

Ответы и решения
к задачам муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников
по физике в 2017/2018 учебном году

11 класс

1. Ответ: Минимальная скорость тени равна $\frac{V_0}{\sqrt{2}}$. Ускорение тени равно $\sqrt{3}g$.

Решение: Траектория тени представляет собой проекцию параболической траектории камня на плоскость земли и также является параболой. Тень движется с постоянным ускорением в направлении, перпендикулярном к плоскости траектории камня, и равномерно в параллельном к этой плоскости направлении. Скорость тени минимальна в тот момент, когда она проходит вершину своей параболы, и равна скорости камня в этот момент, т.е. $\frac{V_0}{\sqrt{2}}$. Удаление L тени от плоскости, в которой

движется камень, связано с высотой подъема камня h соотношением $L = h \operatorname{ctg} 30^\circ = \sqrt{3}h$. Поскольку $h = V_0 \sin 45^\circ t - gt^2/2$, то $L = \sqrt{\frac{3}{2}} V_0 t - \frac{\sqrt{3}gt^2}{2}$. Отсюда видно, что ускорение тени равно $\sqrt{3}g$.

2. Ответ: Груз переместится на расстояние $\frac{mL}{2(M+m)}$ в том же направлении, что и человек.

Решение: Поскольку натяжение веревки слева и справа от блока одинаково и масса груза равна сумме масс лестницы и человека, то ускорение груза в любой момент времени равно ускорению центра масс системы «лестница-человек». Следовательно, перемещения груза Δx_r и центра масс системы «лестница-человек» Δx_c одинаковы, т.е. $\Delta x_r = \Delta x_c$. Выражая перемещение центра масс через перемещения лестницы Δx_l и человека $\Delta x_{\text{ч}} = \Delta x_l + L$ как

$$\Delta x_c = \frac{M}{M+m} \Delta x_l + \frac{m}{M+m} \Delta x_{\text{ч}} = \Delta x_l + \frac{m}{M+m} L$$

и учитывая, что в силу нерастяжимости веревки $\Delta x_l = -\Delta x_r$, получаем $\Delta x_r = \frac{mL}{2(M+m)}$. Считая L алгебраической величиной, нетрудно понять, что груз смещается в том же направлении, что и человек.

3. Ответ: Отношение конечного объема газа к начальному равно $4/3$.

Решение: Поскольку на первом участке процесса работа линейно зависит от температуры, этот участок соответствует изобарному расширению газа. Действительно, используя уравнение Клапейрона-Менделеева, работу газа в изобарном процессе можно записать как $A = p(V - V_0) = \nu R(T - T_0)$. Отношение объемов газа в конце и начале первого участка равно 2. Второй участок процесса является изохорным, т.к. на нем работа не совершается. На этом участке объем газа не меняется. Третий участок соответствует изобарному сжатию газа, отношение конечного объема к начальному на этом участке равно $2/3$. Искомое отношение объемов равно произведению отношений объемов на первом и третьем участках и, таким образом, составляет $4/3$.

4. Ответ: По перемычке пойдет ток $E/(4R)$ в направлении от резисторов к конденсаторам. По перемычке пройдет заряд $CE/3$.

Решение: Почти мгновенно после замыкания ключа каждый конденсатор зарядится до разности потенциалов $E/2$. По резистору R пойдет ток $E/(2R)$, а по резистору $2R$ – ток $E/(4R)$. Из баланса токов для узла между резисторами следует, что по перемычке пойдет ток $E/(4R)$ в направлении от резисторов к конденсаторам. После установления стационарного состояния через резисторы будет идти ток $E/(3R)$, на конденсаторах будут напряжения $E/3$ и $2E/3$ и заряды $CE/3$ и $2CE/3$. Суммарный заряд на соединенных между собой обкладках конденсаторов будет равен $CE/3$. Поскольку начальный заряд этих обкладок был равен нулю, именно заряд $CE/3$ и пройдет по перемычке.

