

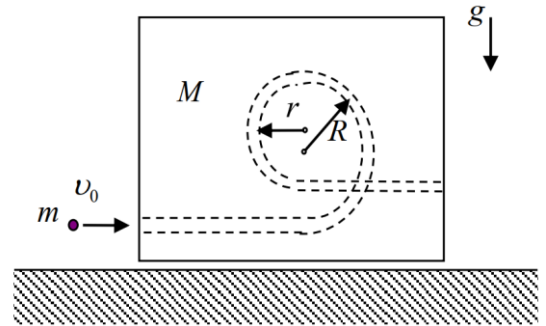
Всероссийская олимпиада школьников по физике
Муниципальный этап

11-й класс

Время выполнения – 3 астрономических часа 50 минут.

Максимум – 50 баллов.

1. Маленький шарик влетает со скоростью v_0 в гладкий канал, просверлённый в деревянном бруске, покоящемся на горизонтальной поверхности. Канал имеет вид двух сопряжённых полуокружностей с горизонтальными отводами, через которые шарик может попасть внутрь бруска (см. рисунок). Радиусы большой и малой полуокружностей равны соответственно R и r . Трения нигде нет, брусок не отрывается от поверхности. Найти условие, при соблюдении которого шарик сделает оборот внутри бруска.



Возможное решение и критерии оценивания

Очевидно, что при минимальной начальной скорости шарика, которая позволяет ему сделать полный оборот в канале, скорость шарика в верхней точке канала должна быть равна скорости бруска (скорость шарика относительно бруска равна нулю) (3 балла).

Пусть скорости бруска и шарика, когда шарик оказался в верхней точке, равны u .

Запишем закон сохранения энергии.

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mu^2}{2} + \frac{Mu^2}{2} + mg2R \quad (2 \text{ балла}).$$

Запишем закон сохранения импульса в проекции на горизонтальную ось, направленную вправо.

$$mv_0 = mu + Mu \quad (2 \text{ балла}).$$

Решив систему из этих уравнений, найдём минимальное значение скорости шарика.

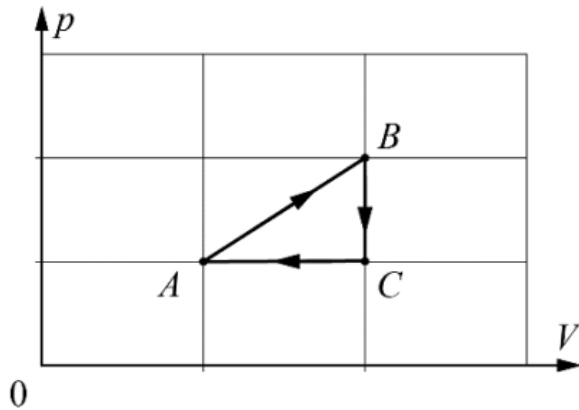
$$v_0 = \sqrt{\frac{4gR(M+m)}{M}} \quad (2 \text{ балла}).$$

Условие прохождения канала:

$$v_0 \geq \sqrt{\frac{4gR(M+m)}{M}} \quad (1 \text{ балл}).$$

Примечание: последний балл ставится за указание, что любая большая скорость тоже нас устроит. Если в неравенстве указан знак строго больше, то ответ засчитывать как правильный.

2. Тепловая машина, у которой в качестве рабочего тела используют два моля идеального одноатомного газа, за один замкнутый цикл ABC (см. рис.) совершает работу A_0 .



1. На каком(-их) участке(-ах) к рабочему телу подводится тепло?
2. Чему равно это количество теплоты?
3. Вычислите КПД η данной тепловой машины.

Возможное решение

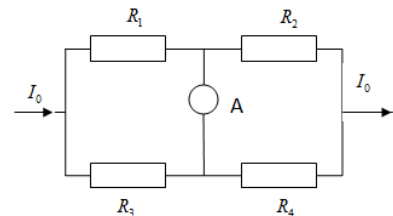
1. На участках BC работа не совершается, а температура понижается, следовательно теплота отводится от рабочего тела. На участке CA рабочее тело сжимается в изобарном процессе. Это возможно при отводе теплоты. Следовательно, только на участке AB подводится тепло (**3 балла**).

2. Пусть давление p_0 соответствует одной клетке вертикальной оси графика, а клетка на оси объёмов равна V_0 . За цикл газ совершит работу $A_0 = \frac{P_0 V_0}{2}$. Отсюда $P_0 V_0 = 2A_0$.

