

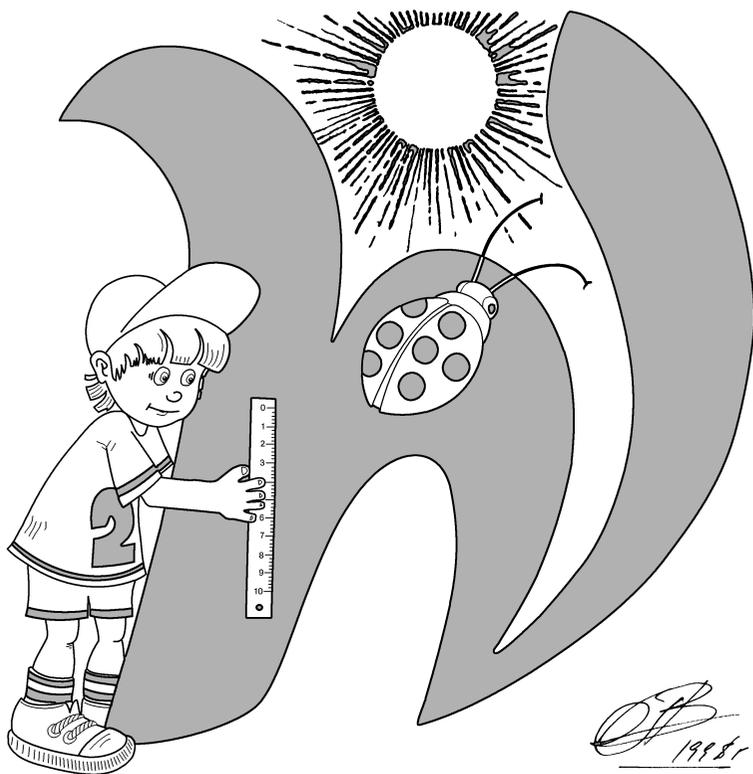
Методическая комиссия по физике  
при центральном оргкомитете  
Всероссийских олимпиад школьников

# XLV Всероссийская олимпиада школьников по физике

Региональный этап

Экспериментальный тур

Методическое пособие



МФТИ, 2010/2011 уч.г.

Комплект задач подготовлен методической комиссией по физике при центральном оргкомитете Всероссийских олимпиад школьников  
Телефоны: (495) 408-80-77, 408-86-95.  
E-mail: [physolymp@gmail.com](mailto:physolymp@gmail.com)

## Авторы задач

### 9 класс

1. Горностаев Д.
2. Дорошенко А.

### 10 класс

1. Горностаев Д.
2. Тузенко Л.,  
Тузенко Н.

### 11 класс

1. Тузенко Л.,  
Тузенко Н.
2. Антоненко Д.,  
Хмельёв А.,  
Логинс А.

Общая редакция — Слободянин В.

Оформление и вёрстка — Старков Г.

При подготовке оригинал-макета использовалась издательская система  $\text{\LaTeX}$  2<sub>ε</sub>.

© Авторский коллектив

Подписано в печать 29 ноября 2010 г. в 17:34.

141700, Московская область, г. Долгопрудный  
Московский физико-технический институт

## 9 класс

## Задача 1. Скатывание теннисного шарика I

В данной задаче вам предстоит изучить скатывание теннисного шарика с наклонного уголка. Известно, что время скатывания теннисного шарика с вершины наклонного уголка (рис. 1) определяется формулой:

$$t = A \cdot (\sin \alpha)^{n/2},$$

где  $A$  — постоянная установки, а  $n \in \{-2, -1, 0, 1, 2\}$ .

Определите значения величин  $A$  и  $n$ . Для этого соберите установку из бруска, положенного на стол, и опирающегося на него уголка.

