

第七章 热学

一、选择题

第 408 题

【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) $\overline{v_x^2} = \frac{3kT}{m}$ (D) $\overline{v_x^2} = \frac{kT}{m}$

第 409 题

【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 。根据理想气体的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) $\overline{v_x} = \frac{8kT}{3\pi m}$ (D) $\overline{v_x} = 0$

第 410 题

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

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

第 411 题

【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

第 412 题

【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

第 413 题

【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

第 414 题

【4013】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、压强相同
 (B) 温度、压强都不相同
 (C) 温度相同，但氦气的压强大于氮气的压强
 (D) 温度相同，但氦气的压强小于氮气的压强

第 415 题

【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)

第 416 题

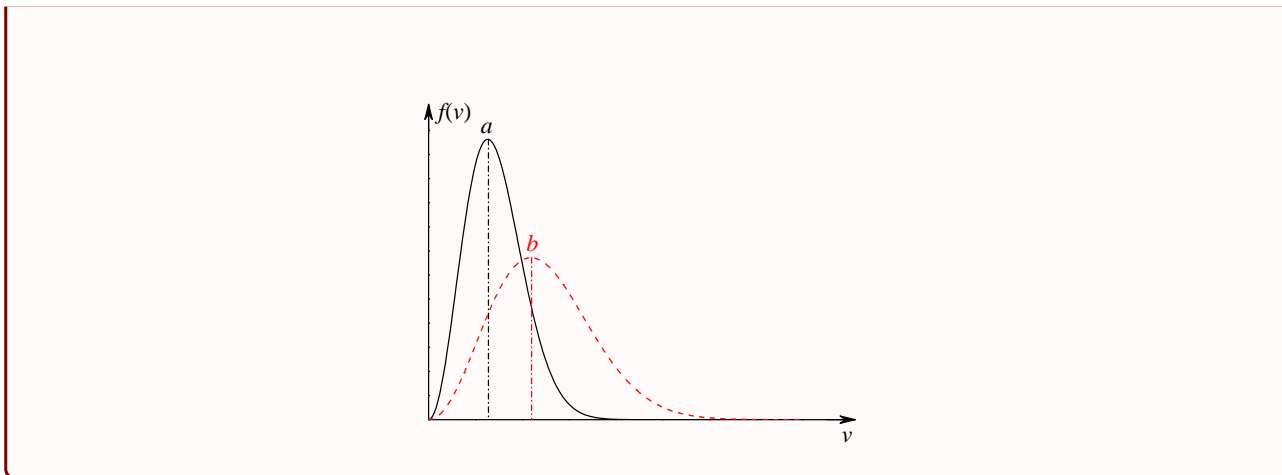
【4039】设声波通过理想气体的速率正比于气体分子的热运动平均速率，则声波通过具有相同温度的氧气和氢气的速率之比 v_{O_2}/v_{H_2} 为

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

第 417 题

【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：

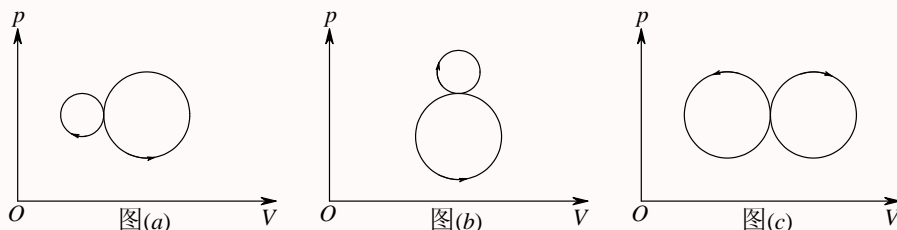
- (A) 图中 a 表示氧气分子的速率分布曲线； $(v_p)_{O_2}/(v_p)_{H_2} = 4$
 (B) 图中 a 表示氧气分子的速率分布曲线； $(v_p)_{O_2}/(v_p)_{H_2} = 1/4$
 (C) 图中 b 表示氧气分子的速率分布曲线； $(v_p)_{O_2}/(v_p)_{H_2} = 1/4$
 (D) 图中 b 表示氧气分子的速率分布曲线； $(v_p)_{O_2}/(v_p)_{H_2} = 4$



第 418 题

【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



第 419 题

【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)

第 420 题

【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

第 421 题

【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 5 J 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

第 422 题

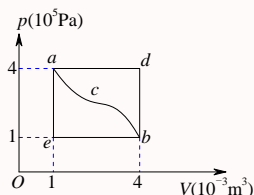
【4094】1 mol 的单原子分子理想气体从状态 A 变为状态 B，如果不知是什么气体，变化过程也不知道，但 A、B 两态的压强、体积和温度都知道，则可求出：

- (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

第 423 题

【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



第 424 题

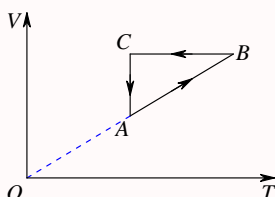
【4095】一定量的某种理想气体起始温度为 T ，体积为 V ，该气体在下面循环过程中经过三个平衡过程：(1) 绝热膨胀到体积为 $2V$ ，(2) 等体变化使温度恢复为 T ，(3) 等温压缩到原来体积 V ，则此整个循环过程中

- (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

第 425 题

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

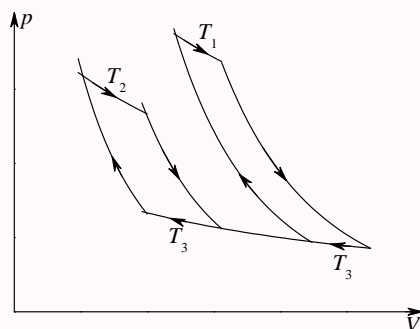
- (A) $A \rightarrow B$ (B) $B \rightarrow C$
(C) $C \rightarrow A$ (D) $B \rightarrow C$ 和 $C \rightarrow A$



第 426 题

【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：

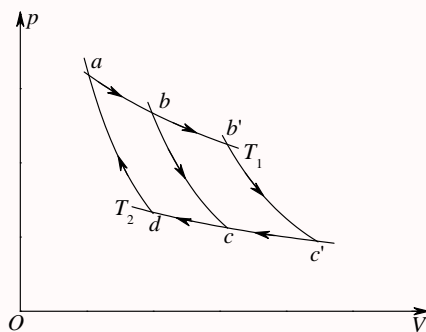
- (A) 两个热机的效率一定相等
 (B) 两个热机从高温热源所吸收的热量一定相等
 (C) 两个热机向低温热源所放出的热量一定相等
 (D) 两个热机吸收的热量与放出的热量（绝对值）的差值一定相等



第 427 题

【4122】如果卡诺热机的循环曲线所包围的面积从图中的 $abcd$ 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，效率降低
 (C) 净功和效率都不变
 (D) 净功增大，效率不变



第 428 题

【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%

第 429 题

【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

第 430 题

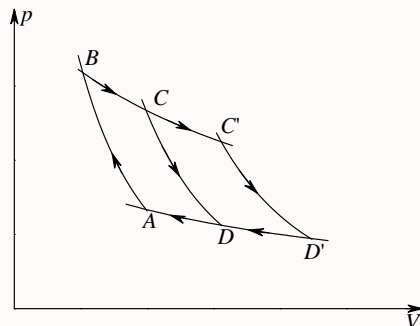
【4125】有人设计一台卡诺热机(可逆的)。每循环一次可从 400 K 的高温热源吸热 1800 J, 向 300 K 的低温热源放热 800 J。同时对外做功 1000 J, 这样的设计是

- (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

第 431 题

【4126】如图表示的两个卡诺循环, 第一个沿 $ABCD A$ 进行, 第二个沿 $ABC'D'A$ 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) $\eta_1 = \eta_2, W_1 < W_2$



第 432 题

【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

第 433 题

【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

第 434 题

【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

第 435 题

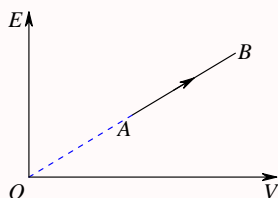
【4143】“理想气体和单一热源接触作等温膨胀时，吸收的热量全部用来对外作功。”对此说法，有如下几种评论，哪种是正确的？

- (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

第 436 题

【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



第 437 题

【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) $pV/(mT)$

第 438 题

【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

第 439 题

【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}

第 440 题

【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

第 441 题

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

第 442 题

【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 $\bar{v}_x =$ _____, $\overline{v_x^2} =$ _____。

第 443 题

【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_____。(摩尔气体常量 $R = 8.31$ J/(mol·K), 玻尔兹曼常量 $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K)

第 444 题

【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_____。

第 445 题

【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 $C_V = 0.314 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ，则氩原子的质量 $m = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

第 446 题

【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 $M_{\text{mol}} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

第 447 题

【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 $\underline{\hspace{2cm}} \text{ K}$ ；氢气的压强将增加 $\underline{\hspace{2cm}} \text{ Pa}$ 。

第 448 题

【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 $M_{\text{mol}} = \underline{\hspace{2cm}}$ ；容器单位体积内分子的总平动动能 $= \underline{\hspace{2cm}}$ 。

第 449 题

【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 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。(普适气体常量 $R = 8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$)

第 450 题

【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 $\underline{\hspace{2cm}}$ 倍。

第 451 题

【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 $E_A = \underline{\hspace{2cm}}$ ； $E_B = \underline{\hspace{2cm}}$ ；(2) 抽去绝热板，两种气体混合后处于平衡时的温度为 $T = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

第 452 题

【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： $\Delta E = \underline{\hspace{2cm}}$ ；氢： $\Delta E = \underline{\hspace{2cm}}$ ；氨： $\Delta E = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

第 453 题

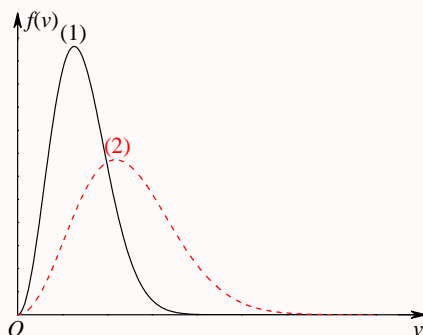
【0192】处于重力场中的某种气体, 在高度 z 处单位体积内的分子数即分子数密度为 n 。若 $f(v)$ 是分子的速率分布函数, 则坐标介于 $x \sim x+dx$ 、 $y \sim y+dy$ 、 $z \sim z+dz$ 区间内, 速率介于 $v \sim v+dv$ 区间内的分子数 $dN =$ _____。

第 454 题

【4029】已知大气中分子数密度 n 随高度 h 的变化规律: $n = n_0 \exp\left(-\frac{M_{\text{mol}}gh}{RT}\right)$, 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)

第 455 题

【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。

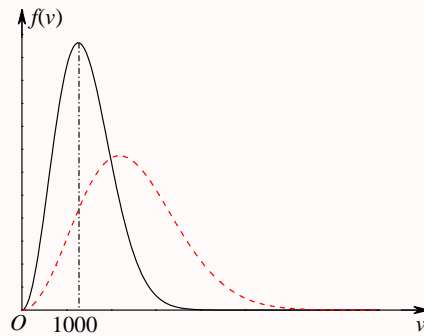


第 456 题

【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 $v > 100 \text{ m/s}$ 的分子数占总分子数的百分比的表达式为_____; (2) 速率 $v > 100 \text{ m/s}$ 的分子数的表达式为_____。

第 457 题

【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_____。



第 458 题

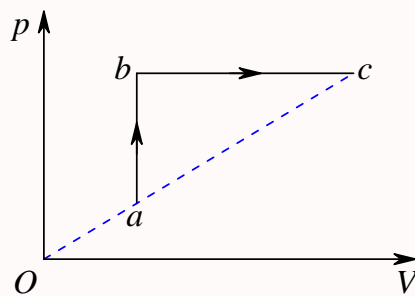
【4042】某气体在温度为 $T = 273 \text{ K}$ 时，压强为 $p = 1.0 \times 10^{-2} \text{ atm}$ ，密度 $\rho = 1.24 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^3$ ，则该气体分子的方均根速率为_____。(1 atm = $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$)

第 459 题

【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 $\Delta E =$ _____。

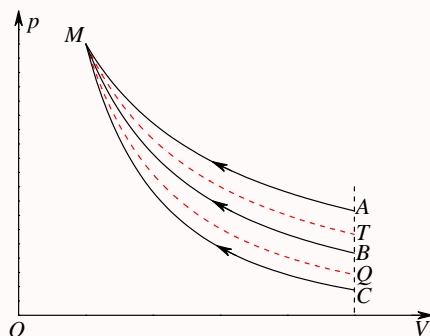
第 460 题

【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 _____。



第 461 题

【4316】下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。

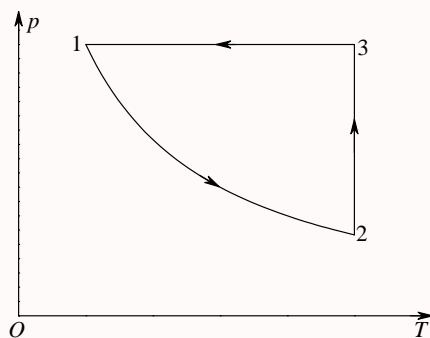


第 462 题

【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。

第 463 题

【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 $1 \rightarrow 2$ 中，气体_____；(2) 过程 $2 \rightarrow 3$ 中，气体_____；(3) 过程 $3 \rightarrow 1$ 中，气体_____。



第 464 题

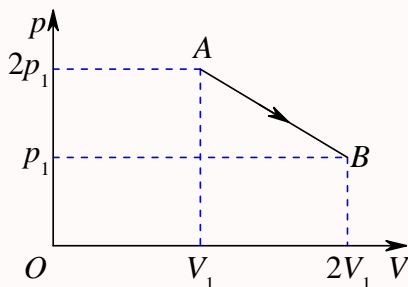
【4109】一定量的某种理想气体在等压过程中对外做功为 200 J 。若此种气体为单原子分子气体，则该过程中需吸热_____ J ；若为双原子分子气体，则需吸热_____ J 。

第 465 题

【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做功 W ，则其温度变化 $\Delta T =$ _____；从外界吸取的热量 $Q_p =$ _____。

第 466 题

【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 $(p_1, 2V_1)$ ，则 AB 过程中系统做功 $W = \underline{\hspace{2cm}}$ ；内能改变 $\Delta E = \underline{\hspace{2cm}}$ 。



第 467 题

【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 $m_1 : m_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ ，它们的内能之比为 $E_1 : E_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ ，如果它们分别在等压过程中吸收了相同的热量，则它们对外做功之比为 $W_1 : W_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ 。(各量下角标 1 表示氢气，2 表示氦气)

第 468 题

【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 $Q = \underline{\hspace{2cm}} \text{ J}$ 。

