

ОТВЕТЫ НА ЗАДАЧИ

Глава 1

- 1.1.** $1/32, 5/32, 10/32, 10/32, 5/32, 1/32.$ **1.2.** Обратимо. **1.5.** а) Энергия не меняется; б) $p_f/p_i = V_i/V_f.$ **1.6.** $2,1 \cdot 10^{23}$ молекул·сек $^{-1} \cdot$ см $^{-2}.$ **1.7.** Приблизительно 45 суток. **1.8.** $6 \cdot 10^{-10}$ сек. **1.10.** а) $v_1/v_2 = (m_2/m_1)^{1/2}.$ **1.11.** $\bar{p} = \frac{2}{3}(n_1 + n_2)\bar{\varepsilon}.$ **1.12.** в) Давление $= \bar{p}_1 = \bar{p}_2.$ **1.13.** в) 2 атм. **1.14.** а) $3,4 \cdot 10^4$ см/сек; б) $2,3 \cdot 10^{-8}$ см; в) $(2,9 \cdot 10^4)x$ дин/см $^2;$ г) $2 \cdot 10^{-9}$ см.

Глава 2

- 2.1.** $5/54 \approx 0,092.$ **2.2.** $63/256 \approx 0,25.$ **2.3.** а) $(5/6)^5 \approx 0,4;$ б) $1 - (5/6)^5 \approx 0,6;$ в) $\frac{1}{3}(5/6)^4 \approx 0,16.$ **2.4.** в) $(5/6)N;$ г) $(5/6)N^{-1}(1/6).$ **2.5.** а) $N! [n! n'!]^{-1} p^n q^{n'}.$ **2.6.** а) $N! \left[\left(\frac{1}{2} N \right)! \right]^{-2} \left(\frac{1}{2} \right)^N;$ б) 0. **2.7.** б) 0; в) $(t/\tau)^{1/2}l.$ **2.9.** а) $\bar{\mu} = (2p-1)\mu_0,$ $\bar{\mu}^2 = \mu_0^2.$ **2.12.** а) $1/\bar{c};$ б) $(\bar{1}/\bar{c}).$ **2.13.** в) $\bar{M} = 0,$ $\overline{(\Delta M)^2} = 2Np\mu_0^2.$ **2.15.** а) $N(V/V_0);$ б) $N^{-1/2}[(V_0/V) - 1]^{1/2}.$ **2.16.** а) $(t/\Delta t)pe;$ б) $(t/\Delta t)pe^2;$ г) $4 \cdot 10^{-12}a.$ **2.17.** $(N^2v^2/R)p^2[1 + (1-p)/Np].$ **2.18.** 0,82 см. **2.19.** а) 0; б) $N^{1/2}l.$ **2.20.** $(A^2 - x^2)^{-1/2}(dx/\pi)$ для $-A \leqslant x \leqslant A;$ 0 для остальных $x.$

Глава 3

- 3.1.** а) $P(-3\mu_0) = \frac{1}{7},$ $P(\mu_0) = \frac{6}{7},$ $P(M) = 0$ для других значений; б) $\left(\frac{3}{7}\right)\mu_0;$ в) то же, что в (а) и (б). **3.2.** $\frac{1}{3}.$ **3.3.** а) $N! [n! (N-n)!]^{-1};$ в) $n'/n.$ **3.4.** $(n'/n)^2.$ **3.5.** а) $N! [n! (N-n)!]^{-1};$ б) $(E_F - E_0)/2\mu_0B;$ г) $(n'/n)^{\Delta n};$ д) $\beta = \ln(n/n')/2\mu_0B.$ **3.6.** а) $(\pi^2\hbar^2/2m)(n_x^2/L_x^2)(2/L_x);$ б) $\bar{F} = \frac{2}{3}(\bar{E}/L).$ **3.7.** а) $1,9 \cdot 10^{29};$ б) $4,5 \cdot 10^{18}.$ **3.9.** а) $N! [n! (N-n)!]^{-1} (\delta E/2\mu_0B).$

