

# Теплообмен

## Содержание

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | Всероссийская олимпиада школьников по физике . . . . . | 1  |
| 2 | Московская олимпиада школьников по физике . . . . .    | 12 |
| 3 | «Покори Воробьёвы горы!» . . . . .                     | 23 |
| 4 | «Росатом» . . . . .                                    | 25 |
| 5 | «Курчатов» . . . . .                                   | 26 |

## 1 Всероссийская олимпиада школьников по физике

**ЗАДАЧА 1.** (*Всеросс., 2020, ШЭ, 9*) Вася решил выяснить, какова температура снега внутри сугробов во дворе. У него не нашлось термометра, но он знал, что системы вентиляции и отопления у него дома поддерживают температуру внутри квартиры равной  $+20^\circ\text{C}$ . В первую очередь Вася набрал в чашку воду и оставил её на столе на ночь, чтобы та достигла комнатной температуры. На следующий день он принёс домой целый термос снега, вынутого изнутри сугроба, и разделил его на две равные части. На первую половину Вася потихоньку лил воду при комнатной температуре, помешивая, пока весь снег не растаял. На это ушло 880 мл воды. Второй половине снега Вася просто дал растаять: объём полученной воды оказался равным 210 мл. Наконец он выяснил, что удельная теплоёмкость воды  $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , удельная теплоёмкость льда (из кристаллов которого состоит снег)  $2100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , а его удельная теплота плавления  $340 \text{ кДж}/\text{кг}$ .

1. Найдите температуру снега внутри сугроба. Ответ укажите в градусах Цельсия, округлив до целого числа.
2. Какая температура установилась бы в термосе, если бы Вася смешал 880 мл воды со всем снегом, который он принес домой? Ответ укажите в градусах Цельсия, округлив до целого числа.

0 (7 9– 1)

**ЗАДАЧА 2.** (*Всеросс., 2014, ШЭ, 9–11*) В калориметре находится вода массой  $m_{\text{в}} = 0,16 \text{ кг}$  и температурой  $t_{\text{в}} = 30^\circ\text{C}$ . Для того, чтобы охладить воду, из холодильника в стакан переложили лёд массой  $m_{\text{л}} = 80 \text{ г}$ . В холодильнике поддерживается температура  $t_{\text{л}} = -12^\circ\text{C}$ . Определите конечную температуру в калориметре. Удельная теплоёмкость воды  $c_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , удельная теплоёмкость льда  $c_{\text{л}} = 2100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , удельная теплота плавления льда  $\lambda = 334 \text{ кДж}/\text{кг}$ .

0 0

ЗАДАЧА 3. (Всеросс., 2015, ШЭ, 9–11) В электрическом чайнике 1 литр воды нагревается на 10 градусов за 1 минуту. За какое время нагреются до кипения 500 г воды, взятые из ведра со смесью воды и льда? Потерями теплоты можно пренебречь. Плотность воды  $1000 \text{ кг/м}^3$ .

За 5 мин

ЗАДАЧА 4. (Всеросс., 2016, ШЭ, 9) В калориметр налито 100 г воды, имеющей температуру  $20,0^\circ\text{C}$ . В калориметр помещают металлическое тело массой 40,0 г, нагретое до температуры  $100,0^\circ\text{C}$ . После установления теплового равновесия температура в калориметре стала равна  $23,2^\circ\text{C}$ . Найдите удельную теплоёмкость металла, из которого изготовлено тело. Удельная теплоёмкость воды  $4,19 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ , теплоёмкость калориметра  $35,2 \text{ Дж/}^\circ\text{C}$ , потерями теплоты в окружающую среду можно пренебречь.

$(\text{C}_0 \cdot \text{мк})/\text{жТ} \text{ 0ДТ} = \text{c}$

ЗАДАЧА 5. (Всеросс., 2017, ШЭ, 9) Теоретик Баг налил в большую чашку  $m_0 = 250 \text{ г}$  кофе при температуре  $t_0 = 90^\circ\text{C}$ . Для того чтобы остудить его до температуры, не превышающей  $t = 60^\circ\text{C}$  (чтобы кофе можно было пить, не обжигаясь), теоретик решил добавить в напиток несколько кубиков льда из морозильника. Какое наименьшее количество кубиков понадобится бросить в кофе, если масса одного кубика  $m_1 = 2,5 \text{ г}$ , а его начальная температура  $t_1 = -15^\circ\text{C}$ ? Потерями теплоты можно пренебречь. Удельная теплота плавления льда  $\lambda = 340 \text{ кДж/кг}$ , удельная теплоёмкость льда  $c_{\text{л}} = 2100 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ , плотность льда  $\rho_{\text{л}} = 900 \text{ кг/м}^3$ , удельная теплоёмкость воды (и кофе)  $c = 4200 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ . При решении задачи считайте, что в ходе экспериментов Бага содержимое чашки из неё не выливается.

$N = \frac{m_0(t_0 - t) + c m_0 + \lambda m_1}{c m_1 - (t_1 - t)}$

ЗАДАЧА 6. (Всеросс., 2019, ШЭ, 9) В теплоизолированный сосуд налили 200 г воды при температуре  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  и последовательно бросают в него одинаковые кубики льда при температуре  $t_2 = -10^\circ\text{C}$ . Сколько кубиков льда можно бросить в сосуд, чтобы после установления теплового равновесия температура оказалась равной  $0^\circ\text{C}$ ? Масса одного кубика равна 10 г. Удельная теплота плавления льда  $\lambda = 330 \text{ кДж/кг}$ , удельная теплоёмкость льда  $c_{\text{л}} = 2100 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ , удельная теплоёмкость воды  $c_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ . Вода из сосуда не выливается.

768 от 5 10

ЗАДАЧА 7. (Всеросс., 2020, ШЭ, 10) В кусок льда массой 130 г и плотностью 900 кг/м<sup>3</sup> заморожена монета массой 10 г и плотностью 8900 кг/м<sup>3</sup>. Этот кусок льда с монетой, имеющие температуру 0 °С, помещают в сосуд, в котором находится 400 мл воды с некоторой начальной температурой  $t$ . Теплообменом с окружающей средой можно пренебречь. Лёд с монетой сначала плавают, не касаясь дна сосуда. Удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг · °С), удельная теплота плавления льда 330 кДж/кг, плотность воды 1000 кг/м<sup>3</sup>, ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

1. Чему равна сила Архимеда, действующая на лёд с монетой в начальный момент? Ответ укажите в ньютонах, округлив до десятых долей.
2. Какой должна быть минимальная начальная температура воды  $t$ , чтобы кусок льда вместе с монетой опустился на дно после наступления теплового равновесия? Ответ выразите в градусах Цельсия и округлите до целого числа.

01 (2; 4; 1) (1)

ЗАДАЧА 8. (Всеросс., 2019, ШЭ, 10) В частных домах иногда используют проточный водонагреватель, в случае, если к дому не подведены трубы с горячей водой. Температура холодной воды, идущей из крана, равна 14 °С, а температура текущей из душа воды (которая «прошла» через нагреватель), равна 40 °С. Определите объёмный расход воды в душе (в литрах в минуту), если потребляемая мощность водонагревателя 5 кВт, а его КПД равен 80%. Удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг · °С), плотность воды 1000 кг/м<sup>3</sup>. При работе проточного водонагревателя вся втёкшая в него холодная вода подогревается и сразу же вытекает наружу.

2,2

ЗАДАЧА 9. (Всеросс., 2018, МЭ, 9) Вася принёс домой с улицы снежок массой 200 г, слепленный из «мокрого» снега. «Мокрым» называют снег, содержащий воду. Температура снежка 0 °С. Вася поместил снежок в ведро, в котором было 2 л воды при температуре 25 °С. При этом температура общей массы получившейся воды стала равной 18 °С. Определить процентное содержание по массе влаги (воды), которое было в снеге. Удельная теплоёмкость воды  $c_v = 4,2$  кДж/(кг · °С), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 330$  кДж/кг. Потерями теплоты пренебречь.

$$\% \text{ вл} \approx \left( t_1 - (t_1 - t_2) \frac{m}{M} \right) \frac{c_v}{c_0} - 1 = x$$

ЗАДАЧА 10. (Всеросс., 2014, МЭ, 9) Если полностью открыть только горячий кран, то ведро объёмом  $V_1 = 10$  л наполняется за  $\tau_1 = 100$  с, а если полностью открыть только холодный кран, то банка объёмом  $V_2 = 3$  л наполняется за  $\tau_2 = 24$  с. Температура горячей воды  $t_1 = 70$  °С, а холодной воды  $t_2 = 20$  °С. Определите, за какое время  $\tau$  наполнится водой кастрюля ёмкостью  $V = 4,5$  л, если оба крана открыты полностью. Определите температуру  $t$  воды, вытекающей из смесителя, если оба крана открыты полностью и тепловое равновесие устанавливается, пока вода находится в смесителе.

$$\tau \approx \frac{V}{\frac{V_1}{\tau_1} + \frac{V_2}{\tau_2}} = \tau \quad ; \quad t = \frac{t_1 \frac{V_1}{\tau_1} + t_2 \frac{V_2}{\tau_2}}{\frac{V_1}{\tau_1} + \frac{V_2}{\tau_2}} = t$$

ЗАДАЧА 11. (Всеросс., 2016, МЭ, 9) В жаркий день на столе стоит стакан лимонада со льдом. Масса лимонада  $m_1 = 250$  г, масса льда  $m_2 = 50$  г, лёд и лимонад находятся в тепловом равновесии. К моменту, когда весь лёд растаял, масса лимонада в стакане была равна  $m_3 = 295$  г. Найдите количество теплоты  $Q$ , которое получило извне содержимое стакана. Удельная теплота кристаллизации воды  $\lambda = 0,33$  МДж/кг, удельная теплота парообразования при  $0^\circ\text{C}$   $r = 2,5$  МДж/кг.

$$Q = (m_1 - m_2)c_w(t_2 - t_1) + m_2\lambda + m_2r = 0$$

ЗАДАЧА 12. (Всеросс., 2017, МЭ, 9) Медный кубик со стороной  $a$ , брошенный в калориметр с водой, нагрел её от температуры  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  до температуры  $t_2 = 25^\circ\text{C}$ . Если бы вместо этого кубика в воду бросили медный кубик со стороной  $2a$  и с той же начальной температурой, то вода нагрелась бы до температуры  $t_3 = 44^\circ\text{C}$ . Какова начальная температура медного кубика? Что больше — масса воды в калориметре или масса медного кубика со стороной  $a$ ? Потерями теплоты и теплоёмкостью калориметра можно пренебречь. Удельная теплоёмкость меди  $c_m = 380$  Дж/(кг · °C), удельная теплоёмкость воды  $c_w = 4200$  Дж/(кг · °C).

$$m_1 c_m (t_1 - t_2) = m_2 c_w (t_3 - t_2) \Rightarrow m_2 = \frac{c_m (t_1 - t_2)}{c_w (t_3 - t_2)} m_1 = 0,12$$

ЗАДАЧА 13. (Всеросс., 2018, МЭ, 10) В герметичный калориметр положили  $m = 2$  кг льда, имеющего температуру  $t_1 = -50^\circ\text{C}$ , и добавили водяной пар при температуре  $t_2 = 100^\circ\text{C}$ . Сколько могло быть добавлено пара, если после установления теплового равновесия температура содержимого калориметра оказалась равной  $t = 0^\circ\text{C}$ ? Удельные теплоёмкости воды и льда  $c_w = 4,2$  кДж/(кг · °C) и  $c_l = 2,1$  кДж/(кг · °C), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 330$  кДж/кг, удельная теплота парообразования воды  $L = 2300$  кДж/кг. Теплоёмкостью калориметра и потерями теплоты пренебречь.

$$m c_l (t - t_1) + m \lambda + m L = m_p c_w (t_2 - t)$$

ЗАДАЧА 14. (Всеросс., 2016, МЭ, 10) Теплоизолированный сосуд до краёв наполнен водой при температуре  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ . В воду аккуратно опустили алюминиевую деталь, охлаждённую до температуры  $t = -100^\circ\text{C}$ . После установления теплового равновесия температура в сосуде оказалась равной  $t_1 = 1^\circ\text{C}$ . Определите конечную температуру и содержимое сосуда для случая, когда в этот же сосуд с водой погружают две такие алюминиевые детали. Объём детали равен  $V = 100$  см<sup>3</sup>.

