

(1) 根据(5.11)式写出这小流块热力学第一定律的表达式.

(2) 以小流块入口处为初态,出口处为终态,证明小流块在从流进到流出这一有限过程中热力学第一定律的表达式为

$$(U_2 - U_1) + \left(\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \right) + (mgz_2 - mgz_1) = Q + A.$$

(3) 证明上式又可写为

$$q = \left[(h_2 - h_1) + \left(\frac{1}{2}v_2^2 - \frac{1}{2}v_1^2 \right) + g(z_2 - z_1) \right] + a_{\text{输出}}.$$

以上是对单位质量流体写出的公式, q 是单位质量流块从外界吸收的热量, h 是单位质量流块的焓, $a_{\text{输出}}$ 表示就单位质量流体而言机器对外部所做的功(注意若机器输出的功为正,则 $a_{\text{输出}} > 0$).

27. 图5-40所示为1 mol单原子理想气体所经历的循环过程,其中AB为等温线.已知 $V_{mA} = 3.00 \text{ L}$, $V_{mB} = 6.00 \text{ L}$,求效率.设气体的 $C_{V,m} = \frac{3}{2}R$.

28. 图5-41($T-V$ 图)所示为一理想气体(γ 已知)的循环过程.其中CA为绝热过程.A点的状态参量(T, V_1)和B点的状态参量(T, V_2)均为已知.

(1) 气体在 $A \rightarrow B, B \rightarrow C$ 两过程中各和外界交换热量吗?是放热还是吸热?

(2) 求C点的状态参量.

(3) 这个循环是不是卡诺循环?

(4) 求这个循环的效率.

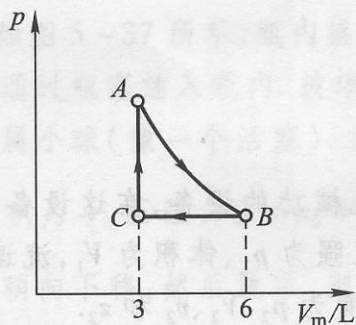


图5-40

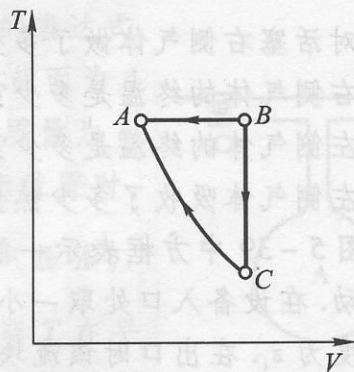


图5-41

29. 设燃气涡轮机内工质进行如图5-42的循环过程,其中1—2,3—4为绝热过程;2—3,4—1为等压过程.试证明这循环的效率 η 为

$$\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2},$$

又可写为

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon_p^\gamma}$$

其中 $\varepsilon_p = \frac{p_2}{p_1}$ 是绝热压缩过程的升压比. 设工作物质为理想气体, C_p 为常量.

30. 图 5-43 所示为理想气体经历的循环过程, 这循环由两个等体过程和两个等温过程组成. 设 p_1, p_2, p_3, p_4 为已知, 试证明:

$$p_1 p_3 = p_2 p_4.$$

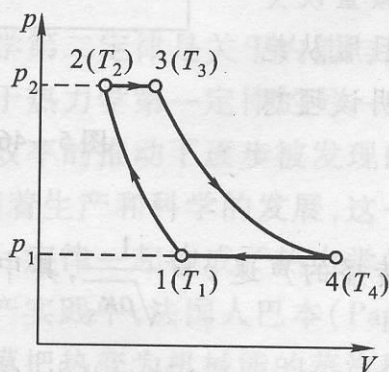


图 5-42

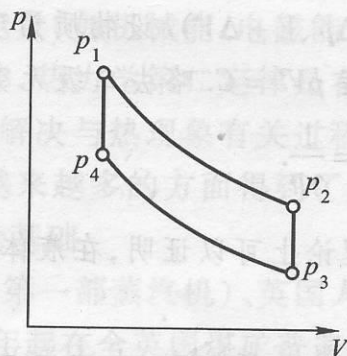


图 5-43

31. 图 5-44 中 ABCD 为 1 mol 理想气体氦的循环过程, 整个过程由两条等压线和两条等体线所组成. 设已知 A 点的压强为 $p_A = 2.0 \text{ atm}$, 体积 $V_{mA} = 1.0 \text{ L}$, B 点体积为 $V_{mB} = 2.0 \text{ L}$, C 点压强为 $p_C = 1.0 \text{ atm}$, 求循环效率. 设 $C_{V,m} = \frac{3}{2}R$.

32. 图 5-45 所示的循环过程中. 设

$$T_1 = 300 \text{ K}, \quad T_2 = 400 \text{ K},$$

问燃烧 50 kg 汽油可得到多少功. 已知汽油的燃烧值为 $4.69 \times 10^7 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 气体可看作理想气体.

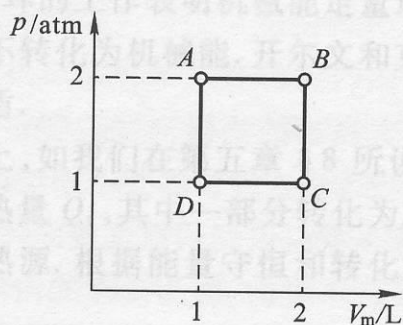


图 5-44

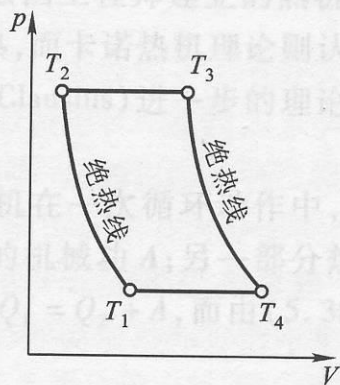


图 5-45

33. 一制冷机工作物质进行如图 5-46 所示的循环过程, 其中 ab 、 cd 分别是温度为 T_2 、 T_1 的等温过程; bc 、 da 为等压过程. 设工作物质为理想气体, 证明这制冷机的制冷系数为

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

*34. 绝热压缩率 κ_s 的定义是 $\kappa_s \equiv -\frac{1}{V} \left(\frac{\Delta V}{\Delta p} \right)_s$, 其中 ΔV 、 Δp 表示物质的 p 、 V 经过绝热过程的微量改变 (变为 $p + \Delta p$ 、 $V + \Delta V$). 设物质为理想气体, 且服从绝热过程方程 $pV^\gamma = C$. 略去二级无穷小量, 证明该理想气体的 $\kappa_s = \frac{1}{\gamma p}$.

