

Задание 7.1. Стержень в шприце. Внутри одного из выданных вам шприцев находится металлический стержень длиной $L = 45$ мм.

Определите внутренний диаметр D шприца, диаметр d стержня и плотность ρ материала, из которого изготовлен стержень.

Внимание! Разбирать шприцы запрещается.

Приборы и оборудование.

1. Шприц 20 мл (2 шт. одинаковых).
2. Металлический стержень (в одном из шприцев).
3. Весы электронные.
4. Пластиковый стакан, заполненный водой примерно наполовину.
5. Бумажные салфетки для поддержания чистоты на рабочем месте.

Возможное решение.

1. Взвешиваем пустой шприц. Его масса $m_0 = 12$ г.
2. Взвешиваем шприц со стержнем. Его масса $m = 26$ г.
Масса стержня $m_c = m - m_0 = 14$ г.
3. Так как длина стержня известна, определяем расстояние ΔX между штрихами на шкале шприца в миллиметрах: $\Delta X = 3,46$ мм.
4. Заполняем шприц водой до максимального деления $V_{\text{макс}}$ и определяем массу m_1 шприца, заполненного водой. Выдавливаем максимально возможное количество воды из шприца (до упора поршня в стержень). Определяем массу шприца m_2 . Зная массу вылитой при этом воды

$$\Delta m = m_1 - m_2$$

и, соответственно, ее объем, а также расстояние в миллиметрах, на которое переместился поршень, вычисляем площадь внутреннего сечения S_0 и внутренний диаметр шприца $D = 19$ мм.

5. Масса воды в шприце при высоте ее столба равной длине стержня

$$m_3 = m_2 - m. \quad \text{Ее объем } V = m_3 / \rho.$$

Вычисляем площадь поперечного сечения «кольца» воды высотой равной длине стержня $S_1 = V/L$.

Площадь сечения стержня $S_c = S_0 - S_1$. Диаметр стержня $d = (4S_c/\pi)^{1/2} = 12$ мм.

6. Объем стержня $V_c = S_c L$. Плотность стержня $\rho = m_c / V_c = 2,8 \text{ г/см}^3 = 2,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Критерии оценивания (10 баллов)

1	Определена масса стержня с точностью не хуже 3%	1 балл
2	Определена цена деления шприца в миллиметрах	1 балл
3	Определен внутренний диаметр шприца с точностью не хуже 3% с точностью 5% 1 балл	2 балла
4	Определен диаметр стержня с точностью не хуже 3% с точностью не хуже 5% 2 балла с точностью не хуже 7% 1 балл	3 балла
5	Определен объем стержня с точностью не хуже 7 %	1 балл
6	Рассчитана плотность стержня с точностью не хуже 10% с точностью не хуже 15% 1 балл	2 балла

Задание 7.2. Скатывание шарика. На наклонном жёлобе (алюминиевый уголок), начиная от его нижнего конца, фломастером нанесены отметки N_i через каждые 15 см. На 5 см ниже каждой из этих отметок нанесены другие отметки n_i . Нижний конец желоба должен касаться упора (деревянного бруска).

Запустите без начальной скорости металлический шарик от отметки N_i и включите секундомер в тот момент, когда шарик прокатывается мимо отметки n_i . Остановите секундомер в момент соприкосновения шарика с упором. Повторите эксперимент для каждой из отметок N_i не менее 5 раз. Усредните результат. Заполните таблицу.



L , см						
t_1 , с						
t_2 , с						
t_3 , с						
t_4 , с						
t_5 , с						
$t_{\text{ср.}}$, с						
$v_{\text{ср.}}$, см/с						

Постройте график зависимости $v_{\text{ср.}i}$ от $t_{\text{ср.}i}$.

Определите скорость, которую достигает шарик, преодолев из состояния покоя участок длиной 5 см.

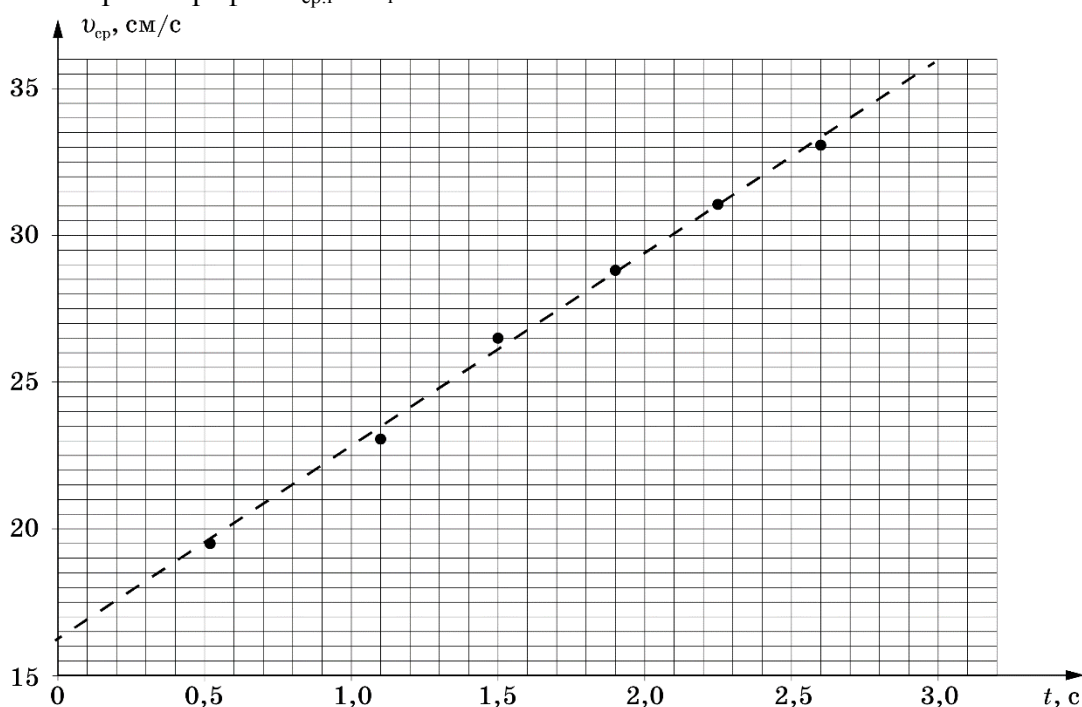
Оборудование: Алюминиевый уголок, шарик, закреплённый одним концом в коробке; деревянный брусок (упор); секундомер; миллиметровая бумага формата (A5) для построения графика.

Возможное решение.

1. Запускаем шарик от самой дальней отметки N_1 . Измеряем время t_1 скатывания. Повторяем эксперимент 5 раз. Вычисляем $t_{cp.1}$. Заносим результаты в таблицу.
2. Аналогично пункту (1) проводим аналогичный эксперимент для других отметок N_i .

$L, \text{ см}$	85	70	55	40	25	10
$t_1, \text{ с}$	2,59	...	...	...	...	...
$t_2, \text{ с}$	2,50	...	...	...	...	...
$t_3, \text{ с}$	2,60	...	...	...	...	...
$t_4, \text{ с}$	2,56	...	...	...	...	...
$t_5, \text{ с}$	2,60	...	...	...	...	...
$t_{cp.}, \text{ с}$	2,57	2,25	1,91	1,51	1,08	0,51
$v_{cp}, \text{ см/с}$	33	31	29	26	23	20

3. Строим график $v_{cp.i}$ от t_i .



4. Определяем скорость, которую достигает шарик, преодолев из состояния покоя участок длиной 5 см (момент времени $t = 0 \text{ с}$): $v(5) \approx 17 \text{ см/с}$.

Критерии оценивания (10 баллов)

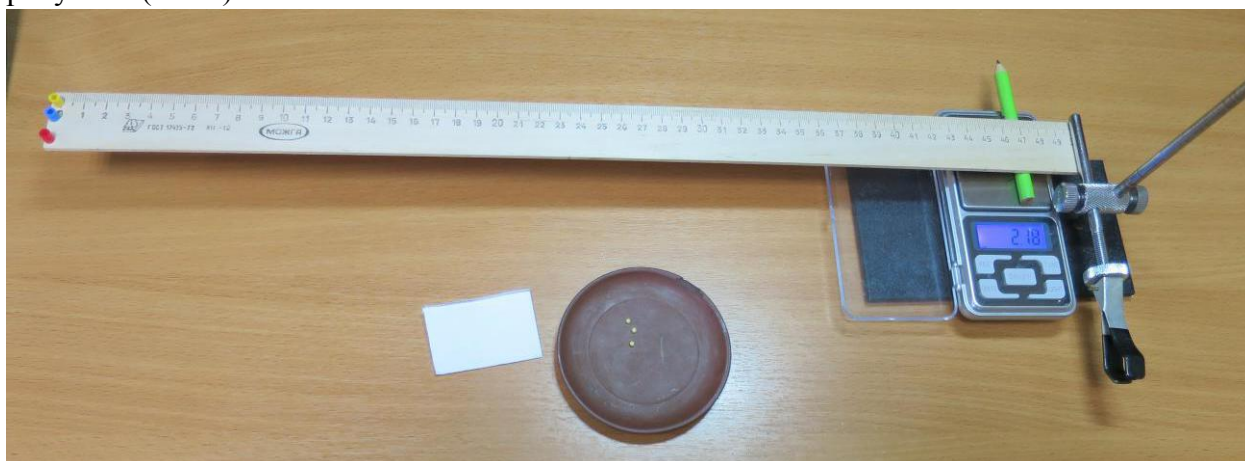
1	Снята зависимость $t_{\text{ср},i}$ от L_i (не менее пяти точек) За подсчёт каждой из пяти точек по 1 баллу	5 балла
2	График зависимости $t_{\text{ср}}(L)$: а) отложены единицы измерения по осям (0,5 балла) б) выбран рациональный масштаб по осям (0,5 балла) в) нанесены шкалы на оси (0,5 балла) г) соответствие точек, нанесённых на график, табличным значениям (0,5 балла) д) проведена прямая $t_{\text{ср}}(L)$ (1 балл)	3 балл
3	Вычислено время спуска шарика с высоты 5 см	1 балл
4	Вычислена средняя скорость шарика, преодолевшего первые 5 см	1 балл

Олимпиада им. Дж. Кл. Максвелла. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Задание 8.1. Усилитель. С помощью выданного вам оборудования определите с точностью не хуже 0,001 г среднюю массу одного зёрнышка: а) проса; б) риса; в) гречки. Вычислите массу чернил в линии (длиной 1 м), нарисованной гелевой ручкой.

