

Задание 10.1. «Серый ящик». «Серый» ящик с тремя выводами содержит источник постоянного напряжения \mathcal{E} и два резистора. Указанные элементы соединены по одной из двух возможных схем, представленных на рис. 1. На крышке ящика выводы «1», «2» и «3» в произвольном порядке помечены буквами «А», «В» и «С» (см. фото.).

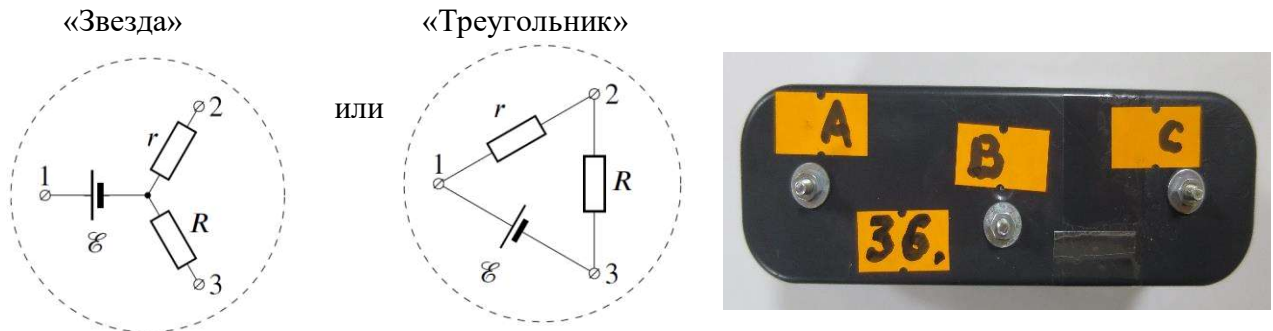


Рис. 1.

Фото.

1. Установите, по какой из двух возможных схем («звезда» или «треугольник») соединены элементы.
2. Установите соответствие между точками «1», «2» и «3» и выводами «А», «В» и «С», считая, что $r < R$.
3. Определите значение напряжения \mathcal{E} и сопротивления r и R .
4. Погрешность оценивать не нужно.

Внутреннее сопротивление источника напряжения, находящегося в «сером ящике», пренебрежимо мало по сравнению с r и R .

Оборудование. «Серый» ящик с тремя выводами, мультиметр с двумя щупами.

Внимание! В начале своего решения обязательно укажите номер выданного вам «серого» ящика (на фото это № 36).

Внутреннее сопротивление мультиметра в режиме вольтметра может существенно отличаться от стандартного.

Запрещается закорачивать выводы ящика (например, с помощью проводов мультиметра, его щупа и т.д.).

Э-10.1. Возможное решение. Внимание! Все значения приведены по авторской установке.

1. Измерим напряжение между выводами A и B , A и C , B и C :

$$U_{AB} = 0,00 \text{ В}, \quad U_{AC} = 12,7 \text{ В}, \quad U_{BC} = 6,82 \text{ В}.$$

Пусть в ящике элементы соединены «треугольником». Тогда между выводами A и B должен быть резистор практически нулевого сопротивления. Однако, в таком случае, остальные два напряжения должны совпадать (или быть очень близкими), что не наблюдается. Значит, в ящике элементы соединены «звездой».

2. По тем же измерениям установим соответствие между выводами. Так как напряжение между выводами A и B равно нулю, источник подключён к выводу C (то есть $C \rightarrow 1$). Напряжение между выводами A и C больше, следовательно, резистор, подключённый к выводу A , имеет меньшее сопротивление (то есть $A \rightarrow 2$). Соответственно, $B \rightarrow 3$.

3. Различие между полученными значениями напряжения ($U_{AC} \neq U_{BC}$) показывает, что внутренним сопротивлением вольтметра пренебречь нельзя!

Кроме того, омметр, даже в режиме 2 МОм, подключённый к выводам A и B (2 и 3), зашкаливает, что говорит о том, что $r + R > 2 \text{ МОм}$.

Вариант 1. У мультиметра минимальный предел измерения $200 \mu\text{А}$ (серия 830).

4. Переведём мультиметр в режим микроамперметра (предел $200 \mu\text{А}$) и измерим силу тока между всеми парами выводов. Получаем значения:

$$I_{AB} = 0, \quad I_{AC} = 37,7 \text{ мкА}, \quad I_{BC} = 10,6 \text{ мкА}.$$

5. Пусть R_V – сопротивление прибора в режиме вольтметра. Тогда

$$U_{AC} = \frac{\mathcal{E}R_V}{R_V + r}, \quad U_{BC} = \frac{\mathcal{E}R_V}{R_V + R}.$$

С другой стороны, $\mathcal{E} = I_{AC}r = I_{BC}R$.

