

Задание 9.1. Гидроящик.

Внутри шарика находятся вода и металлический цилиндр (воздух удален). Развязывать или рвать шарик запрещено. (При нарушении этого требования 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 массой $m = (50 \pm 1)\text{ г}$, стержень закрепленный на крае стола (см. рисунок).



Стержень закрепленный на крае стола.

Задание 9.2. Нагревание батареек.

В этой задаче вам предстоит исследовать, как изменяется напряжение на батарее при её нагреве (охлаждении).

Оборудование: две одинаковые батарейки АА; мультиметр; три провода с разъемами типа «крокодил»; два батарейных отсека; термостойкий пакет; ёмкость для воды; нитка; горячая вода (по требованию); термометр.

Немного теории.

Напряжение на батарее зависит от температуры: $U(T) = U_0 + \Delta U$, где U_0 – напряжение при комнатной температуре. При планировании эксперимента учтите, что изменение напряжения ΔU 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?

Примечание.

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

Задание 9.1. Гидроящик.

Внутри шарика находятся вода и металлический цилиндр (воздух удален). Развязывать или рвать шарик запрещено. (**При нарушении этого требования 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 массой $m = (50 \pm 1)\text{ г}$, стержень закрепленный на крае стола (см. рисунок).



Стержень закрепленный на крае стола.

Возможное решение. Вначале найдём центр масс линейки. Для этого уравновесим ее на горизонтальном стержне. По шкале линейки определим координату центр масс линейки. В дальнейших экспериментах в качестве точки опоры линейки мы будем выбирать точку, соответствующую положению ее центра масс. Это позволит нам не учитывать массу линейки. Вблизи одного края линейки подвесим на нити груз известной массы m_{Γ} , а вблизи другого – шарик ($m_{\text{в}}$ – масса воды в шарике, $m_{\text{т}}$ – масса помещенного в шарик тела). Уравновесим линейку так, чтобы плечи были как можно больше, а центр масс линейки располагался над стержнем.

Запишем условие равновесия:

$$m_{\Gamma}gL_{\Gamma} = (m_{\text{в}} + m_{\text{т}})gL_{\text{ш}},$$

откуда

$$m_{\text{в}} + m_{\text{т}} = m_{\Gamma} \frac{L_{\Gamma}}{L_{\text{ш}}}.$$

Измерим расстояния L_{Γ} и $L_{\text{ш}}$:

$$L_{\Gamma} = 145 \text{ мм},$$

$$L_{\text{ш}} = 85 \text{ мм},$$

$$\text{откуда } m_{\text{в}} + m_{\text{т}} = m_{\Gamma} \frac{L_{\Gamma}}{L_{\text{ш}}} = 85,3 \text{ г.}$$

Повторим опыт, полностью погрузив шарик в воду. Вес воды, находящейся в шарике, полностью компенсируется силой Архимеда, поэтому условие равновесия выглядит следующим образом:

$$m_{\Gamma}gL'_{\Gamma} = (m_{\text{т}}g - \rho_{\text{в}}gV_{\text{т}})L'_{\text{ш}},$$

откуда

$$m_{\text{т}} = m_{\Gamma} \frac{L'_{\Gamma}}{L'_{\text{ш}}} + \rho_{\text{в}}V_{\text{т}}.$$

Проведём измерения:

$$L'_{\Gamma} = 51 \text{ мм},$$

$$L'_{\text{ш}} = 155 \text{ мм}.$$

Для определения объема тела прижмем его к поверхности шарика и через оболочку шарика линейкой измерим высоту h и диаметр d цилиндра:

$$h = 48 \text{ мм},$$

$$d = 14 \text{ мм}.$$

Тогда

$$V_{\text{т}} = \frac{h\pi d^2}{4} = 7,4 \text{ см}^3,$$

$$m_{\text{т}} = 23,8 \text{ г},$$

$$m_{\text{в}} = 85,3\text{г} - 23,8\text{г} = 61,5 \text{ г}.$$

Оценим погрешность

$$\begin{aligned} \Delta m_{\text{т}} &= \Delta \left(m_{\Gamma} \frac{L'_{\Gamma}}{L'_{\text{ш}}} \right) + \Delta(\rho_{\text{в}}V_{\text{т}}) \approx m_{\Gamma} \frac{L'_{\Gamma}}{L'_{\text{ш}}} \left(\frac{\Delta m_{\Gamma}}{m_{\Gamma}} + \frac{\Delta L'_{\Gamma}}{L'_{\Gamma}} + \frac{\Delta L'_{\text{ш}}}{L'_{\text{ш}}} \right) + \rho_{\text{в}}V_{\text{т}} \left(\frac{\Delta h}{h} + 2 \frac{\Delta d}{d} \right) \\ &= 60 \frac{51}{155} \left(\frac{1}{50} + \frac{1}{51} + \frac{1}{155} \right) + 1 \cdot 7,4 \left(\frac{1}{48} + 2 \frac{1}{14} \right) = 2,1 \text{ г}. \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}\Delta m_B &= \Delta\left(m_T \frac{L_T}{L_B}\right) + \Delta m_T = m_T \frac{L_T}{L_B} \left(\frac{\Delta m_T}{m_T} + \frac{\Delta L_T}{L_T} + \frac{\Delta L_B}{L_B}\right) + \Delta m_T \\ &= 50 \cdot \frac{145}{85} \left(\frac{1}{50} + \frac{1}{145} + \frac{1}{85}\right) + 2,1 = 5,4 \text{ г.}\end{aligned}$$