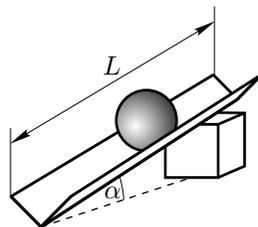


Рис. 1

1. Измерьте время скатывания шарика с вершины жёлоба для каждого значения  $\sin \alpha$  несколько раз (не меньше 7). Данные занесите в таблицу 1.

Таблица 1

$\sin \alpha$	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$t_3, \text{ с}$	$t_4, \text{ с}$	$t_5, \text{ с}$	$t_6, \text{ с}$	$t_7, \text{ с}$	$t_{\text{средн}}, \text{ с}$
0,1								
0,2								
0,3								
0,4								
0,5								

- Усредните результат. Данные занесите в таблицу 1.
- Подберите такое  $n$ , чтобы зависимость  $t_{\text{средн}}$  от  $(\sin \alpha)^{n/2}$  была наиболее близка к линейной.
- Постройте график этой зависимости на миллиметровой бумаге.
- Определите из графика значение постоянной  $A$ .
- Для каждой серии опытов с соответствующим  $\sin \alpha$  вычислите ускорение  $a$  шарика.
- Постройте график зависимости ускорения  $a$  от  $\alpha$  в таких координатах, в которых эта зависимость линейна.

**Оборудование.** Уголок длиной  $L = 50$  см, теннисный шарик, секундомер, линейка, брусок  $5 \text{ см} \times 10 \text{ см} \times 20 \text{ см}$ , 2 листа миллиметровой бумаги.

**Рекомендации организаторам.**

Уголки (деревянные) для эксперимента можно купить на строительном рынке. Их необходимо обрезать до заданной длины  $L = 50$  см.

## 9 класс

### Задача 2. Сопротивление графита

Используя предложенное вам оборудование, определите удельное сопротивление  $\rho$  графита (грифеля карандаша).

**Оборудование.** Грифель от карандаша, вольтметр, резистор с известным сопротивлением  $R \approx 10$  Ом (точное значение указано на установке), батарейка АА, соединительные провода, миллиметровая бумага, двусторонний скотч (выдаётся по требованию).

#### **Рекомендации организаторам.**

Сопротивление резистора укажите на установке. Концы соединительных проводов следует зачистить так, чтобы оголённая часть провода составляла в длину 2–3 см. Вольтметр должен иметь предел измерения 1,5–2,0 В. К полюсам батарейки следует припаять провода, или купить специальные крепления для батареек.

10 класс

**Задача 1. Скатывание теннисного шарика II**

В данной задаче вам предстоит изучить скатывание теннисного шарика с наклонного уголка. Известно, что время скатывания теннисного шарика с вершины наклонного уголка (рис. 2) определяется формулой:

$$t = A \cdot (\sin \alpha)^{n/2},$$

где  $n \in \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ , а  $A$  — постоянная установки.

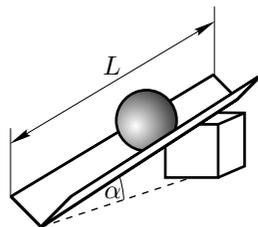


Рис. 2

Определите значения величин  $A$  и  $n$ . Для этого соберите установку из бруска, положенного на стол, и опирающегося на него уголка.

1. Измерьте время скатывания шарика с вершины жёлоба для каждого значения  $\sin \alpha$  несколько раз (не меньше 7). Данные занесите в таблицу 1.

Таблица 2

$\sin \alpha$	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$t_3, \text{ с}$	$t_4, \text{ с}$	$t_5, \text{ с}$	$t_6, \text{ с}$	$t_7, \text{ с}$	$t_{\text{средн}}, \text{ с}$
0,1								
0,2								
0,3								
0,4								
0,5								

- Усредните результат. Данные занесите в таблицу 2.
- Подберите такое  $n$ , чтобы зависимость  $t_{\text{средн}}$  от  $(\sin \alpha)^{n/2}$  была наиболее близка к линейной.
- Постройте график этой зависимости на миллиметровой бумаге.
- Определите из графика значение постоянной  $A$ .
- Для каждой серии опытов с соответствующим  $\sin \alpha$  вычислите ускорение  $a$  шарика.
- Постройте график зависимости ускорения  $a$  от  $\alpha$  в таких координатах, в которых эта зависимость линейна.

