

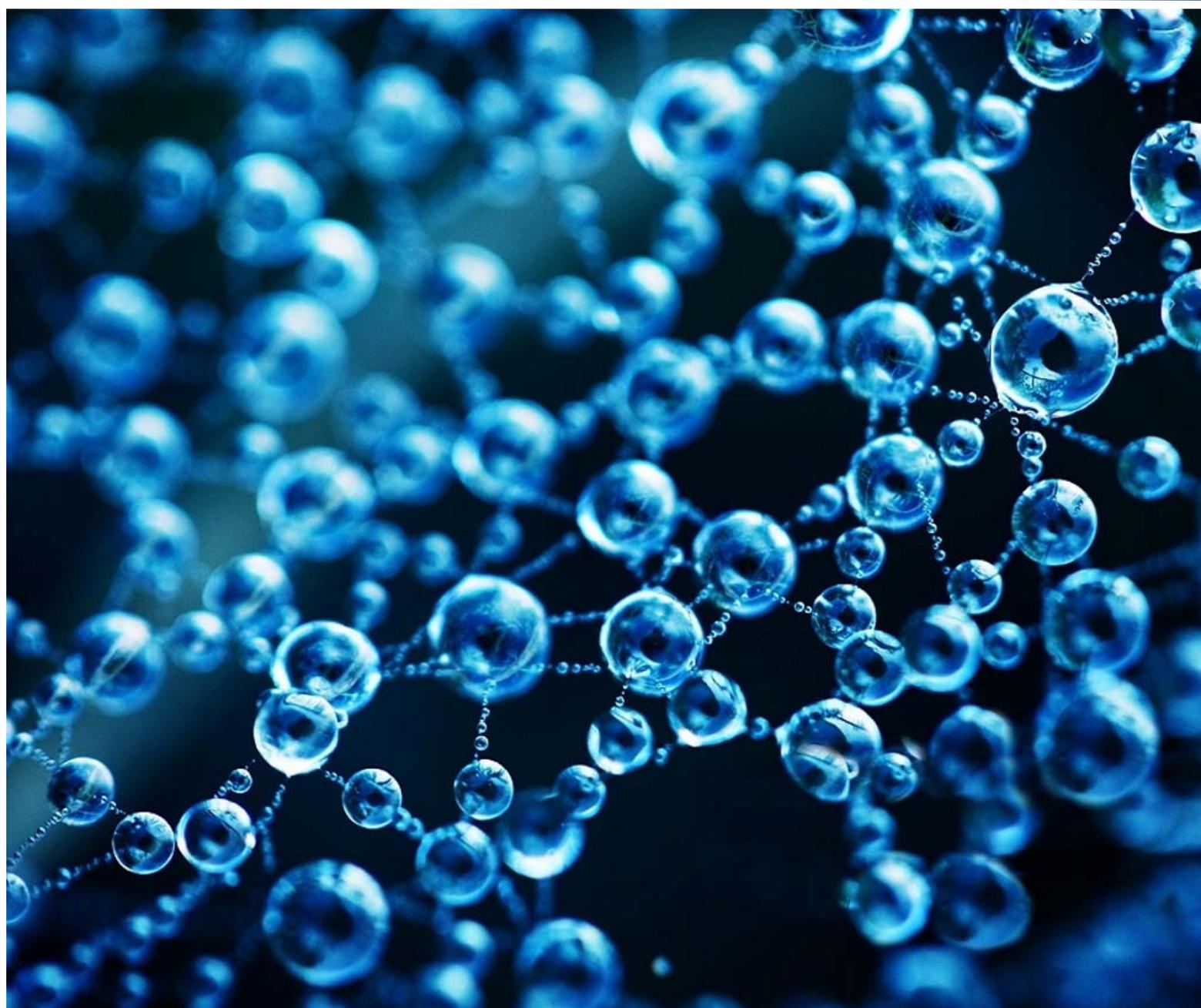
Виртуальный курс физики

МОЛЕКУЛЯРНАЯ

ФИЗИКА

И ТЕРМОДИНАМИКА

Основы термодинамики. Задачи с
решениями



МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Основы термодинамики

Задачи с решениями

З а д а ч а 1. Определить внутреннюю энергию смеси газов гелия и аргона массой 15 г при 727 °С, если известно, что в этой смеси одну четверть от общего числа молекул составляют молекулы аргона.

Дано:
 $m = 15$ г,
 $t = 727$ °С = 1000 К,
 $k = 0,25$,
 $\mu_{\text{He}} = 0,004$ г/моль,
 $\mu_{\text{Ar}} = 0,04$ г/моль

$U = ?$

Решение. Внутренняя энергия газа массы m равна

$$U = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{\mu} RT.$$

На долю гелия приходится масса $(1-k)m$, а на долю аргона – масса km . Соответственно внутренняя энергия гелия и аргона равна

$$U_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{(1-k)m}{\mu_{\text{He}}} RT, \quad U_2 = \frac{3}{2} \frac{km}{\mu_{\text{Ar}}} RT.$$

Внутренняя энергия всей смеси газов

$$U = U_1 + U_2 = \frac{3}{2} \left(\frac{1-k}{\mu_{\text{He}}} + \frac{k}{\mu_{\text{Ar}}} \right) RTm.$$

Подстановка числовых данных дает

$$U = \frac{3}{2} \left(\frac{0,75}{0,004} + \frac{0,25}{0,04} \right) \cdot 8,31 \cdot 10^3 \cdot 0,015 = 36,23 \text{ кДж}.$$

Ответ: $U = 36,23$ кДж.

