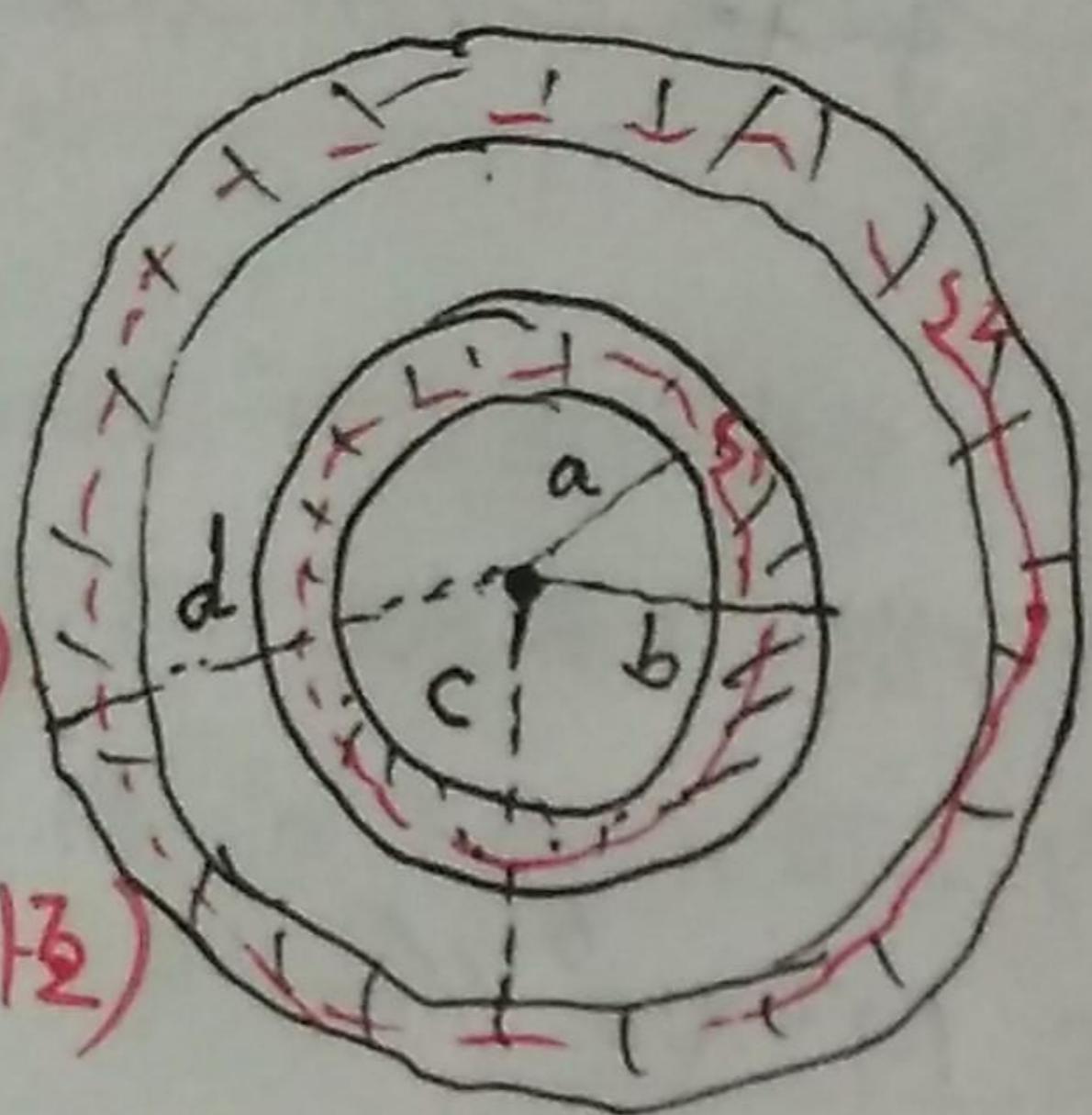


8. 两个同心球壳, 小球壳的内外径分别为  $a$ 、 $b$ , 大球壳的内外径为  $c$ 、 $d$ , 小球壳带电  $+2Q$ , 大球壳带电  $+4Q$ 。求下列区域的电场强度。

- 1)  $a < r < b$ , 2)  $c < r < d$ , 3)  $r > d$



1- 求电荷分布

$r = a$  处:  $Q = 0$  (高斯定理  $S_1$ )

$r = b$  处:  $Q = 2Q$  (电荷守恒)

$r = c$  处:  $Q = -2Q$  (高斯定理  $S_2$ )

$r = d$  处:  $6Q$  (电荷守恒)

2- 场强分布

$a < r < b$   $E = 0$

$c < r < d$   $E = 0$

$r > d$   $\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q_{in} \Rightarrow E \cdot 4\pi r^2 = \frac{1}{\epsilon_0} (2Q + 4Q) = \frac{1}{\epsilon_0} 6Q$

$\Rightarrow E = \frac{6Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$

9. 如图所示, 面积均为  $S = 0.1 \text{m}^2$  的两金属平板  $A, B$  平行对称放置, 间距为  $d = 1 \text{mm}$ , 今给  $A, B$  两板分别带电  $Q_1 = 3.54 \times 10^{-9} \text{C}$ ,  $Q_2 = 1.77 \times 10^{-9} \text{C}$ . 忽略边缘效应,

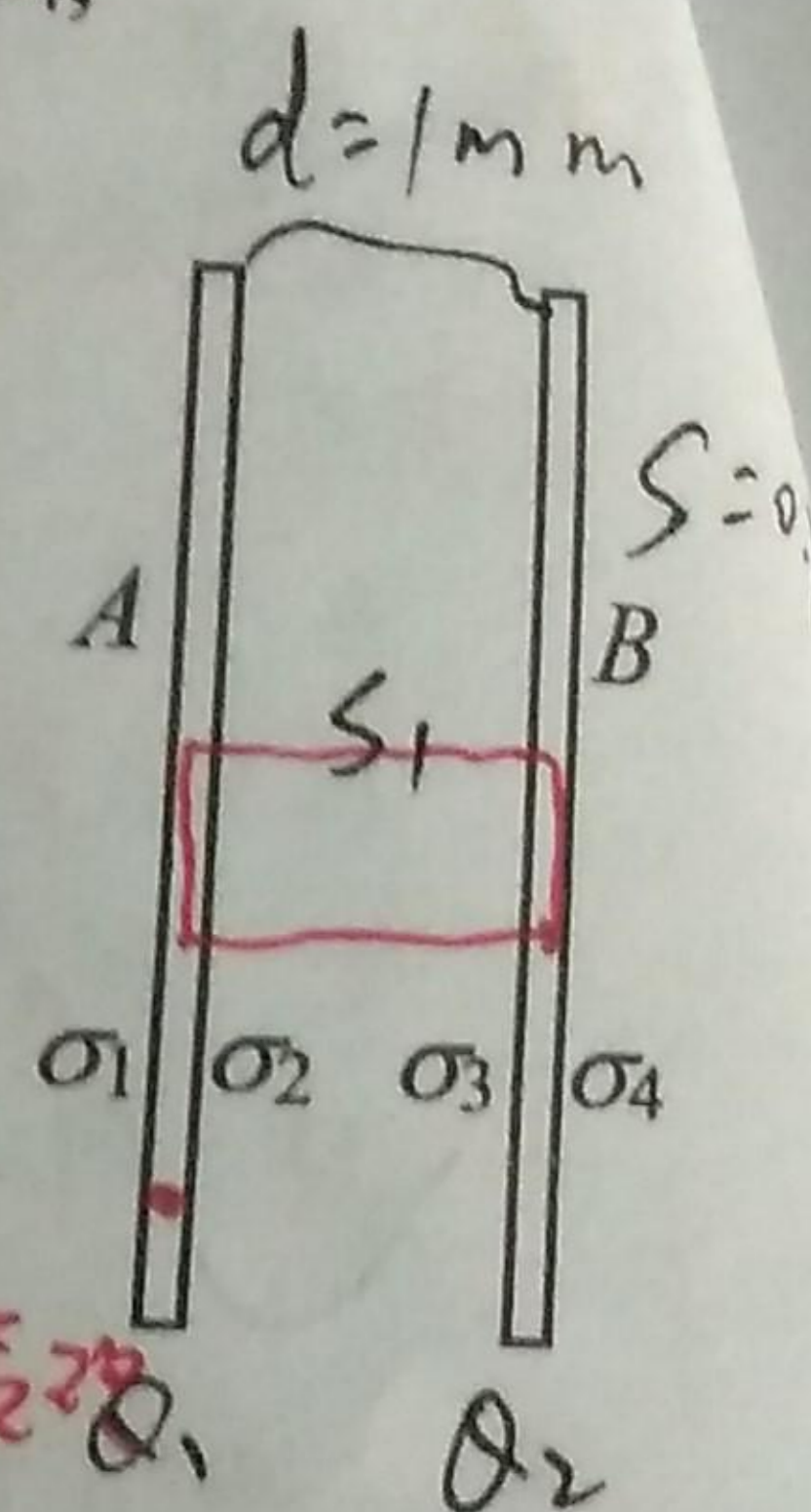
- 求: (1) 两板共四个表面的面电荷密度  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$ ;  
(2) 两板间的电势差  $V = U_A - U_B$ .

1- 求电荷分布 找4个方程解  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$

$$\begin{cases} (\sigma_1 + \sigma_2)S = Q_1 \\ (\sigma_3 + \sigma_4)S = Q_2 \end{cases} \text{电荷守恒}$$

$\sigma_2 + \sigma_3 = 0 \rightarrow$  高斯定理  $S_1$

$\sigma_1 = \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 \rightarrow$  场强叠加原理



$$\Rightarrow \begin{cases} \sigma_1 = \frac{Q_1 + Q_2}{2S} = 2.655 \times 10^{-8} \text{C/m}^2 \\ \sigma_2 = \frac{Q_1 - Q_2}{2S} = 8.85 \times 10^{-9} \text{C/m}^2 \\ \sigma_3 = \frac{Q_2 - Q_1}{2S} = -8.85 \times 10^{-9} \text{C/m}^2 \\ \sigma_4 = \frac{Q_1 + Q_2}{2S} = 2.655 \times 10^{-8} \text{C/m}^2 \end{cases}$$

(2) AB间任意点场强

$$E = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 - \sigma_3 - \sigma_4}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma_2}{\epsilon_0}$$

$$V = U_A - U_B = E \cdot d = \frac{\sigma_2 d}{\epsilon_0}$$

$= 1 \text{V}$

学号

姓名

班级

学号

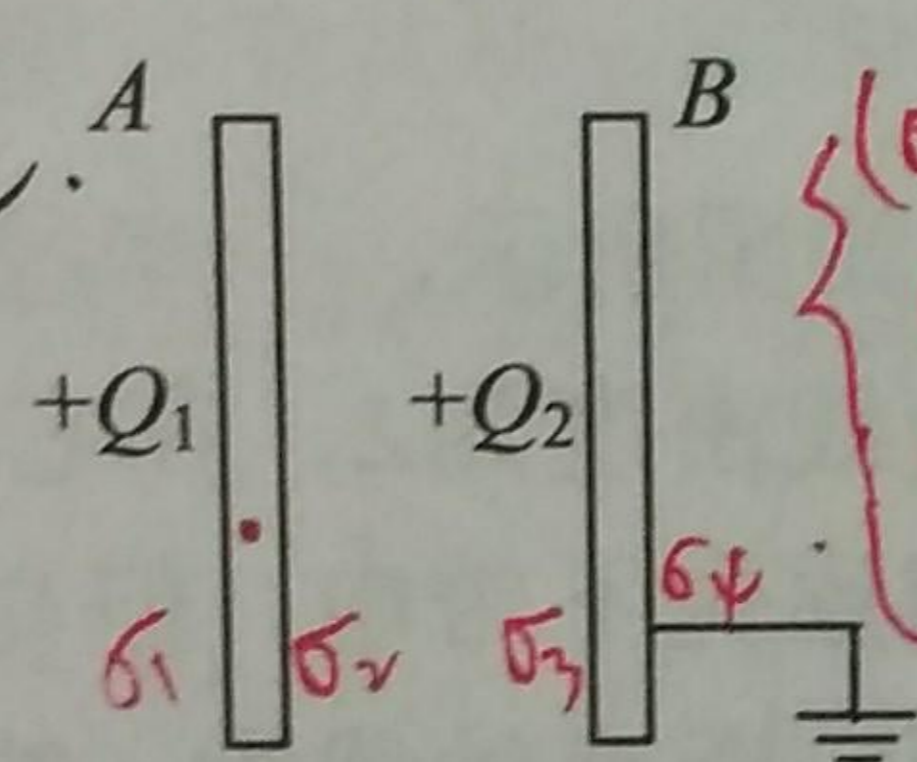
# 第一节 静电场中的导体 (2)

1. 在导体的某个区域分布有密度  $\sigma$  的负电荷, 那么在该区域靠近导体的一侧, 电力线的方向为: [ A ]

- A 指向导体的外表面。
- B 指向导体的内表面。
- C 为零。
- D 与导体表面平行。

2. A、B 为两导体大平板, 面积均为  $S$ , 平行放置, 如图所示. A 板带电荷  $+Q_1$ , B 板带电荷  $+Q_2$ , 如果使 B 板接地, 则 AB 间电场强度的大小  $E$  为:

- A  $\frac{Q_1}{2\epsilon_0 S}$
- B  $\frac{Q_1 - Q_2}{2\epsilon_0 S}$
- C  $\frac{Q_1}{\epsilon_0 S}$
- D  $\frac{Q_1 + Q_2}{2\epsilon_0 S}$

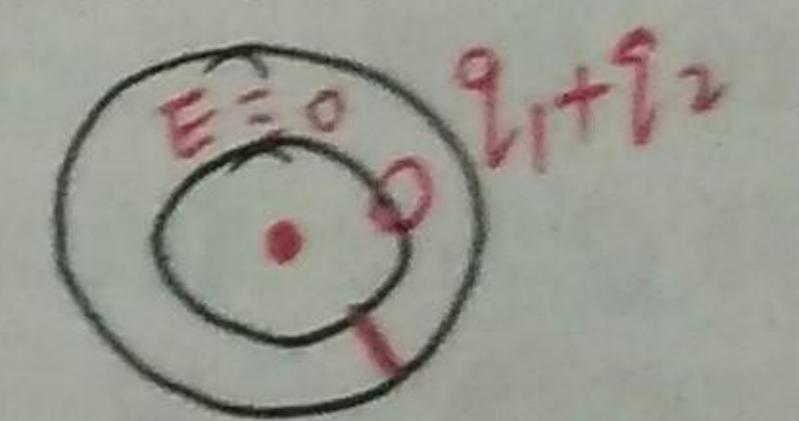


$(\sigma_1 + \sigma_2)S = Q_1$   
 $\sigma_2 + \sigma_3 = 0$   
 $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 = 0$   
 $\sigma_1 = \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4$

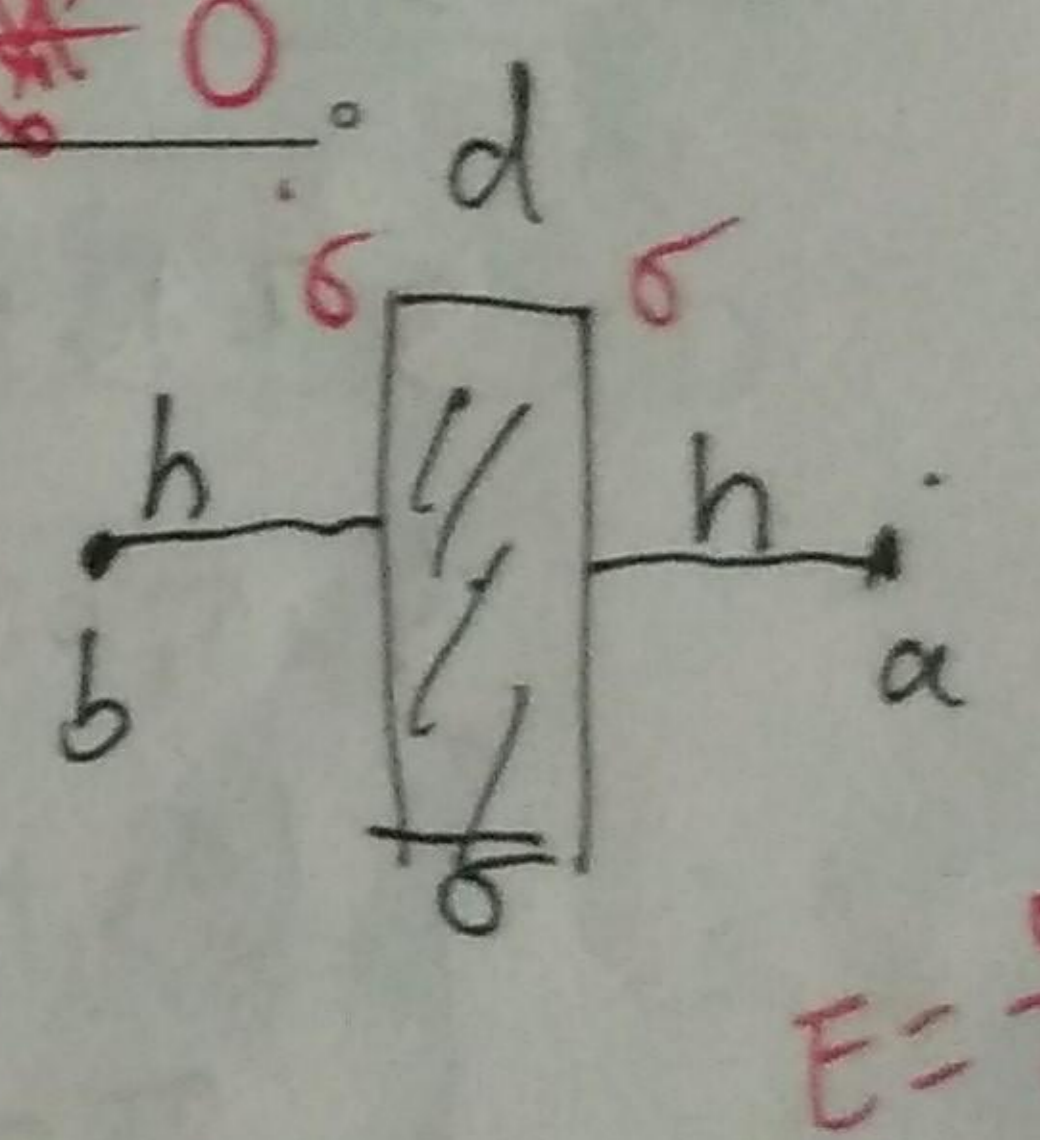
- A、内表面均匀, 外表面也均匀。
- B、内表面不均匀, 外表面均匀。
- C、内表面均匀, 外表面不均匀。
- D、内表面不均匀, 外表面不均匀。

5. 一椭球形金属导体的两点  $a, b$  的电荷面密度分别为  $\sigma_1, \sigma_2$ , 则  $a$  点附近的导体内外的电场强度分别是:  $0, \frac{\sigma_1}{\epsilon_0}$ , 若  $\sigma_1 > \sigma_2$ , 则曲率较大的点是 a 点。

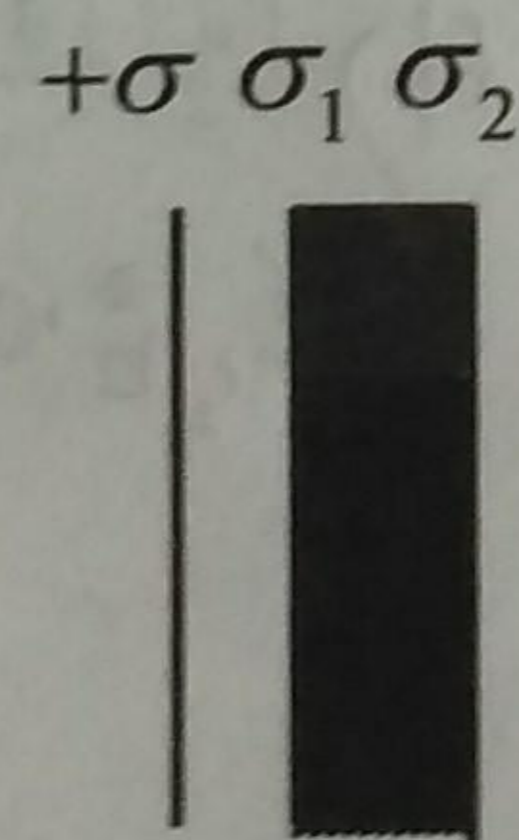
6. 两个同心薄导体球壳, 半径分别是  $R_1, R_2$  ( $R_1 < R_2$ ), 分别带电量  $q_1$  和  $q_2$ , 现用导线将两球连接, 则连接后的导体球的电势为  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 + q_2}{R_2}$  (以无限远处为势能零点)。



7. 一厚度为  $d$  的无限大导体平板, 电荷面密度为  $\sigma$ , 则板的两侧距板平面为  $h$  的两点  $a$  和  $b$  的电势差为 0。



3. 一无限大均匀带电平面 A, 所带电荷面密度为  $\sigma$ , 在附近放入一厚度为  $d$  的无限大导体, 两导体面平行, 则导体 B 上的两个面上的感生电荷面密度分别为: [ B ]

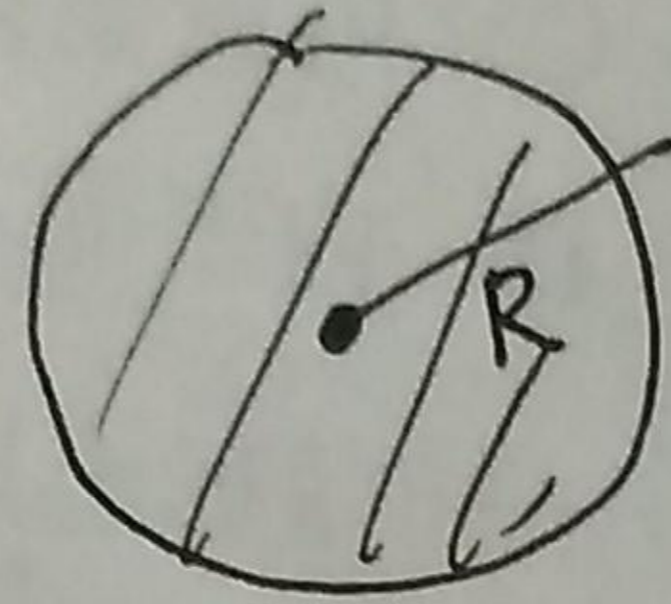


- A  $\sigma_1 = -\sigma \quad \sigma_2 = +\sigma$
- B  $\sigma_1 = -\frac{1}{2}\sigma \quad \sigma_2 = \frac{1}{2}\sigma$
- C  $\sigma_1 = -\frac{1}{2}\sigma \quad \sigma_2 = -\frac{1}{2}\sigma$
- D  $\sigma_1 = -\sigma \quad \sigma_2 = 0$

4. 在一个孤立的导体球壳内在偏离球心处放入一点电荷, 则在球壳内外将出现感应电荷, 其分布将是: [ B ]

8. 一孤立金属球, 带有电荷  $1.2 \times 10^{-8} \text{ C}$ , 已知当电场强度的大小为  $3 \times 10^6 \text{ V/m}$  时, 空气将被击穿. 若要空气不被击穿, 则金属球的半径至少大于多少?

$$E = \begin{cases} 0 & r < R \\ \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} & r \geq R \end{cases}$$



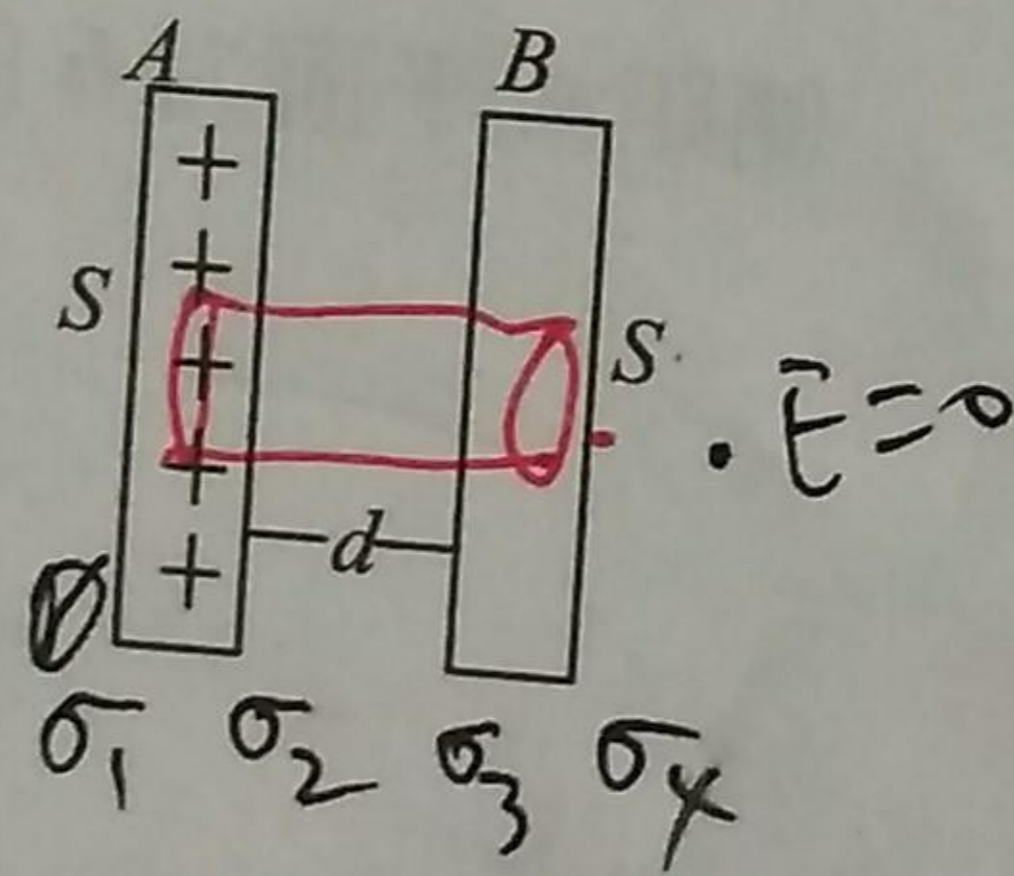
$$E_{\text{表}} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} < 3 \times 10^6 \text{ V/m}$$

$$\Rightarrow R \geq \sqrt{\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 E_{\text{max}}}} \approx 6 \times 10^{-3} \text{ m}$$

10. 如图, 把一块原来不带电的金属板 B, 移近一块已带有正电荷 Q 的金属板 A, 平行放置. 设两板面积都是 S, 板间距离是 d, 忽略边缘效应. 当 B 板不接地时, 两板间电势差  $U_{AB} = ?$  B 板接地时两板间电势差  $U'_{AB} = ?$

(1) B 不接地.  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$  4个量.

$$\begin{cases} \sigma_1 + \sigma_2 = 0 & \text{电荷守恒} \\ (\sigma_3 + \sigma_4)S = Q & \text{电荷守恒} \\ \sigma_2 = -\sigma_3 & \text{高斯定理} \end{cases}$$



$$\Rightarrow U_{AB} = E \cdot d = \frac{\sigma_2}{\epsilon_0} \cdot d = \frac{Qd}{2\epsilon_0 S}$$

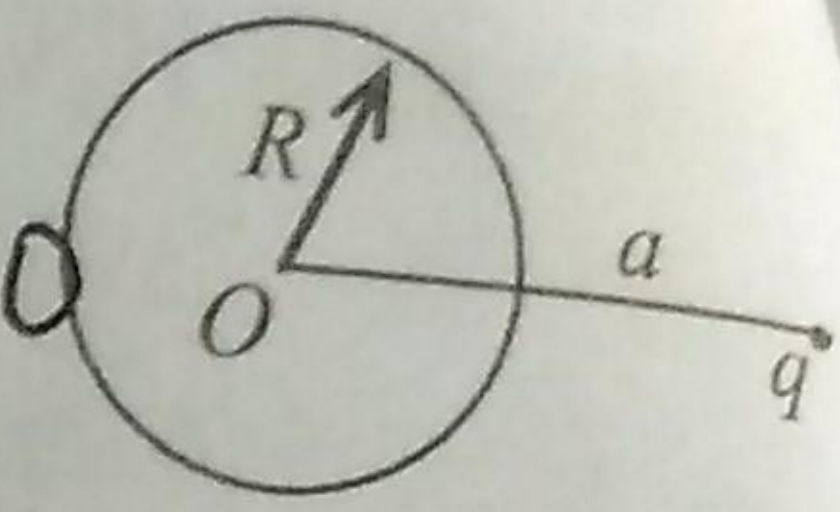
$$\Rightarrow \sigma_1 = \frac{Q}{2S}, \sigma_2 = \frac{Q}{2S}, \sigma_3 = -\frac{Q}{2S}, \sigma_4 = \frac{Q}{2S}$$

(2) B 接地

$$\begin{cases} \sigma_1 + \sigma_2 = 0 & \text{电荷守恒} \\ \sigma_2 + \sigma_3 = 0 & \text{高斯定理} \\ \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 = 0 & \text{电荷守恒, B内 } E=0 \\ \sigma_1 = \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 & \text{电荷守恒, A内 } E=0 \end{cases}$$

11. 真空中一半径为 R 的未带电的导体球, 在离球心 O 的距离 a 处 ( $a > R$ ) 放一点电荷 q, 如图所示. 设无穷远处电势为零, 则体球的电势等于多少?

$$V_{\text{球体}} = V_O = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a} + \int_S \frac{dq'}{4\pi\epsilon_0 R} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a} + 0 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a}$$



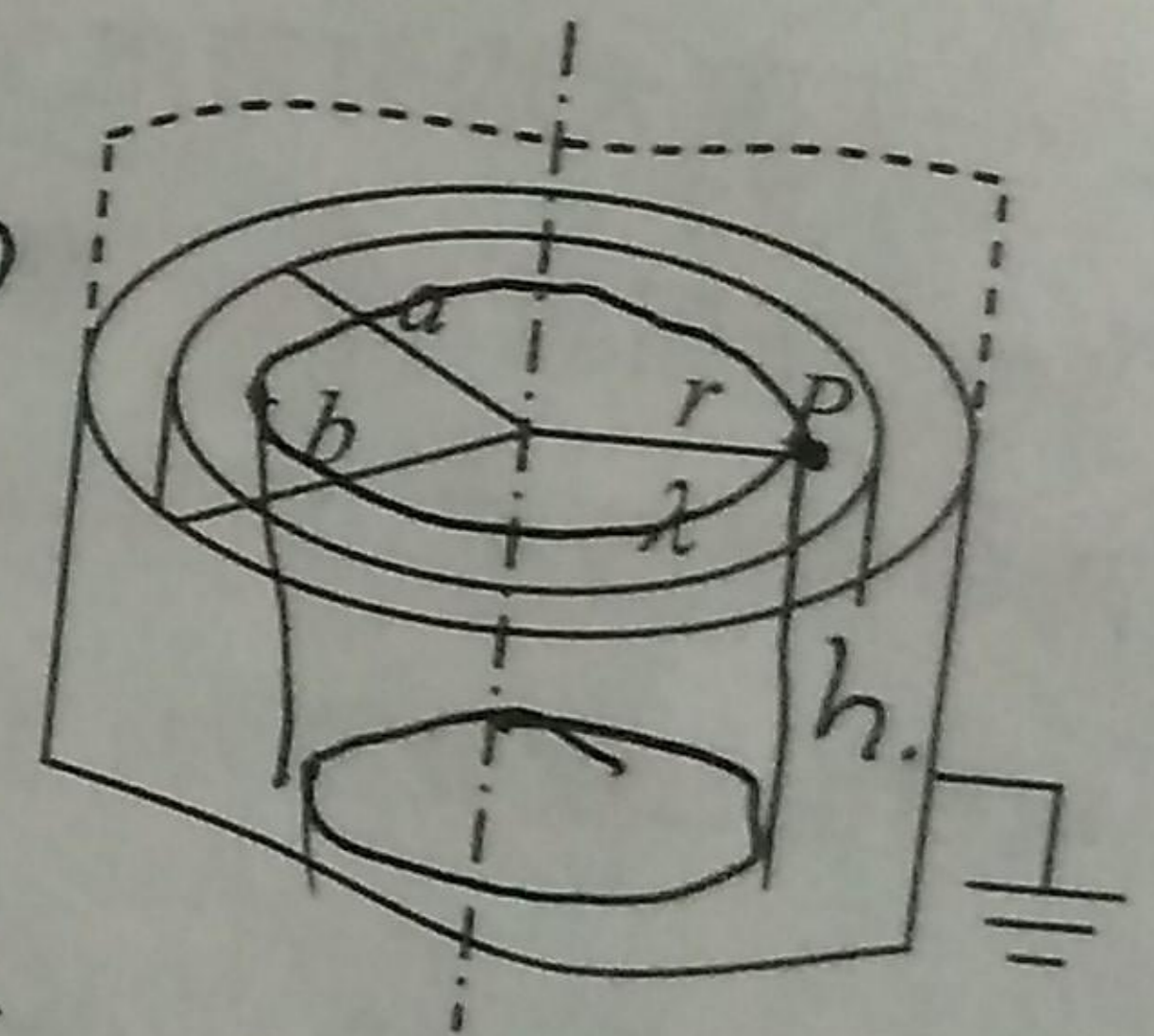
12. 如图所示, 一半径为 a 的“无限长”圆柱面上均匀带电, 其电荷线密度为  $\lambda$ . 在它外面同轴地套一半径为 b 的薄金属圆筒, 圆筒原先不带电, 但与地连接. 设地的电势为零, 则在内圆柱面里面、距离轴线为 r 的 P 点的场强大小和电势分布为多少?

(1) 圆柱面高斯面.

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{\sum q}{\epsilon_0} \Rightarrow E \cdot 2\pi r h = 0$$

$$\Rightarrow E_P = 0 \quad (r < a)$$

$$(2) E = \begin{cases} 0 & (r < a) \\ \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} & (a < r < b) \end{cases}$$



$$V_P = \int_P^a \vec{E} \cdot d\vec{r} + \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{r} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{b}{a}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \sigma_1 = 0 \\ \sigma_2 = \frac{Q}{S} \\ \sigma_3 = -\frac{Q}{S} \\ \sigma_4 = 0 \end{cases} \rightarrow U'_{AB} = \frac{\sigma_2'}{\epsilon_0} \cdot d = \frac{Qd}{\epsilon_0 S}$$

## 第二节 静电场中的电介质

1. 关于介质中的高斯定理, 下列说法中正确的是 [ B ]

A 高斯面内不包围自由电荷, 则面上各点电位移矢量  $\vec{D}$  为零.

B 高斯面的  $\vec{D}$  通量仅与面内自由电荷有关.

C 高斯面上处处  $\vec{D}$  为零, 则面内必不存在自由电荷.

D 以上说法都不正确.

2. 有一导体球外充满相对电容率为  $\epsilon_r$  的均匀电介质, 已知球表面附近的场强为  $E$ , 则球面上的自由电荷面密度  $\sigma$  为 [ A ]

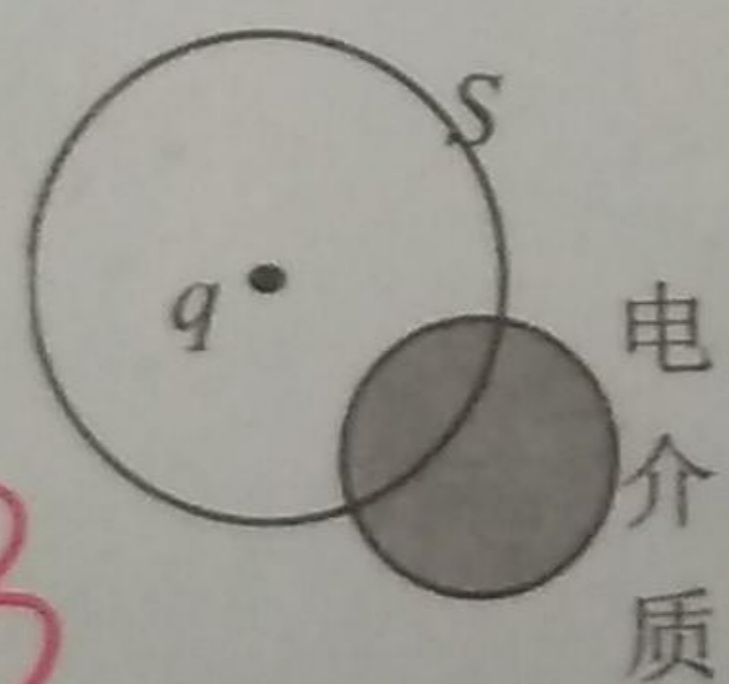
A  $\epsilon_0 \epsilon_r E$ .

B  $\epsilon_0 E$ .

C  $\epsilon_r E$ .

D  $(\epsilon_0 \epsilon_r - \epsilon_0) E$ .

3. 在一点电荷  $q$  产生的静电场中, 一块电介质如图放置, 以点电荷所在处为球心作一球形闭合面  $S$ , 则对此闭合面:



A 高斯定理成立, 且可用它求出闭合面上各点的场强.

B 高斯定理成立, 但不能用它求出闭合面上各点的场强. *不均匀*

C 电介质不对称分布, 高斯定理不成立.

D 使电介质对称分布, 高斯定理也不成立.

4. 在各向同性的电介质中, 当外电场不是很强时, 电极化强度

$\vec{P} = \epsilon_0 \chi_e \vec{E}$ , 式中的  $\vec{E}$  应是由 [ C ]

A 自由电荷产生的.

B 束缚电荷产生的.

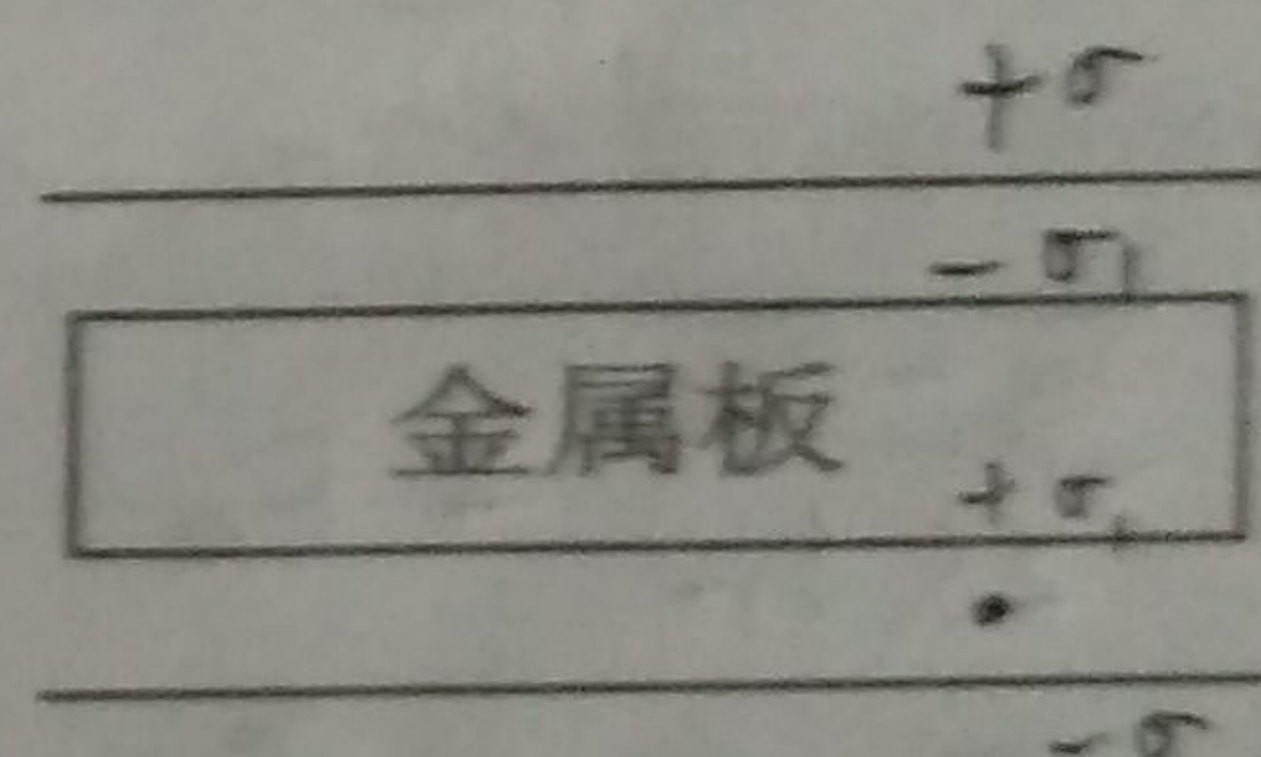
C 自由电荷与束缚电荷共同产生的.