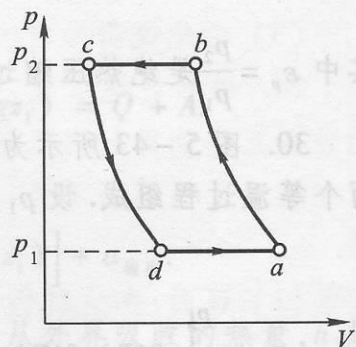


图 5-46

*35. 理论上可以证明, 在液体或气体中传播的声速 $v = \frac{1}{\sqrt{\rho \kappa_s}}$, 其中 ρ 为物质密度, κ_s 为绝热压缩率. 由这式并利用上题的结果证明对理想气体有 $v = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$,

并有 $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$. 试讨论由声速测定 γ 的可能性及误差的来源.

行. 因此, 在负热力学温度区, 开尔文说法应改为:

使一定的功全部转化成热而不产生其他影响是不可能的.

为了把 $T > 0 \text{ K}$ 及 $T < 0 \text{ K}$ 都概括进去, Ramsey 提出一种表述:

不可能从单一正热力学温度热源吸取热量, 使之完全变为有用的功, 或通过做功变热, 把它全部传给一负热力学温度热源, 而不产生其他影响.

如果把在正热力学温度下的制冷机装置用到负热力学温度下则可以对外做功. 读者可自行证明.

第六章思考题

1. 为什么热力学第二定律可以有許多不同的表述?
2. 有人说:“功可以完全变为热, 但热不能完全变为功.” 试评论之.
3. 克劳修斯表述是否是说热量不能从低温物体传到高温物体?
4. 有人说:“不可逆过程就是不能往反方向进行的过程.” 对吗?
- * 5. 如图 6-25 所示, 一定压强下的氢气和氧气进入燃烧室. 发生化学反应, 其产物是高温水蒸气. 试由热力学第二定律的开尔文表述论证这个过程是不可逆的.

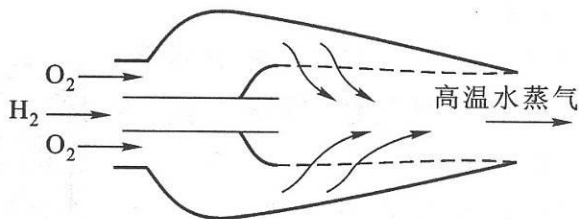


图 6-25

(提示: 用反证法, 并利用第五章习题 18 中所讲的燃料电池做功使重物升高.)

6. 由热力学第二定律及欧姆定律说明, 在导体中通有有限大小电流的过程是不可逆的.

7. 普朗克针对焦耳热功当量实验提出: 不可能制造一个机器, 在循环动作中把一重物升高而同时使一热库冷却. 这就是热力学第二定律的普朗克表述, 试由开尔文表述论证这一表述成立.

8. 下列过程是否可逆? 为什么?

(1) 在恒温下加热使水蒸发.

(2) 由外界做功, 设法使水在恒温下蒸发.

(3) 通过活塞(设活塞与容器器壁间无摩擦)缓慢地压缩容器中的空气.

- (4) 在体积不变的情况下加热容器内的空气,使其温度由 T_1 升到 T_2 .
- (5) 在一绝热容器内,不同温度的两种液体混合.
- (6) 高速行驶的卡车突然刹车停止.

9. 有人想利用海洋不同深度处温度不同制造一种机器,把海水的内能变为有用的机械功,这是否违反热力学第二定律?

10. 证明绝热线与等温线不能相交于两点.
11. 证明两绝热线不能相交.

12. 外界温度保持均匀恒定时进行的任一循环过程是否可能对外做正功?是否可能做负功(指总功)?如果循环过程是可逆的,那么是做正功还是做负功(指总功)?试讨论之.

13. 理想气体卡诺循环是由热源吸取一定热量而对外做功的,这是否与第二定律矛盾?

14. 逆向卡诺循环正是将热量由低温物体传到高温物体,而系统本身又恢复原状的.这是否违背第二定律?

15. 设想有一个装有理想气体的导热容器,放在温度恒定的盛水大容器中.令气体缓慢膨胀,这时由于它在膨胀过程中温度不变,所以内能也不变.因此,气体膨胀过程中对外界所做的功在数值上等于由水传给它的热量.如把水看作热源,则这个过程是否违背了热力学第二定律?

16. 如图 6-26 所示,体积为 $2V_0$ 的导热容器,中间用隔板隔开,左边盛有理想气体,压强为 p_0 ,右边为真空,外界温度恒定为 T_0 .

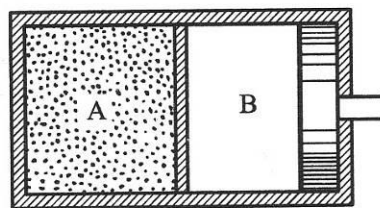


图 6-26

(1) 将隔板迅速抽掉,气体自由膨胀到整个容器,问在过程中气体对外做功及传热各等于多少.

(2) 然后,利用活塞 B 将气体缓慢地压缩到原来体积 V_0 ,在这过程中外界对气体做功及传热各等于多少?由于有过程(2),能否说过程(1)是可逆过程?为什么?

17. 有人声称设计出一热机工作于两个温度恒定的热源之间,高温热源和低温热源分别为 $T_1 = 400 \text{ K}$ 和 $T_2 = 250 \text{ K}$;当这热机从高温热源吸收热量 $2.5 \times 10^7 \text{ cal}$ 时,对外做功 $20 \text{ kW} \cdot \text{h}$,而向低温热源放出的热量恰为两者之差(化为同一单位)这可能吗?

18. 燃料电池(见第五章习题 18)的效率要受卡诺定理的限制吗?

* 19. 在 $T-S$ 图上,画出下列理想气体准静态过程曲线:(1) 等体过程;(2) 等压过程;(3) 等温过程;(4) 绝热过程.

20. 把盛有 1 mol 气体的容器等分成一百个小格.如果分子处在任一小格内的概率都相等,试计算所有分子都跑进同一小格的概率.

*21. 水的表面张力系数 α (单位为 $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$) 随温度的变化列于下表 6-1. 试由表中数据, 利用 (6.8) 式, 估计一下水的表面内能随温度的变化趋势.

表 6-1 不同温度下水的表面张力系数

$t/^\circ\text{C}$	$\alpha/(10^{-3}\text{N} \cdot \text{m}^{-1})$	$t/^\circ\text{C}$	$\alpha/(10^{-3}\text{N} \cdot \text{m}^{-1})$
0	75.50	350	3.64
40	69.48	355	2.71
80	62.69	360	1.85
120	54.96	364	1.22
160	46.51	368	0.66
200	37.77	370	0.42
240	28.52	372	0.20
280	18.94	373	0.10
320	9.84	374.15	0

*22. 在纯力学运动中熵变化吗?

