

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.

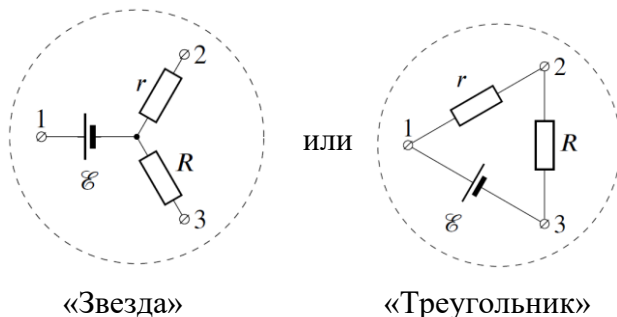


Рис. 1



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 μA (серия 830).

4. Переведём мультиметр в режим микроамперметра (предел 200 μA) 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

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

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

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

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 μA (серия 832, 838).

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

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

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

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

$$\frac{R_V + R}{R_V + r} = \frac{U_{AC}}{U_{BC}} = \frac{12,73}{6,82} = 1,87 \Rightarrow R_V + 3,45r = 1,87R_V + 1,87r$$

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

Подставим найденное значение:

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

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

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>Часть 1. Измерения</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>Если измерение однократное, то 0,5 балла</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 0,5 балла!</p> <p>Если измерение однократное, то 0,5 балла</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
	Часть 2. Определение схемы и соответствия между выводами	
5	Обосновано , 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
	Часть 3. Определение параметров элементов	
7	Из результатов п. 3 получено отношение $\frac{R}{r} = \frac{I_{AC}}{I_{BC}}$	2
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 приборов 830-й серии получено значение напряжения, отличающееся от авторского не более чем на 3%. При отклонении на 3% – 5% за этот пункт ставится половина баллов.</p> <p>Для приборов 832-й и 838-й серий получено значение напряжения, отличающееся от авторского не более чем на 10%. При отклонении на</p>	2

LVI Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.

Экспериментальный тур. 24 января 2022 г.

9 класс

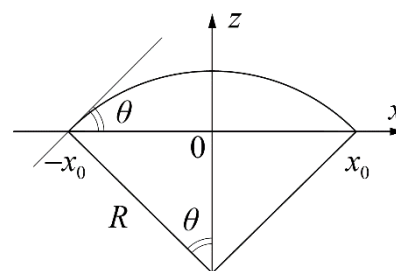
	10% – 20% за этот пункт ставится половина баллов.	
11	<p>Для приборов 830-й серии получено значение r, отличающееся от авторского не более чем на 3%. При отклонении на 3% – 5% за этот пункт ставится половина баллов.</p> <p>Для приборов 832-й и 838-й серий получено значение r, отличающееся от авторского не более чем на 10%. При отклонении на 10% – 20% за этот пункт ставится половина баллов.</p>	2
12	<p>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.</p> <p>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.</p>	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!**

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 объёма V_B жидкости в капле и угла θ . 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 θ .

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 θ от коэффициента k . Определите угол θ_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
θ , 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.

Э-9.2. Возможное решение

1. 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 $V_k = 4,2 \cdot 10^{-3}$ мл. Этот объём зависит от внутреннего диаметра иглы и свойств жидкости.

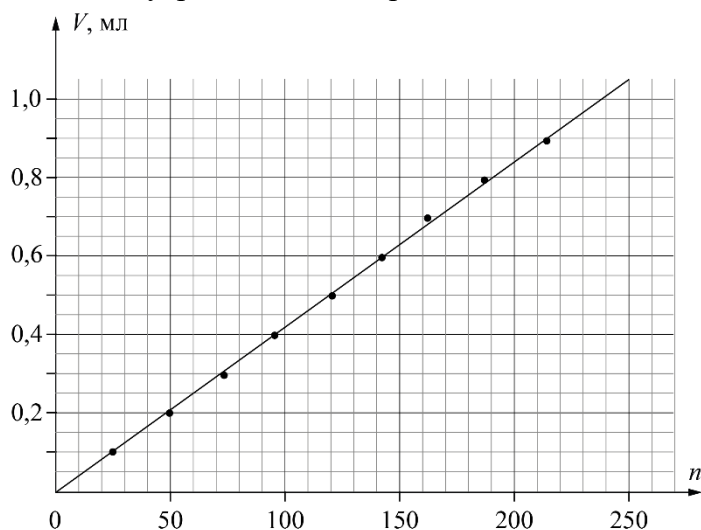


Рис.1

V_B , мл	N , шт
0,1	24
0,2	49
0,3	73
0,4	95
0,5	120
0,6	142
0,7	162
0,8	187
0,9	214

Табл. 1

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.