**Оборудование.** Уголок длиной  $L = 50$  см, теннисный шарик, секундомер, линейка, брусок  $5 \text{ см} \times 10 \text{ см} \times 20 \text{ см}$ , 2 листа миллиметровой бумаги.

## 10 класс

### Рекомендации организаторам.

Уголки (деревянные) для эксперимента можно купить на строительном рынке. Их необходимо обрезать до заданной длины  $L = 50$  см.

### Задача 2. Плотность подсолнечного масла

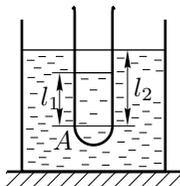


Рис. 3

В данном эксперименте вам предстоит измерить плотность  $\rho_m$  подсолнечного масла. Для этого отметьте на пробирке уровень  $A$ , выше которого площадь поперечного сечения пробирки остаётся постоянной. Примем точку  $A$  за начало отсчёта.

Налейте в пробирку немного воды и поместите её в сосуд с водой (рис. 3). Воды в пробирке должно быть столько, чтобы она плавала вертикально.

Пусть уровень жидкости внутри пробирки, отсчитываемый от точки  $A$  вверх, равен  $l_1$ , а уровень воды в сосуде, отсчитываемый от той же точки  $A$  —  $l_2$ .

1. Постепенно наливая в пробирку воду, снимите зависимость  $l_2$  от  $l_1$ .
2. Постройте на миллиметровой бумаге график данной зависимости.
3. Вылейте из пробирки воду и проведите аналогичные действия для подсолнечного масла.
4. Выведите аналитически зависимость  $l_2$  от  $l_1$  для произвольной жидкости плотностью  $\rho$  в пробирке.
5. Используя экспериментальные данные, вычислите плотность  $\rho_m$  подсолнечного масла.
6. Оцените погрешность полученного вами результата.

*Примечание.* Плотность воды  $\rho_0 = 1000$  кг/м<sup>3</sup>. Плотность подсолнечного масла  $\rho_m$  находится в пределах 850–980 кг/м<sup>3</sup>.

**Оборудование.** Пробирка с наклеенной на внешнюю поверхность миллиметровой бумагой, ёмкость для жидкости, вода, подсолнечное масло, миллиметровая бумага для построения графиков.

### Рекомендации организаторам.

Для проведения эксперимента необходимо обязательно наклеить на каждую пробирку миллиметровую бумагу с помощью скотча так, чтобы вода не подтекала под бумагу. Ёмкость для жидкости нужно подобрать такого размера, чтобы пробирка могла свободно плавать в ней, не приликая к стенкам. Плотность масла предварительно определите стандартным методом (взвесив масло заданного объёма).

## 11 класс

**Задача 1. Плотность подсолнечного масла**

В данном эксперименте вам предстоит измерить плотность  $\rho_m$  подсолнечного масла. Для этого отметьте на пробирке уровень  $A$ , выше которого площадь поперечного сечения пробирки остаётся постоянной. Примем точку  $A$  за начало отсчёта.

Налейте в пробирку немного воды и поместите её в сосуд с водой (рис. 4). Воды в пробирке должно быть столько, чтобы она плавала вертикально.

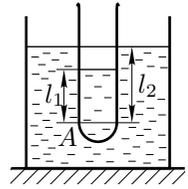


Рис. 4

Пусть уровень жидкости внутри пробирки, отсчитываемый от точки  $A$  вверх, равен  $l_1$ , а уровень воды в сосуде, отсчитываемый от той же точки  $A$  —  $l_2$ .

1. Постепенно наливая в пробирку воду, снимите зависимость  $l_2$  от  $l_1$ .
2. Постройте на миллиметровой бумаге график данной зависимости.
3. Вылейте из пробирки воду и проведите аналогичные действия для подсолнечного масла.