5. Ответ: Амплитуда колебаний равна $mg/(2k)$.

Решение: В ходе первоначальных колебаний максимальное удлинение всей пружины составляло $2mg/k$, а максимальное удлинение половины пружины было равно mg/k . После закрепления середины пружины ее нижняя половина будет иметь жесткость $2k$ и начальное удлинение mg/k . Колебания груза на половине пружины будут происходить около положения равновесия, в котором эта половина растянута на $mg/(2k)$. Амплитуда колебаний равна разности начального растяжения половины пружины и ее растяжения в положении равновесия, т.е. $mg/(2k)$.

Общая рекомендация: При проверке, даже если задача не решена, можно давать 1-2 балла за правильно написанные физические законы, относящиеся к задаче.

10 класс

1. Ответ: Отношение t_2/t_1 равно 3.

Решение: Выберем ось x в направлении скорости частицы в момент $t = 0$. Ускорение частицы направлено, очевидно, против оси x (при положительных t_1, t_2). Обозначив величину начальной скорости через V , величину ускорения через a и считая, что $t_2 > t_1$, запишем следующие соотношения:

$$V/2 = V - at_1, \quad -V/2 = V - at_2.$$

Отсюда находим $t_2/t_1 = 3$.

2. Ответ: Минимальная скорость тени равна $\frac{V_0}{\sqrt{2}}$. Ускорение тени равно $\sqrt{3}g$.

Решение: Траектория тени представляет собой проекцию параболической траектории камня на плоскость земли и также является параболой. Тень движется с постоянным ускорением в направлении, перпендикулярном к плоскости траектории камня, и равномерно в параллельном к этой плоскости направлении. Скорость тени минимальна в тот момент, когда тень проходит вершину своей параболы, и равна скорости камня в этот момент, т.е. $\frac{V_0}{\sqrt{2}}$. Удаление L тени от плоскости, в которой

движется камень, связано с высотой подъема камня h соотношением $L = h \operatorname{ctg} 30^\circ = \sqrt{3}h$. Поскольку $h = V_0 \sin 45^\circ t - gt^2/2$, то $L = \sqrt{\frac{3}{2}} V_0 t - \frac{\sqrt{3}gt^2}{2}$. Отсюда видно, что ускорение тени равно $\sqrt{3}g$.

3. Ответ: Ускорение клина равно $\frac{mg \sin \alpha \cos \alpha}{m \sin^2 \alpha + M \cos^2 \alpha}$.

Решение: Запишем второй закон Ньютона для стержня в проекции на вертикаль

$$ma_1 = mg - N \cos \alpha$$

(a_1 – ускорение стержня, N – сила реакции клина), и для клина в проекции на горизонталь

$$Ma_2 = N \sin \alpha,$$

(a_2 – ускорение клина. Учитывая, что $a_1 = a_2 \tan \alpha$ (кинематическая связь), находим ускорение клина.

4. Ответ: Груз переместится на расстояние $\frac{mL}{2(M+m)}$ в том же направлении, что и человек.

Решение: Поскольку натяжение веревки слева и справа от блока одинаково и масса груза равна сумме масс лестницы и человека, то ускорение груза в любой момент времени равно ускорению центра масс системы «лестница-человек». Следовательно, перемещения груза Δx_r и центра масс системы «лестница-человек» Δx_c одинаковы, т.е. $\Delta x_r = \Delta x_c$. Выражая перемещение центра масс через перемещения лестницы Δx_l и человека $\Delta x_q = \Delta x_l + L$ как

$$\Delta x_c = \frac{M}{M+m} \Delta x_l + \frac{m}{M+m} \Delta x_q = \Delta x_l + \frac{m}{M+m} L$$

и учитывая, что в силу нерастяжимости веревки $\Delta x_l = -\Delta x_r$, получаем $\Delta x_r = \frac{mL}{2(M+m)}$. Считая L алгебраической величиной, нетрудно понять, что груз смещается в том же направлении, что и человек.

