

# 蜂考速成课

## 《气体与热力学》

### 版权声明：

内容来自蜂考原创，讲义笔记和相关图文均有著作权，视频课程已申请版权，登记号：苏作登字-2020-I-00142521，根据《中华人民共和国著作权法》、《中华人民共和国著作权法实施条例》、《信息网络传播权保护条例》等有关规定，如有侵权，将根据法律法规提及诉讼。

## 课时一 气体动理论（一）

考点	重要程度	占分	常见题型
1. 状态方程	★★★★★	2~4	选择、填空
2. 内能	★★★★★	2~4	

### 1. 状态方程

#### 理想气体分子模型

- (1) 忽略分子内部的结构和大小；
- (2) 除碰撞瞬间外，分子间的相互作用力可忽略不计；
- (3) 分子间及分子与容器间的碰撞是完全弹性的。

#### 理想气体状态方程：

$$\textcircled{1} PV = \frac{m}{M} RT \quad \text{普适气体常量：} R = 8.31 J / (mol \cdot K)$$

$$\textcircled{2} P = nkT \quad \text{单位体积分子数：} n = \frac{N}{V} \quad \text{玻尔兹曼常数：} k = 1.38 \times 10^{-23} J/K$$

#### 常识：

1. 热力学温标： $T$       摄氏温标： $t$

$$T = 273 + t$$

2. 标准大气压： $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$

3. 标准状态： $P = 1 \text{ atm} \quad T = 273 \text{ K}$

#### 常见气体摩尔质量

氢气： $H_2$        $2 \text{ g/mol}$

氖气： $Ne$        $20 \text{ g/mol}$

氦气： $He$        $4 \text{ g/mol}$

氮气： $N_2$        $28 \text{ g/mol}$

氧气： $O_2$        $32 \text{ g/mol}$

题 1. 理想气体是一种简单的气体模型，从微观角度而言，该模型（ ）

- A. 只考虑气体分子间的引力作用      B. 既考虑气体分子间的引力又考虑斥力作用  
C. 只考虑气体分子间的斥力作用      D. 除碰撞瞬间，忽略气体分子间的相互作用

答案：D

题 2. 容器内装有氧气，其质量为  $0.10 \text{ kg}$ ，压强为  $10 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，温度为  $47^\circ \text{C}$ 。问容器的容积有多大？

$$\text{解：由 } PV = \frac{m}{M} RT \text{ 得，} V = \frac{mRT}{MP} = \frac{0.1 \times 8.31 \times (47 + 273)}{32 \times 10^{-3} \times 10 \times 10^5} = 8.31 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$



题 3. 两个体积不等的容器，分别储有氦气和氧气，若它们的压强相同，温度相同，则下列各量中相同的是 ( )

- A. 单位体积中的分子数  
B. 单位体积中的分子内能  
C. 单位体积中的气体质量  
D. 容器中的分子总数

答案：A 由  $P = nkT$ ， $P$  和  $T$  都相同  $\Rightarrow n$  也相同

## 2. 内能

题 1. 理想气体分子的平均平动动能为 ( )

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

答案：B

自由度

单原子  $i = 3$

双原子  $i = 5$

多原子  $i = 6$

题 2.  $1\text{mol}$  刚性双原子分子理想气体，当温度为  $T$  时，其内能为 ( )

- A.  $\frac{5}{2}RT$  B.  $\frac{3}{2}kT$  C.  $\frac{3}{2}RT$  D.  $\frac{5}{2}kT$

答案：A  $E = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{5}{2} \times 1 \times RT = \frac{5}{2} RT$

题 3. 当温度为  $27^\circ\text{C}$  时，可将氧气分子视为刚性分子，在此温度下，求：

①分子平均平动动能？②分子平均转动动能？③  $0.032\text{kg}$  氧气的内能？

解：  $T = (27 + 273)\text{K} = 300\text{K}$ ， $i = 5$

$$\text{① } \bar{\varepsilon}_{\text{平}} = \frac{3}{2}kT = \frac{3}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300\text{J} = 6.21 \times 10^{-21}\text{J}$$

$$\text{② } \bar{\varepsilon}_{\text{转}} = \frac{i-3}{2}kT = \frac{2}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300\text{J} = 4.14 \times 10^{-21}\text{J}$$

$$\text{③ } E = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{5}{2} \times \frac{0.032}{32 \times 10^{-3}} \times 8.31 \times 300 = 6.23 \times 10^3\text{J}$$

题 4. 一瓶氦气和一瓶氮气密度相同，分子平均平动动能相同，而且它们都处于平衡状态，则它们 ( )

- A. 温度相同，但氦气的压强大于氮气的压强  
B. 温度相同，压强相同  
C. 温度相同，但氮气的压强小于氦气的压强  
D. 温度压强都不同

答案：A. 由  $\bar{\varepsilon} = \frac{3}{2}kT$  可知， $T$  相同。由  $PV = \frac{m}{M}RT \Rightarrow P = \frac{m}{V} \frac{RT}{M} = \rho \frac{RT}{M} \Rightarrow P_{\text{He}} > P_{\text{N}_2}$



题 5. 一定量单原子分子构成的理想气体, 当其体积为  $V$ , 压强为  $P$  时, 其内能  $E =$  \_\_\_\_\_。

解: 内能  $E = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT$  由  $PV = \frac{m}{M} RT \Rightarrow E = \frac{i}{2} PV = \frac{3}{2} PV$

## 课时一 练习题

1. 理想气体的状态方程\_\_\_\_\_。

2. 一定量的氢气 (视为刚性分子理想气体) 处于温度为  $T$  的平衡状态下, 其中每个分子的平均动能为 ( )。

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

3.  $1\text{mol}$  氧气 (视为刚性双原子分子的理想气体) 贮于一氧气瓶中, 温度为  $27^\circ\text{C}$ , 分子的平均总动能为\_\_\_\_\_  $J$ , 气体的内能为\_\_\_\_\_  $J$ 。

4. 一容器内储有氦气 (单原子分子), 其压强  $P = 10^5 \text{ Pa}$ , 温度为  $T = 300\text{K}$ , 求容器内氦气的: ①分子数密度; ②分子的平均动能。

5.  $4\text{mol CO}_2$  气体 (视为刚性多原子分子理想气体) 贮于一气瓶中, 温度为  $27^\circ\text{C}$ , 这瓶气体的内能为\_\_\_\_\_  $J$ , 分子的平均平动动能为\_\_\_\_\_  $J$ 。(摩尔气体常量  $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  波尔兹曼常量  $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ )

6. 温度, 压强相同的氦气和氧气, 它们分子的平均能量  $\bar{\varepsilon}$  和平均平动动能  $\bar{\varepsilon}_{kx}$  有如下关系 ( )。

