大学物理（王少杰教材）第 2 套阶段训练题目
热学（9-10 章）

一、填空题（共 30 分）

1、(本题 4 分) 一理想气体系统处于平衡态，则意味着系统的温度_________，体积_________，每个气体分子的运动速率_________，压强_________。(请选填“不随时间改变”或“随时间改变”)

参考答案：不随时间改变，不随时间改变，随时间改变，不随时间改变

2、 (本题 4 分) 一封闭的理想气体系统中，每个分子的平均平动动能增加到原来的 3 倍，然而压强却没有变化，则体积变为原来的___________倍。

参考答案：3

3、（本题 4 分）对于一封闭的理想气体系统，压强不变的情况下，体积增大到原来的 4 倍，则分子平均碰撞频率变为原来的_________倍，分子的平均自由程变为原来的________倍。

参考答案： 0.5，4

4、（本题 4 分）ν mol 的封闭理想气体系统经历某一热力学过程，外界对系统做功为 A，系统的温度增加了 100 K，若已知其摩尔定容热容为常量 $C_{V,\mathrm{m}}$， 则系统对外界放热为______________。

参考答案：$A-100\nu C_{V,\mathrm{m}}$

5、（本题 4 分）一理想气体开放系统经历一个等温热力学过程后，体积变为原来的 $\frac{1}{2}$，压强变为原来的 $\frac{3}{2}$，则系统的摩尔数变为原来的_____________。

参考答案：$\frac{3}{4}$

6、（本题 4 分）热力学第二定律指出，一切与热现象有关的实际宏观过程，都是____________。(请选填“可逆的”或“不可逆的”)

参考答案：不可逆的

7、（本题 3 分）在两个恒温热源之间工作的一可逆卡诺热机，效率为 η，若将高温热源温度变为原来的 2 倍，低温热源温度变为原来的 1.5 倍，则此热机的效

率将变为__________。

参考答案： $\frac{1}{4}+\frac{3}{4}\eta$

8、（本题 3 分）根据熵增原理，一个实际的热力学系统的熵将______________。（请选填“永远减少”或“永远不变”或“永远增加”或“永不减少”或“可能减少”）

参考答案：可能减少

二、推导证明题（共 6 分）

9、（本题 6 分）请由理想气体压强公式推导出理想气体的物态方程。

解：理想气体压强公式 $p=\frac{2}{3}n\bar{\varepsilon}_{\rm kt}$ （2 分）

又理想气体分子平均平动动能 $\bar{\varepsilon}_{\rm kt}=\frac{3}{2}kT$ （1 分）

所以 $p=nkT$

又 $n=\frac{N}{V}$， $k=\frac{R}{N_{\rm A}}$ （1 分）

所以 $p=\frac{N}{V}\frac{R}{N_{\rm A}}T$

$PV=\nu RT$ （2 分）

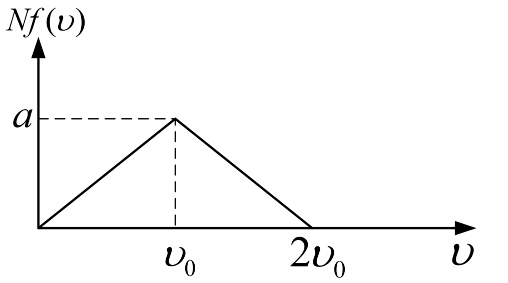
三、计算题（共 58 分）

10、（本题 8 分）设有 N 个粒子，其速率分布函数为：

$$Nf(v)=\begin{cases}\frac{a}{v_0}v(0<v<v_0)\\ 2a-\frac{a}{v_0}v(v_0<v<2v_0)\\ 0\ \ (v>2v_0)\end{cases}$$

（1）画速率分布曲线；（2）由 N 和 υ_o 求常量 a；（3）求（$\upsilon_o/2$~υ_o）区间内分子的平均速率。

解：（1）速率分布函数为一分段函数



（2 分）

（2）由归一化条件，有 $\int_0^{\infty} Nf(\upsilon)d\upsilon = N$

$$\int_0^{\upsilon_0} \frac{a}{\upsilon_0}\upsilon \mathrm{d}\upsilon + \int_{\upsilon_0}^{2\upsilon_0} (2a - \frac{a}{\upsilon_0}\upsilon)\mathrm{d}\upsilon = N$$

