

**7-9 классы, подготовка к теоретическому туру
олимпиады школьников «Робофест» по физике**

Набор задач для самостоятельного решения по вводному занятию 6.

**Тема: «СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА, ТЕПЛОБМЕН И ИЗМЕНЕНИЯ АГРЕГАТНЫХ
СОСТОЯНИЙ».**

Задача 1 (1 балл) [молекулы, строение вещества]

Капля растительного масла из капиллярной пипетки массой 14 мкг растекается на поверхности воды в пятно размером 150 см². Плотность масла равна 0,7 г/см³. Оцените на основании этих данных максимальный возможный размер молекулы масла. Ответ приведите в нанометрах, округлив до десятых.

Подсказка 1: 1 мкг = 10⁻⁶г.

Подсказка 2: Размер молекулы не может быть заметно больше, чем толщина слоя.

Решение:

Отметим, что размер молекулы не может быть заметно больше, чем толщина слоя. Объем масла $14 \cdot 10^{-6} \text{ г} : 0,7 \text{ г/см}^3 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ см}^3$. Толщина слоя $2 \cdot 10^{-5} \text{ см}^3 : 150 \text{ см}^2 \approx 1,3 \cdot 10^{-7} \text{ см} = 1,3 \text{ нм}$.

ОТВЕТ: 1,3.

Задача 2 (3 балла) [теплопроводность, закон Фурье]

Два слоя теплоизоляции изготовлены из одного материала. Между ними – вещество, которое очень хорошо проводит тепло. Снаружи от обоих слоев температура постоянна и равна $t_1 = 27^\circ\text{C}$, между слоями $t_2 = 13^\circ\text{C}$, а внутри теплоизоляции – $t_3 = 6^\circ\text{C}$. Толщина внутреннего слоя равна 4 см. Какова толщина внешнего слоя? Ответ приведите в см, при необходимости округлив до целого значения.

Подсказка 1: Одинаковый поток тепла течет через оба слоя (снаружи, где температура выше, внутрь).

Подсказка 2: Согласно закону Фурье, поток тепла через единицу площади слоя вещества пропорционален разности температур по разные стороны от этого слоя и обратно пропорционален толщине слоя.

Подсказка 3: Если a – толщина внешнего, а b – толщина внутреннего слоя теплоизоляции, то из закона Фурье следует: $\frac{1}{a}(t_1 - t_2) = \frac{1}{b}(t_2 - t_3)$.

Решение:

Одинаковый поток тепла течет через оба слоя (снаружи, где температура выше, внутрь), и, с учетом закона Фурье должно выполняться равенство $\frac{1}{a}(t_1 - t_2) = \frac{1}{b}(t_2 - t_3)$, где a – толщина внешнего, а

b – толщина внутреннего слоя теплоизоляции. Из этого уравнения находим: $a = \frac{t_1 - t_2}{t_2 - t_3} b = 8 \text{ см}$.

ОТВЕТ: 8.

Задача 3 (1 балл) [теплопередача, количество теплоты, удельная теплоемкость]

Какое количество теплоты получает ртуть в медицинском термометре при нагревании от исходной температуры $t_0 = 22^\circ\text{C}$ до температуры тела человека, у которого она равна $t_1 = 37^\circ\text{C}$? Масса ртути в термометре g , удельная теплоемкость ртути $c = 0,14 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$. Ответ приведите в Дж, с точностью до сотых.

Подсказка 1: Можно воспользоваться формулой $Q = c \cdot m \cdot (t_1 - t_0)$.

Подсказка 2: $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}) = \text{Дж}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{C})$.

Решение:

Можно воспользоваться формулой $Q = c \cdot m \cdot (t_1 - t_0) = 0,14 \frac{\text{Дж}}{\text{г} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 2,2\text{г} \cdot (37 - 22)^\circ\text{C} = 4,62 \text{ Дж}$.

ОТВЕТ: 4,62.

Задача 4 (3 балла) [уравнение теплового баланса]

В ванне находится $V = 80$ л воды с температурой $t_1 = 20^\circ\text{C}$. Сколько литров воды, нагретой до $t_2 = 70^\circ\text{C}$ нужно долить в ванну, чтобы ее температура поднялась до $t = 35^\circ\text{C}$? Удельная теплоемкость воды равна $c = 4,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, теплоемкость ванны $C = 105 \text{ кДж}/^\circ\text{C}$.

