

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?

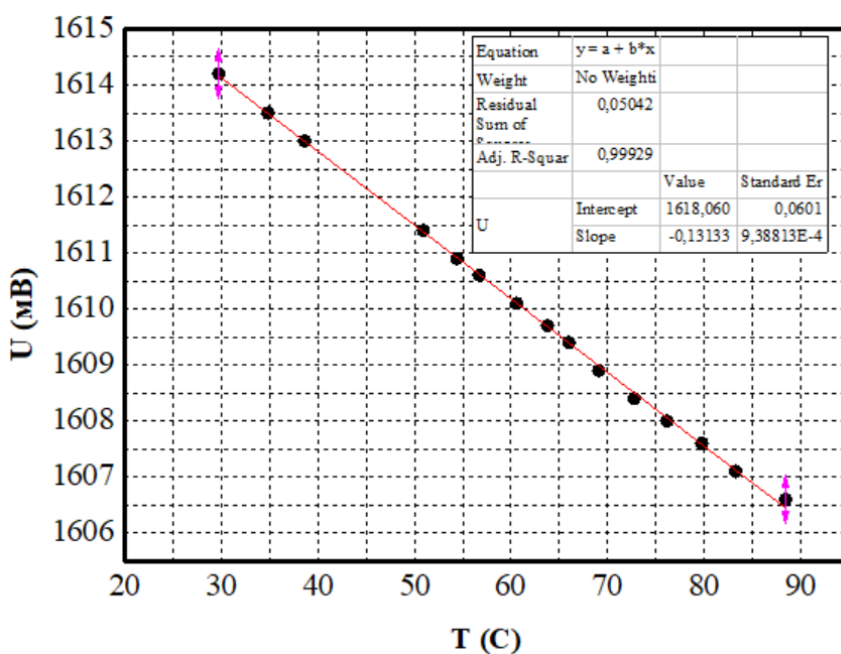
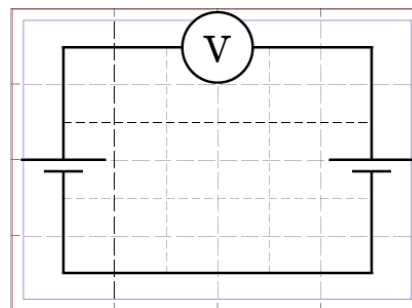
Примечание.

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/°C.

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

Критерии оценивания (15 баллов)

1	Выполнено измерение напряжения U_0 батарейки при комнатной температуре	1 балл
2	Идея использования дифференциальной схемы измерения $\Delta U(T)$	3 балла
3	Измерения: число снятых точек (10 или более) 4 балла (7, 8 или 9) 3 балла (5 или 6) 2 балла (2, 3 или 4) 1 балл	4 балла
4	График $U(T)$: а) отложены единицы измерения по осям (0,5 балла) б) выбран рациональный масштаб по осям (0,5 балла) с) нанесены шкалы на оси (0,5 балла) д) соответствие нанесённых точек табличным значениям (0,5 балла)	2 балла
5	Указано, что $\Delta U(T) < 0$	2 балла
6	Вывод, что зависимость $\Delta U(T)$ прямо пропорциональная (проведена линия на графике)	1 балл
7	Угловой коэффициент попал в диапазон $[0,11; 0,15]$ мВ/°C 2 балла диапазон $[0,07; 0,18]$ мВ/°C 1 балл	2 балла