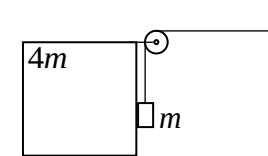


**Решения и критерии оценивания задач
Заключительного тура олимпиады «Росатом» по физике,
2025-2026 учебный год, 9 класс**

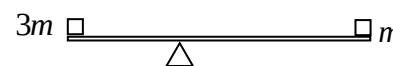
1. Из куска провода сделали правильный восьмиугольник и приложили к двум вершинам, расположенными через одну, некоторое постоянное электрическое напряжение. Оказалось, что в восьмиугольнике выделяется мощность P_1 . Какая мощность будет выделяться в восьмиугольнике, если то же самое напряжение приложить к двум его соседним вершинами?

2. На гладкой горизонтальной поверхности находится куб массой $4m$. На верхнем ребре куба креплен блок, через который переброшена невесомая и нерастяжимая нить. Один конец нити прикреплен к вертикальной стенке, второй к телу массой m . Участок нити от стенки до куба горизонтален. Тело практически касается вертикальной стенки куба. Вначале куб удерживают, а в некоторый момент отпускают. Найти ускорения куба и тела. Трение между всеми поверхностями отсутствует.



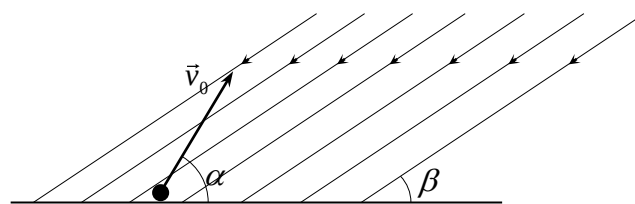
3. В эксперименте по изучению теплообмена в проточный резервуар поступает вода, нагретая до температуры $t_1 = 50^\circ\text{C}$. Такое же количество воды вытекает из резервуара. Через некоторое время поле начала эксперимента в резервуаре устанавливается температура $t_2 = 35^\circ\text{C}$. Какая установится температура в резервуаре, если в него подавать такое же количество воды, нагретой до температуры $t_3 = 90^\circ\text{C}$. Температура в комнате $t_0 = 10^\circ\text{C}$. Считать, что поступающая в резервуар вода успевает мгновенно перемешаться с водой, находящейся в резервуаре, а скорость теплообмена между телами пропорциональна разности их температур.

4. К концам невесомого рычага, длины плеч которого относятся как 1:2 прикреплены два точечных тела массами $3m$ и m (см. рисунок).



Вначале стержень удерживают горизонтально, а в некоторый момент отпускают. Найти ускорения тел сразу после этого. Найти также силу реакции опоры рычага сразу после его отпускания.

5. Тело бросают с поверхности земли с начальной скоростью v_0 под углом α к горизонту. Светит Солнце; солнечные лучи составляют угол β с горизонтом и параллельны плоскости траектории камня (см. рисунок). Какой путь пройдет тень камня на земле к моменту его падения?



Соппротивлением воздуха пренебречь. Рассмотреть два случая - $\alpha > \beta$ и $\alpha < \beta$.

Решения и критерии оценивания

1. Пусть сопротивление одной стороны восьмиугольника равно r_0 . Тогда сопротивление R_1 восьмиугольника при подключении его через одну вершину можно найти по правилам нахождения общего сопротивления цепи при параллельном соединении двух резисторов

$$R_1 = \frac{6r_0 2r_0}{6r_0 + 2r_0} = \frac{12}{8} r_0.$$

Аналогично находим сопротивление восьмиугольника при его включении в цепь соседними вершинами

$$R_2 = \frac{7r_0 r_0}{7r_0 + r_0} = \frac{7}{8} r_0.$$

При подключении к восьмиугольнику электрического напряжения U , нем в первом и во втором случаях по закону Джоуля-Ленца будет выделяться следующая электрическая мощность

$$P_1 = \frac{U^2}{R_1} = \frac{8U^2}{12r_0}, \quad P_2 = \frac{U^2}{R_2} = \frac{8U^2}{7r_0}$$

