

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный технический университет»
Факультет электроники и вычислительной техники
Кафедра физики

Семестровая работа по дисциплине
«Термодинамика и статистическая физика»

Вариант №17

Выполнила
студентка группы Ф-469
Слоква В. И.

Проверил
профессор,
доктор физ.-мат. наук
Крючков С. В.

Волгоград, 2014

2.41: атмосферное давление изменилось от $p_1 = 983$ гПа до $p_2 = 1003$ гПа. Какое приращение ΔU получает при этом внутренняя энергия воздуха, содержащегося в комнате объема $V = 50,0$ м³? Температура в комнате предполагается неизменной.

Решение:

запишем выражение для внутренней энергии через теплоемкость при постоянном объеме C_V : $U = C_V \nu T = \frac{R}{\gamma - 1} \cdot \nu T$. Для двухатомного газа $\gamma = 7/5$.

Приращение внутренней энергии:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{R}{\gamma - 1} \cdot T(\nu_2 - \nu_1).$$

По закону Менделеева-Клапейрона $\nu = \frac{pV}{RT}$, тогда

$$\Delta U = \frac{R}{\gamma - 1} \cdot T \left(\frac{p_2 V}{RT} - \frac{p_1 V}{RT} \right) = \frac{V}{\gamma - 1} (p_2 - p_1).$$

Подставим значения:

$$\Delta U = \frac{50,0 \text{ м}^3}{7/5 - 1} \cdot 20 \text{ гПа} = 0,25 \text{ МДж}.$$

Ответ: $\Delta U = 0,25$ МДж.

2.65: некоторое количество идеального газа ($\gamma = 1,40$) расширяется от $V_1 = 20,0$ л до $V_2 = 50,0$ л так, что процесс на диаграмме (p, V) имеет вид прямой линии. Исходное давление $p_1 = 1000$ гПа, конечное $p_2 = 2000$ гПа.
 а) Является ли процесс политропическим?
 б) Найти количество теплоты Q , поглощаемое газом в ходе расширения.

Решение:

по определению политропического процесса:

$$PV^n = \text{const}$$

Из графика видно, что $p = aV$, где

$$a = \operatorname{tg} \alpha = \frac{p_2 - p_1}{V_2 - V_1}.$$

Уравнение политропического процесса преобразуется к виду $aV^{n+1} = \text{const}$ и

$$aV_1^{n+1} = aV_2^{n+1}, \quad \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n+1} = 1.$$

Отсюда $n = -1$ и $\frac{p}{V} = \text{const}$.

Таким образом процесс является политропическим с $n = -1$.

По первому началу термодинамики: $Q = \Delta U + A$.

Запишем выражение для внутренней энергии через теплоемкость при постоянном объеме C_V : $\Delta U = C_V \Delta T = \frac{R}{\gamma - 1} \cdot (T_2 - T_1)$.

По закону Менделеева-Клапейрона $T = \frac{pV}{R}$, тогда ΔU :

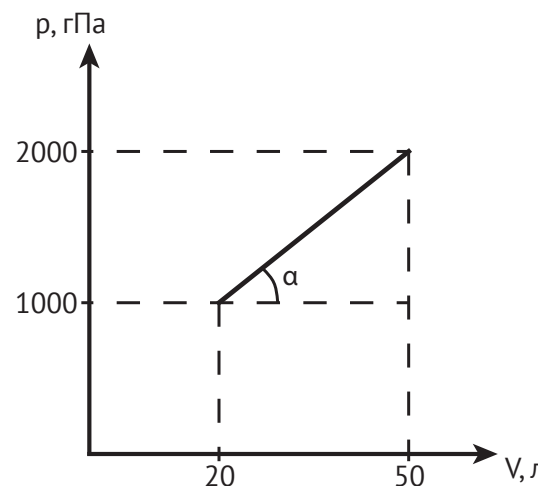
$$\Delta U = \frac{R}{\gamma - 1} \cdot \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{R} = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{\gamma - 1} = 20 \text{ кДж}.$$

Работа, по определению,

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV = a \int_{V_1}^{V_2} V dV = \frac{p_2 - p_1}{V_2 - V_1} \cdot \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} = 4,5 \text{ кДж}.$$

Тогда количество тепла $Q = \Delta U + A = 24,5$ кДж.

Ответ: а) да, $n = -1$; б) $Q = 24,5$ кДж.



2.96: вблизи поверхности Земли отношение объемных концентраций кислорода (O_2) и азота (N_2) в воздухе $\eta_0 = 20,95/78,08 = 0,268$. Полагая температуру атмосферы не зависящей от высоты и равной $0^\circ C$, определить это отношение η на высоте $h = 10$ км.

Решение:

по барометрической формуле:

$$\eta(h) = \eta_0 \cdot \exp\left(-mg \cdot \frac{h - h_0}{RT}\right),$$

где $m = M_{O_2} + M_{N_2}$.

Подставим числовые значения:

$$\eta(10 \text{ км}) = 0,268 \cdot \exp\left(-\frac{(32 + 28) \cdot 9,8 \cdot 10^4}{8,31 \cdot 273}\right) = 0,225.$$

Ответ: $\eta(10 \text{ км}) = 0,225$.