Табличные данные: плотность воды  $\rho_w = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, плотность алюминия  $\rho = 2700$  кг/м<sup>3</sup>, плотность льда  $\rho_l = 900$  кг/м<sup>3</sup>, удельная теплоёмкость воды  $c_w = 4200$  Дж/(кг · °C), удельная теплоёмкость алюминия  $c = 900$  Дж/(кг · °C), удельная теплоёмкость льда  $c_l = 2100$  Дж/(кг · °C), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 335$  кДж/кг.

$$m c (t_1 - t_0) + m \rho_l V (t_1 - t) = m_p c_w (t_0 - t_1)$$

ЗАДАЧА 15. (*Всеросс., 2010, РЭ, 9*) Теплоёмкость некоторых материалов может зависеть от температуры. Рассмотрим брусок массы  $m_1 = 1$  кг, изготовленный из материала, удельная теплоёмкость которого зависит от температуры  $t$  по закону

$$c = c_1(1 + \alpha t),$$

где  $c_1 = 1,4 \cdot 10^3$  Дж/(кг · °С) и  $\alpha = 0,014$  °С<sup>-1</sup>. Такой брусок, нагретый до температуры  $t_1 = 100$  °С, опускают в калориметр, в котором находится некоторая масса  $m_2$  воды при температуре  $t_2 = 20$  °С. После установления теплового равновесия температура в калориметре оказалась равной  $t_0 = 60$  °С.

Пренебрегая теплоёмкостью калориметра и тепловыми потерями, определите массу  $m_2$  воды в калориметре. Известно, что удельная теплоёмкость воды  $c_2 = 4,2 \cdot 10^3$  Дж/(кг · °С).

$$c_1 \Delta t_1 \approx \left( \frac{c_2}{(0_2 + t_2)} + 1 \right) \frac{c_2 - 0_2}{0_2 - t_2} t_0 m_2 = c_2 m_2$$

ЗАДАЧА 16. (*Всеросс., 2013, РЭ, 9*) В лаборатории по работе с одарёнными детьми экспериментатор Глюк обнаружил два одинаковых теплоизолированных сосуда. В каждый из них было налито одинаковое количество неизвестной жидкости. В первый сосуд он налил почти доверху из стоящего рядом кувшина воды и насыпал немного разогретых металлических опилок. Сосуд оказался заполненным доверху. После установления теплового равновесия температура в сосуде увеличилась на  $\Delta t_1 = 2$  °С, а опилки остыли на  $\Delta t_2 = 60$  °С.

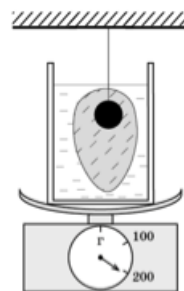
Затем он проделал опыт со вторым сосудом. В него Глюк насыпал опилок в 10 раз больше, чем в первом опыте, и сосуд вновь оказался заполненным. Ко времени установления теплового равновесия температура в сосуде повысилась на столько же градусов, на сколько понизилась температура опилок. Определите удельную теплоёмкость опилок, если их плотность  $\rho_m = 1,72$  г/см<sup>3</sup>, а удельная теплоёмкость воды  $c_v = 4,20$  Дж/(г · °С).

$$(c_0 \cdot \rho) / \rho_m \Delta t_1 = \frac{(t_1 \Delta t_1 - c_1 \Delta t_1) \rho_m}{t_1 \Delta t_1} \Delta t_2 = c_1$$

ЗАДАЧА 17. (*Всеросс., 2014, РЭ, 8–9*) Теплоизолированный сосуд был до краёв наполнен водой при температуре  $t_0 = 19$  °С. В середину этого сосуда быстро, но аккуратно опустили деталь, изготовленную из металла плотностью  $\rho_1 = 2700$  кг/м<sup>3</sup>, нагретую до температуры  $t_d = 99$  °С, и закрыли крышкой. После установления теплового равновесия температура воды в сосуде стала равна  $t_x = 32,2$  °С. Затем в этот же сосуд, наполненный до краёв водой при температуре  $t_0 = 19$  °С, вновь быстро, но аккуратно опустили две такие же детали, нагретые до той же температуры  $t_d = 99$  °С, и закрыли крышкой. В этом случае после установления в сосуде теплового равновесия температура воды равна  $t_y = 48,8$  °С. Чему равна удельная теплоёмкость  $c_1$  металла, из которого изготовлены детали? Плотность воды  $\rho_0 = 1000$  кг/м<sup>3</sup>. Удельная теплоёмкость воды  $c_0 = 4200$  Дж/(кг · °С).

$$(c_0 \cdot \rho_0) / \rho_1 \Delta t_0 \approx \frac{(0_2 - t_2) \rho_2 - (0_2 - t_2)}{t_2 - t_2} \Delta t_0 = c_1$$

ЗАДАЧА 18. (Всеросс., 2019, РЭ, 9) На весах установлен калориметр с водой при температуре  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ . Весы показывают при этом  $m_1 = 100$  г. В воду опускают стальной шарик, закрепленный на нити, с намерзшим на нем толстым слоем льда, который полностью погружен в воду. Показания весов увеличиваются до значения  $m_2 = 201,3$  г. После установления теплового равновесия в калориметре (на этом этапе теплообменом с окружающей средой можно пренебречь) показания весов ещё немного возрастают до  $m_3 = 204,45$  г. Через большой промежуток времени, когда содержимое калориметра нагрелось до комнатной температуры, весы показали  $m_4 = 191,3$  г. Определите массу  $m_c$  стального шарика, массу  $m_l$  льда на нём перед опусканием в калориметр, их температуру  $t$  перед погружением в воду. Удельная теплоемкость стали  $c_c = 450$  Дж/(кг·°C), удельная теплоемкость льда  $c_l = 2100$  Дж/(кг·°C), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 3,4 \cdot 10^5$  Дж/кг, плотность стали  $\rho_c = 7800$  кг/м<sup>3</sup>, плотность льда  $\rho_l = 900$  кг/м<sup>3</sup>, плотность воды  $\rho_v = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.



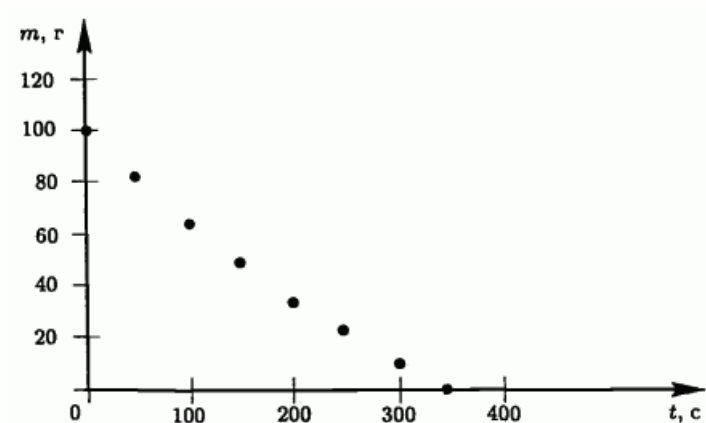
$$Q_{\text{ст}} + Q_{\text{л}} = Q_{\text{в}} = \rho_v V_{\text{в}} c_v (t - t_0) = \rho_v V_{\text{в}} c_v t \approx \left( \rho_c \frac{V_c}{\rho_c} + \rho_l \frac{V_l}{\rho_l} \right) c_v t = \rho_v V_{\text{в}} c_v t$$

ЗАДАЧА 19. (Всеросс., 2017, РЭ, 9) Плоская льдинка плавает в сосуде с водой, имеющей температуру  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ . Минимальная масса груза, который необходимо положить на льдинку, чтобы она полностью погрузилась в воду, равна  $m_1 = 100$  г. Если эту льдинку охладить до температуры  $t_1$  и снова положить в тот же сосуд с водой, по-прежнему имеющей температуру  $t_0$ , то после установления теплового равновесия для полного погружения льдинки в воду на неё необходимо будет положить груз минимальной массы  $m_2 = 110$  г. Определите температуру  $t_1$ .

Примечание: удельная теплоёмкость льда  $c = 2100$  Дж/(кг·°C), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 340$  кДж/кг.

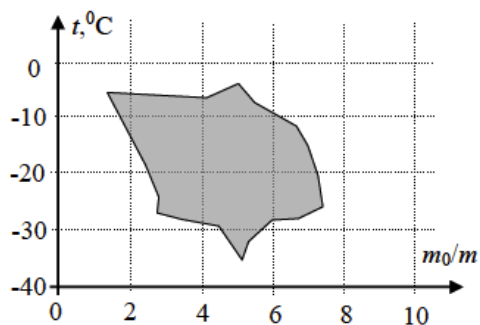
$$Q_{\text{ст}} + Q_{\text{л}} = \frac{\rho_{\text{ст}} V_{\text{ст}}}{(\rho_{\text{ст}} - \rho_{\text{в}}) \lambda} c = \rho_{\text{ст}} V_{\text{ст}} c$$

ЗАДАЧА 20. (Всеросс., 2004, ОЭ, 9) В одном калориметре находится смесь воды и льда, в другом — вода при температуре  $100^\circ\text{C}$ . Горячую воду начинают охлаждать следующим образом: маленький металлический шарик на нити опускают в холодную воду, затем переносят в горячую, затем опять в холодную и т. д. При этом каждый раз успевает установиться тепловое равновесие, а весь цикл занимает одно и то же время. График зависимости массы льда в «холодном» калориметре от времени изображён на рисунке. До какой температуры охладилась горячая вода, когда весь лёд растаял? Теплообменом с атмосферой можно пренебречь.



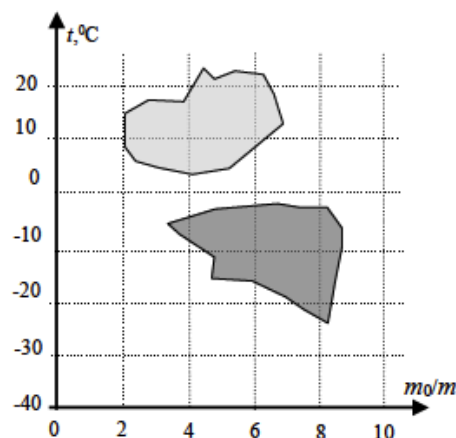
$$Q_{\text{ст}} = Q_{\text{л}} + Q_{\text{в}}$$

ЗАДАЧА 21. (Всеросс., 2016, РЭ, 9) Определите, какая максимальная масса  $m_{\text{п}}$  водяного пара, взятого при температуре  $100^\circ\text{C}$ , может потребоваться для нагревания льда, находящегося в калориметре, до температуры плавления (без плавления). Точная масса льда и его начальная температура не известны, но эти значения могут лежать в области, выделенной на диаграмме серым цветом. Удельная теплота парообразования  $L = 2,30$  МДж/кг, удельная теплота плавления льда  $\lambda = 340$  кДж/кг, удельная теплоёмкость воды  $c = 4200$  Дж/(кг  $\cdot$   $^\circ\text{C}$ ), удельная теплоёмкость льда  $c_1 = 2100$  Дж/(кг  $\cdot$   $^\circ\text{C}$ ). Масса льда  $m$  на диаграмме приведена в условных единицах, показывающих, во сколько раз масса льда меньше, чем  $m_0 = 1$  кг. Теплоёмкостью калориметра и потерями тепла пренебречь.



$$\tau \approx 6,9 \approx 7$$

ЗАДАЧА 22. (Всеросс., 2016, РЭ, 10) В калориметре смешали некоторое количество воды и льда. Их точные массы и начальные температуры неизвестны, но эти значения лежат в выделенных на диаграмме заштрихованных областях. Найдите максимальное количество теплоты, которое могло быть передано водой льду, если после установления теплового равновесия масса льда не изменилась. Определите возможную массу содержимого калориметра в этом случае. Удельная теплота плавления льда  $\lambda = 340$  кДж/кг, удельная теплоёмкость воды  $c = 4200$  Дж/(кг  $\cdot$   $^\circ\text{C}$ ), удельная теплоёмкость льда  $c_1 = 2100$  Дж/(кг  $\cdot$   $^\circ\text{C}$ ). Массы воды и льда на диаграмме приведены в условных единицах, показывающих, во сколько раз их массы меньше, чем  $m_0 = 1$  кг. Теплоёмкостью калориметра и потерями теплоты пренебречь.



$$\tau \approx 0,55 \approx 0,6$$

ЗАДАЧА 23. (Всеросс., 1993, финал, 9) В термос с водой, имеющей температуру  $t = 40^\circ\text{C}$ , опускают бутылочку с детским питанием. Там бутылочка нагревается до температуры  $t_1 = 36^\circ\text{C}$ , затем её вынимают и в термос опускают другую точно такую же бутылочку. До какой температуры она нагреется? Перед погружением в термос каждая бутылочка имела температуру  $t_0 = 18^\circ\text{C}$ .

$$\tau \approx \frac{t_0 - t_1}{t_0 + t_1 - 2t_2} = \tau_2 \approx 0,28$$

ЗАДАЧА 24. (Всеросс., 2018, финал, 9) В пустой теплоизолированный сосуд наливают воду при температуре  $t_0 = 20^\circ\text{C}$  струйкой с массовым расходом  $\mu = 2,0$  г/с. Когда в сосуде оказывается  $m = 100$  г воды, в нём включается нагреватель мощностью  $N = 200$  Вт. Температура содержимого сосуда измеряется помещённым в него ртутным термометром.