A.  $\bar{\varepsilon}$  和  $\bar{\varepsilon}_{kx}$  都相等      B.  $\bar{\varepsilon}$  相等, 而  $\bar{\varepsilon}_{kx}$  不相等  
C.  $\bar{\varepsilon}_{kx}$  相等, 而  $\bar{\varepsilon}$  不相等      D.  $\bar{\varepsilon}_{kx}$  和  $\bar{\varepsilon}$  都不相等

7. 两瓶不同种类的理想气体, 它们的温度相同, 压强也相同, 但体积不同, 则他们分子的平均平动动能\_\_\_\_\_, 单位体积内分子的总平动动能\_\_\_\_\_。(填“相同”或“不同”)

8. 两瓶不同种类的理想气体, 它们分子的平均平动动能相同, 但气体的分子数密度不同, 则它们的 ( )。

A. 温度相同, 压强也相同      B. 温度相同, 压强不同  
C. 温度不同, 压强也不同      D. 温度不同, 压强相同



## 课时二 气体动理论（二）

考点	重要程度	占分	常见题型
1. 速度分布函数	★★★★	2~10	选择、填空为主，偶尔大题
2. 三种常用速率	★★★★	0~2	选择、填空

### 1. 速度分布函数

归一性：  $\int_0^{+\infty} f(v)dv = 1$

常见函数表示的意义：

①  $\int_{v_1}^{v_2} f(v)dv$  表示  $v_1 \sim v_2$  间分子数占总分子数百分比

②  $f(v)dv$  表示  $v \sim v+dv$  间分子数占总分子数百分比

③  $\int_{v_1}^{v_2} Nf(v)dv$  表示  $v_1 \sim v_2$  间分子数

④  $f(v)$  表示速率  $v$  在附近单位速率间隔内的分子数占总分子数的百分比

题 1. 在麦克斯韦速率分布率中，速率分布函数  $f(v)$  的意义可以理解为（ ）。

- A. 速率为  $v$  的分子数
- B. 速率在  $v$  附近的单位速率区间内的分子数
- C. 速率等于  $v$  的分子占总分子数的比率
- D. 速率在  $v$  附近的单位速率区间的分子数占总分子数的比率

答案：D

题 2. 用气体分子总数  $N$ ，速率  $v$  和速率分布函数  $f(v)$  表示下列各量：

(1)  $0 \sim v_p$  范围内的分子数：\_\_\_\_\_

(2) 归一化条件\_\_\_\_\_

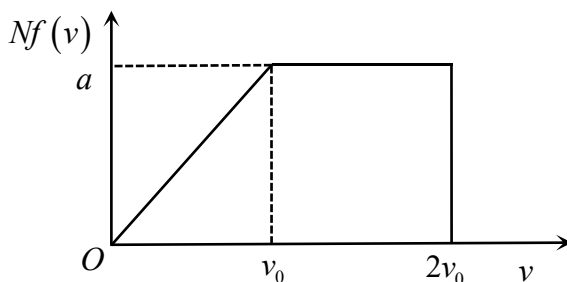
解： (1)  $\int_0^{v_p} Nf(v)dv$

(2)  $\int_0^{+\infty} f(v)dv = 1$



题 3. 有  $N$  个假想的气体分子，其速率分布如图所示（当  $v > 2v_0$  时，分子数为零），试求：

- (1) 写出分布函数  $f(v)$  的表达式
- (2) 由  $N$  和  $v_0$  求  $a$  值
- (3) 速率在  $1.5v_0 \sim 2.0v_0$  的分子数
- (4) 分子的平均速率和方均根速率



解：(1)  $0 \leq v < v_0$  时  $Nf(v) = \frac{a}{v_0}v \Rightarrow f(v) = \frac{a}{Nv_0}v$

$v_0 \leq v \leq 2v_0$  时  $Nf(v) = a \Rightarrow f(v) = \frac{a}{N}$

$2v_0 < v$  时  $Nf(v) = 0 \Rightarrow f(v) = 0$

$$\Rightarrow f(v) = \begin{cases} \frac{a}{Nv_0}v & 0 \leq v < v_0 \\ \frac{a}{N} & v_0 \leq v \leq 2v_0 \\ 0 & 2v_0 < v \end{cases}$$

(2) 由  $\int_0^{+\infty} f(v) dv = 1$  得， $\int_0^{v_0} \frac{a}{Nv_0}v dv + \int_{v_0}^{2v_0} \frac{a}{N} dv = 1$

$$\frac{av_0}{2N} + \frac{av_0}{N} = 1 \Rightarrow a = \frac{2N}{3v_0}$$

(3) 速率在  $1.5v_0 \sim 2.0v_0$  的概率为  $P = \frac{1}{3}$  则分子数  $\Delta N = \frac{N}{3}$

(4) 由  $a = \frac{2N}{3v_0}$

$$f(v) = \begin{cases} \frac{2v}{3v_0^2} & 0 \leq v < v_0 \\ \frac{2}{3v_0} & v_0 \leq v \leq 2v_0 \\ 0 & 2v_0 < v \end{cases}$$

$$\bar{v} = \int_0^{+\infty} vf(v)dv = \int_0^{v_0} v \frac{2v}{3v_0^2} dv + \int_{v_0}^{2v_0} v \frac{2}{3v_0} dv = \frac{2}{9}v_0 + v_0 = \frac{11}{9}v_0$$

$$\overline{v^2} = \int_0^{+\infty} v^2 f(v)dv = \int_0^{v_0} v^2 \frac{2v}{3v_0^2} dv + \int_{v_0}^{2v_0} v^2 \frac{2}{3v_0} dv = \frac{1}{6}v_0^2 + \frac{14}{9}v_0^2 = \frac{31}{18}v_0^2$$

方均根速率  $\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{31}{18}v_0^2} = \sqrt{\frac{31}{18}}v_0$



## 2. 三种常用速率

题 1. 某气体在温度为  $T = 273K$  时, 压强为  $P = 1.0 \times 10^{-2} atm$ , 密度为  $\rho = 1.24 \times 10^{-2} kg/m^3$ , 则该

气体分子的方均根速率为 \_\_\_\_\_  $m/s$ 。 ( $1 atm = 1.013 \times 10^5 Pa$ )

