

**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.).

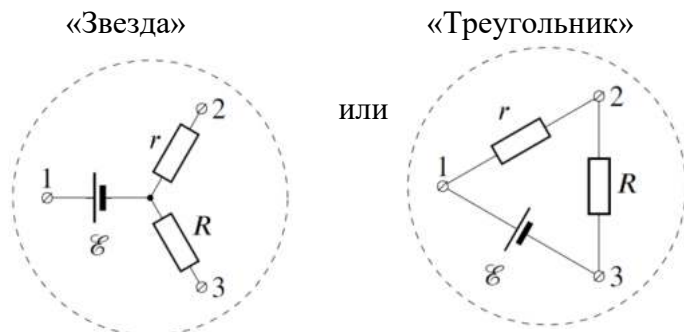


Рис. 1.



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  $200 \text{ }\mu\text{А}$  (серия 830).

4. Переведём мультиметр в режим микроамперметра (предел  $200 \text{ }\mu\text{А}$ ) 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

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

Подставим найденное значение:

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

Вариант 2. У мультиметра минимальный предел измерения 2000  $\mu\text{A}$  (серия 832, 838).

4. Переведём мультиметр в режим микроамперметра (предел 2000  $\mu\text{A}$ ) и измерим ток между всеми парами выводов. Получаем значения:

$$I_{AB} = 0, \quad I_{AC} = 38 \text{ мкА}, \quad I_{BC} = 11 \text{ мкА}.$$

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

$$\begin{aligned} \frac{R}{r} &= \frac{I_{AC}}{I_{BC}} = \frac{38}{11} = 3,45. \\ \frac{R_V + R}{R_V + r} &= \frac{U_{AC}}{U_{BC}} = \frac{12,73}{6,82} = 1,87 \Rightarrow R_V + 3,45r = 1,87R_V + 1,87r \\ &\Rightarrow r = 0,55R_V. \end{aligned}$$

Подставим найденное значение:

$$\begin{aligned} U_{AC} &= \frac{\mathcal{E}}{1 + 0,55} \Rightarrow \mathcal{E} = 1,55U_{AC} = 1,55 \cdot 12,73 \text{ В} = 19,7 \text{ В}. \\ r &= \frac{\mathcal{E}}{I_{AC}} = \frac{19,7 \text{ В}}{38 \text{ мкА}} = 520 \text{ кОм}, \quad R = \frac{\mathcal{E}}{I_{BC}} = \frac{19,7 \text{ В}}{11 \text{ мкА}} = 1,8 \text{ МОм}. \end{aligned}$$

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

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

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

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

**LVI Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.**

**Экспериментальный тур. 24 января 2022 г.**

**10класс**

<b>№</b>	<b>Э-10.1. Критерий оценивания (из 20 баллов)</b>	<b>Баллы</b>
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), ставить **0,5 балла**

**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!**