Отсюда получаем, что

$$\begin{aligned} \frac{R}{r} &= \frac{I_{AC}}{I_{BC}} = \frac{37,7}{10,6} = 3,56. \\ \frac{R_V + R}{R_V + r} &= \frac{U_{AC}}{U_{BC}} = \frac{12,7}{6,82} = 1,86 \Rightarrow R_V + 3,56r = 1,86 R_V + 1,86r \\ &\Rightarrow r = 0,52R_V. \end{aligned}$$

Подставим найденное значение:

$$\begin{aligned} U_{AC} &= \frac{\mathcal{E}}{1 + 0,52} \Rightarrow \mathcal{E} = 1,52 U_{AC} = 1,52 \cdot 12,7 \text{ В} = 19,3 \text{ В}. \\ r &= \frac{\mathcal{E}}{I_{AC}} = \frac{19,3 \text{ В}}{37,7 \text{ мкА}} = 511 \text{ кОм}, \quad R = \frac{\mathcal{E}}{I_{BC}} = \frac{19,3 \text{ В}}{10,6 \text{ мкА}} = 1,82 \text{ МОм}. \end{aligned}$$

Вариант 2. У мультиметра минимальный предел измерения 2000 μA (серия 832, 838).

4. Переведём мультиметр в режим микроамперметра (предел 2000 μA) и измерим ток между всеми парами выводов. Получаем значения:

$$I_{AB} = 0, \quad I_{AC} = 38 \text{ мкА}, \quad I_{BC} = 1 \text{ мкА}.$$

5. Пусть R_V – сопротивление прибора в режиме вольтметра. Тогда

$$U_{AC} = \frac{\varepsilon R_V}{R_V + r}, \quad U_{BC} = \frac{\varepsilon R_V}{R_V + R}.$$

С другой стороны, $\varepsilon = I_{AC}r = I_{BC}R$.

Отсюда получаем, что

$$\begin{aligned} \frac{R}{r} &= \frac{I_{AC}}{I_{BC}} = \frac{38}{1} = 3,45 \\ \frac{R_V + R}{R_V + r} &= \frac{U_{AC}}{U_{BC}} = \frac{12,7}{6,82} = 1,87 \Rightarrow R_V + 3,45r = 1,87R_V + 1,87r \\ &\Rightarrow r = 0,55 \text{ в}. \end{aligned}$$

Подставим найденное значение:

$$\begin{aligned} U_{AC} &= \frac{\varepsilon}{1 + 0,55} \Rightarrow \varepsilon = 1,55U_{AC} = 1,55 \cdot 12,73 \text{ В} = 19,7 \text{ В}. \\ r &= \frac{\varepsilon}{I_{AC}} = \frac{19,7 \text{ В}}{38 \text{ мкА}} = 520 \text{ кОм}, \quad R = \frac{\varepsilon}{I_{BC}} = \frac{19,7 \text{ В}}{1 \text{ мкА}} = 1,8 \text{ МОм}. \end{aligned}$$

6. Примечание: значения, измеренные напрямую в авторской установке:

$$\varepsilon = 19,20 \text{ В}, \quad r = 507 \text{ кОм}, \quad R = 1,81 \text{ МОм}.$$

7. Общие формулы (их вывод от участников олимпиады не требуется):

$$\varepsilon = \frac{U_{AC}U_{BC}(I_{AC} - I_{BC})}{I_{AC}U_{BC} - I_{BC}U_{AC}}, \quad r = \frac{U_{AC}U_{BC}(I_{AC} - I_{BC})}{I_{AC} \cdot (I_{AC}U_{BC} - I_{BC}U_{AC})}, \quad R = \frac{U_{AC}U_{BC}(I_{AC} - I_{BC})}{I_{BC} \cdot (I_{AC}U_{BC} - I_{BC}U_{AC})}.$$

LVI Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.

Экспериментальный тур. 24 января 2022 г.

10класс

№	Э-10.1. Критерий оценивания (из 20 баллов)	Баллы
1	Указано, что элементы внутри ящика соединены по схеме «звезды»	1
2	Для п. 1 присутствуют все необходимые измерения	2
3	Для п. 1 присутствует обоснованный вывод	2
4	Установлено соответствие между выводами 1,2 и 3 и выводами A, B и C .	1
5	Для п. 4 присутствует обоснованный вывод	2
6	Предложен полный набор опытов, необходимых для определения параметров всех элементов	2
7	Записаны все необходимые уравнения, позволяющие определить параметры всех элементов	2
8	Выполнены все необходимые измерения, необходимые для определения параметров всех элементов	2
9	Получено значение \mathcal{E} в интервале с погрешностью не более 10% (не более 20%)	2(1)
10	Получено значение r в интервале с погрешностью не более 10% (не более 20%)	2(1)
11	Получено значение R в интервале с погрешностью не более 10% (не более 20%)	2(1)

Примечание 1. Участник должен измерять силу тока в наименьшем из доступных ему режимов («200 мкА» - для мультиметров 830-й серии, «2000 мкА» - для мультиметров 832-й и 838-й серий). Если участник измеряет не в наименьшем из доступных ему режимов (разница видна по наличию знаков после запятой), снимается 0.5 балла в 8 пункте.

