствор электролита сопровождается выделением вещества на электродах.

Направленное движение иона, окруженного сольватной оболочкой, можно представить, как движение шарика в вязкой среде. При перемещении иона возникает сила сопротивления движению, которая в известных пределах пропорциональна средней скорости движения иона. Силу сопротивления ( $F_{mp}$ ), действующую на ион можно считать равной:

$$F_{mp} = kV, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент сопротивления для иона, зависящий от свойств среды и геометрических размеров иона вместе с сольватной оболочкой.  $V$  – скорость движения положительного иона.

Под действием силы  $F$ , действующей со стороны электрического поля  $F = qE$  (2) ион приобретает такую скорость, при которой сила сопротивления станет равна электрической силе. Таким образом, можно записать:

$$kV = qE \quad (3)$$

Величина  $b$ , определяющая скорость иона при напряженности поля равной единице, называется подвижностью иона:

$$b = \frac{q}{k} = \frac{V}{E} \quad (4)$$

**Задание.** Смочите выданный кусок ткани раствором поваренной соли и фенолфталеина. Расположите на нем электроды, в качестве которых используйте металлические цилиндры. Подключите их к источнику питания. При протекании электрического тока ткань начинает окрашиваться.

Объясните возникновение окраски.

Исследуйте закон движения границы окраски.

**Примечание.** Средняя скорость движения ионов в растворе  $\bar{V}$  под действием электрического поля напряженностью  $E$  определяется формулой

$$\bar{V} = bE,$$

где  $b$  – константа, которая называется **подвижностью иона**.

Определите подвижность иона  $OH^-$  в вашем эксперименте.

**Оборудование:** кусок ткани, раствор поваренной соли и фенолфталеина, источник тока, вольтметр, линейка, соединительные провода два электрода (цилиндры из набора по калориметрии).

При электролизе раствора поваренной соли у катода образуются гидроксильные отрицательно заряженные ионы  $OH^-$ , которые окрашивают раствор фенолфталеина. Под действием электрического поля эти ионы движутся к аноду, чем и объясняется движение окрашенной границы.

Скорость движения границы равна средней скорости направленного движения ионов. Расстояние, на которое сместится граница окраски за время  $t$  можно рассчитать по формуле

$$x = bEt \approx b \frac{U}{l} t.$$

По измеренной зависимости  $x(t)$ , можно определить подвижность гидроксильных ионов.

### Выполнение работы.

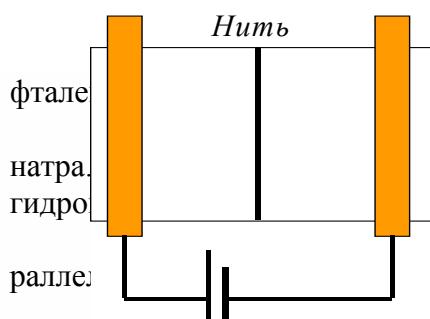


Рисунок 1.

1 столе стекло. Приготовить электроды и источник тока и раствором электролита (сернокислого натра) и фенол-эвкалиптовую пластинку так, как показано на рис 1.

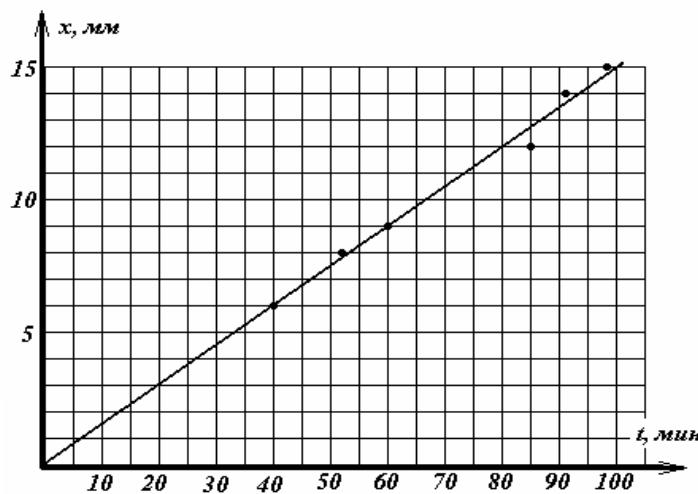
положить белую нить, пропитанную раствором едкого натра, в малиновый цвет, благодаря взаимодействию ионов фталеином.

сах ткани проволочные электроды и расположив их па-

1) из едкого натра начнут двигаться к аноду, окрашивая время и, измеряя продвижение границы малинового движения и подсчитать подвижность ионов по формуле (4). Величина напряженности равна:  $E = U/L$ , где  $U$  - напряжение, создаваемое источником тока,  $L$  - расстояние между электродами.

В нашем эксперименте напряжение между электродами равно  $U = 4,2$  В, расстояние между ними  $l = 6,0$  см. Результаты измерений приведены в таблице и на графике  $x = f(t)$

$t, \text{мин}$	0	40	52	60	85	91	97
$x, \text{мм}$	0	6	8	9	12	14	15



сительная погрешность найденного значения  $\varepsilon \approx 7\%$ .

Как видно из графика зависимость близка к линейной. Для определения подвижности ионов методом наименьших квадратов найдем коэффициент наклона графика. Расчет по МНК приводит к следующим значениям параметров линейной зависимости  $x = at + c$ :

$$a = (0,15 \pm 0,1) \text{ мм / мин};$$

$$c = (0,02 \pm 0,68) \text{ мм}. \quad \text{Значение подвижности ионов}$$

$$b = (3,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-8} \frac{\text{м}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}; \quad \text{отно-}$$

## 28. Исследовать протекание тока через электролиты.

Известно, что растворы электролитов проводят электрический ток. Вам предлагается исследовать электрические свойства раствора поваренной соли в воде. Для этого используйте банку с раствором поваренной соли, в которую опускают два электрода.

**Задание 1.1.** Измерьте зависимость напряжения между электродами от силы тока в растворе. Постройте график данной зависимости. Сделайте вывод.

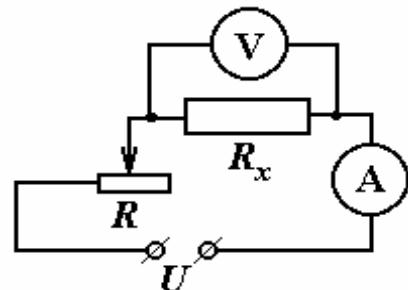
**Задание 1.2.** Исследуйте зависимость сопротивления раствора от расстояниями между электродами. Постройте график данной зависимости. Сделайте вывод.

**Оборудование:** Источник постоянного тока ЛИП-90; реостат лабораторный; вольтметр лабораторный; амперметр лабораторный; банка стеклянная с крышкой ка-проновой; два электрода; соединительные провода; миллиметровая бумага.

### Выполнение работы.

1. Для изучения необходимых зависимостей соберем электрическую цепь по схеме, где  $R_x$  - банка с раствором электролита, сопротивление которого исследуется. Меняя сопротивление реостата  $R$  можно изменять напряжение между электродами в банке. Данная схема позволяет независимо измерять силу тока через электролит и напряжение на электродах.

При расстоянии между электродами  $l = 2,0\text{ см}$  получены следующие результаты.