Деля эти формулы друг на друга, получаем

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{7}{12}$$

Откуда находим

$$P_2 = \frac{12}{7} P_1.$$

Критерии оценки решения задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)

1. Правильно найдено сопротивление восьмиугольника при его включении в цепь вершинами через одну - 1 балл
2. Правильно найдено сопротивление восьмиугольника при его включении в цепь соседними вершинами – 1 балл.
3. Правильно найдена мощность, выделяемая в первом случае – 1 балл
4. Правильно найдена мощность, выделяемая во втором случае – 1 балл
5. Правильный ответ – 1 балл

Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

2. Благодаря силе тяжести нить будет натянута и действовать на куб (через блок). Как всегда, суммарная сила, действующая на блок со стороны охватывающей его натянутой нити равна сумме двух сил натяжения нити, в тех точках, где пропадает контакт между нитью и боком. Поэтому на куб со стороны нити в горизонтальном направлении в направлении стенки действует сила натяжения нити $\vec{T}$. Кроме того, поскольку куб касается тела, между ними есть контактное взаимодействие, и на куб со стороны тела действует сила реакции N в горизонтальном направлении. Поэтому второй закон Ньютона для куба в проекциях на горизонтальную ось, направленную к стенке, дает

$$4ma_1 = T - N$$

где a_1 - ускорение нити. На тело в вертикальном направлении действуют силы тяжести и сила натяжения нити. Поэтому второй закон Ньютона для тела в проекциях на вертикальную ось дает

$$ma_2 = mg - T$$

где a_2 - проекция ускорения тела на вертикальное направление. Очевидно, ускорение куба и проекция ускорения тела на вертикальную ось одинаковы. Это связано с тем, что если куб перемещается к стенке на некоторую величину Δx , ровно столько нити освободится, и, значит, на такую же величину вниз опустится тело. Второй закон Ньютона для тела в проекциях на горизонтальную ось имеет вид

$$ma_1 = N$$

Здесь учтено, что проекция ускорения тела на горизонтальную ось и ускорение куба одинаковы. Поэтому наша система уравнений принимает вид

$$4ma = T - N$$

$$ma = mg - T$$

$$ma = N$$

где a - ускорение куба и проекции ускорения тела на вертикальное и горизонтальное направление. Складывая эти уравнения, найдем

$$a = \frac{g}{6}$$

Таким образом, ускорение куба равно

$$a_{\text{куба}} = \frac{g}{6}$$

и направлено горизонтально. Ускорение тела направлено под углом 45° вниз к горизонту и равно по величине

$$a_{\text{тела}} = \frac{\sqrt{2}g}{6}$$

Критерии оценки решения задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)

1. Правильно расставлены силы, действующие на тела - 1 балл
 2. Правильный второй закон Ньютона для тела и куба – 1 балл.
 3. Правильные условия связи ускорений куба и тела – 1 балл
 4. Правильный ответ для ускорения куба (величина и направление) – 1 балл
 5. Правильный ответ для ускорения тела (величина и направление) – 1 балл
- Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

3. Поскольку в резервуар втекает и вытекает одинаковое количество воды с разной температурой, а температура воды в резервуаре не меняется, есть потери тепла из резервуара. А так как скорость теплообмена пропорциональна разности температур между резервуаром и окружающей средой, уравнение теплового баланса для воды в резервуаре в единицу времени дает

$$c\mu(t_1 - t_2) = k(t_2 - t_0)$$

где c - удельная теплоемкость воды, μ - расход воды (количество воды, втекающее и вытекающее из резервуара в единицу времени), t_1 - температура воды, втекающей в резервуар, t_2 - температура воды, вытекающей из резервуара, t_0 - температура в комнате, k - коэффициент пропорциональности между скоростью теплопотерь и разностью температур между резервуаром и комнатой. Поскольку k зависит от площади резервуара и его теплоизоляции, но не зависит от температуры воды в нём, то уравнение теплового баланса для случая, когда мы наливаем в резервуар воду с температурой t_3 , дает

