

Решение варианта 1

1. (10 баллов) Закрытому теплоизолированному литровому калориметру, полностью заполненному смесью льда и воды, сообщили 150 кДж энергии. Определите первоначальную массу льда в калориметре, если установившаяся температура 20°C? Теплообменом с окружающей средой пренебречь. Плотность льда: $\rho_{\text{л}} = 0,9 \text{ г/см}^3$. Плотность воды: $\rho_{\text{в}} = 1 \text{ г/см}^3$. Удельная теплоемкость воды: $c = 4200 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{С}$. Удельная теплота плавления льда: $\lambda = 330 \text{ кДж/кг}$.

Возможное решение:

Уравнение теплового баланса:

$$Q = m_{\text{л}}\lambda + m_{\text{л}}c_{\text{в}}\Delta t + m_{\text{в}}c_{\text{в}}\Delta t$$

Объемы тел:

$$V_{\text{л}} = \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{л}}}; \quad V_{\text{в}} = \frac{m_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}};$$

$$V_{\text{в}} + V_{\text{л}} = V$$

$$m_{\text{в}} = \left(V - \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{л}}}\right) \rho_{\text{в}}$$

Подставим в итоговую формулу и найдем $m_{\text{л}}$:

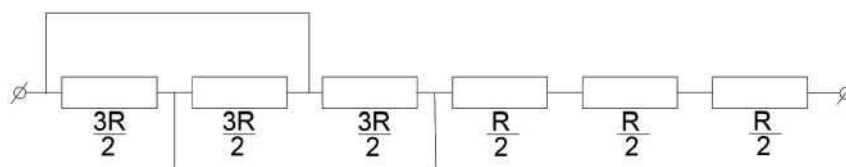
$$Q = m_{\text{л}}\lambda + m_{\text{л}}c_{\text{в}}\Delta t + \left(V - \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{л}}}\right)\rho_{\text{в}}c_{\text{в}}\Delta t$$

$$m_{\text{л}} = \frac{Q - V\rho_{\text{в}}c_{\text{в}}\Delta t}{\lambda + c_{\text{в}}\Delta t + \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{л}}}c_{\text{в}}\Delta t}$$

$$m_{\text{л}} \approx 206 \text{ г.}$$

Выполнение	Балл
Участник не приступал к заданию или выполнил его с самого начала неверно	0
Верно записаны объёмы тел	3
Получена связь между массами воды и льда	2
Записано уравнение теплового баланса	3
Верно получен численный ответ	2
Всего баллов	10

2. (15 баллов) Любопытный ученик собирает установку. Когда он дошел до последнего элемента, показанного на рисунке, то обнаружил, что у него сгорело два резистора. Сможет ли ученик переписать схему таким образом, чтобы сохранить её сопротивление?



Возможное решение:

Общее сопротивление параллельного участка: $R_{\text{параллельных}} = R/2$

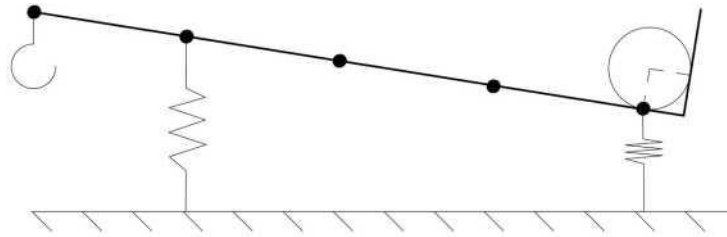
Общее сопротивление последовательного участка: $R_{\text{последовательных}} = 3R/2$

Общее сопротивление цепи: $R_{\text{о}} = 2R$

Какие бы два резистора не сгорели, в любом случае у ученика останется один резистор с сопротивлением $3R/2$ и один $R/2$. Если соединить эти резисторы последовательно, то получится сопротивление $2R$. А значит, что в любом случае ученик сможет получить итоговое сопротивление.

