

Ключи ответов

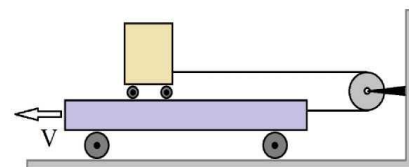
Решение каждой задачи оценивается целым числом баллов от 0 до 10.

В исключительных случаях допускаются оценки, кратные 0,5 балла.

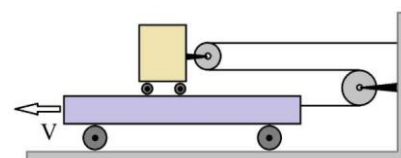
Максимальный балл за всю работу – 40.

Задача 1. Тележки

На большой тележке размещена малая тележка, к большой тележке прикреплен блок с перекинутой нитью, один конец которой привязан к ней, а второй к малой тележке (рис 1). Большая тележка равномерно движется влево со скоростью V . Определить скорость малой тележки относительно земли и относительно наблюдателя, стоящего на большой тележке.



На большой тележке размещена малая тележка, к которой прикреплен блок с перекинутой через него нитью, к большой тележке также прикреплен блок с перекинутой нитью, один конец которой привязан к ней, а второй к неподвижной стенке (рис 2). Большая тележка равномерно движется влево со скоростью V . Определить скорость верхней тележки относительно земли и относительно наблюдателя, стоящего на большой тележке. Считать, что все нити нерастяжимы, трение отсутствует.



ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

1.1. Если большая тележка сместится влево на Δx , то малая тележка сместится вправо на такое же расстояние, так как они связаны нерастяжимой нитью.

Поэтому относительно земли (неподвижного наблюдателя) верхняя тележка движется вправо со скоростью V . Скорость тележки относительно наблюдателя, связанного с большой тележкой, равна $2V$ и также направлена вправо.

1.2. Если большая тележка сместится влево на Δx , то малая тележка сместится вправо на $\Delta x/2$. Поэтому относительно земли (неподвижного наблюдателя) верхняя тележка движется вправо со скоростью $V/2$. Скорость тележки относительно наблюдателя, связанного с большой тележкой, равна $V + V/2 = 3V/2$ и также направлена вправо.

Критерии проверки:

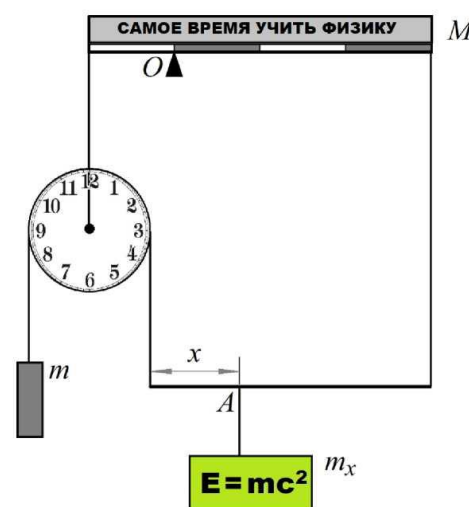
1	Первый случай (1.1):	До 3 баллов
	<i>определена скорость верхней тележки относительно земли</i>	1 балл
	<i>определена скорость малой тележки относительно большой</i>	1 балл
	<i>есть пояснение – нить нерастяжима</i>	1 балл

2	Второй случай (1.2.): <i>Найдена скорость верхней тележки относительно земли</i> <i>Есть обоснование того, что скорость верхней тележки относительно земли в два раза меньше скорости нижней тележки</i> <i>Найдена скорость верхней тележки относительно наблюдателя, связанного в нижней тележке</i>	До 7 баллов 2 балла 2 балла 3 балла
---	--	---

Задача 2. Арт-объект

Восьмиклассники для кабинета физики изготовили арт-объект и разместили его на опоре (точка О) на рисунке. Точка опоры О делит верхний однородный стержень с надписью в отношении 1:3. Масса этого стержня M . Кроме того, объект состоит из невесомых нерастяжимых нитей, гладкого блока пренебрежимо малой массы, выполненного в форме циферблата, груза массой m , прикрепленного с помощью нитки, перекинутой через блок, к очень лёгкому стержню длиной L . Второй конец этого стержня удерживается в равновесии с помощью второй нити, верхний конец которой прикреплен к верхнему стержню. К нижнему стержню подвешен груз массой m_x , на котором можно размещать таблички с физическим формулами. Определите:

1. массу груза m_x , при которой возможно равновесие;
2. соотношение между массами груза m и верхнего стержня M , при котором возможно равновесие;
3. отношение x/L .



ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Расставим силы, действующие в системе и запишем условия покоя тел.