5. Ответ: Отношение конечного объема к начальному равно 4/3.

Решение: Поскольку на первом участке процесса работа линейно зависит от температуры, этот участок соответствует изобарному расширению газа. Действительно, используя уравнение Клапейрона-Менделеева, работу газа в изобарном процессе можно записать как $A = p(V - V_0) = \nu R(T - T_0)$. Отношение объемов газа в конце и начале первого участка равно 2. Второй участок процесса является изохорным, т.к. на нем работа не совершается. На этом участке объем газа не меняется. Третий участок соответствует изобарному сжатию газа, отношение конечного объема к начальному на этом участке равно 2/3. Искомое отношение объемов равно произведению отношений объемов на первом и третьем участках и, таким образом, составляет 4/3.

Общая рекомендация: При проверке, даже если задача не решена, можно давать 1-2 балла за правильно написанные физические законы, относящиеся к задаче.

9 класс

1. Ответ: Отношение t_2/t_1 равно 3.

Решение: Выберем ось x в направлении скорости частицы в момент $t = 0$. Ускорение частицы направлено, очевидно, против оси x (при положительных t_1, t_2). Обозначив величину начальной скорости через V , величину ускорения через a и считая, что $t_2 > t_1$, запишем следующие соотношения:

$$V/2 = V - at_1, \quad -V/2 = V - at_2.$$

Отсюда находим $t_2/t_1 = 3$.

2. Ответ: Тело было брошено с высоты $gT^2/6$.

Решение: Используя формулу $V_x^2 - V_{0x}^2 = 2a_x S_x$ и обозначая начальную скорость через V_0 , а искомую высоту через H , можно записать соотношение $4V_0^2 - V_0^2 = 2gH$. Используя формулу $V_x = V_{0x} + a_x t$, получаем также $2V_0 = -V_0 + gT$, т.е. $V_0 = gT/3$. Из этих двух соотношений находим $H = gT^2/6$.

3. Ответ: Тело можно нагреть примерно до 2016°C .

Решение: Чтобы нагреть самое холодное тело до максимальной температуры, следует приводить его в тепловой контакт поочередно со всеми другими телами, выбирая каждый раз наиболее близкое к нему по температуре тело. После приведения нагреваемого тела в тепловой контакт с телом температуры 2°C температура нагреваемого тела определится по формуле $\frac{1+2}{2} = 1,5$. После приведения нагреваемого тела (уже нагретого до $1,5^\circ\text{C}$) в тепловой контакт с телом температуры 3°C температура нагреваемого тела определится формулой $\frac{1,5+3}{2} = 2,25$. После приведения в контакт с телом температуры 4°C получим температуру $3,375$ и т.д. Окончательно, после приведения в контакт с самым горячим телом получим температуру $2016 + \frac{1}{2^{2016}}$, что практически неотличимо от 2016°C .

4. Ответ: Сила давления воды на дно уменьшится на $34/39$ Н, т.е., примерно на $0,87$ Н.

Решение: Поскольку сосуд имеет цилиндрическую форму и его содержимое не меняется, то сила, с которой содержимое давит на дно, в первом (пока шар находится на бруске) и втором (шар лежит на дне) случаях будет одна и та же. В первом случае это сила со стороны воды, а во втором – со стороны воды и лежащего на дне шара. Сила со стороны шара равна разности действующих на шар силы тяжести (1 Н) и силы Архимеда ($1/7,8$ Н), т.е. $1 - 1/7,8 = 34/39$ Н. На эту величину и уменьшилась сила давления воды на дно.

5. Ответ: Вольтметр V_3 показывает 2 В. Отношение сопротивлений равно 3 .

Решение: Ясно, что напряжение на вольтметре V_2 равно 7 В. Отсюда следует, что ток через этот вольтметр в $7/5$ раза превышает ток через V_1 . Из баланса токов для узла, где соединяются три вольтметра, находим, что ток через V_3 равен $2/5$ тока через V_1 . Следовательно, V_3 показывает 2 В.

