

## “红师行动”——2018 军队文职备考计划

### 数学 2+物理专业科目练习题

#### 物理部分 第二篇 热学



课程报名电话：400-848-8001

红师教育军队文职教研中心

2018 年 8 月

## 第一章 热平衡 气体动理论

### 第一节 平衡态、温度、理想气体状态方程

1. 一定量的理想气体可以 ( )
  - A. 保持压强和温度不变同时减小体积
  - B. 保持体积和温度不变同时增大压强
  - C. 保持体积不变同时增大压强降低温度
  - D. 保持温度不变同时增大体积降低压强
2. 湖面下 50 m 深处 (温度为 4 °C), 有一体积为  $1.0 \times 10^{-5} \text{ m}^3$  的空气泡升到湖面上, 若湖面的温度为 17 °C, 气泡升到湖面上的体积约为 ( )
  - A.  $6.1 \times 10^{-5} \text{ m}^3$
  - B.  $5.0 \times 10^{-5} \text{ m}^3$
  - C.  $4.2 \times 10^{-5} \text{ m}^3$
  - D.  $3.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3$

#### 习题解析

1. 【答案】D。解析: 根据理想气体状态方程, 可以判断 D 正确。
2. 【答案】A。解析: 提示: 由  $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$   $P_1 = P_2 + \rho gh$ 。

### 第二节 理想气体的压强、温度的微观意义

1. 在容积不变的封闭容器内理想气体分子的平均速率若提高为原来的 2 倍, 则 ( )
  - A. 温度和压强都为原来的 2 倍
  - B. 温度为原来的 2 倍, 压强为原来的 4 倍
  - C. 温度为原来的 4 倍, 压强为原来的 2 倍
  - D. 温度和压强都为原来的 4 倍
2. 三个容器 A、B、C 中装有同种理想气体, 其分子数密度  $n$  相同, 而方均根速率之比为  $\sqrt{v_A^2} : \sqrt{v_B^2} : \sqrt{v_C^2} = 1:2:4$ , 则其压强之比  $P_A : P_B : P_C$  为 ( )
  - A. 1:2:4
  - B. 1:4:8
  - C. 1:4:16
  - D. 4:2:1
3. 三个容器 A、B、C 装有同种理想气体, 其分子数密度  $n$  相同, 而方均根

速率之比为  $(\overline{v_A^2})^{1/2} : (\overline{v_B^2})^{1/2} : (\overline{v_C^2})^{1/2} = 1:2:3$ , 则其压强之比  $p_A:p_B:p_C$  为 ( )

- A. 1:2:4      B. 4:2:1      C. 1:4:16      D. 1:4:9

4. 若室内生起炉火后, 温度从  $15^\circ\text{C}$  升高到  $27^\circ\text{C}$ , 而压强不变, 则此时室内的分子数密度约减少了 ( )

- A. 1%    B. 4%    C. 9%    D. 21%

5. 容积  $V=1\text{ m}^3$  的容器内混有  $N_1=1.0\times 10^{23}$  个氢气分子和  $N_2=4.0\times 10^{23}$  个氧气分子, 混合气体的温度为  $400\text{ K}$ , 则混合气体的压强为 ( )

- A.  $2.76\times 10^2\text{ Pa}$     B.  $2.76\times 10^3\text{ Pa}$     C.  $2.76\times 10^4\text{ Pa}$     D.  $2.76\times 10^5\text{ Pa}$

6. 两种不同的理想气体, 若它们的最概然速率相等, 则它们的 ( )

- A. 平均速率相等, 方均根速率相等  
 B. 平均速率相等, 方均根速率不相等  
 C. 平均速率不相等, 方均根速率相等  
 D. 平均速率不相等, 方均根速率不相等

7. 有两瓶气体, 一瓶是氦气, 另一瓶是氮气, 它们的压强相等, 温度也相等, 但是体积不同, 则 ( )

- A. 单位体积内的气体的质量相等      B. 单位体积内的原子数相等  
 C. 单位体积内的气体的分子数相等      D. 单位体积内的气体的内能相等

8. 目前已可获得  $1.013\times 10^{-10}\text{ Pa}$  的高真空, 在此压强下温度为  $27^\circ\text{C}$  的  $1\text{ cm}^3$  体积内的气体分子数为 ( )

- A.  $2.45\times 10^6$     B.  $2.45\times 10^5$     C.  $2.45\times 10^4$     D.  $2.45\times 10^3$

9. 在体积为  $2.0\times 10^{-3}\text{ m}^3$  的容器中, 有内能为  $6.75\times 10^2\text{ J}$  的刚性双原子分子理想气体。则气体的压强为 ( )

- A.  $1.35\times 10^5\text{ Pa}$     B.  $1.35\times 10^4\text{ Pa}$     C.  $1.35\times 10^6\text{ Pa}$     D.  $1.35\times 10^3\text{ Pa}$

10. 在体积为  $2.0\times 10^{-3}\text{ m}^3$  的容器中, 有内能为  $6.75\times 10^2\text{ J}$  的刚性双原子分子理想气体, 设分子总数为  $5.4\times 10^{22}$  个, 则气体的温度为 ( )

- A.  $362\text{ K}$       B.  $350\text{ K}$       C.  $320\text{ K}$       D.  $300\text{ K}$

### 习题解析

1. 【答案】D。解析: 由分子的平均速率  $\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$ , 及理想气体公式  $p = \nu \frac{RT}{V}$ ,

若分子的平均速率若提高为原来的 2 倍，则温度和压强都为原来的 4 倍。

2. 【答案】C。解析：由  $\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ ，知  $\sqrt{v_A^2} : \sqrt{v_B^2} : \sqrt{v_C^2} = \sqrt{T_A} : \sqrt{T_B} : \sqrt{T_C}$ ，

又由公式  $P = nkT$ ，有  $P_A : P_B : P_C = T_A : T_B : T_C$ ，所以  $P_A : P_B : P_C = 1 : 4 : 16$ 。

3. 【答案】D。解析：方均根速率与  $\sqrt{T}$  成正比，因此三个容器的温度之比为  $T_A : T_B : T_C = 1 : 4 : 9$ ，而压强  $p = nkT$ ，故  $p_A : p_B : p_C = 1 : 4 : 9$ 。

4. 【答案】B。解析：由  $p = nkT$ ， $\frac{n_1}{n_2} = \frac{T_2}{T_1} = 1.04$ ， $\Delta n = \frac{n_2 - n_1}{n_1} \approx -4\%$ 。

5. 【答案】B。解析： $p = \sum n_i kT = 1.38 \times 10^{-23} \times 400 \times 5 \times 10^{23} = 2.76 \times 10^3 \text{ Pa}$ 。

6. 【答案】A。解析： $v_p = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$ 。

7. 【答案】C。解析： $p = nKT$  且， $p_N = p_{He}$ ， $T_N = T_{He}$ ， $n_N = n_{He}$ 。

8. 【答案】C。解析： $N = nV = \frac{p}{kT} V = 2.45 \times 10^4 / \text{cm}^3$ 。

9. 【答案】A。解析提示：由  $E = N \frac{i}{2} kT$  和压强公式  $p = nkT = \frac{N}{V} kT$  可得：

$$p = \frac{2E}{5V} = 1.35 \times 10^5 \text{ Pa}。$$

10. 【答案】A。解析：由  $E = N \frac{i}{2} kT$  得： $T = \frac{2E}{5kN} = 362 \text{ K}$ 。

### 第三节 能量均分定理、理想气体的内能

1. 处于平衡状态的一瓶氮气和一瓶氦气的分子数密度相同，分子的平均平动动能也相同，则它们（ ）

- A. 温度，压强均不相同      B. 温度相同，但氦气的压强大于氮气的压强  
C. 温度，压强都相同      D. 温度相同，但氦气的压强小于氮气的压强

2. 容器内储有氧气，其压强为  $p = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，温度为  $t = 27^\circ \text{C}$ 。则单位体积内的分子数为（ ）

- A.  $2.44 \times 10^{24} \text{ m}^{-3}$       B.  $2.44 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}$       C.  $1.22 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}$       D.  $1.38 \times 10^{23} \text{ m}^{-3}$

3. 容器内储有氧气，其压强为  $p = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，温度为  $t = 27^\circ \text{C}$ 。则分子的平均平动动能为（ ）

- A.  $6.21 \times 10^{-20} \text{ J}$       B.  $6.21 \times 10^{-19} \text{ J}$       C.  $6.21 \times 10^{-21} \text{ J}$       D.  $6.21 \times 10^{-21} \text{ J}$

4. 2 L 容器中有某种双原子刚性气体, 在常温下, 其压强为  $1.5 \times 10^5 \text{ Pa}$ , 求该气体的内能 ( )

- A. 250 J                      B. 500 J                      C. 750 J                      D. 1000 J

5. 理想气体处于平衡状态, 设温度为  $T$ , 气体分子的自由度为  $i$ , 则下列表述正确的是 ( )

- A. 每个气体分子所具有的动能为  $\frac{i}{2} kT$   
 B. 每个气体分子所具有的动能为  $\frac{i}{2} RT$   
 C. 每个气体分子所具有的平均动能为  $\frac{3}{2} kT$   
 D. 1mol 气体分子所具有的平均能量为  $\frac{i}{2} RT$

### 习题解析

1. 【答案】C。解析: 分子的平均平动动能  $\bar{\varepsilon} = 3kT/2$ , 仅与气体的温度有关, 所以两瓶气体温度相同; 又由公式  $P = nkT$ ,  $n$  为气体的分子数密度, 知两瓶气体的压强也相同。

2. 【答案】B。解析提示:  $p = nkT$ 。

3. 【答案】C。解析: (2)  $\bar{\varepsilon} = \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300 = 6.21 \times 10^{-21} \text{ J}$ 。

4. 【答案】C。解析: 根据内能公式与物态方程, 两方程结合可将内能公式表述为压强与体积的函数。由  $pV = \frac{m}{M} RT$  可得  $E = \frac{m}{M} \frac{i}{2} RT = \frac{5}{2} pV = 750 \text{ J}$ 。

5. 【答案】D。解析: 根据能量均分定理, 每个气体分子所具有的平均能量为  $\frac{i}{2} kT$ , 1mol 气体分子所具有的平均能量为  $\frac{i}{2} RT$ 。

### 第四节 麦克斯韦速率分布律

1. 设容器内盛有质量为  $M_1$  和  $M_2$  的两种不同的单原子理想气体, 此混合气体处在平衡态时内能相等, 均为  $E$ , 若容器体积为  $V$ 。则两种气体分子平均速率  $\bar{v}_1$  与  $\bar{v}_2$  之比 ( )

- A.  $\sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$                       B.  $\sqrt{\frac{M_1}{M_2}}$                       C.  $\frac{M_2}{M_1}$                       D.  $\frac{M_1}{M_2}$

2. 在容积为  $2.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  的容器中, 有内能为  $6.75 \times 10^2 \text{ J}$  的刚性双原子分子理想气体, 则求气体的压强 ( )

- A.  $1.35 \times 10^6 \text{ pa}$     B.  $1.35 \times 10^4 \text{ pa}$     C.  $1.35 \times 10^3 \text{ pa}$     D.  $1.35 \times 10^5 \text{ pa}$

3. 已知  $f(v)$  是速率分布函数，以下各式的物理意义不正确的是 ( )

A.  $f(v)dv$  表示  $v-v+dv$  范围内的粒子数占总粒子数的百分比

B.  $Nf(v)dv$  表示  $v-v+dv$  范围内的粒子数

C.  $\int_0^{v_p} f(v)dv$  速率小于  $v_p$  的粒子数占总粒子数的百分比

D.  $\int_0^{v_p} f(v)dv$  速率小于  $v_p$  的粒子数

4. 在容积为  $3.0 \times 10^{-2} \text{ m}^3$  的容器中装有  $2.0 \times 10^{-2} \text{ kg}$  气体，容器内气体的压强为  $5.06 \times 10^4 \text{ Pa}$ ，则气体分子的最概然速率约为 ( )

A. 3.9 m/s      B. 3900 m/s      C. 39 m/s      D. 390 m/s

5. 容器内某理想气体的温度  $T = 273 \text{ K}$ 、压强  $p = 1.00 \times 10^{-3} \text{ atm}$ ，密度为  $\rho = 1.25 \text{ g/m}^3$ ，则气体分子运动的方均根速率为 ( )

A. 493 m/s      B. 4930 m/s      C. 49.3 m/s      D. 4.93 m/s

6. 质量  $m = 6.2 \times 10^{-14} \text{ g}$  的微粒悬浮在  $300 \text{ K}$  的液体中，观察到悬浮粒子的方均根速率为  $1.4 \text{ cm/s}$ ，假设粒子服从麦克斯韦速率分布函数，则阿伏伽德罗常数为 ( )

A.  $6.15 \times 10^{20} / \text{mol}$       B.  $6.15 \times 10^{21} / \text{mol}$

C.  $6.15 \times 10^{22} / \text{mol}$       D.  $6.15 \times 10^{23} / \text{mol}$

7. 有  $N$  个粒子，其速率分布函数为  $f(v) = \begin{cases} c & (v_0 \geq v > 0) \\ 0 & (v > v_0) \end{cases}$ ，则粒子平均速率为 ( )

A.  $\frac{3v_0}{2}$       B.  $\frac{5v_0}{2}$       C.  $\frac{v_0}{2}$       D.  $v_0$

8. 关于麦克斯韦速率分布函数的表述错误的是 ( )

