

**ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ**  
**2019-2020 УЧ. ГОД**  
**МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. КАЛУЖСКАЯ ОБЛАСТЬ**  
**11 КЛАСС**

**1. «Шлюз 11».** Шлюз (плоский вертикальный прямоугольный щит) перекрывает канал. Ширина канала 8 м. Глубина воды в канале 5 м. Масса шлюза  $1,5 \cdot 10^3$  кг. Плотность воды  $10^3$  кг/м<sup>3</sup>, ускорение свободного падения принять равным  $10$  м/с<sup>2</sup>. Определить минимальную вертикальную силу, которую необходимо приложить для того, чтобы поднять шлюз. Коэффициент трения шлюза по направляющим опорам 0,2. Атмосферное давление  $10^5$  Па.

**1. «Шлюз 11». Возможное решение.**

1. На шлюз, перекрывающий канал, действуют пять сил:

- 1) сила тяжести – направлена вертикально вниз;
- 2) сила реакции со стороны дна канала;
- 3) сила давления воды, перпендикулярная плоскости шлюза,
- 4) равная ей по величине, но противоположная по направлению сила  $N$  – реакции направляющих опор;
- 5) сила атмосферного давления.

2. В момент начала подъёма сила реакции дна становится равной нулю, но появляется сила трения со стороны опор.

3. Минимальная сила для подъёма шлюза равна  $F = mg + F_{mp}$

4.  $F_{mp} = \mu N$

5. Атмосферное давление действует на стенки шлюза с обеих сторон и эти действия друг друга компенсируют

6.  $N = p \cdot h \cdot b$  ( $h \cdot b$  – площадь щита), где  $p$  – среднее давление воды на плоскость шлюза, т.е. давление на уровне середины

7.  $p = \frac{1}{2} \rho gh,$

8.  $F = mg + \mu hb \frac{1}{2} \rho gh$

9. Подставив числовые данные, получаем  $F = 215$  кН

**1. «Шлюз 11». (10 баллов). Рекомендуются критерии оценки.**

За указание на содержание пунктов (1)-(8) добавлять по 1 баллу.

За пункт (9) добавить 2 балла.

**Примечания:**

а) Расчётная формула (пункт 8), полученная другим корректным способом – 8 баллов

б) вместо пункта 1 может быть выполнен рисунок с указанием сил

**2. «Футбол 11».** После удара игрока мяч попадает в вертикальную стену и, отразившись от неё, падает на футбольную площадку за спиной футболиста.

Считая удар о стену абсолютно упругим, а площадку горизонтальной, определить время полёта мяча от момента удара футболиста по мячу до момента падения мяча на землю, если время его движения до стены  $t_1$  и удар произошёл на высоте  $h$ .

## 2. «Футбол 11». Возможное решение.

1. Траектория движения мяча – парабола. Так как мяч упал за спиной игрока, то удар о стену произошёл тогда, когда мяч двигался по восходящей части параболы (в противном случае он должен упасть перед игроком).

2. Так как удар о стенку абсолютно упругий, то после столкновения со стенкой изменится лишь на обратную горизонтальная составляющая скорости мяча, а вертикальная составляющая останется такой, какой она была до столкновения.

3. Поэтому время движения мяча, которое необходимо определить в задаче, будет равняться времени полёта мяча с той же начальной скоростью, если бы стена отсутствовала.

4. Закон изменения высоты полёта:  $h = v_{0y}t - \frac{gt^2}{2}$

его можно переписать в виде  $gt^2 + 2v_{0y}t - 2h = 0$

5. Получилось квадратное уравнение. Оно имеет два корня  $t_1$  и  $t_2$ , т.к. на одной и той же высоте мяч будет находиться дважды. Физический смысл этих корней, учитывая идеи симметрии, можно интерпретировать следующим образом:

$t_1$  – время движения мяча до удара

$t_2$  – время движения мяча после удара

6. По теореме Виета:  $t_1 \cdot t_2 = \frac{2g}{h}$ ; откуда  $t_2 = \frac{2h}{gt_1}$

7. Время полёта  $t = t_1 + t_2 = \frac{gt_1^2 + 2h}{gt_1}$

## 2. «Футбол 11» (10 баллов). Рекомендуемые критерии оценки.

Пункты 1, 2, 3, 4 оценивать по 1 баллу

Получение формулы для  $t$  оценивать в 6 баллов.