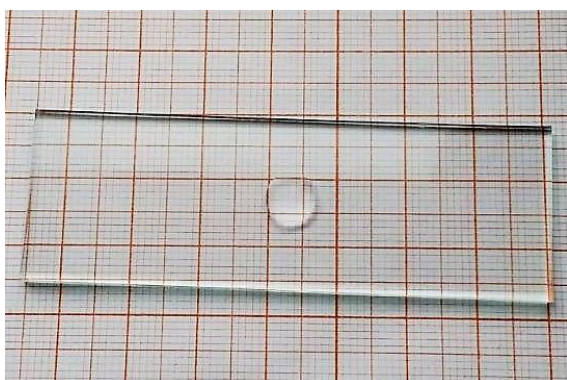


Рис.3



Рис. 4

3. 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 цены 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.

Число капель N , шт	Объём капели на стекле V_B , мл	Диаметр капели на стекле d , мм	d^3 , мм ³	$\varepsilon(d)$, %	$\varepsilon(d^3)$, %	$\Delta(d^3)$, мм ³
1	0,0042	5,0	125	10,0	30,0	38
2	0,0084	5,5	166	9,1	27,3	45
3	0,0126	6,0	216	8,3	25,0	54
4	0,0168	7,5	422	6,7	20,0	84
5	0,0210	8,0	512	6,3	18,8	96
6	0,0252	9,0	729	5,6	16,7	122
7	0,0294	9,5	857	5,3	15,8	135
8	0,0336	10,0	1000	5,0	15,0	150
9	0,0378	10,0	1000	5,0	15,0	150
10	0,0420	10,5	1158	4,8	14,3	165

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. Угловой коэффициент прямой, проведённой с минимально возможным наклоном, равен $k_{\min} = 0,032$, а с максимально возможным наклоном $k_{\max} = 0,041$. В итоге, значение углового коэффициента можно представить как $k = (37 \pm 5) \cdot 10^{-3}$.

Примечание. Расчёт, проведенный методом наименьших квадратов для прямой, построенной по точкам второго и четвёртого столбца таблицы 2, дает $k = (36 \pm 3) \cdot 10^{-3}$, что подтверждает достоверность приведённой оценки погрешности графическим методом.

Из графика зависимости k от θ находим, что в данном эксперименте угол θ_0 равен $21^\circ \pm 3^\circ$.

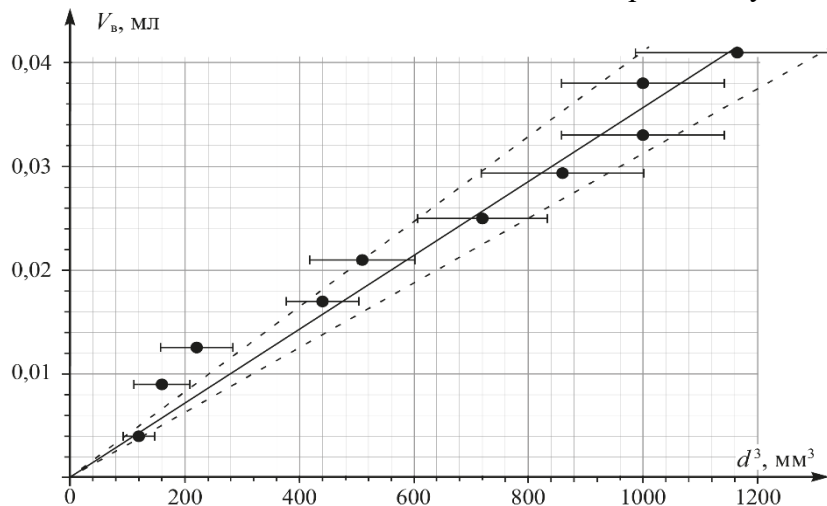


Рис.5

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

№	Э-9.1. Критерии оценивания (из 20 баллов)	Баллы
1	Определено значение объема одной капельки из шприца V_k Многократно (график или иначе) 2 балла Однократно 1 балл Результат 1 балл	3
2	Таблица измерений зависимости $d(N)$ Серия измерений проведена 2 раза или более 4 балла Однократно 3 балл	4
3	Дополнение таблицы значениями V_b и d^3	1
4	График зависимости $V_b(d^3)$ - подписаны оси и указаны единицы измерения 1 балл - равномерная и удобная шкала (1, 2, 5 мелких клеток между соседними оцифрованными штрихами) 0,5 балла - масштаб (график занимает более 60% поля листа) 0,5 балла - верно нанесено не менее 90% точек 0,5 балла - проведена гладкая линия 0,5 балла - нанесены погрешности (кресты ошибок) 1 балл	4
5	Определено значение коэффициента k	2
6	Оценка погрешности k	1
7	Построение калибровочного графика θ от коэффициента k - подписаны оси и указаны единицы измерения 1 балл - равномерная и удобная шкала 0,5 балла - масштаб (график занимает более 60% поля листа) 0,5 балла - верно нанесено не менее 90% точек 0,5 балла - проведена гладкая линия 0,5 балла	3
8	Определено значение угла θ_0	1
9	Найдена погрешность θ_0	1