

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ

Муниципальный этап

Решения и критерии

9 класс

Затормозил

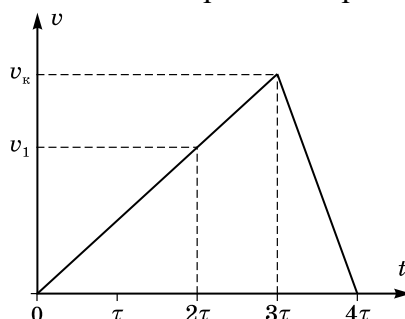
Автомобиль начинает движение из состояния покоя с постоянным ускорением a_1 . Через некоторое время водитель начинает замедляться до полной остановки с постоянным ускорением $a_2 = 3a_1$. Средняя скорость автомобиля на первой половине всего времени движения оказалась равной $u = 10$ м/с, определите среднюю скорость движения автомобиля за вторую половину всего времени движения.

Возможное решение

Время разгона будет в три раза больше времени торможения, так как ускорение при торможении в три раза больше, чем при разгоне:

$$t_2 = \tau, t_1 = 3\tau,$$

где t_1 – время, затраченное на разгон до некоторой скорости v_k , t_2 – время до полной остановки. Построим качественный график зависимости скорости от времени.



Путь, пройденный автомобилем, на второй половине времени движения пропорционален площади под графиком:

$$s_2 = \frac{1}{2} v_k \tau + \frac{v_1 + v_k}{2} \tau.$$

Учтем, что $v_k = 3a_1 \tau$ и $v_1 = 2a_1 \tau$, тогда:

$$s_2 = \frac{1}{2} 3a_1 \tau^2 + \frac{2a_1 \tau + 3a_1 \tau}{2} \tau = 4a_1 \tau^2.$$

Средняя скорость движения автомобиля за вторую половину всего времени движения равна:

$$u_2 = \frac{s_2}{2\tau} = 2a_1 \tau.$$

Средняя скорость движения автомобиля за первую половину всего времени движения равна:

$$u = \frac{s_1}{2\tau} = \frac{\frac{1}{2} v_1 2\tau}{2\tau} = a_1 \tau.$$

Тогда $u_2 = 2u = 20$ м/с.

Критерии оценивания

- | | |
|--|---------|
| 1. Найдено соотношение времен разгона и торможения | 1 балл |
| 2. Выражение для второй половины пути | 3 балла |
| 3. Выражение для u_2 | 2 балла |
| 4. Связь u и u_2 через ускорение и время | 3 балла |
| 5. Численно верный ответ | 1 балл |

Абрам Кадабра

Экспериментатор Абрам Кадабра решил сэкономить немного денег и заказал динамометр через интернет. Продавец утверждал, что шкала прибора проградуирована для пружины жесткостью $k_0 = 100$ Н/м. Абрам решил проверить это и подвесил к нему груз массой $m = 300$ г, после чего стрелка динамометра указала на отметку $F_1 = 4$ Н (см. рисунок 1). Как оказалось, на динамометре была установлена пружина другой жесткостью k_1 . Убрав груз, экспериментатор обнаружил, что в недеформированном состоянии стрелка динамометра указывает на отметку 1,5 Н (см. рисунок 2). Абрам решил обрезать пружину так, чтобы стрелка стала указывать на отметку 0 Н. Затем он еще раз подвесил груз массой m к динамометру, показания оказались равны $F_2 = 1$ Н (см. рисунок 3). По известным данным определите первоначальную длину l_0 пружины жесткостью k_1 в недеформированном состоянии.

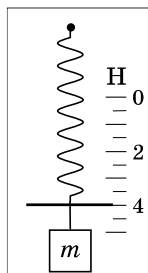


рис. 1

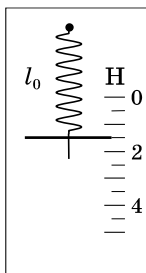


рис. 2

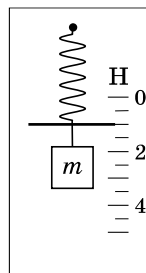


рис. 3

Примечание: коэффициент жесткости пружины обратно пропорционален длине пружины в недеформированном состоянии.

Возможное решение

Так как шкала динамометра проградуирована для пружины с коэффициентом жесткости $k_0 = 100$ Н/м, расстояние между двумя соседними отметками на шкале равно:

$$\Delta x = \frac{F_0}{k_0} = \frac{0,5 \text{ Н}}{100 \text{ Н/м}} = 0,5 \text{ см.}$$

Из разности показаний динамометра на первых двух рисунках можно понять, что пружина тяжести растянулась на $5\Delta x$, когда к ней повесили груз массой m в первый раз.

$$k_1 5\Delta x = mg.$$

После того как пружину укоротили ее коэффициент жесткости изменился и стал равен k_2 . Показания динамометра при повторном подвешивании груза массой m позволяют найти новое растяжение пружины:

$$k_2 2\Delta x = mg.$$

Из этого получаем, что $k_2 = 2,5k_1$, с другой стороны, отношение коэффициентов жесткости:

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{l_0 - 3\Delta x}{l_0},$$

где $3\Delta x$ – длина отрезанной части пружины.