D 当地的分子电偶极子产生的.

5. 一平行板电容器始终与端电压一定的电源相联. 当电容器两极板间为真空时, 电场强度为  $\vec{E}_0$ , 电位移为  $\vec{D}_0$ , 而当两极板间充满相对介电常量为  $\epsilon_r$  的各向同性均匀电介质时, 电场强度  $\vec{E} = \vec{E}_0$ , 电位移  $\vec{D} = \epsilon_r \vec{D}_0$ .

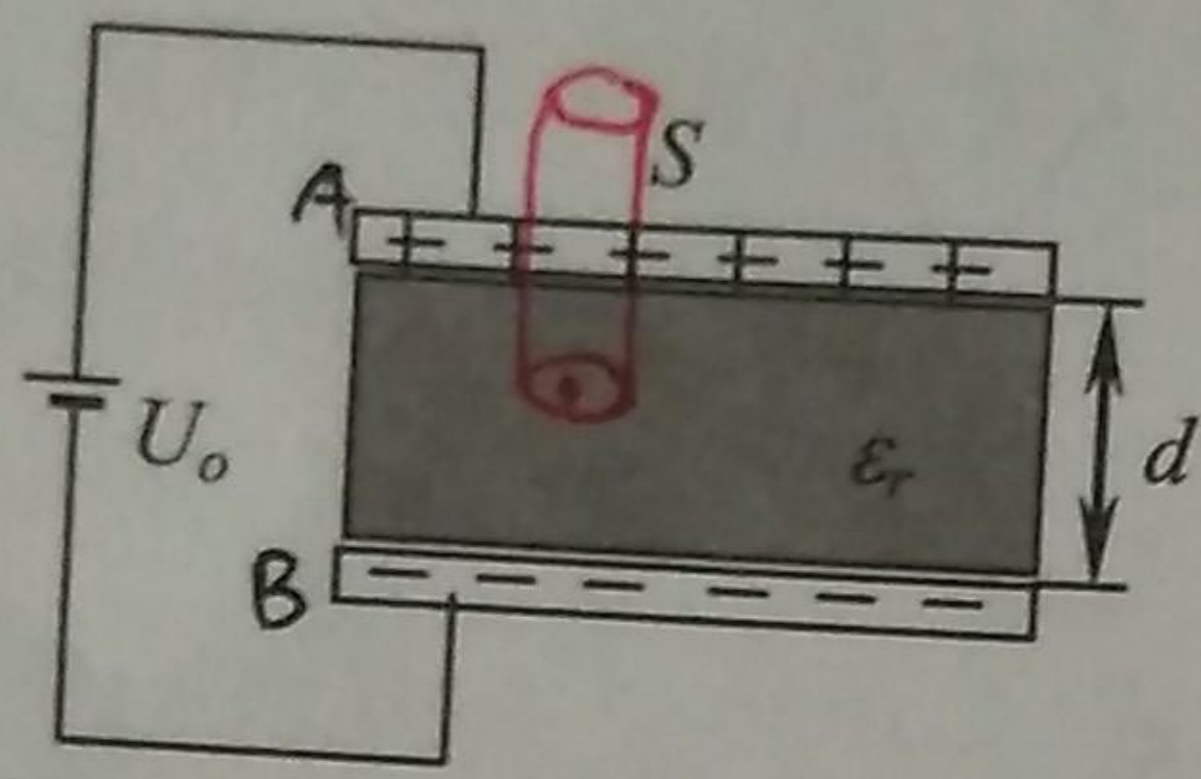
6. 将一空气平行板电容器接到

电源上并充电到一定电压后, 断开电源. 再将一块与极板面积相同的金属板平行地插入两极板之间, 如图所示, 插入金属板后的场强比插入前的 (变大, 变小, 不变) 不变, 其值与金属板所放的位置 (有关, 无关) 无关.



7. 将一平行板电容器连接到端电压为  $U_0$  的电源上, 然后在两板间充满各向同性的均匀电介质 (相对电容率为  $\epsilon_r$ ), 求 (1) 介质中的、电场强度  $\vec{E}$  和电极化强度  $\vec{P}$ ; (2) 介质表面的极化电荷面密度。

$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{s} = \sum_{S_{内}} q$  (S取圆柱面)  
 $\Rightarrow D = \frac{q}{S} = \sigma$

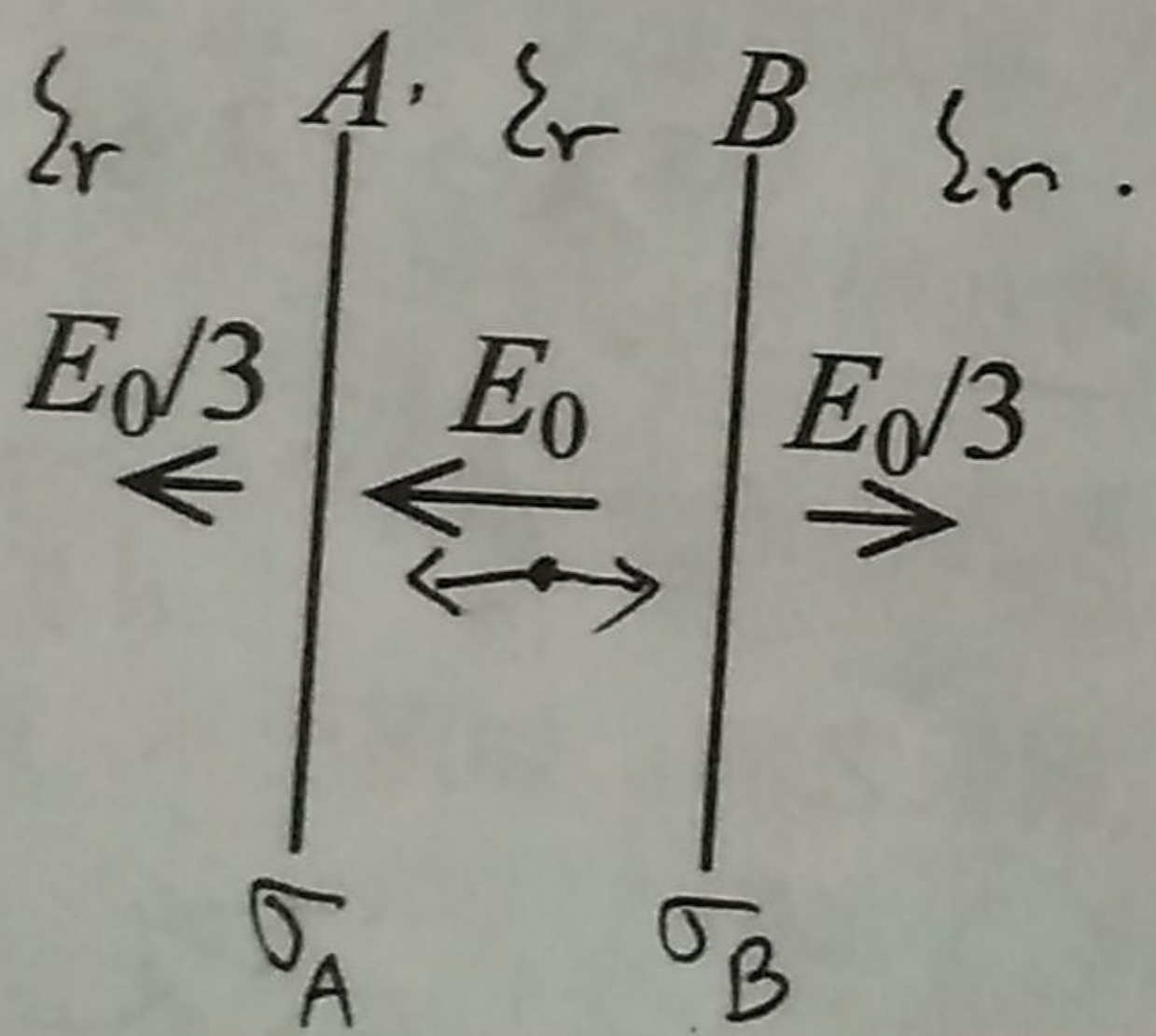


$D = \epsilon E = \epsilon_0 \epsilon_r E \quad \therefore E = \frac{D}{\epsilon_0 \epsilon_r} = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon_r}$  ①

$U_0$  不变,  $U_0 = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r} = Ed \quad \therefore E = \frac{U_0}{d}$  ②  $\Rightarrow P = \chi_e \epsilon_0 E = \epsilon_0 (\epsilon_r - 1) E$   
 联立①②有  $\frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon_r} = \frac{U_0}{d} \quad \therefore P = \chi_e \epsilon_0 E = \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r} \sigma$

8. A、B 为两块无限大均匀带电平行薄平板, 两板间和左右两侧充满相对介电常量为  $\epsilon_r$  的各向同性均匀电介质. 已知两板间的场强大小为  $E_0$ , 两板外的场强均为  $E_0/3$ , 方向如图. 则 A、B 两板所带电荷面密度  $\sigma_A$ 、 $\sigma_B$  各为多少?

$$\begin{cases} \frac{\sigma_B - \sigma_A}{2\epsilon_0 \epsilon_r} = E_0 \\ \frac{\sigma_A + \sigma_B}{2\epsilon_0 \epsilon_r} = \frac{E_0}{3} \end{cases}$$

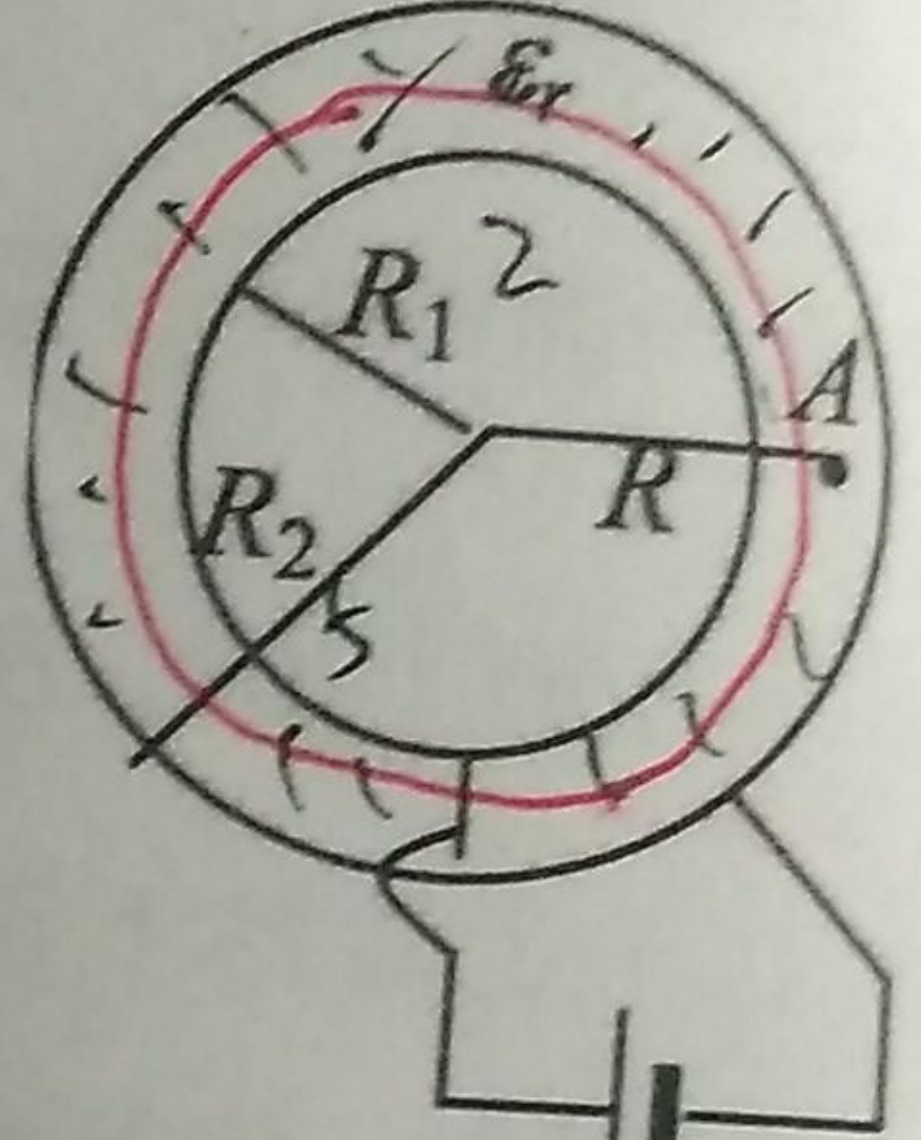


注意: 无限大带电平面  
 在空间一点场强  
 $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0 \epsilon_r}$  ( $\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{s} = \sum_{S_{内}} q \Rightarrow D = \sigma$ )  
 $E = \frac{D}{\epsilon}$

9. 一电容器由两个很长的同轴薄圆筒组成, 内、外圆筒半径分别为  $R_1 = 2 \text{ cm}$ ,  $R_2 = 5 \text{ cm}$ , 其间充满相对介电常量为  $\epsilon_r$  的各向同性、均匀电介质. 电容器接在电压  $U = 32 \text{ V}$  的电源上 (如图所示), 试求距离轴线  $R = 3.5 \text{ cm}$  处的 A 点的电场强度和 A 点与外筒间的电势差.

$U_{R_1 R_2} = V_{R_1} - V_{R_2} = 32 \quad \because 2 < 3.5 < 5$

设圆筒轴向线电荷密度为  $\lambda$ .  
 作圆柱面高斯面 ( $R_1 < r < R_2$ )



$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{s} = \sum_{S_{内}} q$

$\therefore D \cdot 2\pi r \cdot l = l \cdot \lambda \quad (l \text{ 取沿轴线长度})$

$\therefore D = \frac{\lambda}{2\pi r}$

$\therefore D = \epsilon_0 \epsilon_r E \quad \therefore E = \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r r} \quad (R_1 < r < R_2)$

$\therefore U_{R_1 R_2} = \int_{R_1}^{R_2} \vec{E} \cdot d\vec{r} = \int_{R_1}^{R_2} \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r r} dr = 32$

$\therefore \lambda = \frac{64\pi \epsilon_0 \epsilon_r}{\ln 2.5}$

$E_A = \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r R_A} = 998.1 \text{ (V/m)}$

$U_{A \rightarrow \text{外筒}} = \int_{R_A}^{R_2} \vec{E} \cdot d\vec{r} = 12.46 \text{ V}$

### 第三节 电容 静电场中的能量

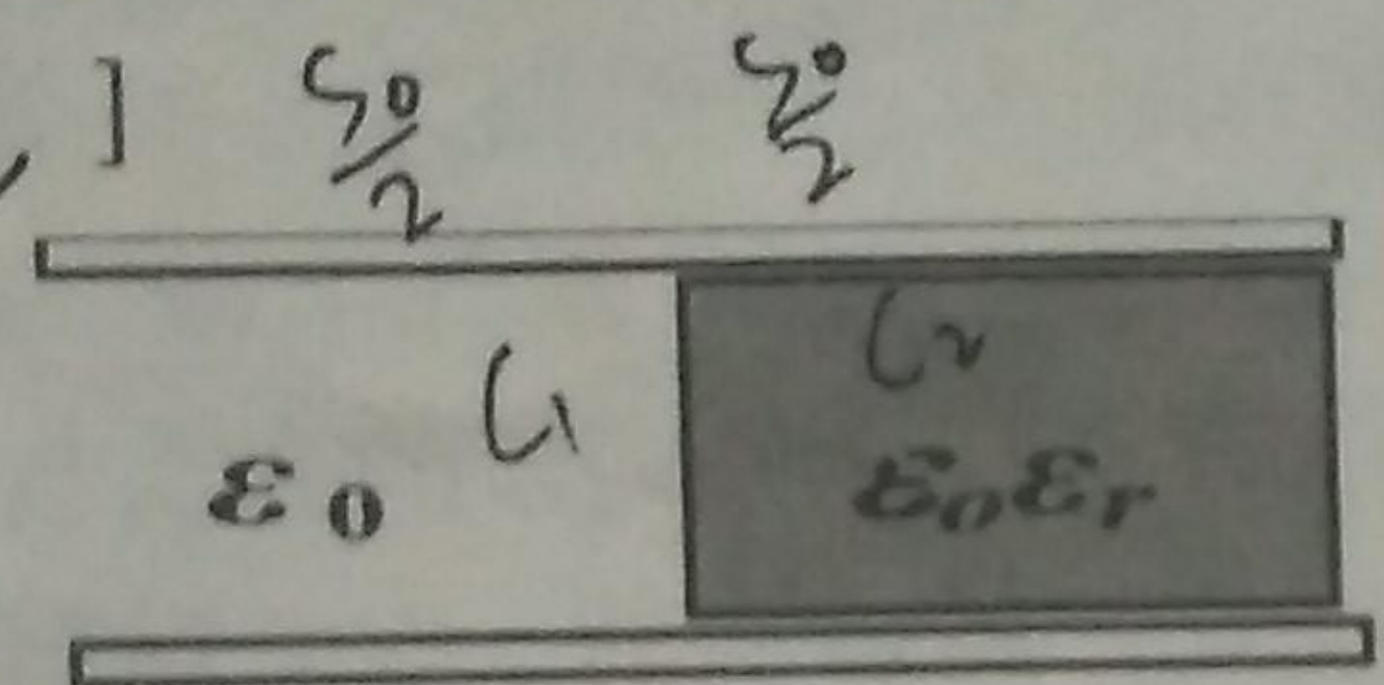
1. 平行板电容器极板面积为  $S$ , 间距为  $d$ , 现将相对电容率为  $\epsilon_r$  的各向同性均匀电介质充满电容器的一半空间, 如图。则电容器的电容变为

A  $\frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d}$ ;

B  $\frac{\epsilon_0 (\epsilon_r + 1) S}{d}$ ;

C  $\frac{\epsilon_0 (\epsilon_r + 1) S}{2d}$ ;

D  $\frac{(\epsilon_r + 1) S}{d}$



$C = C_1 + C_2$

$C_1 = \frac{\epsilon_0 S}{d}$   
 $C_2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d}$

2. 一平行板电容器充电后仍与电源连接, 若用绝缘手柄将电容器两极板间距离拉大, 则极板上的电荷  $Q$ 、电场强度的大小  $E$  和电场能量  $W$  将发生如下变化

A  $Q$  增大,  $E$  增大,  $W$  增大;

B  $Q$  减小,  $E$  减小,  $W$  减小;

C  $Q$  增大,  $E$  减小,  $W$  增大;

D  $Q$  增大,  $E$  增大,  $W$  减小.

$U = Ed \uparrow$   
 $C = \frac{\epsilon S}{d} \downarrow$   
 $W = \frac{1}{2} CU^2 \downarrow$

3.  $C_1$  和  $C_2$  两个电容器, 其上分别标明 200 pF(电容量)、500 V(耐压值)和 300 pF、900 V. 把它们串连起来在两端加上 1000 V 电压, 则

A  $C_1$  被击穿,  $C_2$  不被击穿.

B  $C_2$  被击穿,  $C_1$  不被击穿.

C 两者都被击穿.

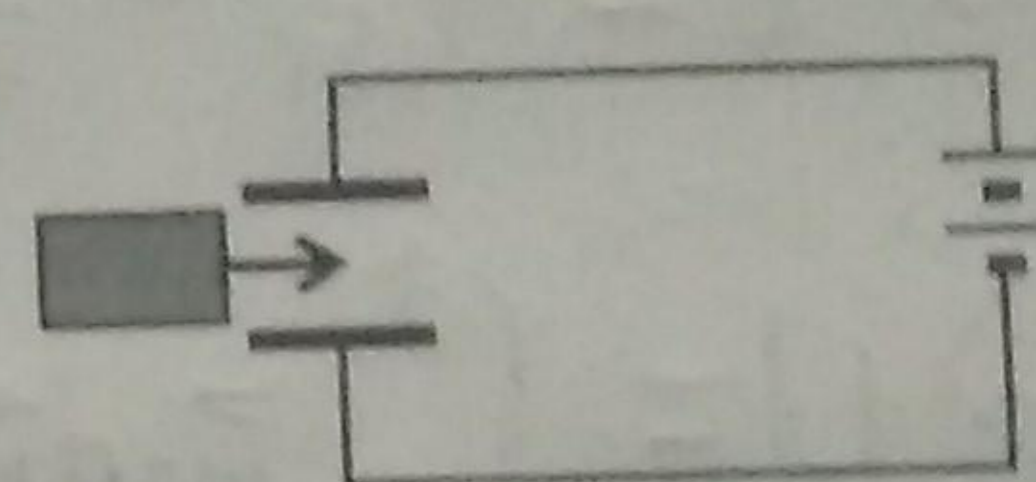
D 两者都不被击穿.

$U_1 + U_2 = 1000$   
 $200U_1 = 300U_2$   
 $\Rightarrow U_1 = 600 \rightarrow C_1 \text{ 被击穿} \rightarrow \text{变为导体}$   
 $U_2 = 400 \rightarrow U_2 = 1000 \text{ 亦被击穿}$

4. 一空气平行板电容器, 接电源充电后电容器中储存的能量为  $W_0$ . 在电源断开的条件下, 在两极板间充满相对介电常量为  $\epsilon_r$  的各向同性均匀电介质, 则该电容器中储存的能量  $W$  是  $W_0$  的  $\frac{1}{\epsilon_r}$  倍.

$W = \frac{Q^2}{2C}$   
 $C = \frac{\epsilon S}{d}$   
 $C \text{ 由 } \frac{\epsilon_0 S}{d} \text{ 变为 } \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d}$

6. 电容为  $C_0$  的平板电容器, 接在电路中, 如图所示. 若将相对电容率为  $\epsilon_r$  的各向同性均匀电介质插入电容器中(填满空间), 则此时电容器的电容为原来的  $\epsilon_r$  倍, 电场能量是原来的  $\epsilon_r$  倍.



7. 真空中有“孤立的”均匀带电球体和一均匀带电球面, 如果它们的半径和所带的电荷都相等, 则球体的静电能 大于 球面的静电能 (选填: 大于、小于、等于)

$W = \int \frac{1}{2} \epsilon E^2 dV$   
 球体内有电场能  
 球面内没有.

8. 一同轴电缆其芯线为  $R_1$  的铜导线, 外导体为  $R_2$  的铜箔, 其间充满各向同性均匀电介质 (相对电容率为  $\epsilon_r$ , 击穿电场强度为  $E_{max}$ ), (1) 求电缆能够承受的最高电压  $U$ ; (2) 当电压增高时介质哪一点先被击穿?

圆柱面高斯面  $\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{s} = \sum q$

$$R_1 < r < R_2, \quad D \cdot 2\pi r h = \lambda h \Rightarrow D = \frac{\lambda}{2\pi r}$$

$$\Rightarrow E = \frac{D}{\sum \epsilon_r} = \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r r}$$

$$\Rightarrow U = \int_{R_1}^{R_2} \vec{E} \cdot d\vec{r} = \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \cdot \ln \frac{R_2}{R_1}$$

$r = R_1$  处  $E$  最大  $E(R_1) = \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r R_1} \leq E_{max}$

$$\Rightarrow \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \leq E_{max} R_1$$

$$\Rightarrow U_{max} = E_{max} R_1 \cdot \ln \frac{R_2}{R_1} \quad (2) \text{ } R_1 \text{ 处先被击穿.}$$

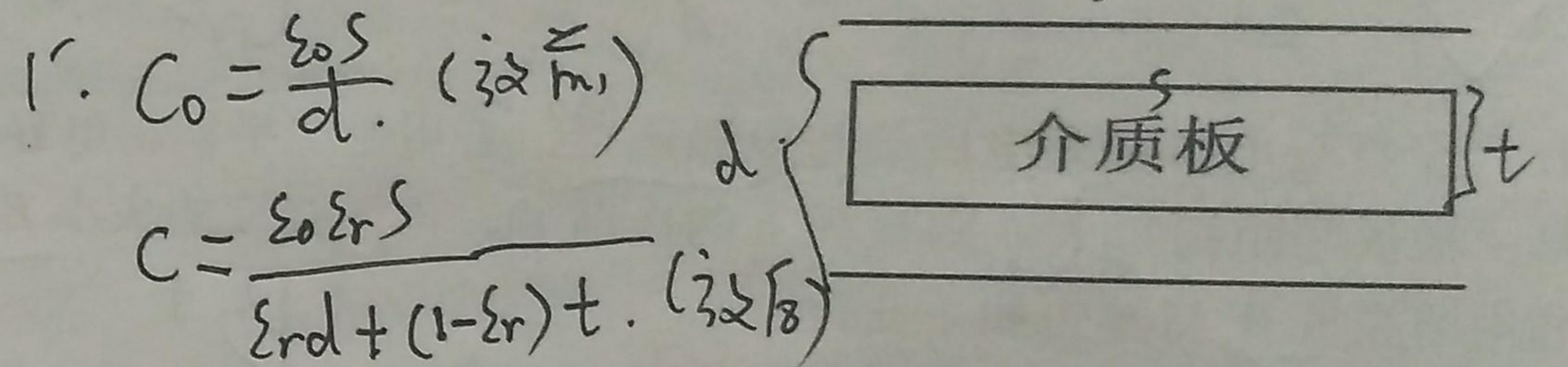
10. 一半径为  $R$  金属球, 在真空中充电到势值  $U_0$ . 若断开电源, 使其上所带电荷保持不变, 并把它浸没在相对介电常量为  $\epsilon_r$  的无限大的各向同性均匀液态电介质中, 问这时电场总能量有多大?

金属球表面电荷量  $Q = C_0 U_0 = 4\pi \epsilon_0 R \cdot U_0$  不变.

浸没至电介质:  $C = 4\pi \epsilon_0 \epsilon_r R$

$$W_e = \frac{Q^2}{2C} = \frac{2\pi \epsilon_0 R U_0^2}{\epsilon_r}$$

11. 将一极板间距为  $d$ 、面积为  $S$  的空气平行板电容器接到电源上, 充电到电压为  $U_0$  后, 断开电源. 再将一块与极板面积相同、厚度为  $t$  的相对介电常量为  $\epsilon_r$  的介质板平行地插入两极板之间, 如图所示. 放入介质板的前、后电容器的储能各为多少? 所储电能与介质板相对极板的位置是否有关? 若保持与端电压为  $U_0$  的电源连接, 则上述结果又如何?



(1)  $Q = C_0 U_0$  不变  $W_0 = \frac{1}{2} C_0 U_0^2 = \frac{\epsilon_0 S}{2d} U_0^2$

不变:  $W = \frac{Q^2}{2C} = \frac{\epsilon_0 S U_0^2}{2[\epsilon_r d + (1 - \epsilon_r)t]}$

与介质板位置无关

(2)  $U_0$  不变  $W_0 = \frac{1}{2} C_0 U_0^2 = \frac{\epsilon_0 S}{2d} U_0^2$

不变:  $W = \frac{1}{2} C U_0^2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S U_0^2}{2[\epsilon_r d + (1 - \epsilon_r)t]}$

(C) 如高斯面上  $E$  处处不为零, 则高斯面内必有电荷;

(D) 如高斯面内有净电荷, 则通过高斯面的电通量必不为零.

二. 填空题

1. 一均匀带电直线长为  $d$ , 电荷线密度为  $+\lambda$ , 以导线中点  $O$  为球心,  $R$  为半径 ( $R > d/2$ ) 作一球面, 如图 4 所示, 则通过该球面的电场强度通量为  $\frac{\lambda d}{\epsilon_0}$ , 带电直线的延长线与球面交点  $P$  处的电场强度的大小为  $\frac{\lambda d}{2\epsilon_0(4R^2 - d^2)}$  方向  $O \rightarrow P$ .

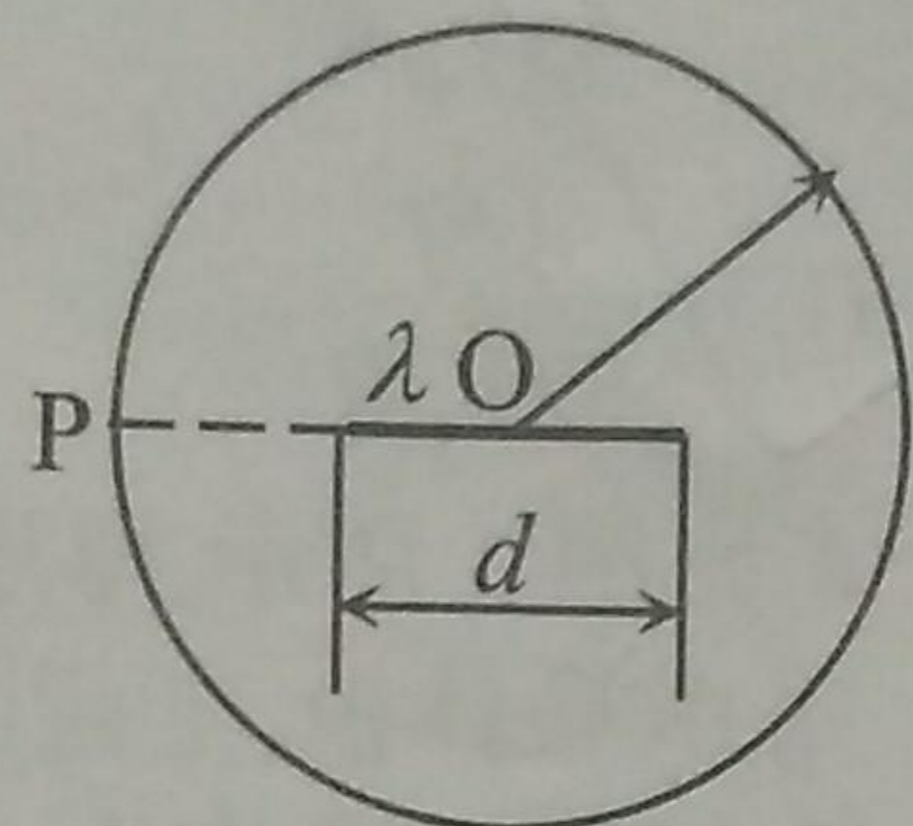


图 4

2. 一空气平行板容器, 两板相距为  $d$ , 与一电池连接时两板之间相互作用力的大小为  $F$ , 在与电池保持连接的情况下, 将两板距离拉开到  $2d$ , 则两板之间的相互作用力的大小是  $F/4$ .

3. 电量分别为  $q_1, q_2, q_3$  的三个点电荷分别位于同一圆周的三个点上, 如图 5 所示, 设无穷远处为电势零点, 圆半径为  $R$ , 则  $b$  点处的电势  $U = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} (\sqrt{2}q_1 + q_2 + \sqrt{2}q_3)$

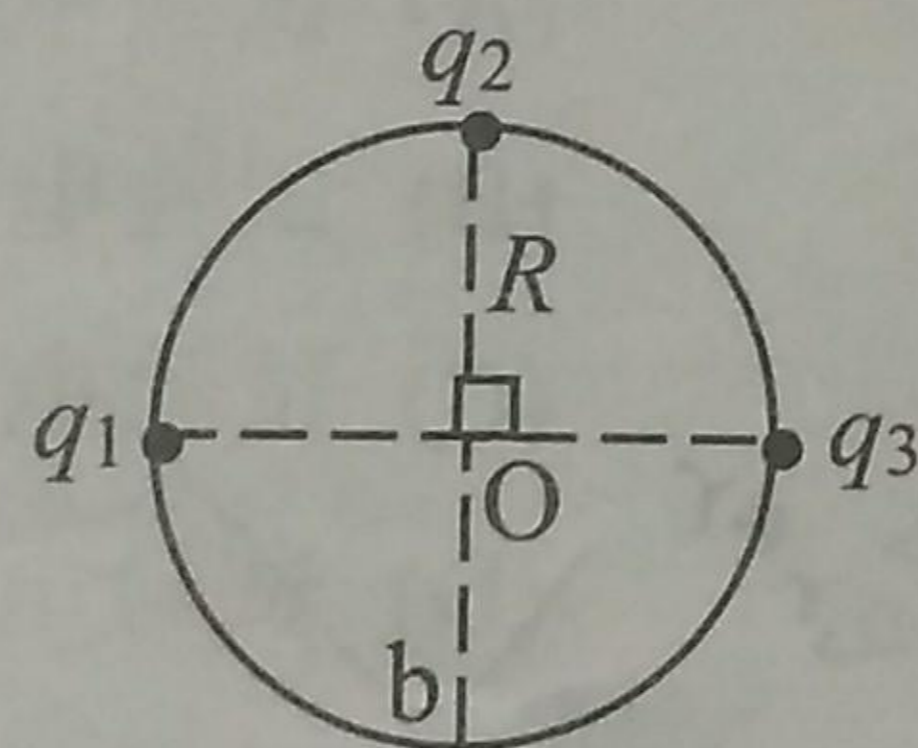


图 5

4. 图 6 所示为某电荷系形成的电场中的电力线示意图, 已知 A 点处有电量为  $Q$  的点电荷, 则从电力可判断 B 处存在一

(填正、负) 的点电荷; 其电量  $|q|$   $<$  (填  $>, <, =$ )  $Q$ .

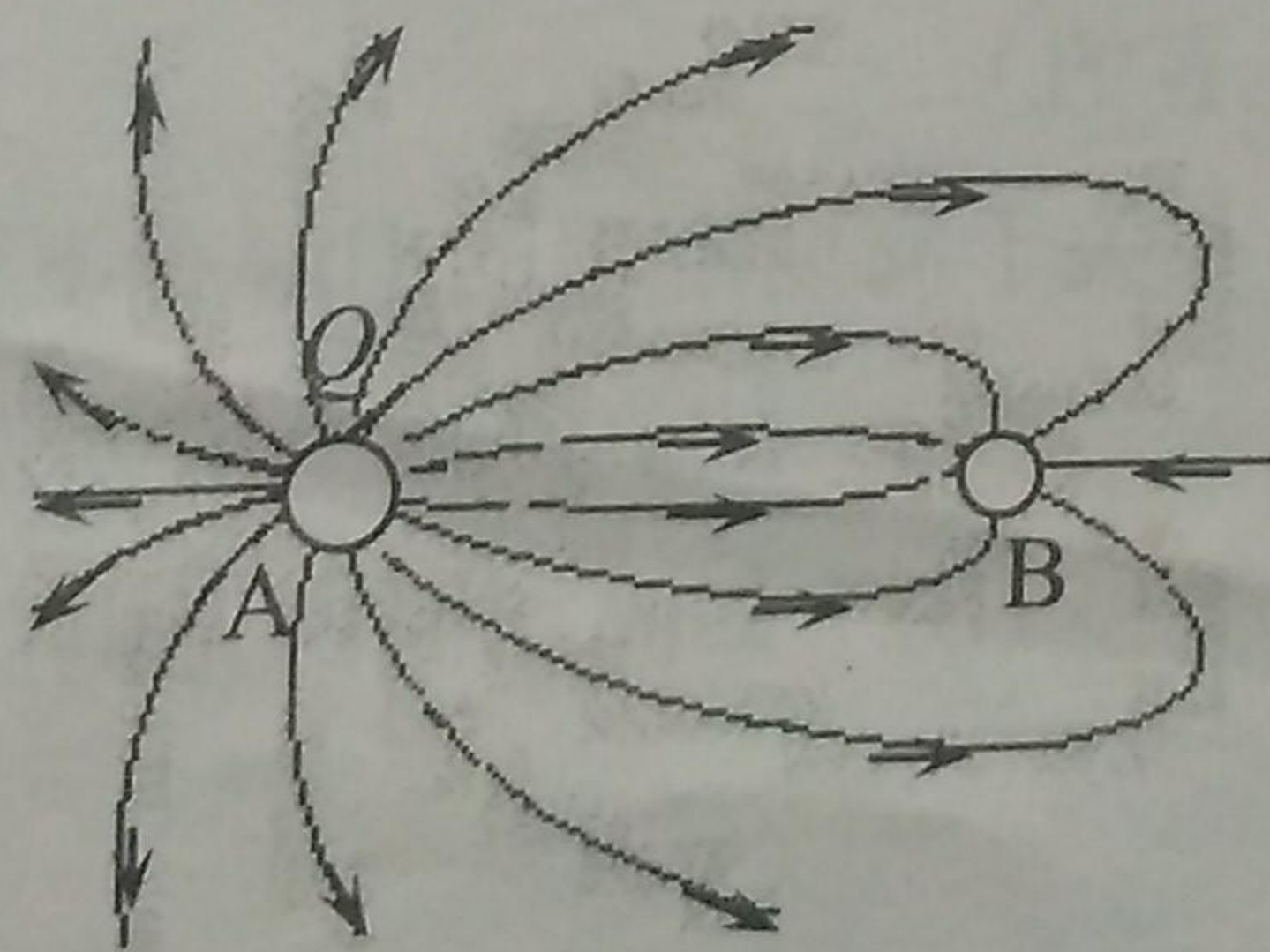
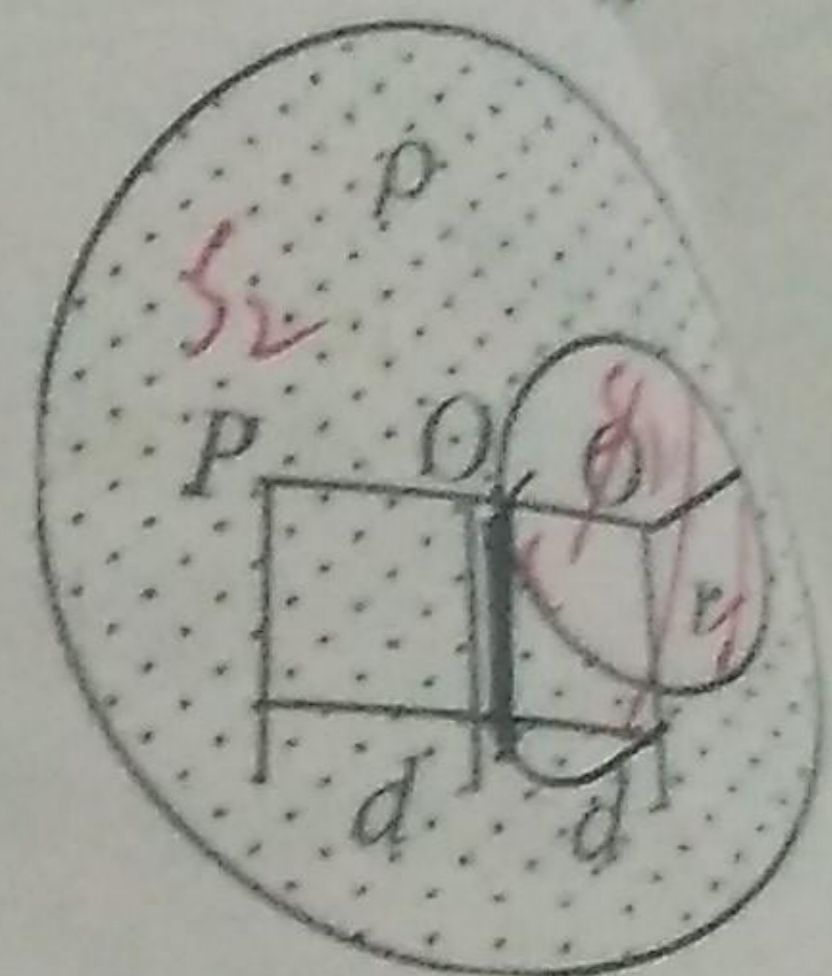


图 6

三. 一球体内均匀分布着电荷体密度为  $\rho$  的正电荷, 电荷分布不变, 在该球体挖去半径为  $r$  的一个小球体, 球心为  $O'$ , 两球心间距离  $\overline{OO'} = d$ , 如图所示. 求: (1) 在球形空腔内, 球心  $O'$  处的电场强度  $\vec{E}_0$ . (2) 在球体内  $P$  点处的电场强度  $\vec{E}$ . 设  $O', O, P$  三点在同一直径上, 且  $\overline{OP} = d$ .



