

Всероссийская олимпиада школьников по физике 2022-2023 уч. год.

Муниципальный этап. Калужская область

10 класс. Условия, решения, критерии, методические рекомендации

Задания 1-4 разработаны доцентом кафедры физики и математики КГУ им. К.Э. Циолковского М.С. Красиным.

1. Теплообмен (10 баллов). В калориметре находится некоторое количество воды при температуре $t_1 = 20$ °С. Когда в воду положили кусочек льда при температуре $t_2 = 0$ °С, то в состоянии теплового равновесия температура в калориметре стала равна $t_3 = 10$ °С. Какой бы оказалась температура в состоянии теплового равновесия, если бы вместо льда в воду положили мокрый снег при температуре $t_2 = 0$ °С, такой же массы, как и лёд, но при этом четверть его массы составляла вода? Считать, что удельная теплоёмкость воды равна $c_B = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$, льда – $c_L = 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$, удельная теплота плавления воды $\lambda = 340000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Теплоёмкостью калориметра и тепловыми потерями можно пренебречь. Ответ округлить до целых.

1. Теплообмен. Возможное решение. Уравнение теплового баланса в первом случае можно записать в виде $\lambda m_1 + c_B m_1 (t_3 - t_2) = c_B m_2 (t_1 - t_3)$ (1)

Уравнение теплового баланса во втором случае можно записать в виде

$$\lambda \cdot 0,75 m_1 + c_B m_1 (t_y - t_2) = c_B m_2 (t_1 - t_y) \quad (2)$$

Если разделить второе уравнение на первое, получаем

$$\frac{\lambda \cdot 0,75 + c_B (t_y - t_2)}{\lambda + c_B (t_3 - t_2)} = \frac{(t_1 - t_y)}{(t_1 - t_3)}$$

Если подставить числовые данные, то

$$\frac{255000 + 4200 t_y}{382000} = \frac{20 - t_y}{10}$$

Откуда $2550000 + 42000 t_y = 7640000 - 382000 t_y$ (3)
 $t_y = 12$ °С

1. Теплообмен. Рекомендованные критерии оценки. Если есть формула для расчёта количества теплоты, необходимого для нагрева вещества, то добавить 1 балл.

Если есть формула для расчёта количества теплоты, необходимого плавления воды, то добавить 1 балл.

Если в расчётах учтено, что во втором случае масса льда 0,75 от первоначальной, то добавить 1 балл.

Если получено соотношение типа (1) то добавить 2 балла

Если получено соотношение типа (2) то добавить 2 балла

Если получено соотношение типа (3) то добавить 2 балла

Если приведён правильный ответ, то добавить 1 балл

2. Средняя скорость (10 баллов). Автомобиль стартовал с постоянным ускорением. Проехав $\frac{1}{6}$ всего пути, он стал двигаться с постоянной скоростью v . Затем он стал тормозить с ускорением в два раза меньшим ускорения на старте, и остановился. Определите среднюю скорость автомобиля, если его траектория была прямой.

2. Средняя скорость. Возможное решение. $v_{cp} = \frac{s}{t}$ (1)

$$v_{cp} = \frac{s}{t} = \frac{s}{t_1 + t_2 + t_3} \quad (2)$$

Для первого участка, учитывая, что начальная скорость равнялась нулю, можно записать $v = a \cdot t_1$ и

$$s_1 = \frac{v^2}{2a} \quad (3), \quad t_1 = \frac{2s_1}{v} = \frac{s}{3v} \quad (4)$$

Для последнего участка, учитывая, что конечная скорость стала равной нулю, можно записать $v = 0,5a \cdot t_3$, $s_3 = \frac{v^2}{a}$ Следовательно, $t_3 = 2t_1$, и

$$s_3 = 2s_1 = \frac{1}{3}s \quad (5),$$

$$t_3 = \frac{2s}{3v} \quad (6)$$

Для среднего участка $t_2 = \frac{s_2}{v}$, $s_2 = s - s_1 - s_3 = \frac{1}{2}s$ (7)

$$t_2 = \frac{s}{2v} \quad (8)$$

$$v_{\text{cp}} = \frac{s}{\frac{s}{3v} + \frac{s}{2v} + \frac{2s}{3v}} = \frac{1}{\frac{1}{3v} + \frac{1}{2v} + \frac{2}{3v}} \quad (9)$$

$$v_{\text{cp}} = \frac{2}{3}v \quad (10)$$

2. Средняя скорость. Рекомендованные критерии оценки.