$U,(\text{В})$	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8
$I,(\text{А})$	0,32	0,37	0,42	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65

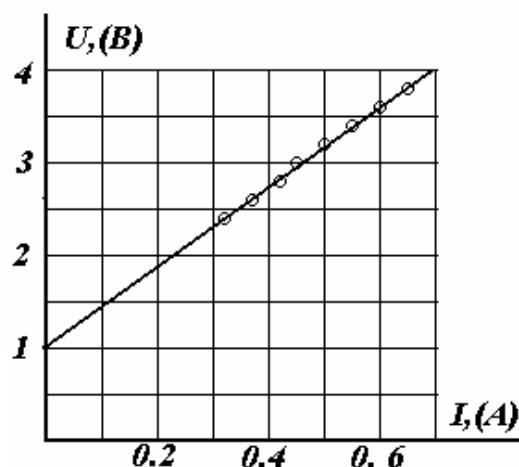


График зависимости  $U(I)$  представлен на рисунке. Как видно из данного графика, зависимость линейна, но не прямо пропорциональная. Такая зависимость может быть объяснена, если предположить, что данный прибор (банка с электролитом и электродами) является гальваническим элементом. Тогда его сопротивление  $R$  необходимо рассчитывать по формуле

$$R = \frac{\Delta U}{\Delta I},$$

где  $\Delta U, \Delta I$  - соответствующие изменения напряжения и тока. Определение сопротивления удобно проводить с помощью графика, с которого легко можно снять величины  $\Delta U, \Delta I$ . В данном случае

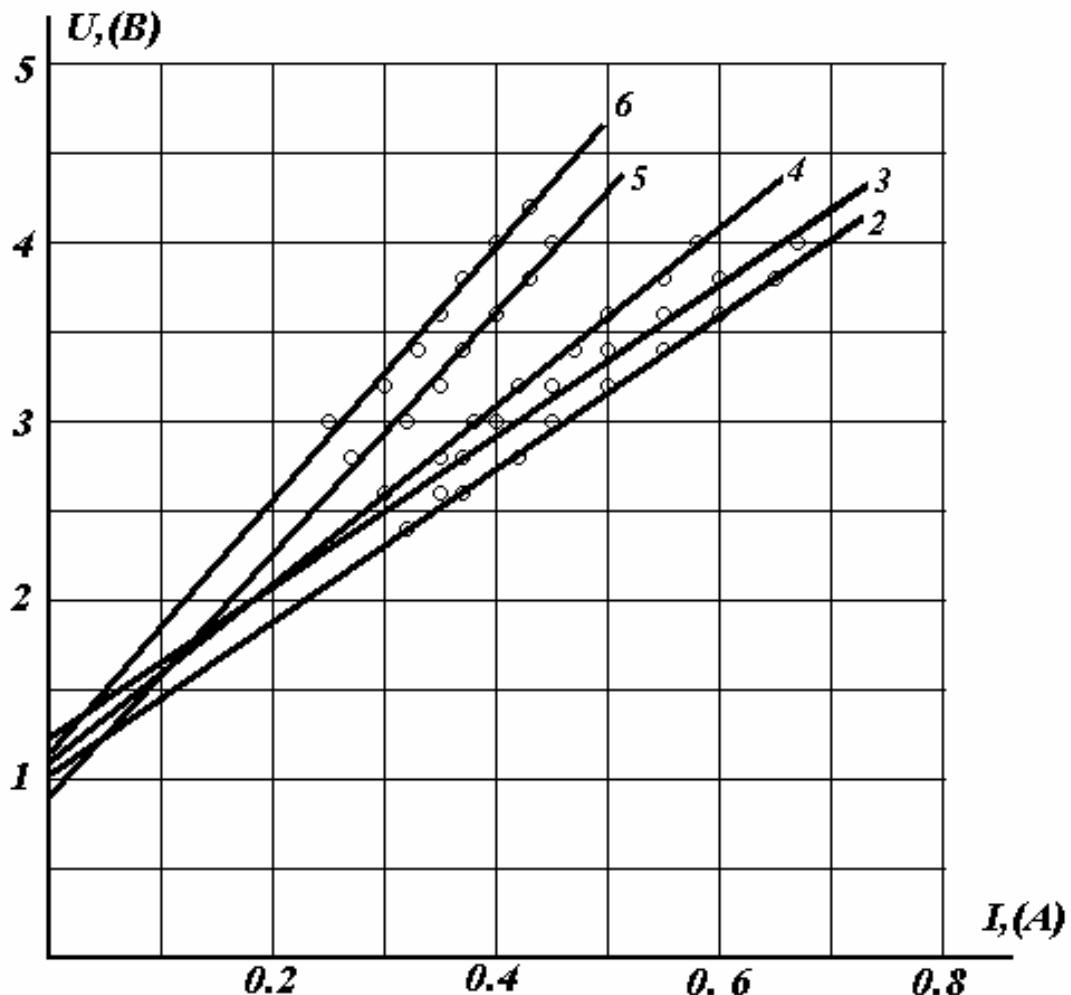
$$R = (4,3 \pm 0,2) \text{ Ом}$$

2. Для измерения сопротивления при других значениях расстояния между электродами следует применять аналогичную методику. (Либо, в крайнем случае, по двум

точкам, но не по одной!). Результаты измерений силы тока (в амперах) при различных значениях напряжения и расстояния между электродами  $r$  приведены в таблице.

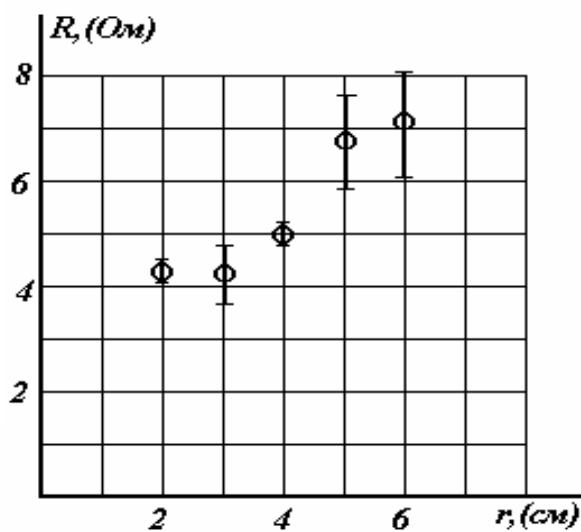
$U, (B)$	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2
$r, (cm)$									
3	0,35	0,37	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,67	-
4	0,30	0,35	0,38	0,42	0,47	0,50	0,55	0,58	-
5	-	0,27	0,32	0,35	0,37	0,40	0,43	0,45	-
6	-	-	0,25	0,30	0,33	0,35	0,37	0,40	0,43

По этим данным построены графики зависимостей  $U(I)$  при различных расстояниях между электродами (на графике указаны в сантиметрах возле соответствующих прямых).



По графикам рассчитаны сопротивления для всех значений  $r$ . Результаты расчетов в следующей таблице.

$r, (cm)$	2	3	4	5	6
$R, (Om)$	4,3	4,2	5,0	6,8	7,1
$\Delta R, (Om)$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 0,2$	$\pm 0,8$	$\pm 0,9$



Полученные данные нанесены на график. Видно, что с ростом расстояния между электродами, сопротивление возрастает, причем зависимость не является прямой пропорциональной. Сделать более однозначные выводы по полученным данным не представляется возможным из-за существенных погрешностей результатов.

