

**Задание 9.1. «Серый» ящик (из 20 баллов).** Ящик с тремя выводами содержит источник постоянного напряжения  $\mathcal{E}$  и два резистора. Указанные элементы соединены по одной из двух схем, представленных на рис. 1.

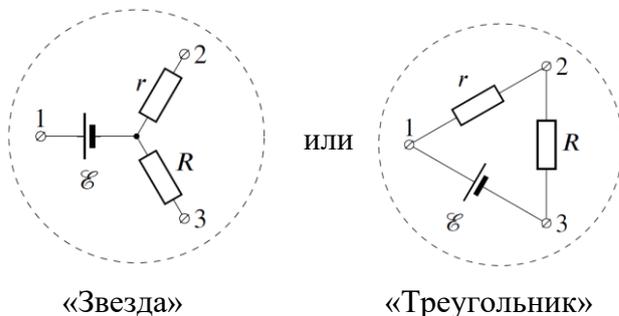


Рис. 1



Фото 1

На крышке ящика выводы в произвольном порядке помечены буквами  $A$ ,  $B$  и  $C$ . Внутреннее сопротивление источника, пренебрежимо мало по сравнению с сопротивлениями резисторов  $r$  и  $R$ .

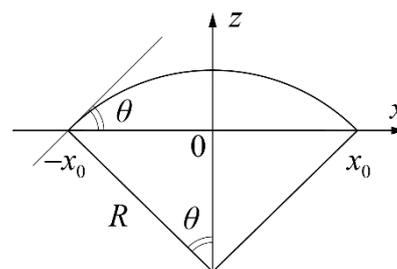
1. Установите, по какой из схем («звезда» или «треугольник») соединены элементы.
2. Установите соответствие между точками «1», «2», «3» и выводами  $A$ ,  $B$  и  $C$ , считая, что  $r < R$ .
3. Определите значение напряжения  $\mathcal{E}$  источника, и сопротивления резисторов  $r$  и  $R$ .
4. Оцените погрешности результатов.

**Оборудование.** «Серый» ящик, мультиметр со щупами.

**Внимание!**

- 1) В начале решения обязательно укажите номер «серого» ящика (на фото это № 36).
- 2) Запрещается закорачивать выводы ящика (например, с помощью проводов мультиметра, его щупа и т.д.).
- 3) Внутреннее сопротивление мультиметра в режиме измерения напряжения может существенно отличаться от стандартного для данного прибора.

**Э-9.2. Капля на стекле (из 20 баллов).** Маленькая капля жидкости на плоской поверхности принимает форму шарового сегмента (см. рис.). Диаметр  $d$  ( $d = 2x_0$ ) капли зависит от объёма  $V_B$  жидкости в капле и угла  $\theta$ . При увеличении объёма капли её поверхность перестаёт быть сферической и становится более плоской. Критерием того, что капля действительно представляет собой шаровой сегмент, является линейная зависимость её объёма от куба диаметра



$$V_B = kd^3. \quad (1)$$

В данной работе вам предстоит определить коэффициент пропорциональности  $k$  для капли воды на стекле и оценить угол  $\theta$ .

### Задание

1. Определите объём  $V_K$  одной капельки воды, отрывающейся от иглки шприца (см. фото) при медленном движении поршня.
2. Подготовьте поверхность стекла. Для этого нанесите на неё несколько капелек воды и тщательно протрите поверхность бумажной салфеткой до полного удаления следов жидкости. Дайте возможность испариться невидимым остаткам воды в течение 1 – 2 минут.
3. Используя миллиметровую бумагу и увеличительное стекло, снимите зависимость диаметра капли на стекле  $d$  от её объёма  $V_B$ . Для этого вам достаточно изменять объём капли от  $V_K$  до  $10V_K$ .
4. Постройте график зависимости  $V_B = kd^3$ . Укажите на нём абсолютные погрешности измеренных величин. Определите значение коэффициента  $k$  и оцените его погрешность.
5. С помощью приведённой таблицы постройте график зависимости угла  $\theta$  от коэффициента  $k$ . Определите угол  $\theta_0$ , соответствующий условиям вашего эксперимента и оцените его погрешность.



$k, 10^{-3}$	0,0	17,8	53,5	82,7	102,3	128,3	147,2	168,7
$\theta$ , град	0,0	10	30	44	52	61	66	72

**Внимание!** Будьте крайне осторожны при работе с иглами. Они острые и вы можете себя травмировать!

**После окончания работы с иглой помещайте её в защитный колпачок!**

**Оборудование.** Предметное стекло, шприц, увеличительное стекло, лист миллиметровой бумаги, стакан с водой, бумажные салфетки – 3 шт.

**Начало онлайн-разбора решений заданий экспериментального тура (по московскому времени) будет: 24 января по адресу <https://youtu.be/AanAYIhjAT0> 7 класс – 16.00; 9 класс – 17.00; 25 января по адресу <https://youtu.be/zTTmmnl-NSs> 8 класс – 13.00; 10 класс – 14.00; 11 класс – 15.30.**

**Задание 9.1. «Серый» ящик**

Ящик с тремя выводами содержит источник постоянного напряжения  $\mathcal{E}$  и два резистора. Указанные элементы соединены по одной из двух схем, представленных на рис. 1.

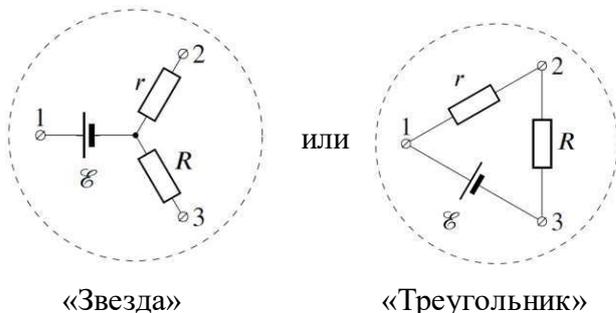


Рис. 1



Фото 1

На крышке ящика выводы в произвольном порядке помечены буквами  $A$ ,  $B$  и  $C$ . Внутреннее сопротивление источника, пренебрежимо мало по сравнению с сопротивлениями резисторов  $r$  и  $R$ .

1. Установите, по какой из схем («звезда» или «треугольник») соединены элементы.
2. Установите соответствие между точками «1», «2», «3» и выводами  $A$ ,  $B$  и  $C$ , считая, что  $r < R$ .
3. Определите значение напряжения  $\mathcal{E}$  источника и сопротивления резисторов  $r$  и  $R$ .
4. Оцените погрешности результатов.

**Оборудование.** «Серый» ящик, мультиметр со щупами.

**Внимание!**

- 1) В начале решения обязательно укажите номер «серого» ящика (на фото это № 36).
- 2) Запрещается «закорачивать» выводы ящика (например, с помощью проводов мультиметра, его щупа и т.д.).
- 3) Внутреннее сопротивление мультиметра в режиме измерения напряжения может существенно отличаться от стандартного для данного прибора.

**Э-9.1. Возможное решение.** Внимание! Все измеренные значения приведены для авторской установки.

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

$$U_{AB} = 0,00 \text{ В}, U_{AC} = 12,73 \text{ В}, U_{BC} = 6,82 \text{ В}.$$

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 вольтметр нельзя считать идеальным!