A.  $\int_0^{v_p} f(v)dv$  速率小于  $v_p$  的粒子数占总粒子数的百分比

B.  $\int_0^v f(v)dv$ ：表示分布在  $v_1 \sim v_2$  区间内的分子数占总分子数的百分比

C.  $\int_0^\infty f(v)dv$ ：表示分布在  $0 \sim \infty$  的速率区间内所有分子

D.  $\int_{v_1}^{v_2} Nf(v)dv$ ：表示分布在  $v_1 \sim v_2$  区间内的分子数

9. 在一定温度下分子速率出现在  $v_p$ 、 $\bar{v}$  和  $\sqrt{v^2}$  附近  $dv$  区间内的概率 ( )



- A. 出现在  $\sqrt{v^2}$  附近的概率最大, 出现在  $v_p$  附近的概率最小  
 B. 出现在  $\bar{v}$  附近的概率最大, 出现在  $\sqrt{v^2}$  附近的概率最小  
 C. 出现在  $v_p$  附近的概率最大, 出现在  $\bar{v}$  附近的概率最小  
 D. 出现在  $v_p$  附近的概率最大, 出现在  $\sqrt{v^2}$  附近的概率最小

10. 若  $N$  为分子总数,  $T$  为气体温度, 为  $m$  气体分子的重量, 那么当速度  $v$  确定后, 决定麦克斯韦速率分布函数  $f(v)$  的数值的因素是 ( )

- A.  $N$       B.  $N, m$       C.  $N, T$       D.  $m, T$

## 习题解析

1. 【答案】A. 解析:  $E = \frac{3}{2} \frac{M_1}{\mu_1} RT = \frac{3}{2} \frac{M_2}{\mu_2} RT \Rightarrow \frac{M_1}{M_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2}, \bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}}$

解得:  $\frac{\bar{v}_1}{\bar{v}_2} = \sqrt{\frac{\mu_2}{\mu_1}} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}.$

2. 【答案】D. 解析:  $E = \frac{i}{2} \nu RT = \frac{i}{2} pV \Rightarrow p = \frac{2E}{iV} = 1.35 \times 10^5 \text{ pa}.$

3. 【答案】D. 解析: 根据  $f(v)$  的物理意义,  $\int_0^{v_p} f(v) dv$  速率小于  $v_p$  的粒子数的百分比, 故 D 选项错误。

4. 【答案】D. 解析: 根据  $pV = \frac{M}{\mu} RT$  和  $v_p = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{2pV}{M}} = 389.6 \text{ m/s}.$

5. 【答案】A. 解析: 由  $n = \frac{P}{kT}$  和  $m = \frac{\rho}{n} = \frac{\rho kT}{P}$  代入方均根速率公式:

$$\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3kT}{\rho kT} \cdot P} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}} = 493 \text{ m/s}.$$

6. 【答案】D. 解析:  $\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{mN_A}} N_A = \frac{3RT}{mv^2} = 6.15 \times 10^{23} / \text{mol}.$

7. 【答案】C. 解析:  $\int_0^{v_0} c dv = 1 \Rightarrow c = \frac{1}{v_0}, \quad \bar{v} = \int_0^{v_0} v f(v) dv = \int_0^{v_0} c v dv = \frac{v_0}{2}.$

8. 【答案】A. 解析:  $\int_0^{\infty} f(v) dv$ : 表示分布在  $0 \sim \infty$  的速率区间内所有分子, 其与总分子数的比值是 1。

9. 【答案】D. 解析:  $v_p$  是最概然速率,  $\sqrt{v^2}$  值最大, 根据麦克斯韦速率分

布可知，分子速率出现在  $v_p$  值的概率最大，出现在  $\sqrt{v^2}$  值的概率最小。

10. 【答案】D。解析：根据麦克斯韦速率分布函数  $f(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi KT}\right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2KT}}$ ，

当速度  $v$  确定后，决定麦克斯韦速率分布函数  $f(v)$  的数值的因素是  $m$  和  $T$ 。

## 第五节 玻尔兹曼速率分布律

1. 空气温度为  $0^\circ\text{C}$ ，空气的摩尔质量为  $0.0289 \text{ kg/mol}$ 。大气压强减至地面的 75% 的高度是 ( )

- A. 1000 m      B. 1974 m      C. 863 m      D. 2304 m

2. 在标准状态下，氦气 (He) 的内摩擦系数  $\eta = 1.89 \times 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ，在此状态下氦原子的平均自由程为 ( )

- A.  $2.62 \times 10^{-7} \text{ m}$     B.  $2.62 \times 10^{-6} \text{ m}$     C.  $2.62 \times 10^{-5} \text{ m}$     D.  $2.62 \times 10^{-4} \text{ m}$

3. 玻尔兹曼分布律表明：在某一温度的平衡态，有

(1) 分布在某一区间 (坐标区间和速度区间) 的分子数，与该区间粒子的能量成正比

(2) 在同样大小的各区间 (坐标区间和速度区间) 中，能量较大的分子数较少；能量较小的分子数较多

(3) 大小相等的各区间 (坐标区间和速度区间) 中比较，分子总是处于低能态的几率大些

(4) 分布在某一坐标区间内、具有各种速度的分子总数只与坐标区间的间隔成正比，与粒子能量无关

以上四种说法中，正确的是 ( )

- A. 只有 (1)、(2)      B. 只有 (2)、(3)  
 C. 有 (1)、(2)、(3)    D. 全部正确

4. 设地球大气是等温的，温度为  $17^\circ\text{C}$ ，海平面上的气压为  $p = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，已知某地的海拔高度为  $h = 2000 \text{ m}$ ，空气的摩尔质量  $29 \times 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ ，则该地的气压值为 ( )



- A.  $7.95 \times 10^2 \text{ Pa}$     B.  $7.95 \times 10^3 \text{ Pa}$     C.  $7.95 \times 10^4 \text{ Pa}$     D.  $1.53 \times 10^4 \text{ Pa}$

5. 飞机在地面时,机舱中的压力计指示为  $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ ,到高空后压强降为  $8.11 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。设大气的温度均为  $27^\circ\text{C}$ ,空气的摩尔质量为  $2.89 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

问此时飞机距地面的高度为 ( )

- A.  $1.93 \times 10^2 \text{ m}$     B.  $1.93 \times 10^3 \text{ m}$     C.  $1.93 \times 10^4 \text{ m}$     D.  $1.93 \times 10^5 \text{ m}$

## 习题解析

1. 【答案】D。解析: 由  $p = p_0 \exp(-\frac{\mu g z}{RT}) \Rightarrow z = -\frac{RT}{\mu g} \ln \frac{p_0}{p}$ , 又因为:  $\frac{p_0}{p} = \frac{3}{4}$ ,

解得:  $z = 2304 \text{ m}$ 。

2. 【答案】A。解析: 由  $\eta = \frac{1}{3} n m \bar{v} \bar{\lambda} = \frac{1}{3} \rho \bar{v} \bar{\lambda} \Rightarrow \bar{\lambda} = \frac{3\eta}{\rho \bar{v}}$  代入  $\rho = \frac{\mu p}{RT} = 0.18 \text{ kg/m}^3$

和  $\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} = 1202 \text{ m/s}$  得  $\bar{\lambda} = 2.62 \times 10^{-7} \text{ m}$ 。

3. 【答案】B。解析:  $p = p_0 \exp(-\frac{\mu g z}{RT})$ 。

4. 【答案】C。解析:  $p = p_0 e^{-\frac{m_0 g z}{kT}} = p_0 e^{-\frac{M g z}{RT}} = 7.95 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。

5. 【答案】B。解析: 由  $p = p_0 \exp(-\frac{mgh}{kT})$ , 得:  $h = \frac{kT}{mg} \ln(p_0/p) = 1.93 \times 10^3 \text{ m}$ 。

## 第六节 气体分子的平均碰撞频率和平均自由程

1. 在一体积不变的容器中,储有一定量的理想气体,温度为  $T_0$  时,气体分子的平均速率为  $\bar{v}_0$ , 分子平均碰撞次数为  $\bar{Z}_0$ , 平均自由程为  $\bar{\lambda}_0$ , 当气体温度升高为  $4T_0$  时,气体分子的平均速率  $\bar{v}$ 、平均碰撞频率  $\bar{Z}$  和平均自由程  $\bar{\lambda}$  分别为 ( )

A.  $\bar{v} = 4\bar{v}_0, \bar{Z} = 4\bar{Z}_0, \bar{\lambda} = 4\bar{\lambda}_0$     B.  $\bar{v} = 2\bar{v}_0, \bar{Z} = 2\bar{Z}_0, \bar{\lambda} = \bar{\lambda}_0$

C.  $\bar{v} = 2\bar{v}_0, \bar{Z} = 2\bar{Z}_0, \bar{\lambda} = 4\bar{\lambda}_0$     D.  $\bar{v} = 4\bar{v}_0, \bar{Z} = 2\bar{Z}_0, \bar{\lambda} = \bar{\lambda}_0$

2. 在一定的压强下,温度为  $20^\circ\text{C}$  时,氩气和氮气分子的平均自由程分别为  $9.9 \times 10^{-8} \text{ m}$  和  $27.5 \times 10^{-8} \text{ m}$ 。则氩气和氮气分子的有效直径之比 ( )

- A. 1.67    B. 2    C. 0.86    D. 2.98

3. 一定量的理想气体, 在温度不变的情况下, 当压强降低时, 分子的平均碰撞次数  $\bar{Z}$  和平均自由程  $\bar{\lambda}$  的变化情况分别是 ( )

- A. 减小; 不变    B. 增大; 不变    C. 增大; 减小    D. 减小; 增大

4. 一定量的理想气体, 在容积不变的条件下, 当温度升高时, 分子的平均碰撞次数  $\bar{Z}$  和平均自由程  $\bar{\lambda}$  的变化情况分别是 ( )

- A. 减小; 不变    B. 增大; 不变    C. 增大; 减小    D. 减小; 增大

5. 设电子管内温度为 300 K, 如果要管内分子的平均自由程大于 10 cm 时, 分子有效直径约为  $3.0 \times 10^{-8}$  cm, 则相应压强为 ( )

- A. 0.10 Pa    B. 1.00 Pa    C. 10.0 Pa    D. 0.01 Pa

6. 一定量的理想气体, 先经过等容过程使其热力学温度升高一倍, 再经等温过程使其体积膨胀为原来的两倍, 分子的平均自由程原平均自由程之比为 ( )

- A. 2    B. 1/2    C. 1    D. 3

7. 压强恒定时, 气体分子平均碰撞频率  $\bar{Z}$  与热力学温度  $T$  的关系为 ( )

- A.  $\bar{Z}$  与  $T$  无关    B.  $\bar{Z}$  与  $\sqrt{T}$  成正比  
C.  $\bar{Z}$  与  $\sqrt{T}$  成反比    D.  $\bar{Z}$  与  $T$  无关

8. 1mol 氧气从初态出发, 经过等容升压过程, 压强增大为原来的 2 倍, 然后又经过等温膨胀过程, 体积增大为原来的 2 倍, 求末态与初态之间气体分子方均根速率之比 ( )

- A.  $\frac{1}{\sqrt{2}}$     B.  $\sqrt{2}$     C.  $\sqrt{3}$     D.  $\frac{1}{\sqrt{3}}$

9. 1mol 氧气从初态出发, 经过等容升压过程, 压强增大为原来的 2 倍, 然后又经过等温膨胀过程, 体积增大为原来的 2 倍, 求末态与初态之间(分子平均自由程之比 ( )

- A.  $\frac{1}{\sqrt{2}}$     B.  $\sqrt{2}$     C. 1    D.  $\frac{1}{\sqrt{3}}$

10. 气缸内盛有一定量的氢气(可视作理想气体), 当温度不变而压强增大一倍时, 氢气分子的平均碰撞频率  $\bar{Z}$  和平均自由程  $\bar{\lambda}$  的变化情况为 ( )

- A.  $\bar{Z}$  和  $\bar{\lambda}$  都增大一倍    B.  $\bar{Z}$  和  $\bar{\lambda}$  都减为原来的一半  
C.  $\bar{Z}$  增大一倍而  $\bar{\lambda}$  减为原来的一半    D.  $\bar{Z}$  减为原来的一半而  $\bar{\lambda}$  增大一倍

## 习题解析

1. 【答案】B。解析：理想气体分子的平均速率  $\bar{v} = \sqrt{8RT/\pi M}$ ，温度由  $T_0$  升至  $4T_0$ ，则平均速率变为  $2\bar{v}_0$ ；平均碰撞频率  $\bar{Z} = \sqrt{2}\pi d^2 n \bar{v}$ ，由于容器体积不变，即分子数密度  $n$  不变，则平均碰撞频率变为  $2\bar{Z}_0$ ；而平均自由程  $\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}$ ， $n$

不变，则  $\bar{\lambda}$  也不变。因此正确答案为B。

2. 【答案】A。解析：由  $\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n} = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 p}$ ，平均自由程与分子有效直径成反比。

3. 【答案】D。解析：分子的平均碰撞次数  $\bar{Z} = \sqrt{2}\pi d^2 n \bar{v}$ ，压强  $p = nkT$ ，理想气体压强降低， $n$  减小，所以分子的平均碰撞次数  $\bar{Z}$  减小，平均自由程  $\bar{\lambda}$  增大。

