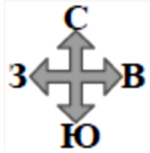
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ПОКОРИ ВОРОБЬЕВЫ ГОРЫ» по ФИЗИКЕ
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ (ФИНАЛЬНЫЙ) ЭТАП 2026 года
БИЛЕТ № 08 (7,8,9 классы): возможные решения и критерии

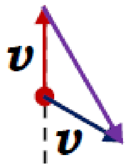
Оценка ответа на вопрос: нет ответа – **0 баллов**, есть неверный ответ с частично правильной терминологией – **1 балл**, есть разумные соображения – **2 балла**, в основном все правильно, но есть заметные неточности или ответ неполон – **3 балла**, правильный ответ с мелкими недочетами или недостаточно обоснованный – **4 балла**, полный, правильный и обоснованный ответ – **5 баллов**.

Задание 1:

Вопрос: Паровоз едет тихим ходом по прямому участку пути, ведущему на север. Ветер, скорость которого относительно Земли равна скорости паровоза, дует в постоянном направлении, отклоняясь на 30° к югу от направления на восток. Определите угол между полосой дыма от паровоза и направлением на юг.



Ответ на вопрос: «Порция» дыма, оставленная паровозом, смещается относительно Земли со скоростью ветра (со скоростью v, отклоняясь на 30° к югу от направления на восток). Сам паровоз относительно Земли движется со скоростью v на север. Значит, направление дыма – это направление от паровоза вдоль относительной скорости дыма и паровоза. Выполнив соответствующее построение (см. рисунок), обнаруживаем, что, поскольку треугольник скоростей оказывается равнобедренным с углом при вершине 90º+30º=120º, то искомый угол, который оказывается углом при основании этого треугольника, тоже равен 30º.



Задача: Два приятеля во время поездки в поезде решили измерить расстояние между столбами, стоявшими равномерно вдоль дороги. Для этого они измерили длину коридора вагона, оказавшуюся равной 18 м, выбрали участок пути, на котором поезд шел с постоянной скоростью, и одновременно пошли из разных концов коридору навстречу друг другу, считая проносившиеся мимо них столбы. В итоге, пройдя весь коридор за одно время, они обнаружили, что один насчитал 14, а другой – 15 столбов. Они старались идти с одинаковыми скоростями (будем считать, что им это удалось). Чему равно искомое расстояние?

Решение задачи: Пусть l = 18 м – длина коридора вагона, u – скорость движения каждого из приятелей относительно вагона, V – скорость поезда относительно Земли. Ясно, что время, за которое каждый из приятелей прошел коридор, равно $t=l/u$. В течении этого времени скорость столбов относительно одного приятеля равна $V+u$, а относительно другого – V-u. Значит,

$$\left\{\begin{matrix} N_1 L = (V+u)t = Vt + l \\ N_2 L = (V-u)t = Vt - l \end{matrix}\right\} \Rightarrow (N_1 - N_2)L = 2l \Rightarrow L = \frac{2}{N_1 - N_2} l = 36 \text{ м}.$$

ОТВЕТ: расстояние между столбами равно 36 м.

Критерии для проверки задачи:

Во всех ситуациях при переходе из одной СО в другую правильно используется сложение скоростей (**4 балла**),

Правильно связано количество пересчитанных столбов (**2 балла**),

Правильно и скорости столбов относительно каждого из приятелей (**2×3=6 баллов**),

Записано правильное условие для времени движения ($t=l/u$) (**2 балла**),

Правильно записана полная система двух уравнений, по которым можно однозначно определить L (**2+2=4 балла**),

Получен правильный ответ (**4 балла**).

Задание 2:

Вопрос: Опишите построение температурной шкалы Цельсия.

Ответ на вопрос: В температурной шкале Цельсия используются две реперные точки: температура плавления льда при нормальном атмосферном давлении принята за 0°C, температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении принята за 100°C. Далее любой термометр (прибор, измеряющий величину, связанную с нагретостью тела) градуируется с равномерным шагом и между этими точками, и в обе стороны за пределами этого диапазона.

Задача: Теплоизолированный цилиндрический вертикальный сосуд объемом V_1 = 300 мл полностью заполнен водой, в которой плавает крошечная льдинка. На середине высоты из этого сосуда выведена тонкая трубка с краном. В другом теплоизолированном сосуде содержится V_2 = 200 мл кипятка. Для подогрева воды в первом сосуде можно доливать в него воду из второго сосуда и сливать часть воды через кран (не наклоняя первый сосуд). Какой максимальной температуры воды в первом сосуде можно достичь, используя не более двух доливаний? Каким будет при этом конечный объем воды в первом сосуде? Опыт производится при нормальном атмосферном давлении.

