Олимпиада школьников «Курчатов» по физике – 2025

Финальный этап 8 класс

Задача 1. Лодка начала движение от одного берега реки к противоположному. Лодочник направил нос лодки перпендикулярно берегу и начал грести веслами, сообщая лодке скорость поперек реки, но за счёт течения лодку относило и вдоль реки со скоростью $u_1 = 10\,\text{км/ч}$. Когда лодка достигла середины реки, начался сильный ветер, и её стало сносить вдоль реки уже со скоростью $u_2 = 15\,\text{км/ч}$. Испугавшись, лодочник начал грести сильнее и в итоге всё же причалил к противоположному берегу. Оказалось, что средняя скорость движения лодки вдоль реки равна $\langle u\rangle = 12\,\text{км/ч}$. Во сколько раз быстрее стал грести лодочник?

Возможное решение

Предположим, что ширина реки равна $2D$ (то есть от одного берега до другого нужно пройти «поперёк течения» расстояние $2D$). Первая половина пути — от берега до середины реки (D по поперечному направлению), вторая половина — от середины до противоположного берега (ещё D). Пусть v_1 — скорость лодки **поперёк** реки при гребле до середины, а v_2 — скорость лодки поперёк реки во второй половине пути. Вдоль реки (по течению) лодку сносит со скоростью $10\,\text{км/ч}$ при движении до середины реки и $15\,\text{км/ч}$ после.

$$T_1 \;=\; \frac{D}{v_1} \quad \text{(время на первую половину)}, \qquad T_2 \;=\; \frac{D}{v_2} \quad \text{(время на вторую половину)}.$$

За первую половину переправы лодку сносит на расстояние u_1T_1 . За вторую половину лодку сносит на расстояние u_2T_2.

Таким образом, полный снос за всё время переправы равен:

$$S = u_1T_1 \;+\; u_2T_2.$$

А суммарное время переправы:

$$T = T_1 + T_2.$$

По условию задачи, средняя скорость движения лодки вдоль реки (средняя скорость сноса) составила $12\,\text{км/ч}$. Это означает:

$$\frac{S}{T} \;=\; 12 \text{ км/ч}.$$

Подставляя выражения из п.3 и данные из условия:

$$\frac{10\,T_1 \;+\; 15\,T_2}{T_1 + T_2} \;=\; 12.$$

Умножим обе части на $(T_1 + T_2)$:

$$10\,T_1 \;+\; 15\,T_2 \;=\; 12\,(T_1 \;+\; T_2).$$

Раскроем правую часть:

$$10\,T_1 \;+\; 15\,T_2 \;=\; 12\,T_1 + 12\,T_2 \quad\Longrightarrow\quad (10-12)\,T_1 + (15-12)\,T_2 = 0$$

$$-\,2\,T_1 \;+\; 3\,T_2 \;=\; 0 \quad\Longrightarrow\quad 3\,T_2 \;=\; 2\,T_1 \quad\Longrightarrow\quad T_2 \;=\; \frac{2}{3}\,T_1.$$

Поскольку $T_1 = \frac{D}{v_1}$ и $T_2 = \frac{D}{v_2}$, имеем

$$\frac{D}{v_2} \;=\; \frac{2}{3}\,\frac{D}{v_1} \quad\Longrightarrow\quad \frac{1}{v_2} \;=\; \frac{2}{3}\,\frac{1}{v_1} \quad\Longrightarrow\quad v_2 \;=\; \frac{3}{2}\,v_1.$$

Таким образом, во вторую половину пути лодочник стал грести *в полтора раза быстрее*:

$$v_2 = 1{,}5\,v_1.$$

Ответ:

1,5

Критерии

1. Найдены времена движения лодки до и после усиления ветра (+ 2 балла).
2. Найдена длина пути лодки вдоль направления сноса за все время переправы (+ 3 балла).
3. Записано выражение для средней скорости сноса (+ 2 балла).
4. Получена связь времен движения лодки до и после усиления ветра (+ 2 балла).
5. Получено верное отношения скоростей движения лодки поперек реки до и после усиления ветра (+ 1 балла).

