

**Возможные решения задач 9 класса
муниципального этапа Всероссийской олимпиады школьников по физике
в 2025-2026**

Задача 1

Чтобы жидкость закипела при определенном давлении, кроме достижения температуры кипения, в жидкости должны присутствовать так называемые центры парообразования (воздух, примеси). Если жидкость хорошо очищена, то таких центров нет, кипение не происходит даже при превышении температуры кипения и жидкость становится перегретой. Чтобы перегретая жидкость закипела, в неё нужно добавить немного примеси.

В перегретую калориметре воду массой m_v при температуре $t = 105^\circ\text{C}$ и атмосферном давлении бросают крупинку соли, что становится причиной закипания воды. После того, как некоторое количество воды выкипит, процесс кипения прекращается. Какая часть воды выкипит? Удельная теплоёмкость воды: $c = 4,2 \text{ кДж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$ удельная теплота парообразования: $r = 2300 \text{ кДж/кг}$. Температура кипения воды $t_1 = 100^\circ\text{C}$.

Решение

На образование пара массой $m_{\text{п}}$ затрачивается теплота равная $Q_1 = rm_{\text{п}}$. Вода охлаждается, выделяя теплоту $Q_2 = cm_v(t - t_1)$.

Таким образом, уравнение теплового баланса примет вид:

$$rm_{\text{п}} = cm_v(t - t_1).$$

Вода будет отдавать тепло, пока её температура не станет равной температуре кипения, после чего процесс кипения прекратится, так как дополнительный подогрев воды отсутствует.

Тогда отношения массы образовавшегося пара к массе остывшей воды будет равным:

$$\frac{m_{\text{п}}}{m_v} = \frac{c(t - t_1)}{r} = 9,1 \cdot 10^{-3} = 0,9\%.$$

Ответ:

$$\frac{m_{\text{п}}}{m_v} = 0,9\% .$$

Критерии оценивания задачи 1

1	Правильно составлено уравнение теплового баланса	2 балла
2	Выведена правильная формула расчёта отношения масс	4 балла
3	Верно выполнены расчёты	4 балла
Итого		10 баллов

Задача 2

Рыбак тянет находящуюся под водой рыбу массой 2 кг равноускоренно с глубины в $s_1 = 0,5 \text{ м}$ вертикально вверх удочкой с леской, и через $t_1 = 1 \text{ с}$ рыба достигает поверхности. Сила натяжения лески при этом равна $T_1 = 4 \text{ Н}$. Чему равна сила сопротивления воды?

После того, как рыба переходит из воды в воздух, рыбак продолжает тянуть её вертикально вверх уже равнозамедленно, и через $t_2 = 1 \text{ с}$ рыба достигает высоты $h = 1 \text{ м}$, после чего движение по вертикали прекращается. Чему равна сила натяжения T_2 лески в воздухе? Плотность рыбы считать равной плотности воды. Силу сопротивления воздуха не учитывать. Ускорение свободного падения считать равным 10 м/с^2 .

Решение

Если исходить из того, что начальная скорость рыбы равна нулю, то модуль ускорения, с которым её тянут под водой, можно посчитать как:

$$a_1 = \frac{2s_1}{t_1^2}$$

Из второго закона Ньютона в проекции на вертикальную ось

$$ma_1 = T_1 - mg + F_A - F_c$$

Так как плотность рыбы равна плотности воды, то сила Архимеда равна силе тяжести ($F_A = mg$). Тогда $ma_1 = T_1 - F_c$, где F_c – сила сопротивления в воде.

Откуда

$$F_c = T_1 - ma_1 = T_1 - \frac{2ms_1}{t_1^2} a_1 = 2 \text{ Н}.$$

После выхода рыбы в воздух, она движется равнозамедленно с начальной скоростью, достигнутой при ускоренном движении в воде:

$$v = a_1 t_1 = \frac{2s_1}{t_1}.$$

Через время t_2 , ее скорость уменьшается до нуля на высоте h . Следовательно модуль ускорение рыбы в воздухе:

$$a_2 = \frac{|0 - v|}{t_2} = \frac{2s_1}{t_1 t_2}.$$

Пренебрегая сопротивлением воздуха, из второго закона Ньютона в проекции на вертикальную ось

$$-ma_2 = T_2 - mg \text{ следует:}$$

$$T_2 = m(g - a_2) = m \left(g - \frac{2s_1}{t_1 t_2} \right) = 18 \text{ Н}.$$

Ответ: $F_c = 2 \text{ Н}$; $T_2 = 18 \text{ Н}$.