且  $\overline{OP} = d$ .  $S = S_1 + S_2$

$$\begin{aligned} \oint_{S_1} \vec{E} \cdot d\vec{S} &= \frac{1}{\epsilon_0} \rho \cdot \frac{4}{3} \pi d^3 \\ \Rightarrow E \cdot 4\pi d^2 &= \frac{1}{\epsilon_0} \rho \cdot \frac{4}{3} \pi d^3 \Rightarrow E = \frac{\rho d}{3\epsilon_0} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \oint_{S_2} \vec{E}' \cdot d\vec{S} &= \frac{1}{\epsilon_0} \rho \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 \Rightarrow E' \cdot 4\pi (2d)^2 \\ &= \frac{1}{\epsilon_0} \rho \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow E' = \frac{\rho r^3}{12\epsilon_0 d^2}$$

$$(1) \vec{E}_{O'} = \frac{\rho d}{3\epsilon_0} - 0 = \frac{\rho d}{3\epsilon_0} \quad (\text{方向: } O \rightarrow O')$$

$$(2) P: \vec{E}_P = \frac{\rho d}{3\epsilon_0} - \frac{\rho r^3}{12\epsilon_0 d^2} = \frac{\rho}{12\epsilon_0 d} (4d^3 - r^3)$$

方向:  $O \rightarrow P$ .



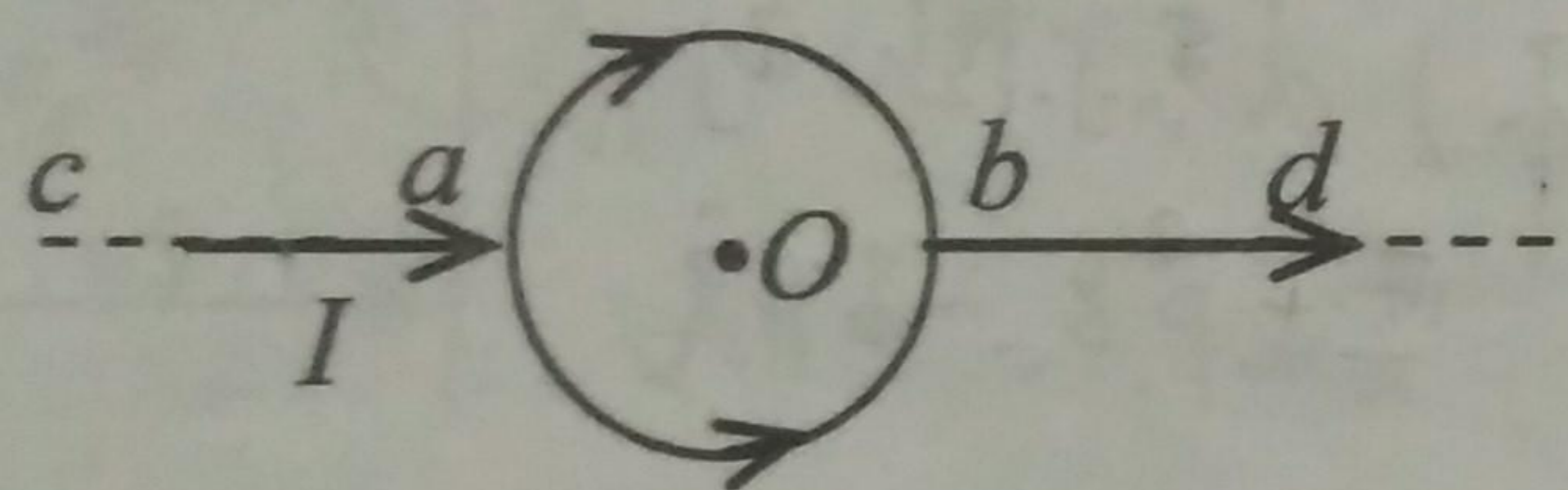
# 稳恒磁场

## 第一节 磁场 磁感应强度 比奥-萨伐尔定律

1. 如图所示, 电流从 a 点分两路通过对称的圆环形分路, 汇合于 b 点. 若 ca、bd 都沿环的径向, 则在圆环中心 O 点处的磁感强度

- A 方向垂直环形分路所在平面且指向纸内;
- B 方向垂直环形分路所在平面且指向纸外;
- C 方向在环形分路所在平面, 且指向 b;
- D 方向在环形分路所在平面内, 且指向 a;
- E 为零.

[ E ]



2. 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

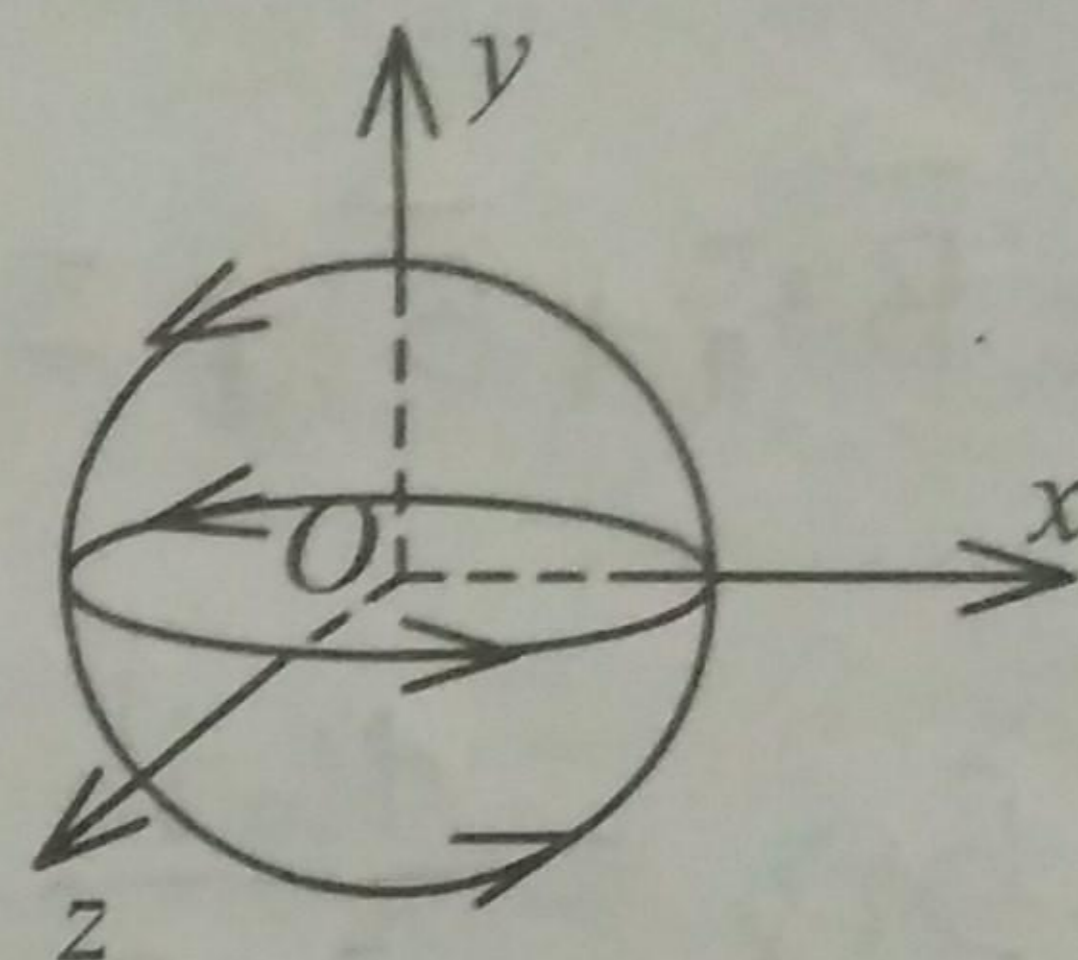
- A  $\frac{\mu_0 I}{4\pi R}$ ;
- B  $\frac{\mu_0 I}{2\pi R}$ ;
- C 0;
- D  $\frac{\mu_0 I}{4R}$ .

[ D ]

3. 一半径  $r=10\text{ cm}$  的细导线圆环, 流过强度  $I=3.0\text{ A}$  的电流, 那么细环中心的磁感强度  $B = \frac{\mu_0 I}{2r} \approx 1.88 \times 10^{-5} \text{ T}$ . (真空中的磁导率  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$ )

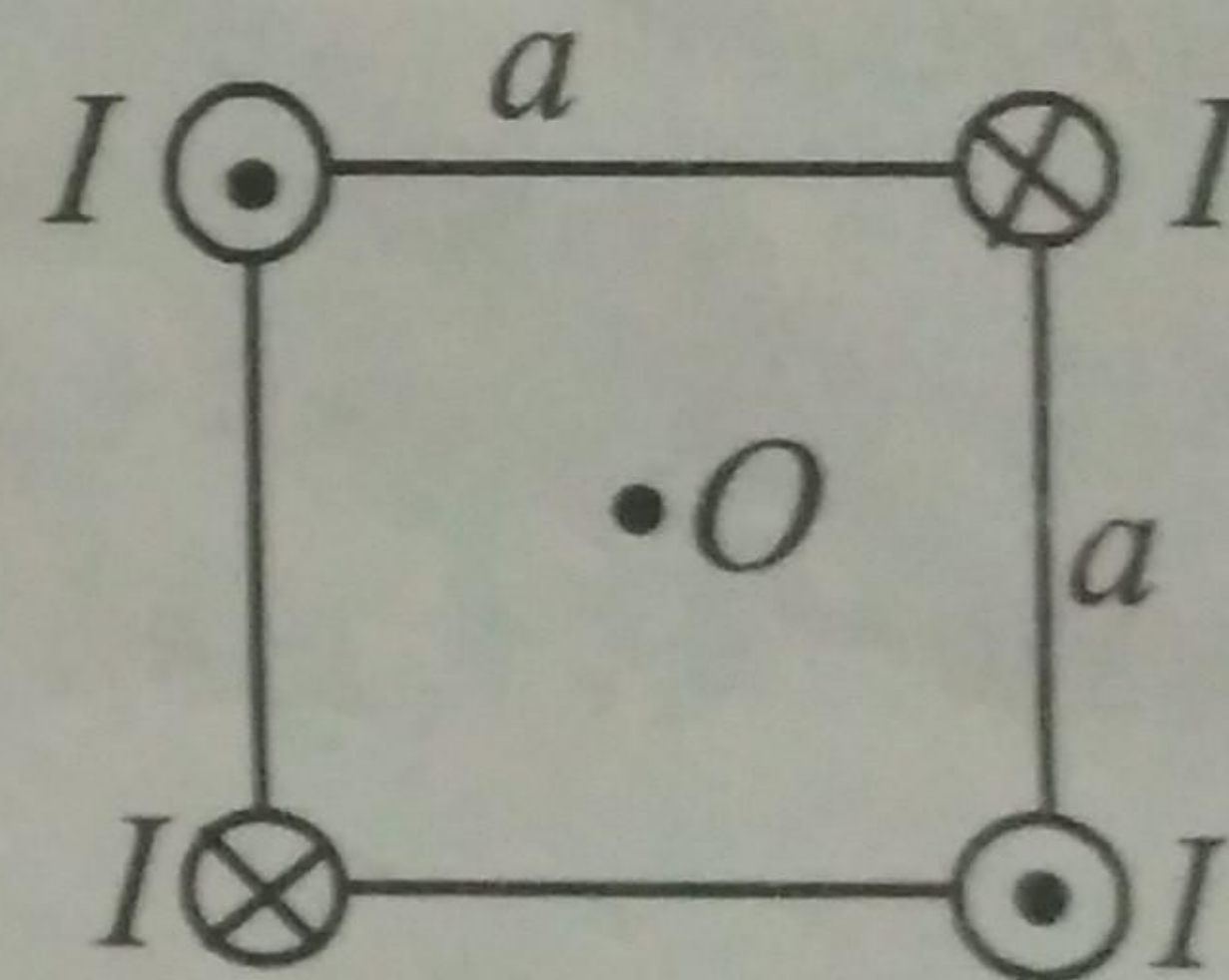
4. 如图所示, 半径为 R 的球面, 在与  $xOy$  和  $xOz$  平面上的两个

圆形交线上分别流有强度为 I 的电流, 其流向各与 y 轴和 z 轴的正方向成右手螺旋关系. 则球心 O 点的磁感强度为  $\frac{\mu_0 I}{2R} (\vec{j} + \vec{k})$ .



5. 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 a 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点 O 的磁感强度的大小为多少?

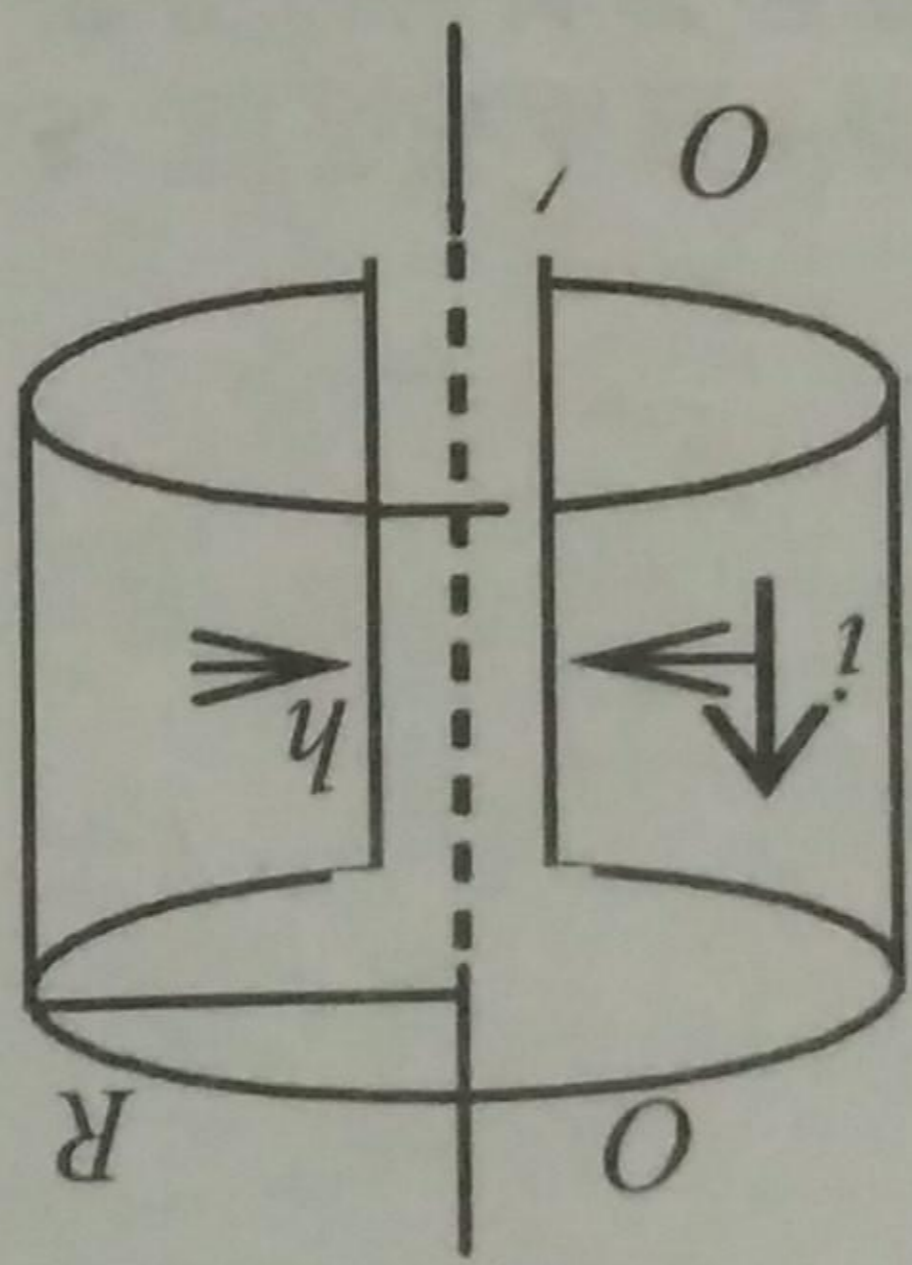
0



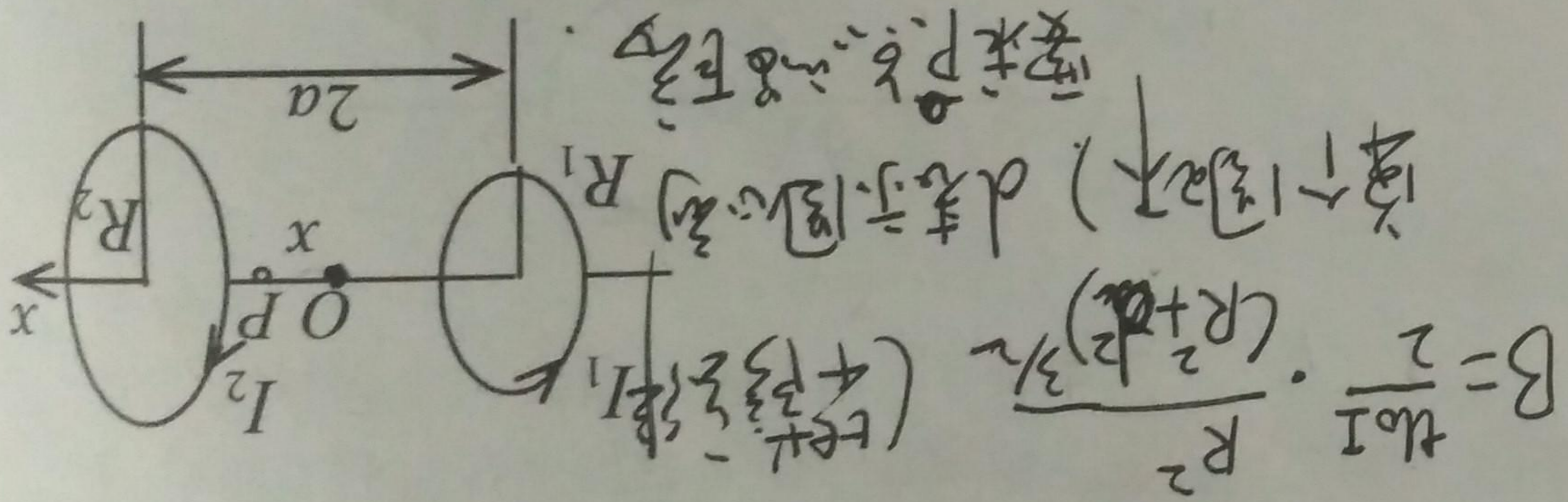
6. 将半径为  $R$  的无限长导体薄壁管(厚度忽略)沿轴向割去一宽度为  $h$  ( $h \ll R$ ) 的无限长狭缝后, 再沿轴向流有在管壁上均匀分布的电流, 其面电流密度(垂直于电流的长度截面上的电流)为  $i$ , 则管轴线磁感强度的大小等于多少?

$$\vec{B}_{\text{管}} + \vec{B}_{\text{缝}} = \vec{B}_{\text{管}} + \vec{B}_{\text{缝}} = 0$$

$$\therefore B_{\text{管}} = B_{\text{缝}} = \frac{\mu_0 i h}{2R}$$



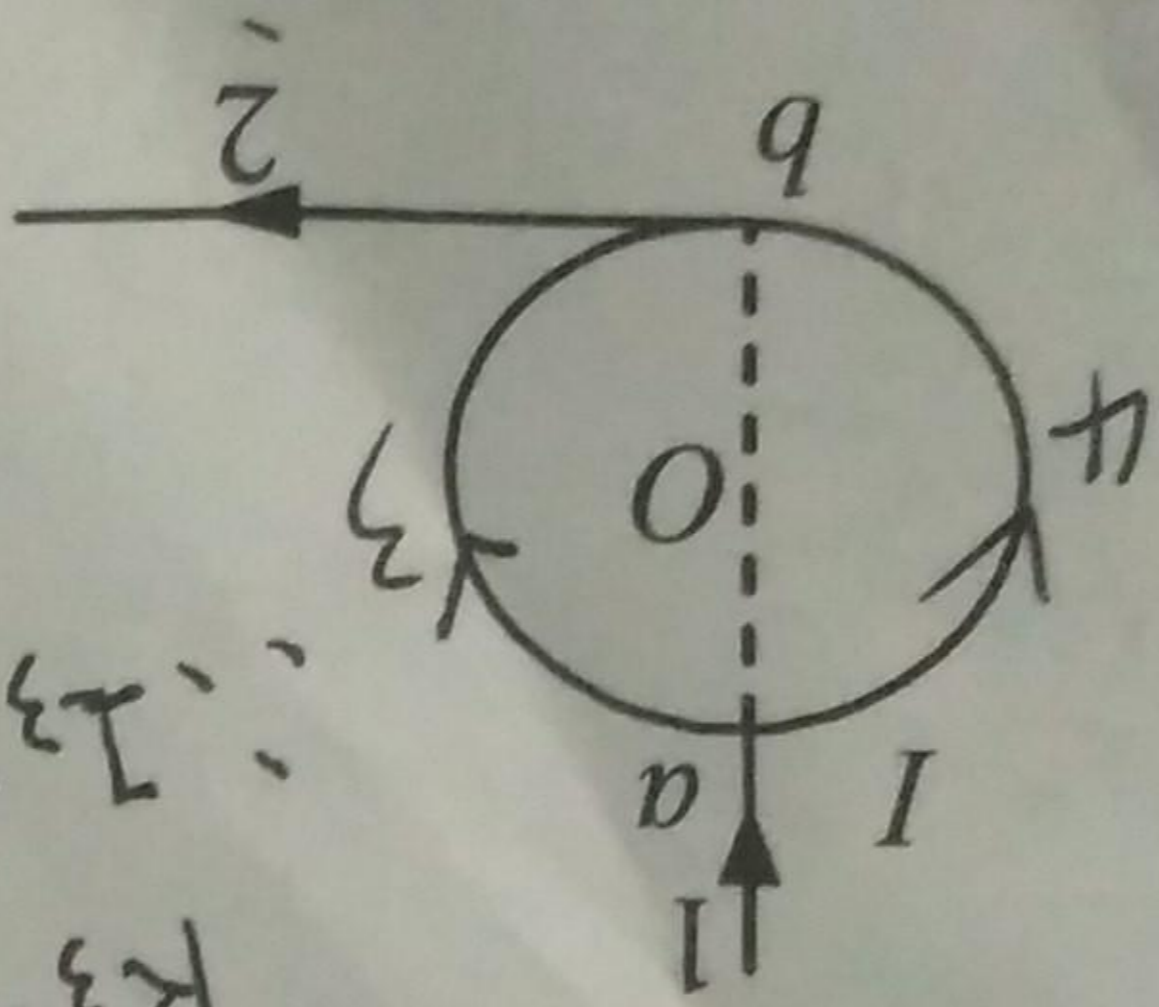
8. 如图两共轴线线圈相距  $2a$ , 半径分别为  $R_1, R_2$ , 电流为  $I_1, I_2$ , 电流的方向相反, 求轴线上相距中点  $O$  为  $x$  处的  $P$  点的磁感强度.



$$B = \frac{\mu_0 I_1}{2} \cdot \frac{R_1^2}{(R_1^2 + x^2)^{3/2}} - \frac{\mu_0 I_2}{2} \cdot \frac{R_2^2}{(R_2^2 + (a-x)^2)^{3/2}}$$

单个线圈(表示圆心到)  $R_1$  要求  $P$  点的磁感强度

7. 电流由长直导线 1 沿半径方向经  $a$  点流入一电阻均匀的圆环, 再由  $b$  点沿切向从圆环流出, 经长导线 2 返回电源(如图). 已知直导线上电流强度为  $I$ , 圆环的半径为  $R$ , 且  $a, b$  与圆心  $O$  三点在同一直线上. 设直电流 1、2 及圆环电流分别在  $O$  点产生的磁感强度为  $\vec{B}_1, \vec{B}_2$  及  $\vec{B}_3$ , 则  $O$  点的磁感强度的大小等于多少?



$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \vec{B}_4$$

$$= 0 + \frac{\mu_0 I}{4R} + 0$$

$$= \frac{\mu_0 I}{4R}$$

$R_3 = R_4 = R/2$   
 $\therefore I_3 = I_4 = 2I$   
 $\therefore \vec{B}_3 + \vec{B}_4 = 0$   
 $\therefore \vec{B}_3 = \vec{B}_4 = 0$   
 $\therefore \vec{B}_3 + \vec{B}_4 = 0$

$$B_{\text{总}} = \frac{\mu_0 I}{2} \cdot \frac{R_1^2}{(R_1^2 + (a+x)^2)^{3/2}} - \frac{\mu_0 I_2}{2} \cdot \frac{R_2^2}{(R_2^2 + (a-x)^2)^{3/2}}$$

6. 如图, 在无限长直载流导线的右侧有面积为  $S_1$  和  $S_2$  的两个矩形回路. 两个回路与长直载流导线在同一平面, 且矩形回路的一边与长直载流导线平行. 则通过面积为  $S_1$  的矩形回路的磁通量与通过面积为  $S_2$  的矩形回路的磁通量之比为多少?

设矩形宽度为  $a$ , 距导线距离为  $x$

$$d\phi_m = \vec{B} \cdot d\vec{s} = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} \cdot a dx \cdot \cos 90^\circ$$

$$= \frac{\mu_0 I a}{2\pi x} dx$$

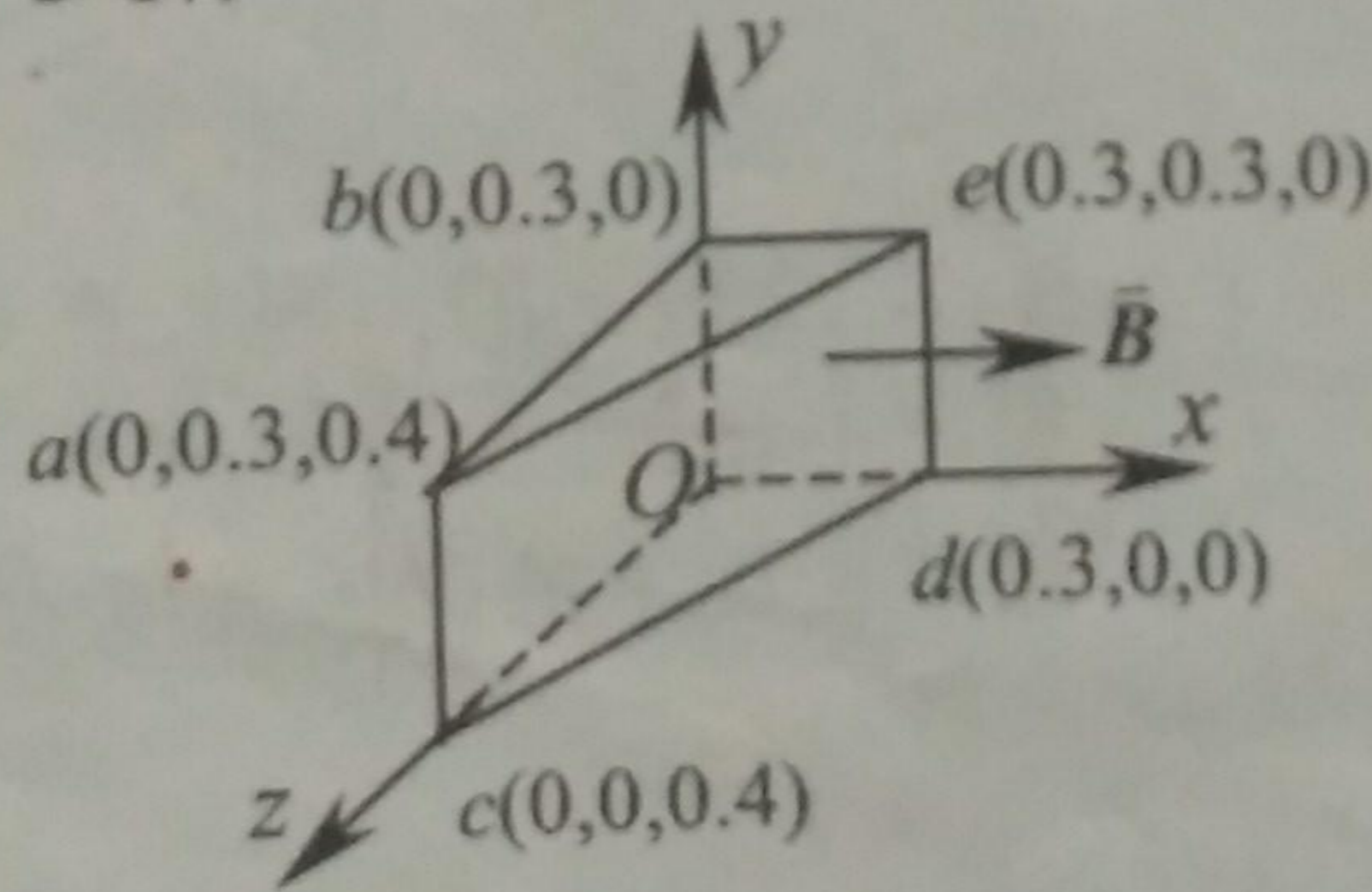
$$\phi_{S_1} = \int \vec{B} \cdot d\vec{s} = \int_d^{2d} \frac{\mu_0 I}{2\pi x} a dx = \frac{\mu_0 I a}{2\pi} \ln 2$$

$$\phi_{S_2} = \int \vec{B} \cdot d\vec{s} = \int_{2d}^{4d} \frac{\mu_0 I}{2\pi x} a dx = \frac{\mu_0 I a}{2\pi} \ln 2$$

$$\phi_{S_1} : \phi_{S_2} = 1 : 1$$

7. 已知均匀磁场, 其磁感强度  $B = 0.6 \text{ T}$ , 方向沿  $x$  轴正向 (如图). 分别求: (1) 通过  $Oabc$  面的磁通量;

(2) 通过  $Obed$  面的磁通量; (3) 通过  $acde$  面的磁通量.



$$(1) \phi_{S_1} = \vec{B} \cdot \vec{S}_{Oabc} = -0.6 \times 0.3 \times 0.4 = -0.072 \text{ T}\cdot\text{m}^2$$

$$(2) \phi_{S_2} = \vec{B} \cdot \vec{S}_{Obed} = 0$$

$$(3) \phi_{S_3} = \phi - \phi_1 - \phi_2 = 0.072 \text{ T}\cdot\text{m}^2 \quad (\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0 \text{ 高斯定理})$$

8. 如图所示, 一无限长载流平板宽度为  $r$ , 线电流密度 (即沿  $x$  方向单位长度上的电流) 为  $\delta$ , 求与平板共面且距平板一边为  $d$  的任意点  $P$  的磁感强度.

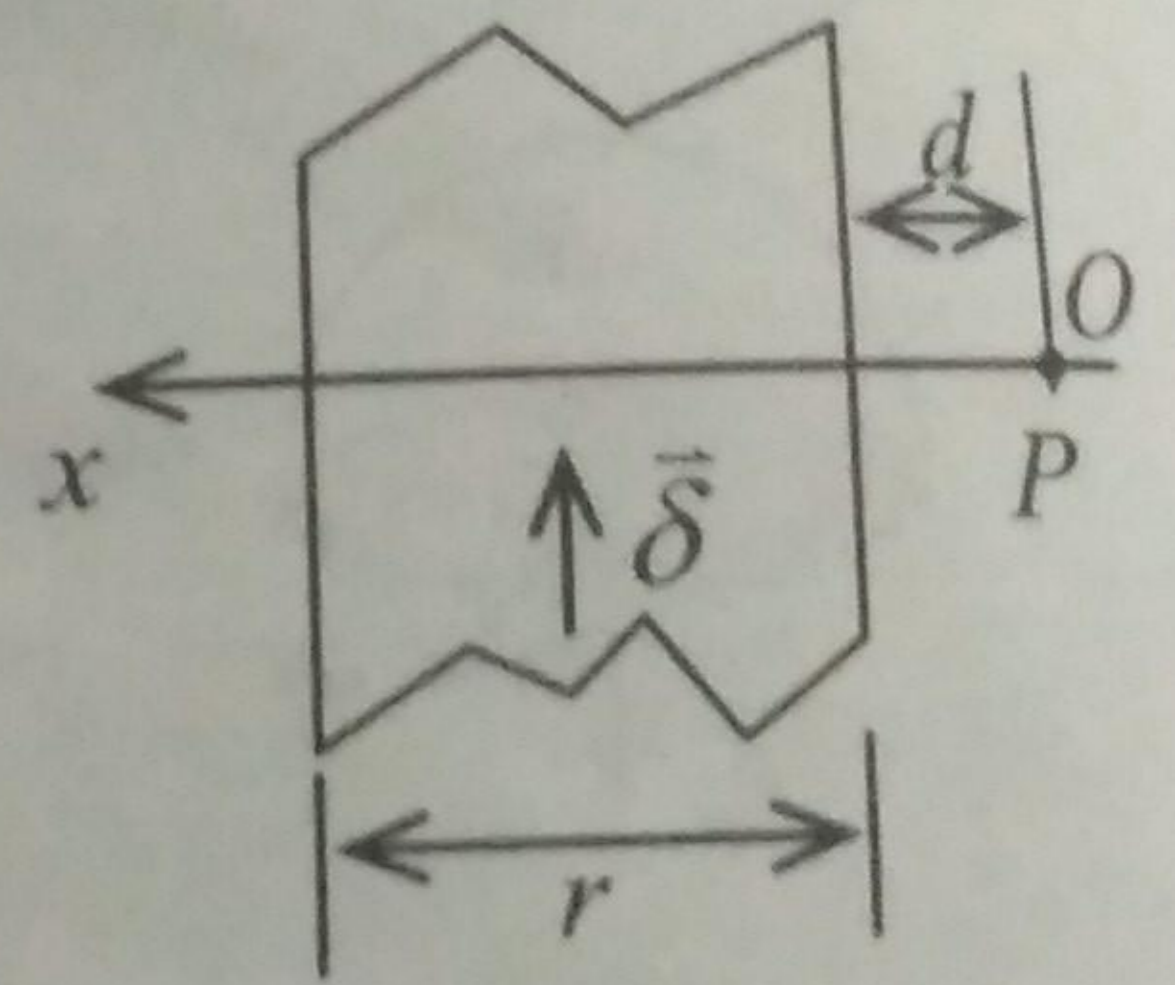
(1)  $P$  点在板外

$$dB = \frac{\mu_0 \delta dx}{2\pi x}$$

$$B = \int_d^{d+r} \frac{\mu_0 \delta dx}{2\pi x} = \frac{\mu_0 \delta}{2\pi} \ln \frac{d+r}{d}$$

(2)  $P$  点在板上

$$B = \int_d^{r-d} \frac{\mu_0 \delta dx}{2\pi x} = \frac{\mu_0 \delta}{2\pi} \ln \frac{r-d}{d}$$



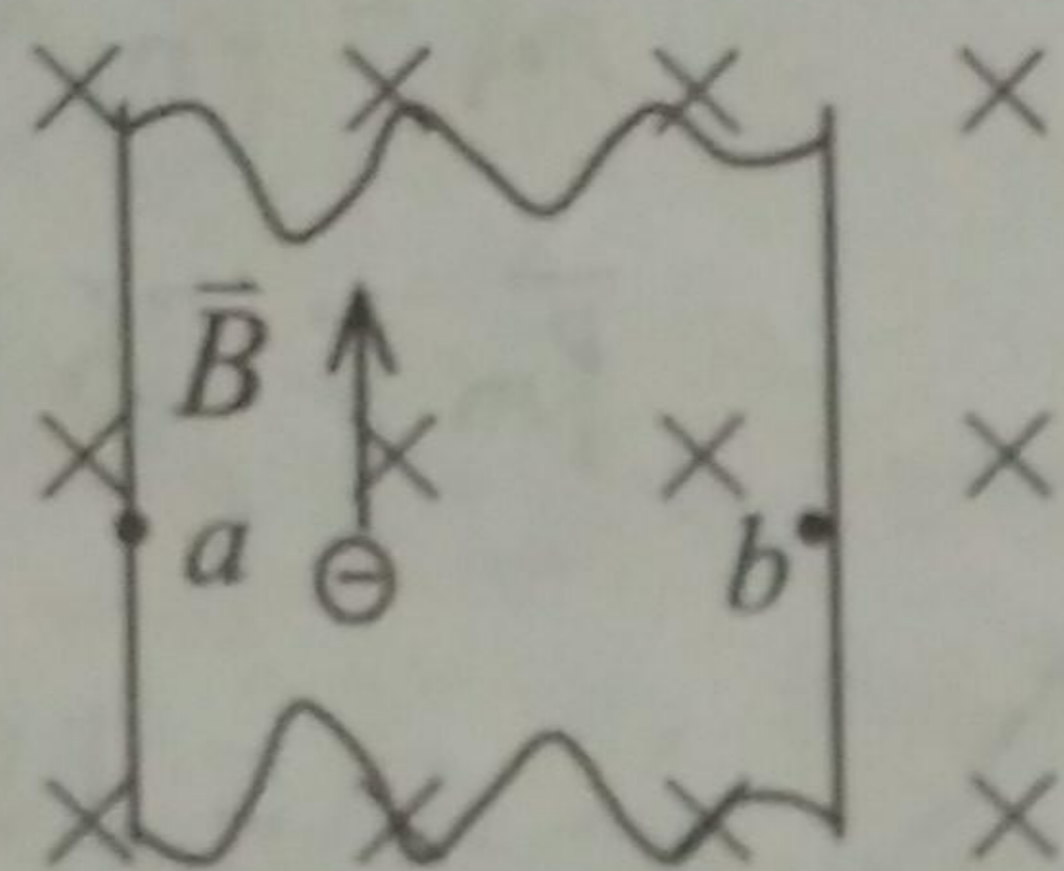
### 第三节 带电粒子在电场和磁场中的运动

#### 及载流导线在磁场中所受的力

1. 一铜条置于均匀磁场中，铜条中电子流的方向如图所示。试问下述哪一种情况将会发生

[C]

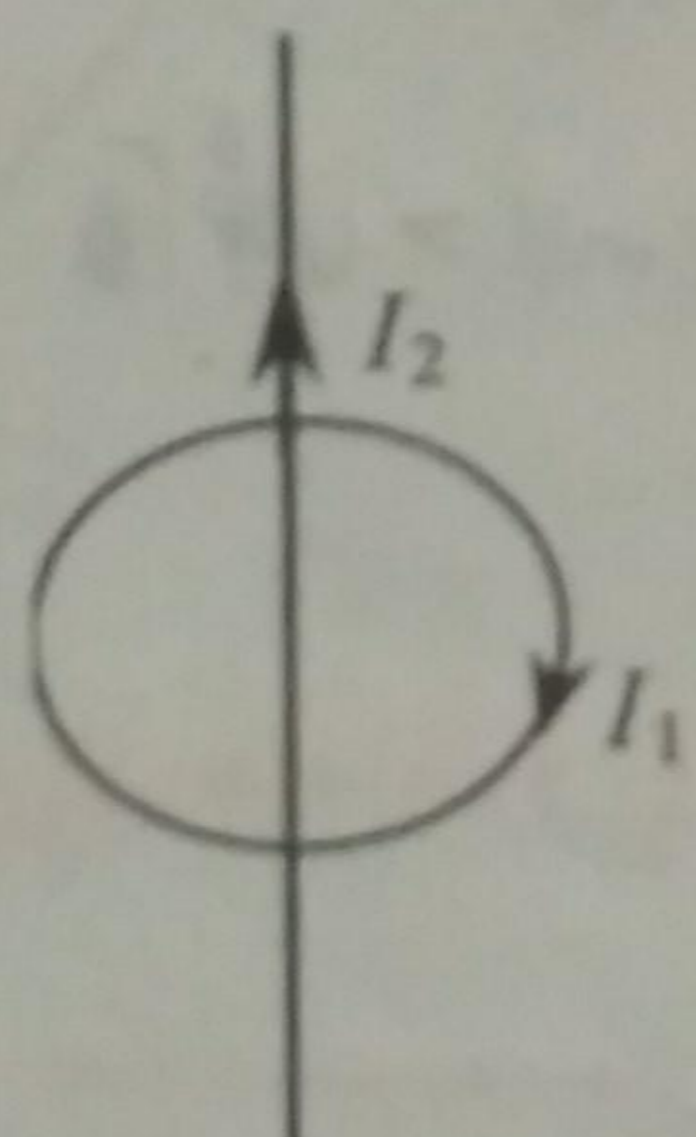
- A 在铜条上产生涡流。
- B 在铜条上  $a$ 、 $b$  两点产生一小电势差，且  $U_a < U_b$ 。
- C 在铜条上  $a$ 、 $b$  两点产生一小电势差，且  $U_a > U_b$ 。
- D 电子受到洛伦兹力而减速。



