

一、选择题

1. 4251: 一定量的理想气体贮于某一容器中, 温度为 T , 气体分子的质量为 m 。根据理想气体的分子模型和统计假设, 分子速度在 x 方向的分量平方的平均值

- (A) $\overline{v_x^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$ (B) $\overline{v_x^2} = \frac{1}{3}\sqrt{\frac{3kT}{m}}$ (C) $\overline{v_x^2} = 3kT/m$ (D) $\overline{v_x^2} = kT/m$

2. 4252: 一定量的理想气体贮于某一容器中, 温度为 T , 气体分子的质量为 m 。根据理想气体分子模型和统计假设, 分子速度在 x 方向的分量的平均值

- (A) $\overline{v_x} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$ (B) $\overline{v_x} = \frac{1}{3}\sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$ (C) $\overline{v_x} = \sqrt{\frac{8kT}{3\pi m}}$ (D) $\overline{v_x} = 0$

3. 4014: 温度、压强相同的氢气和氧气, 它们分子的平均动能 $\bar{\epsilon}$ 和平均平动动能 \bar{w} 有如下关系:

- (A) $\bar{\epsilon}$ 和 \bar{w} 都相等 (B) $\bar{\epsilon}$ 相等, 而 \bar{w} 不相等 (C) \bar{w} 相等, 而 $\bar{\epsilon}$ 不相等
(D) $\bar{\epsilon}$ 和 \bar{w} 都不相等

4. 4022: 在标准状态下, 若氧气(视为刚性双原子分子的理想气体)和氢气的体积比 $V_1/V_2=1/2$, 则其内能之比 E_1/E_2 为:

- (A) 3 / 10 (B) 1 / 2 (C) 5 / 6 (D) 5 / 3

5. 4023: 水蒸气分解成同温度的氢气和氧气, 内能增加了百分之几(不计振动自由度和化学能)?

- (A) 66.7 % (B) 50 % (C) 25 % (D) 0

6. 4058: 两瓶不同种类的理想气体, 它们的温度和压强都相同, 但体积不同, 则单位体积内的气体分子数 n , 单位体积内的气体分子的总平动动能(E_k/V), 单位体积内的气体质量 ρ , 分别有如下关系:

- (A) n 不同, (E_k/V)不同, ρ 不同 (B) n 不同, (E_k/V)不同, ρ 相同
(C) n 相同, (E_k/V)相同, ρ 不同 (D) n 相同, (E_k/V)相同, ρ 相同

7. 4013: 一瓶氢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、压强相同 (B) 温度、压强都不相同
(C) 温度相同, 但氢气的压强大于氮气的压强
(D) 温度相同, 但氮气的压强小于氢气的压强

8. 4012: 关于温度的意义, 有下列几种说法: (1) 气体的温度是分子平均平动动能的量度; (2) 气体的温度是大量气体分子热运动的集体表现, 具有统计意义; (3) 温度的高低反映物质内部分子运动剧烈程度的不同; (4) 从微观上看, 气体的温度表示每个气体分子的冷热程度。这些说法中正确的是

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

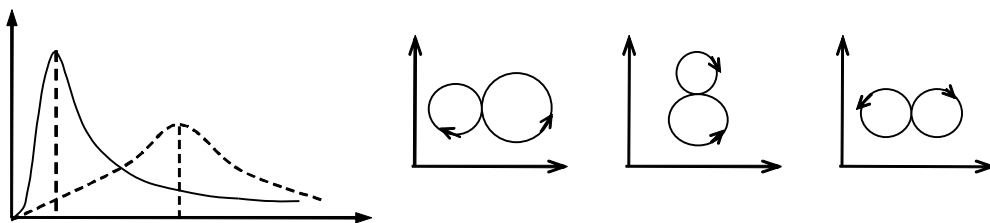
9. 4039: 设声波通过理想气体的速率正比于气体分子的热运动平均速率, 则声波通过具有相同温度的氧气和氢气的速率之比 v_{O_2}/v_{H_2} 为

- (A) 1 (B) 1/2 (C) 1/3 (D) 1/4

10. 4041: 设图示的两条曲线分别表示在相同温度下氧气和氢气分子的速率分布曲线;

令 $(v_p)_{O_2}$ 和 $(v_p)_{H_2}$ 分别表示氧气和氢气的最概然速率, 则:

- (A) 图中 a 表示氧气分子的速率分布曲线; $(v_p)_{O_2} / (v_p)_{H_2} = 4$
 (B) 图中 a 表示氧气分子的速率分布曲线; $(v_p)_{O_2} / (v_p)_{H_2} = 1/4$
 (C) 图中 b 表示氧气分子的速率分布曲线; $(v_p)_{O_2} / (v_p)_{H_2} = 1/4$
 (D) 图中 b 表示氧气分子的速率分布曲线; $(v_p)_{O_2} / (v_p)_{H_2} = 4$ []



11. 4084: 图(a)、(b)、(c)各表示联接在一起的两个循环过程, 其中(c)图是两个半径相等的圆构成的两个循环过程, 图(a)和(b)则为半径不等的两个圆。那么:

- (A) 图(a)总净功为负。图(b)总净功为正。图(c)总净功为零
 (B) 图(a)总净功为负。图(b)总净功为负。图(c)总净功为正
 (C) 图(a)总净功为负。图(b)总净功为负。图(c)总净功为零
 (D) 图(a)总净功为正。图(b)总净功为正。图(c)总净功为负

12. 4133: 关于可逆过程和不可逆过程的判断:

(1) 可逆热力学过程一定是准静态过程; (2) 准静态过程一定是可逆过程; (3) 不可逆过程就是不能向相反方向进行的过程; (4) 凡有摩擦的过程, 一定是不可逆过程。以上四种判断, 其中正确的是

- (A) (1)、(2)、(3) (B) (1)、(2)、(4) (C) (2)、(4) (D) (1)、(4) []

13. 4098: 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
 []

14. 4089: 有两个相同的容器, 容积固定不变, 一个盛有氦气, 另一个盛有氢气(看成刚性分子的理想气体), 它们的压强和温度都相等, 现将 5J 的热量传给氢气, 使氢气温度升高, 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 J (B) 5 J (C) 3 J (D) 2 J []

15. 4094: 1mol 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:

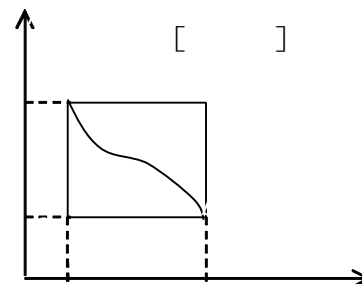
- (A) 气体所作的功 (B) 气体内能的变化
 (C) 气体传给外界的热量 (D) 气体的质量