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 силы тока 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. Получим значения:

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

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

$$\begin{aligned} \frac{R}{r} &= \frac{I_{AC}}{I_{BC}} = \frac{37,7}{10,6} = 3,56 \\ \frac{R_V + R}{R_V + r} &= \frac{U_{AC}}{U_{BC}} = \frac{12,73}{6,82} = 1,87 \Rightarrow R_V + 3,56r = 1,87R_V + 1,87r. \\ &\Rightarrow r = 0,514R_V. \end{aligned}$$

Подставим найденное значение:

$$\begin{aligned} U_{AC} &= \frac{\mathcal{E}}{1 + 0,514} \Rightarrow \mathcal{E} = 1,514U_{AC} = 1,514 \cdot 12,73 \text{ В} \approx 19,3 \text{ В}. \\ r &= \frac{\mathcal{E}}{I_{AC}} = \frac{19,3 \text{ В}}{37,7 \text{ мкА}} = 512 \text{ кОм}, \quad R = \frac{\mathcal{E}}{I_{BC}} = \frac{19,3 \text{ В}}{10,6 \text{ мкА}} = 1,82 \text{ МОм}. \end{aligned}$$

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

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

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

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

$$\frac{R}{r} = \frac{I_{AC}}{I_{BC}} = \frac{38}{11} = 3,45$$

$$\frac{R_V + R}{R_V + r} = \frac{U_{AC}}{U_{BC}} = \frac{12,7}{6,82} = 1,87 \Rightarrow R_V + 3,45r = 1,87R_V + 1,87r$$

$$\Rightarrow r = 0,55 \text{ } \nu.$$

Подставим найденное значение:

$$U_{AC} = \frac{\mathcal{E}}{1 + 0,5} \Rightarrow \mathcal{E} = 1,55 U_{AC} = 1,55 \cdot 12,73 \text{ В} = 19,7 \text{ В.}$$

$$r = \frac{\mathcal{E}}{I_{AC}} = \frac{19,7 \text{ В}}{38 \text{ мкА}} = 520 \text{ кОм}, \quad R = \frac{\mathcal{E}}{I_{BC}} = \frac{19,7 \text{ В}}{11 \text{ мкА}} = 1,79 \text{ МОм.}$$

Вычисленные значения равны:

(вариант 1)  $\mathcal{E} = 19,3 \text{ В}$ ;  $r = 512 \text{ кОм}$ ;  $R = 1,82 \text{ МОм}$ .

(вариант 2)  $\mathcal{E} = 19,7 \text{ В}$ ;  $r = 520 \text{ кОм}$ ;  $R = 1,79 \text{ МОм}$ .

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

$$\mathcal{E} = 19,2 \text{ В}, r = 507 \text{ кОм}, R = 1,80 \text{ МОм.}$$

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

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

№	Э-9.1. Критерии оценивания (из 20 баллов)	Баллы
	<p><b>Часть 1. Измерения</b></p> <p>Баллы в этой части ставятся за результаты измерений если они отличаются от характерных параметров данного ящика не более, чем на 5%</p>	
1	Анализ содержимого ящика начат с помощью вольтметра, так как есть риск вывести из строя амперметр, или получить неверные показания омметра.	1
2	<p>Определены напряжения между <u>всеми</u> парами выводов</p> <p><b>Если измерение однократное, то 0,5 балла</b></p>	1
3	<p>Определены значения силы тока между <u>всеми</u> парами выводов ящика.</p> <p><i>Примечание:</i> Начинать пробные измерения следует на наиболее грубом пределе (200 мА), так как существует риск вывести из строя амперметр. Далее участник выбирает оптимальный диапазон из доступных ему режимов («200 мкА» - для мультиметров 830-й серии, «2000 мкА» - для мультиметров 832-й и 838-й серий). Если участник проводит измерения не в оптимальном диапазоне, что видно по наличию знаков после запятой, то за этот пункт ставить <b>0,5 балла!</b></p> <p><b>Если измерение однократное, то 0,5 балла</b></p>	2
4	Указано, что при подключении омметра к паре выводов <i>A</i> и <i>B</i> (на которых $U_{AB} = 0,00$ В, прибор в режиме «2 000 кОм» «зашкаливает».	1
	<b>Часть 2. Определение схемы и соответствия между выводами</b>	
5	<b>Обосновано</b> , что элементы внутри ящика не могут быть соединены по схеме «треугольник»	1
6	Установлено соответствие между точками схемы 1, 2 и 3 и выводами <i>A</i> , <i>B</i> , <i>C</i> . Соответствие обосновано со ссылками на результаты измерений. <i>Примечание:</i> Без обоснования баллы за пункт не ставить.	2
	<b>Часть 3. Определение параметров элементов</b>	
7	Из результатов п. 3 получено отношение $\frac{R}{r} = \frac{I_{AC}}{I_{BC}}$	≥ 1
8	<p>Записаны выражения для напряжения вольтметра между парами выводов с учетом <u>неизвестного</u> внутреннего сопротивления вольтметра</p> $U_{AC} = \frac{\mathcal{E}R_V}{R_V + r}, \quad U_{BC} = \frac{\mathcal{E}R_V}{R_V + R}.$	2
9	Величины <i>r</i> и <i>R</i> выражены через $R_V$ (из соотношений п. 7 и п. 8)	2
10	<p>Для <b>приборов 830-й серии</b> получено значение напряжения, отличающееся от авторского не более чем на 5%. При отклонении на 5% – 7,5% за этот пункт ставится половина баллов.</p> <p>Для <b>приборов 832-й и 838-й серий</b> получено значение напряжения, отличающееся от авторского не более чем на 10%. При отклонении на</p>	2

	10% – 20% за этот пункт ставится половина баллов.	
11	Для приборов 830-й серии получено значение $r$ , отличающееся от авторского не более чем на 5%. При отклонении на 5% – 10% за этот пункт ставится половина баллов. Для приборов 832-й и 838-й серий получено значение $r$ , отличающееся от авторского не более чем на 10%. При отклонении на 10% – 20% за этот пункт ставится половина баллов.	2
12	Для приборов 830-й серии получено значение $R$ , отличающееся от авторского не более чем на 5%. При отклонении на 5% – 10% за этот пункт ставится половина баллов. Для приборов 832-й и 838-й серий получено значение $R$ , отличающееся от авторского не более чем на 10%. При отклонении на 10% – 20% за этот пункт ставится половина баллов.	2
13	Сделана оценка погрешности результатов измерений	1

Примечания к п.п. 10 – 12.

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 п.п. 10 – 12 **не ставить!**

Примечание от ЦПМК:

Аккуратный расчет погрешности в данной работе проводить смысла не имеет. Это длительный процесс. Но ОЦЕНИТЬ погрешность можно. Если исходные значения измеренных величин были определены с точностью, например, 2%, то погрешность отношений сопротивлений будет 4%. Погрешность окончательных результатов тогда составит 5–10%.

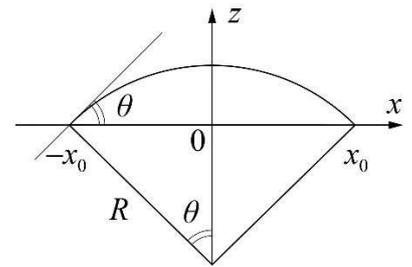
**В Москве использовались мультиметры 830 серии**

**10 Пункт: (19-21) В – 2 балла; (18-22) В – 1 балл**

**11 Пункт (480 – 540) кОм – 2 балла; (455 – 565) кОм – 1 балл**

**12 Пункт: (1,7 – 1,9) МОм – 2 балла; (1,6 – 2,0) МОм – 1 балл**

**Э-9.2. Капля на стекле.** Маленькая капля жидкости на плоской поверхности принимает форму шарового сегмента (см. рис.). Диаметр  $d$  ( $d = 2x_0$ ) капли зависит от объём  $V_B$  жидкости в капле и угла  $\theta$ . При увеличении объёма капли её поверхность перестаёт быть сферической и становится более плоской. Критерием того, что капля действительно представляет собой шаровой сегмент, является линейная зависимость её объёма от куба диаметра



$$V_B = kd^3. \quad (1)$$

В данной работе вам предстоит определить коэффициент пропорциональности  $k$  для капли воды на стекле и оценить угол  $\theta$ .