解: 由  $PV = \frac{m}{M}RT \Rightarrow M = \frac{mRT}{PV} = \frac{\rho RT}{P}$

$$\text{方均根速率 } \sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{3RT \cdot \frac{P}{\rho RT}} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$$

$$= \sqrt{\frac{3 \times 1 \times 10^{-2} \times 1.013 \times 10^5}{1.24 \times 10^{-2}}} = 495 m/s$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$$

$$\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

$$v_p = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$$

题 2. 图示的两条曲线分别表示氢气和氧气在同一温度下的麦克斯韦速率分布曲线, 由此可得

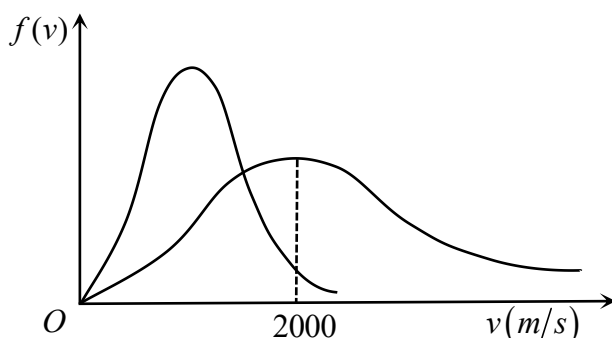
氢气分子的最概然速率为 \_\_\_\_\_  $m/s$ , 氧气分子的最概然速率 \_\_\_\_\_  $m/s$ 。

解: 由  $v_p = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$

氢气:  $2000 = \sqrt{\frac{2RT}{2 \times 10^{-3}}}$

氧气:  $v_p = \sqrt{\frac{2RT}{32 \times 10^{-3}}}$

解得:  $v_p = 500 m/s$



## 课时二 练习题

1. 已知  $f(v)$  是气体速率分布函数。  $N$  为总分子数,  $n$  为单位体积内的分子数。试说明以下各式的物理意义。

(1)  $Nf(v)dv$ ; (2)  $f(v)dv$ ; (3)  $\int_{v_1}^{v_2} Nf(v)dv$ ; (4)  $\int_{v_1}^{v_2} f(v)dv$ .

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

- A. 速率  $v$  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  $v$  附近,  $dv$  区间内的分子数的比率
- D. 单位时间内碰到单位面积器壁上, 速率在  $v \sim v + dv$  区间内的分子数



3.  $N$  个粒子的系统的速率分布函数为  $f(v) = \frac{dN}{Ndv} = C$  ( $0 < v < v_0$ ,  $c$  为常数)

- (1) 根据归一化条件定出常数  $C$ ;
- (2) 求粒子的平均速率和方均根速率。

4. 将讲义 1-题 3 再做一遍。

5. 一容器内装有一定量的氧气, 可视为理想气体。温度  $T = 300K$ , 压强  $P = 1.013 \times 10^5 Pa$ , 则氧气分子热运动的方均根速率为 \_\_\_\_\_  $m/s$  ( $R = 8.31 J/(mol \cdot K)$ )

6. 气体分子的麦克斯韦分布速率函数为  $f(v) = 4\pi \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-(mv^2/2kT)} v^2$ , 则气体分子的最概然速率为 ( )

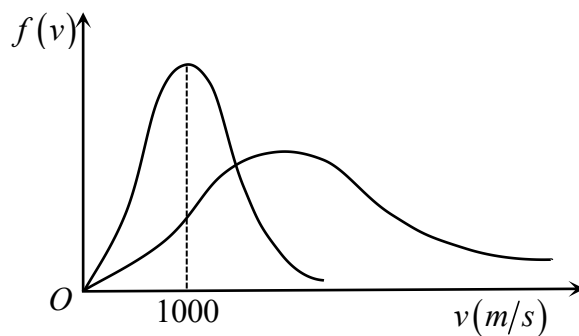
A.  $\sqrt{\frac{2RT}{M}}$

B.  $\sqrt{\frac{3RT}{M}}$

C.  $\sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$

D.  $\sqrt{2\pi MRT}$

7. 图示的两条曲线分别表示氢气和氮气在同一温度下的分子速率分布情况, 由图可知氮气分子的最概然速率为 \_\_\_\_\_, 氢气分子的最概然速率为 \_\_\_\_\_。





## 课时三 热力学第一定律（一）

考点	重要程度	占分	常见题型
1. 热力学第一定律	必考	5~10	填空/大题
2. 等体过程			
3. 等压过程			
4. 等温过程			
5. 绝热过程			

### 1. 热力学第一定律

热力学第一定律： $Q = E_2 - E_1 + A$

① 内能增量： $\Delta E = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$

② 对外做功： $A = P(V_2 - V_1) = \int_{V_1}^{V_2} P dV$

③  $Q > 0$  系统吸热                       $Q < 0$  系统放热

$\Delta E > 0$  内能增加                       $\Delta E < 0$  内能减少

$A > 0$  系统对外做正功       $A < 0$  系统对外做负功

题 1. 一系统吸热为  $Q$ ，内能增加  $\Delta E$ ，同时对外做功  $W$ ，则下列等式正确的是（ ）。

A.  $W = \Delta E + Q$       B.  $\Delta E = Q - W$       C.  $W = \Delta E - Q$       D.  $Q + \Delta E + W = 0$

答案： B. 由  $Q = \Delta E + W \Rightarrow \Delta E = Q - W$

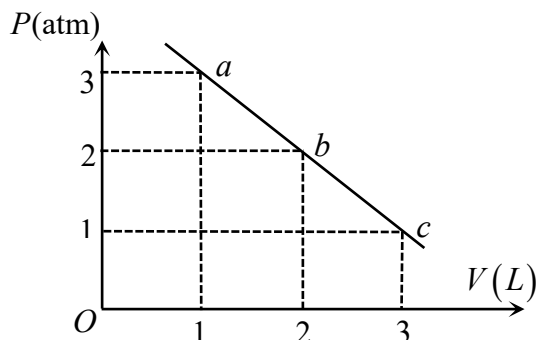
题 2. 一定量的理想气体，由状态  $a$  经  $b$  到达  $c$ （如图  $abc$  为一直线）求：此过程中

(1) 气体对外做的功；(2) 气体内能的增量；(3) 气体吸收的热量 ( $1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ )

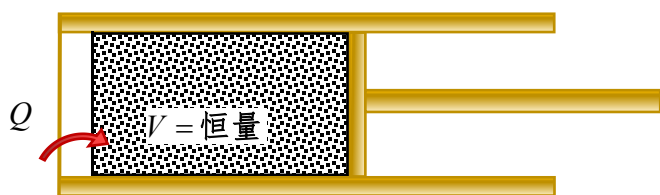
解：(1)  $A = \frac{1}{2} \times (3+1) \times 1.013 \times 10^5 \times (3-1) \times 10^{-3} = 405.2 \text{ J}$

(2)  $\Delta E = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R(T_2 - T_1) = \frac{i}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) = 0$