За запись или учёт каждой из формул (1)-(10) добавлять по 1 баллу

3. Удары (10 баллов). По гладкой горизонтальной поверхности скользит шайба массой $5m$ со скоростью v и налетает на конструкцию из двух кубиков и одной шайбы. Кубики и шайба не скреплены. Их массы одинаковы и равны m у каждого. Диаметр и высота каждой шайбы равны длине стороны каждого кубика. Определите скорости каждой шайбы и каждого кубика после абсолютно упругого столкновения. Учтите, что скорость движущейся шайбы направлена точно на точку касания кубиков и центр покоящейся шайбы.

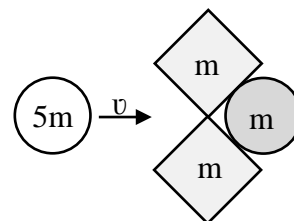


Рис. 1

3. Удары *Возможное решение.* Анализ геометрии конструкции указывает, что будет два столкновения. Сначала шайба сталкивается с кубиками, затем с шайбой.

Поскольку диаметры шайб равны сторонам кубиков, то стороны кубиков расположены под углом 45° к линии движения шайбы. Когда шайба подъезжает к кубикам, она толкает их перпендикулярно их поверхностям, поэтому кубики разлетаются со скоростями, направленными под углом 45° к направлению движения шайбы. При этом они не толкают покоящуюся шайбу. (1)

Столкновение шайбы и кубиков абсолютно упругое, поэтому выполняются законы сохранения импульса и механической энергии.

$$5mv = 2mv_{\text{к}} \cos 45^\circ + 5mv_{1x} \quad (2)$$

$$\frac{5mv^2}{2} = 2 \frac{mv_{\text{к}}^2}{2} + \frac{5mv_1^2}{2} \quad (3)$$

$$\text{Совместное решение этих уравнений дает } v_{1x} = \frac{2}{3}v, \quad (4)$$

$$v_{\text{к}} = \frac{5\sqrt{2}}{6}v \quad (5)$$

Далее следует столкновение шайб, оно также абсолютно упругое. Законы сохранения импульса и энергии можно записать в виде

$$5mv_1 = 5mv_{2x} + mv_{\text{ш}} \quad (6)$$

$$\frac{5mv_1^2}{2} = \frac{5mv_{2x}^2}{2} + \frac{mv_{\text{ш}}^2}{2} \quad (7)$$

$$\text{Совместное решение этих уравнений дает } v_{2x} = \frac{2}{3}v_1 = \frac{4}{9}v, \quad (8)$$

$$v_{\text{ш}} = 5v_1 = \frac{10}{6}v \quad (9)$$

3. Удары. *Рекомендованные критерии оценки.* Если учтена ситуация (1) добавить 2 балла, за каждый из пунктов (2) – (9) добавлять по 1 баллу.

4. Сопротивление (10 баллов). Предположим, что Вам потребовалось измерить удельное электрическое сопротивление неизвестной жидкости. В Вашем распоряжении имеются:

- 1) источник постоянного напряжения, величина которого была известна только приблизительно (около 12 В, плюс-минус 1 В), который при коротком замыкании создаёт довольно большую силу тока (около 6 А, плюс-минус 1 А),
- 2) пять одинаковых школьных вольтметров, рассчитанных на измерение напряжения до 6 В,
- 3) пять одинаковых школьных амперметров, рассчитанных на измерение тока до 2 А,
- 4) двадцать соединительных проводов,
- 5) ключ для замыкания и размыкания цепи,
- 6) сосуд в виде узкого параллелепипеда, заполненный жидкостью,
- 7) две небольшие алюминиевые ложки, ширина ручек у которых лишь чуть меньше ширины и чуть больше глубины узкого сосуда с жидкой смесью.
- 8) стальная рулетка.

Сможете ли Вы провести свои измерения, не испортив при этом измерительные приборы?

Если «НЕТ», то объясните, почему?

Если «ДА», то начертите электрическую схему, изобразив сосуд с жидкой смесью в виде узкого прямоугольника, а источник тока – в виде квадрата с кружками-клеммами «+» и «-». Дайте дополнительные пояснения к своей схеме. Напишите расчётную формулу для вычисления удельного сопротивления, включив в неё только те величины, которые Вы могли бы измерить, используя предложенное оборудование.