4. Выведите аналитическую зависимость  $l_2$  от  $l_1$  для произвольной жидкости плотностью  $\rho$  в пробирке.

5. Используя экспериментальные данные, вычислите плотность  $\rho_m$  подсолнечного масла.

6. Оцените погрешность полученного вами результата.

*Примечание.* Плотность воды  $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$ . Плотность подсолнечного масла  $\rho_m$  находится в пределах  $850\text{--}980 \text{ кг/м}^3$ .

**Оборудование.** Пробирка с наклеенной на внешнюю поверхность миллиметровой бумагой, ёмкость для жидкости, вода, подсолнечное масло, миллиметровая бумага для построения графиков.

**Рекомендации организаторам.**

Для проведения эксперимента необходимо обязательно наклеить на каждую пробирку миллиметровую бумагу с помощью скотча так, чтобы вода не подтекала под бумагу. Ёмкость для жидкости нужно подобрать такого размера, чтобы пробирка могла свободно плавать в ней, не приликая к стенкам. Плотность масла предварительно определите стандартным методом (взвесив масло заданного объёма).

## 11 класс

### **Задача 2. Удельное сопротивление раствора питьевой соды**

Чистая вода слабо проводит электрический ток. Однако вода хорошо растворяет многие вещества, поэтому в неочищенной воде практически всегда присутствуют примеси, которые распадаются на ионы и увеличивают удельную проводимость раствора. Вам необходимо изучить зависимость удельного сопротивления  $\rho$  раствора от массы растворённой соды.

1. Придумайте схему установки, с помощью которой можно определять  $\rho$ .

2. Измерьте зависимость силы тока в цепи от массы растворённой соды. Результаты занесите в таблицу. Следует измерить не менее восьми точек.

3. Постройте график зависимости  $I(m)$ .

4. Для каждого значения  $m$  определите удельное сопротивление  $\rho$  раствора соды.

5. Постройте график зависимости  $\rho(m)$ .

6. Вам дан образец смеси соды и неизвестного непроводящего вещества. С помощью полученных данных определите массу соды в данном образце и удельное сопротивление раствора для данной массы.

**Оборудование.** Посуда для приготовления раствора, 10 навесков соды известной массы, образец со смесью соды неизвестной массы и непроводящего вещества, трубочка для коктейля, 2 медных провода, батарейка, амперметр, линейка.

### **Рекомендации организаторам.**

Рекомендуемые параметры установки: сосуд на 1,5–1,7 л (например, пластмассовый горшок для цветов), по возможности чистая вода, батарейка пальчиковая, массы навесков соды от 1 до 2 грамм (необязательно одинаковые).

## Возможные решения 9 класс

### Задача 1. Скатывание теннисного шарика I

Дадим краткие пояснения, вытекающие из теоретического решения задачи о скатывании шарика с наклонной плоскости. От участников олимпиады они не требуются.

Из уравнения моментов следует, что ускорение шарика равно:

$$a = B \cdot \sin \alpha, \quad (1)$$

где  $B$  — постоянный коэффициент, зависящий от угла между плоскостями, образующими уголок.

Пусть длина уголка равна  $L$ . Тогда время скатывания найдём из уравнения:

$$L = \frac{at^2}{2}. \quad (2)$$

Из (1) и (2) получим:

$$t = \sqrt{\frac{2L}{B}} \cdot (\sin \alpha)^{-1/2}.$$

Таким образом, график  $t_{\text{средн}} = f(\sin \alpha)$  следует строить в координатах  $t_{\text{средн}}$  от  $(\sin \alpha)^{-1/2}$ .

Коэффициент  $n = -1$ .

Значение постоянной  $A$  зависит от особенностей установки.