第 469 题

【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 $\underline{\hspace{2cm}} \text{ K}$ 。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 $\underline{\hspace{2cm}} \text{ K}$ 。

第 470 题

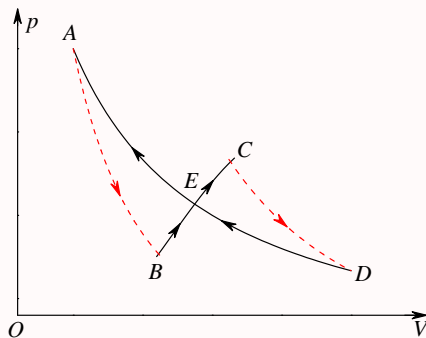
【4128】可逆卡诺热机可以逆向运转。逆向循环时，从低温热源吸热，向高温热源放热，而且吸的热量和放出的热量等于它正循环时向低温热源放出的热量和从高温热源吸的热量。设高温热源的温度为 $T_1 = 450 \text{ K}$ ，低温热源的温度为 $T_2 = 300 \text{ K}$ ，卡诺热机逆向循环时从低温热源吸热 $Q_2 = 400 \text{ J}$ ，则该卡诺热机逆向循环一次外界必须做功 $W = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

第 471 题

【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，该致冷机的致冷系数 $w = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$ ，则 η 与 w 的关系为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

第 472 题

【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 ($ABCDEA$) 系统对外做功为_____。(2) BEC 过程中系统从外界吸热为_____。



第 473 题

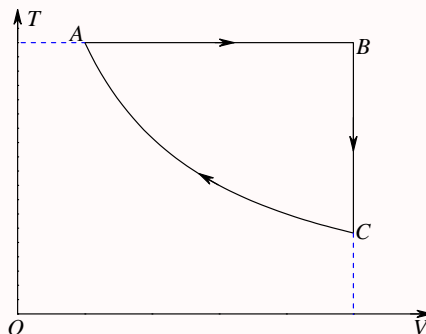
【4336】由绝热材料包围的容器被隔板隔为两半，左边是理想气体，右边真空。如果把隔板撤去，气体将进行自由膨胀过程，达到平衡后气体的温度_____ (“升高”、“降低”或“不变”)，气体的熵_____ (“增加”、“减小”或“不变”)。

第 474 题

【4596】在一个孤立系统内，一切实际过程都向着_____ 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_____。

第 475 题

【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： $V_C =$ _____, $T_C =$ _____, $p_C =$ _____。



第 476 题

【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 m/s，则气体的压强为_____。

第 477 题

【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_____倍。

三、计算题

第 478 题

【4302】储有 1 mol 氧气，容积为 1 m^3 的容器以 $v = 10 \text{ m/s}$ 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 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

第 479 题

【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 100 g 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 $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$)

第 480 题

【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。

第 481 题

【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 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

第 482 题

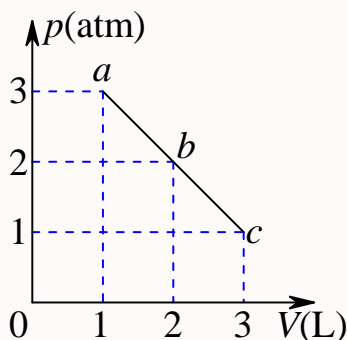
【4111】0.02 kg 的氦气(视为理想气体)，温度由 17°C 升为 27°C 。若在升温过程中，(1) 体积保持不变；(2) 压强保持不变；(3) 不与外界交换热量；试分别求出气体内能的改变、吸收的热量、外界对气体所作的功。(普适气体常量 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

第 483 题

【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 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

第 484 题

【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 = $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$)

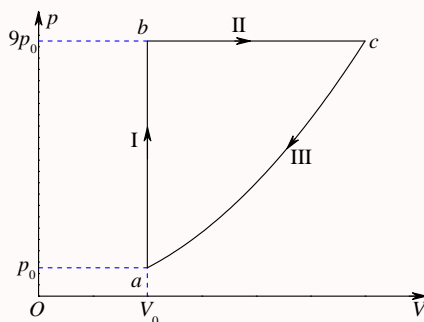


第 485 题

【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 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

第 486 题

【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。

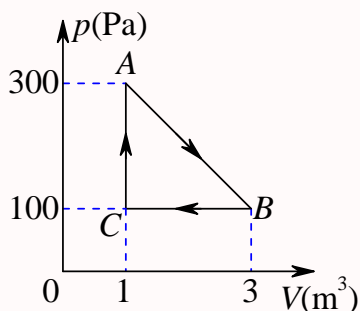


第 487 题

【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 。

第 488 题

【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）。



第 489 题

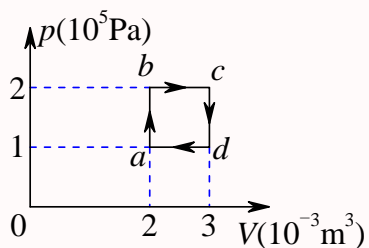
【4114】一定量的某单原子分子理想气体装在封闭的汽缸里。此汽缸有可活动的活塞（活塞与汽缸壁之间无摩擦且无漏气）。已知气体的初压强 $p_1 = 1\text{ atm}$ ，体积 $V_1 = 1\text{ L}$ ，现将该气体在等压下加热直到体积为原来的两倍，然后在等体积下加热直到压强为原来的 2 倍，最后作绝热膨胀，直到温度下降到初温为止，(1) 在 $p - V$ 图上将整个过程表示出来；(2) 试求在整个过程中气体内能的变化；(3) 试求在整个过程中气体所吸收的热量；(4) 试求在整个过程中气体所作的功。

第 490 题

【4155】有 1 mol 刚性多原子分子的理想气体，原来的压强为 1.0 atm ，温度为 27°C ，若经过一绝热过程，使其压强增加到 16 atm 。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。

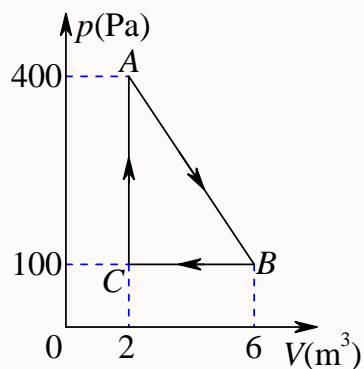
第 491 题

【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 $T_a T_c = T_b T_d$ 。



第 492 题

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



第 493 题

【4258】已知某理想气体分子的方均根速率为 400 m/s。当其压强为 1 atm 时，求气体的密度。

第七章 热学

一、选择题

第 408 题

【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) $\overline{v_x^2} = \frac{3kT}{m}$ (D) $\overline{v_x^2} = \frac{kT}{m}$

解析

【答案】D

【解析】理想气体的分子模型和统计假设。

根据理想气体的分子模型和统计假设，

$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2}$$

而理想气体的平均平动动能为

$$\overline{E_k} = \frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{3}{2}kT$$

所以有

$$\begin{aligned}\overline{v^2} &= \frac{3kT}{m} \\ \overline{v_x^2} &= \frac{1}{3}\overline{v^2} = \frac{kT}{m}\end{aligned}$$

第 409 题

【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 。根据理想气体的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) $\overline{v_x} = \frac{8kT}{3\pi m}$ (D) $\overline{v_x} = 0$

解析

【答案】D

【解析】理想气体的分子模型和统计假设。

根据理想气体的分子模型和统计假设，分子的运动方向是各向同性的，即沿任意方向运动的概率是相同的，分子速度在各个方向上的分量的各种统计平均值相等

$$\overline{v_x} = \overline{v_y} = \overline{v_z} = 0$$

第 410 题

【4014】温度、压强相同的氦气和氧气，它们分子的平均动能 $\bar{\varepsilon}$ 和平均平动动能 \bar{w} 有如下关系：

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

解析

【答案】C

【解析】能量均分定理。

氦气是单原子分子，自由度为 3，氧气是双原子分子，自由度为 5。但不管是什么分子，平动自由度均为 3，根据能量均分定理，分子的平均平动动能

$$\bar{w} = \frac{3}{2}kT$$

而动能包括平动动能、转动动能和振动动能，单原子分子只有平动动能，双原子分子除了 3 个平动自由度之外，还有 2 个转动自由度，所以

$$\begin{aligned}\bar{\varepsilon}_{\text{He}} &= \frac{3}{2}kT \\ \bar{\varepsilon}_{\text{O}_2} &= \frac{5}{2}kT\end{aligned}$$

第 411 题

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

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

解析

【答案】C

【解析】能量均分定理。

理想气体的体积比等于摩尔数比

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{2}$$

氦气是单原子分子，平动自由度为 3，转动自由度为零，振动自由度为零；氧气是双原子分子，平

动自由度为 3, 转动自由度为 2, 振动自由度为零。又理想气体不考虑势能, 所以内能就等于其动能, 根据能量均分定理,

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1 N_A \bar{\epsilon}_{\text{O}_2}}{n_2 N_A \bar{\epsilon}_{\text{He}}} = \frac{1}{2} \times \frac{\frac{5}{2} kT}{\frac{3}{2} kT} = \frac{5}{6}$$

第 412 题

【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

解析

【答案】C

【解析】能量均分定理。

1 mol 水蒸气分解成 1 mol 的氢气和 0.5 mol 氧气。水蒸气是多原子分子, 由于不考虑振动自由度, 所以平动自由度为 3, 转动自由度为 3; 氢气和氧气都是双原子分子, 平动自由度为 3, 转动自由度为 2。又理想气体不考虑势能, 所以内能就等于其动能, 根据能量均分定理, 1 mol 水蒸气的内能为

$$E_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \times N_A \times \frac{6}{2} kT = 3RT$$

1 mol 氢气的内能为

$$E_{\text{H}_2} = 1 \times N_A \times \frac{5}{2} kT = \frac{5}{2} RT$$

0.5 mol 氧气的内能为

$$E_{\text{O}_2} = 0.5 \times N_A \times \frac{5}{2} kT = \frac{5}{4} RT$$

所以内能增加了

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{E_{\text{H}_2} + E_{\text{O}_2} - E_{\text{H}_2\text{O}}}{E_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{\frac{5}{2} RT + \frac{5}{4} RT - 3RT}{3RT} = \frac{1}{4}$$

第 413 题

【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

解析

【答案】C

【解析】理想气体物态方程，能量均分定理。

由理想气体物态方程

$$pV = \frac{N}{N_A} RT = \frac{m}{M} RT$$

可得

$$n = \frac{N}{V} = \frac{pN_A}{RT}$$
$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT}$$

所以，温度 T 相同，压强 p 相同，单位体积内的气体分子数 n 相同；但不同类型的气体的摩尔质量 M 不同，所以单位体积内的气体质量 ρ 不同。另，温度 T 相同，压强 p 相同，但体积 V 不同，则必然摩尔数不同，但单位体积内的分子数相同。根据能量均分定理，任何类型气体分子的平动自由度均为 3，因此每个气体分子的平均平动动能相同，但摩尔数不同，所以分子总数不同，所以总的平动动能不同，但单位体积内的平动动能相同。

第 414 题

【4013】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、压强相同 (B) 温度、压强都不相同
(C) 温度相同，但氦气的压强大于氮气的压强 (D) 温度相同，但氦气的压强小于氮气的压强

解析

【答案】C

【解析】理想气体物态方程，能量均分定理。

不管是什么类型的气体分子，分子的平均平动动能都是 $3kT/2$ ，所以分子平均平动动能相同时，二者的温度相同。

由理想气体物态方程

$$pV = \frac{N}{N_A} RT = \frac{m}{M} RT$$

可得

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT}$$

所以，温度 T 相同，密度 ρ 相同，但摩尔质量 M 不同，所以压强 p 不同，摩尔质量 M 越大，压强 p 越小，所以氦气的摩尔质量小，压强大。

第 415 题

【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)

解析

【答案】B

【解析】温度的意义。

单个气体分子不存在冷热之说。

第 416 题

【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 $v_{\text{O}_2}/v_{\text{H}_2}$ 为 (A) 1 (B) 1/2 (C) 1/3 (D) 1/4

解析

【答案】D

【解析】平均速率。

根据平均速率的表达式

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

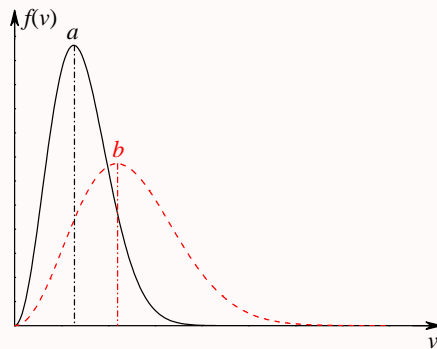
所以温度相同时，平均速率与摩尔质量的根号成反比

$$\frac{\bar{v}_{\text{O}_2}}{\bar{v}_{\text{H}_2}} = \sqrt{\frac{M_{\text{H}_2}}{M_{\text{O}_2}}} = \sqrt{\frac{2}{32}} = \frac{1}{4}$$

第 417 题

【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 $(v_p)_{\text{O}_2}$ 和 $(v_p)_{\text{H}_2}$ 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； $(v_p)_{\text{O}_2} / (v_p)_{\text{H}_2} = 4$
 (B) 图中 a 表示氧气分子的速率分布曲线； $(v_p)_{\text{O}_2} / (v_p)_{\text{H}_2} = 1/4$
 (C) 图中 b 表示氧气分子的速率分布曲线； $(v_p)_{\text{O}_2} / (v_p)_{\text{H}_2} = 1/4$
 (D) 图中 b 表示氧气分子的速率分布曲线； $(v_p)_{\text{O}_2} / (v_p)_{\text{H}_2} = 4$



解析

【答案】B

【解析】最概然速率。

根据最概然速率的表达式

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

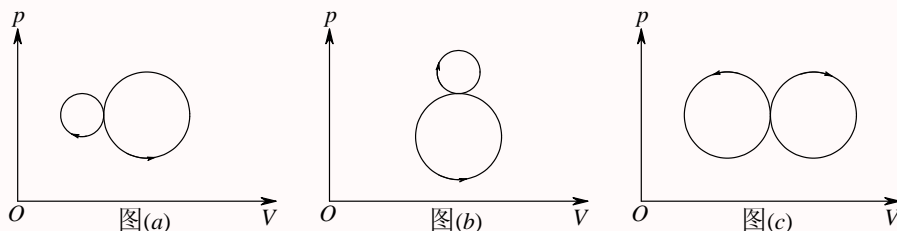
所以温度相同时，最概然速率与摩尔质量的根号成反比

$$\frac{(v_p)_{\text{O}_2}}{(v_p)_{\text{H}_2}} = \sqrt{\frac{M_{\text{H}_2}}{M_{\text{O}_2}}} = \sqrt{\frac{2}{32}} = \frac{1}{4}$$