2.132: найти приращение энтропии ΔS при конденсации массы $m = 1,00$ кг пара, находившегося при температуре $t_1 = 100^\circ\text{C}$, в воду и последующем охлаждении до температуры $t_2 = 20^\circ\text{C}$. Теплоемкость воды считать не зависящей от температуры. Конденсация происходит при давлении, равном 1 атм.

Решение:

изменение энтропии есть разность энтропий двух состояний:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = \frac{\delta Q_2}{T} - \frac{\delta Q_1}{T},$$

где $\delta Q_2 = \int_{T_1}^{T_2} cm dT$, $\delta Q_1 = mq_{\text{п}}$, $q_{\text{п}}$ – удельная теплота парообразования.

Таким образом,

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} cm \frac{dT}{T} - \frac{mq_{\text{п}}}{T_1} = m(c \ln(T_2/T_1) - q_{\text{п}}/T_1).$$

Подставим значения:

$$\Delta S = 1 \text{ кг} \cdot \left(4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot \ln(293/373) - \frac{2,3 \cdot 10^6}{373} \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right) \approx -7 \text{ кДж/К}.$$

Ответ: $\Delta S = -7 \text{ кДж/К}$.

204: В цикле Карно в качестве холодильника выбрана вода при 4°C . Так как температурный коэффициент расширения при этой температуре равен нулю, то для осуществления цикла Карно не надо сообщать тепло холодильнику, т. е. КПД цикла равен единице. В чем ошибочность этого рассуждения?

Решение:

1. пусть во всех точках изотермы $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = 0$. Тогда $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = 0$, и

$$dU = \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - P \right] dV = -P dV.$$

По первому началу термодинамики:

$$\delta Q = dU + P dV = -P dV + P dV = 0.$$

Таким образом, изотерма во всех точках должна совпадать с адиабатой. В этом случае цикл Карно между температурой 4°C и какой-либо другой неосуществим.

2. Для воды коэффициент теплового расширения обращается в нуль только в одной точке изотермы, так что условия задачи неосуществимы.

306: Импульс фотона связан с его энергией соотношением $\varepsilon = pc$. Написать выражение для давления P фотонного газа.

Решение:

в общем виде давление газа имеет вид:

$$P = \sum n_i v_{iz} p_{iz}.$$

Усредним значение $v_z p_z$:

$$\langle v_z p_z \rangle = \frac{1}{n} \sum n_i v_{iz} p_{iz}.$$

Тогда давление примет вид $P = n \langle v_z p_z \rangle$. По определению скалярного произведения

$$\langle vp \rangle = \langle v_x p_x \rangle + \langle v_y p_y \rangle + \langle v_z p_z \rangle.$$

Так как направления скоростей равнозначны, то

$$\langle v_x p_x \rangle = \langle v_y p_y \rangle = \langle v_z p_z \rangle = \frac{1}{3} \langle vp \rangle.$$

Таким образом, давление примет вид $P = n \langle vp \rangle / 3$.

Если объем сосуда, в котором заключен газ, равен V , а полное число фотонов равно N , то $n = N/V$, и тогда:

$$P = \frac{N}{3V} \langle vp \rangle, \text{ или } PV = \frac{1}{3} \langle Nvp \rangle.$$

По условию, $v = c$, $p = \varepsilon/c$:

$$PV = \frac{1}{3} \langle Ncp \rangle = \frac{1}{3} \langle N\varepsilon \rangle = \frac{1}{3} \langle E \rangle,$$

где $\langle E \rangle$ – средняя полная энергия фотонов в сосуде.

Ответ: $P = 1/3 \langle E \rangle$.

455: Ниже приведены значения постоянных Ван-дер-Ваальса для некоторых газов: Пользуясь этими значениями, вычислить критическое давле-

Газ	$a, 10^6 \text{ атм} \cdot \text{см}^6/\text{моль}^2$	$b, \text{см}^3/\text{моль}$
Гелий	0,034	23,7
Водород	0,24	26,6
Азот	1,39	39,1
Кислород	1,36	31,8
CO ₂	3,60	42,7

ние, критическую температуру, критический объем, а также температуру Бойля для приведенных газов в предположении, что они подчиняются уравнению Ван-дер-Ваальса.

Решение:

для газов, подчиняющихся уравнению Ван-дер-Ваальса, температура Бойля и критические значения давления, объема, температуры выглядят следующим образом:

$$T_B = \frac{a}{bR}, \quad P_K = \frac{a}{27b^2}, \quad V_K = 3b, \quad T_K = \frac{8}{27} \frac{a}{bR}.$$

Подставляя значения a и b , получим:

Газ	$V_K, \text{см}^3$	$P_K, \text{атм}$	$T_K, \text{К}$	$T_B, \text{К}$
Гелий	71,1	2,24	5,18	17,5
Водород	79,8	12,56	32,58	110,0
Азот	117,3	33,67	128,36	433,2
Кислород	95,4	49,81	154,43	521,2
CO ₂	128,1	73,13	304,43	1027,4