Для груза m

$$T_1 = mg. \quad (1)$$

Записав условие покоя подвижного блока пренебрежимо малой массы, получим, что сила натяжения левой верхней нити равна

$$2T_1.$$

Условие покоя груза m_x :

$$T = m_x g. \quad (2)$$

Правило моментов для верхнего стержня относительно т.О

$$2T_1 \cdot a = Mg \cdot a + T_2 \cdot 3a. \quad (3)$$

Условие покоя нижнего стержня

$$T_1 + T_2 = m_x g. \quad (4)$$

Правило моментов для нижнего стержня относительно точки А

$$T_1 \cdot x = T_2 \cdot (L - x). \quad (5)$$

Из уравнения (4) выразим T_2

$$T_2 = m_x g - T_1.$$

Полученное выражение и уравнение (1) подставим в (3), поделим на a , получим

$$2mg = Mg + 3(m_x g - mg).$$

Выразим из этого уравнения m_x

$$m_x = \frac{5}{3}m - \frac{M}{3}.$$

Так как масса m_x должна быть положительна, то равновесие арт-объекта возможно, если

$$5m > M.$$

Найдем отношение x/L . Из уравнений (4) и (1) получим значение T_2

$$\begin{aligned} T_2 &= m_x g - mg \\ &= \left(\frac{5}{3}m - \frac{M}{3} \right) g - mg \\ &= \frac{2}{3}mg - \frac{M}{3}g. \end{aligned}$$

Подставим (1) и полученное уравнение в (5)

$$mg \cdot x = \left(\frac{2}{3}mg - \frac{M}{3}g \right) \cdot (L - x).$$

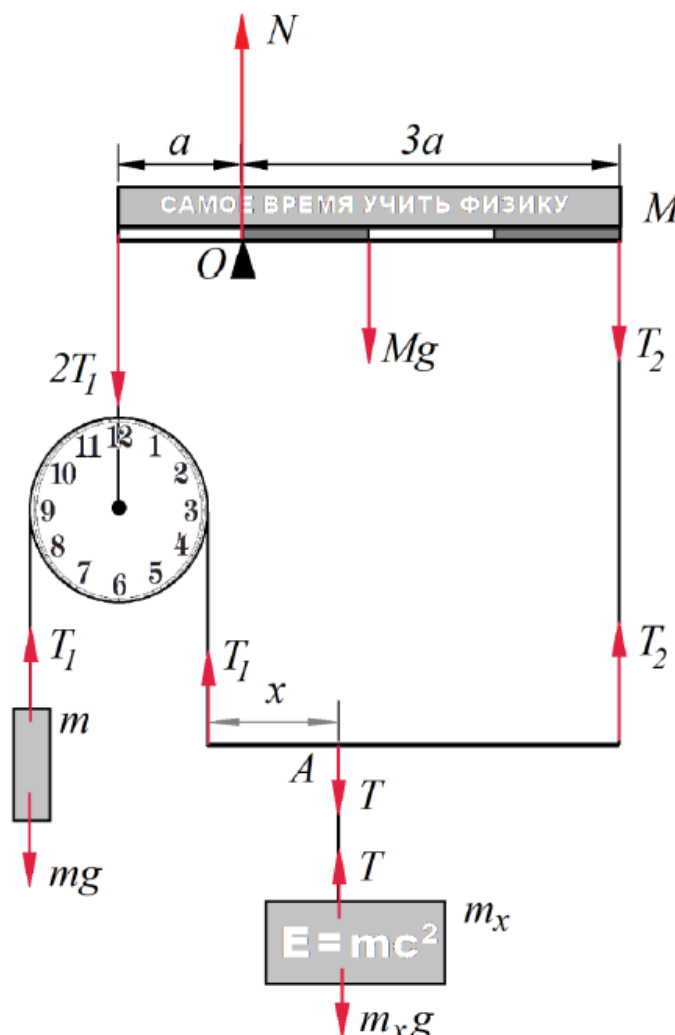
Выразим нужно отношение

$$\frac{x}{L} = \frac{2m - M}{5m - M}.$$

Так $2m - M < 5m - M$, то полученное выражение меньше 1. Так и должно быть, так как $x < L$.

Критерии проверки

№	Содержание	Балл
2.1.	Сделан рисунок, расставлены силы, действующие на тела	1
2.2.	Условие покоя тела m $T_1 = mg$	0,5
2.3.	Для подвижного блока: сила натяжения верхней левой нити $2T_1$	0,5
2.4.	Условие покоя груза m_x : $T = m_x g$	0,5
2.5.	Правило моментов для верхнего стержня относительно т.О (либо другой) $2T_1 \cdot a = Mg \cdot a + T_2 \cdot 3a$	1
2.6.	Для нижнего стержня: Условие покоя по вертикали:	



	$T_1 + T_2 = m_x g$ Правило моментов для нижнего стержня относительно точки А (либо другой)	1
	$T_1 \cdot x = T_2 \cdot (L - x)$ Либо может быть дважды записано правило моментов относительно разных точек (по 1 баллу за каждое)	1
2.7.	Найдена масса m_x $m_x = \frac{5}{3}m - \frac{M}{3}$	1,5
2.8.	Записано условие на массы $5m > M$	1
2.9.	Найдено отношение x/L $\frac{x}{L} = \frac{2m - M}{5m - M}$	2

Задача 3. Заполним полость!

