

## Теплообмен

ЗАДАЧА 1. («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.

$$\boxed{20.08 = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2} = t}$$

ЗАДАЧА 2. (Всеросс., 2017, МЭ, 8) В калориметре смешали десять порций воды. Первая порция имела массу  $m = 1$  г и температуру  $t = 1^\circ\text{C}$ , вторая — массу  $2m$  и температуру  $2t$ , третья —  $3m$  и  $3t$ , и так далее, а десятая — массу  $10m$  и температуру  $10t$ . Определите установившуюся температуру смеси. Потерями теплоты пренебречь.

$$\boxed{20.2 = 10 = 10t}$$

ЗАДАЧА 3. («Физтех», 2015, 8) Перед купанием в большую пустую чугунную ванну было набрано  $V = 80$  л воды при температуре  $70^\circ\text{C}$  и столько же воды, имеющей комнатную температуру  $20^\circ\text{C}$ . После завершения теплообмена выяснилось, что температура в ванне установилась около  $40^\circ\text{C}$  и залезть в нее нельзя, так как очень горячо. Сколько вёдер холодной воды с температурой  $20^\circ\text{C}$  придётся еще добавить, чтобы понизить температуру смеси до  $30^\circ\text{C}$ ? Объем ведра 10 л. Потерями в окружающую среду пренебречь. Ответ округлить до целых.

20

ЗАДАЧА 4. («Физтех», 2016, 8) Брусок, нагретый до  $90^\circ\text{C}$ , опустили в калориметр с водой. При этом температура воды повысилась с  $20^\circ\text{C}$  до  $40^\circ\text{C}$ . Какой станет температура воды в калориметре, если, не вынимая первого бруска, в неё опустить ещё один такой же брусок, нагретый до  $70^\circ\text{C}$ ? Потерями пренебречь. Ответ выразить в  $^\circ\text{C}$ , округлить до целых.

47

ЗАДАЧА 5. (МОШ, 2010, 8) Король любит за завтраком пить кофе, имеющий температуру ровно  $50^\circ\text{C}$ . Хитрый слуга наливает в чашку 60 г кофе, имеющего температуру  $90^\circ\text{C}$ , ждёт, пока он остынет до некоторой температуры, затем добавляет в чашку 20 г воды, имеющей температуру  $20^\circ\text{C}$ , перемешивает содержимое чашки и сразу подаёт королю. Какую температуру имеет кофе в момент добавления в него воды? Удельные теплоёмкости воды и кофе считать одинаковыми.

20.09

ЗАДАЧА 6. (МОШ, 2010, 8) В цилиндрический стакан налита вода до уровня  $h_0 = 10$  см при температуре  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ . В стакан бросают алюминиевый шарик, вынутый из другого сосуда с водой, кипящей при температуре  $t_k = 100^\circ\text{C}$ . При этом уровень воды повышается на  $x = 1$  см. Какой будет установившаяся температура в стакане? Удельные теплоёмкости воды и алюминия  $c_b = 4200$  Дж/(кг· $^\circ\text{C}$ ) и  $c_a = 920$  Дж/(кг· $^\circ\text{C}$ ), плотности воды и алюминия  $\rho_b = 1000$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_a = 2700$  кг/м<sup>3</sup>.

$$\boxed{20.9 = \frac{0.4 \cdot 920 \cdot 100 + x \cdot 4200 \cdot 0}{0.4 \cdot 920 + x \cdot 4200} = t}$$

ЗАДАЧА 7. (МОШ, 2012, 8) Школьница Ирина взяла сосуд с холодной водой и поставила его на электроплитку. Проведя измерения, Ирина выяснила, что температура воды в сосуде увеличивается на  $1^\circ\text{C}$  каждые 20 с. Дождавшись, когда сосуд нагрелся до  $30^\circ\text{C}$ , Ирина сняла его с плитки и поместила в воду металлическую гирю, находившуюся в другом сосуде в тепловом равновесии со смесью воды и льда. Температура в сосуде с водой и гирей установилась равной  $25^\circ\text{C}$ . За какое время этот сосуд будет нагреваться на  $1^\circ\text{C}$ , если Ирина, не вынимая гирю, вновь поставит его на электроплитку? Потерями энергии пренебречь, вода из сосуда в данном процессе не выливалась.

