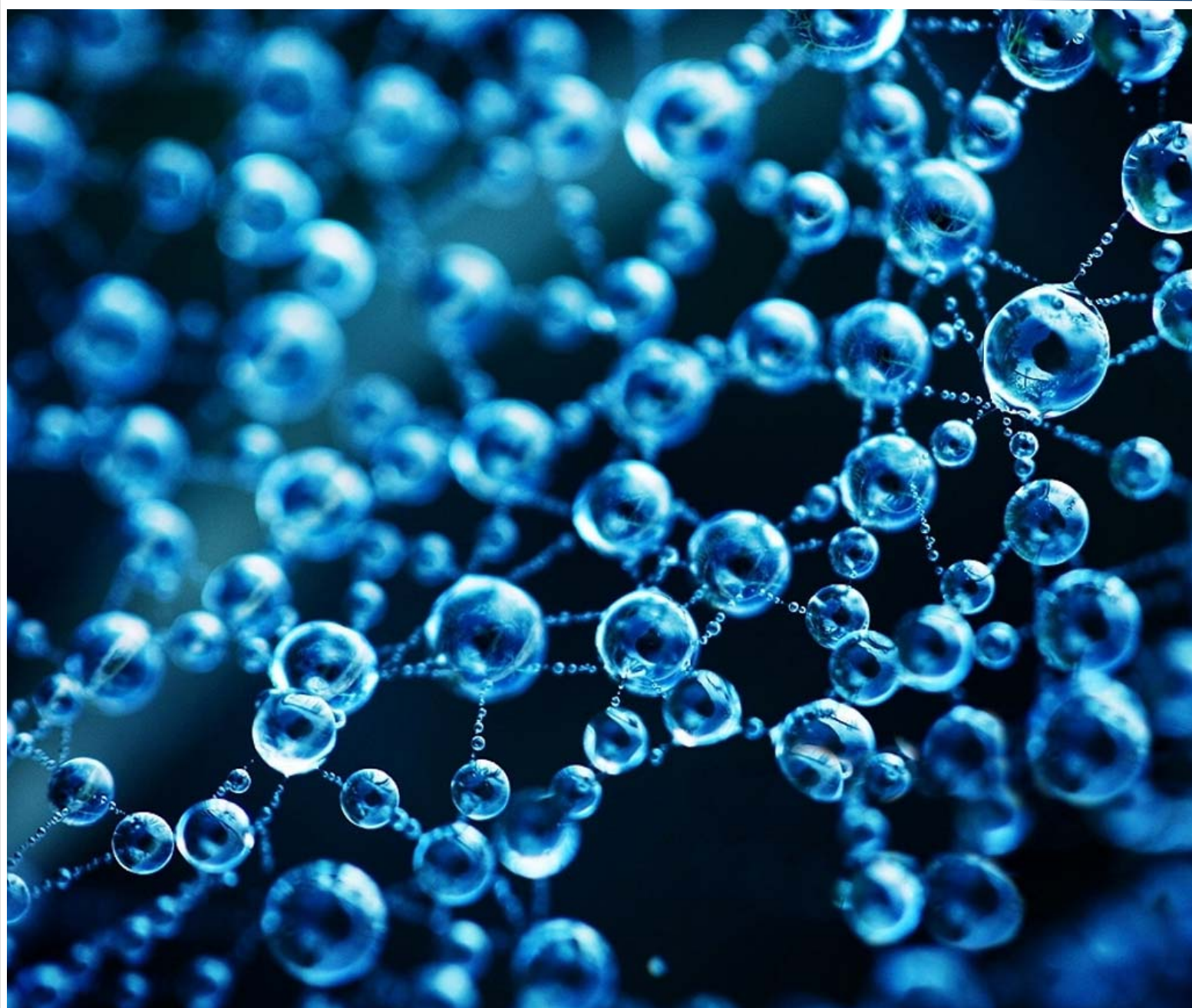


Виртуальный курс физики

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Взаимные превращения газов, жидкостей
и твердых тел. Задачи с решениями



МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Взаимные превращения газов, жидкостей и твердых тел

Задачи с решениями

З а д а ч а 1. В калориметр теплоемкостью 2000 Дж/К, содержащий 1 л воды при температуре 300 К, влили 20 кг расплавленного свинца при температуре 600 К. Найти массу испарившейся воды, если известно, что удельная теплота плавления свинца 25 кДж/(кг·К), удельная теплота парообразования воды 2,3 МДж/кг, удельная теплоемкость свинца 130, а удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг·К). Считать, что система калориметр–вода–свинец–пар теплоизолирована.