Выполнение	Балл
Участник не приступал к заданию или выполнил его с самого начала неверно.	0
Верно посчитано сопротивление параллельного участка	8
Верно посчитано сопротивление последовательного участка	2
Есть объяснение, что задача решается в любом случае	5
Всего баллов	15

3. (15 баллов) На рисунке представлена установка из двух одинаковых пружин, невесомого рычага с крюком и тяжелого цилиндра. Какой массы груз надо подвесить на крюк рычага, чтобы цилиндр, массой $m = 1$ кг с него скатился? Трение между цилиндром и рычагом отсутствует. Расстояние между точками, отмеченными на рычаге, одинаковое.



Возможное решение:

Рассматривается позиция, когда рычаг находится в горизонтальном положении.

Запишем условия равновесия рычага:

$$2F_{\text{упр}} = (M+m)g$$

По правилу моментов относительно точки соприкосновения цилиндра с рычагом:

$$F_{\text{упр}} \cdot 3x = Mg \cdot 4x$$

Решив систему из этих уравнений:

$$M = \frac{3m}{5}$$

$$M = 600 \text{ г.}$$

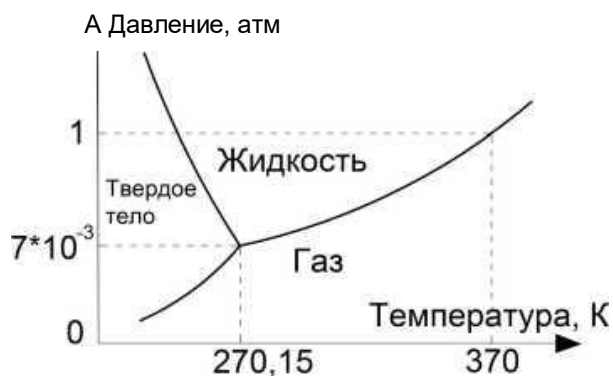
Так как, когда рычаг горизонтален, цилиндр не начнет скатываться, то масса груза должна быть больше 600 г.

Ответ: $M > 600$ г.

Выполнение	Балл
Участник не приступал к заданию или выполнил его с самого начала неверно.	0
Участник рассматривает рычаг в горизонтальном положении	3
Верно записано первое условие равновесия рычага	3
Верно записано второе условие равновесия рычага	5
Правильно получен численный ответ	2
Указано, что масса груза должна быть больше найденного значения	2
Всего баллов	15

4. (20 баллов) Ученые построили на стратостате лабораторию по изучению явлений, происходящих в атмосфере. Во время одного эксперимента они дистанционно нагревали твердое тело, находящееся на стратостате, для определения зависимости температур кристаллизации и кипения от высоты стратостата. Когда они поднялись на определенную высоту - твердое тело перестало плавиться, а стало сразу сублимироваться. Оказалось, что датчик высоты перестал работать. В научной литературе ученый нашел фазовую диаграмму состояний этого вещества (см. рисунок). Определите, на какой высоте находился стратостат? Зависимостью плотности воздуха от высоты над поверхностью Земли пренебречь. Считайте $1 \text{ атм} = 10^5 \text{ Па}$.

Плотность воздуха $\rho_v = 1 \text{ кг/м}^3$.



Возможное решение:

Так как тело перестало превращаться в жидкость, а сразу становится газом, значит, достигнута тройная точка.

Давление на поверхности:

$$P_{\text{атмосферное}} = \rho g H = 10^5 \text{ Па}$$

Высота стратостата: $h = H - h_1$

Давление на высоте тройной точки:

$$P_{\text{стратостата}} = \rho g h_1 = \rho g (H - h) = 7 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$$

Решив систему уравнений:

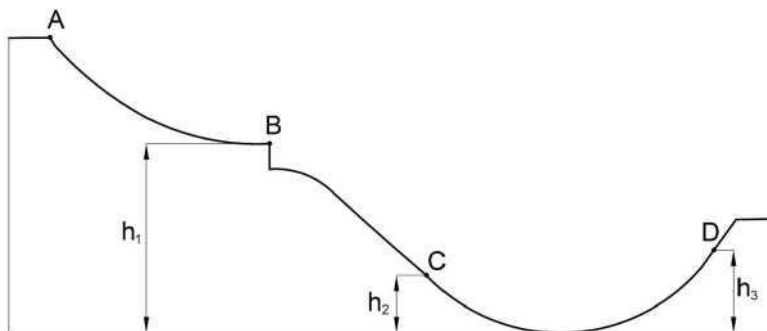
$$h = (P_a - P_c) / \rho g \approx 10 \text{ км}$$

Выполнение	Балл
Участник не приступал к заданию или выполнил его с самого начала неверно.	0
Верно понята фазовая диаграмма состояний и записано, что высота стратостата - высота, на которой давление в тройной точке	10
Записаны формулы атмосферного давления	2
Верно выражена высота стратостата	5
Верно получен численный ответ	3
Всего баллов	20

5. (20 баллов) Во время соревнований по прыжкам с трамплина лыжник выполнил один из своих лучших прыжков. Лыжник начинает свой разгон из точки А. В момент отрыва от трамплина в точке В его скорость составляла 100 км/ч. После приземления в точке С лыжник тормозит и останавливается в точке D, при этом за все время полета и торможения (от точки В до точки D) на работу сил сопротивления воздуха расходуется 40% энергии лыжника, а остальное - на трение лыжника о снег. Пренебрегая иными потерями энергии, определите, сколько снега расплавится при торможении, если его температура равна 0 °С.

Масса лыжника в полной экипировке вместе с лыжами 75 кг, $h_1 = 380$ м, $h_2 = 150$ м, $h_3 = 180$ м.

Удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ кДж/кг.



Возможное решение:

Записывается закон сохранения энергии относительно точек В и D:

$$E_B = E_D + |A|$$

$$E_B - E_D = |A_{\text{сил сопротивления}}| + |A_{\text{сил трения}}|$$

$$E_B - E_D = 0.4(E_B - E_D) + Q$$

Или сразу. Так как на нагревание идет 60% всей энергии, то:

$$0.6(E_B - E_D) = Q$$

$$0.6\left(\frac{mV_2^2}{2} + mgh_1 - mgh_3\right) = \lambda m_{\text{снега}}$$

$$m_{\text{снега}} = \frac{0.6\left(\frac{mV_2^2}{2} + mg(h_1 - h_3)\right)}{\lambda}$$

$$m_{\text{снега}} = 380 \text{ г.}$$

Выполнение	Балл
Участник не приступал к заданию или выполнил его с самого начала неверно.	0
Записаны формулы механической энергии	3
Записан закон сохранения энергии	6
Записано, что работа сил трения о снег - это количество выделившейся теплоты	3
Количество теплоты выражено через массу снега	2
Верно выражена масса снега	4
Получен численный ответ	2
Всего баллов	20

**Заключительный (очный) этап академического соревнования
Олимпиады школьников «Шаг в будущее»
по общеобразовательному предмету «физика», весна 2020 г.
8 класс
Ситуационная задача**

Вариант 3

Испарительный охладитель состоит из вентилятора, прогоняющего воздух через ряд увлажненных пластин. Скорость испарения при прочих равных условиях зависит от расхода воздуха, пропускаемого через устройство.

Определите запас воды в устройстве, обеспечивающий работу в течение 4 часов при отводимой из воздуха комнаты тепловой мощности 0,1 кВт. Удельная теплота испарения воды 2258000 Дж/кг.