Оборудование: весы электронные; деревянная линейка (длиной 50 см); короткий круглый карандаш длиной 4-5 см; штатив с муфтой и лапкой; по 3 зёрнышка риса, проса и гречки; гелевая ручка, три листа бумаги А4.

Возможное решение. Используя рычаг из линейки в качестве усилителя для электронных весов и штатив в качестве упора для рычага, собираем установку, представленную на двух рисунках (ниже).



Перед взвешиванием лёгкого тела производим «тарировку» весов. Тем самым мы избавляемся от необходимости учитывать момент силы тяжести, действующей на сам рычаг. Исследуемое тело помещаем на дальнем конце линейки. С помощью правила моментов, записанного относительно короткого конца рычага, упирающегося в лапку штатива, определяем усиление добавочного воздействия на весы в k раз. Так же можно найти усиление рычага экспериментально: предварительно взвесив лист бумаги А4 (его масса 5 г), и взяв часть (например, 1/16) взвесить этот кусочек на собранной установке. Для справки в таблице приведены результаты измерений для имеющихся в распоряжении автора зёрен:

	m_1 , Г	m_2 , Г	m_3 , Г	$\langle m \rangle$, Г	$m_{\text{зерна}}$, МГ
гречка	0,22	0,21	0,23	0,22	22
рис	0,23	0,24	0,25	0,24	24
просо	0,08	0,09	0,08	0,08	8

**Олимпиада им. Дж. Кл. Максвелла. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.**

Данная таблица **не является** «универсальным правильным ответом», так как масса зёрен значительно отличается от партии к партии, от сорта к сорту и т.д.

Для определения линейной плотности следа гелевой ручки измеряем массу m_0 заполненного стержня ручки. На листе бумаги А4 ($l = 27$ см), проводим N линий до тех пор, пока уровень чернил в ручке не изменится на 1,5 – 2 см. Повторно измеряя массу стержня, получаем значение m_1 . Суммарная длина всех линий $L = Nl$. Тогда, $\lambda = (m_0 - m_1)/L$.

У автора получился результат $\lambda = 0,12$ мг/м, что также **не является** «универсальным ответом».



Критерии оценивания (10 баллов)

1	Описана методика «увеличения» показаний весов при взвешивании лёгких объектов: а) Изложена идея рычага (2 балла) б) Вычислен коэффициент усиления системы «рычаг – весы» (2 балла)	4 балла
2	Проведено взвешивание 3-х зёрен проса (1 балл). Определена средняя масса 1 зёрнышка (0,5 балла).	1,5 балла
3	Проведено взвешивание 3-х зёрен риса (1 балл). Определена средняя масса 1 зёрнышка (0,5 балла).	1,5 балла
4	Проведено взвешивание 3-х зёрен гречневой крупы (1 балл). Определена средняя масса 1 зёрнышка (0,5 балла).	1,5 балла
5	Предложена методика взвешивания чернил гелевой ручки (1 балл). Определена масса чернил на 1 м нарисованной линии (0,5 балла).	1,5 балла

В случае прямых измерений масс зёрен, или если коэффициент усиления рычага $k < 5$, баллы за **результаты измерений масс (по 0,5 балла)** не ставятся.

Измерения масс стержня при изменении уровня чернил менее чем на 1 см не оцениваются полным баллом за п.5.

Задание 8.2. Лёд в стакане. Количество теплоты, передаваемое в единицу времени от нагретого тела к холодному, прямо пропорционально разности температур между этими телами (Закон Ньютона-Рихмана): $Q = \alpha(t_2 - t_1)\tau$, где α – коэффициент теплопередачи, τ – время теплопередачи, t_1 – температура холодного тела, t_2 – нагретого тела.

Определите коэффициенты теплопередачи α_1 и α_2 от воздуха в комнате к 50 г воды, имеющей температуру 0°C , в тонкостенном пластиковом стакане (α_1) и в стакане из пенопласта (α_2).

Оборудование: термометр, пластиковый стакан и стакан из пенопласта, крышка с отверстием под термометр, секундомер, одноразовые тарелка и ложечка, весы, салфетки, вода, лёд (по требованию); миллиметровая бумага (для построения графиков).

Задание. Возьмите тонкостенный пластиковый стаканов, налив в него воды (приблизительно 40 г) и охладите её до температуры не более $(2 \div 3)^\circ\text{C}$. Опустите в охлаждённую воду кусочек льда. Каждые две минуты быстро взвешивайте кусочек льда, положив предварительно на весы толстый слой салфетки. Перед каждым взвешиванием обнуляйте показания весов. Зафиксируйте массу воды, остающейся на салфетке после каждого взвешивания.

Повторите эксперимент со вторым стаканом.

Постройте графики зависимости массы воды, переходящей из твердого состояния в жидкое внутри стакана, от времени для каждого из стаканов.

На основе полученных графиков определите коэффициенты теплопередачи α_1 и α_2 .

Проведите ещё раз эксперимент с пенопластовым стаканом первый раз взвесив лёд через 2- 3 минуты после его погружения в стакан и второй раз ещё через 15 минут.

Вычислите коэффициент теплопередачи α_{22} в данном случае.

Если расхождение между α_2 и α_{22} превышает 20%, объясните причину этого расхождения.

Примечание. Выданный вам лёд может иметь отрицательную температуру, что скажется на характере начального участка полученной зависимости.

Удельная теплота плавления льда $\lambda = 330\,000$ Дж/кг.



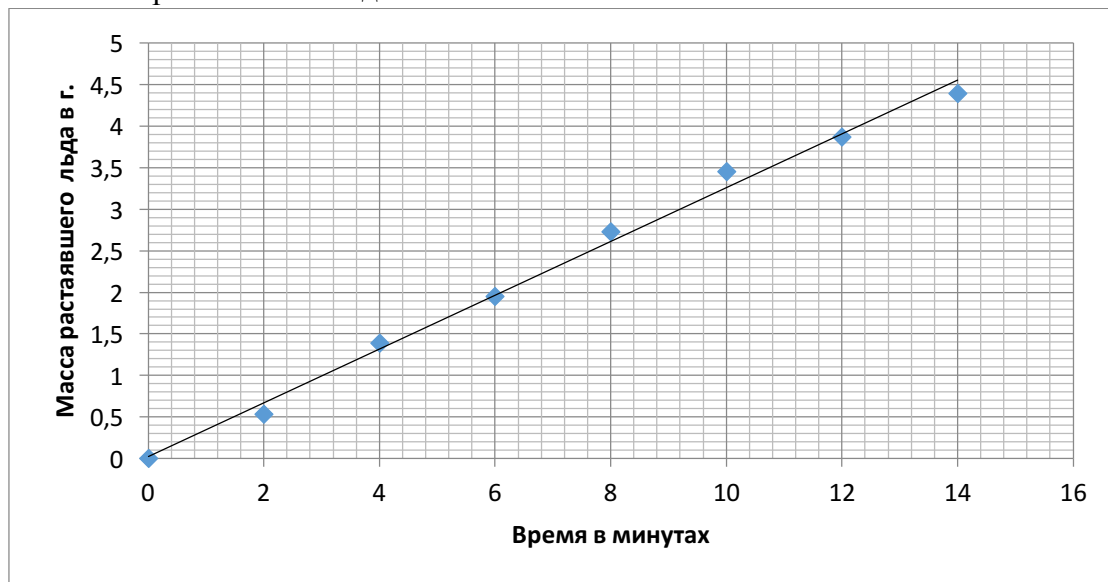
Возможное решение. В исследуемый (пластиковый) стакан наливаем приблизительно 40 г воды, опускаем в неё кусочек льда и следим за понижением температуры. Если к моменту окончания таяния первого кусочка льда вода ещё не достигнет 2 – 3 градусов С, опускаем в воду другой кубик льда и убеждаемся, что температура смеси достигла 2 – 3 градусов С. Измеряем массу воды в стакане. Если она превышает 50 г. излишек отливаем в другой стакан и удаляем остатки льда (если таковые имеются).

Взвешиваем новый кусочек льда, опускаем его в воду и включаем секундомер. Каждые две минуты ложечкой извлекаем лёд из воды, взвешиваем его на весах и возвращаем в стакан. Перед каждым взвешиванием тарируем весы (устанавливаем ноль). На время измерения массы льда останавливаем секундомер. После каждого взвешивания записываем массу воды, оставшейся на салфетке.

Результаты измерений заносим в таблицу 1.

№	m , г	Δm_1 , г	Δm_2 , г	τ , мин	M , г
1	7,87	0,19		0	
2	7,15	0,29	0,53	2	0,53
3	6,00	0,11	0,86	4	1,39
4	5,33	0,17	0,56	6	1,95
5	4,38	0,08	0,78	8	2,73
6	3,58	0,07	0,72	10	3,45
7	3,09	0,10	0,42	12	3,87
8	2,47	0,11	0,52	14	4,39

Здесь m – масса льда, Δm_1 – масса воды, оставшейся на весах при взвешивании, Δm_2 – масса воды, растаявшей в стакане за 2 минуты ($\Delta m_2 = 0,53 \text{ г} = (7,87 - 0,19 - 7,15) \text{ г}$) и так далее, τ – время таяния льда, M – масса растаявшего льда.