Задача 2. Вероника собралась готовить обед и достала из холодильника пельмени. Каждый пельмень имеет массу $m_п = 20$ г, состоит на 70% по массе из воды и имеет начальную температуру $t_1 = -20°C$. Вероника поставила на плиту кастрюлю, в которой находится $m_в = 1{,}2$ кг воды, которая вскоре начала кипеть при температуре $t_2 = 100°C$.

1. Вероника бросила в кипящую воду один пельмень, после чего вода перестала кипеть. Через какое время τ вода в кастрюле закипит снова?

2. Вероника долила воды в кастрюлю, измерила ее новую температуру $t_3 = 90°C$ и спустя $\Delta\tau = 20$ с стала забрасывать пельмени по одному через каждые 30 с (в моменты времени 20, 50, 80, 110 с), причём температура воды после забрасывания каждого пельменя уменьшалась на $1°C$. Постройте график зависимости температуры воды от времени в течение первых 2-ух минут, если суммарная масса пельменей значительно меньше массы воды.

Удельная теплоёмкость пельменя при температуре ниже $0°C$ составляет $c_{п1} = 2000\frac{Дж}{кг\cdot°C}$, а при температуре выше $0°C$ составляет $c_{п2} = 3500\frac{Дж}{кг\cdot°C}$, удельная теплоёмкость воды $c_в = 4200\frac{Дж}{кг\cdot°C}$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 3{,}34\cdot10^5$ Дж/кг. Полезная мощность плиты $P = 1000$ Вт. Считайте, что тепловой баланс между пельменями и водой устанавливается мгновенно.

Возможное решение

1. Вода перестаёт кипеть, так как холодный пельмень охлаждает окружающую его воду. В результате перемешивания температура воды в кастрюле становится ниже $100°C$, и кипение прекращается.

Для нагрева пельменя от $t_1 = -20°C$ до $t_2 = 100°C$ необходимо передать ему количество теплоты:

$$Q = m_p c_{п,1}(t_0 - t_1) + w m_p \lambda + m_p c_{п,2}(t_2 - t_0),$$

где $t_0 = 0°C$, $w = 0,7$.

Время, через которое вода снова закипит, определяется по формуле:

$$\tau = \frac{Q}{P} = 12.5 \text{ с}.$$

2. Из уравнения теплового баланса:

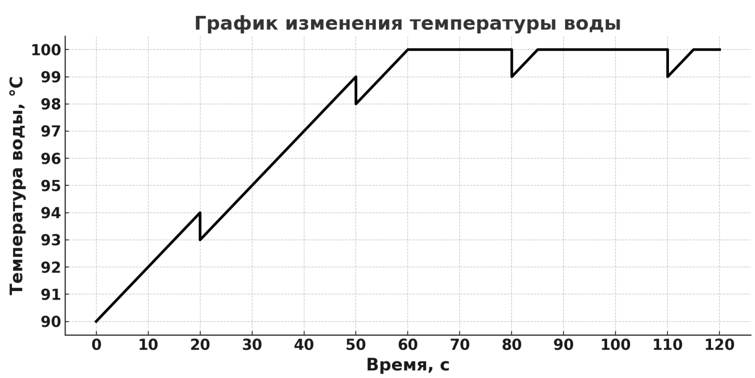
$$P\tau = m_в c_в(t_2 - t_1) = m_в c_в \Delta t,$$

можно определить скорость увеличения температуры воды:

$$\frac{\Delta t}{\tau} = \frac{P}{m_в c_в} = 0.2°C/\text{с}.$$

Таким образом, температура воды увеличивается со скоростью $0.2°C$ в секунду.

При этом известно, что при добавлении каждого пельменя температура воды падает на $1°C$, а пельмени добавляют в моменты времени 20, 50, 80, 110 секунд.



Ответ:

$$\tau = 12,5 \text{ с}$$

Критерии

1. Верно записано уравнение теплового баланса для нагревания одного добавленного пельменя (+ 2 балла).

2. Верно получено время закипания воды (+ 2 балла).