16. 4100: 一定量的理想气体经历 acb 过程时吸热 500 J。则经历 acbda 过程时, 吸热为

- (A) -1200 J (B) -700 J
 (C) -400 J (D) 700 J []

17. 4095: 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

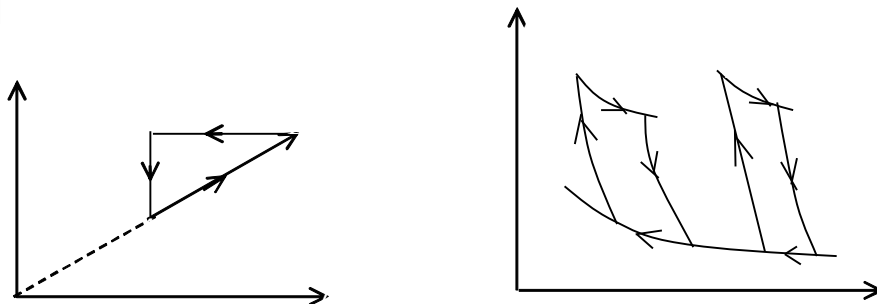
- (A) 气体向外界放热 (B) 气体对外界作正功



(C) 气体内能增加 (D) 气体内能减少 []

18. 4116: 一定量理想气体经历的循环过程用 $P-T$ 曲线表示如图。在此循环过程中, 气体从外界吸热的过程是

- (A) $A \rightarrow B$ (B) $B \rightarrow C$ (C) $C \rightarrow A$ (D) $B \rightarrow C$ 和 $B \rightarrow C$
[]

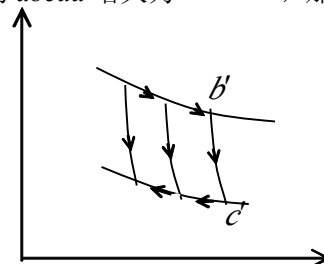


19. 4121: 两个卡诺热机的循环曲线如图所示, 一个工作在温度为 T_1 与 T_3 的两个热源之间, 另一个工作在温度为 T_2 与 T_3 的两个热源之间, 已知这两个循环曲线所包围的面积相等。由此可知:

- (A) 两个热机的效率一定相等
(B) 两个热机从高温热源所吸收的热量一定相等
(C) 两个热机向低温热源所放出的热量一定相等
(D) 两个热机吸收的热量与放出的热量 (绝对值) 的差值一定相等
[]

20. 4122: 如果卡诺热机的循环曲线所包围的面积从图中的 $abcda$ 增大为 $ab'c'da$, 那么循环 $abcda$ 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, 效率降低
(C) 净功和效率都不变
(D) 净功增大, 效率不变 []



21. 4123: 在温度分别为 327°C 和 27°C 的高温热源和低温热源之间工作的热机, 理论上的最大效率为

- (A) 25% (B) 50% (C) 75% (D) 91.74% []

22. 4124: 设高温热源的热力学温度是低温热源的热力学温度的 n 倍, 则理想气体在一次卡诺循环中, 传给低温热源的热量是从高温热源吸取热量的

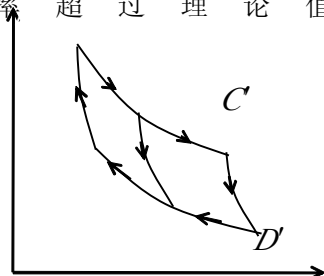
- (A) n 倍 (B) $n-1$ 倍 (C) $\frac{1}{n}$ 倍 (D) $\frac{n+1}{n}$ 倍
[]

23. 4125: 有人设计一台卡诺热机(可逆的)。每循环一次可从 400 K 的高温热源吸热 1800 J , 向 300 K 的低温热源放热 800 J 。同时对外作功 1000 J , 这样的设计是

- (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
[]

24. 4126: 如图表示的两个卡诺循环, 第一个沿 $ABCD A$ 进行, 第二个沿 $A'B'C'D' A'$ 进行, 这两个循环的效率 η_1 和 η_2 的关系及这两个循环所作的净功 W_1 和 W_2 的关系是

- (A) $\eta_1 = \eta_2, W_1 = W_2$



(B) $\eta_1 > \eta_2$, $W_1 = W_2$

(C) $\eta_1 = \eta_2$, $W_1 > W_2$

(D) $\eta_1 = \eta_2$, $W_1 < W_2$

25. 4135: 根据热力学第二定律可知:

(A) 功可以全部转换为热, 但热不能全部转换为功

(B) 热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

(C) 不可逆过程就是不能向相反方向进行的过程

(D) 一切自发过程都是不可逆的

[]

26. 4136: 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, 但不能自动收缩

(D) 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

[]

27. 4142: 一绝热容器被隔板分成两半, 一半是真空, 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) 温度不变, 熵增加 (B) 温度升高, 熵增加

(C) 温度降低, 熵增加 (D) 温度不变, 熵不变

[]

28. 4143: “理想气体和单一热源接触作等温膨胀时, 吸收的热量全部用来对外作功。”对此说法, 有如下几种评论, 哪种是正确的?

(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

[]

29. 4101: 某理想气体状态变化时, 内能随体积的变化关系如图中 AB 直线所示。 $A \rightarrow B$ 表示的过程是

(A) 等压过程 (B) 等体过程

(C) 等温过程 (D) 绝热过程 []

30. 4056: 若理想气体的体积为 V , 压强为 p , 温度为 T , 一个分子的质量为 m , k 为玻尔兹曼常量, R 为普适气体常量, 则该理想气体的分子数为:

(A) pV/m (B) $pV/(kT)$

(C) $pV/(RT)$ (D) $pV/(mT)$ []

31. 4407: 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 $\bar{\lambda}$ 的变化情况是:

(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

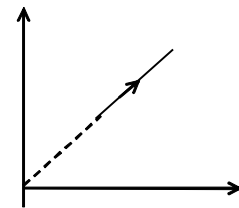
[]

32. 4465: 在一封闭容器中盛有 1 mol 氦气(视作理想气体), 这时分子无规则运动的平均自由程仅决定于:

(A) 压强 p (B) 体积 V (C) 温度 T (D) 平均碰撞频率 \bar{Z}

[]