За 24 с

ЗАДАЧА 8. (МОШ, 2018, 8) Хорошо проводящие тепло кубики  $A$ ,  $B$  и  $V$  имеют начальные температуры  $10^\circ\text{C}$ ,  $100^\circ\text{C}$  и  $20^\circ\text{C}$  соответственно. Кубики  $B$  и  $V$  одинаковые, т. е. они сделаны из одного материала и имеют одинаковые размеры. После приведения в контакт кубиков  $A$  и  $B$  они через некоторое время приобрели одинаковую температуру  $18^\circ\text{C}$ . Найдите установившуюся температуру всех тел, если кубик  $A$  многократно приводится в контакт то с телом  $B$ , то с телом  $V$ . Теплообменом с окружающей средой пренебречь.

$54,4^\circ\text{C}$

ЗАДАЧА 9. («Росатом», 2017, 8) Имеется три стакана, содержащие массы  $m$ ,  $2m$  и  $3m$  воды. В первом стакане вода холодная, во втором — горячая, в третьем — имеет некоторую промежуточную температуру. Из первого стакана берут ложку воды и переливают во второй, при этом температура воды во втором стакане уменьшается на величину  $\Delta t$ . Затем ложку воды из второго стакана переливают в третий, температура воды в третьем стакане возрастает на  $\Delta t/2$ . Затем ложку воды из третьего стакана переливают в первый. На сколько изменится при этом температура воды в первом стакане? Потерями тепла пренебречь.

$\Delta t/2$

ЗАДАЧА 10. (Всеросс., 2009, РЭ, 8) Экспериментатор Глюк создал «джоулеметр». Прибор состоял из алюминиевого стаканчика, частично заполненного водой. Стаканчик был обернут пенопластом (для исключения теплообмена с окружающей средой). Через небольшое отверстие в пенопластовой крышке Глюк опустил в стакан термометр, позволяющий измерять температуру в диапазоне от  $+10^\circ\text{C}$  до  $+90^\circ\text{C}$ . Цена деления термометра  $1^\circ\text{C}$ . Масса стаканчика  $m = 50$  г. Рядом со шкалой термометра Глюк поместил неподвижную шкалу с ценой деления в 1 кДж. Перед началом эксперимента он откалибровал «энергетическую» шкалу так, чтобы её ноль совпал с начальной температурой воды в «джоулеметре». Затем экспериментатор поместил в прибор испытуемое тело (горячее или холодное) и после установления теплового равновесия определил по энергетической шкале, сколько джоулей отдало (получило) тело в результате теплообмена с прибором.

1) Сколько воды было в приборе, если одному делению шкалы термометра соответствует одно деление шкалы «джоулеметра»?

2) В каком диапазоне можно измерять количество теплоты, отданное или полученное исследуемым телом, если начальная температура «джоулеметра» была  $+20^\circ\text{C}$ ?

Удельная теплоёмкость алюминия  $c = 920$  Дж/(кг  $\cdot$   $^\circ\text{C}$ ), удельная теплоёмкость воды  $c_0 = 4200$  Дж/(кг  $\cdot$   $^\circ\text{C}$ ).

(1)  $10^{-10}$  кДж/°C >  $\Delta Q$  >  $70$  кДж

ЗАДАЧА 11. (*Всеросс., 2010, РЭ, 8*) В трёх одинаковых теплоизолированных сосудах находится одинаковое количество масла при комнатной температуре. Нагретый металлический цилиндр опустили в первый сосуд. После того как между цилиндром и маслом установилось тепловое равновесие, цилиндр перенесли во второй сосуд. После того как и там установилось равновесие, цилиндр перенесли в третий сосуд. На сколько градусов повысилась температура масла в третьем сосуде, если во втором она возросла на  $5^\circ\text{C}$ , а в первом — на  $20^\circ\text{C}$ ?

$$Q_{\text{мас}} = \frac{t_3 - t_1}{t_2 - t_1} = \varepsilon_1 \Delta t$$

ЗАДАЧА 12. (*МОШ, 2011, 8*) Зимой на входе в систему отопления школьного здания вода имеет температуру  $t_1 = +60^\circ\text{C}$ . На выходе из этой системы вода имеет температуру  $t_2 = +40^\circ\text{C}$ . Тепловые потери здания школы вследствие теплопроводности стен, излучения и сквозняков составляют  $N = 10^6$  Вт. Трубы, подводящие и отводящие воду, имеют внутренний диаметр  $D = 100$  мм. С какой средней по сечению труб скоростью течёт в них вода? Удельная теплоёмкость воды  $c = 4200$  Дж/(кг·°C), плотность воды  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

$$Q_{\text{мас}} = N \approx \frac{(t_1 - t_2) \rho c v S D}{N} = \Lambda$$

ЗАДАЧА 13. (*«Максвелл», 2017, финал, 8*) Для отопления комнаты по теплоизолированной трубе с площадью поперечного сечения  $S_1 = 10$  см<sup>2</sup> подавалась горячая вода со скоростью  $v_1 = 0,48$  м/с. При этом её температура на входе в батарею была равна  $t_1 = 80^\circ\text{C}$ , а на выходе —  $t_2 = 78^\circ\text{C}$ . Во время ремонта старую трубу заменили на новую с площадью поперечного сечения  $S_2 = 8$  см<sup>2</sup>.