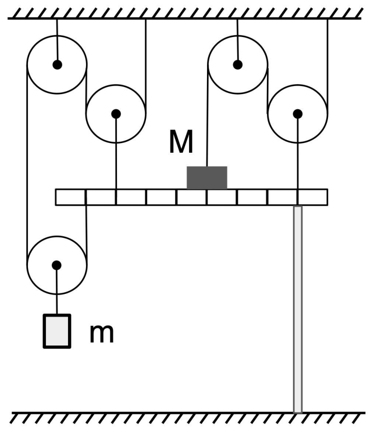
3. Верно определена скорость увеличения температуры воды (наклон графика) (+ 2 балла).

4. Построен верный график (+ 4 балла).

Задача 3. На тонкой невесомой планке, соединённой невесомыми верёвками с системой невесомых блоков, расположен груз массой $M = 35$ кг. Планка поддерживается устойчивой вертикальной доской.

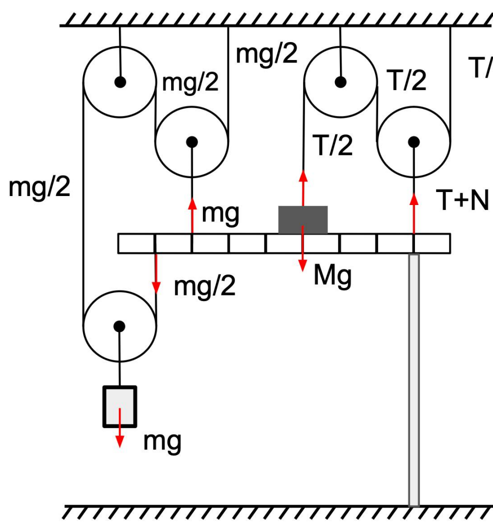
1. Определите, при каких значениях массы m груза, подвешенного к блоку, система останется в равновесии.
2. Определите, при каких значениях массы m груза, подвешенного к блоку, планка сможет остаться в равновесии после удаления поддерживающей доски.

Вертикальные черточки делят планку на равные части. Трение во всей системе отсутствует, масса планки и блоков пренебрежимо мала.



Возможное решение

Обозначим массу груза, подвешенного к крайнему блоку, как m, силу натяжения нити, прикреплённой к левому подвижному блоку, как T, а силу реакции устойчивой доски, поддерживающей планку, как N. Длину одной части планки обозначим за L.



Объединим в систему планку и груз массы M. Система находится в равновесии, поэтому выполняются два условия:
1) Равенство сил в проекции на вертикальную ось:

$$3T/2 + N + mg = Mg + mg/2;$$

2) Равенство моментов сил относительно оси, проходящей через опорную точку доски:

$$3LT/2 + 6Lmg = 3LMg + 7Lmg/2.$$

Решая систему этих уравнений, получаем выражения:

$$T = 2Mg - 5mg/3,$$

$$N = 2mg - 2Mg.$$

Так как силы N и T должны быть направлены вверх, то их значения должны быть положительными. Кроме того, сила $T/2$ не должна превышать Mg, иначе груз на планке начнёт подниматься, и равновесие нарушится.

Таким образом, из условий $N \geq 0$ и $0 \leq T \leq 2Mg$, получаем двойное неравенство:

$$M \leq m \leq 6M/5.$$

Подставляя $M = 35$ кг, находим:

$$35 \text{ кг} \leq m \leq 42 \text{ кг}.$$

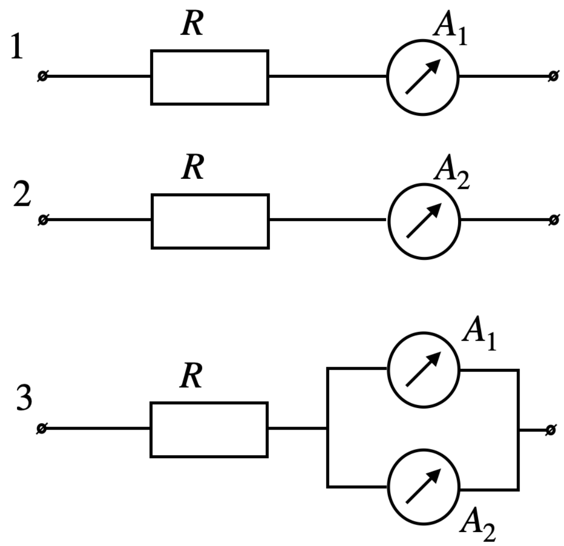
Для ответа на второй вопрос рассмотрим предельный случай $N = 0$, откуда следует, что $m = M$.
Ответ:

