

9.5. Уравнение теплового баланса

9.5.1. В чугунный сосуд массой $m_1 = 2$ кг, температура которого $t_1 = 10$ °С, налили воду объемом $V = 5$ л. Найдите установившуюся температуру, если начальная температура воды $t_2 = 100$ °С.

9.5.2. В воду объемом $V_1 = 150$ см³ при температуре $t_1 = 40$ °С влили воду объемом $V_2 = 250$ см³ при $t_2 = 20$ °С. Найдите температуру смеси.

9.5.3. В стеклянную чашку массой $m = 300$ г с температурой $t_1 = 25$ °С наливают $V = 200$ см³ чая, имеющего температуру $t_2 = 95$ °С. Какая температура будет у чашки с чаем после установления теплового равновесия? Теплообменом с окружающей средой пренебречь.

9.5.4. Смешано $V_1 = 24$ л воды при температуре $t_1 = 12$ °С и $V_2 = 40$ л воды при $t_2 = 80$ °С. Определите установившуюся температуру, если во время смешивания было «потеряно» количество теплоты $Q = 420$ кДж.

9.5.5. В воду массой $m_1 = 5$ кг при температуре $T_1 = 353$ К добавили $m_2 = 2$ кг холодной воды. При этом начальная температура нагретой воды снизилась на $n = 5\%$. Определите начальную температуру холодной воды.

9.5.6. В каком отношении следует смешать две массы воды, взятые при температурах $t_1 = 55$ °С и $t_2 = 0$ °С, чтобы температура смеси стала равной $\theta = 21$ °С?

9.5.7. В калориметр налили $V = 1$ л воды при температуре $t_1 = 27$ °С. Затем в воду опустили металлический брусок массой

$m = 0,25$ кг, нагретый до температуры $t_2 = 127$ °С. В результате температура воды поднялась до $t = 34$ °С. Определите удельную теплоемкость металла. Теплоемкость калориметра не учитывать.

9.5.8. Чему будет равна температура в состоянии теплового равновесия, после того как кусок меди массой $m_1 = 200$ г при температуре $t_1 = 210$ °С поместить в алюминиевую чашку калориметра массой $m_2 = 180$ г, содержащую $m_3 = 800$ г воды при температуре $t_2 = 11$ °С?

9.5.9. Некоторое количество вещества массой $m_1 = 220$ г нагревают до температуры $t_1 = 330$ °С и затем помещают в алюминиевую чашку калориметра массой $m_2 = 90$ г, содержащую $m_3 = 150$ г воды при температуре $t_2 = 11,5$ °С. Конечная температура, измеренная стеклянным термометром массой $m_4 = 17$ г, равна $t_3 = 33,8$ °С. Какова удельная теплоемкость этого вещества? Начальная температура термометра $t_4 = 20$ °С.

9.5.10. В алюминиевом калориметре массой $M = 500$ г находится $m_1 = 250$ г воды при температуре $t_1 = 19$ °С. Если в калориметр опустить металлический цилиндр массой $m_2 = 180$ г, состоящий из двух частей — алюминиевой и медной, то температура воды поднимется до $\theta = 27$ °С. Определите массы алюминия m_a и меди m_m в цилиндре, если его начальная температура $t_2 = 127$ °С.

9.5.11. Образец сплава массой $m_1 = 0,150$ кг нагревают до температуры $t_1 = 540$ °С и быстро помещают в воду массой $m_2 = 400$ г с температурой $t_2 = 10$ °С, которая находится в алюминиевой чашке калориметра массой $M = 200$ г. Конечная температура, установившаяся в калориметре, $t_3 = 30,5$ °С. Найдите удельную теплоемкость сплава.

9.5.12. Три химически не взаимодействующие жидкости массами $m_1 = 1$ кг, $m_2 = 10$ кг и $m_3 = 5$ кг налили в калориметр. Начальные температуры жидкостей и их удельные теплоемкости равны соответственно $t_1 = 6$ °С, $t_2 = -40$ °С и $t_3 = 60$ °С, $c_1 = 2$ кДж/(кг · К), $c_2 = 4$ кДж/(кг · К) и $c_3 = 2$ кДж/(кг · К). Чему равна установившаяся температура смеси? Фазовое состояние смеси не изменяется.

