基础物理学 III

（期末考试）

1. 简答题
   （1） 举一个现象或实验说明宏观热现象是由原子和分子无规则运动导致的。（5 分）
   （2） 2.6 克的兵乓球从 1 米自然落下，碰撞地面回弹。请利用熵增原理说明回弹高度将小于 1 米。多次回弹后球静止，估算总的熵增（环境温度 300K）。（5 分）
   （3） 已知水的比热约为冰的两倍。我们将 100 毫升 10°C 的水和 200 克-10°C 的冰混合。在绝热环境下达到平衡，最后我们得到的是冰、水、还是冰水混合物？请简单证明你的结论。（5 分）

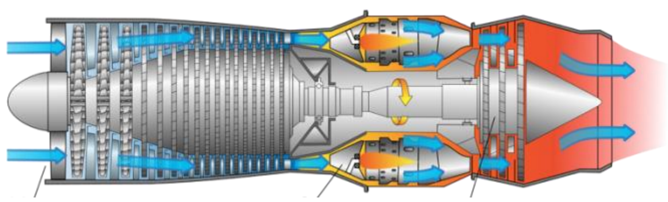
2. 实验发现橡皮筋满足：

$$\left(\frac{\partial F}{\partial L}\right)_T = a\,T\left[1+2\left(\frac{L_0}{L}\right)^3\right],\quad \left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_L = a\,L\left[1-\left(\frac{L_0}{L}\right)^3\right]$$

   其中F为张力，L为橡皮筋拉伸后的长度，L_0为自然长度，T为温度，a为常数。
   (1) 求 $(\partial L/\partial T)_F$，并描述其对应的物理图像。（10 分）
   (2) 推导出橡皮筋的物态方程，即F对T和L的依赖关系。（5 分）
   (3) 证明橡皮筋类似于理想气体：内能只是温度的函数，与长度无关。（5 分）

3. 航空涡轮发动机由前置增压涡轮、燃烧室及后置降压涡轮组成。如果把出气口放出的气体与进气口进入的气体当做同一气体，我们可以将发动机的热力学过程看成是由两个等压过程和两个绝热过程构成的热力学循环。这个也称为布雷顿循环。
   （1） 请在$P-V$图以及$T-S$图中画出此循环。（10 分）
   （2） 计算此循环的效率，将其表达成高压p_1和低压p_2比值的函数。（10 分）
   （3） 目前高效发动机的压强比可达到35。若飞机以900公里每小时巡航时发动机的推力约为$1.0\times10^5\mathrm{N}$。请问飞行10个小时发动机大约消耗多少航空煤油？已知空气的绝热比$\gamma=1.4$，煤油的燃烧值为4.3×10^7焦耳每千克。（5 分）

(正面)



(侧面)

4. 范德瓦尔斯物态方程如下：

$$\left(P+\frac{n^2a}{V^2}\right)(V-n\,b)=n\,RT$$

其中P为压强，V为体积，n为物质的量，T为温度，常数$R=8.3\ \mathrm{J\,mol^{-1}K^{-1}}$。

（1） 请说明参数a和b的物理意义。（5 分）

（2） 请推导出气液临界状态（二级相变点）所对应的温度、压强和体积的表达式。给出水的临界温度和压强（$a=5.6\ \mathrm{atm\ L^2mol^{-2}}, b=0.031\ \mathrm{L\ mol^{-1}}$）。（10 分）

（3） 如果对处在气液临界态的分子进行节流膨胀，温度是升高还是降低？这个结论依赖于范氏物态分子的类型吗？请证明你的结论。（5 分）

5. 低温系统通常用真空来做隔热。下图是一个球形真空罐的简单示意图，其半径为r_1。内部是一个半径r_2的球形低温载荷，它通过导热管与外部的冷却系统连接。已知达到稳态时，外部温度是T_1，载荷的温度是T_2。真空罐内气体是质量为m的双原子分子。我们考虑高真空的情况：分子构成理想气体，平均自由程$\bar{\lambda}$近似为与压强无关的常数。

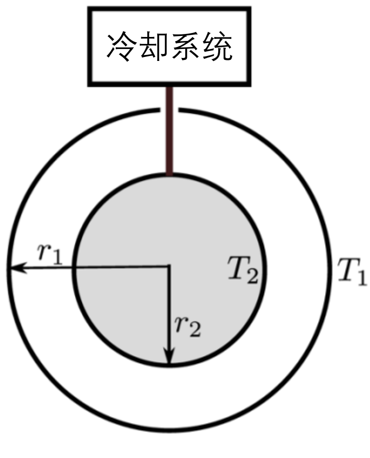
（1） 请推导出热传导系数κ与气体压强的关系（温度用平均温度$\bar{T}$代替）。（5 分）

（2） 为简化讨论，我们假设不同位置的κ相同。请利用能量守恒证明真空罐内距离中心为r的点($r_1 \geq r \geq r_2$)的温度$T(r)$满足：

$$T(r)=\frac{a}{r}+b$$

并给出系数a和b关于T_1, T_2, r_1, r_2的表达式。（10 分）

（3） 如果通过导热管冷却的功率是P_c，真空罐内压强需低于多少才能保证由气体导热产生的热量损耗小于冷却功率（忽略如黑体辐射的其他能量损耗）。（5 分）



热学的基本公式

热力学第一定律:

$$\mathrm{d}U = \delta Q - \delta W = T\mathrm{d}S - P\mathrm{d}V$$

焓:

$$H = U + PV,\ \mathrm{d}H = T\mathrm{d}S + V\mathrm{d}P$$

亥姆霍兹自由能:

$$F = U - TS,\ \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T - P\mathrm{d}V$$

吉布斯自由能:

$$G = F + PV,\ \mathrm{d}G = -S\mathrm{d}T + V\mathrm{d}P$$

麦克斯韦关系式:

$$\mathrm{d}L = M\mathrm{d}X + N\mathrm{d}Y$$

$$M = \left(\frac{\partial L}{\partial X}\right)_Y,\ N = \left(\frac{\partial L}{\partial Y}\right)_X$$

$$\left(\frac{\partial M}{\partial Y}\right)_X = \left(\frac{\partial N}{\partial X}\right)_Y$$

节流过程的焦汤系数:

$$\mu = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H = \frac{1}{c_p}\left[T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P - V\right]$$

麦克斯韦分布律的平均速度:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8\,k_B T}{\pi\, m}}$$

热传导:

$$\vec{J}_q = -\kappa\,\nabla T$$

$$\kappa = \frac{1}{6}(t + r + 2s)\,n\,\bar{\lambda}\,\bar{v}\,k_B$$

可能用到的数学公式:

$$\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z = 1/\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z$$

$$\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z\left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$$

$$\nabla f = \frac{\partial f}{\partial x}\vec{e}_x + \frac{\partial f}{\partial y}\vec{e}_y + \frac{\partial f}{\partial z}\vec{e}_z = \frac{\partial f}{\partial r}\vec{e}_r + \frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial \theta}\vec{e}_\theta + \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial f}{\partial \phi}\vec{e}_\phi$$

量纲转换:

$$1\mathrm{atm} \approx 10^5\,\mathrm{Pa}$$