4. 【答案】B。解析：分子的平均碰撞次数  $\bar{Z} = \sqrt{2}\pi d^2 n \bar{v}$ ，容积不变， $n$  不变， $\bar{v}$  随升温而增大，所以分子的平均碰撞次数  $\bar{Z}$  增大，平均自由程  $\bar{\lambda}$  只与  $n$  有关，故不变。

5. 【答案】A。解析：  $\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n} = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 p}$ ，  $p = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 \bar{\lambda}_0} = 0.10 \text{ Pa}$ 。

6. 【答案】A。解析：等容过程：  $P_1 T_1 = P_2 T_2$ ，且  $T_2 = 2T_1$ ，则有  $P_2 = 2P_1$ ；

等温过程：  $P_2 V_2 = P_3 V_3$ ，  $V_3 = 2V_2$  有  $P_2 = 2P_3$ ，故  $P_3 = P_1$ ；  $\bar{\lambda}_1 = \frac{KT_1}{\sqrt{2}d^2 p_1}$ ，

$\bar{\lambda}_3 = \frac{KT_3}{\sqrt{2}d^2 p_3}$ ，  $\frac{\bar{\lambda}_3}{\bar{\lambda}_1} = \frac{T_3 p_1}{T_1 p_3} = \frac{T_2}{T_1} = 2$ 。

7. 【答案】C。解析：由  $\bar{Z} = \frac{\bar{v}}{\bar{\lambda}}$  和  $\bar{v} = \sqrt{\frac{8KT}{\pi m}}$  知：  $\bar{Z} = \frac{\sqrt{T}}{\bar{\lambda}} \sqrt{\frac{8K}{\pi m}}$ ；  $\bar{\lambda} = \frac{KT}{\sqrt{2}\pi d^2}$ ，

$\bar{Z} = \frac{4\sqrt{K\pi}d^2}{\sqrt{T}m}$ ，因此，  $\bar{Z}$  与  $\sqrt{T}$  成反比为正确答案。

8. 【答案】A。解析：由气体状态方程  $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$  及  $p_2 V_2 = p_3 V_3$  方均根速率公

式  $\sqrt{\bar{v}^2} = 1.73 \sqrt{\frac{RT}{M_{\text{mol}}}}$  可得：  $\frac{\sqrt{\bar{v}^2}_{\text{初}}}{\sqrt{\bar{v}^2}_{\text{末}}} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} = \sqrt{\frac{p_1}{p_2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ 。

9. 【答案】C。解析：对于理想气体由压强公式： $p = nkT$ ，即  $n = \frac{p}{kT}$  代

入： $\bar{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 p}$ ，可得： $\frac{\bar{\lambda}_{初}}{\bar{\lambda}_{末}} = \frac{T_1 p_2}{p_1 T_2} = 1$ 。

10. 【答案】C。解析：温度不变，分子的平均速率不变，而压强增大一倍时，根据公式  $p = nkT$ ，气体的分子数密度也增大一倍。而  $\bar{Z}$  与  $n$  成正比， $\bar{\lambda}$  与  $n$  成反比，故  $\bar{Z}$  增大一倍而  $\bar{\lambda}$  减为原来的一半。

## 本章练习题

1. 设容器内盛有质量为  $M_1$  和  $M_2$  的两种不同的单原子理想气体，此混合气体处在平衡态时内能相等，均为  $E$ ，若容器体积为  $V$ 。则混合气体的压强为（ ）

- A.  $\frac{3E}{4V}$       B.  $\frac{2E}{3V}$       C.  $\frac{4E}{3V}$       D.  $\frac{3V}{4E}$

2. 一定量的理想气体，在保持温度  $T$  不变的情况下，使压强由  $p_1$  增大到  $p_2$ ，则单位体积内分子数的增量为（ ）

- A.  $\frac{P_2 + P_1}{kT}$       B.  $\frac{3(P_2 - P_1)}{2kT}$       C.  $\frac{P_2 - P_1}{kT}$       D.  $\frac{3(P_2 + P_1)}{2kT}$

3. 设某种气体的分子速率分布函数为  $f(v)$ ，则速率在  $v_1 \rightarrow v_2$  区间内的分子平均速率为（ ）

- A.  $\int_{v_1}^{v_2} v f(v) dv$       B.  $v \int_{v_1}^{v_2} v f(v) dv$       C.  $\frac{\int_{v_1}^{v_2} v f(v) dv}{\int_{v_1}^{v_2} f(v) dv}$       D.  $\frac{\int_{v_1}^{v_2} v f(v) dv}{\int_0^{\infty} f(v) dv}$

4. 一容器内储有氧气，其压强为  $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，温度为  $27^\circ \text{C}$ ，则分子间的平均距离为（ ）

- A.  $3.45 \times 10^{-9} \text{ m}$       B.  $3.45 \times 10^{89} \text{ m}$       C.  $3.45 \times 10^{-7} \text{ m}$       D.  $3.45 \times 10^{-6} \text{ m}$

5.  $2.0 \times 10^{-2} \text{ kg}$  氢气装在  $4.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  的容器内，当容器内的压强为  $3.90 \times 10^5 \text{ Pa}$  时，氢气分子的平均平动动能为（ ）

- A.  $3.89 \times 10^{-19} \text{ J}$       B.  $3.89 \times 10^{-20} \text{ J}$       C.  $3.89 \times 10^{-21} \text{ J}$       D.  $3.89 \times 10^{-22} \text{ J}$

6. 某些恒星的温度可达到约  $1.0 \times 10^8 \text{ K}$ ，这是发生聚变反应(也称)所需的温度。通常在此温度下恒星可视为由质子组成。质子的方均根速率为（ ）

- A.  $1.58 \times 10^4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$       B.  $1.58 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

C.  $1.58 \times 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

D.  $1.58 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

7. 两种不同的理想气体，若它们的最概然速率相等，则它们的( )

A. 平均速率相等，方均根速率相等

B. 平均速率相等，方均根速率不相等

C. 平均速率不相等，方均根速率相等

D. 平均速率不相等，方均根速率不相等

8. 一容积为的电子管，当温度为 300 K 时，用真空泵把管内空气抽成压强为  $5 \times 10^{-6} \text{ mmHg}$  的真空，问此时管内的空气分子为( )

A.  $1.61 \times 10^{12}$

B.  $1.61 \times 10^{11}$

C.  $1.61 \times 10^{13}$

D.  $1.61 \times 10^{15}$

9. 在一定速率  $v$  附近麦克斯韦速率分布函数  $f(v)$  的物理意义是：一定量的气体在给定温度下处于平衡态时的( )

A. 速率为  $v$  的分子数

B. 分子数随速率  $v$  的变化

C. 速率为  $v$  的分子数占总分子数的百分比

D. 速率在  $v$  附近单位速率区间内的分子数占总分子数的百分比

10. 在容积为  $2.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  的容器中，有内能为  $6.75 \times 10^2 \text{ J}$  的刚性双原子分子理想气体，则气体的压强( )

A.  $1.35 \times 10^3 \text{ Pa}$

B.  $1.35 \times 10^5 \text{ Pa}$

C.  $1.35 \times 10^4 \text{ Pa}$

D.  $1.35 \times 10^6 \text{ Pa}$

11. 已知质点离开地球引力作用所需的逃逸速率为  $v = \sqrt{2gr}$ ，其中  $r$  为地球半径。若使某气体分子的平均速率分别与逃逸速率相等，则其温度应为( )

A.  $\frac{\pi Mrg}{R}$

B.  $\frac{\pi Mrg}{2R}$

C.  $\frac{\pi Mrg}{4R}$

D.  $\frac{2\pi Mrg}{R}$

12. 已知氢气和氧气的温度相同，摩尔数也相同，则( )

A. 氧分子的质量比氢分子大，所以氧气的压强一定大于氢气的压强

B. 氧分子的质量比氢分子大，所以氧气的数密度一定大于氢气的数密度

C. 氧分子的质量比氢分子大，所以氢分子的速率一定大于氧分子的速率

D. 氧分子的质量比氢分子大，所以氢分子的方均根速率一定大于氧分子的方均根速率

13. 关于麦克斯韦速率分布函数的表述错误的是( )

A.  $f(v)$ ：表示分布在速率  $v$  附近单位速率区间内的分子数



B.  $f(v)dv$ : 表示分布在速率  $v$  附近, 速率区间  $dv$  内的分子数占总分子数的百分比

C.  $nf(v)dv$ : 表示分布在速率  $v$  附近、速率区间  $dv$  内的分子数密度

D.  $Nf(v)dv$ : 表示分布在速率  $v$  附近、速率区间  $dv$  内的分子数

14. 有两个容器, 一个盛氢气, 另一个盛氧气, 如果两种气体分子的方均根速率相等, 那么由此可以得出下列结论, 正确的是 ( )

A. 氧气的温度比氢气的高      B. 氢气的温度比氧气的高

C. 两种气体的温度相同      D. 两种气体的压强相同

15. 设某理想气体体积为  $V$ , 压强为  $P$ , 温度为  $T$ , 每个分子质量为  $\mu$ , 玻尔兹曼常数为  $k$ , 则该气体的分子总数可表示为 ( )

A.  $\frac{PV}{k\mu}$       B.  $\frac{PT}{\mu V}$       C.  $\frac{PV}{kT}$       D.  $\frac{PT}{kV}$

16. 以下说法中不正确的是 ( )

A.  $\frac{1}{2}kT$  是气体分子在温度为  $T$  时每一个自由度上的平均能量

B.  $\frac{3}{2}kT$  是一个气体分子在温度为  $T$  时的平均动能

C.  $\frac{i}{2}kT$  表示自由度为  $i$  的气体的一个分子的平均能量

D.  $\frac{i}{2}RT$  表示 1 mol 理想气体在温度为  $T$  时的内能

17. 下列有关速率分布函数的理解不正确的是 ( )

A.  $Nf(v)dv$  表示速率在  $v \sim v+dv$  区间内的分子数占总分子数的百分比

B.  $\int_{v_1}^{v_2} f(v)dv$  表示速率在  $v_1 \sim v_2$  区间内的分子数占总分子数的百分比

C.  $\int_{v_1}^{v_2} Nf(v)dv$  表示速率在  $v_1 \sim v_2$  区间内的分子数

D.  $\int_0^\infty v f(v)dv$  表示在整个速率区间内分子速率的算术平均值

18. 已知  $n$  为单位体积分子数,  $f(v)$  为麦克斯韦速率分布函数, 则  $n f(v)dv$  表示 ( )

A. 速率在  $v$  附近  $dv$  区间内的分子数

B. 单位体积内速率在  $v \sim v+dv$  区间内的分子数

C. 速率在  $v$  附近  $dv$  区间内的分子数占总分子数的百分比

D. 单位时间内碰到单位器壁上, 速率在  $v \sim v + dv$  区间内的分子数

19. 一定量的理想气体贮于某一容器内, 温度为  $T$ , 气体分子的质量为  $m_0$ 。

根据理想气体分子模型和统计假设, 分子速度在  $x$  方向分量的平均值为 ( )

- A.  $\sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$       B.  $\frac{1}{3}\sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$       C.  $\sqrt{\frac{8kT}{3\pi m}}$       D. 0

20. 气缸中盛有一定量的氢气, 当温度不变而压强增大一倍时, 氢气分子的平均碰撞频率  $\bar{Z}$  和平均自由程  $\bar{\lambda}$  的变化情况是 ( )

- A.  $\bar{Z}$  和  $\bar{\lambda}$  都增加一倍      B.  $\bar{Z}$  和  $\bar{\lambda}$  都减半  
 C.  $\bar{Z}$  增加一倍而  $\bar{\lambda}$  减半      D.  $\bar{Z}$  减半而  $\bar{\lambda}$  增加一倍

### 习题解析

1. 【答案】C。解析:  $p = \sum n_i kT = \frac{N_1}{V} kT + \frac{N_2}{V} kT = 2 \frac{N_1}{V} kT = \frac{4E}{3V}$ 。

2. 【答案】C。解析:  $P = nkT \rightarrow n_1 = \frac{P_1}{kT}$      $n_2 = \frac{P_2}{kT}$      $\Delta n = n_2 - n_1 = \frac{P_2 - P_1}{kT}$ 。

3. 【答案】C。解析: 根据  $f(v)$  的物理意义判断。

4. 【答案】A。解析: 根据压强公式  $n = \frac{P}{kT} = 2.44 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}$  代入得:

$$\bar{d} = \sqrt[3]{1/n} = 3.45 \times 10^{-9} \text{ m}。$$

5. 【答案】D。解析: 由分析知氢气的温度  $T = MpV/mR$ , 则氢气分子的平均平动动能为  $\bar{\epsilon} = 3/2 kT = 3pVMk/2mR = 3.89 \times 10^{-22} \text{ J}$ 。

6. 【答案】B。解析: 质子的方均根速率为:  $\sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = 1.58 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

7. 【答案】A。解析: 三个统计速率分别为  $v_p = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$ ,  $\sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$ ,

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}。$$

8. 【答案】A。解析: 由理想气体状态方程  $P = \frac{N}{V} kT$  得:  $N = \frac{PV}{kT} = 1.61 \times 10^{12}$ 。

9. 【答案】D。解析: 麦克斯韦速率分布函数  $f(v) = dN/(Ndv)$ , 表示速率在  $v$  附近的  $dv$  速率区间内的分子数占总分子数的百分比。

10. 【答案】B。解析：由  $E = \nu \frac{i}{2} RT$  和  $pV = \nu RT$  可得  $p = \frac{2E}{iV} = 1.35 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