Окончательно получаем

$$m_T = (24 \pm 2) \text{ г,}$$

$$m_B = (62 \pm 5) \text{ г.}$$

ЛШ 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 (найдено положение центра масс линейки).	1 балл
2	Выполнено взвешивание шарика в воздухе.	1 балл
3	При взвешивании в воздухе ц. м. линейки находился на опоре.	0,5 балла
4	При взвешивании в воздухе длины плеч были максимально возможными.	0,5 балла
5	Записано условие равновесия в воздухе.	1 балл
6	Выполнено взвешивание шарика, погруженного в воду.	1 балл
7	При взвешивании шарика в воде ц. м. линейки находился на опоре.	0,5 балла
8	При взвешивании шарика в воде длины плеч были максимально возможными.	0,5 балла
9	Записано условие равновесия в воде.	2 балла
10	Предложен разумный способ определения объема металлического цилиндра.	1 балл
11	Найдена масса тела: $m_T \in [21; 26]$ г – 2,5 балла, $m_T \in [19; 29]$ г – 1 балл.	2,5 балла
12	Найдена масса воды: $m_T \in [55; 69]$ г – 2,5 балла, $m_T \in [49; 75]$ г – 1 балл.	2,5 балла
13	Сделана оценка погрешности любым разумным способом.	1 балл

Задание 9.2. Нагревание батареек.

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

Оборудование: две одинаковые батарейки АА; мультиметр; три провода с разъемами типа «крокодил»; два батарейных отсека; термостойкий пакет; ёмкость для воды; нитка; горячая вода (по требованию); термометр.

Немного теории.

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

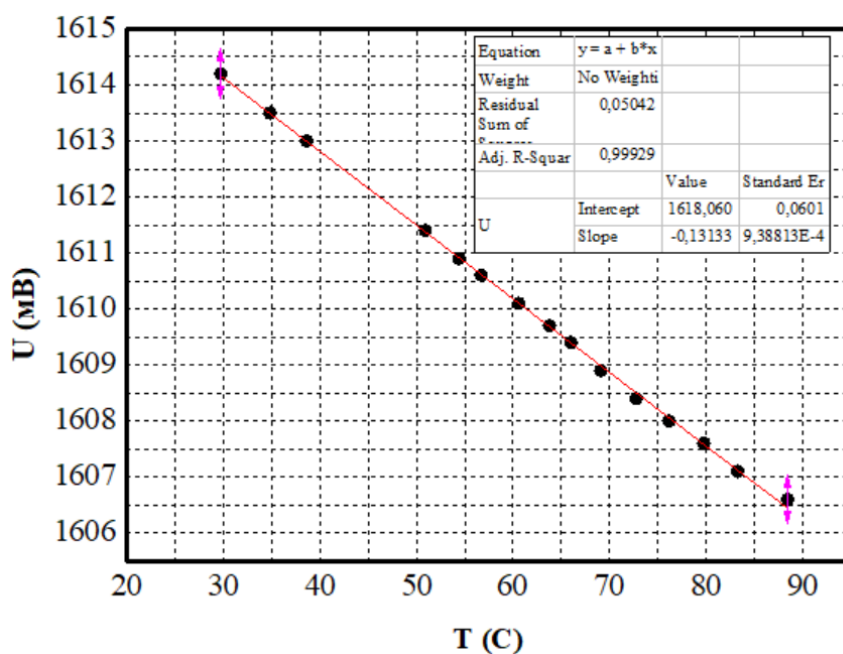
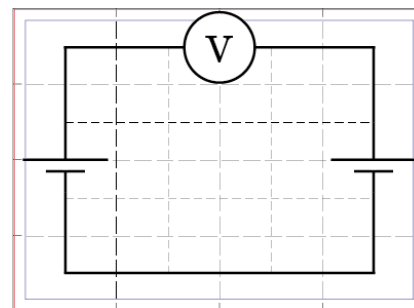
Примечание.

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

Решение.

Измерим напряжение батарейки при комнатной температуре. $U_0 = 1,615$ В.

При нагревании батарейку нужно положить в пакет, чтобы избежать ее контакта с горячей водой. Изменение напряжения батарейки очень мало, при нагревании до 70 градусов оно составляет всего лишь около 5 мВ. Поэтому нужно собрать дифференциальную схему с двумя батарейками, включенными так, как показано на рисунке, и греть одну из них. Тогда мы сможем использовать вольтметр в диапазоне 200 мВ и измерять десятые доли мВ.



Результаты измерения зависимости U от T показаны на графике. Видно, что $\Delta U < 0$, то есть напряжение батарейки уменьшается при повышении температуры.

Зависимость ΔU от температуры линейная. Угловой коэффициент равен $0,13$ мВ/°С.

Задача 10.1. «Серый» ящик.

В «сером» ящике (синий электронный компонент с тремя выводами) находится электрическая цепь, схема которой представлена на рис. 1. Цепь состоит из двух резисторов R_1 и R_2 ($R_1 > R_2$). Нумерация выводов «серого» ящика изображена на рисунке 2.

Определите сопротивление резисторов R_1 и R_2 . Укажите соответствие точек A, B, C схемы номерам выводов «серого ящика».

