



# 中山大学理工学院 2014 学年 秋季 学期 期末考

## 《普通物理 I》试卷 A 参考答案

2014 年级 信息显示与光电技术 专业 姓名 \_\_\_\_\_ 学号 \_\_\_\_\_

### 一、问答题 (共 36 分；每题 3 分)

(1) 假设烟花在到达飞行最高点时爆炸，向四面八方飞出的碎片都具有相同的速率，经过一定时间后，这些碎片将联成怎样的图形。为什么？

答：球面。因为质心速度为零。

(2) 质量为  $m$ ，半径为  $R$  的足球，在地面上作无滑滚动，球心速度为  $v_0$ ，球与光滑墙壁作完全弹性碰撞后怎样运动？

答：碰撞前作无滑滚动， $v_0 = \omega R$ ，则  $R = v_0 / \omega$ 。球与墙作完全弹性碰撞，质心速度变为  $-v_0$ ，角速度变为  $-\omega$ 。

(3) 质量相同、几何尺寸相同的实心圆柱体和空心圆柱体，同时在斜面顶端从静止开始滑下，问哪个圆柱体先到达斜面底部？

答：所具备的机械能相同；实心柱体转动惯量小，转动动能小，平动动能大，所以实心的柱体到达斜面底部时速率大。

(4) 描述一种测量刚体转动惯量的方法？

答：测量复摆周期，利用周期和转动惯量的关系式： $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mgd}} \Rightarrow I = \frac{T^2 Mgd}{4\pi^2}$  得转动惯量。

(5) 绳子振动形成机械波，波速可表示为  $v = \lambda f$  和  $v = \sqrt{T/\mu}$ ，解释上述式子的物理内涵。

答：(1) 波速与波长和频率相关；(2) 波速由介质本身的物性决定。

(6) 一热系统的摄氏温度值和华氏温度值相同，问该系统温度为多少摄氏度？

答：记无量纲摄氏度  $t'_c = t_c [^\circ\text{C}]$ ，华氏度  $t'_F = t_F [^\circ\text{F}]$ 。按照摄氏度和华氏度之间的换算关系，有

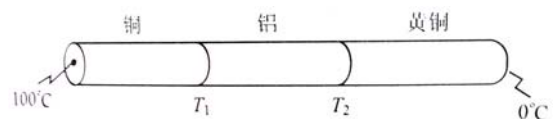
$t'_F = 32 + 9/5 t'_c$ ，由于题上给出的条件是  $t'_c = t'_F$ ，联立解出  $t'_c = -40$ 。即该系统的温度为  $-40^\circ\text{C} = -40^\circ\text{F}$ 。

(7) 有三根金属圆棒，每根长 6 cm，直径 1 cm，分别由铜、铝、黄铜制成，将它们按铜、铝、黄铜的次序串联排成一直线，最左边和最右边温度分别为  $100^\circ\text{C}$  和  $0^\circ\text{C}$ 。铜的导热系数是铝的导热系数的 2 倍，是黄铜的 4 倍。忽略侧面热损失，求金属间接触结点的温度。

答：设铜—铝接触点的温度为  $T_1$ ，铝—黄铜接触点的温度为  $T_2$ ，记  $\kappa_{\text{Cu}}$ ， $\kappa_{\text{Al}}$ ， $\kappa_{\text{h}}$  为铜、铝、黄铜的导热系数，由 热稳态条件 有

$$\kappa_{\text{Cu}}(100^\circ\text{C} - T_1) = \kappa_{\text{Al}}(T_1 - T_2) = \kappa_{\text{h}}(T_2 - 0^\circ\text{C})$$

由于已知  $\kappa_{\text{Cu}} = 2\kappa_{\text{Al}} = 4\kappa_{\text{h}}$ ，联立解上述方程可得



$$T_1 = 85.7^\circ\text{C}; T_2 = 57.1^\circ\text{C}.$$

- (8) 从宏观看一定数量气体在温度升高时若保持体积不变则压强变大；而温度保持不变时，体积减小压强也变大，这两种情况从微观角度看来区别在何处？

答：(a) 体积不变时分子密度不变，微观上看温度升高，分子的平均速率增大，单位时间撞击器壁的分子数会增多，平均每个分子撞击器壁的动量变化量也增大，所以压强增大。(b) 温度不变，则体积减小，分子数密度增大，分子撞壁时的动量变化量保持不变，但单位时间内撞壁分子数增多，因此压强增大。

- (9) 已知氧气的方均根速率为450 m/s，问它的最概然速率 $v_p$ 和平均速率 $\bar{v}$ 分别是多少？

答：方均根速率  $\sqrt{\frac{3kT}{m}} = 450 \text{ m/s}$ ;  $v_p = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = 367 \text{ m/s}$ ;  $\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = 415 \text{ m/s}$ 。