*23. 把 1.00 kg 的 0°C 的冰投入大湖中, 设大湖温度比 0°C 高出一微小量, 于是冰逐渐熔化. 问:

(1) 冰的熵有何变化?

(2) 大湖的熵有何变化?

(3) 两者熵变化之和是多少?

第六章习题

1. 一制冷机工作在 $t_2 = -10^\circ\text{C}$ 和 $t_1 = 11^\circ\text{C}$ 之间, 若其循环可看作可逆卡诺循环的逆循环, 则每消耗 1.00 kJ 的功可由冷库中取出多少热量?

2. 设一动力暖气装置由一个热机和一个制冷机组合而成. 热机靠燃料燃烧时放出的热量工作, 向暖气系统中的水放热, 并带动制冷机. 制冷机自天然蓄水池中吸热, 也向暖气系统放热. 设热机锅炉的温度为 $t_1 = 210^\circ\text{C}$, 天然水的温度为 $t_2 = 15^\circ\text{C}$, 暖气系统的温度为 $t_3 = 60^\circ\text{C}$, 燃料的燃烧热为 $5000 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$, 试求燃烧 1.00 kg 燃料, 暖气系统所得的热量. 假设热机和制冷机的工作循环都是理想卡诺循环.

3. 一理想气体准静态卡诺循环, 当热源温度为 100°C , 冷却器温度为 0°C 时, 做净功 800 J. 今若维持冷却器温度不变, 提高热源温度, 使净功增为 $1.60 \times 10^3 \text{ J}$, 则这时 (1) 热源的温度为多少? (2) 效率增大到多少? 设这两个循环都工作于相同的两绝热线之间.

4. 一热机工作于 50°C 与 250°C 之间, 在一循环中对外输出的净功为

1. $0.5 \times 10^5 \text{ J}$, 求这热机在一循环中所吸入和放出的最小热量.

5. 一可逆卡诺热机低温热源的温度为 7.0°C , 效率为 40% . 若要将其效率提高到 50% , 则高温热源的温度需提高几摄氏度?

6. 一制冰机低温部分的温度为 -10°C , 散热部分的温度为 35°C , 所耗功率为 1500 W , 制冰机的制冷系数是逆向卡诺循环制冷机制冷系数的 $\frac{1}{3}$. 今用此制冰机将 25°C 的水制成 -10°C 的冰, 问制冰机每小时能制冰多少千克 (冰的熔化热为 $80 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$, 冰的比热为 $0.50 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$).

7. 试证明: 任意循环过程的效率, 不可能大于工作于它所经历的最高热源温度与最低热源温度之间的可逆卡诺循环的效率.

(提示: 先讨论任一可逆循环过程, 并以一连串微小的可逆卡诺循环代替这循环过程. 如以 T_m 和 T_n 分别代表这任一可逆循环所经历的最高热源温度和最低热源温度. 试分析每一微小卡诺循环效率与 $1 - \frac{T_n}{T_m}$ 的关系.)

*8. 若准静态卡诺循环中的工作物质不是理想气体而服从物态方程 $p(V_m - b) = RT$. 试证明这卡诺循环的效率公式仍为 $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ (参考第五章习题 13).

注意, 不讲本章打 * 各节者, 以下习题均不做.

9. (1) 利用 (6.7) 式证明, 对 1 mol 范德瓦耳斯气体有

$$\left(\frac{\partial U_m}{\partial V_m}\right)_T = \frac{a}{V_m^2}.$$

(2) 由 (1) 证明:

$$U_m = U_{m0} + \int_{T_0}^T C_{v,m} dT + a\left(\frac{1}{V_{m0}} - \frac{1}{V_m}\right).$$

(3) 设 $C_{v,m}$ 为常量, 证明上式可写为

$$U_m = U'_{m0} + C_{v,m} T - \frac{a}{V_m},$$

其中 $U'_{m0} = U_{m0} - C_{v,m} T_0 + \frac{a}{V_{m0}}$.

10. 设有 1 mol 范德瓦耳斯气体, 证明其准静态绝热过程方程为

$$T(V_m - b)^{\frac{R}{C_{v,m}}} = \text{常量}.$$

设该气体的摩尔定容热容 $C_{v,m}$ 为常量.

(提示: 利用习题 9 的结果)

11. 接上题, 证明范德瓦耳斯气体准静态绝热过程方程又可写为

$$\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b)^{\frac{C_{V,m} + R}{C_{V,m}}} = \text{常量}.$$

12. 证明: 范德瓦耳斯气体进行准静态绝热过程时, 气体对外做功为

$$C_{V,m}(T_1 - T_2) - a\left(\frac{1}{V_{m1}} - \frac{1}{V_{m2}}\right).$$

设 $C_{V,m}$ 为常量.

13. 证明: 对 1 mol 服从范德瓦耳斯方程的气体有下列关系:

$$C_{p,m} - C_{V,m} = \frac{R}{1 - \frac{2a(V_m - b)^2}{RTV_m^3}}$$

(提示: 要利用范德瓦耳斯气体的如下关系:

$$\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p = \frac{R}{\frac{RT}{V_m - b} - \frac{2a(V_m - b)}{V_m^3}})$$

14. 若用范德瓦耳斯气体模型, 试求在焦耳测定气体内能实验中气体温度的变化. 设气体摩尔定容热容 $C_{V,m}$ 为常量, 摩尔体积在气体膨胀前后分别为 V_{m1} 、 V_{m2} .

15. 利用上题公式, 求 CO_2 在焦耳实验中温度的变化. 设气体的摩尔体积在膨胀前是 $2.0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$, 在膨胀后为 $4.0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$. 已知 CO_2 的摩尔热容为 $3.38R$, $a = 3.6 \text{ atm} \cdot \text{L}^2 \cdot \text{mol}^{-2}$.

16. 对于一摩尔范德瓦耳斯气体, 证明经节流膨胀后其温度的变化 $T_2 - T_1$ 为

$$T_2 - T_1 = \frac{1}{C_{V,m} + R} \left[\left(\frac{2a}{V_{m2}} - \frac{2a}{V_{m1}} \right) - \left(\frac{RT_2 b}{V_{m2} - b} - \frac{RT_1 b}{V_{m1} - b} \right) \right],$$

设气体的摩尔热容为常量.

17. 假设 1 mol 气体在节流膨胀前可看作范德瓦耳斯气体, 而在节流膨胀后可看作理想气体, 气体的摩尔定容热容 $C_{V,m}$ 为常量. 试用上述模型证明, 气体节流膨胀前后温度的变化为

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{1}{C_{V,m} + R} \left(RT_1 \frac{b}{V_{m1} - b} - \frac{2a}{V_{m1}} \right).$$

试在 $T_1 - v_1$ 图上画出 $\Delta T = 0$ 的曲线(即转换温度曲线), 并加以讨论.