$$1)\ 35 \text{ кг} \leq m \leq 42 \text{ кг},\ 2)\ 35 \text{ кг}$$

Критерии

1. Верно записан баланс сил в проекции на вертикальную ось (+ 2 балла).
2. Верно записано равенство моментов сил относительно выбранной оси (+ 2 балла).
3. Получены верное выражения для силы натяжения нити и силы реакции доски (+ 2 балла).
4. Получено верное ограничение на массу груза (+ 2 балла).
5. Получена верная масса груза в предельном случае (+ 2 балла).

Задача 4. Вероника определяет сопротивление резистора R, используя источник напряжения $U = 12$ В и два неидеальных амперметра A_1 и A_2 с неизвестными сопротивлениями R_1 и R_2 соответственно. Она проводит три эксперимента. В первом опыте последовательно соединены резистор R и амперметр A_1, сила тока в цепи равна $I_1 = 2{,}4$ А. Во втором опыте последовательно с тем же резистором включается амперметр A_2, и сила тока равна $I_2 = 2{,}0$ А. В третьем опыте резистор R последовательно соединён с параллельно соединёнными амперметрами A_1 и A_2; общая сила тока в цепи, то есть сумма показаний обоих амперметров, равна $I_3 = 3$ А. Найдите сопротивление резистора R.



Возможное решение

В первом опыте

$$I_1 = \frac{U}{R + R_1}, \quad \text{то есть} \quad R + R_1 = \frac{U}{I_1} = \frac{12}{2{,}4} = 5 \text{ Ом.}$$

Во втором опыте

$$I_2 = \frac{U}{R + R_2}, \quad \text{то есть} \quad R + R_2 = \frac{U}{I_2} = \frac{12}{2{,}0} = 6 \text{ Ом.}$$

В третьем опыте амперметры R_1 и R_2 включены параллельно, а эта параллель последовательно соединена с R. Поскольку сумма показаний обоих амперметров равна $I_3 = 3$ А, полный ток через всю цепь

$$I_3 = \frac{U}{R + \dfrac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} = 3 \text{ А.}$$

Следовательно,

$$R + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{U}{I_3} = \frac{12}{3} = 4 \text{ Ом.}$$

Из первых двух опытов находим

$$R_1 = 5 - R, \quad R_2 = 6 - R.$$

Тогда

$$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{(5 - R)(6 - R)}{(5 - R) + (6 - R)} = \frac{30 - 11R + R^2}{11 - 2R}.$$

Подставим это в равенство

$$R + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 4.$$

Получим уравнение

$$R + \frac{30 - 11R + R^2}{11 - 2R} = 4.$$

Умножая обе части на $(11 - 2R)$ и приводя подобные члены, приходим к квадратному уравнению

$$R^2 - 8R + 14 = 0.$$

Дискриминант равен $\Delta = 64 - 56 = 8$, откуда

$$R = \frac{8 \pm \sqrt{8}}{2} = 4 \pm \sqrt{2}.$$

Сопротивление амперметров должно быть положительным, поэтому R не может превышать 5 (иначе R_1 оказался бы отрицательным). Анализ показывает, что физически возможен лишь меньший корень

$$R = 4 - \sqrt{2} \text{ Ом}.$$

Именно при этом значении $R_1 = 5 - R$ и $R_2 = 6 - R$ оказываются положительными. Таким образом,

$$R = 4 - \sqrt{2} \approx 2,59 \text{ Ом}.$$

Ответ:

$$R = 2,59 \text{ Ом}$$

Критерии

1. Найдено общее сопротивление цепи в первом эксперименте (+ 2 балла).
2. Найдено общее сопротивление цепи во стором эксперименте (+ 2 балла).
3. Найдено общее сопротивление цепи в третьем эксперименте (+ 2 балла).
4. Записано квадратное уравнение на сопротивление резистора (+ 2 балла).
5. Верно решено уравнение на сопротивление резистора (+ 2 балла).