(3)  $Q = \Delta E + A = 0 + 405.2 = 405.2 \text{ J}$



## 2. 等体过程

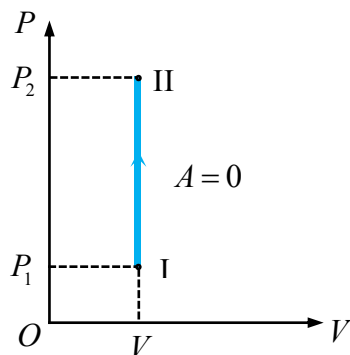


特征：  $V$  不变  $\frac{P}{T} = C$  (常量)

做功：  $A = 0$

内能：  $\Delta E = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R (T_2 - T_1)$

吸热：  $Q = \Delta E$



摩尔定体热容：  $C_V = \frac{i}{2} R$

内能：  $\Delta E = \frac{m}{M} C_V (T_2 - T_1)$

题 1.  $1\text{mol}$  的单原子理想气体，温度从  $300\text{K}$  升高到  $500\text{K}$ ，体积保持不变，问气体对外做功？  
气体内能增加了多少？气体吸收了多少热量？

解：等体过程

$$A = 0$$

$$\Delta E = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \times 1 \times 8.31 \times (500 - 300) = 2493\text{J}$$

$$Q = \Delta E = 2493\text{J}$$

题 2. 两个相同的刚性容器，一个盛氢气，一个盛氦气，（均视为刚性分子理想气体）。开始时它们的压强和温度都相同，现将  $3\text{J}$  热量传给氦气，使之升高到一定温度。若使氢气也升高到同样的温度，则应向氢气传递热量为（ ）。

- A.  $7\text{J}$       B.  $3\text{J}$       C.  $5\text{J}$       D.  $15\text{J}$

答案 C.

解：开始时：  $P, V, T$  都相同

$$\text{由 } PV = \frac{m}{M} RT \Rightarrow \text{摩尔数 } \frac{m}{M} \text{ 相同}$$

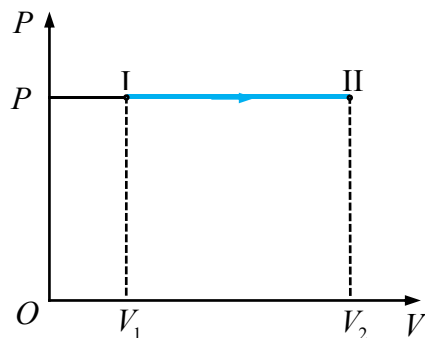
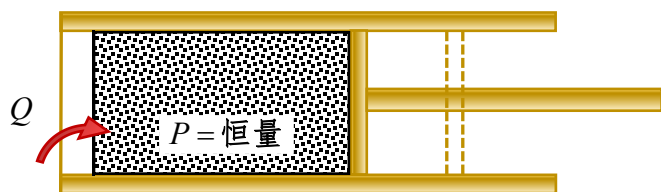
$$\text{由等体过程: } Q = \Delta E = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R (T_2 - T_1)$$

$$\text{氦气: } 3 = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T$$

$$\text{氢气: } Q = \frac{5}{2} \frac{m}{M} R \Delta T \Rightarrow Q = 5\text{J}$$



## 3. 等压过程



特征：  $P$  不变，  $\frac{V}{T} = C$  (常量)

做功：  $A = P(V_2 - V_1) = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$

内能：  $\Delta E = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$

吸热：  $Q = \frac{i+2}{2} \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$

注意：

做功：  $A$  内能：  $\Delta E = \frac{i}{2} A$  吸热：  $Q = \frac{i+2}{2} A$

摩尔定压热容：  $C_p = C_v + R = \frac{i+2}{2} R$

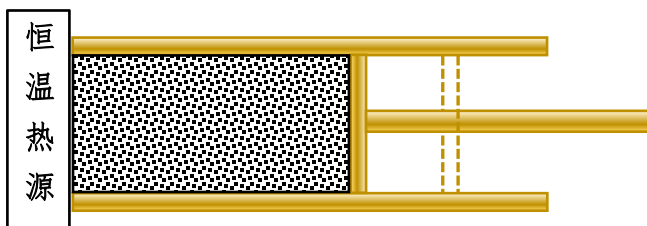
题 1. 在等压过程中，  $0.28\text{kg}$  氮气从温度  $293\text{K}$  膨胀到  $373\text{K}$ ， 请问对外做功和吸热多少？ 内能改变多少？

解：  $A = P(V_2 - V_1) = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1) = \frac{0.28}{28 \times 10^{-3}} \times 8.31 \times (373 - 293) = 6.65 \times 10^3 \text{ J}$

$\Delta E = \frac{i}{2} A = \frac{5}{2} \times 6.65 \times 10^3 = 1.66 \times 10^4 \text{ J}$

$Q = \frac{i+2}{2} A = \frac{5+2}{2} \times 6.65 \times 10^3 = 2.33 \times 10^4 \text{ J}$

## 4. 等温过程

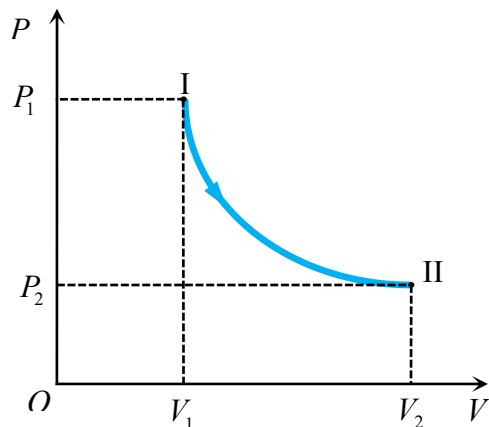


特征：  $T$  不变  $PV = C$  (常量)

做功：  $A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{P_1}{P_2}$

内能：  $\Delta E = 0$

吸热：  $Q = A$



题 1. 一定量的刚性理想气体在标准状态下体积为  $1 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ ，等温膨胀到体积为  $2 \times 10^{-2} \text{ m}^3$  时，求系统对外做功，气体内能变化以及吸收的热量。

