

Задание 9.1. Плотность провода III

Вам выдан образец одножильного провода длиной $L = 600$ мм. На половине его длины изоляция удалена. Определите массу, объём и плотность (m_m , V_m , ρ_m) металла, а также массу, объём и плотность (m_i , V_i , ρ_i) изоляции провода.



В процессе решения поставленной задачи используйте провод в качестве рычага и исследуйте зависимость какой-либо длины на рычаге в положении равновесия от массы размещённого на нём груза. Постройте график полученной зависимости в координатах, в которых эта зависимость является линейной. Погрешность оценивать не требуется.

Примечание 1. Длина окружности $X = \pi D$, где D – диаметр этой окружности. Площадь круга $S = \pi D^2/4$; $\pi = 3,14$.

Примечание 2. Изгибать провод запрещено!

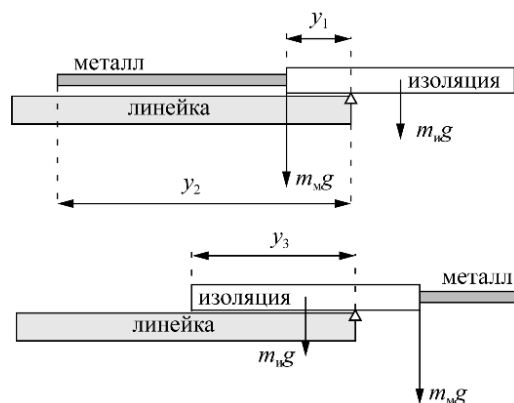
Примечание 3. Снимать изоляцию с проволоки категорически запрещено.

Оборудование: образец провода длиной $L = 600$ мм, линейка 40 см, 2 шприца объёмом 5 мл, и 1 мл; стакан с водой, гибкая трубка, нитка, салфетка, миллиметровая бумага для построения графика.

Указание организаторам: Лучше всего подойдёт медный одножильный провод сечением $2,5 \text{ мм}^2$ в изоляции. Каждому участнику необходимо выдать один **прямой** отрезок провода длиной 600 мм, с половины которого снята изоляция. Длина нитки 20 – 25 см. Провод в изоляции должен вставляться в прозрачную трубку, а трубка надеваться на подыгольный конус шприца. Длина трубки на несколько сантиметров больше половины длины провода, т.е. 33 – 35 см.

Решение. В данном решении использовался медный провод сечением $2,5 \text{ мм}^2$.

1. Определим отношение $\alpha = m_M/m_I$. Для повышения точности сделаем это трижды. Расположим центр тяжести системы провод - изоляция на краю линейки при двух положениях провода и измерим три различных расстояния y_1, y_2, y_3 (рис.1).



Ниже записано правило моментов для каждого измерения, приведены экспериментальные значения y_1, y_2 , и y_3 , вычислены значения $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ и среднее значение $\alpha = 5,83$.

$$m_M y_1 = m_I \left(\frac{L}{4} - y_1 \right); \quad \alpha_1 = \frac{m_M}{m_I} = \frac{L}{4y_1} - 1; \quad y_1 = 22 \text{ мм}; \quad \alpha_1 = 5,82$$

$$m_M \left(y_2 - \frac{L}{2} \right) = m_I \left(\frac{3L}{4} - y_2 \right); \quad \alpha_2 = \frac{m_M}{m_I} = \frac{\frac{3}{4}L - y_2}{y_2 - \frac{L}{2}}; \quad y_2 = 323 \text{ мм}; \quad \alpha_2 = 5,52$$

$$m_M \left(\frac{L}{2} - y_3 \right) = m_I \left(y_3 - \frac{L}{4} \right); \quad \alpha_3 = \frac{m_M}{m_I} = \frac{\left(y_3 - \frac{L}{4} \right)}{\left(\frac{L}{2} - y_3 \right)}; \quad y_3 = 279 \text{ мм}; \quad \alpha_3 = 6,14$$

$$\alpha_{\text{ср}} = 5,83 \quad (1)$$

2. На край изоляции провода повесим шприц (рис.2).

Массу пустого шприца обозначим m_0 . Установим зависимость длины изоляции X , расположенной левее центра тяжести системы, от массы воды m_B в шприце. Данные запишем в таблицу.