Тело с полостью внутри плавает в воде, погрузившись на половину своего объема. Если полость полностью залить водой, то над водой будет выступать $1/8$ объема. Обозначив V - объем вещества тела, V_0 - объем полости, определить отношение V/V_0 . Чему равна плотность вещества, из которого изготовлено тело?

Какова должна быть плотность первой жидкости, которой нужно будет полностью заполнить полость, чтобы тело утонуло в воде?

Плотность воды считать известной и равной 1000 кг/м^3 .

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Рассмотрим первый случай – тело с пустой полостью плавает в воду, погрузившись наполовину. Определим силу тяжести и силу Архимеда, действующие на тело, запишем их равенство, получим

$$\rho g V = \frac{1}{2} \rho_{\text{в}} g (V + V_0).$$

Из записанного соотношения выразим объем вещества V

$$V = \frac{\rho_{\text{в}} V_0}{2\rho - \rho_{\text{в}}}.$$

Из записанного соотношения определяем отношение V/V_0

$$\frac{V}{V_0} = \frac{\rho_{\text{в}}}{2\rho - \rho_{\text{в}}}.$$

Рассмотрим плавание тела при заполнении полости водой. Равенство сил тяжести и Архимеда даёт уравнение

$$\rho gV + \rho_B gV_0 = \frac{7}{8} \rho_B g(V + V_0).$$

Подставив в данное выражение объем V и проведя небольшие математические преобразования, получим значение плотности

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{8}{10} \rho_B; \\ \rho &= 800 \text{ кг/м}^3. \end{aligned}$$

Чтобы тело утонуло при заполнении полости жидкости плотности ρ_1 , необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\rho gV + \rho_1 gV_0 \geq \rho_B g(V + V_0).$$

Определим значение ρ_1 , при котором выполняется неравенство

$$\begin{aligned} \rho_1 &\geq \frac{8}{3} \rho_B - \frac{5}{3} \rho; \\ \rho_1 &\geq \frac{4000}{3} = 1333 \text{ кг/м}^3. \end{aligned}$$

Критерии проверки:

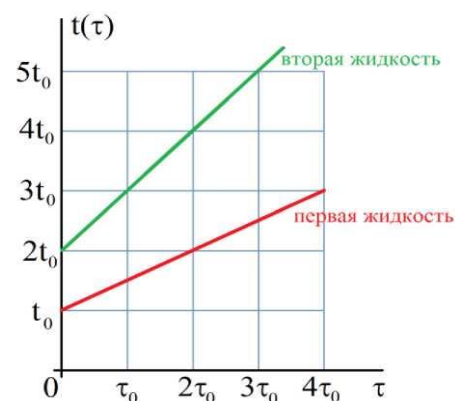
1	Записано условие плавания тела с пустой полостью	1 балл
2	Записано условие плавания тела с полостью, заполненной водой	1 балл
3	Найдено отношение V/V_0	1 балл
3	Проведены математические преобразования, которые приводят к ответу для ρ	1 балл
4	Записан правильный ответ для ρ	1 балл
5	Записано условие того, что тело тонет при заполнении полости жидкостью <i>если записано равенство, то ставится 1 балл</i>	до 2 баллов <i>1 балл</i>

6	Математические преобразования, направленные на нахождение ρ_1	до 2 баллов
7	Получен ответ для ρ_1	1 балл

Задача 4. Нагревание

В сосуд с теплонепроницаемыми стенками и вмонтированным нагревателем поместили жидкость некоторой массы и стали ее нагревать. График зависимости температуры от времени приведен на рисунке. Затем, вылив первую жидкость, в сосуд поместили такую же массу второй жидкости с другой начальной температурой и также сняли зависимость ее температуры от времени. Этот график также приведен на рисунке. Используя данные, определите отношение удельных теплоёмкостей этих жидкостей.

Затем в этот же пустой сосуд наливают первую жидкость первоначальной массы и вторую жидкость, масса которой в три раза превышает первоначальную. Начальные температуры смешиваемых жидкостей одинаковы и равны t_0 . За сколько времени температура увеличится в 4 раза? Построить график нагревания данной смеси в том же масштабе, который указан на исходном графике. График следует перерисовать в задание, длительность рассматриваемого промежутка времени (длина оси времени) может быть увеличена в случае необходимости. Считать, что нагреватель всегда отдает одинаковое количество теплоты в единицу времени.



ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Проанализировав график, получим, что при нагревании первой жидкости за промежуток времени $4\tau_0$ жидкость нагреется на $2t_0$. Поэтому

$$q \cdot 4\tau_0 = c_1 m 2t_0.$$

Вторая жидкость за промежуток времени $3\tau_0$ нагреется на $3t_0$. Поэтому

$$q \cdot 3\tau_0 = c_2 m 3t_0.$$

Здесь q – количество теплоты, выделяемое нагревателем в единицу времени.

Из записанных соотношений легко установить связь удельных теплоемкостей жидкостей

$$c_1 = 2c_2.$$

Кроме того, определим q

$$q = \frac{c_2 m t_0}{\tau_0}.$$

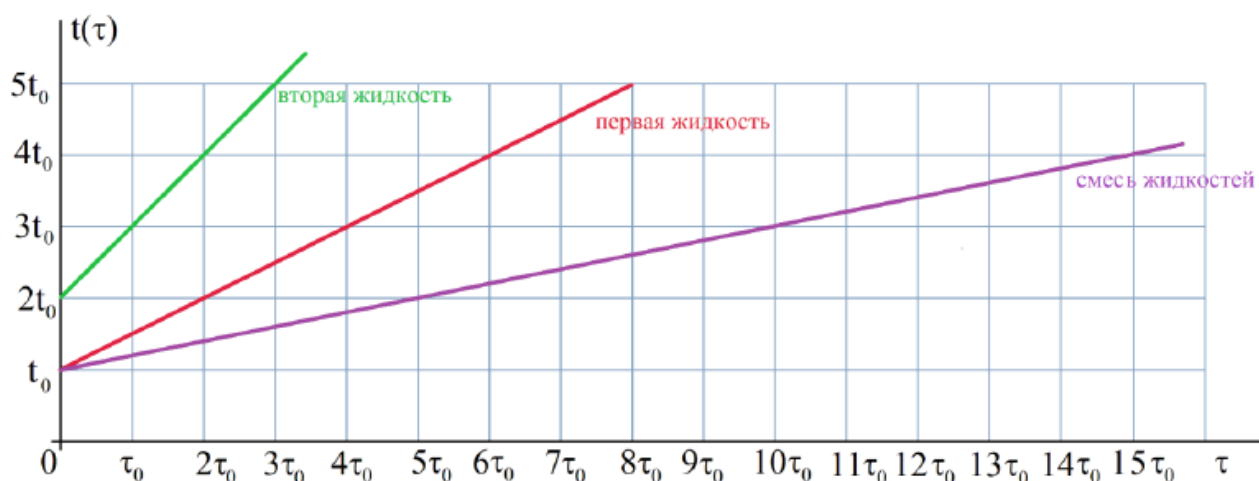
Теперь смешаем m первой жидкости при температуре t_0 и $3m$ второй жидкости при той же температуре и будем ее нагревать столько времени τ_x , чтобы температура стала $4t_0$.

$$q\tau_x = c_1 m(4t_0 - t_0) + c_2 3m(4t_0 - t_0) = 15c_2 m t_0.$$

Используя полученное ранее выражение для q , получим

$$\tau_x = 15\tau_0.$$

Полученных данных уже достаточно, чтобы построить график. Понятно, что поскольку в единицу времени нагреватель отдает одинаковое количество теплоты, то график будет линейный, две точки мы знаем.



Но можно и аккуратно написать зависимость температуры смеси жидкостей от времени. Пусть t – температура смеси в момент времени τ

$$q \cdot \tau = c_1 m(t - t_0) + c_2 3m(t - t_0).$$

Преобразуем выражение, учтя связь теплоемкостей жидкостей и выражение для q , получим

$$t(\tau) = t_0 + \frac{t_0}{5\tau_0} \cdot \tau.$$

Полученная зависимость – линейная, график – прямая линия. Зависимость температуры смеси от времени представлена на рисунке.

Критерии проверки:

1	Определение отношения теплоемкостей <i>Выбраны хорошо определяемые точки на графике, они указаны</i> <i>Точки выбраны плохо</i>	До 2 баллов <i>2 балла</i> <i>0,5-1,5 балла в зависимости от результата</i>
2	Получено выражение для q (либо аналогичное, которое используется в дальнейшем и позволяет время измерять в τ_0)	1 балл
3	Записано уравнение теплового баланса для нагрева смеси	3 балла
4	Найдено время нагрева до $4 \tau_0$	2 балла
5	Построен график нагревания смеси	1 балл
6	Объяснена линейность графика	1 балл