

大学物理练习 一

一. 选择题：

1. 一质点在平面上运动，已知质点位置矢量的表示式为 $\vec{r} = at^2\vec{i} + bt^2\vec{j}$ (其中 a、b 为常量)，则该质点作

- (A) 匀速直线运动. (B) 变速直线运动.
(C) 抛物线运动. (D) 一般曲线运动.

解：选 (B) $\vec{r} = at^2\vec{i} + bt^2\vec{j}$ $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = 2at\vec{i} + 2bt\vec{j}$ $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = 2a\vec{i} + 2b\vec{j}$

$$x = at^2$$

$$y = bt^2$$

$$\frac{x}{y} = \frac{a}{b}$$

2. 一质点在平面上作一般曲线运动，其瞬时速度为 \vec{v} ，瞬时速率为 v ，某段时间内的平均速度为 $\bar{\vec{v}}$ ，平均速率为 \bar{v} ，它们之间的关系必定有 []

- (A) $|\vec{v}| = v$, $|\bar{\vec{v}}| = \bar{v}$. (C) $|\vec{v}| \neq v$, $|\bar{\vec{v}}| \neq \bar{v}$.
(B) $|\vec{v}| \neq v$, $|\bar{\vec{v}}| = \bar{v}$. (D) $|\vec{v}| = v$, $|\bar{\vec{v}}| \neq \bar{v}$.

解：选 D). 根据瞬时速度与瞬时速度的关系 ($|\vec{dr}| = ds$) 所以

$$\left| \frac{d\vec{r}}{dt} \right| = \frac{ds}{dt}$$

但 $|\Delta \vec{r}| \neq \Delta s$ 所以

$$\left| \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \right| \neq \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

3. 质点作半径为 R 的变速圆周运动时的加速度大小为 (v 表示任一时刻质点的速率) []

- (A) $\frac{dv}{dt}$. (B) $\frac{v^2}{R}$.
(C) $\frac{dv}{dt} + \frac{v^2}{R}$. (D) $\left[\left(\frac{dv}{dt} \right)^2 + \left(\frac{v^2}{R} \right)^2 \right]^{1/2}$.

解：选 (D). 因变速圆周运动的加速度

有切向加速度和法向加速度，故 $|\vec{a}| = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}$ 。

4. 某物体的运动规律为 $dv/dt = -kv^2$ ，式中的 k 为大于零的常数。当 $t=0$ 时，初速为 v_0 ，则速度 v 与时间 t 的函数关系是 []

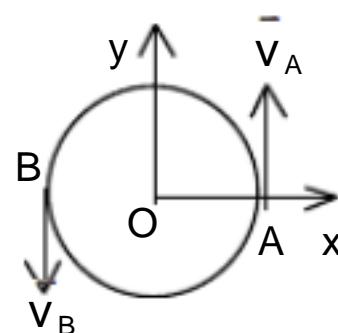
- (A) $v = kt + v_0$ (B) $v = -kt + v_0$

大学物理练习 二

一、选择题：

1. 质量为 m 的小球在向心力作用下，在水平面内作半径为 R 、速率为 v 的匀速圆周运动，如下左图所示。小球自 A 点逆时针运动到 B 点的半周内，动量的增量应为： []

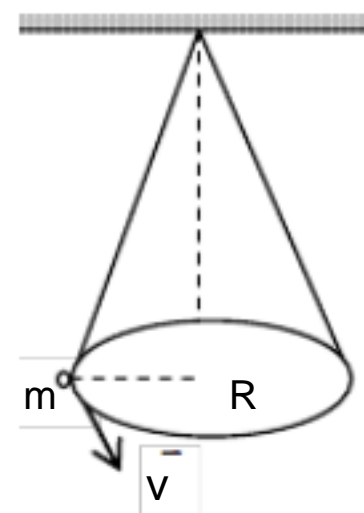
- (A) $2mv \vec{j}$ (B) $-2mv \vec{j}$
(C) $2mv \vec{i}$ (D) $-2mv \vec{i}$



解： [B] $m\vec{v}_B - m\vec{v}_A = -mv\vec{j} - mv\vec{j} = -2mv\vec{j}$

2. 如图上右所示，圆锥摆的摆球质量为 m ，速率为 v ，圆半径为 R ，当摆球在轨道上运动半周时，摆球所受重力冲量的大小为 []

- (A) $2mv$ (B) $\sqrt{(2mv)^2 + (mg\pi R/v)^2}$
(C) $\pi Rmg/v$ (D) 0。



解： [C] $|\vec{I}| = \int_0^{T/2} m g dt = m g T/2 = \pi R m / v$

恒力冲量 $t = \frac{\pi R}{v}$ $m g t = \frac{\pi R m g}{v}$

3. 一质点在力 $F = 5m(5 - 2t)$ (SI) (式中 m 为质点的质量， t 为时间) 的作用下， $t=0$ 时从静止开始作直线运动，则当 $t=5s$ 时，质点的速率为 []

- (A) $50m/s$ (B) $25m/s$
(C) 0 (D) $-50m/s$

解：[C]

$$\int_0^5 F dt = \int_0^5 5m(5-2t) dt = 5m(5t - t^2) \Big|_0^5 = 5m(25 - 25) = 0$$

$$mv - mv_0 = 0$$

如果当 $t = 1s$ 时, $\int_0^1 F dt = \int_0^1 5m(5-2t) dt = 5m(5t - t^2) \Big|_0^1 = 5m(5 - 1) = 20m$

$$mv - mv_0 = 20m$$

4. 质量分别为 m 和 $4m$ 的两个质点分别以动能 E 和 $4E$ 沿一直线相向运动, 它们的总动量大小为 []

- (A) $2\sqrt{2mE}$, (B) $3\sqrt{2mE}$,
(C) $5\sqrt{2mE}$, (D) $(2\sqrt{2} - 1)\sqrt{2mE}$ 。

解：[B] 因质点 m ; $\frac{1}{2}mv_1^2 = E, \therefore mv_1 = \sqrt{2mE}$

因质点 $4m$: $\frac{1}{2}4mv_2^2 = 4E, \therefore 4mv_2 = \sqrt{32mE} = 4\sqrt{2mE}$

所以 $P = -\sqrt{2mE} + 4\sqrt{2mE} = 3\sqrt{2mE}$

5. 一个质点同时在几个力作用下的位移为: $\Delta \vec{r} = 4\vec{i} - 5\vec{j} + 6\vec{k}$ (SI) 其中一

个力为恒力 $\vec{F} = -3\vec{i} - 5\vec{j} + 9\vec{k}$ (SI), 则此力在该位移过程中所作的功为 []

- (A) 67J (B) 91J (C) 17J (D) -67J

解：[A]

$$W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{r} = (-3\vec{i} - 5\vec{j} + 9\vec{k}) \cdot (4\vec{i} - 5\vec{j} + 6\vec{k}) = -12 + 25 + 54 = 67J$$

6. 对功的概念有以下几种说法:

保守力作正功时, 系统内相应的势能增加。

质点运动经一闭合路径, 保守力对质点作的功为零。

作用力和反作用力大小相等、方向相反, 所以两者所做功的代数和必为零。

在上述说法中: []

- (A) 、 正确。 (B) 、 正确。 (C) 只有 正确。 (D) 只有 正确。

解：[C]

7. 机枪每分钟可射出质量为 20g 的子弹 900 颗，子弹射出的速率为 800m/s，
则射击时的平均反冲力大小为 []

- (A) 0.267N (B) 16N (C) 240N (D) 14400N

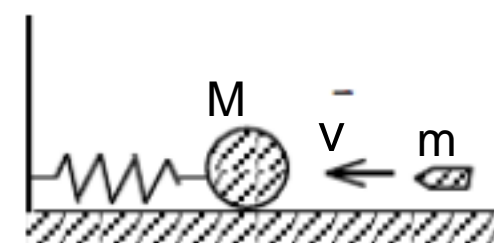
解： [C]

$$\int_{t_0}^t \vec{F} dt = \vec{F} \Delta t = mv - mv_0$$

$$\vec{F} = \frac{mv - mv_0}{\Delta t} = \frac{20 \times 10^{-3} \cdot 800 \times 900}{60} = 240\text{N}$$

8. 一质量为 M 的弹簧振子，水平放置且静止在平衡位置，如图所示。一质量为 m 的子弹以水平速度 \vec{v} 射入振子中，并随之一起运动。如果水平面光滑，此后弹簧的最大势能为 []

- (A) $\frac{1}{2}mv^2$. (B) $\frac{m^2v^2}{2(M+m)}$.
(C) $(M+m)\frac{m^2}{2M^2}v^2$. (D) $\frac{m^2}{2M}v^2$. [B]

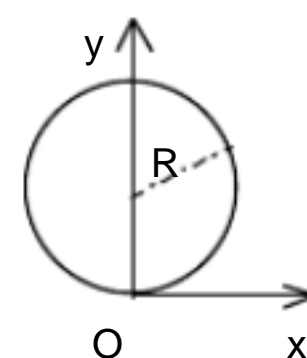


解：碰撞动量守恒 $mv = (M+m)V$

$$\frac{1}{2}(m+M)V^2 = \frac{1}{2}(m+M)\left[\frac{mv}{M+m}\right]^2$$

9. 一质点在如图所示的坐标平面内作圆周运动，有一力 $\vec{F} = F_0(x\vec{i} + y\vec{j})$ 作用在质点上，在该质点从坐标原点运动到 (0,2R) 位置的过程中，力 \vec{F} 对它所做的功为 []