### Задание

1. Определите объём  $V_K$  одной капельки воды, отрывающейся от иглки шприца (см. фото) при медленном движении поршня.
2. Подготовьте поверхность стекла. Для этого нанесите на неё несколько капелек воды и тщательно протрите поверхность бумажной салфеткой до полного удаления следов жидкости. Дайте возможность испариться невидимым остаткам воды в течение 1 – 2 минут.
3. Используя миллиметровую бумагу и увеличительное стекло, снимите зависимость диаметра капли на стекле  $d$  от её объёма  $V_B$ . Для этого вам достаточно изменять объём капли от  $V_K$  до  $10 V_K$ .
4. Постройте график зависимости  $V_B = kd^3$ . Укажите на нём абсолютные погрешности измеренных величин. Определите значение коэффициента  $k$  и оцените его погрешность.
5. С помощью приведённой таблицы постройте график зависимости угла  $\theta$  от коэффициента  $k$ . Определите угол  $\theta_0$ , соответствующий условиям вашего эксперимента и оцените его погрешность.



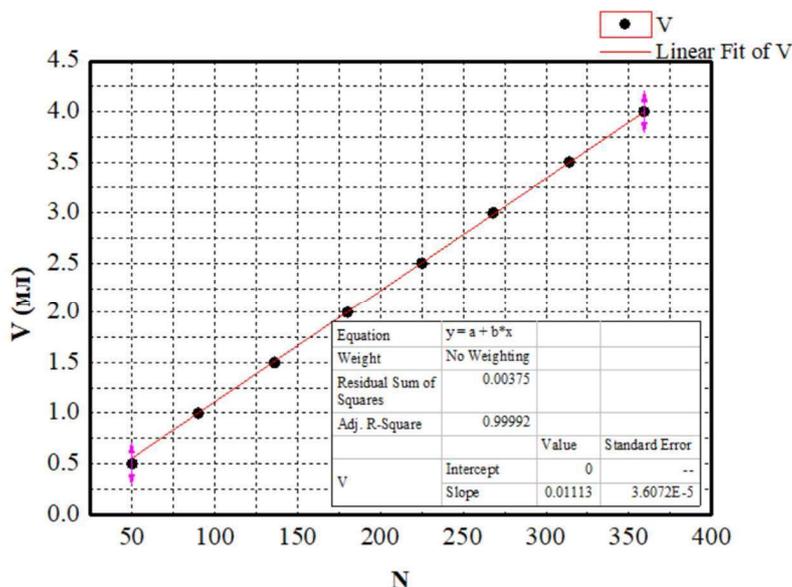
$k, 10^{-3}$	0,0	17,8	53,5	82,7	102,3	128,3	147,2	168,7
$\theta$ , град	0,0	10	30	44	52	61	66	72

**Внимание!** Будьте крайне осторожны при работе с иглами. Они острые и вы можете себя травмировать!

**После окончания работы с иглой помещайте её в защитный колпачок!**

**Оборудование.** Предметное стекло, шприц, увеличительное стекло, лист миллиметровой бумаги, стакан с водой, бумажные салфетки – 3 шт.

Определяем объём  $V_k$  одной капельки, отрывающейся от иглки шприца. Для этого набираем полный шприц воды и, удерживая его в вертикальном положении, медленно выдавливаем воду в стакан. Производим подсчёт числа  $N$  вытекающих капелек, а по шкале шприца определяем объём вытекающей воды  $V_B$ . Ниже представлена таблица 1 зависимости  $N(V_B)$ . Объём одной капельки  $V_k$  находим как угловой коэффициент линейной функции  $V_B = V_k N$ , график которой представлен на рис. 1. В результате получаем  $V_k = 11,1 \cdot 10^{-3}$  мл. Этот объём зависит от внутреннего диаметра иглы и свойств жидкости.



N	V, мл
50	0.5
90	1.0
136	1.5
180	2.0
225	2.5
268	3.0
314	3.5
359	4.0

Следует подчеркнуть, что при оценивании данного пункта задания необходимо учитывать **многократность измерений**, которая может быть реализована и другими способами. Отметим, также, что полученные результаты зависят от свойств используемой в эксперименте воды, наличия или отсутствия вибрации шприца в момент отрыва капли, т.е. могут отличаться от авторских. 2. Наносим несколько капелек на стекло с помощью шприца. Чтобы они оставались фиксированного объёма, капельки не должны касаться большой капли на стекле. Измерение диаметра капли на стекле производим по клеточкам миллиметровой бумаги (рис. 3). На рис. 4 приведён вид капли сбоку.

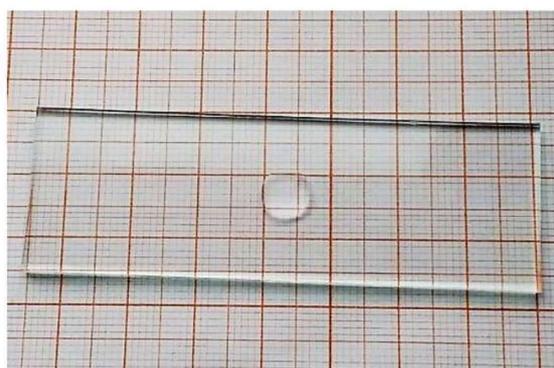


Рис.3



Рис. 4

По правилам физических измерений мы не можем определять размеры капли точнее, чем половина цены деления измерительного прибора (миллиметровой бумаги). При измерениях для удобства пользуемся увеличительным стеклом. Полученные результаты представлены в таблице 2. В пятом столбце приведена относительная погрешность измерения диаметра капли, рассчитанная как отношение половины цен деления (0,5 мм) к измеренному

значению диаметра. В шестом столбце приведена относительная погрешность определения куба диаметра капли, рассчитанная как значение пятого столбца, умноженное на 3.

$N$	$V_B$ , мл	$d$ , мл	$d^3$ , мл	$\mathcal{E}_d$	$\mathcal{E}_{d^3}$	$\Delta d^3$ , мл
1	0.0111	6.5	0.27	0.077	0.231	0.06
2	0.0223	8	0.51	0.063	0.188	0.10
3	0.0334	9.25	0.79	0.054	0.162	0.13
4	0.0445	10.25	1.08	0.049	0.146	0.16
5	0.0557	10.25	1.08	0.049	0.146	0.16
6	0.0668	11	1.33	0.045	0.136	0.18
7	0.0779	12	1.73	0.042	0.125	0.22
8	0.0890	12	1.73	0.042	0.125	0.22
9	0.1002	13	2.20	0.038	0.115	0.25
10	0.1113	13	2.20	0.038	0.115	0.25

Табл. 2

В седьмом столбце указана абсолютная погрешность определения куба диаметра. Эти значения необходимы для построения графика зависимости  $V_B(d^3)$ , который представлен на рис. 5. Угловым коэффициентом прямой, проведённой с минимально возможным наклоном, равен  $k_{\min} = 0,046$ , а с максимально возможным наклоном  $k_{\max} = 0,052$ . В итоге, значение углового коэффициента можно представить как  $k = (49 \pm 3) \cdot 10^{-3}$ .