3. «Баллон 11». В газовом баллоне создан вакуум, кран открывают и, как только давление в баллоне станет равным атмосферному, кран закрывают. Определить давление воздуха в баллоне после установления теплового равновесия с окружающей средой. Атмосферное давление  $p_0$ .

## 3. «Баллон 11». Возможное решение.

1. При открывании крана в баллон войдет  $\nu$  молей воздуха. При этом атмосфера совершит работу  $A = p_0 \cdot V_0$ , где  $V_0$  – объём баллона.

2. Изменение энергии этого количества воздуха  $\Delta U = \frac{i}{2}\nu R(T - T_0)$ , где  $T_0$  – температура окружающего воздуха,  $T$  – температура воздуха в баллоне после закрытия крана.

3. Воздух можно рассматривать как идеальный двухатомный газ, поэтому

$$\Delta U = \frac{5}{2} \nu R (T - T_0)$$

4. Из закона сохранения энергии  $\frac{5}{2} \nu R (T - T_0) = p_0 V_0$

5. Уравнение состояния  $p_0 V_0 = \nu R T_0$

6. Из пунктов 4 и 5:  $T = \frac{7}{5} T_0$

7. Затем воздух в баллоне охлаждается до  $T_0$

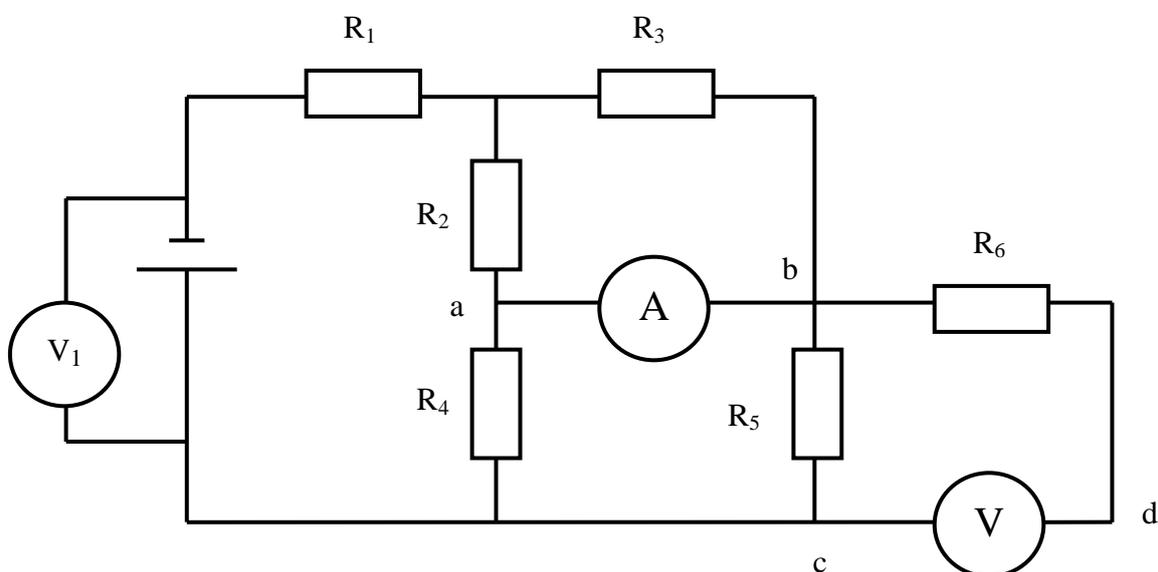
8. Переход из состояния  $(p_0, T)$  в состояние  $(p, T_0)$  происходит при постоянном объёме, тогда

9.  $p = p_0 \cdot \frac{T_0}{T} = \frac{5}{7} p_0$

**3. «Баллон 11» (10 баллов). Рекомендуемые критерии оценки.**

За пункты (1)-(6), (8), (9) ставить 1 балл, За пункт (7) ставить 2 балла

**4. «Электрическая схема 11».**



В электрической цепи, изображенной на рисунке, все измерительные приборы идеальны. Вольтметр, присоединённый к выводам батареи с внутренним сопротивлением 1 Ом, показывает 60 В. Сопротивления элементов цепи:  $R_1 = 1$  Ом,  $R_2 = R_3 = 4$  Ом,  $R_4 = 3$  Ом,  $R_5 = R_6 = 6$  Ом. Найти ЭДС батареи и показания амперметра А ( $I_{ab}$ ) и вольтметра V ( $U_{cd}$ ).

