

Тема 30. Передача теплоти.

Передача теплоти твердим та рідким речовинам призводить до зміни їх внутрішньої енергії:

$$\Delta U = Q.$$

Наслідком цього є або нагрівання тіла, або зміна його агрегатного стану: плавлення чи пароутворення. Такі процеси характеризують наступними фізичними величинами: теплоємність, питома теплоємність, питома теплота плавлення, питома теплота пароутворення.

Теплоємність тіла чисельно дорівнює кількості теплоти Q , яку необхідно передати тілу для зміни його температури на 1 К:

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \text{ (Дж/К)}.$$

Питома теплоємність c , питома теплота плавлення λ , питома теплота пароутворення r є табличними величинами; за їх значеннями знаходять кількість відданої або одержаної тілом теплоти.

Для нагрівання тіла масою m на ΔT градусів необхідна кількість теплоти:

$$Q = cm\Delta T = cm\Delta t.$$

В цій формулі враховано, що різниця між кінцевою T_2 та початковою T_1 температурами за шкалою Кельвіна ($\Delta T = T_2 - T_1$) та за шкалою Цельсія ($\Delta t = t_2 - t_1$) однакові, тобто $T_2 - T_1 = t_2 - t_1$.

Розмірність величини c – Дж/(кг·К)

Для утворення пари масою m з рідини необхідна кількість теплоти:

$$Q = rm.$$

Для плавлення кристалічної речовини масою m їй необхідно передати кількість теплоти:

$$Q = \lambda m .$$

Розмірність величин r та λ – Дж/кг.

Рівняння теплового балансу є виразом закону збереження енергії для теплових процесів: сума кількостей теплоти, якими обмінюються між собою тіла теплоізольованої системи, дорівнює нулю:

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0.$$

Зауваження! При конденсації та кристалізації відповідні кількості теплоти віддаються речовинами, тобто відповідні кількості теплоти у всіх формулах треба брати зі знаком «мінус».

При згорянні палива виділяється кількість теплоти $Q = qt$, де q – питома теплота згорання палива (теплотворна здатність), t – маса палива.

Приклад 1. Скільки дров треба спалити, щоб отримати таку саму кількість теплоти, як від спалювання 3 кг бензину? Питома теплота згоряння дров $q_1 = 12$ МДж/кг, питома теплота згоряння бензину $q_2 = 44$ МДж/кг.

$$m_2 = 3 \text{ кг.}$$

$$Q_1 = q_1 m_1, Q_2 = q_2 m_2, Q_1 = Q_2, q_1 m_1 = q_2 m_2,$$

$$m_1 = q_2 m_2 / q_1 = 44 \cdot 10^6 \cdot 3 / (12 \cdot 10^6) = 11 \text{ кг.}$$

Відповідь: 11 кг.

Приклад 2. Змішали 20 л гарячої води з температурою 80°C і 80 л холодної води з температурою 20°C . Знайти температуру суміші.

$$m_1 = 20 \text{ кг, } m_2 = 80 \text{ кг, } t_1 = 80^\circ \text{C, } t_2 = 20^\circ \text{C, } c = 4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K), } t = ?$$

$$Q_1 = cm_1 \Delta t_1 = cm_1 (t - t_1), Q_2 = cm_2 \Delta t_2 = cm_2 (t - t_2),$$

$$Q_1 + Q_2 = 0, cm_1 (t - t_1) + cm_2 (t - t_2) = 0,$$

$$20(t - 80) + 80(t - 20) = 0, 20t - 1600 + 80t - 1600 = 0, 100t = 3200,$$

$$t = 32^\circ \text{C.}$$

Відповідь: 32°C .

Приклад 3. Скільки холодної води, температура якої дорівнює 10°C , потрібно додати до каструлі з окропом, щоб отримати воду за 40°C ? Маса окропу в каструлі 3 кг. Тепловими втратами знехтуйте.

$$Q_1 = Q_2, cm_1 \Delta t_1 = cm_2 \Delta t_2, m_1 (40 - 10) = 3(100 - 40), m_1 = 6 \text{ кг.}$$

Відповідь: 6 кг.