Табл.1

№	m_B , г	X , мм	Z
1	0	80	0,68
2	1	92	0,72
3	2	100	0,75
4	3	110	0,79
5	4	119	0,83
6	5	127	0,87

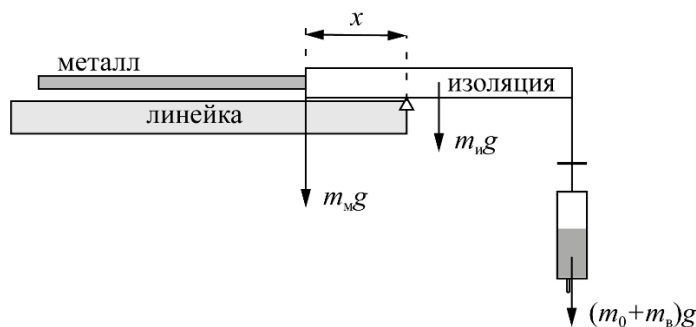


Рис.2

Уравнение моментов для системы провод-шприц

$$m_M X = m_I \left(\frac{L}{4} - X \right) + m_0 \left(\frac{L}{2} - X \right) + m_B \left(\frac{L}{2} - X \right) \quad \text{или} \quad \frac{4X}{L} = \frac{m_I + 2m_0 + 2m_B}{m_M + m_I + m_0 + m_B}. \quad (2)$$

Как видно, зависимость $X(m_B)$ нелинейная. Линеаризуем её. Вычтем 2 из обеих частей уравнения (2), приведём правую часть к общему знаменателю, поменяем знак и приравняем обратные величины получившихся выражений:

$$\frac{1}{2 - \frac{4X}{L}} = \frac{m_M + m_{II} + m_0}{2m_M + m_{II}} + \frac{1}{2m_M + m_{II}} m_B \quad (3)$$

Левая часть равенства (3) является линейной функцией m_B . Введём обозначение

$$Z = \frac{1}{2 - \frac{4X}{L}}$$

и занесём значения Z в таблицу. График зависимости $Z(m_B)$ представлен на рис.3.

С учётом (1) и (3) по наклону прямой находим $m_{II} = 2,14$ г, $m_M = 12,44$ г.

Непосредственное взвешивание разделённых частей провода даёт значения

$$m_{II} = 2,09 \text{ г}, m_M = 12,57 \text{ г}.$$

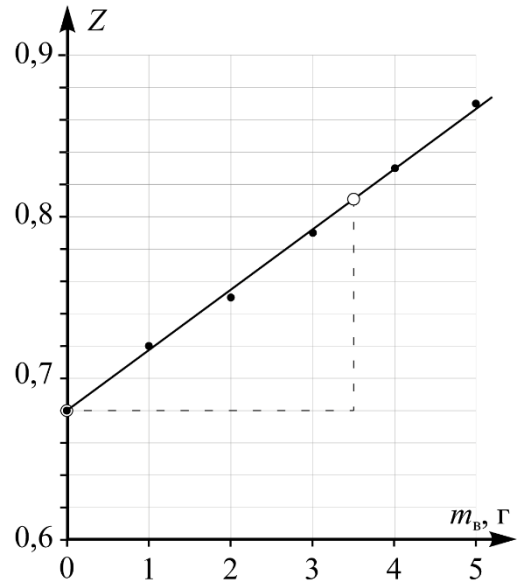


Рис.3

3. Одним из возможных способов измерения диаметра металлической части провода и внешнего диаметра изоляции является прокатывание по линейке. Однако, учитывая длину провода и наличие только одной линейки, реализовать прокатывание с достаточным количеством оборотов (не менее 10) без проскальзывания весьма затруднительно. Тем не менее, использование этого способа при тщательном проведении эксперимента может дать приемлемые результаты, и его тоже следует засчитывать при оценивании работы.

Предлагается измерять объём провода без изоляции и в изоляции путём измерения (при помощи шприца) объёма воды, которая заполняет гибкую трубку с проводом и без провода. В этом случае вычисления диаметров металлической части и изоляции не требуется. Для повышения точности измерений следует использовать инсулиновый шприц объёмом 1 мл.

В табл.2 приведены результаты соответствующих измерений с использованием следующих обозначений:

V_T – объём воды в пустой трубке

V_{TM} – объём воды в трубке с металлической частью провода длиной $L/2$

V_M – объём металла в проводе длиной L

V_{TI} – объём воды в трубке с проводом в изоляции длиной $L/2$

$V_{и вн}$ – внешний объём изоляции

$V_{и}$ – объём изоляции (внешний объём минус объём металла внутри).

LIV Всероссийская олимпиада школьников по физике
Региональный этап. Экспериментальный тур. 25 января 2020 г.