**4. «Электрическая схема 11». Возможное решение.**

1. Так как амперметр идеальный, то потенциалы узлов а и b равны  $\varphi_a = \varphi_b$

2. Так как вольтметр  $V_1$  – идеальный, то током в ветви cdb можно пренебречь, а значит пренебречь и напряжением на резисторе  $R_6$ .

3. Из пунктов 1 и 2 следует, что  $R_2$  и  $R_3$  – соединены параллельно, и  $R_4$  и  $R_5$  – соединены параллельно.

4. Тогда общее внешнее сопротивление цепи

$$R = R_1 + R_{2,3} + R_{4,5} = 5 \text{ Ом}$$

5. Сила тока через батарею и внешний участок цепи  $I = \frac{U_{V1}}{R} = 12 \text{ А}$

6.  $\varepsilon = I(R + r) = 72 \text{ В}$

7. Из того, что  $R_2 = R_3$  следует  $I_2 = I_3 = 6 \text{ А}$

8. Так как  $R_5 = 2R_4$ , то  $I_4 = 2I_5 = 8 \text{ А}$ ,  $I_5 = 4 \text{ А}$

9. Показания амперметра  $I_{ab} = I_4 - I_2 = I_3 - I_5 = 2 \text{ А}$

10. Показания вольтметра  $U_{cd} = I_5 \cdot R_5 = 24 \text{ В}$

**4. «Электрическая схема 11» (10 баллов). Рекомендуемые критерии оценки.** Все пункты по 1 баллу

**5. «Лабораторная работа 11»** (задача составлена доцентом кафедры физики и математики КГУ им. К.Э. Циолковского М.С. Красиным)

При измерении коэффициента трения скольжения были выполнены следующие действия:

1. С помощью динамометра с ценой деления 0,1 Н определили вес бруска. Он оказался равен  $P = 3,3 \text{ Н}$ .

2. Динамометр и середину торца (края) бруска соединили нитью, и положили на горизонтальную доску, расположив приборы в одну линию.

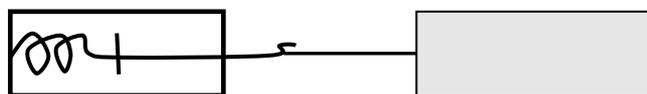


Рис. 2 Динамометр и брусок связаны нитью и расположены на горизонтальной доске

3. Удерживая динамометр на месте, отвели брусок так, что динамометр стал показывать силу  $F_{упр} = 2,0 \text{ Н}$ , а его пружина при этом растянулась на расстояние  $x = 50 \text{ мм}$ .

4. Продолжая удерживать динамометр, брусок отпустили и измерили линейкой с миллиметровыми делениями расстояние  $s_1$ , на которое брусок после этого переместился.

5. Для надёжности результата повторили действия, описанные в пунктах 3 и 4 ещё шесть раз, и записали результаты измерения перемещения в таблицу 1.

**Таблица 1.** Результаты измерения перемещения бруска под действием силы упругости пружины и силы трения бруска о доску

Перемещение $s$ бруска в каждом опыте	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$s_4$	$s_5$	$s_6$	$s_7$
мм	72	71	76	72	70	72	77

6. Опираясь на закон сохранения энергии (закон изменения энергии) нашли значение коэффициента трения бруска о доску.

Опишите используемые формулы закономерностей, возможные расчёты экспериментаторов и полученный ими результат в соответствии с правилами научной методологии.