第 418 题

【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



解析

【答案】C

【解析】 $p-V$ 图，做功。

在 $p-V$ 图中，闭合曲线所包围的面积表示循环过程所做的总功，其中顺时针的正循环做正功，逆时针的逆循环做负功。所以图 (a) 中，左边正循环所做的正功小于右边逆循环的负功，总功为负；图 (b) 中，上面正循环所做的正功小于下面逆循环的负功，总功为负；图 (c) 中，右边正循环所做的正功等于左边逆循环的负功，总功为零。

第 419 题

【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)

解析

【答案】D

【解析】准静态过程，可逆过程，不可逆过程。

准静态过程是进行得无限缓慢，系统经历的每一个中间过程都可以看成是平衡态的热力学过程。

可逆过程是指过程进行方向相反时，从末态回到初态，系统和外界完全恢复原状的热力学过程。

不可逆过程并不是指过程不能反向进行，而是说过程反向进行时，从末态回到初态时，系统和外界不能同时完全恢复原状的热力学过程，可能系统恢复了原状，但外界没有恢复原状，也可能外界恢复了原状，但系统没有恢复原状，还可能是系统和外界都不能恢复原状。

无摩擦的准静态过程一定是可逆过程。

自然界中自发发生的宏观过程一定是不可逆过程。

第 420 题

【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

解析

【答案】D

【解析】理想气体物态方程，过程方程。

理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

$$T = \frac{pV}{nR}$$

初态设为 (p_1, V_1, T_1) , 末态设为 (p_2, V_2, T_2) , 依题意, $V_2 = 2V_1$ 。

等温过程, $T_2 = T_1$, 所以温度改变量 $\Delta T = |T_2 - T_1| = 0$ 。

等压过程, $p_2 = p_1$, 所以

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{nR} = \frac{p_1 (2V_1)}{nR} = 2 \frac{p_1 V_1}{nR} = 2T_1$$

$$\Delta T = |T_2 - T_1| = T_1$$

绝热过程, 过程方程 $pV^\gamma = C$, 其中 $\gamma > 1$, 过程方程还有其他形式

$$C = pV \times V^{\gamma-1} = nRTV^{\gamma-1}$$

$$T = \frac{C}{nRV^{\gamma-1}}$$

所以有

$$T_1 = \frac{C}{nRV_1^{\gamma-1}}$$

$$T_2 = \frac{C}{nRV_2^{\gamma-1}} = \frac{C}{nR(2V_1)^{\gamma-1}} = \frac{1}{2^{\gamma-1}} \frac{C}{nRV_1^{\gamma-1}} = \frac{1}{2^{\gamma-1}} T_1$$

$$\Delta T = |T_2 - T_1| = \left| \frac{1}{2^{\gamma-1}} - 1 \right| T_1 = \left| 1 - \frac{1}{2^{\gamma-1}} \right| T_1$$

$$\gamma > 1 \Rightarrow \gamma - 1 > 0 \Rightarrow 2^{\gamma-1} > 1 \Rightarrow 1 > \frac{1}{2^{\gamma-1}} > 0 \Rightarrow 1 > 1 - \frac{1}{2^{\gamma-1}} > 0 \Rightarrow \Delta T < T_1$$

第 421 题

【4089】有两个相同的容器, 容积固定不变, 一个盛有氨气, 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 5 J 的热量传给氢气, 使氢气温度升高, 如果使氨气也升高同样的温度, 则应向氨气传递热量是:

- (A) 6 J (B) 5 J (C) 3 J (D) 2 J

解析

【答案】A

【解析】理想气体物态方程, 热力学第一定律。

氢气是刚性双原子分子, 自由度为 $i_{\text{H}_2} = 5$, 氨气是刚性多原子分子, 自由度为 $i_{\text{NH}_3} = 6$ 。依题意, 两个气体压强、温度、体积均相等, 根据理想气体物态方程

$$pV = nRT$$

所以二者的摩尔数也相等。而容器的容积固定, 所以气体的体积不变, 等容过程, 气体不做功, 根据热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

外界传递给系统的热量全部用来增加系统的内能，而理想气体的内能为

$$E = \frac{i}{2}nRT$$

所以

$$\begin{aligned}\Delta E &= \frac{i}{2}nR\Delta T = Q \\ \frac{Q_{\text{H}_2}}{Q_{\text{NH}_3}} &= \frac{i_{\text{H}_2}}{i_{\text{NH}_3}} \\ Q_{\text{NH}_3} &= \frac{i_{\text{NH}_3}}{i_{\text{H}_2}}Q_{\text{H}_2} = \frac{6}{5} \times 5 = 6 \text{ J}\end{aligned}$$

原文件中提供的答案是 C，疑似错误。从网上找到另一个完全类似的题目，只是题目中的氨气换成了氦气，那么氦气是单原子分子，自由度为 $i_{\text{He}} = 3$ ，则算出来的答案是 3 J。

第 422 题

【4094】1 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

解析

【答案】B

【解析】理想气体物态方程，热力学第一定律。

根据理想气体物态方程

$$pV = nRT$$

依题意，已知压强、温度、体积，则可以求出气体的摩尔数，但气体的类型不懂，无法确定其摩尔质量，所以气体的质量无法确定。

题目给定的气体是单原子分子理想气体，所以其自由度为 $i = 3$ ，其内能为

$$E = \frac{i}{2}nRT$$

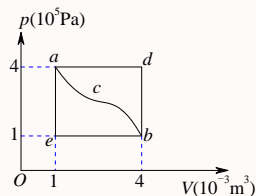
始末状态的温度已知，所以温度的变化量 ΔT 已知，所以内能的变化量 ΔE 也可求。根据热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

过程未知，所以 Q 和 W 无法确定。

第 423 题

【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



解析

【答案】B

【解析】理想气体物态方程，热力学第一定律。

根据理想气体物态方程

$$pV = nRT$$

根据题目所给图中数据， a 、 b 两态的温度相等，因此两态气体的内能相等，所以 bda 过程内能的变化量为零，根据热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

bda 过程系统所吸收的热量 Q 等于过程气体对外所做的功 W 。

而 bd 过程是等容过程，气体所做功 $W_{bd} = 0$ ， da 过程为等压过程，气体所做功为

$$W_{da} = p\Delta V = p(V_a - V_d) = 4 \times 10^5 \times (1 - 4) \times 10^{-3} = -1200\text{ J}$$

所以

$$Q_{bda} = W_{bda} = W_{bd} + W_{da} = 0 - 1200\text{ J}$$

$$Q_{acbda} = Q_{acb} + Q_{bda} = 500 - 1200 = -700\text{ J}$$

第 424 题

【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

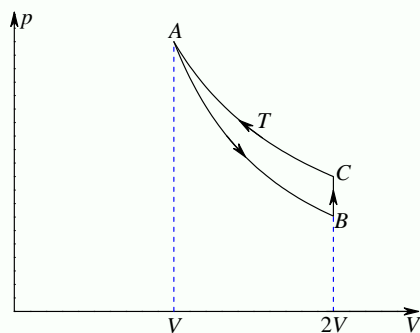
- (A) 气体向外界放热 (B) 气体对外界作正功
 (C) 气体内能增加 (D) 气体内能减少

解析

【答案】A

【解析】热力学第一定律。

依题意，循环过程的 $p - V$ 图如下图所示



对于一个循环过程，始态和末态重合，内能保持不变，而由图可以看出，这个循环是一个逆循环，所以循环过程外界对系统做正功，系统对外界作负功，根据热力学第一定律，

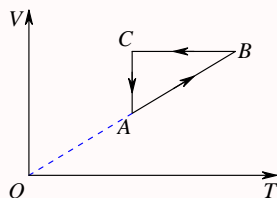
$$\Delta E = Q - W$$

内能不变， $\Delta E = 0$ ，系统对外界做负功， $W < 0$ ，所以 $Q < 0$ ，即系统向外界放出热量。

第 425 题

【4116】一定量理想气体经历的循环过程用 $V - T$ 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 $C \rightarrow A$



解析

【答案】A

【解析】热力学第一定律。

由题可以看出， $A \rightarrow B$ 是等压膨胀升温过程， $B \rightarrow C$ 是等容降温过程， $C \rightarrow A$ 是等温压缩过程。根据热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

$$Q = \Delta E + W$$

$A \rightarrow B$ 是等压膨胀升温过程，膨胀，气体对外做功， $W > 0$ ，升温，内能增加， $\Delta E > 0$ ，所以 $Q > 0$ ，气体从外界吸收热量。

$B \rightarrow C$ 是等容降温过程，等容，气体不做功， $W = 0$ ，降温，内能降低， $\Delta E < 0$ ，所以 $Q < 0$ ，气

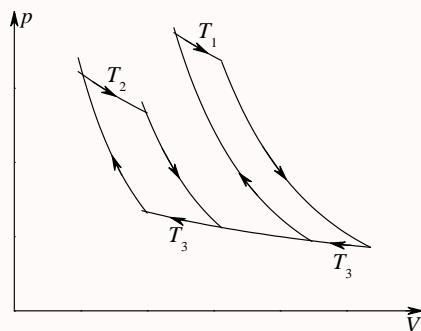
体释放热量到外界。

$C \rightarrow A$ 是等温压缩过程，等温，内能不变， $\Delta E = 0$ ，压缩，外界对气体做功， $W < 0$ ，所以 $Q < 0$ ，气体释放热量到外界。

第 426 题

【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



解析

【答案】D

【解析】卡诺热机的效率。

工作在高温热源 T_1 和低温热源 T_2 之间的卡诺热机，在一个循环过程中从高温热源处吸收了热量 Q_1 ，释放了 Q_2 热量到低温热源处，对外做了功 W ，该热机的效率为

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

而在 $p - V$ 图中，循环曲线所包围的面积表示循环过程系统对外界所做的功，顺时针的正循环，系统做正功，逆时针的逆循环，系统做负功。依题意，两个循环过程的面积相等，所以两个过程系统对外界所做的功相等，此功等于系统从高温吸收的热量与释放到低温的热量之间的差值。而两个循环，低温热源的温度相同，均为 T_3 ，但高温热源的温度不等，分别为 T_1 和 T_2 ，所以两个热机的效应不等。

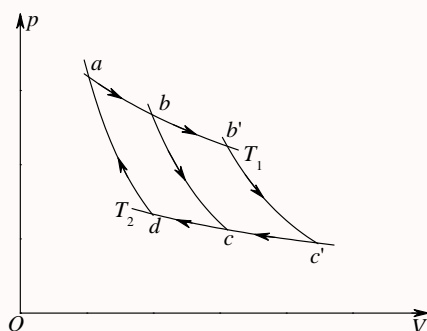
第 427 题

【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



解析

【答案】D

【解析】卡诺热机的效率。

工作在高温热源 T_1 和低温热源 T_2 之间的卡诺热机, 在一个循环过程中从高温热源处吸收了热量 Q_1 , 释放了 Q_2 热量到低温热源处, 对外做了功 W , 该热机的效率为

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

依题意, 循环 $ab'c'da$ 比 $abcda$ 的面积大, 所以所做净功大, 但两个循环的高低温热源相同, 所以效率不变。

第 428 题

【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%

解析

【答案】B

【解析】卡诺定理, 卡诺热机的效率。

工作在高温热源 T_1 和低温热源 T_2 之间的卡诺热机, 在一个循环过程中从高温热源处吸收了热量 Q_1 , 释放了 Q_2 热量到低温热源处, 对外做了功 W , 该热机的效率为

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

以上温度使用的是热力学温标, 所以 $T_1 = 327 + 273 = 600 \text{ K}$, $T_2 = 27 + 273 = 300 \text{ K}$, 而根据卡诺定理, 所有热机中卡诺热机的效率最高, 所以理论上的最大效率为

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300}{600} = 0.5 = 50\%$$

第 429 题

【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

解析

【答案】C

【解析】卡诺热机的效率。

工作在高温热源 T_1 和低温热源 T_2 之间的卡诺热机，在一个循环过程中从高温热源处吸收了热量 Q_1 ，释放了 Q_2 热量到低温热源处，对外做了功 W ，该热机的效率为

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

依题意， $T_1 = nT_2$ ，所以

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{1}{n}$$

第 430 题

【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。同时对外做功 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

解析

【答案】D

【解析】热力学第一定律，热力学第二定律，卡诺热机的效率。

工作在高温热源 T_1 和低温热源 T_2 之间的卡诺热机，在一个循环过程中从高温热源处吸收了热量 Q_1 ，释放了 Q_2 热量到低温热源处，对外做了功 W ，该热机的效率为

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

依题意， $Q_1 = 1800$ J， $Q_2 = 800$ J， $W = 1000$ J， $T_1 = 400$ K， $T_2 = 300$ K，所以热机效率的理论值为

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300}{400} = \frac{1}{4}$$

而设计的热机效率为

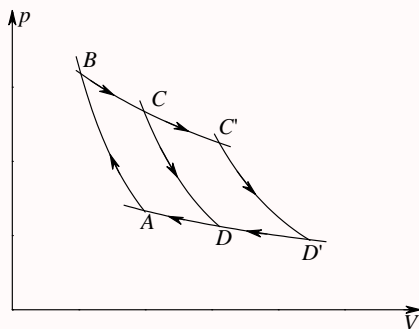
$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{1000}{1800} = \frac{5}{9} > \frac{1}{4}$$

$W = Q_1 - Q_2$ ，不违反热力学第一定律，但设计的效率超过理论值，所以是不可行的。

第 431 题

【4126】如图表示的两个卡诺循环，第一个沿 $ABCD A$ 进行，第二个沿 $ABC'D'A$ 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) $\eta_1 = \eta_2, W_1 < W_2$



解析

【答案】D

【解析】卡诺热机的效率， $p-V$ 图。

工作在高温热源 T_1 和低温热源 T_2 之间的卡诺热机，在一个循环过程中从高温热源处吸收了热量 Q_1 ，释放了 Q_2 热量到低温热源处，对外做了功 W ，该热机的效率为