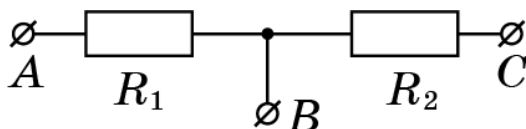


Рис. 1. Схема цепи в «сером» ящике.

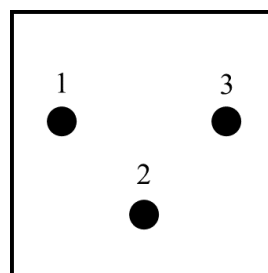


Рис. 2. Нумерация выводов в «сером» ящике.

Примечание: выданный вам источник питания содержит батарейку, напряжение которой U , и включенный последовательно с ней резистор сопротивлением $r = 1\,000$ Ом (рис. 3).

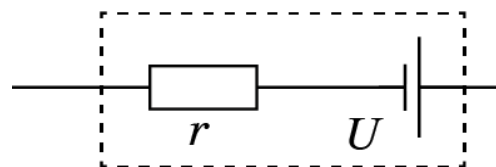


Рис. 3. Схема источника.

Оборудование: «серый» ящик, вольтметр (мультиметр в режиме вольтметра), источник питания.

Внимание: Отрывать наклейки от мультиметра, а также вынимать из него щупы запрещается! Нарушившие это требование получат за выполнение задания 0 баллов!

Задание 10.2. Теплоёмкость резистора.

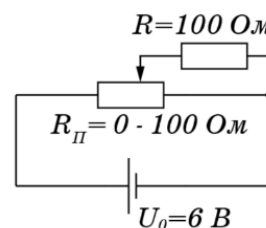
С помощью выданного оборудования определите:

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

Оборудование: резистор сопротивлением $R \approx 100$ Ом, чашка, регулируемый источник постоянного напряжения (далее Источник, сборка описана ниже), мультиметр, термометр, секундомер, соединительные провода, отдельный зажим типа «крокодил», скотч и ножницы по требованию.

Подготовка электрической части установки (сборка Источника).

- 1) Вставьте батарейки в батарейный отсек.
- 2) Подключите выводы батарейного отсека к крайним контактам потенциометра.
- 3) Напряжение между центральным и одним из крайних (любым) контактом потенциометра будет меняться в зависимости от положения поворотной ручки.
- 4) Источник готов к применению. Для дальнейших измерений подключите резистор к центральному и одному из крайних контактов потенциометра.



Подготовка тепловой части установки.

- 1) Закрепите резистор на чашке при помощи соединительных проводов и скотча так, чтобы он располагался вблизи оси чашки, как показано на фотографии слева.



- 2) Присоедините резистор при помощи проводов к клеммам Источника. Параллельно подключите вольтметр.
- 3) Включите термометр. Он должен показывать комнатную температуру. Его чувствительный элемент – диод на конце двух проводов, выходящих из корпуса термометра. Подвиньте изолирующую пластиковую трубку на одном из проводов так, чтобы чувствительный элемент термометра был доступен для прямого контакта с поверхностью резистора.
- 4) При помощи зажима типа «крокодил» закрепите щуп термометра на краю чашки. Чувствительный элемент должен плотно соприкасаться с поверхностью резистора (как на фото справа). Считайте, что показания термометра соответствуют средней температуре резистора. **В ходе эксперимента резистор и чувствительный элемент нельзя перемещать относительно друг друга!**

Задача 10.1. «Серый» ящик.

В «сером» ящике (синий электронный компонент с тремя выводами) находится электрическая цепь, схема которой представлена на рис. 1. Цепь состоит из двух резисторов R_1 и R_2 ($R_1 > R_2$). Нумерация выводов «серого» ящика изображена на рисунке 2.

Определите сопротивление резисторов R_1 и R_2 . Укажите соответствие точек A , B , C схемы номерам выводов «серого ящика».

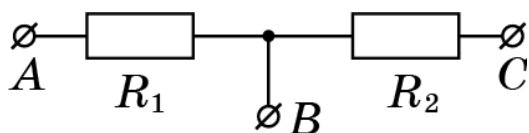


Рис. 1. Схема цепи в «сером» ящике.

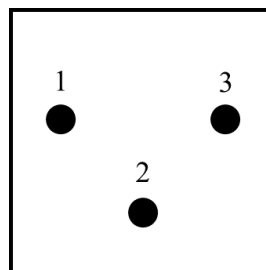


Рис. 2. Нумерация выводов в «сером» ящике.

Примечание: выданный вам источник питания содержит батарейку, напряжение которой U , и включенный последовательно с ней резистор сопротивлением $r = 1\ 000$ Ом (рис. 3).

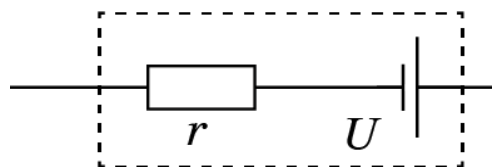


Рис. 3 Схема источника.

Оборудование: «серый» ящик, вольтметр (мультиметр в режиме вольтметра), источник питания.

Внимание: Отрывать наклейки от мультиметра, а также вынимать из него щупы запрещается! **Нарушившие это требование получают за выполнение задания 0 баллов!**

Возможное решение.

- Предварительные эксперименты с выданным оборудованием приводят к выводу, что
 - 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 сопротивление 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 соответствие выводов схемы А, В, С и выходов «серого ящика» 1, 2, 3.