Угловой коэффициент графика $\left(\frac{\Delta M}{\Delta \tau} \right)_1 \approx 0,32 \left(\frac{\text{г}}{\text{мин}} \right)$. Коэффициент теплопередачи

$\alpha_1 = 0,080 \text{ Вт/}^\circ\text{С}$ вычислим из уравнения теплового баланса: $M\lambda = \alpha(t_2 - 0)\tau$.

Олимпиада им. Дж. Кл. Максвелла. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Аналогичные измерения проводим для пенопластового стакана: $\left(\frac{\Delta M}{\Delta t}\right)_1 \approx 0,15 \left(\frac{\text{г}}{\text{мин}}\right),$

$$\alpha_2 = 0,037 \text{ Вт/}^\circ\text{С}.$$

Коэффициенты α_1 и α_2 вычислены для комнатной температуры $t_2 = 22^\circ\text{С}.$

Различие результатов, полученных графическим методом при измерениях массы льда с периодичностью 2 минуты, и по двум измерения через 15 минут, может быть в случае, если при вычислении массы растаявшего льда не учитывается масса воды, остающейся на весах за время измерений.

Критерии оценивания (10 баллов)

1	Результаты измерений зависимости массы воды, переходящей из твердого состояния в жидкое внутри тонкостенного стакана, от времени. Если не учтена масса воды, остающаяся на салфетке. 1 балл	2 балла
2	Результаты измерений зависимости массы воды, переходящей из твердого состояния в жидкое внутри пенопластового стакана, от времени. Если не учтена масса воды, остающаяся на салфетке. 1 балл	2 балла
3	Результаты измерений зависимости массы воды, переходящей из твердого состояния в жидкое внутри пенопластового стакана, от времени по двум крайним точкам	1 балл
4	Построены графики измеренных зависимостей	2 балла
5	Записано уравнение теплового баланса	0,5 балла
6	Вычислен коэффициент α_1 с точностью не хуже 20% с точностью не хуже 30% 0,5 балла	1 балл
7	Вычислен коэффициент α_2 с точностью не хуже 20% с точностью не хуже 30% 0,5 балла	1 балл
8	Вычислен коэффициент α_{22} и указана причина его отличия от α_2 (в случае наличия такового) Если расхождение между α_2 и α_{22} превышает 20%, а причина его не указана, баллы не ставить.	0,5 балла

LIII Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Задание 9.1. Гидроящик. Внутри шарика находятся вода и металлический цилиндр (воздух удален). Развязывать или рвать шарик запрещено. **(При нарушении этого пункта за данное задание ставится ноль баллов).**

Массой и объемом стенок шарика можно пренебречь. Плотность воды $\rho = 1\,000\text{ кг/м}^3$.

Определите массу $m_{\text{ц}}$ металлического цилиндра, находящегося в шарике, и массу $m_{\text{в}}$ воды в шарике.

Оборудование: шарик с водой и металлическим цилиндром, стакан с водой, нитка, линейка, дополнительный груз массы $m = (50 \pm 1)\text{ г}$, штатив со стержнем.

LIII Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Задание 9.1. Гидроящик. Внутри шарика находятся вода и металлический цилиндр (воздух удален). Развязывать или рвать шарик запрещено. **(При нарушении этого пункта за данное задание ставится ноль баллов).**

Массой и объемом стенок шарика можно пренебречь. Плотность воды $\rho = 1\,000\text{ кг/м}^3$.

Определите массу $m_{\text{ц}}$ металлического цилиндра, находящегося в шарике, и массу $m_{\text{в}}$ воды в шарике.

Оборудование: шарик с водой и металлическим цилиндром, стакан с водой, нитка, линейка, дополнительный груз массы $m = (50 \pm 1)\text{ г}$, штатив со стержнем.

LIII Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Задание 9.1. Гидроящик. Внутри шарика находятся вода и металлический цилиндр (воздух удален). Развязывать или рвать шарик запрещено. **(При нарушении этого пункта за данное задание ставится ноль баллов).**

Массой и объемом стенок шарика можно пренебречь. Плотность воды $\rho = 1\,000\text{ кг/м}^3$.

Определите массу $m_{\text{ц}}$ металлического цилиндра, находящегося в шарике, и массу $m_{\text{в}}$ воды в шарике.

Оборудование: шарик с водой и металлическим цилиндром, стакан с водой, нитка, линейка, дополнительный груз массы $m = (50 \pm 1)\text{ г}$, штатив со стержнем.

Возможное решение. Убедимся, что центр масс линейки находится в середине её длины. Для этого уравновесим линейку на горизонтальном стержне. На один край линейки подвесим на нити груз известной массы, а на другой – шарик. Уравновесим линейку так, чтобы плечи были как можно больше, а центр масс линейки располагался над стержнем. Измерим плечи.

$$L_{\Gamma} = 15,0 \text{ см}$$

$$L_{\text{ш}} = 9,5 \text{ см}$$

Запишем условие равновесия:

$$m_{\Gamma} g L_{\Gamma} = (m_{\text{в}} + m_{\text{т}}) g L_{\text{ш}}, \text{ откуда } m_{\text{в}} + m_{\text{т}} = m_{\Gamma} \frac{L_{\Gamma}}{L_{\text{ш}}} = 98,7 \text{ г}$$

Примечание: В авторской установке использовался груз массой $m_{\Gamma} = 62,5 \text{ г}$

Повторим опыт полностью погрузив шарик в воду.

$$L'_{\Gamma} = 7,1 \text{ см}$$

$$L'_{\text{ш}} = 15,0 \text{ см}$$

Сила тяжести воды, находящейся в шарике, полностью компенсируется силой Архимеда, поэтому условие равновесия выглядит следующим образом:

$$m_{\Gamma} g L'_{\Gamma} = (m_{\text{т}} g - \rho_{\text{в}} g V_{\text{т}}) L'_{\text{ш}}, \text{ откуда } m_{\text{т}} = m_{\Gamma} \frac{L'_{\Gamma}}{L'_{\text{ш}}} + \rho_{\text{в}} V_{\text{т}}$$

Для определения объема тела прижмем его к поверхности шарика и через оболочку шарика линейкой измерим высоту и диаметр тела.

$$h = 1,7 \text{ см}, \quad d = 1,9 \text{ см}$$

$$\text{Тогда } V_{\text{т}} = \frac{h \pi d^2}{4} = 4,81 \text{ см}^3$$

$$m_{\text{т}} = 34,4 \text{ г}$$

$$\text{Тогда } m_{\text{в}} = 98,7 \text{ г} - 34,4 \text{ г} = 64,3 \text{ г}$$

Оценим погрешность

$$\begin{aligned} \Delta m_{\text{т}} &= \Delta \left(m_{\Gamma} \frac{L'_{\Gamma}}{L'_{\text{ш}}} \right) + \Delta (\rho_{\text{в}} V_{\text{т}}) = m_{\Gamma} \frac{L'_{\Gamma}}{L'_{\text{ш}}} \left(\frac{\Delta m_{\Gamma}}{m_{\Gamma}} + \frac{\Delta L'_{\Gamma}}{L'_{\Gamma}} + \frac{\Delta L'_{\text{ш}}}{L'_{\text{ш}}} \right) + \rho_{\text{в}} V_{\text{т}} \left(\frac{\Delta h}{h} + 2 \frac{\Delta d}{d} \right) \\ &= 62,5 \frac{7,1}{15,0} \left(\frac{1}{62,5} + \frac{0,1}{7,1} + \frac{0,1}{15} \right) + 1 \cdot 4,81 \left(\frac{0,1}{1,7} + 2 \frac{0,1}{1,9} \right) = 1,9 \text{ г} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta m_{\text{в}} &= \Delta \left(m_{\Gamma} \frac{L_{\Gamma}}{L_{\text{ш}}} \right) + \Delta m_{\text{т}} = m_{\Gamma} \frac{L_{\Gamma}}{L_{\text{ш}}} \left(\frac{\Delta m_{\Gamma}}{m_{\Gamma}} + \frac{\Delta L_{\Gamma}}{L_{\Gamma}} + \frac{\Delta L_{\text{ш}}}{L_{\text{ш}}} \right) + \Delta m_{\text{т}} \\ &= 62,5 \cdot \frac{15}{9,5} \left(\frac{1}{62,5} + \frac{0,1}{15} + \frac{0,1}{9,5} \right) + 1,9 = 5,2 \text{ г} \end{aligned}$$

Окончательно получаем

$$m_{\text{т}} = (34 \pm 2) \text{ г}$$

$$m_{\text{в}} = (64 \pm 5) \text{ г}$$

LIII Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Критерии оценивания (15 баллов)

1	Выполнена проверка расположения центра масс линейки в ее центре	1 балл
2	Выполнено взвешивание шарика в воздухе	1 балл
3	При этом ц. м. линейки был на опоре	0,5 балла
4	При этом длины плеч были максимально возможными	0,5 балла
5	Условие равновесия в воздухе	1 балл
6	Выполнено взвешивание шарика в сосуде с водой	1 балл
7	При этом ц. м. линейки был на опоре	0,5 балла
8	При этом длины плеч были максимально возможными	0,5 балла
9	Условие равновесия в воде	2 балла
10	Предложен разумный способ определения объема металлического цилиндра	1 балл
11	Найдена масса тела с отклонением не более 10% (не более 20% - 1 балл)	2,5 балла
12	Найдена масса воды с отклонением не более 10% (не более 20% - 1 балл)	2,5 балла
13	Оценена погрешность	1 балл

Требования к организаторам:

Шарик с водой и телом: изготавливается из прочного непрозрачного воздушного шарика внутрь которого нужно поместить металлическое цилиндрическое тело массой 30-40 грамм и воду объемом 60-70 мл. Тело должно быть строго цилиндрический и с гладкими краями, чтобы оно не могло повредить шарик. Массы тел и объемы воды должны быть одинаковыми во всех экземплярах установок. Воздух из шарика нужно полностью удалить, а шарик герметично завязать. Для удаления воздуха можно вставить пустой шприц объемом 40 мл в шарик и с его помощью откачать воздух, пока в шприц не начнет поступать вода (см. фото), затем выдавить воду из шприца обратно в шарик, не запуская в него воздух. После этого нужно перевязать шарик ниткой ниже шприца и извлечь шприц.