#### *Критерии оценивания*

Заполнена таблица 1 .....	4
Для каждого угла произведено усреднение времени скатывания .....	2
Определён коэффициент $n$ .....	2
Построен график $t_{\text{средн}} \sim (\sin \alpha)^{-1/2}$ .....	3
Определено значение постоянной $A$ .....	2
Построен график $a(\alpha)$ .....	2

### Задача 2. Сопротивление графита

Соединим последовательно резистор  $R_0$ , графитовый стержень и батарейку, как показано на рисунке 5. Для включения в цепь стержня намотаем оголённые части проводов на его концы. Пусть сопротивление графитового стержня равно  $R$ .

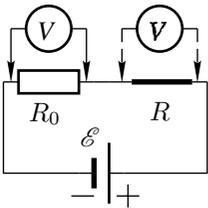


Рис. 5

С помощью вольтметра определяем падение напряжения  $U_0$  на резисторе с известным сопротивлением и напряжение  $U$  на стержне. Сопротивление образца рассчитываем по формуле:

$$R = R_0 \frac{U}{U_0} .$$

С помощью миллиметровой бумаги измеряем длину графитового образца  $l$ . Приклеив на стол двусторонний скотч, кладем на него образец и прокатываем его по липкой ленте. Скотч нужен для того, чтобы грифель не проскальзывал. Сосчитав количество полных оборотов  $N$ , сделанных образцом, и измерив пройденный им путь  $L$ , определяем диаметр стержня:

$$r = \frac{L}{\pi N} .$$

Поскольку сопротивление графитового стержня связано с размерами стержня и с удельным сопротивлением графита формулой:

$$R = \frac{4 \rho l}{\pi D^2} = 4\pi \rho l \left( \frac{N}{L} \right)^2 ,$$

удельное сопротивление графита рассчитываем по формуле:

$$\rho = \frac{R_0 U}{4\pi l U_0} \left( \frac{L}{N} \right)^2 .$$

*Критерии оценивания*

Идея использования графита в качестве резистора .....	1
Схема проведения измерений .....	2
Формула, связывающая величины сопротивлений резисторов .....	2
Найдено сопротивление графитового стержня $R$ .....	2
Измерена длина образца $L$ .....	1
Описан способ определения диаметра $D$ сечения грифеля .....	1
Измерен диаметр $D$ .....	1
Приведена формула для вычисления $\rho$ .....	2
Верное численное значение $\rho$ (отклонение не более 10%) .....	3
численное значение $\rho$ (отклонение не более 25%) .....	2
численное значение $\rho$ (отклонение не более 50%) .....	1

10 класс

**Задача 1. Скатывание теннисного шарика II**

Дадим краткие пояснения, вытекающие из теоретического решения задачи о скатывании шарика с наклонной плоскости. От участников олимпиады они не требуются.

Из уравнения моментов следует, что ускорение шарика равно:

$$a = B \cdot \sin \alpha, \tag{3}$$

где  $B$  — постоянный коэффициент, зависящий от угла между плоскостями, образующими уголок.

Пусть длина уголка равна  $L$ . Тогда время скатывания найдём из уравнения:

$$L = \frac{at^2}{2}. \tag{4}$$

Из (3) и (4) получим:

$$t = \sqrt{\frac{2L}{B}} \cdot (\sin \alpha)^{-1/2}.$$

Таким образом, график  $t_{\text{средн}} = f(\sin \alpha)$  следует строить в координатах  $t_{\text{средн}}$  от  $(\sin \alpha)^{-1/2}$ .

Коэффициент  $n = -1$ .

Значение постоянной  $A$  зависит от особенностей установки.