Критерии оценивания задачи 2

1	Получена правильная формула для определения ускорение рыбы под водой	1 балла
2	Правильно записан второй закон Ньютона для движения рыбы в воде, с учетом того, что плотность рыбы равна плотности воды	1 балл
3	Получена правильная формула для определения силы сопротивления воды	2 балла
4	Получена формула для определения начальной скорости рыбы в воздухе	1 балла
5	Получена формула для определения ускорения рыбы в воздухе	1 балл
6	Записан второй закон Ньютона для движения рыбы в воздухе	1 балл
7	Получена формула для определения силы натяжения лески в воздухе	2 балла
8	Получено верное значение силы сопротивления воды	1 балла
9	Получено верное значение силы натяжения лески в воздухе	1 балла
Итого		10 баллов

Задача 3

В калориметр, содержащий $m_{\text{в}} = 1,5 \text{ кг}$ воды температурой $t_{\text{в}} = 20^\circ\text{C}$, бросают кубики льда температурой $t_2 = -5^\circ\text{C}$ и массой по $m = 50 \text{ г}$ каждый. Какое количество кубиков необходимо бросить, чтобы охладить воду до температуры максимально близкой к замерзанию, но при этом, чтобы в воде не оставалось льда? Какова будет при этом температура воды (ответ округлить до десятых)? Теплообмен с окружающей средой не учитывать. Собственная масса калориметра равна $m_{\text{к}} = 100 \text{ г}$, начальная температура калориметра $t_{\text{к}} = t_{\text{в}} = 20^\circ\text{C}$.

Удельную теплоёмкость воды принять равной $c_{\text{в}} = 4,2 \text{ кДж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$, удельную теплоёмкость льда $c_{\text{л}} = 2,1 \text{ кДж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$, удельную теплоту плавления льда $\lambda = 340 \text{ кДж/кг}$. Удельная теплоёмкость материала, из которого изготовлен калориметр, $c_{\text{к}} = 0,4 \text{ кДж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$.

Решение

Чтобы решить эту задачу, необходимо установить, при какой массе льда температура воды в калориметре опустится до 0°C ?

Составим уравнение теплового баланса для воды, льда и калориметра:

$$c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t_{\text{в}} - 0) + c_{\text{к}}m_{\text{к}}(t_{\text{к}} - 0) = c_{\text{л}}m_{\text{л}}(0 - t_2) + \lambda m_{\text{л}}.$$

Отсюда масса льда:

$$m_{\text{л}} = \frac{c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t_{\text{в}} - 0) + c_{\text{к}}m_{\text{к}}(t_{\text{к}} - 0)}{c_{\text{л}}(0 - t_2) + \lambda} \approx 0,36 \text{ кг.}$$

Для того, чтобы в калориметре установилась температура 0°C необходимо растопить $N = m_{\text{л}}/m \approx 7,2$ кубика льда. Таким образом, если бросить 7 кубиков льда, то вода остынет до температуры близкой к нулю градусов Цельсия, если же кинуть 8 кубиков льда, то часть льда не растает.

Теперь посчитаем температуру воды после достижения теплового равновесия после того, как в неё бросили $N = 7$ кубиков льда. Уравнению теплового баланса теперь примет вид:

$$c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t_{\text{в}} - t) + c_{\text{к}}m_{\text{к}}(t_{\text{к}} - t) = c_{\text{л}}Nm(0 - t_2) + \lambda m_{\text{л}} + c_{\text{в}}Nm(t - 0).$$

Отсюда температура воды после достижения теплового равновесия станет равной:

$$t = \frac{(c_{\text{в}}m_{\text{в}} + c_{\text{к}}m_{\text{к}})t_{\text{с}} - (c_{\text{л}}t_2 + \lambda)Nm}{c_{\text{в}}(m_{\text{в}} + Nm) + c_{\text{к}}m_{\text{к}}} \approx 0,5^{\circ}\text{C}.$$

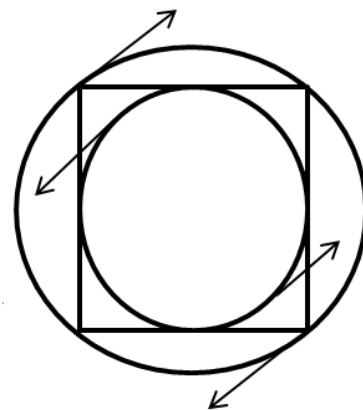
Ответ: $N = 7$; $t \approx 0,5^{\circ}\text{C}$.

Критерии оценивания задачи 3

1	Правильно записано уравнение теплового баланса для определения массы льда, необходимого для охлаждения воды до 0°C	1 балл
2	Правильно получена формула для определения массы льда	3 баллов
3	Верно посчитана масса льда и определено нужное количество кубиков льда	1 балл
4	Правильно записано уравнение теплового баланса для определения температуры теплового равновесия	1 балл
5	Получена правильная формула для определения температуры теплового равновесия	3 балла
6	Правильно посчитана температура теплового равновесия	1 балла
Итого		10 баллов

Задача 4

На квадратной спортивной площадке размером 15 на 15 метров со скоростями, равными по модулю $v = 2 \text{ м/с}$, бегают два спортсмена. Один бежит против часовой стрелки внутри площадки по окружности, вписанной в квадрат, второй по часовой стрелки вокруг площадки по окружности, описанной вокруг квадрата. В какой-то момент спортсмены встречаются. Через какой промежуток времени произойдёт следующая их встреча? Ответ в секундах округлить до целых.