Примечание 2. А) Результаты, полученные исходя из неверных формул, **не оцениваются!**
 Б) Если участник использует «заученное» значение внутреннего сопротивления мультиметра ($R_V = 1 \text{ МОм}$) в режиме вольтметра, баллы за пп. 9 - 11 **не ставить!**

В Москве использовались мультиметры 830В.

Контрольные значения: ЭДС = 20 В; $r = 510 \text{ кОм}$; $R = 1.8 \text{ МОм}$.

Э-10.2. Задание. С помощью выданного оборудования найдите массу M цилиндрического стержня, не разбирая его. Опишите проведённые вами эксперименты, нарисуйте схемы установок, запишите результаты измерений, определите погрешность полученного результата.

Оборудование. круглый длинный цилиндр, канцелярские зажимы (2 шт.), нить, полоска миллиметровой бумаги, ванночка с водой, салфетка для поддержания рабочего места в чистоте.

Примечание: плотность воды $\rho = (1000 \pm 10) \text{ кг/м}^3$.

Важно!!! На цилиндре и кювете запрещено делать какие-либо пометки.

Э-10.2. Возможное решение. Имея полоску миллиметровой бумаги, можно измерить геометрические размеры цилиндра: его длину L и диаметр D . Эти параметры позволяют вычислить объём V цилиндра: $V = L\pi^2/4$.

Длина находится прямым измерением: прикладыванием цилиндра к миллиметровой бумаге; при этом точность измерения длины определяется ценой деления миллиметровой бумаги и составляет $\Delta_L = 1$ мм. Для нахождения с достаточной точностью диаметра цилиндра его можно без проскальзывания прокатить вдоль полоски миллиметровой бумаги и измерить перемещение S оси цилиндра, который сделал N оборотов. Формула для нахождения диаметра цилиндра:

$$D = \frac{S}{N\pi}.$$

Для нахождения массы цилиндра проделае следующие опыты:

Опыт №1. Концы нити с помощью канцелярских зажимов закрепим на краю стола. К середине нити крепим исследуемый стержень. Заметим, что горизонтальное положение равновесия стержня получается при креплении нити к месту, не соответствующему середине стержня. Измерим расстояние X от места крепления нити до ближайшего конца стержня.

Опыт №2. Повторим первый опыт, но теперь погрузим стержень в кювету с водой так, чтобы он был полностью погружён в воду, не касался стенок и дна кюветы и находился в состоянии горизонтального равновесия. При этом нам придётся изменить точку крепления нити. Измерим новое расстояние Y от места крепления нити до ближайшего конца стержня.

Одно из условий равновесия – это равенство нулю суммарного момента всех сил, действующих на стержень. Осью вращения в обоих опытах будем считать точку крепления нити. Из первого опыта следует, что центр масс стержня находится на расстоянии X от одного из его концов. Для второго опыта суммарный момент сил тяжести и выталкивающей силы со стороны воды должен быть равен нулю.

$$mg(X - Y) - \rho gV(L/2 - Y) = 0, \text{ отсюда: } m = \rho \frac{L/2 - Y}{X - Y} = \rho \frac{L/2 - Y}{X - Y} L\pi \left(\frac{S}{2N} \right)^2.$$

$$\text{Оценим погрешность: } \epsilon_m = \epsilon_{L/2 - Y} + \epsilon_{X - Y} + 2\epsilon_S + \epsilon_L = \frac{2}{43} + \frac{2}{27} + \frac{1}{107} + \frac{2}{154} = 0,13.$$

№	Э-10.2. Критерии оценивания задания (из 20 баллов)	Баллы
1	Определение длины стержня	1
2	Определение диаметра/радиуса стержня методом прокатывания	2 (0,5)
3	Определение центра масс стержня	1
4	Предложен реализуемый метод определения массы стержня	2
5	Если теоретическая точность метода не хуже 20%, то	2
6	Записан полный набор необходимых для предложенного метода уравнений	2
7	Получена правильная конечная формула	2
8	Выполнены и записаны необходимые измерения (если у какой-то из величин отсутствует размерность, то 1 балл)	2
9	Получен ответ с отклонением не более 15% (30%)	4 (2)
10	Оценка погрешности	2

Данные для московских установок:

1. Длина 14.9 - 15.1 см

2. 0.98 - 1.04 см (2 балла)

0.95 - 1.07 см (0.5 балла)

Если измерил диаметр неточным методом, но попал в любые из ворот - 0.5 балла

3. 4.9 - 5.3 см от тяжелого края

8. 2.5 - 3.0 см от тяжелого края

9. (20.8 - 28.2) г - 4 балла

(17.0 - 32.0) г - 2 балла