Глава 4

- 4.1.** а) нет; б) нет. **4.2.** 0,025 эв. **4.3.** а) 4%; б) $5 \cdot 10^{43}.$ **4.4.** $1,1 \cdot 10^{-2}.$ **4.5.** $1,5 \cdot 10^{-5}.$ **4.6.** Мощность $\propto T^{-1}.$ **4.7.** а) $N_{3/2}/N_{1/2} \approx 0,5;$ б) $N_{3/2}/N_{1/2} \approx 1.$ **4.8.** а) Для $T \rightarrow 0,$ $\bar{E} \rightarrow Ne_1;$ для $T \rightarrow \infty,$ $\bar{E} \rightarrow \frac{1}{2}N(e_1 + e_2);$ меняется при $kT \sim (e_2 - e_1).$ б) $N[e_1 + e_2 e^{-\beta(e_2 - e_1)}][1 + e^{-\beta(e_2 - e_1)}]^{-1}.$ **4.9.** $N \alpha \text{ th}(Wa/kT).$ **4.10.** $\frac{1}{2}Nea \text{ th}(ea\mathcal{E}/2kT).$ **4.12.** а) Расстояние между уровнями возрастает;

- б) уменьшается; в) положительно; г) возрастает; д) возрастает. 4.13. а) Расстояние между уровнями возрастает; б) уменьшается; в) отрицательно; г) возрастает; д) возрастает. 4.14. $(N_1 + N_2) kT/V$. 4.21. а) $e^{\beta\mu_0 B} + e^{-\beta\mu_0 B}$; б) $-\mu_0 B \operatorname{th}(\beta\mu_0 B)$. 4.22. а) $e^{-\beta\hbar\omega/2} [1 - e^{-\beta\hbar\omega}]^{-1}$; б) $\hbar\omega \left[\frac{1}{2} + (e^{\beta\hbar\omega} - 1)^{-1} \right]$; г) $\frac{1}{2}\hbar\omega$; д) kT . 4.23. а) $2A/\beta\hbar^2$; б) kT . 4.25. а) $e^{-\beta n e}$; б) $N! [n!(N-n)!]^{-1}$ в каждом случае. 4.26. а) $C(M/2\pi\beta)^{3/2} (V/\hbar^3)$; б) $C [(M/2\pi\beta)^{3/2} (V/\hbar^3)] [(m/2\pi\beta)^{3/2} (V/\hbar^3)] e^{-\beta\mu}$; в) $(mkT/2\pi\hbar^2)^{3/2} V e^{-u/kT}$; г) $(mkT/2\pi\hbar^2)^{3/4} (V/N)^{1/2} e^{-u/2kT}$; д) недиссоциирован; е) диссоциирован. 4.27. а) $(\bar{n}/N)^2 = (m/2\pi)^{3/2} \hbar^{-3} (kT)^{5/2} p^{-1} e^{-u/kT}$; б) $0,4\%$. 4.28. а) $\frac{3}{2} NkT$. 4.29. а) $-N\mu_0 B \operatorname{th}(\mu_0 B/kT)$; б) $N\mu_0 \operatorname{th}(\mu_0 B/kT)$.

