



Заключительный этап Олимпиады школьников «Шаг в будущее»

Профиль: «Физика»

Класс участия: 8

Вариант задания: 1

Задача 1 (10 баллов).

Ко дну цилиндрической бочки с водой привязан нитью кусок льда так, что над поверхностью выступает некоторый его объем. При этом нить натянута с силой 8 Н. Найдите изменение уровня воды в бочке, если весь лед растает. Плотность воды 1000 кг/м^3 . Площадь дна бочки 800 см^2 . Ускорение свободного падения принять за 10 м/с^2 .

Решение:

Запишем равенство сил в первом случае:

$$mg + T = F_A$$

Выразим объем вытесненной жидкости:

$$\rho_{\text{л}} V g + T = \rho_{\text{в}} g V_1$$

$$\rho_{\text{л}} V g + T = \rho_{\text{в}} g V_1$$

$$V_1 = \frac{\rho_{\text{л}} V g + T}{\rho_{\text{в}} g}$$

Выразим объем вытесненной жидкости при таянии льда:

$$V_2 = \frac{\rho_{\text{л}}}{\rho_{\text{в}}} V$$

Найдем изменение уровня жидкости:

$$\Delta h = \frac{V_1 - V_2}{S}$$

Подставим:

$$\Delta h = \frac{\frac{\rho_{\text{л}} V g + T}{\rho_{\text{в}} g} - \frac{\rho_{\text{л}} V}{\rho_{\text{в}}}}{S} = \frac{\frac{\rho_{\text{л}} V}{\rho_{\text{в}}} + \frac{T}{\rho_{\text{в}} g} - \frac{\rho_{\text{л}} V}{\rho_{\text{в}}}}{S} = \frac{T}{S \rho_{\text{в}} g} = \frac{8}{0,08 \cdot 1000 \cdot 10} = 0,01 \text{ м.}$$

Ответ: 1 см.



Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

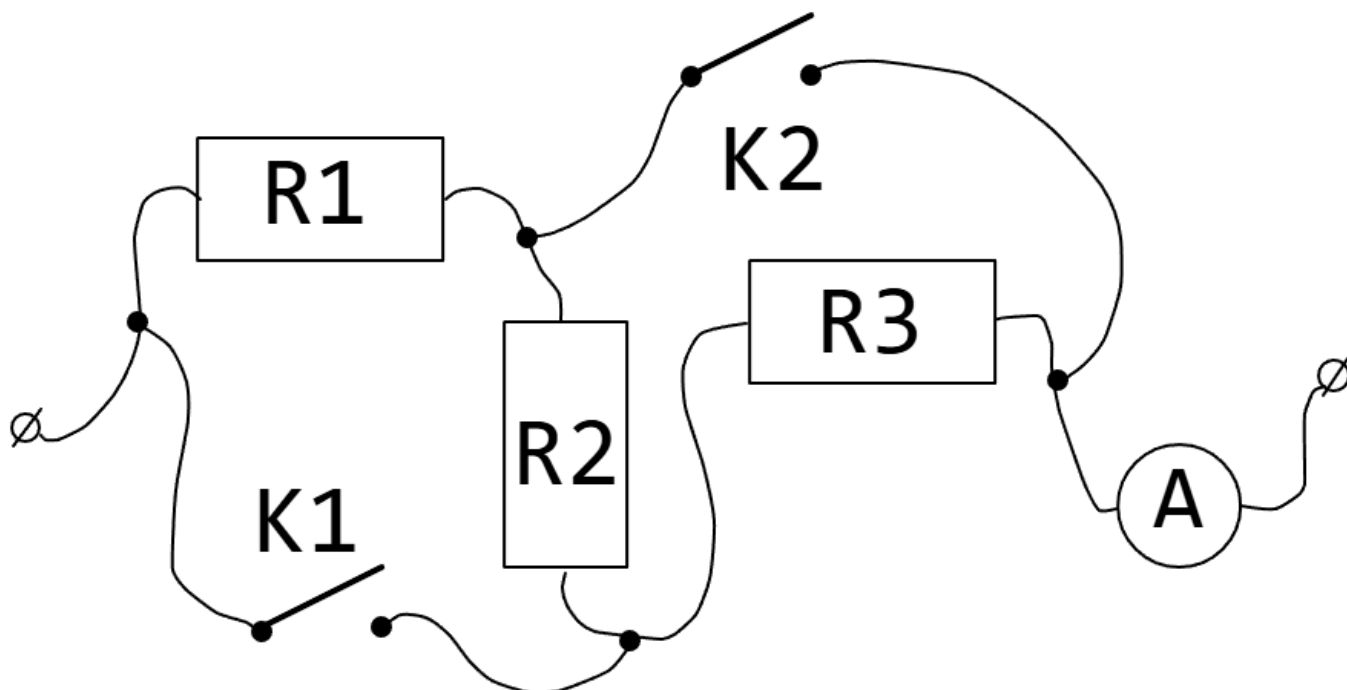
Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 1	
Элемент решения	Баллы
Верно записано равенство сил	2
Верно выражен объем вытесненной жидкости в первом случае	3
Верно выражен объем вытесненной жидкости во втором случае	2
Приведены правильные математические преобразования и получен верный числовой ответ	3
ИТОГО	10