Тогда

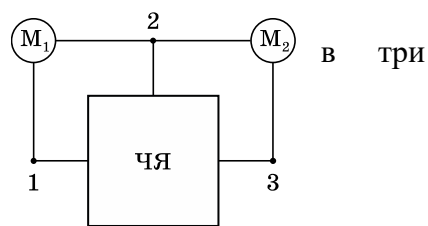
$$\begin{aligned} 2,5(l_0 - 3\Delta x) &= l_0; \\ l_0 &= 5\Delta x = 2,5 \text{ см.} \end{aligned}$$

Критерии оценивания

- | | |
|---|---------|
| 1. Найдено расстояние между двумя отметками на шкале | 2 балла |
| 2. Растяжение пружины в первом случае $5\Delta x$ | 2 балла |
| 3. Растяжение пружины во втором случае $2\Delta x$ | 2 балла |
| 4. Отношение коэффициентов жесткости | 1 балл |
| 5. Связь с длиной пружины в недеформированном состоянии | 2 балла |
| 6. Численно посчитана длина l_0 | 1 балл |

Че? ЧЯ!

Черный ящик с тремя выводами содержит источник постоянного напряжения $\mathcal{E}$ и два резистора, сопротивления которых отличаются раза. Указанные элементы соединены по одной из двух схем: «звезда» или «треугольник». К выводам 1-2-3 черного ящика подключены два мультиметра, обозначенные на схеме M_1 и M_2 (см. рисунок). Если первый мультиметр M_1 включить в режим амперметра, его показания будут зашкаливать на всех пределах измерений. А показания второго мультиметра M_2 в режимах вольтметра и амперметра – $U_2 = 0$ В и $I_2 = 0$ А соответственно. При переключении первого мультиметра в режим вольтметра его показания будут равны $U_1 = 12$ В. Второй мультиметр покажет $U_{22} = 3$ В и $I_{22} = 20$ мА.



1. Установите по какой схеме соединены элементы внутри черного ящика.
2. Определите значения напряжения источника и сопротивлений резисторов.

Примечание: все измерительные приборы считайте идеальными.

Возможное решение

То, что показания первого амперметра зашкаливают, а показания второго мультиметра равны 0, означает подключение первого параллельно источнику напряжения. При рассмотрении схемы соединения элементов по типу «звезда» можно понять, что между двумя любыми выводами находится хотя бы один резистор. В таком случае показания амперметра конечны, а значит внутри черного ящика элементы подключены «треугольником».

Выяснив, что первый мультиметр подключен параллельно источнику напряжения, делаем вывод что показания первого вольтметра U_1 равны напряжению источника.

$$U = U_1 = 12 \text{ В.}$$

Проанализируем показания второго мультиметра во втором случае. Элементы соединены «треугольником», а значит второй мультиметр подключен параллельно одному из резисторов. Напряжение на резисторе, параллельно которому подключен второй вольтметр равно $U_{22} = 3$ В, следовательно это резистор с меньшим сопротивлением, так как напряжение на другом резисторе напряжение $U_3 = U - U_{22} = 9$ В (при последовательном соединении напряжение прямо пропорционально сопротивлению).

Когда второй мультиметр работает в режиме амперметра ток через резистор с меньшим сопротивлением не течет, следовательно его показания равны:

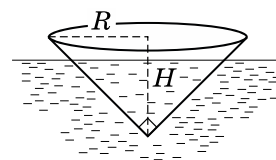
$$I_{22} = \frac{U}{3R}$$
$$R = \frac{U}{3I_{22}} = \frac{12}{3 \times 0,02} = 200 \text{ Ом.}$$
$$3R = 600 \text{ Ом.}$$

Критерии оценивания

- | | |
|---|---------|
| 1. Верно аргументирован тип соединения элементов | 2 балла |
| 2. Найдено напряжение источника | 2 балла |
| 3. Второй мультиметр подключен к резистору с меньшим сопротивлением | 2 балла |
| 4. Правильно интерпретированы показания второго амперметра | 2 балла |
| 5. Найдены сопротивления R и $3R$ | 2 балла |

По очень тонкому льду

Льдина в виде конуса с прямым углом при вершине плавает в воде. каком минимальном радиусе R основания конуса мальчик массой $m = 50$ кг сможет стоять в центре льдины, не замочив ног?



Примечание: плотность воды $\rho_0 = 1000$ кг/м³, плотность льда $\rho = 900$ кг/м³, объем конуса можно найти по формуле $V = \frac{1}{3}\pi R^2 H$.