33. 4955: 容积恒定的容器内盛有一定量某种理想气体, 其分子热运动的平均自由程为



$\bar{\lambda}_0$, 平均碰撞频率为 \bar{Z}_0 , 若气体的热力学温度降低为原来的 1/4 倍, 则此时分子平均自由程 $\bar{\lambda}$ 和平均碰撞频率 \bar{Z} 分别为:

- (A) $\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_0$, $\bar{Z} = \bar{Z}_0$ (B) $\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_0$, $\bar{Z} = \frac{1}{2} \bar{Z}_0$
 (C) $\bar{\lambda} = 2 \bar{\lambda}_0$, $\bar{Z} = 2 \bar{Z}_0$ (D) $\bar{\lambda} = \sqrt{2} \bar{\lambda}_0$, $\bar{Z} = \frac{1}{2} \bar{Z}_0$
 []

二、填空题

1. 4008: 若某种理想气体分子的方均根速率 $(\bar{v}^2)^{1/2} = 450 \text{ m/s}$, 气体压强为 $p = 7 \times 10^4 \text{ Pa}$, 则该气体的密度为 $\rho =$ _____。

2. 4253: 一定量的理想气体贮于某一容器中, 温度为 T , 气体分子的质量为 m 。根据理想气体分子模型和统计假设, 分子速度在 x 方向的分量的下列平均值 $\bar{v}_x =$ _____, $\bar{v}_x^2 =$ _____。

3. 4017: 1 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°C , 这瓶氧气的内能为 _____ J; 分子的平均平动动能为 _____ J; 分子的平均总动能为 _____ J。

(摩尔气体常量 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 玻尔兹曼常量 $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$)

4. 4018: 有一瓶质量为 M 的氢气(视作刚性双原子分子的理想气体), 温度为 T , 则氢分子的平均平动动能为 _____, 氢分子的平均动能为 _____, 该瓶氢气的内能为 _____。

5. 4025: 一气体分子的质量可以根据该气体的定体比热来计算。氩气的定体比热 $C_v = 0.314 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, 则氩原子的质量 $m =$ _____。

6. 4068: 储有某种刚性双原子分子理想气体的容器以速度 $v = 100 \text{ m/s}$ 运动, 假设该容器突然停止, 气体的全部定向运动动能都变为气体分子热运动的动能, 此时容器中气体的温度上升 6.74 K , 由此可知容器中气体的摩尔质量 $M_{\text{mol}} =$ _____。

7. 4069: 容积为 10 L (升)的盒子以速率 $v = 200 \text{ m/s}$ 匀速运动, 容器中充有质量为 50 g , 温度为 18°C 的氢气, 设盒子突然停止, 气体的全部定向运动的动能都变为气体分子热运动的动能, 容器与外界没有热量交换, 则达到热平衡后; 氢气的温度将增加 _____ K; 氢气的压强将增加 _____ Pa。

8. 4075: 已知一容器内的理想气体在温度为 273 K 、压强为 $1.0 \times 10^{-2} \text{ atm}$ 时, 其密度为 $1.24 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^3$, 则该气体的摩尔质量 $M_{\text{mol}} =$ _____; 容器单位体积内分子的总平动动能 = _____。

9. 4273: 一定量 H_2 气(视为刚性分子的理想气体), 若温度每升高 1 K , 其内能增加 41.6 J , 则该 H_2 气的质量为 _____。(普适气体常量 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

10. 4655: 有两瓶气体, 一瓶是氦气, 另一瓶是氢气(均视为刚性分子理想气体), 若它们的压强、体积、温度均相同, 则氢气的内能是氦气的 _____ 倍。

11. 4656: 用绝热材料制成的一个容器, 体积为 $2V_0$, 被绝热板隔成 A、B 两部分, A 内储有 1 mol 单原子分子理想气体, B 内储有 2 mol 刚性双原子分子理想气体, A、B 两部分压强相等均为 p_0 , 两部分体积均为 V_0 , 则:

(1) 两种气体各自的内能分别为 $E_A =$ _____; $E_B =$ _____;

(2) 抽去绝热板, 两种气体混合后处于平衡时的温度为 $T =$ _____。

12. 4016: 三个容器内分别贮有 1 mol 氦(He)、 1 mol 氢(H_2)和 1 mol 氨(NH_3)(均视为刚性分子的理想气体)。若它们的温度都升高 1 K , 则三种气体的内能的增加值分别为:

氦: $\Delta E =$ _____; 氢: $\Delta E =$ _____; 氨: $\Delta E =$ _____。

13. 0192: 处于重力场中的某种气体, 在高度 z 处单位体积内的分子数即分子数密度为

n 。若 $f(v)$ 是分子的速率分布函数, 则坐标介于 $x \sim x+dx$ 、 $y \sim y+dy$ 、 $z \sim z+dz$ 区间内, 速率介于 $v \sim v+dv$ 区间内的分子数 $dN =$ _____。

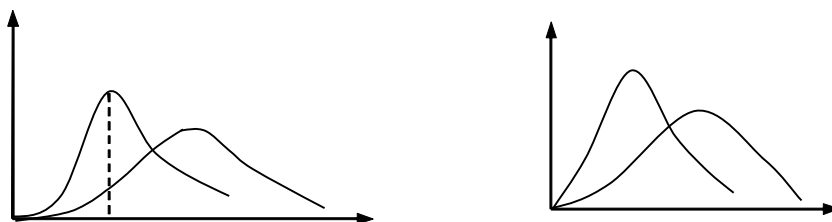
$$n = n_0 \exp\left(-\frac{M_{\text{mol}}gh}{RT}\right),$$

14. 4029: 已知大气中分子数密度 n 随高度 h 的变化规律: _____, 式中 n_0 为 $h=0$ 处的分子数密度。若大气中空气的摩尔质量为 M_{mol} , 温度为 T , 且处处相同, 并设重力场是均匀的, 则空气分子数密度减少到地面的一半时的高度为 _____。(符号 $\exp(a)$, 即 e^a)

15. 4282: 现有两条气体分子速率分布曲线(1)和(2), 如图所示。若两条曲线分别表示同一种气体处于不同的温度下的速率分布, 则曲线_____表示气体的温度较高。若两条曲线分别表示同一温度下的氢气和氧气的速率分布, 则曲线_____表示的是氧气的速率分布。

16. 4459: 已知 $f(v)$ 为麦克斯韦速率分布函数, N 为总分子数, 则: (1) 速率 $v > 100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的分子数占总分子数的百分比的表达式为 _____; (2) 速率 $v > 100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的分子数的表达式为 _____。

17. 4040: 图示的曲线分别表示了氢气和氦气在同一温度下的分子速率的分布情况。由图可知, 氦气分子的最概然速率为 _____, 氢气分子的最概然速率为 _____。