解：等温过程， $T$  不变， $P_1 V_1 = P_2 V_2 = \frac{m}{M} RT$

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = 1.013 \times 10^5 \times 1 \times 10^{-2} \ln \frac{2 \times 10^{-2}}{1 \times 10^{-2}} = 702 \text{ J}$$

$$\Delta E = 0$$

$$Q = \Delta E + A = 702 \text{ J}$$

## 5. 绝热过程

特征：  $Q = 0$

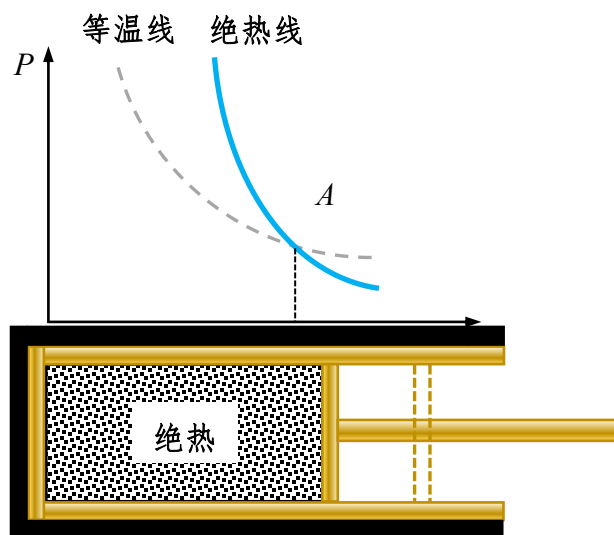
$$\gamma = \frac{i+2}{i}$$

$$PV^\gamma = C_1, \quad V^{\gamma-1}T = C_2, \quad \frac{P^{\gamma-1}}{T^\gamma} = C_3$$

$$\text{做功： } A = \frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{\gamma - 1}$$

$$\text{内能： } \Delta E = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R (T_2 - T_1)$$

$$\text{吸热： } Q = 0 \Rightarrow A = -\Delta E$$



题 1. 有  $1 \text{ mol}$  刚性多原子分子的理想气体，原来的压强为  $1.0 \text{ atm}$ ，温度为  $27^\circ \text{C}$ ，若经过一绝热过程，使其压强增加到  $16 \text{ atm}$ ，试求：

(1) 气体内能的增量：

(2) 在该过程中气体所做的功。

解：(1) 刚性多原子分子  $i = 6$   $\gamma = \frac{i+2}{i} = \frac{4}{3}$

$$\text{由 } \frac{P_1^{\gamma-1}}{T_1^\gamma} = \frac{P_2^{\gamma-1}}{T_2^\gamma} \Rightarrow T_2 = T_1 \cdot \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 300 \times \left( \frac{16}{1} \right)^{\frac{1}{4}} = 600 \text{ K}$$

$$\Delta E = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R (T_2 - T_1) = \frac{6}{2} \times 1 \times 8.31 \times (600 - 300) = 7479 \text{ J}$$

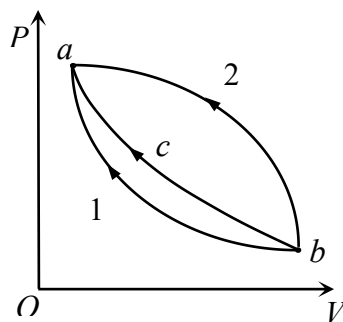
$$(2) A = -\Delta E = -7479 \text{ J}$$



题 2. 如下图所示,  $bca$  为理想气体绝热过程,  $b1a$  和  $b2a$  是任意过程, 则上述两过程中气体做功与吸收热量的情况是 ( )。

- A.  $b1a$  过程放热, 作负功,  $b2a$  过程放热, 作负功  
 B.  $b1a$  过程吸热, 作负功,  $b2a$  过程放热, 作负功  
 C.  $b1a$  过程吸热, 作正功,  $b2a$  过程吸热, 作负功  
 D.  $b1a$  过程放热, 作正功,  $b2a$  过程吸热, 作正功

答案: B. (涉及动画演示, 详情见视频课程)



过程	特征	过程方程	吸收热量	对外做功	内能增量
等体	$V = \text{常量}$	$\frac{P}{T} = \text{常量}$	$\frac{i}{2} \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$	0	$\frac{i}{2} \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$
等压	$P = \text{常量}$	$\frac{V}{T} = \text{常量}$	$\frac{i+2}{2} \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$	$P(V_2 - V_1)$ 或 $\frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$	$\frac{i}{2} \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$
等温	$T = \text{常量}$	$T = \text{常量}$	$\frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ 或 $\frac{m}{M} RT \ln \frac{P_1}{P_2}$	$\frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ 或 $\frac{m}{M} RT \ln \frac{P_1}{P_2}$	0
绝热	$Q = 0$	$PV^\gamma = \text{常量}$ $V^{\gamma-1}T = \text{常量}$ $\frac{P^{\gamma-1}}{T^\gamma} = \text{常量}$	0	$A = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{\gamma - 1}$	$\frac{i}{2} \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$



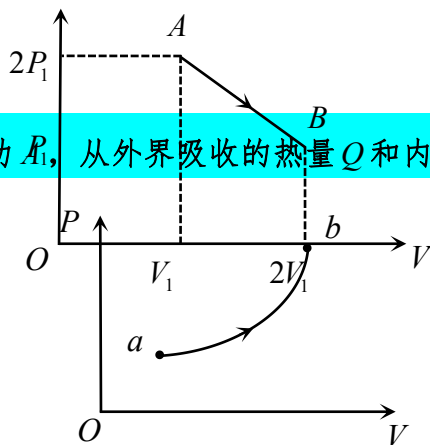
## 课时三 练习题

1. 一气缸内储有  $10\text{mol}$  的单原子理想气体，在压缩过程中，外力做功  $200\text{J}$ ，气体温度升高  $1^\circ\text{C}$ ，试计算：

(1) 气体内能的增量；(2) 气体所吸收的热量；

2. 一气缸储有  $1\text{mol}$  的单原子分子理想气体，在压缩过程中外界做功  $\frac{R}{2}$ ，气体升温  $1\text{K}$ ， $R$  是普适性常量，此过程中气体内能增量为\_\_\_\_\_，外界传给气体的热量为\_\_\_\_\_。

3. 一定量理想气体，从  $A$  状态  $(2P_1, V_1)$  经历如图所示的直线过程到  $B$  状态  $(P_1, 2V_1)$ ，则  $AB$  过程中系统做功  $A = \underline{\hspace{2cm}}$ ，内能改变  $\Delta E = \underline{\hspace{2cm}}$ 。



4. 理想气体经历如图所示  $ab$  平衡过程，则该系统对外做功  $A$ ，从外界吸收的热量  $Q$  和内能的增量  $\Delta E$  的正负情况为 ( )

- A.  $A > 0, Q > 0, \Delta E > 0$       B.  $A < 0, Q < 0, \Delta E < 0$   
C.  $A > 0, Q < 0, \Delta E > 0$       D.  $A > 0, Q > 0, \Delta E < 0$

5. 在等容过程中，系统对外不做功，系统由外界吸收的热量全部用来增加系统的内能。( )

6. 两个相同的刚性容器，一个盛有氦气，一个盛有氢气，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，如果使氦气也升高相同的温度，则应向氦气传递的热量是 ( )

- A.  $6\text{J}$       B.  $5\text{J}$       C.  $3\text{J}$       D.  $2\text{J}$