Задача 5. Экспериментатор Глюк проводил опыт с теплоизолированным цилиндрическим сосудом, в котором он зафиксировал на дне кусок льда при температуре $t_0 = 0°C$. Затем он налил в сосуд воду так, что лёд оказался полностью под водой. Масса налитой воды в точности равна массе льда. Когда в сосуде установилось тепловое равновесие, Глюк заметил, что уровень воды опустился на $\alpha = 2{,}0\%$ относительно первоначального. Определите начальную температуру t_x налитой в сосуд воды. Плотность воды $\rho_0 = 1{,}0$ г/см^3, плотность льда $\rho = 0{,}9$ г/см^3, удельная теплоёмкость воды $c_в = 4{,}2\ \frac{кДж}{кг\cdot°C}$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ кДж/кг. Изменением объёма воды из-за теплового расширения, испарением воды пренебречь. Считайте, что теплоемкость сосуда пренебрежимо мала по сравнению с теплоемкостью воды и льда в сосуде. В ходе эксперимента лёд остаётся неподвижным на дне сосуда.

Возможное решение

Сначала проверим, полностью ли растаял лёд. Предположим, что он растаял полностью. Объём содержимого сосуда складывается из объёма льда

$$V_1 = \frac{m}{\rho}$$

и объёма налитой воды

$$V_2 = \frac{m}{\rho_0}.$$

Обозначим H как начальный уровень воды в сосуде сразу после заполнения. Очевидно, что

$$S \cdot H = V_1 + V_2.$$

Отсюда выражаем:

$$H = \frac{m}{S}\frac{\rho_0 + \rho}{\rho_0 \cdot \rho}.$$

Уменьшение объёма воды после полного таяния льда составит

$$\Delta V = V_1 - V_2 = m\frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0 \cdot \rho},$$

что приведёт к снижению уровня воды:

$$\Delta H_0 = \frac{V_1 - V_2}{S} = m\frac{\rho_0 - \rho}{S \cdot \rho_0 \cdot \rho}.$$

Относительное уменьшение уровня воды:

$$\alpha_0 = \frac{\Delta H_0}{H} = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0 + \rho} \approx 5\%.$$

Следовательно, лёд не растаял полностью, и установившаяся температура воды будет $t_0 = 0°C$. Обозначим массу растаявшего льда как Δm. Тогда объём оставшегося льда:

$$V_1' = \frac{m - \Delta m}{\rho}.$$

Суммарный объём воды теперь:

$$V_2' = \frac{m + \Delta m}{\rho_0}.$$

Фактическое изменение объёма:

$$\Delta V' = (V_1 + V_2) - (V_1' + V_2') = \frac{\Delta m}{\rho} - \frac{\Delta m}{\rho_0}.$$

Выразим ΔH:

$$\Delta H = \frac{\Delta m}{S}\frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0 \cdot \rho}.$$

Отсюда:

$$\alpha = \frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta m}{m}\frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0 + \rho}.$$

Следовательно, относительное уменьшение массы льда:

$$\frac{\Delta m}{m} = \alpha\frac{\rho_0 + \rho}{\rho_0 - \rho}.$$

Составляем уравнение теплового баланса:

$$c_{\text{в}} m(t_x - t_0) = \lambda \Delta m.$$

Выразим начальную температуру воды:

$$t_x = t_0 + \frac{\lambda}{c_{\text{в}}} \frac{\Delta m}{m} = t_0 + \frac{\lambda}{c_{\text{в}}} \alpha \frac{\rho_0 + \rho}{\rho_0 - \rho}.$$

Подставляя числовые значения:

$$t_x = 0 + \frac{330 \cdot 10^3}{4.2 \cdot 10^3} \cdot 0.02 \cdot \frac{1.9}{0.1} = 30^\circ C.$$

Ответ:

$$t_x = 30^\circ C$$

Критерии

1. Верно определена установившаяся температура воды в сосуде и показано, что лед растаял не полностью (+ 4 балла).
2. Верно получена связь изменения уровня воды в сосуде с изменением массы воды в сосуде (+ 2 балла).
3. Записано верное уравнение теплового баланса (+ 2 балла).
4. Получен верный формульный и числовой ответ (+ 2 балла).