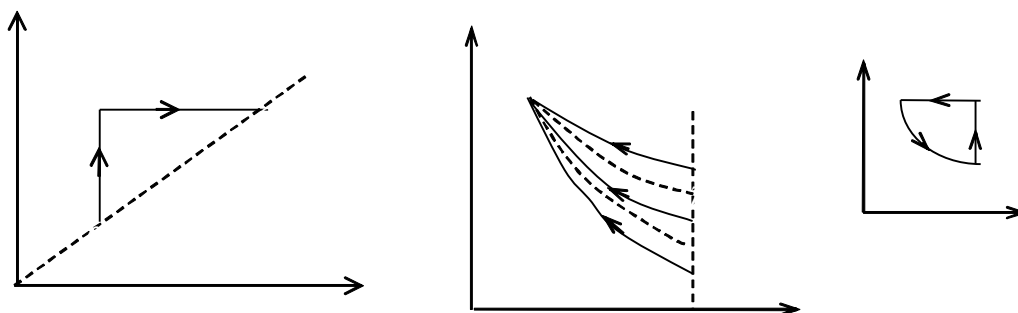


18. 4042: 某气体在温度为 $T=273 \text{ K}$ 时, 压强为 $p=1.0 \times 10^{-2} \text{ atm}$, 密度 $\rho=1.24 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^3$, 则该气体分子的方均根速率为 _____。(1 atm = $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$)

19. 4092: 某理想气体等温压缩到给定体积时外界对气体做功 $|W_1|$, 又经绝热膨胀返回原来体积时气体对外做功 $|W_2|$, 则整个过程中气体

(1) 从外界吸收的热量 $Q =$ _____; (2) 内能增加了 $\Delta E =$ _____。

20. 4108: 如图所示, 一定量的理想气体经历 $a \rightarrow b \rightarrow c$ 过程, 在此过程中气体从外界吸收热量 Q , 系统内能变化 ΔE , 请在以下空格内填上 >0 或 <0 或 $=0$: Q _____, ΔE _____。



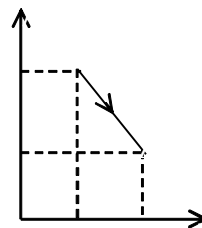
21. 4316: 右图为一理想气体几种状态变化过程的 $p-V$ 图, 其中 MT 为等温线, MQ 为绝热线, 在 AM 、 BM 、 CM 三种准静态过程中:

(1) 温度降低的是 _____ 过程; (2) 气体放热的是 _____ 过程。

22. 4584: 一定量理想气体, 从同一状态开始使其体积由 V_1 膨胀到 $2V_1$, 分别经历以下三种过程: (1) 等压过程; (2) 等温过程; (3) 绝热过程。其中: _____ 过程气体对外做功最多; _____ 过程气体内能增加最多; _____ 过程气体吸收的热量最多。

23. 4683: 已知一定量的理想气体经历 $p-T$ 图上所示的循环过程, 图中各过程的吸热、放热情况为:

- (1) 过程 1-2 中, 气体_____;
- (2) 过程 2-3 中, 气体_____;
- (3) 过程 3-1 中, 气体_____。



24. 4109: 一定量的某种理想气体在等压过程中对外作功为 200 J。若此种气体为单原子分子气体, 则该过程中需吸热_____ J; 若为双原子分子气体, 则需吸热_____ J。

25. 4319: 有 1 mol 刚性双原子分子理想气体, 在等压膨胀过程中对外作功 W , 则其温度变化 $\Delta T =$ _____; 从外界吸取的热量 $Q_p =$ _____。

26. 4472: 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变到 B 状态 ($2p_1, V_2$), 则 AB 过程中系统作功 $W =$ _____; 内能改变 $\Delta E =$ _____。

27. 4689: 压强、体积和温度都相同的氢气和氦气(均视为刚性分子的理想气体), 它们的质量之比为 $m_1 : m_2 =$ _____, 它们的内能之比为 $E_1 : E_2 =$ _____, 如果它们分别在等压过程中吸收了相同的热量, 则它们对外作功之比为 $W_1 : W_2 =$ _____。(各量下角标 1 表示氢气, 2 表示氦气)

28. 5345: 3 mol 的理想气体开始时处在压强 $p_1 = 6 \text{ atm}$ 、温度 $T_1 = 500 \text{ K}$ 的平衡态。经过一个等温过程, 压强变为 $p_2 = 3 \text{ atm}$ 。该气体在此等温过程中吸收的热量为 $Q =$ _____ J。

29. 4127: 一卡诺热机(可逆的), 低温热源的温度为 27°C , 热机效率为 40%, 其高温热源温度为 _____ K。今欲将该热机效率提高到 50%, 若低温热源保持不变, 则高温热源的温度应增加 _____ K。

30. 4128: 可逆卡诺热机可以逆向运转。逆向循环时, 从低温热源吸热, 向高温热源放热, 而且吸的热量和放出的热量等于它正循环时向低温热源放出的热量和从高温热源吸的热量。设高温热源的温度为 $T_1 = 450 \text{ K}$, 低温热源的温度为 $T_2 = 300 \text{ K}$, 卡诺热机逆向循环时从低温热源吸热 $Q_2 = 400 \text{ J}$, 则该卡诺热机逆向循环一次外界必须作功 $W =$ _____。

31. 4698: 一个作可逆卡诺循环的热机, 其效率为 η , 它逆向运转时便成为一台致冷机,

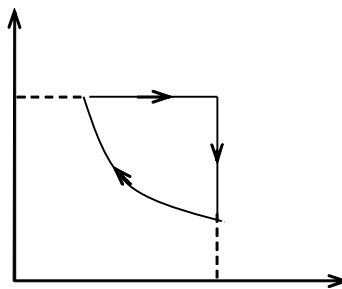
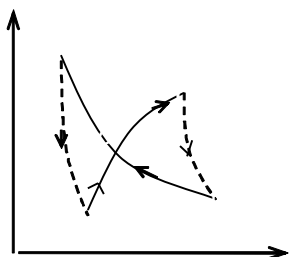
$$w = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

该致冷机的致冷系数 $\frac{Q_2}{T_1 - T_2}$, 则 η 与 w 的关系为_____。

32. 4701: 如图所示, 绝热过程 AB 、 CD , 等温过程 DEA , 和任意过程 BEC , 组成一循环过程。若图中 ECD 所包围的面积为 70 J, EAB 所包围的面积为 30 J, DEA 过程中系统放热 100 J, 则:

- (1) 整个循环过程($ABCDEA$)系统对外作功为_____。
- (2) BEC 过程中系统从外界吸热为_____。

33. 4336: 由绝热材料包围的容器被隔板隔为两半, 左边是理想气体, 右边真空。如果把隔板撤去, 气体将进行自由膨胀过程, 达到平衡后气体的温度_____ (升高、降低或不变), 气体的熵_____ (增加、减小或不变)。



34. 4596: 在一个孤立系统内, 一切实过程都向着_____的方向进行。这就是热力学第二定律的统计意义。从宏观上说, 一切与热现象有关的实际的过程都是_____。

35. 4154: 1 mol 理想气体(设 $\gamma = C_p/C_v$ 为已知)的循环过程如 $T-V$ 图所示, 其中 CA 为绝热过程, A 点状态参量(T_1, V_1)和 B 点的状态参量(T_2, V_2)为已知。试求 C 点的状态参量:

$$V_c = \underline{\hspace{2cm}}, T_c = \underline{\hspace{2cm}}, p_c = \underline{\hspace{2cm}}$$

36. 4006: 在容积为 10^{-2} m^3 的容器中, 装有质量 100 g 的气体, 若气体分子的方均根速率为 $200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 则气体的压强为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

37. 4956: 一定量的某种理想气体, 先经过等体过程使其热力学温度升高为原来的 2 倍; 再经过等压过程使其体积膨胀为原来的 2 倍, 则分子的平均自由程变为原来的 $\underline{\hspace{2cm}}$ 倍。

三、计算题

1. 4302: 储有 1 mol 氧气, 容积为 1 m^3 的容器以 $v = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速度运动。设容器突然停止, 其中氧气的 80% 的机械运动动能转化为气体分子热运动动能, 问气体的温度及压强各升高了多少? (氧气分子视为刚性分子, 普适气体常量 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

2. 4070: 容积为 20.0 L(升)的瓶子以速率 $v = 200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 匀速运动, 瓶子中充有质量为 100g 的氦气。设瓶子突然停止, 且气体的全部定向运动动能都变为气体分子热运动的动能, 瓶子与外界没有热量交换, 求热平衡后氦气的温度、压强、内能及氦气分子的平均动能各增加多少?(摩尔气体常量 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, 玻尔兹曼常量 $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$)

3. 4077: 有 $2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 刚性双原子分子理想气体, 其内能为 $6.75 \times 10^2 \text{ J}$ 。(1) 试求气体的压强;(2) 设分子总数为 5.4×10^{22} 个, 求分子的平均平动动能及气体的温度。

4. 4301: 一超声波源发射超声波的功率为 10 W。假设它工作 10 s, 并且全部波动能量都被 1 mol 氧气吸收而用于增加其内能, 则氧气的温度升高了多少?

(氧气分子视为刚性分子, 普适气体常量 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

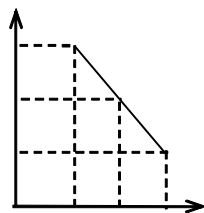
5. 4111: 0.02 kg 的氦气(视为理想气体), 温度由 17°C 升为 27°C 。若在升温过程中, (1) 体积保持不变;(2) 压强保持不变;(3) 不与外界交换热量; 试分别求出气体内能的改变、吸收的热量、外界对气体所作的功。(普适气体常量 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

6. 4324: 3 mol 温度为 $T_0 = 273 \text{ K}$ 的理想气体, 先经等温过程体积膨胀到原来的 5 倍, 然后等体加热, 使其末态的压强刚好等于初始压强, 整个过程传给气体的热量为 $Q = 8 \times 10^4 \text{ J}$ 。试画出此过程的 $p-V$ 图, 并求这种气体的比热容比 γ 值。(普适气体常量 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

7. 4587: 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) 气体对外作的功;
- (2) 气体内能的增量;
- (3) 气体吸收的热量。(1 atm = $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$)

8. 5347: 一气缸内盛有 1 mol 温度为 27°C , 压强为 1 atm 的氮气(视作刚性双原子分子的理想气体)。先使它等压膨胀到原来体积的两倍, 再等体升压使其压强变为 2 atm, 最后使它等温膨胀到压强为 1 atm。求: 氮气在全部过程中对外作的功, 吸的热及其内能的变化。(普适气体常量 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

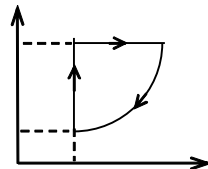


9. 0203: 1 mol 单原子分子的理想气体, 经历如图所示的可逆循环, 联结 ac 两点的曲线 III 的方程为 $p = p_0 V^2 / V_0^2$, a 点的温度为 T_0

- (1) 试以 T_0 , 普适气体常量 R 表示 I、II、III 过程中气体吸收的热量;
- (2) 求此循环的效率。

10. 4097: 1 mol 理想气体在 $T_1 = 400 \text{ K}$ 的高温热源与 $T_2 = 300 \text{ K}$ 的低温热源间作卡诺循环(可逆的), 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 $V_2 = 0.005 \text{ m}^3$, 试求此气体在每一循环中

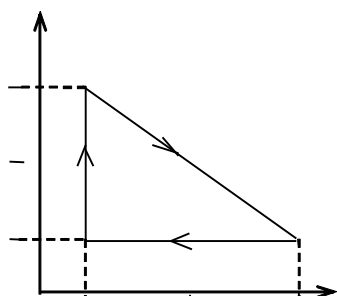
(1) 从高温热源吸收的热量 Q_1 ; (2) 气体所作的净功 W ; (3) 气体传给低温热源的热量 Q_2



11. 4104: 一定量的某种理想气体进行如图所示的循环过程。已知气体在状态 A 的温度为 $T_A = 300 \text{ K}$, 求:

- (1) 气体在状态 B 、 C 的温度;

- (2) 各过程中气体对外所作的功;
 (3) 经过整个循环过程, 气体从外界吸收的总热量(各过程吸热的代数和)。



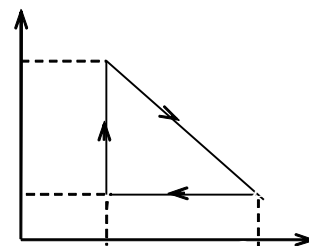
12. 4114: 一定量的某单原子分子理想气体装在封闭的汽缸里。此汽缸有可活动的活塞(活塞与汽缸壁之间无摩擦且无漏气)。已知气体的初压强 $p_1=1\text{atm}$, 体积 $V_1=1\text{L}$, 现将该气体在等压下加热直到体积为原来的两倍, 然后在等体积下加热直到压强为原来的 2 倍, 最后作绝热膨胀, 直到温度下降到初温为止, (1) 在 $p-V$ 图上将整个过程表示出来; (2) 试求在整个过程中气体内能的改变; (3) 试求在整个过程中气体所吸收的热量; (4) 试求在整个过程中气体所作的功。