Определите:

1) через какое время  $\tau_1$  с момента включения нагревателя температура воды в сосуде увеличится до  $t_1 = 30^\circ\text{C}$ ;

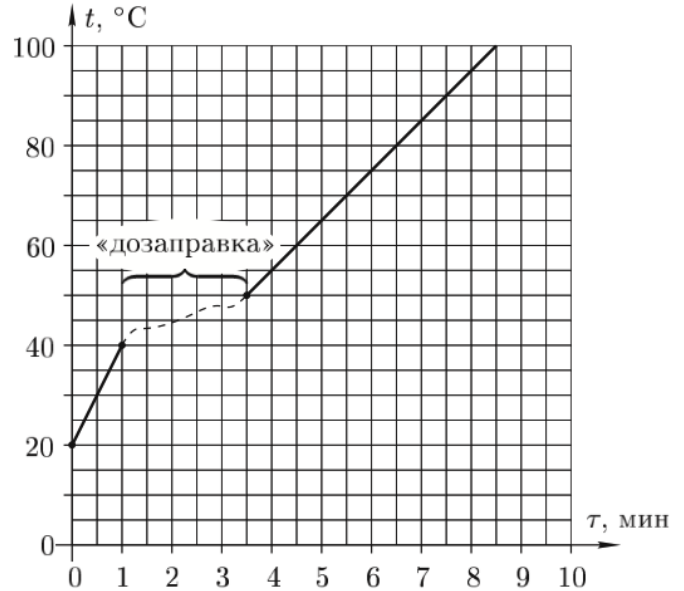
2) до какой максимальной температуры  $t_{\max}$  сможет нагреться содержимое сосуда.

Выведите зависимость скорости  $v$  подъёма столбика ртути термометра от времени  $\tau$  с момента включения нагревателя, если на его шкале расстояние между отметками  $t_0$  и  $t_1$  равно  $l = 2,0$  см. Определите скорость подъёма столбика при температуре  $t_1$ .

Удельная теплоёмкость воды равна  $c = 4200$  Дж/(кг·°C). Процессы теплообмена происходят быстро, теплоёмкости термометра и сосуда малы.

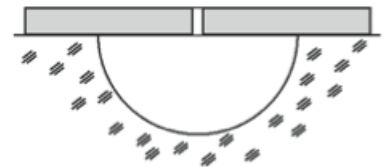
$$v = \frac{1}{\rho_0 \gamma} \frac{dQ}{dt} = \frac{1}{\rho_0 \gamma} \frac{c \rho_0 V (t_1 - t_0)}{l} = \frac{c V}{l} \frac{t_1 - t_0}{N} = \frac{c V}{l} \frac{t_1 - t_0}{N} = v$$

**ЗАДАЧА 25.** (Всеросс., 2009, финал, 9) Теоретик Баг решил попить чайку. Он взял теплоизолированный чайник, снабжённый миниатюрным термометром, и включил его в электрическую сеть. Термометр показывал температуру  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ . Через время  $\tau_1 = 1$  мин, когда вода нагрелась до  $t_1 = 40^\circ\text{C}$ , он стал доливать в чайник воду. В момент  $\tau_2 = 3,5$  мин, когда температура воды достигла  $t_2 = 50^\circ\text{C}$ , Баг остановился. Ещё через 5 мин вода закипела. На рисунке приведён график изменения температуры воды в чайнике в ходе её нагрева и «дозаправки». Какой была температура  $t_x$  доливаемой воды? Считайте, что вода быстро перемешивается, а термометр показывает текущее значение её температуры.



$$t_x = \frac{t_2 - t_1}{\tau_2 - \tau_1} (\tau_2 - \tau_1) + t_1 = 50$$

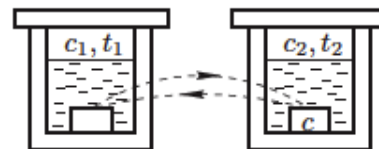
**ЗАДАЧА 26.** (Всеросс., 2010, финал, 9) В большой плоской льдине, имеющей температуру  $0^\circ\text{C}$ , сделали лунку объёма  $V_0 = 1000$  см<sup>3</sup> и прикрыли её пенопластовой (теплоизолирующей) крышкой с небольшим отверстием (рис.). Какую максимальную массу  $m$  воды, имеющей температуру  $100^\circ\text{C}$ , можно постепенно влить через отверстие в лунку? Известно, что удельная теплоёмкость воды  $c_0 = 4,19$  кДж/(кг·°C), плотность воды  $\rho_0 = 1,00 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, плотность льда  $\rho_l = 0,90 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, а удельная теплота плавления льда  $\lambda = 334$  кДж/кг.



$$m \approx \frac{V_0 \rho_0}{\lambda} \frac{c_0 (100 - 0) - 1}{0,9} = m$$



ЗАДАЧА 27. (Всеросс., 2011, финал, 9) Имеется два теплоизолированных сосуда с водой. Теплоёмкость всей массы воды в первом сосуде  $c_1$ , её температура  $t_1$ . Теплоёмкость и температура воды во втором сосуде равны соответственно  $c_2$  и  $t_2$ . Во втором сосуде кроме воды находится брусок, теплоёмкость которого равна  $c$  (рис.).



Брусок вынимают из второго сосуда и погружают в первый сосуд. После установления теплового равновесия брусок возвращают во второй сосуд.

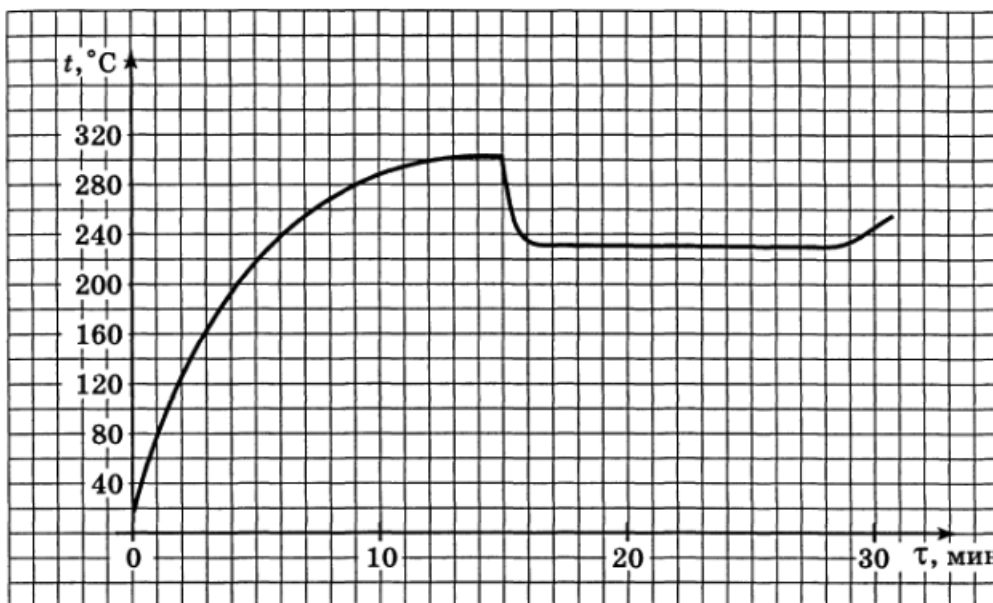
Соотношение между теплоёмкостями:  $c_1 : c_2 : c = 4 : 5 : 1$ . Пренебрегая теплообменом с окружающими телами, определите:

1) Какое минимальное количество  $n$  таких циклов нужно сделать, чтобы разность температур  $(t_2 - t_1)_n$  уменьшилась не менее, чем в  $N = 25$  раз?

2) Какая температура воды установится в сосудах после очень большого числа циклов?

$$\frac{c}{2t_2 + t_1} = \infty \quad (z : 8 = 1 + [N^{\frac{c}{c_2 c_1}}]) = u \quad (1)$$

ЗАДАЧА 28. (Межреспубл., 1992, финал, 9) Миниатюрный тигель (печка) для плавки металла имеет электронагреватель постоянной мощности  $P_0 = 20$  Вт. Нагреватель включают, и после того как его температура практически перестаёт увеличиваться, в тигель бросают несколько кусочков олова, общая масса которых  $m = 80$  г. Олово начинает плавиться. График зависимости температуры в тигле от времени представлен на рисунке. Определите удельную теплоту плавления олова.



$$\lambda \text{ кДж/кг} = \gamma$$

ЗАДАЧА 29. (*Всеросс., 2000, финал, 9*) Известно, что дистиллированную воду, очищенную от примесей, можно охладить без превращения в лёд ниже температуры  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ . В зависимости от внешнего давления процесс кристаллизации воды может начаться при некоторой температуре  $t_1 < t_0$ . Образовавшийся при этом лёд отличается по своим физическим свойствам от обычного льда, имеющего температуру  $0^\circ\text{C}$ . Определите удельную теплоту плавления льда ( $\lambda_2$ ) при температуре  $t_1 = -10^\circ\text{C}$ . Удельная теплоёмкость воды в интервале температур от  $-10^\circ\text{C}$  до  $0^\circ\text{C}$  равна  $c_1 = 4,17 \cdot 10^3$  Дж/(кг · К); удельная теплоёмкость льда в этом интервале температур равна  $c_2 = 2,17 \cdot 10^3$  Дж/(кг · К); удельная теплота плавления льда при температуре  $0^\circ\text{C}$  равна  $\lambda_1 = 3,32 \cdot 10^5$  Дж/кг.

$$\lambda_2 = 3,32 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$$

ЗАДАЧА 30. (*Всеросс., 2019, финал, 9*) В цилиндрический стакан калориметра налито  $m_0 = 200$  г жидкости плотностью  $\rho_0$  при температуре  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ . В термостате при неизвестной температуре  $T$  находился набор однородных цилиндров из одного и того же металла плотностью  $\rho = 6\rho_0$ . Диаметр всех цилиндров одинаков и практически совпадает (чуть меньше) с диаметром стакана. При погружении в калориметр цилиндра массы  $m$  тепловое равновесие устанавливается при температуре  $t_1 = 10^\circ\text{C}$ . Если вместо первого цилиндра в калориметр был бы погружен цилиндр массой  $1,6m$ , то установилась бы температура  $t_2 = 15^\circ\text{C}$ . При погружении цилиндра массы  $3m$  установилась бы температура  $t_3 = 30^\circ\text{C}$ , а для цилиндра массы  $4m$  — температура  $t_4 = 45^\circ\text{C}$ . Ось цилиндров при погружении вертикальна. Определите:

1. температуру  $T$  цилиндров;
2. долю  $\gamma$  объёма стакана калориметра, заполненного жидкостью;
3. массу  $m$  первого цилиндра;
4. отношение удельных теплоемкостей  $c_0$  жидкости и  $c$  металла.

$$T = 60^\circ\text{C}; \gamma = 0,06; c = 300 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$$

ЗАДАЧА 31. (*Всеросс., 1994, финал, 10–11*) В длинный вертикальный цилиндрический сосуд наливают воду, температура которой  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ . Высота уровня воды в сосуде  $H = 20$  м. На сколько изменится высота содержимого сосуда, если температура воды внутри сосуда понизится до  $t_1 = -0,01^\circ\text{C}$ ? Удельная теплота плавления льда  $q = 335$  кДж/кг, плотность льда  $\rho_{\text{л}} = 920$  кг/м<sup>3</sup>. Изменение температуры  $\Delta T$  плавления льда можно считать связанным с изменением внешнего давления  $\Delta p$  соотношением

$$\Delta T = \frac{T}{q} \left( \frac{1}{\rho_{\text{в}}} - \frac{1}{\rho_{\text{л}}} \right) \Delta p,$$

где  $T$  — температура смеси «лёд–вода», а  $\rho_{\text{в}}$  — плотность воды.

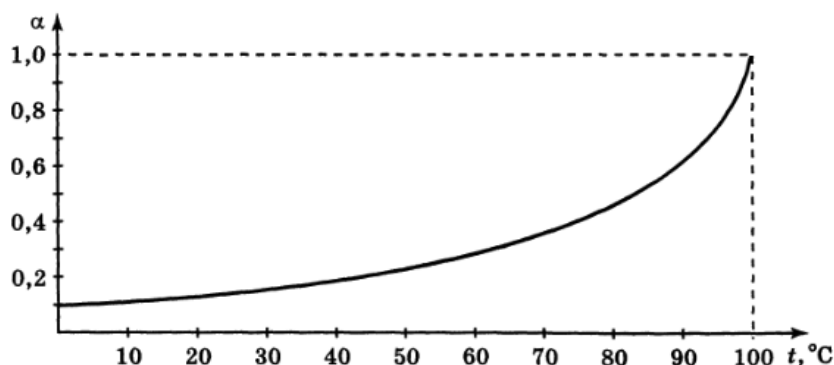
*Указание.* Считайте, что лёд к стенкам сосуда не примерзает.

$$H = 1,25 \text{ м}$$

ЗАДАЧА 32. (Всеросс., 2000, финал, 10) В воду массой  $m$  бросают вещество такой же массы, обладающее следующими свойствами.