- (A) F_0R^2 (B) $2F_0R^2$ (C) $3F_0R^2$ (D) $4F_0R^2$



解：

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int F_0(x\vec{i} + y\vec{j}) \cdot (dx\vec{i} + dy\vec{j}) = \int_0^0 F_0x dx + \int_0^{2R} F_0y dy$$

$$= \frac{1}{2}F_0(2R)^2 = 2F_0R^2$$

10. 质量为 0.10kg 的质点，由静止开始沿曲线 $\vec{r} = \frac{5}{3}t^3\vec{i} + 2\vec{j}$ (SI) 运动，则在 $t=0$ 到 $t=2\text{s}$ 的时间内，作用在该质点上的合外力所做的功为

(A) $\frac{5}{4} \text{ J}$ (B) 20 J (C) $\frac{75}{4} \text{ J}$ (D) 40 J []

解： $\vec{a} = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \frac{d}{dt} (5t^2 \vec{i}) = 10t \vec{i}$

$\vec{F} = m\vec{a} = 0.10 \times 10t \vec{i}$

$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int t \vec{i} \cdot 5t^2 dt \vec{i} = \int_0^2 5t^3 dt = \frac{5}{4} t^4 \Big|_0^2 = 20 \text{ J}$

二、填空题：

1. 下列物理量：质量、动量、冲量、动能、势能、功，其中与参照系的选取

有关的物理量是 _____。（不考虑相对论效应）

解：. 动量（ \vec{v} ）、动能（ \vec{v} ）、功（ $\Delta \vec{r}$ ）与运动的参考系选取有关。

2. 一个物体可否具有动量而机械能等于零？ _____（填可、否）

解：可

3. 质量为 m 的子弹以速度 v_0 水平射入沙土中，设子弹所受阻力与速度反向，大小与速度成正比，比例系数为 K ，忽略子弹的重力，求：

(1) 子弹射入沙土后，速度随时间变化的函数式 _____；

(2) 子弹进入沙土的最大深度 _____。

解：(1) 子弹进入沙土后受力为 $-Kv$ ，由牛顿定律

$$\begin{aligned} -Kv &= m \frac{dv}{dt} \\ -\frac{K}{m} dt &= \frac{dv}{v}, & -\int_0^t \frac{K}{m} dt &= \int_{v_0}^v \frac{dv}{v} \\ v &= v_0 e^{-Kt/m} \end{aligned}$$

(2) 求最大深度

解法一：

$$\begin{aligned} v &= \frac{dx}{dt} \\ dx &= v_0 e^{-Kt/m} dt \\ \int_0^x dx &= \int_0^t v_0 e^{-Kt/m} dt \\ x &= (m/K) v_0 (1 - e^{-Kt/m}) \end{aligned}$$

$$x_{\max} = mv_0 / K$$

解法二：
$$-Kv = m \frac{dv}{dt} = m \left(\frac{dv}{dx} \right) \left(\frac{dx}{dt} \right) = mv \frac{dv}{dx}$$

$$dx = -\frac{m}{K} dv$$

$$\int_0^{x_{\max}} dx = -\int_{v_0}^0 \frac{m}{K} dv$$

$$x_{\max} = mv_0 / K$$

4. 质量 $m = 1 \text{ kg}$ 的物体，在坐标原点处从静止出发在水平面内沿 x 轴运动，其所受合力方向与运动方向相同，合力大小为 $F = 3 + 2x$ (SI)，那么，物体在开始运动的 3m 内，合力所作功 $A =$ _____；且 $x = 3\text{m}$ 时，其速率 $v =$ _____。

$$\text{解： } W = \int_0^3 F dx = 3x + x^2 \Big|_0^3 = 18 \text{ J} \quad W = \frac{1}{2} mv^2 = 18 \text{ J}$$

$$\therefore v = 6 \text{ m/s}$$

5. 有一人造地球卫星，质量为 m ，在地球表面上空 2 倍于地球半径 R 的高度沿圆轨道运行，用 m 、 R 、引力常数 G 和地球的质量 M 表示

卫星的动能为 _____；卫星的引力势能为 _____。

$$\text{解： (1) } \frac{GMm}{6R} \quad \left(\frac{GMm}{(3R)^2} = \frac{mv^2}{3R} \right) \quad r = 3R$$

$$(2) -\frac{GMm}{3R} \quad \left(E_P = \int_{\infty}^{3R} \frac{GMm}{r^2} dr \right)$$

6. 一质量为 M 的质点沿 x 轴正向运动，假设质点通过坐标为 x 时的速度为 kx^2

(k 为正常量)，则此时作用于该质点上的力 $F =$ _____；

该质点从 $x = x_0$ 点出发到 $x = x_1$ 处所经历的时间 $\Delta t =$ _____。

$$\text{解： } F = m \frac{dv_x}{dt} = m \frac{d}{dt} (kx^2) = 2mkx \frac{dx}{dt} = 2mkx(kx^2) = 2mk^2 x^3$$

$$v = \frac{dx}{dt} \Rightarrow dx = (kx^2) dt \Rightarrow \int_{x_0}^{x_1} \frac{dx}{x^2} = \int_{t_0}^{t_1} k dt \Rightarrow$$

$$-\frac{1}{x} \Big|_{x_0}^{x_1} = \frac{1}{x_0} - \frac{1}{x_1} = k(t_1 - t_0) = k\Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{x_1 - x_0}{kx_0x_1}$$

7. 一个力作用在质量为 1.0kg 的质点上，使之沿 X 轴运动。已知在此力作用下

质点的运动方程为 $X = 3t - 4t^2 + 2t^3$ (SI)。在 0 到 4 s 的时间间隔内，

力 F 的冲量大小 I = _____。

力 F 对质点所作的功 A = _____。

解： $v = \frac{dx}{dt} = 3 - 8t + 6t^2$ $F = ma = m \frac{dv}{dt} = -8 + 12t$

$$(1) I = \int_0^4 (12t - 8) dt = (6t^2 - 8t) \Big|_0^4 = 6 \times 16 - 32 = 96 - 32 = 64 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$(2) v_4 = 67 \text{ m/s} \quad v_0 = 3 \text{ m/s} \quad A = \frac{1}{2} mv_4^2 - \frac{1}{2} mv_0^2 = 2240 \text{ J}$$

8. 一质量为 m 的质点在指向圆心的平方反比力 $F = -k/r^2$ 的作用下，作半径为 r 的圆周运动，此质点的速度 $v =$ _____，若取距圆心无穷远处为势能零点，它的机械能 $E =$ _____。

解： $a = -\frac{k}{mr^2}$

$$a_n = \frac{v^2}{r} = \frac{k}{mr^2}$$

$$v = \sqrt{\frac{k}{mr}}$$

$$E = E_k + E_p = \frac{1}{2} m \left(\sqrt{\frac{k}{mr}} \right)^2 + \int_r^\infty F dr = \frac{k}{2r} + \int_r^\infty -\frac{k}{r^2} dr = -\frac{k}{2r}$$

9. 一物体按规律 $x = ct^2$ 在媒质中作直线运动，式中 c 为常量，t 为时间。设媒质对物体的阻力正比于速度的平方，阻力系数为 k，则物体由 $x=0$ 运动到 $x=L$

时，阻力所作的功为 _____。

解： $x = ct^2 \quad v = \frac{dx}{dt} = 2ct$

$$f = kv^2 = 4kc^2t^2 = 4kcx$$

$$W = - \int_0^L f dx = - \int_0^L 4kcx dx = - 2kcL^2$$

10 . 一陨石从距地面高 $h = 5R$ (R 为地球半径) 处由静止开始落向地面 , 忽略空气阻力。则陨石下落过程中 , 万有引力的功 $A =$ _____ ;

陨石落地的速度 $v =$ _____。

解 :
$$W = \int_{6R}^R - \frac{GMm}{r^2} dr = GMm \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R+h} \right) = \frac{5GMm}{6R}$$

$$W = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{5GMm}{6R}$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{5GM}{3R}}$$

注意 : 本题不能用 $W = mgh = 5mgR = \frac{1}{2}mv^2$ 来计算 , 因为

万有引力不是 mg , 也不是常数。

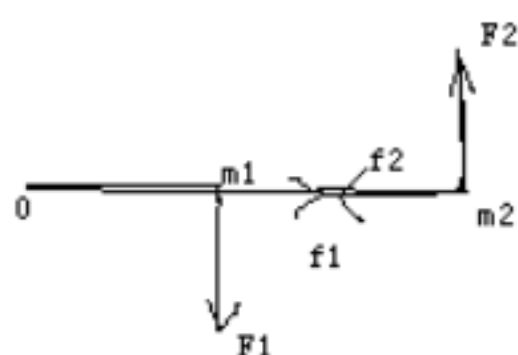
大学物理练习三

一．选择题

1．一力学系统由两个质点组成，它们之间只有引力作用。若两质点所受外力的矢量和为零，则此系统 []