Стакан с водой: обрезанная бутылка объемом 1,5-2 литра высотой не менее 15 см, заполненная водой примерно до уровня 12 см

Нитка: Кусок обычной х/б нити, которую можно рвать руками. Длина куска около 1 метра.

Линейка: Деревянная линейка длиной 30 см.

Груз известной массы: грузик массой 50 г.

Штатив со стержнем: штатив с муфтой и горизонтальным стержнем, который можно использовать в качестве опоры для рычага.

Задание 9.2. Нагревание батарейки. В этой задаче вам предстоит исследовать, как изменяется напряжение на батарейке при её нагреве (охлаждении).

Оборудование: 2 одинаковые батарейки АА; термостойкий пакет; ёмкость для воды; нитка; горячая вода (по требованию); мультиметр с проводами; электронный термометр; макетная плата; миллиметровая бумага формата А5 (для построения графиков).

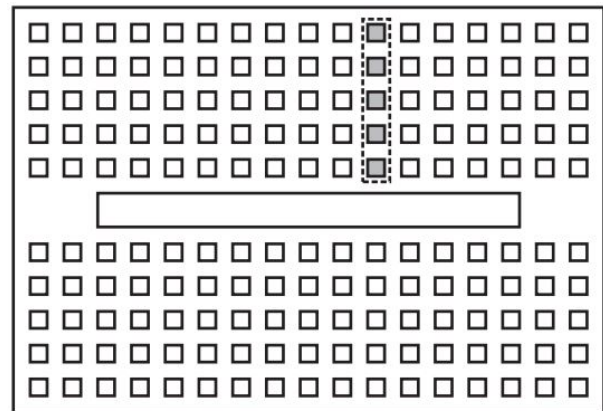
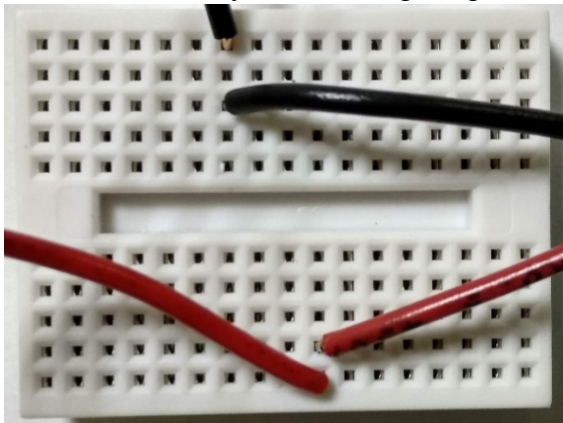
Немного теории. Напряжение на батарейке зависит от температуры: $U(T) = U_0 + \Delta U(T)$, где U_0 – напряжение при комнатной температуре. При планировании эксперимента учтите, что изменение напряжения мало по сравнению с U_0 .

Задание.

1. Измерьте U_0 .
2. Измерьте зависимость ΔU от температуры.
3. Постройте график измеренной зависимости $U(T)$.
4. Предложите функцию, описывающую зависимость ΔU от температуры. Определите параметры предложенной функции.
5. Возрастает или уменьшается напряжение при росте температуры?

Примечания.

1. Макетная плата (см. рис) используется для соединения проводов и подключения мультиметра. Каждые пять соседних гнезд макетной платы, расположенные в одном ряду, внутри платы соединены между собой. Например, соединены выводы, отмеченные на рисунке серым цветом.

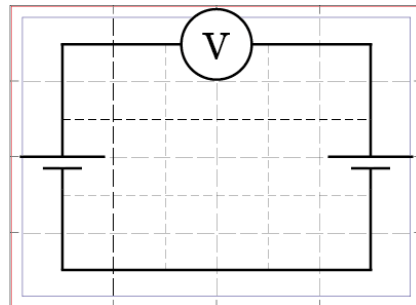


2. Батарейки не должны непосредственно контактировать с водой и не должны быть мокрыми. Используйте термостойкий пакет.

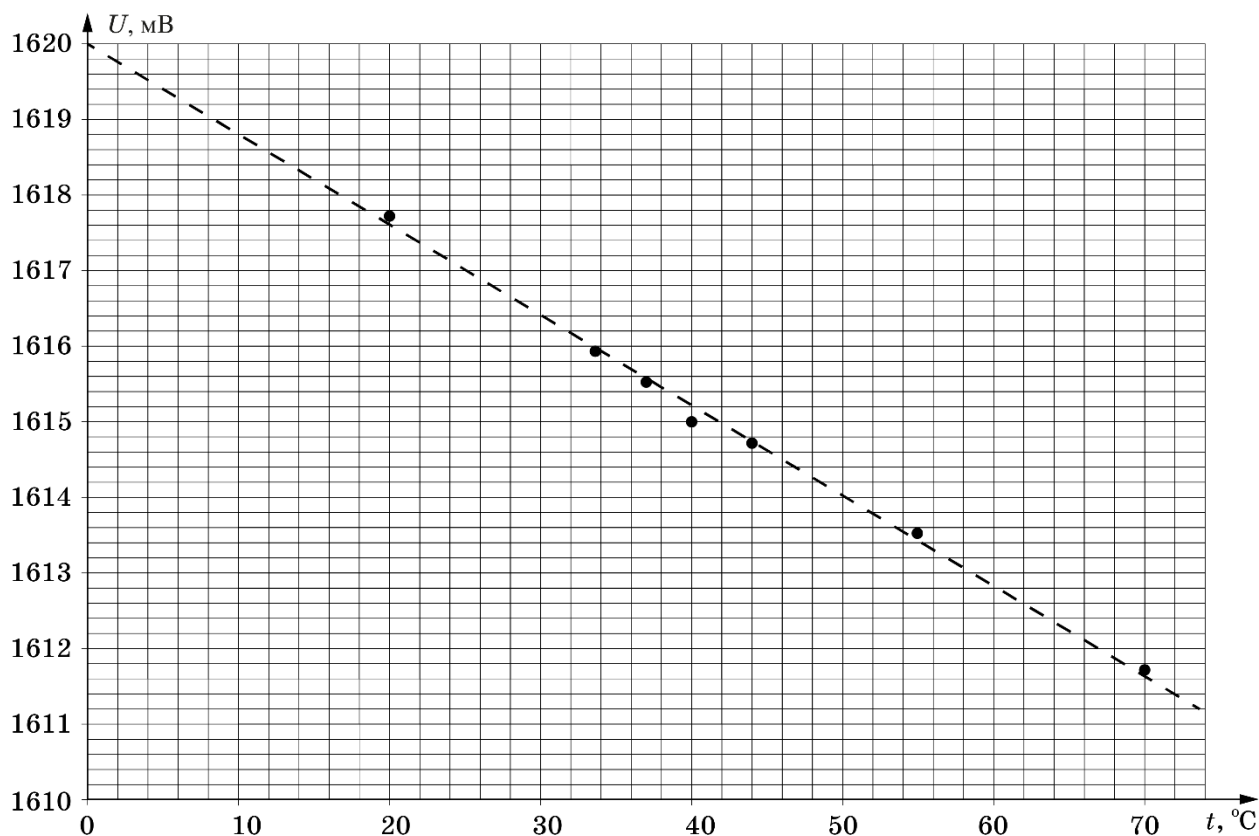
Решение. (Ноян Алексей).

Измерим напряжение батарейки при комнатной температуре.
 $U_0 = 1,62$ В.

Поместим батарейку в термостойкий пакет. Нитью обмотаем пакет так, чтобы исключить случайное попадание воды на батарейку. Изменение напряжения очень мало: при её нагревании от комнатной температуры до 70 градусов оно составляет около 5 мВ. Поэтому нужно собрать дифференциальную схему с двумя батарейками, как показано на рисунке, и нагревать одну из них. Тогда мы сможем использовать вольтметр в диапазоне его максимальной чувствительности 200 мВ и измерять десятые доли мВ.



Результаты измерений показаны на графике. $\Delta U < 0$, то есть напряжение уменьшается при повышении температуры.



Зависимость ΔU от температуры линейная. Коэффициент наклона 0,12 мВ/°C.

Критерии оценивания (15 баллов)

1	Выполнено измерение U_0 батареек при комнатной температуре	1 балл
2	Идея использования дифференциальной схемы измерения $\Delta U(T)$	3 балла
3	Указано, что измерения $\Delta U(T) < 0$	2 балла
4	Число снятых точек (10 и ли более) 4 балла (7, 8 или 9) 3 балла (5 или 6) 2 балла (2, 3 или 4) 1 балл	4 балла
5	График $\Delta U(T)$ а) отложены единицы измерения по осям (0,5 балла) б) выбран рациональный масштаб по осям (0,5 балла) в) нанесены шкалы на оси (0,5 балла) г) соответствие нанесённых точек табличным значениям (0,5 балла)	2 балла
6	Обоснование вывода, что зависимость линейная	1 балл
7	Коэффициент наклона попал в ворота $[0,10; 0,1,4]$ мВ/°C 2 балла ворота $[0,07; 0,18]$ мВ/°C 1 балл	2 балла

Задача 10-1. «Серый» ящик. В «сером» ящике находится электрическая цепь, схема которой представлена на рис. 1. Цепь состоит из двух резисторов R_1 и R_2 ($R_1 > R_2$) и трёх разноцветных проводов, выведенных наружу.