*Критерии оценивания*

Заполнена таблица 1 .....	4
Для каждого угла произведено усреднение времени скатывания .....	2
Определён коэффициент $n$ .....	2
Построен график $t_{\text{средн}} \sim (\sin \alpha)^{-1/2}$ .....	3
Определено значение постоянной $A$ .....	2
Построен график $a(\alpha)$ .....	2

**Задача 2. Плотность подсолнечного масла**

Рассмотрим пробирку с налитой в неё жидкостью плотности  $\rho$ , плавающую в сосуде с водой. Пусть внутренняя и внешняя площади поперечного сечения равны соответственно  $S_1$  и  $S_2$ . Обозначим за  $V_1$  и  $V_2$  внутренний и внешний объёмы части пробирки, распложенной ниже точки  $A$ , выбранной в качестве начала отсчёта. Запишем условие равновесия пробирки:

$$Mg + \rho(S_1l_1 + V_1)g = \rho_0(V_2 + S_2l_2)g,$$

где  $M$  — масса пустой пробирки.

Отсюда получим:

$$l_2 = \frac{\rho S_1}{\rho_0 S_2} \cdot l_1 + \frac{M + \rho V_1 - \rho_0 V_2}{\rho_0 S_2} = a \cdot l_1 + b, \tag{5}$$

где  $a$  и  $b$  — некоторые константы, не зависящие от  $l_1$  и  $l_2$ .

Нальём в пробирку воду и снимем зависимость  $l_2$  от  $l_1$ . Построим на миллиметровой бумаге соответствующий график. Как видно из формулы (5), эта зависимость линейна. По угловому коэффициенту определяем отношение  $S_1/S_2$ :

$$a_0 = \frac{\rho_0 S_1}{\rho_0 S_2} = \frac{S_1}{S_2}.$$

Повторим эксперимент, заполняя пробирку подсолнечным маслом. Построим график полученной зависимости. По угловому коэффициенту графику вычислим плотность  $\rho_M$  масла:

$$a_M = \frac{\rho_M S_1}{\rho_0 S_2} = a_0 \cdot \frac{\rho_M}{\rho_0}.$$

Окончательно получаем:

$$\rho_M = \frac{a_M}{a_0} \cdot \rho_0.$$

Оценим погрешность найденного значения:

$$\Delta\rho_M = \rho_M \cdot \left( \frac{\Delta a_M}{a_M} + \frac{\Delta a_0}{a_0} \right).$$

Погрешности  $\Delta a_1$  и  $\Delta a_2$  оценим из графиков.

*Критерии оценивания*

Выведена формула (1), связывающая величины  $l_2$  и  $l_1$  ..... 2

Заполнена таблица экспериментальных данных для воды:  
не меньше пяти измерений ..... 2

сделано от двух до пяти измерений .....	1
Построен график зависимости $l_2$ от $l_1$ для воды .....	2
Вычислен коэффициент $a_0$ .....	1
Заполнена таблица экспериментальных данных для масла:	
не меньше пяти измерений .....	2
сделано от двух до пяти измерений .....	1
Построен график зависимости $l_2$ от $l_1$ для масла .....	2
Вычислен коэффициент $a_M$ .....	1
Определена плотность масла	
в пределах 10% от истинного значения .....	2
в пределах 20% от истинного значения .....	1
Разумная оценка погрешности измерения плотности подсолнечного масла ..	1

**11 класс**

**Задача 1. Плотность подсолнечного масла**

Рассмотрим пробирку с налитой в неё жидкостью плотности  $\rho$ , плавающую в сосуде с водой. Пусть внутренняя и внешняя площади поперечного сечения равны соответственно  $S_1$  и  $S_2$ . Обозначим за  $V_1$  и  $V_2$  внутренний и внешний объёмы части пробирки, распложенной ниже точки  $A$ , выбранной в качестве начала отсчёта. Запишем условие равновесия пробирки:

$$Mg + \rho(S_1l_1 + V_1)g = \rho_0(V_2 + S_2l_2)g,$$

где  $M$  — масса пустой пробирки.

Отсюда получим:

$$l_2 = \frac{\rho S_1}{\rho_0 S_2} \cdot l_1 + \frac{M + \rho V_1 - \rho_0 V_2}{\rho_0 S_2} = a \cdot l_1 + b, \quad (6)$$

где  $a$  и  $b$  — некоторые константы, не зависящие от  $l_1$  и  $l_2$ .