解得：$a = \dfrac{N}{\upsilon_0}$ （2 分）

（3）（$\upsilon_0/2$~ υ_0）区间内分子的平均速率

$$\bar{\upsilon} = \frac{\int_{0.5\upsilon_0}^{\upsilon_0} \upsilon f(\upsilon)d\upsilon}{\int_{0.5\upsilon_0}^{\upsilon_0} f(\upsilon)d\upsilon} = \frac{\int_{0.5\upsilon_0}^{\upsilon_0} \upsilon Nf(\upsilon)d\upsilon}{\int_{0.5\upsilon_0}^{\upsilon_0} Nf(\upsilon)d\upsilon} = \frac{\int_{0.5\upsilon_0}^{\upsilon_0} \frac{a}{\upsilon_0}\upsilon^2 d\upsilon}{\int_{0.5\upsilon_0}^{\upsilon_0} \frac{a}{\upsilon_0}\upsilon d\upsilon} \approx 0.78\upsilon_0$$ （4 分）

11、(本题 10 分)某种理想气体分子的方均根速率为 450 m·s^{-1},气体的压强为 7×10^4 Pa，则该气体的密度为多少？

解：根据理想气体状态方程

$$pV = \frac{M}{\mu}RT$$ （2 分）

$$\frac{p}{\rho} = \frac{RT}{\mu}$$ （2 分）

满足麦克斯韦速率分布的理想气体的均方根速率为

$$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}}$$ （3 分）

则气体密度为 $\rho = p\dfrac{3}{\overline{v^2}} = 1.04\mathrm{kg/m^3}$ （3 分）

12、（本题10分）许多物质在低温下的比热由 $C=AT^6$ 给出，A为已知系数。假若某物质在 0 K 时的熵为零，求质量为 m 的这种物质在温度 T_1 时的熵。

解：设计初末态之间的可逆过程，其中每个微小过程的物质的熵变为

$\mathrm{d}S = \dfrac{\delta Q}{T}$ （2分）

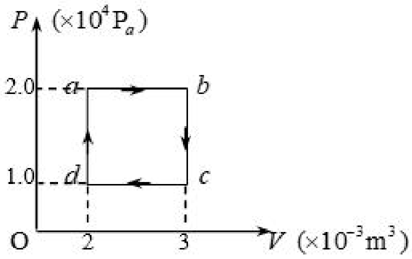
所以，温度 T_1 时的熵熵为

$$S=\int_0^{T_1}\frac{\delta Q}{T}$$ （2分）

而 $\delta Q = mC\mathrm{d}T$ （2分）

有 $S=\int_0^{T_1}\frac{mC\mathrm{d}T}{T}=\int_0^{T_1}\frac{mAT^6\mathrm{d}T}{T}=\frac{1}{6}mAT^6$ （4分）

13、（本题10分）如题图中所示的 $abcda$ 闭合曲线为1mol 单原子分子理想气体经历的循环过程的 $p\sim V$ 图。已知数据图中给出，求（1）气体从外界吸热总量；（2）气体对外做的净功；（3）循环的效率。



第 13 题图

解：（1）

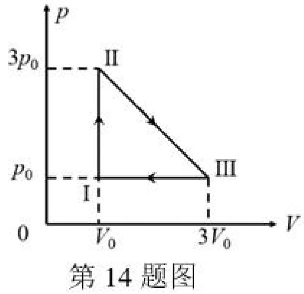
$$\begin{aligned}Q&=Q_{da}+Q_{ab}=\frac{3}{2}R(T_a-T_d)+\frac{5}{2}R(T_b-T_a)\\&=\frac{3}{2}(p_aV_a-p_dV_d)+\frac{5}{2}(p_bV_b-p_aV_a)\\&=\frac{3}{2}[2\times10^{-3}\times(2-1)\times10^4]+\frac{5}{2}[2\times10^4\times(3-2)\times10^{-3}]\\&=80\mathrm{J}\end{aligned}$$ （3 分）

(2) $$A=S_{abcda}=(2-1)\times10^4\times(3-2)\times10^{-3}=10\mathrm{J}$$ （4 分）

（3）效率为

$$\eta=\frac{A}{Q}=\frac{1}{8}=12.5\%$$ （3 分）

14、（本题 10 分）一密闭容器内盛有 1mol 的氦气，可视为理想气体。该气体经历如图所示的可逆循环过程，I、II、III 态的压强和体积已在图中标出。求：（1）$\mathrm{II}\to\mathrm{III}$ 过程中气体系统的最高温度；（2）此循环的效率。