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

依题意，循环 $ABC'D'A$ 比 $ABCD A$ 的面积大，所以所做净功大，但两个循环的高低温热源相同，所以效率不变。

第 432 题

【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

解析

【答案】D

【解析】热力学第二定律。

在等温膨胀过程中，系统所吸收的热量全部转化成功。

热不能自动从低温传到高温，但在外界做功的条件下，可以实现，比如制冷机。

不可逆过程并不是不能反向进行，而是反向进行的时候，系统和外界不能完全恢复原状。

一切自发的宏观过程都是不可逆的。

第 433 题

【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

解析

【答案】C

【解析】热力学第二定律。

热不能自动从低温传到高温，但在外界做功的条件下，可以实现，比如制冷机。

在等温膨胀过程中，系统所吸收的热量全部转化成功。

在一定的条件下，无规则运动的能量也可以变为有规则运动的能量。

气体自由膨胀是一个自发的过程，自发的过程是不可逆的，所以气体不会自动收缩，除非外界条件发生变化。

第 434 题

【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

解析

【答案】A

【解析】热力学第一定律，熵增加原理。

容器绝热，所以过程气体不吸热；自由膨胀，过程气体不做功；根据热力学第一定律，气体内能不变。而理想气体的内能仅仅与温度有关，内能不变，温度不变。

但气体的自由膨胀是一个自发的过程，是一个不可逆的过程，因此根据熵增加原理，过程熵增加。

第 435 题

【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

解析

【答案】C

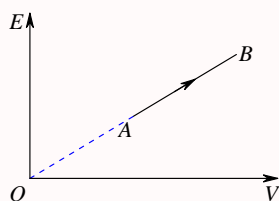
【解析】热力学第一定律，热力学第二定律。

等温膨胀过程，温度不变，内能不变，气体膨胀，对外做功，根据热力学第一定律，气体吸收的热量等于气体对外所做的功，因此没有违反热力学第一定律。对于一个循环过程，气体不可能把吸收到的热量全部用来做功，但这里的过程并不是一个循环过程，所以与第二定律不矛盾。

第 436 题

【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



解析

【答案】A

【解析】理想气体的内能。

理想气体的内能只与温度有关，而且是成正比

$$E = \frac{i}{2}RT$$

所以，由图中可见，内能与体积成正比，也就是温度与体积成正比，由理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

可得

$$\frac{T}{V} = \frac{p}{nR}$$

所以过程是等压过程。

第 437 题

【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) $pV/(mT)$

解析

【答案】B

【解析】平均自由程。

平均自由程

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}n\pi d^2} = \frac{\bar{v}}{\bar{Z}}$$

其中对于特定的气体，分子的有效直径 d 可以认为是个常数，因此平均自由程决定于气体的分子数密度 n 。而对于 1 mol 氦气，分子的总数固定，所以分子数密度取决于气体的体积，即容器的容积。

第 440 题

【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) $\bar{\lambda} = \sqrt{2}\bar{\lambda}_0, \bar{Z} = \frac{1}{2}\bar{Z}_0$

解析

【答案】B

【解析】平均自由程，平均碰撞频率，平均速率。

平均自由程

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}n\pi d^2}$$

平均碰撞频率

$$\bar{Z} = \sqrt{2}n\pi d^2 \bar{v}$$

容器的容积恒定，所以气体的体积固定，一定量的气体，所以气体的分子数固定，所以分子数密度 n 恒定。而对于特定的气体，分子的有效直径 d 可以认为是个常数，因此温度变化时，平均自由程不变，但分子的平均速率

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

与温度的开根号成正比，所以温度变为原来的 $1/4$ ，平均速率变为原来的 $1/2$ ，所以平均碰撞频率也变为原来的 $1/2$ 。

二、填空题

第 441 题

【4008】若某种理想气体分子的方均根速率 $\sqrt{v^2} = 450 \text{ m/s}$, 气体压强为 $p = 7 \times 10^4 \text{ Pa}$, 则该气体的密度为 $\rho = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

解析

【答案】 1.037 kg/m^3

【解析】方均根速率, 理想气体物态方程。

方均根速率

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

所以

$$\frac{RT}{M} = \frac{1}{3}v^2$$

而根据理想气体的物态方程

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

可得

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} = \frac{p}{RT/M} = \frac{p}{\frac{1}{3}v^2} = \frac{3p}{v^2} = \frac{3 \times 7 \times 10^4}{450^2} \approx 1.037 \text{ kg/m}^3$$

第 442 题

【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 $\overline{v_x} = \underline{\hspace{2cm}}$, $\overline{v_x^2} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

解析

【答案】 0 ; $\frac{kT}{m}$

【解析】理想气体分子模型和统计假设, 方均根速率。

根据理想气体分子模型和统计假设

$$\begin{aligned} \overline{v_x} &= \overline{v_y} = \overline{v_z} = 0 \\ \overline{v_x^2} &= \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} = \frac{1}{3}v^2 \end{aligned}$$

而根据方均根速率

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

可得

$$\overline{v_x^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2} = \frac{1}{3} \times \frac{3kT}{m} = \frac{kT}{m}$$

第 443 题

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

解析

【答案】 $6.23 \times 10^3 \text{ J}$; $6.21 \times 10^{-21} \text{ J}$; $1.035 \times 10^{-20} \text{ J}$

【解析】能量均分定理。

刚性双原子分子的平动自由度为 $t = 3$, 转动自由度为 $r = 2$, 振动自由度为 $s = 0$, 根据能量均分定理, 一个分子的平均平动动能为

$$\overline{E_t} = \frac{t}{2}kT = 1.5 \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300 = 6.21 \times 10^{-21} \text{ J}$$

一个分子的平均总动能为

$$\overline{E} = \frac{t+r}{2}kT = 2.5 \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300 = 1.035 \times 10^{-20} \text{ J}$$

而气体的总的内能为

$$E = \frac{i}{2}nRT = 2.5 \times 1 \times 8.31 \times 300 \approx 6.23 \times 10^3 \text{ J}$$

第 444 题

【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____。

解析

【答案】 $\frac{3}{2}kT$; $\frac{5}{2}kT$; $\frac{5}{4} \times 10^3 MRT$

【解析】能量均分定理。

刚性双原子分子的平动自由度为 $t = 3$, 转动自由度为 $r = 2$, 振动自由度为 $s = 0$, 根据能量均分定理, 一个分子的平均平动动能为

$$\overline{E_t} = \frac{t}{2}kT = \frac{3}{2}kT$$

一个分子的平均总动能为

$$\overline{E} = \frac{t+r}{2}kT = \frac{5}{2}kT$$

而气体的总的内能为

$$E = \frac{i}{2}nRT = \frac{5}{2} \times \frac{M}{2 \times 10^{-3}} \times RT = \frac{5}{4} \times 10^3 MRT$$

第 445 题

【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 $C_V = 0.314 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ，则氩原子的质量 $m = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

解析

【答案】 $6.59 \times 10^{-26} \text{ kg}$

【解析】能量均分定理。

氩气，单原子分子，分子量 40，符号 Ar。

单原子分子的平动自由度为 $t = 3$ ，转动自由度为 $r = 0$ ，振动自由度为 $s = 0$ ，根据能量均分定理，一个分子的平均平动动能为

$$\overline{E}_t = \frac{t}{2}kT = \frac{3}{2}kT$$

一个分子的平均总动能为

$$\overline{E} = \frac{t+r}{2}kT = \frac{3}{2}kT$$

而气体的总的内能为

$$E = \frac{i}{2}nRT = \frac{3}{2}nRT$$

而在定体（等容）过程中，气体做功为零，所以根据热力学第一定律，内能的增加就等于气体从外界所吸收的热量

$$\Delta E = Q - W = Q = \frac{3}{2}nR\Delta T$$

根据比热的定义，有

$$C_V = \frac{Q}{M\Delta T} = \frac{3nR}{2M} = \frac{3R}{2M_{\text{mol}}} = \frac{3N_A k}{2M_{\text{mol}}}$$

$$m = \frac{M_{\text{mol}}}{N_A} = \frac{3k}{2C_V} = \frac{3 \times 1.38 \times 10^{-23}}{2 \times 314} \approx 6.59 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

第 446 题

【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 $M_{\text{mol}} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

解析

【答案】 $28 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$

【解析】能量均分定理。

以 1 mol 气体为例进行研究，则气体的质量为 $m = M_{\text{mol}}$ 。当气体定向运动时，定向运动的动能为

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

由于气体是刚性双原子分子理想气体，所以其内能就是气体分子热运动的动能

$$E = \frac{i}{2}nRT = \frac{5}{2}RT$$

依题意，有

$$\begin{aligned} \Delta E &= \frac{5}{2}R\Delta T = E_k = \frac{1}{2}mv^2 \\ m = M_{\text{mol}} &= \frac{5R\Delta T}{v^2} = \frac{5 \times 8.31 \times 6.74}{100^2} \approx 28 \times 10^{-3} \text{ kg/mol} \end{aligned}$$

第 447 题

【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。

解析

【答案】1.93； 4×10^4

【解析】能量均分定理，理想气体物态方程。

当气体定向运动时，定向运动的动能为

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

由于氢气是刚性双原子分子理想气体，所以其内能就是气体分子热运动的动能

$$E = \frac{i}{2}nRT = \frac{5}{2} \times \frac{50}{2}RT = \frac{125}{2}RT$$

依题意，有

$$\begin{aligned} \Delta E &= \frac{5}{2}nR(\Delta T) = \frac{125}{2}R\Delta T = E_k = \frac{1}{2}mv^2 \\ \Delta T &= \frac{mv^2}{5nR} = \frac{mv^2}{125R} = \frac{0.05 \times 200^2}{125 \times 8.31} \approx 1.93 \text{ K} \end{aligned}$$

根据理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

在题目所给的过程中，容器的容积保持不变，因此气体的体积也保持不变，所以有

$$\begin{aligned} (\Delta p)V &= nR(\Delta T) \\ \Delta p &= \frac{nR(\Delta T)}{V} = \frac{mv^2}{5V} = \frac{0.05 \times 200^2}{5 \times 0.01} = 4 \times 10^4 \text{ Pa} \end{aligned}$$

第 448 题

【4075】已知一容器内的理想气体在温度为 273 K、压强为 1.0×10^{-2} atm 时，其密度为 1.24×10^{-2} kg/m³，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 =_____。

解析

【答案】 28×10^{-3} kg/mol； 1.52×10^3 J

【解析】理想气体物态方程。

根据理想气体的物态方程

$$pV = nRT = \frac{m}{M}RT = \frac{N}{N_A}RT = NkT$$

可得

$$M = \frac{m}{pV}RT = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1.24 \times 10^{-2} \times 8.31 \times 273}{1.0 \times 10^{-2} \times 1.013 \times 10^5} \approx 28 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

不管是什么类型的气体，单个分子的平均平动动能均为

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2}kT$$

容器单位体积内分子的总平动动能

$$E_k = \frac{N}{V}\overline{E_k} = \frac{p}{kT} \times \frac{3}{2}kT = \frac{3}{2}p = 1.5 \times 1.0 \times 10^{-2} \times 1.013 \times 10^5 \approx 1.52 \times 10^3 \text{ J}$$

第 449 题

【4273】一定量 H₂ 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 H₂ 气的质量为_____。(普适气体常量 $R = 8.31$ J/(mol·K))

解析

【答案】 4×10^{-3} kg

【解析】理想气体的内能。

氢气是刚性双原子分子理想气体，其内能为

$$E = \frac{5}{2}nRT$$

依题意

$$\frac{\Delta E}{\Delta T} = \frac{5}{2}nR = 41.6$$

$$n = \frac{m}{M} = \frac{2}{5R} \times \frac{\Delta E}{\Delta T}$$

$$m = \frac{2}{5R} \times \frac{\Delta E}{\Delta T} \times M = \frac{2}{5 \times 8.31} \times 41.6 \times 2 \times 10^{-3} \approx 4 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

第 450 题

【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。

解析

【答案】 $\frac{5}{3}$

【解析】理想气体的内能。

氦气是刚体单原子分子理想气体，其自由度为 $i_{\text{He}} = 3$ ；氢气是刚性双原子分子理想气体，其自由度为 $i_{\text{H}_2} = 5$ ，而理想气体的内能为

$$E = \frac{i}{2}nRT$$

根据理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

压强、体积、温度均相同，则摩尔数相同，所以

$$\frac{E_{\text{H}_2}}{E_{\text{He}}} = \frac{i_{\text{H}_2}}{i_{\text{He}}} = \frac{5}{3}$$

第 451 题

【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 $E_A = \underline{\hspace{2cm}}$ ； $E_B = \underline{\hspace{2cm}}$ ；(2) 抽去绝热板，两种气体混合后处于平衡时的温度为 $T = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

解析

【答案】 $\frac{3}{2}p_0V_0$ ； $\frac{5}{2}p_0V_0$ ； $\frac{8p_0V_0}{13R}$

【解析】理想气体的内能。

根据理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

两部分的温度分别为

$$T_A = \frac{p_A V_A}{n_A R} = \frac{p_0 V_0}{R}$$

$$T_B = \frac{p_B V_B}{n_B R} = \frac{p_0 V_0}{2R}$$

A 气体是刚体单原子分子理想气体，其自由度为 $i_A = 3$ ； B 气体是刚性双原子分子理想气体，其自由度为 $i_B = 5$ ，而理想气体的内能为

$$E = \frac{i}{2}nRT$$

所以两种气体各自的内能分别为

$$E_A = \frac{i_A}{2} n_A R T_A = \frac{3}{2} \times R \times \frac{p_0 V_0}{R} = \frac{3}{2} p_0 V_0$$

$$E_B = \frac{i_B}{2} n_B R T_B = \frac{5}{2} \times 2R \times \frac{p_0 V_0}{2R} = \frac{5}{2} p_0 V_0$$

混合后, 设平衡时两气体的共同温度为 T , 则两种气体各自的内能分别为

$$E'_A = \frac{i_A}{2} n_A R T = \frac{3}{2} \times R T = \frac{3}{2} R T$$

$$E'_B = \frac{i_B}{2} n_B R T = \frac{5}{2} \times 2R T = 5R T$$

由于容器绝热, 由两种气体组成的系统与外界之间即没有做功也没有传热, 所以系统的总的内能保持不变, 所以有

$$E_A + E_B = E'_A + E'_B$$

$$\frac{3}{2} p_0 V_0 + \frac{5}{2} p_0 V_0 = \frac{3}{2} R T + 5R T$$

$$4p_0 V_0 = \frac{13}{2} R T$$

$$T = \frac{8p_0 V_0}{13R}$$

第 452 题

【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: $\Delta E = \underline{\hspace{2cm}}$; 氢: $\Delta E = \underline{\hspace{2cm}}$; 氨: $\Delta E = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

解析

【答案】12.45 J; 20.75 J; 24.9 J

【解析】理想气体的内能。

氦气是刚体单原子分子理想气体, 其自由度为 $i_A = 3$; 氢气是刚性双原子分子理想气体, 其自由度为 $i_B = 5$, 氨气是刚性多原子分子理想气体, 其自由度为 $i_C = 6$, 而理想气体的内能为

$$E = \frac{i}{2} n R T$$

所以当温度变化 ΔT 时, 内能变化为

$$\Delta E = \frac{i}{2} n R \Delta T$$

所以, 当 $\Delta T = 1$ K 时,

$$\Delta E_A = \frac{i_A}{2} n_A R \Delta T = \frac{3}{2} R = 1.5 \times 8.3 = 12.45 \text{ J}$$

$$\Delta E_B = \frac{i_B}{2} n_B R \Delta T = \frac{5}{2} R = 2.5 \times 8.3 = 20.75 \text{ J}$$

$$\Delta E_C = \frac{i_C}{2} n_C R \Delta T = \frac{6}{2} R = 3R = 3 \times 8.3 = 24.9 \text{ J}$$