Глава 5

- 5.1. а) 3°K ; б) $4 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{K}$. 5.2. а) $0,62 \text{ ec}$; б) $2 \cdot 10^{-8} \text{ }^\circ\text{K}$. 5.3. $vRT \ln(V_2/V_1)$. 5.4. $3,6 \cdot 10^{10} \text{ эрг}$. 5.5. а) $a \rightarrow c \rightarrow b$: $W = 7 \cdot 10^9 \text{ эрг}$, $Q = -2,9 \cdot 10^{10} \text{ эрг}$; а) $a \rightarrow d \rightarrow b$: $W = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ эрг}$, $Q = 1,8 \cdot 10^{11} \text{ эрг}$; а) $a \rightarrow b$: $W = 1,4 \cdot 10^{11} \text{ эрг}$, $Q = 1,1 \cdot 10^{11} \text{ эрг}$. 5.8. а) Mg/A ; б) $T = \frac{3}{5} T_0 + (2MgV_0/5vRA)$, $V = \frac{2}{5} V_0 + (3vRAT_0/5Mg)$. 5.9. б) $14,8 \text{ дж/см}$. 5.10. а) $9,92 \cdot 10^3 \text{ дж}$; б) $1,35 \cdot 10^3 \text{ дж}$. 5.11. б) $\bar{E} = N [e_1 + e_2 e^{-(e_2 - e_1)/kT}] [1 + e^{-(e_2 - e_1)/kT}]^{-1}$; $C = (N/kT^2)(e_2 - e_1)^2 e^{-(e_2 - e_1)/kT} [1 + e^{-(e_2 - e_1)/kT}]^{-2}$. 5.12. а) $-N\mu_0 B, 0$; б) $0,0$; в) $-N\mu_0 B \operatorname{th}(\mu_0 B/kT)$; г) $Nk(\mu_0 B/kT)^2 [\operatorname{ch}(\mu_0 B/kT)]^{-2}$. 5.13. а) $2Ne(e^{e/kT} + 2)^{-1}$; б) $(2Ne^2/kT^2)e^{e/kT}(e^{e/kT} + 2)^{-2}$, $(2Ne^2/9kT^2)$ для больших T . 5.14. а) $(C_A T_A + C_B T_B)/(C_A + C_B)$; в) $\Delta S = C_A \ln(T/T_A) + C_B \ln(T/T_B)$. 5.15. а) $1,27 \cdot 10^3 \text{ дж/град}$, $-1,12 \cdot 10^3 \text{ дж/град}$, $1,5 \cdot 10^2 \text{ дж/град}$; б) $1,1 \cdot 10^2 \text{ дж/град}$. 5.16. а) $21,8 \text{ дж/град}$; б) $10^{6,8 \cdot 10^{24}}$. 5.17. а) $12,6 \text{ }^\circ\text{C}$; б) $12,8 \text{ дж/град}$; в) $9,4 \cdot 10^3 \text{ дж}$. 5.18. а) 0 ; б) 0 ; в) 0 ; г) независимо. 5.19. а) $S_n = S_s$; б) $C_n = \frac{1}{3} C_s$. 5.20. а) $Nk(\hbar\omega/kT)^2 e^{\hbar\omega/kT} (e^{\hbar\omega/kT} - 1)^{-2}$; в) Nk . 5.21. а) $\frac{5}{2} kT$; б) $\frac{5}{2} R = 20,8 \text{ дж\cdotград}^{-1}\cdot\text{моль}^{-1}$. 5.22. а) $(\partial^2 \ln Z / \partial \beta^2) + (\partial \ln Z / \partial \beta)^2$; г) $\left(\frac{3}{2} N\right)^{-1/2}$.

Глава 6

- 6.2. а) $e^{-\beta [p^2/2m + mgz]} d^3r d^3p$; б) $e^{-(1/2)\beta m v^2} d^3v$; в) $e^{-\beta mgz} dz$. 6.3. $n \propto e^{-\beta mgz}$. 6.4. а) $V [\ln(R/r_0)]^{-1} r^{-1}$; б) $n \propto (r/R)^{-\beta eV/\ln(R/r_0)}$; в) $kT \gg e^2 n^{1/3}$. 6.5. а) $\omega^2 r (m - \rho v)$; б) $e^{-(1/2)\beta \omega^2 r^2 (m - \rho v)} dr$. 6.6. а) $e^{\beta\mu_0 (B_2 - B_1)}$; б) $\operatorname{ch}(\beta\mu_0 B_2)/\operatorname{ch}(\beta\mu_0 B_1)$; в) $1 + (\mu_0/kT)^2 (B_2^2 - B_1^2)$; г) $1,00015$. 6.7. $\frac{1}{2} kT$, нет. 6.8. а) $2^{-(1/2)}$; б) неизменно. 6.9. Больше. 6.10. $4V(\ln 2)/A\bar{v}$. 6.11. Приблизительно 4 сек. 6.12. а) $(c_2/c_1)(m_1/m_2)^{1/2}$. 6.13. $2^{(1 - \sqrt{\mu_{\text{He}}/\mu_{\text{Ne}}})}$. 6.14. а) 0; б) kT/m ; в) 0; г) 0; д) $(kT/m)(1 + b^2)$. 6.15. а) v_0 ; б) $v_0^2 (kT/mc^2)$. 6.16. R . 6.17. $\rho \propto T$. 6.18. а) Mg/α ; б) kT/α ; в) $(\alpha kT)^{1/2}/g$. 6.19. а) $\frac{1}{2} kT$; б) $\frac{1}{4} kT$; в) $\frac{3}{4} kT$; г) $\frac{3}{4} R$. 6.20. R . 6.21. а) $\bar{E} = 3N\hbar\omega \left[\frac{1}{2} + (e^{\hbar\omega/kT} - 1)^{-1} \right]$; б) $3R(\hbar\omega/kT)^2 e^{\hbar\omega/kT} (e^{\hbar\omega/kT} - 1)^{-2}$; в) $3R(\Theta/T)^2 e^{-\Theta/T}$; ж) $\hbar\omega/k$.