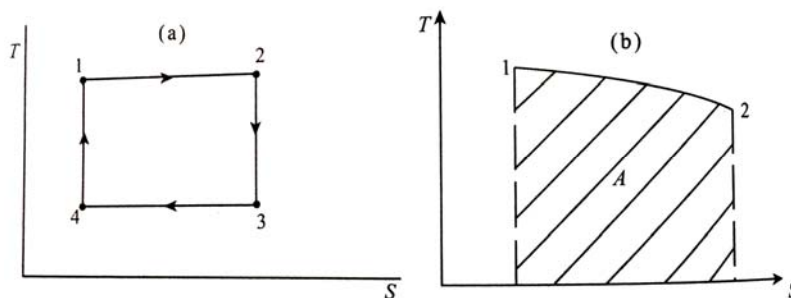
- (10) 一系统能否吸收热量，仅使其内能变化？一系统能否吸收热量，而不使其内能变化？

答：等体过程中系统吸收热量，改变内能，不对外做功。等温过程系统吸收能量，温度不变，内能不变。

- (11) 如果不用压强P和体积V而改用温度T和熵S来描述气体的状态，问卡诺循环在T-S图的形状如何？T-S图下的面积表示什么物理意义？

答：图(a)是卡诺循环过程的T-S图，1→2是等温过程，2→3是等熵过程(绝热过程)，3→4也是等温过程，从熵较大的“3”态过渡到熵较小的“4”态，是外力做功，而系统向外界放热的过程；4→1是绝热过程，系统受外力压缩回复到初始状态“1”。图(b)中1→2是在T-S图上的一段曲线，曲线下的面积  $A = \int_{S_1}^{S_2} T ds = Q$ , Q是1→2过程中所吸收的热量(可逆过程)。对于不可逆过程，系统所吸收的热量  $Q' \leq A$ 。

根据热力学第二定律，系统不能吸收比A还大的热量。



- (12) 由热力学第二定律说明在导体中通有限大小电流的过程不可逆。

答：存在焦耳热，热耗散。熵增，不可逆过程。由热力学第二定律可知电功效率无法达到100%。

## 二、计算题 (共 54 分)

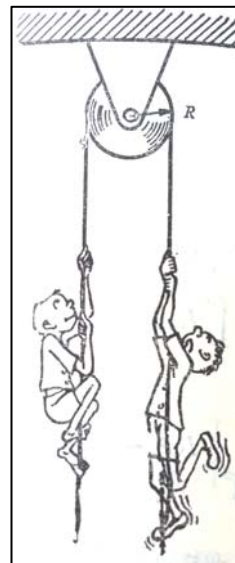
- (1) 两个重量相同的小孩，各抓住跨过滑轮的绳子的两端，一个小孩向滑轮用力爬，另一个则不爬，若忽略滑轮的质量和轴上的摩擦，问此系统的角动量守恒否？哪一个小孩先到达滑轮？若两小孩的重量不同，情况又如何？(12分)

解：

- (i) 设  $m$  为每个小孩的质量， $R$  为滑轮的半径， $v_1$  和  $v_2$  分别为左右两个小孩向上的速度。把每个小孩看成质点，以滑轮的轴为参考点。把两个小孩和滑轮作为一个系统，此系统所受的外力矩只有两个小孩所受重力的力矩，两者大小相等、方向相反，彼此抵消，故整个系统的角动量是守恒的。
- (ii) 此系统的总角动量  $J = mR(v_1 - v_2)$ ，其中角动量和力矩都以顺时针方向为正。设两个小孩起初都不动，即  $v_1 = v_2 = 0$ ，尔后虽然  $v_1$  和  $v_2$  不再为 0，但角动量  $J$  保持恒定为 0，即  $v_1$  和  $v_2$  保持相等，因此两个小孩将同时到达滑轮。
- (iii) 若两个小孩的质量不等，此系统所受的外力矩  $M_{\neq} = (m_2 - m_1)gR$ ，角动量不守恒， $J = (m_1 v_1 - m_2 v_2)R$ 。设绳子的张力为  $T$ ，以地面为参照系，向上为正，则有

$$T - m_1 g = m_1 a_1, \quad a_1 = \frac{T - m_1 g}{m_1}; \quad T - m_2 g = m_2 a_2, \quad a_2 = \frac{T - m_2 g}{m_2}$$