第 453 题

【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 $dN =$ _____。

解析

【答案】 $f(v)ndxdydzdv$

【解析】速率分布函数。

依题意，在高度 z 处单位体积内的分子数即分子数密度为 n ，所以坐标介于 $x \sim x+dx$ 、 $y \sim y+dy$ 、 $z \sim z+dz$ 区间内的分子数为

$$dN_0 = ndxdydz$$

根据速率分布函数的定义

$$f(v)dv = \frac{dN}{dN_0}$$

所以

$$dN = f(v)dN_0dv = f(v)ndxdydzdv$$

第 454 题

【4029】已知大气中分子数密度 n 随高度 h 的变化规律： $n = n_0 \exp\left(-\frac{M_{\text{mol}}gh}{RT}\right)$ ，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 ）

解析

【答案】 $\frac{RT}{M_{\text{mol}}g} \ln 2$

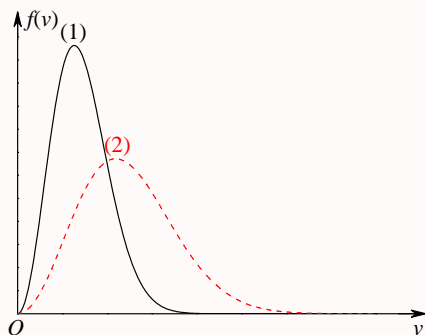
【解析】速率分布函数。

依题意，

$$\begin{aligned} n &= n_0 \exp\left(-\frac{M_{\text{mol}}gh}{RT}\right) = \frac{1}{2}n_0 \\ \exp\left(-\frac{M_{\text{mol}}gh}{RT}\right) &= \frac{1}{2} \\ \frac{M_{\text{mol}}gh}{RT} &= \ln 2 \\ h &= \frac{RT}{M_{\text{mol}}g} \ln 2 \end{aligned}$$

第 455 题

【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。



解析

【答案】(2); (1)

【解析】速率分布函数，速率分布曲线，最概然速率。

由图可以看出，两条分布曲线对应的最概然速率之间的大小关系 $v_{P1} < v_{P2}$ ，而最概然速率与温度的根号成正比，与摩尔质量的根号成反比，即 $v_P \propto \sqrt{T/M}$ ，所以可知，曲线 (2) 的温度较高，曲线 (1) 是氧气的分布曲线。

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

第 456 题

【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 $v > 100$ m/s 的分子数占总分子数的百分比的表达式为_____；(2) 速率 $v > 100$ m/s 的分子数的表达式为_____。

解析

【答案】 $\int_{100}^{\infty} f(v)dv$; $\int_{100}^{\infty} Nf(v)dv$

【解析】麦克斯韦速率分布函数。

根据速率分布函数的定义，速率 $v > 100$ m/s 的分子数占总分子数的百分比的表达式为

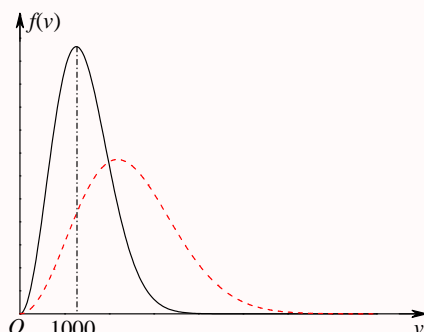
$$\int_{100}^{\infty} f(v)dv$$

速率 $v > 100$ m/s 的分子数的表达式为

$$\int_{100}^{\infty} Nf(v)dv$$

第 457 题

【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_____。



解析

【答案】1000 m/s; $1000\sqrt{2}$ m/s

【解析】速率分布函数，速率分布曲线，最概然速率。

根据最概然速率的表达式

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

可知，同一温度下，摩尔质量越大的气体分子的最概然速率越小，所以由图可得，氦气的最概然速率为 1000，图中没有给出单位，默认应该是国际单位制单位。所以有

$$v_{P\text{He}} = \sqrt{\frac{2RT}{M_{\text{He}}}} = 1000 \text{ m/s}$$

$$v_{P\text{H}_2} = \sqrt{\frac{2RT}{M_{\text{H}_2}}} = \sqrt{\frac{2RT}{M_{\text{He}}}} \times \sqrt{\frac{M_{\text{He}}}{M_{\text{H}_2}}} = 1000\sqrt{2} \text{ m/s}$$

第 458 题

【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 = $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$)

解析

【答案】495 m/s

【解析】方均根速率，理想气体的物态方程。

根据方均根速率的表达式

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

和理想气体的物态方程

$$pV = nRT = \frac{m}{M}RT$$

可得

$$\frac{RT}{M} = \frac{pV}{m} = \frac{p}{\rho}$$

$$\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}} = \sqrt{\frac{3 \times 1.0 \times 10^{-2} \times 1.013 \times 10^5}{1.24 \times 10^{-2}}} = \sqrt{\frac{3 \times 1.013 \times 10^5}{1.24}} \approx 495 \text{ m/s}$$

第 459 题

【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 $Q = \underline{\hspace{2cm}}$ ；(2) 内能增加了 $\Delta E = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

解析

【答案】 $-|W_1|$ ； $-|W_2|$

【解析】热力学第一定律，理想气体的内能。

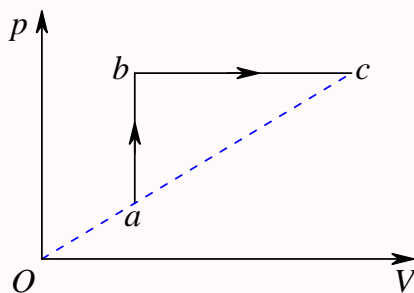
根据热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

而理想气体的内能只与温度有关，所以等温压缩过程，温度不变，内能不变，外界对气体做功 $|W_1|$ ，气体释放了热量也是 $|W_1|$ ；绝热膨胀过程，气体与外界之间没有热量交换，气体对外做功 $|W_2|$ ，所以内能减小了 $|W_2|$ ，所以整个过程，气体释放了热量 $|W_1|$ ，即吸收了 $-|W_1|$ ，内能减小了 $|W_2|$ ，即增加了 $-|W_2|$ 。

第 460 题

【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 “ $= 0$ ”： $Q \underline{\hspace{2cm}}$ ， $\Delta E \underline{\hspace{2cm}}$ 。



解析

【答案】 > 0 ； > 0

【解析】热力学第一定律，理想气体的内能。

根据理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

和热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

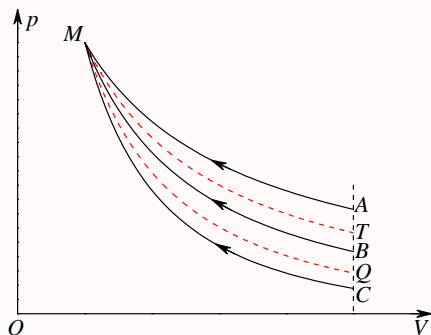
而且理想气体的内能只与温度有关，由图可以看出， $a \rightarrow b$ 过程是等容过程，气体不做功，但压强增加，所以温度升高，所以气体的内能增大，所以气体从外界吸收了热量； $b \rightarrow c$ 过程是等压膨胀过程，气体对外做功，而且温度升高，内能增大，所以气体也从外界吸收了热量。所以整个 $a \rightarrow b \rightarrow c$ 过程，气体从外界吸收热量， $Q > 0$ ；而由图上可以看出，

$$\begin{aligned} p_c V_c &> p_a V_a \\ nRT_c &> nRT_a \\ T_c &> T_a \end{aligned}$$

即末态的温度高于初态的温度，所以气体的内能增加，即 $\Delta E > 0$ 。

第 461 题

【4316】下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。



解析

【答案】 AM ； AM 、 BM

【解析】 $p - V$ 图。

根据理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

由 $p - V$ 图可以看出， $T_A > T_T = T_M > T_B > T_C$ ，所以三种准静态过程中，温度降低的过程是 AM 过程。

系统经历一个热力学过程后是吸热还是放热，可以用经过初态的一条绝热线作为判断依据，若过程

的末态在绝热线的右上方，则此过程必定吸热，反之，若过程的末态在绝热线的左下方，则此过程必定放热。注意，题目所给的三个过程的末态都经过 M 点，不是初态，所以不能直接使用上面的结论进行判断，但我们可以把三个过程反过来， MA 、 MB 、 MC 三个过程中，从上面的判据可知， MA 、 MB 两个过程吸热， MC 过程放热，所以 AM 、 BM 两个过程放热， CM 过程吸热。

第 462 题

【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。

解析

【答案】等压；等压；等压

【解析】理想气体物态方程，热力学第一定律， $p-V$ 图。

设初态为 (p_1, V_1, T_1) ，末态为 (p_2, V_2, T_2) ，依题意， $V_2 = 2V_1$ 。根据理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

和热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

等压过程， $p_2 = p_1$ ，所以 $T_2 = 2T_1$ ，气体做功、内能增加量和吸收的热量分别为

$$W_1 = p_1(V_2 - V_1) = p_1 V_1 = nRT_1$$

$$\Delta E_1 = \frac{i}{2} nR(T_2 - T_1) = \frac{i}{2} nRT_1$$

$$Q_1 = \Delta E_1 + W_1 = \frac{i+2}{2} nRT_1$$

等温过程， $T_2 = T_1$ ，所以 $p_2 = \frac{1}{2} p_1$ ，内能变化量、气体做功和吸收的热量分别为

$$\Delta E_2 = 0$$

$$W_2 = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT_1}{V} dV = nRT_1 \ln 2$$

$$Q_2 = \Delta E_2 + W_2 = nRT_1 \ln 2$$

绝热过程， $Q_3 = 0$ ，过程方程

$$pV^\gamma = C = p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$$

所以

$$p_2 = p_1 (V_1/V_2)^\gamma = \frac{p_1}{2^\gamma}$$

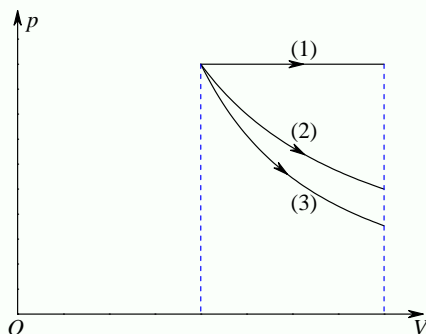
$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{nR} = \frac{p_1 (2V_1)}{2^\gamma nR} = \frac{T_1}{2^{\gamma-1}}$$

$$\begin{aligned} \Delta E_3 &= \frac{i}{2}nR(T_2 - T_1) = \frac{i}{2}nRT_1 \left(\frac{1}{2^{\gamma-1}} - 1 \right) = nRT_1 \left(\frac{i}{2^\gamma} - \frac{i}{2} \right) \\ W_3 &= \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{C}{V^\gamma} dV = -\frac{1}{\gamma-1} \left(\frac{C}{V_2^{\gamma-1}} - \frac{C}{V_1^{\gamma-1}} \right) = \frac{1}{\gamma-1} \left(\frac{p_1 V_1^\gamma}{V_1^{\gamma-1}} - \frac{p_2 V_2^\gamma}{V_2^{\gamma-1}} \right) \\ &= \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{\gamma-1} = \frac{1}{\gamma-1} nR(T_1 - T_2) = -\Delta E_3 = nRT_1 \left(\frac{i}{2} - \frac{i}{2^\gamma} \right) \\ \gamma &= \frac{C_V}{C_p} = \frac{\frac{i+2}{2}nR}{\frac{i}{2}nR} = \frac{i+2}{i} \Rightarrow \gamma-1 = \frac{2}{i} \Rightarrow \frac{1}{\gamma-1} = \frac{i}{2} \end{aligned}$$

所以

$$\begin{aligned} W_1 &= nRT_1 > W_2 = nRT_1 \ln 2 > W_3 = nRT_1 \left(\frac{i}{2} - \frac{i}{2^\gamma} \right) \\ \Delta E_1 &= \frac{i}{2}nRT_1 > \Delta E_2 = 0 > \Delta E_3 = nRT_1 \left(\frac{i}{2^\gamma} - \frac{i}{2} \right) \\ Q_1 &= \frac{i+2}{2}nRT_1 > Q_2 = nRT_1 \ln 2 > Q_3 = 0 \end{aligned}$$

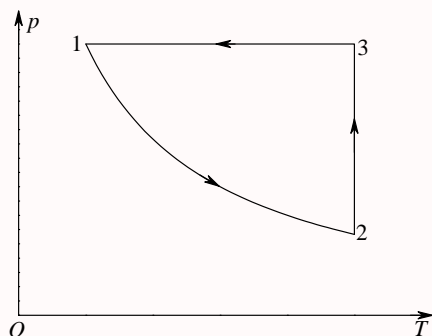
从以下 $p-V$ 图可以看出



(1) 为等压过程, (2) 为等温过程, (3) 为绝热过程。由于过程曲线与横轴所围的面积为该过程系统所做的功, 所以 (1) 等压过程所做的功最大, (2) 等温过程次之, (3) 绝热过程最小; 等温过程温度不变, 等压过程温度升高, 绝热过程, 温度下降, 所以 (1) 等压过程, 内能增加, (2) 等温过程, 内能不变, (3) 绝热过程, 内能减少; 至于吸收的热量, 绝热过程不吸热, 另外两个过程的过程曲线都在绝热过程曲线的右上方, 所以过程都是吸热, 另外根据热力学第一定律, 过程吸收的热量等于内能的增加量加上系统对外所做的功, 据前两项的分析, 显然可得, (1) 等压过程所吸收的热量最大, (2) 等温过程次之, (3) 绝热过程最小 (为零)。

第 463 题

【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____。



解析

【答案】吸热；放热；放热

【解析】理想气体物态方程，热力学第一定律， $p-V$ 图。
根据理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

和热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

1 → 2 过程，温度升高，压强降低，所以体积一定膨胀，温度升高，内能增加， $\Delta E > 0$ ，体积膨胀，气体对外做功， $W > 0$ ，所以 $Q = \Delta E + W > 0$ ，气体吸热；2 → 3 过程，温度不变，压强升高，所以体积一定压缩，温度不变，内能不变， $\Delta E = 0$ ，体积压缩，外界对气体做功， $W < 0$ ，所以 $Q = \Delta E + W < 0$ ，气体放热；3 → 1 过程，压强不变，温度下降，所以体积一定压缩，温度下降，内能减小， $\Delta E < 0$ ，体积压缩，外界对气体做功， $W < 0$ ，所以 $Q = \Delta E + W < 0$ ，气体放热。