Определите сопротивление резисторов R_1 и R_2 и укажите цвет проводов, присоединенных к каждому из резисторов, а также к средней точке цепи.

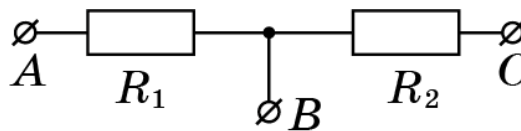


Рис.1. Схема цепи в «сером» ящике.

Примечание: выданный вам источник питания постоянного тока (далее Источник) содержит ЭДС U (неизвестна) и включенный последовательно с ней резистор сопротивлением $r = 1\,000$ Ом (рис. 2).

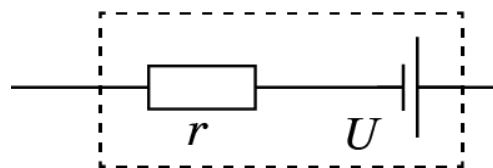


Рис.2 Схема источника постоянного тока.

Оборудование: серый ящик, вольтметр, Источник.

Задача 10-2. «Серый» ящик. В «сером» ящике находится электрическая цепь, схема которой представлена на рис. 1. Цепь состоит из двух резисторов R_1 и R_2 ($R_1 > R_2$) и трёх разноцветных проводов, выведенных наружу.

Определите сопротивление резисторов R_1 и R_2 и укажите цвет проводов, присоединенных к каждому из резисторов, а также к средней точке цепи.

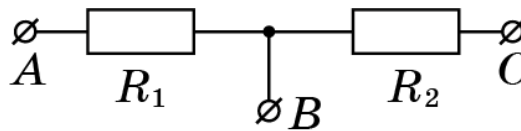


Рис.1. Схема цепи в «сером» ящике.

Примечание: выданный вам источник питания постоянного тока (далее Источник) содержит ЭДС U (неизвестна) и включенный последовательно с ней резистор сопротивлением $r = 1\,000$ Ом (рис. 2).

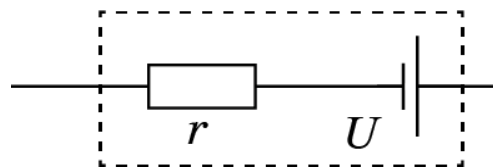
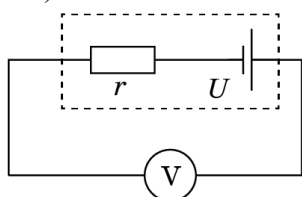


Рис.2 Схема источника постоянного тока.

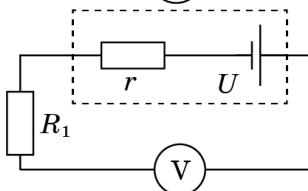
Оборудование: серый ящик, вольтметр, Источник.

Возможное решение.

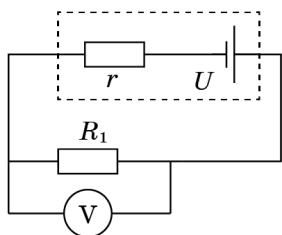
- Предварительные эксперименты с выданным оборудованием приводят к выводу, что
 - Мультиметр в режиме омметра и миллиамперметра не работает.
 - При последовательном соединении вольтметра с Источником, а затем вольтметра с Источником и одним из резисторов убеждаемся, что внутреннее сопротивление вольтметра соизмеримо с внутренним сопротивлением источника и его необходимо учитывать при вычислении сопротивлений цепи.
 - Чем меньше величина резистора, включенного последовательно с вольтметром и Источником, тем больше будут показания вольтметра. (При подключении к Источнику параллельно соединенных резистора из «серого» ящика и вольтметра, результат будет противоположный: чем меньше сопротивление резистора, тем меньше напряжение на вольтметре). Таким образом, легко установить и проверить, какого цвета провод соответствует выводам (*A*, *B*, *C*) цепи «серого» ящика.
- Для более точного определения сопротивления резисторов в «сером» ящике проведем указанные ниже измерения и в соответствии с законом Ома запишем выражения для напряжений на вольтметре U_0 , U_1 , U_2 в каждом случае (здесь R_B – сопротивление вольтметра, все остальные обозначения соответствуют обозначениям в условии задачи).



$$U_0 = U \frac{R_B}{r + R_B}. \quad (1)$$



$$U_1 = U \frac{R_B}{r + R_1 + R_B}. \quad (2)$$



$$U_2 = U \frac{R_1 R_B}{r R_1 + R_1 R_B + r R_B}. \quad (3)$$

Запишем выражения (1) – (3) в обратных величинах:

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{U} + \frac{1}{U} \frac{r}{R_B}. \quad (4)$$

$$\frac{1}{U_1} = \frac{1}{U} + \frac{1}{U} \frac{r}{R_B} + \frac{1}{U} \frac{R_1}{R_B}. \quad (5)$$

$$\frac{1}{U_2} = \frac{1}{U} + \frac{1}{U} \frac{r}{R_B} + \frac{1}{U} \frac{r}{R_1}. \quad (6)$$

Вычтем (4) из (5) и (6):

**ЛIII Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.**

$$\frac{U_0 - U_1}{U_0 U_1} = \frac{1}{U} \frac{R_1}{R_B}. \quad (7)$$

$$\frac{U_0 - U_2}{U_0 U_2} = \frac{1}{U} \frac{r}{R_1}. \quad (8)$$

Разделим (4) на (7) и (8):

$$\frac{U_1}{U_0 - U_1} = \frac{R_B + r}{R_1}. \quad (9)$$

$$\frac{U_2}{U_0 - U_2} = R_1 \frac{r + R_B}{r R_B}. \quad (10)$$

Умножим (9) на (10):

$$\frac{U_1 U_2}{(U_0 - U_1)(U_0 - U_2)} = \frac{(r + R_B)^2}{r R_B}. \quad (11)$$

Обозначив левую часть (11) через k , получим квадратное уравнение для R_B

$$(r + R_B)^2 = k r R_B$$

Его решение

$$(r + R_B)^2 = k r R_B$$

$$R_B = \frac{r}{2} \left(k \pm k \sqrt{1 - \frac{4}{k}} - 2 \right). \quad (12)$$

Заметим, что при $R_B \approx r$ значение параметра k очень близко к 4, и слагаемым с корнем в (12) можно пренебречь.

Теперь из (9) находим сопротивление R_1 и аналогично ищем R_2 .

Заметим, что при R_B , приблизительно равном r , значение параметра k очень близко к 4 и слагаемым с квадратным корнем в (12) можно пренебречь. Теперь из (9) находим величину сопротивления R_1 . Аналогично определяем величину R_2 .

Критерии оценивания (15 баллов)

1)	Установлена «неидеальность» вольтметра	1 балл
2)	Обоснована методика сравнения сопротивлений резисторов в «сером» ящике	1 балл
3)	Приведены результаты измерений напряжения при подключении «серого» ящика к цепи (из вольтметра и источника) различными выводами	1 балл
4)	Установлено соответствие цвета провода с маркировкой выводов на схеме «серого» ящика	2 балла
5)	Составлена система трёх уравнений для нахождения сопротивления одного из резисторов (по 1 баллу за каждое уравнение)	3 балла
6)	Измерены напряжения U_0, U_1, U_2	1 балл
7)	Найдено сопротивление R_1	3 балла
8)	Найдено сопротивление R_2	3 балла

Указания для организаторов.

1. «Серый» ящик должен содержать два резистора с величинами порядка $R_2 = (500 - 700) \text{ Ом}$ и $R_1 = (1300 - 1700) \text{ Ом}$. Сам ящик может представлять собой миниатюрную сборку-скрутку замотанную в изоленту и, желательно, обтянутую термоусадочным кембриком (см. фото). Выводы должны быть выполнены проводами трех различных цветов, причем необходимо обеспечить одинаковость цвета провода, присоединяемого к средней точке цепи, к выводам меньшего и большего по величине резисторов. Концы проводов следует залудить, т.е. сделать их пригодными для подключения к ним зажимов типа «крокодил».
2. Источник питания постоянного тока поместите в закрытой и защищенной от «взлома» коробочке (очень удобны и дешевы мини коробочки с губкой для чистки обуви). Внутри закрепите два элемента АА или ААА и резистор $r = 1\,000 \text{ Ом}$, соединенные последовательно. К выводам припаяйте зажимы «крокодил».
3. Вольтметр представляет собой модернизированный мультиметр, из которого следует удалить предохранитель (в цепи измерителя токов), а также внутри мультиметра к выводам «СОМ» и «V,Ω,mA» (параллельно входу измерения сопротивлений) припаять резистор $R_b = 1100 \text{ Ом}$.

Замечание: сопротивления резисторов r и R_b могут несколько отличаться от указанных в данном описании, но в любом случае следует выполнить соотношение $R_b = 1,1 r$.

Задание 10.2. Теплоёмкость резистора

С помощью выданного оборудования определите:

- 1) зависимость мощности тепловых потерь от температуры резистора (постройте график).
- 2) теплоёмкость резистора.

Оборудование: резистор сопротивлением $R = 100$ Ом, стакан, регулируемый источник постоянного напряжения (далее Источник), два мультиметра, термопара, секундомер, соединительные провода, зажим типа «крокодил», миллиметровая бумага (для построения графиков).