1) При растворении в воде вещество поглощает энергию  $\lambda$  на каждый килограмм, причём  $\lambda/c = 200$  К, где  $c$  — удельная теплоёмкость вещества, которая равна теплоёмкости воды и не меняется при растворении.

2) Концентрация  $\alpha$  вещества в воде, определяемая как отношение масс растворённого вещества к массе растворителя  $\alpha = m_{\text{вещ}}/m_{\text{раств}}$ , в насыщенном растворе зависит от температуры (см. график).



Начальная температура вещества равна  $+200^\circ\text{C}$ , воды —  $0^\circ\text{C}$ . Определите установившуюся температуру раствора  $t_{\text{уст}}$  и конечную концентрацию  $\alpha_{\text{уст}}$ . Тепловыми потерями и испарением пренебречь.

$$t_{\text{уст}} \approx 65^\circ\text{C}, \alpha_{\text{уст}} \approx 0,35$$

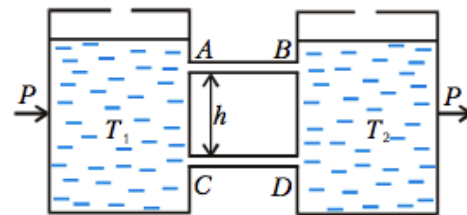
ЗАДАЧА 33. (Всеросс., 2016, финал, 10) Как известно, при атмосферном давлении вода начинает замерзать, а лёд — таять при температуре  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ . При давлениях, больших атмосферного, вода может находиться в жидкой фазе и при более низких температурах. Увеличение давления на 133 атм понижает температуру плавления льда на  $1^\circ\text{C}$ . В начальном состоянии вода массой  $m_0 = 1$  кг и очень малое количество льда находятся в равновесии в адиабатической оболочке под давлением  $p_1 = 200$  атм. В адиабатическом процессе давление медленно уменьшают до атмосферного  $p_0 = 1$  атм.

- 1) Найдите изменение массы льда  $\Delta m_{\text{л}}$ .
- 2) Найдите изменение объёма системы вода + лёд.
- 3) Какую работу совершает система против внешнего давления при его уменьшении от  $p_1$  до  $p_0$ ?

Удельная теплоёмкость воды  $c_{\text{в}} = 4,2$  Дж/(г · °C), льда  $c_{\text{л}} = 2,1$  Дж/(г · °C). Удельная теплота плавления льда  $q = 336$  Дж/г. Плотности воды и льда при атмосферном давлении:  $\rho_{\text{в}} = 1$  г/см<sup>3</sup>,  $\rho_{\text{л}} = 0,9$  г/см<sup>3</sup>. Сжимаемость воды  $G = -\frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta p} = 5 \cdot 10^{-10}$  Па<sup>-1</sup>, сжимаемость льда меньше сжимаемости воды.

$$\Delta m_{\text{л}} = 1,1 \text{ г}, \Delta V = 1,1 \text{ см}^3, A = 18,7 \text{ Дж}$$

ЗАДАЧА 34. (Всеросс., 1998, финал, 11) Два высоких сосуда с водой соединены тонкими длинными трубками  $AB$  и  $CD$ , расположенными на расстоянии  $h$  друг от друга (рис.). Вода в сосудах поддерживается при температурах  $T_1$  и  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ ). Для поддержания температур в сосудах неизменными к более тёплому сосуду приходится подводить тепло (мощность нагревателя  $P$ ), а от холодного — отводить такую же мощность. Пренебрегая теплообменом с окружающей средой и теплопроводностью материала трубок, определите:



1) уровень жидкости, отсчитываемый от нижней трубки, на котором давление в обоих сосудах будет одинаково;

2) разность давлений  $\Delta p_{AB}$  и  $\Delta p_{CD}$  на концах трубок  $AB$  и  $CD$ ;

3) мощность  $P$ , подводимую к тёплому сосуду (и отводимую от холодного).

Плотность воды зависит от её температуры  $T$  по закону  $\rho = \rho_0 - \alpha(T - T_0)$ , где  $\rho_0$ ,  $\alpha$  и  $T_0$  — постоянные величины. За время  $\Delta\tau$  через любое сечение трубки протекает масса жидкости  $\Delta m = k\Delta p \cdot \Delta\tau$ , где  $\Delta p$  — разность давлений на концах трубки,  $k$  — некоторый известный коэффициент. Удельная теплоёмкость  $c$  воды задана.

$$\frac{(\rho_L - \rho_U)gh}{\rho} = d \left( \frac{(\rho_L - \rho_U)gh}{\rho} = d \frac{(\rho_L - \rho_U)gh}{\rho} \right) \quad (1)$$

ЗАДАЧА 35. (Всеросс., 2014, финал, 11) Температура плавления массивного образца олова  $t_0 = 232^\circ\text{C}$ . Температура плавления мельчайших оловянных шариков диаметром  $d = 20$  нм оказывается на  $25$  градусов ниже и равна  $t_d = 207^\circ\text{C}$ . Это так называемый размерный эффект, причём экспериментально установлено, что температура плавления зависит не только от размеров, но и от формы образца. При какой температуре будет плавиться оловянная фольга толщиной  $h = d$ ?

Считайте, что атомы олова в приповерхностном слое толщиной в  $2-3$  межатомных расстояния обладают некоторой избыточной энергией по сравнению с энергией атомов в объёме, а теплота плавления  $\lambda$  в пересчёте на один атом пропорциональна средней энергии связи  $U$  атомов в веществе и абсолютной температуре  $T$  фазового перехода (плавления):  $\lambda \sim U \sim T$ .

Молярная масса олова  $\mu = 119$  г/моль. Плотность олова  $\rho = 731$  г/см<sup>3</sup>.

$$223,7^\circ\text{C}$$

## 2 Московская олимпиада школьников по физике

ЗАДАЧА 36. (МОШ, 2019, 10) Электрический нагреватель находится внутри бака с водой. При включении на время  $t_1 = 30$  с нагревателя мощности  $N_1 = 1$  кВт температура воды в идеально теплоизолированном баке поднялась от  $T_0 = 17^\circ\text{C}$  до  $T_1 = 37^\circ\text{C}$ . Тепловую изоляцию сняли, а мощность нагревателя уменьшили до  $N_2 = 0,9$  кВт, из-за чего температура воды в баке за время  $t_2 = 20$  с выросла от  $T_1 = 37^\circ\text{C}$  до  $T_2 = 47^\circ\text{C}$ . Какое количество тепла в килоджоулях за время  $t_2$  ушло через стенки бака?

$$Q = (\rho_L - \rho_U) \frac{g h}{\rho} - \rho c t_2 N = 0$$

ЗАДАЧА 37. (МОШ, 2018, 9) В калориметр налили  $m = 2$  кг воды, имеющей температуру  $t_1 = 50^\circ\text{C}$ , и добавили лёд при температуре  $t_2 = -20^\circ\text{C}$ . Сколько могло быть добавлено льда, если после установления теплового равновесия температура содержимого калориметра оказалась равной  $t = 0^\circ\text{C}$ ?  $c_{\text{в}} = 4,2$  кДж/(кг · °C),  $c_{\text{л}} = 2,1$  кДж/(кг · °C),  $\lambda = 330$  кДж/кг. Теплоёмкостью калориметра и потерями пренебречь.

$$\Delta Q_{\text{в}} = Q_{\text{л}} + Q_{\text{л}} = 0$$

ЗАДАЧА 38. (МОШ, 2018, 9) В сосуд, наполненный до краёв водой с температурой  $t_0 = 19^\circ\text{C}$ , аккуратно опустили некоторое тело, плотность которого в два раза больше плотности воды, а удельная теплоёмкость в два раза меньше удельной теплоёмкости воды. После установления теплового равновесия вода и тело в сосуде приобрели температуру  $t_1 = 26^\circ\text{C}$ . До какого значения  $t_2$  повысилась бы температура воды в сосуде, если в этот же сосуд сразу были опущены два таких тела, а не одно? Считать, что тела полностью погружаются в воду. Теплообменом с окружающей средой пренебречь.

$$\Delta Q_{\text{в}} = Q_1 + Q_2 = 0$$

ЗАДАЧА 39. (МОШ, 2010, 9) В двух одинаковых бочках находится одинаковое количество воды. Температура воды в первой бочке  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ , а во второй бочке —  $t_2 = 60^\circ\text{C}$ . Из первой бочки перелили некоторое количество воды во вторую, и в ней установилась температура  $t = 50^\circ\text{C}$ . Затем из второй бочки перелили такое же количество воды в первую так, что воды в бочках снова стало поровну. Какая температура установится в первой бочке? Всеми потерями тепла во внешнюю среду и механической работой, совершённой при переливании воды, пренебречь.

$$\Delta Q_{\text{в}} = Q_1 + Q_2 = 0$$

ЗАДАЧА 40. (МОШ, 2010, 9) В цилиндре под поршнем находятся вода и водяной пар при температуре  $100^\circ\text{C}$ . Снаружи цилиндра — вакуум, на поршне стоит груз массой  $m = 100$  кг, позволяющий создать внутри цилиндра давление  $p = 105$  Па. Какое количество теплоты  $Q$  следует сообщить смеси, чтобы поднять груз на высоту  $h = 1$  м от начального положения? Удельная теплота парообразования воды  $L = 2,26 \cdot 10^6$  Дж/кг, плотность водяного пара при  $100^\circ\text{C}$  равна  $\rho = 0,58$  кг/м<sup>3</sup>.

$$Q_{\text{в}} \approx Q_{\text{п}} + Q_{\text{г}} = 0$$

ЗАДАЧА 41. (МОШ, 2017, 9) В калориметр с  $m = 200$  г воды при температуре  $t_0 = 60^\circ\text{C}$  поместили три кубика льда массой  $m_{\text{л}} = 10$  г каждый, имеющих температуры  $t_1 = -10^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = -20^\circ\text{C}$  и  $t_3 = -30^\circ\text{C}$ . Какая температура установится в калориметре после теплообмена? Теплоёмкостью калориметра и потерями тепла можно пренебречь. Удельная теплоёмкость воды  $c_{\text{в}} = 4200$  Дж/(кг · °C), удельная теплоёмкость льда  $c_{\text{л}} = 2100$  Дж/(кг · °C), удельная теплота кристаллизации воды  $\lambda = 330$  кДж/кг.

$$\Delta Q_{\text{в}} = Q_{\text{л}} + Q_{\text{л}} + Q_{\text{л}} = 0$$

ЗАДАЧА 42. (МОШ, 2017, 10) В калориметр с  $m = 200$  г воды при температуре  $t_0 = 80^\circ\text{C}$  поместили четыре кубика льда массой  $m_{\text{л}} = 10$  г каждый, имеющих температуры  $t_1 = -10^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = -20^\circ\text{C}$ ,  $t_3 = -30^\circ\text{C}$  и  $t_4 = -40^\circ\text{C}$ . Какая температура установится в калориметре после теплообмена? Теплоёмкостью калориметра и потерями тепла можно пренебречь. Удельная теплоёмкость воды  $c_{\text{в}} = 4200$  Дж/(кг · °C), удельная теплоёмкость льда  $c_{\text{л}} = 2100$  Дж/(кг · °C), удельная теплота кристаллизации воды  $\lambda = 330$  кДж/кг.

0.919

ЗАДАЧА 43. (МОШ, 2017, 9) В калориметр налили  $m = 200$  г воды, имеющей температуру  $t_1 = 50^\circ\text{C}$ , и добавили лёд при температуре  $t_2 = -20^\circ\text{C}$ . Сколько могло быть добавлено льда, если после установления теплового равновесия температура содержимого калориметра оказалась равной  $t = 0^\circ\text{C}$ ?  $c_{\text{в}} = 4,2$  кДж/(кг · °C),  $c_{\text{л}} = 2,1$  кДж/(кг · °C),  $\lambda = 330$  кДж/кг. Теплоёмкостью калориметра и потерями пренебречь.