- (A) 动量、机械能以及对一轴的角动量都守恒。
- (B) 动量、机械能守恒，但角动量是否守恒不能断定。
- (C) 动量守恒，但机械能和角动量守恒与否不能断定。
- (D) 动量和角动量守恒，但机械能是否守恒不能断定。

解：【C】 按守恒条件：



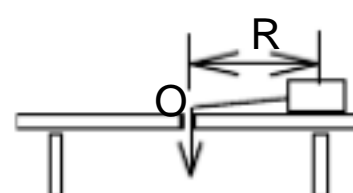
$\sum F_i = 0$ 动量守恒，

但 $\sum M_i \neq 0$ 角动量不守恒，

机械能不能断定是否守恒。

2．如图所示，有一个小物体，置于一个光滑的水平桌面上，有一绳其一端连结此物体，另一端穿过桌面中心的小孔，该物体原以角速度 在距孔为 R 的圆周上转动，今将绳从小孔往下拉。则物体 []

- (A) 动能不变，动量改变。
- (B) 动量不变，动能改变。
- (C) 角动量不变，动量不变。
- (D) 角动量改变，动量改变。
- (E) 角动量不变，动能、动量都改变。



解：【E】 因对 O 点，合外力矩为 0 ，角动量守恒

3．有两个半径相同，质量相等的细圆环 A 和 B 。 A 环的质量分布均匀， B 环的质量分布不均匀。它们对通过环心并与环面垂直的轴的转动惯量分别为 J_A 和 J_B ，则 []

- (A) $J_A > J_B$
- (B) $J_A < J_B$

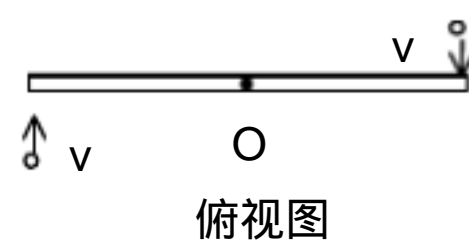
(C) $J_A = J_B$

(D) 不能确定 J_A 、 J_B 哪个大。

解：[C] 细圆环的转动惯量与质量是否均匀分布无关

$$J_0 = \int dm R^2 = m R^2$$

4. 光滑的水平桌面上，有一长为 $2L$ 、质量为 m 的匀质细杆，可绕过其中点且垂直于杆的竖直光滑固定轴 O 自由转动，其转动惯量为 $\frac{1}{3}mL^2$ ，起初杆静止。桌面上有两个质量均为 m



的小球，各自在垂直于杆的方向上，正对着杆的一端，以相同的速率 v 相向运动，如图所示。当两小球同时与杆的两个端点发生完全非弹性碰撞后与杆粘在一起转动，则这一系统碰撞后的转动角速度为 []

(A) $\frac{2v}{3L}$

(B) $\frac{4v}{5L}$

(C) $\frac{6v}{7L}$

(D) $\frac{8v}{9L}$

解：[C] 角动量守恒

$$mvl + mvl = \left(\frac{1}{3}ml^2 + ml^2 + ml^2\right)\omega$$

$$\omega = \frac{6v}{7l}$$

二. 填空题

1. 绕定轴转动的飞轮均匀地减速， $t = 0$ 时角速度 $\omega_0 = 5 \text{ rad/s}$ ， $t = 20\text{s}$ 时角速度 $\omega = 0.8 \omega_0$ ，则飞轮的角加速度 $\beta = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $t = 0$ 到 $t = 100\text{s}$ 时间内飞轮所转过的角度 $\theta = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

解：因均匀减速，可用 $\omega - \omega_0 = \beta t$ ，

$$\therefore \beta = \frac{-0.2\omega_0}{20} = -0.05 \text{ rad/s}^2$$

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \beta t^2 = 5 \times 100 + \frac{1}{2} (-0.05) \times 100^2 = 250 \text{ rad}$$

2. 半径为 30cm 的飞轮，从静止开始以 0.50 rad/s^2 的匀角加速度转动，则飞轮边缘上一点在飞轮转 240° 时的切向加速度 $a = \underline{\hspace{2cm}}$ ，

法向加速度 $a_n =$ _____。

解： $a_t = r\beta = 0.3 \times 0.5 = 0.15 \text{ m/s}^2$

$$a_n = \omega^2 r = 2r\beta\theta$$

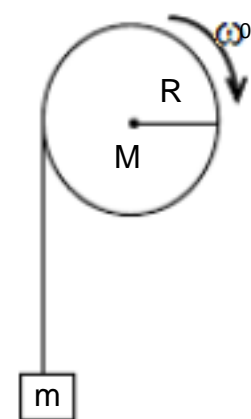
$$a_n = 2\beta\theta r = 2 \times 0.3 \times 0.5 \times \frac{2\pi}{360} \times 240 = 0.4\pi = 1.26 \text{ m/s}^2$$

3. 一轴承光滑的定滑轮，质量为 $M = 2.00 \text{ kg}$ ，半径为 $R = 0.100 \text{ m}$ ，一根不能伸长的轻绳，一端固定在定滑轮上，另一端系有一质量为 $m = 5.00 \text{ kg}$

的物体，如图所示。已知定滑轮的转动惯量为 $J = \frac{1}{2}MR^2$ ，其初角

速度 $\omega_0 = 10.0 \text{ rad/s}$ ，方向垂直纸面向里。定滑轮的角加速度的大

小 _____，定滑轮的角速度变化到 $\omega = 0$ 时，物体上升的高度 _____。



解法一： $mg - T = ma$ $TR = J\beta$ $a = R\beta$

$$\beta = \frac{mgR}{J + mR^2} = 81.7 \text{ rad/s}^2$$

解法二：

(1) 设在任意时刻定滑轮的角速度为 ω ，物体的速度大小为 v ，则有 $v = R\omega$ 。

则物体与定滑轮的系统总角动量为： $L = J\omega + mvR = J\omega + mR^2\omega$

根据角动量定理，刚体系统所受的合外力矩等于系统角动量对时间的变化率：

$$M = \frac{dL}{dt}, \text{ 该系统所受的合外力矩即物体的重力矩 } : M = mgR$$

所以： $\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{mgR}{J + mR^2} = 81.7 \text{ rad/s}^2$

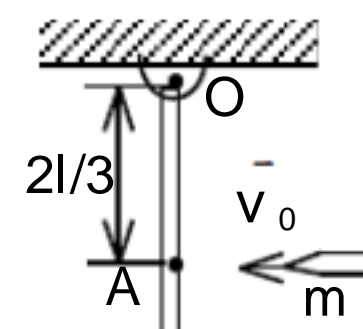
(2) 该系统只有重力矩做功（物体的重力），所以机械能守恒。

$$\frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{1}{2}J\omega_0^2 = mg\Delta h \Rightarrow \Delta h = 6.12 \times 10^{-2} \text{ m}$$

4. 质量为 m 的质点以速度 v 沿一直线运动，则它对直线外垂直距离为 d 的一点的角动量大小是 _____。

解： mvd

5. 长为 L 、质量为 M 的匀质杆可绕通过杆一端 O 的水平光滑固定轴转动，转动惯量为 $\frac{1}{3}ML^2$ ，开始时杆竖直下垂，如图所示。



有一质量为 m 的子弹以水平速度 \vec{v}_0 射入杆上 A 点，并嵌在杆

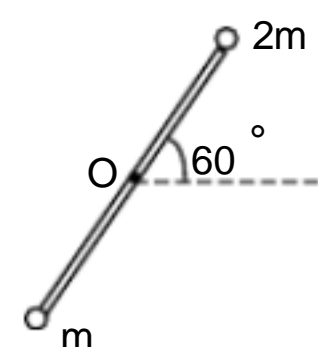
中， $OA=2L/3$ ，则子弹射入后瞬间杆的角速度 $\omega =$ _____。

解：系统（子弹 + 杆）角动量守恒，

$$mv_0 \frac{2l}{3} = \left[\frac{Ml^2}{3} + m\left(\frac{2l}{3}\right)^2 \right] \omega$$

$$\omega = \frac{6mv_0}{(3M + 4m)l}$$

6. 一长为 L 、质量为 m 的细杆，两端分别固定质量为 m 和 $2m$ 的小球，此系统在竖直平面内可绕过中点 O 且与杆垂直的水平光滑固定轴 (O 轴) 转动。开始时杆与水平成 60° 角，处于静止状态。无初转速地释放以后，杆球这一刚体系统绕 O 轴转动。系统绕 O 轴的转动惯量 $J =$ _____。释放后，当杆转到水平位置时，刚体受到的合外力矩 $M =$ _____；角加速度 $\beta =$ _____。



解：

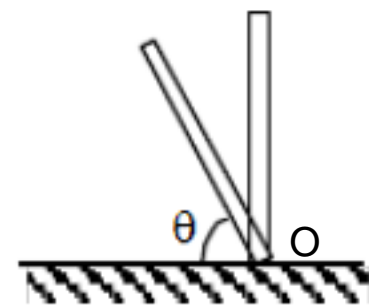
$$J = \frac{1}{12}ml^2 + 2m\left(\frac{l}{2}\right)^2 + m\left(\frac{l}{2}\right)^2 = \frac{5}{6}ml^2$$

$$M = 2mg \frac{l}{2} - mg \frac{l}{2} = mg \frac{l}{2}$$

$$\beta = \frac{M}{J} = \frac{3g}{5l}$$

三. 计算题：

1. 质量为 m ，长度为 L 的匀质杆可绕通过其下端的水平光滑固定轴 O 在竖直平面内转动，如图。设它从竖直位置由静止倒下，求它倾倒到与水平面成 θ 角时的角速度 ω 和角加速度 β 。