11. 【答案】C。解析：逃逸速率  $v = \sqrt{2gr}$ ， $\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$  联立可得  $T = \frac{\pi Mrg}{4R}$ 。

12. 【答案】D。解析： $M_{O_2} > M_{H_2}$ ， $P = nkT$ ，所以  $P_{O_2} = P_{H_2}$ ，某一分子的

速率可能有任一方向和任一大小，只能比较统计值；由公式  $\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$  知

$$\sqrt{v_{O_2}^2} < \sqrt{v_{H_2}^2}。$$

13. 【答案】A。解析： $f(v)$ ：表示分布在速率  $v$  附近单位速率区间内的分子数占总分子数的百分比。

14. 【答案】A。解析：方均根速率的公式  $\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ ，由于  $M_{O_2} > M_{H_2}$ ，所以  $T_{O_2} > T_{H_2}$ 。

15. 【答案】C。解析： $P = nkT = \frac{NkT}{V}$ 。

16. 【答案】A。解析： $\frac{3}{2}kT$  是一个气体分子在温度为  $T$  时的平均平动动能。

17. 【答案】A。解析：由  $f(v)dv = \frac{dN}{N}$  知： $Nf(v)dv = dN$  表示速率在  $v \sim v + dv$  区间内的分子数。

18. 【答案】B。解析：根据麦克斯韦速率分布函数  $f(v) = dN / (Ndv)$ ，而  $n = N / V$ ，有  $n f(v)dv = dN / V$ ，表示单位体积内速率在  $v$  附近  $dv$  速率区间内的分子数。

19. 【答案】D。解析：在热平衡时，分子在  $x$  正反两个方向上的运动是等概率的，故分子速度在  $x$  方向分量的平均值为零。

20. 【答案】C。解析：温度不变， $p_2 = 2p_1$ ， $\bar{Z} = \frac{\bar{v}}{\lambda}$ ， $\bar{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2\pi} d^2 p}$  则有：

$$\bar{\lambda}_2 = \frac{\bar{\lambda}_1}{2}，\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}，\bar{Z}_2 = 2\bar{Z}_1。$$

## 第二章 热力学第一定律

### 第一节 准静态过程、功、热量和内能

1. 关于物体内能，下列说法正确的是（ ）
  - A. 相同质量的两种物体，升高相同的温度，内能增量一定相同
  - B. 一定质量  $0^{\circ}\text{C}$  的水结成  $0^{\circ}\text{C}$  的冰，内能可能不变
  - C. 一定量气体体积增大，但既不吸热也不放热，内能一定减少
  - D. 一定量气体吸收热量而保持体积不变，内能一定减少
2. 关于功和热的说法正确的是（ ）
  - A. 不是状态函数，无确定的变化就无确定的数值
  - B. 不是状态函数，对应某一状态有一确定值
  - C. 都是状态函数，变化量与途径无关
  - D. 都是状态函数，始终态确定其值也确定
3. 在  $20^{\circ}\text{C}$  时，单原子理想气体的内能为（ ）
  - A. 部分势能和部分动能
  - B. 全部势能
  - C. 全部转动动能
  - D. 全部平动动能
4. 有两个相同的容器，一个盛有氦气，另一个盛有氢气，（看成刚性分子），它们的压强和温度都相等，现将  $5\text{ J}$  的热量传给氢气，使氢气的温度升高，如果使氦气也升高同样的温度，则应向氦气传递热量是（ ）
  - A.  $6\text{ J}$
  - B.  $5\text{ J}$
  - C.  $3\text{ J}$
  - D.  $2\text{ J}$
5.  $1\text{ mol}$  的单原子分子理想气体从状态  $A$  变为状态  $B$ ，如果不知是什么气体，变化过程也不知道，但  $A$ 、 $B$  两态的压强、体积和温度都知道，则可求出（ ）
  - A. 气体所作的功
  - B. 气体内能的变化
  - C. 气体传给外界的热量
  - D. 气体的质量
6. 已知系统从状态  $A$  经某一过程到达状态  $B$ ，过程吸热  $10\text{ J}$ ，系统内能增量为  $5\text{ J}$ 。使系统沿原过程从状态  $B$  返回状态  $A$ ，则系统对外做功是（ ）
  - A.  $-15\text{ J}$
  - B.  $-5\text{ J}$
  - C.  $5\text{ J}$
  - D.  $15\text{ J}$
7. 理想气体内能不变的过程是（ ）
  - A. 绝热过程和等温过程
  - B. 循环过程和等体过程

- C. 等温过程和循环过程                      D. 等体过程和绝热过程

8. 在下列说法中, 正确的是 ( )

- A. 物体的温度愈高, 则热量愈多  
B. 物体在一定状态时, 具有一定的热量  
C. 物体的温度愈高, 则其内能愈大  
D. 物体的内能愈大, 则具有的热量愈多

9. 在下列表述中, 正确的是 ( )

- A. 系统由外界吸热时, 内能必然增加, 温度升高  
B. 由于热量  $Q$  和功  $A$  都是过程量, 因此, 在任何变化过程中,  $(Q+A)$  不仅与系统的始末状态有关, 而且与具体过程有关  
C. 无摩擦的准静态过程中间经历的每一状态一定是平衡状态

- D. 在等体过程中, 系统的内能增量为  $\Delta E = \frac{m}{M} C_{V,m} \Delta T$ ; 在等压过程中, 系

统的内能增量为  $\Delta E = \frac{m}{M} C_{p,m} \Delta T$

## 习题解析

1. 【答案】C。解析: A、相同质量的两种物体升高相同的温度, 其内能的增量不一定相同, 还与物体的比热有关, 故 A 错误; B、一定质量  $0^{\circ}\text{C}$  的水结成冰, 会放出热量, 内能一定减少, 故 B 错误; C、气体体积增大时对外做功,  $W$  为负值, 既不吸热也不放热, 根据热力学第一定律  $Q = \Delta E + W$  可知, 内能一定减少。故 C 正确; D、一定质量的气体吸收热量而保持体积不变, 不做功, 根据热力学第一定律  $Q = \Delta E + W$  可知, 内能一定增加。故 D 错误。故选: C。

2. 【答案】A。解析: 热和功是过程量, 指从一个状态到另一个状态的变化, 是状态间变化的累积量不是某一状态值, 所以说热和功不是状态函数。

3. 【答案】D。解析: 气体的平均动能和气体的平均平动动能不是一回事, 温度只与气体的平均平动动能有关, 内能包括气体分子的所有平均动能; 单原子理想气体只有三个平动自由度, 没有转动自由度, 另外, 理想气体模型不考虑分子势能。

4. 【答案】C。解析: 氦气是单原子分子, 自由度为 3, 氢气是双原子分子, 自由度为 5。根据理想气体的状态方程, 两种气体的摩尔数相同。容器容积不变,



气体吸收的热量全部转化为内能。再根据理想气体的内能公式，使氦气也升高同样的温度，应向氦气传递热量是3 J。

5. 【答案】B。解析：根据题意，两状态的温度通过状态方程可以确定，而内能是温度的单值函数，故B正确。

6. 【答案】B。解析：根据热力学第一定律的表达式 $Q = \Delta U + W$ ，系统从A态经某一过程到达B态时系统做的功为 $W = Q - \Delta U = 10 - 5 = 5 \text{ J}$ 。因此当系统沿原过程从B态返回A态时，系统对外做功为-5J。

7. 【答案】C。解析：对于一定的理想气体，其内能仅取决于状态的温度，如果一个热力学过程的初末态温度没有变化，则内能也不变化。

8. 【答案】C。解析：内能是系统状态（或温度）的单值函数，系统的温度愈高，其内能愈大。热量是由于系统与外界温度不同而进行的传热过程中所传递的能量的多少，同样温差情况下，不同的传热过程其热量不同，热量是过程量，不是状态的函数。作功与传热可以改变系统的内能，若系统状态不变（内能也不变），就无需作功与传热，功与热量不会出现。

9. 【答案】C。解析：准静态过程就是在过程进行中的每一个状态都无限地接近平衡态的过程。由于准静态过程是无限缓慢的，无摩擦的（即无能量耗散），则各中间态都是平衡态。

## 第二节 热力学第一定律

1. 热力学第一定律中的能量指的是（ ）

- A. 位能                  B. 动能                  C. 势能                  D. 内能

2. 某理想气体起始温度为 $T$ ，体积为 $V$ ，该气体在下面循环过程中经过下列三个平衡过程：（1）绝热膨胀到体积为 $2V$ ；（2）等体变化使温度恢复为 $T$ ；

（3）等温压缩到原来体积 $V$ ，则此整个循环过程中，下列表述正确的是（ ）

- A. 向外界放热                  B. 对外界作正功  
C. 内能增加                  D. 内能减少

3. 用下列两种方法：（1）使高温热源的温度 $T_1$ 升高 $\Delta T$ ；（2）使低温热源的温度 $T_2$ 降低同样的 $\Delta T$ 值，分别可使卡诺循环的效率升高 $\Delta \eta_1$ 和 $\Delta \eta_2$ 。两者相比

( )

- A.  $\Delta\eta_1 > \Delta\eta_2$     B.  $\Delta\eta_1 < \Delta\eta_2$     C.  $\Delta\eta_1 = \Delta\eta_2$     D. 无法确定

4. 在绝热良好的房间内有一台工作着的电冰箱。若冰箱门一直敞开着，待一定时间后，房间的温度将 ( )

- A. 降低    B. 升高    C. 不变    D. 无法确定

5. 热力学第一定律的数学表达式： $Q = \Delta E + W$  只能适用于 ( )

- A. 理想气体    B. 封闭体系    C. 隔离体系    D. 敞开体系

6. 用公式  $\Delta U = \nu C_{V,m} \Delta T$  计算理想气体内能增量时，此式 ( )

- A. 只适用于准静态的等体过程  
 B. 只适用于一切等体过程  
 C. 只适用于一切准静态过程  
 D. 适用于一切始末态为平衡态的过程

7. 对于室温下的双原子分子理想气体，在等压膨胀的情况下，系统对外所作的功与从外界吸收的热量之比等于 ( )

- A. 2/3    B. 1/2    C. 2/5    D. 2/7

8. 一物质系统从外界吸收一定的热量，则下列表述正确的是 ( )

- A. 系统的内能一定增加  
 B. 系统的内能一定减少  
 C. 系统的内能一定保持不变  
 D. 系统的内能可能增加，也可能减少或保持不变

### 习题解析

1. 【答案】D。解析： $Q = \Delta E + W$  式中，能量所指为内能。

2. 【答案】A。解析：根据题中已知条件通过  $p-V$  图可判定，这个循环是逆循环。在逆循环过程中，内能不变，外界对系统做功，因此系统向外界放热。

3. 【答案】B。解析：

$$\Delta\eta_2 = \left[ \left( 1 - \frac{T_2 - \Delta T}{T_1} \right) - \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \right] \quad \Delta\eta_1 = \left[ \left( 1 - \frac{T_2}{T_1 + \Delta T} \right) - \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \right]$$

$$\Delta\eta_2 - \Delta\eta_1 \approx \frac{(T_1 - T_2)\Delta T}{T_1(T_1 + \Delta T)} > 0。$$

4. 【答案】B。解析：电冰箱工作时是逆循环，它向环境放出的热量大于从冰箱中吸收的热量。

5. 【答案】B。解析：本题主要考查热力学第一定律的适用范围。
6. 【答案】D。解析：理想气体的内能是温度的单值函数，始末态确定，其增量就可用公式求得。
7. 【答案】D。解析： $W/Q = (C_p - C_v)/C_p = 2/7$ 。
8. 【答案】D。解析：解：改变系统的内能有两种方式：做功和热传递。

### 第三节 理想气体的等容、等压和等温过程

1. 理想气体初态的体积为  $V_1$ ，经等压过程使体积膨胀到  $V_2$ ，则在此过程中，气体对外界作（ ）
- A. 正功，气体的内能增加      B. 正功，气体的内能减少  
C. 负功，气体的内能增加      D. 负功，气体的内能减少
2. 气缸内储有 2.0 mol 的空气，温度为  $27^\circ\text{C}$ ，若使空气的体积等压膨胀到原来的 3 倍，则因为空气而对外界所作的功为（ ）
- A. 897 J      B. 4986 J      C. 9972 J      D. 3000 J
3. 一摩尔单原子理想气体，从初态温度  $T_1$ 、压强  $p_1$ 、体积  $V_1$ ，准静态地等温压缩至体积  $V_2$ ，外界做功（ ）
- A.  $RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$       B.  $RT_1 \ln \frac{V_1}{V_2}$       C.  $p_1(V_2 - V_1)$       D.  $p_2V_2 - p_1V_1$
4. 压强、体积和温度都相同（常温条件）的氧气和氦气在等压过程中吸收了相等的热量，它们对外作的功之比为（ ）
- A. 1:1      B. 5:9      C. 5:7      D. 9:5
5. 对于室温下定体摩尔热容  $C_v = 2.5R$  的理想气体，在等压膨胀的情况下，系统对外做功与从外界吸收的热量之比  $W/Q$  等于（ ）
- A. 1/3      B. 1/4      C. 2/5      D. 2/7
6. 1 mol 理想气体，在温度为  $T$  的恒温下体积发生膨胀，其压强由  $p_A$  准静态地降到  $p_B$ ，则气体吸取的热量为（ ）
- A.  $-RT \ln \frac{p_A}{p_B}$       B.  $RT(p_A - p_B)$       C.  $RT \ln \frac{p_B}{p_A}$       D.  $RT \ln \frac{p_A}{p_B}$

