

Приклади розв'язування задач:

Впр. 36 (Бар'яхтар), задача 5.

5. У суміш, яка складається з 20 л води і 1 кг льоду, влили розплавлений свинець за температури плавлення ($327\text{ }^\circ\text{C}$). У результаті температура води стала дорівнювати $100\text{ }^\circ\text{C}$, причому 100 г води перейшло в пару. Визначте масу влитого свинцю. Питома теплоємність свинцю становить $125\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, води — $4200\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; питома теплота плавлення свинцю $21\text{ кДж}/\text{кг}$, льоду — $334\text{ кДж}/\text{кг}$; питома теплота пароутворення води — $2,3\text{ МДж}/\text{кг}$.

$$V_{\text{води}} = 20\text{ л} = 0,02\text{ м}^3$$

$$m_{\text{льоду}} = 1\text{ кг}$$

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

$$t_{\text{свинцю}} = 327\text{ }^\circ\text{C}$$

$$C_{\text{свинцю}} = 125\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$$

$$C_{\text{води}} = 4200\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$$

$$\lambda_{\text{свинцю}} = 21 \cdot 10^3\text{ Дж}/\text{кг}$$

$$\lambda_{\text{льоду}} = 334 \cdot 10^3\text{ Дж}/\text{кг}$$

$$r_{\text{пари}} = 2,3 \cdot 10^6\text{ Дж}/\text{кг}$$

$$m_{\text{свинцю}} - ?$$

Розв'язування. Оскільки суміш містить як воду так і лід, то природно допустити, що їхня температура $t_{\text{суміші}} = 0\text{ }^\circ\text{C}$. В кінцевому результаті всі компоненти матимуть температуру $t = 100\text{ }^\circ\text{C}$. Це означає, що тепло, яке виділяється під час кристалізації свинцю та його охолодження до температури $t = 100\text{ }^\circ\text{C}$:

$$Q = \lambda_{\text{свинцю}} \cdot m_{\text{свинцю}} + C_{\text{свинцю}} \cdot m_{\text{свинцю}} \cdot (t_{\text{свинцю}} - t)$$

витрачається на розплавлення льоду, нагрівання води (в тому числі і тієї, що отримана з льоду) та випаровування частини води:

$$Q = \lambda_{\text{льоду}} \cdot m_{\text{льоду}} + C_{\text{води}} \cdot (m_{\text{води}} + m_{\text{льоду}}) \cdot (t - t_{\text{суміші}}) + r_{\text{пари}} \cdot m_{\text{пари}}$$

Прирівнюючи обидва рівняння і враховуючи, що

$$m_{\text{води}} = \rho_{\text{води}} \cdot V_{\text{води}} = 0,02\text{ м}^3 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 20\text{ кг},$$

отримуємо:

$$\begin{aligned} & \lambda_{\text{свинцю}} \cdot m_{\text{свинцю}} + C_{\text{свинцю}} \cdot m_{\text{свинцю}} \cdot (t_{\text{свинцю}} - t) = \\ & = \lambda_{\text{льоду}} \cdot m_{\text{льоду}} + C_{\text{води}} \cdot (m_{\text{води}} + m_{\text{льоду}}) \cdot (t - t_{\text{суміші}}) + r_{\text{пари}} \cdot m_{\text{пари}} \end{aligned}$$

Звідси

$$m_{\text{свинцю}} = \frac{\lambda_{\text{льоду}} \cdot m_{\text{льоду}} + C_{\text{води}} \cdot (m_{\text{води}} + m_{\text{льоду}}) \cdot (t - t_{\text{суміші}}) + r_{\text{пари}} \cdot m_{\text{пари}}}{\lambda_{\text{свинцю}} + C_{\text{свинцю}} (t_{\text{свинцю}} - t)}$$

Обчислюємо

$$\begin{aligned} m_{\text{свинцю}} &= \frac{334 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 1\text{ кг} + 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}} \cdot (20\text{ кг} + 1\text{ кг}) \cdot (100\text{ }^\circ\text{C}) + 2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 0,1\text{ кг}}{21 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} + 125 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}} (327\text{ }^\circ\text{C} - 100\text{ }^\circ\text{C})} \approx \\ &\approx 190,1\text{ кг}. \end{aligned}$$

Відповідь: Було влито 190,1 кг свинцю.

Задача 1. Неон масою 100 г міститься в колбі об'ємом 5,0 л. У процесі ізохорного охолодження тиск неону зменшився від 100 до 50 кПа. На скільки при цьому змінилися внутрішня енергія і температура неону?