Табл.2

$V_T, \text{см}^3$	$V_{TM}, \text{см}^3$	$V_M, \text{см}^3$	$V_{TI}, \text{см}^3$	$V_{и\text{ вн}}, \text{см}^3$	$V_{и}, \text{см}^3$
2,65	1,92	1,46	0,37	2,28	1,55

Вычисляем плотности:

$$\rho_M = \frac{m_M}{V_M} = \frac{12,44}{1,46} = 8,52 \text{ г/см}^3, \text{ что на 4\% отличается от табличной плотности меди,}$$

$$\rho_{и} = \frac{m_{и}}{V_{и}} = \frac{2,14}{1,55} = 1,38 \text{ г/см}^3. \text{ Непосредственное измерение плотности изоляции с помощью гидростатического взвешивания даёт результат } \rho_{и} = 1,33 \text{ г/см}^3.$$

Критерии оценивания:

1. Определено отношение α массы металла к массе изоляции в проводе с точностью не хуже 10% посредством измерения плеч в двух различных положениях равновесия 1 балл
если отношение определено по результатам однократного измерения, то 0,5 балла
2. Идея исследования зависимости длины плеч в положении равновесия от массы воды в шприце и описание введённых обозначений 1 балл
3. Таблица результатов измерения зависимости длины плеч в положении равновесия от массы воды в шприце (указаны физические величины и единицы их измерения). Если нанесено не менее 5 точек, то 2 балла
если нанесены 2 или 3 точки, то 1 балл
4. Записана формула исследованной зависимости 1 балл
5. Выполнена линеаризация исследованной зависимости (введены новые переменные) 1 балл
6. Построен график линейной зависимости 2 балла
 - подписаны оси (величины и единицы измерения) 0,5 балла
 - оформлен масштаб на осях 0,5 балла
 - правильно нанесены экспериментальные точки 0,5 балла
 - проведена **прямая** линия 0,5 балла
7. Из графика определена масса металла (с точностью не хуже 10%) 1 балл
8. Из графика определена масса изоляции (с точностью не хуже 10%) 1 балл
При вычислении масс металла и изоляции путём решения системы необходимого количества уравнений **пункты 5 и 6 не оцениваются.**
9. Измерение объёма металла с помощью гибкой трубки, шприца и воды с точностью не хуже 10% 1 балл
10. Измерение объёма изоляции с помощью гибкой трубки, шприца и воды с точностью не хуже 10% 2 балла
Если объёмы определены с указанной точностью методом прокатывания, то пункты 9 и 10 засчитываются полным баллом.
11. Вычисление плотности металла с точностью не хуже 15 % 1 балл
12. Вычисление плотности изоляции с точностью не хуже 15 % 1 балл

Задание 9.2. Серый ящик – магазин. С помощью серого ящика, содержащего источник напряжения U_0 и «магазин» сопротивлений (набор пяти резисторов, включённых последовательно) (рис.1), определите величины внутренних сопротивлений R_{A1} , R_{A2} и R_{A3} мультиметра, используемого в качестве амперметра в диапазонах 200 мА, 20 мА, и 2000 мкА. Для выполнения задания исследуйте зависимость силы тока через амперметр от величины сопротивления в цепи его включения. Выведите формулу, связывающую измеренные вами физические величины между собой. Постройте график полученной зависимости в координатах, в которых эта зависимость является линейной.

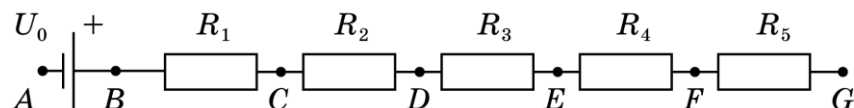


Рис.1

Оборудование: серый ящик; мультиметр; два провода штекер-крокодил, два провода крокодил-крокодил, миллиметровая бумага для построения графиков (3 листа формата А5).

Примечания:

1. Мультиметр в режиме амперметра разрешается подключать только (**строго!!**) к контактам B и C серого ящика.
2. Пользоваться другими режимами мультиметра **можно**.
3. Тщательно продумывайте последовательность своих действий и подробно описывайте их. В случае сжигания предохранителя, находящегося внутри мультиметра, его замена на исправный производиться не будет.
4. Источник напряжения считайте идеальным.
5. Если зависимость какой-либо физической величины Y от другой величины X представляет собой дробь, в числителе которой имеется только одно слагаемое, а в знаменателе несколько слагаемых, то анализ этой зависимости существенно упрощается, если перейти к равенству обратных величин левой и правой части уравнения.