По первому закону термодинамики на участке AB к газу будет подведено количество теплоты $Q_{AB} = \Delta U + A_{AB} = \frac{3}{2}(4P_0 V_0 - P_0 V_0) + 1,5P_0 V_0 = 6P_0 V_0 = 12A_0$. (**4 балла**).

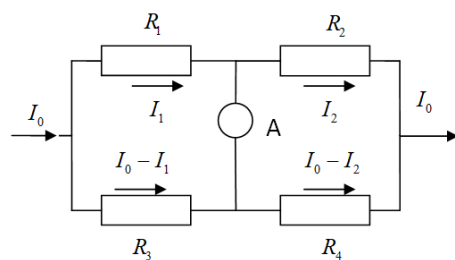
3. По определению $\eta = \frac{A_0}{Q_{AB}} = \frac{A_0}{12A_0} \approx 0,08$ (**3 балла**).

3. Какой ток будет идти через амперметр в электрической цепи, изображённой на рисунке, если сопротивление этого амперметра значительно меньше сопротивлений в её ветвях, а $R_1 = r$; $R_2 = 2r$; $R_3 = 3r$; $R_4 = 4r$ и $I_0 = 1$ А?



Возможное решение

Токи через сопротивления обозначим так, как показано на рис. Так как сопротивление амперметра много меньше сопротивлений ветвей цепи, напряжение на первом и третьем сопротивлении будут одинаковыми, то есть $R_1 I_1 = R_3 (I_0 - I_1)$.



Одинаковыми будут напряжения и на втором и четвёртом сопротивлениях, поэтому

$$R_2 I_2 = R_4 (I_0 - I_2).$$

Из записанных соотношений находим

$$I_1 = \frac{R_3}{R_1 + R_3} I_0; \quad I_2 = \frac{R_4}{R_2 + R_4} I_0.$$

Ток через амперметр

$$I_A = I_1 - I_2 = \left(\frac{R_3}{R_1 + R_3} - \frac{R_4}{R_2 + R_4} \right) I_0 = \frac{1}{12} I_0 = \frac{1}{12} \text{ А}.$$

4. Два шарика массой по 1 г подвешены на нитях длиной 0,5 м в одной точке. После сообщения им отрицательного заряда угол между нитями стал 60°. Чему равна сила их электрического взаимодействия?

После сообщения каждому из шариков отрицательного заряда они разойдутся на угол α (как показано на рисунке), при этом в какой-то момент времени шарики придут в равновесие. В этом состоянии на каждый шарик действуют три силы: сила тяжести mg , искомая кулоновская сила отталкивания $F_{эл}$ и сила натяжения нити T . Запишем первый закон Ньютона в проекции на обе оси координат.

$$\begin{cases} T \cdot \sin \frac{\alpha}{2} = F_{эл} \\ T \cdot \cos \frac{\alpha}{2} = mg \end{cases}$$

Поделим верхнее равенство на нижнее, тогда получим следующее:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{F_{эл}}{mg}$$

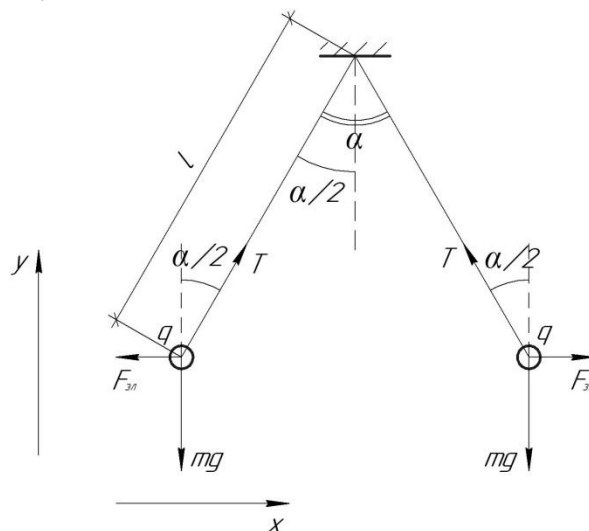
Откуда мы уже получим решение задачи в общем виде:

$$F_{эл} = mg \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

Посчитаем численный ответ к задаче:

$$F_{эл} = 0,001 \cdot 10 \cdot \operatorname{tg} \frac{60^\circ}{2} = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ Н} = 5,8 \text{ мН}$$

Ответ: 5,8 мН.