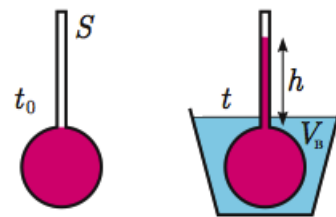
Определите мощность батареи до замены трубы. С какой скоростью  $v_2$  должна двигаться по новой трубе вода, имеющая температуру  $t_3 = 82^\circ\text{C}$  на входе в батарею, чтобы температура воздуха  $t_0 = 22^\circ\text{C}$  в комнате осталась прежней? Плотность воды  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, удельная теплоёмкость воды  $c = 4200$  Дж/(кг·°C).

$$Q_{\text{мас}} = \rho c v_1 S_1 (t_1 - t_2) = \rho c v_2 S_2 (t_3 - t_0) = P$$

ЗАДАЧА 14. (*«Максвелл», 2014, 8*) Теплоизолированный сосуд был до краёв наполнен водой при температуре  $t_0 = 19^\circ\text{C}$ . В середину этого сосуда быстро, но аккуратно опустили деталь, изготовленную из металла плотностью  $\rho_1 = 2700$  кг/м<sup>3</sup>, нагретую до температуры  $t_d = 99^\circ\text{C}$ , и закрыли крышкой. После установления теплового равновесия температура воды в сосуде стала равна  $t_x = 32,2^\circ\text{C}$ . Затем в этот же сосуд, наполненный до краёв водой при температуре  $t_0 = 19^\circ\text{C}$ , вновь быстро, но аккуратно опустили две такие же детали, нагретые до той же температуры  $t_d = 99^\circ\text{C}$ , и закрыли крышкой. В этом случае после установления в сосуде теплового равновесия температура воды равна  $t_y = 48,8^\circ\text{C}$ . 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·°C).

$$Q_{\text{мас}} = \rho_0 c_0 (t_y - t_0) \approx \rho_1 c_1 \left( \frac{0_2 - x_2}{\rho_1 - \rho_0} - \frac{0_2 - x_2}{\rho_1 - \rho_0} \right) \frac{1}{\rho_1} = P$$

ЗАДАЧА 15. («Максвелл», 2016, финал, 8) Экспериментатор Глюк собрал демонстрационный термометр. Для этого он взял стеклянную колбу с вставленной в неё тонкой трубкой, площадь поперечного сечения которой  $S = 25 \text{ мм}^2$  (см. рисунок). Колбу экспериментатор заполнил до самого верха подкрашенным спиртом, имеющим комнатную температуру  $t_0$ . После погружения в банку, в которой находился  $V_b = 1 \text{ л}$  тёплой воды, столбик спирта в трубке поднялся на  $h = 10 \text{ см}$ , а термометр показал температуру  $t_1 = 40^\circ\text{C}$ . Определите температуру воды в банке до погружения в неё термометра. Теплоёмкостью стекла, банки, а также потерями тепла в окружающую среду можно пренебречь. Теплоёмкость воды  $c_b = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , спирта —  $c_c = 2400 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , плотность воды  $\rho_b = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ , плотность спирта при температуре  $t_0$  равна  $\rho_c = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ .



**Указание:** в рассматриваемом диапазоне температур можно считать, что с ростом температуры  $t$  объём спирта  $V$  увеличивается по линейному закону  $V = V_0(1 + \beta(t - t_0))$ , где  $V_0$  — объём спирта при температуре  $t_0$ ,  $\beta = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  — температурный коэффициент объёмного расширения спирта.

$$\text{О. 17} = \frac{\rho_c \rho_b g h S}{4 c_b \rho_b} + t_1 = x_7$$

ЗАДАЧА 16. («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.

$$\text{О. 0'17} = \frac{(c_2 - \rho c_2) t_2 + 0_2 - c_2}{(c_2 - \rho c_2) c_2 t_2 + (0_2 - c_2) 0_2} = x_7$$