Дополнение. Конечно, наиболее предпочтительной в данной задаче является обработка методом наименьших квадратов (все результаты приведенные здесь получены именно таким образом). Однако, считать ее обязательной для девятиклассников не стоит.

По нашим данным, ЭДС данного элемента (алюминиевые электроды в растворе поваренной соли) составляет порядка 1В с погрешностью около 10%.

## 29. Закон Био-Савара-Лапласа и магнитное поле Земли.

Для расчета индукции магнитного поля, создаваемого элементом тока  $I\Delta l$  используется закон Био-Савара-Лапласа

$$\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I\Delta l}{r^2} \sin \alpha, \quad (1)$$

где  $\mu_0 = 1,257 \times 10^{-6}$  Гн/м – магнитная постоянная,  $I$  – сила тока в проводнике,  $\Delta l$  – длина части проводника, создающая магнитное поле,  $r$  – расстояние от проводника до данной точки поля,  $\alpha$  - угол между направлением тока в данном элементе и направлением на данную точку.

Подсказка. Для измерения индукции поля можно использовать намагниченную стрелку компаса и постоянное в данной точке магнитное поле Земли.

### 1. Поле прямого тока.

Индукция поля, создаваемого длинным прямым проводником с током, определяется по формуле

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}, \quad (2)$$

где  $I$  - сила тока в проводнике,  $r$  – расстояние от проводника до данной точки поля.

Проверьте экспериментально закон Био - Савара - Лапласа для прямого проводника с током для чего:

**Задание.1.1.** Исследуйте зависимость индукции магнитного поля тока от силы тока в проводнике.

**Задание.1.2.** Исследуйте зависимость индукции магнитного поля тока от расстояния до проводника.

### 2. Поле кругового тока

**Задание.2.1.** Покажите, что индукция магнитного поля на оси кольца с электрическим током определяется формулой

$$B = \frac{\mu_0 I}{2} \cdot \frac{R^2}{(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (3),$$

где  $I$  - сила тока в кольце,  $R$  - радиус кольца,  $x$  - расстояние от точки до центра кольца.

**Задание.2.2.** Исследуйте зависимость индукции магнитного поля тока от силы тока в проводнике.

**Задание.2.3.** Исследуйте зависимость индукции магнитного поля в центре кольца от радиуса последнего.

**Задание.2.4.** Исследуйте зависимость индукции магнитного поля кругового тока от расстояния до проводника.

Сравните полученные экспериментальные зависимости с соответствующими теоретическими зависимостями, следующими из закона Био-Савара-Лапласа.

### 3. Магнитное поле Земли.

**Задание. 3.1.** Определите экспериментально горизонтальную составляющую индукции магнитного поля Земли.

**Оборудование.** Источник тока, реостат лабораторный, амперметр лабораторный, ключ, медный проводник длиной 1,2 м ( $d = 0,5$ мм), два штатива, соединительные провода (3 шт), компас жидкостной, линейка, миллиметровая бумага, полоска картона ( $3 \times 30$  см), скрепки канцелярские (2 шт), лента изоляционная.

#### Выполнение работы

Очевидно, что магнитная стрелка устанавливается вдоль магнитного меридиана. Если вблизи стрелки создать магнитное поле, перпендикулярное магнитному полю Земли, то стрелка установится вдоль вектора индукции суммарного поля, таким образом, угол отклонения стрелки будет удовлетворять соотношению

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{B_m}{B_3}, \quad (1),$$

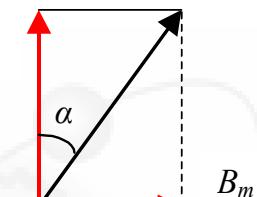


Рис. 1

где  $B_m$  - индукция магнитного поля тока,  $B_3$  – горизонтальная составляющая индукции магнитного поля Земли.

Так как магнитное поле Земли постоянно в данной точке, то тангенс угла отклонения может служить мерой индукции изучаемого поля.

1.1 Соберем цепь, показанную на рис2. Расположим прямой участок проводника вдоль магнитной стрелки. Изменяя силу тока в проводнике, проводим измерения угла отклонения. Данные нашего эксперимента (проводник находился на высоте 4 см над стрелкой) приведены в таблице 1 и на графике 1.

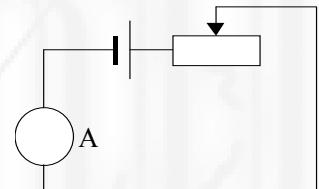


Рис. 2

Таблица 1

I(A)	0,4	0,7	1	1,5
A	10	15	20	27
$\operatorname{tg} \alpha$	0,176	0,27	0,364	0,51

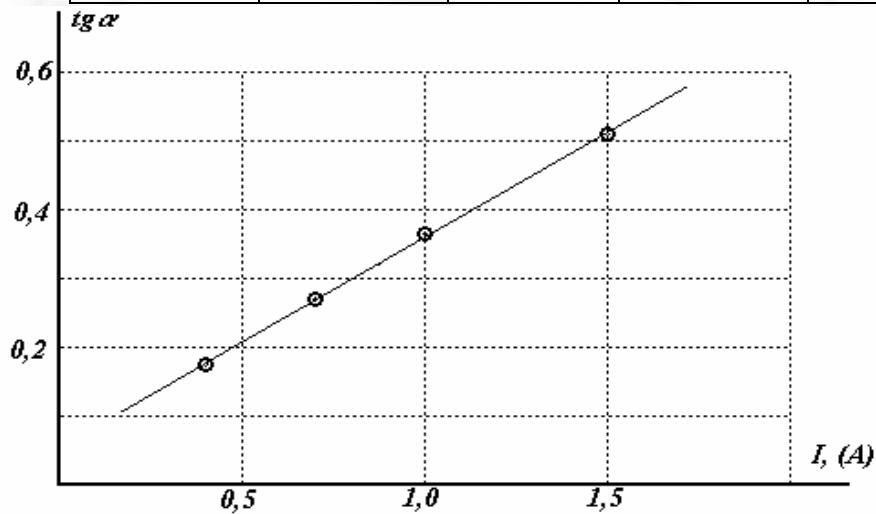


График 1.

Как видно из графика 1, полученная зависимость является линейной. Это свидетельствует о том, что индукция магнитного поля  $B$  пропорциональна силе тока в проводнике.

1.2 Зависимость индукции поля прямого тока от расстояния до проводника приведена в таблице 2 и на графике 2. Данные снимались при силе тока  $I=1,5$  А. Для того, чтобы проверить теоретическую зависимость мы построили график зависимости тангенса угла отклонения от величины обратной расстоянию до проводника. В таких координатах зависимость должна быть линейной.