0.113 кг > m > 2,57 кг

ЗАДАЧА 44. (МОШ, 2016, 9) В калориметр объёмом  $V_1 = 200$  мл, до краёв заполненный водой при температуре  $t_1 = 10^\circ\text{C}$ , быстро, но аккуратно помещают стальную деталь массой  $m_2 = 780$  г, нагретую до температуры  $t_2 = 80^\circ\text{C}$ . Найдите температуру  $t_3$ , которая установится в калориметре. Теплообменом с окружающей средой можно пренебречь. Плотность воды  $\rho_1 = 1,0$  г/см<sup>3</sup>, стали  $\rho_2 = 7,8$  г/см<sup>3</sup>, удельная теплоёмкость воды  $c_1 = 4,2$  кДж/(кг · °C), стали  $c_2 = 0,46$  кДж/(кг · °C).

427

ЗАДАЧА 45. (МОШ, 2016, 9–11) В герметично закрытом баке находится вода при температуре  $0^\circ\text{C}$ . В воде плавает кусок льда массой 1 кг, в который вмёрзла свинцовая дробинка массой 100 г. Какое количество теплоты нужно подвести к содержимому бака, чтобы лёд с дробинкой затонули? Чему будет равна масса льда в момент, когда лёд с дробинкой начнут тонуть? Как изменится уровень воды в баке после того, как лёд с дробинкой утонут?

Плотность воды  $\rho_{\text{в}} = 1,0$  г/см<sup>3</sup>, плотность льда  $\rho_{\text{л}} = 0,9$  г/см<sup>3</sup>, плотность свинца  $\rho_{\text{с}} = 11,3$  г/см<sup>3</sup>, удельная теплота плавления льда  $\lambda = 335$  кДж/кг. Дробинка находится в середине куска льда и не отрывается от него.

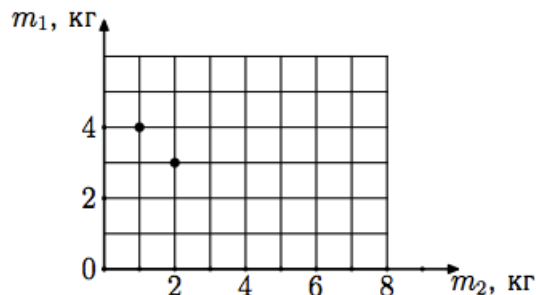
60,3 кДж;  $\approx 820$  г; уровень воды понизится

ЗАДАЧА 46. (МОШ, 2008, 9) На раскалённой плите стоит сосуд с кипящей водой (температура  $t_{\text{к}} = 100^\circ\text{C}$ ), начальная масса которой равна  $m_0$ . Вода испаряется, а часть пара конденсируется на куске льда, расположенном над сосудом, и стекает обратно. Начальная масса льда  $m$ , а его начальная температура  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ . Когда весь лёд растаял, масса воды в сосуде оказалась равной  $m_1$ . Какая доля  $w$  от всего пара конденсировалась на куске льда? Какое количество теплоты  $Q$  было передано от плиты к сосуду? Доля конденсирующегося пара всё время постоянна. Удельная теплоёмкость воды равна  $c$ , удельная теплота плавления льда  $\lambda$ , удельная теплота парообразования воды  $r$ . Контактным теплообменом воды и льда с окружающей средой пренебречь.

$$m_1 = m_0 - w m + (1-w)m = m_0 - w m + (1-w)m = m_0 - w m + m - w m = m_0 - 2w m$$



Задача 50. (МОШ, 2014, 9–11) В калориметре имеется льдинка массой 4 кг. Школьница Алиса наливает в калориметр воду и исследует, сколько льда оказывается в калориметре после установления равновесия. Алиса нанесла два своих экспериментальных результата на диаграмму, демонстрирующую зависимость массы  $m_1$  льда в калориметре в конце процесса от массы  $m_2$  воды, налитой в калориметр. Постройте график зависимости  $m_1$  от  $m_2$ . При какой массе  $m_2$  масса  $m_1$  будет максимальной? Чему равно максимально возможное значение  $m_1$ ?



При каких значениях массы  $m_2$  масса  $m_1$  обратится в нуль? Чему равны начальные температуры льдинки и воды, которую Алиса наливала в калориметр? Удельная теплоёмкость воды 4,2 кДж/(кг · °С), удельная теплоёмкость льда 2,1 кДж/(кг · °С), удельная теплота плавления льда 336 кДж/кг.

См. конспект

Задача 51. (МОШ, 2014, 9) У джентльмена дома стоит большой медный кувшин массой  $M_0 = 500$  кг и внутренним объемом  $V = 1$  м<sup>3</sup>. Джентльмен снял с края крыши сосульки, уже начавшие таять, положил их в кувшин, подождал, пока кувшин охладится до 0 °С, и наполнил его до краёв кипятком температурой 100 °С. Через некоторое время уровень воды в кувшине опустился, и джентльмен влил в него ещё 40 л кипятка, снова наполнив кувшин до краёв. После этого уровень воды в кувшине уже не менялся. Определите установившуюся в кувшине температуру. Температура в комнате 20 °С. Теплообменом кувшина с окружающей средой можно пренебречь. Плотность воды  $\rho_v = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, плотность льда  $\rho_l = 900$  кг/м<sup>3</sup>; удельные теплоёмкости воды и меди составляют  $c_v = 4200$  Дж/(кг · °С) и  $c_m = 385$  Дж/(кг · °С) соответственно, удельная теплота плавления льда  $\lambda = 335$  кДж/кг.

С ≈ 6,6 ≈ θ

Задача 52. (МОШ, 2014, 9) Успешный бизнесмен Иван Михайлович решил порадовать своё подрастающее чадо поездкой на Новый год в тёплые страны, куда полёт на самолёте занимал долгие 8 часов. Пока самолёт набирал высоту, папа рассказывал сыну,

- что расход топлива их самолёта при взлёте равен 14040 кг/ч, и эта величина больше, чем при полёте на неизменной высоте с постоянной скоростью;
- что КПД двигателей на взлёте составляет примерно 12%;
- что самолёт оснащён четырьмя двигателями с силой тяги по 127,4 кН каждый;
- что масса полностью загруженного и заправленного самолёта равна 208 тоннам;
- и, наконец, что удельная теплота сгорания авиационного топлива равна 43 МДж/кг.

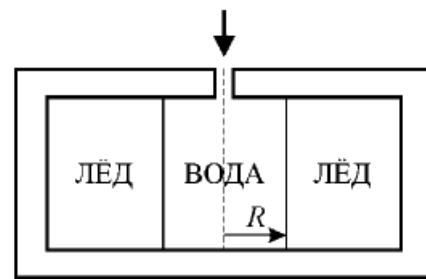
Повествование прервалось сообщением пилота о том, что самолёт движется на высоте 8230 м со скоростью 936 км/ч. Уставший Иван Михайлович заключил: «А теперь, сынок, чтобы не расслабляться от учёбы раньше времени и не скучать, выбери необходимые данные из тех, которые я тебе сообщил, и посчитай, сколько секунд продолжался набор высоты самолёта». Помогите сыну Ивана Михайловича справиться с заданием папы.

Уменьшением массы самолёта за время взлёта можно пренебречь. Ускорение свободного падения принять равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

$t = \frac{m_0 v_0}{(H^2 + g^2)^{0.5}}$



Задача 53. (МОШ, 2016, 9) В широком цилиндрическом калориметре (см. рисунок), частично заполненном льдом при температуре  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ , во льду имеется цилиндрическая полость радиусом  $R = 10$  см, которая сначала ничем не заполнена. В эту полость через небольшое отверстие сверху быстро залили воду, имевшую температуру  $t = 10^\circ\text{C}$ . Лёд начал таять, и, поскольку плотность льда меньше плотности воды, уровень воды начал опускаться. Но через отверстие сверху сразу стали доливать воду, так, чтобы полость в калориметре всё время была полностью заполнена водой. Температура доливаемой воды также равна  $t$ . Воду внутри калориметра постоянно перемешивают так, чтобы лёд во всех точках таял с одинаковой скоростью. В некоторый момент температура воды в калориметре опустилась до  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ , и лёд таять перестал. Найдите радиус полости, заполненной водой, в этот момент. Плотность воды  $\rho_w = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, плотность льда  $\rho_l = 900$  кг/м<sup>3</sup>, удельная теплоёмкость воды  $c = 4200$  Дж/(кг · °C), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 330$  кДж/кг.



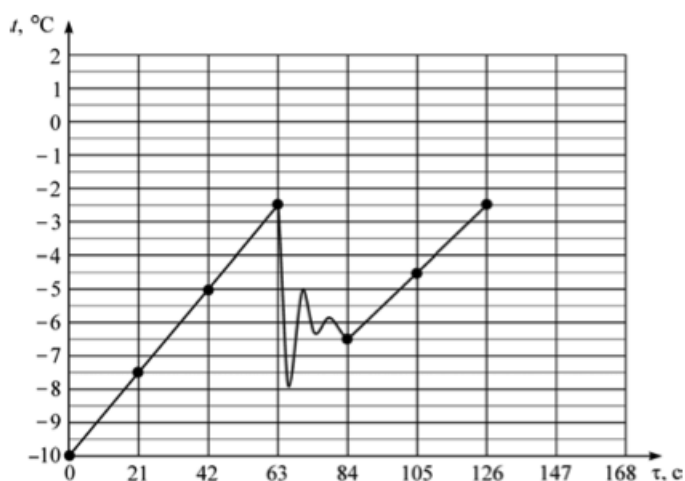
$$R_1 \approx 10,7 \text{ см}$$

Задача 54. (МОШ, 2013, 9) По счастливой случайности отличнику Грише и первой красавице Арише выпало вместе делать лабораторную работу по физике. В работе требовалось поместить капсулу со снегом в нагреваемый калориметр и извлечь её **точно** в тот момент, когда весь снег растает, а температура образовавшейся воды всё ещё будет равна  $0^\circ\text{C}$ .

Гриша аккуратно рассчитал точное время начала и завершения измерений, включил печь, поместил 0,5 кг снега в калориметр и ровно в 9:00 по московскому времени начал измерения. «Скучно», — примерно через минуту подумала Ариша и подсыпала немного снега в калориметр. Гриша в ужасе смотрел на график и печально думал «Красота требует жертв...»

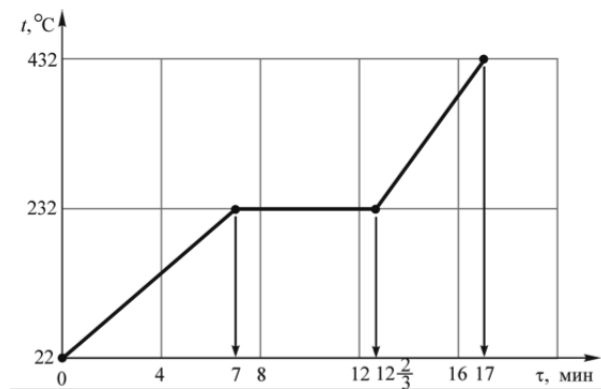
Используя график, определите, каково **теперь** должно быть точное московское время извлечения капсулы из калориметра, чтобы выполнить условия лабораторной работы.

Удельная теплота плавления и удельная теплоёмкость снега равны соответственно  $\lambda = 330$  кДж/кг и  $c = 2,1$  кДж/(кг · °C).



$$9 \text{ ч } 30 \text{ мин } 2,25 \text{ с}$$

Задача 55. (МОШ, 2015, 9) По «счастливой» случайности отличнику Руслану и первой красавице Людмиле выпало вместе делать простейшую лабораторную работу по физике — «Определение удельной теплоты плавления неизвестного вещества». Руслан включил печь, установив некоторую определённую мощность нагревания, поместил в капсулу кусочек исследуемого вещества, и ровно в 10:00 по московскому времени начал измерения. Когда Руслан отошел к учителю, скучающая Людмила тайком переключила тумблер установки мощности печи в другое положение (которое, естественно, не запомнила) и более его не меняла.



К великому удивлению Руслана, результат работы был совершенно неверным, и тогда, под угрозой двойки, Людмила созналась в содеянном. Учитель пожалел ребят и, сообщив им справочные данные, попросил определить:

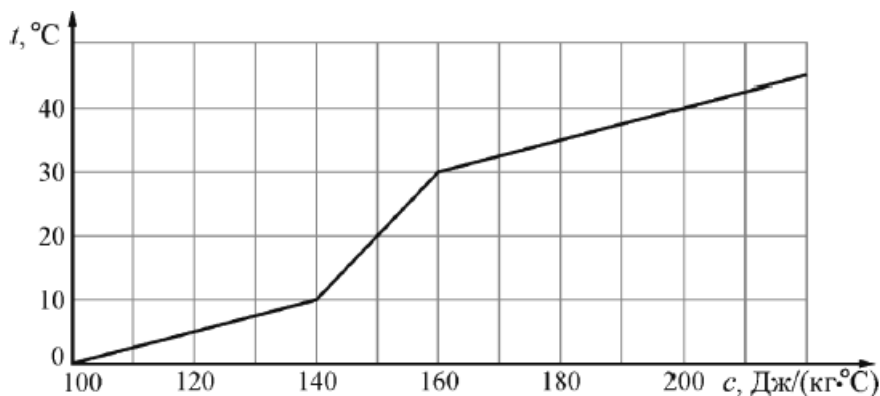
- 1) установленную Людмилой мощность печи;
- 2) точное московское время переключения Людмилой тумблера установки мощности.