解法一：

取 O 点为重力势能零点，杆在倒下过程中只有重力做功，机械能守恒，有：

$$\frac{1}{2} J \omega^2 + mg \cdot \frac{1}{2} L \sin \theta = mg \cdot \frac{1}{2} L$$

而 $J = \frac{1}{3} mL^2$

所以 $\omega = \sqrt{\frac{3g(1 - \sin \theta)}{L}}$

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = -\omega \frac{d\omega}{d\theta} \\ &= -\sqrt{\frac{3g(1 - \sin \theta)}{L}} \cdot \frac{-3g \cos \theta}{L \cdot 2\sqrt{\frac{3g(1 - \sin \theta)}{L}}} = \frac{3g \cos \theta}{2L} \end{aligned}$$

解法二：

由刚体转动定律： $M = J\beta$ 得

$$\beta = \frac{M}{J} = \frac{\frac{1}{2} mgL \cos \theta}{\frac{1}{3} mL^2} = \frac{3g \cos \theta}{2L}$$

再由 $\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = -\omega \frac{d\omega}{d\theta}$ 得

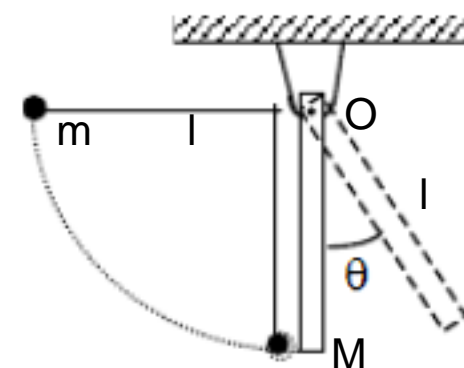
$$\omega d\omega = -\beta d\theta$$

两边积分：
$$\int_0^{\omega} \omega d\omega = -\frac{3g}{2L} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\theta} \cos\theta d\theta \quad \text{得}$$

$$\frac{1}{2} \omega^2 = \frac{3g}{2L} (1 - \sin\theta)$$

则：
$$\omega = \sqrt{\frac{3g(1 - \sin\theta)}{L}}$$

3. 长为 l 的匀质细杆，可绕过杆的一端 O 点的水平光滑固定轴转动，开始时静止于竖直位置。紧挨 O 点悬一单摆，轻质摆线的长度也是 l ，摆球质量为 m 。若单摆从水平位置由静止开始自由摆下，且摆球与细杆作完全弹性碰撞，碰撞后摆球正好静止。求：



- (1) 细杆的质量。 (2) 细杆摆起的最大角度 θ 。

解：(1) 单摆下落过程机械能守恒：

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgl$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{2gl}$$

碰撞过程角动量守恒：
$$mvl = \frac{1}{3}Ml^2\omega$$

碰撞过程能量守恒：

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3}Ml^2 \cdot \omega^2$$

$$mv^2 = \frac{1}{3} M l^2 \cdot \omega^2 = mvl\omega$$

$$v = l\omega$$

则细杆的质量： $M = 3m$

(2) 细杆摆动过程机械能守恒：

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} M l^2 \cdot \omega^2 = Mg \cdot \frac{1}{2} l (1 - \cos\theta)$$

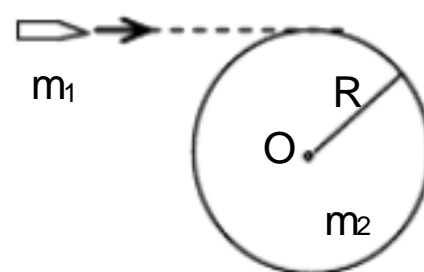
即

:

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} M l^2 \cdot \omega^2 = Mg \cdot \frac{1}{2} l (1 - \cos\theta) = \frac{1}{2} mv^2 = mgl$$

$$\text{则：} \cos\theta = \frac{1}{3} \Rightarrow \theta = \arccos\frac{1}{3}$$

4. 一圆盘的质量为 m_2 、半径为 R 可绕固定的过圆心的水平轴 O 转动，原来处于静止状态，现有一质量为 m_1 ，速度为 v 的子弹嵌入圆盘的边缘，如图所示。求：



- (1) 子弹嵌入圆盘后，圆盘的角速度；
- (2) 由子弹与圆盘组成的系统在此过程中的动能增量。

解：(1) 子弹与圆盘碰撞过程角动量守恒：

$$m_1 v R = \left(\frac{1}{2} m_2 R^2 + m_1 R^2 \right) \omega$$

$$\omega = \frac{2m_1 v R}{m_2 R^2 + 2m_1 R^2} = \frac{2m_1 v}{m_2 R + 2m_1 R}$$

(2)

$$\begin{aligned} \Delta E_k &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} m_2 R^2 + m_1 R^2 \right) \omega^2 - \frac{1}{2} m_1 v^2 \\ &= - \frac{m_1 m_2 v^2}{2m_2 + 4m_1} \end{aligned}$$

大学物理练习 四

一．选择题：

1．下列几种说法：

- (1) 所有惯性系对物理基本规律都是等价的。
- (2) 在真空中，光的速度与光的频率、光源的运动状态无关。
- (3) 在任何惯性系中，光在真空中沿任何方向的传播速率都相同。

其中那些说法是正确的： []

- (A) 只有(1)、(2)是正确的。
- (B) 只有(1)、(3)是正确的。
- (C) 只有(2)、(3)是正确的。
- (D) 三种说法都是正确的。

解： [D]

2．一火箭的固定长度为 L ，相对于地面作匀速直线运动，速度为 v_1 ，火箭上有一个人从火箭的后端向火箭前端上的一个靶子发射一颗相对于火箭的速度为 v_2 的子弹。在火箭上测得子弹从射出到击中靶的时间间隔是： []

- (A) $\frac{L}{v_1 + v_2}$ (B) $\frac{L}{v_2}$ (C) $\frac{L}{v_2 - v_1}$ (D) $\frac{L}{v_1 \sqrt{1 - (v_1/c)^2}}$

(c 表示真空中光速)

解： [B] 在火箭上测得子弹从射出到击中靶的时间间隔是火箭的固定长度除以子弹相对于火箭的速度。

3．(1) 对某观察者来说，发生在某惯性系中同一地点、同一时刻的两个事件，

对于相对该惯性系作匀速直线运动的其它惯性系中的观察者来说，它们是否同时发生？(2) 在某惯性系中发生于同一时刻、不同地点的两个事件，它们在其它惯性系中是否同时发生？关于这两个问题的正确答案是： []

- (A) (1) 同时，(2) 不同时。 (B) (1) 不同时，(2) 同时。
(C) (1) 同时，(2) 同时。 (D) 不(1) 同时，(2) 不同时。

解：[A]

发生在某惯性系中同一地点、同一时刻的两个事件，对于相对该惯性系作匀速直线运动的其它惯性系中的观察者来说，它们是同时发生。

在某惯性系中发生于同一时刻、不同地点的两个事件，它们在其它惯性系中不是同时发生。

4. K 系与 K' 系是坐标轴相互平行的两个惯性系，K' 系相对于 K 系沿 Ox 轴正方向匀速运动。一根刚性尺静止在 K' 系中，与 O'x' 轴成 30° 角。今在 K 系中观测得该尺与 Ox 轴成 45° 角，则 K' 系相对于 K 系的速度是： []

- (A) (2/3)c (B) (1/3)c (C) (2/3)^{1/2}c (D) (1/3)^{1/2}c

解： $\tan \theta' = \frac{y'}{x'}$, $\tan \theta = \frac{y}{x}$, $y' = y$,

$$x = x' \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}} \quad \frac{x}{x'} = \frac{\tan \theta'}{\tan \theta} = \frac{1}{\sqrt{3}} = \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}} \Rightarrow u = \sqrt{\frac{2}{3}}c$$

5. 一宇航员要到离地球为 5 光年的星球去旅行。如果宇航员希望把这路程缩短为 3 光年，则它所乘的火箭相对于地球的速度应是： []

- (A) $v = (1/2)c$ (B) $v = (3/5)c$.
(C) $v = (4/5)c$ (D) $v = (9/10)c$.

解：[C] 原长 $\Delta l = 5$ 光年，

$$\Delta l' = \Delta l \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$$

$$3 = 5 \sqrt{1 - \left(\frac{u}{c}\right)^2}, \quad \left(\frac{u}{c}\right)^2 = 1 - \frac{9}{25} = \frac{16}{25}, \quad \frac{u}{c} = \frac{4}{5}$$

6. 一宇宙飞船相对地球以 0.8c (c 表示真空中光速) 的速度飞行。一光脉冲从船尾传到船头，飞船上的观察者测得飞船长为 90m，地球上的观察者测得光脉冲从船尾发出和到达船头两个事件的空间间隔为 []

- (A) 90m (B) 54m (C) 270m (D) 150m.