Подсказка 1: Масса холодной воды $M = 80 \text{ кг}$.

Подсказка 2: Горячая вода, остывая до $t = 35^\circ\text{C}$, отдает тепло: $Q_- = c \cdot m \cdot (t_2 - t)$.

Подсказка 3: Холодная вода и ванна, нагреваясь до той же температуры, получают тепло: $Q_+ = (c \cdot m + C) \cdot (t - t_1)$.

Решение:

Масса холодной воды $M = 80 \text{ кг}$. Горячая вода, остывая до $t = 35^\circ\text{C}$, отдает тепло: $Q_- = c \cdot m \cdot (t_2 - t)$. Холодная вода и ванна, нагреваясь до той же температуры, получают тепло: $Q_+ = (c \cdot m + C) \cdot (t - t_1)$. Уравнение теплового баланса

$c \cdot m \cdot (t_2 - t) = (c \cdot M + C) \cdot (t - t_1)$ позволяет найти, что $m = \left(M + \frac{C}{c} \right) \frac{t - t_1}{t_2 - t} = 45 \text{ кг}$. Это соответствует объему в 45 литров.

ОТВЕТ: 45.

Задача 5 (3 балла) [уравнение теплового баланса]

В калориметр, содержащий $V = 6$ воды при температуре $t_1 = 21^\circ\text{C}$, опустили $m = 1 \text{ кг}$ льда с температурой $t_2 = -42^\circ\text{C}$. Определить температуру содержимого калориметра после установления теплового равновесия. Удельная теплота плавления используемого льда $\lambda = 343 \text{ кДж}/\text{кг}$, удельная теплоемкость воды равна $c_B = 4,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, удельная теплоемкость льда равна $c_L = 2,1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, теплоемкостью калориметра можно пренебречь. Ответ запишите в $^\circ\text{C}$, с точностью до десятых.

Подсказка 1: Нужно ввести предположение о конечном состоянии системы.

Подсказка 2: Например, можно составить уравнение теплового баланса, предполагая, что весь лед растает.

Подсказка 3: Тогда конечная температура будет определяться из уравнения: $c_B M(t_1 - t) - \lambda m - c_L m(t_0 - t_2) - c_B m(t - t_0) = 0$, после решения которого нужно проверить предположение.

Решение:

Масса воды $M = 6 \text{ кг}$. Составим уравнение теплового баланса, предполагая, что весь лед растает:

$$c_B M(t_1 - t) - \lambda m - c_L m(t_0 - t_2) - c_B m(t - t_0) = 0$$

(здесь $t_0 = 0^\circ\text{C}$ - температура плавления льда). Отсюда находим:

$$t = \frac{M}{M+m}t_1 + \frac{c_{\text{л}}m}{c_{\text{в}}(M+m)}t_2 - \frac{\lambda m}{c_{\text{в}}(M+m)} \approx +3,3^{\circ}\text{C}.$$

Отметим, что полученное значение положительно, что подтверждает сделанное предположение.

ОТВЕТ: 3,3.

Задача 6 (5 баллов) [уравнение теплового баланса]

Красная планета Плюм заселена разноцветными бракадашками. Что бы получить очередного бракадашку яйцо опускают в глубокий колодец, на дне которого находится неизвестная жидкость, называемая «живая вода». Цвет бракадашки зависит от температуры живой воды (см. таблицу). Колодец с живой водой священен, из него нельзя зачерпывать воду и в него нельзя опускать ничего кроме яиц бракадашек и специального груза из неизвестного на Земле сплава.

Таблица:

$t, ^{\circ}\text{C}$	цвет	№ цвета
0 - 10	черный	1
10 - 20	фиолетовый	2
20 - 30	синий	3
30 - 40	голубой	4
40 - 50	зеленый	5
50 - 60	желтый	6
60 - 70	оранжевый	7
70 - 80	красный	8
80 - 90	коричневый	9
90-100	белый	10

Алисе надо обязательно узнать какого цвета бракадашки будут вылупляться сегодня. У нее есть калориметр, который очень хорошо сохраняет температуру, и градусник. Наполнив калориметр водой с температурой, равной $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$, она опустила туда груз, который до этого находился в колодце с живой водой. Через некоторое время в калориметре устанавливается температура, равная $t_2 = 22,7^{\circ}\text{C}$. Измерив t_2 , Алиса снова поместила груз в колодец, а потом опять поместила его в калориметр. Тогда температура воды в калориметре оказалась равной $t_3 = 25,2^{\circ}\text{C}$. После этого в колодец отправилось яйцо бракадашки. Какого цвета вылупится бракадашка? В ответе укажите номер цвета.