**5. «Лабораторная работа 11» Возможное решение:** В данном эксперименте сразу после отпускания бруска система брусков-динамометр обладала механической энергией в форме потенциальной энергии деформированной пружины. В результате работы силы трения механическая стала равна нулю. В виде формулы это можно записать следующим образом:

$$\frac{k \cdot x^2}{2} + (-F_{mp} \cdot s) = 0 \quad (1)$$

Учитывая закон Гука  $F_{yup} = kx$ , закон Кулона-Амонтона  $F_{mp} = \mu N$  и третий закон Ньютона  $N = P$  можно записать, что

$$\frac{F_{yup} \cdot x}{2} + (-\mu \cdot P \cdot s) = 0$$

Откуда

$$\mu = \frac{F_{yup} \cdot x}{2 \cdot P \cdot s} \quad (2)$$

Поскольку для измерения перемещения  $s$  проводилось семь повторных измерений, то его находим как среднее арифметическое результатов каждого опыта

$$s = s_{cp} = \frac{s_1 + s_2 + s_3 + s_4 + s_5 + s_6 + s_7}{7} \quad (3)$$

$$s = s_{cp} = 72,857 \dots \text{мм} = 72,9 \text{ мм} \quad (4)$$

(при округлении результата учитывалось правило значащих цифр и необходимость сохранять одну запасную цифру в промежуточном результате)

При расчётах следует учесть, что все значения получены экспериментально, поэтому необходимо учесть их погрешность. Погрешности измерения сил принимаем равной цене деления шкалы динамометра  $\Delta F = \Delta P = 0,1 \text{ Н}$ . Погрешность измерения деформации пружины принимает равной цене деления шкалы линейки  $\Delta x = 1 \text{ мм}$

Замечаем, что результаты измерения перемещения показали разброс значений, Поэтому, помимо приборной погрешности придётся оценивать и погрешность разброса. Погрешность разброса результатов измерения перемещения бруска принимаем равным произведению среднего арифметического погрешностей каждого измерения на коэффициент доверия, который для случая семи повторных измерений считаем равным 2.

$$\Delta_{раз} s = k \frac{|s_{cp} - s_1| + |s_{cp} - s_2| + |s_{cp} - s_3| + |s_{cp} - s_4| + |s_{cp} - s_5| + |s_{cp} - s_6| + |s_{cp} - s_7|}{7}$$

$$\Delta_{раз} s = 3,9428 \dots \text{мм} = 4 \text{ мм}$$

Сравнивая приборную погрешность  $\Delta_{np} s = 1 \text{ мм}$  и погрешность разброса  $\Delta_{раз} s = 4 \text{ мм}$ , приходим к выводу, что с учётом правила поглощения малых погрешностей можно считать, что  $\Delta s = 4 \text{ мм}$ .

Итоговое значение перемещения считаем равным  $s = (73 \pm 4) \text{ мм}$ . (5)

Для оценки погрешности результата косвенных измерений коэффициента трения воспользуемся методом границ.

Верхнюю границу находим по формуле

$$\mu_{BG} = \frac{(F_{yup} + \Delta F) \cdot (x + \Delta x)}{2 \cdot (P - \Delta P) \cdot (s - \Delta s)} \quad (6)$$

Подставив числовые данные, находим  $\mu_{BG} = 0,2425 \dots = 0,24$

Аналогично  $\mu_{HG} = 0,1778 \dots = 0,18$

Тогда погрешность измерения  $\Delta\mu = 0,5(\mu_{BG} - \mu_{HG}) = 0,03$  (7)

Измеренное значение  $\mu = 0,5(\mu_{BG} + \mu_{HG}) = 0,214$  (8)

С учётом равенства минимальных разрядов числа в результате и его погрешности ответ следует записать в виде

$$\mu = 0,21 \pm 0,03, \quad \varepsilon\mu = 14 \% \quad (9)$$

*или*  $0,18 \leq \mu \leq 0,24, \quad \varepsilon\mu = 14 \%$

### **5. «Лабораторная работа 11» (10 баллов) Рекомендуемые критерии оценки**

За каждый пункт (1) ставить 2 балла, за наличие остальных пунктов добавлять по 1 баллу.

Если оценка погрешности не проводилась, но результат получен правильный, то ставить не более 7 баллов.

Если вычислялись 7 значений  $\mu$  при разных перемещениях  $s$ , а затем вычислялся средний  $\mu$ , то ставить не более 6 баллов. За запись итогового результата с избыточным количеством значащих цифр общую оценку снизить на 1 балл.