如果  $m_1 > m_2$ ，则  $a_2 > a_1$ ，即轻的小孩加速度大。假如两小孩初速度皆为 0，则任一时刻都有  $v_2 > v_1$ ，因此质量轻的小孩( $m_2$ )先到达滑轮。



- (2) 如右图所示，一片质量均匀分布的刚性跳板，左端固定，右端连接一根弹簧。板的长度为 2.0 m，质量为 12 kg。弹簧的弹性系数为 1300 N/m。当企鹅从板的右末端起跳，跳板和弹簧将做小振幅的振动，求振动频率。(12分)

解：重力并非恢复力，对振动周期不存在影响。

以左端固定点为转动中心，考虑跳板作小振幅振动，则有

$$\tau = LF \sin 90^\circ, \tau = I\alpha \Rightarrow LF = I\alpha, \text{ 其中 } I = \frac{1}{3}mL^2; F = -kx$$



综合上述各式，可得  $-Lkx = \frac{mL^2\alpha}{3}$ ，由

$$\alpha = a/L \Rightarrow -Lkx = \frac{mL^2 a}{3L} \Rightarrow a = -\frac{3k}{m}x。$$

由于振动与弹簧相关，且其加速度与位移的关系表达式具有如下形式  $a(t) = -\omega^2 x_m \cos(\omega t + \varphi)$ ，因此振动

为简谐振动。由此可得  $a = -\frac{3k}{m}x \Rightarrow \omega^2 = \frac{3k}{m} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{3k}{m}}$ 。

$$\text{则有 } T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{3k}} = 2\pi\sqrt{\frac{12\text{kg}}{3(1300\text{N}/\text{m})}} = 0.35\text{s}。$$

- (3) 两种理想气体，初始温度都是  $T_0$ ，其摩尔数都是  $n$ ，第一种是单原子气体，第二种是刚性双原子气体。都

从体积为  $V_0$  膨胀到  $2V_0$ 。在(a)等温膨胀, (b)等压膨胀, (c)绝热膨胀条件下这两种气体对外所做的功分别是多少? 从外界吸收的热量分别是多少? 比较各个过程两种气体做功和吸热的大小, 分析解释原因。(15分)

解:

(a) 等温膨胀, 内能在过程中保持恒定, 气体对外做功。  $W = \int_{V_0}^{2V_0} PdV = nRT_0 \ln 2$ 。  $T_0$  是起始温度, 在本过程中保持不变, 从外界吸收的热量  $Q=W$ 。 无论  $Q$  还是  $W$ , 两种气体所得到的结果是一样的。

(b) 等压膨胀, 系统对外做功。  $W = P_0(2V_0 - V_0) = nRT_0$ 。 这里  $P_0 = nRT_0 / V_0$  是两种气体共同的起始压强,

可以看出两种气体对外做功是相同的。

依据热力学第一定律, 从外界吸收热量:

$$dQ = dU + P_0dV \Rightarrow Q = \frac{i}{2}nR(2T_0 - T_0) + P_0(2V_0 - V_0) = \frac{i+2}{i}P_0V_0$$

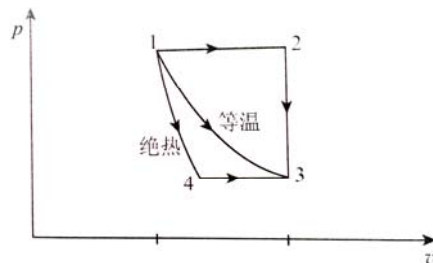
对于单原子气体, 自由度  $i=3$ , 对于双原子气体, 自由度  $i=5$ , 因此所吸收的热量是不一样的。 要在定压条件下增加同样份额的体积, 双原子气体吸收更多的热量。

(c) 绝热过程, 系统对外做功

$$W = \int_{V_0}^{2V_0} PdV = P_0V_0^\gamma \int_{V_0}^{2V_0} \frac{dV}{V^\gamma} = P_0V_0^\gamma a(\gamma); \quad a(\gamma) = \frac{1}{\gamma-1}(1-2^{1-\gamma})$$

对于单原子分子  $\gamma=5/3$ , 则  $a=0.555$ ; 对于双原子分子,  $\gamma=7/5$ , 则  $a=0.605$ 。 此情形下单原子分子气体对外做功为  $W_1=0.555P_0V_0$ ; 而双原子气体对外做功为  $W_2=0.605P_0V_0$ , 两者不同,  $W_1 < W_2$ 。 从外界吸收的热量  $Q=0$ , 两者一样。