解：[C]

$$\Delta x = \frac{\Delta x' + u \Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} = \frac{90 + 0.8 \times 90}{\sqrt{1 - 0.8^2}} = 270\text{m}$$

另解：

$$\Delta x = \Delta t \cdot c = \frac{\Delta t' + \frac{u}{c^2} \Delta x'}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} = \frac{\frac{90}{c} + \frac{0.8c}{c^2} 90}{0.6} = 270\text{m}$$

7. 设某微观粒子的总能量是它的静止能量的 K 倍，则其运动速度的大小为 (c 表示真空中光速) []

(A) $\frac{c}{K-1}$

(B) $\frac{c}{K} \sqrt{1-K^2}$

(C) $\frac{c}{K} \sqrt{K^2-1}$

(D) $\frac{c}{K+1} \sqrt{K(K+2)}$

解：[C]

$$E = KE_0 \Rightarrow mc^2 = km_0c^2 \Rightarrow \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = km_0c^2$$

8. 根据相对论力学，动能为 $\frac{1}{4}\text{MeV}$ 的电子，其运动速度约等于 []

(A) $0.1c$

(B) $0.5c$

(C) $0.75c$

(D) $0.85c$

(c 表示真空中光速，电子的静能 $m_0c^2=0.5\text{MeV}$)

解：[C]

$$E_k = E - E_0 = m_0c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 = \frac{E_k}{m_0 c^2} = \frac{1}{2} \quad v = \frac{\sqrt{5}}{3} c \approx 0.75c$$

二、填空题：

1. 有一速度为 u 的宇宙飞船沿 X 轴正方向飞行，飞船头尾各有一个脉冲光源在工作，处于船尾的观察者测得船头光源发出的光脉冲的传播速度大小为 _____；处于船头的观察者测得船尾光源发出的光脉冲的传播速度大小 _____。

c ； c 。（光速不变原理）

2. 一观察者测得一沿米尺长度方向匀速运动着的米尺的长度为 0.5m 。则此米尺以速度 $v = \underline{\hspace{2cm}} \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 接近观察者。

$$\text{解： } L = L_0 \sqrt{1 - \beta^2} \Rightarrow 0.5 = \sqrt{1 - \beta^2} \Rightarrow \beta = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\therefore v = \frac{\sqrt{3}}{2} c = 2.60 \times 10^8 \text{ m/s}$$

（长度收缩：
$$\Delta l = \Delta l' \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$$
）

3. 静止时边长为 50cm 的立方体，当它沿着与它的一个棱边平行的方向相对于地面以匀速度 $2.4 \times 10^8 \text{m/s}$ 运动时，在地面上测得它的体积是 _____ cm^3 。

解

:

$$V = 0.5 \times 0.5 \times L$$

$$\Rightarrow V = 0.25 \times L_0 \sqrt{1 - \beta^2} = 0.25 \times 0.3 = 0.075 \text{m}^3 = 75000 \text{cm}^3$$

0.075m^3 （运动方向的长度收缩）

4. 一匀质矩形薄板，在它静止时测得其长为 a ，宽为 b ，质量为 m_0 。由此可算出其面积密度为 m_0/ab 。假定该薄板沿长度方向以接近光速的速度 v 作匀速直

线运动，此时再测算该矩形薄板的面积密度则为 _____。

解：

$$\sigma = \frac{m}{S} = \frac{m_0 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{a \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot b} = \frac{m_0}{ab(1 - \frac{v^2}{c^2})}$$

5. π^+ 介子是不稳定的粒子，在它自己的参照系中测得平均寿命是 $2.6 \times 10^{-8} \text{ s}$ ，如果它相对于实验室以 $0.8c$ (c 为真空中光速) 的速率运动，那么实验室坐标系中测得的 π^+ 介子的寿命是_____s。

解：

$$\tau = \tau' / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{2.6 \times 10^{-8}}{0.6} = 4.3 \times 10^{-8} \text{ s}$$

6. 一宇宙飞船以 $c/2$ (c 为真空中的光速) 的速率相对地面运动。从飞船中以相对飞船为 $c/2$ 的速率向前方发射一枚火箭。假设发射火箭不影响飞船原有速率，则地面上的观察者测得火箭的速率为_____。

解：

$$v_x = \frac{v'_x + u}{1 + \frac{v'_x u}{c^2}} = \frac{0.5c + 0.5c}{1 + 0.25} = 0.8c$$

7. (1) 在速度 $v = \underline{\hspace{2cm}}$ 情况下粒子的动量等于非相对论动量的两倍。
(2) 在速度 $v = \underline{\hspace{2cm}}$ 情况下粒子的动能等于它的静止能量。

解：(1)

$$mv = 2m_0 v \Rightarrow \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 2m_0 v$$

(2)

$$E_k = mc^2 - m_0 c^2 = m_0 c^2 \Rightarrow \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 2m_0 c^2$$

8. 设电子静止质量为 m_e ，将一个电子从静止加速到速率为 $0.6c$ (c 表示真空中光速)，需作功_____。

解：

$$W = E_k = mc^2 - m_0c^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0c^2 = \frac{1}{4} m_0c^2$$

9. 一电子以 $0.99c$ 的速率运动 (电子静止质量为 $9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$), 则电子的总能量是 _____ J, 电子的经典力学的动能与相对论动能之比是 _____。

解：

]

$$E = mc^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{9.11 \times 10^{-31} \times (0.99c)^2}{\sqrt{1 - (0.99)^2}} = 5.81 \times 10^{-13} \text{ J}$$

$$\frac{\frac{1}{2} m_0 v^2}{mc^2 - m_0c^2} = \frac{\frac{1}{2} \times 0.99^2}{\frac{1}{\sqrt{1 - 0.99^2}} - 1} = 0.0804$$

大学物理练习五

一、选择题

1. 温度、压强相同的氢气和氧气, 它们分子的平均动能 $\bar{\epsilon}_k$ 和平均平动动能 $\bar{\epsilon}_t$ 有如下关系: []

- (A) $\bar{\epsilon}_k$ 和 $\bar{\epsilon}_t$ 都相等。 (B) $\bar{\epsilon}_k$ 相等, 而 $\bar{\epsilon}_t$ 不相等。
(C) $\bar{\epsilon}_t$ 相等, 而 $\bar{\epsilon}_k$ 不相等。 (D) $\bar{\epsilon}_k$ 和 $\bar{\epsilon}_t$ 都不相等。

解: [C] 氢气 $i=3$ 和氧气 $i=5$

分子的平均动能

$$\bar{\varepsilon}_k = \frac{t + r + s}{2} kT$$

$$\bar{w} = \bar{\varepsilon}_t = \frac{3}{2} kT \quad \text{而} \quad \bar{\varepsilon}_k = \frac{i}{2} kT$$

2. 已知氢气与氧气的温度相同，请判断下列说法哪个正确？ []

- (A) 氧分子的质量比氢分子大，所以氧气的压强一定大于氢气的压强。
- (B) 氧分子的质量比氢分子大，所以氧气的密度一定大于氢气的密度。
- (C) 氧分子的质量比氢分子大，所以氢分子的速率一定比氧分子的速率大。
- (D) 氧分子的质量比氢分子大，所以氢分子的方均根速率一定比氧分子的方均根速率大。

解：[D]

$$\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

氧分子的质量比氢分子大

$$\sqrt{v^2} \propto \frac{1}{\sqrt{\mu}}$$

$$P = nkT$$

温度相同，还要看

$$n$$

；

$$\rho = \frac{P\mu}{RT}$$

温度相同，还要看

$$P$$

3. 已知一定量的某种理想气体，在温度为 T_1 与 T_2 时的分子最可几速率分别为 V_{p1} 和 V_{p2} ，分子速率分布函数的最大值分别为 $f(V_{p1})$ 和 $f(V_{p2})$ 。若 $T_1 > T_2$ ，则 []

- (A) $V_{p1} > V_{p2}$ ； $f(V_{p1}) > f(V_{p2})$ 。
- (B) $V_{p1} > V_{p2}$ ； $f(V_{p1}) < f(V_{p2})$ 。
- (C) $V_{p1} < V_{p2}$ ； $f(V_{p1}) > f(V_{p2})$ 。
- (D) $V_{p1} < V_{p2}$ ； $f(V_{p1}) < f(V_{p2})$ 。

解：[B]

若 $T_1 > T_2$ ，则 $V_{p1} > V_{p2}$ ；

4. 在标准状态下，若氧气 (视为刚性双原子分子的理想气体) 和氦气的体积比 $V_1 / V_2 = 1 / 2$ ，则其内能之比 E_1 / E_2 为： []

- (A) 3 / 10
- (B) 1 / 2
- (C) 5 / 6
- (D) 5 / 3

解：[C] $\frac{v_1}{v_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{2}$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\frac{5}{2} v_1 RT}{\frac{3}{2} v_2 RT} = \frac{5 v_1}{3 v_2} = \frac{5}{6}$$

5. 一定量的理想气体，在温度不变的条件下，当体积增大时，分子的平均碰撞

频率 \bar{Z} 和平均自由程 $\bar{\lambda}$ 的变化情况是：

[]