18. 接上题, 从上题作图来看, $T^\circ = \frac{2a}{Rb}$ 具有什么意义? (称 T° 为上转换温度). 若已知氮气 $a = 1.35 \times 10^6 \text{ atm} \cdot \text{cm}^6 \cdot \text{mol}^{-2}$, $b = 39.6 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$, 氮气 $a = 0.033 \times 10^6 \text{ atm} \cdot \text{cm}^6 \cdot \text{mol}^{-2}$, $b = 23.4 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$, 试求氮气和氮气的上转

换温度.

19. 在焦耳测定气体内能的实验装置中,当开关未打开前,一边容器内盛有 n_A 摩尔的范德瓦耳斯气体,另一边容器内盛有 n_B 摩尔的同一种范德瓦耳斯气体,容器两边体积均为 V ,初态温度均为 T_1 .当开关打开后,设气体经历一绝热过程最后这 $n_A + n_B$ 摩尔的气体充满整个容器达到新的平衡态,求在这过程中气体温度的变化.设气体的 $C_{V,m}$ 为常量.

20. 利用第五章习题 14 的数据,计算在 $24\text{ }^\circ\text{C}$, $0.029\ 824\ \text{bar}$ (饱和蒸气压) 条件下水蒸气凝结为水时熵的变化.

21. 设有 $1\ \text{mol}$ 的过冷水蒸气.其温度和压强分别为 $24\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $1\ \text{bar}$.当它转化为 $24\text{ }^\circ\text{C}$ 下的饱和水时,熵的变化是多少?计算时假定可把水蒸气看作为理想气体,并可利用上题数据.

(提示:设计一个从初态到终态的可逆过程进行计算,如图 6-27 所示.)

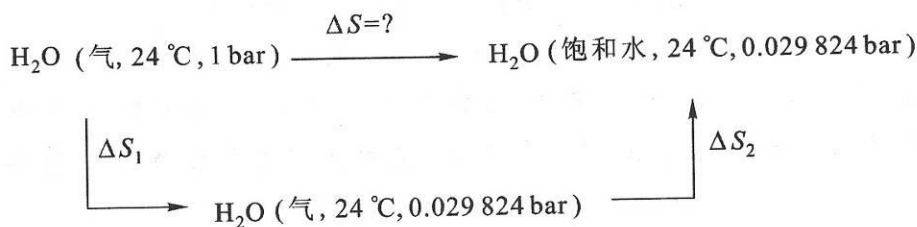


图 6-27

22. 根据第六章图 6-18 中空气的焓、熵图,对下列问题作出估算:(1) 空气由 $p_1 = 40\ \text{atm}$, $T_1 = 260\ \text{K}$, 节流膨胀到 $p_2 = 1\ \text{atm}$, 温度降低多少?(2) 若等熵膨胀到 $p_2 = 1\ \text{atm}$, 温度降低多少? 试比较之.

23. 设有 $1\ \text{mol}$ 理想气体从平衡态 1 变到平衡态 2, (见图 6-28). 试利用图中虚线所示的可逆过程计算其熵的变化, 并证明所得结果与 (6.21) 式计算的结果相同. 设理想气体的摩尔热容 $C_{p,m}$ 和 $C_{v,m}$ 均为常量.

24. 在一绝热容器中, 质量为 m , 温度为 T_1 的液体和相同质量但温度为 T_2 的液体在一定压强下混合后达到新的平衡态; 求系统从初态到终态熵的变化, 并说明熵增加. 设已知液体比定压热容 c_p 为常量.

25. 由第五章习题 15 的数据. 计算 $1\ \text{mol}$ 的铜在一大气压下, 温度由 $300\ \text{K}$ 升到 $1\ 200\ \text{K}$ 时熵的变化.

26. 如图 6-29 所示, $1\ \text{mol}$ 理想气体氢 ($\gamma = 1.4$) 在状态 1 的参量为 $V_{m1} =$

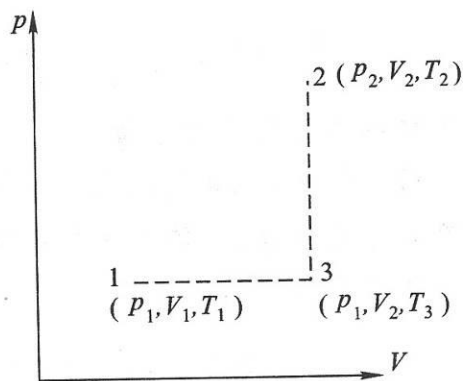


图 6-28

20 L, $T_1 = 300$ K; 在状态 3 的参量为 $V_{m3} = 40$ L, $T_3 = 300$ K. 图中 1—3 为等温线, 1—4 为绝热线, 1—2 和 4—3 均为等压线, 2—3 为等体线, 试分别由三条路径计算 $S_{m3} - S_{m1}$:

- (1) 1—2—3;
- (2) 1—3;
- (3) 1—4—3.

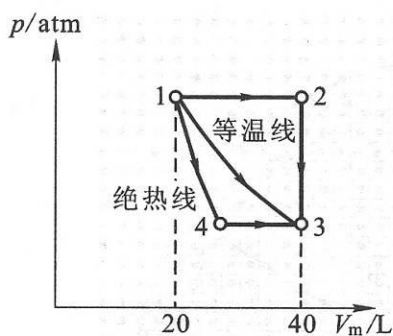


图 6-29

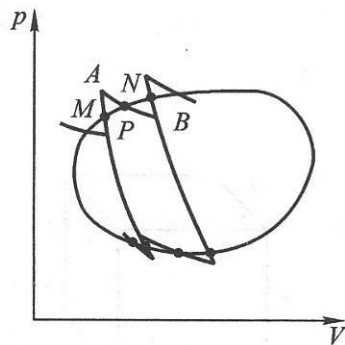


图 6-30

27. 在第六章图 6-12 中, 我们曾用一连串微小可逆卡诺循环去代替一任意可逆循环. 如图 6-30 所示, 设在一微小卡诺循环的 APB 段, 系统吸收热量 Q' , 而在任意循环的相应段 MPN 系统吸收热量 Q , 试证明 $Q' - Q$ 等于 MAP 的面积减去 PNB 的面积. 由此可见, $Q' - Q$ 为二级无穷小量.

28. 一实际制冷机工作于两恒温热源之间, 热源温度分别为 $T_1 = 400$ K, $T_2 = 200$ K. 设工作物质在每一循环中, 从低温热源吸收热量为 200 cal, 向高温热源放热 600 cal.

- (1) 在工作物质进行的每一循环中, 外界对制冷机做了多少功?
- (2) 制冷机经过一循环后, 热源和工作物质熵的总变化 (ΔS) 是多少?
- (3) 如设上述制冷机为可逆机, 则经过一循环后, 热源和工作物质熵的总变化应是多少?