Напряжение на резисторе R_1 равно разности напряжений на вольтметрах V_1 и V_3 , т.е. составляет 3 В. Напряжение на резисторе R_2 равно разности напряжения источника и напряжения на R_1 , т.е. равно 9 В. В случае больших сопротивлений вольтметров через резисторы течет практически один и тот же ток, поэтому отношение напряжений на резисторах равно отношению их сопротивлений. Таким образом, $R_2/R_1 = 3$.

Общая рекомендация: При проверке, даже если задача не решена, можно давать 1-2 балла за правильно написанные физические законы, относящиеся к задаче.

8 класс

1. Ответ: Пройденные пути относились бы как 5/4.

Решение: Обозначив расстояние между пунктами через S , а скорости автомобилей через V_1 (автомобиля, который стоял) и V_2 , составим уравнение

$$\frac{S}{2V_2} - \frac{S}{2V_1} = \frac{1}{5} \cdot \frac{S}{2V_2}.$$

Отсюда находим, что $V_1/V_2 = 5/4$. Во столько же раз будут отличаться пройденные автомобилями пути при движении без остановки, поскольку в этом случае они двигаются одинаковое время.

2. Ответ: Тело можно нагреть примерно до 2016°C .

Решение: Чтобы нагреть самое холодное тело до максимальной температуры, следует приводить его в тепловой контакт поочередно со всеми другими телами, выбирая каждый раз наиболее близкое к нему по температуре тело. После приведения нагреваемого тела в тепловой контакт с телом температуры 2°C температура нагреваемого тела определится по формуле $\frac{1+2}{2} = 1+0,5$. После приведения нагреваемого тела (уже нагретого до $1,5^\circ\text{C}$) в тепловой контакт с телом температуры 3°C температура нагреваемого тела определится формулой $\frac{1,5+3}{2} = 2 + \frac{1}{2^2}$. После приведения в контакт с телом температуры 4°C получим температуру $3 + \frac{1}{2^3}$ и т.д. Окончательно, после приведения в контакт с самым горячим телом получим температуру $2016 + \frac{1}{2^{2016}}$, что практически неотличимо от 2016°C .

3. Ответ: Конец пружины сместится на 4 см. Нить действует на блок с силой $2\sqrt{2}$ Н.

4. Ответ: Сила давления возросла на Mg .

Решение: Действующая на шар сила Архимеда возрастет в два раз, т.е. на Mg . На столько же увеличится сила, с которой шар действует на воду, а следовательно, и вода на дно.

Общая рекомендация: При проверке, даже если задача не решена, можно давать 1-2 балла за правильно написанные физические законы, относящиеся к задаче.

7 класс

1. Ответ: Пройденные пути относятся как 5/4.

Решение: Обозначив расстояние между пунктами через S , а скорости автомобилей через V_1 (автомобиля, который стоял) и V_2 , составим уравнение

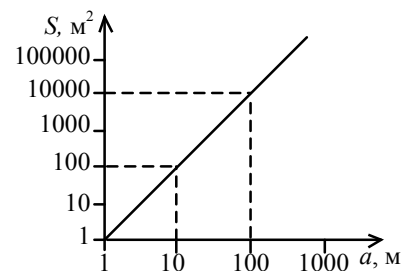
$$\frac{S}{2V_2} - \frac{S}{2V_1} = \frac{1}{5} \cdot \frac{S}{2V_2}.$$

Отсюда находим, что $V_1/V_2 = 5/4$. Во столько же раз будут отличаться пройденные автомобилями пути при движении без остановки, поскольку в этом случае они двигаются одинаковое время.

2. Ответ: Велосипед нужно оставить посередине между пунктами.

3. Ответ: Расстояние между каплями будет равно 60 см.

4. Ответ: График – прямая линия (см. рисунок).



Общая рекомендация: При проверке, даже если задача не решена, можно давать 1-2 балла за правильно написанные физические законы, относящиеся к задаче.