Таблица 2

$b, \text{см}$	$1/b, \text{м}^{-1}$	$\alpha^\circ$	$\operatorname{tg} \alpha$
4	25	30	0,577
5	20	25	0,466
6,5	15,4	20	0,364
7,7	13	15	0,27
10	10	10	0,176
23	4,3	5	0,09

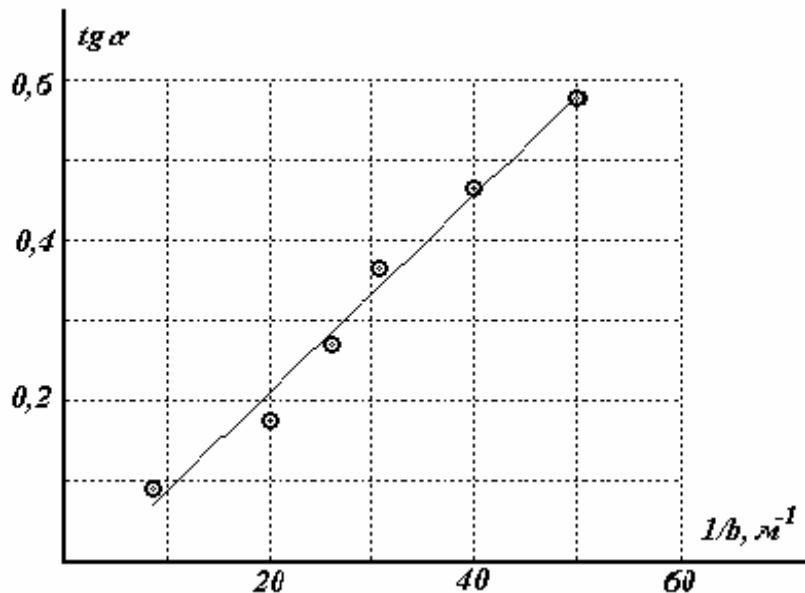


График 2.

Зависимость  $\operatorname{tg} \alpha$  от  $1/b$  также оказывается почти линейной.

Две этих зависимости позволяют сделать вывод о справедливости закона Био-Савара-Лапласа для прямого тока.

*При проведении эксперимента удобнее изменять расстояние так, чтобы стрелка компаса устанавливалась на определенном делении, а затем измерять расстояние.*

2. 1. Пусть по кольцу радиуса  $R$  течет ток  $I$ . Найдем индукцию магнитного поля в центре кольца и на его оси, на расстоянии  $h$  от центра кольца.

Элемент тока  $\Delta l$  создает индукцию, определяемую по формуле (1) условия задания. В центре кольца  $\sin \alpha = 1$ . Полная индукция в центре равна:

$$B = \sum \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I\Delta l}{r^2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} \sum \Delta l = \frac{\mu_0 I}{2r} \quad (2)$$

Индукция магнитного поля, создаваемая элементом тока на расстоянии  $x$  от центра кольца равна  $\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I\Delta l}{r^2} \sin \alpha$ , где  $r$  – расстояние от элемента тока до данной точки поля. В данном случае  $\sin \alpha = 1$ . Полная индукция в данной точке равна:

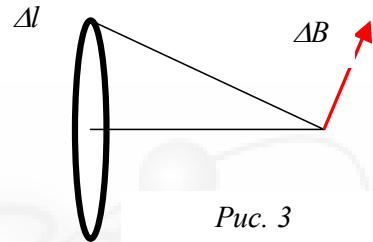


Рис. 3

$$B = \sum \Delta B = \sum \frac{\mu_0 I \Delta l}{4\pi (R^2 + x^2)} \frac{R}{\sqrt{R^2 + x^2}} = \frac{\mu_0 I R}{4\pi (R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \sum \Delta l = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (3),$$

где  $R$  – радиус витка.

Для выполнения заданий этой части работы нанесем на картонную полоску деления с шагом 1 см, для того, чтобы при проведении эксперимента удобно отмечать длину окружности. Скрепляем полоску скрепками, наматываем один виток провода, помещаем внутри витка компас таким образом, чтобы ось стрелки располагалась в центре витка. В качестве подставки под компас можно использовать пустую картонную коробку. Исследуем зависимость индукции магнитного поля витка от силы тока. Для этого расположим виток с компасом так, чтобы стрелка компаса располагалась в плоскости витка. Тогда при замыкании цепи она будет отклоняться в соответствии с условием (1).

2.2. Зависимость  $\tan \alpha$  от силы тока по нашим данным (длина окружности витка  $L = 30$  см, намотан один виток) приведена в таблице 3 и на графике 3.

Таблица 3.

$I, A$	1,5	1,35	1,1	0,9	0,7	0,55	0,4
$\alpha^\circ$	53	50	45	40	35	30	25
$\tan \alpha$	1,32	1,2	1,0	0.84	0.7	0,58	0,47

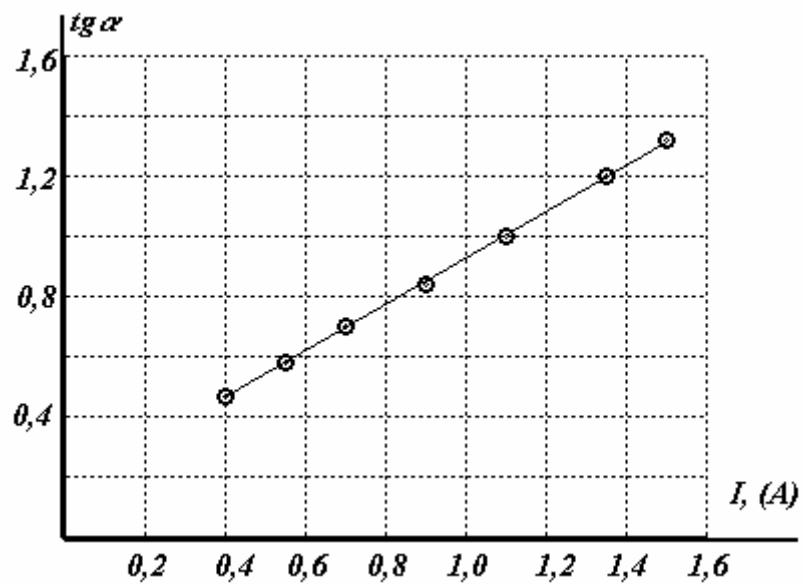


График 3.

Как видно из графика эта зависимость линейна.

2.3. Зависимость индукции магнитного поля от радиуса витка снималась при силе тока  $I = 1,1 \text{ A}$  и одном витке намотки.

Полученные данные приведены в таблице 4 и на графике 4. В таблице  $L$  – длина окружности витка,  $R$  – радиус витка.

Таблица 4

$L, \text{см}$	$R, \text{см}$	$1/R, \text{см}^{-1}$	$\alpha^\circ$	$\text{tg} \alpha$
30	4,74	0,21	45	1,
28	4,45	0,22	50	1,19
27	4,3	0,23	55	1,42
26	4,1	0,24	55	1,42
24	3,8	0,26	55	1,42
22	3,5	0,28	60	1,73
20	3,2	0,31	60	1,73
18	2,8	0,35	60	1,73

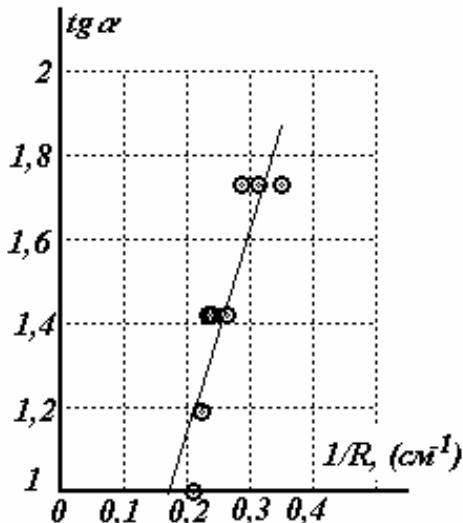


График 4.