Задача 2 (15 баллов).

При подключении схемы к идеальному источнику напряжения идеальный амперметр показывает в установившемся режиме 3 А. После замыкания ключей он стал показывать в установившемся режиме 30 А. Что будет показывать тот же амперметр, если резистор R_3 поменять местами с замкнутым ключом K_1 , а ключ K_2 разомкнуть? Отношение сопротивления первого резистора к сопротивлению второго равно 0,5. Сопротивлением проводов пренебречь.



Решение:

Запишем закон Ома в случае, когда все ключи разомкнуты:

$$U = I_1(R_1 + R_2 + R_3)$$

$$U = I_1(R_1 + 2R_1 + R_3)$$

$$U = I_1(3R_1 + R_3)$$

Запишем закон Ома в случае, когда все ключи замкнуты:

$$U = I_2 \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}$$

$$U = I_2 \frac{R_1 2R_1 R_3}{R_1 2R_1 + 2R_1 R_3 + R_1 R_3}$$



$$U = I_2 \frac{2R_1^2 R_3}{2R_1^2 + 3R_1 R_3}$$

Запишем закон Ома после смены элементов цепи:

$$U = I_3 \frac{R_3(R_1 + R_2)}{R_3 + R_1 + R_2}$$

$$U = I_3 \frac{R_3(R_1 + 2R_1)}{R_3 + R_1 + 2R_1}$$

$$U = I_3 \frac{3R_3 R_1}{R_3 + 3R_1}$$

Приравняем первый случай ко второму:

$$I_1(3R_1 + R_3) = I_2 \frac{2R_1^2 R_3}{2R_1^2 + 3R_1 R_3}$$

Подставим токи и приведем к виду:

$$2R_1^2 - 3R_3 R_1 + R_3^2 = 0$$

Решим относительно R_1 :

$$\begin{aligned} R_1 &= R_3 \\ R_1 &= 0,5R_3 \end{aligned}$$

Решим задачу двух вариантов. Подставим в третий случай и приравняем к первому:

$$1) I_3 \frac{3R_3 R_3}{R_3 + 3R_3} = 3(3R_3 + R_3)$$

$$I_3 = \frac{12 \cdot 4}{3} = 16 \text{ A}$$

$$2) I_3 \frac{3R_3 \cdot 0,5R_3}{R_3 + 1,5R_3} = 3(1,5R_3 + R_3)$$

$$I_3 = \frac{7,5 \cdot 2,5}{1,5} = 12,5 \text{ A}$$

Ответ: $I_3 = 12,5 \text{ A}$; $I_3 = 16 \text{ A}$.



Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 2	
Элемент решения	Баллы
Верно записан закон Ома в первом случае	2
Верно записан закон Ома во втором случае	3
Верно записан закон Ома в третьем случае	3
Верно получено отношение сопротивлений любого из резисторов с третьим	4
Приведены правильные математические преобразования и получен верный числовой ответ	3
ИТОГО	15



Задача 3 (16 баллов).

Торт медовик представляет из себя слои коржей и крема, поочередно установленные друг на друга и имеющие постоянную толщину. Известно, что толщина слоя теста на 15% меньше толщины слоя крема, а плотность крема на 20% больше плотности теста. Найдите среднюю плотность торта, если плотность крема ρ . Считать количество слоев коржей равным количеству слоев крема.