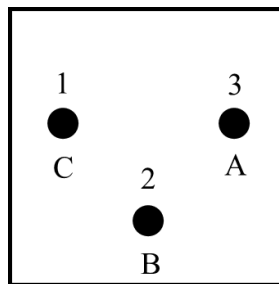
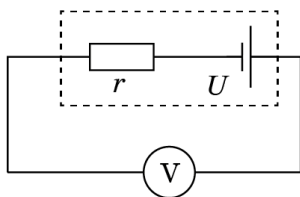
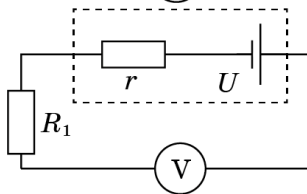


Рис. 4. Соответствие нумерации выводов «серого» ящике маркировке выводов схемы.

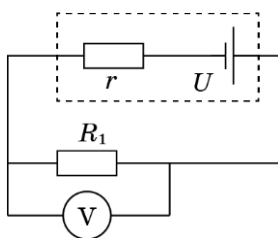
- Для наиболее точного определения сопротивлений резисторов в «сером» ящике проведем описанные ниже измерения и, в соответствии с законом Ома, запишем выражения для напряжений на вольтметре U_0 , U_1 , U_2 в каждом случае (здесь R_B – сопротивление вольтметра, все остальные обозначения соответствуют 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):

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

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

Разделим (4) на (7) и (4) на (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

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

Теперь пришло время вычислить k . Для использовавшейся цепи значения напряжений получились такие: $U_0 = 1668$ мВ, $U_1 = 985$ мВ, $U_2 = 1213$ мВ. Получается, что $k \approx 3,85$.

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

Теперь из (9) находим сопротивление R_1 :

$$R_1 \approx 2r \frac{U_0 - U_1}{U_1} \approx 1,4 \text{ кОм.}$$

Проводя аналогичные измерения, ищем R_2 . Получаем $U'_1 = 1334$ мВ, $U'_2 = 842$ мВ.

Тогда $R_2 \approx 0,5$ кОм.

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

Критерии оценивания (15 баллов)

1)	Установлена «неидеальность» вольтметра	1 балл
2)	Описана правильная методика сравнения сопротивлений резисторов в «сером» ящике	1 балл
3)	Приведены результаты измерений напряжения при подключении «серого» ящика к цепи (состоящей из вольтметра и источника) различными выводами	1 балл
4)	Установлено соответствие номеров выводов «серого» ящика и маркировки на схеме (С – 1, В – 2, А – 3)	2 балла
5)	Составлена система из трёх уравнений, связывающих сопротивления r , R_B и 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 [330; 850] Ом	3 балла
8)	Найдено сопротивление R_2 [870; 1930] Ом	3 балла

Задание 10.2. Теплоёмкость резистора.

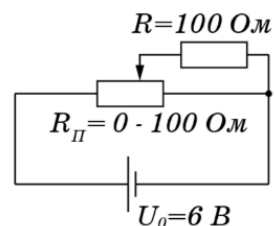
С помощью выданного оборудования определите:

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

Оборудование: резистор сопротивлением $R \approx 100$ Ом, чашка, регулируемый источник постоянного напряжения (далее Источник, сборка описана ниже), мультиметр, термометр, секундомер, соединительные провода, отдельный зажим типа «крокодил», скотч и ножницы по требованию.

Подготовка электрической части установки (сборка Источника).

- 1) Вставьте батарейки в батарейный отсек.
- 2) Подключите выводы батарейного отсека к крайним контактам потенциометра.
- 3) Напряжение между центральным и одним из крайних (любым) контактом потенциометра будет меняться в зависимости от положения поворотной ручки.
- 4) Источник готов к применению. Для дальнейших измерений подключите резистор к центральному и одному из крайних контактов потенциометра.



Подготовка тепловой части установки.

- 1) Закрепите резистор на чашке при помощи соединительных проводов и скотча так, чтобы он располагался вблизи оси чашки, как показано на фотографии слева.



- 2) Присоедините резистор при помощи проводов к клеммам Источника. Параллельно подключите вольтметр.
- 3) Включите термометр. Он должен показывать комнатную температуру. Его чувствительный элемент – диод на конце двух проводов, выходящих из корпуса термометра. Подвиньте изолирующую пластиковую трубку на одном из проводов так, чтобы чувствительный элемент термометра был доступен для прямого контакта с поверхностью резистора.
- 4) При помощи зажима типа «крокодил» закрепите щуп термометра на краю чашки. Чувствительный элемент должен плотно соприкасаться с поверхностью резистора (как на фото справа). Считайте, что показания термометра соответствуют средней температуре резистора. **В ходе эксперимента резистор и чувствительный элемент нельзя перемещать относительно друг друга!**