7. 对于理想气体系统来说, 在下列过程中, 那个过程系统所吸收的热量、内能的增量和对外做功三者均为负值 ( )

- A. 等容降压过程                      B. 等温膨胀过程  
C. 等压压缩过程                      D. 绝热膨胀过程

8. 2 mol 氢气, 在温度为 300K、压强为  $1.0 \times 10^5$  Pa 时, 等温压缩到压强为  $2.0 \times 10^5$  Pa。则气体做功为 ( )

- A.  $-3.46 \times 10^3$  J    B.  $-5.32 \times 10^3$  J    C.  $4.25 \times 10^3$  J    D.  $3.46 \times 10^3$  J

9. 一定量氢气在保持压强为  $4.00 \times 10^5$  Pa 不变的情况下, 温度由  $0^\circ\text{C}$  升高到  $50^\circ\text{C}$  时, 吸收了  $6.0 \times 10^4$  J 的热量。氢气对外作了多少功 ( )

- A.  $1.71 \times 10^2$  J    B.  $1.71 \times 10^3$  J    C.  $1.71 \times 10^4$  J    D.  $1.71 \times 10^5$  J

10. 定量某单原子分子理想气体, 在等压情况下加热, 求吸收的热量中有百分之几消耗在对外作功上 ( )

- A. 40%                      B. 50%                      C. 80%                      D. 20%

### 习题解析

1. 【答案】A。解析：等压膨胀过程系统对外作正功，由于压强不变体积增加，所以温度升高，因此气体的内能增加。

2. 【答案】C。解析：提示：等压膨胀对外功为  $W = \nu R \Delta T$ ，而等压变化满足盖·吕萨克方程  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ ，可求出  $T_2 = 900$  K，则  $W = 2 \times 8.31 \times 600 = 9972$  J。

3. 【答案】A。解析：等温过程做功为： $W = \int_{V_1}^{V_2} \frac{M}{M_{mol}} \frac{RT}{V} dV$ 。

4. 【答案】C。解析： $Q_{O_2} = Q_{He}$   $Q_{O_2} = \frac{M}{M_{mol}} \frac{7}{2} R \Delta T_{O_2}$ ， $Q_{He} = \frac{M}{M_{mol}} \frac{5}{2} R \Delta T_{He}$ ，当时， $\Delta T_{O_2} < \Delta T_{He}$ ，即  $\frac{\Delta T_{O_2}}{\Delta T_{He}} = \frac{5}{7}$  而  $\Delta E = \frac{M}{M_{mol}} \frac{i}{2} R \Delta T$ ， $\frac{W_{O_2}}{W_{He}} = \frac{Q_{O_2} - \Delta E_{O_2}}{Q_{He} - \Delta E_{He}} = \frac{\Delta T_{O_2}}{\Delta T_{He}}$ 。

5. 【答案】D。解析：等压膨胀吸热： $Q = \frac{M}{M_{mol}} (C_V + R) \Delta T$ ，内能变化： $\Delta E = \frac{M}{M_{mol}} C_V \Delta T$ ，功： $W = \frac{M}{M_{mol}} R \Delta T$ ，则： $\frac{A}{Q} = \frac{1}{3.5}$ 。

6. 【答案】D。解析：在等温过程中理想气体的内能不变，气体在过程中吸

收的热量  $Q$  为:  $Q = -W = \int_V^{V_B} p dV = RT \ln \frac{V_B}{V_A} = RT \ln \frac{p_A}{p_B}$ 。

7. 【答案】C。解析: 等容过程不做功, 等温过程无内能的增量, 绝热过程无热量传递, 等压压缩过程系统对外作负功, 温度降低, 向外放热。

8. 【答案】A。解析:  $\frac{M}{M_{\text{mol}}} = 2$ ,  $p_1 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ ,  $p_2 = 2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ , 气体做功:  $W = \int_{V_1}^{V_2} \frac{M}{M_{\text{mol}}} \frac{RT}{V} dV = \frac{M}{M_{\text{mol}}} RT \ln \frac{p_1}{p_2} = -3.46 \times 10^3 \text{ J}$ 。

9. 【答案】C。解析: 由  $Q = \nu C_p \Delta T$  得:  $\nu = \frac{2Q}{(i+2)R\Delta T} = 41.3 \text{ mol}$ ; 内能的变化:  $\Delta E = \nu \times \frac{i}{2} R \Delta T = 4.29 \times 10^4 \text{ J}$ ; 对外作的功:  $W = Q - \Delta E = 1.71 \times 10^4 \text{ J}$ 。

10. 【答案】A。解析:  $i = 3$ ,  $C_{V,m} = \frac{3}{2} R$ , 由  $Q = W + \Delta E$  知, 等压过程中, 系统对外做功为:  $W = \nu R \Delta T$ ; 吸收的热量为:  $Q = \nu C_{p,m} \Delta T = \nu R \Delta T + \nu C_{V,m} \Delta T$ , 则有:  $\frac{W}{Q} = \frac{\nu R \Delta T}{\nu R \Delta T + \nu C_{V,m} \Delta T} = \frac{R}{R + C_{V,m}} = 40\%$ 。

#### 第四节 理想气体的绝热过程

1. 理想气体由初态 ( $p_0, V_0$ ) 经绝热膨胀至末态 ( $p, V$ ), 此过程中气体所作的功为 ( )

- A.  $\frac{p_0 V_0 - pV}{\gamma - 1}$     B.  $\frac{p_0 V_0 + pV}{\gamma - 1}$     C.  $\frac{p_0 V_0 - pV}{\gamma + 1}$     D.  $\frac{p_0 V_0 - pV}{\gamma}$

2. 已知某理想气体在某一准静态过程中的摩尔热容为  $C_m = C_{V,m} - R$ 。(式中  $C_{V,m}$  为定容摩尔热容) 则此过程的过程方程为 ( )

- A.  $pV^3 = \text{恒量}$     B.  $pV^4 = \text{恒量}$     C.  $pV^{3/2} = \text{恒量}$     D.  $pV^2 = \text{恒量}$

3. 满足  $pV^n = C$  的过程称为多方过程, 其中常数  $n$  称为多方指数。理想气体在多方过程中的热容量为 ( )



A.  $C_n = \frac{n-\gamma}{n-1} C_V$  B.  $C_n = \frac{n-\gamma}{n-1} C_V$  C.  $C_n = \frac{n-\gamma}{n-1} C_V$  D.  $C_n = \frac{n-\gamma}{n-1} C_V$

4. 一定量的氧气经绝热膨胀过程, 初态的压强和体积分别为  $p_1$  和  $V_1$ , 内能为  $E_1$ 。末态的压强和体积分别为  $p_2$  和  $V_2$ , 内能为  $E_2$ 。若  $p_1 = 2p_2$ , 则  $\frac{V_2}{V_1}$  为 ( )

A.  $2^{5/7}$  B.  $2^{5/3}$  C.  $2^{3/7}$  D.  $2^{3/5}$

5. 一定量的氧气经绝热膨胀过程, 初态的压强、体积和内能分别为  $p_1$ 、 $V_1$ 、 $E_1$ 。末态的压强、体积和内能分别为  $p_2$ 、 $V_2$ 、 $E_2$ 。若  $p_1 = 2p_2$ , 则  $E_2/E_1$  为 ( )

A.  $2^{-2/5}$  B.  $2^{-2/3}$  C.  $2^{2/7}$  D.  $2^{-2/7}$

6. 设质量  $m = 8.0 \times 10^{-3} \text{ kg}$  的氧气, 体积  $V_1 = 0.41 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ , 温度  $T_1 = 300 \text{ K}$ , 经绝热过程, 体积膨胀至  $V_2 = 4.10 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 。则此过程中氧气对外所做的功为 ( )

A. 94 J B. 9400 J C. 940 J D. 9.4 J

## 习题解析

1. 【答案】A。解析: 气体膨胀做功的定义式为:  $W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$ , 绝热过程方程为:  $pV^\gamma = C$ , 所以:  $W = \int_{V_0}^V \frac{C}{V^\gamma} dV = \frac{C}{1-\gamma} (V^{1-\gamma} - V_0^{1-\gamma}) = \frac{p_0 V_0 - pV}{\gamma - 1}$ 。

2. 【答案】D。解析: 根据摩尔热容的定义, 有  $C_m = \frac{dQ}{dT} = C_{V,m} - R$  整理可得:  $dQ = C_m dT = (C_{V,m} - R) dT$ , 由热力学第一定律:  $dQ = dE + p dV = C_{V,m} dT + p dV$  整理得:  $-R dT = p dV$ , 由物态方程  $pV = RT$  两边微分, 有  $p dV + V dp = R dT$

$$\frac{dp}{p} = 2 \frac{dV}{V} \text{ 两边积分得: } pV^2 = \text{恒量}。$$

3. 【答案】C。解析: 由  $C_n = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta Q}{\Delta T} \right)_n = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_n + p \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_n$ , 对于理想气体,  $\left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_n = C_V$ , 因此,  $C_n = C_V + p \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_n$ 。将多方过程的过程方程式  $pV^n = C$  与

理想气体的物态方程联立, 消去压强  $p$  可得:  $TV^{n-1} = C_1$  (常量)。微分, 有:

$V^{n-1}dT + (n-1)V^{n-2}TdV = 0$ 。所以： $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_n = -\frac{V}{(n-1)T}$ ，代入式(2)，即得

$$C_n = C_v - \frac{pV}{T(n-1)} = \frac{n-\gamma}{n-1}C_v。$$

4. 【答案】A。解析：氧气为双原子分子气体， $i=5$ ， $C_{v,m} = \frac{5}{2}R$ ， $\gamma = \frac{i+2}{i} = \frac{7}{5}$ ，

由绝热过程方程得： $p_1V_1^\gamma = p_2V_2^\gamma$ ，有 $\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}} = \left(\frac{2p_2}{p_2}\right)^{\frac{5}{7}} = 2^{\frac{5}{7}}$ 。

5. 【答案】D。解析：氧气的内能为： $E = \nu C_{v,m}T = \nu \frac{5}{2}RT = \frac{5}{2}pV$ ，由绝热

过程方程得： $p_1V_1^\gamma = p_2V_2^\gamma$  则有： $\frac{E_2}{E_1} = \frac{p_2V_2}{p_1V_1} = \frac{p_2}{p_1} \cdot \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}} = \left(\frac{2p_2}{p_2}\right)^{\frac{2}{7}} = 2^{\frac{2}{7}}$ 。

6. 【答案】C。解析：氧气为双原子分子， $\gamma=1.4$ ，由绝热方程 $V_1^{\gamma-1}T_1 = V_2^{\gamma-1}T_2$ ，

得 $T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = 119\text{K}$ ，故 $W = -\Delta E = -\frac{m}{M}C_{v,m}(T_2 - T_1) = 940\text{J}$ 。

## 第五节 循环过程 热机

1. 一定量的某种理想气体起始温度为 $T$ ，体积为 $V$ ，该气体在下面循环过程中经过三个平衡过程：(1) 绝热膨胀到体积为 $2V$ ，(2) 等体变化使温度恢复为 $T$ ，(3) 等温压缩到原来体积 $V$ ，则此整个循环过程中下列表述正确的是( )

- A. 气体向外界放热      B. 气体对外界作正功  
C. 气体内能增加      D. 气体内能减少

2. 一个作可逆卡诺循环的热机，其效率为 $\eta$ ，它逆向运转时便成为一台致冷机，该致冷机的致冷系数 $w = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$ ，则关于 $\eta$ 与 $w$ 的关系表述正确的是( )

- A.  $\eta = \frac{1}{w}$       B.  $\eta = \frac{1}{1-w}$       C.  $\eta = \frac{1}{w-1}$       D.  $\eta = \frac{1}{w+1}$

3. 卡诺致冷机，其低温热源温度 $300\text{K}$ ，高温热源温度为 $450\text{K}$ ，每一循环从低温热源吸热 $600\text{J}$ ，则每一循环中外界对系统必须做功( )

- A.  $500\text{J}$       B.  $400\text{J}$       C.  $300\text{J}$       D.  $200\text{J}$

4. 一热机由温度为  $727^{\circ}\text{C}$  的高温热源吸热，向温度为  $527^{\circ}\text{C}$  的低温热源放热，若热机在最大可能效率下工作、且吸热为  $2000\text{ J}$ ，则每一循环中热机做功为

( )

- A.  $1600\text{ J}$       B.  $400\text{ J}$       C.  $200\text{ J}$       D.  $1200\text{ J}$

3. 关于热机的效率，以下说法中正确的是 ( )

- A. 热机做的有用功越多，效率就一定越高  
 B. 热机的功率大，效率就一定高  
 C. 热机单位时间里耗费的燃料少，热机的效率就一定高  
 D. 以上说法都不对

### 习题解析

1. 【答案】A。解析：从  $p-V$  图上可知系统作逆循环，外界对系统做功，而内能不变，故气体向外界放热。故选 A。

2. 【答案】D。解析：  $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ ，  $w = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$  则有  $\eta = \frac{1}{w+1}$ 。

3. 【答案】D。解析：致冷系数  $w = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{450}{450 - 300} = 3$ ，  $A = \frac{Q_2}{3} = 200\text{ J}$ 。

4. 【答案】B。解析：  $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 20\%$ ，  $W = \eta Q_1 = 400\text{ J}$ 。