Решение

Радиус меньшей окружности равен половине стороны квадрата: $R_1 = 7,5 \text{ м}$. Радиус большей окружности равен $R_2 = R_1\sqrt{2}$. Спортсмены вращаются в противоположных направлениях с угловыми скоростями $\omega_1 = \frac{v}{R_1}$

и $\omega_2 = \frac{v}{R_2} = \frac{v}{R_1\sqrt{2}}$. Новая встреча спортсменов произойдёт после того, как их суммарный угол поворота составит 2π :

$$\omega_1 t + \omega_2 t = \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}}\right) \frac{v}{R_1} t = 2\pi$$

Откуда время t , необходимое для этого:

$$t = \frac{2\pi R_1}{v \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}}\right)} \approx 14 \text{ с}.$$

Ответ: $t = 14 \text{ с}$.

Критерии оценивания задачи 4

1	Правильно определены радиусы окружностей, по которым бегут спортсмены	1 балл
3	Правильно определены угловые скорости спортсменов	2 балл
4	Правильно определено условия новой встречи спортсменов	3 баллов
5	Правильно получена формула для определения времени встречи	3 баллов
6	Правильно получен численный ответ	1 балл
Итого		10 баллов

Задача 5.

Провели эксперимент с тонкой гибкой однородной веревкой длиной $L = (100,0 \pm 1,0)$ см, лежащей на столе перпендикулярно к его краю и частично свешивающейся с края стола. Эксперимент показал, что веревка начинает соскальзывать со стола, когда свешивающаяся часть веревки равна $l = (20,0 \pm 1,0)$ см.

Выведите рабочую формулу для определения коэффициента трения скольжения веревки о поверхность стола и формулу для оценки погрешности определения коэффициента трения. Пользуясь приведенными измерениями, получите численное значение коэффициента трения и его погрешность.

Решение.

По определению, коэффициент трения

$$\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{N},$$

где $F_{\text{тр}}$ – модуль силы трения, действующая на часть веревки, лежащей на столе; N – модуль силы реакции опоры, действующая на нее (см. рис 1).

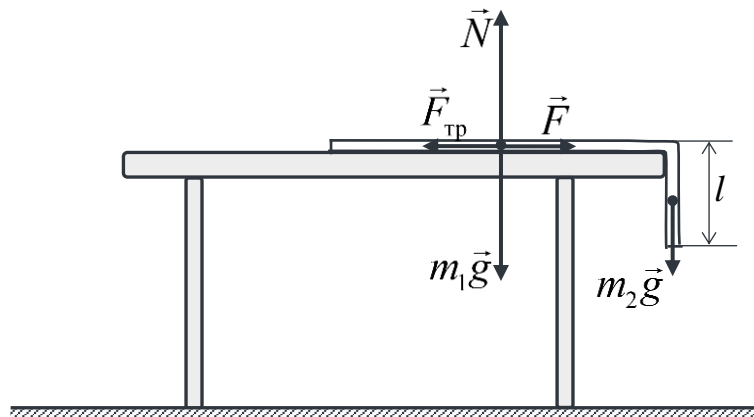


Рис. 1

Из рисунка видно, что $N = m_1 g$, где m_1 – масса веревки, лежащей на столе. $F_{\text{тр}}$ равна по модулю силы F , действующей на часть веревки, лежащей на столе в момент начала скольжения веревки, которая, в свою очередь равна по модулю силе тяжести $m_2 g$, действующей на свешивающуюся часть веревки, где m_2 – масса свешивающейся части веревки. В силу однородности веревки, $m_1 = \rho (L-l)$; $m_2 = \rho l$, где ρ – масса единицы длины веревки. Тогда

$$\mu = \frac{m_2 g}{m_1 g} = \frac{\rho l}{\rho (L-l)} = \frac{l}{(L-l)}, \quad (1)$$

Для определения коэффициента трения достаточно знать величины L и l .

Погрешность величины μ определится через относительные погрешности измеренных величин:

$$\Delta\mu = \mu \left(\frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta L + \Delta L}{L - l} \right). \quad (2)$$

Подставив результаты измерений в расчетные формулы (1) и (2), получим:

$$\mu = \frac{l}{(L - l)} = \frac{20}{100 - 20} = 0,25.$$

$$\Delta\mu = \mu \left(\frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta L + \Delta L}{L - l} \right) = 0,25 \left(\frac{1}{20} + \frac{2}{100 - 20} \right) \approx 0,019.$$

Результат измерения:

$$\mu = (0,250 \pm 0,019).$$

Относительная погрешность:

$$\varepsilon_{\mu} = \frac{0,019}{0,25} 100\% \approx 8\%.$$

Ответ: $\mu = (0,250 \pm 0,019)$; $\varepsilon_{\mu} = 8\%$.

Критерии оценивания задачи 5

1	Знание определения коэффициента трения скольжения	1 балл
2	Правильно построен рис. 1	2 балла
3	Вывод правильной рабочей формулы (1).	3 балла
4	Вывод правильной формулы (2) для подсчета погрешности измерения коэффициента трения.	3 балла
5	Правильный расчет численных значений μ и $\Delta\mu$.	1 балл
Итого		10 баллов