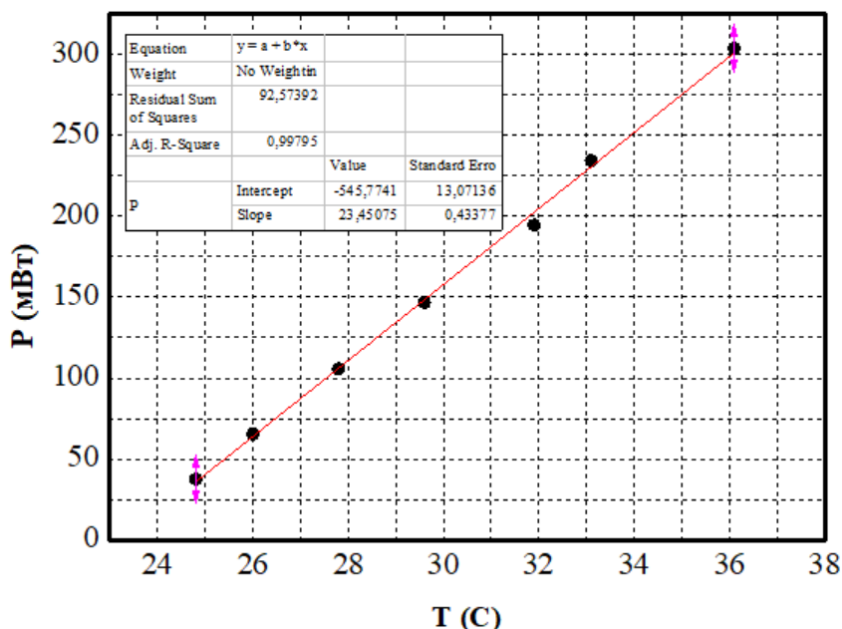
Возможное решение.

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	5,51	4,41	4,84	3,83	3,25	2,56	1,94	0
$P_{\text{Э}}$, мВт	303,6	194,5	234,3	146,7	105,6	65,5	37,6	0,0
T , °С	36,1	31,9	33,1	29,6	27,8	26	24,8	23,1

График зависимости $P_{\text{Э}}(T) = P_{\text{П}}(T)$ приведён ниже:



Мы видим, что зависимость хорошо аппроксимируется линейной функцией.

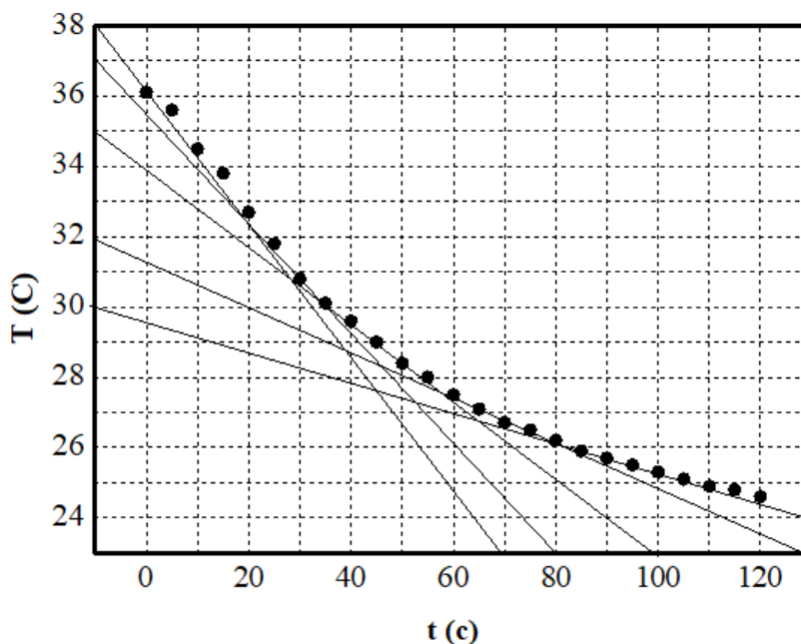
$$P = a(T - T_0).$$

Коэффициент теплопроводности a можно найти из углового коэффициента графика зависимости $P(T)$. В данном случае $a \approx 23,5$ мВт/°С.

Отключим Источник и исследуем процесс охлаждения резистора за счёт тепловых потерь – получим зависимость температуры T остывающего резистора от времени t .

τ , с	0	5	10	15	20	25	30	35	40
T , °С	36,1	35,6	34,5	33,8	32,7	31,8	30,8	30,1	29,6
τ , с	45	50	55	60	65	70	75	80	85
T , °С	29,0	28,4	28,0	27,5	27,1	26,7	26,5	26,2	25,9
τ , с	90	95	100	105	110	115	120		
T , °С	25,7	25,5	25,3	25,1	24,9	24,8	24,6		

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



Мы видим, что эта зависимость нелинейная. Ее исследование можно провести несколькими способами.

1-й 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, необходимые для расчёта мощности тепловых потерь $P_{II} = a(T - T_0)$, то 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 получается $C \approx 1,1$ Дж/°С.

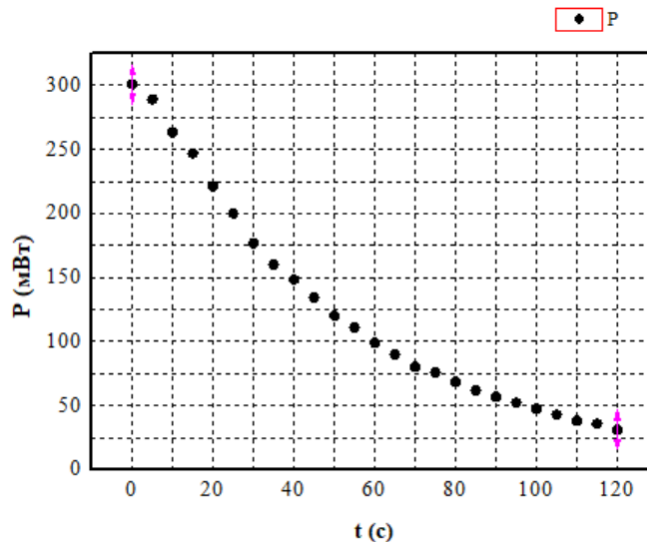
2-й ВАРИАНТ

Используя две таблицы, построим график зависимости мощности тепловых потерь от времени при остывании резистора.