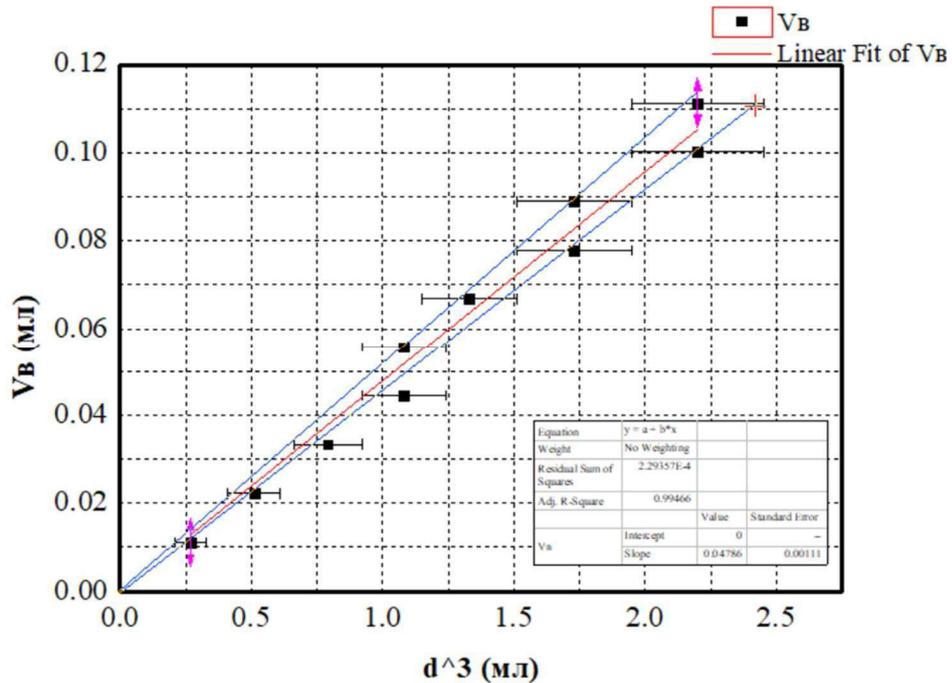
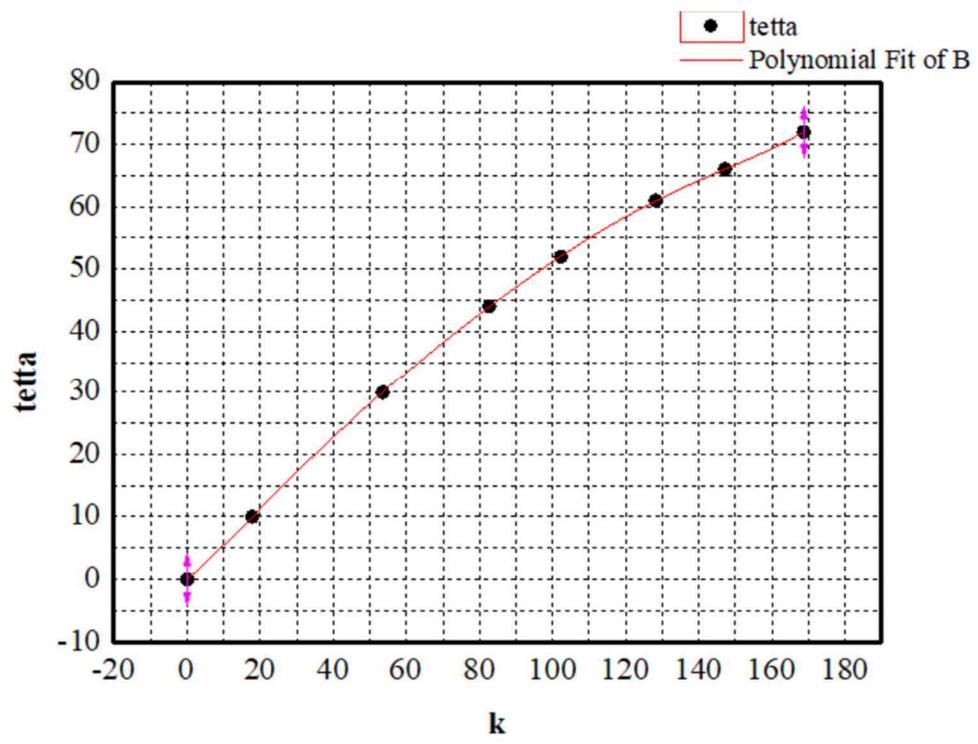
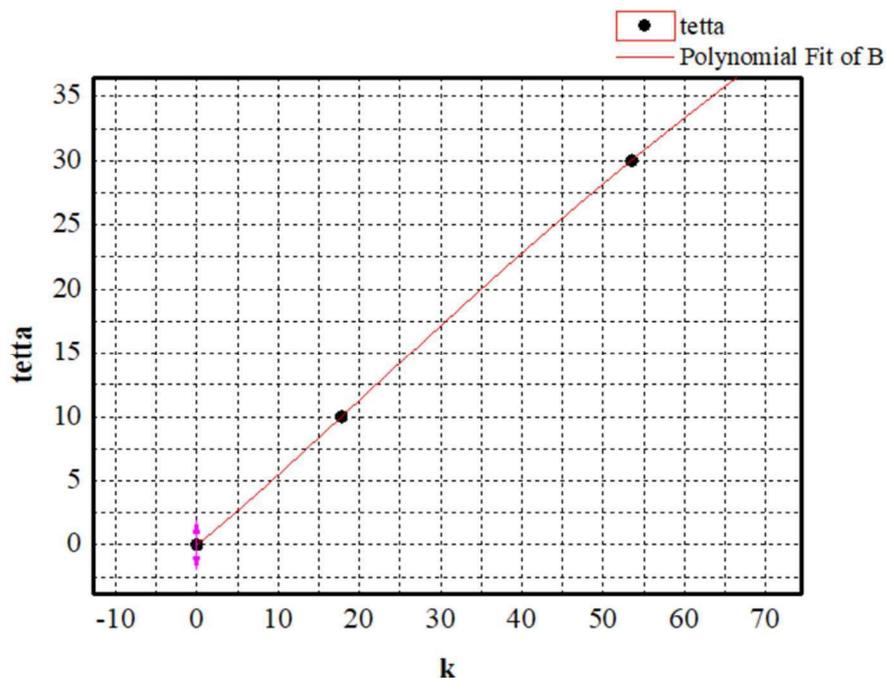


Рис. 5

Из графика зависимости  $k$  от  $\theta$  находим, что в данном эксперименте угол  $\theta_0$  равен  $28 \pm 2^\circ$ .



№	Э-9.1. Критерии оценивания (из 20 баллов)	Баллы
1	<p>Определено значение объёма одной капельки из шприца <math>V_k</math></p> <p>Многократно (график или иначе) 2 балла</p> <p>Однократно 1 балл</p> <p>Результат 1 балл (ворота (10 – 12,5) мкл)</p>	3
2	<p>Таблица измерений зависимости <math>d(N)</math></p> <p>Серия измерений проведена 2 раза или более 4 балла</p> <p>Однократно 3 балл</p>	4
3	Дополнение таблицы значениями $V_v$ и $d^3$	1
4	<p>График зависимости <math>V_v(d^3)</math></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- подписаны оси и указаны единицы измерения 1 балл</li> <li>- равномерная и удобная шкала (1, 2, 5 мелких клеток между соседними оцифрованными штрихами) 0,5 балла</li> <li>- масштаб (график занимает более 60% поля листа) 0,5 балла</li> <li>- верно нанесено не менее 90% точек 0,5 балла</li> <li>- проведена гладкая линия 0,5 балла</li> <li>- нанесены погрешности (кресты ошибок) 1 балл</li> </ul>	4
5	Определено значение коэффициента	2
6	Оценка погрешности $k$	1
7	<p>Построение калибровочного графика <math>\theta</math> от коэффициента <math>k</math></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- подписаны оси и указаны единицы измерения 1 балл</li> <li>- равномерная и удобная шкала 0,5 балла</li> <li>- масштаб (график занимает более 60% поля листа) 0,5 балла</li> <li>- верно нанесено не менее 90% точек 0,5 балла</li> <li>- проведена гладкая линия 0,5 балла</li> </ul>	3
8	Определено значение угла $\theta_0$	1
9	Найдена погрешность $\theta_0$	1