第 464 题

【4109】一定量的某种理想气体在等压过程中对外做功为 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。

解析

【答案】500 J；700 J

【解析】理想气体物态方程，热力学第一定律，理想气体的内能。
根据理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

和热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

等压过程

$$W = p\Delta V = nR\Delta T$$

$$\Delta E = \frac{i}{2}nR\Delta T = \frac{i}{2}p\Delta V = \frac{i}{2}W$$

$$Q = \Delta E + W = \frac{i+2}{2}W$$

单原子分子, $i = 3$, 所以

$$Q = \frac{5}{2}W = 500 \text{ J}$$

刚性双原子分子, $i = 5$, 所以

$$Q = \frac{7}{2}W = 700 \text{ J}$$

在不是非常高的温度下, 一般都把气体分子看成刚性分子, 题目不作特殊说明时, 一般都认为是刚性分子。如果是弹性双原子分子, 则 $i = 6$, 那么

$$Q = \frac{8}{2}W = 800 \text{ J}$$

第 465 题

【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做功 W , 则其温度变化 $\Delta T = \underline{\hspace{2cm}}$; 从外界吸取的热量 $Q_p = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

解析

【答案】 $\frac{W}{R}$; $\frac{7}{2}W$

【解析】理想气体物态方程, 热力学第一定律, 理想气体的内能。

根据理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

和热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

等压过程

$$W = p\Delta V = nR\Delta T$$

$$\Delta T = \frac{W}{nR}$$

$$\Delta E = \frac{i}{2}nR\Delta T = \frac{i}{2}p\Delta V = \frac{i}{2}W$$

$$Q = \Delta E + W = \frac{i+2}{2}W$$

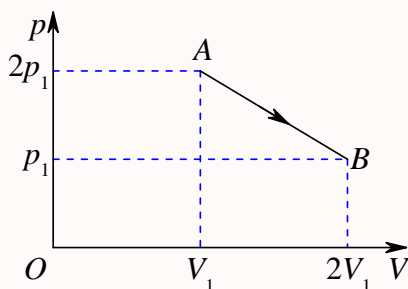
对于 1 mol 刚性双原子分子, $n = 1$, $i = 5$, 所以

$$\Delta T = \frac{W}{R}$$

$$Q = \frac{7}{2}W$$

第 466 题

【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 $(p_1, 2V_1)$, 则 AB 过程中系统做功 $W = \underline{\hspace{2cm}}$; 内能改变 $\Delta E = \underline{\hspace{2cm}}$ 。



解析

【答案】 $\frac{3}{2}p_1V_1$; 0

【解析】 $p-V$ 图, 理想气体物态方程, 理想气体的内能。

在 $p-V$ 图中, 过程曲线与 V 轴所围的面积就等于该过程系统所做的功, 所以 AB 过程中系统所做的功为

$$W = \frac{1}{2}(2p_1 + p_1)(2V_1 - V_1) = \frac{3}{2}p_1V_1$$

而根据理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

可得, A 、 B 两态的温度相等, 而理想气体的内能只与温度有关, 所以过程内能不变, 即改变量 $\Delta E = 0$ 。

第 467 题

【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 $m_1 : m_2 = \underline{\hspace{2cm}}$, 它们的内能之比为 $E_1 : E_2 = \underline{\hspace{2cm}}$, 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 $W_1 : W_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ 。(各量下角标 1 表示氢气, 2 表示氦气)

解析

【答案】 $\frac{1}{2}; \frac{5}{3}; \frac{5}{7}$

【解析】理想气体物态方程，理想气体的内能，热力学第一定律。
根据理想气体的物态方程

$$pV = nRT = \frac{m}{M}RT$$

压强、体积和温度都相同时

$$\frac{m_1}{M_1} = \frac{m_2}{M_2}$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{M_1}{M_2} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$$

而理想气体的内能为

$$E = \frac{i}{2}nRT$$

由前可知，两种气体的摩尔数相等，而氢气是刚性双原子分子，自由度 $i_1 = 5$ ，氦气是刚性单原子分子，自由度 $i_2 = 3$ ，所以二者的内能之比为

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{i_1}{i_2} = \frac{5}{3}$$

而对于等压过程，气体所做的功为

$$W = p\Delta V = nR\Delta T$$

内能的变化量为

$$\Delta E = \frac{i}{2}nR\Delta T$$

所以根据热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

可得吸收的热量为

$$Q = \Delta E + W = \frac{i+2}{2}nR\Delta T$$

依题意， $Q_1 = Q_2$ ，所以

$$\frac{(\Delta T)_1}{(\Delta T)_2} = \frac{i_2+2}{i_1+2} = \frac{5}{7}$$

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{(\Delta T)_1}{(\Delta T)_2} = \frac{5}{7}$$

第 468 题

【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 $Q = \underline{\hspace{2cm}}$ J。

解析

【答案】 8.64×10^3

【解析】理想气体物态方程，理想气体的内能，热力学第一定律。

根据理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

对于等温过程，内能变化为零，根据热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

系统所吸收的热量等于系统所做的功

$$\begin{aligned} Q = W &= \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV = nRT \ln \frac{V_2}{V_1} = nRT \ln \frac{p_1}{p_2} \\ &= 3 \times 8.31 \times 500 \times \ln \frac{6}{3} \approx 8.64 \times 10^3 \text{ J} \end{aligned}$$

第 469 题

【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 $\underline{\hspace{2cm}}$ 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 $\underline{\hspace{2cm}}$ K。

解析

【答案】500；100

【解析】卡诺热机的热效率。

卡诺热机的热效率为

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

依题意， $\eta = 0.4$ ， $T_2 = 300 \text{ K}$ ，所以

$$T_1 = \frac{T_2}{1 - \eta} = \frac{300}{1 - 0.4} = 500 \text{ K}$$

若 $\eta' = 0.5$ ， $T_2' = 300 \text{ K}$ ，所以

$$T_1' = \frac{T_2'}{1 - \eta'} = \frac{300}{1 - 0.5} = 600 \text{ K}$$

$$\Delta T = T_1' - T_1 = 100 \text{ K}$$

第 470 题

【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做功 $W = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

解析

【答案】200 J

【解析】卡诺热机的热效率。

卡诺热机的热效率为

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

依题意， $T_1 = 450 \text{ K}$ ， $T_2 = 300 \text{ K}$ ， $Q_2 = 400 \text{ J}$ ，所以

$$Q_1 = \frac{T_1}{T_2} Q_2 = \frac{450}{300} \times 400 = 600 \text{ J}$$

$$W = Q_1 - Q_2 = 600 - 400 = 200 \text{ J}$$

第 471 题

【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，该致冷机的致冷系数 $w = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$ ，则 η 与 w 的关系为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

解析

【答案】 $\eta = \frac{1}{w+1}$

【解析】卡诺热机的热效率，卡诺制冷机的制冷系数。

卡诺热机的热效率为

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

卡诺制冷机的制冷系数为

$$w = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

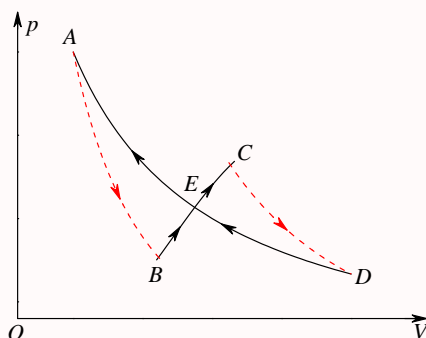
所以有

$$\begin{aligned} \frac{1}{w} &= \frac{T_1 - T_2}{T_2} = \frac{T_1}{T_2} - 1 \\ \frac{T_1}{T_2} &= \frac{1}{w} + 1 = \frac{w+1}{w} \\ \frac{T_2}{T_1} &= \frac{w}{w+1} \\ \eta &= 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{w}{w+1} = \frac{1}{w+1} \end{aligned}$$

$$\eta(w+1) = 1, w = \frac{1}{\eta} - 1$$

第 472 题

【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 ($ABCDEA$) 系统对外做功为_____。(2) BEC 过程中系统从外界吸热为_____。



解析

【答案】 40 J ； 140 J

【解析】 $p-V$ 图，热力学第一定律。

$p-V$ 图中，闭合曲线所围的面积表示循环过程所做的净功，顺时针时做正功，逆时针时做负功，所以图中 ECD 是顺时针， EAB 是逆时针，因此整个循环过程系统对外做功为

$$W_{ABCDEA} = W_{ECD} + W_{EAB} = 70 - 30 = 40 \text{ J}$$

一个循环过程，系统恢复原态，内能变化量为零，所以根据热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

整个循环过程中系统从外界吸收的热量等于系统对外界所做的功，依题意，绝热过程 AB 、 CD ，系统不吸收热量， DEA 过程中系统放热 100 J ，所以

$$Q = Q_{AB} + Q_{BEC} + Q_{CD} + Q_{DEA} = 0 + Q_{BEC} + 0 - 100 = Q_{BEC} - 100 \text{ J}$$

$$W = 40 \text{ J}$$

$$Q_{BEC} - 100 = 40$$

$$Q_{BEC} = 140 \text{ J}$$

第 473 题

【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”)。

解析

【答案】不变；增加

【解析】热力学第一定律，熵增加原理。

依题意，自由膨胀过程，系统做功为零，绝热容器，系统吸热为零，因此根据热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

系统的内能不变，而理想气体的内能仅仅与温度有关，所以气体的温度保持不变。

而自由膨胀过程是一个自发的不可逆的过程，根据熵增加原理，末态的熵高于初态的熵，所以过程的熵增加。

第 474 题

【4596】在一个孤立系统内，一切实际过程都向着_____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_____。

解析

【答案】熵增加；不可逆

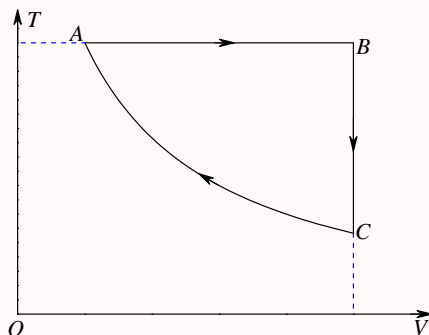
【解析】热力学第二定律，熵增加原理。

热力学第二定律的实质在于指出，一切与热现象有关的自发的宏观过程都是不可逆的。统计物理认为，在一个孤立系统中，自发的过程总是由概率较小的宏观状态向概率较大的宏观状态进行；即由包含微观状态数目较少的宏观状态向包含微观状态数目较多的宏观状态进行；即由非平衡态向平衡态进行。这就是热力学第二定律的统计意义。

本题原文件中提供的第一个空格的答案是“状态几率增大”，个人觉得填“熵增加”应该也可以。

第 475 题

【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： $V_C = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $T_C = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $p_C = \underline{\hspace{2cm}}$ 。



解析

【答案】 V_2 ; $\frac{T_1 V_1^{\gamma-1}}{V_2^{\gamma-1}}$; $\frac{RT_1 V_1^{\gamma-1}}{V_2^\gamma}$

【解析】理想气体的物态方程，绝热过程的过程方程， $T-V$ 图。

由 $T-V$ 图可以直接看出， $T_A = T_B$ ， $V_B = V_C$ ，所以 $V_C = V_2$ 。

而 CA 为绝热过程，由理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

和绝热过程的过程方程

$$pV^\gamma = C$$

可得

$$p_A V_A = nRT_A = RT_A$$

$$p_C V_C = nRT_C = RT_C$$

$$p_A V_A^\gamma = p_C V_C^\gamma$$

$$p_C = \frac{p_A V_A^\gamma}{V_C^\gamma} = \frac{p_1 V_1^\gamma}{V_2^\gamma} = \frac{RT_1 V_1^{\gamma-1}}{V_2^\gamma}$$

$$T_C = \frac{p_C V_C}{R} = \frac{T_1 V_1^{\gamma-1}}{V_2^{\gamma-1}}$$

第 476 题

【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 m/s，则气体的压强为_____。

解析

【答案】 $\frac{4}{3} \times 10^5 \text{ Pa}$

【解析】理想气体的物态方程，方均根速率。

方均根速率的表达式为

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

理想气体的物态方程

$$pV = nRT = \frac{m}{M} RT$$

可得

$$p = \frac{m}{V} \times \frac{RT}{M} = \frac{0.1}{10^{-2}} \times \frac{200^2}{3} = \frac{4}{3} \times 10^5 \text{ Pa}$$

第 477 题

【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_____倍。

解析

【答案】2

【解析】理想气体的物态方程，平均自由程。

设初态为 (p_1, V_1, T_1) ，中间态为 (p_2, V_2, T_2) ，末态为 (p_3, V_3, T_3) ，依题意，有 $V_2 = V_1$ 、 $T_2 = 2T_1$ ； $p_3 = p_2$ 、 $V_3 = 2V_1$ ，根据理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

可得

$$p_1 V_1 = nRT_1$$

$$p_2 V_2 = nRT_2$$

$$p_3 V_3 = nRT_3$$

$$p_2 = \frac{nRT_2}{V_2} = \frac{nR(2T_1)}{V_1} = 2p_1$$

$$T_3 = \frac{p_3 V_3}{nR} = \frac{(2p_1)(2V_1)}{nR} = 4T_1$$

而平均自由程的表达式为

$$\bar{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 p}$$

所以

$$\bar{\lambda}_3 = \frac{kT_3}{\sqrt{2}\pi d^2 p_3} = \frac{k(4T_1)}{\sqrt{2}\pi d^2 (2p_1)} = 2\bar{\lambda}_1$$

三、计算题

第 478 题

【4302】储有 1 mol 氧气，容积为 1 m^3 的容器以 $v = 10 \text{ m/s}$ 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 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

解析

【解析】理想气体的物态方程，理想气体的内能。

氧气是刚性双原子分子理想气体，其内能为

$$E = \frac{5}{2}nRT$$

当容器运动时，气体做机械运动的动能为

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

依题意

$$\begin{aligned} \Delta E &= \frac{5}{2}nR\Delta T = 0.8E_k = \frac{2}{5}mv^2 \\ \Delta T &= \frac{4mv^2}{25nR} = \frac{4Mv^2}{25R} = \frac{4 \times 32 \times 10^{-3} \times 10^2}{25 \times 8.31} \approx 0.0616\text{K} \end{aligned}$$

根据理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

容器容积不变，气体经历的是等容过程，所以有

$$\begin{aligned} (\Delta p)V &= nR\Delta T \\ \Delta p &= \frac{nR\Delta T}{V} = \frac{nR}{V} \times \frac{4mv^2}{25nR} = \frac{4mv^2}{25V} = \frac{4 \times 32 \times 10^{-3} \times 10^2}{25 \times 1} = 0.512\text{ Pa} \end{aligned}$$