- (A) \bar{Z} 减小而 $\bar{\lambda}$ 不变。
- (B) \bar{Z} 减小而 $\bar{\lambda}$ 增大。

(C) \bar{z} 增大而 $\bar{\lambda}$ 减小。 (D) \bar{z} 不变而 $\bar{\lambda}$ 增大。

解：[B]

$$\bar{z} = \sqrt{2\pi} d^2 \bar{v} n = \sqrt{2\pi} d^2 1.6 \sqrt{\frac{RT}{\mu}} n \quad \downarrow$$

$$\bar{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2\pi} d^2 P} = \frac{KT}{\sqrt{2\pi} d^2 nKT} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} d^2 n}$$

二、填空题

1. 黄绿光的波长是 5000 \AA ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$)。理想气体在标准状态下，以黄绿光的波长为边长的立方体内有 _____ 个分子。

解：理想气体在标准状况下，分子数密度为：

$$n = \frac{P}{kT} = \frac{1.013 \times 10^5}{1.38 \times 10^{-23} \times 273} = 2.69 \times 10^{25} \text{ 个/m}^3$$

以 5000 \AA 为边长的立方体内应有分子数：

$$N = nV = 2.69 \times 10^{25} \times (5 \times 10^{-7})^3 = 3.36 \times 10^6 \text{ 个}.$$

2. 若某种理想气体分子的方均根速率 $(\bar{v}^2)^{1/2} = 450 \text{ m/s}$ ，气体压强为 $P = 7 \times 10^4 \text{ Pa}$ ，则该气体的密度为 $\rho =$ _____。

$$\left. \begin{array}{l} P = nkT \\ \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \\ \rho = nm \end{array} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{3P}{(\sqrt{\bar{v}^2})^2} = \frac{3 \times 7 \times 10^4}{450^2} = 1.04 \text{ kg/m}^3$$

3. 一容器内储有某种气体，若已知气体的压强为 $3 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，温度为 27°C ，密度为 0.24 kg/m^3 ，则可确定此种气体是 _____ 气；并可求出此气体分子热运动的最概然速率为 _____ m/s。

解：氢气， $PV = \frac{M}{\mu} RT \Rightarrow \frac{1}{\mu} = \frac{PV}{RTM} = \frac{P}{RT\mu}$

$$\mu = \frac{RT\mu}{P} = \frac{8.31 \times 300 \times 0.24}{3 \times 10^5} = 2 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

$$v_P = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{2P}{\rho}} = 1581 \text{ m/s}$$

4. 有一瓶质量为 M 的氢气（视作刚性双原子分子的理想气体），温度为 T ，则氢分子的平均平动动能为 _____，氢分子的平均动能为 _____，该瓶氢气的内能为 _____。

解： $\frac{3}{2}kT$ $\frac{5}{2}kT$ $\frac{5}{2} \times 10^3 M R T$

5. 一瓶氢气和一瓶氧气温度相同。若氢气分子的平均平动动能为 $\bar{\epsilon}_t = 6.21 \times 10^{-21} \text{ J}$ 。则氧气分子的平均平动动能 _____；方均根速率 _____；

氧气的温度 _____。

解： $6.21 \times 10^{-21} \text{ J} = \frac{3}{2}kT$

$$\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3RT}{M_{\text{mol}}}} = \sqrt{\frac{3 \times 8.31 \times 300}{32 \times 10^{-3}}} = 483.4 \text{ m/s}$$

6. 在容积为 $3.0 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ 的容器中，贮有 $2.0 \times 10^{-2} \text{ Kg}$ 的气体，其压强为 $50.7 \times 10^3 \text{ Pa}$ ，则该气体分子平均速率为 _____。

$$PV = \frac{M}{M_{\text{mol}}} RT \Rightarrow \sqrt{\frac{RT}{M_{\text{mol}}}} = \sqrt{\frac{PV}{M}}$$

解:

$$= \sqrt{\frac{50.7 \times 10^3 \times 3.0 \times 10^{-2}}{2.0 \times 10^{-2}}} = 275.8 \text{ m/s}$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M_{\text{mol}}}} = \sqrt{\frac{8}{\pi}} \times 275.8 = 440.2 \text{ m/s}$$

7. 已知 $f(v)$ 为麦克斯韦速率分布函数, N 为总分子数, 则 (1) 速率 $v > 100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的分子数占总分子数的百分比的表达式为 _____ ; (2) 速率

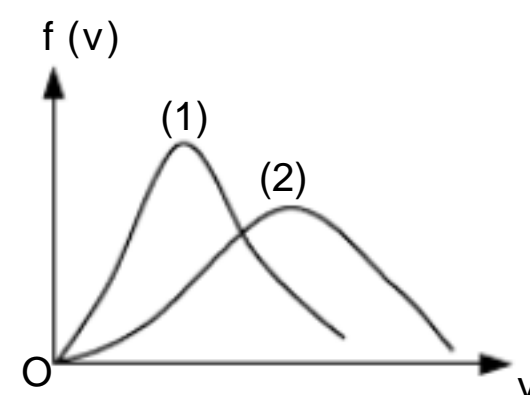
$v > 100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的分子数的表达式为 _____ 。 速率

$v > 100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的哪些分子的平均速率表达式为 _____ 。

解: (1) $\int_{100}^{\infty} f(v) dv$; (2) $N \int_{100}^{\infty} f(v) dv$

$$\bar{v} = \frac{\int_{100}^{\infty} v dN}{\int_{100}^{\infty} dN} = \frac{\int_{100}^{\infty} v N f(v) dv}{\int_{100}^{\infty} N f(v) dv} = \frac{\int_{100}^{\infty} v f(v) dv}{\int_{100}^{\infty} f(v) dv}$$

8. 现有两条气体分子速率分布曲线 (1) 和 (2), 如图所示。若两条曲线分别表示同一种气体处于不同的温度下的速率



分布, 则曲线 _____ 表示的温度较高。若两条曲线分别表示

同一温度下的氢气和氧气的速率分布, 则曲线 _____ 表示的是氧气的速率分布。

解: 实线的 V_p 比虚线的 V_p 小, 因同气体 μ 质量相

同, V_p 与 \sqrt{T} 成正比。虚线的温度高, 填 (2); 后面的填 (1)

9. 今测得温度为 $t_1 = 15^\circ \text{C}$, 压强为 $p_1 = 0.76 \text{ m 汞柱高}$ 时, 氩分子和氖分子的平均

自由程分别为： $\bar{\lambda}_{\text{Ar}} = 6.7 \times 10^{-8} \text{ m}$ 和 $\lambda_{\text{Ne}} = 13.2 \times 10^{-8} \text{ m}$ ，

求：(1) 氖分子和氩分子有效直径之比 $d_{\text{Ne}} / d_{\text{Ar}} =$ _____；

(2) 温度为 $t_2 = 20^\circ \text{C}$ ，压强为 $p_2 = 0.15 \text{ m 汞柱高}$ 时，氩分子的平均自由程

$\bar{\lambda}'_{\text{Ar}} =$ _____。

解： $\bar{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 P} \Rightarrow$

$$\frac{d_{\text{Ne}}}{d_{\text{Ar}}} = \sqrt{\frac{\bar{\lambda}_{\text{Ar}}}{\lambda_{\text{Ne}}}} = \sqrt{\frac{6.7 \times 10^{-8}}{13.2 \times 10^{-8}}} = 0.71$$

$$\bar{\lambda}'_{\text{Ar}} = \bar{\lambda}_{\text{Ar}} \frac{T_2 P_1}{T_1 P_2} = 6.7 \times 10^{-8} \times \frac{293 \times 0.76}{288 \times 0.15} = \underline{\underline{3.5 \times 10^{-7} \text{ m}}}$$

大学物理练习 六

一、选择题：

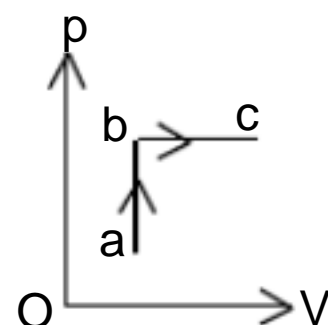
1. 理想气体经历如图所示的 $a \rightarrow b \rightarrow c$ 平衡过程，则系统对外做功 A ，从外界吸收的热量 Q 和内能的增量 ΔE 的正负情况如下： []

(A) $\Delta E > 0$ ， $Q > 0$ ， $A < 0$.

(B) $\Delta E > 0$ ， $Q > 0$ ， $A > 0$.

(C) $\Delta E > 0$ ， $Q < 0$ ， $A > 0$.

(D) $\Delta E < 0$ ， $Q < 0$ ， $A > 0$.