Нальём в пробирку воду и снимем зависимость  $l_2$  от  $l_1$ . Построим на миллиметровой бумаге соответствующий график. Как видно из формулы (6), эта зависимость линейна. По угловому коэффициенту определяем отношение  $S_1/S_2$ :

$$a_0 = \frac{\rho_0 S_1}{\rho_0 S_2} = \frac{S_1}{S_2}.$$

Повторим эксперимент, заполняя пробирку подсолнечным маслом. Построим график полученной зависимости. По угловому коэффициенту графику вычислим плотность  $\rho_M$  масла:

$$a_M = \frac{\rho_M S_1}{\rho_0 S_2} = a_0 \cdot \frac{\rho_M}{\rho_0}.$$

Окончательно получаем:

$$\rho_M = \frac{a_M}{a_0} \cdot \rho_0.$$

Оценим погрешность найденного значения:

$$\Delta\rho_M = \rho_M \cdot \left( \frac{\Delta a_M}{a_M} + \frac{\Delta a_0}{a_0} \right).$$

Погрешности  $\Delta a_1$  и  $\Delta a_2$  оценим из графиков.

Критерии оценивания

Выведена формула (1), связывающая величины $l_2$ и $l_1$ .....	2
Заполнена таблица экспериментальных данных для воды:	
не меньше пяти измерений .....	2
сделано от двух до пяти измерений .....	1
Построен график зависимости $l_2$ от $l_1$ для воды .....	2
Вычислен коэффициент $a_0$ .....	1
Заполнена таблица экспериментальных данных для масла:	
не меньше пяти измерений .....	2
сделано от двух до пяти измерений .....	1
Построен график зависимости $l_2$ от $l_1$ для масла .....	2
Вычислен коэффициент $a_M$ .....	1
Определена плотность масла	
в пределах 10% от истинного значения .....	2
в пределах 20% от истинного значения .....	1
Разумная оценка погрешности измерения плотности подсолнечного масла ..	1

**Задача 2. Удельное сопротивление раствора питьевой соды**

При выполнении эксперимента сосуд должен быть заполнен полностью.

1. Измеряем геометрические размеры трубки: длину  $L$  и диаметр  $d$ . Изготавливаем экспериментальную установку, изображённую на (рис. 6).

2. Заполняем сосуд водой и размешиваем первый образец соли известной массы. Измеряем показания амперметра. Повторяем опыт, добавляя к раствору новые порции соли известной массы.

3. Зная напряжение  $U$  батарейки, мы можем рассчитать сопротивление раствора в трубке:

$$R = \frac{U}{I}.$$

Его значение определяется геометрическими размерами трубки, поэтому удельное сопротивление можно рассчитать по формуле:

$$\rho = \frac{\pi d^2 R}{4L} = \frac{\pi d^2 U}{4L I}.$$

Строим необходимые нам графики.

4. Для определения неизвестной массы  $m_1$  и  $\rho(m_1)$  растворяем образец со смесью в чистой воде и считываем показания тока. По графикам определяем искомые величины.

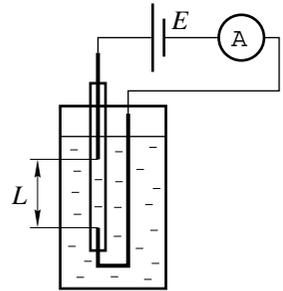


Рис. 6

*Критерии оценивания*

Заполнена таблица с экспериментальными данными (ток от массы) . . . . .	4
Найдена формула, связывающая величины $\rho$ , $U$ , $I$ , $d$ и $L$ . . . . .	2
Измерен диаметр проволоки . . . . .	1
Определено расстояние между электродами . . . . .	1
Построен график зависимости $I(m)$ . . . . .	2
Построен график зависимости $\rho(m)$ . . . . .	3
Определена неизвестная масса . . . . .	1
Найдено удельное сопротивление при неизвестной массе . . . . .	1