4. Сопротивление. Возможное решение. Они могут использовать ложки в качестве электродов, опустив их в жидкую смесь с противоположных узких сторон сосуда. Для измерения силы тока можно подключить четыре амперметра параллельно друг другу, чтобы ток через каждый из них не превысил 2 А, для измерения напряжения можно использовать три вольтметра, включенных последовательно. Электрическая схема может иметь вид, изображенный на рисунке 444 (или вольтметры могут быть подключены параллельно участку с последовательным соединением четырёх амперметров и сосуда с жидкостью). Жидкость в сосуде представляет собой проводник. Его сопротивление связано с удельным сопротивлением и геометрическими размерами по формуле

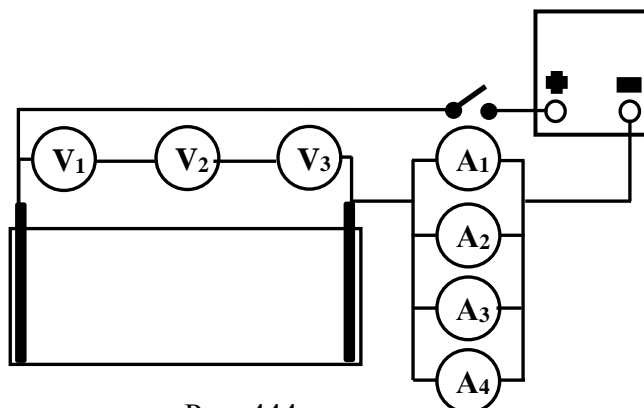


Рис. 444

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

Если обозначить, что l - длина сосуда (длина проводника), a - ширина сосуда, h - глубина жидкости в сосуде, то

$$\rho = R \cdot \frac{a \cdot h}{l}$$

Сопротивление находим по закону Ома $R = \frac{U}{I}$

Учитывая, что $U = U_1 + U_2 + U_3$ и $I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$

Расчётная формула будет иметь вид $\rho = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{I_1 + I_2 + I_3 + I_4} \cdot \frac{a \cdot h}{l}$

4. Сопротивление. Рекомендованные критерии оценки.

За идею использования ложек в качестве электродов добавить 2 балла

За идею параллельного соединения амперметров добавить 2 балла, но если предложено подключать пять амперметров, то добавить только 1 балл, т.к. излишнее добавление амперметров приведёт к уменьшению их показаний и возрастанию погрешности измерений.

За идею последовательного соединения вольтметров добавить 2 балла, но если было предложено последовательно соединить 4 или 5 вольтметров, то добавить только 1 балл.
 За учёт закона Ома добавить 1 балл.
 За учёт формулы связи сопротивления и удельного сопротивления добавить 1 балл.
 За корректное изображение электрической схемы добавить 1 балл.
 За вывод итоговой формулы добавить 1 балл.

5. Горизонтальные силы (10 баллов). На наклонной плоскости с углом $\alpha = 45^\circ$ находится тело (см. рисунок. 2). Коэффициент трения между плоскостью и телом $\mu=0,5$. Сначала к телу прикладывают горизонтальную силу \vec{F}_1 , направленную влево, при этом тело движется вверх с постоянной скоростью. С каким ускорением будет двигаться тело, если вместо \vec{F}_1 , приложить к нему силу \vec{F}_2 такую же по модулю, но направленную вправо? Ускорение свободного падения считать равным $9,8 \text{ м/с}^2$.

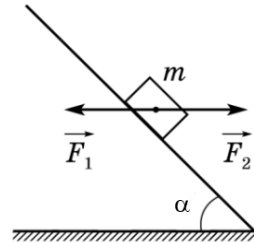


Рис. 2

5. Горизонтальные силы.
Возможное решение. На тело действуют сила тяжести, сила реакции опоры, сила трения и горизонтальная сила. Запишем для первого случая второй закон Ньютона в проекции на ось X, направленную вдоль наклонной плоскости вверх (рисунок 3):

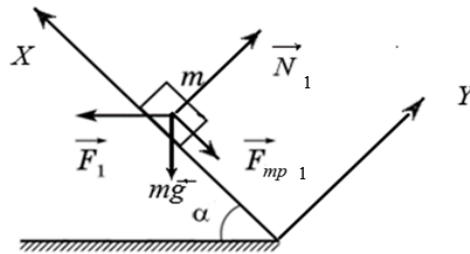


Рис.3.