Решение:

Энергия, поглощаемая из окружающей среды при испарении известной массы воды равна

$$E_{vap} = mr_{vap}.$$

Мощность – это расход энергии в единицу времени. Поделив обе части уравнения на время получим:

$$\frac{E_{vap}}{t} = \frac{r_{vap}m}{t}.$$

Здесь левая часть уравнения равна поглощаемой тепловой мощности N_{cool} , а m/t – скорость испарения (секундный массовый расход) воды. Таким образом:

$$N_{cool} = \frac{r_{vap}m}{t}$$
$$v_{и} = \frac{m}{t} = \frac{N_{cool}}{h_{vap}} = \frac{100}{2258000} = 0,000044 \frac{\text{кг}}{\text{с}} = 0,16 \frac{\text{кг}}{\text{час}}.$$

Необходимое количество воды для работы в течение 4 часов равно

$$m = v_{и}t = 0,16 \cdot 4 = 0,64 \text{ кг}.$$

Решение варианта 2

1. (10 баллов) Ученик изучал условия плавания тел. В его распоряжении было две различные жидкости, которые легко смешивались между собой. Он взял равные объемы этих жидкостей, налил в один сосуд и перемешал их. Затем в этот сосуд был помещен кубик, который погрузился в жидкость на $\frac{4}{9}$ своего объема. В следующем опыте ученик погружал кубик в каждую из этих жидкостей по отдельности. На какую часть своего объема кубик погружался в этих двух случаях?

Возможное решение:

Условие равновесия кубика в сосуде со смешанными жидкостями:

$$mg - \frac{4}{9} \rho_c g V = 0,$$

Откуда

$$\rho_k = \frac{4}{9} \rho_c$$

ρ_c – плотность смеси; ρ_k – плотность кубика; ρ_1 – плотность первой жидкости; ρ_2 – плотность второй жидкости

$$\rho_c = \frac{m_1 + m_2}{2V} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$$

Условие равновесия кубика в первой жидкости:

$$\rho_k V g = \rho_1 k V$$

Условие равновесия кубика во второй жидкости:

$$\rho_k V g = \rho_2 g (1 - k) V,$$

k – часть объема кубика, погруженная в жидкость.

Решая совместно, получим квадратное уравнение:

$$k^2 - k + \frac{2}{9} = 0, \text{ данное уравнение имеет 2 вещественных корня}$$

$$k_1 = \frac{1}{3}, \quad k_2 = \frac{2}{3}$$

Критерии оценивания

Выполнение	Балл
Участник не приступал к заданию или выполнил его с самого начала неверно	0
Верно записаны условия равновесия кубика в жидкостях для 3-х случаев	по 2 за каждое условие
Верно записано выражение для плотности смеси	2
Правильно получено квадратное уравнение относительно искомой величины	1
Верно посчитан численный ответ	1
Всего баллов	10

2. (15 баллов) В стеклянную вертикальную колбу цилиндрической формы налита вода. Высота столба воды в колбе составляет 20 см. Колбу с водой нагревают на 10°C . На какую величину и как изменится высота столба воды в колбе после нагревания, если объемный коэффициент теплового

расширения (показывает во сколько раз изменится объем тела при нагревании на 1 К) воды равен $3,02 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$? Как при этом изменится масса воды?

Возможное решение:

Увеличение объема воды при нагреве на ΔT с учётом коэффициента теплового расширения k составит:

$$\Delta V = V \cdot k \cdot \Delta T = S \cdot h \cdot k \cdot \Delta T$$

изменение объема воды при этом:

$$\Delta V = S \cdot \Delta h$$

приравняем и выразим Δh :

$$S \cdot \Delta h = S \cdot h \cdot k \cdot \Delta T$$

Высота столба воды в колбе увеличится на

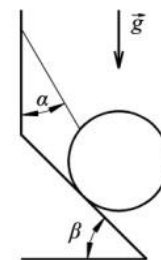
$$\Delta h = h \cdot k \cdot \Delta T = 0,2 \cdot 3,02 \cdot 10^{-4} \cdot 10 = 1,8 \text{ мм}$$

Масса воды при этом не изменится.

