

§ 40. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС

?! Усі явища в природі відбуваються згідно із законом збереження енергії. Цей закон виконується й для процесу теплопередачі. Математичним вираженням закону збереження енергії в процесі теплопередачі є рівняння теплового балансу. Познайомимося з цим рівнянням і навчимося застосовувати його для розв'язання задач.

1 Записуємо рівняння теплового балансу
Уявіть систему тіл, яка не одержує енергії ззовні (така система називається *ізолюваною*), а зменшення або збільшення внутрішньої

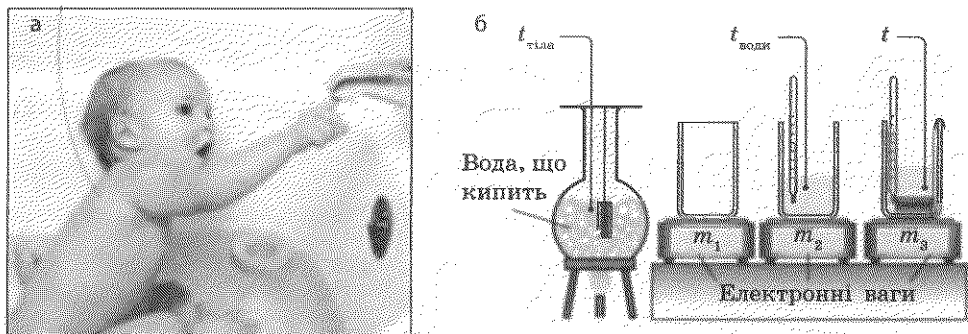


Рис. 40.1. Деякі приклади застосування рівняння теплового балансу до розв'язування практичних задач. Рівняння теплового балансу можна застосувати: *а* — для обчислення кількості води різної температури, що треба додати в посудину для отримання теплої води заданої температури; *б* — для визначення питомої теплоємності речовини:

$$c_{\text{тіла}} = \frac{c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t - t_{\text{води}})}{m_{\text{тіла}} (t_{\text{тіла}} - t)}. \text{ При цьому } m_{\text{води}} = m_2 - m_1; m_{\text{тіла}} = m_3 - m_2$$

енергії тіл системи відбувається лише внаслідок теплопередачі між тілами цієї системи. У такому випадку на підставі закону збереження енергії можна стверджувати: скільки теплоти віддадуть одні тіла системи, стільки ж теплоти одержать інші тіла цієї системи.

Позначимо Q^+ кількість теплоти, одержану якимось тілом системи, а Q^- — кількість теплоти, віддану якимось тілом цієї системи. Тоді закон збереження енергії для процесу теплопередачі можна записати у вигляді рівняння:

$$Q_1^- + Q_2^- + \dots + Q_n^- = Q_1^+ + Q_2^+ + \dots + Q_n^+.$$

Це рівняння називають **рівнянням теплового балансу**. Формулюється воно так: *в ізольованій системі сума, в якій внутрішня енергія тіл змінюється тільки внаслідок теплопередачі, сума кількостей теплоти, відданої одними тілами системи, дорівнює сумі кількостей теплоти, одержаної іншими тілами цієї системи.*

Рівняння теплового балансу застосовують для розв'язання низки задач, з якими ми часто маємо справу на практиці (рис. 40.1). Розв'язуючи задачі на складання рівняння теплового балансу, слід також пам'ятати: якщо процес теплообміну триватиме досить довго, то зрештою встановиться стан теплової рівноваги, тобто температура всіх тіл системи стане однаковою.

2 Учимося розв'язувати задачі

Задача. У воду масою 400 г, узятую за температури 20 °С, додали 100 г гарячої води, що має температуру 70 °С. Якою буде кінцева температура води? Вважайте, що під час досліду теплообмін із довкіллям не відбувається.

Дано:

$$m_1 = 400 \text{ г} = 0,4 \text{ кг}$$

$$t_1 = 20^\circ \text{C}$$

$$m_2 = 100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг}$$

$$t_2 = 70^\circ \text{C}$$

$t = ?$

Аналіз фізичної проблеми

У теплообміні беруть участь два тіла: віддає енергію гаряча вода, одержує — холодна. За умовою, теплообмін з докільям не відбувається, тому для розв'язання задачі можна скористатися рівнянням теплового балансу.

Пошук математичної моделі, розв'язання та аналіз результатів

Кількість теплоти, віддана гарячою водою:

$$Q_1 = cm_1(t - t_1). \quad (1)$$

Кількість теплоти, одержана холодною водою:

$$Q_2 = cm_2(t_2 - t). \quad (2)$$

Відповідно до рівняння теплового балансу:

$$Q_1 = Q_2. \quad (3)$$

Підставивши рівняння (1) і (2) у рівняння (3), дістанемо:

$$cm_1(t - t_1) = cm_2(t_2 - t) \Rightarrow m_1(t - t_1) = m_2(t_2 - t).$$

Зробимо потрібні перетворення:

$$m_1t - m_1t_1 = m_2t_2 - m_2t.$$

Звідси

$$m_1t + m_2t = m_2t_2 + m_1t_1 \Rightarrow t(m_1 + m_2) = m_2t_2 + m_1t_1.$$

Остаточного отримуємо: $t = \frac{m_2t_2 + m_1t_1}{m_1 + m_2}.$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[t] = \frac{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C} + \text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{кг} + \text{кг}} = \frac{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{кг}} = ^\circ\text{C}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$\{t\} = \frac{0,4 \cdot 20 + 0,1 \cdot 70}{0,4 + 0,1} = 30; \quad t = 30^\circ \text{C}.$$

Проаналізуємо результат: одержане значення кінцевої температури води (30°C) є цілком реальним, оскільки воно більше від 20°C і менше за 40°C .

Відповідь: кінцева температура води дорівнюватиме 30°C .



Підбиваємо підсумки

Для будь-яких процесів, що відбуваються в природі, виконується закон збереження енергії. Для ізолюваної системи, в якій внутрішня енергія тіл змінюється тільки внаслідок теплопередачі між тілами цієї системи, закон збереження енергії можна сформулювати так: сума кількостей теплоти, відданої одними тілами системи, дорівнює сумі кількостей теплоти, одержаної іншими тілами цієї системи.

Математичним вираженням закону збереження енергії в процесі теплопередачі є рівняння теплового балансу:

$$Q_1^- + Q_2^- + \dots + Q_n^- = Q_1^+ + Q_2^+ + \dots + Q_n^+.$$



Контрольні запитання

1. Яка система називається теплоізованою? 2. Сформулюйте закон збереження енергії, на підставі якого складають рівняння теплового балансу.



Вправа № 40

Під час розв'язування задач теплообміном з довкіллям нехтуйте.

1. У каструлю залили 2 кг води, нагрітої до температури 40 °С, а потім додали 4 кг води, що має температуру 85 °С. Визначте температуру суміші.
2. У ванну налито 80 л води, що має температуру 10 °С. Скільки літрів води, яка має температуру 100 °С, потрібно додати у ванну, щоб температура води в ній дорівнювала 25 °С?
3. У латунний калориметр масою 200 г налили 400 г води, яка має температуру 20 °С, і опустили 800 г срібла, що має температуру 69 °С. Вода нагрілася до 25 °С. Визначте питому теплоємність срібла.
4. Використовуючи рис. 40.1, б, складіть план проведення експерименту щодо визначення питомої теплоємності речовини.