

《大学物理 AII》作业 No.12 热力学第二定律

班级 _____ 学号 _____ 姓名 _____ 成绩 _____

*****本章教学要求*****

- 1、理解实际宏观过程不可逆性的意义，并能举例说明各种实际宏观过程的不可逆性是相互关联的。
- 2、理解热力学第二定律的典型表述、微观意义以及规律的统计性质。
- 3、理解热力学概率及其和实际过程进行方向的关系。
- 4、理解玻耳兹曼熵公式及熵增加原理。
- 5、掌握可逆过程条件，理解克劳修斯熵公式的意义并能利用它来判断熵变的正负。

一、选择题

1、下列说法错误的是（C、D）

- A 热力学第二定律说明自动发生的热力学过程总是沿着无序度增加的方向进行
- B 可逆过程一定是准静态过程
- C 第二类永动机不可能制成是因为违背了能量守恒定律
- D 一热力学系统可以经历两个绝热过程和一个等温过程，构成一个循环过程。

解：A 热力学第二定律的实质；B 可逆过程无摩擦的准静态过程，所以它一定是准静态过程；C 第二类永动机并不违背能量守恒定律，但它违背了热力学第二定律；D 循环构成了一个单热源机，这违反了开尔文表述。

2、关于熵增原理，正确的理解是（D）

- A 熵增量大于零的过程为不可能自发进行的过程
- B 一切热力学过程总是熵增加
- C 孤立系统的熵变为零
- D 孤立系统的熵永不会减少

3、对于循环热机，在下面节约与开拓能源的几个设想中，理论上可行的是（B）

- A 改进技术，使热机的循环效率达 100%
- B 利用海面与海面下的海水温差进行热机循环做功
- C 从一个热源吸热，不断作等温膨胀，对外做功
- D 从一个热源吸热，不断作绝热膨胀，对外做功

4、关于一个系统的熵的变化，下列说法正确的是（C）

- A 任一绝热过程， $\Delta S = 0$
- B 任一可逆过程， $\Delta S = 0$
- C 孤立系统中，任一过程 $\Delta S \geq 0$
- D 孤立系统中，任一过程 $\Delta S = 0$

解：A 不正确，不可逆的绝热过程，比如气体绝热自由膨胀，熵要增加；B 不正确，要看系统是否为孤立系统，或者过程是否为循环过程，如果理想气体可逆等温膨胀，熵要增加，如果可逆等温压缩，熵要减小；C 正确，孤立系统，若为可逆过程， $\Delta S = 0$ ，若为不可逆过程， $\Delta S > 0$ ；D 不正确。

5、一定量的理想气体向真空作绝热自由膨胀，体积由 V_1 增至 V_2 ，在此过程中不正确的是

(D)

A $A=0$

B $Q=0$

C $\Delta T = 0$

D $\Delta S = 0$

解：自由膨胀， $A=0$ ；绝热过程， $Q=0$ ；由热力学第一定律， $Q = A + \Delta E$ ，则 $\Delta E = 0$ ，即 $\Delta T = 0$ ；绝热自由膨胀自发进行，故熵增加。

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

A 增大

B 减小

C 不变

D 不能确定

解：准静态过程是可逆过程，又是绝热过程。故 $\Delta S = \int \frac{dQ}{T} = 0$

二、填空题

1、从统计意义上解释：不可逆过程实际上是一个从概率 较小 的热运动状态到概率 较大 的热运动状态的转变过程。(填：较大、较小)

2、一热机每秒从高温热源 ($T_1 = 600K$) 吸取热量 $Q_1 = 3.34 \times 10^4 J$ ，做功后向低温热源 ($T_2 = 300K$) 放出热量 $Q_2 = 2.09 \times 10^4 J$ ，它的效率是 37.4%，它 不是 可逆机 (是或者不是)

解： $\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{2.09 \times 10^4}{3.34 \times 10^4} = 37.4\%$ ，而卡诺热机效率 $\eta_c = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300}{600} = 50\%$

$\eta < \eta_c$ ，根据卡诺定理可知，该热机不是可逆机。

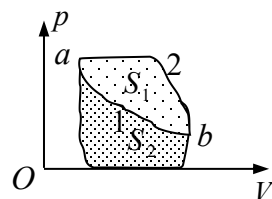
3、1824 年法国工程师卡诺(N.L.S.Carnot) 在两个热源之间设计了由理想气体的等温可逆膨胀、绝热可逆膨胀、等温可逆压缩、绝热可逆压缩四个过程所构成的循环过程，这种循环过程称为卡诺循环。卡诺热机的效率只与两个热源的温度有关，与工作物质无关。

4、第二类永动机不能制造成功的原因是不可能从单一热源吸热完全转变为有用功而不产生其他影响 (违反了热力学第二定律)。

5、如图所示，已知图中两部分的面积分别为 S_1 和 S_2 。①如果气体的膨胀过程为 $a1b$ ，则

气体对外做功 $A = \underline{S_2}$ ； 如果气体进行 $a1b2a$ 的循环过程，

则它对外做功 $A = \underline{-S_1}$ 。



解：由 p - V 图可知， $a1b$ 过程曲线下面积为 S_2 ，所以气体对外做功为

S_2 ；b2a 过程曲线下面积为 $S_1 + S_2$ ，所以气体对外做功为 $-(S_1 + S_2)$ ，气体进行 a1b2a 的循环过程（逆循环），对外做功 $S_2 - (S_1 + S_2) = -S_1$ 。