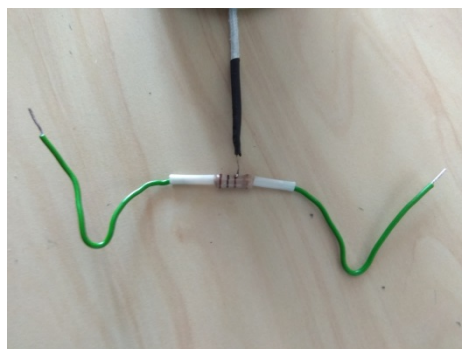
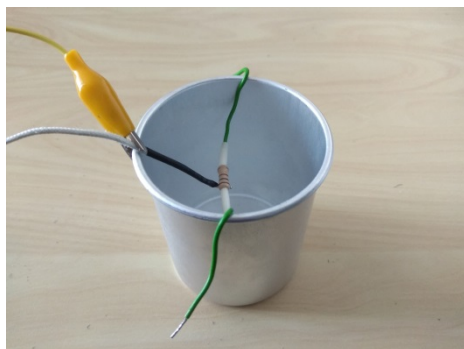
Примечание. Один из мультиметров используется в качестве вольтметра, второй (с термопарой) – для измерения температуры.

Подготовка электрической части установки

- 1) Изучите механизм регулировки выходного напряжения Источника.
- 2) В этом эксперименте **запрещается** устанавливать напряжение более **6 В**! Если резистор «сгорит», вы получите 0 баллов за экспериментальный тур.

Подготовка тепловой части установки

- 1) Закрепите резистор при помощи присоединённых к нему проводов так, чтобы он располагался по центру стакана, как показано на фото слева.



- 2) Присоедините резистор при помощи длинных проводов к клеммам Источника (параллельно вольтметру).
- 3) Подключите термопару ко второму мультиметру. Установите ручку мультиметра на указатель «ТЕМР» (режим измерения температуры по шкале Цельсия). Мультиметр должен показывать комнатную температуру. Бережно обращайтесь с термопарой – она достаточно хрупкая.
- 4) При помощи зажима типа «крокодил» закрепите термопару так, чтобы её спай плотно касался поверхности резистора (как на фото справа). **В ходе эксперимента резистор и спай нельзя перемещать!**

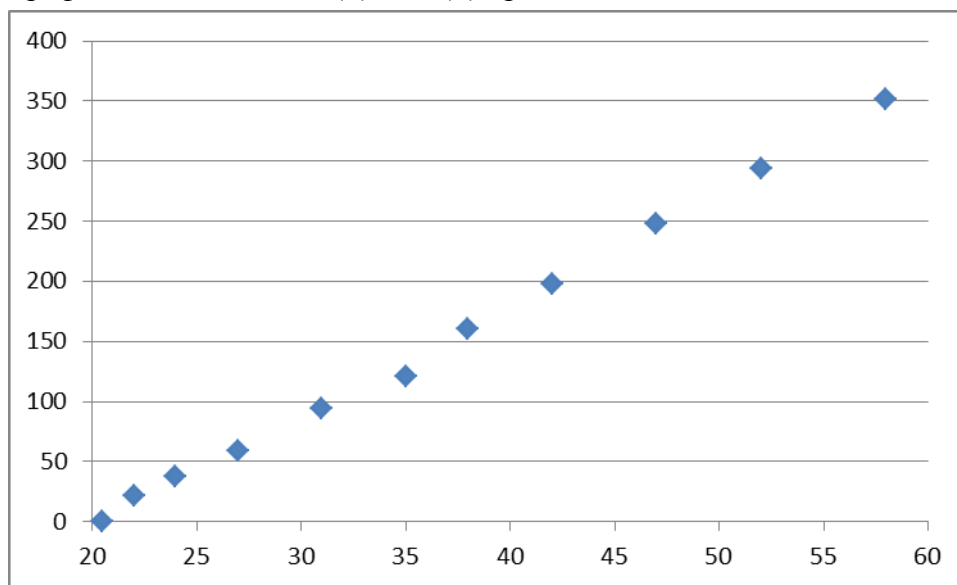
Возможное решение. (ВАЖНО: все числовые данные приведены для имеющегося в распоряжении авторов оборудования. Референтное значение необходимо определять «на месте», для каждой отдельной партии резисторов.)

Мощность, выделяющаяся на резисторе при протекании через него электрического тока, рассчитывается по формуле $P_{\text{э}} = U^2 / R$, где $P_{\text{э}}$ – мощность, U – напряжение на резисторе и R – его сопротивление. Считаем, что сопротивление резистора в исследуемом диапазоне температур не изменяется и равно 100 Ом.

В состоянии динамического равновесия (когда температура не изменяется) мощность электрического тока равна мощности тепловых потерь. Мощность тепловых потерь пропорциональна разности температур резистора и окружающего воздуха: $P_{\text{п}} = a(T - T_0)$. Для качественного исследования линейной зависимости необходимо измерить не менее 7-ми точек.

U , В	0	1,53	2,01	2,51	3,17	3,60	4,14	4,60	5,15	5,61	6,00
$P_{\text{э}}$, мВт	0	21,9	37,8	58,9	93,9	121	160	198	248	294	350
T , °C	20	22	24	27	31	35	38	42	47	52	58

График зависимости $P_{\text{э}}(T) = P_{\text{п}}(T)$ приведён ниже:



Мы видим, что зависимость хорошо аппроксимируется линейной функцией.

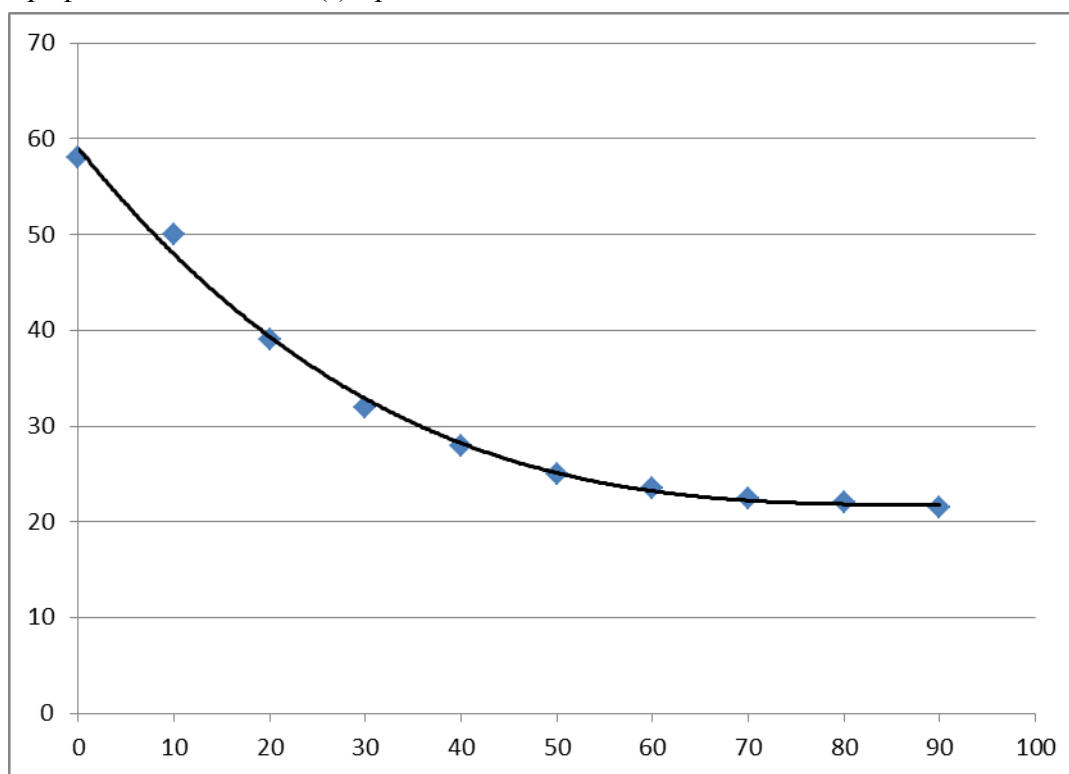
$$P = a(T - T_0)$$

Коэффициент теплопроводности a можно найти из углового коэффициента наклона графика $P(T)$. В данном случае $a = 9,3$ мВт/°C.

Отключим Источник, и исследуем процесс охлаждения резистора за счёт тепловых потерь.

τ , с	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
T , °C	58	50	39	32	28	25	24	23	22	21

График зависимости $T(\tau)$ приведён ниже:



Мы видим, что данный процесс нелинейный. Его исследование можно провести несколькими способами.

1 ВАРИАНТ

Скорость падения температуры зависит от теплоёмкости резистора и мощности теплопередачи:

$$\frac{\Delta T}{\Delta \tau} = \frac{Q}{C \Delta \tau} = \frac{P_{II}}{C}.$$

Так как мы знаем все параметры для расчёта мощности тепловых потерь $P_{II} = a(T - T_0)$, мы можем рассчитать теплоёмкость через мгновенную скорость падения температуры в какой либо момент времени

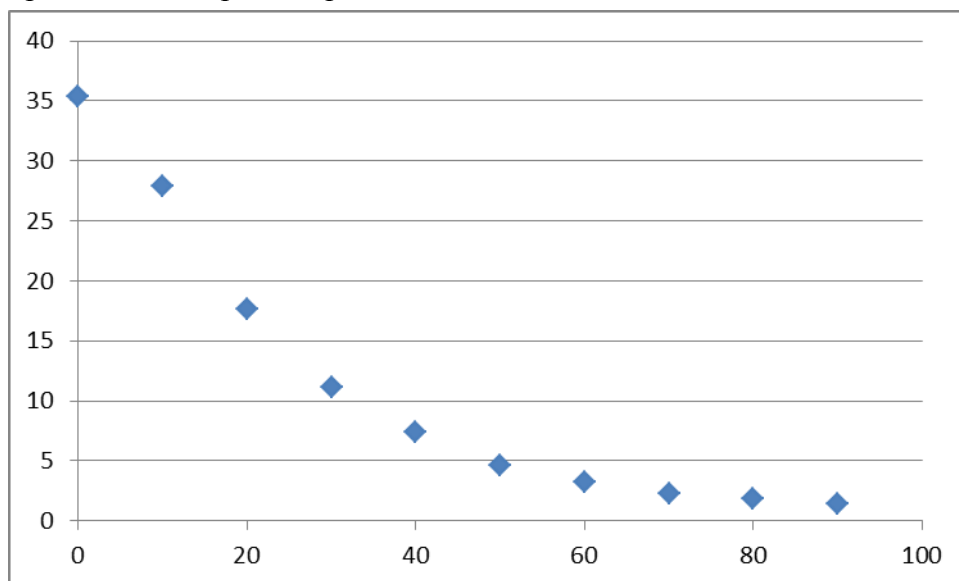
$$\frac{\Delta T}{\Delta \tau} = \frac{P_{II}}{C} = \frac{a(T - T_0)}{C} \Rightarrow C = \frac{a(T - T_0)}{\frac{\Delta T}{\Delta \tau}}.$$

Скорость падения температуры можно найти через наклон касательной к графику $T(\tau)$. Данные вычисления необходимо провести для нескольких моментов времени (**не менее 5**) и усреднить значение C , для уменьшения погрешности.