Критерии оценивания

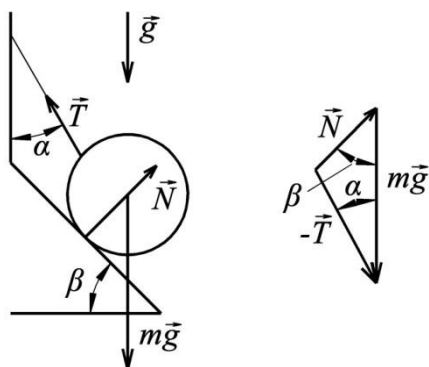
Выполнение	Балл
Участник не приступал к заданию или выполнил его с самого начала неверно	0
Верно записано выражение для изменения объема воды с учетом теплового расширения	6
Верно записано изменение объема воды в колбе	3
Правильно выражено изменение высоты столба воды в колбе и указано, что высота увеличится	2
Указано, что масса воды в колбе не изменится	2
Верно посчитан численный ответ	2
Всего баллов	15

3. (15 баллов) Шар удерживается в равновесии наклонной плоскостью и нитью, прикрепленной к стене. Угол $\alpha=30^\circ$, угол $\beta=45^\circ$. Чему равна сила нормальной реакции наклонной плоскости, если сила натяжения нити равна 7 Н? Сила трения отсутствует.



Возможное решение:

На шар действуют три силы. Запишем условия равновесия шара и покажем силы на чертеже:



$$\vec{N} + \vec{T} + m\vec{g} = 0$$

Построим векторный треугольник сил.

Тогда из треугольника получим соотношение:

$$\frac{N}{\sin \alpha} = \frac{T}{\sin \beta}$$

$$N = \frac{T \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{7 \sin 30^\circ}{\sin 45^\circ} \approx 5 \text{ Н}$$

Критерии оценивания

Выполнение	Балл
Участник не приступал к заданию или выполнил его с самого начала неверно	0
Правильно сделан рисунок с указанием действующих сил	3
Правильно построен треугольник сил	7
Верно выражена сила нормальной реакции опоры	3
Верно посчитан численный ответ	2
Всего баллов	15

4. (20 баллов) Из одного населенного пункта в другой отправляются друг за другом с некоторыми интервалами пешеход, велосипедист и автомобилист. Скорости пешехода и автомобилиста соответственно равны 3 км/ч и 48 км/ч. К некоторому моменту времени пешеход прошёл четверть пути, велосипедист оказался на середине пути, а автомобилисту осталось проехать всего четверть пути. При этом время запаздывания велосипедиста относительно пешехода от времени запаздывания автомобилиста относительно велосипедиста отличается в 1,6 раза. Определите скорость велосипедиста.

Возможное решение:

Уравнение движения пешехода:

$$\frac{S}{4} = v_1 t$$

Уравнение движения велосипедиста:

$$\frac{S}{2} = v_2 (t - \Delta t_{21}) = v_2 t_1$$

Уравнение движения автомобилиста:

$$\frac{3}{4} S = v_3 (t - \Delta t_{21} - \Delta t_{32}) = v_3 (t_1 - \Delta t_{32}) = v_3 t_2, \text{ где } v_1 - \text{ скорость пешехода,}$$

v_2 – скорость велосипедиста, v_3 – скорость автомобилиста, Δt_{21} – время запаздывания велосипедиста относительно пешехода, Δt_{32} – время запаздывания автомобилиста относительно велосипедиста.

Разделив уравнения друг на друга, получим:

$$\frac{t}{t_1} = \frac{1}{2} \frac{v_2}{v_1} \quad \text{и} \quad \frac{t_1}{t_2} = \frac{2v_3}{3v_2}$$

Учтем, что

$$\Delta t_{21} = t - t_1, \quad \Delta t_{32} = t_1 - t_2$$

Искомое отношение:

$$\frac{\Delta t_{21}}{\Delta t_{32}} = \frac{t - t_1}{t_1 - t_2} = \frac{\frac{t}{t_1} - 1}{1 - \frac{t_2}{t_1}} = \frac{\frac{v_2}{2v_1} - 1}{1 - \frac{3v_2}{2v_3}} = n$$

Выразим отсюда искомую скорость

$$v_2 = \frac{n+1}{\frac{1}{2v_1} + \frac{3n}{2v_3}} = \frac{1,6+1}{\frac{1}{2 \cdot 3} + \frac{3 \cdot 1,6}{2 \cdot 48}} = 12 \text{ м/с}$$