Решение задачи: В первую очередь отметим, что из условия и определения шкалы Цельсия следует, что температура воды в первом цилиндре $t_1 = 0$ºС, а во втором $t_2 = 100$ºС. Ясно, что для достижения максимальной температуры надо использовать всю «горячую» воду и слить максимальное количество «холодной». Пусть в первый раз мы слили воду до крана (половину от V_1) доливаем $x \cdot V_2$ «горячей» воды. Тогда после этого температура смеси, образовавшейся в первом сосуде (с учетом того, что $V_1 = 3V_2/2$)

$$t_1^{'} = \frac{t_1 \cdot (V_1/2) + t_2 \cdot xV_2}{(V_1/2) + xV_2} = \frac{0{,}75 \cdot t_1 + xt_2}{0{,}75 + x} = \frac{x}{0{,}75 + x} 100°\text{C}.$$

После этого надо слить воду до уровня крана (объем воды снова уменьшится до $V_1/2$ – именно для этого в условии присутствуют слова «цилиндрическом вертикальном», «на середине высоты», «тонкая» и введен запрет на наклон сосуда) и долить оставшуюся «горячую» воду (объем $(1-x) \cdot V_2$). Тогда конечный объем воды в первом сосуде $V = (1{,}75 - x)V_2$. Конечная температура воды в первом сосуде

$$t_1^{''} = \frac{1}{1{,}75 - x}\left[\frac{0{,}75 \cdot t_1 + xt_2}{0{,}75 + x} 0{,}75 + (1 - x)t_2\right] = t_2 - \frac{9\Delta t}{(3 + 4x)(7 - 4x)}$$

где введено обозначение

$$\Delta t \equiv t_2 - t_1 .$$

Нетрудно заметить, что максимум $t_1^{''}$ достигается при значении x, отвечающем максимуму знаменателя дроби, содержащей Δt, то есть максимуму

$$y(x) = (3 + 4x)(7 - 4x) \ , \quad x \in [0{,}1]$$

Положение вершины этой параболы легко находится:

$$x_0 = \frac{-0{,}75 + 1{,}75}{2} = \frac{1}{2}$$

Следовательно, конечный объем воды $V = (1{,}75 - x)V_2$=$1{,}25V_2 = 250$ мл, а максимальная достижимая температура

$$t_{max} = \frac{16}{25} t_2 = 64°\text{C}.$$

ОТВЕТЫ: Максимальная достижимая температура $t_{max} = \frac{16}{25} t_2 = 64°\text{C}$, и при этом конечный объем воды в 1-ом сосуде 250 мл.

Критерии для проверки задачи:

Указано, что температура воды в первом цилиндре $t_1 = 0$ºС (**1 балл**), а во втором $t_2 = 100$ºС (**1 балл**),

Указано, что для достижения максимальной температуры надо использовать всю «горячую» воду и слить максимальное количество «холодной». (**2+2=4 балла**),

Используется подбор объема первой порции для обеспечения максимальности конечной температуры (**4 балла**),

Правильно определена (аналитическое выражении или как числовая функция от x) температура в первом сосуде после первого доливания горячей воды (**2 балла**),

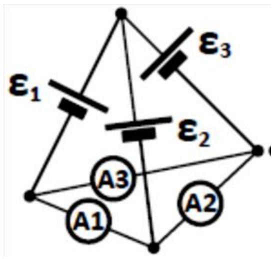
Правильно определены объемы доливаемого в первый и второй раз кипятка (**2+2=4 балла); Получены два правильных ответа** (**2+2=4 балла**).

Задание 3:

Вопрос: Когда к аккумулятору подключили амперметр, он показал, что сила тока равна 6 А. При подключении к этому аккумулятору последовательно двух таких амперметров, они показали 4 А. Каковы будут показания трех таких амперметров, подключенных к этому аккумулятору последовательно?

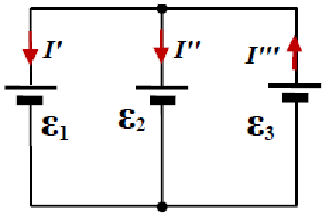
Ответ на вопрос: Пусть аккумулятор создает на своих клеммах напряжение U. Обозначим внутреннее сопротивление аккумулятора r, а сопротивление амперметра R. Тогда известные нам значения силы тока

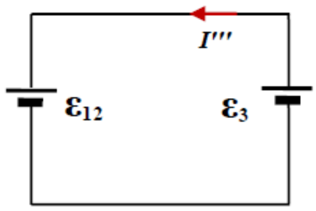
$$\begin{cases} U = rI_1 + RI_1 \\ U = rI_2 + 2RI_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R = \dfrac{I_1 - I_2}{2I_2 - I_1} r \\ U = r\dfrac{I_1 I_2}{2I_2 - I_1} \end{cases} \Rightarrow I_3 = \frac{I_1 I_2}{2I_1 - I_2} = 3\text{ А}.$$



Задача: Ученик 8 класса собрал тетраэдр из трех одинаковых практически идеальных амперметров и трех разных источников (см. рисунок). ЭДС источников равны $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 27\,\text{В}$, $\mathcal{E}_3 = 2\mathcal{E}_1 = 54\,\text{В}$, а их внутренние сопротивления $r_1 = 3$ Ом, $r_2 = 6$ Ом, $r_3 = 1$ Ом. Каковы показания амперметров?