В данном случае $C \approx 0,2 \text{ Дж/}^\circ\text{C}$.

2 ВАРИАНТ

Построим по двум таблицам график зависимости мощности тепловых потерь от времени при остывании резистора.



Площадь под этим графиком имеет смысл выделившегося количества тепла Q . В частности, выделенная на графике площадь соответствует остыванию от 50°C до 25°C . Уравнение теплового баланса даёт:

$$Q = C\Delta T \rightarrow C = \frac{Q}{\Delta T}.$$

Площадь под графиком (количество теплоты) можно примерно найти как площадь трапеций. $Q \approx 525$ мДж, а $C \approx 0,21$ Дж/ $^{\circ}\text{C}$, что близко к предыдущему результату.

3 ВАРИАНТ

Некоторые дети могут использовать логарифмы: Предполагая, что закон изменения температуры со временем экспоненциальный, можно построить график зависимости $\ln(T/T_0)$ от времени. Данный график должен быть близок к линейному, а коэффициентом наклона будет отношение a/C . Если данным способом получен правильный ответ, его нужно оценивать полным баллом.

**ЛIII Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.**

Критерии оценивания (15 баллов)

1)	Получена теоретическая зависимость установившейся температуры T поверхности резистора от мощности тока P	1 балл
2)	Измерена зависимость установившейся температуры T поверхности резистора от мощности тока P <i>Не менее 7-ми точек</i> <i>Не менее 5-ти точек</i> <i>Менее 5-ти точек</i>	2 балла 2 балла 1 балл 0 баллов
3)	Построен график зависимости $P(T)$ Из них: <i>Подписаны оси, указаны единицы измерения</i> <i>Равномерная оцифровка шкал, график занимает не менее 70% рисунка</i> <i>Правильно перенесены все точки из таблицы</i>	2 балла 0,5 балла 0,5 балла 1 балл
4)	Определён коэффициент теплопередачи a <i>не менее чем по 5-ти точкам</i> <i>менее чем по 5-ти точкам</i>	1 балл 1 балл 0 баллов
5)	Снята зависимость температуры T резистора от времени τ при его остывании <i>Не менее 7-ми точек</i> <i>Не менее 5-ти точек</i> <i>Менее 5-ти точек</i>	2 балла 2 балла 1 балл 0 баллов
6)	Получена расчётная формула для теплоёмкости резистора C (для любого варианта)	2 балла
7)	Рассчитана теплоёмкость резистора C Из них: <i>Хорошее усреднение:</i> <i>Вариант 1: не менее 5-ти точек</i> <i>Вариант 2: не менее 3-х интервалов для площади</i> <i>Вариант 3: не менее 5-ти точек на логарифмическом графике</i> <i>Плохое усреднение:</i> <i>Вариант 1: не менее 3-х точек</i> <i>Вариант 2: не менее 2-х интервалов для площади</i> <i>Вариант 3: не менее 3-х точек на логарифмическом графике</i> <i>Нет усреднения:</i>	3 балла 3 балла 1 балл 0 баллов
8)	Попадание в C референтное значение <i>Попадание в интервал: референтное значение $\pm 10\%$</i> <i>Попадание в интервал: референтное значение $\pm 25\%$</i> <i>Не попадание в интервал: референтное значение $\pm 25\%$</i>	2 балла 2 балла 1 балл 0 баллов

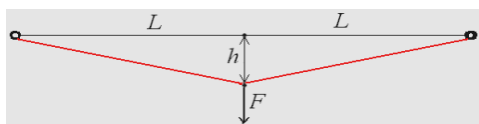


Рис. 1

Задача 11.1 Гук или не Гук? Пять банковских резинок соединены последовательно друг с другом в цепочку, которая натянута силой T_0 до длины $2L$ и прикреплена к планке. Если к середине цепочки приложить поперечную силу F , то точка приложения этой силы

сместится на некоторое расстояние h , называемое стрелой прогиба (рис. 1).

- 1) Снимите зависимость h от F .
- 2) На основе полученных данных графическим методом определите коэффициент жёсткости k цепочки и силу T_0 её начального натяжения.

Оборудование: цепочка из банковских резинок, закреплённая на планке; две канцелярские клипсы; большая скрепка массой 1,7 г; кусок мерной лены; кусочек скотча; шесть одинаковых грузов (гаек) массой $(10,0 \pm 0,5)$ г; лист миллиметровой бумаги формата А5 (для построения графика).

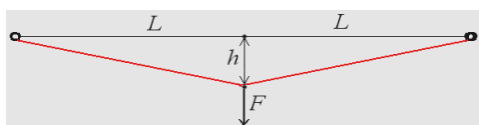


Рис. 2

Задача 11.1 Гук или не Гук? Пять банковских резинок соединены последовательно друг с другом в цепочку, которая натянута силой T_0 до длины $2L$ и прикреплена к планке. Если к середине цепочки приложить поперечную силу F , то точка приложения этой силы

сместится на некоторое расстояние h , называемое стрелой прогиба (рис. 1).

- 1) Снимите зависимость h от F .
- 2) На основе полученных данных графическим методом определите коэффициент жёсткости k цепочки и силу T_0 её начального натяжения.

Оборудование: цепочка из банковских резинок, закреплённая на планке; две канцелярские клипсы; большая скрепка массой 1,7 г; кусок мерной лены; кусочек скотча; шесть одинаковых грузов (гаек) массой $(10,0 \pm 0,5)$ г; лист миллиметровой бумаги формата А5 (для построения графика).

Возможное решение.

1. а) Прикрепим к краю стола канцелярскими клипсами планку с натянутой цепочкой из банковских резинок. К середине цепочки подвесим с помощью большой скрепки груз так, чтобы он мог свободно опускаться по вертикали. К середине планки скотчем прикрепим кусок мерной ленты (см. фото.) с помощью которого измеряем стрелу прогиба h .



б) Проводим измерения стрелы прогиба во всём доступном диапазоне значений F . Результаты занесём в первые два столбца Таблицы 1.

в) Найдём удлинение половины цепочки: $x = \sqrt{L^2 + h^2} - L \approx \frac{h^2}{2L}$.

г) Найдём выражение для T . Так как $\frac{(F/2)}{T} = \frac{h}{\sqrt{L^2 + h^2}} \approx \frac{h}{L}$, то $T \approx \frac{FL}{2h}$.

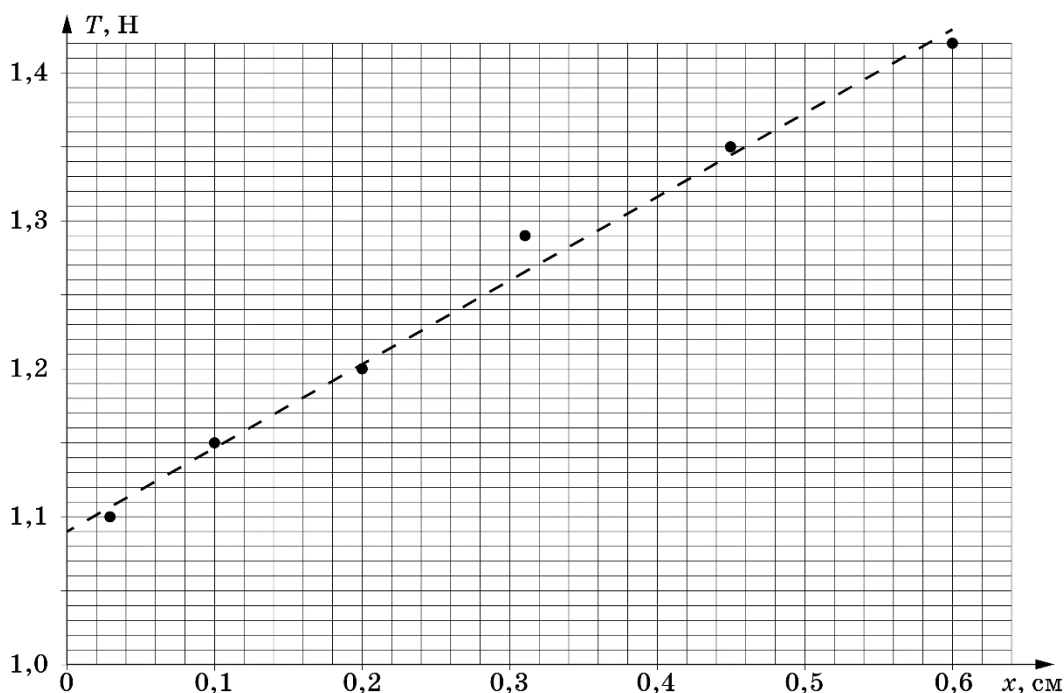
У нас максимальная стрела прогиба $h = 56$ мм при $L = 265$ мм, поэтому приближенная формула при определении T даёт точность не хуже 3%.