Возможное решение

Так как льдина является конусом с прямым углом при вершине, то $H = R$. Значит объем всей льдины равен:

$$V = \frac{1}{3}\pi R^3.$$

Обозначим массу льдины как M , из условия плавания льдины:

$$\begin{aligned} F_A &= Mg; \\ \rho_0 V_{\text{п}} g &= \rho V g; \\ \frac{V_{\text{п}}}{V} &= \frac{\rho}{\rho_0} = 0,9. \end{aligned}$$

Тогда над поверхностью воды находится объем льда $V_1 = 0,1V = \frac{0,1}{3}\pi R^3$

Чтобы мальчик не намочил ноги дополнительная сила тяжести должна компенсироваться силой Архимеда, действующей на V_1 :

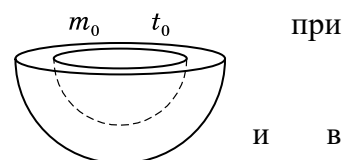
$$\begin{aligned} mg &= \rho_0 V_1 g; \\ m &= \frac{0,1}{3} \rho_0 \pi R^3; \\ R &= \sqrt[3]{\frac{3m}{0,1\rho_0\pi}} = \sqrt[3]{\frac{3 \times 50}{0,1 \times 1000 \times 3,14}} \approx 78 \text{ см.} \end{aligned}$$

Критерии оценивания

- | | |
|--|---------|
| 1. Использовано равенство высоты и радиуса основания | 2 балла |
| 2. Отношение $V_{\text{п}}/V$ | 2 балла |
| 3. Объем надводной части V_1 | 1 балл |
| 4. Связь mg и силы Архимеда, действующей на V_1 | 3 балла |
| 5. Выражение для R | 1 балл |
| 6. Численно верный ответ | 1 балл |

Входит и выходит

В трех теплоизолированных стаканах находится разное количество воды разных температурах (см. рисунок). Кусок льда с полостью, изображенный на рисунке, погружают в первый стакан, а затем по очереди погружают в два других. В результате опыта льдинка полностью растаяла



стаканах оказались новые количества жидкости с новыми температурами. Начальные масса и температура льдинки равны $m_0 = 50$ г и $t_0 = 0$ °С. Какая масса воды и при какой температуре окажется в третьем стакане?

При переносе льдинки вода мимо не проливается. Удельная теплоемкость воды $c = 4200$ Дж/(кг · °С), удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ кДж/кг.

было		
100 г 40 °С	200 г 30 °С	150 г 60 °С
стало		
120 г 20 °С	215 г 28 °С	? ?

Возможное решение

Из закона сохранения массы найдем массу жидкости в третьем сосуде:

$$m'_3 = m_1 + m_2 + m_3 + m_0 - m'_1 - m'_2 = 165 \text{ г},$$

где m'_i – массы жидкости в сосудах после таяния льда, m_i – массы жидкости до погружения льда.

При переносе льда из одного сосуда в другой происходит перенос жидкости. Чтобы это не учитывать будем рассматривать всю систему сразу.

Охладим содержимое всех трех стаканов до 0 °С, в таком случае выделится количество теплоты Q_0 :

$$Q_0 = c(m_1 t_1 + m_2 t_2 + m_3 t_3),$$

где t_i – начальные температуры в сосудах.

$$Q_0 = 4200(0,1 \cdot 40 + 0,2 \cdot 30 + 0,15 \cdot 60) = 79,8 \text{ кДж}.$$

После этого вернем Q_0 в систему, часть этой тепловой энергии пойдет на плавления льда, а оставшаяся на нагрев воды общей массой 450 г + 50 г = 500 г.

$$Q_0 = c(m'_1 t'_1 + m'_2 t'_2 + m'_3 t'_3) + \lambda m_0;$$

$$t'_3 = \frac{Q_0 - \lambda m_0 - c(m'_1 t'_1 + m'_2 t'_2)}{c \cdot m'_3} = \frac{(79,8 - 330 \cdot 0,05 - 4,2(0,12 \cdot 20 + 0,215 \cdot 28)) \cdot 10^3}{4200 \cdot 0,165};$$
$$t'_3 = 40,3 \text{ °С}.$$

Критерии оценивания

- | | |
|--|---------|
| 1. Масса в третьем сосуде | 1 балл |
| 2. Применена формула $Q = cm\Delta t$ | 1 балл |
| 3. Применена формула для плавления $Q = \lambda m$ | 1 балл |
| 4. Рассмотрение общего количества теплоты или учет переноса жидкости | 2 балла |
| 5. Составлено уравнение теплового баланса | 1 балл |
| 6. Выражение для t'_3 | 2 балл |
| 7. Численно верный ответ | 2 балл |