

热学 B 期末试卷 (2021)

学号 _____ 姓名 _____ 成绩 _____ (半开卷)

1. (12 分) 已知一混合理想气体中几种主要成分体积比为: CO_2 ——60%, O_2 ——30%, H_2 ——10%, 试求: (1) 该混合气体的平均摩尔质量; (2) 各组分的质量百分比; (3) 标准状态下各组分分压强; (4) 标准状态下各组分的密度及混合气体的密度。

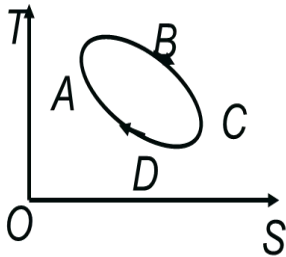
($R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $T = 273.16 \text{ K}$)

2. (10 分) 一容器体积为 $2V$, 隔板把它分成相等的两半。开始时, 左边有压强为 p_0 的理想气体, 右边为真空。在隔板上有一面积为 S 的小孔。求打开小孔后左边气体的压强 p 随时间 t 的变化关系。假定过程中左右两边温度相等且保持不变, 设分子的平均速率为 \bar{v} 。

3. (10 分) 设理想气体的摩尔定容热容量 C_V 为常数, 体积由 V_0 膨胀到 $4V_0$, 膨胀过程中压强和体积满足 $PV^2 = C$ (常数), 试求 1mol 理想气体在上述过程中: (1) 对外界做的功; (2) 内能的增量; (3) 熵的增量。

4. (14 分) (1) (7 分) 利用热力学第二定律证明卡诺定理: 在相同高温热源与相同低温热源间工作的一切不可逆热机, 其效率总小于可逆热机的效率; 在相同的高温热源和相同的低温热源间工作的一切可逆热机其效率都相等, 而与工作物质无关。

(2) (7 分) 设有一个任意循环热机, 如图 ABCDA 过程。在过程中所能达到的最高温度为 T_1 , 最低温度为 T_2 , 利用温熵图 ($T-S$ 图) 证明这个循环过程的热机工作效率小于工作在 T_1 和 T_2 之间的卡诺循环热机的工作效率。

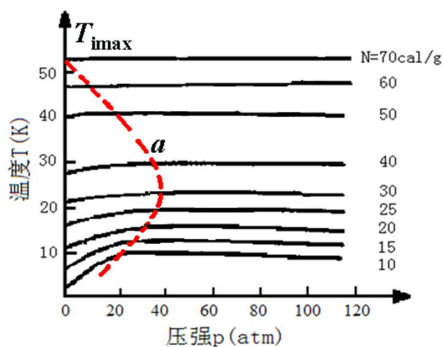


5. (12 分) 气体在绝热节流过程中, 温度随压强的变化率, 叫做焦耳-汤姆孙系数, $\alpha_i = (dT/dP)_H$

(1) 证明理想气体没有焦耳-汤姆孙效应。

(2) 证明范德瓦尔斯气体的焦耳-汤姆孙系数 $\alpha_i = \frac{RTbV^3 - 2aV(V-b)^2}{C_p[2a(V-b)^2 - RTV^3]}$ 并证明其最大反转温度

$$T_{imax} = \frac{2a}{Rb}$$



6. (12分) 设某理想气体的绝热指数 $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ 为温度 T 的函数.

(1) 证明在准静态绝热过程中, 气体的 T 和 V 满足函数关系 $F(T)V=C$, 式中 C 为常数, 函数 $F(T)$ 的表达式为

$$\ln F(T) = \int \frac{dT}{(\gamma - 1)T}$$

(2) 利用(1)的结果, 证明该气体的可逆卡诺循环的效率仍为

$$\alpha = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

7. (18分) 两个完全相同的物体, 热容量都为 C , 初始温度都为 T_1 , 如果有一个制冷机工作在这两个物体之间, 使物体 1 的温度降低到 T_2 , 另一个物体 2 的温度升高。

(1) 至少要对制冷机做多少功?

(2) 如果第(1)问中的功由 ν mol 范德瓦尔斯气体的准静态等温膨胀过程提供, 且该过程气体对外所做的功完全提供给制冷机, 当气体由 V_i 膨胀至 V_f , 计算该过程中需要保持气体的温度 T 为多少?

(3) 在第(2)问的过程中, 范德瓦尔斯气体前后的熵变是多少?

8.(12分) 已知经典理想气体分子速率分布函数为,

$$f(v_x, v_y, v_z) = \exp \left[a - b \left[(v_x - v_{x0})^2 + (v_y - v_{y0})^2 + (v_z - v_{z0})^2 \right] \right]$$

式中 $a, b, v_{x0}, v_{y0}, v_{z0}$ 是待定参数。试用如下条件确定待定参数:

$$n = \int f(v_x, v_y, v_z) dv_x dv_y dv_z$$

$$\bar{v}_x = \frac{1}{n} \int v_x f(v_x, v_y, v_z) dv_x dv_y dv_z$$

$$\bar{v}_y = \frac{1}{n} \int v_y f(v_x, v_y, v_z) dv_x dv_y dv_z$$

$$\bar{v}_z = \frac{1}{n} \int v_z f(v_x, v_y, v_z) dv_x dv_y dv_z$$

$$\bar{\epsilon} = \frac{1}{n} \int \frac{1}{2} m (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2) f(v_x, v_y, v_z) dv_x dv_y dv_z = \frac{3}{2} kT + \frac{1}{2} m (\bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2)$$

其中 $n = N/V$, N, V, n 分别为气体的粒子数, 体积和粒子密度数, $\bar{v}, \bar{\epsilon}$ 是粒子的平均速度和平均动能, m 是分子质量, k 是玻尔兹曼常量。