$$c\mu(t_3 - t_x) = k(t_x - t_0)$$

где t_x - искомая температура воды в резервуаре во втором случае. Деля эти уравнения друг на друга, получим

$$\frac{t_1 - t_2}{t_3 - t_x} = \frac{t_2 - t_0}{t_x - t_0}$$

Решая это уравнение, найдем

$$t_x = \frac{t_2(t_3 - t_0) - t_0(t_3 - t_1)}{t_1 - t_0} = 60^\circ\text{C}$$

Критерии оценки решения задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)

1. Вывод о том, что между резервуаром и комнатой есть теплообмен - 1 балл
2. Правильное выражение для мощности теплопотерь – 1 балл.
3. Правильное уравнение теплового баланса для первого и второго случаев – 1 балл
4. Правильный ответ (формула) – 1 балл
5. Правильный ответ (число) – 1 балл

Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

4. На тела действуют силы тяжести и силы реакции рычага, которые в первый момент после отпускания направлены вертикально вверх (см. рисунок). Поэтому второй закон Ньютона для тел в проекции на ось, направленную вертикально вниз, дает

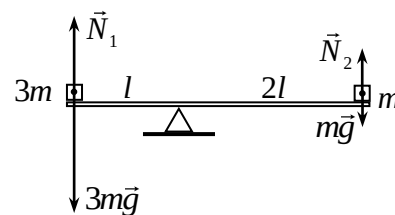
$$\begin{aligned} 3ma_1 &= 3mg - N_1 \\ -ma_2 &= mg - N_2 \end{aligned}$$

где a_1 и a_2 - модули ускорений тел. Здесь учтено, что поскольку левое плечо в два раза меньше правого, а левое тело в три раза тяжелее правого, то рычаг будет вращаться против часовой стрелки (см. рисунок), и ускорение левого тела будет направлено вниз, а правого вверх.

Установим теперь условия связи сил реакции и ускорений тел. Поскольку рычаг - безмассовый, сумма моментов всех сил, действующих на него должна равняться нулю. Поэтому

$$N_1 = 2N_2$$

Пусть сразу после отпускания левое тело пройдет расстояние Δl . Тогда правое (из-за того, что в 2 раза больше плечо) - $2\Delta l$. Поэтому скорость правого тела в любой момент в 2 раза больше скорости левого, и, следовательно, такой же является и связь ускорений



$$a_2 = 2a_1$$

С учетом этих условий связи второй закон Ньютона для тел дает

$$3ma_1 = 3mg - 2N_2$$

$$-m2a_1 = mg - N_2$$

Решая эту систему уравнений, получим

$$a_1 = \frac{g}{7}, a_2 = \frac{2g}{7}, N_1 = \frac{18}{7}mg, N_2 = \frac{9}{7}mg.$$

Силу реакции опоры рычага N можно найти следующим образом. Так как рычаг – безмассовый, сумма сил, действующих на него должна равняться нулю. Поэтому

$$N = N_1 + N_2 = \frac{27}{7}mg.$$

Ответ. $a_1 = \frac{g}{7}, a_2 = \frac{2g}{7}, N = \frac{27}{7}mg.$

Критерии оценки решения задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)

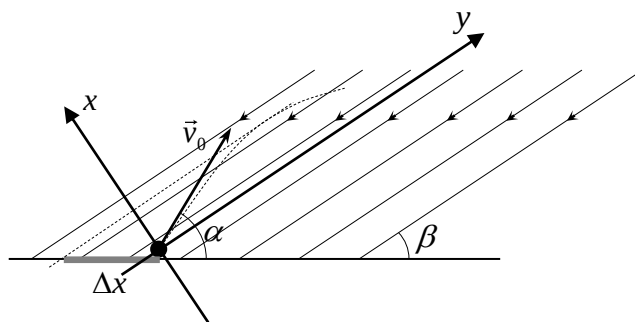
1. Правильно расставлены силы, действующие на тела - 1 балл
2. Правильные условия связи ускорений (с обоснованием) – 1 балл
3. Правильные условия связи сил реакции – 1 балл
4. Правильный ответ для ускорений тел – 1 балл
5. Правильный ответ для силы реакции опоры рычага – 1 балл

Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

5. В момент броска тень от камня находится на земле, в момент падения – тоже. И если бы тень от камня все время находилась между начальной и конечной точками, то пройденный тенью путь равнялся бы дальности полета камня по горизонтали. Очевидно, что если $\alpha < \beta$, камень по отношению к солнечным лучам начнёт сразу смещаться вправо (см. рисунок), и тень всегда лежит между точками бросания падения камня. Поэтому при $\alpha < \beta$ путь, пройденный тенью, равняется дальности полета камня по горизонтали. Используя известную формулу для дальности полета тела, брошенного под углом к горизонту, получим для пути, пройденного камнем:

$$S = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}.$$

Существенно другой будет ситуация при $\alpha > \beta$. В этом случае тень сначала начнет двигаться от точки падения камня на землю, а после того как скорость камня станет параллельной солнечным лучам, начнет двигаться в направлении точки падения (см. рисунок, на котором участок пути тени от точки бросания до



ее максимального смещения влево показан жирным). Поэтому, если длину этого участка обозначить как Δx , то путь, пройденный тенью до падения камня на землю равен двум длинам Δx плюс дальность полета камня

$$S = 2\Delta x + \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}$$

Найдем Δx . Камень движется равноускоренно, поэтому зависимость радиус-вектора камня и его скорости от времени имеют вид

$$\begin{aligned}\vec{R}(t) &= \vec{R}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{g} t^2}{2} \\ \vec{v}(t) &= \vec{v}_0 + \vec{g} t\end{aligned}$$

Выберем систему координат так, что ее начало находится в точке бросания камня, ось y направлена противоположно солнечным лучам, а ось x перпендикулярно. Проецируем векторные уравнения на ось x , получим

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \sin(\alpha - \beta) t - \frac{g \cos \beta t^2}{2} \\ v_x(t) = v_0 \sin(\alpha - \beta) - g \cos \beta t \end{cases}$$

Максимальному смещению тени влево отвечает ситуация, когда проекция скорости камня на ось x равна нулю (см. рисунок, на котором кусочек траектории камня от точки бросания до точки, отвечающей максимальному смещению тени влево показан пунктиром). Поэтому из второго уравнения находим время t_1 движения камня до этой точки

$$t_1 = \frac{v_0 \sin(\alpha - \beta)}{g \cos \beta},$$

а из первого уравнения – дальность смещения тела по оси x до этой точки

$$l = \frac{v_0^2 \sin^2(\alpha - \beta)}{2g \cos \beta}$$

Отсюда находим

$$\Delta x = \frac{l}{\sin \beta} = \frac{v_0^2 \sin^2(\alpha - \beta)}{2g \cos \beta \sin \beta}$$

и путь, пройденный тенью

$$S = \frac{v_0^2 \sin^2(\alpha - \beta)}{g \cos \beta \sin \beta} + \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}$$

Критерии оценки решения задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)

1. Правильное использование законов равноускоренного движения - 1 балл
2. Правильная идея решения – максимальному смещению тени влево отвечает ситуация, когда скорость камня параллельна солнечным лучам – 1 балл
3. Правильный ответ для пути, пройденного тенью, при $\alpha < \beta$ – 1 балл
4. Правильное максимальное смещение тени влево – 1 балл
5. Правильный ответ для пути, пройденного тенью, при $\alpha > \beta$ – 1 балл

Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

Оценка работы

Оценка работы складывается из оценки задач. Максимальная оценка – 25 баллов. Допустимыми являются все целые оценки от 0 до 25.