З а д а ч а 2. После протапливания печи температура воздуха в комнате поднялась с 280 до 300 К. Найти объем комнаты, если известно, что работа воздуха при расширении составила 500 кДж, а давление постоянно и равно 10^5 Па.

Дано:
 $T_1 = 280$ К, $T_2 = 300$ К,
 $p = 10^5$ Па, $A = 500$ кДж
 $V_1 = ?$

Решение. При изобарном процессе работа воздуха определяется по формуле

$$A = p(V_2 - V_1),$$

где V_2 можно найти из закона Гей-Люссака

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}, \quad V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1}.$$

Тогда

$$A = p \left(\frac{V_1 T_2}{T_1} - V_1 \right) = \frac{p V_1}{T_1} (T_2 - T_1).$$

Отсюда

$$V_1 = \frac{A T_1}{p (T_2 - T_1)} = \frac{500 \cdot 10^3 \cdot 280}{10^5 \cdot (300 - 280)} = 70 \text{ м}^3.$$

Ответ: $V_1 = 70 \text{ м}^3$.

З а д а ч а 3. Вертикальный цилиндр заполнен азотом, масса которого 5,6 кг, и закрыт тяжелым поршнем. При сообщении азоту некоторого количества теплоты его температура повысилась на 10 К, а внутренняя энергия увеличилась на 6000 Дж. Найти количество теплоты, сообщенное азоту, работу, совершаемую им при расширении, а также его удельную теплоемкость в двух случаях: а) поршень не закреплен; б) поршень закреплен.

Дано:
 $m = 5,6 \text{ кг}$, $\Delta T = 10 \text{ К}$,
 $\Delta U = 6000 \text{ Дж}$,
 $\mu = 0,028 \text{ кг/моль}$

$$Q_1 = ? \quad Q_2 = ?$$

$$A_1 = ? \quad c_p = ?$$

$$c_V = ?$$

Решение. Будем считать, что в случае *a* все силы, действующие на поршень, постоянны, а нагревание азота происходит изобарно. Одна часть подводимой энергии Q_p расходуется на увеличение внутренней энергии, а другая – на совершение работы A_p по перемещению поршня:

$$Q_1 = \Delta U + A_1.$$

Так как в случае *б* объем азота не изменяется, газ работы не совершает. Вся подводимая теплота расходуется на увеличение его внутренней энергии:

$$Q_2 = \Delta U.$$

Работа газа при его изобарном расширении

$$A_1 = p(V_2 - V_1),$$

где V_1 и V_2 – объем азота до и после расширения.

Запишем уравнение Менделеева–Клапейрона для этих двух состояний газа:

$$pV_1 = \frac{m}{\mu}RT_1, \quad pV_2 = \frac{m}{\mu}RT_2.$$

Вычитая из второго уравнения первое, получаем

$$p(V_2 - V_1) = \frac{m}{\mu}R(T_2 - T_1).$$

Поэтому

$$A_1 = \frac{m}{\mu}R\Delta T = \frac{5,6}{0,028} \cdot 8,31 \cdot 10 = 16620 \text{ Дж.}$$

Тогда $Q_1 = 22620$ Дж. Очевидно, что $Q_2 = 6000$ Дж.

Удельную теплоемкость азота при постоянном давлении найдем из соотношения

$$Q_1 = mc_p \Delta T.$$

Отсюда

$$c_p = \frac{Q_1}{m\Delta T} = \frac{22620}{5,6 \cdot 10} = 404 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}.$$

Аналогично удельная теплоемкость азота при постоянном объеме

$$c_V = \frac{Q_2}{m\Delta T} = \frac{6000}{5,6 \cdot 10} = 107 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}.$$

Ответ: $Q_1 = 22620$ Дж, $Q_2 = 6000$ Дж, $A_1 = 16620$ Дж, $c_p = 404$ Дж/(кг·К), $c_V = 107$ Дж/(кг·К).

З а д а ч а 4. Идеальный тепловой двигатель совершает за один цикл работу 50 кДж. Найти количество теплоты, отдаваемое за один цикл холодильнику, если температура нагревателя 227 °С, а температура холодильника 27 °С.

<p>Дано:</p> <p>$A = 50$ кДж, $t_1 = 227$ °С = 500 К,</p> <p>$t_2 = 27$ °С = 300 К</p> <hr/> <p>$Q_2 = ?$</p>	<p><i>Решение.</i> Коэффициент полезного действия идеального двигателя</p> $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{500 - 300}{500} = 0,4.$
---	--

Вместе с тем

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{A}{Q_1}.$$

Таким образом,

$$Q_1 = \frac{A}{\eta} = \frac{50}{0,4} = 125 \text{ кДж.}$$

Так как работа двигателя

$$A = Q_1 - Q_2,$$

имеем

$$Q_2 = Q_1 - A = 125 - 50 = 75 \text{ кДж.}$$

Ответ: $Q_2 = 75 \text{ кДж.}$