第 14 题图

解：（1）对 $\mathrm{II}\to\mathrm{III}$ 过程，有

$$\frac{p-p_0}{V-3V_0}=\frac{3p_0-p_0}{V_0-3V_0}=-\frac{p_0}{V_0}$$

其过程方程为 $p=-\frac{p_0}{V_0}V+4p_0$ （2 分）

而由状态方程 $PV=RT$，有

$$T=\frac{pV}{R}=-\frac{p_0}{RV_0}V^2+\frac{4p_0}{R}V$$

由 $\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}V}=0$，有 $-\frac{2p_0}{RV_0}V+\frac{4p_0}{R}=0$，即 $V=2V_0$， $p=2p_0$，得

$T_{\max}=\frac{4p_0V_0}{R}$ （2 分）

（2） $\mathrm{II}\to\mathrm{III}$ 过程的绝热点处，有 $\delta Q=0$，

即 $\delta Q=\mathrm{d}E+p\mathrm{d}V=0$

$$p\mathrm{d}V=-\mathrm{d}E=-\frac{3}{2}R\mathrm{d}T$$

由状态方程，有 $p\mathrm{d}V+V\mathrm{d}p=R\mathrm{d}T=-\frac{2}{3}p\mathrm{d}V$

$$\frac{5}{3}p\mathrm{d}V+V\mathrm{d}p=0$$

再由过程方程，有 $\mathrm{d}p=-\frac{p_0}{V_0}\mathrm{d}V$

所以，有 $\left[\frac{5}{3}(-\frac{p_0}{V_0}V+4p_0)-\frac{p_0}{V_0}V\right]\mathrm{d}V=0$

即 $V_Q=\frac{5}{2}V_0$， $p_Q=\frac{3}{2}p_0$， $T_Q=\frac{15}{4}\frac{p_0V_0}{R}$，这就是绝热点。 （2 分）

循环过程对外做功

$$A=\frac{1}{2}(3p_0-p_0)(3V_0-V_0)=2P_oV_o$$

$$Q_{\mathrm{I\text{-}II}}=\Delta E_{1-2}=\frac{3}{2}R(T_2-T_1)=\frac{3}{2}R\left(\frac{3p_0V_0}{R}-\frac{p_0V_0}{R}\right)=3p_0V_0$$

$Q_{\mathrm{II}-T_Q}=\Delta E_{\mathrm{II}-T_Q}+A_{\mathrm{II}-T_Q}=\frac{3}{2}R(\frac{15}{4}-3)\frac{p_0V_0}{R}+\frac{1}{2}(\frac{3}{2}p_0+3p_0)(\frac{5}{2}V_0-V_0)=\frac{9}{2}p_0V_0$ （2 分）

循环效率为

$\eta=\frac{A}{Q_{\mathrm{I\text{-}II}}+Q_{\mathrm{II}-T_Q}}=\frac{2p_0V_0}{3p_0V_0+9p_0V_0/2}=\frac{4}{15}\approx 26.7\%$ （2 分）

15、（本题 10 分）一体积恒定的绝热密闭容器，被一绝热薄隔板分成 A 和 B 两部分，体积分别为V 和 $4V$ 。A 部分中盛有 4 mol 处于平衡态的某种理想气体，B 部分为真空。抽去绝热隔板（容器仍保持密闭），气体会向 B 扩散直至平衡。求气体系统在此过程中的熵变。

解：这是理想气体的绝热自由膨胀过程。

设初态的温度为T，考虑到 B 部分为真空，所以此膨胀过程气体对外不作功，由因为容器绝热，所以膨胀过程中气体与外界无热交换，即

$A=0$ 且 $Q=0$

根据热力学第一定律

$Q=\Delta E+A$

有 $\Delta E=0$

而理想气体的内能为

$$E=\nu\frac{i}{2}R_{\mathrm{P}}T$$

所以气体末态的温度也为T，这样可以设计一个与上面过程的初末态相同的等温膨胀过程，则此等温膨胀过程的熵变即为所求，即

$$\Delta S=\int_1^2\frac{\delta Q}{T}=\frac{Q}{T}=\nu R_{\mathrm{P}}\ln\frac{5V}{V}=4R_{\mathrm{P}}\ln 5$$

四、设计应用题（共 6 分）

16.（本题 6 分）请设计一个实验。测量系统的宏观量，利用这些宏观量来得到玻尔兹曼常数的数值。请给出实验过程、原理和必要的装置图。

参考答案：如测量一定量某种气体的压强、体积和温度，利用物态方程，可得到气体常量，进而得到玻尔兹曼常数。