Приклад 4. Унаслідок зіткнення двох однакових свинцевих куль, які рухались назустріч одна одній з однаковими за модулем швидкостями, вони нагрілися на 100°C . На скільки нагрілися би кулі, якби їхні швидкості були удвічі меншими? Вважайте, що частка механічної енергії, яка пішла на нагрівання куль, не змінилася.

$$E = mv^2/2, v_2 = 0,5v_1, E_2 = 0,25E_1, Q_2 = 0,25Q_1, \Delta t_2 = 0,25\Delta t_1 = 25^\circ \text{C}$$

Відповідь: на 25°C .

Приклад 5. Визначте мінімальну швидкість, з якою повинні летіти назустріч одна одній дві однакові краплинки води, щоб у разі зіткнення повністю випаруватися. Температура краплинок перед зіткненням 20°C . Вважайте, що у внутрішню енергію краплинок перетворилось 50% їхньої механічної енергії.

$$Q = 0,5E$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = cm\Delta t + rm$$

$$E = \frac{mv^2}{2}$$

$$\frac{mv^2}{4} = 4200m \cdot 80 + 2,26 \cdot 10^6 m,$$

$$v^2 = 4(4200 \cdot 80 + 2,26 \cdot 10^6) = 10384000$$

$$v = 3222 \text{ м/с.}$$

Відповідь: 3,2 км/с.

Приклад 6. Скільки води за 0°C було в калориметрі, якщо після того, як туди впустили 10 г водяної пари за 100°C , температура піднялась до 40°C ?

$$Q = Q_1 + Q_2,$$

$$Q = cm\Delta t$$

$$Q_1 + Q_2 = rm_1 + cm_1\Delta t_1,$$

$$4200m \cdot 40 = 2,26 \cdot 10^6 \cdot 0,01 + 4200 \cdot 0,01 \cdot 60 = 25120,$$

$$m = 0,15 \text{ кг.}$$

Відповідь: 150 г.

Приклад 7. У каструлю наливають вісім повних склянок холодної води за 10°C і п'ять повних склянок гарячої води за 80°C . Визначте температуру, яка встановиться в каструлі. Теплоємністю каструлі знехтуйте.

$$t_1 = 10^{\circ}\text{C}, t_2 = 80^{\circ}\text{C}, m_1 = 8m, m_2 = 5m.$$

$$Q_1 = Q_2, cm_1(t - t_1) = cm_2(t_2 - t),$$

$$8m(t - 10) = 5m(80 - t), 8t - 80 = 400 - 5t, 13t = 480, t = 36,9^{\circ}\text{C}.$$

Відповідь: $36,9^{\circ}\text{C}$.

Приклад 8. До калориметра, де знаходиться 200 г води за 20°C , поклали шматок льоду масою 80 г з температурою -10°C . Яка температура встановиться в калориметрі після завершення теплообміну? Тепловими втратами знехтуйте.

$$m_1 = 0,2\text{ кг}, t_1 = 20^{\circ}\text{C}, m_2 = 0,08\text{ кг}, t_2 = -10^{\circ}\text{C}.$$

$Q_1 = c_1 m_1 \Delta t_1 = 4200 \cdot 0,2 \cdot 20 = 16800\text{Дж}$ – кількість теплоти, яку віддає вода при охолодженні до 0°C .

$Q_2 = c_2 m_2 \Delta t_2 = 2100 \cdot 0,08 \cdot 10 = 1680\text{Дж}$ – кількість теплоти, необхідної для нагрівання льоду до 0°C .

$Q_3 = \lambda m_2 = 330000 \cdot 0,08 = 26400\text{Дж}$ – кількість теплоти, необхідної для плавлення всього льоду.

$Q_1 < Q_2 + Q_3$, лід розтане не повністю, вода охолodиться до 0°C .

Відповідь: 0°C .

Домашнє завдання. №№ 446, 449, 450, 451, 452, 454, 455, 456.