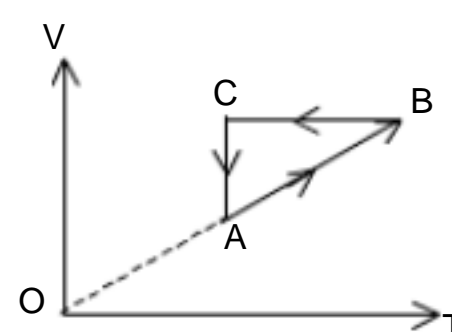


解： $a \rightarrow b \rightarrow c$ ，则 $A > 0$ ，另外 $T_c > T_a$ ，故温度升高内

能增加。据热一律 $Q = A + \Delta E$, $Q > 0$ 。选[B]

2. 一定量理想气体经历的循环过程用 $V - T$ 曲线表示如图。在此循环过程中, 气体从外界吸热的过程是 []

- (A) A B (B) B C
(C) C A (D) A B 和 B C



解:[A] B C 等容降温过程 (放热) C A 等温压缩过程 (放热)
A B 等压膨胀过程 (吸热)

3. 有人设计了一台卡诺热机 (可逆的). 每循环一次可从 400 K 的高温热源吸热 1800 J, 向 300 K 的低温热源放热 800 J. 同时对外做功 1000 J, 这样的设计是
(A) 可以的, 符合热力学第一定律.
(B) 可以的, 符合热力学第二定律.
(C) 不行的, 卡诺循环所作的功不能大于向低温热源放出的热量.
(D) 不行的, 这个热机的效率超过理论值. []

解:[D] $\eta = 1 - \frac{|Q_3|}{Q_1} = 1 - \frac{800}{1800} = \frac{1000}{1800} = 55.6\%$

$$\eta_{\text{卡}} = 1 - \frac{T_d}{T_g} = 1 - \frac{300}{400} = \frac{1}{4} = 25.0\%$$

4. “理想气体和单一热源接触作等温膨胀时, 吸收的热量全部用来对外作功。”对此说法, 有如下几种评论, 哪种是正确的? []

- (A) 不违反热力学第一定律, 但违反热力学第二定律。
(B) 不违反热力学第二定律, 但违反热力学第一定律。
(C) 不违反热力学第一定律, 也不违反热力学第二定律。
(D) 违反热力学第一定律, 也违反热力学第二定律。

解: 选[C] 等温膨胀只是一个过程, 不是一个循环。

5. 理想气体绝热地向真空自由膨胀, 体积增大为原来的两倍, 则始、末两态的温度 T_1 与 T_2 和始、末两态气体分子的平均自由程 λ_1 与 λ_2 的关系为 []

- (A) $T_1 = T_2$, $\lambda_1 = \lambda_2$ (B) $T_1 = T_2$, $\lambda_1 = \frac{1}{2} \lambda_2$
(C) $T_1 = 2T_2$, $\lambda_1 = \lambda_2$ (D) $T_1 = 2T_2$, $\lambda_1 = \frac{1}{2} \lambda_2$

解: $Q = A + \Delta E$ 因绝热则 $Q = 0$, 向真空自由膨胀不作功,

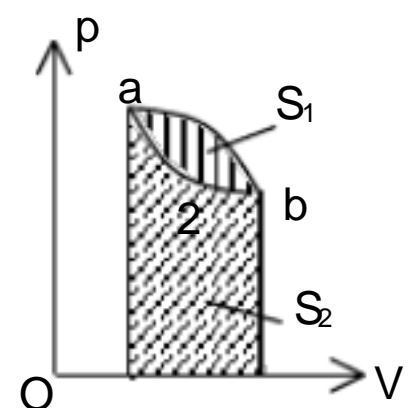
$$A = 0。所以 \Delta E = 0，选[B]$$

二、填空题：

1. 在 $p-V$ 图上 (1) 系统的某一平衡态用 _____ 来表示；
(2) 系统的某一平衡过程用 _____ 来表示；

(3) 系统的某一平衡循环过程用 _____ 来表示。

解：(1) 系统的某一平衡态用 一个点 来表示。(2) 系统的某一平衡过程用 一条曲线 来表示。(3) 系统的某一平衡循环过程用 封闭曲线 来表示。



2. 如图所示，已知图中画不同斜线的两部分的面积分别为 S_1 和 S_2 ，那么：(1) 如果气体的膨胀过程为 $a-1-b$ ，则气体对外做功

$A =$ _____；(2) 如果气体进行 $a-2-b-1-a$ 的循环过程，则它

对外做功 $A =$ _____。

解：(1) $S_1 + S_2$ (2) $-S_1$

3. 2mol 单原子分子理想气体，经过一等容过程后，温度从 200K 上升到 500K，

若该过程为准静态过程，气体吸收的热量为 _____；若为不平衡过

程，气体吸收的热量为 _____。

解：等容过程 则 $A = 0$ ， $Q = \Delta E = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T = 7479 \text{ J}$

若为不平衡过程，过程曲线有间断点无法求功。此题

正好功为零， $Q = \Delta E = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T = 7479 \text{ J}$ 。

4. 将 1 mol 理想气体等压加热，使其温度升高 72 K，传给它的热量等于 $1.60 \times$

10^3 J ，求：(1) 气体所作的功 $A =$ _____；(2) 气体内能的增量

$\Delta E =$ _____；(3) 比热容比 $\gamma =$ _____。

解

$$\left. \begin{array}{l} Q = \Delta E + W \\ Q_P = C_P \Delta T \\ \Delta E = C_V \Delta T \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} (1) W = (C_P - C_V) \Delta T = R \Delta T = \underline{600J} \\ (2) \Delta E = Q - W = \underline{1000J} \\ (3) \gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{Q_P}{\Delta E} = \frac{1600}{1000} = \underline{1.6} \end{array} \right.$$

5. 3 mol 的理想气体开始时处在压强 $p_1 = 6 \text{ atm}$ 、温度 $T_1 = 500 \text{ K}$ 的平衡态。经过一个等温过程，压强变为 $p_2 = 3 \text{ atm}$ 。该气体在此等温过程中吸收的热量为

$Q = \underline{\hspace{2cm}} \text{ J}$ (普适气体常量 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

解 8.64×10^3 $Q = A = \nu RT \ln \frac{P_1}{P_2}$

6. 一定量理想气体，从同一状态开始把其体积由 V_0 压缩到 $\frac{1}{2}V_0$ ，分别经历以下三种过程：(1) 等压过程；(2) 等温过程；(3) 绝热过程。其中：____过程外界对气体做功最多；____过程气体内能减少最多；____过程气体放热最多。

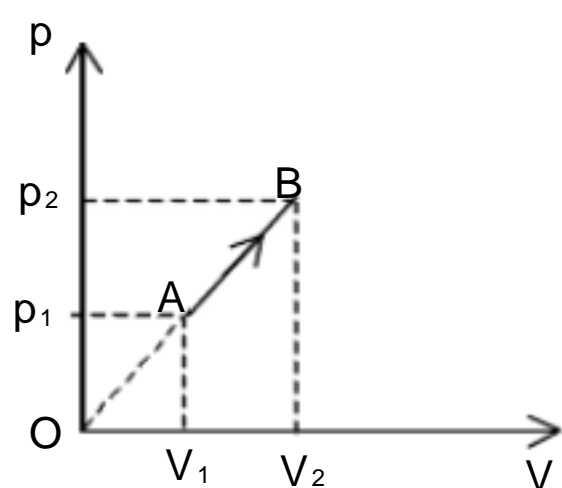
解绝热；等压；等压

气体放热 $Q_T = \frac{M}{\mu} RT_0 \ln 2 = p_0 V_0 \ln 2$

$$Q_P = \frac{M}{\mu} C_P \Delta T = \frac{1}{2} \frac{M}{\mu} \frac{i+2}{2} RT_0 = \frac{i+2}{4} p_0 V_0$$

三、计算题：

1. 1mol 双原子分子理想气体从状态 $A(p_1, V_1)$ 沿 $p-V$ 图所示直线变化到状态 $B(p_2, V_2)$ ，试求：(1) 气体的内能增量；(2) 气体对外界所作的功；(3) 气体吸收的热量；(4) 此过程的摩尔热容。(摩尔热容



$C = \Delta Q / \Delta T$ ，其中 ΔQ 表示 1mol 物质在过程中升高温度 ΔT 时所吸收的热量。)

解：(1)

$$\Delta E = \frac{5}{2} R(T_2 - T_1) = \frac{5}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

$$(2) A = \frac{1}{2}(P_1 + P_2)(V_2 - V_1) = \frac{1}{2}(P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

$$(3) Q = A + \Delta E = \frac{6}{2}(P_2 V_2 - P_1 V_1) = 3(P_2 V_2 - P_1 V_1) \quad (4)$$

$$Q = \frac{M}{\mu} C \Delta T = C \Delta T = 3(P_2 V_2 - P_1 V_1) = 3R \Delta T$$

所以 $C = 3R$

3. 一定量的刚性双原子分子理想气体，开始时处于压强为 $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，体积为 $V_0 = 4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ，温度为 $T_0 = 300 \text{ K}$ 的初态，后经等压膨胀过程温度上升到 $T_1 = 450 \text{ K}$ ，再经绝热过程温度降回到 $T_2 = 300 \text{ K}$ ，求气体在整个过程中对外作的功。

解：等压过程末态的体积 $V_1 = \frac{V_0}{T_0} T_1$

等压过程气体对外做功

$$W_1 = p_0 (V_1 - V_0) = p_0 V_0 \left(\frac{T_1}{T_0} - 1 \right) = 200 \text{ J}$$