Решение:

Запишем уравнение средней плотности:

$$\rho_0 = \frac{\rho V_1 + \rho_2 V_2}{V}$$

Выразим из условия:

$$V_1 = Sh_1$$

$$V_2 = Sh_2$$

$$h_2 = 0,85h_1$$

$$V_2 = 0,85V_1$$

$$V = 1,85V_1$$

Также из условия:

$$1,2\rho_2 = \rho$$

Подставим в формулу средней плотности:

$$\rho_0 = \frac{\rho V_1 + \frac{\rho}{1,2} 0,85V_1}{1,85V_1} = 0,923$$

Ответ: $0,923\rho$



Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

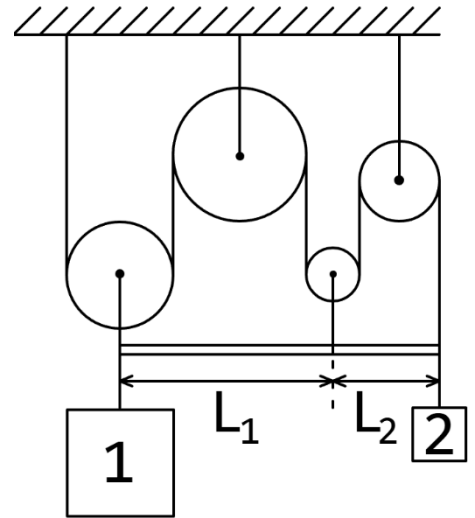
Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 3	
Элемент решения	Баллы
Верно записано уравнение средней плотности	2
Верно выражено соотношение толщин слоев	3
Верно записано соотношение плотностей слоев	3
Приведены правильные математические преобразования и получен верный числовой ответ	8
ИТОГО	16



Задача 4 (18 баллов).

На рисунке изображена находящаяся в положении равновесия система из невесомых рычага, нитей и блоков, трение в которых отсутствует. Зная L_1 и L_2 , определите отношение массы первого груза к массе второго. Сделайте чертеж с указанием всех действующих на систему сил.



Решение:

Расставим силы. Пронумеруем блоки слева направо: 1, 2, 3 и 4. Пусть T — сила натяжения самой длинной нити. T_1 — сила натяжения нити, натянутой между первым блоком и рычагом. T_2 — сила натяжения нити, натянутой между третьим блоком и рычагом.

Тогда из условия равновесия блоков:

$$2T = T_1$$

$$2T = T_2$$

Запишем правило рычага относительно точки крепления второго груза к рычагу:

$$T_2 L_2 + T_1 (L_1 + L_2) - m_1 g (L_1 + L_2) = 0$$

$$2T L_2 + 2T (L_1 + L_2) - m_1 g (L_1 + L_2) = 0$$

$$2T (L_2 + L_1 + L_2) = m_1 g (L_1 + L_2)$$

$$2T (2L_2 + L_1) = m_1 g (L_1 + L_2)$$

Запишем правило рычага относительно точки крепления первого груза к рычагу:

$$T_2 L_1 + T (L_2 + L_1) - m_2 g (L_1 + L_2) = 0$$

$$2T L_1 + T (L_2 + L_1) - m_2 g (L_1 + L_2) = 0$$

$$T (2L_1 + L_2 + L_1) = m_2 g (L_1 + L_2)$$



$$T(3L_1 + L_2) = m_2 g(L_1 + L_2)$$

Определим отношение масс:

$$\frac{2T(2L_2 + L_1)}{T(3L_1 + L_2)} = \frac{m_1 g}{m_2 g}$$

$$\frac{m_1}{m_2} = 2 \frac{2L_2 + L_1}{3L_1 + L_2}$$

Ответ: $\frac{m_1}{m_2} = 2 \frac{2L_2 + L_1}{3L_1 + L_2}$.