Указание для организаторов. Серый ящик можно собрать в любой коробочке (например, в футляре для зубной щетки). На внешнюю сторону коробочки должно быть выведено 7 контактов (например, винты М3 с гайкой), с обратной стороны к которым через контактный лепесток припаяны резисторы и выводы от держателя обычной пальчиковой батарейки типа АА. Величины сопротивлений примерно следующие: $R_1=5\text{ Ом}$, $R_2=10\text{ Ом}$, $R_3=20\text{ Ом}$, $R_4=40\text{ Ом}$, $R_5=80\text{ Ом}$. Контакты на поверхности коробочки должны быть подписаны А, В, С, D, E, F и G – в соответствии со схемой на рис.1.

Приведённые значения резисторов позволяют выполнить задание на мультиметре типа 830В. При наличии мультиметров другого типа может потребоваться корректировка указанных значений. Каждому участнику олимпиады необходимо выдать два провода штекер-крокодил и два провода крокодил-крокодил.

Возможное решение. С помощью мультиметра в режиме омметра определим величины резисторов в сером ящике: $R_1=5\text{ Ом}$, $R_2=10\text{ Ом}$, $R_3=20\text{ Ом}$, $R_4=40\text{ Ом}$, $R_5=80\text{ Ом}$.

1. С помощью мультиметра в режиме вольтметра определим напряжение источника:

$U_0 = 1,55\text{ В}$.

2. Подключим амперметр к контактам В и С серого ящика, а контакт А соединим с одним из контактов D-G (замкнём цепь). Таким образом, амперметр оказывается подключённым к делителю напряжения по схеме, приведённой на рис.2.

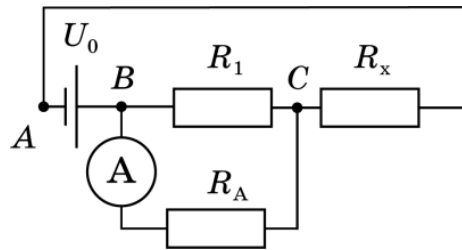


Рис.2

3. Обозначим внутреннее сопротивление амперметра R_A и вычислим, как зависит сила тока I через амперметр от величины сопротивления R_x :

$$I = \frac{U_0}{R_x + \frac{R_1 R_A}{R_1 + R_A}} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_A} = \frac{U_0 R_1}{R_x R_1 + R_x R_A + R_1 R_A} \text{ или}$$

$$\frac{1}{I} = \left(\frac{R_1 + R_A}{U_0 R_1} \right) R_x + \frac{R_A}{U_0}. \quad (1)$$

Видно, что I^{-1} является линейной функцией R_x .

4. Установим на амперметре предел измерения 20 мА. Замыкая проводом контакты серого ящика в различных комбинациях, снимем зависимость I от R_x и вычислим значения I^{-1} . Результаты заносим в таблицу 1.

(табл.1).

R_x , Ом	I , mA	$1/I$, 1/A
150	3,35	299
130	3,88	258
110	4,60	217
90	5,52	181
80	6,18	162
70	7,11	141
50	9,77	102

5. Построим график полученной зависимости. (Рис.3). Из графика находим

$$\left(\frac{R_1 + R_A}{U_0 R_1} \right) = \frac{\Delta(1/I)}{\Delta R_x} = 1,94 \text{ В}^{-1}.$$

И, соответственно, $R_A = 10,0$ Ом.