**Задание 10.1. «Серый ящик» (из 20 баллов).** «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.).

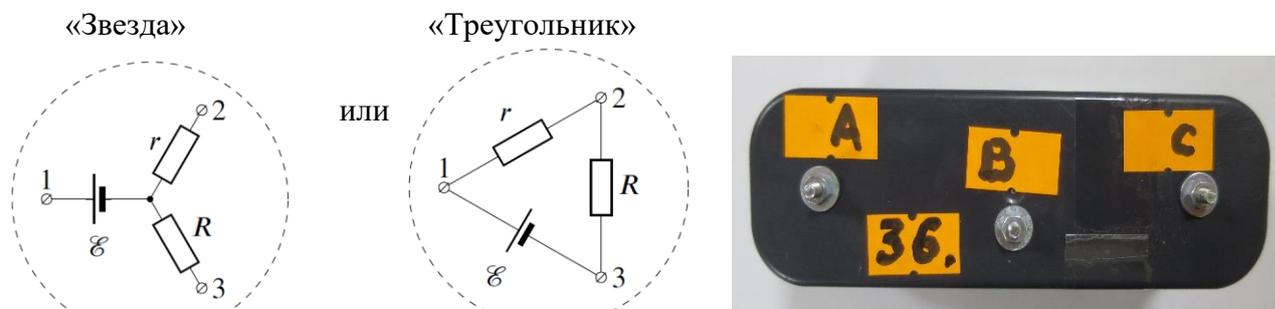


Рис. 1.

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.**

**Вы не имеете права закорачивать выводы ящика (например, с помощью проводов мультиметра, его щупа и т.д.).**

**Э-10.2. Задание (из 20 баллов).** 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-10.1. 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  $\mu\text{A}$  (серия 832, 838).

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

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

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

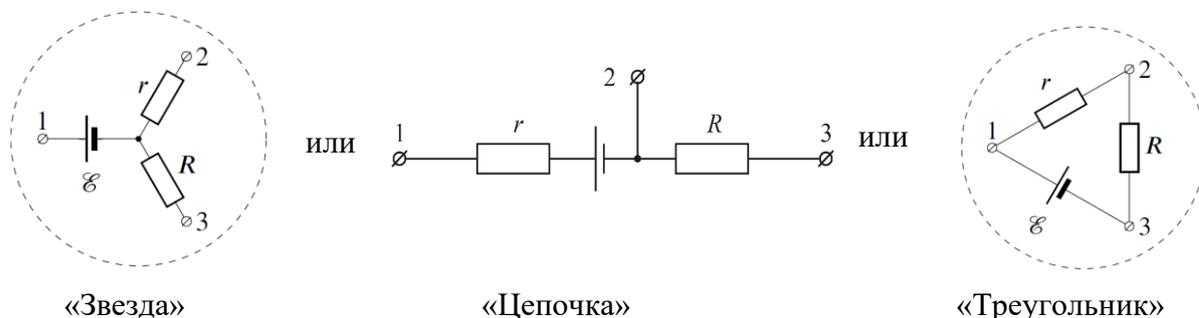
3. 4.9 - 5.3 см от тяжелого края

8. 2.5 - 3.0 см от тяжелого края

9. (20.8 - 28.2) г - 4 балла

(17.0 - 32.0) г - 2 балла

**Задание 11.1. «Серый» ящик (из 20 баллов).** «Серый» ящик с тремя выводами содержит источник с постоянной ЭДС  $\mathcal{E}$  и два резистора. Указанные элементы соединены по одной из трёх возможных схем, представленных на рис. 1.



**Рис. 1**

На крышке ящика выводы в произвольном порядке помечены буквами «А», «В» и «С» (см. фотографию). Внутреннее сопротивление источника ЭДС, находящегося в «сером ящике», пренебрежимо мало по сравнению с  $r$  и  $R$ .

1. Установите, по какой из трёх возможных схем («звезда», «цепочка» или «треугольник») соединены элементы.
2. Установите соответствие между точками «1», «2», «3» и выводами «А», «В» и «С», считая, что  $r < R$ .
3. Определите значение ЭДС  $\mathcal{E}$ , и сопротивления резисторов  $r$  и  $R$ .



Из-за ограниченного времени на выполнение задания погрешности оценивать не требуется, однако точность полученных вами промежуточных и конечных результатов будет учитываться при выставлении баллов.

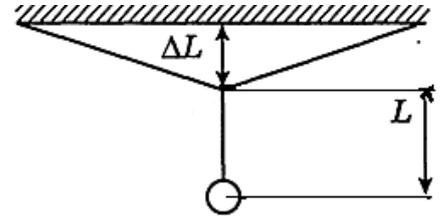
**Оборудование.** «Серый» ящик, мультиметр со щупами.

**Внимание!**

- 1) В начале своего решения обязательно укажите номер выданного вам «серого» ящика (на фото это № 36).
- 2) Запрещается закорачивать выводы серого ящика (например, с помощью проводов мультиметра, его щупа и т.д.).
- 3) Внутреннее сопротивление мультиметра в режиме измерения напряжения может существенно отличаться от стандартного.

**Э-11.2. Изменяющаяся траектория (из 20 баллов). Оборудование.** Гайка М10; нить длиной 2,5 – 3 м; секундомер; линейка длиной 50 см, два канцелярских зажима (клипсы 51 мм); лист бумаги А4, два листа миллиметровой бумаги А4 для построения графиков.

Закрепите зажимы на краю стола на расстоянии 40 – 45 см друг от друга. Привяжите концы нити к проволочным «лапкам» зажимов так, чтобы прогиб  $\Delta L$  составлял 2 – 3 см. К середине этой нити привяжите другую нить длиной около 60 см с гайкой. У вас должна получиться система из нитей и гайки, представленная на рис. 1. Изменяя расстояние между зажимами, вы можете регулировать величину «прогиба»  $\Delta L$ .



Обозначим вертикальную плоскость, в которой находятся нити и гайка в положении равновесия (плоскость рисунка), символом  $P$ .

**Задание.** На листе бумаги проведите прямую линию. Положите лист на пол так, чтобы нарисованная прямая находилась строго под краем стола и была ему параллельна.

- 1) Измерьте период  $T_1$  колебаний математического маятника, совершаемых в плоскости  $P$ , параллельной краю стола. Маятник должен перемещаться над нарисованной прямой.
- 2) Измерьте период  $T_2$  колебаний математического маятника, совершаемых в вертикальной плоскости ( $S$ ), перпендикулярной краю стола. Чтобы контролировать движение маятника, расположите на полу лист бумаги так, чтобы нарисованная прямая была перпендикулярна краю стола.
- 3) Положите лист на полу так, чтобы нарисованная прямая составляла угол приблизительно  $45^\circ$  с плоскостью  $P$ . Отклоните гайку вдоль нарисованной прямой не несколько см в вертикальной плоскости  $S$ , и отпустите её. Гайка начнёт совершать движение по медленно изменяющейся траектории. Проекция траектории на горизонтальную плоскость сначала близка к прямой, затем постепенно превращается в эллиптическую, круговую и т.д. Вы можете заметить, что движение гайки является циклическим, то есть через некоторое время  $\tau$  движение гайки вернется в исходную плоскость  $S$ , и её траектории будет близка к первоначальной прямой. Измерьте период  $\tau$ .
- 4) Исследуйте экспериментально зависимость  $\tau(\Delta L)$ , изменяя  $\Delta L$  в диапазоне 2-7 см (не менее 5 точек) при постоянном значении  $L$  (50 см). Результаты измерений запишите в таблицу.
- 5) Исследуйте экспериментально зависимость  $\tau(L)$ , изменяя  $L$  в диапазоне 25 – 60 см (не менее 5 точек) при постоянном значении  $\Delta L$  (2,5-4 см). Результаты измерений запишите в таблицу.

6) При  $\frac{\Delta L}{L} \ll 1$  зависимость  $\tau(\Delta L, L)$  может быть описана формулой  $\tau = A \cdot L^\alpha \cdot \Delta L^\beta$ .