2. 载有电流  $I_2$  的长直导线与载有电流  $I_1$  的圆线圈共面但相互绝缘，长直导线与圆线圈的一直径相重合，如上图，设长直载流导线固定不动，则圆形载流导线将

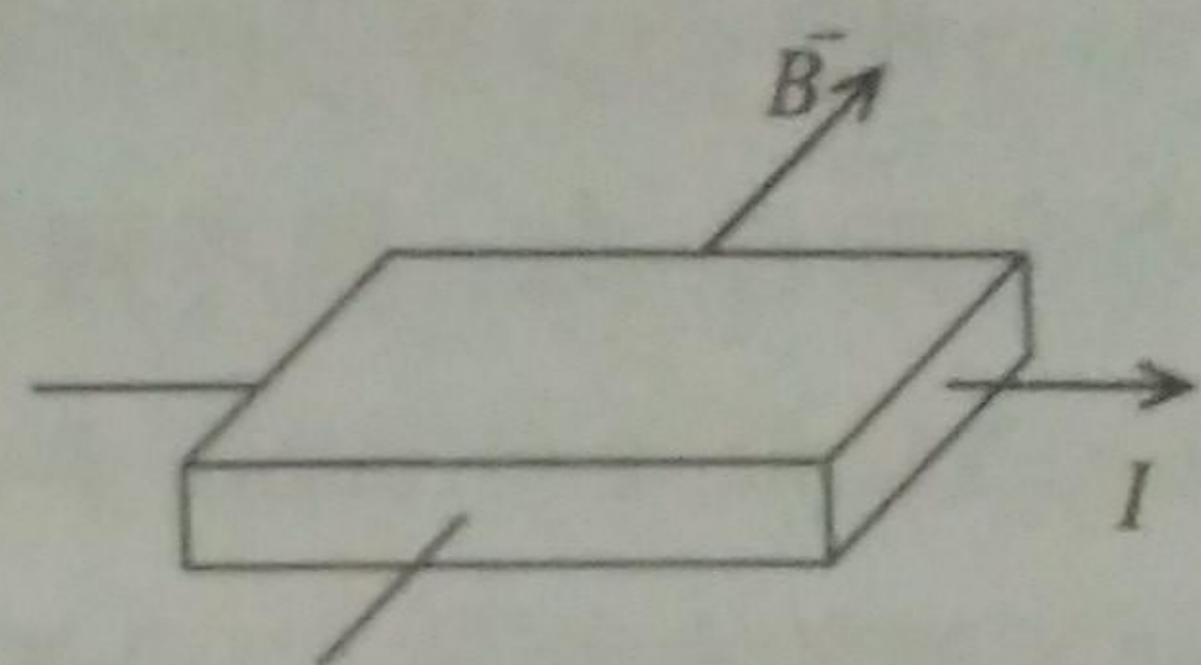
[C]

- (A) 绕  $I_2$  旋转。
- (B) 向左运动。
- (C) 向右运动。
- (D) 向上运动。
- (E) 不动。

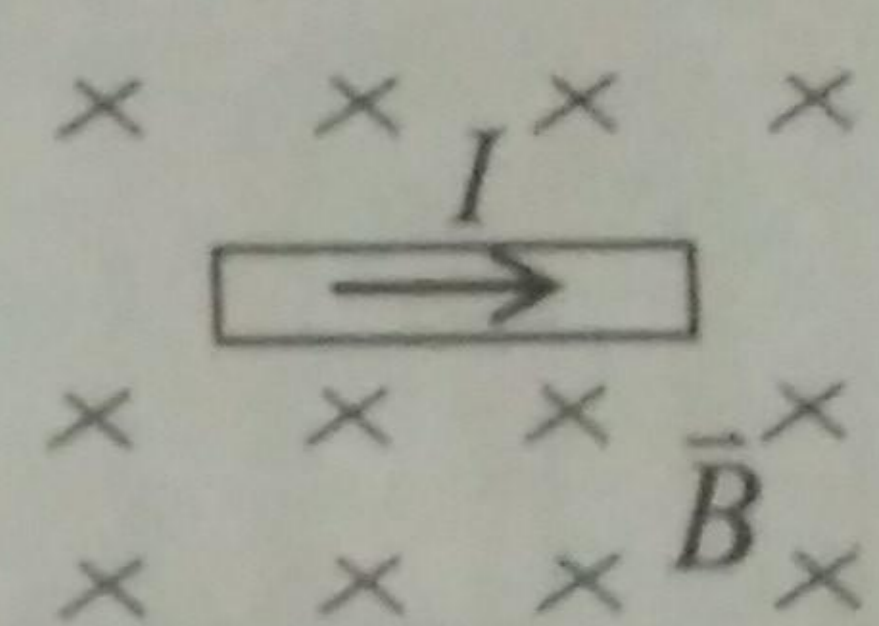


3. 一面积为  $S$ ，载有电流  $I$  的平面闭合线圈置于磁感强度为  $\vec{B}$  的均匀磁场中，此线圈受到的最大磁力矩的大小为  $ISB$ ，此时通过线圈的磁通量为 0，当此线圈受到最小的磁力矩作用时通过线圈的磁通量为  $SB$ 。

4. 在霍尔效应的实验中，通过导电体的电流和  $\vec{B}$  的方向垂直(如图)。如果上表面的电势较高，则导体中的载流子带 正 电。(正或负)



5. 有一根质量为  $m$ ，长为  $l$  的直导线，放在磁感强度为  $\vec{B}$  的均匀磁场中  $\vec{B}$  的方向在水平面内，导线中电流方向如图所示，当导线所受磁力与重力平衡时，导线中电流  $I = \frac{mg}{Bl}$ 。



6. 设氢原子基态的电子沿半径为  $a_0$  的轨道运动(如图)，求 (1) 电子沿轨道运动时原子核处产生的磁感强度；(2) 电子的轨道磁矩。

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi a_0}{v}$$

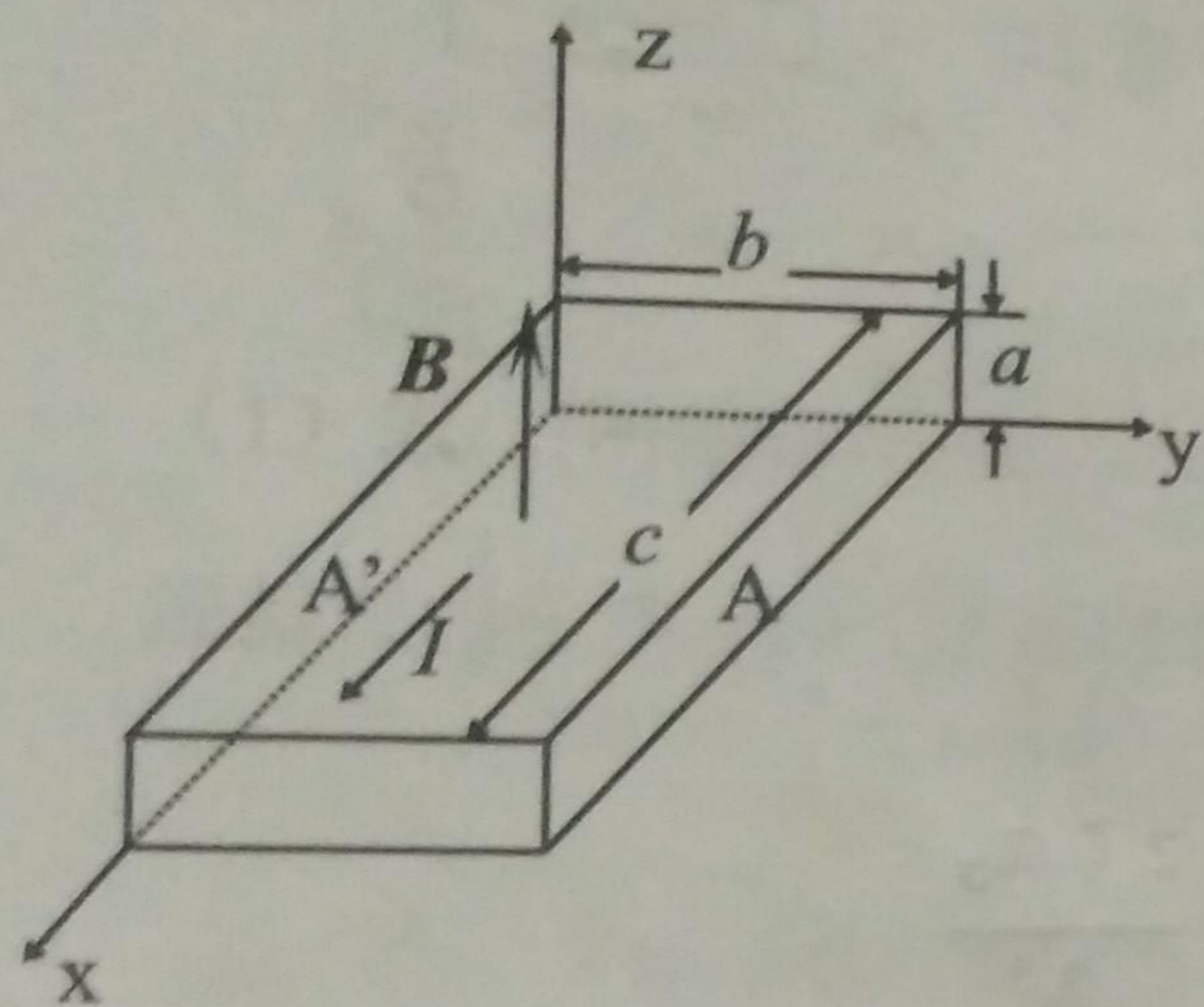
$$I = \frac{e}{T} = \frac{ev}{2\pi a_0}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R} = \frac{\mu_0 \cdot \frac{ev}{2\pi a_0}}{2a_0} = \frac{\mu_0 ev}{4\pi a_0^2}$$

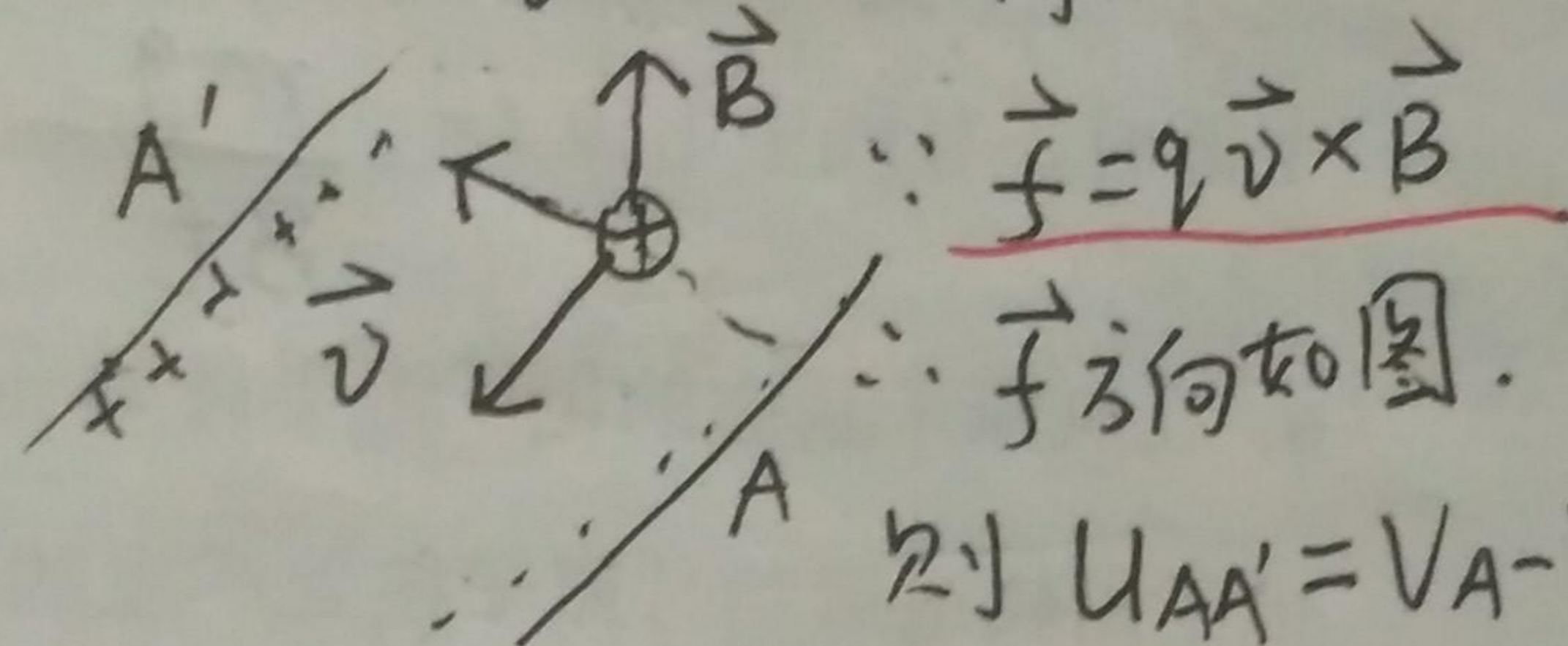
$$m = IS = \frac{ev}{2\pi a_0} \cdot \pi a_0^2 = \frac{eva_0}{2}$$

*注：这是环形电流*

7. 一块半导体样品的体积为  $a \times b \times c$ , 如图所示, 沿  $x$  轴方向有电流  $I$ , 在  $z$  轴方向有均匀磁场  $B$ . 实验测得  $a=0.10\text{cm}$ ,  $b=0.35\text{cm}$ ,  $c=1.0\text{cm}$ ,  $I=1.0\text{mA}$ ,  $B=0.3\text{T}$ , 半导体样品沿  $y$  轴方向两侧的电势差  $U_{AA'}=6.55\text{mV}$ . (1) 这个半导体是  $p$  型还是  $n$  型? (2) 求载流子浓度.



(1) 设  $p$  型. 正电荷运动方向与电流  $I$  相同.



则  $U_{AA'} = V_A - V_{A'} < 0$   
与已知矛盾.  $U_{AA'} = 6.55\text{mV} > 0$  矛盾.

$\therefore$  半导体是  $n$  型.

(2)  $\therefore U_{AA'} = \frac{IB}{n_0 q d}$  (d 是  $B$  方向的厚度)

对应此图:  $d = c = 1.0\text{cm}$ .

$q = |e| = 1.6 \times 10^{-19}\text{C}$

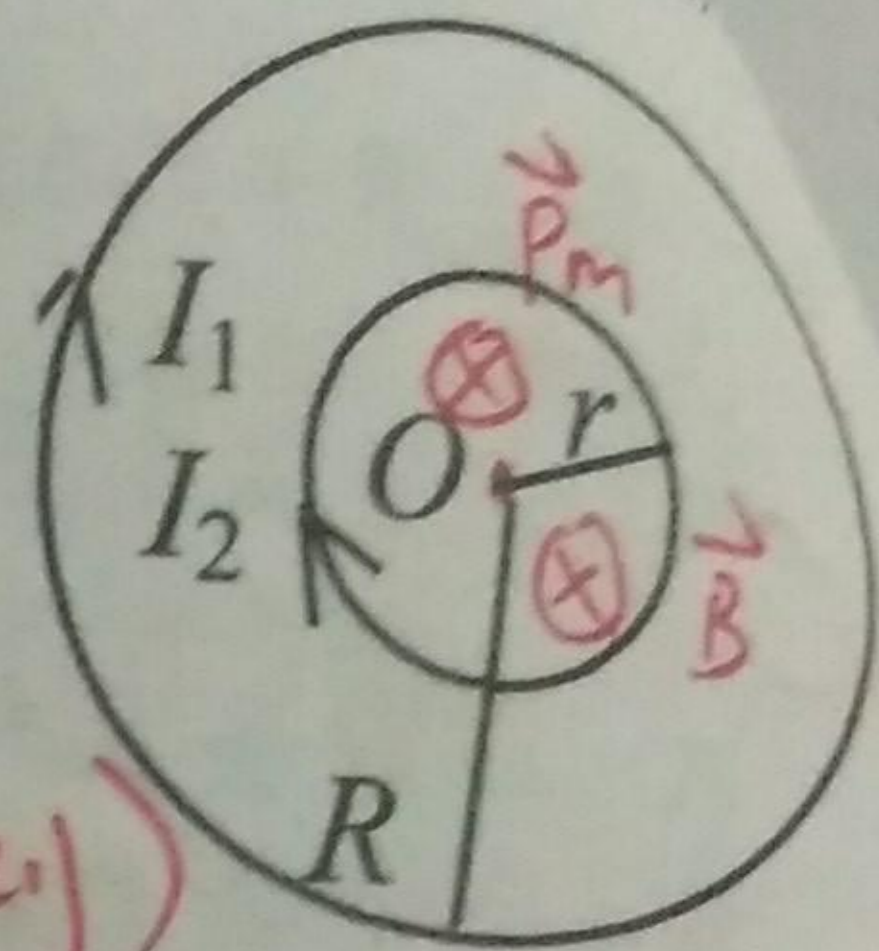
$\therefore n_0 = \frac{IB}{U_{AA'} \cdot q \cdot c} = \frac{1.0 \times 10^{-3} \times 0.3}{6.55 \times 10^{-3} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 1.0 \times 10^{-2}}$

$= 2.86 \times 10^{19} (\text{m}^{-3})$

8. 两个同心圆线圈, 大圆半径为  $R$ , 通有电流  $I_1$ ; 小圆半径为  $r$ , 通有电流  $I_2$ , 方向如图. 若  $r \ll R$  (大线圈在小线圈处产生场近似为均匀磁场), 当它们处在同一平面内时小线圈所受磁力矩的大小等于多少?

$\therefore \vec{M} = \vec{P}_m \times \vec{B}$

$\vec{P}_m = IS \vec{e}_n$  ( $\vec{e}_n$  与  $I$  满足右手定则)



$\therefore M = IS \cdot B \cdot \cos\theta$

$= I_2 \cdot \pi r^2 \cdot \frac{\mu_0 I_1}{2R} \cdot \cos 90^\circ \sin 0^\circ$

$= 0$

### 磁场中的磁介质

1. 磁介质有三种, 用相对磁导率  $\mu_r$  表征它们的特性时 [ C ]

- A 顺磁质  $\mu_r > 0$ , 抗磁质  $\mu_r < 0$ , 铁磁质  $\mu_r \gg 1$ .
- B 顺磁质  $\mu_r > 1$ , 抗磁质  $\mu_r = 1$ , 铁磁质  $\mu_r \gg 1$ .
- C 顺磁质  $\mu_r > 1$ , 抗磁质  $\mu_r < 1$ , 铁磁质  $\mu_r \gg 1$ .
- D 顺磁质  $\mu_r < 0$ , 抗磁质  $\mu_r < 1$ , 铁磁质  $\mu_r > 0$ .

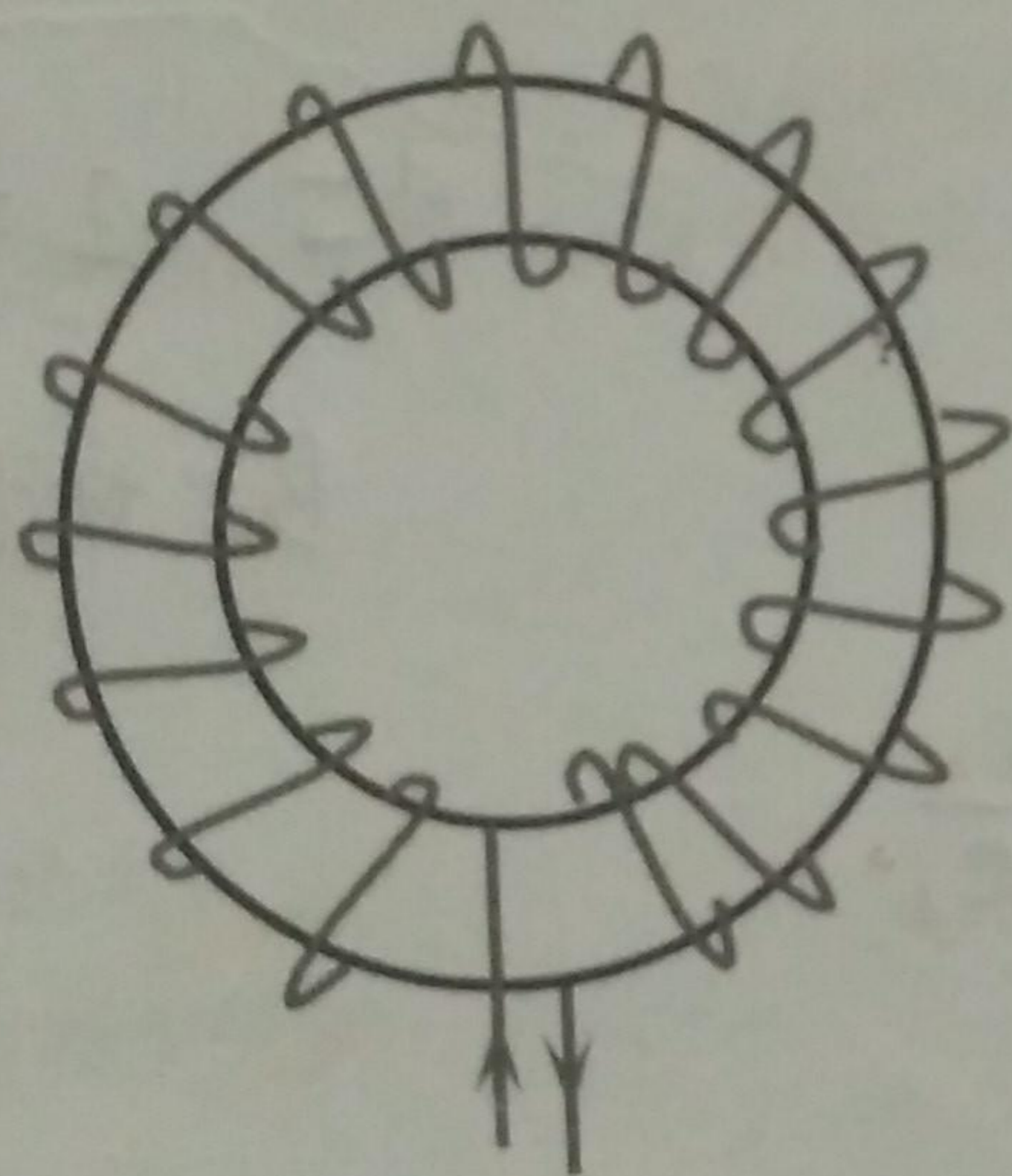
2. 如图所示的一细螺绕环, 它由表面绝缘的导线在铁环上密绕而成, 每厘米绕 10 匝。当导线中的电流  $I$  为 2.0A 时, 测得铁环内的磁感应强度的大小  $B$  为 1.0T, 则可求得铁环的相对磁导率  $\mu_r$  为

A  $7.96 \times 10^2$

B  $3.98 \times 10^2$

C  $1.99 \times 10^2$

D 63.3



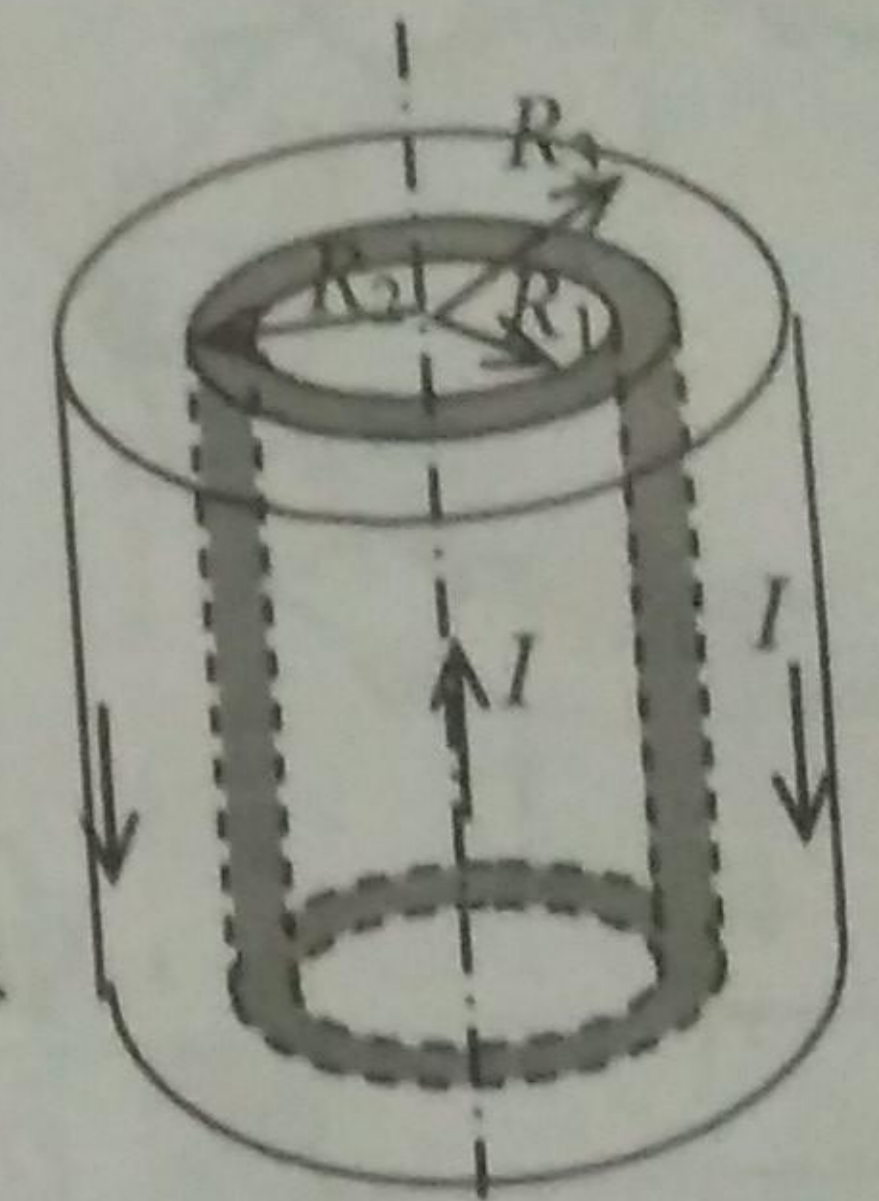
$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 n I}$

3. 螺绕环中心周长为  $l$ , 环上均匀密绕线圈  $N$  匝, 线圈中通有电流  $I$ . 管内充满相对磁导率  $\mu_r$  的磁介质. 求管内磁感应强度的大小为  $\mu_0 \mu_r \cdot \frac{N}{l} \cdot I$ :

4. 一根同轴电缆由半径为  $R_1$  的长导线和套在它外面的内半径为  $R_2$ 、外半径为  $R_3$  的同轴导体圆筒组成. 中间充满磁导率为  $\mu$  的各向同性均匀非铁磁绝缘材料, 如图. 传导电流  $I$  沿导线向上流去, 由圆筒向下流回, 在它们的截面上电流都是均匀分布的. 求同轴线内外的磁场强度和磁感应强度的分布.

$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_{L内} I_i$

环路  $L$ : 圆形



1.  $0 < r < R_1, 2\pi r H = I r^2 / R_1^2$

$\therefore H = \frac{I r}{2\pi R_1^2} \therefore B = \mu H = \frac{\mu_0 \cdot I r}{2\pi R_1^2}$

2.  $R_1 < r < R_2, 2\pi r H = I$

$\therefore H = \frac{I}{2\pi r}, B = \frac{\mu I}{2\pi r}$

3.  $R_2 < r < R_3$

$2\pi r H = I - \frac{I(r^2 - R_2^2)}{(R_3^2 - R_2^2)}$

$\therefore H = \frac{I}{2\pi r} \left( 1 - \frac{r^2 - R_2^2}{R_3^2 - R_2^2} \right)$

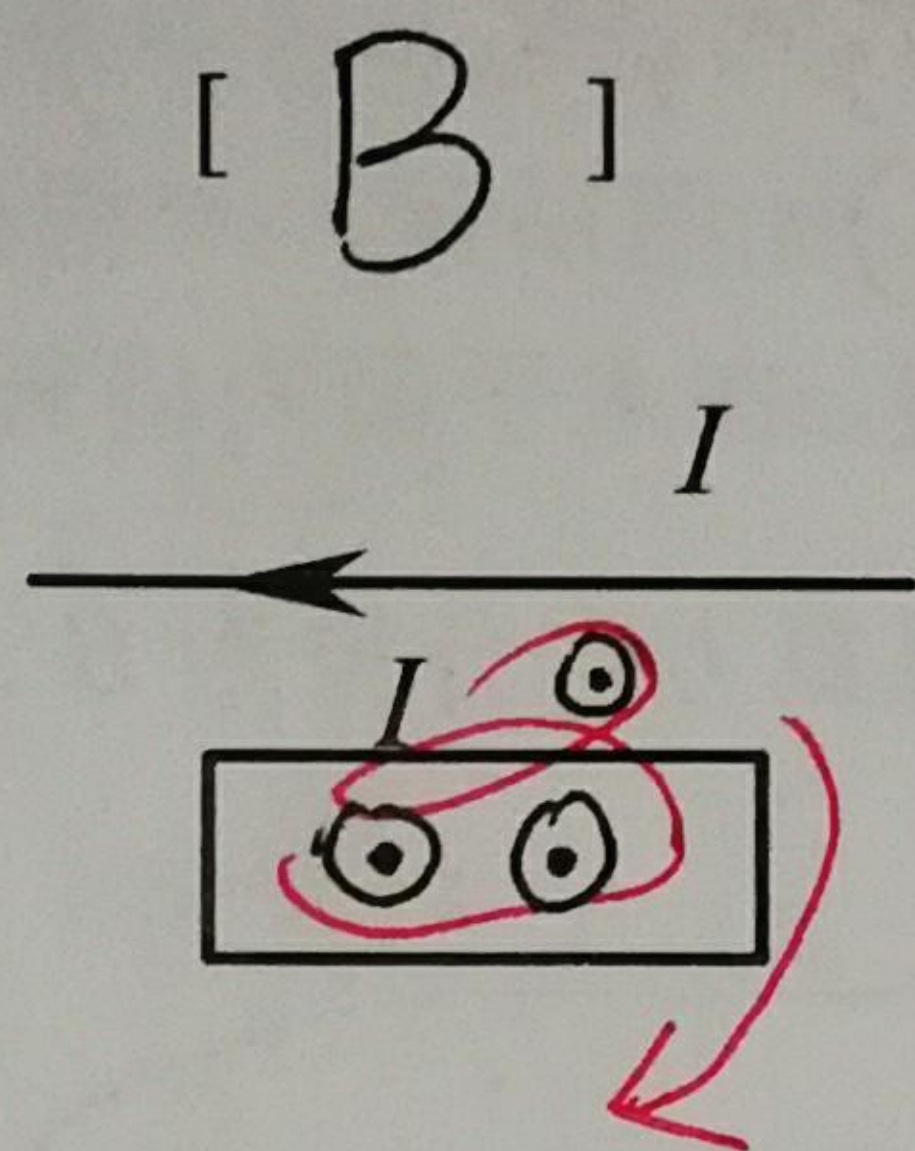
$B = \mu_0 H = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \left( 1 - \frac{r^2 - R_2^2}{R_3^2 - R_2^2} \right)$

4.  $r > R_3$   
 $H = 0$   
 $B = 0$

# 电磁感应 (I)

1. 长直导线载有电流  $I$ , 并以  $dI/dt$  的变化率增长, 一矩形线圈位于导线平面内(如图), 则:

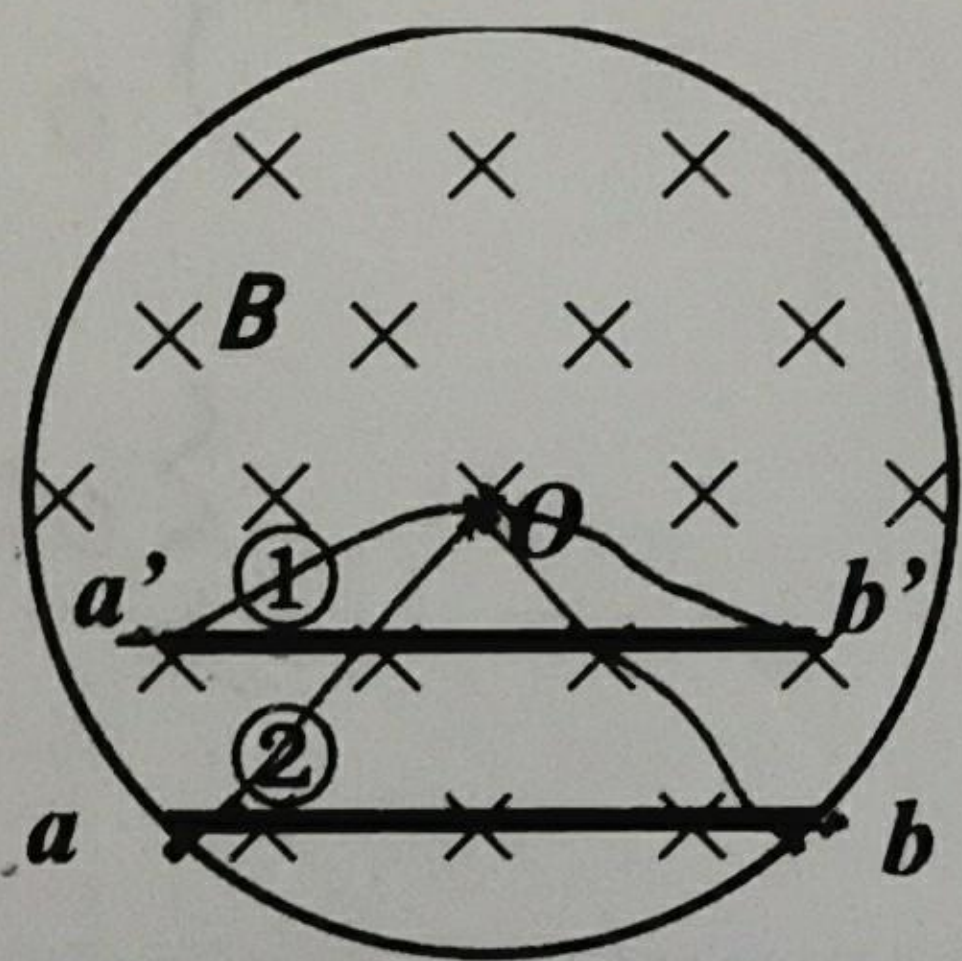
- A 线圈中无感应电流.
- B 线圈中感应电流为顺时针方向.
- C 线圈中感应电流为逆时针方向.
- D 线圈中感应电流方向不确定.



2. 在圆柱形空间内有一均匀磁场, 如图所示, 磁感强度以速率  $dB/dt$  变化. 两根长度相同的导体棒分别如图放置, 则在①、②这两个位置导体棒内的感应电动势为

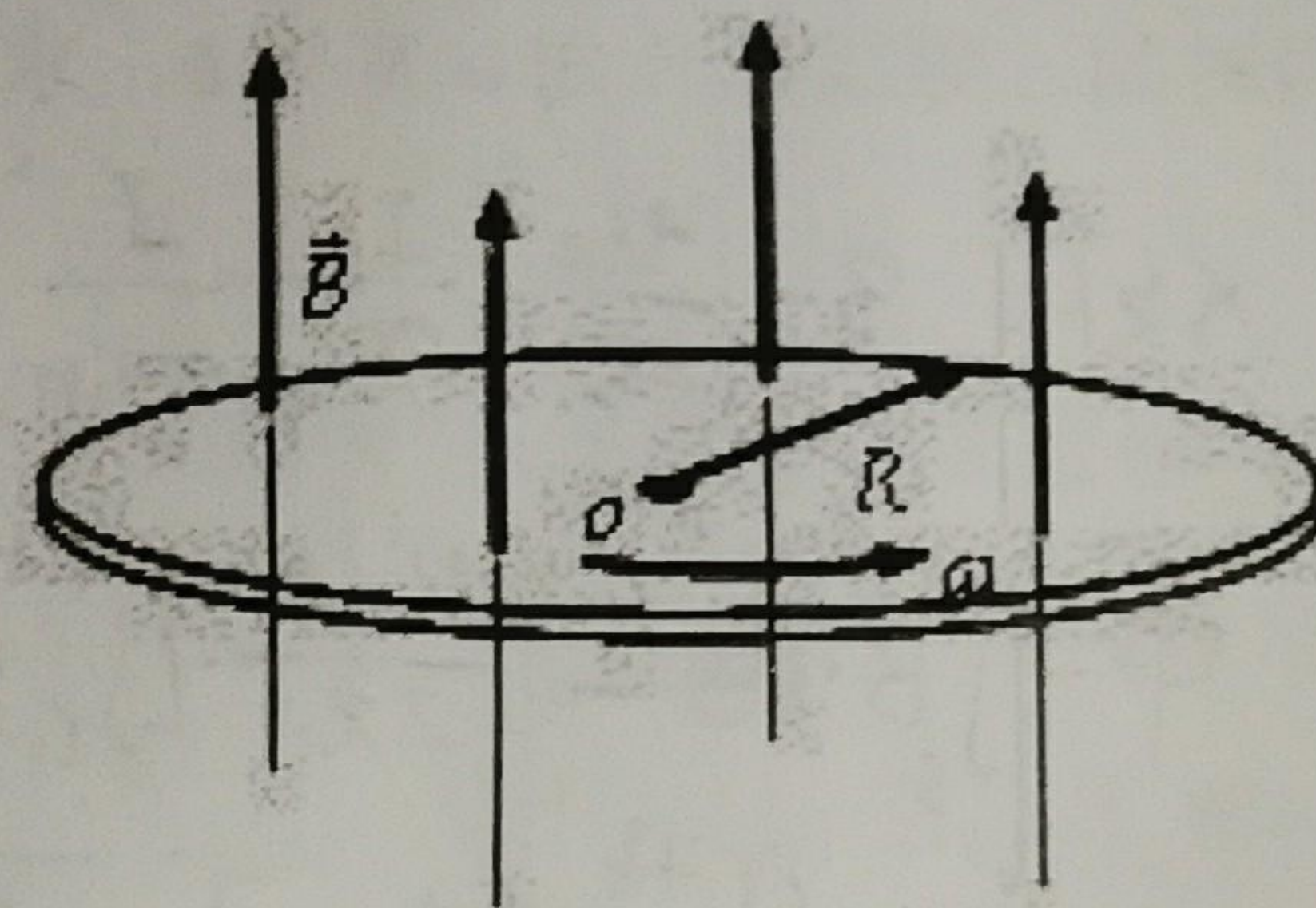
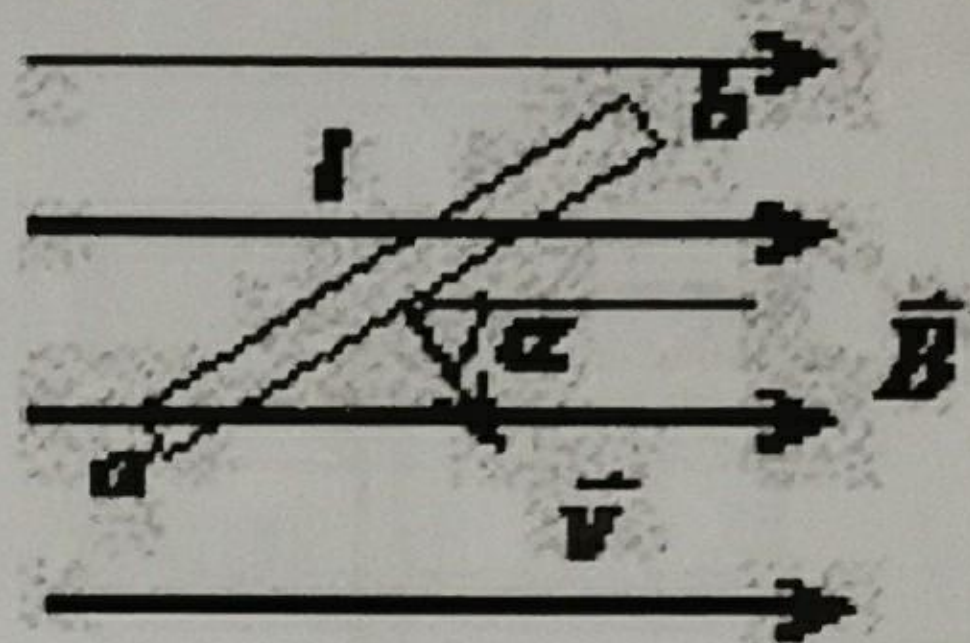
- A  $E_2 = E_1 \neq 0$ .
- B  $E_2 > E_1$ .
- C  $E_2 < E_1$ .
- D  $E_2 = E_1 = 0$ .

$$\sum \vec{v} = \frac{1}{2} h L \cdot \frac{dB}{dt}$$



3. 半径为  $a$  的无限长密绕螺线管, 单位长度上的匝数为  $n$ , 通以交变电流  $i = I_m \sin \omega t$ , 则螺线管外半径为  $r$  的同轴圆形回路上的感生电动势为  $-\mu_0 n^2 a^2 \omega I_m \cos \omega t$ .