5. 【答案】D。解析：解析：热机的效率是用来做有用功的那部分能量和从高温热源吸收的热量的比率。

## 第六节 卡诺循环

1. 下列说法正确的是 ( )

- A. 由热力学第一定律可以证明任何热机的效率不可能等于 1  
 B. 由热力学第一定律可以证明任何卡诺循环的效率都等于  $1 - T_2/T_1$   
 C. 有规则运动的能量能够变为无规则运动的能量，但无规则运动的能量不能变为有规则运动的能量  
 D. 系统经过一个正的卡诺循环后，系统本身没有任何变化

2. 2 mol 单原子理想气体, 经一等容过程后, 温度从 200 K 升到 500 K。

若该过程为准静态过程, 气体吸收的热量为 ( )

- A.  $7.48 \times 10^6$  J    B.  $7.48 \times 10^5$  J    C.  $7.48 \times 10^4$  J    D.  $7.48 \times 10^3$  J

3. 卡诺致冷机, 其低温热源温度 300 K, 高温热源温度为 450 K, 则该致冷机的致冷系数 ( )

- A. 3                      B. 4                      C. 5                      D. 3.5

4. 设热源的绝对温度是冷源的绝对温度的  $n$  倍, 则在一个卡诺循环中, 气体交给冷源的热量与从热源得到的热量的比值为 ( )

- A.  $n$                       B.  $n-1$                       C.  $\frac{1}{n}$                       D.  $\frac{n+1}{n}$

5. 一个可逆卡诺循环, 当高温热源温度为  $127^\circ\text{C}$ , 低温热源温度为  $27^\circ\text{C}$  时, 对外做净功 8000 J, 今维持低温热源温度不变, 使循环对外做功 10000 J, 若两卡诺循环都在两个相同的绝热线间工作, 则第二个循环的高温热源的温度为 ( )

- A. 127 K                  B. 300 K                  C. 425 K                  D. 无法判断

6. 一台电冰箱放在室温为  $27^\circ\text{C}$  的房间里, 冰箱储藏柜中的温度维持在  $5^\circ\text{C}$ 。现每天有  $2.0 \times 10^7$  J 的热量自房间传入冰箱内, 设在  $5^\circ\text{C}$  至  $27^\circ\text{C}$  之间运转的电冰箱的致冷系数是卡诺机致冷系数的 55%。若要保持冰箱内温度不变, 电冰箱的功率为多少 ( )

- A. 34 W                  B. 340 W                  C. 134 W                  D. 68 W

7. 1mol 理想气体在  $T_1 = 400$  K 的高温热源与  $T_1 = 300$  K 的低温热源间作卡诺循环, 在 400 K 的等温线上起始体积为  $V_1 = 0.001 \text{ m}^3$ , 终止体积为  $V_2 = 0.005 \text{ m}^3$ , 求此气体在每一循环中: 从高温热源吸收的热量为 ( )

- A.  $5.35 \times 10^3$  J    B.  $5.35 \times 10^4$  J    C.  $5.35 \times 10^5$  J    D.  $5.35 \times 10^6$  J

## 习题解析

1. 【答案】D。解析: 经过一个正循环以后系统回到原来状态。

2. 【答案】D。解析: 等容过程吸热:  $Q_1 = \nu C_V \Delta T = 7.48 \times 10^3$  J。

3. 【答案】A。解析: 致冷系数  $w = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{450}{450 - 300} = 3$ 。

4. 【答案】C。解析：卡诺循环，从热源经等温过程吸热为： $Q_1 = \nu RT_1 \ln \frac{V_3}{V_4}$ ，

从冷源经等温过程放热为： $Q_2 = \nu RT_2 \ln \frac{V_2}{V_1}$ ， $\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$ ，所以  $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{1}{n}$ 。

5. 【答案】C。解析：解：当高温热源温度为  $127^\circ\text{C}$  时， $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 25\%$ ，又因  $\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{A}{Q_2 + A} = \frac{8000}{8000 + Q_2} = \frac{1}{4}$ ，解得  $Q_2 = 24000\text{ J}$ ，当循环对外做功变为  $10000\text{ J}$  时，由于维持低温热源温度不变，而且两卡诺循环都在两个相同的绝热线间工作，所以  $Q_2' = Q_2 = 24000\text{ J}$ 。此时，效率为  $\eta' = \frac{A'}{A' + Q_2'} = \frac{5}{17}$ ，代入得： $T_1' = 425\text{ K}$ 。

6. 【答案】A。解析：已知  $T_1 = 300\text{ K}$ ， $T_2 = 278\text{ K}$ ，致冷系数： $e = e_{\text{卡}} \times 55\% = 6.95$ ，房间传入冰箱的热量  $Q' = 2.0 \times 10^7\text{ J}$ ，热平衡时，传入冰箱的热量  $Q'$  等于冰箱从储藏柜中吸收的  $Q_2$ ，即  $Q' = Q_2$ 。根据公式  $e = \frac{Q_2}{|Q_1| - Q_2}$ ，得电冰箱传递到高温热源（冰箱外空气）的热量： $|Q_1| = 2.29 \times 10^7\text{ J}$ ，保持电冰箱在  $5^\circ\text{C}$  至  $27^\circ\text{C}$  之间运转，每天需做功： $W = |Q_1| - Q_2 = 0.29 \times 10^7\text{ J}$   $W = |Q_1| - Q_2 = |Q_1| - Q' = 0.29 \times 10^7\text{ J}$ ，电冰箱的功率： $P = \frac{W}{\Delta t} = 34\text{ W}$ 。

7. 【答案】A。解析： $Q_1 = RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = 5.35 \times 10^3\text{ J}$ 。

## 本章练习题

- 关于物体内能，下列说法正确的是（ ）
  - 相同质量的两种物体，升高相同的温度，内能增量一定相同
  - 一定质量  $0^\circ\text{C}$  的水结成  $0^\circ\text{C}$  的冰，内能可能不变
  - 一定量气体体积增大，但既不吸热也不放热，内能一定减少
  - 一定量气体吸收热量而保持体积不变，内能一定减少
- 一定量的理想气体，处在某一初始状态，现在要使它的温度经过一系列状态变化后回到初始状态的温度，可能实现的过程为（ ）



- A. 先保持压强不变而使它的体积膨胀，接着保持体积不变而增大压强  
B. 先保持压强不变而使它的体积减小，接着保持体积不变而减小压强  
C. 先保持体积不变而使它的压强增大，接着保持压强不变而使它体积膨胀  
D. 先保持体积不变而使它的压强减小，接着保持压强不变而使它体积膨胀
3. 气体的定压摩尔热容  $C_p$  大于定体摩尔热容  $C_v$ ，其主要原因是 ( )
- A. 膨胀系数不同                      B. 温度不同  
C. 气体膨胀需做功                      D. 分子引力不同
4. 根据热力学第二定律判断下列哪种说法是正确的 ( )
- A. 热量能从高温物体传到低温物体，但不能从低温物体传到高温物体  
B. 功可以全部变为热，但热不能全部变为功  
C. 气体能够自由膨胀，但不能自由压缩  
D. 有规则运动的能量能变为无规则运动的能量。但是，无规则运动的能量不能变为有规则运动的能量
5. “理想气体和单一热源接触做等温膨胀时，吸收的热量全部用来做功。”对此说法，下列评论，正确的是 ( )
- A. 不违反热力学第一定律，但是违反热力学第二定律  
B. 不违反热力学第二定律，但是违反热力学第一定律  
C. 不违反热力学第一定律，也不违反热力学第二定律  
D. 不违反热力学第一定律，也违反热力学第二定律
6. 以下哪个循环过程是不可能实现的 ( )
- A. 由绝热线、等温线、等压线组成的循环  
B. 由绝热线、等温线、等容线组成的循环  
C. 由等容线、等压线、绝热线组成的循环  
D. 由两条绝热线和一条等温线组成的循环
7. 甲说：由热力学第一定律可证明，任何热机的效率不能等于 1。乙说：热力学第二定律可以表述为效率等于 100% 的热机不可能制成。丙说：由热力学第一定律可以证明任何可逆热机的效率都等于  $1 - T_2/T_1$ 。丁说：由热力学第一定律可以证明理想气体可逆卡诺热机的效率等于  $1 - T_2/T_1$ 。对于以上叙述，有以下几种评述，那种评述是对的 ( )
- A. 甲、乙、丙、丁全对                      B. 甲、乙、丙、丁全错

- C. 甲、乙、丁对，丙错      D. 乙、丁对，甲、丙错

8. 如果一定量的理想气体，其体积和压强依照  $V = a/\sqrt{p}$  的规律变化，其中  $a$  为已知常量。则气体从体积  $V_1$  膨胀到  $V_2$  所作的功为 ( )

- A.  $a^2(\frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2})$     B.  $a(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2})$     C.  $a(\frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2})$     D.  $a^2(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2})$

9. 如果一定量的理想气体，其体积和压强依照  $V = a/\sqrt{p}$  的规律变化，其中  $a$  为已知常量。则气体体积为  $V_1$  时的温度  $T_1$  与体积为  $V_2$  时的温度  $T_2$  之比为 ( )

- A.  $\frac{V_2}{V_1}$       B.  $\frac{V_1}{V_2}$       C.  $V_1 V_2$       D.  $\frac{1}{V_1 V_2}$

10. 一定量某理想气体，分别从同一状态开始经历等压、等体、等温过程。若气体在上述过程中吸收的热量相同，则气体对外做功最多的过程是 ( )

- A. 等体过程    B. 等温过程    C. 等压过程    D. 不能确定

11. 一气缸内贮有 10 mol 的某单原子分子理想气体，在压缩过程中，外力作功 209 J，气体温度升高 1 K。则该气体内能增量为 ( )

- A. 125 J      B. 175 J      C. 200 J      D. 225 J

12. 一气缸内贮有 10 mol 的某单原子分子理想气体，在压缩过程中，外力作功 209 J，气体温度升高 1 K。则吸收的热量为 ( )

- A. 54 J      B. -34 J      C. 84 J      D. -84 J

13. 设有质量  $m = 8.0 \times 10^{-3}$  kg 的氧气，体积  $V_1 = 0.41 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup>，温度  $T_1 = 300$  K，经过等温过程，体积膨胀至  $V_2 = 4.10 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup>。则此过程中氧气对外所做的功为 ( )

- A. 2859 J    B. 1435 J    C. 755 J    D. 426 J

14. 比热容比  $\gamma$  的理想气体(为已知)，从标准状态( $p_0$ 、 $V_0$ 、 $T_0$ )开始，作绝热膨胀，体积增大到三倍，膨胀后的温度为 ( )

- A.  $\frac{T_0}{2^{\gamma-1}}$     B.  $\frac{T_0}{3^{\gamma-1}}$     C.  $\frac{T_0}{4^{\gamma-1}}$     D.  $\frac{T_0}{5^{\gamma-1}}$

15. 比热容比  $\gamma$  的理想气体(为已知)，从标准状态( $p_0$ 、 $V_0$ 、 $T_0$ )开始，作绝热膨胀，体积增大到三倍，膨胀后的压强为 ( )

- A.  $\frac{p_0}{5^\gamma}$       B.  $\frac{p_0}{4^\gamma}$       C.  $\frac{p_0}{3^\gamma}$       D.  $\frac{T_0}{3^{\gamma-1}}$

16. 双原子理想气体，做等压膨胀，若气体膨胀过程从热源吸收热量 700 J，则该气体对外做功为 ( )

- A. 350 J      B. 300 J      C. 250 J      D. 200 J

17. 对于理想气体系统来说，在下列过程中，系统所吸收的热量、内能的增量和对外作的功三者均为负值的是 ( )

- A. 等体降压过程      B. 等温膨胀过程  
C. 绝热膨胀过程      D. 等压压缩过程

18. 处于平衡状态的一瓶氢气和一瓶氮气的分子数密度相同，分子的平均平动动能也相同，都处于平衡态。以下说法正确的是 ( )

- A. 它们的温度、压强均不相同  
B. 它们的温度相同，但氢气压强大于氮气压强  
C. 它们的温度、压强都相同  
D. 它们的温度相同，但氢气压强小于氮气压强

19. 一容器内装有  $N_1$  个单原子理想气体分子和  $N_2$  个刚性双原子理想气体分子，当该系统处在温度为  $T$  的平衡态时，其内能为 ( )

- A.  $(N_1 + N_2) \left( \frac{3}{2} kT + \frac{5}{2} kT \right)$       B.  $\frac{1}{2} (N_1 + N_2) \left( \frac{3}{2} kT + \frac{5}{2} kT \right)$   
C.  $N_1 \frac{3}{2} kT + N_2 \frac{5}{2} kT$       D.  $N_1 \frac{5}{2} kT + N_2 \frac{3}{2} kT$

20. 一卡诺致冷机从温度为  $-10^\circ\text{C}$  的冷库中吸取热量，释放到温度为  $27^\circ\text{C}$  的室外空气中，若卡诺致冷机的功率是 1.5 KW，则卡诺致冷机每分钟从冷库中吸收的热量为 ( )

- A.  $6.39 \times 10^3 \text{ J}$       B.  $6.39 \times 10^3 \text{ J}$       C.  $6.39 \times 10^4 \text{ J}$       D.  $6.39 \times 10^5 \text{ J}$

## 习题解析

1. 【答案】C。解析：A、相同质量的两种物体升高相同的温度，其内能的增量不一定相同，还与物体的比热有关，故 A 错误； B、一定质量  $0^\circ\text{C}$  的水结成冰，会放出热量，内能一定减少，故 B 错误； C、气体体积增大时对外做功， $W$  为负值，既不吸热也不放热，根据热力学第一定律  $Q = \Delta E + W$  可知，内能一定减少。故 C 正确； D、一定质量的气体吸收热量而保持体积不变，不做功，根据热力学