Решение задачи: Так как амперметры «практически идеальны», то при расчете токов в ветвях с источниками их можно «закоротить». В этом случае все три эти ветви оказываются соединены параллельно (см. первый рисунок). Два источника с одинаковыми ЭДС можно считать одним источником с такой же ЭДС $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 \equiv \mathcal{E}$ (если их подключить к разомкнутой цепи, то ток в ветвях с ними течь не будет, и они будут создавать на своих клеммах напряжение, равное этому ЭДС), и с внутренним сопротивлением $r_{12} = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} = 2\,\text{Ом}$. Тогда схема преобразуется к виду, показанному на втором рисунке, и становится ясно, что ток в ветви с «третьим» источником $I''' = \dfrac{\mathcal{E}}{r_{12} + r_3} \equiv \dfrac{\mathcal{E}}{r} = 9\,\text{А}$ (здесь для краткости введены обозначения $\mathcal{E} \equiv \mathcal{E}_3 - \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_3 - \mathcal{E}_2 = 27\text{В}$ и $r \equiv \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} + r_3 = 3\text{Ом}$). Этот ток делится между ветвями с «первым» и «вторым» источникам обратно пропорционально их сопротивлениям (то есть I' в два раза больше I''), и поэтому $I'' = \dfrac{1}{3}\dfrac{\mathcal{E}}{r} = 3\,\text{А}$, а $I' = \dfrac{2}{3}\dfrac{\mathcal{E}}{r} = 6\,\text{А}$. Обозначим искомые токи через амперметры $I_{1,2,3}$.





Из соотношений непрерывности тока находим, что $I_2 + I_3 = I''' = 9\,\text{А}$, $I_1 + I_3 = I' = 6\,\text{А}$, $I_2 - I_1 = I'' = 3\,\text{А}$. Однако этих уравнений не хватит для определения токов – одно из них является следствием двух других. Вспомним, что сопротивление амперметров r_A все же не равно нулю, хоть и очень малое. По закону Ома, напряжение между точками B и C можно вычислить двумя способами: $U_{BC} = I_3 r_A = (I_1 + I_2) r_A$. Значит, $I_3 = I_1 + I_2$. Используя это уравнение вместе с любой парой из трех предыдущих, находим: $I_1 = \dfrac{1}{9}\dfrac{\mathcal{E}}{r} = 1\,\text{А}$, $I_2 = \dfrac{4}{9}\dfrac{\mathcal{E}}{r} = 4\,\text{А}$, $I_3 = \dfrac{5}{9}\dfrac{\mathcal{E}}{r} = 5\,\text{А}$.

ОТВЕТЫ: $I_1 = \dfrac{1}{9}\dfrac{\mathcal{E}}{r} = 1\,\text{А}$, $I_2 = \dfrac{4}{9}\dfrac{\mathcal{E}}{r} = 4\,\text{А}$, $I_3 = \dfrac{5}{9}\dfrac{\mathcal{E}}{r} = 5\,\text{А}$.

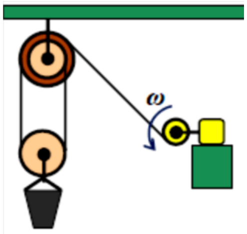
Критерии для проверки задачи:
Указано (используется в решении), что при расчете токов в ветвях с источниками можно «закоротить» амперметры (**3 балла**),
Правильно построена эквивалентная схема после «закорачивания» амперметров (**3 балла**),
Правильно определяются параметры «составного» источника (**2 балла**);
Правильно определены величины сил тока через все источники (**3×2=6 баллов**),
Получены правильные ответы для величин сил тока через амперметры (**3×2=6 баллов**).

Задание 4:

Вопрос: При каких условиях сила натяжения легкого нерастяжимого троса, перекинутого через неподвижный блок, одинакова по разные стороны от блока?

Ответ на вопрос: Сумма сил и сумма моментов сил, приложенных к легкому блоку, должны равняться нулю. Если момент сил трения равен нулю, и плечи сил двух натяжения одинаковы, то эти требования будут выполнены, только если эти силы равны. Итак: равенство сил натяжения означает, что блок легкий, «равноплечий» и вращается без трения.