4. 如下图, 长度为  $l$  的直导线  $ab$  在均匀磁场  $\vec{B}$  中以速度  $\vec{v}$  移动, 直导线  $ab$  中的电动势为 0.



5. 如上图, 半径为  $R$  圆铜盘水平放置在均匀磁场中,  $B$  的方向垂直盘面向上, 当铜盘绕通过中心垂直于盘面的轴沿图示方向转动时, 铜盘上感应电动势的大小  $\frac{1}{2} B R^2 \omega$ , 方向为 中心O指向边缘.

6. 将形状完全相同的铜环和木环静止放置, 并使通过两环面的磁通量随时间的变化率相等, 则不计自感时则: 铜环中感应电动势 等于 木环中感应电动势(选填: 大于、小于、等于)。

感生电动势

7. 如图所示, 两条平行长直导线和一个矩形导线框共面. 且导线框的一个边与长直导线平行, 他到两长直导线的距离分别为  $r_1, r_2$ . 已知两导线中电流都为  $I = I_0 \sin \omega t$ , 其中  $I_0$  和  $\omega$  为常数,  $t$  为时间. 导线框长为  $a$  宽为  $b$ , 求导线框中的感应电动势.

此处:  $B = \frac{\mu_0}{2\pi} \left( \frac{I}{x} + \frac{I}{x-r_1+r_2} \right)$

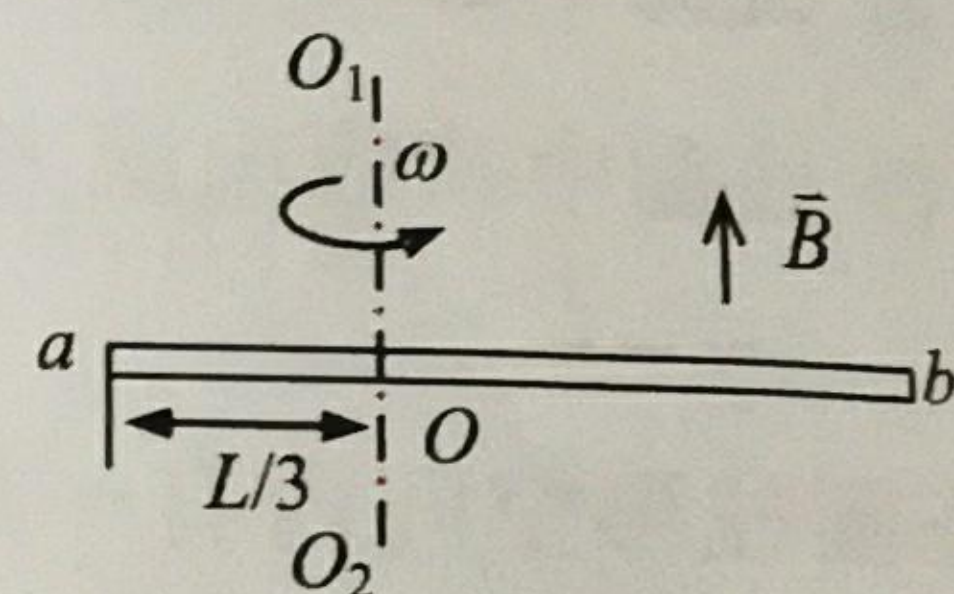
$\phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \frac{\mu_0 I a}{2\pi} \cdot \left[ \int_{r_1}^{r_1+b} \frac{dx}{x} + \int_{r_1+b}^{r_2+b} \frac{dx}{x-r_1+r_2} \right]$

$= \frac{\mu_0 I a}{2\pi} \cdot \ln \left( \frac{r_1+b}{r_1} \cdot \frac{r_2+b}{r_2} \right)$

$\Sigma_{\text{感}} = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{\mu_0 I_0 a \omega}{2\pi} \ln \left[ \frac{(r_1+b)(r_2+b)}{r_1 r_2} \right] \cdot \cos \omega t$

感生电动势

9. 如图所示, 一根长为  $L$  的金属细杆  $ab$  绕竖直轴  $O_1 O_2$  以角速度  $\omega$  在水平面内旋转.  $O_1 O_2$  在离细  $a$  端  $L/3$  处. 若已知地磁场的竖直方向分量为  $\vec{B}$ . 求电势差  $U_a - U_b$ .



解: (1)  $\Sigma_{OB} = \int_0^B (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{r}$

$= \int_0^{\frac{2}{3}L} \omega r B dr = \frac{2B\omega}{9} L^2$  (方向  $O \rightarrow B$ )

$\Sigma_{OA} = \int_0^{\frac{L}{3}} \omega r B dr = \frac{1}{18} B \omega L^2$  (方向  $O \rightarrow A$ )

$\therefore U_{AB} = \Sigma_{OA} - \Sigma_{OB} = \left( \frac{1}{18} - \frac{2}{9} \right) B \omega L^2 = -\frac{1}{6} B \omega L^2$

负号表示  $\Sigma_{MN}$  方向与  $x$  轴相反.

$\Sigma_{MN} = -\frac{\mu_0 I v}{2\pi} \ln \frac{a+b}{a-b}$

方向  $N \rightarrow M$ .

感生电动势

8. 载有电流的  $I$  长直导线附近, 一根弯成半径为  $b$  的半圆环导线  $MeN$  与长直导线共面, 且端点  $MN$  的连线与长直导线垂直. 半圆环圆心  $O$  与导线相距  $a$ . 设半圆环以速度  $\vec{v}$  平行导线运动, 求半圆环动生电动势的大小和方向.

~~设电动势方向由  $N \rightarrow M$  连接  $MNA$ .~~

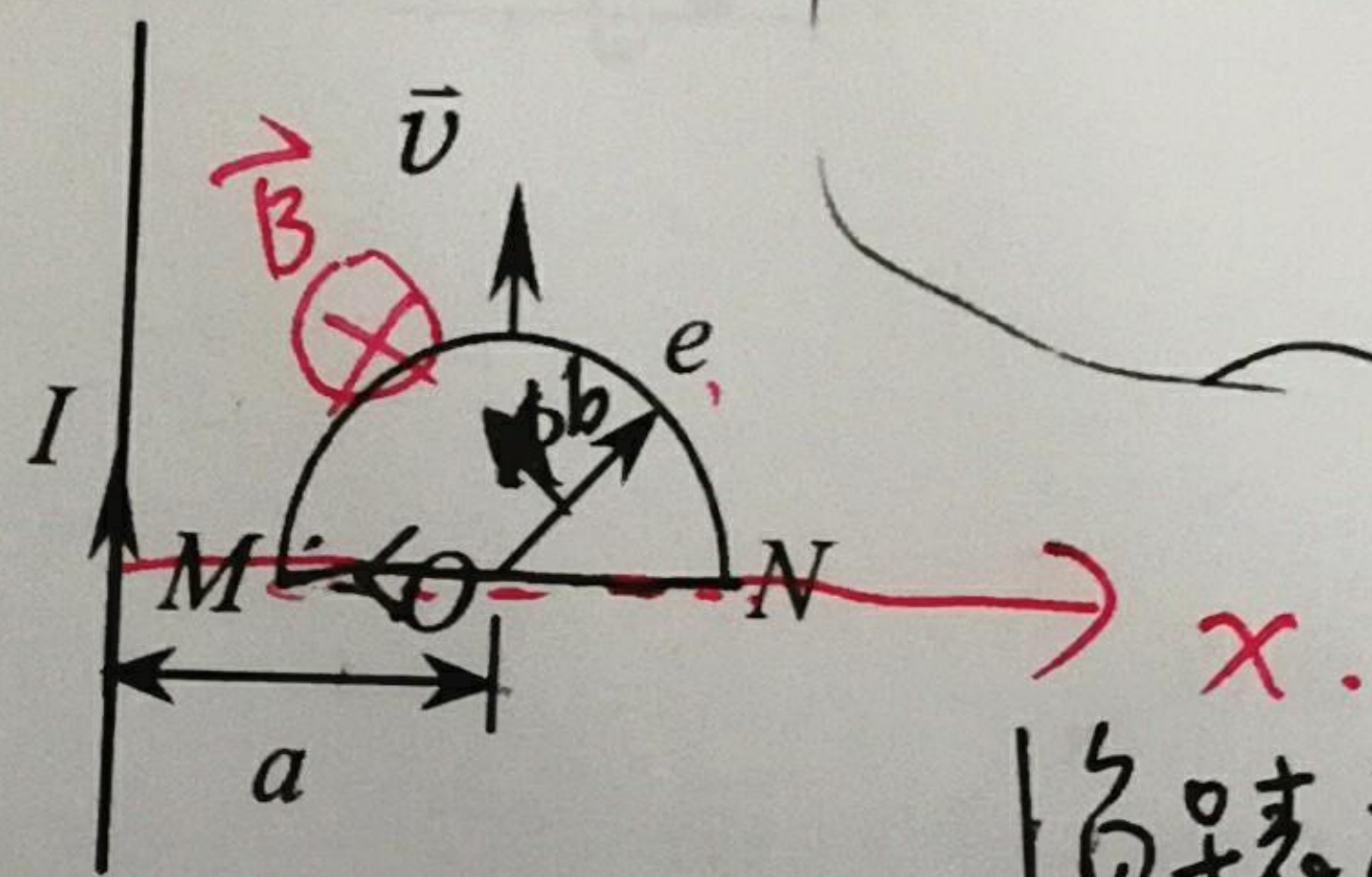
有闭合回路  $NMEN$ .

$\Sigma_{NMEN} = \Sigma_{NM} + \Sigma_{MEN}$

$= -\frac{d\phi_M}{dt} = 0$

$\therefore \Sigma_{MeN} = -\Sigma_{NM} = \Sigma_{MN} = \int_M^N (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$

$= \int_{a-b}^{a+b} -v \cdot \frac{\mu_0 I}{2\pi} dx = -\frac{\mu_0 I v}{2\pi} \ln \frac{a+b}{a-b}$



电磁感应 (II)

1. 面积为  $S$  和  $2S$  的两圆线圈 1、2 通有电流  $I$ . 线圈 1 的电流所产生的磁通量为  $\Phi_1$ , 线圈 2 的电流所产生的磁通量为  $\Phi_2$ . 则  $\Phi_1$  和  $\Phi_2$  的大小关系为

- A  $\Phi_1 = 2\Phi_2$
- B  $\Phi_1 > \Phi_2$
- C  $\Phi_1 = \Phi_2$
- D  $\Phi_1 < \Phi_2$



## 电磁感应 (II)

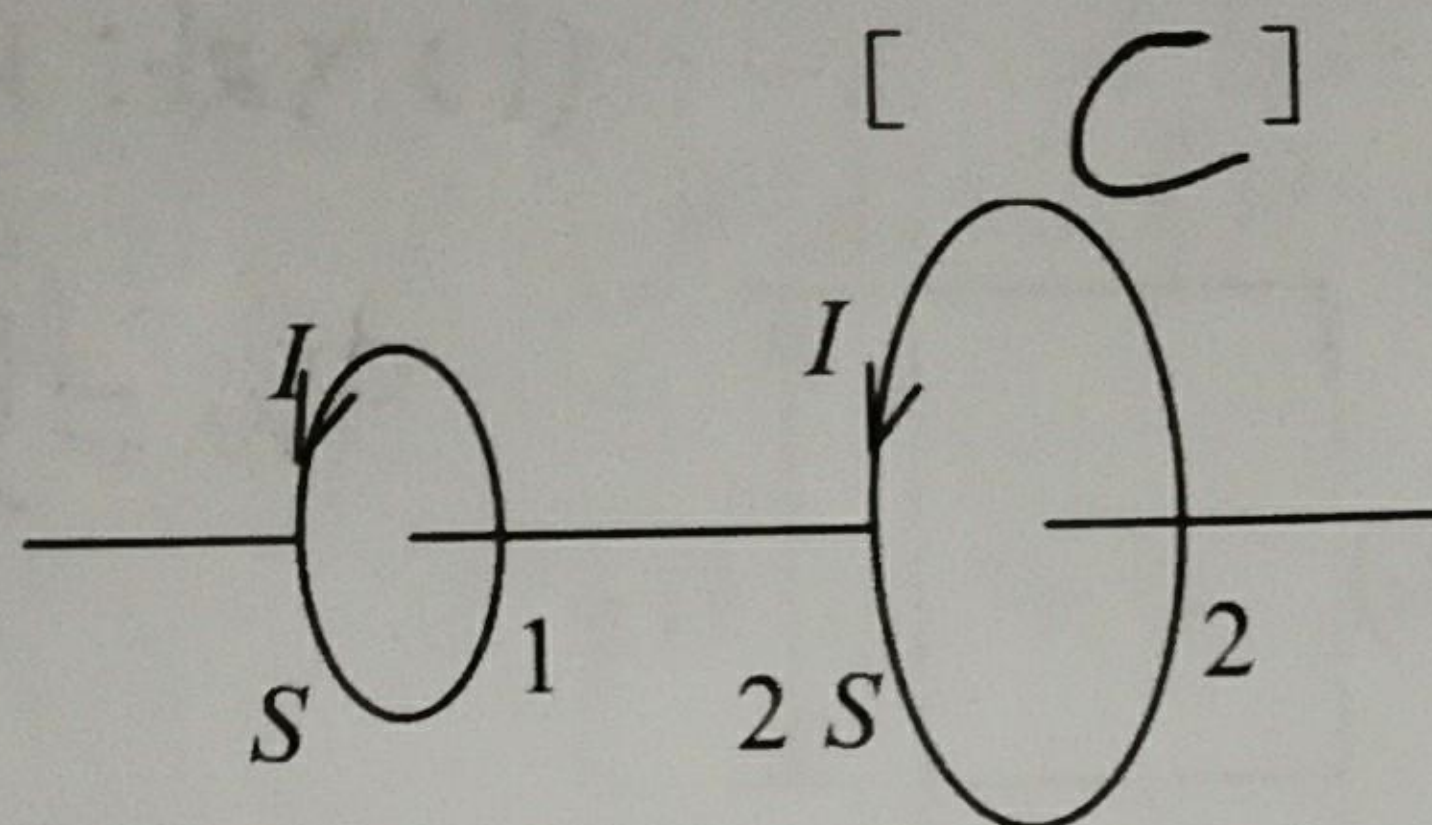
1. 面积为  $S$  和  $2S$  的两圆线圈 1、2 如图放置, 通有相同的电流  $I$ . 线圈 1 的电流所产生的通过线圈 2 的磁通量  $\Phi_{21}$  表示, 线圈 2 的电流所产生的通过线圈 1 的磁通量  $\Phi_{12}$  表示, 则  $\Phi_{21}$  和  $\Phi_{12}$  的大小关系为:

A  $\Phi_{21} = 2\Phi_{12}$ .

B  $\Phi_{21} > \Phi_{12}$ .

C  $\Phi_{21} = \Phi_{12}$ .

D  $\Phi_{21} = \frac{1}{2}\Phi_{12}$ .



2. 一个电阻为  $R$ , 自感系数为  $L$  的线圈, 将它接在一个电动势为  $\mathcal{E}(t)$  的交变电源上, 线圈的自感电动势为  $E_L = -L \frac{dI}{dt}$ , 则

流过线圈的电流为:

A  $E(t) / R$

B  $[E(t) - E_L] / R$

C  $[E(t) + E_L] / R$

D  $E_L / R$

3. 两个相邻的平面圆线圈开始时共轴, 且两圆线圈平面相互平行, 如何可使其互感系数近似为零

A 两线圈的轴线互相平行放置;

B 两线圈并联;

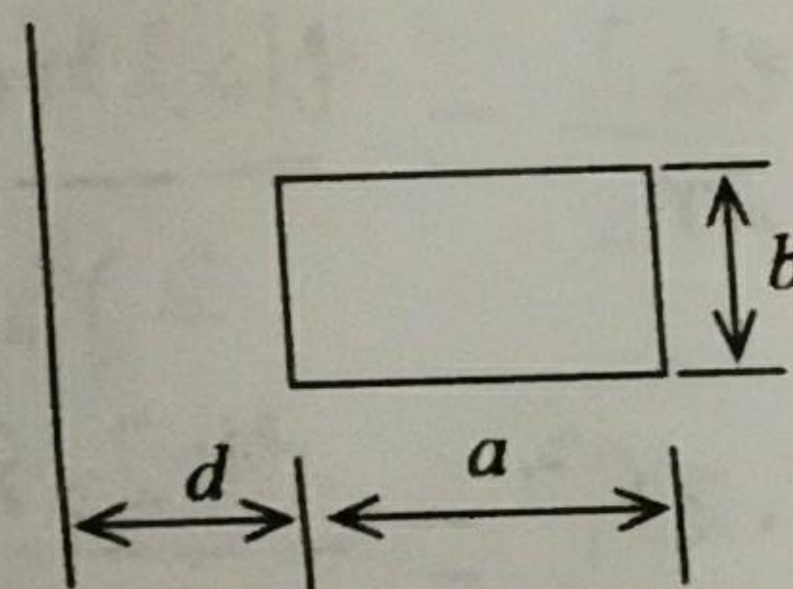
C 两线圈的轴线互相垂直放置;

D 两线圈串联.

4. 无限长密绕直螺线管通以电流  $I$ , 内部充满均匀、各向同性的磁介质, 磁导率为  $\mu$ . 管上单位长度绕有  $n$  匝导线, 则管内部的磁能密度为  $\frac{1}{2} \mu (nI)^2$ ; 若该螺线管体积为  $V$ , 则其自感系数为  $\mu n^2 V$ .

5. 真空中两只长直螺线管 1 和 2, 长度相等, 单层密绕匝数相同, 截面积之比  $S_1 / S_2 = 1/16$ . 当它们通以相同电流时, 两螺线管自感系数之比  $L_1 / L_2 = \frac{1}{16}$ , 贮存的磁能之比  $W_1 / W_2 = \frac{1}{16}$ .

6. 一长直导线旁有一长为  $b$ , 宽为  $a$  的矩形线圈, 线圈与导线共面, 长度为  $b$  的边与导线平行且与直导线相距为  $d$ , 如图. 线圈与导线的互感系数  $M = \frac{\mu_0 b}{2\pi} \ln \frac{d+a}{d}$ .



7. 一螺绕环单位长度上的线圈匝数  $n$ . 环心材料的磁导率为  $\mu = \mu_0$ . 若线圈中磁场的能量密度为  $w_m$ , 线圈中的电流强度  $I = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{2w_m}{\mu_0}}$ .

8. 同轴电缆内导体的外半径为  $R_1$ , 外导体是半径为  $R_2$  的薄导体同轴圆筒; 内外导体之间充满了相对磁导率为  $\mu_r$  各向同性均匀磁介质。当电流  $I$  由内导体经无穷远又从外导体返回时, 求单位长度电缆的磁场能量。

$$\therefore \oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_{L内} I_i \quad (\text{圆形回路})$$

$$\therefore \begin{cases} H = \frac{r}{2\pi R^2} I & (r < R_1) \\ H = \frac{I}{2\pi r} & (R_1 < r < R_2) \\ H = 0 & (r > R_2) \end{cases}$$

$$\therefore w_m = \frac{1}{2} \mu H^2$$

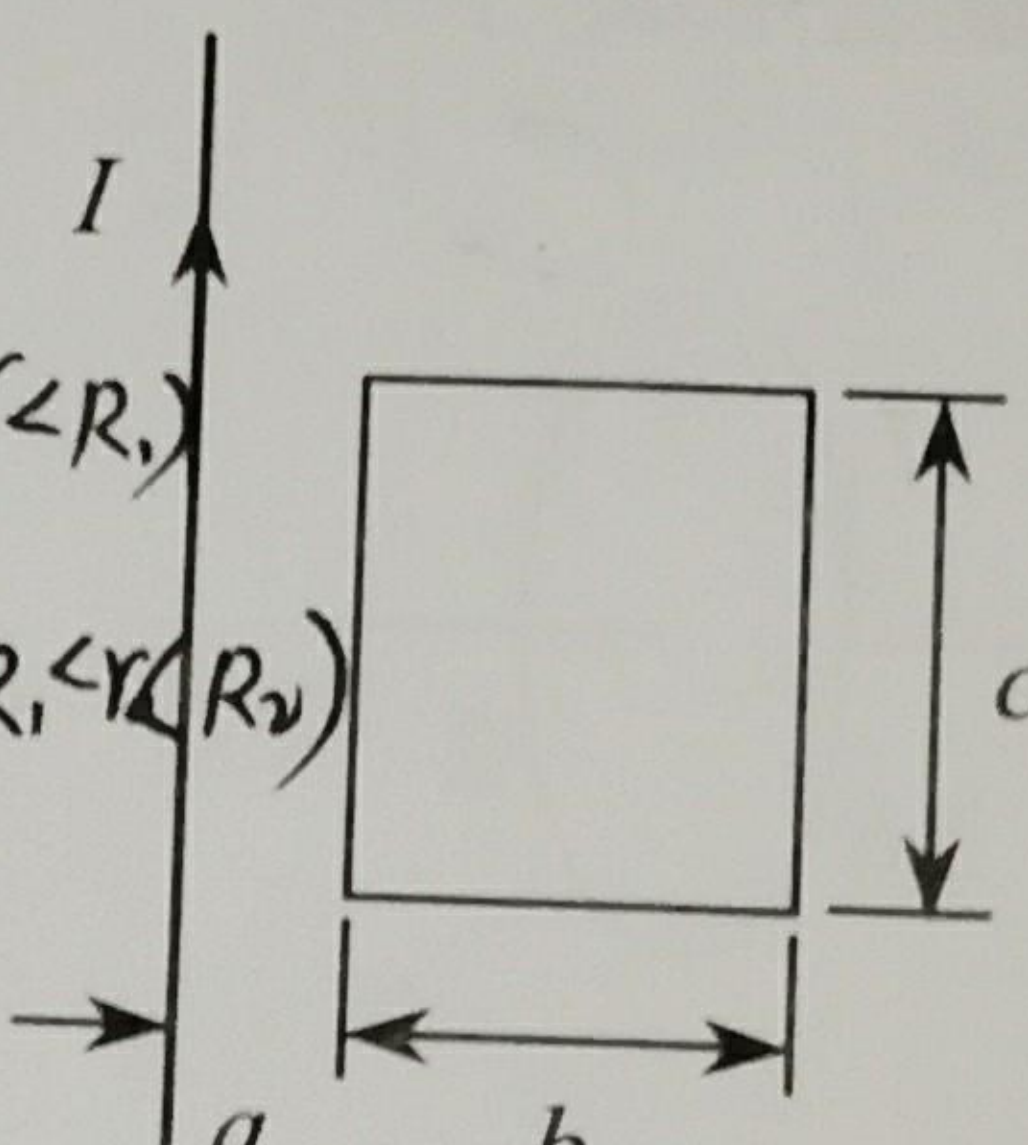
$$\begin{cases} w_m = \frac{1}{2} \mu_0 \left( \frac{r I}{2\pi R^2} \right)^2 & (r < R_1) \\ w_m = \frac{1}{2} \mu_0 \mu_r \left( \frac{I}{2\pi r} \right)^2 & (R_1 < r < R_2) \\ w_m = 0 & (r > R_2) \end{cases}$$

单位长度

$$W_m = \int w_m dV = \int_0^{R_1} + \int_0^{R_2} w_m dv$$

$$= \frac{\mu_0 I^2}{16\pi} + \frac{\mu_0 I^2}{4\pi} \ln \frac{R_2}{R_1}$$

10. 一无限长直导线通有电流  $I = I_0 \cos \omega t$  (其中  $I_0, \omega$  均为常量) 和长直导线同一平面内有一矩形导线线圈, 线圈的一边与直导线平行 (如图), 试求 (1) 直导线与导线线圈之间的互感系数, (2) 线圈中的互感电动势。



$$(1) \text{ 求 } B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$$

$$\Phi_m = \int \vec{B} \cdot d\vec{s} = \int_a^{a+b} \frac{\mu_0 I}{2\pi x} c dx$$

$$= \frac{\mu_0 c I}{2\pi} \ln \frac{a+b}{a}$$

$$M = \frac{\Phi_m}{I} = \frac{\mu_0 c}{2\pi} \ln \frac{a+b}{a}$$

$$(2) \begin{cases} \mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -\frac{\mu_0 c}{2\pi} \ln \frac{a+b}{a} \cdot \frac{dI}{dt} \\ = -\frac{\mu_0 c}{2\pi} \ln \frac{a+b}{a} \cdot I_0 \omega \sin \omega t \end{cases}$$

9. 如图所示, 一半径为  $r_2$  的导体圆环通以电流  $I = I_0 \sin(\omega t)$ , 里边有一半径为  $r_1$  总电阻为  $R$  的导体环, 两环共面同心 ( $r_2 \gg r_1$ ), 求小环中的感应电流。

$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{2r_2} = \frac{\mu_0 I_0 \sin \omega t}{2r_2}$$

$$\Phi_m = B \cdot \pi r_1^2 = \frac{\mu_0 I_0 \sin \omega t}{2r_2} \cdot \pi r_1^2$$

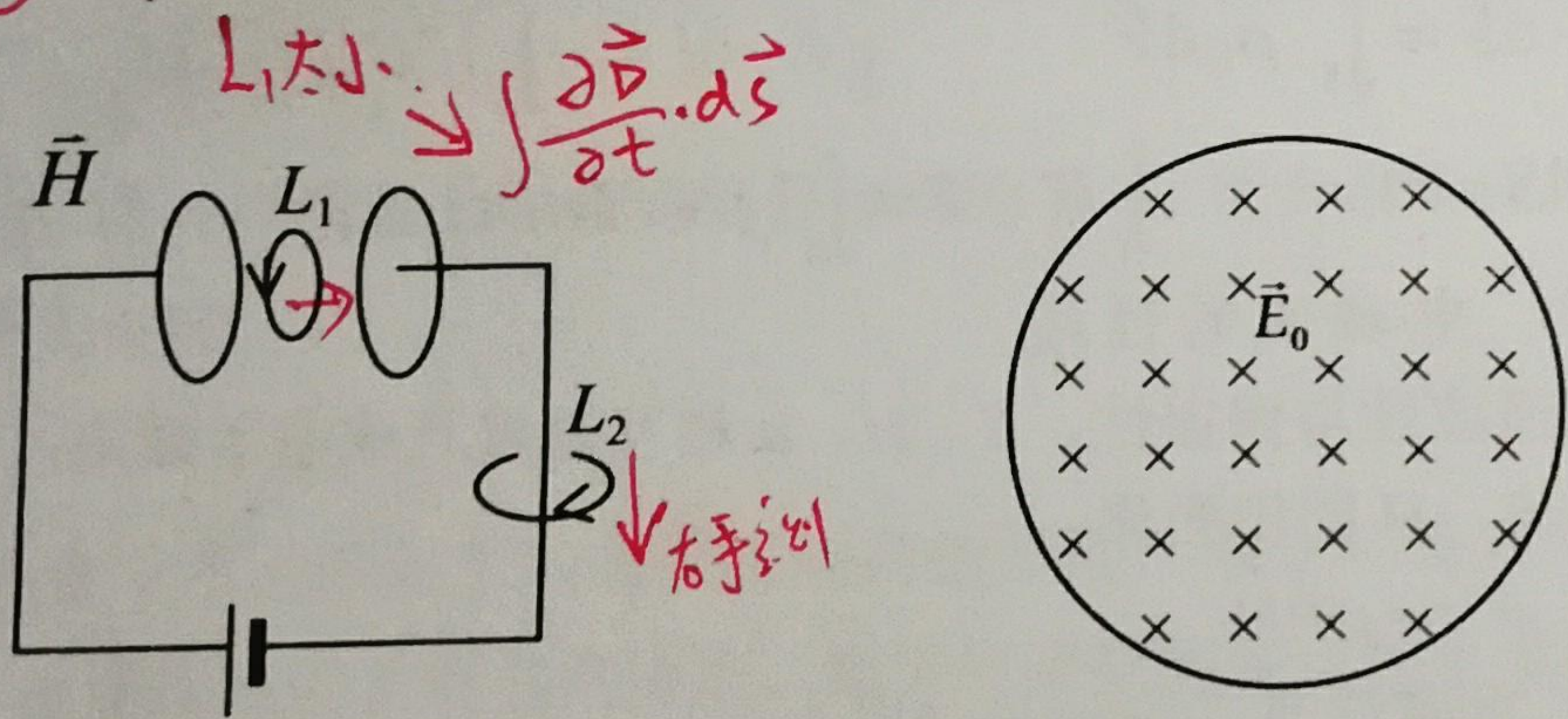
$$\therefore \mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -\frac{\mu_0 \pi r_1^2}{2r_2} \cdot I_0 \omega \cos \omega t$$

$$I_i = \frac{\mathcal{E}_i}{R} = -\frac{\mu_0 \pi r_1^2}{2Rr_2} \cdot I_0 \omega \cos \omega t$$

### 电磁感应 (III)

1. 如图, 平板电容器(忽略边缘效应)充电时, 沿环路  $L_1$  的磁场强度  $\vec{H}$  的环流与沿环路  $L_2$  的磁场强度  $\vec{H}$  的环流两者, 必有:

- [ C ]
- A  $\oint_{L_1} \vec{H} \cdot d\vec{l}' > \oint_{L_2} \vec{H} \cdot d\vec{l}'$ ;      B  $\oint_{L_1} \vec{H} \cdot d\vec{l}' = \oint_{L_2} \vec{H} \cdot d\vec{l}'$ ;
- C  $\oint_{L_1} \vec{H} \cdot d\vec{l}' < \oint_{L_2} \vec{H} \cdot d\vec{l}'$ ;      D  $\oint_{L_1} \vec{H} \cdot d\vec{l}' = 0$ .



2. 如图所示, 圆柱形空间 (视为真空) 均匀电场, 若电场大小随时间变化率为  $dE_0/dt = 10 \text{V} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  则其位移电流密度的大小为  $\epsilon_0 \frac{dE_0}{dt} = 8.85 \times 10^{-11}$  单位为  $\text{A/m}^2$ 。  $\vec{j}_D = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$

3. 将充满电的平行板电容器通过电阻  $R$  放电, 此时两极板间电场强度的大小为  $E = E_0 e^{-t/RC}$ , 式中  $E_0$ 、 $R$ 、 $C$  均为常数, 则两板

间的位移电流密度的大小为  $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \frac{-\epsilon_0 E_0}{RC} e^{-t/RC}$ , 其方向与场强方向 相反。

4. 在没有自由电荷与传导电流的变化电磁场中:

$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$ ;

$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$ ;

5. 反映电磁场基本性质和规律的积分形式的麦克斯韦方程组为

- ①  $\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int_V \rho dV$
- ②  $\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$
- ③  $\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$
- ④  $\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S (\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) \cdot d\vec{S}$

试判断下列结论是包含于或等效于哪一个麦克斯韦方程式的。

(1) 变化的磁场一定伴随有电场: ②; (2) 磁感线是无头无尾的: ③; (3) 电荷总伴随有电场: ①。

# 电磁学综合练习

## 一、选择题

1. 下述各种说法中正确的是: [ C ]

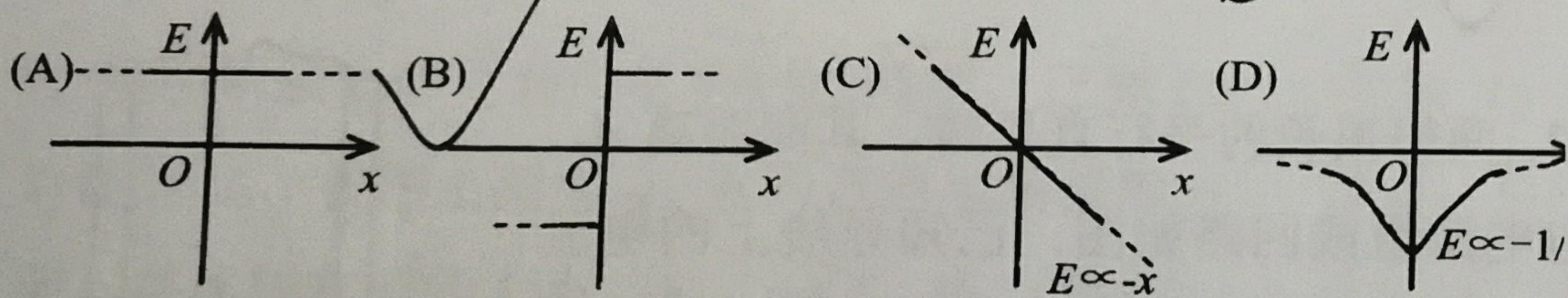
A 闭合高斯面内电荷代数和为零时, 高斯面上各点电场强度一定为零;

B 闭合高斯面内电荷代数和不为零时, 高斯面上各点电场强度必定处处不为零;

C 闭合高斯面内电荷代数和为零时, 高斯面上各点电场强度不一定处处为零;

D 闭合高斯面上各点电场强度均为零时, 闭合高斯面内必定处处无电荷。

2. 设有一“无限大”均匀带正电荷的平面. 取  $x$  轴垂直带电平面, 坐标原点位于带电平面上, 则其周围空间各点的电场强度  $E$  随距离平面的位置坐标  $x$  变化的关系曲线为(规定场强方向沿  $x$  轴正向为正、反之为负): [ B ]



3. 有  $N$  个电荷均为  $q$  的点电荷, 以两种方式分布在相同半径的圆周上: 一种是无规则地分布, 另一种是均匀分布. 比较这两种

情况下在过圆心  $O$  并垂直于圆平面的  $z$  轴上任一点  $P$  (如图所示) 的场强与电势, 则有 [ C ]

A 场强相等, 电势相等.

B 场强不等, 电势不等.

C 场强分量  $E_z$  相等, 电势相等.

D 场强分量  $E_z$  相等, 电势不等.

4. 均匀磁场的磁感强度  $\vec{B}$  垂直于半径为  $r$  的圆面. 今以该圆周为边线, 作一半球面  $S$ , 则通过  $S$  面的磁通量的大小为 [ B ]

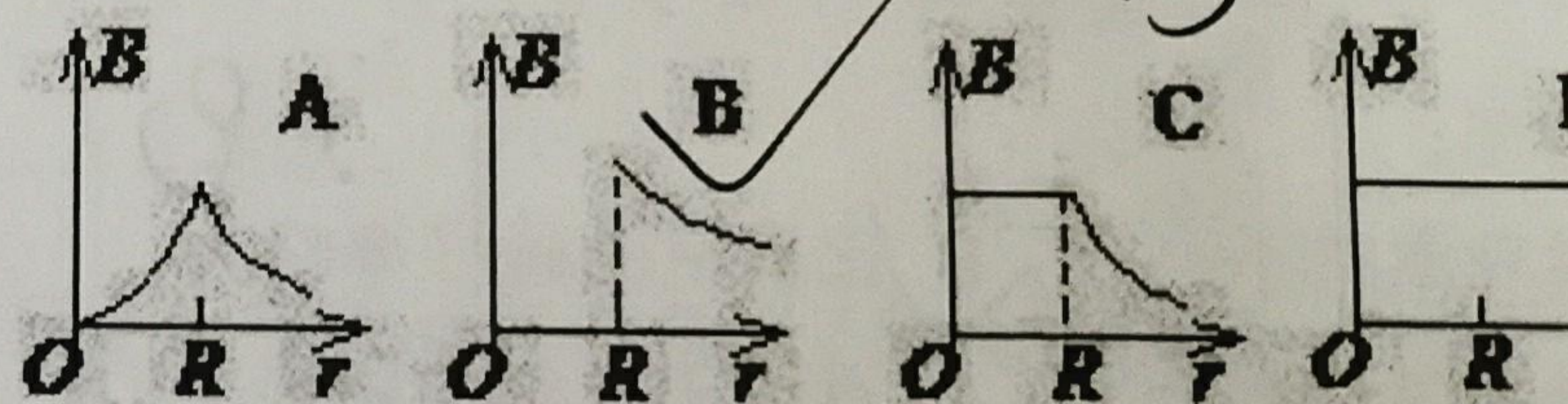
A  $2r^2B$ .

B  $\pi r^2B$ .

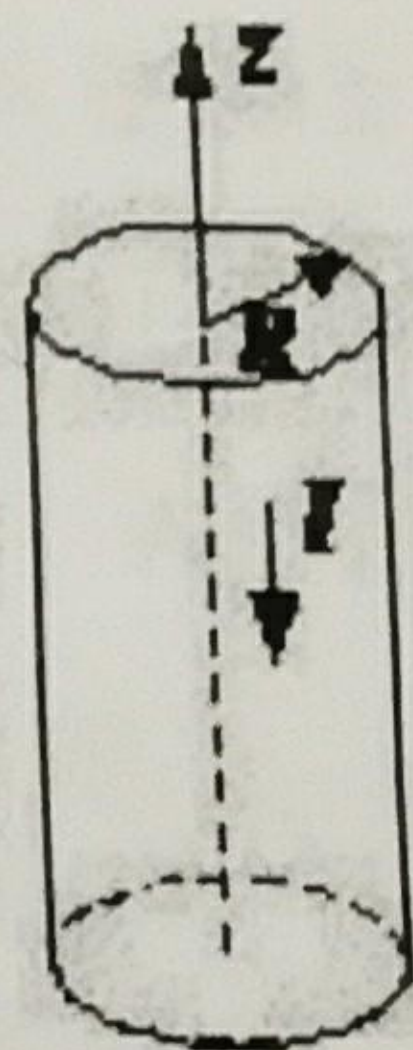
C 0.

D 无法确定的量.