第一定律  $Q = \Delta E + W$  可知，内能一定增加。故 D 错误。

2. 【答案】D。解析：A 选项为升温过程，B 选项降温过程，C 选项升温过程。

3. 【答案】C。解析：气体的定压摩尔热容大于定体摩尔热容的原因是定压时气体膨胀做功，但定体时气体体积不变不做功。

4. 【答案】C。解析：根据热力学第二定律不可逆性，气体不能自由压缩。又因为热量不能自动地从低温物体传到高温物体。A 错误；在等温过程中，热能全部变为功。B 错误；无规则运动的能量能变为有规则运动的能量，如蒸汽做功。D 错误。

5. 【答案】C。解析：等温膨胀时，引起了体积的膨胀，即发生了其他的变化，不违反热力学第二定律。

6. 【答案】D。解析：由热力学第二定律可知，单一热源的热机是不可能实现的，故答案为 D。

7. 【答案】D。解析：效率等于 100 % 的热机并不违反热力学第一定律，由此可以判断 A、C 选择错误。乙的说法是对的，这样就否定了 B。丁的说法也是对的，由效率定义式  $\eta = 1 - Q_2/Q_1$ ，由于在可逆卡诺循环中有  $Q_2/Q_1 = T_2/T_1$ ，所以理想气体可逆卡诺热机的效率等于  $1 - T_2/T_1$ 。故本题答案为 D。

8. 【答案】D。解析：由  $V = a/\sqrt{p}$  得  $p = a^2/V^2$   $A = \int_{V_1}^{V_2} p dV = a^2(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2})$ 。

9. 【答案】A。解析：根据  $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ ，得  $\frac{T_1}{T_2} = \frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = \frac{V_2}{V_1}$ 。

10. 【答案】B。解析：由热力学第一定律  $Q = W + \Delta E$  知，等压过程，气体吸收来的热量既要对外做功，又要使内能增加；等体过程，气体不对外做功，吸收的热量全部用于增加内能；等温过程，气体吸收的热量全部用于对外做功。因此，当吸收的热量相同时，等温过程对外做功最多。

11. 【答案】A。解析：单原子分子气体， $i = 3$ ， $C_{V,m} = \frac{3}{2}R$ ，理想气体内能增量为： $\Delta E = \nu C_{V,m} \Delta T = 125 \text{ J}$ 。

12. 【答案】D。根据热力学第一定律，内能变化为： $\Delta E = \nu C_{V,m} \Delta T = 125 \text{ J}$ ，吸收热量为： $Q = \Delta E + W = -84 \text{ J}$ 。

13. 【答案】B。解析：在等温过程中，有  $W_T = \frac{m}{M} R T_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = 1435 \text{ J}$ 。

14. 【答案】B。解析：由绝热过程方程： $T_0 V_0^{\gamma-1} = T V^{\gamma-1}$ ， $T = T_0 \left( \frac{V_0}{V} \right)^{\gamma-1} = \frac{T_0}{3^{\gamma-1}}$ 。

15. 【答案】C。解析：由绝热过程方程： $p_0 V_0^\gamma = p V^\gamma$ ，得： $p = p_0 \left( \frac{V_0}{V} \right)^\gamma = \frac{p_0}{3^\gamma}$ 。

16. 【答案】D。解析： $Q_p = \Delta U + A_p = \nu R \Delta T \left( \frac{i}{2} + 1 \right)$ ， $A_p = Q_p \frac{2}{i+2} = 200 \text{ J}$ 。

17. 【答案】D。解析：等压压缩过程中外界对气体做功，体积减小，温度降低，内能减少，放热。故选 D。

18. 【答案】C。解析：分子的平均平动动能是温度的单值函数，与气体分子种类无关；而压强在温度确定后，是分子数密度的单值函数。故 C 选项正确。

19. 【答案】C。解析：对于混合理想气体，其内能为各不同理想气体分子的内能之和。

20. 【答案】D。解析：已知  $T_1 = 300 \text{ K}$ ， $T_2 = 263 \text{ K}$ ， $|W_{\text{净}}| = 1.5 \times 10^3 \text{ W}$ 。

根据卡诺致冷系数定义式，有： $e_{\text{卡}} = \frac{Q_2}{|W_{\text{净}}|} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = 7.1$ ，卡诺致冷机每分钟从

冷库中吸收的热量为  $Q_2 = e_{\text{卡}} |W_{\text{净}}| = 6.39 \times 10^5 \text{ J}$ 。

### 第三章 热力学第二定律 熵

#### 第一节 不可逆过程

1. 设有下列过程：(1) 用活塞缓慢地压缩绝热容器中的理想气体；(2) 缓慢地旋转叶片，使绝热容器中的水温上升；(3) 冰溶解为水；(4) 一个不受空气阻力及其它摩擦力的作用的单摆的摆动。其中是可逆的过程是 ( )

- A. (1)、(2)、(4)                      B. (1)、(2)、(4)  
 C. (1)、(3)、(4)                      D. (1) 和 (4)

2. 关于可逆过程和不可逆过程的判断正确的是 ( )

- A. 可逆热力学过程不一定是准静态过程  
 B. 准静态过程一定是可逆过程  
 C. 不可逆过程就是不能向相反方向进行的过程



- D. 凡有摩擦的过程，一定是不可逆过程
3. 下列过程中是可逆过程的是（ ）
- A. 用活塞缓慢地压缩绝热容器中的理想气体
  - B. 用缓慢地旋转的叶片使绝热容器中的水温上升
  - C. 一滴墨水在水杯中缓慢弥散开
  - D. 一个不受空气阻力及其它摩擦力作用的单摆的摆动
4. 以下关于可逆过程和不可逆过程的说法错误的是（ ）
- A. 可逆过程一定是平衡过程
  - B. 平衡过程一定是可逆过程
  - C. 不可逆过程发生后一定找不到另一过程使系统和外界同时复原
  - D. 非平衡过程一定是不可逆过程
5. 下列说法正确的是（ ）
- A. 孤立系统内工质的状态不能发生变化
  - B. 系统在相同的初、终状态之间的可逆过程做功相同
  - C. 经过一个不可逆过程后，工质可以恢复到原来的状态
  - D. 质量相同的气体  $a$  和  $b$ ，因  $T_a > T_b$ ，所以物体  $a$  具有的热量较物体  $b$  多

### 习题解析

1. 【答案】D。解析：（1）用活塞缓慢地压缩绝热容器中的理想气体，也可以活塞缓慢地膨胀，为可逆过程；（4）一个不受空气阻力及其它摩擦力的作用的单摆的摆动就是一个可逆过程。

2. 【答案】D。解析：摩擦过程发热，部分能量转换为了内能，这部分内能不可能自发的转换成动能。必须有外界的能量参与才能还原，而这就不是可逆过程了。

3. 【答案】D。解析：可逆过程应没有耗散效应。除 D 外，其余选项都存在耗散效应。

4. 【答案】B。解析：平衡过程中有可能存在耗散效应，而可逆过程中不存在耗散效应。

5. 【答案】C。解析：经历一个不可逆过程后，工质是可以回复到原来状态的，只是与之相互作用的外界不能复原。

## 第二节 热力学第二定律

1. 根据热力学第二定律，在一循环过程中（ ）
  - A. 功与热可以完全互换
  - B. 功与热都不能完全互换
  - C. 功可以完全转变为热，热不能完全转变为功
  - D. 功不能完全转变为热，热可以完全转变为功
2. 根据热力学第二定律（ ）
  - A. 自然界中的一切自发过程都是不可逆的
  - B. 不可逆过程就是不能向相反方向进行的过程
  - C. 热量可以从高温物体传到低温物体，但不能从低温物体传到高温物体
  - D. 任何过程总是沿熵增加的方向进行
3. “理想气体和单一热源接触做等温膨胀时，吸收的热量全部用来对外做功”。对此说法，有以下几种评论正确的是（ ）
  - A. 不违反热力学第一定律，但违反热力学第二定律
  - B. 不违反热力学第二定律，但违反热力学第一定律
  - C. 不违反热力学第一定律，也不违反热力学第二定律
  - D. 违反热力学第一定律，也违反热力学第二定律
4. 热力学第二定律表明（ ）
  - A. 不可能从单一热源吸收热量使之全部变为有用的功
  - B. 在一个可逆过程中，工作物质净吸热等于对外作的功
  - C. 摩擦生热的过程是不可逆的
  - D. 热量不可能从温度低的物体传到温度高的物体
5. 在功与热的转变过程中，下列表述正确的是
  - A. 能制成一种热机，只从一个热源吸取热量，使之完全变为有用功
  - B. 其他循环热机效率不可能达到可逆卡诺机的效率，可逆卡诺机效率最高
  - C. 热量不可能从低温物体传到高温物体
  - D. 绝热过程对外做正功，则系统的内能必减少

## 习题解析

1. 【答案】C。解析：根据热力学第二定律，热功的转换具有方向性。
2. 【答案】A。解析：本题属于热力学第二定律的基础理论题。
3. 【答案】C。解析：不违背， $Q = W + \Delta E$ ， $\Delta E$  的变化为 0，不违背第一定律；吸热膨胀做功是自发过程，不违背第二定律。
4. 【答案】C。解析：A、B、D 选项的表述与热力学第二定律的两种表述矛盾。只有 C 选项指出了热力学过程的方向性。
5. 【答案】D。解析：选项 A 违反了开尔文表述；卡诺定理指的是“工作在相同高温热源和相同低温热源之间的一切不可逆热机，其效率都小于可逆卡诺热机的效率”，不是说可逆卡诺热机的效率高于其它一切工作情况下的热机的效率，B 错误；对于 C，热量不可能自动地从低温物体传到高温物体，而不是说热量不可能从低温物体传到高温物体。

## 第三节 卡诺定理

1. 下面关于卡诺定理的理解正确的是（ ）
  - A. 相同温限内一切可逆循环的热效率相等
  - B. 相同温限内可逆循环的热效率必大于不可逆循环的热效率
  - C. 相同温度的两个恒温热源间工作的一切可逆循环的热效率相等
  - D. 相同温度的两个恒温热源间工作的一切循环的热效率相等
2. 某理想气体作卡诺循环，已知循环效率  $\eta$ ，气体在绝热膨胀后，气体体积与原来的体积之比为（ ）
 

$$A. \frac{V_3}{V_2} = \left(\frac{1}{1-\eta}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$$

$$B. \frac{V_3}{V_2} = \left(\frac{1}{1-\eta}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$$

$$C. \frac{V_3}{V_2} = \left(\frac{1}{1-\eta}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$$

$$D. \frac{V_3}{V_2} = \left(\frac{1}{1-\eta}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$$
3. 一卡诺热机低温热源温度为  $7^\circ\text{C}$ ，效率为 40%，若要把它的效率提高到 50%，高温热源的温度应提高（ ）
 

A. 193 K
B. 93 K
C. 23 K
D. 53 K

4. 一台工作于温度分别为  $327\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$  的高温热源与低温热源之间的卡诺热机，理论上的最大效率为 ( )

- A. 100%      B. 80%      C. 60%      D. 50%

5. 有人设计一台可逆卡诺热机。每经过一次循环过程可从  $400\text{ K}$  的高温热源吸热  $1800\text{ J}$ ，向  $300\text{ K}$  的低温热源放热  $800\text{ J}$ 。同时对外做功  $1000\text{ J}$ ，下列判断正确的是 ( )

- A. 可以的，符合热力学第一定律  
 B. 可以的，符合热力学第二定律  
 C. 不行的，卡诺循环所作的功不能大于向低温热源放出的热量  
 D. 不行的，这个热机的效率超过理论值

### 习题解析

1. 【答案】C。解析：C 选项表述符合卡诺定理的内容。

2. 【答案】A。解析：应用绝热方程 得：  $\frac{V_3}{V_2} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$ ，由卡诺循环效率  $\eta = 1 - T_2/T_1$  得：  $\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{1-\eta}$ 。因此有：  $\frac{V_3}{V_2} = \left(\frac{1}{1-\eta}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$ 。

3. 【答案】B。解析：由  $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ ，及  $40\% = 1 - \frac{280}{T_1}$   $50\% = 1 - \frac{280}{T_1 + \Delta T}$  联立得：  
 $\Delta T = 93\text{ K}$ 。

4. 【答案】D。解析：卡诺热机的效率为  $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 50\%$ 。

5. 【答案】D。解析：根据卡诺热机的效率  $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ ，可判断 D 正确。

## 第四节 玻尔兹曼关系、熵增加原理

1. 双原子分子理想气体的初始温度为  $T$ ，初始体积为  $V$ 。气体取三个可逆过程构成一个循环：绝热膨胀到体积  $2V$ ；等体过程到温度  $T$ ；等温压缩回到初始体积  $V$ ，则下列判断正确的是 ( )