Подсказка 1: Для определения цвета необходимо найти t - температуру живой воды на момент проведения опыта.

Подсказка 2: Уравнение теплового баланса для процесса нагревания груза после первого погружения: $C(t - t_2) = C_K(t_2 - t_1)$, где C и C_K – теплоемкости груза и калориметра с водой соответственно.

Подсказка 3: При втором погружении $C(t - t_3) = C_K(t_3 - t_2)$.

Решение:

Ясно, что для определения цвета необходимо найти t - температуру живой воды на момент проведения опыта. Уравнение теплового баланса для процесса нагревания груза после первого погружения:

$$C(t - t_2) = C_K(t_2 - t_1),$$

где C и C_K – теплоемкости груза и калориметра с водой соответственно. При втором погружении

$$C(t - t_3) = C_K(t_3 - t_2).$$

Из этих равенств находим:

$$\frac{t-t_3}{t-t_2} = \frac{t_3-t_2}{t_2-t_1} \Rightarrow t = \frac{t_2^2 - t_1 t_3}{2t_2 - t_1 - t_3}.$$

Для заданных числовых значений: $t = \frac{t_2^2 - t_1 t_3}{2t_2 - t_1 - t_3} = 56,45^\circ\text{C}$, что соответствует желтому цвету бракадашки (№ 6).

ОТВЕТ : 6.

Задача 7 (5 баллов) [уравнение теплового баланса]

К дню рождения мамы Вова (ученик 8 класса) решил сварить компот. Он смешал в кастрюле воду, изюм, орехи, мед и килограмм варенья, и поставил кастрюлю на плиту. Через $T=25$ минут компот закипел. Вова испугался и долил туда холодной воды. До какой температуры охладился компот, если в следующий раз он закипел через $\tau=4$ минуты? Компот кипит при $t_1=100^\circ\text{C}$, температура изначальных ингредиентов и холодной воды $t_0=20^\circ\text{C}$. Можно считать, что скорость поступления тепла от плиты к содержимому кастрюли и скорость утечки тепла из кастрюли в окружающую среду практически постоянны. Ответ приведите в градусах Цельсия, округлив до целого значения.

Подсказка 1: Уравнение теплового баланса для закипания компота: $NT = C_K(t_1 - t_0)$, где N – скорость поступления тепла в кастрюлю (мощность, отдаваемая плитой минус мощность потерь в окружающую среду), которая считается неизменной, а C_K – теплоемкость кастрюли вместе с компотом.

Подсказка 2: Уравнение теплового баланса для охлаждения компота: $C_K(t_1 - t) = C_B(t - t_0)$, где C_B – теплоемкость долитой воды.

Подсказка 3: Уравнение теплового баланса для второго закипания компота: $N\tau = (C_K + C_B)(t_1 - t)$.

Решение:

Пусть N – скорость поступления тепла в кастрюлю (мощность, отдаваемая плитой минус мощность потерь в окружающую среду), которая считается неизменной. Обозначим также C_K – теплоемкость кастрюли вместе с компотом, C_B – теплоемкость долитой воды.

Тогда уравнение теплового баланса для закипания компота: $NT = C_K(t_1 - t_0)$, откуда выразим

$$\frac{N}{C_K} = \frac{t_1 - t_0}{T}. \text{ Уравнение теплового баланса для охлаждения компота: } C_K(t_1 - t) = C_B(t - t_0),$$

где t - искомая температура. Отсюда следует, что $\frac{C_B}{C_K} = \frac{t_1 - t}{t - t_0}$. Наконец, запишем уравнение

теплового баланса для второго закипания компота: $N\tau = (C_K + C_B)(t_1 - t)$. Разделив обе части этого равенства на C_K и используя ранее полученные соотношения, получаем:

$$\frac{N}{C_K} \tau = \left(1 + \frac{C_B}{C_K}\right)(t_1 - t) \Rightarrow t = \frac{Tt_1 + \tau t_0}{T + \tau} \approx 89^\circ\text{C}.$$

ОТВЕТ: 89.