13. 4155: 有 1 mol 刚性多原子分子的理想气体, 原来的压强为 1.0atm , 温度为 27°C , 若经过一绝热过程, 使其压强增加到 16atm 。试求: (1) 气体内能的增量; (2) 在该过程中气体所作的功; (3) 终态时, 气体的分子数密度。

14. 4110: 如图所示, $abcd$ 为 1 mol 单原子分子理想气体的循环过程, 求: (1) 气体循环一次, 在吸热过程中从外界共吸收的热量; (2) 气体循环一次对外做的净功; (3) 证明在 $abcd$ 四态, 气体的温度有 $T_a T_c = T_b T_d$ 。

15. 4130: 比热容比 $\gamma = 1.40$ 的理想气体进行如图所示的循环。已知状态 A 的温度为 300K 。求:

- (1) 状态 B 、 C 的温度;
 (2) 每一过程中气体所吸收的净热量。



16. 4258: 已知某理想气体分子的方均根速率为 $400\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。当其压强为 1atm 时, 求气体的密度。

一、选择题

1. 4251: D; 2. 4252: D; 3. 4014: C; 4. 4022: C; 5. 4023: C; 6. 4058: C;
 7. 4013: C; 8. 4012: B; 9. 4039: D; 10. 4041: B; 11. 4084: C; 12. 4133: D;
 13. 4098: D; 14. 4089: C; 15. 4094: B; 16. 4100: B; 17. 4095: A; 18. 4116: A;
 19. 4121: D; 20. 4122: D; 21. 4123: B; 22. 4124: C; 23. 4125: D; 24. 4126: D;
 25. 4135: D; 26. 4136: C; 27. 4142: A; 28. 4143: C; 29. 4101: A; 30. 4056: B;
 31. 4407: C; 32. 4465: B; 33. 4955: B;

二、填空题

1. 4008: $1.04\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
 2. 4253: 0 ; kT/m
 3. 4017: 6.23×10^3 ; 6.21×10^{-21} ; 1.035×10^{-21}
 4. 4018: $\frac{3}{2}kT$; $\frac{5}{2}kT$; $\frac{5}{2}MRT/M_{\text{mol}}$
 5. 4025: $6.59\times 10^{-26}\text{kg}$
 6. 4068: $28\times 10^{-3}\text{kg/mol}$
 7. 4069: 1.93; 4.01×10^4
 8. 4075: $28\times 10^{-3}\text{kg/mol}$; $1.5\times 10^3\text{J}$

9. 4273: $4.0 \times 10^{-3} \text{ kg}$
 10. 4655: $5/3$
 11. 4656: $\frac{3}{2} p_0 V_0$; $\frac{5}{2} p_0 V_0$; $\frac{8 p_0 V_0}{13 R}$
 12. 4016: 12.5J ; 20.8J ; 24.9J
 13. 0192: $\eta f(v) dx dy dz dv$
 14. 4029: $(\ln 2) R T / (M_{\text{mol}} g)$
 15. 4282: (2) ; (1)
 16. 4459: $\int_{100}^{\infty} f(v) dv$; $\int_{100}^{\infty} N f(v) dv$
 17. 4040: 1000m/s; $\sqrt{2} \times 1000 \text{ m/s}$
 18. 4042: 495m/s
 19. 4092: $-|W_1|$; $-|W_2|$
 20. 4108: >0 ; >0
 21. 4316: AM ; AM, BM
 22. 4584: 等压 ; 等压; 等压
 23. 4683: 吸热 ; 放热; 放热
 24. 4109: 500 ; 700
 25. 4319: WR ; $\frac{7}{2} W$
 26. 4472: $\frac{3}{2} p_1 V_1$; 0
 27. 4689: 1:2 ; 5:3; 5:7
 28. 5345: 8.64×10^3
 29. 4127: 500; 100
 30. 4128: 200J
 31. 4698: $\eta = \frac{1}{w+1}$ (或 $w = \frac{1}{\eta} - 1$)
 32. 4701: 40J ; 140J
 33. 4336: 不变 ; 增加
 34. 4596: 状态几率增大 ; 不可逆的
 35. 4154: V_2 ; $(V_1/V_2)^{\gamma-1} T_1$; $(RT_1/V_2)(V_1/V_2)^{\gamma-1}$
 36. 4006: $1.33 \times 10^5 \text{ Pa}$
 37. 4956: 2

三、计算题

1. 4302: 解: $0.8 \times \frac{1}{2} M v^2 = (M/M_{\text{mol}}) \frac{5}{2} R \Delta T$, $\therefore T = 0.8 M_{\text{mol}} v^2 / (5R) = 0.062 \text{ K}$ -----3分

又: $\Delta p = R \Delta T / V$ (一摩尔氧气)

$\therefore \Delta p = 0.51 \text{ Pa}$ -----2分

2. 4070: 解: 定向运动动能 $\frac{1}{2} N m v^2$, 气体内能增量 $N \frac{1}{2} i k \Delta T$, $i=3$ 。按能量守恒应有: $\frac{1}{2} N m v^2 = N \frac{1}{2} i k \Delta T$, $\therefore m v^2 = i R \Delta T / N_A$ -----2分

$$\begin{aligned}
 (1) \quad \Delta T &= N_A m v^2 / (iR) = M_{\text{mol}} v^2 / (iR) = 6.42 \text{ K} \text{-----2 分} \\
 (2) \quad \Delta p &= (M / M_{\text{mol}}) R \Delta T / V = 6.67 \times 10^{-4} \text{ Pa} \text{-----2 分} \\
 (3) \quad \Delta U &= (M / M_{\text{mol}}) \frac{1}{2} i R \Delta T = 2.00 \times 10^3 \text{ J} \text{-----2 分} \\
 (4) \quad \Delta \bar{\varepsilon} &= \frac{1}{2} i k \Delta T = 1.33 \times 10^{-22} \text{ J} \text{-----2 分}
 \end{aligned}$$