д) Рассчитаем значения T и x и внесём их в Таблицу 1.

Таблица 1

F , Н	h , см	$x \approx h^2/(2L)$, см	$T \approx FL/(2h)$, Н
0,10	1,2	0,027	1,10
0,20	2,3	0,10	1,15
0,30	3,3	0,20	1,20
0,40	4,1	0,31	1,29
0,50	4,9	0,45	1,35
0,60	5,6	0,60	1,42

ж) Строим график зависимости натяжения T от x .



LIII Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Экстраполяция графика к значениям $x = 0$ позволит найти значение T_0 : $T_0 = 1,09 \text{ Н}$.

По угловому коэффициенту графика найдём коэффициент жёсткости $k_{0,5}$ половины цепочки:
 $k_{0,5} = 56,9 \text{ Н/м}$.

Коэффициент жёсткости всей цепочки $k = 28,4 \text{ Н/м}$.

Основной склад в погрешность измерений вносит разброс масс гаек (5%) и погрешность в измерении h (5%). В итоге погрешность измерений не превышает 10% (более строгий расчёт даёт 7%).

Критерии оценивания (15 баллов)

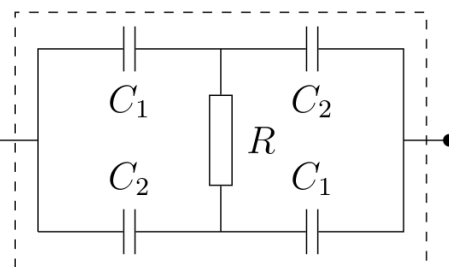
1	Описание методики проведения эксперимента (конструкции установки: крепление планки, мерной ленты, грузов). Измерено расстояние $2L$ (0,5 балла); Учтена масса скрепки (0,5 балла).	2 балла
2	Таблица измерений h от F	1 балл
3	Повторное измерение	1 балл
4	Аналитическое выражение, связывающее удлинения цепочки x со стрелой прогиба h	2 балла
5	Аналитическое выражение, связывающее силу T натяжения цепочки с силой F	2 балла
6	График зависимости $T(x)$: а) отложены единицы измерения по осям (0,5 балла) б) выбран рациональный масштаб по осям (0,5 балла) в) нанесены шкалы на оси (0,5 балла) г) соответствие нанесённых точек табличным значениям (0,5 балла) д) проведена прямая $T(x)$ (1 балл)	3 балла
7	Вычислен коэффициент k (если в ответе дано $k_{0,5}$, то ставить 1 балл)	2 балла
8	Найдена сила натяжения T_0	1 балл
9	Оценена погрешность измерений	1 балл

ЛIII Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Задание 11.2. «Серый» ящик с конденсаторами.

В предложенном вам «сером ящике» находятся резистор сопротивлением R и четыре конденсатора емкостями C_1 и C_2 , соединенные так, как показано на схеме. Перед туром конденсаторы проходили «тренировку» - в течение нескольких часов находились под напряжением 10 В.

Определите значение емкостей C_1 и C_2 .



Приборы и оборудование: «серый» ящик, эталонный конденсатор емкости $C_0 = (1,0 \pm 0,2) \text{ мФ}$, батарейка «Крона», мультиметр, зажим типа «крокодил».

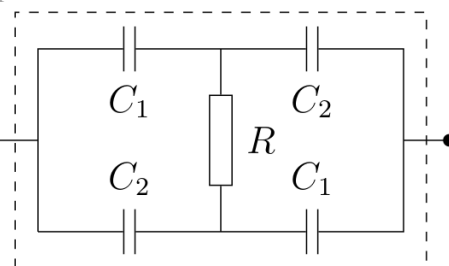
Примечание: 1) вывод серого ящика, помеченный знаком « $\rightarrow$ » (в нашем случае это белый провод) допустимо соединять только с «минусом» батарейки, а положительный вывод эталонного конденсатора C_0 – с «плюсом» батарейки.

ЛIII Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Задание 11.2. «Серый» ящик с конденсаторами.

В предложенном вам «сером ящике» находятся резистор сопротивлением R и четыре конденсатора емкостями C_1 и C_2 , соединенные так, как показано на схеме. Перед туром конденсаторы проходили «тренировку» - в течение нескольких часов находились под напряжением 10 В.

Определите значение емкостей C_1 и C_2 .



Приборы и оборудование: «серый» ящик, эталонный конденсатор емкости $C_0 = (1,0 \pm 0,2) \text{ мФ}$, батарейка «Крона», мультиметр, зажим типа «крокодил».

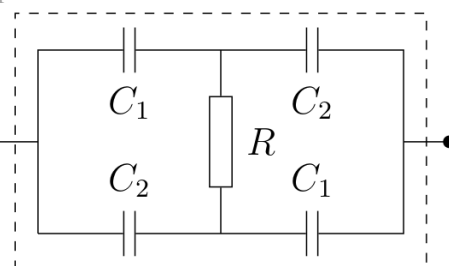
Примечание: 1) вывод серого ящика, помеченный знаком « $\rightarrow$ » (в нашем случае это белый провод) допустимо соединять только с «минусом» батарейки, а положительный вывод эталонного конденсатора C_0 – с «плюсом» батарейки.

ЛIII Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Задание 11.2. «Серый» ящик с конденсаторами.

В предложенном вам «сером ящике» находятся резистор сопротивлением R и четыре конденсатора емкостями C_1 и C_2 , соединенные так, как показано на схеме. Перед туром конденсаторы проходили «тренировку» - в течение нескольких часов находились под напряжением 10 В.

Определите значение емкостей C_1 и C_2 .

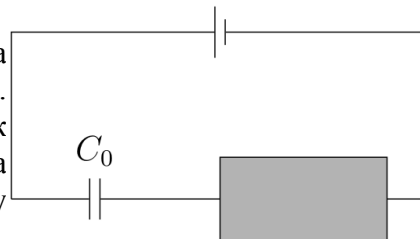


Приборы и оборудование: «серый» ящик, эталонный конденсатор емкости $C_0 = (1,0 \pm 0,2) \text{ мФ}$, батарейка «Крона», мультиметр, зажим типа «крокодил».

Примечание: 1) вывод серого ящика, помеченный знаком « $\rightarrow$ » (в нашем случае это белый провод) допустимо соединять только с «минусом» батарейки, а положительный вывод эталонного конденсатора C_0 – с «плюсом» батарейки.

Возможное решение. Соединим последовательно «серый» ящик, эталонный конденсатор C_0 и батарейку.

1) Сразу после замыкания цепи измерим напряжение U_1 на «сером» ящике или U_{01} на эталонном конденсаторе. Измерения нужно производить достаточно быстро, так как после подключения батарейки внутри «серого» ящика начинается процесс перераспределения зарядов между конденсаторами.



2) Время от времени контролируем напряжение на «сером» ящике или на эталонном конденсаторе до тех пор, пока оно не перестанет изменяться. Обозначим установившееся на «сером» ящике напряжение U_2 (или U_{02} на эталонном конденсаторе).

$$\text{Для случая 1) запишем: } U_1 = U_0 \left(\frac{C_0}{C_0 + \frac{2C_1C_2}{C_1 + C_2}} \right) \text{ или } \frac{U_0}{U_1} = 1 + \frac{1}{C_0} \frac{2C_1C_2}{C_1 + C_2}. \quad (1)$$

Здесь конденсаторы C_1 и C_2 верхней ветви «серого» ящика, как и конденсаторы C_1 и C_2 нижней ветви зарядились, но выравнивания потенциалов через резистор R ещё не началось. В случае 2) выводы резистора оказываются под одним и тем же потенциалом, а напряжение

$$U_2 = U_0 \left(\frac{C_0}{C_0 + \frac{C_1 + C_2}{2}} \right) \text{ или } \frac{U_0}{U_2} = 1 + \frac{C_1 + C_2}{2C_0}. \quad (2)$$

$$\text{Решая систему уравнений (1) и (2) получим: } C_1C_2 = C_0^2 \left(\frac{U_0}{U_1} - 1 \right) \left(\frac{U_0}{U_2} - 1 \right) = A. \quad (3)$$

$$C_1 + C_2 = 2C_0 \left(\frac{U_0}{U_2} - 1 \right) = B. \quad (4)$$

Из системы уравнений (3) и (4) найдём интересующие нас ёмкости C_1 и C_2 .

$$C_{1,2} = \frac{B}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{B}{2} \right)^2 - A}.$$

Систему уравнений аналогичную (1) – (4) можно получить для напряжений U_{01} и U_{02} .

В нашем случае $U_0 = 9,28$ В, $U_1 = 3,72$ В, $U_2 = 3,02$ В, $C_0 = 1,0$ мФ.

Тогда $C_1 = 3,2$ мФ, $C_2 = 1,0$ мФ.

Критерии оценивания (15 баллов)

1	Указано, что конденсаторы были разряжены или выполнена их разрядка	1 балл
2	Измерено U_1 (1 балл) и описана последовательность его измерения	2 балла
3	Измерено U_2 (1 балл) и описана последовательность его измерения (указано, что необходимо убедиться в окончании процесса перезарядки)	2 балла
4	Проведены повторные измерения пунктов 2) и 3)	1 балл
5	Получен (теоретически) один из вариантов формулы (1)	2 балла
6	Получен (теоретически) одна из вариантов формулы (2)	2 балла
7	Решена система уравнений и записана формула (3)	1 балл
8	Решена система уравнений и записана формула (4)	1 балл
9	Найдена ёмкость C_1 (результат попал в 20% погрешность)	1 балл
10	Найдена ёмкость C_2 (результат попал в 20% погрешность)	1 балл
11	Оценена погрешность измерения емкостей	1 балл