Полученные данные не позволяют сделать однозначный вывод. Видно, что с увеличением радиуса витка индукция магнитного поля уменьшается, но используемые приборы имеют слишком малую чувствительность, а длина полоски слишком мала, чтобы можно было значительно изменять радиус витка для получения более достоверных результатов.

2.4 Методика проведения исследований зависимости индукции поля кругового тока от расстояния до витка остается прежней. Изготовив виток с длиной окружности  $L = 18$  см, при силе тока  $I = 1,5$  А, мы получили значения, приведенные в таблице 5 и на графике 5. В данной таблице  $X$  – смещение оси стрелки от оси витка,  $R$  – радиус витка,  $r$  – расстояние от элемента тока до данной точки поля ( $r = \sqrt{R^2 + X^2}$ ).

Таблица 5.

$X, \text{см}$	$r, \text{см}$	$r^{-3} \cdot 10^{-3} (\text{см}^{-3})$	$\alpha^\circ$	$\operatorname{tg} \alpha$
0	23	42	70	2,74
1,0	28	36	65	2,14
2,5	55	18	60	1,73
3,5	92	11	55	1,43
4,0	119	8,4	45	1,0
4,5	152	6,6	40	0,84
5,0	191	5,1	35	0,7
7,0	432	2,3	30	0,577
9,0	842	1,2	25	0,466

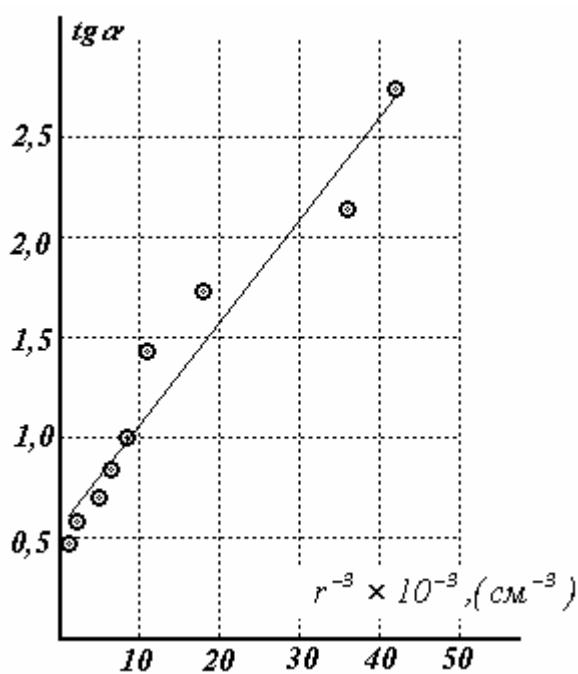


График 5.

Приведенные данные подтверждают вывод о справедливости закона Био-Савара-Лапласа для кругового тока.

3. Третий пункт задания “Измерить горизонтальную составляющую магнитного поля Земли” может выполняться отдельно, но можно воспользоваться результатами опыта 2.1.

Из уравнения (1) следует, что

$$B_3 = \frac{B_m}{\text{tg } \alpha}, \text{ где } B_m \text{ – индукция магнитного поля витка с током, значение которой определено в уравнении (2) условия задания.}$$

По нашим данным

$$B_3 = (1,25 \pm 0,12) \cdot 10^{-5} \text{ Тл.}$$

## 30. Измерение индукции магнитного поля Земли

### Задание.

Измерить индукцию магнитного поля Земли в месте наблюдения.

### Оборудование:

катушка провода на рамке (от прибора вращение рамки в магнитном поле), гальванометр М - 1003 (зеркальный), компас.

### **Выполнение работы.**

Для измерения индукции магнитного поля Земли используем явление электромагнитной индукции. Если контур площадью  $S$  перпендикулярен вектору магнитной индукции  $B$ , то магнитный поток через контур  $\Phi = BS$ .

При повороте рамки на  $180^\circ$  магнитный поток изменится на  $\Delta\Phi = 2BS$ . Изменение магнитного потока через контур по закону электромагнитной индукции ведет к возникновению ЭДС индукции

$$\varepsilon = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{2BS}{\Delta t} N$$

где  $N$  - число витков в контуре.

Если концы катушки закоротить, в цепи потечет индукционный ток

$$i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{2NBS}{\Delta t R}$$

Умножив на  $\Delta t$ , получим величину заряда, протекшего через катушку. Тогда

$$B = \frac{\Delta q R}{2NS}$$

Заряд  $\Delta q$  измеряем при помощи гальванометра, если его предварительно проградуировать. Градуируем, подключая гальванометр к обкладкам конденсатора известной емкости, заряженного до известного напряжения.

На практике обычно неизвестно расположение вектора магнитной индукции в пространстве. Поэтому измеряется индукция магнитного поля в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Тогда:

$$B = \sqrt{B_\varphi^2 + B_\theta^2}$$

Если не использовать компас, то определяем  $B$  в трех взаимно перпендикулярных на-

правлениях. В таком случае индукция магнитного поля Земли:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + B_3^2}$$

### 31. Измерение индукции магнитного поля постоянного магнита.

**Приборы и материалы.** Источник тока ЛИП90, реостат ползунковый РПШ2, микроамперметр М91, вольтметр лабораторный, конденсатор из набора для практикума 2-4 мкФ, 42 В, переключатель двухполюсный, магнит полосовой, моток катушки, соединительные провода 9 шт.

#### Выполнение работы.

Если постоянный полосовой магнит выдергивать из катушки, то через катушку, подключенную к гальванометру протечет заряд  $\Delta q = B\pi \frac{d^2}{4} N$ , где  $\Delta q$  – величина заряда,  $B$  – индукция магнитного поля магнита,  $d$  – диаметр катушки,  $N$  – число витков в катушке.

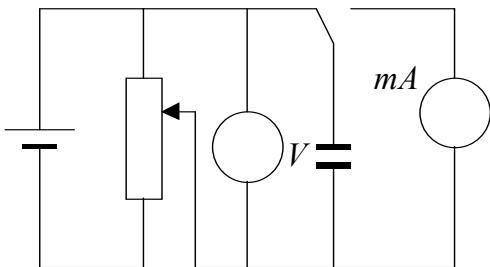


Рис. 1

Для проведения работы необходимо проградуировать гальванометр в единицах заряда. В качестве баллистического гальванометра в работе используется микроамперметр М91.

Для градуировки гальванометра собираем цепь, показанную на рис 1.

Меняя напряжение на обкладках конденсатора, получаем значения силы тока разрядки конденсатора через микроамперметр.

Зная величину напряжения на конденсаторе и его электрическую емкость, получаем соответствие величины отброса стрелки прибора величине заряда, запасенного конденсатором.

По полученным данным строим градуировочную кривую, затем по градуировочной кривой отмечаем величину заряда, прошедшего через микроамперметр при выдергивании магнита.

## 32. Магнитная сила.

Сила, с которой магнит притягивает железный предмет, зависит от расстояния между предметом и магнитом, намагниченности магнита и других параметров.