Площадь под этим графиком имеет смысл количества теплоты Q , выделившегося в резисторе за соответствующее время. В частности, площадь на графике в интервале от 20 с до 60 с соответствует остыванию от 32,7°С до 26,2°С.

Уравнение теплового баланса даёт:

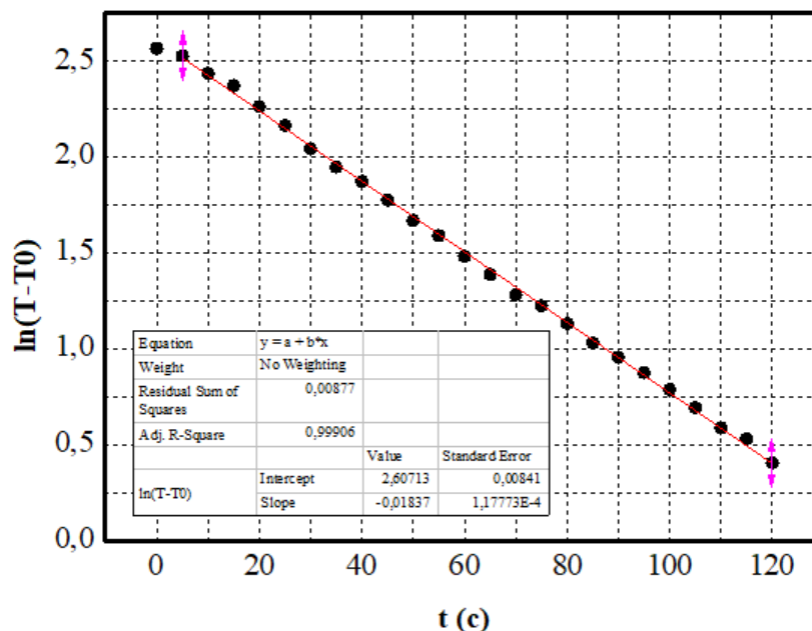
$$Q = C \Delta T \rightarrow C = \frac{Q}{\Delta T}.$$



Площадь под графиком (количество теплоты) можно примерно найти, разбив криволинейную фигуру на трапеции и просуммировав площадь этих трапеций. Для рассматриваемого примера получается $Q \approx 78$ Дж, а $C \approx 1,2$ Дж/°С, что близко к предыдущему результату.

3-й ВАРИАНТ

Некоторые школьники могут использовать логарифмы. Предполагая, что закон изменения температуры со временем экспоненциальный, можно построить график зависимости $\ln(T/T_0)$ от времени.



Данный график близок к линейному, а угловой коэффициент равен по модулю отношению a/C . Если данным способом получен правильный ответ, то его нужно оценивать полным баллом. Для рассматриваемого нами случая такой способ обработки дает результат $C = 1,3$ Дж/°С.

ЛШ 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 электрического тока P	1 балл
2)	Измерена зависимость установившейся температуры T поверхности резистора от мощности электрического 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 этих двух баллов: <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 правильная расчётная формула для теплоёмкости резистора C (для любого варианта обработки экспериментальных данных)	2 балла
7)	Рассчитана теплоёмкость резистора C : <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 C в интервал значений: <i>Попадание в узкий интервал [1,0; 1,4] Дж/°С</i> <i>Попадание в широкий интервал [0,85; 1,55] Дж/°С</i> <i>Нет попадания в широкий интервал:</i>	2 балла 2 балла 1 балл 0 баллов

Задача 11.1. Гук или не Гук?

Подготовка установки

Соберите установку, как показано на рис. 1. Для этого закрепите два канцелярских зажима на расстоянии $L_1 = 40$ см друг от друга. Соберите цепочку из пяти резинок. Воспользуйтесь узлом «схватик» (рис. 2) для соединения резинок между собой (затяните полученные узлы). Снимите верхние дужки с зажимов и проденьте крайние резинки через дужки. Установите дужки на место.

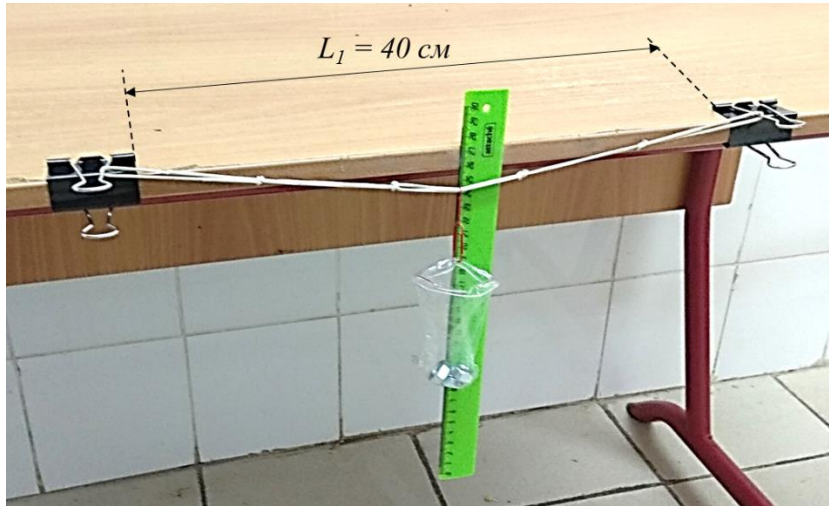


Рис. 1. Сборка экспериментальной установки.