9.5.13. В двух одинаковых сосудах находится вода: в одном массой $m_1 = 0,1$ кг при температуре $t_1 = 45$ °С, в другом — $m_2 = 0,5$ кг при $t_2 = 24$ °С. В сосуды наливают одинаковое количество ртути при одной и той же температуре, после чего температуры в сосудах оказываются одинаковыми и равными $t = 17$ °С. Найдите теплоемкость сосуда.

9.5.14. В двух одинаковых сосудах емкостью $V = 1,5$ л каждый находится по $V_0 = 1$ л воды: в первом — при температуре $t_1 = 0$ °С, во втором — при температуре $t_2 = 100$ °С. Чтобы выровнять темпе-

ратуру воды в сосудах, горячую воду доливают доверху в сосуд с холодной водой, затем воду уже при установившейся температуре переливают доверху в сосуд с горячей водой и т. д. Через сколько переливаний температуры воды в сосудах будут отличаться не более, чем на $\Delta t = 1$ °С? Теплоемкости сосудов и остывание воды в процессе переливания не учитывать.

9.5.15. В воду массой $m = 480$ г, имеющую температуру $t_1 = 22$ °С, бросили кусок льда с температурой $t_2 = -8$ °С. Сколько бросили льда, если температура смеси установилась равной $\theta = 12$ °С?

9.5.16. Кусок льда массой $m_1 = 0,5$ кг с температурой $t_1 = -10$ °С помещен в воду массой $m_2 = 3$ кг при температуре $t_2 = 10$ °С. Чему будет равна температура смеси θ после установления теплового равновесия?

9.5.17. В сосуд, содержащий воду массой $m_1 = 0,2$ кг при температуре $t_1 = 8$ °С, опускают лед массой $m_2 = 0,3$ кг при температуре $t_2 = -20$ °С. Какую температуру θ будет иметь содержимое сосуда после установления теплового равновесия?

9.5.18. В калориметре находится вода массой $m_1 = 500$ г и лед массой $m_2 = 54$ г при температуре $t_1 = 0$ °С. В калориметр вводят водяной пар массой $m_3 = 10$ г при температуре $t_2 = 100$ °С. Найдите температуру θ в калориметре после установления теплового равновесия. Теплоемкость калориметра не учитывать.

• **9.5.19.** В теплоизолированный сосуд, содержащий $V_1 = 0,5$ л воды при температуре $t_1 = 6$ °С, помещают $m_1 = 0,9$ кг льда, имеющего температуру $t'_1 = -25$ °С. После достижения теплового равновесия половину воды из этого сосуда перелили в другой такой же сосуд, содержащий $V_2 = 2$ л воды при температуре $t_2 = 18$ °С, добавив в него $m_2 = 0,45$ кг льда при температуре $t'_2 = 0$ °С. Найдите температуру θ , которая установится во втором сосуде. Теплоемкости сосудов не учитывать.

• **9.5.20.** В теплоизолированном латунном сосуде массой $m_1 = 200$ г находится $m_2 = 1$ кг льда при температуре $t_1 = -10$ °С. В сосуд впускают $m_3 = 200$ г пара при температуре $t_2 = 110$ °С. Какая температура установится в сосуде? Удельная теплоемкость пара в интервале температур 100 °С – 110 °С равна $c_3 = 1670$ Дж/(кг · К).

• **9.5.21.** В сосуде, из которого быстро выкачивают воздух, находится $m = 20$ г воды при температуре $t = 0$ °С. Из-за интенсивного испарения происходит постепенное замораживание воды. Какая масса воды может быть обращена таким образом в лед?

9.5.22. Вода при соблюдении необходимых условий может быть переохлаждена до температуры $T = 263$ К. Какая масса льда образуется, если в такую воду массой $M = 1$ кг бросить маленький кусочек льда и вызвать этим замерзание? Удельная теплоемкость переохлажденной воды $c = 4,18 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К).