5. 电流沿长直中空薄壁圆筒导体均匀分布, 圆筒半径为  $R$ , 取中心轴线为  $z$  轴. 图 A~E 哪一条曲线表示电流在周围空间激发磁场  $B$  与  $r$  的关系? [ B ]



中空  
薄壁  
圆筒



6. 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

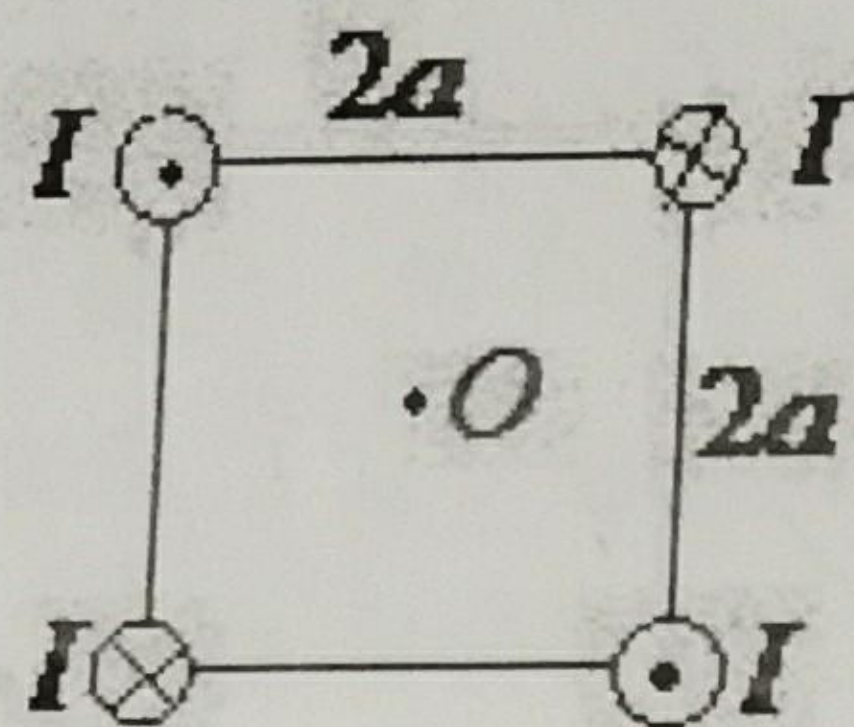
图中正方形中心点  $O$  的磁感强度的大小为 [ C ]

A  $B = \frac{2\mu_0}{\pi a} I$

B  $B = \frac{\sqrt{2}\mu_0}{2\pi a} I$

C  $B = 0$

D  $B = \frac{\mu_0}{\pi a} I$



7.  $A$ 、 $B$  两个电子都垂直于磁场方向射入一均匀磁场而作圆周运动.  $A$  电子的速率是  $B$  电子速率的两倍. 设  $R_A$ 、 $R_B$  分别为  $A$  电子与  $B$  电子的轨道半径;  $T_A$ 、 $T_B$  分别为它们各自的周期. 则

[ D ]

A  $R_A : R_B = 2, T_A : T_B = 2$

B  $R_A : R_B = \frac{1}{2}, T_A : T_B = 1$

C  $R_A : R_B = 1, T_A : T_B = \frac{1}{2}$

D  $R_A : R_B = 2, T_A : T_B = 1$

8. 顺磁物质的磁导率:

A 比真空的磁导率略小.

B 比真空的磁导率略大.

C 远小于真空的磁导率.

D 远大于真空的磁导率.

9. 圆柱形无限长载流直导线置于均匀无限大磁介质之中, 若导线中流过的稳恒电流为  $I$ , 磁介质的相对磁导率为  $\mu_r (\mu_r > 1)$ , 则与导线接触的磁介质表面上的磁化电流  $I'$  为

A  $(1 - \mu_r)I$

B  $(\mu_r - 1)I$

C  $\mu_r I$

D  $\frac{I}{\mu_r}$

10. 一根长度为  $L$  的铜棒, 在均匀磁场  $\vec{B}$  中以匀角速度  $\omega$  绕其一端的定轴旋转,  $\vec{B}$  的方向垂直铜棒转动的平面, 如图示. 设  $t=0$  时, 铜棒与  $Ob$  成  $\theta$  角 ( $b$  为铜棒转动的平面上的固定点), 则在任一时刻  $t$  这根铜棒两端之间的感应电动势是:

[ E ]

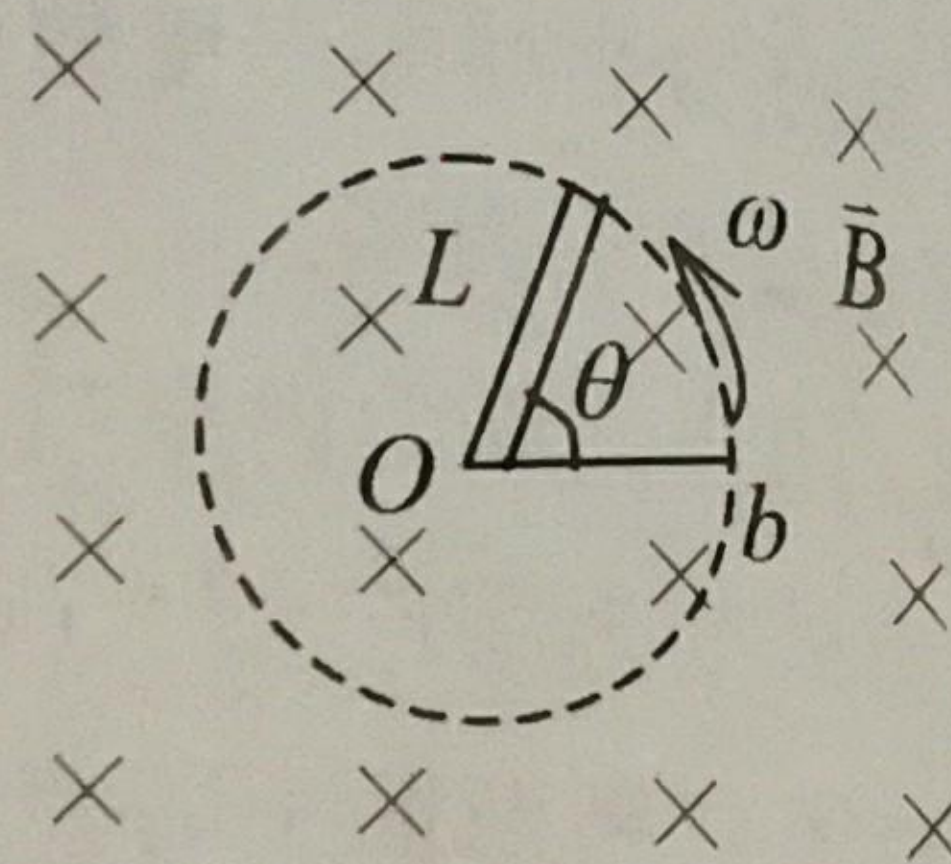
A  $\omega L^2 B \cos(\omega t + \theta)$

B  $\frac{1}{2} \omega L^2 B \cos \omega t$

C  $2\omega L^2 B \cos(\omega t + \theta)$

D  $\omega L^2 B$

E  $\frac{1}{2} \omega L^2 B$



11. 两个相距不太远的平面圆线圈, 怎样可使其互感系数近似为零? 设其中一线圈的轴线恰通过另一线圈的圆心. [ C ]

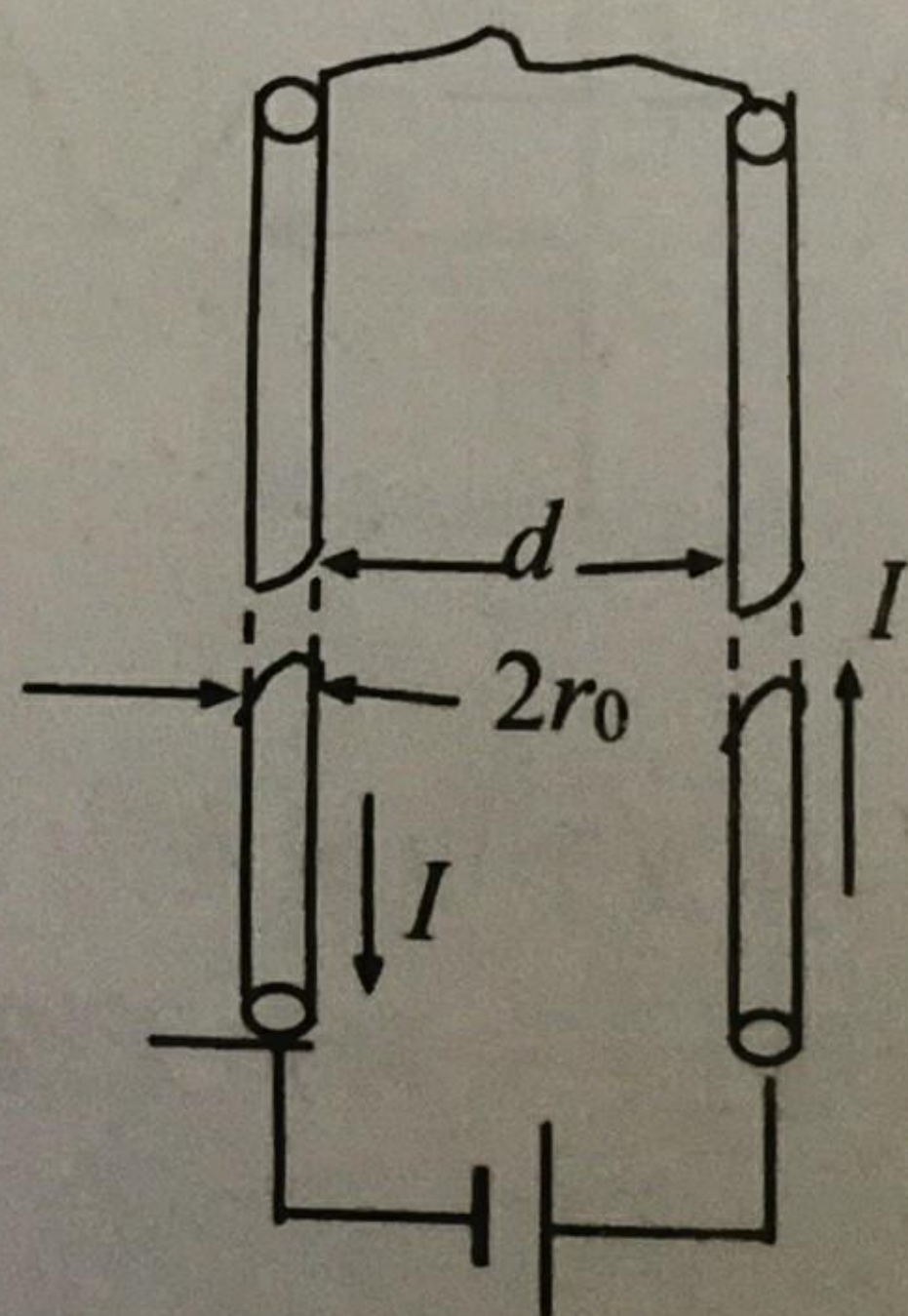
A 两线圈的轴线互相平行放置.

B 两线圈并联.

C 两线圈的轴线互相垂直放置.

D 两线圈串联.

12. 两根很长的平行直导线, 其间距离  $d$ , 与电源组成回路如图. 已知导线上的电流为  $I$ , 两根导线的横截面的半径均为  $r_0$ . 设用  $L$  表示两导线回路单位长度的自感系数, 则沿导线单位长度的空间内的总磁能  $W_m$  为 [ A ]



A  $\frac{1}{2}LI^2$

B  $\infty$

C  $\frac{1}{2}LI^2 + \frac{\mu_0 I^2}{2\pi} \ln \frac{d}{r_0}$

D  $\frac{1}{2}LI^2 + I^2 \int_{r_0}^{\infty} [\frac{\mu_0 I}{2\pi r} - \frac{\mu_0 I}{2\pi(d+r)}]^2 2\pi r dr$

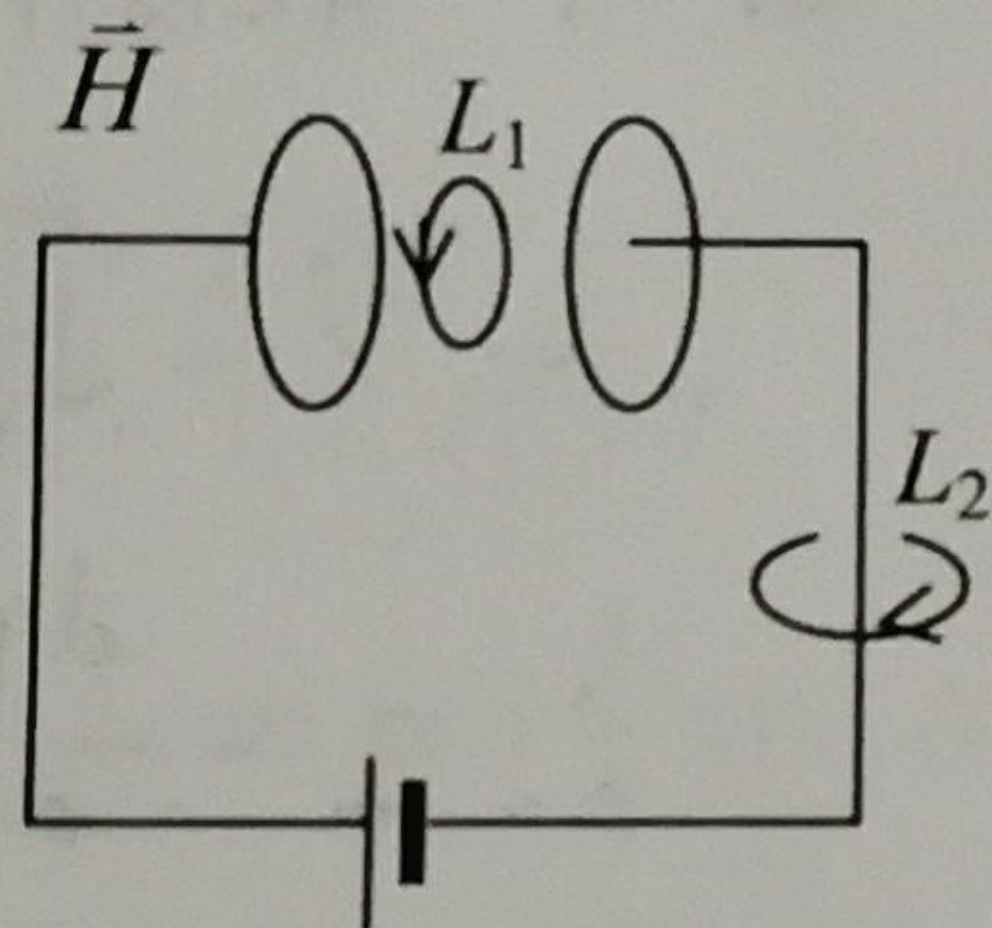
13. 如图, 平板电容器(忽略边缘效应)充电时, 沿环路  $L_1$  的磁场强度  $\vec{H}$  的环流与沿环路  $L_2$  的磁场强度  $\vec{H}$  的环流两者, 必有 [ C ]

A  $\oint_{L_1} \vec{H} \cdot d\vec{l}' > \oint_{L_2} \vec{H} \cdot d\vec{l}'$

B  $\oint_{L_1} \vec{H} \cdot d\vec{l}' = \oint_{L_2} \vec{H} \cdot d\vec{l}'$

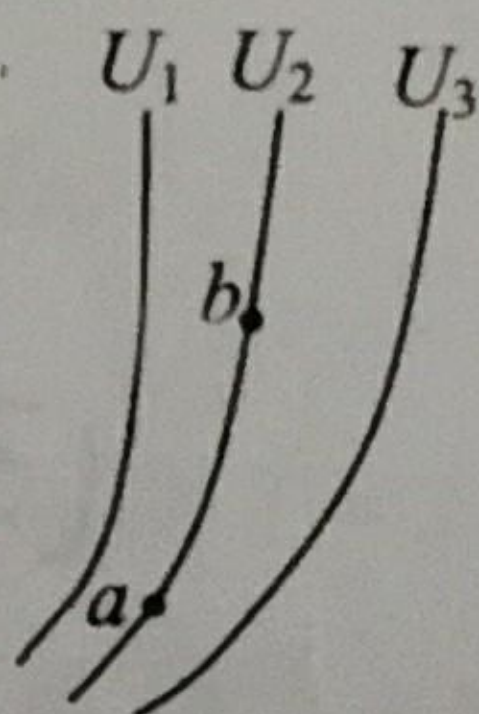
C  $\oint_{L_1} \vec{H} \cdot d\vec{l}' < \oint_{L_2} \vec{H} \cdot d\vec{l}'$

D  $\oint_{L_1} \vec{H} \cdot d\vec{l}' = 0$



二、填空题

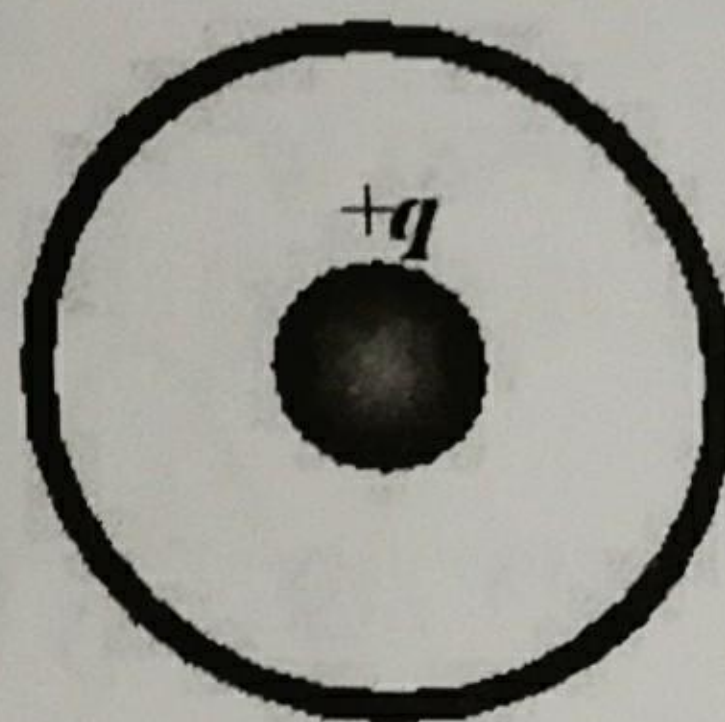
1. 图中所示为静电场的等势(位)线图, 已知  $U_1 > U_2 > U_3$ . 在图上画出  $a$ 、 $b$  两点的电场强度方向, 并比较它们的大小.  $E_a > E_b$  (填  $<$ 、 $=$ 、 $>$ ).



2. 一质量为  $m$ 、电荷为  $q$  的小球, 在电场力作用下, 从电势为  $U$  的  $a$  点移动到电势为零的  $b$  点. 若已知小球在  $b$  点的速率为  $v_b$ ,

则小球在  $a$  点的速率  $v_a = \sqrt{\frac{mv_b^2 - 2qU}{m}}$

3. 如图所示导体球外有一同心的导体球壳, 内导体球带电荷  $+q$ , 外球壳带电荷  $-2q$ . 静电平衡时, 外球壳的电荷分布为: 内表面带电  $-q$ ; 外表面带电  $-q$ .

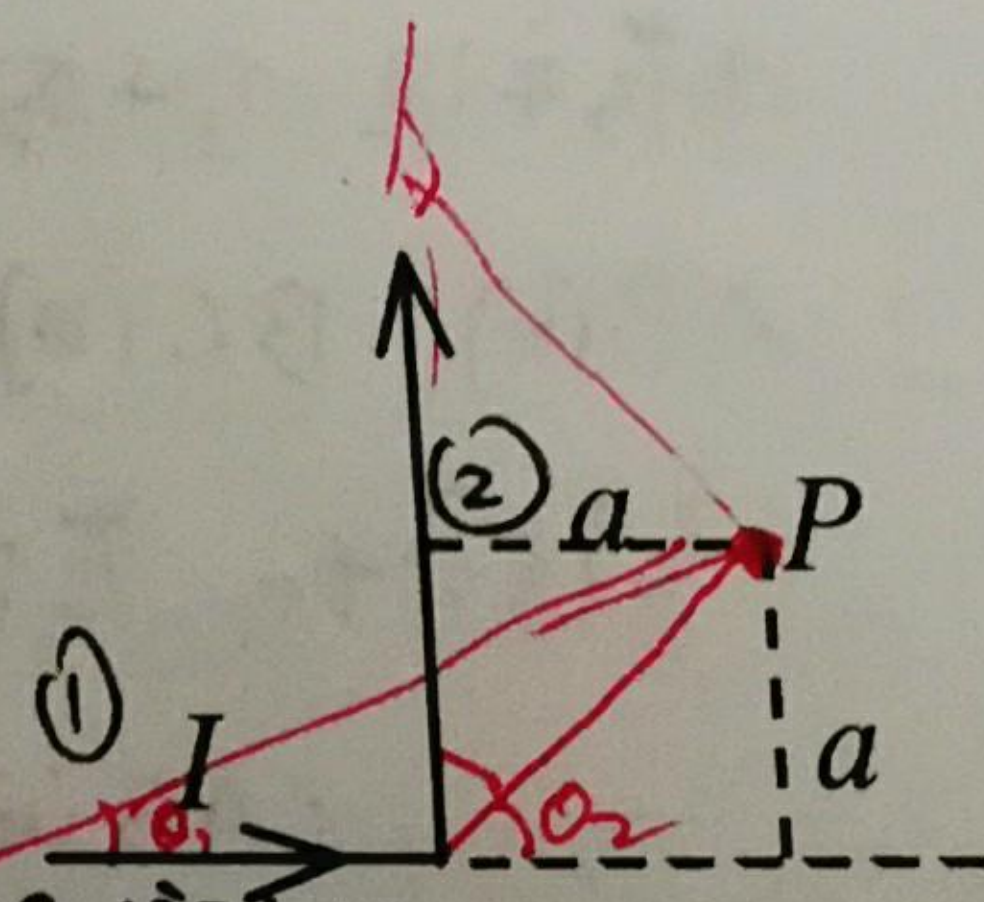


4. 将一根均匀带电细棒弯成半径为  $R$  的半圆形, 细棒带有正电荷  $Q$ , 将电荷  $q$  从  $\infty$  点移到圆心处, 则电场力做功  $\frac{-Qq}{4\pi\epsilon_0 R}$ .

5. 一电偶极子由电荷  $q = 1.0 \times 10^{-6} \text{ C}$  的两个异号点电荷组成, 两电荷相距  $l = 2.0 \text{ cm}$ , 把这电偶极子放在场强大小为  $E = 1.0 \times 10^5 \text{ N/C}$  的均匀电场中, 电场作用于电偶极子的最大力矩  $2 \times 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{m}$ .

6. 加在平行板电容器极板上的电压变化率  $1.0 \times 10^6 \text{ V/s}$ , 在电容器内产生  $1.0 \text{ A}$  的位移电流, 则该电容器的电容量为  $1 \times 10^{-6} \text{ F}$ .

三、一无限长载有电流  $I$  的直导线在一处折成直角,  $P$  点位于导线所在平面内, 距一条折线的延长线和另一条导线的距离都为  $a$ , 如图. 求  $P$  点的磁感强度  $\vec{B}$ .



根据  $d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{e}_r}{r^2}$  积分可得长直导线磁感强度

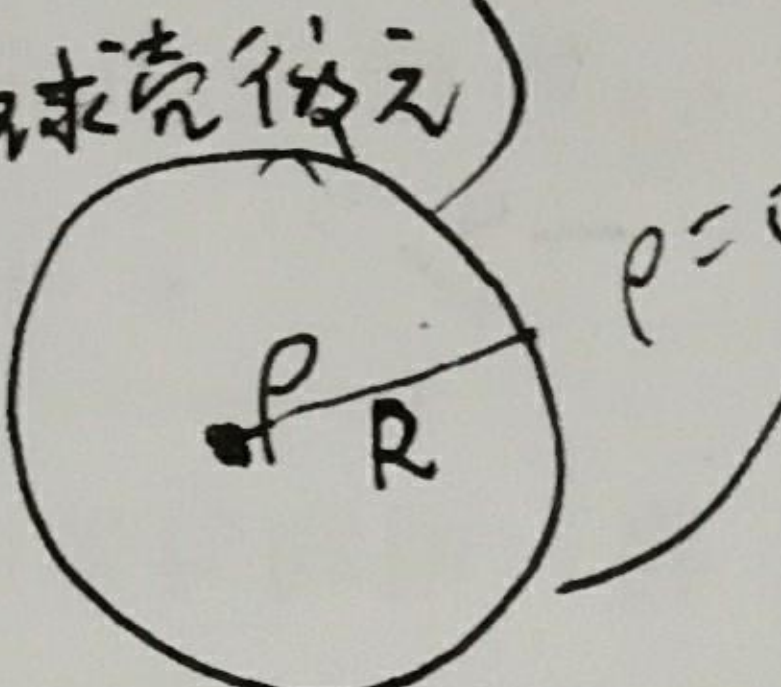
$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$

对①导线  $\theta_1 = 0, \theta_2 = \frac{\pi}{4}, B_1 = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\frac{\sqrt{2}}{2} + 1) \otimes$

对②导线  $\theta_1 = \frac{\pi}{4}, \theta_2 = \pi, B_2 = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (1 - \frac{\sqrt{2}}{2}) \odot$

$\therefore B = B_1 - B_2 = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} \sqrt{2}$

四、一半径为  $R$  的带电球体, 其电荷体密度分布为  $\rho = \frac{qr}{\pi R^4}$  ( $r \leq R$ ) ( $q$  为一正的常量);  $\rho = 0$  ( $r > R$ ), 试求: (1) 带电球体的总电荷; (2) 球内、外各点的电场强度; (3) 球内、外各点的电势.

(1)  $Q = \int \rho dv = \int_0^R \frac{qr}{\pi R^4} \cdot 4\pi r^2 dr$  (取球壳微元)   $\rho = 0$

$= q$

(2) 球面高斯面  $\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q$

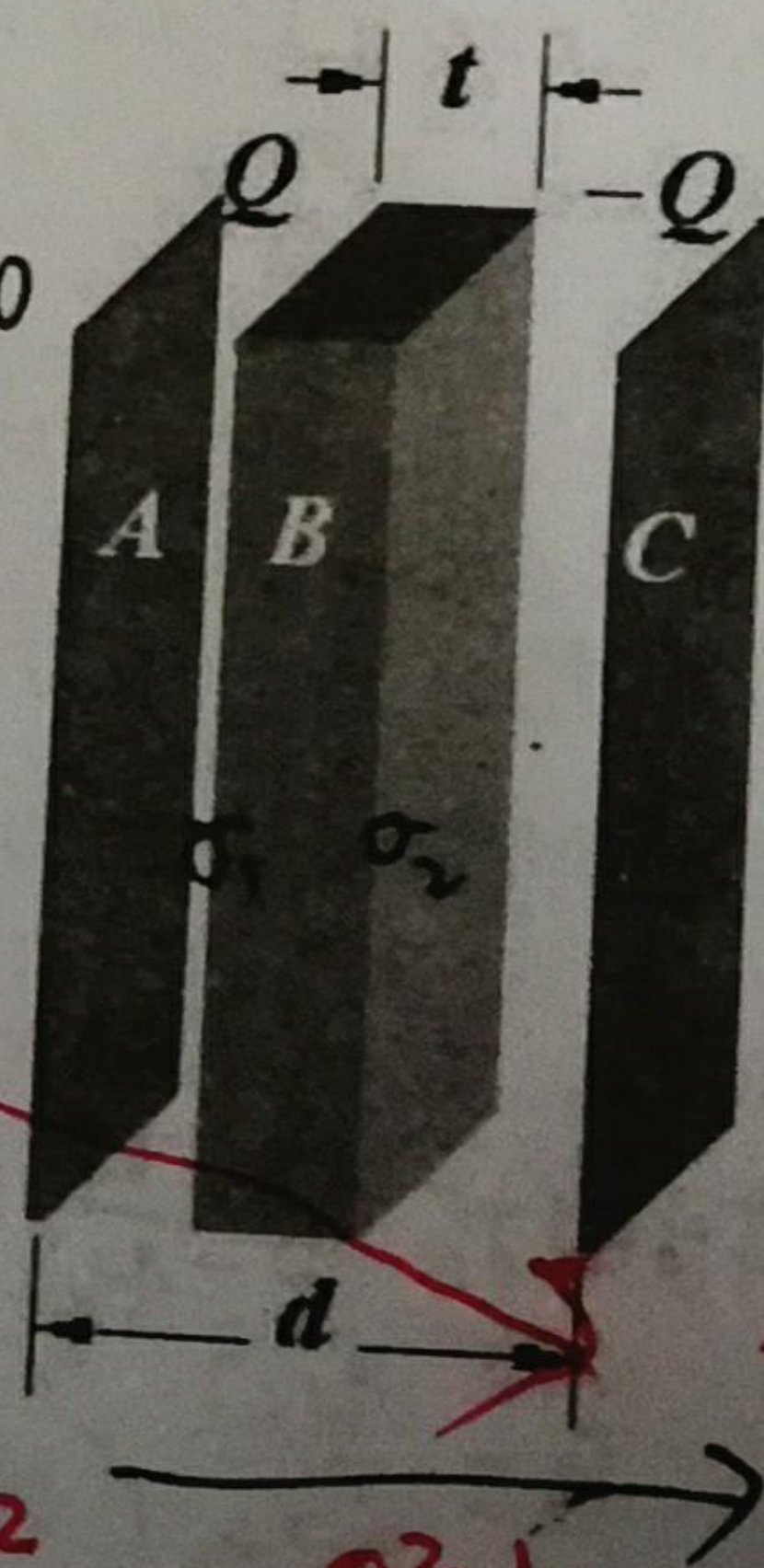
$E \cdot 4\pi r^2 = \begin{cases} \frac{1}{\epsilon_0} \int_0^r \frac{qr}{\pi R^4} \cdot 4\pi r^2 dr & (r < R) \\ \frac{q}{\epsilon_0} & (r > R) \end{cases}$

$\therefore E = \begin{cases} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^4} r^2 & r < R \\ \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} & r > R \end{cases}$

五、两块面积为  $S$  的平行导体薄板  $A$ 、 $C$  间距为  $d$ , 分别带等量异号电荷  $\pm Q$ , 其间平行地插入一块同样大小、厚度为  $t$  的导体板  $B$  如图所示。忽略电场的边缘效应, 求 (1) 电容器的电场能量; (2) 抽走导体板  $B$  后的电场能量增大了多少?

(1) 设  $B$  左右面电荷密度  $\sigma_1, \sigma_2$   
电荷守恒  $\sigma_1 + \sigma_2 = 0$ ,  $B$  为导体内场强  $E = 0$

2.  $AB$  间,  $BC$  间均为匀强电场, 对任意一点  
场强叠加  $E = \frac{Q}{2\epsilon_0 S} \times 2 \cdot \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0 S}$   
( $AB$  间取  $\ominus$ ,  $BC$  间取  $\oplus$ )



取正方向  
向右为正向

3.  $C = \frac{\epsilon_0 S}{d-t}$   $W = \frac{Q^2}{2C} = \frac{Q^2(d-t)}{2\epsilon_0 S}$

(2) 抽去后.  $C' = \frac{\epsilon_0 S}{d}$   $W' = \frac{Q^2}{2C'} = \frac{Q^2 d}{2\epsilon_0 S}$

$\Delta W = W' - W = \frac{Q^2 t}{2\epsilon_0 S}$

(3)  $\therefore V_a = \int_a^{\infty} \vec{E} \cdot d\vec{r}$

$\therefore V_r = \begin{cases} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} + \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} & r < R \\ \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} & r > R \end{cases}$

六、假设把氢原子看成是一个电子在与质子的库仑力作用下绕核作匀速率圆周运动。已知圆轨道的半径为  $r$ , 电子电量为  $e$ , 质量为  $m_e$ 。将该氢原子置于磁感强度为  $\vec{B}_0$  的均匀外磁场中并忽略磁场对电子运动产生的影响, 求 (1) 电子绕核运动等效电流的大小; (2) 氢原子中电子的轨道磁矩; (3) 此氢原子在外磁场中所受的最大力矩  $\vec{M}_{\max}$  的大小。

(1)  $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} = \frac{m_e v^2}{r}$  ( $\vec{F} = -\vec{r}$ )

$\therefore v = \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e r}}$   $T = \frac{2\pi r}{v}$

$\therefore I = \frac{dq}{dt} = \frac{e}{T} = \frac{ev}{2\pi r} = \frac{e^2}{2\pi r} \sqrt{\frac{1}{4\pi\epsilon_0 m_e r}}$

(2)  $\vec{P}_e = IS \vec{e}_n = \frac{e^2}{2\pi r} \sqrt{\frac{1}{4\pi\epsilon_0 m_e r}} \cdot \pi r^2$

$= \frac{e^2 r}{2} \sqrt{\frac{1}{4\pi\epsilon_0 m_e r}}$

(3)  $\vec{M} = \vec{P}_m \times \vec{B} = |\vec{P}_m| |\vec{B}| \sin\theta$   $\theta = 90^\circ$

$= P_m B_0 = \frac{1}{2} B_0 e^2 r \sqrt{\frac{1}{4\pi\epsilon_0 m_e r}}$

# 气体动理论

1. 处于平衡状态的一瓶氦气和一瓶氧气的分子数密度相同，分子的平均平动动能也相同，则它们： [ A ]

- A 温度，压强均相同
- B 温度相同，但氦气压强大于氮气压强
- C 温度，压强都不相同
- D 温度相同，但氦气压强小于氮气压强

2. 一瓶氦气和一瓶氮气密度相同，分子平均平动动能相同，而且都处于平衡状态，则它们： [ C ]

- A 温度相同、压强相同。
- B 温度、压强都不同。
- C 温度相同，但氦气的压强大于氮气的压强。
- D 温度相同，但氦气的压强小于氮气的压强。

3. 有一截面均匀的封闭圆筒，中间被一光滑的活塞分隔成两边，如果其中的一边装有 0.1 kg 某一温度的氢气，为了使活塞停留在圆筒的正中央，则另一边应装入同一温度的氧气的质量为：

- A (1/16)kg
- B 0.8 kg
- C 1.6 kg
- D 3.2 kg

4. 关于温度的意义，有下列几种说法：

- (1) 温度的高低反映物质内部分子运动剧烈程度的不同。
- (2) 气体的温度是分子平均平动动能的量度。
- (3) 从微观上看，气体的温度表示每个气体分子的冷热程度。
- (4) 气体的温度是大量气体分子热运动的集体表现，具有统计意义。

这些说法中正确的是： [ A ]

- A (1)、(2)、(4).
- B (1)、(2)、(3).
- C (2)、(3)、(4).
- D (1)、(3)、(4).

5. 1 mol 刚性双原子分子理想气体，当温度为  $T$  时，其内能为 [ C ]

- (A)  $\frac{3}{2}RT$ .
- (B) 概  $\frac{3}{2}kT$ .
- (C)  $\frac{5}{2}RT$
- (D) 概  $\frac{5}{2}kT$ .

(式中  $R$  为普适气体常量， $k$  为玻尔兹曼常量)

6. 两容器内分别盛有氢气和氦气，若它们的温度和质量分别相等，则： [ A ]

- A 两种气体分子的平均平动动能相等。
- B 两种气体分子的平均动能相等。
- C 两种气体分子的平均速率相等。
- D 两种气体的内能相等。

7. 标准状态下，若氧气和氮气的体积比  $V_1/V_2 = 1/2$ ，则其内能  $E_1/E_2$  为： [ B ]

- A 1/2;
- B 5/6;
- C 3/2;
- D 1/3.

8. 理想气体的内能是状态的单值函数，下面对理想气体内能的理解错误的是 [ B ]

- (A) 气体处于一定状态，就具有一定的内能；
- (B) 对应于某一状态的内能是可以直接测量的；
- (C) 当理想气体的状态发生变化时，内能不一定随之变化；
- (D) 只有当伴随着温度变化的状态变化时，内能才发生变化；

9. 一定量的理想气体贮于某一容器中，温度为  $T$ ，气体分子的质量为  $m$ 。根据理想气体的分子模型和统计假设，分子速度在  $x$

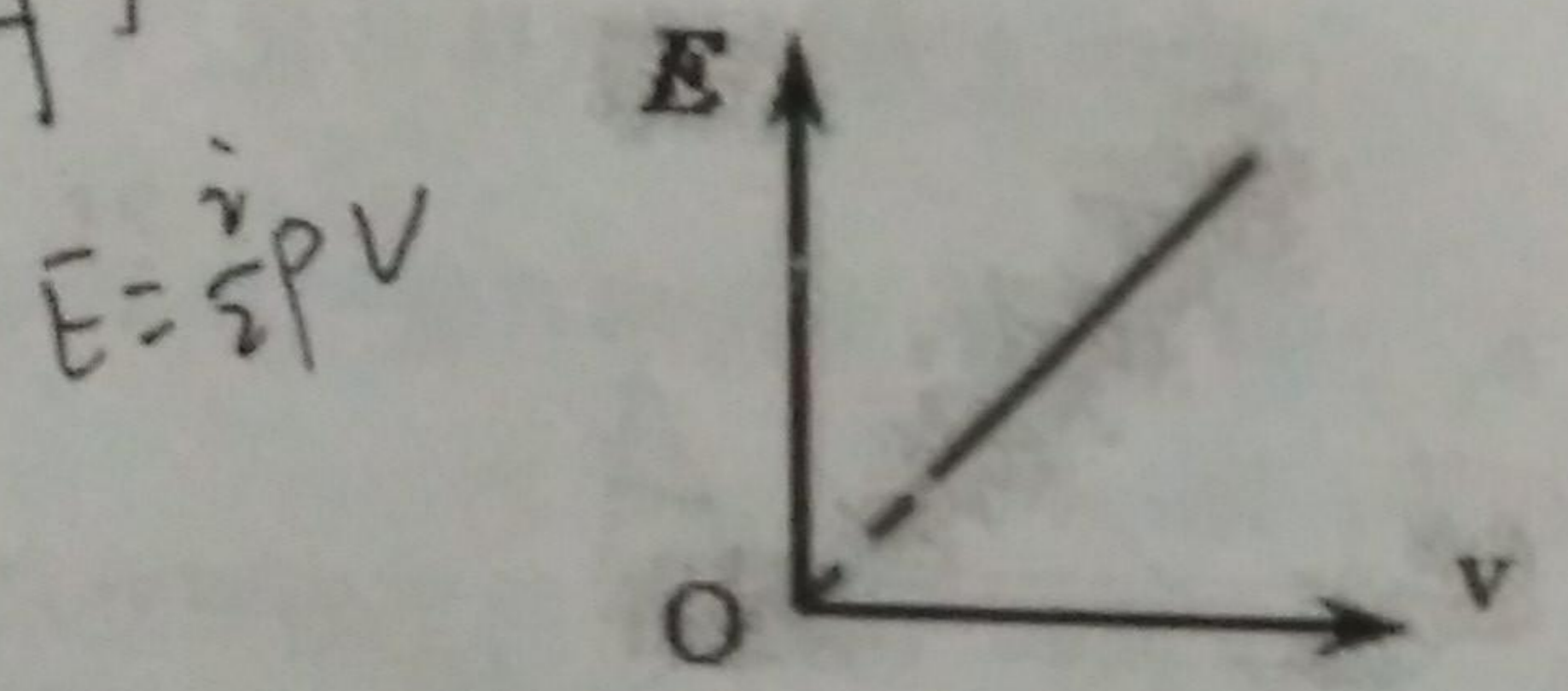


方向的分量平方的平均值 [ D ]

- A  $\overline{v_x^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$
- B  $\overline{v_x^2} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{3kT}{m}}$
- C  $\overline{v_x^2} = 3kT/m$
- D  $\overline{v_x^2} = kT/m$

10. 如图所示为定量理想气体内能 E 随体积 V 的变化关系, 则此直线表示的过程为 [ A ]

- A 等压过程;
- B 绝热过程;
- C 等温过程;
- D 等容过程.