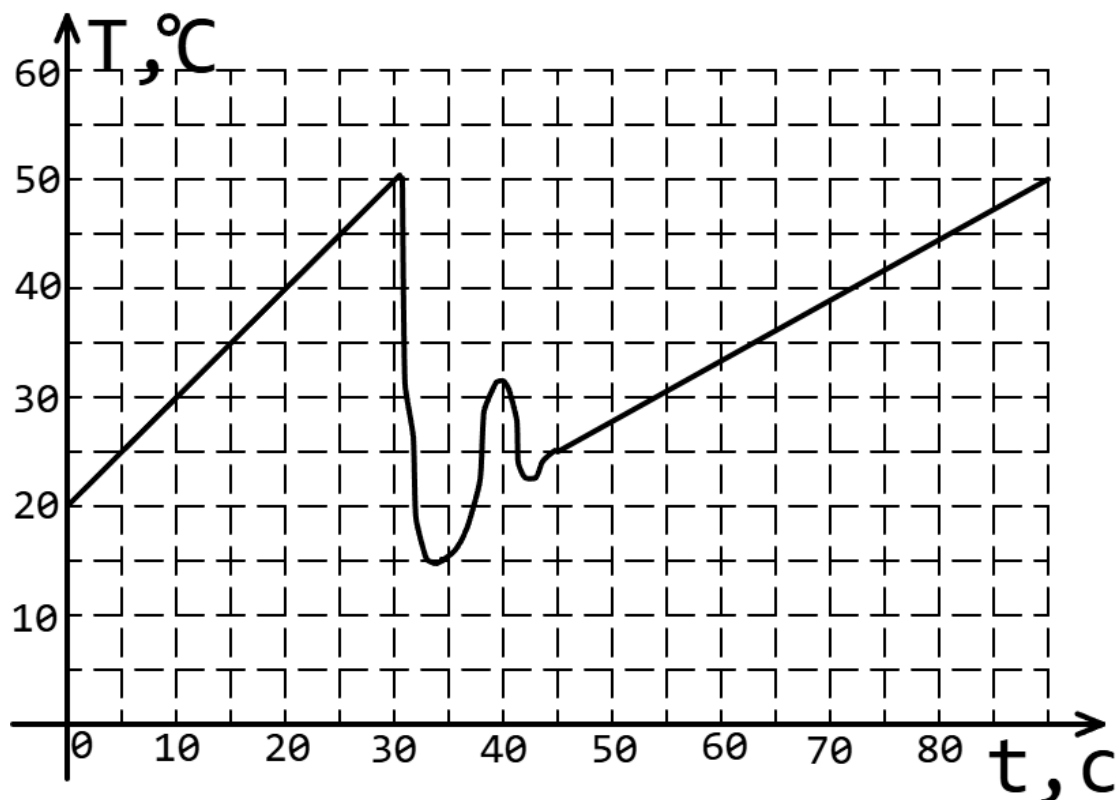
Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 4	
Элемент решения	Баллы
Верно расставлены и подписаны все силы на чертеже	5
Верно записаны условия равновесия блоков	3
Верно записаны условия равновесия рычага относительно двух точек крепления грузов	5
Приведены правильные математические преобразования и получен верный числовой ответ	5
ИТОГО	18



Задача 5 (21 балл).

Для создания партии бижутерии на заводе потребовалось сделать сплав ювелирной стали. Для этого в тигле с термометром нагревался кусок стали массой 0,9 кг. Спустя какое-то время в тигель стали досыпать стружку латуни. Удельная теплоемкость латуни 400 Дж/(кг·К). Удельная теплоемкость стали 500 Дж/(кг·К). По графику зависимости температуры термометра от времени определите массу стружки, которую добавили в тигель и мощность нагревательного устройства. Тепловыми потерями пренебречь, а также теплоёмкостью тигля и термометра пренебречь.



Решение:

Рассмотрим первые 30 секунд графика:

Так как зависимость температуры от времени линейна, а после этой части она прерывается, — то это означает, что первые 30 секунд нагревается только сталь.

Найдем мощность нагревателя:

$$Q_1 = P\Delta t_1$$



По закону сохранения энергии:

$$Q_1 = Q_2$$

Где Q_1 — энергия, полученная от нагревателя, Q_2 — энергия, полученная сталью.

Найдем мощность:

$$P = \frac{c_c m_c \Delta T_1}{\Delta t_1} = \frac{500 \cdot 0,9 \cdot 30}{30} = 450 \text{ Вт.}$$

Рассмотрим вторую линейную часть графика от 45 до 90 секунд:

Очевидно, что идет нагрев смеси. Тогда:

$$Q_3 = P \Delta t_2$$

По закону сохранения энергии, количество теплоты, полученное смесью равно количеству теплоты, отдаваемой нагревателем:

$$c_c m_c \Delta T_2 + c_l m_l \Delta T_2 = P \Delta t_2$$

Выразим массу латуни:

$$c_c m_c \Delta T_2 + c_l m_l \Delta T_2 = \frac{c_c m_c \Delta T_1}{\Delta t_1} \Delta t_2$$

$$m_l = \frac{\frac{c_c m_c \Delta T_1}{\Delta t_1} \Delta t_2 - c_c m_c \Delta T_2}{c_l \Delta T_2} = m_c \left(\frac{c_c \Delta T_1 \Delta t_2}{c_l \Delta T_2 \Delta t_1} - \frac{c_c}{c_l} \right) = \frac{c_c}{c_l} m_c \left(\frac{\Delta T_1 \Delta t_2}{\Delta T_2 \Delta t_1} - 1 \right)$$

$$m_l = \frac{500}{400} 0,9 \left(\frac{30 \cdot 45}{25 \cdot 30} - 1 \right) = 0,9 \text{ кг}$$

Ответ: $m_l = 0,9$ кг, $P = 450$ Вт.



Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 5	
Элемент решения	Баллы
Верно определена мощность нагревателя	7
Верно записан закон сохранения энергии во втором случае	6
Приведены правильные математические преобразования и получен верный числовой ответ	8
ИТОГО	21



Задача 6 (20 баллов).

Двухкомпонентный жидкостный ракетный двигатель (ЖРД) создаёт тягу за счёт преобразования химической энергии компонентов топлива (горючего и окислителя) в кинетическую энергию реактивной струи продуктов сгорания. Одним из самых распространенных топлив для ракет-носителей («Союз», «Фалькон», «Чанчжэн» и др.) является пара: керосин (горючее) и кислород (окислитель).

Для повышения мощности керосин-кислородного ракетного двигателя предлагается заменять часть керосина на горючее с большей теплотой сгорания, тем самым осуществляется переход к трёхкомпонентному ЖРД. Для этих целей может использоваться порошкообразный алюминий, частицы которого подаются в камеру сгорания ракетного двигателя и после сгорания (окисления) вместе с потоком других продуктов сгорания через сопло выбрасываются в окружающее пространство. При этом алюминий сгорает не сразу, что в дальнейшем может вызывать возгорание, если его частицы заденут внутреннюю стенку камеры сгорания или другие частицы. Установлено, что доля частиц, имеющих возможность контактировать со стенкой, составляет $\delta = 0,0975$ от числа всех частиц алюминия, при этом стенку задевает только каждая тысячная частица из них. При касании стенки воспламеняется одна частица из 10000. От загоревшейся частицы воспламенение стенки происходит в одном случае из 100000. Частицы по сечению распределены равномерно.

Определите какое минимальное количество частиц алюминия нужно добавить в бак, чтобы гарантировано произошло воспламенение стенки.

На сколько процентов изменится объём бака горючего ракеты-носителя с керосин-кислородным ракетным двигателем РД-190, если 10% массы керосина (плотность 800 кг/м^3) заменить на порошкообразный алюминий (плотность 2700 кг/м^3)?



Решение:

1. Полная масса горючего M_{Γ}

Объем горючего

$$V_{\Gamma 1} = M_{\Gamma} / \rho_{\kappa}$$

Замена 10% керосина на алюминий приведет к следующему составу горючего по объёму

$$V_{\Gamma 2} = \frac{0,9 \cdot M_{\Gamma}}{\rho_{\kappa}} + \frac{0,1 \cdot M_{\Gamma}}{\rho_{\alpha}} = M_{\Gamma} \left(\frac{0,9}{\rho_{\kappa}} + \frac{0,1}{\rho_{\alpha}} \right).$$

Тогда объём бака горючего уменьшится на

$$\eta = \frac{V_{\Gamma 2} - V_{\Gamma 1}}{V_{\Gamma 1}} = \frac{0,9\rho_{\alpha} + 0,1\rho_{\kappa}}{\rho_{\alpha}} - 1.$$
$$\eta = \frac{0,9 \cdot 2700 + 0,1 \cdot 800}{2700} - 1 = -0,07 = -7\%.$$

2. Если N – общее число частиц алюминия, то число частиц, имеющих возможность контактировать со стенкой, равно

$$n_{\text{опас}} = N \cdot \delta.$$

Число столкнувшихся со стенкой частиц составляет

$$n_{\text{столкн}} = N \cdot \delta / 1000$$

Число воспламенившихся частиц

$$n_{\text{восп}} = \frac{n_{\text{столкн}}}{10000}.$$

Должна быть хотя бы 1 частица, которая повредит стенку бака

$$\frac{N \cdot \delta}{10^3 \cdot 10^4 \cdot 10^5} = 1.$$

Тогда

$$N = \frac{10^{12}}{\delta} = \frac{10^{12}}{0,0975} = 10,26 \cdot 10^{12}.$$

Ответ: 1) объём бака уменьшится на 7%; 2) $N = 10,26 \cdot 10^{12}$.



Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

Критерии оценивания

Критерии оценивания задания 6	
Элемент решения	Баллы
Сформулирована расчётная схема (в том числе, графически), выделены и правильно формализованы все необходимые физические законы	5
Составлена система уравнений и математическая модель	5
Верно учтены технические параметры, характеристики и ограничения	5
Проведены расчеты, получен верный ответ, разумный с точки зрения физического смысла	5
ИТОГО	20