Глава 7

- 7.2. в) 6,21 атм; б) 832° К. 7.3. а) $(c_V/R)(\bar{p}_fV_f - \bar{p}_iV_i)$; б) $\nu c_V(T_f - T_i)$.
 7.4. б) $\frac{5}{2}R = 20,8$ дж·град $^{-1}$ ·моль $^{-1}$; в) $\frac{5}{3}$. 7.5. а) $\frac{5}{2}R$; б) 1300 дж;
 в) 1500 дж; г) 23,6 дж/град. 7.6. $\frac{3}{2}R \ln [(T/T_0)(V/V_0)^{2/3}]$, где T и V —
 см. ответ к задаче 5.8. 7.8. а) 195° К; б) $3,12 \cdot 10^4$ дж/моль для возгонки,
 $2,55 \cdot 10^4$ дж/моль для испарения; в) $5,7 \cdot 10^3$ дж/моль. 7.9. Нуль.
 7.10. $\left[(L/RT) - \frac{1}{2} \right] T^{-1}$. 7.11. а) $(RT_r/L)(Q/\mathcal{V}^2)$; б) $\left[\frac{1}{T_0} - \frac{R}{L} \ln \left(\frac{RT_r}{Lp_0} \frac{Q}{\mathcal{V}^2} \right) \right]^{-1}$;
 в) 1,4 °К. 7.15. а) $T_i/(T_i - T_0)$; б) 11,9. 7.16. а) $C(T_1 + T_2 - 2T_f)$;
 б) $T_f \geq (T_1 T_2)^{1/2}$; в) $C(T_1^{1/2} - T_2^{1/2})^2$. 7.17. а) $\nu RT \ln(V_c/V_b)$; б) $\nu RT \ln(V_a/V_d)$;
 в) $V_a/V_b = V_d/V_c$; г) $q'/q = T'/T$. 7.18. $1 - (V_1/V_2)^{\gamma-1}$.

Глава 8

- 8.1. а) 2; б) 2; в) не действует. 8.2. а) τ ; б) τ ; в) не действует.
 8.3. а) $\frac{1}{2}t_c$; б) $\frac{1}{2}t_c$; в) at_c , $\frac{1}{2}at_c = at$; г) $\frac{1}{2}at_c^2$, $\frac{1}{2}at_c = at$. 8.4. Умень-
 шается, неизменно. 8.5. а) $2\pi\eta R^3 L \omega / \delta$; б) приблизительно 25 дин·см.
 8.6. $1,4 \cdot 10^{-4}$ дин·см $^{-1}$ ·сек $^{-1}$. 8.7. а) $\sigma \propto V^{-4/(s-1)}$; б) $\eta \propto T^{(s+3)/2(s-1)}$.
 8.8. а) 1,4 вт/см; б) $4 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. 8.9. а) $(\eta_1/\eta_2)(\mu_2/\mu_1)^{1/2}$; б) $(\eta_2/\eta_1)(\mu_1/\mu_2)$;
 в) $(\eta_2/\eta_1)(\mu_1/\mu_2)$; г) $d_1 \approx 1,9 \cdot 10^{-8}$ см, $d_2 \approx 3,1 \cdot 10^{-8}$ см. 8.10. Приблизительно
 10 часов. 8.11. Приблизительно $\frac{3}{2}(\ln 2)(M/m)(\bar{n}VL^2)^{-1}$. 8.13. в) $2\tau^2$.
 8.14. $\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\kappa}{\rho c} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$. 8.15. $\Delta T = (I^2 R / 2\pi b \kappa) \ln(b/a)$. 8.16. а) $(\pi/8)(\rho a^4 / \eta L)(p_1 - p_2)$;
 б) $(\pi/16)(\mu a^4 / \eta R T L)(p_1^2 - p_2^2)$.

Дополнительные задачи

1. 0,013. 2. $(2\mu_0)^{-1}(2\pi Npq)^{-1/2} \exp \{-[M - N(p-q)\mu_0]^2/8Npq\mu_0^2\}$.
 5. а) 0,37; б) 0,08. 8. 0,0025, 0,090, 0,162. 10. б) $T(kC)^{1/2}$;
 в) $\left[\frac{2}{3} N'/N(N+N') \right]^{1/2}$; г) $\left(\frac{2}{3} N \right)^{1/2}$, если $N \ll N'$, $N^{-1}(2N'/3)^{1/2}$,
 если $N \gg N'$.