9.5.23. Лед массой $m = 50$ г при температуре 0 °С заключен в теплонепроницаемую оболочку и подвергнут давлению $p = 600$ атм. Сколько льда расплавилось, если при повышении давления на $\Delta p = 138$ атм температура плавления льда понижается на $\Delta T = 1$ К? Считать понижение температуры плавления пропорциональным повышению давления. Удельную теплоту плавления и удельную теплоемкость считать такими же, как и при нормальном давлении.

Ответы:

9.5.1.

$$t = \frac{c_1 m_1 t_1 + c_2 \rho_2 V t_2}{c_1 m_1 + c_2 \rho_2 V} = 96,2 \text{ °С.}$$

$$\mathbf{9.5.2.} \quad t = \frac{V_1 t_1 + V_2 t_2}{V_1 + V_2} = 27,5 \text{ °С.}$$

9.5.3.

$$t = \frac{c_1 m t_1 + c_1 \rho V t_2}{c_1 m_1 + c_2 \rho V} = 78,8 \text{ °С.}$$

9.5.4.

$$t = \frac{c \rho_B (V_1 t_1 + V_2 t_2) - Q}{c \rho_B (V_1 + V_2)} = 52,93 \text{ °С.}$$

9.5.5.

$$T_2 = T_1 \left[1 - n \left(1 + \frac{m_1}{m_2} \right) \right] \approx 291 \text{ К.}$$

$$\mathbf{9.5.6.} \quad \frac{m_1}{m_2} = \frac{\theta - t_2}{t_1 - \theta} = \frac{21}{34}.$$

$$\mathbf{9.5.7.} \quad c_2 = \frac{c_1 \rho V (\theta - t_1)}{m (t_1 - \theta)} =$$

$$= 1265 \text{ Дж/(кг · К).}$$

$$\mathbf{9.5.8.} \quad t = \frac{c_1 m_1 t_1 + t_2 (c_2 m_2 + c_3 m_3)}{c_1 m_1 + c_2 m_2 + c_3 m_3} =$$

$$= 15,3 \text{ °С, где } c_1, c_2, c_3 \text{ — удельные теплоемкости меди, алюминия, воды соответственно.}$$

9.5.9. $c_1 =$

$$= \frac{(c_2 m_2 + c_3 m_3)(t_3 - t_2) + c_4 m_4 (t_3 - t_4)}{m_1 (t_1 - t_2)} =$$

$$= 245,3 \text{ Дж/(кг · К), где } c_1, c_2, c_3 \text{ — удельные теплоемкости вещества, алюминия, воды соответственно.}$$

$$\mathbf{9.5.10.} \quad m_a = \frac{(c_1 M + c_3 m_1)(\theta - t_1)}{c_1 - c_2 (t_2 - \theta)} -$$

$$- \frac{c_2 m_2}{c_1 - c_2} \approx 96 \text{ г; } m_m = m_2 - m_a \approx 84 \text{ г.}$$

где c_1, c_2, c_3 — удельные теплоемкости воды, алюминия, меди соответственно.

$$\mathbf{9.5.11.} \quad c = \frac{(c_2 m_2 + c_3 M)(t_3 - t_2)}{m_1 (t_1 - t_3)} =$$

$$= 496,8 \text{ Дж/(кг · К), где } c_1, c_2, c_3 \text{ — удельные теплоемкости сплава, воды, алюминия соответственно.}$$

9.5.12. $\theta = -19$ °С.

9.5.13. $C = 140$ Дж/К.

9.5.15. $m = 0,05$ кг.

9.5.16. $\theta = 0$ °С. В сосуде будет воды $m_B = 3,35$ кг и льда $m_L = 0,15$ кг.

9.5.17. $\theta = 0$ °С. В сосуде будет воды $m_B = 182$ г и льда $m_L \approx 318$ г.

9.5.18. $\theta =$

$$= \frac{c(m_1 + m_2)t_1 + c m_3 t_2 - r m_2 + \lambda m_3}{c(m_1 + m_2 + m_3)} \approx$$

$$\approx 4 \text{ °С.}$$

$$\mathbf{9.5.22.} \quad m = \frac{M(t_{пл} - t)c}{\lambda} = 125 \text{ г}$$

(λ — удельная теплота плавления).

$$\mathbf{9.5.23.} \quad \Delta m = \frac{m c_L p \Delta T}{\lambda \Delta p} = 1,37 \text{ г.}$$