Используя графическую обработку экспериментальных результатов, определите значения  $\alpha$  и  $\beta$ .

7) Предложите теоретическое обоснование зависимости  $\tau = A \cdot L^\alpha \cdot \Delta L^\beta$ , получите теоретическое значение параметров этой зависимости ( $A$ ,  $\alpha$  и  $\beta$ ). Сравните теоретические результаты для  $\alpha$  и  $\beta$  с экспериментальными.

**Примечание.** При работе над п. 4 вы можете использовать приближение

$$(1 + x)^n \approx 1 + nx, \text{ справедливое при } x \ll 1.$$

*Внимание! Из-за ограниченного времени выполнения задания погрешности определения  $\alpha$  и  $\beta$  оценивать не требуется, однако точность полученных вами промежуточных и конечных результатов будет учитываться при выставлении баллов!*

**Задание 11.1. «Серый» ящик.** «Серый» ящик с тремя выводами содержит источник с постоянной ЭДС  $\mathcal{E}$  и два резистора. Указанные элементы соединены по одной из трёх возможных схем, представленных на рис. 1.

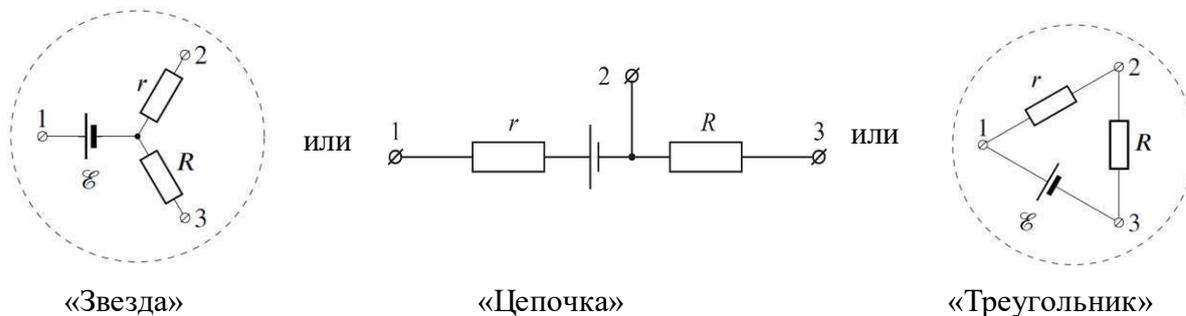


Рис. 1

На крышке ящика выводы в произвольном порядке помечены буквами «А», «В» и «С» (см. фотографию). Внутреннее сопротивление источника ЭДС, находящегося в «сером ящике», пренебрежимо мало по сравнению с  $r$  и  $R$ .

1. Установите, по какой из трёх возможных схем («звезда», «цепочка» или «треугольник») соединены элементы.
2. Установите соответствие между точками «1», «2», «3» и выводами «А», «В» и «С», считая, что  $r < R$ .
3. Определите значение ЭДС  $\mathcal{E}$ , и сопротивления резисторов  $r$  и  $R$ .



Из-за ограниченного времени на выполнении задания погрешности оценивать не требуется, однако точность полученных вами промежуточных и конечных результатов будет учитываться при выставлении баллов.

**Оборудование.** «Серый» ящик, мультиметр со щупами.

### Внимание!

- 1) В начале своего решения обязательно укажите номер выданного вам «серого» ящика (на фото это № 36).
- 2) Запрещается «закорачивать» выводы серого ящика (например, с помощью проводов мультиметра, его щупа и т.д.).
- 3) Внутреннее сопротивление мультиметра в режиме измерения напряжения может существенно отличаться от стандартного.

**Э-11.1. Возможное решение.** Внимание! Все измеренные значения приведены для авторской установки.

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

$$U_{AB} = 0,0 \text{ В}, U_{AC} = 12,73 \text{ В}, U_{BC} = 6,82 \text{ В}.$$

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 или «звездой», или «цепочкой».

2. Предположим, что в ящике элементы соединены «звездой». 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  $r + R > 2$  МОм.

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

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

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

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

$$\frac{R}{r} = \frac{I_{AC}}{I_{BC}} = \frac{37,7}{10,6} = 3,56.$$

$$\frac{R_V + R}{R_V + r} = \frac{U_{AC}}{U_{BC}} = \frac{12,73}{6,82} = 1,87 \Rightarrow R_V + 3,56r = 1,87R_V + 1,87r.$$

$$\Rightarrow r = 0,514R_V.$$

Подставим найденное значение:

$$U_{AC} = \frac{\mathcal{E}}{1 + 0,514} \Rightarrow \mathcal{E} = 1,514U_{AC} = 1,514 \cdot 12,73 \text{ В} \approx 19,3 \text{ В}.$$

$$r = \frac{\mathcal{E}}{I_{AC}} = \frac{19,3 \text{ В}}{37,7 \text{ мкА}} = 512 \text{ кОм}, \quad R = \frac{\mathcal{E}}{I_{BC}} = \frac{19,3 \text{ В}}{10,6 \text{ мкА}} = 1,82 \text{ МОм}.$$

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:

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

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

$$\frac{R}{r} = \frac{I_{AC}}{I_{BC}} = \frac{38}{11} = 3,45$$

$$\frac{R_V + R}{R_V + r} = \frac{U_{AC}}{U_{BC}} = \frac{12,7}{6,82} = 1,87 \Rightarrow R_V + 3,45r = 1,87R_V + 1,87r;$$

$$\Rightarrow r = 0,55R_V.$$

Подставим найденное значение:

$$U_{AC} = \frac{\mathcal{E}}{1 + 0,5} \Rightarrow \mathcal{E} = 1,55 U_{AC} = 1,55 \cdot 12,73 \text{ В} = 19,7 \text{ В.}$$

$$r = \frac{\mathcal{E}}{I_{AC}} = \frac{19,7 \text{ В}}{38 \text{ мкА}} = 520 \text{ кОм}, \quad R = \frac{\mathcal{E}}{I_{BC}} = \frac{19,7 \text{ В}}{11 \text{ мкА}} = 1,8 \text{ МОм.}$$

6. Теперь предположим, что внутри ящика элементы соединены «цепочкой». В этом случае результаты измерения напряжения между выводами дают то же соответствие, что и в предыдущем случае ( $C \rightarrow 1, A \rightarrow 2, B \rightarrow 3$ ), так как сумма сопротивлений между выводами  $A$  и  $B$  по схеме всегда больше  $r$ .

7. Можно заметить, что для соединения «цепочкой» все приведённые выше формулы остаются справедливыми с точностью до замены:  $R \rightarrow r + R$ . Отсюда следует, что в рассматриваемом варианте

$$r = 511 \text{ кОм}, \quad r + R = 1,82 \text{ МОм} \Rightarrow R = 1,31 \text{ МОм.}$$

Однако, как сказано выше, омметр, подключённый к выводам 2 и 3, зашкаливает, хотя для соединения цепочкой он должен показывать значение  $R$ .

8. Полученное противоречие говорит о том, что внутри ящика элементы соединены «звездой».