(4) 若 (3) 中的可逆制冷机在一循环中从低温热源吸收热量仍为 200 cal, 试用 (3) 中结果求该可逆制冷机的工作物质向高温热源放出的热量以及外界对它所做的功.

29. 接上题, (1) 试由计算数值证明: 实际制冷机比可逆制冷机额外需要的外界功值恰好等于 $T_1 \Delta S$ (T_1 、 ΔS 见上题).

(2) 实际制冷机额外多需的外界功最后转为高温热源的内能. 设想利用在这同样的两恒温热源之间工作的一可逆热机, 把这内能中一部分再变为有用的功, 问能产生多少有用的功.

30. 如图 6-31(a) 所示, 在边长为 L 的立方形盒内盛有单原子分子理想气体. 设每一分子的质量为 m . 由量子力学可以证明, 每一个分子的能量只能取下列一系列间断值 ε :

$$\varepsilon = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2m L^2} (n_x^2 + n_y^2 + n_z^2),$$

其中 $n_x, n_y, n_z = 1, 2, 3, \dots, \hbar = 1.054 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

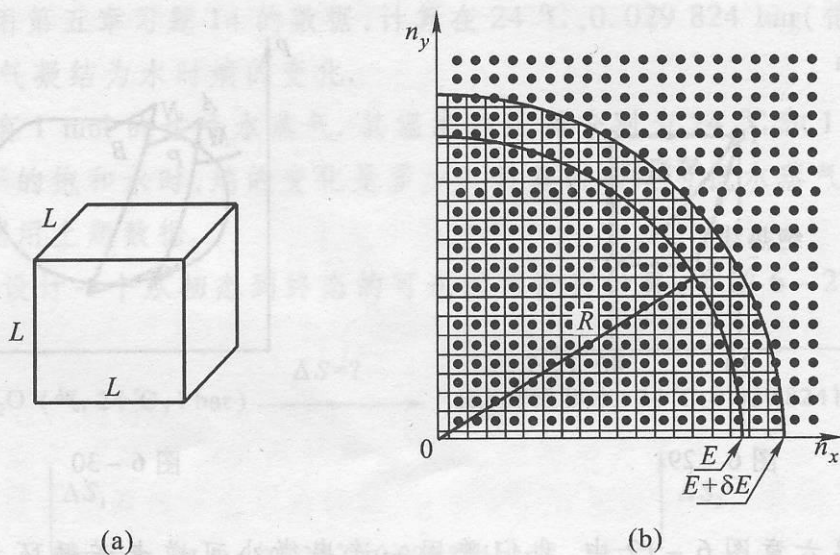


图 6-31

如图 6-30(b) 所示, 取 n_x, n_y, n_z 为坐标轴, 则在这图中每一组 (n_x, n_y, n_z) 对应于一个点, 亦即分子的一种力学运动状态. 试证明:

(1) 在 $\varepsilon \leq E$ 内的点数 (即状态数) 为

$$\frac{1}{8} \left(\frac{4}{3} \pi R^3 \right),$$

其中 $R^2 \equiv \left(\frac{L}{\pi \hbar} \right)^2 (2mE)$. (设 E 所对应的 n_x, n_y, n_z 数值很大.)

(2) 在 E 和 $E + \delta E$ 能量范围内的点数 (即状态数) 为

$$\frac{V}{4\pi^2 \hbar^3} (2m)^{\frac{3}{2}} E^{\frac{1}{2}} \delta E.$$

由此可见, 每一分子的力学运动状态数与体积 V 成正比.

新的平衡位置,如图(c)所示.形变部分粒子的排列和上面未形变的部分对 AB 面是镜面对称的,即一个是另一个在镜面 AB 中成的像.形变部分和下面未形变部分对 CD 面也是镜面对称的.由于镜面对称位置是平衡位置,因此外力撤去后形变仍将保留,即发生的是范性形变.

第七章思考题

1. 何谓晶面、晶棱与顶点?
2. NaCl 晶体的外形可以是立方体,也可以是八面体或立方和八面混合体,这些不同的外形有什么共同的特点?
3. 晶体有哪些宏观特性?
4. 说明单晶体、多晶体和非晶体的主要区别.
5. 说明下列物理量的意义:
 - (1) 平移周期;
 - (2) 原胞;
 - (3) 点阵常量.
6. 根据什么原则去选择原胞?以体心立方和面心立方为例说明这一点.
7. 说明七个晶系和十四种空间点阵的特点.
8. 化学键主要有那五种类型?说明这五种化学键的特点.
9. 结合力有什么普遍特征?
10. 相互作用能 E_p 可以写成什么形式?
11. 何谓结合能?怎样由相互作用能 E_p 求结合能的数值?
12. 对离子晶体来说,说明吸引能的幂指数 n 等于 1.
13. 何谓马德隆常数?以一维点阵为例说明求它的方法.
- * 14. 怎样由绝热压缩率的观测值,求离子晶体排斥能的幂指数 m ?
15. 从微观上定性说明晶体的弹性.
16. 何谓杜隆-珀蒂定律?它的适用范围如何?
17. 热缺陷有哪几种基本类型?热缺陷的数目与温度有什么样的关系?
18. 如何从微观上说明固体中扩散的宏观规律?扩散系数和温度有什么关系?怎样说明?
19. 说明下列名词的物理意义:
 - (1) 比例极限;
 - (2) 弹性极限;
 - (3) 强度极限.
20. 何谓加工硬化?用应力应变曲线加以说明.

21. 晶体的范性形变有几种主要形式? 说明与这些主要形式有关的理论.

第七章习题

1. 立方点阵的点阵常量为 a , 在体心立方点阵情况下, 求:

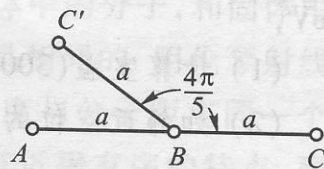
- (1) 原胞的体积;
- (2) 原胞的结点数;
- (3) 最邻近结点间距离;
- (4) 最邻近结点的数目;

(5) 以顶点到体心连线为边所形成的菱面体[图 7-8(b)]作为原胞, 此原胞的体积和包含的结点数.

*2. n 重旋转对称指的是, 晶体绕旋转轴转动 $2\pi/n$ 后晶体与自身完全重合这种对称性. 证明一个晶体不可能有五重旋转对称.

(提示: 设 a 为点阵最小的平移周期, A 、 B 、 C 为三个相邻结点, 如图 7-34 所示. 使晶体绕通过结点 B 并垂直于纸面的旋转轴逆时

针方向转过 $2 \times \frac{2\pi}{5}$ 角度, 这时 C 点转到 C' 点的位置. 如



晶体有五重旋转对称, 因要使晶体经旋转 $\frac{4\pi}{5}$ 后能与自

身完全重合, 那么 C' 点必须是结点, 证明 $AC' < a$.)