- A. 在每个过程中，气体的熵不变  
B. 在每个过程中，外界的熵不变  
C. 在每个过程中，气体和外界的熵的和不变  
D. 整个循环中，气体的熵增加
2. 下列对熵增加原理叙述不正确的是（ ）  
A. 在封闭系统中发生的任何不可逆过程，都会导致整个系统的熵增加  
B. 系统的总熵只有在可逆过程中才是不变的  
C. 熵增加原理既可在封闭系统或绝热过程，也可用在借助外界作用的过程  
D. 熵增加原理也是热力学第二定律的另一种表述形式
3. 一绝热容器被隔板分成两半，一半真空，另一半是理想气体。若把隔板抽出，气体将进行自由膨胀，达到平衡后（ ）  
A. 温度降低，熵减少  
B. 温度不变，熵不变  
C. 温度不变，熵增加  
D. 温度降低，熵增加

### 习题解析

1. 【答案】C。解析：系统的总熵在可逆过程中是不变的，把气体和外界构成一个孤立体系，则系统的总熵不变。
2. 【答案】C。解析：熵增加原理只能用于封闭系统或绝热过程。倘若不是封闭系统或绝热过程，则借助外界作用，使系统熵减小是可能的，故 C 选项错误。
3. 【答案】C。解析：绝热自由膨胀过程是不可逆过程，该过程中气体对外做功为零，从外界吸热为零，内能增量为零，温度不变。不可逆过程熵增加。

www.hongshankou.cn

### 第五节 克劳修斯熵、熵变的计算

1. 一定量理想气体向真空做绝热自由膨胀，体积由  $V_1$  增至  $V_2$ ，此过程中（ ）  
A. 内能不变，熵增加  
B. 内能不变，熵减少  
C. 内能不变，熵不变  
D. 内能增加，熵增加
2. 理想气体在准静态的绝热膨胀过程中（ ）  
A. 内能增加  
B. 熵不变  
C. 熵增大  
D. 温度不变
3. 把质量为 5 kg、比热容（单位质量物质的热容）为 544 J/kg 的铁棒加



热到 300 °C，然后浸入一大桶 27 °C 的水中。在这冷却过程中铁的熵变为 ( )

- A. -1760 J/K      B. 1760 J/K      C. 760 J/K      D. -760 J/K

4. 质量为 0.30 kg、温度为 90 °C 的水，与质量为 0.70 kg、温度为 20 °C 的水混合后达到平衡状态，设水在混合后达到平衡态的过程中与外界没有能量交换，水的比热容为  $c = 4.18 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ，则水的熵变为 ( )

- A. 21 J/K      B. -182 J/K      C. 203 J/K      D. 385 J/K

5. 1 kg 温度为 0 °C 的水与温度为 100 °C 的热源接触，则由水和热源组成的系统熵变为 ( )

- A. 180 J/K      B. -180 J/K      C. -80 J/K      D. 80 J/K

### 习题解析

1. 【答案】A。解析：绝热自由膨胀过程，做功为零，根据热力学第一定律  $Q = \Delta E + W$ ，系统内能不变；但这是不可逆过程，所以熵增加，答案 A 正确。

2. 【答案】B。解析：准静态过程是可逆过程，又是绝热过程， $\Delta S = \int \frac{dQ}{T} = 0$ 。

3. 【答案】A。解析：为了计算熵变，设想一可逆冷却过程，则熵变可以表示为： $\Delta S = \int \frac{dQ}{T} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{Mc dT}{T} = Mc \ln \frac{T_2}{T_1} = -1760 \text{ J/K}$ 。

4. 【答案】A。解析：系统是由两部分的水组成，由能量守恒定律得系统平衡时的温度  $T = 314 \text{ K}$ 。为了计算熵变。设计一个可逆等压过程。两部分水的熵变分别为： $\Delta S_1 = \int \frac{dQ}{T} = M_1 c \ln \frac{T}{T_1} = -182 \text{ J/K}$ ， $\Delta S_2 = \int \frac{dQ}{T} = M_2 c \ln \frac{T}{T_2} = 203 \text{ J/K}$ ，系统的熵变是两部分水的熵之和，即： $\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 21 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

5. 【答案】A。解析：水的熵变为： $\Delta S_{\text{水}} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ_1}{T} = MC \ln \frac{T_2}{T_1} = 1.30 \times 10^3 \text{ J/K}$ ，

热源的熵变为： $\Delta S_{\text{热源}} = \frac{Q}{T} = \frac{-MC(T_2 - T_1)}{T_2} = -\frac{4.18 \times 10^3 \times 100}{373} = -1.12 \times 10^3 \text{ J/K}$ ，此

过程系统的熵变为： $\Delta S_{\text{大系统}} = \Delta S_{\text{水}} + \Delta S_{\text{热源}} = (1.3 - 1.12) \times 10^3 = 180 \text{ J/K}$ 。

## 本章练习题

1. 关于热功转换和热量传递过程，有下面一些叙述：(1) 功可以完全变为热量，而热量不能完全变为功；(2) 一切热机效率都只能够小于 1；(3) 热量不能从低温物体向高温物体传递；(4) 热量从高温物体向低温物体传递是不可逆的。

下列判断正确的是 ( )

- A. 只有 (2) 和 (4) 正确                      B. 只有 (2)、(3) 和 (4) 正确  
C. 只有 (1)、(3) 和 (4) 正确              D. 全部正确

2. 在下列有关热力学过程进行的方向和条件的表述中，不正确的是 ( )

- A. 功可以全部转化为热量，但热量不能全部转化为功  
B. 对封闭系统来讲，自发过程总是按系统熵值增加的方向进行  
C. 对封闭系统来讲，其内部发生的过程，总是由概率小的宏观态向概率大的宏观态进行

的宏观态进行

- D. 一切自发过程都是不可逆的

3. 在下列有关热力学过程进行的方向和条件的表述中，不正确的是 ( )

- A. 自然界中自发的热力学过程都是不可逆过程  
B. 不可逆过程可以反向进行，但系统与外界无法复原  
C. 不可逆过程是一个由热力学概率小的状态向概率大的状态转变的过程  
D. 一切自发宏观过程总是沿着熵增大的方向进行

4. 下列说法中正确的是 ( )

- A. 摩擦生热的过程是可逆过程  
B. 气体自由膨胀的过程是不可逆过程  
C. 不可能使热量从低温物体传向高温物体  
D. 空调既能制热又能制冷，说明热传递不存在方向性

5. 下列关于热力学规律的物理意义表述不正确的是 ( )

- A. 热力学第零定律为定义温度概念提供了实验基础  
B. 热力学第一定律是包括热量在内的普遍能量守恒与转化定律  
C. 热力学第二定律指明了包括热力学过程在内的所有过程的方向性和条件  
D. 热力学第三定律指出 0K 是低温极限

6. 下面的那些叙述是正确的 ( )

- A. 发生热传导的两个物体温度差值越大，就对传热越有利

B. 任何系统的熵一定增加

C. 有规则运动的能量能够变为无规则运动的能量，但无规则运动的能量不能够变为有规则运动的能量

D. 以上三种说法均不正确

7. 根据热力学第二定律判断下列哪种说法是正确的 ( )

A. 热量能从高温物体传到低温物体，但不能从低温物体传到高温物体

B. 功可以全部变为热，但热不能全部变为功

C. 气体能够自由膨胀，但不能自由压缩

D. 有规则运动的能量能变为无规则运动的能量。但是，无规则运动的能量不能变为有规则运动的能量

8. 下列说法中不正确的是 ( )

A. 一切与热现象有关的实际宏观过程都是不可逆的

B. 自然界中各种不可逆的过程是相互关联的，即由某一过程的不可逆性，可推断另一过程的不可逆性

C. 功可以全部转化为热，热也可以全部转化为功，而不借助外界的帮助

D. 热机的效率不可能达到 100%

9. 下列说法正确的是 ( )

A. 自然界发生的过程一定是不可逆过程

B. 不可逆过程一定是自发过程

C. 熵增加的过程一定是自发过程。

D. 平衡态熵最大

10. 热力学第一定律和第二定律表明，对于实际热力过程 ( )

A. 能量守恒，可用能也守恒

B. 能量守恒，可用能增加

C. 能量守恒，可用能减少

D. 能量减少，可用能也减少

11. 1mol 理想气体从初态  $p_1$ 、 $V_1$  绝热自由膨胀到终态  $p_2$ 、 $V_2$ ，已知： $V_2 = 2V_1$ ，则气体熵的增变为 ( )

A. 5.76 J/K

B. 5.00 J/K

C. 57.6 J/K

D. 2.51 J/K

12. 一摩尔单原子理想气体从初态 ( $p_1$ 、 $V_1$ 、 $T_1$ ) 准静态绝热压缩至体积为  $V_2$ ，其熵 ( )

A. 增大

B. 减小

C. 不变

D. 不能确定

13. 热量  $Q$  ( $Q > 0$ ) 从高温热源传到低温热源, 设高温热源的温度为  $T_1$ , 低温热源的温度为  $T_2$ 。则该过程前后熵的变化为 ( )

- A.  $\frac{Q}{T_2} + \frac{Q}{T_1}$       B.  $\frac{Q}{T_2} - \frac{Q}{T_1}$       C.  $\frac{Q}{T_1} - \frac{Q}{T_2}$       D. 0

14. 一台工作于温度分别为  $327^\circ\text{C}$  和  $27^\circ\text{C}$  的高温热源与低温热源之间的卡诺热机, 每经历一个循环吸热  $2000\text{ J}$ , 则对外做功 ( )

- A.  $2000\text{ J}$       B.  $1000\text{ J}$       C.  $4000\text{ J}$       D.  $500\text{ J}$

15. 一定量的气体作绝热自由膨胀, 设其热力学能增量为  $\Delta E$ , 熵增量为  $\Delta S$ , 则应有 ( )

- A.  $\Delta E < 0$     $\Delta S = 0$       B.  $\Delta E < 0$     $\Delta S > 0$   
 C.  $\Delta E < 0$     $\Delta S > 0$       D.  $\Delta E = 0$     $\Delta S > 0$

## 习题解析

1. 【答案】A。解析：等温过程  $A=Q$ , 热量能完全变为功, (1) 错误; 在卡诺循环中, 热量从冷源向高温物体传递, (3) 错误; 由卡诺定理可知: 一切热机效率都只能够小于 1; 4、热力学第二定律表明: 热量从高温物体向低温物体传递是不可逆的。

2. 【答案】A。解析：等温膨胀过程, 热可以完全转变为功。

3. 【答案】D。解析：孤立系统中的一切自发宏观过程总是沿着熵增大的方向进行。

4. 【答案】B。解析：本题主要考查对热力学第二定律的理解。

5. 【答案】C。解析：热力学第二定律指明了热力学过程的方向性和条件。

6. 【答案】D。解析：对于 A, 两物体 A、B 的温度分别为  $T_A$ 、 $T_B$ , 且  $T_A > T_B$ , 两物体接触后, 热量  $dQ$  从 A 传向 B, 传热过程的熵变为  $dS = dQ(1/T_B - 1/T_A)$ , 因此两个物体温度差值越大, 熵变越大, 对传热越不利; 对于 B, 孤立系统的熵一定增加, 而如果一个系统与外界有物质或者能量的交换, 该系统的熵可以减少; 对于 C, 热机可以将热能变为机械功, 这就是将无规则运动的能量变为有规则运动的能量。

7. 【答案】C。解析：根据热力学第二定律不可逆性, 气体不回自由压缩, 故 C 正确。第二定律指出: 热量不能自动地从低温物体传到高温物体; 在等

温过程中，热能全部变为功。应该排除；无规则运动的能量能变为有规则运动的能量，如蒸汽做功。

8. 【答案】C。解析：根据热力学第二定律的开尔文表述，知 C 选项表述错误。

9. 【答案】A。解析：热力学第二定律表明：自然界中进行的涉及热现象的宏观过程都具有方向性，是不可逆的。对于 B，做了非体积功发生的过程不是自发过程；对于 C，举反例：自由膨胀过程。对于 D，平衡态熵最大的成立需要条件，在隔离体系中是对的。

10. 【答案】C。解析：本题主要考查对热力学第二定律中热功转换知识点的理解。

11. 【答案】A。解析：理想气体绝热对外自由膨胀是一个不可逆过程，故不能利用可逆过程的熵增公式  $\Delta S = \int dQ/T$  来求。但熵是个态函数，所以可以找到一个始、末状态一样的可逆过程来计算熵变。因理想气体绝热对外自由膨胀后内能不变，也即温度不变，所以可设计一个准静态等温过程来算熵增，所以：

$$\Delta S = \nu C_{V,m} \ln T_2/T_1 + \nu R \ln V_2/V_1 = 5.76 \text{ J/K}。$$

12. 【答案】C。解析：准静态过程是可逆过程，又是绝热过程， $\Delta S = \int \frac{dQ}{T} = 0$ 。

13. 【答案】B。解析：设想一个可逆的传热过程，从高温热源  $T_1$  取走热量  $Q$ ；也有另一可逆过程向低温热源  $T_2$  放出热量  $Q$ 。经上述第一个可逆过程后热源  $T_1$  的熵变为： $\Delta S_1 = -\frac{Q}{T_1}$  而经上述第二个可逆过程后热源  $T_2$  的熵变为： $\Delta S_2 = \frac{Q}{T_2}$  所以

$$\text{两个热源的总熵变为：} \Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = \frac{Q}{T_2} - \frac{Q}{T_1}。$$

14. 【答案】B。解析：卡诺热机的效率为  $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ ， $\eta = \frac{W}{Q}$ ，可求得  $\eta = 1 - \frac{300}{600} = 50\%$ ，则  $W = \eta Q = 1000 \text{ J}$ 。

15. 【答案】D。解析：由上题分析知： $\Delta E = 0$ ；而绝热自由膨胀过程是孤立系统中的不可逆过程，故熵增加。