Дано:
 $C = 2000$ Дж/К,
 $m_{\text{в}} = 1$ кг,
 $m_{\text{св}} = 20$ кг, $T_1 = 300$ К,
 $T_2 = 100$ °С = 373 К,
 $T_3 = 600$ К,
 $\lambda = 25$ кДж/(кг·К),
 $r = 2,3$ МДж/кг,
 $c_1 = 130$ Дж/(кг·К),
 $c_2 = 4200$ Дж/(кг·К)

$m = ?$

Решение. В теплоизолированной системе внутренняя энергия не изменяется, поэтому тепловые процессы, происходящие в ней, можно описать уравнением теплового баланса с учетом агрегатных превращений. Внутренняя энергия свинца, отдающего теплоту, уменьшается (свинец кристаллизуется, а затем охлаждается до температуры кипения воды), а внутренняя энергия калориметра, воды и пара, получающих теплоту, увеличивается (калориметр и вода нагреваются до температуры кипения воды, после чего часть ее испаряется).

Составим уравнение теплового баланса:

$$\sum Q_{\text{отд}} = \sum Q_{\text{получ}}$$

где $\sum Q_{\text{отд}} = m_{\text{Рв}}\lambda + c_1 m_{\text{Рв}}(T_3 - T_2)$;

$$\sum Q_{\text{получ}} = C(T_2 - T_1) + c_2 m_{\text{в}}(T_2 - T_1) + mr.$$

Подставив эти выражения в уравнение теплового баланса, получим

$$m = \frac{m_{\text{Рв}}\lambda + c_1 m_{\text{Рв}}(T_3 - T_2) - C(T_2 - T_1) - c_2 m_{\text{в}}(T_2 - T_1)}{r} =$$
$$= \frac{20 \cdot 25 \cdot 10^3 + 20 \cdot 130 \cdot (600 - 373) - 2000 \cdot (373 - 300) - 4200 \cdot 1 \cdot (373 - 300)}{2,3 \cdot 10^6} =$$
$$= 0,227 \text{ кг.}$$

Ответ: $m = 0,227$ кг.

З а д а ч а 2. В герметичном сосуде объемом 0,5 л содержится водяной пар под давлением 10 кПа. Температура пара 420 К. После охлаждения пара до 295 К, на стенки сосуда выпала роса. Определить массу водяных паров, выделившихся в виде росы, если давление насыщенных паров при 295 К равно 2,64 кПа.

Дано: $p = 10 \text{ кПа},$ $T_1 = 420 \text{ К},$ $T_2 = 295 \text{ К},$ $p_{\text{н.п}} = 2,64 \text{ кПа}$	Решение. Запишем уравнение Менделеева–Клапейрона для двух состояний пара – при температуре T_1 и T_2 в предположении, что при T_2 пар еще ненасыщенный:
$m = ?$	$pV = \frac{m_1}{\mu} RT_1, \quad p_2V = \frac{m_2}{\mu} RT_2.$

Отсюда получим

$$p_2 = \frac{T_2}{T_1} p = \frac{295}{420} \cdot 10^4 = 7,02 \cdot 10^3 \text{ Па}.$$

Таким образом, давление пара массой m_1 при температуре T_2 превышает давление насыщенного пара $p_{\text{н.п}}$. Это означает, что, начиная с некоторой температуры, которая является точкой росы, пар начинает конденсироваться, и конец процесса описывается уравнением

$$p_{\text{н.п}}V = \frac{m_2}{\mu} RT_2.$$

Из уравнений состояний получаем

$$m_1 = \frac{\mu p V}{RT_1}, \quad m_2 = \frac{\mu p_{\text{н.п}} V}{RT_2},$$

Тогда

$$m = m_1 - m_2 = \frac{\mu V}{R} \left(\frac{p}{T_1} - \frac{p_{\text{н.п}}}{T_2} \right),$$

$$m = \frac{18 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}}{8,31} \cdot \left(\frac{10 \cdot 10^3}{420} - \frac{2,64 \cdot 10^3}{295} \right) = 0,016 \text{ г}.$$

Ответ: $m = 0,016 \text{ г}.$

З а д а ч а 3. Насколько уменьшится период колебаний математического маятника при нагревании его нити до $10\text{ }^\circ\text{C}$, если до нагревания период его колебаний был равен 2 с ? Коэффициент линейного теплового расширения металлической нити маятника равен $1,1 \cdot 10^{-5}\text{ град}^{-1}$.

<p>Дано:</p> <p>$t = 10\text{ }^\circ\text{C}$, $T_0 = 2\text{ с}$,</p> <p>$\alpha = 1,1 \cdot 10^{-5}\text{ град}^{-1}$</p> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 5px 0;"/> <p>$\Delta T = ?$</p>	<p><i>Решение.</i> При нагревании нити маятника на $t\text{ }^\circ\text{C}$ длина ее составит</p> $l = l_0(1 + \alpha t),$
---	--

где l_0 – длина нити при $0\text{ }^\circ\text{C}$.