3. 4077: 解: (1) 设分子数为 N , 据: $U = N(i/2)kT$ 及 $p = (N/V)kT$
 得: $p = 2U/(iV) = 1.35 \times 10^5 \text{ Pa}$ -----4 分

$$\frac{\bar{w}}{\bar{U}} = \frac{\frac{3}{2} kT}{N \frac{5}{2} kT}$$

(2) 由:
 得: $\bar{w} = 3U/(5N) = 7.5 \times 10^{-21} \text{ J}$ -----3 分

又:
 得: $U = N \frac{5}{2} kT$
 $T = 2U/(5Nk) = 362 \text{ K}$ -----3 分

$$\begin{aligned}
 4. 4301: \text{解: } A &= Pt = \frac{1}{2} \nu i R \Delta T \text{-----2 分} \\
 \therefore \Delta T &= 2Pt/(\nu i R) = 4.81 \text{ K} \text{-----3 分}
 \end{aligned}$$

5. 4111: 解: 氦气为单原子分子理想气体, $i = 3$

(1) 等体过程, $V = \text{常量}$, $W = 0$, 据 $Q = \Delta U + W$ 可知:

$$Q = \Delta U = \frac{M}{M_{\text{mol}}} C_V (T_2 - T_1) = 623 \text{ J} \text{-----3 分}$$

(2) 定压过程, $p = \text{常量}$, $Q = \frac{M}{M_{\text{mol}}} C_p (T_2 - T_1) = 1.04 \times 10^3 \text{ J}$; ΔU 与(1) 相同
 $W = Q - \Delta U = 417 \text{ J}$ -----4 分

(3) $Q = 0$; ΔU 与(1) 相同; $W = -\Delta U = -623 \text{ J}$ (负号表示外界做功)-----3 分

6. 4324: 解: 初态参量 p_0 、 V_0 、 T_0 。末态参量 p_0 、 $5V_0$ 、 T 。由 $p_0 V_0 / T_0 = p_0 (5V_0) / T$
 得: $T = 5T_0$ -----1 分
 $p-V$ 图如图所示-----2 分
 等温过程: $\Delta U = 0$

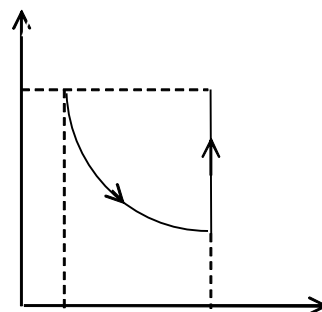
$$\begin{aligned}
 Q_T &= W_T = (M/M_{\text{mol}}) RT \ln(V_2/V_1) \\
 &= 3RT_0 \ln 5 = 1.09 \times 10^4 \text{ J} \text{-----2 分}
 \end{aligned}$$

等体过程: $W_V = 0$
 $Q_V = \Delta U_V = (M/M_{\text{mol}}) C_V \Delta T$
 $= (M/M_{\text{mol}}) C_V (4T_0) = 3.28 \times 10^3 C_V$ -----2 分

由: $Q = Q_T + Q_V$
 得: $C_V = (Q - Q_T)/(3.28 \times 10^3) = 21.0 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{C_V + R}{C_V} = 1.40 \text{-----3 分}$$

7. 4587: 解: (1) 气体对外作的功等于线段 \bar{ac} 下所围的面积



$$W=(1/2)\times(1+3)\times 1.013\times 10^5\times 2\times 10^{-3}\text{ J}=405.2\text{ J}-----3\text{ 分}$$

$$(2)\text{ 由图看出 } P_aV_a=P_cV_c \quad \therefore T_a=T_c \quad -----2\text{ 分}$$

$$\text{内能增量 } \Delta U=0 \quad -----2\text{ 分}$$

$$(3)\text{ 由热力学第一定律得: } Q=\Delta U+W=405.2\text{ J} \quad -----3\text{ 分}$$

8. 5347: 解: 该氮气系统经历的全部过程如图

设初态的压强为 p_0 、体积为 V_0 、温度为 T_0 , 而终态压强为 p_0 、体积为 V 、温度为 T 。
在全部过程中氮气对外所作的功

$$W=W(\text{等压})+W(\text{等温})$$

$$W(\text{等压})=p_0(2V_0-V_0)=RT_0-----1\text{ 分}$$

$$W(\text{等温})=4p_0V_0\ln(2p_0/p_0)=4p_0V_0\ln 2=4RT_0\ln 2-----2\text{ 分}$$

$$\therefore W=RT_0+4RT_0\ln 2=RT_0(1+4\ln 2)=9.41\times 10^3\text{ J}-----2\text{ 分}$$

$$\Delta U=C_V(T-T_0)=\frac{5}{2}R(4T_0-T_0)$$

氮气内能改变:

$$=15RT_0/2=1.87\times 10^4 \quad -----3\text{ 分}$$

$$\text{氮气在全部过程中吸收的热量: } Q=\Delta U+W=2.81\times 10^4\text{ J}-----2\text{ 分}$$

$$9. 0203: \text{解: 设 } a \text{ 状态的状态参量为 } p_0, V_0, T_0, \text{ 则 } p_b=9p_0, V_b=V_0, T_b=(p_b/p_a)T_a=9T_0 \quad ---1\text{ 分}$$

$$\therefore p_c = \frac{p_0 V_c^2}{V_0^2}; \quad \therefore V_c = \sqrt{\frac{p}{p_0}} V_0 = 3V_0 \quad -----1\text{ 分}$$

$$\therefore p_c V_c = RT_c; \quad \therefore T_c = 27T_0 \quad -----1\text{ 分}$$

$$(1)\text{ 过程 I } Q_V = C_V(T_b - T_a) = \frac{3}{2}R(9T_0 - T_0) = 12RT_0 \quad -----1\text{ 分}$$

$$\text{过程 II } Q_p = C_p(T_c - T_b) = 45RT_0 \quad -----1\text{ 分}$$

过

程

III

$$Q = C_V(T_a - T_c) + \int_{V_c}^{V_a} (p_0 V^2) dV / V_0^2 = \frac{3}{2}R(T_0 - 27T_0) + \frac{p_0}{3V_0^2}(V_a^3 - V_c^3) \\ = -39RT_0 + \frac{p_0(V_0^3 - 27V_0^3)}{3V_0^2} = -47.7RT_0 \quad -----3\text{ 分}$$

$$(2) \quad \eta = 1 - \frac{|Q|}{Q_V + Q_p} = 1 - \frac{47.7RT_0}{12RT_0 + 45RT_0} = 16.3\% \quad -----2\text{ 分}$$

$$10. 4097: \text{解: (1) } Q_1 = RT_1 \ln(V_2/V_1) = 5.35\times 10^3\text{ J} \quad -----3\text{ 分}$$

$$(2) \quad \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 0.25; \quad W = \eta Q_1 = 1.34\times 10^3\text{ J} \quad -----4\text{ 分}$$

$$(3) \quad Q_2 = Q_1 - W = 4.01\times 10^3\text{ J} \quad -----3\text{ 分}$$

11. 4104: 解: 由图, $p_A=300\text{ Pa}$, $p_B=p_C=100\text{ Pa}$; $V_A=V_C=1\text{ m}^3$, $V_B=3\text{ m}^3$ 。