7. 处于平衡态  $A$  的一定量的理想气体，若经准静态等体过程到平衡态  $B$ ，将从外界吸收热量  $468\text{J}$  若经另一准静态过程到与平衡态  $B$  有相同温度的平衡态  $C$ ，气体对外界做功  $218\text{J}$ 。那么从平衡态  $A$  到平衡态  $C$  的准静态过程中气体吸热为\_\_\_\_\_。

8.  $1\text{mol}$  的单原子理想气体，温度从  $300\text{K}$  升高到  $350\text{K}$ ，压强保持不变，问：气体对外做了多少功？气体内能增加了多少？吸取了多少能量？



9. 对于室温下的双原子分子理想气体，已知  $C_V = 5R/2$ ，在等压膨胀的情况下，系统对外所做的功与从外界吸收的热量之比  $A/Q$  等于（ ）

- A.  $2/7$       B.  $2/5$       C.  $1/4$       D.  $1/3$

10. 压强、体积和温度都相同（常温条件下）的氧气和氮气分别在等压过程中吸收了相等的热量，它们对外做功之比为（ ）

- A. 1:1      B. 5:9      C. 5:7      D. 9:5

11. 理想气体在等温膨胀过程中（ ）

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

12. 将体积为  $1.0 \times 10^{-4} m^3$ ，压强为  $1.01 \times 10^5 Pa$  的氢气绝热压缩，使其体积变为  $2.0 \times 10^{-5} m^3$ ，求压缩过程中气体所做的功。

13.  $4 mol$  的氧气在  $300 K$  时的体积为  $0.1 m^3$ ，经过准静态绝热膨胀过程，体积变为  $0.5 m^3$ ，则温度变为\_\_\_\_\_，在该过程中氧气对外所做的功为\_\_\_\_\_。



## 课时四 热力学第一定律（二）

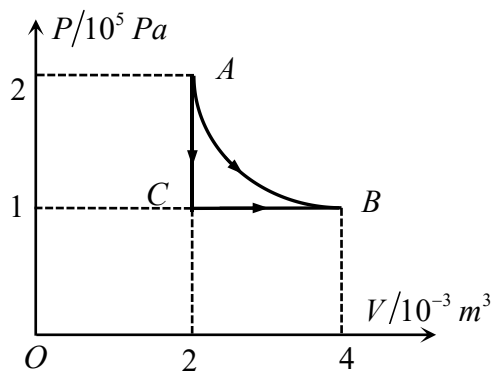
考点	重要程度	占分	常见题型
1. 热力学第一定律	必考	5~10	填空、大题
2. 等体过程			
3. 等压过程			
4. 等温过程			
5. 绝热过程			

### 1. 热力学第一定律

1. 如图所示，使  $1\text{mol}$  氧气（1）由  $A$  等温变化到  $B$ （2）由  $A$  等体变化到  $C$ （3）再由  $C$  等压变化到  $B$ ，分别计算这三个过程氧气所做的功和吸收的热量。

解：（1） $A \rightarrow B$  等温： $\Delta E=0$

$$\begin{aligned}
 \text{由 } Q = A &= \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \\
 &= 2 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3} \times \ln \frac{4 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-3}} = 277.3 \text{ J}
 \end{aligned}$$



（2） $A \rightarrow C$  等体： $A=0$

$$\begin{aligned}
 Q = \Delta E &= \frac{i}{2} \frac{m}{M} R (T_2 - T_1) \\
 &= \frac{i}{2} (P_2 V - P_1 V) = \frac{5}{2} \times (1 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3} - 2 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3}) \\
 &= -500 \text{ J}
 \end{aligned}$$

（3） $C \rightarrow B$  等压

$$\begin{aligned}
 A &= P(V_2 - V_1) = 1 \times 10^5 \times (4 \times 10^{-3} - 2 \times 10^{-3}) = 200 \text{ J} \\
 Q &= \frac{i+2}{2} A = \frac{5+2}{2} \times 200 = 700 \text{ J}
 \end{aligned}$$





题 2. 一定量的单原子分子理想气体，从状态  $A$  出发经等压过程膨胀到  $B$  态，又经绝热过程膨胀到  $C$  态，如图所示。试求这全过程中气体对外所做的功，内能的增量以及吸收的热量。

解：由  $PV = \frac{m}{M}RT \Rightarrow T_A = T_C$ ，故  $\Delta E = 0$

$A \rightarrow B$  等压

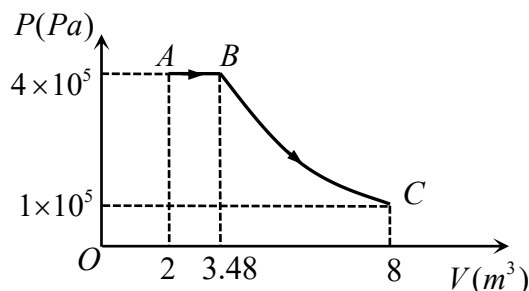
$$A_1 = P(V_2 - V_1) = 4 \times 10^5 \times (3.48 - 2) = 5.92 \times 10^5 J$$

$$B \rightarrow C \text{ 绝热 } i=3, \gamma = \frac{i+2}{i} = \frac{5}{3}$$

$$A_2 = \frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{\gamma - 1} = \frac{4 \times 10^5 \times 3.48 - 1 \times 10^5 \times 8}{\frac{5}{3} - 1} = 8.88 \times 10^5 J$$

$$A = A_1 + A_2 = 5.92 \times 10^5 + 8.88 \times 10^5 = 1.48 \times 10^6 J$$

$$Q = A + \Delta E = 1.48 \times 10^6 J$$



题 3. 理想气体经历如图所示的  $abc$  平衡过程，则该系统对外做功  $W$ ，从外界吸收的热量  $Q$  和内能的增量  $\Delta E$  的正负情况如下（ ）。

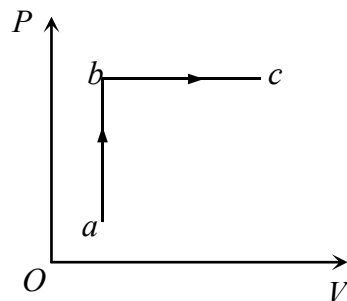
A.  $\Delta E > 0$   $Q > 0$   $W < 0$       B.  $\Delta E > 0$   $Q > 0$   $W > 0$

C.  $\Delta E > 0$   $Q < 0$   $W < 0$       D.  $\Delta E < 0$   $Q < 0$   $W < 0$

答案：B. 由图像知： $W > 0$

$$\text{由 } PV = \frac{m}{M}RT \Rightarrow T_c > T_a \Rightarrow \Delta E > 0$$

$$Q = \Delta E + W > 0$$



题 4. 质量一定的理想气体从相同状态出发，分别经历等温过程，等压过程，和绝热过程，使其体积增加一倍，那么气体温度的改变（绝对值）在（ ）。

A. 绝热过程中最大，等压过程中最小      B. 绝热过程中最大，等温过程中最小

C. 等压过程中最大，绝热过程中最小      D. 等压过程中最大，等温过程中最小

答案：D. 等压  $\Delta E = \frac{i}{2} A_1$     等温  $\Delta E = 0$     绝热  $\Delta E = -A_2$

