习题 9 答案

9-1　B

9-2　A

9-3　B

9-4　C

9-5　A

9-6　等压过程　绝热过程　等压过程　绝热过程

9-7　21 J

9-8　否　$\eta>\dfrac{T_1-T_2}{T_1}$

9-9　$A=\int_{v_1}^{v_2}p_0\mathrm{d}v=p_0(v_2-v_1)=1.013\times10^5\ \mathrm{Pa}\times(15-10)\times10^{-3}\ \mathrm{m}^3=507\ \mathrm{J}$

$\Delta E=-A+Q=(-507+1713)\mathrm{J}=1207\ \mathrm{J}$

9-10

解析：①定容过程：$Q_v=\Delta E=\dfrac{M}{\mu}C_v(T_2-T_1)=623\ \mathrm{J}$

$$A=\int_{v_1}^{v_2}P\mathrm{d}v=0$$

②定压过程：$Q=\dfrac{M}{\mu}C_P(T_2-T_1)=1.04\times10^3\ \mathrm{J}$

ΔE 与①相同，$\therefore A=Q-\Delta E=416\ \mathrm{J}$

③与外界不交换质量：$Q=0$，ΔE 与①相同

$$\therefore W=-\Delta E=-623\ \mathrm{J}$$

9-11

解析：(1) $a\to b$：$Q_1=nRT_1\ln\dfrac{v_b}{v_a}=nRT_1\ln2>0$

$b\to c$：$Q_2=\dfrac{5}{2}nR(T_c-T_b)=-\dfrac{5}{2}nRT_2\ln2<0$

$c\to d$：$Q_3=nRT_2\ln\dfrac{v_d}{v_c}=-nR(T_1-T_2)>0$

$d\to a$：$Q_4=\dfrac{5}{2}nR(T_a-T_d)=\dfrac{5}{2}nR(T_1-T_2)>0$

$$\eta=1-\frac{|Q_2|+|Q_3|}{Q_1+Q_4}=1-\frac{\frac{5}{2}nR(T_1-T_2)+nRT_2\ln2}{\frac{5}{2}nR(T_1-T_2)+nRT_1\ln2}=15.1\%$$

(2)证明：$a\to b$ 等温，$p_av_a=p_bv_b$

$c\to d$ 等温，$p_cv_c=p_dv_d$

$b\to c$，$d\to a$ 等容，$\therefore v_b=v_c$，$v_d=v_a$，而 $v_b=2v_a$

$\therefore v_c=2v_a$，$v_d=v_a$

$\because p_av_a\cdot p_cv_c=p_bv_b\cdot p_dv_d$

$\therefore p_a v_a \cdot p_c \cdot 2v_a = p_b \cdot 2v_a \cdot p_d \cdot v_a$

$\therefore p_a p_c = p_b p_d$

9-12

解析：$a \to b$ 等温过程，$Q = W > 0$，吸热 Q_1

$c \to a$ 等容过程，压强增大，怎度升高，吸热 Q_2，

$b \to c$ 等压过程，体积减小，温度降低，放热 Q_3.

$$Q_1 = W = \int p\mathrm{d}v = \int_{v_1}^{v_2} \frac{RT}{V}\mathrm{d}v = RT_a \ln \frac{v_2}{v_1} = RT_b \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$Q_2 = \upsilon C_{v,m} \Delta T = C_{v,m}(T_a - T_c) = C_{v,m} T_a \left(1 - \frac{T_c}{T_a}\right) = C_{v.m} T_b \left(1 - \frac{v_1}{v_2}\right)$$

$$|Q_3| = \upsilon C_{p,m} \Delta T = C_{p,m} T_b \left(1 - \frac{T_c}{T_b}\right) = C_{p,m} T_b \left(1 - \frac{v_1}{v_2}\right)$$

$$\eta = 1 - \frac{|Q_3|}{Q_1 + Q_2} = 1 - \frac{5\left(1 - \frac{v_1}{v_2}\right)}{2\ln \frac{v_1}{v_2} + 3\left(1 - \frac{v_1}{v_2}\right)} = 13.4\%$$