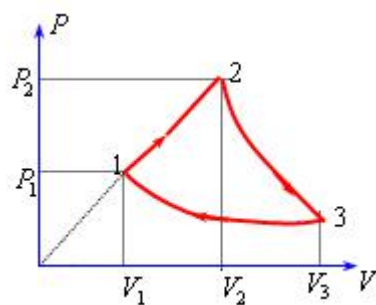
6、将热量 Q 传给一定量的理想气体，

- (1) 若气体的体积不变，则其热量转化为 气体内能；
- (2) 若气体的温度不变，则其热量转化为 气体对外做功；
- (3) 若气体的压强不变，则其热量转化为 内能和对外做功。

解：由热力学第一定律： $Q = \Delta E + A$ 可知：体积不变 $A = 0$ ， $\Delta E = Q$ ；温度不变 $\Delta E = 0$ ， $A = Q$ ；压强不变， $Q = \Delta E + A$ 。

三、计算题

1、1mol 双原子分子理想气体作如图的可逆循环过程，其中 1—2 为直线（其延长线过原点），2—3 为绝热线，3—1 为等温线。已知 $T_2 = 2T_1$ ， $V_3 = 8V_1$ ，试求：



- (1) 各过程的功，内能增量和传递的热量；（用 T_1 和已知常数表示）；
- (2) 此循环的效率 η 。

解：(1) $1 \rightarrow 2$ ： $\Delta E_1 = C_V(T_2 - T_1) = \frac{5}{2}RT_1$

$$A_1 = \frac{1}{2}(P_1 + P_2)(V_2 - V_1) = \frac{1}{2}(P_2V_2 - P_1V_1) = \frac{1}{2}R(T_2 - T_1) = \frac{1}{2}RT_1,$$

$$Q_1 = \Delta E_1 + A_1 = \frac{5}{2}RT_1 + \frac{1}{2}RT_1 = 3RT_1,$$

$2 \rightarrow 3$ ：绝热膨胀过程， $Q_2 = 0$ ，

$$\Delta E_2 = C_V(T_3 - T_2) = C_V(T_1 - T_2) = -\frac{5}{2}RT_1,$$

$$A_2 = -\Delta E_2 = \frac{5}{2}RT_1.$$

$3 \rightarrow 1$ ：等温压缩过程，

$$\Delta E_3 = 0, A_3 = -RT_1 \ln \frac{V_3}{V_1} = -RT_1 \ln 8 = -2.08RT_1$$

$$Q_3 = A_3 = -2.08RT_1.$$

$$(2) \quad \eta = \frac{A_{\text{净}}}{Q_{\text{吸}}} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{Q_1} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{Q_1} = \frac{3RT_1 - 2.08RT_1}{3RT_1} = 30.7\%$$

2、1 mol 的理想气体，完成了由两个等容过程和两个等压过程构成的循环过程（如图），已知状态 1 的温度为 T_1 ，状态 3 的温度为 T_3 ，且状态 2 和 4 在同一等温线上。试求气体在这一循环过程中作的功。

解： 设状态 2 和 4 的温度为 T ，气体在循环中对外作的功为

$$A = (p_2 - p_1)(V_3 - V_2) = p_3V_3 + p_1V_1 - 2p_2V_2 = R(T_1 + T_3 - 2T)$$

$$\text{由 } T_1 = \frac{p_1V_1}{R}, \quad T_3 = \frac{p_3V_3}{R}, \quad T = \frac{p_2V_2}{R} = \frac{p_4V_4}{R}$$

$$T_1 \cdot T_3 = \frac{p_1V_1p_3V_3}{R^2}, \quad T^2 = \frac{p_2V_2p_4V_4}{R^2},$$

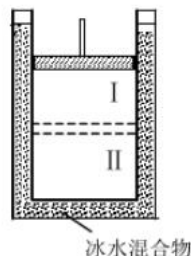
$$\text{又 } p_2 = p_3, V_2 = V_1, p_4 = p_1, V_4 = V_3$$

$$\text{故有 } T^2 = T_1 \cdot T_3, \quad T = \sqrt{T_1 \cdot T_3}$$

$$\text{所以气体在这一循环过程中作的功 } A = R(T_1 + T_3 - 2\sqrt{T_1 \cdot T_3})$$

3、如图所示，一金属圆筒中盛有 1 mol 刚性双原子分子的理想气体，用可动活塞封住，圆筒浸在冰水混合物中。迅速推动活塞，使气体从标准状态(活塞位置 I)压缩到体积为原来一半的状态(活塞位置 II)，然后维持活塞不动，待气体温度下降至 0°C ，再让活塞缓慢上升到位置 I，完成一次循环。

- (1) 试在 $p-V$ 图上画出相应的理想循环曲线；
- (2) 系统一次循环，放出的净热量为多少？



解： (1) $p-V$ 图上循环曲线如图所示，其中 ab 为绝热压缩， bc 为等体降温， ca 为等温膨胀。

$$(2) \quad bc \text{ 等体过程放热为 } Q_V = C_V(T_2 - T_1) \quad ①$$

$$ca \text{ 等温过程吸热为 } Q_T = RT_1 \ln \frac{V_1}{V_1/2} \quad ②$$

$$ab \text{ 绝热过程满足 } V_1^{\gamma-1} T_1 = \left(\frac{V_1}{2}\right)^{\gamma-1} T_2 \quad ③$$

$$\text{或 } T_2 = 2^{\gamma-1} T_1$$

$$\text{刚性双原子分子气体的等体摩尔热容为 } C_V = \frac{5}{2}R$$

$$\text{泊松比为 } \gamma = 1.4$$

由①~③式，可解得系统一次循环放出的净热量为

$$Q = Q_V - Q_T = \frac{5}{2}R(2^{\gamma-1} - 1)T_1 - RT_1 \ln 2 = 240 \text{ J}$$