由图像可知  $A_1 > A_2$ ，所以等压过程下  $\Delta E$  变化最大

温度变化也最大，等温  $\Delta E = 0$  温度不改变。



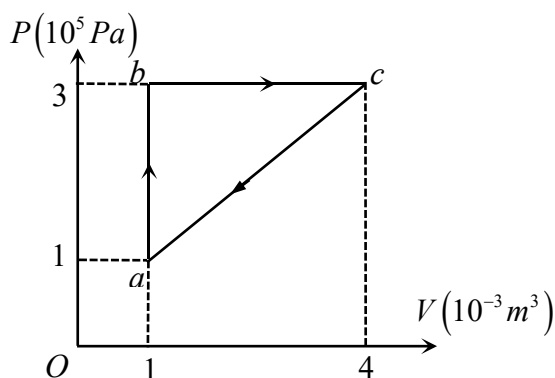
## 课时四 练习题

1.  $1\text{mol}$  的氦气（理想气体），温度为  $27^\circ\text{C}$ ，求：（ $\ln 2 = 0.693$   $\ln 3 = 1.099$   $\ln 5 = 1.609$ ）

- (1) 体积不变，升温至  $37^\circ\text{C}$ ，求其吸收的热量；
- (2) 压强不变，升温至  $37^\circ\text{C}$ ，求其吸收的热量；
- (3) 温度不变，压强降低为原来的一半，求其吸收的热量；
- (4) 不与外界交换热量，降温至  $17^\circ\text{C}$ ，求其对外界做的功。

2. 一定量的双原子分子理想气体进行如图所示的循环， $a \rightarrow b$  为等体过程， $b \rightarrow c$  为等压过程， $c \rightarrow a$  为一直线， $A, \Delta E, Q$  分别表示系统对外界所作的功，内能的改变量和从外界吸收的热量，求：

- (1)  $a \rightarrow b$  过程的  $A, \Delta E, Q$
- (2)  $b \rightarrow c$  过程的  $A, \Delta E, Q$
- (3)  $c \rightarrow a$  过程的  $A, \Delta E, Q$



3.  $1\text{mol}$  理想的甲烷气体，先经温度为  $T$  的等温过程，体积由  $V$  膨胀到  $2V$ ，接着再经历等体过程，（ $2V$  体积不变），温度降低一半。求全过程：

- (1) 气体所做的功；(2) 内能的变化量；(3) 吸收的热量。（ $R, T, V$  已知）

4. 汽缸内有  $2\text{mol}$  氦气，初始温度为  $27^\circ\text{C}$  体积为  $20\text{L}$ ，先将氦气等压膨胀，直到体积加倍，然后绝热膨胀，直至回复初温为止，把氦气视为理想气体，试求：

- (1) 在  $P-V$  图上画出气体的状态变化过程；
- (2) 在这过程中氦气吸热多少；
- (3) 氦气的内能变化多少；
- (4) 氦气所作的总功是多少。

5. 对于理想气体系统来说，在下列过程中，哪些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



## 课时五 循环效率

考点	重要程度	占分	常见题型
1. 热机效率	必考	5~10	大题
2. 卡诺循环			

### 1. 热机效率

题 1.  $1\text{mol}$  单原子分子理想气体的循环过程如图所示，其中  $ca$  为等温过程， $c$  点温度  $T_c = 300\text{K}$ ，试求：

- (1) 每个过程系统吸收的热量；
- (2) 循环的效率；
- (3) 每一循环系统所做的净功。

解：(1)  $T_a = T_c = 300\text{K}$

$a \rightarrow b$  为等压过程：  $\frac{V_b}{T_b} = \frac{V_a}{T_a}$

$$\Rightarrow T_b = \frac{V_b T_a}{V_a} = \frac{1 \times 10^{-2} \times 300}{2 \times 10^{-2}} \text{K} = 150\text{K}$$

$$Q_{ab} = \frac{i+2}{2} \frac{m}{M} R (T_b - T_a) = \frac{3+2}{2} \times 1 \times 8.31 \times (150 - 300) \text{J} = -3.12 \times 10^3 \text{J}$$

$b \rightarrow c$  为等体过程：

$$Q_{bc} = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R (T_c - T_b) = \frac{3}{2} \times 1 \times 8.31 \times (300 - 150) \text{J} = 1.87 \times 10^3 \text{J}$$

$c \rightarrow a$  为等温过程：

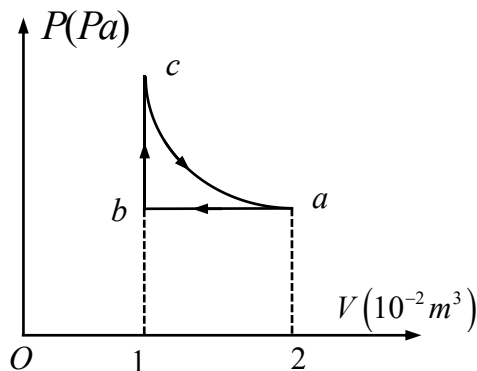
$$Q_{ca} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = 1 \times 8.31 \times 300 \ln \frac{2 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-3}} \text{J} = 1.73 \times 10^3 \text{J}$$

$$(2) \text{ 总吸热: } Q_1 = Q_{bc} + Q_{ca} = 1.87 \times 10^3 \text{J} + 1.73 \times 10^3 \text{J} = 3.6 \times 10^3 \text{J}$$

$$\text{总放热: } Q_2 = Q_{ab} = 3.12 \times 10^3 \text{J}$$

$$\text{循环效率: } \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{3.12 \times 10^3}{3.6 \times 10^3} = 13.3\%$$

$$\text{净功 } A = Q_1 - Q_2 = 3.6 \times 10^3 \text{J} - 3.12 \times 10^3 \text{J} = 4.8 \times 10^2 \text{J}$$



热机效率：

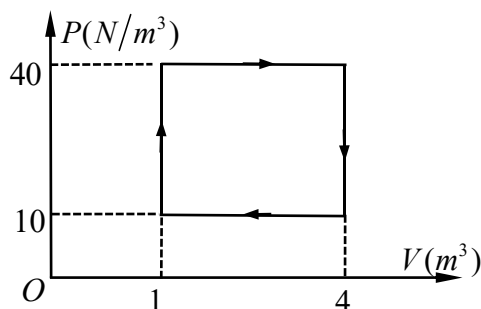
$$\eta = \frac{A}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