根据热力学第一定律，绝热过程气体对外作的功为

$$W_2 = -\Delta E = -\nu C_V (T_2 - T_1)$$

这里 $\nu = \frac{p_0 V_0}{RT_0}$ ， $C_V = \frac{5}{2} R$ ，

则 $W_2 = -\frac{5p_0 V_0}{2T_0} (T_2 - T_1) = 500 \text{ J}$

气体在整个过程中对外作的功为 $W = W_1 + W_2 = 700 \text{ J}$

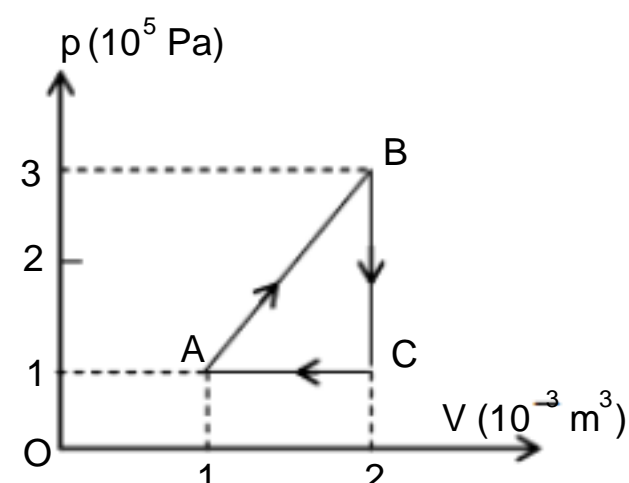
4. 一定量的单原子分子理想气体，从初态 A 出发，沿图示直线过程变到另一状态 B，又经过等容、等压两过程回到状态 A。

(1) 求 A → B, B → C, C → A 各过程中系统对外所作的功 W, 内能的增量 ΔE 以及所吸收的热量 Q。

(2) 整个循环过程中系统对外所作的总功以及从外界吸收的总热量 (过程吸热的代数和)。

解：(1) A → B: $A_1 = \frac{1}{2}(p_B + p_A)(V_B - V_A) = 200 \text{ J}$ 。

$$E_1 = \nu C_V (T_B - T_A) = 3(p_B V_B - p_A V_A) / 2 = 750 \text{ J}$$



$$Q_1 = A_1 + E_1 = 950 \text{ J} .$$

$$\text{B C : } A_2 = 0$$

$$E_2 = \nu C_V (T_C - T_B) = 3(p_C V_C - p_B V_B) / 2 = -600 \text{ J} .$$

$$Q_2 = A_2 + E_2 = -600 \text{ J} .$$

$$\text{C A : } A_3 = p_A (V_A - V_C) = -100 \text{ J} .$$

$$\Delta E_3 = \nu C_V (T_A - T_C) = \frac{3}{2} (p_A V_A - p_C V_C) = -150 \text{ J} .$$

$$Q_3 = A_3 + E_3 = -250 \text{ J}$$

$$(2) \quad A = A_1 + A_2 + A_3 = 100 \text{ J} .$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 100 \text{ J}$$

大学物理练习 七

一、选择题：

1. 关于电场强度定义式 $\vec{E} = \vec{F} / q_0$ ，下列说法中哪个是正确的？

(A) 场强 E 的大小与试探电荷 q_0 的大小成反比。

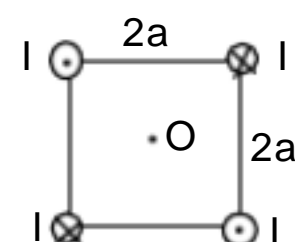
(B) 对场中某点，试探电荷受力 \vec{F} 与 q_0 的比值不因 q_0 而变。

(C) 试探电荷受力 \vec{F} 的方向就是场强 \vec{E} 的方向。

(D) 若场中某点不放试探电荷 q_0 ，则 $\vec{F} = 0$ ，从而 $\vec{E} = 0$ 。 []

[B]

2. 四条皆垂直于纸面的载流细长直导线，每条中的电流皆为 I 。这四条导线被纸面截得的断面，如图所示，它们组成了边长为 $2a$ 的正方形的四个角顶。每条导线中的电流流向亦如图所示，则在图中正方形中心 O 点的磁感应强度的大小为



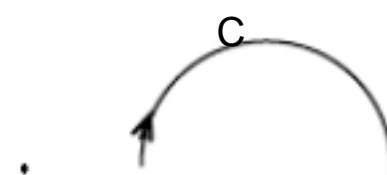
(A) $B = \frac{2\mu_0}{\pi a} I$. (B) $B = \frac{\sqrt{2}\mu_0}{2\pi a} I$.

(C) $B=0$. (D) $B = \frac{\mu_0}{\pi a} I$. [C]

3. 在真空中有一根半径为 R 的半圆形细导线，流过的电流为 I ，则圆心处的磁感强度为

(A) $\frac{\mu_0 I}{4R}$. (B) $\frac{\mu_0 I}{2R}$.

(C) 0 . (D) $\frac{\mu_0 I}{4R}$. [D]



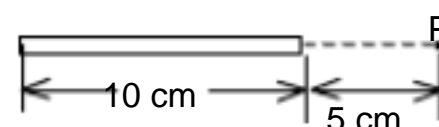
$$B = \frac{\mu_0 I \phi}{4\pi r}$$

二、填空题：

1. 有一个球形的橡皮膜气球，电荷 q 均匀地分布在表面上，在此气球被吹大的过程中，被气球表面掠过的点（该点与球中心距离为 r ），其电场强度的大小

将由 _____ 变为 _____。解：将由 $\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ 变为 0。

2. 如图所示，一长为 10 cm 的均匀带正电细杆，其电荷为 $1.5 \times 10^{-8}\text{ C}$ ，试求在杆的延长线上距杆的端点 5 cm 处的 P 点的电



场强度 _____。

解：设 P 点在杆的右边，选取杆的左端为坐标原点 O ， x 轴沿杆的方向，如图，并设杆的长度为 L 。 P 点离杆的端点距离为 d 。

在 x 处取一电荷元 $dq = (q/L)dx$ ，它在 P 点产生场强

$$dE = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 (L+d-x)^2} = \frac{q dx}{4\pi\epsilon_0 L (L+d-x)^2}$$

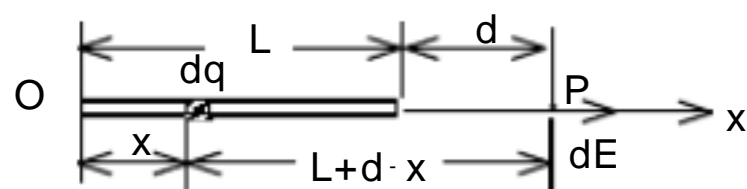
P 点处的总场强为

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 L} \int_0^L \frac{dx}{(L+d-x)^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 d (L+d)}$$

代入题目所给数据，得

$$E = 1.8 \times 10^4 \text{ N/C}$$

E 的方向沿 x 轴正向。



3. 一长直螺线管是由直径 $d=0.2\text{mm}$ 的漆包线密绕而成。当它通以 $I=0.5\text{A}$ 的电

流时，其内部的磁感应强度 $B=$ _____。（忽略绝缘层厚度）

解： $B = \mu_0 n I = \mu_0 \frac{I}{d} = \pi \times 10^{-3} \text{ (T)}$

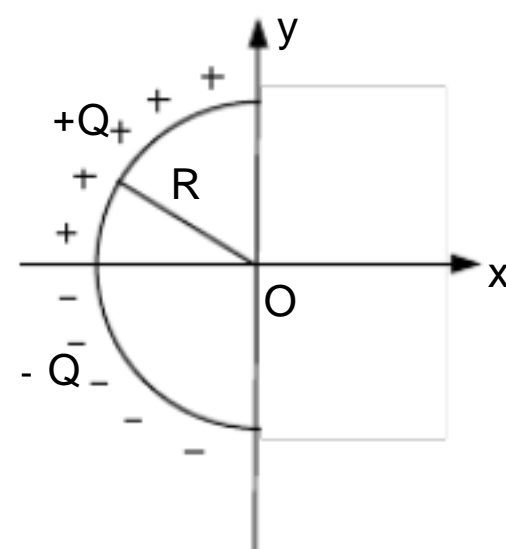
三、计算题：

1. 一个细玻璃棒被弯成半径为 R 的半圆形，沿其上半部分均匀分布有电量 $+Q$ ，沿其下半部分均匀分布有电量 $-Q$ ，如图所示。试求圆心 O 处的电场强度。

解：先看上半部分 $+Q$ ， $dq = \lambda dl = \lambda R d\theta$

$dE = \frac{\lambda R d\theta}{4\pi\epsilon_0 R^2}$ 要分解为

$dE_x = dE \sin\theta$ ， $dE_y = dE \cos\theta$



$$E_x = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\lambda dl \sin\theta}{4\pi\epsilon_0 R} = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 R} (-\cos\theta) \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} = \lambda / 4\pi\epsilon_0 R$$

$$E_y = \int_0^{\frac{\pi}{2}} -\frac{\lambda dl \cos\theta}{4\pi\epsilon_0 R} = -\frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 R} (\sin\theta) \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} = -\lambda / 4\pi\epsilon_0 R$$

再由于下半部分均匀分布有电量 $-Q$ 的 E_x 与上半部分均匀分布有电量 $+Q$ 的 E_x 正好抵消。

所以

$$E_0 = 2E_y = -\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 R} = -\frac{Q}{\pi^2\epsilon_0 R^2}$$