5. Псевдоэксперимент

В баллистической лаборатории исследовались зависимости значений скорости v шарика, выпущенного вверх из небольшой катапульты, стоящей на столе, от высоты h его подъёма над уровнем стола. К сожалению, в спешке в таблицу с результатами измерений попали данные для двух разных шариков.

1. Определите, какие данные относятся к одному, а какие к другому шарiku. Для этого постройте график с результатами измерений в таких координатах, в которых он должен быть линейным.

2. Рассчитайте, во сколько раз отличаются максимальные высоты подъёма шариков над столом.

3. Определите времена полёта шариков. Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

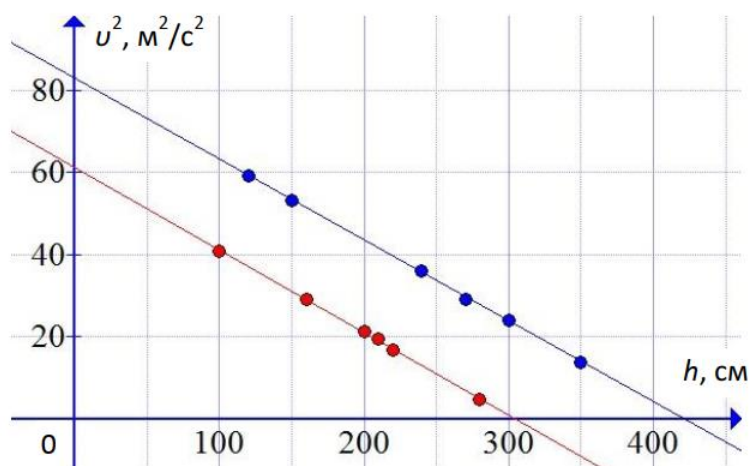
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
h , см	220	240	350	150	280	160	270	120	300	210	100	200
v , м/с	4,1	6,0	3,7	7,3	2,2	5,4	5,5	7,7	4,9	4,4	6,4	4,6

Оборудование: лист миллиметровой бумаги формата А5 для построения графика.

Возможное решение

1. Из закона сохранения энергии $\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + mgh$ получаем $v^2 = v_0^2 - 2gh$, где v_0 - скорость на уровне стола. Следовательно, зависимость скорости от высоты будет линейной, например, в осях $v^2(h)$ (**6 баллов**).

Нанесём экспериментальные точки.



Все точки хорошо разделяются, ложась на две прямые. Таким образом, одному шару принадлежат точки (см. табл. ниже).

№	1	2	3	4	5	6
h , см	120	150	240	270	300	350
v , м/с	7,7	7,3	6,0	5,5	4,9	3,7

А другому (см. табл. ниже).

№	1	2	3	4	5	6
h , см	100	160	200	210	220	280
v , м/с	6,4	5,4	4,6	4,4	4,1	2,2

2. Прямые пересекают ось h в точках 310 см и 425 см. Это максимальные высоты подъёма шариков. Отличаются примерно в 1,37 раза (**2 балла**).

3. Время полёта шарика может быть найдено, как удвоенное время падения без начальной скорости с максимальной высоты $t = 2\sqrt{\frac{2h}{g}}$. Для одного шарика $t_1 \approx 1,57$ с, а для другого $t_2 \approx 1,84$ с. (**2 балла**).

Критерии и методики оценивания выполненных олимпиадных заданий муниципального этапа Всероссийской олимпиады школьников по физике в Архангельской области в 2023/24 учебном году приводятся в соответствии с системой оценивания регионального этапа и осуществляются по критериям, предложенным центральной предметно-методической комиссией. При этом муниципальным предметно-методическим комиссиям рекомендуется оценивать выполнение заданий согласно стандартной методике оценивания решений, если нет специальных указаний.

Каждое задание оценивается в 10 баллов.

Максимальный балл – 50.

Баллы	Правильность (ошибочность) решения
10	Полное верное решение
7–9	Верное решение. Имеются небольшие недочёты, в целом не влияющие на решение. Допущены арифметические ошибки, не влияющие на знак ответа
5–7	Задача решена частично, или даны ответы не на все вопросы
3–5	Решение содержит пробелы в образовании, приведены не все необходимые для решения уравнения
1–2	Рассмотрены отдельные важные случаи при отсутствии решения (или при ошибочном решении)
0	Решение неверное или отсутствует