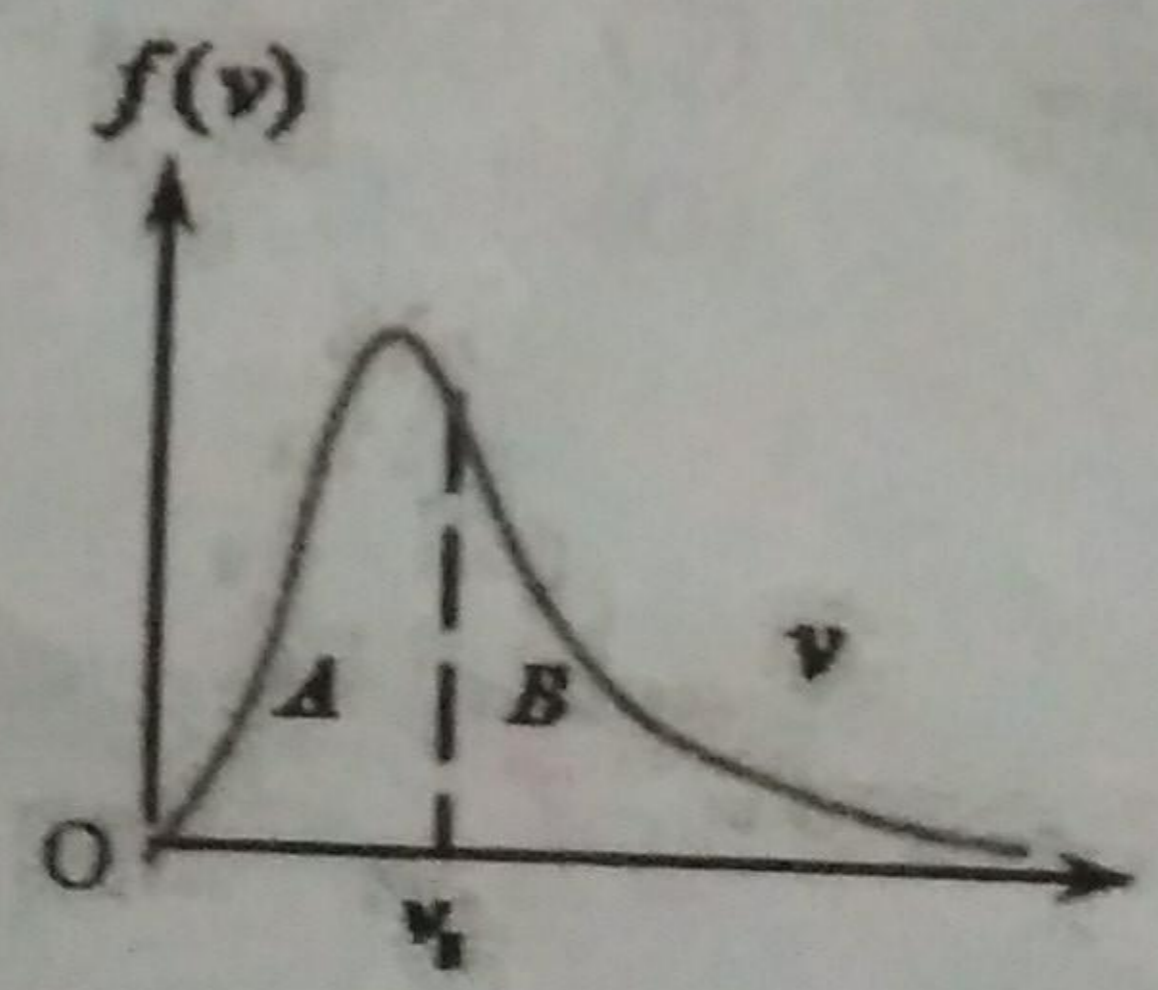
11. 已知一定量的某种理想气体, 在温度为  $T_1$  与  $T_2$  时的分子最概然速率分别为  $v_{p1}$  和  $v_{p2}$ , 分子速率分布函数的最大值分别为  $f(v_{p1})$  和  $f(v_{p2})$ . 若  $T_1 > T_2$ , 则 [ B ]

- (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)  $v_{p1} < v_{p2}$ ,  $f(v_{p1}) < f(v_{p2})$ .

$v_p = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$

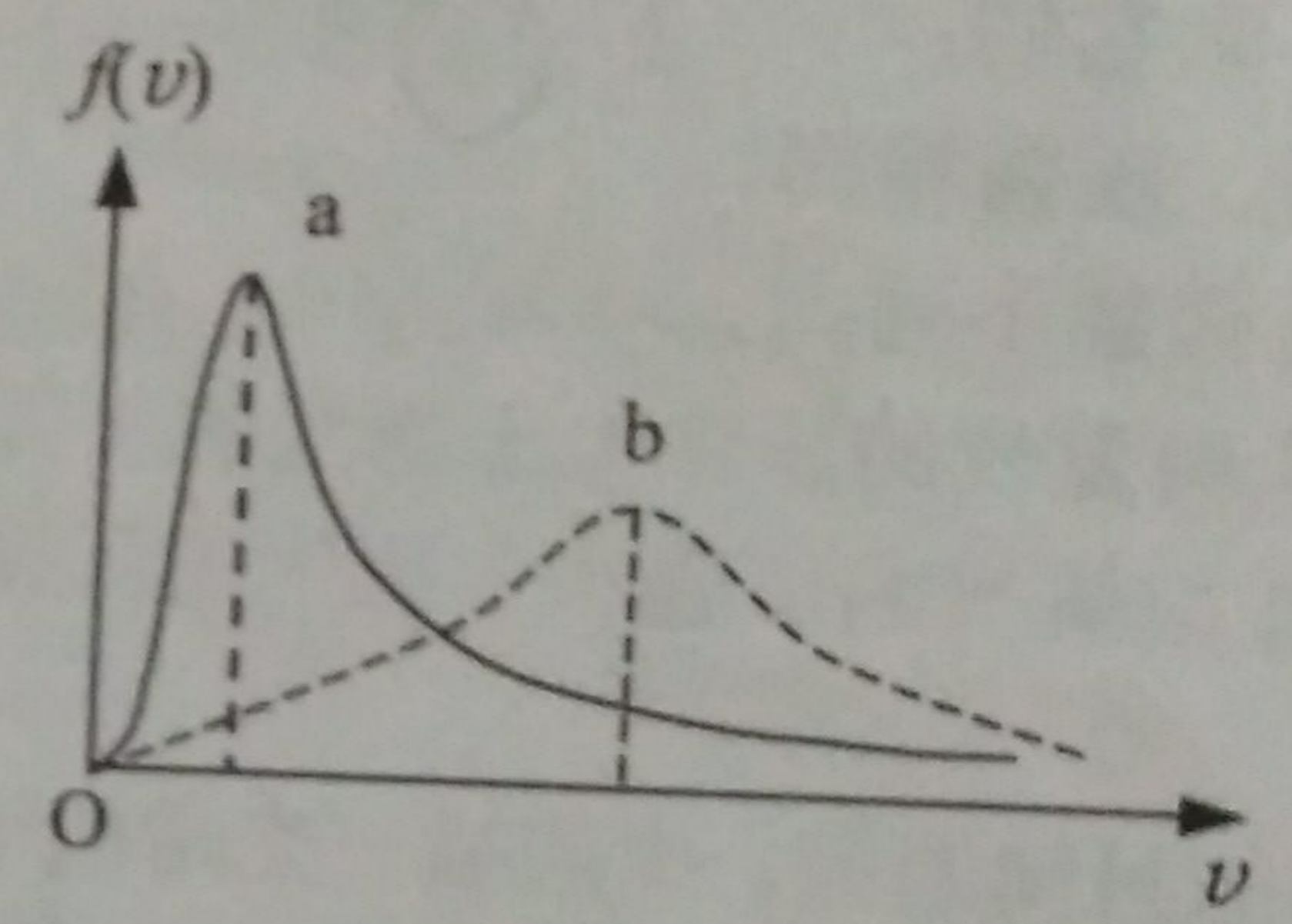
12. 麦克斯韦速率分布曲线如图所示, 图中 A、B 两部分面积相等, 则该图表示: [ C ]

- A  $v_0$  为最可几速率.
- B  $v_0$  为平均速率.
- C 速率大于和小于  $v_0$  的分子数各一半.
- D  $v_0$  为方均根速率.



13. 设图示的两条曲线分别表示在相同温度下氧气和氢气分子的速率分布曲线; 令  $(v_p)_{O_2}$  和  $(v_p)_{H_2}$  分别表示氧气和氢气的最概然速率, 则 [ B ]

- A、图中 a 表示氧气分子的速率分布曲线;  $(v_p)_{O_2} / (v_p)_{H_2} = 4$ .
- B、图中 a 表示氧气分子的速率分布曲线;  $(v_p)_{O_2} / (v_p)_{H_2} = 1/4$ .
- C、图中 b 表示氧气分子的速率分布曲线;  $(v_p)_{O_2} / (v_p)_{H_2} = 1/4$ .
- D、图中 b 表示氧气分子的速率分布曲线;  $(v_p)_{O_2} / (v_p)_{H_2} = 4$ .



$v_p = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$   
 $v_p \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$   
 $1:4$

14. 设某种气体的分子速率分布函数为  $f(v)$ , 则速率在  $v_1 - v_2$  区间内的分子的平均速率为 [ C ]

- A  $\int_{v_1}^{v_2} v f(v) dv$ .
- B  $v \int_{v_1}^{v_2} f(v) dv$ .
- C  $\int_{v_1}^{v_2} v f(v) dv / \int_{v_1}^{v_2} f(v) dv$ .
- D  $\int_{v_1}^{v_2} f(v) dv / \int_0^{\infty} f(v) dv$ .

15. 汽缸内盛有一定的理想气体,当温度不变,压强增大一倍时,该分子的平均碰撞频率和平均自由程的变化情况是: [ C ]

- A 都增大一倍;  
 B 都减为原来的一半;  
 C 平均碰撞频率增大一倍而平均自由程减为原来的一半;  
 D 平均碰撞频率减为原来的一半而平均自由程增大一倍.

16. 在一个体积不变的容器中,储有一定量的理想气体,温度为  $T_0$  时,气体分子的平均速率为  $\bar{v}_0$ , 分子平均碰撞次数为  $\bar{Z}_0$ , 平均自由程为  $\bar{\lambda}_0$ . 当气体温度升高为  $4T_0$  时,气体分子的平均速率  $\bar{v}$ , 平均碰撞频率  $\bar{Z}$  和平均自由程  $\bar{\lambda}$  分别为: [ B ]

- (A)  $\bar{v} = 4\bar{v}_0$ ,  $\bar{Z} = 4\bar{Z}_0$ ,  $\bar{\lambda} = 4\bar{\lambda}_0$ .  
 (B)  $\bar{v} = 2\bar{v}_0$ ,  $\bar{Z} = 2\bar{Z}_0$ ,  $\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_0$ .  
 (C)  $\bar{v} = 2\bar{v}_0$ ,  $\bar{Z} = 2\bar{Z}_0$ ,  $\bar{\lambda} = 4\bar{\lambda}_0$ .  
 (D)  $\bar{v} = 4\bar{v}_0$ ,  $\bar{Z} = 2\bar{Z}_0$ ,  $\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_0$ .

17. 理想气体等容过程中,其分子平均自由程与温度的关系为 无大, 理想气体等压过程中,其分子平均自由程与温

度的关系为  $\bar{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2}nd^2p}$ .

18. 已知某种理想气体,其分子方均根速率为  $400\text{m/s}$ , 当气体压强为  $1\text{atm}$  时,求气体的密度.

$$\therefore pV = \nu RT$$

$$\therefore p = \frac{m}{M} \nu RT = \frac{RT}{pM}$$

$$\therefore \rho = \frac{pM}{RT}$$

$$\therefore \bar{v}^2 = \frac{3RT}{M} \Rightarrow \frac{RT}{M} = \frac{1}{3} \bar{v}^2 \Rightarrow \rho = \frac{3p}{\bar{v}^2} = 1.899 (\text{SI}).$$

19. 封闭容器中装有  $2\text{g}$  氢气, 其温度为  $127^\circ\text{C}$ , 试求 (1) 气体分子的平均平动动能; (2) 气体分子的平均动能; (3) 气体的内能.

$$1. \quad \bar{\epsilon}_k = \frac{3}{2} kT = 8.28 \times 10^{-21} \text{J}$$

$$2. \quad \bar{\epsilon}_k = \frac{5}{2} kT = 1.38 \times 10^{-20} \text{J}$$

$$3. \quad E = \nu \cdot \frac{5}{2} RT = 8310 \text{J}$$

20. 一定量的理想气体, 经等温过程从压强  $P_0$  增至  $2P_0$ , 则描述分子运动的下列各量与原来的量值之比: 平均自由程  $\frac{\bar{\lambda}}{\lambda_0}$ 、平均速率  $\frac{\bar{v}}{\bar{v}_0}$ 、平均动能  $\frac{\bar{E}_k}{\bar{E}_{k0}}$  各为多少?

$$1. \because T_2 = T_1, P_2 = 2P_1, \lambda = \frac{kT}{\sqrt{2}nd^2p}$$

$$\therefore \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{1}{2}$$

$$2. \frac{\bar{v}_2}{\bar{v}_1} = \frac{\sqrt{8kT_2/\mu}}{\sqrt{8kT_1/\mu}} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} = 1$$

$$3. \frac{\bar{E}_k}{\bar{E}_{k0}} = 1$$

21. 已知空气分子的有效直径  $d = 3.5 \times 10^{-10} \text{m}$ , 空气分子的摩尔质量为  $M = 29 \times 10^{-3} \text{kg/mol}$ , 计算空气分子在标准状态下的几个物理量。

- (1) 单位体积分子数  $n = ?$  (2) 平均速率 (3) 平均碰撞频率  
(4) 平均自由程 (5) 平均平动动能

$$1. \because p = nkT \therefore n = \frac{p}{kT} = 2.69 \times 10^{25} \text{m}^{-3}$$

$$2. \bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = 446.4 \text{m/s}$$

$$3. \bar{z} = \sqrt{2}nd^2 \cdot n \cdot \bar{v} = 6.53 \times 10^9$$

$$4. \bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}nd^2} = 6.83 \times 10^{-8} \text{m}$$

$$5. \bar{E}_{kt} = \frac{3}{2}kT = 6.65 \times 10^{-21} \text{J}$$

22. 容积为 20.0 L(升)的瓶子以速率  $v = 200 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  匀速运动, 瓶子中充有质量为 100g 的氦气. 设瓶子突然停止, 且气体内部定向运动动能都变为气体分子热运动的动能, 瓶子与外界没有热量交换, 求热平衡后氦气的温度、压强、内能及氦气分子的平均动能各增加多少?(摩尔气体常量  $R = 8.31 \text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , 玻尔兹曼常量  $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$$\bar{E}_k = \frac{1}{2}mv^2 = 2 \times 10^3 \text{J}$$

$$\nu = 100/4 = 25 \text{mol}$$

$$\Delta E = \nu \cdot \frac{3}{2}R \cdot \Delta T = \bar{E}_k = 2 \times 10^3 \text{J}$$

$$\Delta T = \frac{2\bar{E}_k}{3\nu R} = 642 \text{K}$$

$$\because pV = \nu RT \therefore \Delta p = \frac{\nu R \Delta T}{V} = 6.669 \times 10^3 \text{Pa}$$

$$\Delta \bar{E}_{kt} = \frac{3}{2}k\Delta T = 1.33 \times 10^{-22} \text{J}$$

1. 一定量的理想气体, 可以断定:  
A 该气体在 A 状态下  
B 在 B 状态下  
C

# 热力学基础

A 1/3

B 1/4

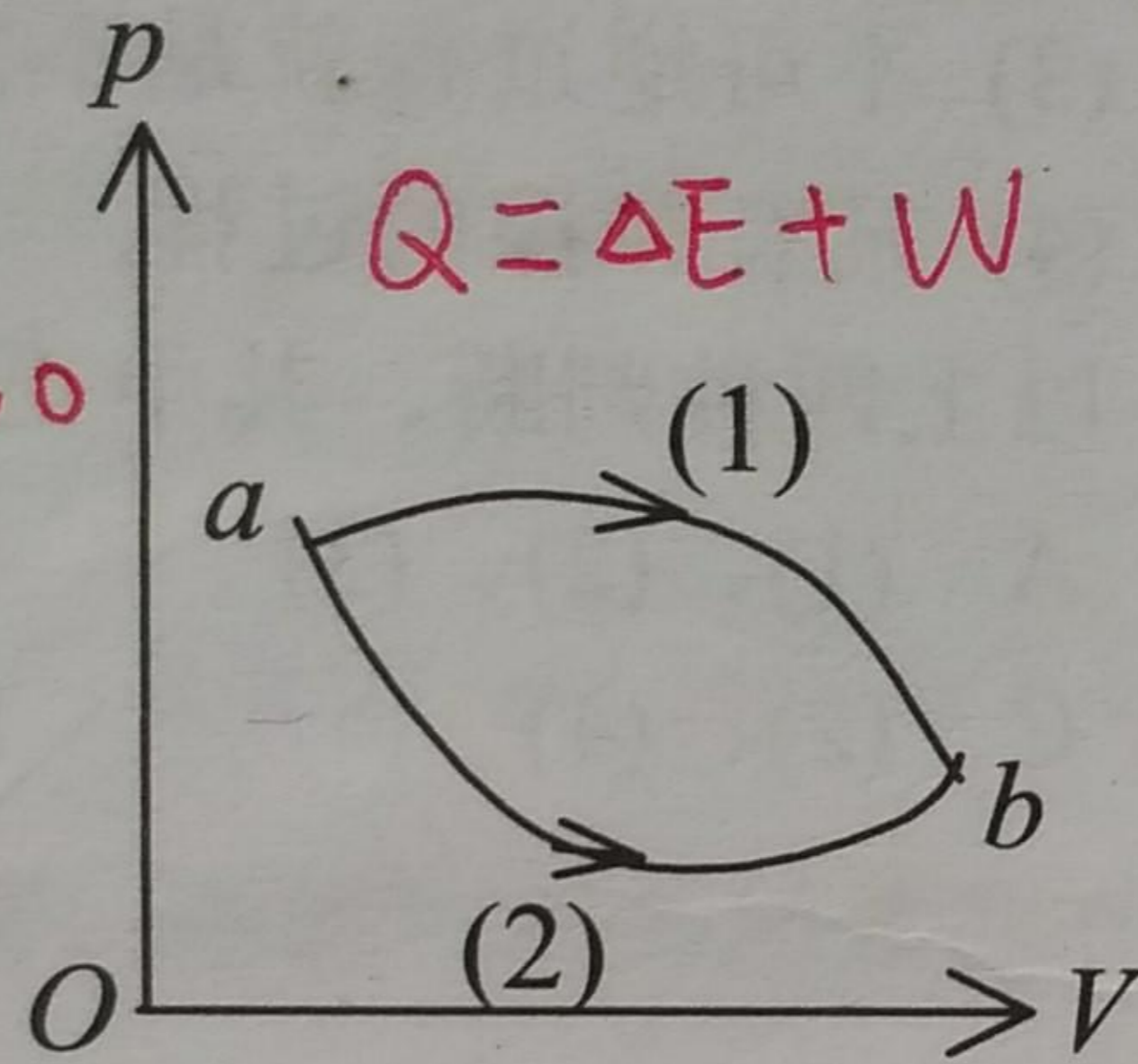
C 2/5

D 2/7

1. 一定量的理想气体，经历某过程之后，它的温度升高了，则可以断定： [ C ]

- A 该理想气体系统在次过程中做了功；
- B 在此过程中外界对该理想气体系统做了正功；
- C 该理想气体系统的内能增加了；
- D 在此过程中该理想气体系统既从外界吸收了热量，又对外做了正功。

2. 1 mol 理想气体从 p-V 图上初态 a 分别经历如图所示的(1) 或(2) 过程到达末态 b. 已知  $T_a < T_b \Rightarrow \Delta E > 0$ ，则这两过程中气体吸收的热量  $Q_1$  和  $Q_2$  的关系是： [ A ]



- (A)  $Q_1 > Q_2 > 0$ .
- (B)  $Q_2 > Q_1 > 0$ .
- (C)  $Q_2 < Q_1 < 0$ .
- (D)  $Q_1 < Q_2 < 0$ .
- (E)  $Q_1 = Q_2 > 0$ .

3. 两个相同的刚性容器，一个盛有氢气，<sup>H<sub>2</sub></sup> 一个盛有氦气<sup>He</sup> (均视为刚性分子理想气体)。开始时它们的压强温度都相同，现将 6J 热量传给氦气，使之升高到一定的温度。若使氢气也升高想通的温度，则向氢气传递的热量为： [ D ]

- A 6J
- B 3J
- C 5J
- D 10J

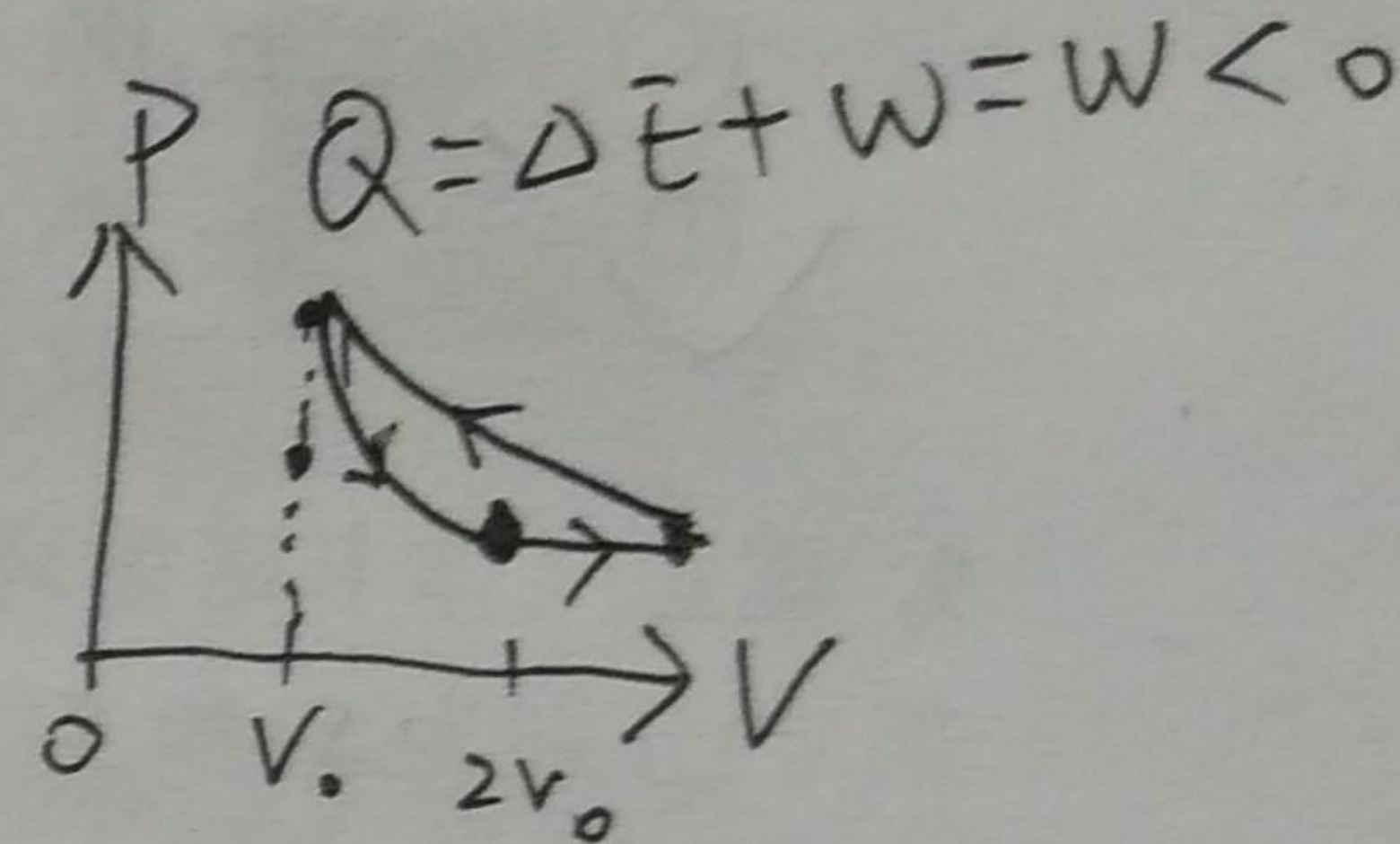
4. 对于室温下的双原子分子理想气体，在等压膨胀的情况下，系统对外所做的功与从外界吸收的热量之比等于： [ D ]

$$Q = \Delta E + W$$

$$= \frac{5}{2} p \Delta V + p \Delta V$$

5. 一定量的理想气体，起始温度为  $T$ ，体积为  $V_0$ 。后经历绝热过程，体积变为  $2V_0$ 。再经过等压过程，温度回升到起始温度。最后再经过等温过程，回到起始状态。则在此循环过程中 [ A ]

- (A) 气体从外界净吸的热量 为负值。
- (B) 气体对外界净作的功 为正值。
- (C) 气体从外界净吸的热量 为正值。
- (D) 气体内能减少。

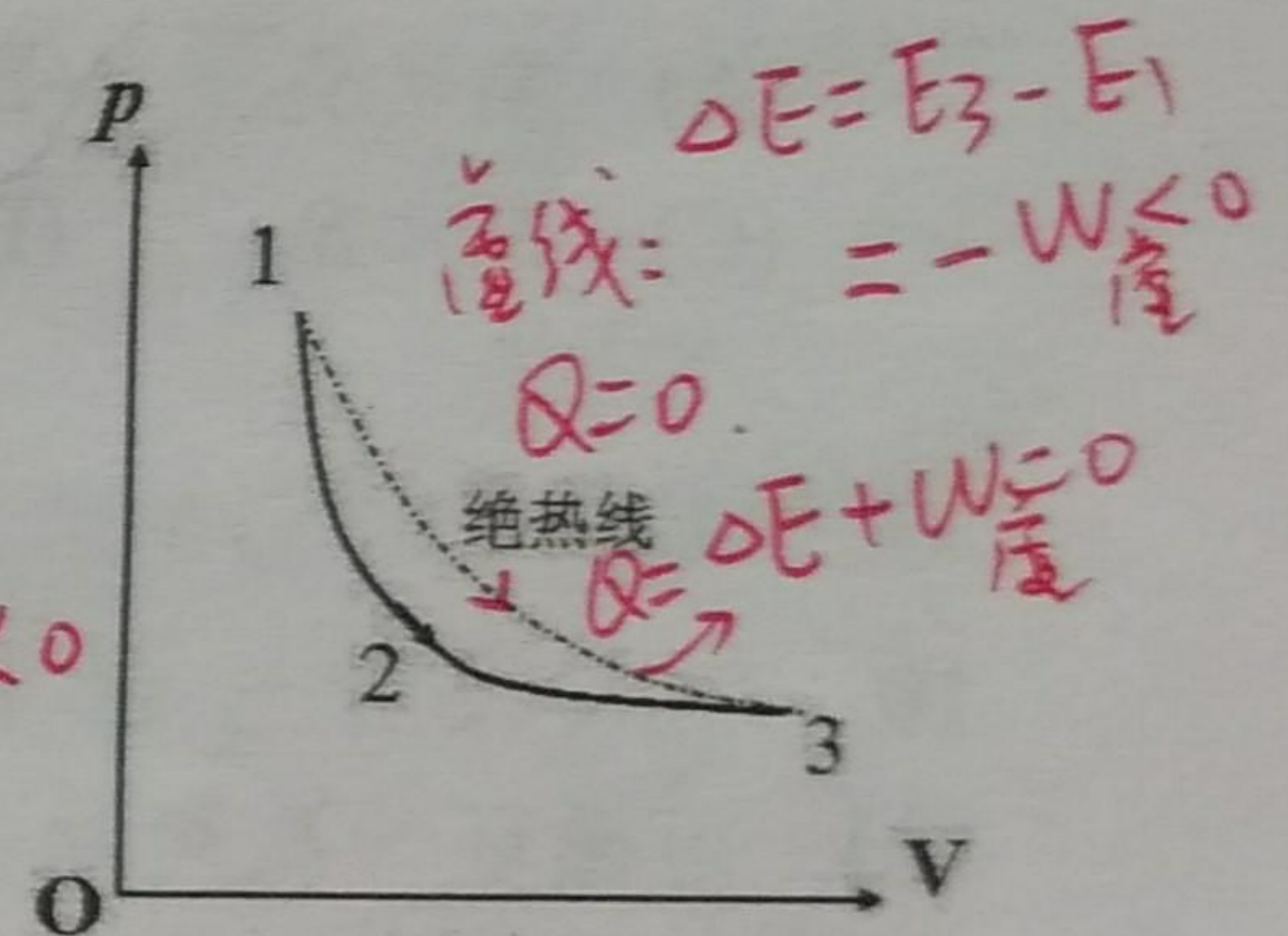


6. 如图所示，理想气体在经历 123 的过程中，应该是： [ C ]

- A 吸热，内能增加；
- B 吸热，内能减少；
- C 放热，内能减少；
- D 放热，内能增加。

实线：

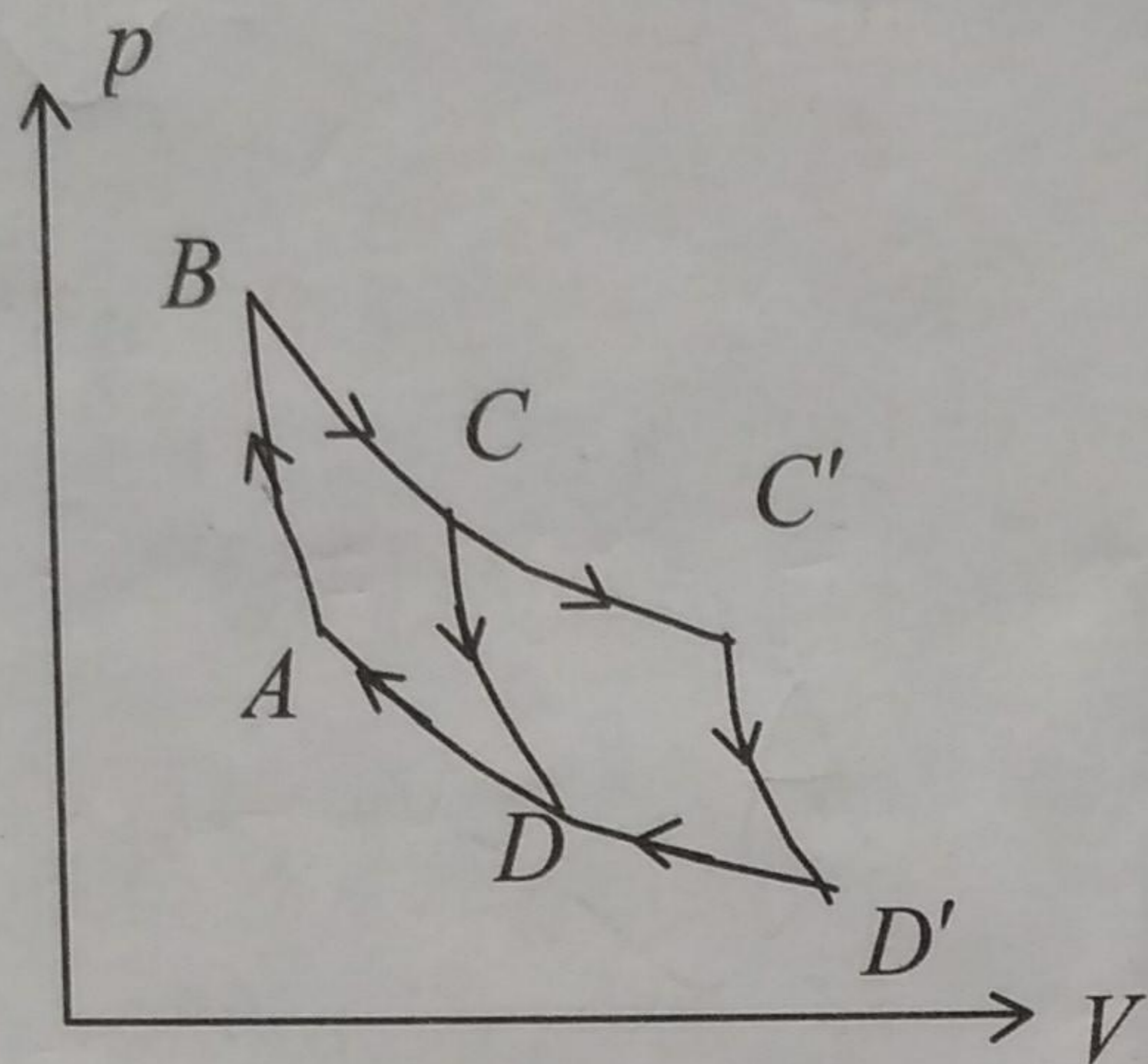
$$Q = \Delta E + W_{实} < 0$$



7. 一台工作于温度分别为  $327^\circ\text{C}$  和  $27^\circ\text{C}$  的高温热源和低温热源之间的卡诺热机，每经历一个循环吸热为 2000 J，则对外做功为： [ B ]

- A 2000 J
- B 1000 J
- C 4000 J
- D 500 J

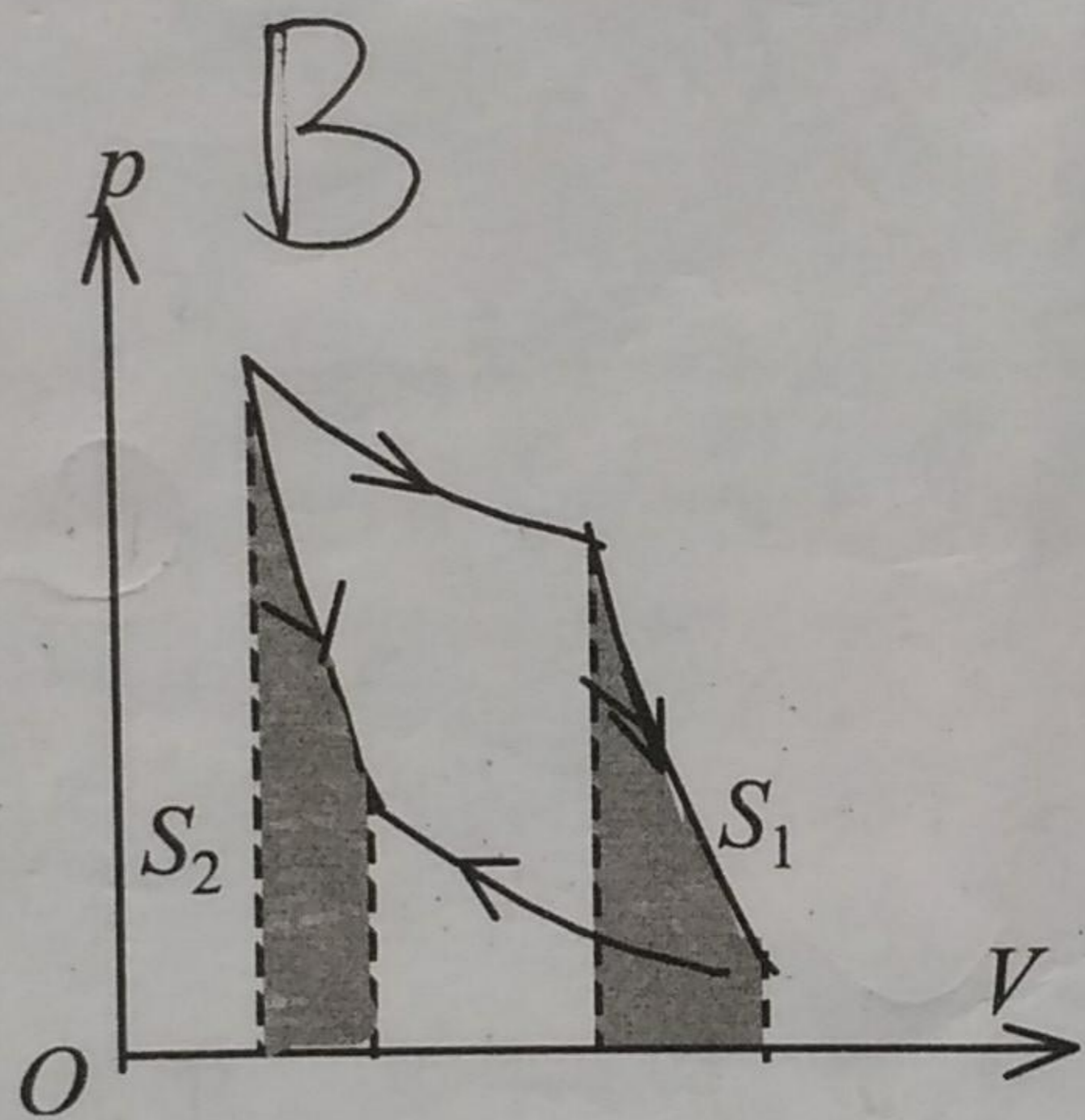
8. 如图表示的两个卡诺循环, 第一个沿 ABCDA 进行, 第二个沿 ABC'D'A 进行, 这两个循环的效率  $\eta_1$  和  $\eta_2$  的关系及这两个循环所作的净功  $W_1$  和  $W_2$  的关系是



- (A)  $\eta_1 = \eta_2, W_1 = W_2$
- (B)  $\eta_1 > \eta_2, W_1 = W_2$
- (C)  $\eta_1 = \eta_2, W_1 > W_2$
- (D)  $\eta_1 = \eta_2, W_1 < W_2$

D

9. 理想气体卡诺循环过程的两条绝热线下的面积大小(图中阴影部分)分别为  $S_1$  和  $S_2$ , 则二者的大小关系是:



- (A)  $S_1 > S_2$
- (B)  $S_1 = S_2$
- (C)  $S_1 < S_2$
- (D) 无法确定.

B

10. 有人设计一台卡诺热机(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.

D

11. 关于热功转换和热量传递过程, 有下面一些叙述:

- (1) 功可以完全变为热量, 而热量不能完全变为功;

A

- (2) 一切热机的效率都只能够小于 1;
- (3) 热量不能从低温物体向高温物体传递;
- (4) 热量从高温物体向低温物体传递是不可逆的.

以上这些叙述

- (A) 只有(2)、(4)正确.
- (B) 只有(2)、(3)、(4)正确
- (C) 只有(1)、(3)、(4)正确.
- (D) 全部正确.

12. 关于可逆过程和不可逆过程的判断:

D

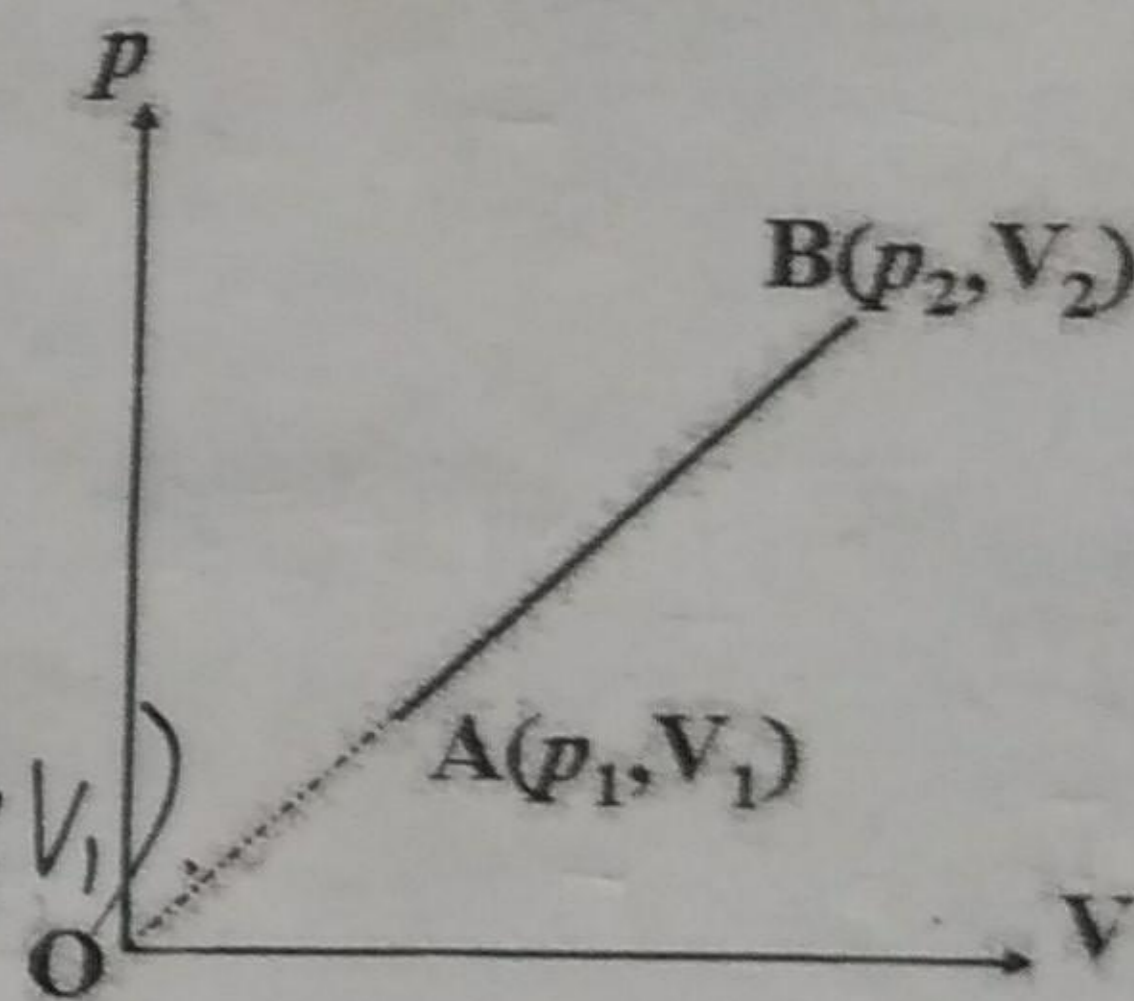
- (1) 可逆热力学过程一定是准静态过程.
- (2) 准静态过程一定是可逆过程.
- (3) 不可逆过程就是不能向相反方向进行的过程.
- (4) 凡有摩擦的过程, 一定是不可逆过程.