Задача: Для подъема ведер с песком на стройке используют подъемное устройство из двух блоков, показанная на рисунке. Оба блока легкие, трением в их осях можно пренебречь, трос легкий и почти нерастяжимый. Неподвижный блок состоит из двух жестко соединенных цилиндров с общей осью, причем радиус большего на 20 % больше, чем у меньшего. Трос наматывается на вал двигателя радиусом r =12 см, проходит по большему радиусу верхнего блока, затем через подвижный блок возвращается на меньший радиус верхнего блока, где закреплен один из его концов. В установившемся режиме движения вал двигателя вращается с угловой скоростью ω =30 с$^{-1}$, трос нигде не скользит. Масса ведра с песком m = 20 кг. Найдите для этого режима: скорость подъема ведра и силу натяжения троса около вала двигателя. Сопротивлением воздуха пренебречь, ускорение свободного падения считайте равным $g \approx 10$ м/с^2.



Решение задачи: Поскольку трос не скользит по поверхности вала, величина скорости u, с которой движутся участки троса между валом двигателя и верхним блоком, равна скорости точек поверхности вала, то есть $u = \omega r$. Ясно, что в установившемся режиме, то есть при постоянной скорости вытягивания троса, ведро также движется с постоянной скоростью. Значит, сумма сил натяжений троса с двух сторон от подвижного блока уравновешивает силу тяжести, действующую на емкость с водой. Так как подвижный блок легкий и вращается без трения, то величины сил натяжения троса по разные стороны от него равны. Значит, величина силы натяжения троса на участке между подвижным блоком и цилиндром меньшего радиуса верхнего блока равна $T_1 = \frac{mg}{2}$.

За малый промежуток времени Δt двигатель наматывает на вал участок троса длиной $\Delta l = u \cdot \Delta t = \omega r \cdot \Delta t$. Так как трос не скользит по поверхности верхнего блока, то этот блок поворачивается на угол $\Delta\phi = \frac{\Delta l}{1{,}2R} = \frac{5r}{6R}\omega \cdot \Delta t$, где R – радиус меньшего цилиндра. При этом из петли троса, в которой находится подвижный блок, на цилиндр большего радиуса наматывается участок троса длиной $1{,}2R \cdot \Delta\phi = \omega r \cdot \Delta t$, а с цилиндра меньшего радиуса в эту петлю сматывается участок троса длиной $R \cdot \Delta\phi = \frac{5}{6}\omega r \cdot \Delta t$. Таким образом, длина петли изменяется на $\Delta l_n = \frac{5}{6}\omega r \cdot \Delta t - \omega r \cdot \Delta t = -\frac{1}{6}\omega r \cdot \Delta t$. Значит, ведро действительно поднимается – со скоростью

$$v = -\frac{\Delta l_n}{2\Delta t} = \frac{\omega r}{12} = 0{,}3 \text{ м/с}.$$

Так как в рамках заданных условии приближений потерями в системе блоков можно пренебречь, то полезная работа двигателя равна работе по перемещению ведра, то есть

$$P = mg \cdot v = \frac{1}{12} mg\omega r = 60 \text{ Вт}.$$

С другой стороны, эта же мощность может быть выражена через искомую величину силы натяжения троса на участке между валом двигателя и верхним блоком:

$$P = T_2 \cdot u = T_2 \omega r \Rightarrow T_2 = \frac{mg}{12} \approx 16{,}7 \text{ Н}.$$

Данная система обеспечивает 12-кратный выигрыш в силе!

<u>Примечание</u>: величина силы натяжения троса на участке между валом двигателя и верхним блоком может быть найдена независимо от двух предыдущих ответов из условия равенства нулю суммы моментов сил, приложенных к «легкому» верхнему блоку: $T_1 \cdot 1{,}2R - T_1 \cdot R - T_2 1{,}2R = 0$, откуда следует, что $T_2 = \frac{1}{6}T_1 = \frac{mg}{12} \approx 16{,}7$ Н.

ОТВЕТЫ: Скорость подъема ведра $v = \frac{\omega r}{12} = 0{,}3$ м/с, силу натяжения троса около вала двигателя $T_2 = \frac{mg}{12} \approx 16{,}7$ Н.

Критерии для проверки задачи:

Правильно использованы в решении: условие отсутствия проскальзывания (**2 балла**), условие нерастяжимости троса (**3 балла**), золотое правило механики или уравнения движения (**5 баллов**),

Правильно найдена величина силы натяжения троса на участке между подвижным блоком и цилиндром меньшего радиуса (**3 балла**),

Правильно определены скорость подъема ведра и сила натяжения троса около вала двигателя (**3+4=7 баллов).**