**Задание 1.** Измерьте максимальную силу взаимодействия магнита и железного шарика.

**Задание 2.** Исследуйте, каким образом сила магнитного взаимодействия (притяжение железного шарика к магниту) зависит от местоположения этого шарика на магните.

**Задание 2.** Исследуйте, как сила магнитного притяжения зависит от расстояния между магнитом и шариком.

**Задание 4.** Можно приближенно считать, что  $F = A \cdot X^\gamma$ . Определите показатель степени  $\gamma$ .

*Оборудование.* Штатив лабораторный с двумя муфтами и лапками, линейка ученическая ( $L = 40$  см), железный шарик на нити, магнит полосовой, весы с разновесом (одни на класс), штангенциркуль (один на класс), лист бумаги из ученической тетради, бумага миллиметровая.

### Выполнение работы.

Для определения силы взаимодействия магнита и шарика, необходимо измерять силу взаимодействия. Поскольку динамометр в данном случае недостаточно чувствителен, воспользуемся условием равновесия тела под действием трех сил. Подвесив шарик на нити, поднесем к нему магнит, и будем отводить в сторону, добиваясь того, чтобы направление силы было горизонтальным. Нить подвеса отклонится на какой-то угол. В момент отрыва шарика от магнита условие равновесия запишется  $\sum \vec{F} = 0$ . Решив это уравнение, получим  $F_{магн} = mg \cdot \operatorname{tga}$ .

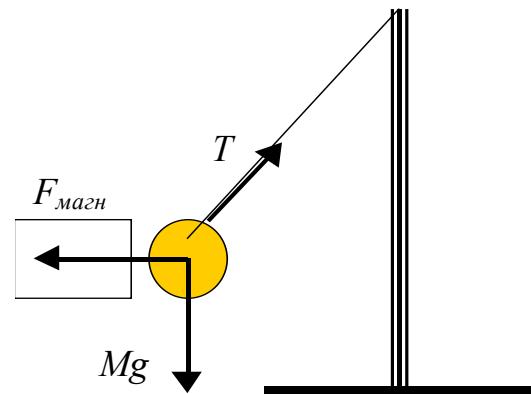


Рисунок 1

**Задание 1.** В нашем случае масса шарика составляла  $(63,5 \pm 0,5)$  г, а максимальная сила взаимодействия магнита и шарика (проявлялась на торце магнита):  $F_{магн} = (1,46 \pm 0,07)$  Н;  $\varepsilon = 5\%$ . Естественно, что для разных магнитов эта сила различна.

**Задание 2.** Разделим при помощи линейки магнит на части по 1 см (на узкой грани магнита). Затем измерим, при каких значениях угла шарик отрывается от магнита в разных точках. По полученным данным строим график зависимости силы магнитного взаимодействия от расстояния до края магнита. (График 1, таблица 1).

Таблица 1

$L$ , см	0	1	2	3	4	5	6	7
$X$ , см	10	9,5	9	8,5	7,5	6	5	3
$tga$	0,73	0,67	0,62	0,58	0,49	0,38	0,3	0,18

$L$  – расстояние от точки нахождения шарика на магните, до торца магнита,  $X$  – отклонение шарика от нулевого уровня линейки до точки отрыва,  $\operatorname{tg} \alpha$  – угол, который составляет нить с вертикалью.

**Примечание.** Поскольку сила  $F_{\text{магн}} = mg \operatorname{tg} \alpha$ , то для получения вида зависимости  $F(L)$  достаточно построить график  $\operatorname{tg} \alpha$  ( $L$ )

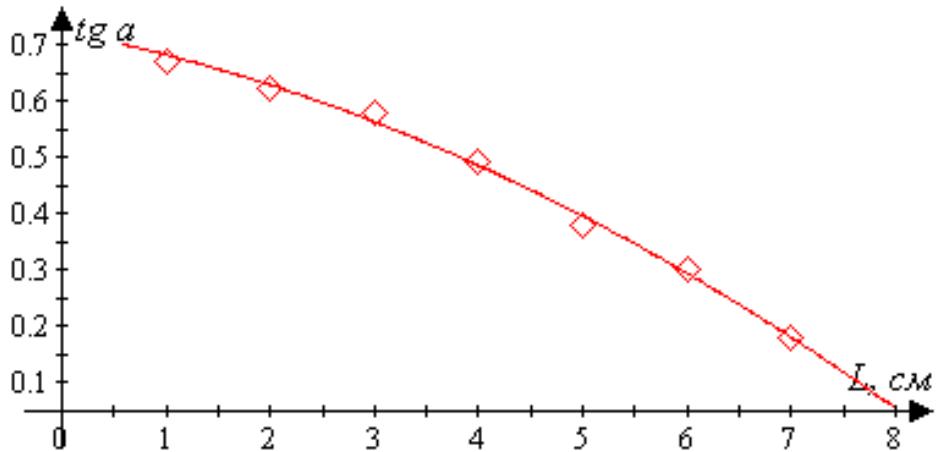


График 1

График функции напоминает параболу. В таком случае график функции  $F_{\text{магн}} = k(L^2)$  должен представлять собой прямую, где  $k$  равняется тангенсу угла наклона прямой к оси абсцисс. Результаты представлены на графике 2.

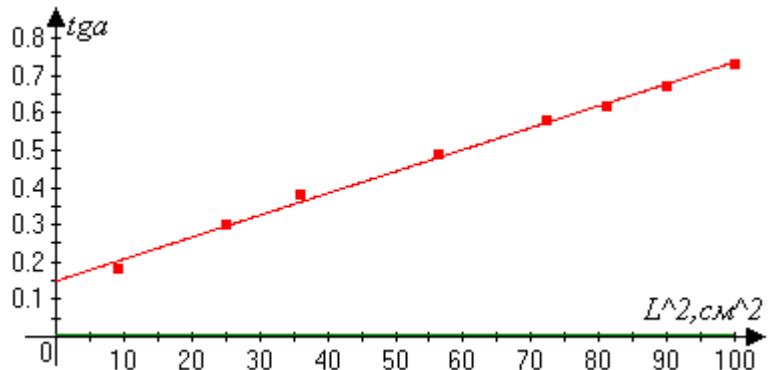


График 2

Из анализа графика вытекает, что  $k = 0,006$ . Таким образом, сила магнитного взаимодействия распределяется вдоль магнита по закону:  $F_{\text{магн}} = 6 \cdot 10^{-2} L^2$