第 479 题

【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 100 g 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 $k = 1.38 \times 10^{-23}\text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$)

解析

【解析】理想气体的物态方程，理想气体的内能。

氦气是刚性单原子分子理想气体，其内能为

$$E = \frac{3}{2}nRT$$

当容器运动时，气体做机械运动的动能为

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

依题意

$$\begin{aligned} \Delta E &= \frac{3}{2}nR\Delta T = E_k = \frac{1}{2}mv^2 \\ \Delta T &= \frac{mv^2}{3nR} = \frac{Mv^2}{3R} = \frac{4 \times 10^{-3} \times 200^2}{3 \times 8.31} \approx 6.42\text{ K} \end{aligned}$$

根据理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

容器容积不变，气体经历的是等容过程，所以有

$$(\Delta p)V = nR\Delta T$$

$$\Delta p = \frac{nR\Delta T}{V} = \frac{nR}{V} \times \frac{mv^2}{3nR} = \frac{mv^2}{3V} = \frac{0.1 \times 200^2}{3 \times 0.02} \approx 6.67 \times 10^4 \text{ Pa}$$

而依前所述，内能的增加量为

$$\Delta E = \frac{3}{2}nR\Delta T = E_k = \frac{1}{2}mv^2 = 0.5 \times 0.1 \times 200^2 = 2000 \text{ J}$$

而对于刚性单原子分子理想气体，气体分子的平均动能为

$$\bar{E} = \frac{3}{2}kT$$

所以气体分子的平均动能的增加量为

$$\Delta \bar{E} = \frac{3}{2}k\Delta T = 1.5 \times 1.38 \times 10^{-23} \times 6.42 \approx 1.33 \times 10^{-22} \text{ J}$$

第 480 题

【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。

解析

【解析】理想气体的物态方程，理想气体的内能。

(1) 刚性双原子分子理想气体的内能为

$$E = \frac{5}{2}nRT$$

而理想气体的物态方程为

$$pV = nRT$$

所以气体的压强为

$$p = \frac{nRT}{V} = \frac{2E}{5V} = \frac{2 \times 6.75 \times 10^2}{5 \times 2 \times 10^{-3}} = 1.35 \times 10^5 \text{ Pa}$$

(2) 刚性双原子分子理想气体的内能还可以写为

$$E = \frac{5}{2}NkT$$

而分子的平均平动动能为

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2}kT$$

所以有

$$T = \frac{2E}{5Nk} = \frac{2 \times 6.75 \times 10^2}{5 \times 5.4 \times 10^{22} \times 1.38 \times 10^{-23}} \approx 362 \text{ K}$$

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2}kT = \frac{3}{2}k \times \frac{2E}{5Nk} = \frac{3E}{5N} = \frac{3 \times 6.75 \times 10^2}{5 \times 5.4 \times 10^{22}} = 7.5 \times 10^{-21} \text{ J}$$

第 481 题

【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 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

解析

【解析】理想气体的内能。

氧气是刚性双原子分子理想气体，其内能为

$$E = \frac{5}{2}nRT$$

依题意，氧气内能的增加量为

$$\begin{aligned} \Delta E &= \frac{5}{2}nR\Delta T = Pt \\ \Delta T &= \frac{2Pt}{5nR} = \frac{2 \times 10 \times 10}{5 \times 1 \times 8.31} \approx 4.81 \text{ K} \end{aligned}$$

第 482 题

【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 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

解析

【解析】理想气体的内能，热力学第一定律，理想气体的物态方程。

氦气是刚性单原子分子理想气体，其内能为

$$E = \frac{3}{2}nRT$$

而内能是个态函数，且仅与温度有关，所以不管哪个过程，始末态的温度固定，内能固定，所以内能的变化量也固定，为

$$\Delta E = \frac{3}{2}nR\Delta T = 1.5 \times \frac{20}{4} \times 8.31 \times 10 = 623.25 \text{ J}$$

热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

所以

$$Q = \Delta E + W$$

其中过程所做的功为

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

(1) 体积保持不变, $V_2 = V_1$, $W = 0$, 所以 $Q = \Delta E = 623.25 \text{ J}$ 。

(2) 压强保持不变, 由理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

可得

$$V = \frac{nRT}{p}$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p\Delta V = pV_2 - pV_1 = nR(T_2 - T_1) = \frac{20}{4} \times 8.31 \times 10 = 415.5 \text{ J}$$

$$Q = \Delta E + W = 623.25 + 415.5 = 1038.65 \text{ J}$$

(3) 不与外界交换热量, $Q = 0$, 所以

$$W = -\Delta E = -623.25 \text{ J}$$

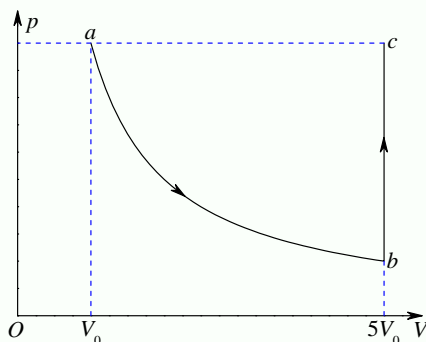
第 483 题

【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 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

解析

【解析】 $p-V$ 图, 理想气体的物态方程, 热力学第一定律, 理想气体的内能。

依题意, 过程的 $p-V$ 图如下图所示:



由理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

可得

$$T_c = \frac{p_c V_c}{nR} = \frac{p_a (5V_a)}{nR} = 5 \frac{p_a V_a}{nR} = 5T_a = 5T_0$$

$a \rightarrow b$ 过程是等温膨胀过程，内能不变， $\Delta E_{ab} = 0$ ，系统对外做功

$$W_{ab} = \int_{V_a}^{V_b} p dV = \int_{V_a}^{V_b} \frac{nRT_a}{V} dV = nRT_0 \ln 5$$

根据热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

该过程系统从外界所吸收的热量为

$$Q_{ab} = \Delta E_{ab} + W_{ab} = nRT_0 \ln 5$$

而 $b \rightarrow c$ 过程是等容升温过程，等容，体积不变，做功为零， $W_{bc} = 0$ ，设气体的摩尔定容热容量为 $C_{V,m}$ ，则过程系统所吸收的热量为

$$Q_{bc} = nC_{V,m}\Delta T = nC_{V,m}(5T_0 - T_0) = 4nC_{V,m}T_0$$

依题意，整个过程系统所吸收的热量为

$$Q = Q_{ab} + Q_{bc} = nRT_0 \ln 5 + 4nC_{V,m}T_0 = nT_0(R \ln 5 + 4C_{V,m})$$

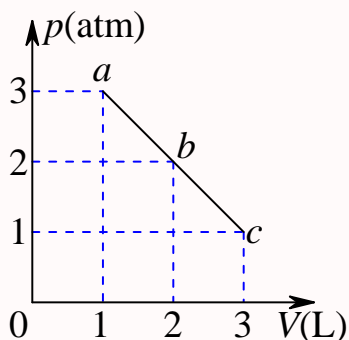
$$R \ln 5 + 4C_{V,m} = \frac{Q}{nT_0}$$

$$C_{V,m} = \frac{Q}{4nT_0} - \frac{R \ln 5}{4} = \frac{8 \times 10^4}{4 \times 3 \times 273} - \frac{8.31 \times \ln 5}{4} \approx 21.1 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\gamma = \frac{C_{p,m}}{C_{V,m}} = 1 + \frac{R}{C_{V,m}} = 1 + \frac{8.31}{21.1} \approx 1.39$$

第 484 题

【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 = 1.013×10^5 Pa)



解析

【解析】 $p-V$ 图，理想气体的物态方程，理想气体的内能，热力学第一定律。

(1) $p-V$ 图中过程曲线与 V 轴所围的面积表示过程中系统对外界所做的功，所以

$$W = \frac{1}{2} \times (3+1) \times 1.013 \times 10^5 \times (3-1) \times 0.001 = 405.2 \text{ J}$$

(2) 由理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

可得

$$T_c = \frac{p_c V_c}{nR} = \frac{p_a V_a}{nR} = T_a$$

而理想气体的内能仅仅是温度的函数，始末状态温度相等，所以过程系统的内能改变量为零。

(3) 根据热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

该过程系统从外界所吸收的热量为

$$Q = \Delta E + W = 405.2 \text{ J}$$

第 485 题

【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 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ）

解析

【解析】理想气体的物态方程，理想气体的内能，热力学第一定律。

理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

依题意， $n = 1 \text{ mol}$ ， $p_1 = 1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ ， $T_1 = 300 \text{ K}$ ，所以

$$V_1 = \frac{nRT_1}{p_1}$$

$p_2 = p_1$ ， $V_2 = 2V_1$ ，所以

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{nR} = 2T_1$$

$V_3 = V_2 = 2V_1$, $p_3 = 2p_1$, 所以

$$T_3 = \frac{p_3 V_3}{nR} = 4T_1$$

$T_4 = T_3 = 4T_1$, $p_4 = p_1$, 所以

$$V_4 = \frac{nRT_4}{p_4} = 4V_1$$

氮气视作刚性双原子分子的理想气体, 所以其内能为

$$E = \frac{5}{2}nRT$$

因此整个过程内能的变化量为

$$\Delta E = \frac{5}{2}nR\Delta T = 2.5 \times 1 \times 8.31 \times 3 \times 300 \approx 1.87 \times 10^4 \text{ J}$$

而各个过程所做的功分别为

$$W_{12} = p_1(V_2 - V_1) = p_1 V_1 = nRT_1$$

$$W_{23} = 0$$

$$W_{34} = \int_{V_3}^{V_4} p dV = nRT_3 \ln \frac{V_4}{V_3} = (4 \ln 2)nRT_1$$

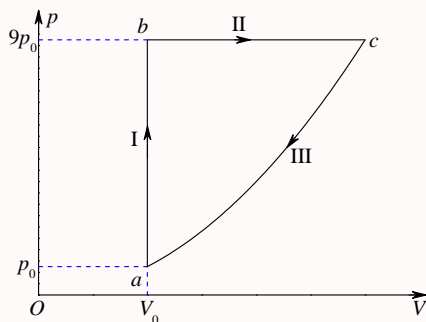
$$W = W_{12} + W_{23} + W_{34} = (4 \ln 2 + 1)nRT_1 = (4 \ln 2 + 1) \times 1 \times 8.31 \times 300 \approx 9.41 \times 10^3 \text{ J}$$

所以过程所吸收的热量为

$$Q = \Delta E + W = 1.87 \times 10^4 + 9.41 \times 10^3 = 2.81 \times 10^4 \text{ J}$$

第 486 题

【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。



解析

【解析】理想气体的物态方程，理想气体的内能，热力学第一定律。

理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

依题意， $n = 1 \text{ mol}$ ，气体为单原子分子的理想气体，所以其内能为

$$E = \frac{3}{2}nRT = \frac{3}{2}RT$$

内能的变化量为

$$\Delta E = \frac{3}{2}R\Delta T$$

(1) 过程 I，等容过程，气体做功为零， $W_1 = 0$ ，末态温度为

$$T_b = \frac{p_b V_b}{R} = 9T_0$$

内能的变化量为

$$\Delta E_1 = \frac{3}{2}R\Delta T_1 = 12RT_0$$

所以吸收的热量为

$$Q_1 = \Delta E_1 + W_1 = 12RT_0$$

过程 II，等压过程，气体做功， $W_2 = p_2(V_c - V_b)$ ，末态温度可以由 ca 过程的过程方程和理想气体的物态方程求得

$$p_c = p_0 V_c^2 / V_0^2$$

$$V_c = V_0 \sqrt{p_c / p_0} = 3V_0$$

$$T_c = \frac{p_c V_c}{R} = 27T_0$$

所以本过程气体所做的功和内能的变化量分别为

$$W_2 = 9p_0(3V_0 - V_0) = 18p_0V_0 = 18RT_0$$

$$\Delta E_2 = \frac{3}{2}R\Delta T_2 = 27RT_0$$

所以吸收的热量为

$$Q_2 = \Delta E_2 + W_2 = 45RT_0$$

过程 III，过程方程 $p = p_0 V^2 / V_0^2$ ，所以过程所做的功为

$$W_3 = \int_{V_c}^{V_a} p dV = \frac{p_0}{3V_0^2} (V_a^3 - V_c^3) = -\frac{26}{3}p_0V_0 = -\frac{26}{3}RT_0$$

内能的变化量为

$$\Delta E_3 = \frac{3}{2}R\Delta T_3 = -39RT_0$$

所以吸收的热量为

$$Q_3 = \Delta E_3 + W_3 = -\frac{143}{3}RT_0$$

所以本过程放热。

(2) 所以, 整个循环过程中, 系统共吸收的热量为 $Q_1 + Q_2 = 57RT_0$, 共放出的热量为 $-Q_3 = \frac{143}{3}RT_0$, 所以循环过程的效率为

$$\eta = 1 - \frac{\frac{143}{3}RT_0}{57RT_0} = \frac{28}{171} \approx 0.164 = 16.4\%$$

第 487 题

【4097】1 mol 理想气体在 $T_1 = 400$ K 的高温热源与 $T_2 = 300$ 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 $V_1 = 0.001$ m³, 终止体积为 $V_2 = 0.005$ m³, 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 。

解析

【解析】理想气体的物态方程, 理想气体的内能, 热力学第一定律, 卡诺热机的效率。

(1) 理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

所以等温过程中

$$p = \frac{nRT}{V}$$

在与高温热源接触的等温膨胀过程中, 气体对外做功

$$W_1 = \int_{V_1}^{V_2} p dV = nRT \ln \frac{V_2}{V_1} = (400 \ln 5)R \approx 5.35 \times 10^3 \text{ J}$$

而等温过程, 内能不变, $\Delta E_1 = 0$, 根据热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

系统从高温热源处吸收的热量为

$$Q_1 = \Delta E_1 + W_1 = W_1 = 5.35 \times 10^3 \text{ J}$$

(2) 根据卡诺热机的效率

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

可得一个循环过程中气体所做的净功为

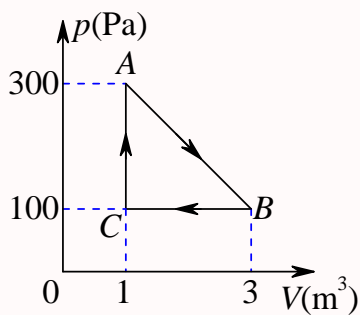
$$W = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) Q_1 = \left(1 - \frac{300}{400}\right) \times 5.35 \times 10^3 \approx 1.34 \times 10^3 \text{ J}$$