(1) $C \rightarrow A$ 为等体过程, 据方程 $p_A/T_A = p_C/T_C$ 得: $T_C = T_A p_C / p_A = 100\text{ K} \quad -----2\text{ 分}$

$B \rightarrow C$ 为等压过程, 据方程 $V_B/T_B = V_C/T_C$ 得: $T_B = T_C V_B / V_C = 300\text{ K} \quad -----2\text{ 分}$

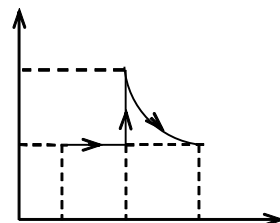
$$(2) \text{ 各过程中气体所作的功分别为: } A \rightarrow B: W_1 = \frac{1}{2}(p_A + p_B)(V_B - V_C) = 400\text{ J}$$

$$B \rightarrow C: W_2 = p_B(V_C - V_B) = -200\text{ J}$$

$$C \rightarrow A: W_3 = 0 \quad -----3\text{ 分}$$

$$(3) \text{ 整个循环过程中气体所作总功为: } W = W_1 + W_2 + W_3 = 200\text{ J}$$

因为循环过程气体内能增量为 $\Delta U=0$, 因此该循环中气体总吸热: $Q=W+\Delta U=200\text{ J} \quad -----3\text{ 分}$



分

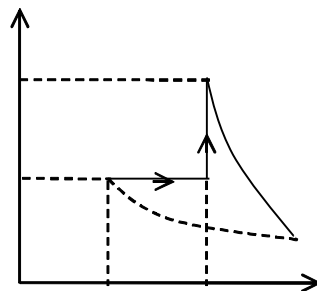
12. 4114: 解: (1) $p-V$ 图如右图-----2分

(2) $T_4=T_1$ $\Delta U=0$ -----2分

$$Q = \frac{M}{M_{mol}} C_p (T_2 - T_1) + \frac{M}{M_{mol}} C_v (T_3 - T_2)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{5}{2} p_1 (2V_1 - V_1) + \frac{3}{2} [2V_1 (2p_1 - p_1)] \\ &= \frac{11}{2} p_1 V_1 = 5.6 \times 10^2 \text{ J} \end{aligned}$$

(4) $W=Q=5.6 \times 10^2 \text{ J}$ -----2分



13. 4155: 解: (1) \because 刚性多原子分子 $i=6$, $\gamma = \frac{i+2}{i} = 4/3$ -----1分

$$\therefore T_2 = T_1 (p_2 / p_1)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 600 \text{ K} \text{-----2分}$$

$$\Delta U = (M / M_{mol}) \frac{1}{2} i R (T_2 - T_1) = 7.48 \times 10^3 \text{ J} \text{-----2分}$$

(2) \because 绝热 $W = -\Delta U = -7.48 \times 10^3 \text{ J}$ (外界对气体做功)-----2分

(3) $\because p_2 = n k T_2$

$$\therefore n = p_2 / (k T_2) = 1.96 \times 10^{26} \text{ 个/m}^3 \text{-----3分}$$

14. 4110: 解: (1) 过程 ab 与 bc 为吸热过程, 吸热总和为:

$$\begin{aligned} Q_1 &= C_V (T_b - T_a) + C_p (T_c - T_b) \\ &= \frac{3}{2} (p_b V_b - p_a V_a) + \frac{5}{2} (p_c V_c - p_b V_b) = 800 \text{ J} \end{aligned} \text{-----4分}$$

(2) 循环过程对外所作总功为图中矩形面积: $W = p_b (V_c - V_b) - p_a (V_d - V_a) = 100 \text{ J}$ -----2分

$$(3) T_a = p_a V_a / R, T_c = p_c V_c / R; T_b = p_b V_b / R, T_d = p_d V_d / R$$

$$T_a T_c = (p_a V_a p_c V_c) / R^2 = (12 \times 10^4) / R^2$$

$$T_b T_d = (p_b V_b p_d V_d) / R^2 = (12 \times 10^4) / R^2$$

$$\therefore T_a T_c = T_b T_d \text{-----4分}$$

15. 4130: 解: 由图得: $p_A=400 \text{ Pa}$, $p_B=p_C=100 \text{ Pa}$, $V_A=V_B=2 \text{ m}^3$, $V_C=6 \text{ m}^3$

(1) $C \rightarrow A$ 为等体过程, 据方程 $p_A / T_A = p_C / T_C$, 得: $T_C = T_A p_C / p_A = 75 \text{ K}$ -----1分

分

$B \rightarrow C$ 为等压过程, 据方程 $V_B / T_B = V_C / T_C$, 得: $T_B = T_C V_B / V_C = 225 \text{ K}$ -----1分

分

(2) 根据理想气体状态方程求出气体的物质的量 (即摩尔数), 为:

$$\frac{m}{M_{mol}} = \frac{p_A V_A}{R T_A} = 0.321 \text{ mol}$$

由 $\gamma = 1.4$ 知该气体为双原子分子气体, $C_V = \frac{5}{2} R$, $C_P = \frac{7}{2} R$

$B \rightarrow C$ 等压过程吸热: $Q_2 = \frac{7}{2} \nu R (T_C - T_B) = -1400 \text{ J}$ -----2分

$C \rightarrow A$ 等体过程吸热: $Q_3 = \frac{5}{2} \nu R (T_A - T_C) = 1500 \text{ J}$ -----2分

循环过程 $\Delta U=0$, 整个循环过程净吸热: $Q = W = \frac{1}{2} (p_A - p_C) (V_B - V_C) = 600 \text{ J}$

$\therefore A \rightarrow B$ 过程净吸热: $Q_1 = Q - Q_2 - Q_3 = 500\text{J}$ -----4 分

16. 4258: 解:
$$p = \frac{1}{3} nm \overline{v^2} = \frac{1}{3} \rho \overline{v^2}$$

$\therefore \rho = 3p / \overline{v^2} = 1.90 \text{ kg/m}^3$ -----5 分