### Задание 3.

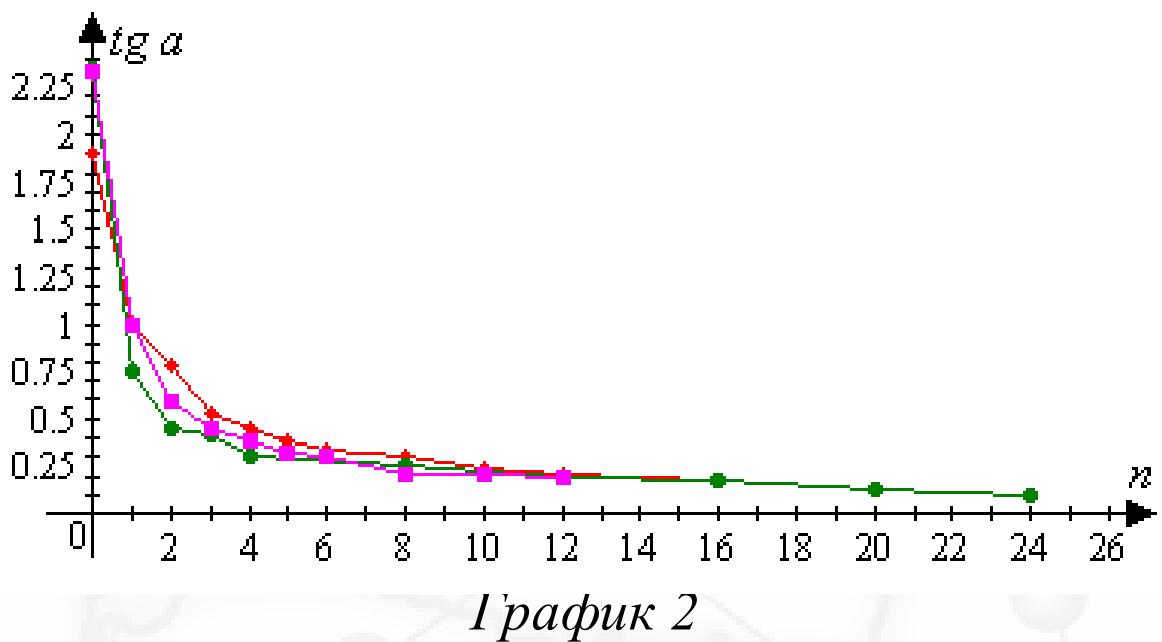
Для измерения зависимости силы магнитного взаимодействия от расстояния до магнита необходимо достаточно точно выставлять расстояние между шариком и магнитом. С этой целью будем прокладывать между магнитом и шариком листы бумаги. (Толщина одного листа  $7,5 \cdot 10^{-2}$  мм) и, воспользовавшись прежним методом, определим магнитную силу. Зависимость силы взаимодействия шарика и магнита от расстояния между шариком и магнитом приведена на графике 2 и в таблице 2.

(Значение силы измерялось при разных длинах нити (49 см, 30 см, 17 см).)

Таблица 2

$N$	0	1	2	3	4	5	6	8	10	12	16	20	24
$tga$	2,34	1	0,59	0,45	0,39	0,32	0,3	0,2	0,2	0,2			
$tga$	2,35	0, 75	0,45	0,42	0,33			0,25		0,2	0,1 8	0,1 2	0,1
$tga$	1,9	1	0,78	0,53	0,45	0,38	0,34	0,31	0,24	0,21	0,1 8	0,1 2	

В данной таблице  $N$  – число листов бумаги между магнитом и шариком.



Полученный график, дает основание предположить правильность нашего предварительного заключения ( $F = A X^\gamma$ ). Для проверки предположения построим график зависимости  $\ln F = \ln (A X^\gamma)$  Результаты занесем в таблицу 3 и построим график 3.

Таблица 3

$N$	1	2	3	4	5	6	8	10	12	16	20	24
$\ln N$	0	0,7	1,1	1,39	1,61	1,8	2,1	2,3	2,5	2,77	2,99	3,18
$\ln tga$	0	0,53	0,8	0,94	1,14	1,2	1,6					
$\ln tga$	0,3	0,8	0,87	1,1			1,39		1,6	1,7	2,1	2,3
$\ln tga$	0	0,25	0,63	0,8	1	1,1	1,17	1,43	1,56	1,7	2,1	

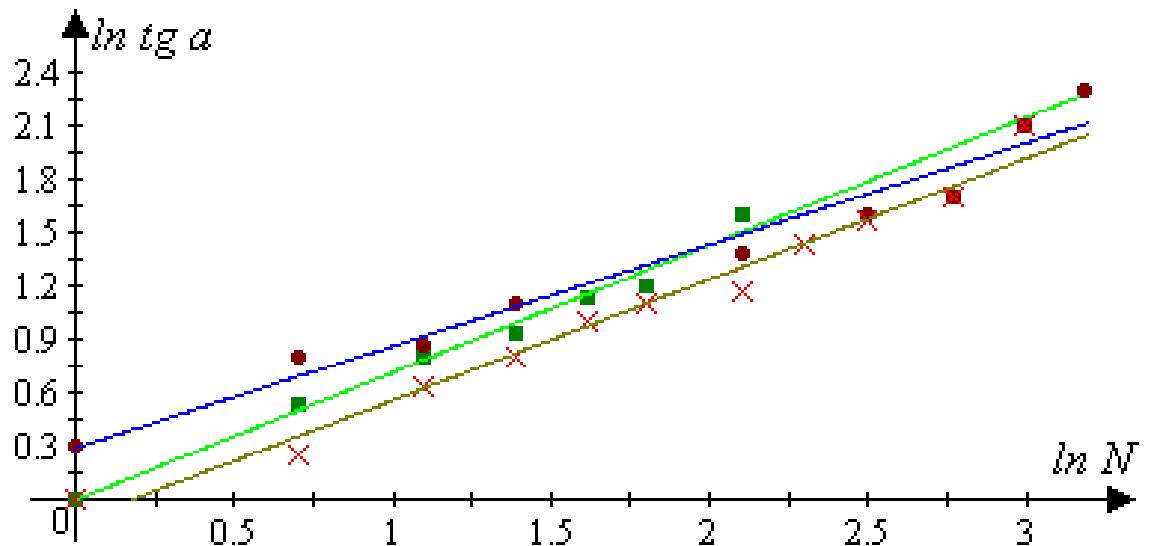


График 3

Для всех случаев мы получили линейную зависимость (зеленый цвет  $L_1 = 49$  см, синий  $L_2 = 30$  см, красный  $L_3 = 17$  см). Причем тангенс угла наклона графиков  $\operatorname{tg} \alpha_1 = 0,69$ ,  $\operatorname{tg} \alpha_2 = 0,58$ ,  $\operatorname{tg} \alpha_3 = 0,68$ . Таким образом, показатель степени  $\gamma = 0,65$ . Следовательно, магнитная сила магнита убывает с расстоянием по закону  $F = A \cdot X^{0,65}$ , где  $A$  - некий постоянный коэффициент.

### 33. Определение КПД солнечной батареи.

**Задание.** Определите КПД солнечной батареи, используя сведения о мощности потока солнечного излучения.

**Оборудование.** Батарея солнечная кремниевая БСК-1, миллиамперметр на 200 мА, вольтметр (1,5/15 В), магазин сопротивлений, транспортир, линейка (30 см).

#### Выполнение работы.

Для преобразования энергии светового излучения в энергию электрического тока широко применяются полупроводниковые фотоэлементы.

Полупроводниковый фотоэлемент имеет следующее устройство. В плоском кристалле кремния или другого полупроводника с дырочной проводимостью создается тонкий слой с электронной проводимостью. На границе раздела этих слоев возникает р-п- переход. При освещении полупроводникового кристалла в результате поглощения света происходит изменение распределения электронов и дырок по энергиям; количество свободных электронов и дырок в полупроводнике увеличивается. Этот процесс называется внутренним фотоэффектом.