Используя полученный Русланом при «помощи» Людмилы график зависимости температуры  $t$  вещества от времени, помогите школьникам справиться с заданием учителя.

Справочные данные: удельная теплоёмкость исследуемого вещества в жидком состоянии  $c = 260$  Дж/(кг·°C); удельная теплота плавления этого вещества  $\lambda = 60$  кДж/кг; масса кусочка вещества  $m = 50$  г; мощность печи, первоначально установленная Русланом,  $P_1 = 6$  Вт.

1) 10 Вт; 2) 10 часов 08 минут 40 секунд

Задача 56. (МОШ, 2016, 9) В некой лаборатории было получено новое вещество неополитропен с удельной теплоёмкостью  $c$ , изменяющейся в зависимости от его температуры  $t$  так, как показано на графике. Какая температура установится в калориметре, если в нём смешать равные массы неополитропена, взятые при температурах  $0^\circ\text{C}$  и  $+40^\circ\text{C}$ ? Удельная теплоёмкость калориметра мала, потерями теплоты можно пренебречь.

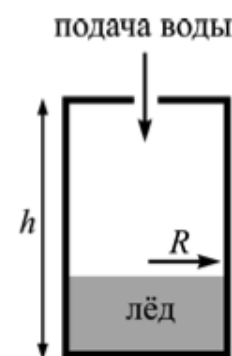


$t \approx 22,3^\circ\text{C}$

Задача 57. (МОШ, 2012, 9) Вася нашел старую медную проволоку с сильно попорченной изоляцией. Намереваясь сдать в пункт приёма цветных металлов медь, он скомкал проволоку и бросил комок в костёр. После такой обработки полностью избавленная от изоляции медь массой 2 кг имела температуру 600 °С. Вася зацепил проволоку железным крючком и, не торопясь, опустил горячий комок проволоки в открытое ведро с 5 литрами воды при начальной температуре 20 °С. Когда перестало раздаваться шипение, Вася круговыми движениями комка проволоки перемешал воду в ведре. Какой стала температура воды в ведре после того как медь остыла? Удельная теплоёмкость меди равна примерно 380 Дж/(кг·°С), удельная теплоёмкость воды — 4200 Дж/(кг·°С), удельная теплота испарения воды — 2,3 МДж/кг.

Пример 23 °С

Задача 58. (МОШ, 2011, 9) Цилиндрический калориметр радиусом  $R = 10$  см и высотой  $h = 30$  см заполнен льдом при температуре  $t_0 = -10$  °С на одну треть своего объёма (см. рисунок). В калориметр через отверстие сверху медленно наливают воду, имеющую температуру  $t = 30$  °С. Какой максимальный объём воды можно налить в калориметр? Удельная теплоёмкость воды  $c_v = 4200$  Дж/(кг·°С), удельная теплоёмкость льда  $c_l = 2100$  Дж/(кг·°С), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 330$  кДж/кг. Плотность воды  $\rho_v = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, плотность льда  $\rho_l = 900$  кг/м<sup>3</sup>. Теплоёмкостью калориметра и потерями теплоты пренебречь.



$$T_1 \approx \frac{(c_l - c_v) \rho_l h_0 + \lambda \rho_l}{(c_l - c_v) \rho_l h_0 + c_v \rho_v h} = A$$

Задача 59. (МОШ, 2017, 9) Для охлаждения своих одинаковых экспериментальных установок юные физики Вася и Петя используют радиаторы, в которые через трубки одинакового сечения закачивают жидкую смесь холодной воды, имеющей температуру  $t_0 = 0$  °С, с мелко перетёртым льдом в объёмном соотношении три к одному. Известно, что в экспериментальной установке Васи на выходе из радиатора получается вода с температурой  $t_1 = +32$  °С, а в установке Пети — с температурой  $t_2 = +75$  °С. Тепловые мощности, отбираемые охлаждающей смесью у двух установок, одинаковы. Чему равно отношение скоростей закачивания смеси в радиаторы экспериментальных установок Васи и Пети? Плотность воды  $\rho_v = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, плотность льда  $\rho_l = 900$  кг/м<sup>3</sup>, удельная теплоёмкость воды  $c = 4200$  Дж/(кг·°С), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 3,35 \cdot 10^5$  Дж/кг.

$$T_1 \approx \frac{1}{4} \frac{(c_l + c_v) \rho_l + c_v \rho_v}{c_l + c_v} = \frac{c_v}{c_l}$$

Задача 60. (МОШ, 2019, 9) Стальной шарик ( $m = 110$  г,  $R = 1,5$  см,  $c = 500$  Дж/(кг·°С)), нагретый до температуры  $T_1 = 500$  °С, лежит на теплоизолирующей подставке в прозрачном сосуде, который заполняют дистиллированной водой ( $m_0 = 0,4$  кг,  $T_0 = 20$  °С), так что шарик оказывается примерно в середине столба воды. Наблюдается интересное явление. Вокруг шарика очень быстро образуется тонкая паровая плёнка, после этого некоторое время толщина плёнки остаётся постоянной, равной  $d = 0,5$  мм, образование пузырьков пара (как при кипении) не наблюдается, теплообмен между водой и шариком происходит через плёнку. В момент, когда температура шарика уменьшается до  $T_2 = 250$  °С, плёнка «срывается» — и в жидкости вблизи шарика начинается бурное кипение, которое продолжается до тех пор, пока температура шарика не уменьшится до  $T_k = 100$  °С. Можно считать, что в процессах образования плёнки и пузырькового кипения всё количество теплоты, отданное шариком, идёт на испарение воды, но треть пара во всплывающих пузырьках (образовавшихся при кипении) конденсируется. Тепло-

обменом с окружающей средой и теплоизолирующей подставкой, а также нагревом пара можно пренебречь. Определите температуру воды к моменту окончания теплообмена между шариком и водой. Удельная теплоёмкость и теплота испарения воды равны  $c_0 = 4200 \text{ Дж/Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$  и  $L = 2,2 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ . Средняя плотность пара равна  $\rho \approx 0,6 \text{ кг/м}^3$ . Объём шара радиусом  $R$  определяется по формуле  $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ .

□◊◊◊

Задача 61. (МОШ, 2016, 10) В теплоизолированном сосуде находится вода при температуре  $t_0 = 10,0^\circ\text{C}$ . Одинаковые шарики (их количество  $n = 100$ ) нагревают до температуры  $\theta = 60,0^\circ\text{C}$ . Затем один шарик опускают в воду. Когда наступает тепловое равновесие, шарик вынимают и заменяют его вторым и так далее. Какой станет температура воды после того, как из неё достанут последний сотый шарик? Теплоёмкость одного шарика составляет  $\alpha = 0,01$  части от теплоёмкости сосуда с водой. Количество воды в сосуде всё время остается постоянным.

$$\square\circ\circ\text{т} \approx \frac{\alpha(\theta+t)}{\theta-t} + \theta = \text{т}$$

Задача 62. (МОШ, 2015, 10–11) У школьницы Арины в холодильнике имеются ледяные кубики (все одинаковые) и шарики (все одинаковые). На столе у Арины — два одинаковых сосуда с одинаковым количеством воды комнатной температуры. В первый сосуд Арина положила шарик и далее стала класть ледяные кубики (по одному); она увидела, что шарик и три кубика полностью растаяли, а четвёртый кубик растаял частично. Во второй сосуд Арина сначала положила один ледяной кубик, а затем — шарики. Она увидела, что кубик и пять шариков полностью растаяли, а шестой шарик растаял частично. Чему может быть равно отношение массы шарика к массе кубика? Отношение в ответе записывайте в виде обыкновенной дроби. Потерями тепла можно пренебречь.

$$\frac{m}{M} \geq \frac{m}{m} \geq \frac{5}{2}$$

Задача 63. (МОШ, 2016, 10) Десятиклассник Вася проводит домашний эксперимент. Он налил в кружку 200 мл воды (до краёв) при температуре  $+20^\circ\text{C}$ . Затем он отпивает один маленький глоток (5 мл), тут же доликает в чашку кипятком до краёв, аккуратно перемешивает содержимое чашки очень лёгкой пластиковой ложечкой (не расплескивая содержимого) и повторяет описанную процедуру много раз. Максимальная температура воды, которую Вася ещё может проглотить, не рискуя обжечься, равна  $+60^\circ\text{C}$ . Сколько воды выпьет Вася до конца своего эксперимента?

□тм 135 мл

Задача 64. (МОШ, 2012, 10) После поломки систем отопления и водоснабжения бассейна объёмом  $V$  часть воды вытекла из него, а оставшаяся часть замёрзла. В итоге в бассейне остался лёд объёмом  $(10/27)V$  при температуре  $0^\circ\text{C}$ . В бассейн начинают наливать воду. Какую температуру должна иметь вода, чтобы когда лёд растает и бассейн будет полностью заполнен, вода в нём имела температуру  $t = 20^\circ\text{C}$ ? Плотности воды и льда  $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_{\text{л}} = 900 \text{ кг/м}^3$ , удельные теплоёмкости воды и льда  $c_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$  и  $c_{\text{л}} = 2100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$  соответственно, удельная теплота плавления льда  $\lambda = 335 \text{ кДж/кг}$ . Потерями теплоты пренебречь.

$$\square\circ\circ\text{т} \approx \frac{v d_{01} - a d_{27}}{(a_0/\chi + t) v d_{01}} + t = 0\text{т}$$

Задача 65. (МОШ, 2011, 10) Школьник Коля налил в тарелку холодную окрошку, имеющую температуру  $t_{\text{окр}} = 10^\circ\text{C}$ . Масса окрошки в тарелке равна  $m = 300$  г, а её удельная теплоёмкость равна удельной теплоёмкости воды  $c_{\text{в}} = 4200$  Дж/(кг · °C). Коля добавил в окрошку горячую картошку, которая имела температуру  $t_{\text{карт}} = 80^\circ\text{C}$ . Полная теплоёмкость добавленной картошки равна  $C = 450$  Дж/°C. После установления теплового равновесия температура картошки и окрошки оказалась равной  $t = 22^\circ\text{C}$ . В какую сторону было передано больше теплоты при теплообмене с окружающей средой: от содержимого тарелки в среду или наоборот, и на сколько больше?

$$Q_{\text{окр}} = (m_{\text{окр}} - m) c_{\text{в}} (t - t_{\text{окр}}) = Q_{\text{карт}} = C (t - t_{\text{карт}})$$

Задача 66. (МОШ, 2015, 10) На водопроводном смесителе установлены два крана — холодный и горячий. Краны одинаковы по своей конструкции — она такова, что количество воды, протекающее через каждый кран за одну секунду, пропорционально углу поворота крана при его открывании. Если повернуть холодный кран на угол  $\alpha_1 = 180^\circ$ , а горячий кран — на угол  $\beta_1 = 60^\circ$ , из крана потечёт вода температурой  $t_1 = 36^\circ\text{C}$ . Если же повернуть холодный кран на угол  $\alpha_2 = 120^\circ$ , а горячий кран — на угол  $\beta_2 = 90^\circ$ , то из крана потечёт вода температурой  $t_2 = 48^\circ\text{C}$ . Найдите температуру воды, текущей из крана, когда холодный кран повернут на угол  $\alpha_3 = 160^\circ$ , а горячий кран повернут на угол  $\beta_3 = 80^\circ$ . Потерями теплоты в смесителе пренебречь.

$$t = \frac{\alpha_1 \beta_2 + \alpha_2 \beta_1}{\alpha_1 \beta_2 + \alpha_2 \beta_1 + \alpha_3 \beta_3} t_1 + \frac{\alpha_1 \beta_1 + \alpha_2 \beta_2}{\alpha_1 \beta_2 + \alpha_2 \beta_1 + \alpha_3 \beta_3} t_2$$

Задача 67. (МОШ, 2009, 10) В цилиндрический стакан объёмом  $V = 200$  мл и сечением  $S = 20$  см<sup>2</sup>, стоящий на столе при комнатной температуре  $T_{\text{к}} = 20^\circ\text{C}$ , положили кусок льда массой  $m = 100$  г, находящийся при температуре  $T_0 = 0^\circ\text{C}$ , и накрыли стакан плотно прилегающей крышкой. Оцените силу, которая потребует, чтобы оторвать крышку от стакана сразу после того как лёд растает. Считайте, что теплота поступает в стакан только снизу, крышку отрывают сразу по всему периметру, атмосферное давление  $p_{\text{а}} = 10^5$  Па, плотность льда  $\rho_{\text{л}} = 900$  кг/м<sup>3</sup>, плотность воды  $\rho_{\text{в}} = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

$$F \approx \left( \frac{m - \rho_{\text{л}} V}{\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}}} \right) S p_{\text{а}}$$