(3) 所以, 气体传给低温热源的热量为

$$Q_2 = Q_1 - W = 5.35 \times 10^3 - 1.34 \times 10^3 = 4.01 \times 10^3 \text{ J}$$

第 488 题

【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)。



解析

【解析】理想气体的物态方程, $p-V$ 图, 热力学第一定律。

(1) 理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

所以

$$T_A = \frac{p_A V_A}{nR} = \frac{300}{nR} = 300 \text{ K}$$

$$T_B = \frac{p_B V_B}{nR} = \frac{300}{nR} = 300 \text{ K}$$

$$T_C = \frac{p_C V_C}{nR} = \frac{100}{nR} = 100 \text{ K}$$

(2) $p-V$ 图中, 过程曲线与 V 轴所围面积就表示过程所做的功, 所以

$$W_{AB} = \frac{1}{2} \times (300 + 100) \times (3 - 1) = 400 \text{ J}$$

$$W_{BC} = 100 \times (1 - 3) = -200 \text{ J}$$

$$W_{CA} = 0$$

(3) 一个循环过程, 系统恢复原态, 内能不变, $\Delta E = 0$, 根据热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

可得一个循环过程中气体从外界吸收的总热量

$$Q = W = W_{AB} + W_{BC} + W_{CA} = 400 - 200 + 0 = 200 \text{ J}$$

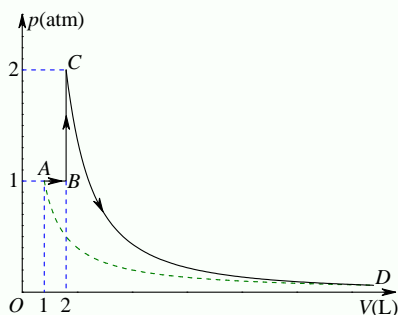
第 489 题

【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。

解析

【解析】 $p - V$ 图, 理想气体的内能, 理想气体的物态方程, 热力学第一定律。

(1) 过程的 $p - V$ 图如下所示:



(2) 单原子分子理想气体的内能为

$$E = \frac{3}{2} nRT$$

所以内能的改变量为

$$\Delta E = \frac{3}{2} nR\Delta T$$

依题意, 末态 D 与初态 A 同温, 所以整个过程的内能改变量为零。

(3) 根据理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

而依题意, $p_B = p_A$, $V_B = 2V_A$, $p_C = 2p_B$, $V_C = V_B$, $p_C V_C^\gamma = p_D V_D^\gamma$, $p_D V_D = p_A V_A$, 所以

$$\begin{aligned} T_A &= \frac{p_A V_A}{nR} = \frac{p_1 V_1}{nR} = T_1 \\ T_B &= \frac{p_B V_B}{nR} = \frac{p_1 (2V_1)}{nR} = 2T_1 \\ T_C &= \frac{p_C V_C}{nR} = \frac{(2p_1)(2V_1)}{nR} = 4T_1 \end{aligned}$$

$$T_D = T_1$$

$A \rightarrow B$ 过程, 等压, 气体做功 $W_{AB} = p_1(2V_1 - V_1) = p_1V_1$, 内能改变量

$$\Delta E_{AB} = \frac{3}{2}nR\Delta T_{AB} = \frac{3}{2}nRT_1 = \frac{3}{2}p_1V_1$$

根据热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

气体从外界吸收的总热量

$$Q_{AB} = \Delta E_{AB} + W_{AB} = \frac{5}{2}p_1V_1$$

$B \rightarrow C$ 过程, 等容, 气体做功 $W_{BC} = 0$, 内能改变量

$$\Delta E_{BC} = \frac{3}{2}nR\Delta T_{BC} = \frac{3}{2}nR(2T_1) = 3p_1V_1$$

气体从外界吸收的总热量

$$Q_{BC} = \Delta E_{BC} + W_{BC} = 3p_1V_1$$

$C \rightarrow D$ 过程, 绝热, $Q_{CD} = 0$, 内能改变量

$$\Delta E_{CD} = \frac{3}{2}nR\Delta T_{CD} = \frac{3}{2}nR(-3T_1) = -\frac{9}{2}p_1V_1$$

所以气体做功

$$W_{CD} = Q_{CD} - \Delta E_{CD} = 0 + \frac{9}{2}p_1V_1 = \frac{9}{2}p_1V_1$$

所以整个过程中气体所吸收的热量

$$Q = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CD} = \frac{5}{2}p_1V_1 + 3p_1V_1 + 0 = \frac{11}{2}p_1V_1 = 5.5 \times 1.013 \times 10^5 \times 10^{-3} \approx 557 \text{ J}$$

(4) 整个过程中气体所作的功

$$W = W_{AB} + W_{BC} + W_{CD} = p_1V_1 + 0 + \frac{9}{2}p_1V_1 = \frac{11}{2}p_1V_1 = 5.5 \times 1.013 \times 10^5 \times 10^{-3} \approx 557 \text{ J}$$

第 490 题

【4155】有 1 mol 刚性多原子分子的理想气体, 原来的压强为 1.0 atm, 温度为 27°C, 若经过一绝热过程, 使其压强增加到 16 atm。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。

解析

【解析】理想气体的内能，理想气体的物态方程，绝热过程的过程方程，热力学第一定律。

(1) 刚性多原子分子理想气体的自由度 $i = 6$ ，所以其内能为

$$E = \frac{i}{2}nRT = 3nRT$$

所以内能的改变量为

$$\Delta E = 3nR\Delta T$$

而其比热比

$$\gamma = \frac{C_{p,m}}{C_{V,m}} = 1 + \frac{R}{C_{V,m}} = 1 + \frac{2}{i} = \frac{4}{3}$$

依题意， $n = 1 \text{ mol}$ ， $p_1 = 1.0 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ ， $T_1 = 300 \text{ K}$ ， $p_2 = 16 \text{ atm}$ ，过程是绝热过程，所以有

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$$

$$V_2 = V_1 \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{1/\gamma} = \frac{1}{8} V_1$$

根据理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

有

$$p_1 V_1 = RT_1$$

$$p_2 V_2 = RT_2$$

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{R} = \frac{(16p_1) \times \frac{1}{8} V_1}{R} = 2T_1$$

所以内能的改变量为

$$\Delta E = 3R\Delta T = 3RT_1 = 3 \times 8.31 \times 300 = 7479 \text{ J}$$

(2) 因为过程绝热，所以系统吸收的热量 $Q = 0$ ，根据热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

所以过程气体所做的功

$$W = -\Delta E = -7479 \text{ J}$$

(3) 由理想气体的物态方程

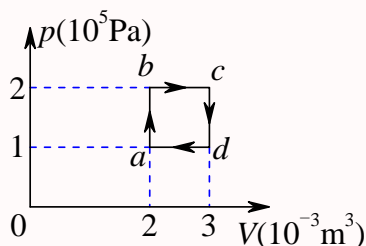
$$pV = nRT = NkT$$

可得，终态时，气体的分子数密度为

$$\frac{N}{V} = \frac{p_2}{kT_2} = \frac{16 \times 1.013 \times 10^5}{1.38 \times 10^{-23} \times 600} \approx 1.96 \times 10^{26} \text{ 个/m}^3$$

第 491 题

【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 $T_a T_c = T_b T_d$ 。



解析

【解析】 $p-V$ 图，理想气体的内能，理想气体的物态方程，热力学第一定律。

(1) 单原子分子理想气体的自由度 $i = 3$ ，所以其内能为

$$E = \frac{i}{2} nRT = \frac{3}{2} nRT$$

所以内能的改变量为

$$\Delta E = \frac{3}{2} nR\Delta T$$

依题意， $n = 1 \text{ mol}$ ，根据理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

有

$$T_a = \frac{p_a V_a}{R} = \frac{1 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3}}{8.31} \approx 24 \text{ K}$$

$$T_b = \frac{p_b V_b}{R} = 2T_a = 48 \text{ K}$$

$$T_c = \frac{p_c V_c}{R} = 3T_a = 72 \text{ K}$$

$$T_d = \frac{p_d V_d}{R} = 1.5T_a = 36 \text{ K}$$

$$T_a T_c = 3T_a^2 = T_b T_d$$

$a \rightarrow b$ 过程，体积不变，做功 $W_{ab} = 0$ ，内能的改变量为

$$\Delta E_{ab} = \frac{3}{2} R\Delta T_{ab} = \frac{3}{2} RT_a = \frac{3}{2} p_a V_a = 1.5 \times 1 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3} = 300 \text{ J}$$

根据热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

系统吸收的热量 $Q_{ab} = \Delta E_{ab} = 300 \text{ J}$ 。

$b \rightarrow c$ 过程，压强不变，做功

$$W_{bc} = p_b(V_c - V_b) = 2 \times 10^5 \times 1 \times 10^{-3} = 200 \text{ J}$$

内能的改变量为

$$\Delta E_{bc} = \frac{3}{2}R\Delta T_{bc} = \frac{3}{2}RT_a = \frac{3}{2}p_aV_a = 300 \text{ J}$$

所以系统吸收的热量 $Q_{bc} = \Delta E_{bc} + W_{bc} = 500 \text{ J}$ 。

$c \rightarrow d$ 过程, 体积不变, 做功 $W_{cd} = 0$, 内能的改变量为

$$\Delta E_{cd} = \frac{3}{2}R\Delta T_{cd} = \frac{3}{2}R(-1.5)T_a = -\frac{9}{4}p_aV_a = -450 \text{ J}$$

所以系统吸收的热量 $Q_{cd} = \Delta E_{cd} = -450 \text{ J}$, 系统放热。

$d \rightarrow a$ 过程, 压强不变, 做功

$$W_{da} = p_d(V_a - V_d) = 1 \times 10^5 \times (-1 \times 10^{-3}) = -100 \text{ J}$$

内能的改变量为

$$\Delta E_{da} = \frac{3}{2}R\Delta T_{da} = \frac{3}{2}R(-0.5T_a) = -\frac{3}{4}p_aV_a = -150 \text{ J}$$

所以系统吸收的热量 $Q_{da} = \Delta E_{da} + W_{da} = -250 \text{ J}$, 系统放热。

综上, 气体循环一次, $a \rightarrow b$ 、 $b \rightarrow c$ 两个过程吸热, 吸收的总热量为 $Q_{ab} + Q_{bc} = 800 \text{ J}$ 。

(2) 气体循环一次对外做的净功

$$W = W_{ab} + W_{bc} + W_{cd} + W_{da} = 0 + 200 + 0 - 100 = 100 \text{ J}$$

当然, 根据 $p-V$ 图中, 循环过程的闭合曲线所围面积也可以算出同样的结果。

(3) 如前,

$$T_b = \frac{p_bV_b}{R} = 2T_a$$

$$T_c = \frac{p_cV_c}{R} = 3T_a$$

$$T_d = \frac{p_dV_d}{R} = 1.5T_a$$

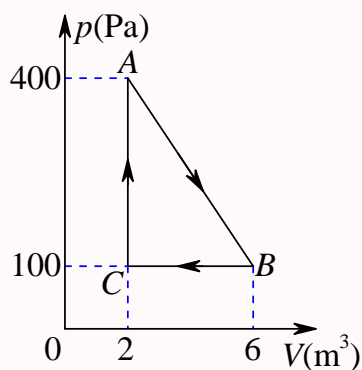
所以, 有

$$T_aT_c = 3T_a^2 = T_bT_d$$

第 492 题

【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 300 K。求:

(1) 状态 B、C 的温度; (2) 每一过程中气体所吸收的净热量。



解析

【解析】 $p-V$ 图，理想气体的物态方程，理想气体的内能，热力学第一定律。

(1) 根据理想气体的物态方程

$$pV = nRT$$

有

$$T_A = \frac{p_A V_A}{nR} = \frac{800}{nR} = 300 \text{ K} \Rightarrow nR = \frac{8}{3}$$

$$T_B = \frac{p_B V_B}{nR} = \frac{600}{8/3} = 225 \text{ K}$$

$$T_C = \frac{p_C V_C}{nR} = \frac{200}{8/3} = 75 \text{ K}$$

(2) 根据比热容的公式

$$\gamma = \frac{C_{p,m}}{C_{v,m}} = 1 + \frac{R}{C_{v,m}} = 1 + \frac{2}{i} = 1.4 \Rightarrow i = 5$$

气体为刚性双原子分子理想气体，其内能为

$$E = \frac{i}{2} nRT = \frac{5}{2} nRT = \frac{5}{2} \times \frac{8}{3} T = \frac{20}{3} T$$

所以内能的改变量为

$$\Delta E = \frac{20}{3} \Delta T$$

$p-V$ 图中过程曲线与 V 轴所围面积即为过程所做功，所以 $A \rightarrow B$ 过程，气体所做功为

$$W_{AB} = \frac{1}{2} \times (400 + 100) \times (6 - 2) = 1000 \text{ J}$$

气体内能改变量

$$\Delta E_{AB} = \frac{20}{3} \Delta T_{AB} = \frac{20}{3} \times (225 - 300) = -500 \text{ J}$$

根据热力学第一定律

$$\Delta E = Q - W$$

系统吸收的热量 $Q_{AB} = \Delta E_{AB} + W_{AB} = 500 \text{ J}$ 。

$B \rightarrow C$ 过程，压强不变，做功

$$W_{BC} = p_B(V_C - V_B) = 100 \times (2 - 6) = -400 \text{ J}$$

内能的改变量为

$$\Delta E_{BC} = \frac{20}{3} \Delta T_{BC} = \frac{20}{3} \times (75 - 225) = -1000 \text{ J}$$

所以系统吸收的热量 $Q_{BC} = \Delta E_{BC} + W_{BC} = -1400 \text{ J}$ ，系统放热。

$C \rightarrow A$ 过程，体积不变，做功 $W_{CA} = 0$ ，内能的改变量为

$$\Delta E_{CA} = \frac{20}{3} \Delta T_{CA} = \frac{20}{3} \times (300 - 75) = 1500 \text{ J}$$

所以系统吸收的热量 $Q_{CA} = \Delta E_{CA} = 1500 \text{ J}$ 。

第 493 题

【4258】已知某理想气体分子的方均根速率为 400 m/s 。当其压强为 1 atm 时，求气体的密度。

解析

【解析】理想气体的物态方程，方均根速率。

根据方均根速率的公式

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

可得

$$\begin{aligned} \overline{v^2} &= \frac{3RT}{M} \\ \frac{RT}{M} &= \frac{\overline{v^2}}{3} \end{aligned}$$

而由理想气体的物态方程

$$pV = nRT = \frac{m}{M} RT$$

可得，气体的密度为

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} = \frac{p}{RT/M} = \frac{3p}{\overline{v^2}} = \frac{3 \times 1.013 \times 10^5}{400^2} \approx 1.90 \text{ kg/m}^3$$