Периоды колебаний маятника до и после нагревания составляют

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l_0}{g}}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

а их отношение –

$$\frac{T}{T_0} = \sqrt{\frac{l}{l_0}} = \sqrt{1 + \alpha t}.$$

Таким образом,

$$T = T_0\sqrt{1 + \alpha t},$$

$$\Delta T = T - T_0 = T_0(\sqrt{1 + \alpha t} - 1),$$

$$\Delta T = 2\left(\sqrt{1 + 1,1 \cdot 10^{-5} \cdot 10} - 1\right) = 6 \cdot 10^{-5}\text{ с}.$$

Ответ: $\Delta T = 6 \cdot 10^{-5}\text{ с}$.

З а д а ч а 4. Каплю воды, имеющую массу 2 г и коэффициент поверхностного натяжения $0,073\text{ Н/м}$, делят на мелкие капли радиусом 10^{-5} см . Определить энергию, которая поглощается при делении капли.

<p>Дано:</p> <p>$m_0 = 2\text{ г}$, $\sigma = 0,073\text{ Н/м}$,</p> <p>$r = 10^{-5}\text{ см}$</p> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 5px 0;"/> <p>$\Delta W = ?$</p>	<p><i>Решение.</i> Деление большой капли на мелкие сопровождается увеличением энергии ΔW свободной поверхности воды на величину</p> $\Delta W = \sigma \Delta S,$
--	--

где σ – коэффициент поверхностного натяжения воды; $\Delta S = nS - S_0$ – изменение площади поверхности жидкости; n – число малых капель; S и S_0 – соответственно площади поверхностей малой и большой каплей воды. Следовательно,

$$\Delta W = \sigma(nS - S_0),$$

или

$$\Delta W = \sigma \left(\frac{m_0}{\rho \cdot \frac{4}{3} \pi r^3} S - S_0 \right),$$

где $n = \frac{m_0}{m} = \frac{m_0}{\rho V} = \frac{m_0}{\rho \cdot \frac{4}{3} \pi r^3}$; m_0 и m – масса большой и малой каплей.

Поверхности большой S_0 и малой S каплей получим из выражений

$$S_0 = 4\pi R^2 \quad \text{и} \quad S = 4\pi r^2,$$

где R – радиус большой капли, который найдем из соотношения

$$m_0 = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3, \quad \text{или} \quad R = \sqrt[3]{\frac{3m_0}{4\pi\rho}}.$$

Тогда для увеличения выделения энергии ΔW свободной поверхности воды получим

$$\Delta W = \frac{3m_0\sigma}{r\rho} - 4\pi\sigma \left(\frac{3m_0}{4\pi\rho} \right)^{\frac{2}{3}}.$$

Подставляя числовые данные, находим

$$\Delta W = \frac{3 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,073}{10^{-7} \cdot 10^3} - 4 \cdot 3,14 \cdot 0,073 \cdot \left(\frac{3 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^3} \right)^{\frac{2}{3}} = 4,38 \text{ Дж.}$$

Ответ: $\Delta W = 4,38$ Дж.

З а д а ч а 5. Внутренние диаметры двух сообщающихся стеклянных сосудов 0,5 и 3 мм. Определить разность уровней жидкости в сообщающихся сосудах, если в них налит спирт плотностью 800 кг/м^3 с коэффициентом поверхностного натяжения $0,021 \text{ Н/м}$.

<p>Дано:</p> <p>$d_1 = 0,5 \text{ мм}$,</p> <p>$d_2 = 3 \text{ мм}$,</p> <p>$\rho = 800 \text{ кг/м}^3$,</p> <p>$\sigma = 0,021 \text{ Н/м}$</p> <hr/> <p>$\Delta h = ?$</p>	<p><i>Решение.</i> В сообщающихся сосудах однородная жидкость устанавливается на одном уровне. Разность уровней в них для однородной жидкости может образовываться в результате капиллярного поднятия (или опускания) жидкости. Так как спирт смачивает поверхность стекла, высота поднятия жидкости в капиллярах с диаметром d_1 и d_2 равна</p>
---	---

$$h_1 = \frac{2\sigma}{\rho g r_1} = \frac{4\sigma}{\rho g d_1}, \quad h_2 = \frac{2\sigma}{\rho g r_2} = \frac{4\sigma}{\rho g d_2}.$$

Разность уровней спирта в сообщающихся капиллярах

$$\Delta h = h_1 - h_2 = \frac{4\sigma}{\rho g d_1} - \frac{4\sigma}{\rho g d_2} = \frac{4\sigma}{\rho g} \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right).$$

Подставляя числовые данные, находим

$$\Delta h = \frac{4 \cdot 0,021}{800 \cdot 9,8} \cdot \left(\frac{1}{0,5 \cdot 10^{-3}} - \frac{1}{3 \cdot 10^{-3}} \right) = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Ответ: $\Delta h = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.