Задача 68. (МОШ, 2014, 10) В сосуде с не проводящими теплоту стенками под лёгким поршнем при атмосферном давлении  $p = 10^5$  Па находится  $m = 1,1$  г жидкой сверхтяжёлой воды Т<sub>2</sub>О (молярная масса  $\mu = 22$  г/моль) при температуре  $T_1 = 0^\circ\text{C}$ . Ядра трития (обозначаются Т, имеют атомную массу 3), входящие в состав сверхтяжёлой воды, радиоактивны. При распаде одного моля ядер трития выделяется энергия  $E = 1,79$  ГДж, при этом каждую секунду в каждом моле трития распадается  $N = 1,07 \cdot 10^{15}$  его ядер. Молярная изобарная теплоёмкость сверхтяжёлой воды и её пара почти такие же, как и у обычной воды ( $C_{\text{в}} = 75,6$  Дж/(моль · К) и  $C_{\text{п}} = 33,2$  Дж/(моль · К) соответственно). Температура кипения при нормальном давлении и молярная теплота испарения тоже близки к соответствующим значениям для обычной воды ( $T_2 = 100^\circ\text{C}$  и  $L = 40$  кДж/моль). Сколько времени  $\tau_1$  потребует, чтобы довести воду до кипения? В течение какого времени  $\tau_2$  вода будет кипеть? До какой температуры  $T_3$  нагреется содержимое сосуда через время  $\tau_3 = 2,5$  часа после начала эксперимента? Каким будет объём  $V$  сосуда к данному моменту времени? Считайте, что вся энергия, выделяющаяся при распаде трития, сообщается воде. Постоянная Авогадро  $N_{\text{А}} = 6 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>, универсальная газовая постоянная  $R = 8,3$  Дж/(моль · К).

$$\tau_1 \approx \frac{m}{\mu} \frac{C_{\text{в}}}{N} \frac{1}{N_{\text{А}}} + \frac{m}{\mu} \frac{C_{\text{п}}}{N} \frac{1}{N_{\text{А}}} + \frac{m}{\mu} \frac{L}{N_{\text{А}}} \frac{1}{N_{\text{А}}}$$

Задача 69. (МОШ, 2007, 11) В сосуде находился лёд при температуре  $t_{\text{л}} = -20^\circ\text{C}$ . Туда влили воду массой  $m_{\text{в}} = 0,4$  кг, взятую при температуре  $t_{\text{в}} = 60^\circ\text{C}$ . Каким может быть конечный объём  $V$  содержимого сосуда, если установившаяся в системе температура: а) положительна; б) отрицательна; в) равна нулю? Плотности воды и льда  $\rho_{\text{в}} = 1000$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_{\text{л}} = 900$  кг/м<sup>3</sup>, их удельные теплоёмкости  $c_{\text{в}} = 4200$  Дж/(кг · °C) и  $c_{\text{л}} = 2100$  Дж/(кг · °C), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 335$  кДж/кг. Теплоёмкостью сосуда и потерями тепла пренебречь.

См. конспект

Задача 70. (МОШ, 2014, 11) Школьницы Алиса и Василиса хотят оценить температуру воды в калориметрах. Термометров у них нет. Смешав 100 г воды из своего калориметра и 100 г воды из ведра, где находилась смесь воды и льда, Василиса обнаружила, что полученная смесь холоднее воды в калориметре у Алисы. Смешав 200 г воды из своего калориметра и 100 г воды из чайника с кипящей водой, Алиса обнаружила, что данная смесь холоднее, чем вода в калориметре у Василисы. В каких пределах может изменяться температура в калориметре у Алисы? А в калориметре у Василисы? В каких пределах может изменяться разность температуры в калориметре Алисы и температуры в калориметре Василисы?

$$25^\circ\text{C} \geq t_2 \geq 20^\circ\text{C}; 50^\circ\text{C} \geq t_1 \geq 0^\circ\text{C}; 100^\circ\text{C} \geq t_3 \geq 0^\circ\text{C}; |t_2 - t_1| \geq 0^\circ\text{C}$$

Задача 71. (МОШ, 2015, 11) Школьница Алиса проводит опыты с двумя одинаковыми стаканами. Первый стакан Алиса заполнила водой комнатной температуры  $t_0 = 20^\circ\text{C}$  до половины объёма, а затем долила столько же воды с температурой  $t_1 = 30^\circ\text{C}$ . Алиса была уверена, что установившаяся температура будет равна  $25^\circ\text{C}$ ; однако она оказалась равной  $t_2 = 23^\circ\text{C}$ . Как могла рассуждать Алиса и почему конечная температура оказалась другой? Какая температура  $t_3$  установится во втором стакане, если Алиса заполнит его сначала водой комнатной температуры на одну треть и затем дополнит доверху водой температуры  $t_1 = 30^\circ\text{C}$ ? Потерями тепла в окружающее пространство за время установления температуры можно пренебречь.

$$t_3 = 24^\circ\text{C}; \text{Алиса забыла про теплоёмкость стакана}; t_2 = 24^\circ\text{C}$$

Задача 72. (МОШ, 2015, 11) Туристы развели костёр и поставили кипятиться воду в котелке с плоским дном и вертикальными стенками. Когда вода закипела, котелок не сняли с костра, и спустя время  $\tau = 8$  мин после начала кипения уровень воды в котелке уменьшился на  $h = 2,5$  см. В этот момент начался дождь, но туристы продолжали поддерживать костёр, поскольку группа людей с продуктами задержалась. В каждом кубометре воздуха находится  $n = 200$  дождевых капель, которые падают вертикально с постоянной скоростью  $v = 9$  м/с. Температура каждой капли равна  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ , а её масса равна  $m_0 = 50$  мкг.

- 1) Будет ли вода в котелке продолжать кипеть после начала дождя? Ответ обоснуйте.
- 2) Как и за какое время после начала дождя уровень воды в котелке изменится ещё на  $H = 1$  см?

Плотность воды  $\rho = 1$  г/см<sup>3</sup>, удельная теплоёмкость воды  $c = 4200$  Дж/(кг · °C), удельная теплота парообразования воды  $r = 2,2 \cdot 10^6$  Дж/кг. Считайте, что подводимая к воде в котелке тепловая мощность всё время поддерживается постоянной.

$$(1) \text{ Да, так как } \frac{cm_0 n v \Delta t}{\rho V} < 1; (2) \Delta \tau = \frac{m_0 n v}{H \rho} \left( \frac{c}{v} + 1 \right) \approx 14 \text{ с (уровень увеличился)}$$

### 3 «Покори Воробьёвы горы!»

ЗАДАЧА 73. («Покори Воробьёвы горы!», 2019, 7–9) Ученик 8 класса на лабораторной работе налил в калориметр кипящую воду, и стал бросать туда чайной ложкой мокрый снег (состоящий на 80% из кристалликов льда и на 20% из жидкой воды, находящихся в равновесии). После таяния двух ложек снега температура воды в калориметре стала равна  $t_2 = 80^\circ\text{C}$ . Какое минимальное количество ложек нужно еще бросить в калориметр, чтобы снег перестал таять? Можно считать, что в каждой ложке всегда одно и то же количество снега, и калориметр не переполняется. Теплоемкостью калориметра пренебречь. Удельная теплота плавления льда  $\lambda = 336$  кДж/кг, удельная теплоемкость воды  $c = 4,2$  кДж/(кг · °C).

Лжжжж 12

ЗАДАЧА 74. («Покори Воробьёвы горы!», 2019, 7–9) Ученик 8 класса на лабораторной работе поместил в калориметр  $M = 115$  г мокрого снега (состоящего на 60% из кристалликов льда и на 40% из жидкой воды, находящихся в равновесии), и стал добавлять туда ложкой кипящую воду. После добавления одной ложки и установления равновесия масса ледяных кристаллов в калориметре стала равна  $m = 63$  г. Школьник добавил еще 11 ложек горячей воды. Какой стала температура содержимого калориметра после установления нового равновесия? Можно считать, что в каждой ложке всегда одно и то же количество воды и калориметр не переполняется. Теплоемкостью калориметра пренебречь. Удельная теплота плавления льда  $\lambda = 336$  кДж/кг, удельная теплоемкость воды  $c = 4,2$  кДж/(кг · °C).

$$0.96'11 \approx \frac{[\chi^1 m_2 \lambda - (\chi_2 \lambda + 0_2) M] c}{0_4 (m - M) c_0} = 1$$

ЗАДАЧА 75. («Покори Воробьёвы горы!», 2019, 7–9) Какую массу газа нужно сжечь, чтобы получить  $V = 3$  литра кипящей воды из мокрого снега (масса которого на 60% состоит из ледяных кристалликов и на 40% из воды), имеющего температуру  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ? Снег помещен в железный котелок массы  $M = 500$  г, а для его нагревания используется газовая горелка. Конструкция горелки такова, что на нагрев котелка и его содержимого тратится 50% количества теплоты, выделяющегося при сгорании газа. Плотность воды  $\rho = 1$  г/см<sup>3</sup>, удельная теплоемкость воды  $c_v = 4,2$  кДж/(кг · °C), удельная теплоемкость железа  $c_{ж} = 0,46$  кДж/(кг · °C), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 330$  кДж/кг, удельная теплота сгорания газа  $q = 34$  МДж/кг.

1 8,88 ≈ m

ЗАДАЧА 76. («Покори Воробьёвы горы!», 2019, 7–9) Ученик 8 класса решил выяснить, какую температуру имеет вода, текущая из холодного крана в его квартире. У него был только ртутный медицинский термометр. Он налил в термос теплой воды и измерил ее температуру: она оказалась равной  $t_0 = 40,0^\circ\text{C}$ . Он поместил массивную гайку на ниточке под поток холодной воды из крана, а затем перенес гайку в термос, подождал и измерил новую температуру воды в термосе  $t_1 = 37,9^\circ\text{C}$ . Гайка еще раз была помещена под струю воды, а затем в термос, и после этого вода в термосе имела температуру  $t_2 = 36,0^\circ\text{C}$ . Какова же температура холодной воды? Теплоемкостью термометра пренебречь.

$$0.96'11 = \frac{1_7 c - c_1 + 0_1}{\frac{1}{t_2} - c_2 0_2} = 1$$

ЗАДАЧА 77. («*Покори Воробьёвы горы!*», 2019, 7–9) Ученик 8 класса на лабораторной работе налил в калориметр 100 г воды с температурой  $0^\circ\text{C}$  и стал бросать туда толченый лёд из лабораторного морозильника с температурой  $t_1 = -40^\circ\text{C}$ . Нам известно, что уже после первой порции 7,5 г воды превратились в лёд. Но школьник этого не знал, и он отправил в калориметр еще 13 таких же порций льда, каждый раз встряхивая калориметр для перемешивания содержимого и дожидаясь установления теплового равновесия. Какова в итоге оказалась температура содержимого калориметра? Калориметр не переполняется. Теплоемкостью калориметра пренебречь. Удельная теплота плавления льда  $\lambda = 336$  кДж/кг, удельная теплоемкость льда  $c = 2,1$  кДж/(кг  $\cdot$   $^\circ\text{C}$ ).

$$Q_{\text{отд}} = Q_{\text{пол}} \approx Q_{\text{отд}} = ?$$

ЗАДАЧА 78. («*Покори Воробьёвы горы!*», 2015, 7–9) К дню рождения мамы Вова (ученик 8 класса) решил сварить компот. Он смешал в кастрюле воду, изюм, орехи, мёд 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.

$$Q_{\text{отд}} \approx \frac{Q_{\text{отд}}}{\tau} = ?$$

ЗАДАЧА 79. («*Покори Воробьёвы горы!*», 2018, 7–9) В трёхлитровую банку массой  $m = 250$  г набросали доверху мокрого снега, не утрамбовывая его. Оказалось, что масса банки со снегом равна  $M = 2550$  г. Если снег плотно утрамбовать, его объём станет равен  $V = 2,5$  л. Какое количество теплоты нужно сообщить снегу, чтобы он полностью растаял? Плотность воды  $\rho_0 = 1$  г/см<sup>3</sup>; плотность ледяных кристаллов, из которых состоит сухой снег,  $\rho = 0,9$  г/см<sup>3</sup>, удельная теплота плавления льда  $\lambda \approx 340$  кДж/кг.

$$Q_{\text{отд}} = (m + M - \lambda^{\text{пл}}) \frac{d^{\text{пл}}}{dV} = ?$$

ЗАДАЧА 80. («*Покори Воробьёвы горы!*», 2018, 7–9) В теплоизолирующем цилиндрическом сосуде под скользящим без трения поршнем находились в равновесии  $m_1 = 200$  г льда и  $m_2 = 800$  г воды при нормальном атмосферном давлении. В него закачивают насыщенный водяной пар под таким же давлением. Какую массу пара нужно закачать, чтобы температура содержимого увеличилась до  $t = 50^\circ\text{C}$ ? Удельная теплота плавления льда  $\lambda \approx 340$  кДж/кг, удельная теплоемкость воды  $c = 4200$  Дж/(кг  $\cdot$  К), удельная теплота парообразования воды  $r = 2480$  кДж/кг.

$$Q_{\text{отд}} \approx m$$



ЗАДАЧА 81. («Покори Воробьёвы горы!», 2018, 7–9) При соблюдении необходимых предосторожностей воду под давлением 1 атм можно нагреть до температуры  $t_1 = 103^\circ\text{C}$ . В  $V = 2$  л такой воды, находящейся в теплоизолирующем сосуде, из-за «случайно» (например, под действием космического излучения) появившейся неоднородности образовался микроскопический пузырёк водяного пара. Найти объём водяного пара после установления равновесия (давление на поверхность воды поддерживается неизменным).