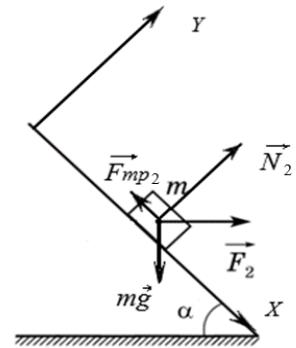


Рис.4.

$$F_1 \cos \alpha - F_{\text{тр}1} - mg \sin \alpha = 0. \quad (1)$$

проекции на ось Y, направленную перпендикулярно плоскости

$$N_1 - F_1 \sin \alpha - mg \cos \alpha = 0. \quad (2)$$

так как сила трения скольжения $F_{\text{тр}1} = \mu N_1$,

$$F_1 \cos \alpha - \mu F_1 \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha = 0. \quad (3)$$

$$\text{Отсюда } F_1 = \frac{mg \cos \alpha + \mu mg \sin \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}.$$

Подставляя $\alpha = 45^\circ$ и $\mu=0,5$, получим $F_1 = 3mg$.

При движении тела вниз (рис. 4)

$$F_2 \cos \alpha - F_{\text{тр}2} + mg \sin \alpha = ma. \quad (4)$$

$$N_2 + F_2 \sin \alpha - mg \cos \alpha = 0. \quad (5)$$

$$N_2 = mg \cos \alpha - F_2 \sin \alpha.$$

$$\text{С учётом, что } F_{\text{тр}2} = \mu N_2, \quad (6)$$

$$F_2 \cos \alpha - \mu mg \cos \alpha + \mu F_2 \sin \alpha + mg \sin \alpha = ma.$$

$$ma = F_2 \cos \alpha - \mu mg \cos \alpha + \mu F_2 \sin \alpha + mg \sin \alpha.$$

Так как $F_1 = F_2$ (по условию), то $F_2 = 3mg$

$$ma = 3mg \cos \alpha - \mu mg \cos \alpha + 3\mu mg \sin \alpha + mg \sin \alpha.$$

Искомое ускорение $a = 3g \cos \alpha - \mu g \cos \alpha + 3\mu g \sin \alpha + g \sin \alpha.$

$$a = g(3 \cos \alpha - \mu \cos \alpha + 3\mu \sin \alpha + \sin \alpha).$$

$$\text{Вычисления } a = 9,8 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} (3 - 0,5 - 1,5 + 1) \approx 13,9 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right).$$

5. Горизонтальные силы. Рекомендуемые критерии оценивания Максимальна оценка за полное правильное решение всей задачи – 10 баллов. Решение не обязательно должно быть представлено в общем виде, допускается возможность промежуточных вычислений «по действиям». При этом можно использовать следующую шкалу:

- полное правильное решение: соотношения, отражающие физические законы и закономерности (в данном случае – второй закон Ньютона с учетом всех действующих сил, формула для силы трения скольжения для первого (1)-(3) и второго (4)-(6) случаев или эквивалентные им соотношения) записаны или учтены другим способом верно, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен верный числовой ответ с наименованием единиц измерения – **10 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, произведены необходимые преобразования и вычисления, получен ответ, но имеются арифметические ошибки в вычислениях (либо ответ получен в общем виде, вычисления не произведены) – **9 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, есть попытка провести преобразования и получить ответ, но имеется ошибка в математических преобразованиях, приводящих к ответу – **8 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, есть попытка провести преобразования и получить ответ, но имеется более одной ошибки в математических преобразованиях, приводящих к ответу – **7 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, есть попытка провести преобразования и получить ответ, но преобразования не завершены – **6 баллов**;

- соотношения, отражающие физические законы и закономерности записаны верно, система уравнений полна, но попытки провести преобразования и получить ответ отсутствуют – **5 баллов**;

- есть понимание физики явления, но в записанных соотношениях имеется физическая ошибка, поэтому из них невозможно найти правильное решение – **4 балла**;

- есть понимание физики явления, но в записанных соотношениях имеется более одной физической ошибки – **3 балла**;

- имеются отдельные записи, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения – **1–2 балла**;

- нет попыток решения – **0 баллов**.