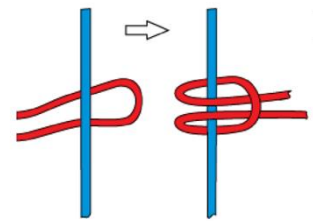


Рис. 2. Узел «схватик».

Пять банковских резинок соединены последовательно друг с другом в цепочку, которая натянута силой T_0 до длины $2L$. Если к середине цепочки приложить поперечную силу F , то точка приложения этой силы сместится на некоторое расстояние h , называемое стрелой прогиба (рис. 3).

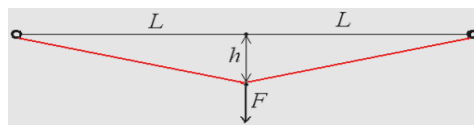


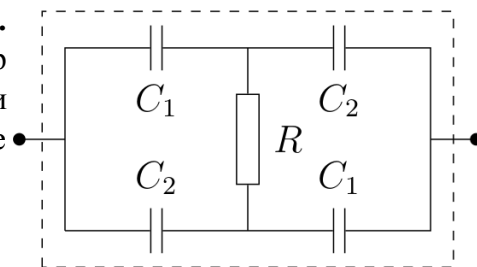
Рис. 3.

- 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: банковские резинки; два канцелярских зажима; две скрепки массой 0,4 г каждая, zip-лок пакет массой 0,5 г; линейка; кусочек скотча (по требованию); шесть одинаковых грузов (гаек) массой $(10,0 \pm 0,1)$ г.

Задание 11.2. «Серый» ящик с конденсаторами.

В выданном вам «сером ящике» находятся резистор сопротивлением R и четыре конденсатора емкостями C_1 и C_2 , соединенные так, как показано на схеме. Определите значения емкостей C_1 и C_2 .



Приборы и оборудование: «серый» ящик, эталонный конденсатор емкостью $C_0 = (1,0 \pm 0,2)$ мФ, батарейка «Крона», мультиметр, зажим типа «крокодил», два соединительных провода.

Примечания.

Соблюдайте полярность при подключении батарейки к «серому ящику» и к конденсатору.

Положительный и отрицательный контакты ящика помечены на корпусе.

Длинная ножка эталонного конденсатора – его «положительный» электрод.

Шестиугольный контакт батарейки – отрицательный контакт, круглый – положительный.

Задача 11.1. Гук или не Гук?

Подготовка установки

Соберите установку, как показано на рис. 1. Для этого закрепите два канцелярских зажима на расстоянии $L_1 = 40$ см друг от друга. Соберите цепочку из пяти резинок. Воспользуйтесь узлом «схватик» (рис. 2) для соединения резинок между собой (затяните полученные узлы). Снимите верхние дужки с зажимов и проденьте крайние резинки через дужки. Установите дужки на место.



Рис. 1. Сборка экспериментальной установки.

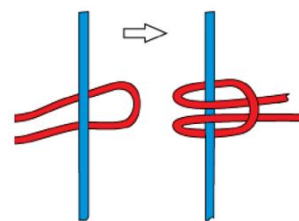


Рис. 2. Узел «схватик».

Пять банковских резинок соединены последовательно друг с другом в цепочку, которая натянута силой T_0 до длины $2L$. Если к середине цепочки приложить поперечную силу F , то точка приложения этой силы сместится на некоторое расстояние h , называемое стрелой прогиба (рис. 3).

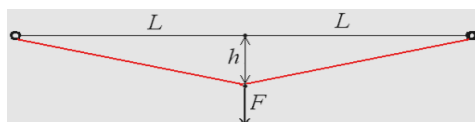


Рис. 3.

- 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: банковские резинки; два канцелярских зажима; две скрепки массой 0,4 г каждая, zip-лок пакет массой 0,5 г; линейка; кусочек скотча (по требованию); шесть одинаковых грузов (гаек) массой $(10,0 \pm 0,1)$ г.

Возможное решение.

1. а) Соберем установку, изображенную на рисунке в условии.

б) Проведем измерения стрелы прогиба во всём доступном диапазоне значений F . Результаты занесём в столбцы Таблицы 1.