图 7-34

*3. 证明一个晶体不可能有七重旋转对称.

4. 由例题 2 中讨论, 知离子晶体的相互作用能为

$$E_p = \frac{A_m}{r^m} - \frac{A_n}{r^n} = N \left(\frac{a_m}{r^m} - \frac{\alpha e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0 r} \right),$$

已知对 NaCl 来说, $m = 9.4$, $\alpha = 1.75$, $e_1 = e_2 = e$, 并知平衡状态时相邻离子间距离为 $r_0 = 2.81 \text{ \AA}$, 求常量 a_m 的值.

5. 已知 NaBr 晶体在平衡状态时相邻两离子间距离为 $r_0 = 2.98 \text{ \AA}$, 马德隆常数 $\alpha = 1.75$, 排斥能幂指数 $m = 9.6$, 求 NaBr 的结合能.

*6. 已知 KCl 晶体在平衡状态时相邻两离子间距为 $r_0 = 3.14 \text{ \AA}$, 马德隆常数 $\alpha = 1.75$, 等熵压缩率为 $\kappa_s = 4.8 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{N}$, 求 KCl 晶体排斥能的幂指数 m .

7. 在排斥势不变的情形下, 使离子的电荷加倍, 问

- (1) 点阵常量发生什么变化?
- (2) 绝热压缩系数发生什么变化?
- (3) 结合能发生什么变化?

*8. 由于平衡位置附近相互作用能曲线的不对称性, 可以设相对于平衡位置

(在这位置时 $E_p = -E_{p0}$) 的势能为

$$V(x) = E_p - (-E_{p0}) = E_p + E_{p0} = cx^2 - gx^3 - fx^4,$$

式中 x 表示离开平衡位置的位移. 利用玻耳兹曼分布律, 在小位移的情形下, 证明位移 x 的平均值 \bar{x} 为

$$\bar{x} = \frac{3kTg}{4c^2},$$

从而说明 \bar{x} 与温度 T 成正比, 即说明了热膨胀现象.

提示:

$$\bar{x} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x e^{-V(x)/kT} dx}{\int_{-\infty}^{\infty} e^{-V(x)/kT} dx},$$

求积分时可以将指数函数用幂级数展开, 在考虑小位移的情况下只取前几项就可以了.

9. 已知将一个钠原子从钠晶体的内部移到表面上所需要的能量为 $u' = 1 \text{ eV}$,

(1) 计算室温(300 K)下空位的数目占粒子总数的百分比;

(2) 如邻近空位的钠原子跳到空位上去所需要的能量为

$$\Delta u' = 0.5 \text{ eV},$$

原子的振动频率为 10^{12} s^{-1} 相邻两钠原子之间距离为 3.71 \AA , 计算室温下钠的自扩散系数.

$$h = \frac{p}{\rho g} = \frac{2\alpha}{\rho g d} = 3.0 \times 10^{-2} \text{ m}.$$

[例题 5] 如图 8-21 所示在内半径 $r = 0.30 \text{ mm}$ 的毛细管中注水,一部分水在管的下端形成一水滴,其形状可以认为是半径为 $R = 3 \text{ mm}$ 的球的一部分,求管中水柱的长度 h . 水的表面张力系数 $\alpha = 7.3 \times 10^{-2} \text{ N/m}$.

[解] A 点的压强 p_A 等于大气压强 p_0 与附加压强 $\frac{2\alpha}{R}$ 两者之和,即

$$p_A = p_0 + \frac{2\alpha}{R}.$$

B 点的压强 p_B 等于 p_0 与附加压强 $\frac{2\alpha}{r}$ 之差,即

$$p_B = p_0 - \frac{2\alpha}{r}.$$

根据流体静力学的基本原理

$$p_A - p_B = \rho g h,$$

因而

$$h = \frac{p_A - p_B}{\rho g} = \frac{\frac{2\alpha}{R} + \frac{2\alpha}{r}}{\rho g} = \frac{2\alpha}{\rho g} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r} \right) = 5.5 \times 10^{-3} \text{ m}.$$

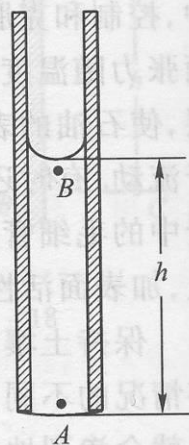


图 8-21

第八章思考题

1. 说明液体分子的排列情况和热运动情况。
2. 为什么说定居时间 τ 的大小既体现了分子力的作用,又体现了热运动的作用?
3. 液晶的特点是什么? 它存在于什么温度范围内? 它有哪些三种类型? 各有什么特点和应用?
4. 在熔化前后,固体热容与液体热容相差很少这一事实说明什么问题?
5. 液体的热膨胀系数与温度有什么关系? 与压强有什么关系?
6. 说明液体中热传导的机制。
7. 为什么液体中物质的扩散系数随着温度的升高增加得很快?
8. 为什么液体的黏性系数和温度的关系与气体截然不同?
9. 扩大液面要做多少功? 所做的功转化为什么能量?
10. 一滴较大的水银掉到地面上,分成许多小的水银滴,需要供给多大的能

量?

11. 吹肥皂泡时,当管的一端不继续吹气时,为什么在管的另一端所吹出的肥皂泡要慢慢缩小?

12. 大小两个肥皂泡,用玻璃管连通着,其中哪一个肥皂泡要缩小,缩小到什么程度为止?

13. 何谓接触角?何谓湿润与不湿润?从微观上加以说明.

14. 为什么毛细管插入水中时,管子里的水面会升高,插入水银中时,管子里的水银面会降低?

15. 一半径为 r 的毛细管插入水中,如图 8-22 所示.问图中 A、B、C、D、E 各点的压强多大?

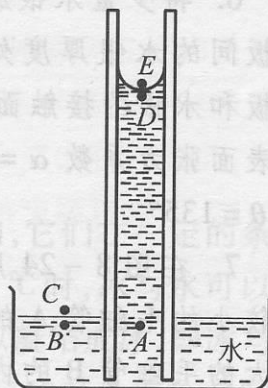


图 8-22

第八章习题

1. 在 20 km^2 的湖面上,下了一场 50 mm 的大雨,雨滴半径

$$r = 1.0 \text{ mm}.$$

设温度不变,求释放出来的能量.

2. 图 8-23 是测表面张力系数的一种装置,先将薄铜片放入待测液体中,慢慢提起铜片,使它绝大部分都露出液面,刚要离开但还没有离开液面,测得此时所用的上提力 F ,即可测得表面张力系数.设待测液体与铜片的接触角 $\theta = 0$,铜片的质量 $m = 5.0 \times 10^{-4} \text{ kg}$,铜片的宽度 $l = 3.977 \times 10^{-2} \text{ m}$,厚度 $d = 2.3 \times 10^{-4} \text{ m}$, $F = 1.07 \times 10^{-2} \text{ N}$,求液体的表面张力系数.