(4) 如右图所示, 1 摩尔理想气体(氢气), 其比热容比  $\gamma=1.4$ , 图上各态的参量是  $V_1=0.02 \text{ m}^3, V_2=V_3=0.04 \text{ m}^3$ 。  $1 \rightarrow 3$  过程为等温过程, 温度  $T_1=T_3=300 \text{ K}$ 。  $1 \rightarrow 4$  过程为绝热过程, 分别计算下列三条路径的熵差: (a)  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ ; (b)  $1 \rightarrow 3$  (c)  $1 \rightarrow 4 \rightarrow 3$ 。 从计算结果总结出何规律? (15分)



解:

(a)  $1 \rightarrow 2$  过程为定压过程,  $2 \rightarrow 3$  过程为定容过程, 熵增分别为:

$$\Delta S_{1 \rightarrow 2} = \gamma C_p \ln \frac{V_2}{V_1} = 1.4 \times 2.5 \times 8.31 \text{ J} / (\text{mol} \cdot \text{K}) \times \ln \frac{0.04 \text{ m}^3}{0.02 \text{ m}^3} = 20.2 \text{ J} / (\text{K} \cdot \text{mol})$$

$$\Delta S_{2 \rightarrow 3} = C_v \ln \frac{P_3}{P_2} = C_v \ln \frac{T_3}{T_2} = C_v \ln \frac{T_1}{T_2} = C_v \ln \frac{V_1}{V_2} = 2.5 \times 8.31 \text{ J} / (\text{mol} \cdot \text{K}) \times \ln \frac{0.02 \text{ m}^3}{0.04 \text{ m}^3} = -14.4 \text{ J} / (\text{K} \cdot \text{mol})$$

$$\Rightarrow \Delta S_{1 \rightarrow 2 \rightarrow 3} = \Delta S_{1 \rightarrow 2} + \Delta S_{2 \rightarrow 3} = R \ln \frac{V_2}{V_1} = 5.8 \text{ J} / (\text{K} \cdot \text{mol})$$

[注:  $C_p=5/2R$ ];

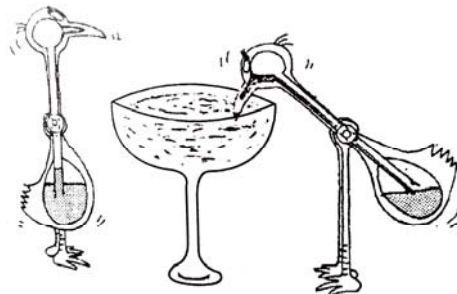
(b)  $1 \rightarrow 3$  过程为等温过程, 熵增为  $\Delta S_{1 \rightarrow 3} = C_v \ln \frac{T_3 V_3^{\gamma-1}}{T_1 V_1^{\gamma-1}} = R \ln \frac{V_3}{V_1} = 5.8 \text{ J} / (\text{K} \cdot \text{mol})$ 。

(c)  $1 \rightarrow 4 \rightarrow 3$  过程。  $1 \rightarrow 4$  过程为绝热过程(等熵过程), 熵增量为 0。  $4 \rightarrow 3$  为等压过程, 熵增量为

$$\Delta S_{4 \rightarrow 3} = \gamma C_V \ln \frac{V_3}{V_4} = \gamma C_V \ln \left[ \frac{V_3}{V_1} \times \left( \frac{P_4}{P_1} \right)^{1/\gamma} \right] = \left( 1 - \frac{1}{\gamma} \right) \gamma C_V \ln \frac{V_2}{V_1} = R \ln \frac{V_2}{V_1} = 5.8 \text{ J} / (\text{K} \cdot \text{mol})$$

上述三个过程始末态相同，虽然演化的路线不同，但熵增量相同，这也是熵是状态函数的例证。

三、分析讨论题：如右图所示，玩具啄木鸟由一根导管连接头部和腹部的容器，构成密闭的系统，其中充有工作介质。啄木鸟能反复低头啄水↔站立↔啄水。请根据图示，探究并解释其工作原理。啄木鸟不断对外做功，这是否违背了热力学第一定律？为什么？(10分)



答：

- (i) 原理描述：啄木鸟的内部可用一根玻璃管连接两个玻璃球，下球充有室温下容易蒸发的乙醚。为使鸟能开始动作，用水浸润头部和嘴部的绒毛材料，水的蒸发使头部小球降温，头部小球的乙醚蒸气压低于下球内的蒸气压，液态乙醚上升进入头部小球。当鸟的重心高于支点时，头部下倾啄水并浸润头部和嘴部绒毛。在啄水位置时，管下端离开下球液体，上下球内压强相同，乙醚回流到下球，单重心低于支点时，鸟站立。以后鸟自动重复上述动作。
- (ii) 不违背热力学第一定律。因为啄木鸟的做功是依靠和外界的热交换(水和乙醚的蒸发)实现。