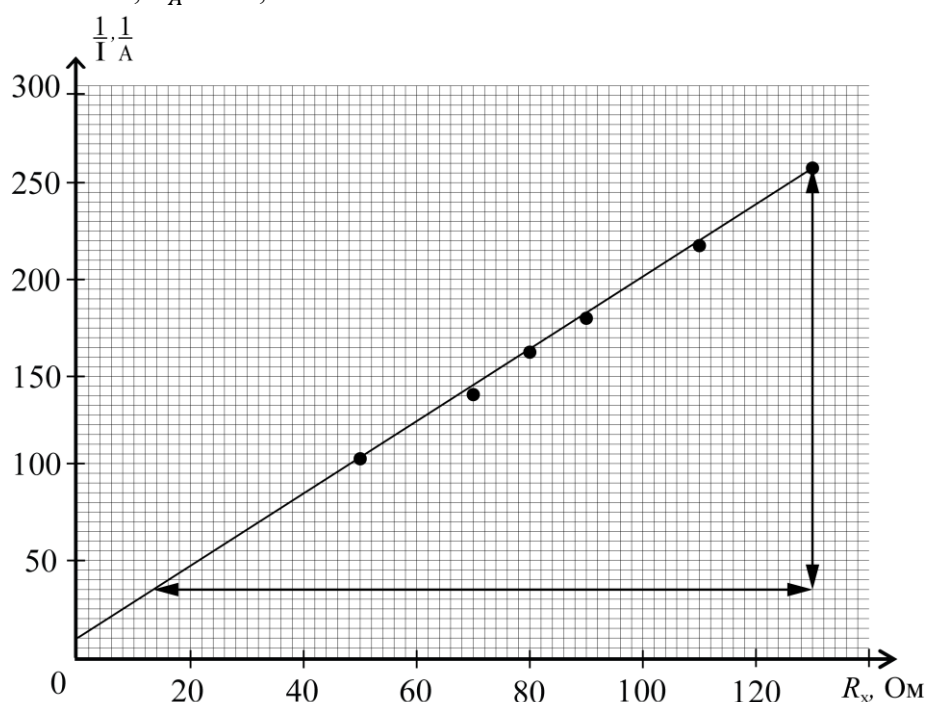


Рис.3

Аналогичным методом на диапазоне 2 мА получаем $R_A = 98$ Ом, а на диапазоне 200 мА получаем $R_A = 1,4$ Ом. В последнем случае сопротивление амперметра сравнимо с внутренним сопротивлением источника напряжения, которое для щелочной батарейки типа АА составляет величину порядка 0,5 Ом и, следовательно, для более точного определения R_A в диапазоне 200 мА батарейку нельзя считать идеальной.

Находить величину R_A следует именно по наклону прямой, описываемой уравнением (1). Определять эту величину по точке пересечения прямой с вертикальной осью не следует, так как при оптимальном для построения графика масштабе эта точка находится слишком близко к нулю.

Следует также заметить, что особенностью предложенного метода определения R_A является возможность использования одного делителя напряжения для трёх пределов измерения амперметра. Это обусловлено тем, что текущий по делителю минимальный ток порядка 0,01 А на разных диапазонах по-разному распределяется между R_1 и амперметром.

LIV Всероссийская олимпиада школьников по физике
Региональный этап. Экспериментальный тур. 25 января 2020 г.

В диапазоне 2 мА через амперметр течёт 4,8% общего тока ($R_A = 98 \text{ Ом}$), в диапазоне 20 мА – 33% и в диапазоне 200 мА порядка 75-80%. Таким образом удаётся исследовать зависимость I от R_x во всех диапазонах без каких-либо изменений в схеме включения амперметра.

Включение амперметра последовательно с делителем напряжения не даёт возможности определить R_A в диапазоне 2 мА, так как минимальная сила тока в этом случае будет порядка 6 мА, что в 3 раза превышает предел измерения прибора. В диапазонах 20 мА и 200 мА исследование в таком режиме возможно, и оно должно подтверждать полученные результаты.

Критерии оценивания.

- | | |
|--|------------|
| 1. Измерены величины резисторов в сером ящике (по 0,3 за каждый) | 1,5 балла |
| 2. Измерено напряжение источника U_0 | 0,5 балла |
| 3. Выведена формула зависимости силы тока I от изменяемого сопротивления R_x . | 2 балла |
| 4. Выполнена линейризация полученной зависимости | 2 балла |
| 5. Исследованы зависимости $I(R_x)$ для 3 режимов (таблицы), по 1 баллу за каждый режим
если нанесено менее 7 точек в одном режиме – по 0,5 за режим. | 3 балла |
| 6. Построение графиков | 3 балла |
| по 1 баллу за каждый график; каждый график оценивается по 4 параметрам:
подписаны оси (величины и единицы измерения) | 0,25 балла |
| оформлен масштаб на осях | 0,25 балла |
| правильно нанесены экспериментальные точки | 0,25 балла |
| проведена прямая линия | 0,25 балла |
| 7. По угловым коэффициентам прямых на графиках вычислены значения внутренних сопротивлений мультиметра R_{A1} , R_{A2} и R_{A3} (за каждый диапазон по 1 баллу). | 3 балла |

Примечание. Если линейризация измеренной зависимости не проведена и графики не построены, но величины R_{A1} , R_{A2} и R_{A3} определены по 2 измерениям с точностью не хуже 10% путём решения систем уравнений, то не оцениваются пункты 4 и 6, а за пункт 5 может быть получено не более 1,5 баллов.