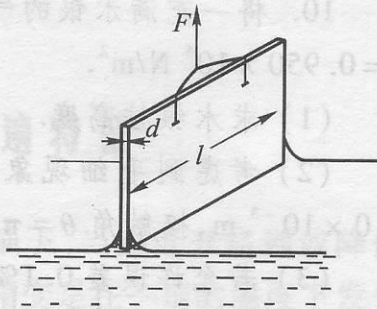


图 8-23

3. 一球形泡,直径等于 $1.0 \times 10^{-5} \text{ m}$,刚处在水面下,如水面上的气压为 $1.0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$,求泡内压强.已知水的表面张力系数 $\alpha = 7.3 \times 10^{-2} \text{ N/m}$.

4. 一个半径为 $1.0 \times 10^{-2} \text{ m}$ 的球形泡,在压强为 $1.0136 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 的大气中吹成.如泡膜的表面张力系数 $\alpha = 5.0 \times 10^{-2} \text{ N/m}$,问周围的大气压强多大,才可使泡的半径增为 $2.0 \times 10^{-2} \text{ m}$? 设这种变化是在等温情况下进行的.

5. 在深为 $h = 2.0 \text{ m}$ 的水池底部产生许多直径为 $d = 5.0 \times 10^{-5} \text{ m}$ 的气泡,当它们等温地上升到水面上时,这些气泡的直径多大? 水的表面张力系数 $\alpha = 7.3 \times 10^{-2} \text{ N/m}$.

6. 将少量水银放在两块水平的平玻璃板间. 问什么负荷加在上板时, 能使两板间的水银厚度处处都等于 1.0×10^{-4} m, 并且每板和水银的接触面积都为 4.0×10^{-3} m²? 设水银的表面张力系数 $\alpha = 0.45$ N/m, 水银与玻璃的接触角 $\theta = 135^\circ$.

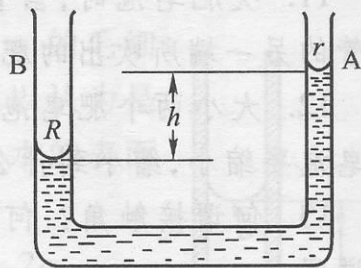


图 8-24

7. 在图 8-24 所示的 U 形管中注以水. 设半径较小的毛细管 A 的内径为 $r = 5.0 \times 10^{-5}$ m, 半径较大的毛细管 B 的内径为 $R = 2.0 \times 10^{-4}$ m, 求两管水面的高度差 h . 水的表面张力系数 $\alpha = 7.3 \times 10^{-2}$ N/m.

8. 在内径为 $R_1 = 2.0 \times 10^{-3}$ m 的玻璃管中, 插入一半径为 $R_2 = 1.5 \times 10^{-3}$ m 的玻璃棒, 棒与管壁间的距离是到处一样的, 求水在管中上升的高度. 已知水的密度 $\rho = 1.00 \times 10^3$ kg/m³, 表面张力系数 $\alpha = 7.3 \times 10^{-2}$ N/m 与玻璃的接触角 $\theta = 0$.

9. 玻璃管的内直径 $d = 2.0 \times 10^{-5}$ m, 长为 $l = 0.20$ m, 垂直插入水中, 管的上端是封闭的. 问插入水面下的那一段的长度应为多少, 才能使管内外水面一样高? 已知大气压 $p_0 = 1.013 \times 10^5$ N/m², 水的表面张力系数 $\alpha = 7.3 \times 10^{-2}$ N/m, 水与玻璃的接触角 $\theta = 0$.

10. 将一充满水银的气压计下端浸在一个广阔的盛水银的容器中, 读数为 $p = 0.950 \times 10^5$ N/m².

(1) 求水银柱高度.

(2) 考虑到毛细现象后, 真正的大气压强多大? 已知毛细管的直径 $d = 2.0 \times 10^{-3}$ m, 接触角 $\theta = \pi$, 水银的表面张力系数 $\alpha = 0.49$ N/m.

(3) 若允许误差 0.1%, 求毛细管直径所能允许的极小值.

11. 一均匀玻璃管的内径为 $d = 4.0 \times 10^{-4}$ m, 长为 $l_0 = 0.20$ m, 水平地浸在水银中, 其中空气全部留在管中, 如果管子浸在深度为 $h = 0.15$ m 处, 问管中空气柱的长度 l 等于多少? 已知大气压强 $p_0 = 76$ cmHg, 水银的表面张力系数 $\alpha = 0.49$ N/m, 与玻璃的接触角 $\theta = \pi$.

由于铁能发生同素异晶转变,才能用热处理使钢铁改变组织结构,从而大大提高机械性能.例如,奥氏体是钢在高温时的组织,铁具有面心立方点阵的结构,碳则以填隙的方式位于点阵间隙中,在温度降低时应转变为含碳量较少的铁素体(铁具有体心立方点阵的结构),其余的碳以渗碳体的形式析出,但在快速冷却至室温时,虽然铁的点阵结构由面心转变为体心,但多余的碳原子因扩散困难并未析出,而使铁的点阵具有体心正方结构,晶胞内两轴之比 $c/a > 1$ (图 9-23),具有这种组织的钢称为马氏体.淬火热处理的目的就是使奥氏体转变为马氏体.由于马氏体具有很高的硬度,因此作切削工具等用的工具钢,淬火后可以保证很高的切削性能和耐磨性.

前面所讲的事实上都是纯物质的相变,即单元系的相变,控制相变的基本因素只有温度和压强,对于两种或两种以上物质组成的系统(如铁与碳形成的合金),即多元系,还可以从成分这一方面去控制相变过程.这时,相变的规律不能简单地用 $p-T$ 图表示出来,而必须将成分考虑进去.通常,在一定的压强下,用图表示不同成分不同温度下形成的各种相,这种相图对冶金、化工等部门有重大的实际意义.