<p>Дано: $m = 0,10$ кг $V = 5,0 \cdot 10^{-3}$ м³ $p_1 = 1,0 \cdot 10^5$ Па $p_2 = 0,5 \cdot 10^5$ Па $M = 20 \cdot 10^{-3}$ кг/моль $R = 8,31$ Дж/(моль·К)</p>	<p><i>Аналіз фізичної проблеми, розв'язання.</i> Неон — одноатомний газ; для таких газів зміна внутрішньої енергії дорівнює:</p> $\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT_2 - \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT_1 = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T,$ <p style="text-align: center;">або $\Delta U = \frac{3}{2} p_2 V_2 - \frac{3}{2} p_1 V_1.$</p> <p>Оскільки охолодження ізохорне, об'єм неону не змінюється: $V_1 = V_2 = V.$</p> <p>Після перетворень маємо: $\Delta U = \frac{3}{2} V (p_2 - p_1); \Delta T = \frac{2M\Delta U}{3mR}.$</p>
<p>ΔU — ? ΔT — ?</p>	

Перевіримо одиниці, знайдемо значення шуканих величин:

$$[\Delta U] = \text{м}^3 \cdot \text{Па} = \text{м}^3 \cdot \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}; \quad \Delta U = \frac{3}{2} \cdot 5,0 \cdot 10^{-3} \cdot (-0,5 \cdot 10^5) = -375 \text{ (Дж)};$$

$$[\Delta T] = \frac{\text{кг} / \text{моль} \cdot \text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К})} = \text{К}; \quad \Delta T = \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot (-375)}{3 \cdot 0,1 \cdot 8,31} = -6 \text{ (К)}.$$

Аналіз результатів. Знак «-» свідчить про те, що внутрішня енергія і температура неону зменшилися, — це відповідає ізохорному охолодженню.

Відповідь: $\Delta U = -375$ Дж; $\Delta T = -6$ К.

Задача 2. Внутрішня алюмінієва посудина калориметра має масу 50 г і містить 200 г води за температури 30 °С. У посудину кинули кубики льоду за температури 0 °С, унаслідок чого температура води в калориметрі знизилася до 20 °С. Визначте масу льоду. Питомі теплоємності води та алюмінію дорівнюють: $c_{\text{в}} = 4200$ Дж/(кг·К), $c_{\text{Al}} = 920$ Дж/(кг·К); питома теплота плавлення льоду — 334 кДж/кг.

Аналіз фізичної проблеми. Калориметр має таку будову, що теплообмін із довкіллям майже відсутній, тому для розв'язання задачі скористаємося рівнянням теплового балансу. У теплообміні беруть участь три тіла: вода, внутрішня посудина калориметра, лід.

<p>Дано: $m_{\text{Al}} = 0,05$ кг $m_{\text{в}} = 0,2$ кг $t_{\text{в}} = t_{\text{Al}} = 30$ °С $t_{\text{л}} = 0$ °С $t = 20$ °С</p> <p>$c_{\text{в}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ $c_{\text{Al}} = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ $\lambda = 334 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$</p> <p>$m_{\text{л}}$ — ?</p>	<p><i>Віддають енергію</i> вода + алюміній охолоджуються від 30 до 20 °С;</p> <p>$Q_{\text{в}} = c_{\text{в}} m_{\text{в}} \Delta t_1, Q_{\text{Al}} = c_{\text{Al}} m_{\text{Al}} \Delta t_1;$ $\Delta t_1 = 30 \text{ °С} - 20 \text{ °С} = 10 \text{ °С} = 10 \text{ К}.$</p> <p>Запишемо рівняння теплового балансу: $c_{\text{в}} m_{\text{в}} \Delta t_1 + c_{\text{Al}} m_{\text{Al}} \Delta t_1 = \lambda m_{\text{л}} + c_{\text{в}} m_{\text{л}} \Delta t_2.$</p> <p>Після перетворень маємо: $\Delta t_1 (c_{\text{в}} m_{\text{в}} + c_{\text{Al}} m_{\text{Al}}) = m_{\text{л}} (\lambda + c_{\text{в}} \Delta t_2) \Rightarrow m_{\text{л}} = \frac{ \Delta t_1 (c_{\text{в}} m_{\text{в}} + c_{\text{Al}} m_{\text{Al}})}{\lambda + c_{\text{в}} \Delta t_2}.$</p> <p>Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини: $[m_{\text{л}}] = \left(\text{К} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot \text{кг} \right) : \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = \frac{\text{Дж} \cdot \text{кг}}{\text{Дж}} = \text{кг};$</p> $m_{\text{л}} = \frac{10 \cdot (4200 \cdot 0,2 + 920 \cdot 0,05)}{334000 + 4200 \cdot 20} \approx 0,021 \text{ (кг)}.$ <p><i>Відповідь:</i> $m_{\text{л}} = 21$ г.</p>	<p><i>Отримує енергію</i> лід плавиться + отримана вода нагрівається від 0 до 20 °С; $Q_{\text{л}} = \lambda m_{\text{л}} + c_{\text{в}} m_{\text{л}} \Delta t_2;$ $\Delta t_2 = 20 \text{ °С} - 0 \text{ °С} = 20 \text{ °С} = 20 \text{ К}.$</p>
--	---	--