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

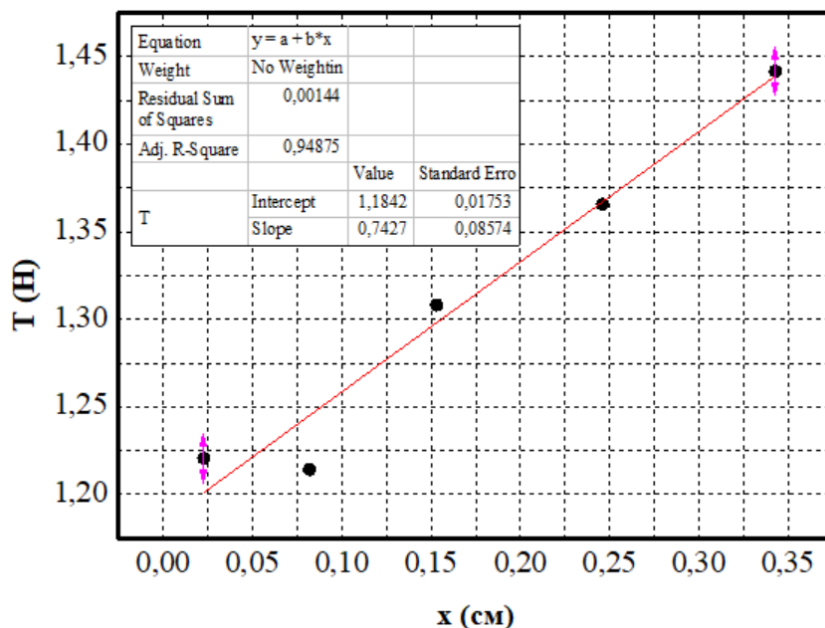
г) Получим выражение для силы T натяжения резинок цепочки. На половину цепочки действует вниз растягивающая сила $F/2$. Так как $\frac{(F/2)}{T} = \frac{h}{\sqrt{L^2 + h^2}} \approx \frac{h}{L}$, то $T \approx \frac{FL}{2h}$.

У нас максимальная стрела прогиба $h = 44$ мм при $L = 220$ 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

N	h , см	F , Н	x , см	T , Н
1	1,0	0,111	0,023	1,22
2	1,9	0,209	0,082	1,21
3	2,6	0,307	0,153	1,31
4	3,3	0,405	0,246	1,37
5	3,9	0,503	0,343	1,44
6	4,4	0,601	0,436	1,53



ж) Строим график зависимости силы натяжения T от x . Он получается линейным.

Экстраполяция графика к значениям $x = 0$ позволяет найти значение T_0 : $T_0 = 1,2 \pm 0,1$ Н.

По угловому коэффициенту графика найдём коэффициент жёсткости $k_{0,5}$ половины цепочки: $k_{0,5} = 74 \pm 8$ Н/м.

Коэффициент жёсткости всей цепочки в два раза меньше: $k = 37 \pm 4$ Н/м.

Основной вклад в погрешность измерений вносит измерение h (5%). Погрешность измерений конечных значений оценим из полученного графика анализируя «разброс» точек.

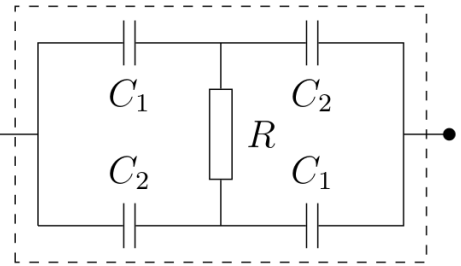
ЛШ Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Критерии оценивания (15 баллов)

1	Описание методики проведения эксперимента (конструкции установки: крепление планки, мерной ленты, грузов) (1 балл). Измерено расстояние $2L$ (0,5 балла); Учтена масса скрепок и пакета (0,5 балла).	2 балла
2	Таблица измерений h от F	1 балл
3	Повторное измерение зависимости h от F	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 аппроксимирующая 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

Задание 11.2. «Серый» ящик с конденсаторами.

В выданном вам «сером ящике» находятся резистор сопротивлением R и четыре конденсатора емкостями C_1 и C_2 , соединенные так, как показано на схеме. Определите значения емкостей C_1 и C_2 .



Приборы и оборудование: «серый» ящик, эталонный конденсатор емкостью $C_0 = (1,0 \pm 0,2)$ мФ, батарейка «Крона», мультиметр, зажим типа «крокодил», два соединительных провода.

Примечания.

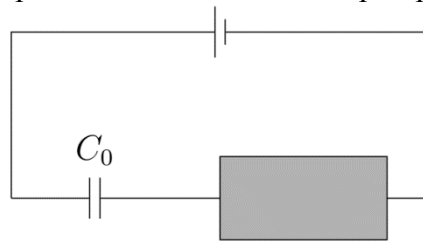
Соблюдайте полярность при подключении батарейки к «серому ящику» и к конденсатору.

Положительный и отрицательный контакты ящика помечены на корпусе.

Длинная ножка эталонного конденсатора – его «положительный» электрод.

Шестиугольный контакт батарейки – отрицательный контакт, круглый – положительный.

Возможное решение. Соединим последовательно «серый» ящик, эталонный конденсатор C_0 и батарейку, напряжение на выводах которой равно U_0 .



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).

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 их потенциалов через резистор R ещё не началось.

В случае 2) выводы резистора оказываются с одним и тем же потенциалом, а напряжение

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

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 и для напряжений U_{01} и U_{02} .

В нашем случае $U_0 = 9,88$ В, $U_1 = 3,71$ В, $U_2 = 3,24$ В, $C_0 = 1,0$ мФ.

Тогда $C_1 = 2,9$ мФ, $C_2 = 1,2$ мФ.

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

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 величин, указанных в пунктах 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) или ее аналог (засчитывается, если решена система исходных уравнений)	1 балл
8	Решена система уравнений и записана формула (4) или ее аналог (засчитывается, если решена система исходных уравнений)	1 балл
9	Найдена ёмкость C_1 – в пределах [2,2; 3,3] мФ	1 балл
10	Найдена ёмкость C_2 – в пределах [1,0; 1,4] мФ	1 балл
11	Оценена погрешность измерения емкостей	1 балл