9-13

证明；$Q_{da} = \frac{M}{M_{\mathrm{mol}}} C_{V,m}(T_a - T_d)$，吸热

$Q_{bc} = \frac{M}{M_{\mathrm{mol}}} C_{p,m}(T_c - T_b)$，放热

$$\eta = 1 - \frac{|Q_{bc}|}{Q_{da}} = 1 - \frac{C_{p,m}(T_b - T_c)}{C_{v,m}(T_a - T_d)} = 1 - \gamma \frac{T_b - T_c}{T_a - T_d}$$

9-14

原来的效率：$\eta_0 = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300}{1000} = 70\%$

①高温热源提高到 $T_1' = 1100$ K 后的效率

$$\eta_1 = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300}{1100} = 72.7\%$$

$\therefore \Delta\eta_1 = \eta_1 - \eta_0 = 72.7\% - 70\% = 2.7\%$

②低温热源降到 $T_2' = 200$ K 后的效率

$$\eta_2 = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{200}{1000} = 80\%$$

$\Delta\eta_2 = \eta_2 - \eta_0 = 80\% - 70\% = 10\%$

9-15

解析：根据卡诺定理：$\frac{Q_{吸}}{Q_{放}} = \frac{T_2}{T_1}$

设 $Q_{放}$ 为 $323x$，$Q_{吸}$ 为 $523x$，则吸热放热之差为循环过程做功：$523x - 323x = 1.05 \times 10^5$ J

$x = 525$

$\therefore Q_{吸}=523\times525J=2.75\times10^{5}\ \mathrm{J}$

$Q_{放}=323\times525J=1.70\times10^{5}\ \mathrm{J}$

9-16

解析：记冰的初始温度为 T_1，冰水共存的温度为 T_0，水的温度为 T_2，质量为 m。

整个过程的熵变为：

$$\Delta S=\Delta S_1+\Delta S_2+\Delta S_3$$

$$=\int_{T_1}^{T_0}\frac{mc_{p冰}\,\mathrm{d}T}{T}+\frac{\Delta Q}{T_0}+\int_{T_0}^{T_2}\frac{mc_{p水}\,\mathrm{d}T}{T}=mc_{p冰}\ln\frac{T_0}{T_1}+\frac{mL}{T_0}+mc_{p水}\ln\frac{T_2}{T_1}$$

把相关数据代入得：$\Delta S=6.95\ \mathrm{cal/K}$

9-17

解析：(1)设水的质量为 m_1，比热容为 c_1，冰的质量为 m_2，比热容为 c_2，冰水共存的温度为 T_0，最终平衡的温度为 T_c。

冰融化为冰水需等温吸热为：$Q_1=Lm_2$；

冰水达到平衡温度需吸热为：$Q_2=c_1m_2(T_x-T_0)$；

水达到平衡温度需要放热为：$Q=c_1m_1(T_2-T_1)$

根据热平衡：$Q=Q_1+Q_2$。

$\therefore c_1m_1(T_2-T_x)=Lm_2+c_1m_2(T_x-T_0)$

把数据代入得：$T_x=274.38\ \mathrm{K}=1.38℃$。

(3)冰的熵变为：

$$\Delta S_1=\int\frac{\mathrm{d}Q}{T}=\frac{Lm_2}{T_0}+c_1m_2\int_{T_0}^{T_x}\frac{\mathrm{d}T}{T}$$

$$=\frac{Lm_2}{T_0}+c_1m_2\ln\frac{T_x}{T_0}=0.2\ \mathrm{cal/K}$$

水达到平衡温度时的熵变：

$$\Delta S_2=\int\frac{\mathrm{d}Q}{T}=c_1m_1\int_{T_2}^{T_x}\frac{\mathrm{d}T}{T}=c_1m_1\ln\frac{T_x}{T_2}=2.2\ \mathrm{cal/K}$$

系统熵的变化为：$\Delta S=\Delta S_1+\Delta S_2=2.4\times10^{-5}\ \mathrm{cal/K}$