Удельная теплоёмкость воды  $c = 4200$  Дж/(кг·К), удельная теплота парообразования воды  $r = 2480$  кДж/кг, плотность насыщенного водяного пара при  $t_0 = 100^\circ\text{C}$  равна  $\rho_0 = 0,58$  кг/м<sup>3</sup>, плотность воды считать равной  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

$$\rho_0 \cdot V \cdot \Delta T \approx \frac{\rho_0 \cdot V \cdot r}{(t_1 - t_0) \cdot \rho} = x \cdot V$$

ЗАДАЧА 82. («Покори Воробьёвы горы!», 2014, 10–11) В теплоизолированный сосуд, содержащий находящиеся в равновесии  $V = 1$  л воды и  $m = 10$  г водяного пара под давлением  $p = 1$  атм, засыпали  $M = 300$  г льда с температурой  $t_1 = -10^\circ\text{C}$ . Найти температуру содержимого сосуда после установления равновесия. Удельная теплоёмкость льда  $c_{\text{л}} = 2100$  Дж/(кг·К), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 340$  кДж/кг, удельная теплоёмкость воды  $c = 4200$  Дж/(кг·К), удельная теплота парообразования воды  $r = 2480$  кДж/кг.

$$Q_{\text{отд}} \approx Q_{\text{пол}} + Q_{\text{пар}}$$

#### 4 «Росатом»

ЗАДАЧА 83. («Росатом», 2012, 8–9)  $m_1 = 10$  г воды, имеющей температуру  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ , смешивают с  $m_2 = 25$  г воды, имеющей температуру  $t_2 = 35^\circ\text{C}$ . Найти температуру смеси. Теплообменом с окружающей средой пренебречь.

$$Q_{\text{отд}} = \frac{c_1 m_1 + c_2 m_2}{c_1 + c_2} = t$$

ЗАДАЧА 84. («Росатом», 2017, 8–9) В калориметр, содержащий некоторое количество воды с неизвестной температурой, положили кусок льда с температурой  $t_1 = -50^\circ\text{C}$ . После установления равновесия весь лёд превратился в воду с температурой  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ . После того как в калориметр положили ещё восемь таких же кусков льда с той же температурой  $t_1 = -50^\circ\text{C}$ , вся вода превратилась в лёд с температурой  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ . Найти начальную температуру воды. Удельная теплоёмкость льда  $c_{\text{л}} = 2,1 \cdot 10^3$  Дж/(кг·°C), удельная теплоёмкость воды  $c_{\text{в}} = 4,2 \cdot 10^3$  Дж/(кг·°C), удельная теплота плавления льда  $\lambda = 336 \cdot 10^3$  Дж/кг.

$$Q_{\text{отд}} = \frac{c_{\text{л}}(t_1 - t_0) + \lambda}{c_{\text{в}} + (t_1 - t_0)} + Q_{\text{отд}} = Q_{\text{пол}}$$

ЗАДАЧА 85. («Росатом», 2019, 8–9) Имеется два калориметра, в которые налито: масса воды  $m$  комнатной температуры в один, и масса  $2m$  кипящей воды — в другой. Очень точный термометр, опущенный в первый калориметр, показал температуру  $t_0 = 20,4^\circ\text{C}$ . Затем термометр опускают во второй калориметр, и он показывает температуру  $t_2 = 99,7^\circ\text{C}$ . Какую температуру покажет термометр, если его вынуть из второго калориметра и сразу же опустить в первый? Атмосферное давление — нормальное, теплоемкости калориметров и потери тепла пренебрежимо малы.

$$Q_{\text{отд}} = \frac{(c_1 - c_2)m(t_2 - t_0) + c_2 m t_2}{(c_1 - c_2)m + c_2 m} = x$$

ЗАДАЧА 86. («Росатом», 2018, 9) В калориметр налита вода комнатной температуры  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ . Объём воды составляет половину объёма калориметра. Когда в калориметр доливают столько же воды, имеющей температуру  $t_2 = 30^\circ\text{C}$ , в нём устанавливается температура  $t_0 = 24^\circ\text{C}$ . Другой точно такой же калориметр, находящийся при комнатной температуре, содержит воду, объём которой составляет одну треть объёма калориметра. Какая установится температура в этом калориметре, если его доверху заполнить водой с температурой  $t_2$ ? Рассеянием тепла в окружающее пространство пренебречь.

$$t_0 = \frac{t_1}{2} + \frac{t_2}{2} = 27$$

ЗАДАЧА 87. («Росатом», 2016, 9–10) Имеется два стакана с водой. В первом стакане содержится некоторое количество холодной воды, во втором — вдвое большее количество горячей воды. Когда из первого стакана перелили некоторое количество воды во второй стакан, температура воды в нём понизилась на величину  $\Delta t$ . Затем из второго стакана такое же количество воды вернули назад в первый стакан так, что количество воды в стаканах стало равно первоначальному. На сколько повысилась температура воды в первом стакане? Потерями тепла и теплоёмкостью стаканов пренебречь.

$$\Delta t_1 = 2\Delta t$$

ЗАДАЧА 88. («Росатом», 2011, 9–10) В лёгкий тонкостенный сосуд, содержащий  $m_1 = 500$  г воды при начальной температуре  $t_1 = 90^\circ\text{C}$ , доливают ещё  $m_2 = 400$  г воды при температуре  $t_2 = 60^\circ\text{C}$  и  $m_3 = 300$  г воды при температуре  $t_3 = 20^\circ\text{C}$ . Пренебрегая теплообменом с окружающей средой, определите установившуюся температуру.

$$t = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2 + m_3 t_3}{m_1 + m_2 + m_3} = 47$$

ЗАДАЧА 89. («Росатом», 2014, 8–9) В сосуд с горячей водой массой  $m = 0,5$  кг опустили работающий нагреватель. В результате температура воды повысилась на  $\Delta T = 1^\circ\text{C}$  за время  $t_1 = 100$  с. Если бы воду не нагревали, то её температура понизилась бы на ту же величину  $\Delta T$  за время  $t_2 = 200$  с. Какова мощность нагревателя? Удельная теплоёмкость воды  $c = 4,2 \cdot 10^3$  Дж/(кг · К), теплоёмкостью сосуда пренебречь.

$$P = cm\Delta T \left( \frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} \right) = 31,5 \text{ Вт}$$

ЗАДАЧА 90. («Росатом», 2011, 11) Тело, нагретое до температуры  $t_0 = 100^\circ\text{C}$ , опустили в сосуд с водой, и при этом температура воды повысилась от  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 30^\circ\text{C}$ . Какой станет температура в сосуде, если в него опустить ещё два таких же тела?

$$t_4 = 40$$

## 5 «Курчатов»

ЗАДАЧА 91. («Курчатов», 2018, 9) В калориметре смешали  $m_1 = 100$  г воды, имеющей температуру  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ , и  $m_2 = 50$  г воды, имеющей температуру  $t_2 = 50^\circ\text{C}$ . Найдите температуру  $t_3$  смеси. Сколько ещё воды, взятой при температуре  $t_4 = 60^\circ\text{C}$ , нужно долить в калориметр, чтобы в нём установилась температура  $t_5 = 40^\circ\text{C}$ ? Потерями тепла можно пренебречь.

$$m_3 = 50 \text{ г}$$

ЗАДАЧА 92. («Курчатов», 2015, 8–9) Литр воды имеет комнатную температуру  $20^\circ\text{C}$  и находится в открытом сверху тонкостенном сосуде. В воду быстро (за время меньше чем 1 с) опустили разогретую до  $800^\circ\text{C}$  тонкую медную плоскую пластину массой 0,64 кг, удерживая её клещами. Пластина лежит в вертикальной плоскости. Верхний край пластины оказался вровень с уровнем воды в сосуде. Движениями пластины воду перемешали и сразу же опустили в воду термометр. Что он показал? Удельная теплоёмкость меди  $0,38 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , воды —  $4,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , удельная теплота парообразования воды  $2,3 \text{ МДж}/\text{кг}$ .

24,7°C

ЗАДАЧА 93. («Курчатов», 2014, 8–9) В калориметр со встроенным электронагревателем налили 50 мл воды при комнатной температуре. Затем электронагреватель включили на 10 минут. Температура воды повысилась на  $12^\circ\text{C}$ . Затем воду вылили, дождалась, пока калориметр остынет до комнатной температуры, залили в него 100 мл воды и снова включили электронагреватель на 10 минут. В этот раз температура воды повысилась на  $8^\circ\text{C}$ . Затем повторили то же самое, но со 150 мл воды. На сколько градусов повысилась температура воды в этом случае? Мощность электронагревателя постоянна, теплопотерями можно пренебречь.

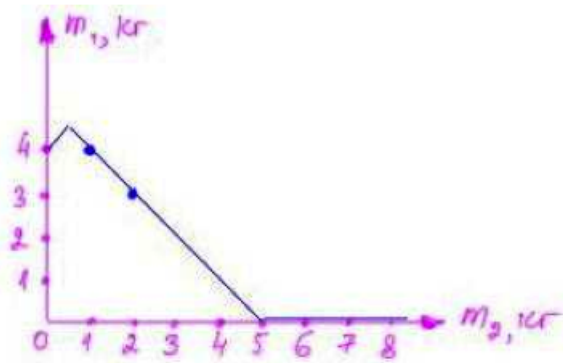
20,6°C

ЗАДАЧА 94. («Курчатов», 2016, 9–10) У школьника Васи есть много одинаковых медных монет с температурой  $t_0$  и теплоизолированный цилиндрический сосуд с водой, начальная температура которой тоже равна  $t_0$ . Вася по одной опускает монеты в воду, отпуская их без начальной скорости с высоты текущего уровня воды. Площадь дна сосуда  $S$ , начальный уровень воды  $H$ , масса одной монеты  $m$ , удельная теплоёмкость меди  $c$ , плотность меди равна  $\rho$ . Плотность и удельная теплоёмкость воды равны  $\rho_0$  и  $c_0$ . До какой максимальной температуры можно нагреть воду таким способом? Сколько нужно бросить в воду монет, чтобы изменение её температуры было вдвое меньше максимально возможного? При решении задачи считайте, что монеты занимают весь объём ниже определенного уровня, то есть образуют на дне сплошной медный цилиндр (промежутки между монетами можно не учитывать). Теплоёмкостью сосуда можно пренебречь.

$$\frac{m_0}{HS} = N \cdot \frac{c}{H\rho} \left( \frac{d}{H} - 1 \right) + t_0 = t$$

### Ответ к задаче 50

График состоит из трёх участков линейной зависимости и изображён на рисунке:



Максимальное значение  $m_1 = 4,5$  кг достигается при  $m_2 = 0,5$  кг. Масса  $m_1$  обращается в нуль при  $m_2 \geq 5$  кг. Начальная температура воды  $80^\circ\text{C}$ , льда  $-40^\circ\text{C}$ .

### Ответ к задаче 69

а)  $\frac{m_B}{\rho_B} \leq V < \frac{m_B}{\rho_B} \left( 1 + \frac{c_B t_B}{c_L |t_L| + \lambda} \right)$ , т. е. от 0,4 л до 0,67 л;

б)  $V > \frac{m_B}{\rho_L} \left( 1 + \frac{c_B t_B + \lambda}{c_L |t_L|} \right)$ , т. е.  $V > 6,7$  л;

в)  $\frac{m_B}{\rho_B} \left( 1 + \frac{c_B t_B}{c_L |t_L| + \lambda} \right) \leq V \leq \frac{m_B}{\rho_L} \left( 1 + \frac{c_B t_B + \lambda}{c_L |t_L|} \right)$ , т. е. от 0,67 л до 6,7 л.