净功：  $A = Q_1 - Q_2$



题 2. 气体经历如图所示的一个循环过程，在这个循环过程中，外界传给气体的净热量是\_\_\_\_\_。

解：  $A = (40 - 10) \times (4 - 1) = 90 J$



## 2. 卡诺循环

题 1. 如果一热机每次循环从高温热源 ( $T_1 = 600 K$ ) 吸收热量  $Q_1 = 3.34 \times 10^4 J$ ，做功后向低温热源 ( $T_2 = 300 K$ ) 放出热量  $Q_2 = 2.09 \times 10^4 J$ 。

(1) 该热机的效率是多少？

(2) 该热机可以达到的理想效率是多少？

(3) 该热机从高温热源 ( $T_1 = 600 K$ ) 吸收热量  $Q_1 = 3.34 \times 10^4 J$  最多能做多少功？

解： (1)  $\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{2.09 \times 10^4}{3.34 \times 10^4} = 37.4\%$

(2)  $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300}{600} = 50\%$

(3) 由  $\eta = \frac{A}{Q_1}$

$$\Rightarrow A = Q\eta = 3.34 \times 10^4 \times 50\% = 1.67 \times 10^4 J$$

卡诺循环

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

题 2. 一热机由温度为  $727^\circ C$  的高温热源吸热，向温度为  $527^\circ C$  的低温热源放热。若热机在最大功率下工作，且每一循环吸热  $2000 J$ ，则此热机每一循环做功为\_\_\_\_\_  $J$ 。

解：  $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{527 + 273}{727 + 273} = 20\%$

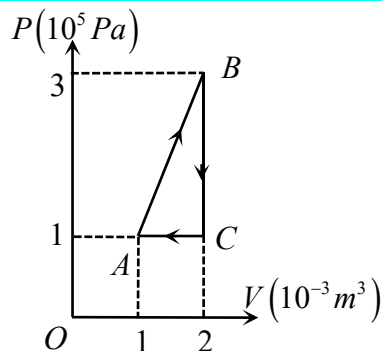
$$A = Q \cdot \eta = 2000 \times 20\% = 400 J$$



## 课时五 练习题

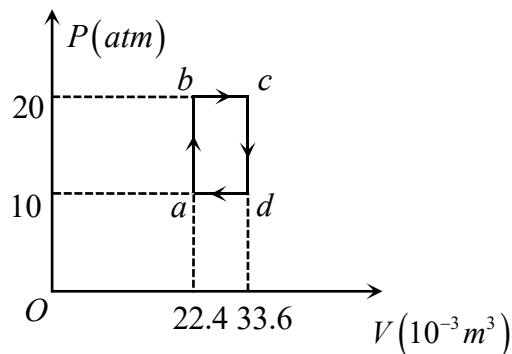
1. 一定量的单原子分子理想气体，从状态  $A$  出发，沿图示直线过程变到另一状态  $B$ ，又经过等体，等压两过程回到状态  $A$ 。求：

- (1)  $A \rightarrow B$ ， $B \rightarrow C$ ， $C \rightarrow A$  各过程中系统对外做功  $A$ ，内能增量  $\Delta E$  及所吸收的热量  $Q$ 。
- (2) 整个循环过程中系统对外所做的总功。
- (3) 热机效率。

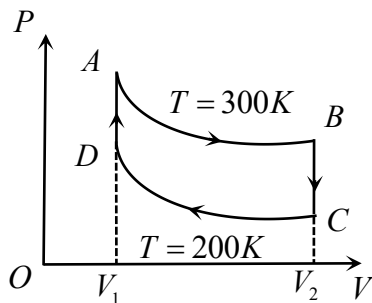


2.  $1\text{mol}$  单原子理想气体，作如图所示的循环过程，求：

- (1) 在  $ab$ 、 $bc$  过程中吸收的热量；
- (2) 气体经历一个循环所做的功；
- (3) 循环的效率。

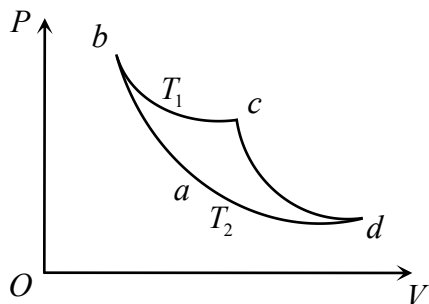


3.  $0.32\text{kg}$  的氧气作如图所示的  $ABCD A$  循环， $V_2 = 2V_1$ ， $T_1 = 300\text{K}$ ， $T_2 = 200\text{K}$ ，求循环效率。



4. 一定量的理想气体，在  $P-V$  图上经历如图所示的卡诺循环过程  $abcd a$ ，已知  $T_1 = 400\text{K}$ ， $T_2 = 300\text{K}$ ，

- (1) 该循环系统是热机还是制冷机；
- (2) 求循环过程的效率。



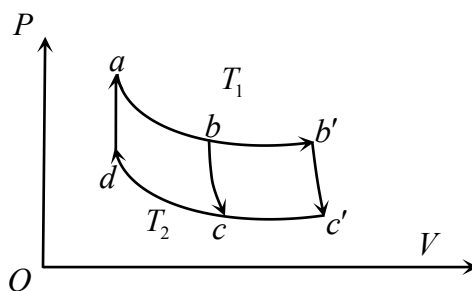
5. 【判断】卡诺循环由两个等体过程和两个绝热过程组成 ( )。

6. 一卡诺循环的热机，高温热源温度为  $400K$ ，每一循环从此热源吸进  $100J$  热量并向一低温热源放出  $80J$  热量，求：

- (1) 低温热源温度；
- (2) 这循环的热机效率。

7. 如果卡诺热机的循环曲线所包围的面积从图中  $abcd$  的增大为  $ab'c'da$ ，那么循环  $abcd$  与  $ab'c'da$  所作的净功和热机效率变化情况是 ( )。

- A. 净功增大，效率提高      B. 净功增大，效率不变  
C. 净功增大，效率降低      D. 净功和效率都不变



8. 某理想气体分别进行如图所示的两个卡诺循环，I( $abcd$ )和II( $a'b'c'd'a'$ )且两个循环曲线所围面积相同，设循环I的效率为  $\eta$ ，每次循环在高温热源处吸收的热量为  $Q$ ，循环II的效率为  $\eta'$ ，每次循环在高温热源处吸收的热量为  $Q'$ ，则 ( )。

- A.  $\eta < \eta'$   $Q < Q'$       B.  $\eta < \eta'$   $Q > Q'$   
C.  $\eta > \eta'$   $Q < Q'$       D.  $\eta > \eta'$   $Q > Q'$