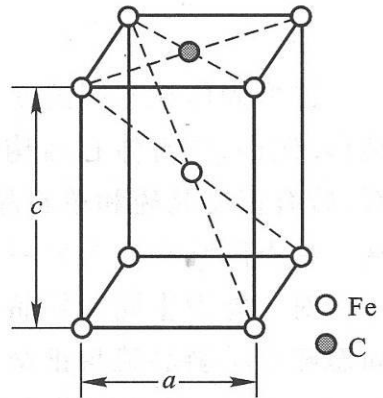


图 9-23

第九章 思考题

1. 何谓单元复相系? 举例说明.
2. 单元系一级相变有什么普遍特征?
3. 何谓内潜热与外潜热? 怎样由态函数焓计算潜热?
4. 为什么从克拉珀龙方程是否成立,可以验证热力学第二定律的正确性?
5. 用克拉珀龙方程说明:
 - (1) 液体沸点和压强的关系;
 - (2) 固体熔点和压强的关系.
6. 在夏天时,为什么池塘、湖和海等处水的温度,总是比周围空气的温度低?
7. 要使湿衣服变干,可以采取哪些措施? 说明理由.
8. 何谓饱和蒸气压? 它和温度有什么关系? 它与蒸气所占体积有什么关系? 如蒸气中还存在着其他气体,饱和蒸气压会不会变化? 为什么?
9. 饱和蒸气压和液面的形状有什么关系? 为什么?
10. 说明蒸发和沸腾的异同,和发生沸腾的条件.

11. 要用等温压缩的方式使气体液化,需要满足什么条件?
12. 何谓临界温度、临界压强和临界体积?
13. 何谓气液二相图?汽化曲线有什么特点?
14. 设在温度 $T(T < T_k)$ 时将气体等温压缩,当压缩到部分气体转变成液体时,即当物质处在 $p-V$ 图中区域 II 所示的状态(见图 9-3)时,然后升高温度,但始终处在区域 II 中,一直升高到临界温度 T_k ,以后又继续升高温度,使处于区域 I 所示的状态.将这整个过程用 $p-T$ 图表示出来.
15. 说明获得低温的几种主要方法及其原理.
16. 用范德瓦耳斯等温线可以说明实际气体哪些性质?
17. 某种物质如果熔化时体积增大,用哪些方法可使它重新凝固?
18. 用什么方法可以使纯净的冰在 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 以下才熔化?
19. 结晶过程是由哪两种过程组成的?为什么一般情形下熔液凝成多晶体?
20. 晶体生长速度和过冷度有什么关系?生核率与过冷度有什么关系?在什么条件下液态金属才能凝成非晶态金属?
21. 说明拉单晶的基本原理.
22. 当水处在三相点时,在下列情形下物态将如何变化?
 - (1) 增大压强;
 - (2) 降低压强;
 - (3) 升高温度;
 - (4) 降低温度.
23. 在水的三相共存的系统中,经过绝热压缩后,系统将发生什么变化?冰很多时情况如何,冰很少时情况又如何?如经过绝热膨胀,则系统又将发生什么变化?
24. 由 CO_2 的三相图(图 9-20),回答下列问题:
 - (1) 5 atm 和 $-80\text{ }^\circ\text{C}$ 时 CO_2 处在什么状态?
 - (2) $1\text{ }000\text{ atm}$ 和 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 时 CO_2 处在什么状态?
 - (3) 10 atm 下缓慢冷却至 $-100\text{ }^\circ\text{C}$,能获得干冰吗?

第九章习题

1. 在大气压强 $p_0 = 1.013 \times 10^5\text{ N/m}^2$ 下, $4.0 \times 10^{-3}\text{ kg}$ 酒精沸腾化为蒸气.已知酒精蒸气比体积为 $0.607\text{ m}^3/\text{kg}$,酒精的汽化热为 $l = 8.63 \times 10^5\text{ J/kg}$,酒精的比体积 v_1 与酒精蒸气比体积 v_2 相比可以忽略不计,求酒精内能的变化.
2. 质量为 $m = 0.027\text{ kg}$ 的气体占有体积为 $1.0 \times 10^{-2}\text{ m}^3$,温度为 300 K .已知

在此温度下液体的密度为 $\rho_l = 1.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 饱和蒸气的密度为 $\rho_g = 4 \text{ kg/m}^3$. 设用等温压缩的方法可将此气体全部压缩成液体, 问:

- (1) 在什么体积时开始液化?
- (2) 在什么体积时液化終了?
- (3) 当体积为 $1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 时, 液气各占多大体积?

3. 一密封容器的体积为 $V = 6.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, 其中水的温度为 $T_1 = 393 \text{ K}$, 相应的饱和蒸气压为 $p_1 = 1.96 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. 如在其中喷进 10°C 的水, 则水的温度降为 $T_2 = 373 \text{ K}$, 相应的饱和蒸气压为 $p_2 = 9.81 \times 10^4 \text{ N/m}^2$, 求喷进去的水的质量. 已知水的比热容为 $4.186 \times 10^3 \text{ J/kg}$, 汽化热为 $2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$, 水蒸气的摩尔定容热容 $C_{v,m} = 3R$, R 为普适气体常量.

4. 压强为 760 mmHg 时水在 100°C 沸腾, 此时水的汽化热为 $2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$, 比体积为 $1.671 \text{ m}^3/\text{kg}$. 求压强为 770 mmHg 时水的沸点.

5. 接近 100°C 时, 水的沸点每当压强增大 3 mmHg 时升高 0.11°C , 求水的汽化热.

6. 要使冰的熔点降低 1°C , 需要加多大的压力? 已知冰的熔化热为 $l = 3.34 \times 10^5 \text{ J/kg}$, 冰的比体积为 $1.0905 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$, 水的比体积为 $1.000 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$.

7. 证明相变时内能的变化为

$$u_2 - u_1 = l \left(1 - \frac{d \ln T}{d \ln p} \right).$$

8. 假定饱和蒸气为理想气体, 并假定蒸气的比体积 v_2 比 v_1 大很多, 在汽化热 l 看作常量的条件下, 证明蒸气压方程为

$$\ln p = -\frac{l}{RT} + \text{const.}$$

9. 已知在 100°C 时水的饱和蒸气压为 $9.81 \times 10^4 \text{ N/m}^2$, 由习题 8 中的蒸气压方程求 15°C 时水的饱和蒸气压.

10. 假定蒸汽可看作理想气体, 由下表所列数据计算 -20°C 时冰的升华热.

温 度/ $^\circ\text{C}$	-19.5	-20.0	-20.5
蒸气压/mmHg	0.808	0.770	0.734

11. 假定蒸汽可看作理想气体, 由下表所列数据计算 27°C 时水的汽化热.

温 度/ $^\circ\text{C}$	27.1	27.0	26.9
蒸气压/mmHg	26.905	26.747	26.590

12. 已知范德瓦耳斯方程中的常量, 对氧来说为 $a = 1.35 \times 10^{-6}$

$\text{atm} \cdot \text{m}^6/\text{mol}^2$, $b = 3.1 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$, 求氧临界压强 p_k 和临界温度 T_k .

13. 固态氨的蒸气压方程和液态氨的蒸气压方程分别为

$$\ln p = 23.3 - \frac{3754}{T},$$

和

$$\ln p = 19.49 - \frac{3063}{T},$$

式中 p 是以 mmHg 表示的蒸气压. 求:

- (1) 三相点的压强和温度;
- (2) 三相点处汽化热、熔化热和升华热.