Вычисленные значения равны:

(вариант 1)  $\mathcal{E} = 19,3 \text{ В}; r = 512 \text{ кОм}; R = 1,82 \text{ МОм.}$

(вариант 2)  $\mathcal{E} = 19,7 \text{ В}; r = 520 \text{ кОм}; R = 1,82 \text{ МОм.}$

9. *Примечание:* значения, измеренные напрямую в авторской установке:

$$\mathcal{E} = 19,20 \text{ В}, r = 507 \text{ кОм}, R = 1,8 \text{ МОм.}$$

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

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

№	Э-11.1. Критерии оценивания (из 20 баллов)	Баллы
	<b>Часть 1. Измерения</b> (измеренные и вычисленные численные значения параметров «серого» ящика в пределах погрешностей совпадают с результатами, полученными организаторами олимпиады)	
1	Определены напряжения между <u>всеми</u> парами выводов, получены верные значения в пределах погрешности мультиметра.	1
2	Определены значения силы тока между <u>всеми</u> парами выводами ящика <i>Примечание:</i> 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 <b>0,5 балла</b>	1
3	Указано, что при подключении омметра к паре выводов <i>A</i> и <i>B</i> , на которых $U_{AB} = 0,00$ В, прибор в режиме «2 000 кОм» «зашкаливает».	1
	<b>Часть 2. Определение схемы и соответствия между выводами</b>	
4	Указано, что элементы внутри ящика не могут быть соединены по схеме «треугольник». Приведено обоснование этого вывода со ссылками на результаты измерений. <i>Примечание:</i> Без обоснования баллы за пункт не ставить.	1
5	Установлено соответствие между точками схемы 1, 2 и 3 и выводами <i>A</i> , <i>B</i> , <i>C</i> . Соответствие обосновано со ссылками на результаты измерений. <i>Примечание:</i> Без обоснования баллы за пункт не ставить.	2
6	Установлено, что элементы внутри ящика <u>не могут</u> быть соединены по схеме «цепочка». Приведено обоснование этого вывода со ссылками на результаты измерений и вычислений. <i>Примечание:</i> Без обоснования баллы за пункт не ставить.	3
	<b>Часть 3. Определение параметров элементов цепи</b>	
7	Из результатов п. 2 получено значение отношения $\frac{R}{r} = \frac{I_{AC}}{I_{BC}}$	1
8	Записаны верные выражения для напряжения вольтметра между парами выводов с учетом <u>неизвестного</u> внутреннего сопротивления вольтметра $U_{AC} = \frac{\mathcal{E}R_V}{R_V + r}, \quad U_{BC} = \frac{\mathcal{E}R_V}{R_V + R}.$	2
9	Значения <i>r</i> и <i>R</i> выражены через $R_V$ (из соотношений п. 7 и п. 8)	2
10	<b>Для приборов 830й серии</b> получено значение ЭДС в интервале с погрешностью не более 5%. При погрешности в пределах 7,5% за этот пункт ставится половина баллов <b>Для приборов 832й и 838й серий</b> получено значение ЭДС в интервале с погрешностью не более 10%. При погрешности в пределах 20% за этот пункт ставится половина баллов	2
11	<b>Для приборов 830й серии</b> получено значение <i>r</i> в интервале с погрешностью не более 5%. При погрешности в пределах 10% за этот пункт ставится половина баллов.	2

	Для приборов 832й и 838й серий получено значение $r$ в интервале с погрешностью не более 10%. При погрешности в пределах 20% за этот пункт ставится половина баллов	
12	Для приборов 830й серии получено значение $R$ в интервале с погрешностью не более 5%. При погрешности в пределах 10% за этот пункт ставится половина баллов. Для приборов 832й и 838й серий получено значение $R$ в интервале с погрешностью не более 10%. При погрешности в пределах 20% за этот пункт ставится половина баллов.	2

Примечания к п.п. 10 – 12.

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 п.п. 10 – 12 **не ставить!**

**В Москве использовались мультиметры 830 серии**

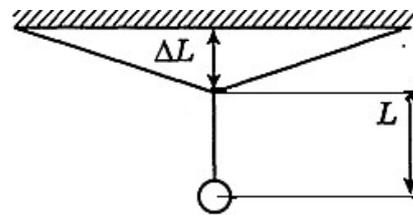
**10 Пункт: (19-21) В – 2 балла; (18-22) В – 1 балл**

**11 Пункт (480 – 540) кОм – 2 балла; (455 – 565) кОм – 1 балл**

**12 Пункт: (1,7 – 1,9) МОм - 2 балла; (1,6 – 2,0) МОм – 1 балл**

**Э-11.2. Изменяющаяся траектория. Оборудование.** Два канцелярских зажима (клипсы) 51 мм; гайка М10; нить длиной 2,5 – 3 м; секундомер; линейка длиной 50 см, лист бумаги А4, два листа миллиметровой бумаги А4 для построения графиков.

Закрепите зажимы на краю стола на расстоянии 40-45 см друг от друга. Привяжите концы нити к проволочным «лапкам» зажимов так, чтобы прогиб  $\Delta L$  составлял 2 – 3 см. К середине этой нити привяжите другую нить длиной около 60 см с гайкой. У вас должна получиться система из нитей и гайки, представленная на рис.1. Изменяя расстояние между зажимами, вы можете регулировать величину «прогиба»  $\Delta L$ .



Обозначим вертикальную плоскость, в которой находятся нити и гайка в положении равновесия (плоскость рисунка), символом  $P$ .

**Задание.** На листе бумаги проведите прямую линию. Положите лист на пол так, чтобы нарисованная прямая находилась строго под краем стола и была ему параллельна.

1) Измерьте период  $T_1$  колебаний математического маятника, совершаемых в плоскости  $P$ , параллельной краю стола. Маятник должен перемещаться над нарисованной прямой.

2) Измерьте период  $T_2$  колебаний математического маятника, совершаемых в вертикальной плоскости, перпендикулярной краю стола. Чтобы контролировать движение маятника, расположите на полу лист так, чтобы нарисованная прямая была перпендикулярна краю стола.

3) Положите лист на полу так, чтобы нарисованная прямая составляла угол приблизительно  $45^\circ$  с плоскостью  $P$ . Отклоните гайку вдоль нарисованной прямой не несколько см в вертикальной плоскости  $S$ , и отпустите её. Гайка начнёт совершать движение по медленно изменяющейся траектории. Проекция траектории на горизонтальную плоскость сначала близка к прямой, затем постепенно превращается в эллиптическую, круговую и т.д. Вы можете заметить, что движение гайки является циклическим, то есть через некоторое время  $\tau$  движение гайки вернется в исходную плоскость  $S$ , и её траектории будет близка к первоначальной прямой. Измерьте период  $\tau$ .

4) Исследуйте экспериментально зависимость  $\tau(\Delta L)$ , изменяя  $\Delta L$  в диапазоне 2 – 7 см (не менее 5 точек) при постоянном значении  $L$  (50 см). Результаты измерений запишите в таблицу.

5) Исследуйте экспериментально зависимость  $\tau(L)$ , изменяя  $L$  в диапазоне 25 – 60 см (не менее 5 точек) при постоянном значении  $\Delta L$  (2,5 – 4 см). Результаты измерений запишите в таблицу.

6) При  $\frac{\Delta L}{L} \ll 1$  зависимость  $\tau(\Delta L, L)$  может быть описана формулой  $\tau = A \cdot L^\alpha \cdot \Delta L^\beta$ .

Используя графическую обработку экспериментальных результатов, определите значения  $\alpha$  и  $\beta$ .

7) Предложите теоретическое обоснование зависимости  $\tau = A \cdot L^\alpha \cdot \Delta L^\beta$ , получите теоретическое значение параметров этой зависимости ( $A$ ,  $\alpha$  и  $\beta$ ). Сравните теоретические результаты для  $\alpha$  и  $\beta$  с экспериментальными.

**Примечание.** При работе над п. 4 вы можете использовать приближение

$$(1 + x)^n \approx 1 + nx, \text{ справедливое при } x \ll 1.$$

*Внимание!* Из-за ограниченного времени выполнения задания погрешности определения  $\alpha$  и  $\beta$  оценивать не требуется, однако точность полученных вами промежуточных и конечных результатов будет учитываться при выставлении баллов!

**Э-11.2. Возможное решение.** Экспериментальные результаты и их обработка.

- 1) За время  $t_1 = 45,9$  с маятник совершил  $n_1 = 30$  колебаний. Тогда,  $T_1 = t_1/n_1 = 1,530$  с.
- 2) За время  $t_2 = 63,4$  с маятник совершил  $n_2 = 40$  колебаний. Тогда,  $T_2 = t_2/n_2 = 1,585$  с.
- 3) Полный поворот плоскости колебаний маятника произошёл за время  $\tau = 63,0$  с.