Критерии оценивания

Выполнение	Балл
Участник не приступал к заданию или выполнил его с самого начала неверно	0
Верно записаны уравнения движения всех трех тел	по 3 за каждое уравнение
Выбран правильный математический способ решения системы уравнений	6
Правильно выражена искомая величина	3
Верно посчитан численный ответ	2
Всего баллов	20

5. (20 баллов) Для приготовления ужина туристы налили воды из озера в котелок, который затем подвесили над костром. Вода закипела через 20 минут. В этот момент туристы решили, что сильно проголодались и решили добавить еще некоторое количество воды из озера в котелок. Вода в котелке охладилась на 14°C , а через 4 минуты снова закипела. Какая температура воды в озере? Считайте, что костёр отдавал постоянное количество теплоты в единицу времени. Тепловые потери не учитывать.

Возможное решение:

Количество теплоты для нагревания первой порции воды до кипения:

$$Q_1 = cm_1(t_k - t_o)$$

Количество теплоты для нагревания второй порции воды до кипения:

$$Q_2 = cm_2(t_k - t_o)$$

$$t_k = 100^\circ\text{C}, t_o - \text{температура воды в озере}$$

Разделив уравнения друг на друга, получим:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{m_1}{m_2}.$$

Т.к. костёр отдавал постоянное количество теплоты в единицу времени:

$$\frac{Q_1}{\tau_1} = \frac{Q_2}{\tau_2}, \text{ тогда } \frac{m_1}{m_2} = \frac{\tau_1}{\tau_2}.$$

Запишем уравнение теплового баланса для теплообмена между первой и второй порциями воды: $m_1 \Delta t = m_2 (t_{cm} - t_o)$, где $\Delta t = t_k - t_{cm} = 14^\circ\text{C}$, t_{cm} – температура воды в котелке после доливания второй порции.

Выражая неизвестные величины из предыдущих уравнений и подставляя в уравнение теплового баланса:

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} \Delta t = t_k - \Delta t - t_o, \text{ откуда } t_o = t_k - \Delta t \left(1 + \frac{\tau_1}{\tau_2} \right) = 16^\circ\text{C}$$

Критерии оценивания

Выполнение	Балл
Участник не приступал к заданию или выполнил его с самого начала неверно	0
Правильно записано количество теплоты для нагревания первой порции воды	2
Правильно записано количество теплоты для нагревания второй порции воды	5
Правильно записано уравнение теплообмена между двумя порциями воды	3
Верно используется факт постоянства тепловой мощности костра	4
Верно решена система уравнений	4
Верно посчитан численный ответ	2
Всего баллов	20

**Заключительный (очный) этап академического соревнования
Олимпиады школьников «Шаг в будущее»
по общеобразовательному предмету «физика», весна 2020 г.
8 класс
Ситуационная задача**

Вариант 5

Испарительный охладитель состоит из вентилятора, прогоняющего воздух через ряд увлажненных пластин. Скорость испарения при прочих равных условиях зависит от расхода воздуха через устройство.

Определите скорость испарения воды из устройства (в кг/ч), обеспечивающую отвод из воздуха комнаты тепловой мощности 0,1 кВт. Удельная теплота испарения воды 2258000 Дж/кг.

Решение

1. Энергия, поглощаемая из окружающей среды при испарении известной массы воды равна

$$E_{vap} = mr_{vap}.$$

Мощность – это расход энергии в единицу времени. Поделив обе части уравнения на время получим:

$$\frac{E_{vap}}{t} = \frac{r_{vap}m}{t}.$$

Здесь левая часть уравнения равна поглощаемой тепловой мощности, а m/t – требуемая скорость испарения (секундный массовый расход) воды. Таким образом:

$$N_{cool} = \frac{r_{vap}m}{t}$$
$$\frac{m}{t} = \frac{N_{cool}}{h_{vap}} = \frac{100}{2258000} = 0,000044 \frac{\text{кг}}{\text{с}} = 0,16 \frac{\text{кг}}{\text{час}}.$$