

**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  $m_{\Gamma}$ , 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  $L_{\Gamma}$  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 (найден 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  $\Delta U$  мало по сравнению с  $U_0$ .

#### Задание.

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

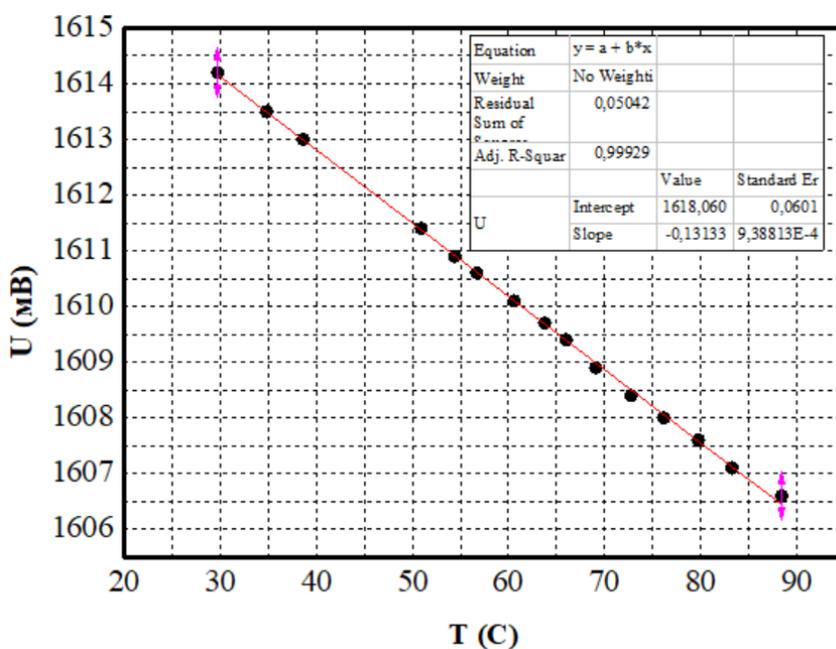
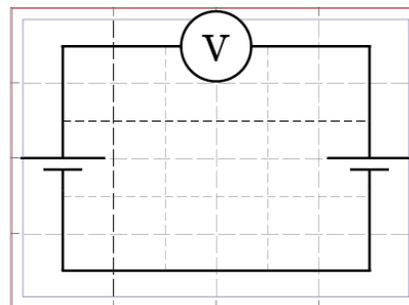
#### Примечание.

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  $\Delta U$  от температуры линейная. Угловой коэффициент равен  $0,13$  мВ/°С.

LIII 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/°С    2 балла диапазон $[0,07; 0,18]$ мВ/°С    1 балл	2 балла