*Примечание.* По теоретическим выкладкам должно выполняться равенство:  $\tau = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1}$ .

Расхождение времени  $\tau$ , подсчитанного по этой формуле, и непосредственно измеренного, указывает на то, что точность измерения периодов  $T_1$  и  $T_2$  должна быть больше.

- 4) Результаты измерений зависимости  $\tau(\Delta L)$  при  $L = 60$  см представлены в табл.1.

$\Delta L$ , см	$\tau$ , с	$\ln \Delta L$	$\ln \tau$
2,6	69	0,96	4,23
1,6	107	0,47	4,67
3,2	58	1,16	4,06
4,5	42	1,50	3,74
6,4	29	1,86	3,37
7,1	26	1,96	3,26
4,4	42	1,48	3,74
5,1	38	1,63	3,64
2,9	63	1,06	4,14
3,7	49	1,31	3,89

- 5) Результаты измерений зависимости  $\tau(L)$  при  $\Delta L = 2,6$  см представлены в табл. 2.

$L$ , см	$\tau$ , с	$\ln L$	$\ln \tau$
60	68	4,09	4,22
53,5	58	3,98	4,06
46	42	3,83	3,74
37,5	31	3,62	3,43
30	24	3,40	3,18
23	15	3,14	2,71

- 6) Используя график  $\ln \tau$  от  $(\ln \Delta L)$  (рис. 2), определим показатель  $\beta \approx -0,94$ , а из углового коэффициент графика  $\ln \tau$  ( $\ln L$ ) (рис. 3) находим показатель  $\alpha \approx 1,57$ .

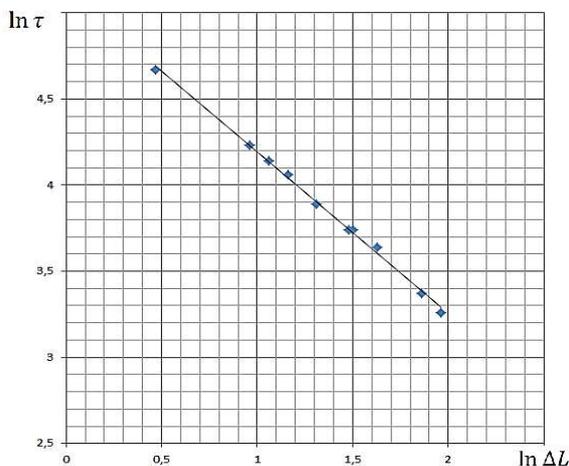


Рис. 2.

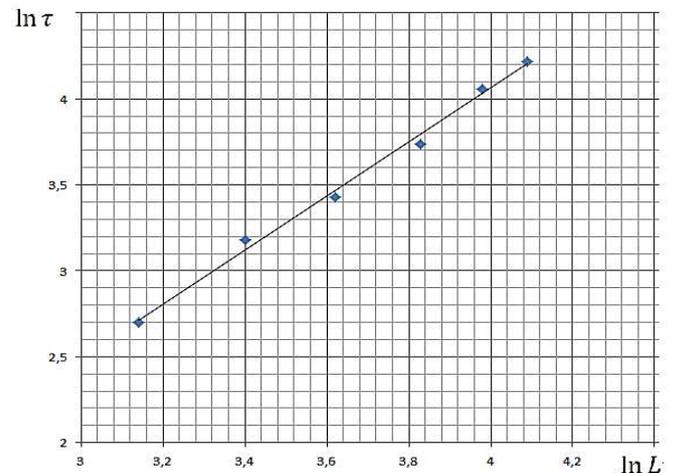


Рис. 3.

7) **Теоретическое описание.** Движение груза (гайки) является суперпозицией колебаний во взаимно перпендикулярных вертикальных плоскостях: плоскости  $P$  (в ней расположены нити с грузом) и плоскость  $R$  (она перпендикулярна краю стола и плоскости  $P$ ). В плоскости  $P$  период колебаний  $T_P = 2\pi\sqrt{L/g}$ . В плоскости  $R$  период равен  $T_R = 2\pi\sqrt{(L + \Delta L)/g}$ . В начале колебаний траектория груза близка к прямолинейной. Фаза колебаний равна 0. С течением времени колебания в плоскости  $R$  отстают по фазе от колебаний в плоскости  $P$ . При этом траектория становится эллиптической, затем близка к круговой (в этот момент отставание по фазе равно  $\pi/2$ ), и снова становится прямолинейной (отставание по фазе равно  $\pi$ ). К моменту завершения цикла разность фаз равна  $2\pi$ , то есть числа полных колебаний в перпендикулярных плоскостях отличаются на 1 ( $n$  полных колебаний в плоскости  $R$  и  $(n + 1)$  – число полных колебаний в плоскости  $P$ ):

$$\tau = 2\pi(n + 1)\sqrt{L/g}, \quad \tau = 2\pi n\sqrt{(L + \Delta L)/g}.$$

Отсюда:

$$\sqrt{\frac{L + \Delta L}{L}} = \frac{n + 1}{n}.$$

Учитывая, что  $\frac{\Delta L}{L} \ll 1$ , получаем:

$$\sqrt{\frac{L + \Delta L}{L}} \approx 1 + \frac{\Delta L}{2L} = 1 + \frac{1}{n}.$$

Тогда число полных колебаний в плоскости  $S$  до завершения цикла

$$n \approx \frac{2L}{\Delta L},$$

а для времени  $\tau$  получаем:

$$\tau = 2\pi n \sqrt{\frac{L + \Delta L}{g}} \approx \frac{4\pi}{\sqrt{g}} L^{1,5} \Delta L^{-1}.$$

Полученные экспериментально значения  $\alpha$  и  $\beta$  хорошо согласуются с теоретическими.

LVI Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.  
 Экспериментальный тур. 24 января 2022 г.  
 11 класс

№	Э-11.2. Критерии оценивания (20 баллов)	Баллы
1	Измерен период $T_1$	1
2	Измерен период $T_2$	1
3	Измерен период $\tau$	1
4	Исследована зависимость $\tau(\Delta L)$ . Приведена таблица значений. За каждую точку зависимости ставьте 0,5 балла (если точек более 5, баллы не добавляются)	2,5
5	Исследована зависимость $\tau(L)$ . Приведена таблица значений. За каждую точку зависимости ставьте 0,5 балла (если точек более 5, баллы не добавляются)	2,5
6	Построен график зависимости $\ln \tau (\ln \Delta L)$	1
7	На основании анализа графика п. 6 получено значение $\beta$ в интервале $(-0,8 \div -1,1)$ – 2 балла, а в интервале $(-0,7 \div -1,2)$ – 1 балл	2
8	Построен график зависимости $\ln \tau (\ln L)$	1
9	На основании анализа графика п.8 получено значение $\alpha$ в интервале $(1,35 \div 1,65)$ – 2 балла, в интервале $(1,2 \div 1,8)$ – 1 балл	2
10	Отмечено, что движение представляет собой суперпозицию перпендикулярных колебаний с разными периодами	1
11	Отмечено, что для возвращения к исходному состоянию груз должен совершить в одном направлении на одно колебание больше	1
12	Установлена связь между числом колебаний по одному из направлений со значением $\frac{\Delta L}{L}$	2
13	При использовании п. 10, 11, 12 или из других аналогичных рассуждений получены верные значения $\alpha$ и $\beta$ (по одному баллу за показатель)	2

*Примечание. В пунктах 11 и 12 возможен альтернативный подход, основанный на рассмотрении сдвига взаимно перпендикулярных колебаний по фазе на  $2\pi$ . При правильном использовании такого подхода за указанные пункты ставьте полный балл.*