Когда электрон и дырка в дырочном полупроводнике приближаются к р-п- переходу, то действием его контактного электрического поля электрон перебрасывается в электронный полупроводник, а дырка отбрасывается в слой дырочного полупроводника. В результате такого разделения пар дырка-электрон слой электронного полупроводника приобретает заряд отрицательного знака, а слой дырочного полупроводника – заряд положительного знака. При соединении этих слоев проводником в цепи возникает электрический ток, причем сила пропорциональна мощности светового потока, падающего на фотоэлемент. Солнечная батарея представляет собой систему соединенных последовательно и параллельно кремниевых полупроводниковых фотоэлементов. Такие батареи применяются на космических станциях и в электромобилях.

КПД любого преобразователя одного вида энергии в другой называют отношение полученной (полезной) энергии к энергии, затраченной на ее получение. КПД солнечной батареи определяется отношением мощности электрического тока  $P_T$  во внешней цепи к мощности излучения  $P_C$ , вызвавшего появление фототока:

$$\eta = \frac{P_T}{P_C}$$

*Мощность электрического тока  $P_T$  на выходе батареи можно узнать, подключив к клеммам батареи магазин сопротивлений последовательно с миллиамперметром, а параллельно им вольтметр, показывающий напряжение  $U$  на внешнем участке цепи.*

*Тогда  $P_T = IU$ .*

Плотность потока солнечного излучения на границе земной атмосферы называется солнечной постоянной; она равна  $\gamma = 1373 \text{ Вт/м}^2$ . Плотность потока солнечного излучения у поверхности Земли меньше так, как часть светового потока отражается атмосферой, а часть поглощается в ней. Отражение и поглощение солнечного излучения существенно зависят от наличия облаков, пыли, дыма. Кроме того, они зависят еще и толщины слоя атмосферы. Чем ниже Солнце над горизонтом, тем больший толщины слой атмосферы встречается на пути его излучения.

Мощность солнечного излучения можно измерить, зная плотность потока излучения в данное время в данном месте. Для этого измеряем площадь поверхности фотоэлементов батареи. В таком случае  $P_C = \gamma S$ .

При отсутствии облаков, пыли и дыма в атмосфере плотность потока солнечного излучения у поверхности Земли на уровне моря имеет зависимости от высоты Солнца над горизонтом примерно те значения, которые приведены в таблице.

$h$ , град	5	10	15	20	30	40	50	60
$\gamma$ , Вт/м <sup>2</sup>	270	450	570	660	770	840	890	910

## 34. Ток в жидкостях

Исследуйте протекание тока через раствор электролита.

**Задание 1.** Исследуйте зависимость величины тока в тонкой трубке от приложенного напряжения.

**Задание 2.** Исследуйте зависимость величины тока в трубке от длины столба жидкости между электродами.

**Оборудование.** Источник тока ЛИП 90, вольтметр лабораторный, миллиамперметр лабораторный, реостат (6 Ом), трубка, раствор соли, линейка ученическая, шприц одноразовый, соединительные провода (7 шт), бумага миллиметровая.

### Выполнение работы.

Для проведения исследований собираем цепь, показанную на рисунке. Реостат включаем по схеме потенциометра. Это позволяет изменять напряжение на трубке.

Зависимость  $I(U)$  (Длина столба жидкости 5 см)

*Результаты приведены в таблице 1 и на графике 1*

$U, В$	0,2	0,6	1	1,4	1,8	2	2,2	2,6	2,8
$I, мА$	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,85	1	1,1	1,2

Длина столба жидкости 3 см

$U$	0,4	0,8	1	1,4	1,8	2,2	2,6	2,8	
$I$	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,5	1,8	2	

Длина столба жидкости 2 см.

$U$	0,2	0,6	1	1,4	1,8	2,2	2,6	2,8	
$I$	0,4	0,7	1,2	1,5	2	2,4	2,8	3	

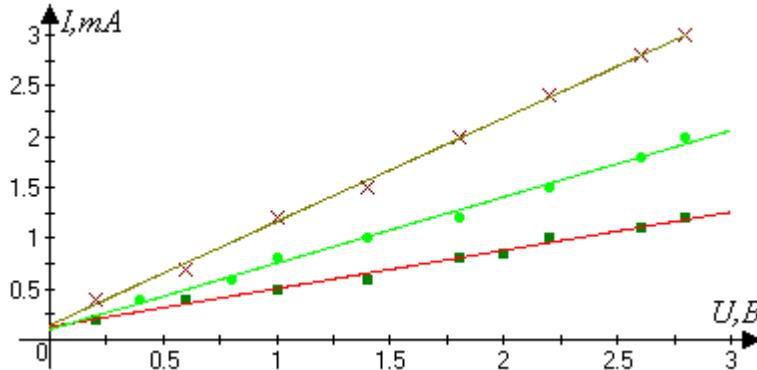


График 1

Зависимость  $I(L)$ , где  $L$  – длина столба жидкости (при постоянном напряжении 3 В)

Результаты в таблице 2 и на графике 2

$L, см$	6,2	5,0	4,6	4,2	3,5	3	2,5	2,4	2,3
$I, мА$	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6
$L, см$	2,2	2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2	0,6	0,4
$I, мА$	3	3,2	3,4	3,6	4	4,4	5	10	14

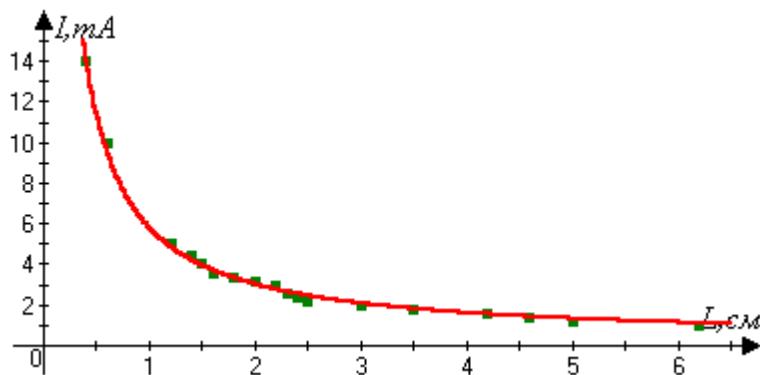


График 2

Данная зависимость напоминает гиперболу, поэтому построим график зависимости  $I = f(1/L)$ . Если полученная зависимость будет линейной, то сила тока в трубке обратно пропорциональна расстоянию между электродами, что согласуется с теоретическими положениями.

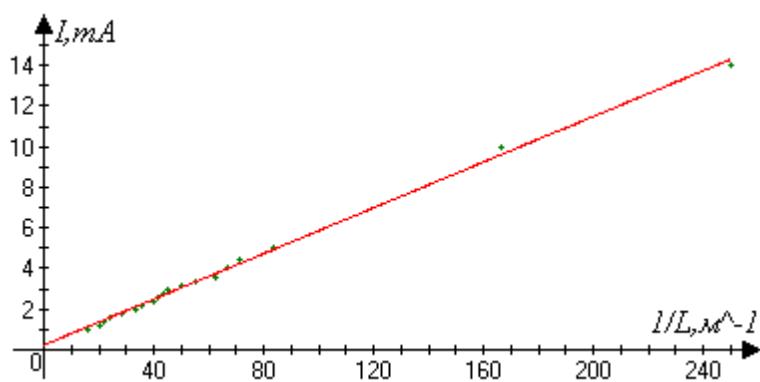


График 3.