以上四种判断, 其中正确的是

- A (1)、(2)、(3)
- B (1)、(2)、(4)
- C (2)、(4)
- D (1)、(4)

13. 如右图所示, 1mol 的单原子分子理想气体从初态 A 开始沿

直线变到末态 B 时, 对外界做功为  $\frac{1}{2}(p_1 + p_2)(V_2 - V_1)$ , 其内能的改变量为  $\frac{3}{2}(p_2 V_2 - p_1 V_1)$ , 从外界吸收的热量为  $\frac{1}{2}(p_1 V_2 - p_2 V_1 + 4p_2 V_2 - 4p_1 V_1)$



$$\Delta E = \frac{5}{2} n R \cdot T$$

姓名

班级

学号

14. 设气体质量均为  $M$ , 摩尔质量均为  $M_{\text{mol}}$  的三种理想气体, 定容摩尔热容为  $C_V$ , 分别经等容过程(脚标 1)、等压过程(脚标 2)、和绝热过程(脚标 3), 温度升高均为  $\Delta T$ , 则内能变化分别为

$$\Delta E_1 = \frac{M}{M_{\text{mol}}} C_V \Delta T, \quad \Delta E_2 = \frac{M}{M_{\text{mol}}} C_V \Delta T$$

$$\Delta E_3 = \frac{M}{M_{\text{mol}}} C_V \Delta T; \text{ 从外界吸收的热量分别为}$$

$$Q_1 = \frac{M}{M_{\text{mol}}} C_V \Delta T, \quad Q_2 = \frac{M}{M_{\text{mol}}} (C_V + R) \Delta T$$

$$Q_3 = 0; \text{ 对外做功分别为 } A_1 = 0$$

$$A_2 = \frac{M}{M_{\text{mol}}} R \Delta T, \quad A_3 = -\frac{M}{M_{\text{mol}}} C_V \Delta T$$

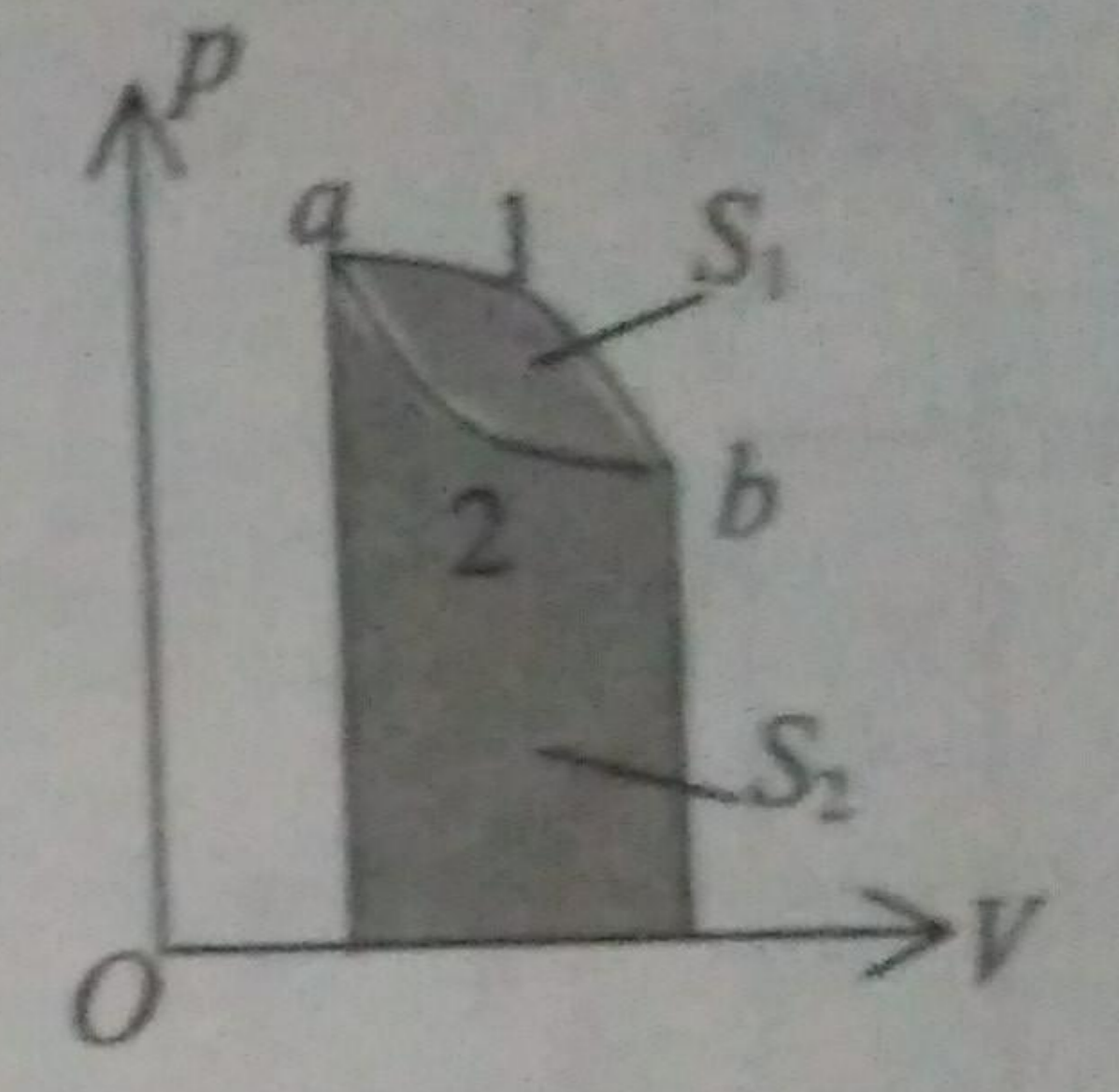
15. 1 mol 氢气在温度为 300K, 体积为  $0.025\text{m}^3$  的状态下经过绝热膨胀, 气体体积变为原来的 2 倍。则氢气对外所做的功为 1509 J。

16. 压强、体积和温度都相同的氢气和氦气(均视为刚性分子的理想气体), 它们的质量之比为  $m_1 : m_2 = 1 : 2$ , 它们的内能之比为  $E_1 : E_2 = 5 : 3$ , 如果它们分别在等压过程中吸收了相同的热量, 则它们对外做功之比为  $W_1 : W_2 = 5 : 7$ 。(各量下角标 1 表示氢气, 2 表示氦气)

16. 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  $W = S_1 + S_2$ ;

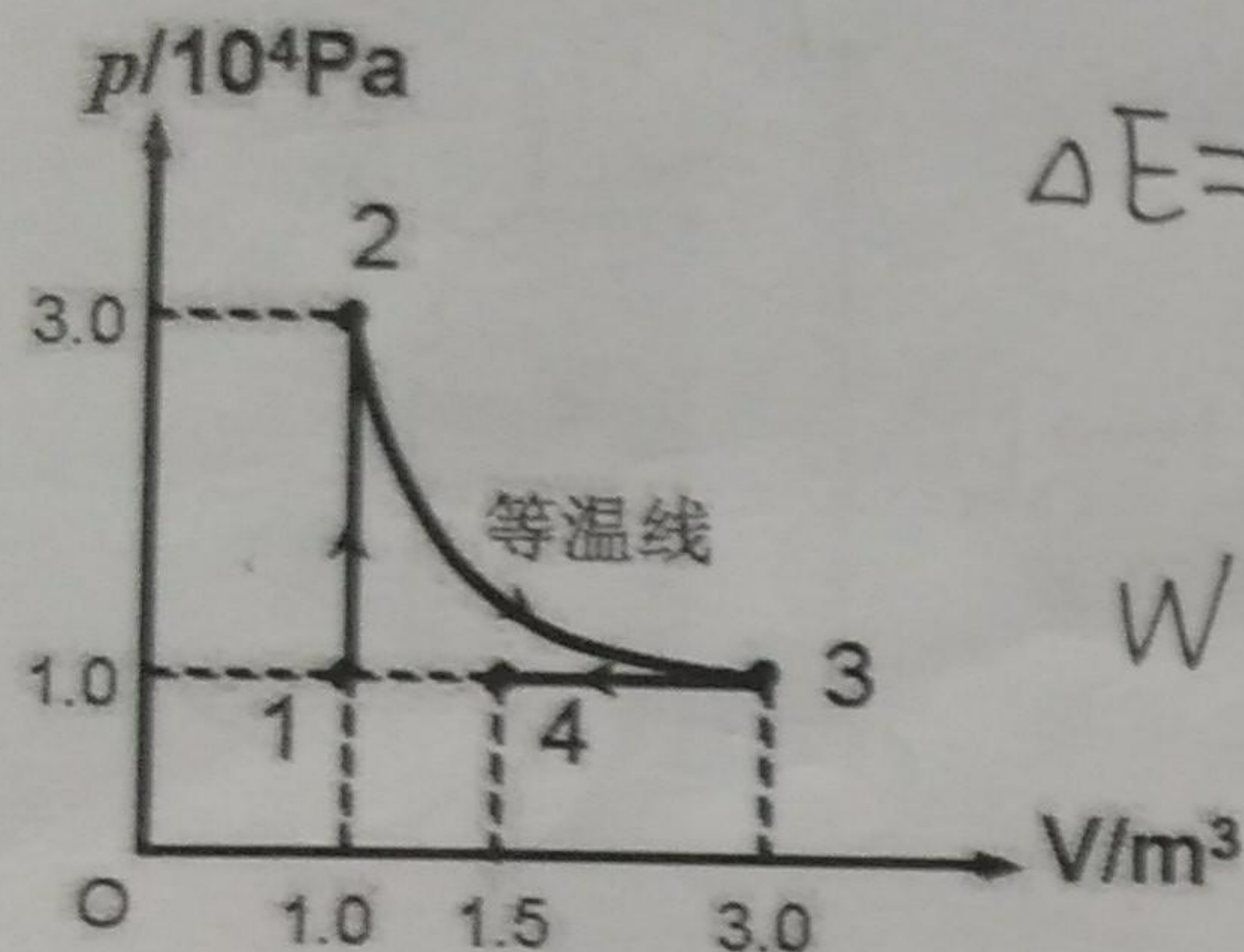
(2) 如果气体进行  $a-2-b-1-a$  的循环过程, 则它对外做功  $W = -S_1$ 。



17. 一定量理想气体, 从同一状态开始使其体积由  $V_1$  膨胀到  $2V_1$ , 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: (1) 过程气体对外作功最多; (1) 过程气体内能增加最多; (1) 过程气体吸收的热量最多。

18. 热力学第二定律开尔文表述指出了自然界中的 功热转化 过程是不可逆的; 而克劳修斯表述指出了 热传递 过程不可逆。

19. 一定量的理想气体  $N_2$ , 如图, 求经历  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$  过程后系统的  $Q$ 、 $\Delta E$  及  $W$ 。



$$\begin{aligned} \Delta E &= \nu \cdot \frac{5}{2} R \cdot \Delta T \\ &= \frac{5}{2} (P_4 V_4 - P_1 V_1) = 1.25 \times 10^4 \text{ J} \\ W &= W_{12} + W_{23} + W_{34} \\ &= W_{23} + W_{34} \\ &= \nu R T_2 \cdot \ln \frac{V_3}{V_2} + P_3 (V_4 - V_3) \\ &= P_2 V_2 \ln 3 + P_3 \cdot (V_4 - V_3) \\ &= 1.8 \times 10^4 \text{ J} \end{aligned}$$

$$Q = \Delta E + W = 3.05 \times 10^4 \text{ J}$$

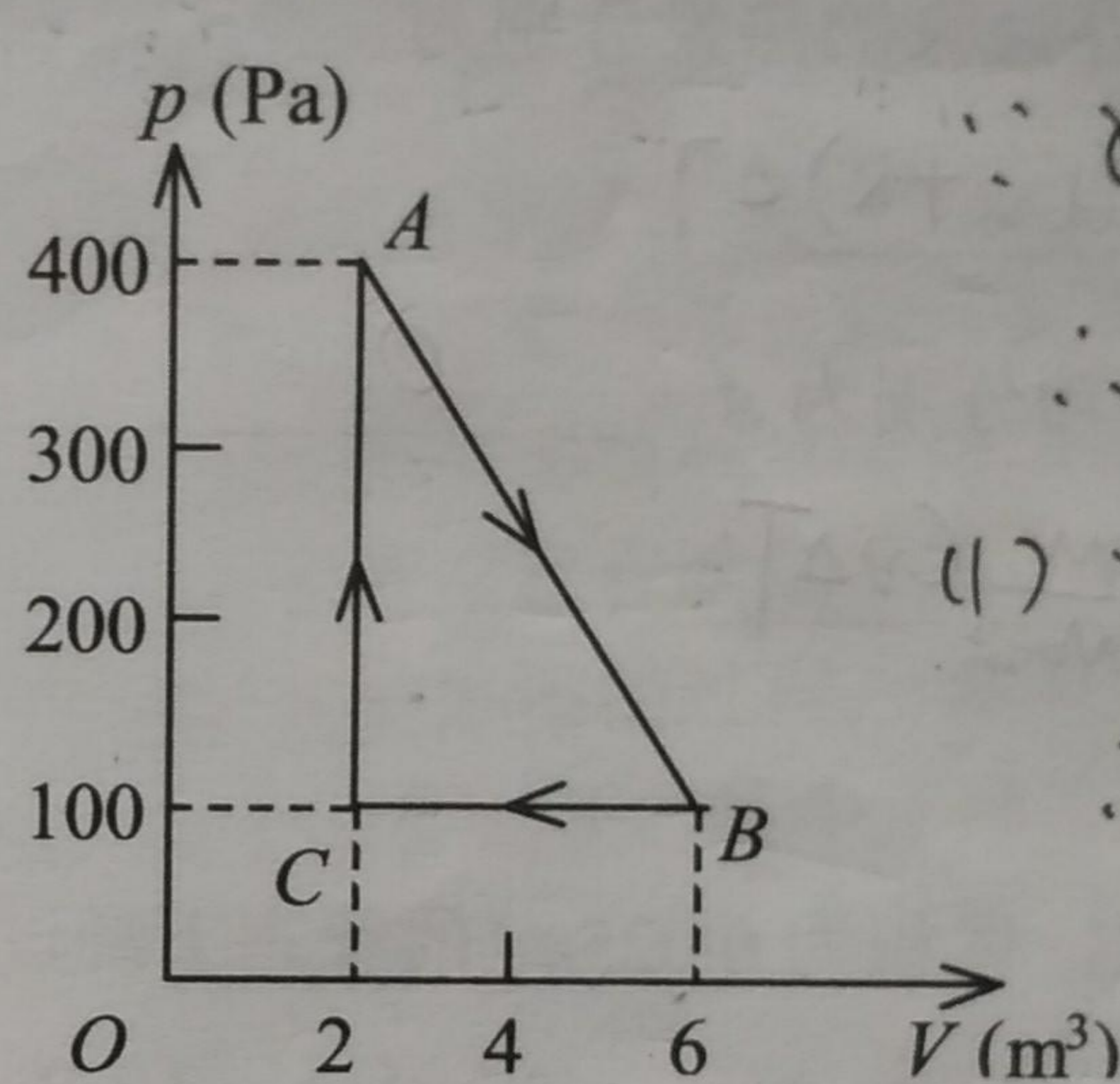
(3)  $C \rightarrow A$ .  $W = 0$

$$\begin{aligned} \Delta E &= \frac{5}{2} (P_A V_A - P_C V_C) \\ &= 1500 \text{ J} \\ Q &= \Delta E + W = 1500 \text{ J} \end{aligned}$$

20. 比热容比  $\gamma = 1.40$  的理想气体, 进行如图所示的  $ABCA$  循环, 状态  $A$  的温度为  $300 \text{ K}$ 。

- 求状态  $B$ 、 $C$  的温度;
- 计算各过程中气体所吸收的热量、气体所作的功和气体内能的增量。

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



$$\because \gamma = 1 + \frac{2}{i} = 1.4$$

$$\therefore i = 5$$

$$(1) \because PV = \nu RT$$

$$\therefore \nu R = \frac{PV}{T} = \frac{P_A V_A}{T_A} = \frac{P_B V_B}{T_B} = \frac{P_C V_C}{T_C}$$

$$\therefore \frac{100 \times 6}{T_B} = \frac{100 \times 2}{T_C} = \frac{400 \times 2}{300}$$

$$\therefore T_B = 225 \text{ K}, T_C = 75 \text{ K}$$

(2)  $A \rightarrow B$ :  $W = \frac{1}{2} (100 + 400) \times 4 = 1000 \text{ J}$

$$\Delta E = \frac{5}{2} (P_B V_B - P_A V_A) = \frac{500}{2} \text{ J}$$

$$Q = \Delta E + W = 500 \text{ J}$$

$B \rightarrow C$ :  $W = -100 \times 4 = -400 \text{ J}$

$$\Delta E = \frac{5}{2} (P_C V_C - P_B V_B) = -\frac{1000}{2} \text{ J}$$

$$Q = \Delta E + W = -\frac{1400}{2} \text{ J}$$

21. 如果一定量的理想气体, 其体积和压强依照  $V = a/\sqrt{p}$  的规律变化, 其中  $a$  为已知常量. 试求:

- (1) 气体从体积  $V_1$  膨胀到  $V_2$  所作的功;
- (2) 气体体积为  $V_1$  时的温度  $T_1$  与体积为  $V_2$  时的温度  $T_2$  之比.

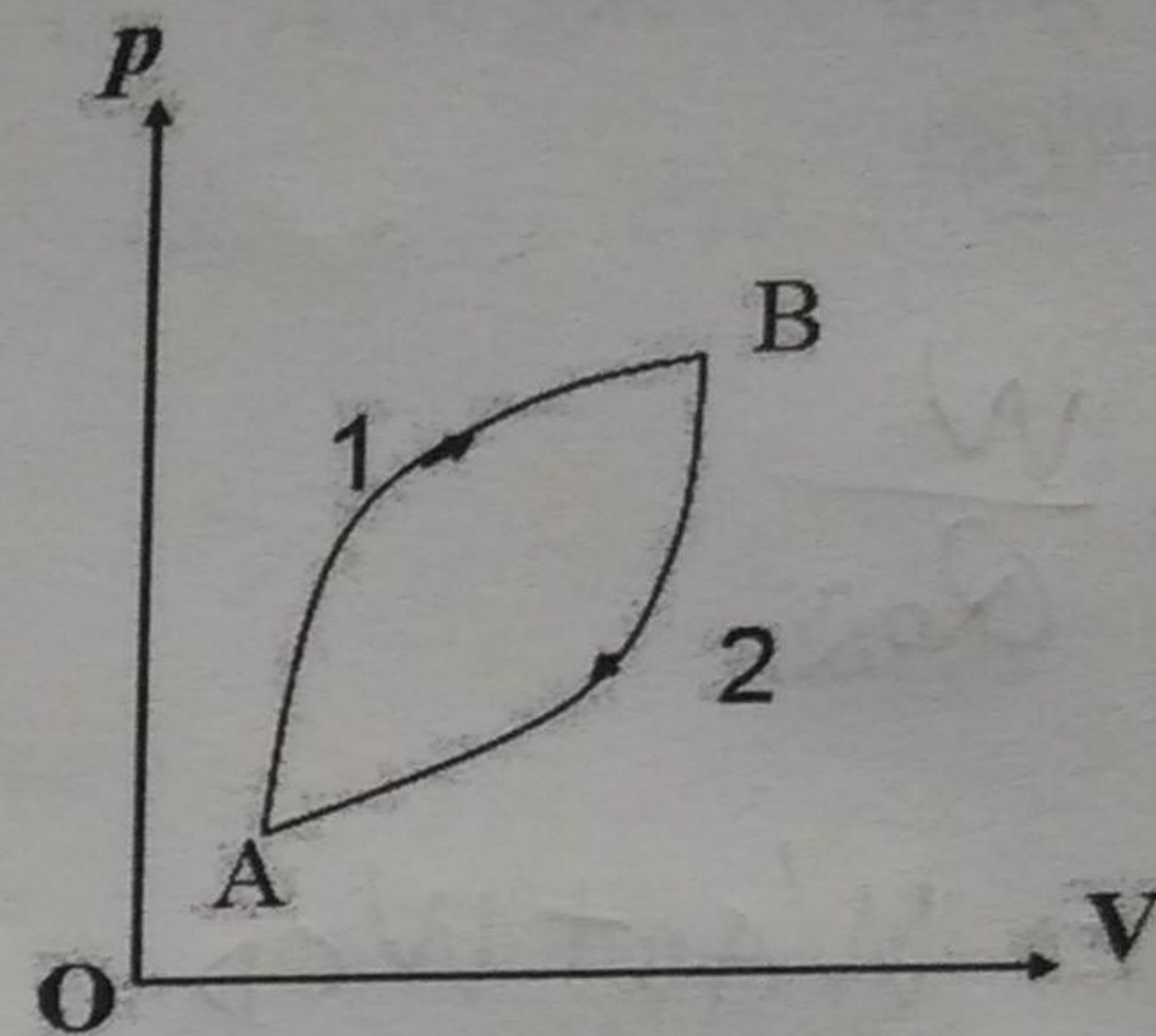
$$(1) W = \int_{V_1}^{V_2} p dv = \int_{V_1}^{V_2} \left(\frac{a}{v}\right)^2 dv = \frac{a^2(V_2 - V_1)}{V_1 V_2}$$

$$(2) p_1 = \left(\frac{a}{V_1}\right)^2, p_1 V_1 = \frac{a^2}{V_1} = \nu RT_1 \quad (1)$$

$$p_2 = \left(\frac{a}{V_2}\right)^2, p_2 V_2 = \frac{a^2}{V_2} = \nu RT_2 \quad (2)$$

$$(1)/(2): \frac{T_1}{T_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

22. 一定量的某种理想气体吸热 800 J, 对外做功 500 J, 由状态 A 沿过程 1 变化到状态 B, 如图所示. (1) 试问其内能改变了多少? (2) 如气体沿过程 2 从状态 B 回到状态 A 时, 外界对其做功 300 J, 试问气体放出多少热量? (3) 循环过程 A1B2A 的效率是多少?



$$(1) Q_{A1B} = \Delta E_{A1B} + W_{A1B} \Rightarrow 800 = \Delta E_{A1B} + 500$$

$$\therefore \Delta E_{A1B} = 300 \text{ J}$$

$$(2) \Delta E_{B2A} = -\Delta E_{A1B} = -300 \text{ J}$$

$$Q_{B2A} = \Delta E_{B2A} + W_{B2A} = -600 \text{ J}$$

$$(3) \eta = \frac{W}{Q_{\text{吸}}} = \frac{Q_{\text{吸}} - |Q_{\text{放}}|}{Q_{\text{吸}}} = 1 - \frac{600}{800} = 25\%$$



# 静电场

## 第一节 库仑定律 电场强度

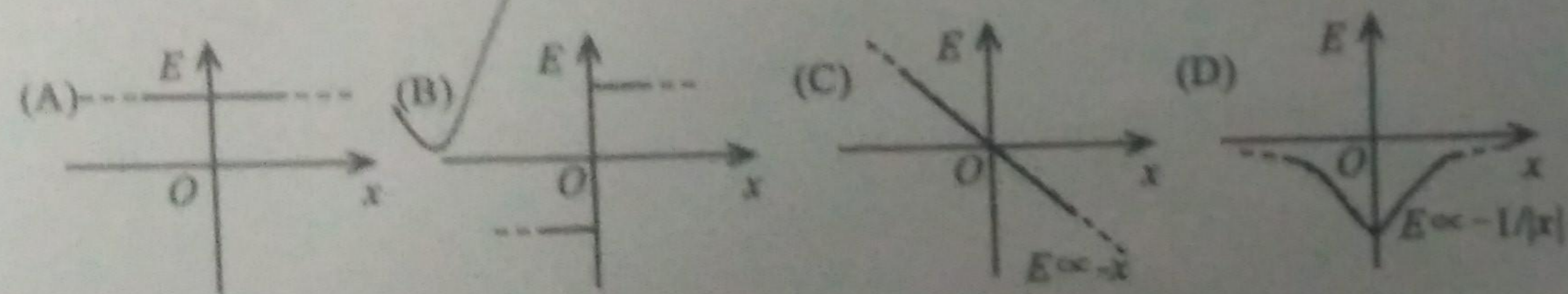
1. 关于电场强度定义式  $\vec{E} = \vec{F} / q_0$ , 下列说法正确的是 [ B ]

- A 电场强度  $\vec{E}$  的大小与试验电荷  $q_0$  的大小成反比;
- B 在电场中某一点, 试验电荷受力  $\vec{F}$  与  $q_0$  的比值不因  $q_0$  而变;
- C 试验电荷受力  $\vec{F}$  的方向就是电场强度  $\vec{E}$  的方向;
- D 若电场中某点不存在试探电荷  $q_0$ , 则  $\vec{F} = 0$ , 从而  $\vec{E} = 0$ .

2. 在边长为  $a$  的正立方体中心处放置一电量为  $Q$  的点电荷, 则正立方体顶角处的电场强度的大小为: [ C ]

- A  $\frac{Q}{12\pi\epsilon_0 a^2}$ ; B  $\frac{Q}{6\pi\epsilon_0 a^2}$ ;  C  $\frac{Q}{3\pi\epsilon_0 a^2}$ ; D  $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 a^2}$

3. 设有一“无限大”均匀带正电荷的平面, 取  $x$  轴垂直带电平面, 坐标原点位于带电平面上, 则其周围空间各点的电场强度  $E$  随距平面的位置坐标  $x$  变化的关系曲线为(规定场强方向沿  $x$  轴正向为正、反之为负): [ B ]

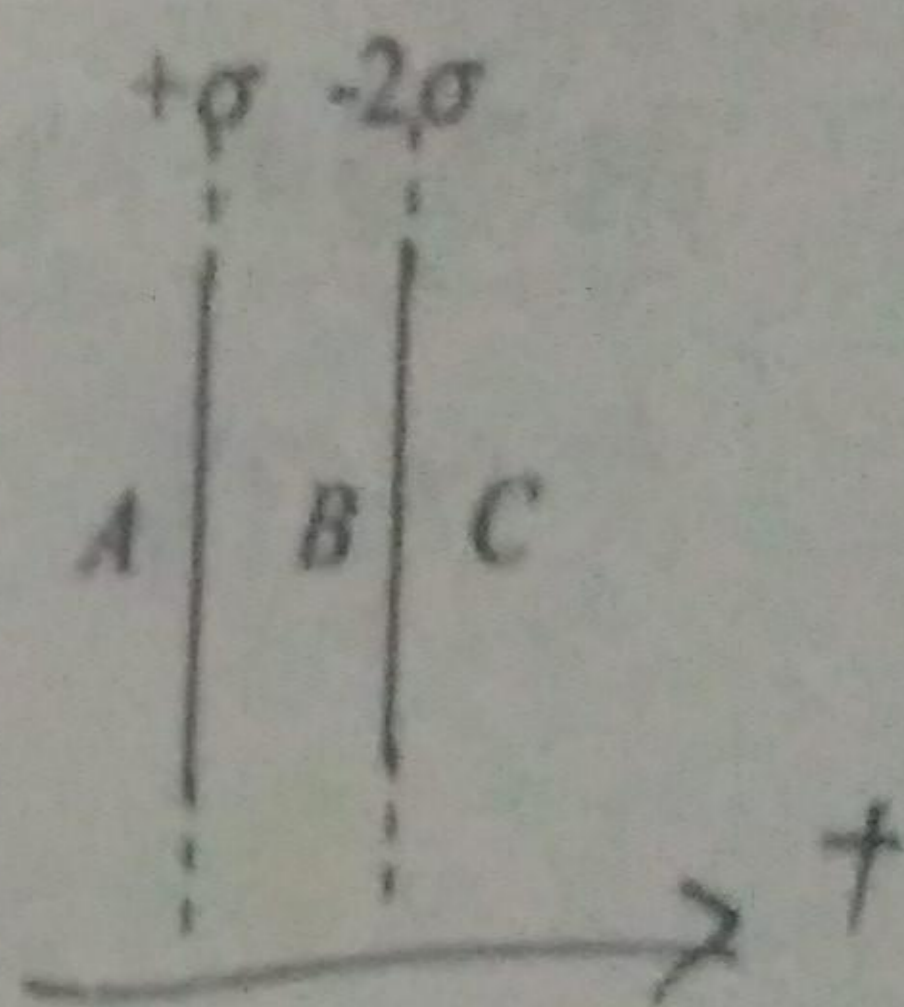


4. 两个平行的无限大均匀带电平面, 其电荷面密度分别为  $+\sigma$  和  $-2\sigma$ , 如图所示, 则 A、B、C 三个区域的电场强度分别为:

$$E_A = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$E_B = \frac{3\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$E_C = -\frac{\sigma}{2\epsilon_0} \text{ (设方向向右为正)}$$



5. 将一根电荷线密度为  $\lambda$  的均匀带电绝缘细线围成边长为  $l$  的正方形线框, 则在正方形中心处的电场强度大小  $E = 0$ .

6. 一个电荷线密度为  $\lambda$  的均匀带正电圆环, 如果在圆环上截掉长度为  $l$  的一段 ( $l \ll$  圆环半径  $R$ ), 求圆心处电场强度的大小和方向.

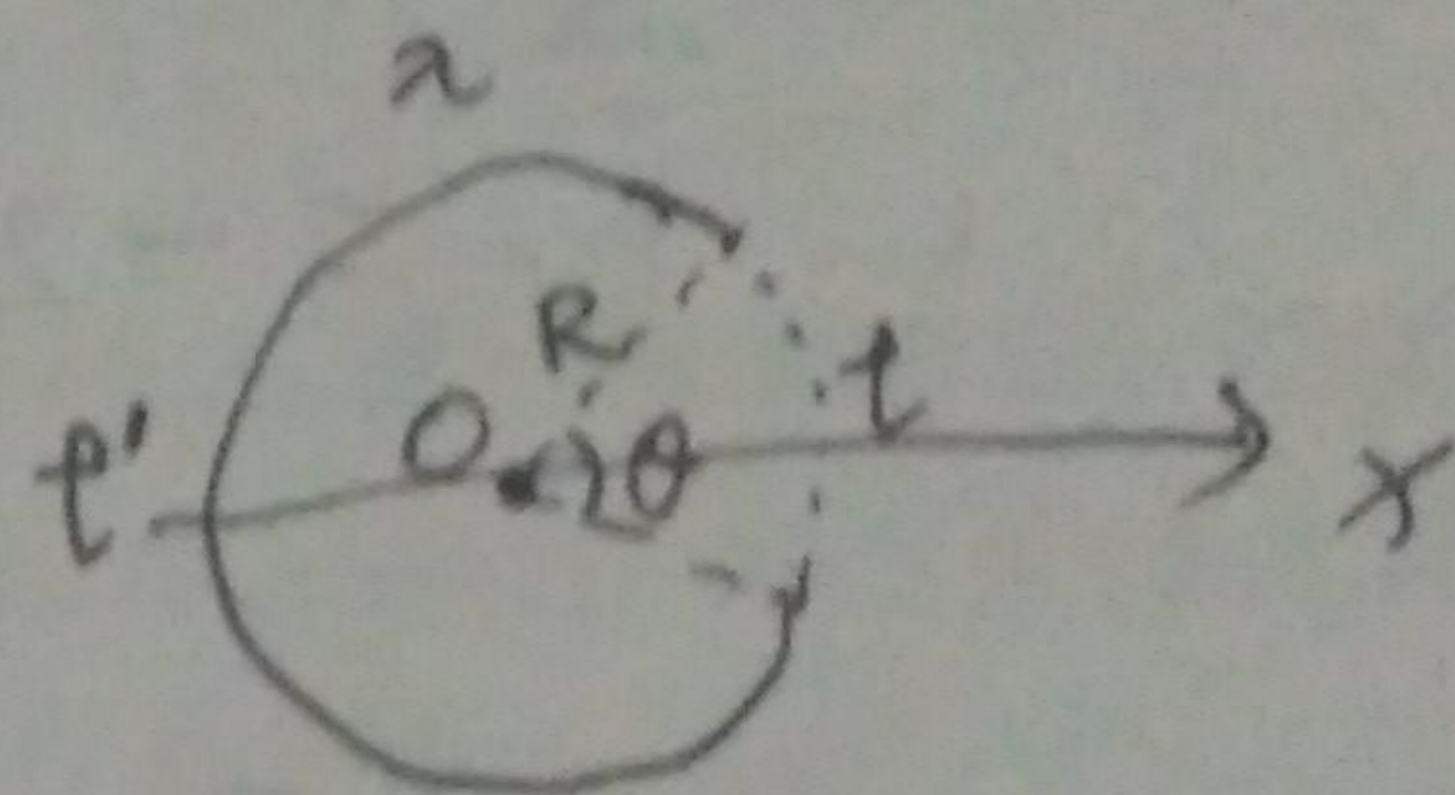
$$\vec{E}_e + \vec{E}_{e'} = 0$$

$$\vec{E}_{e'} = -\vec{E}_e$$

$$\because l \ll R \therefore \theta \rightarrow 0$$

$$\therefore \vec{E}_{e'} = -\frac{\lambda l}{4\pi\epsilon_0 R^2} \left(\frac{\vec{l}}{l}\right)$$

$\therefore$  方向沿  $+x$  方向



7. 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荷  $+Q$ , 沿其下半部分均匀分布有电荷  $-Q$ , 如图所示, 试求圆心  $O$  处的电场强度的大小和方向.

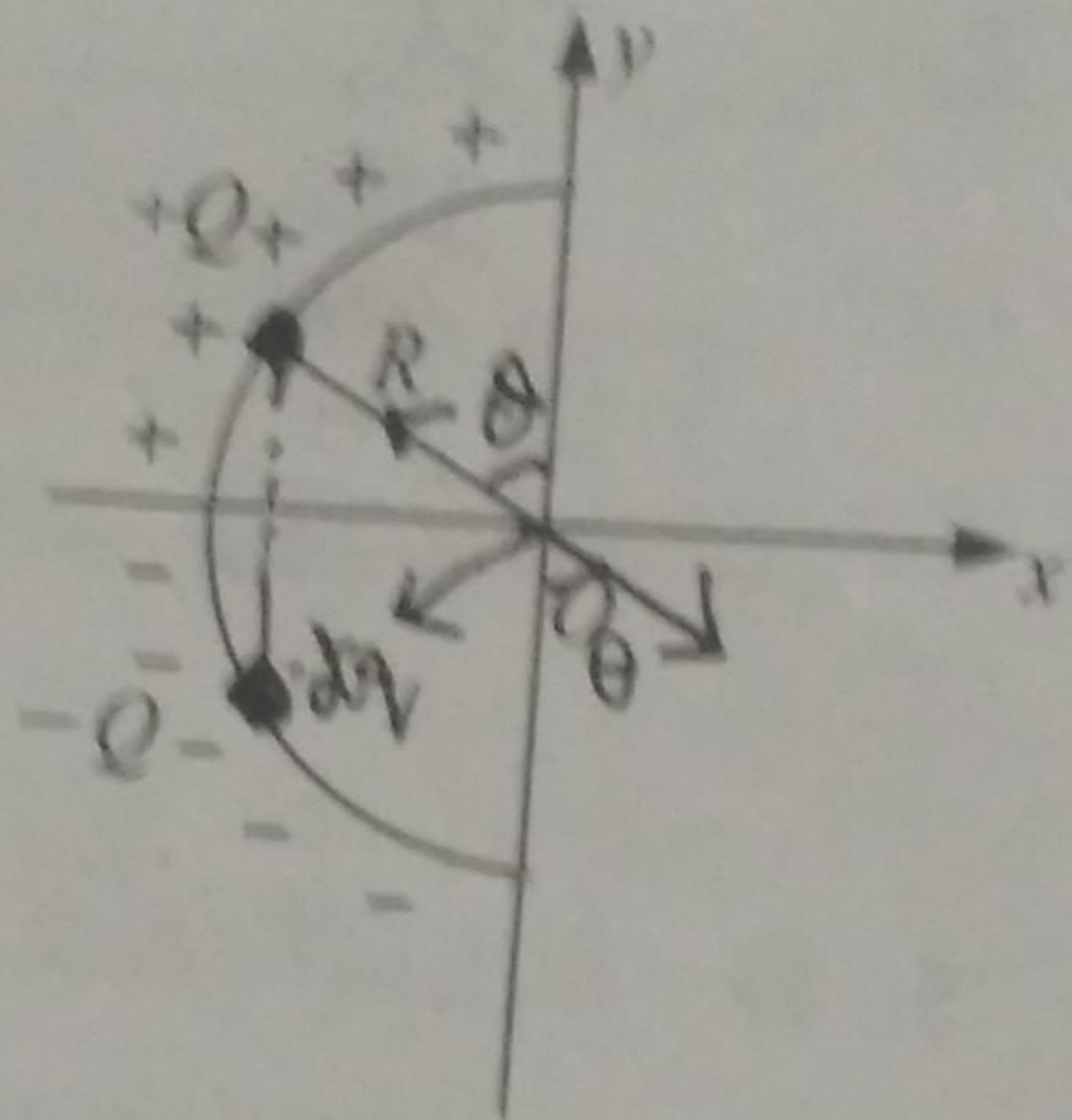
取  $x$  轴对称的一对  $dq$ .

$$\text{分析得 } \vec{E}_0 = E_{0x} \vec{i} + E_{0y} \vec{j} \\ = E_{0x} \vec{j}$$

$$\vec{E}_0 = -2 \int_0^{\pi} \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 R^2} \vec{j}$$

$$\therefore \frac{dq}{R d\theta} = \frac{+Q}{\frac{1}{4} \cdot 2\pi R} \quad \therefore dq = \frac{Q}{2\pi} \cdot d\theta$$

$$\therefore \vec{E}_0 = -2 \int_0^{\pi} \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot d\theta \vec{j} \\ = -\frac{Q}{\pi^2 \epsilon_0 R^2} \vec{j}$$



8. 如图所示, 真空中一长为  $L$  的均匀带电细直杆, 试求在直杆延长线上距杆的一端距离为  $d$  的  $P$  点处的

对  $dq$ :

$$d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{dq}{(L+d-x)^2}$$

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

$$\therefore \frac{dq}{dx} = \frac{q}{L} \quad \therefore dq = \frac{q}{L} \cdot dx$$

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

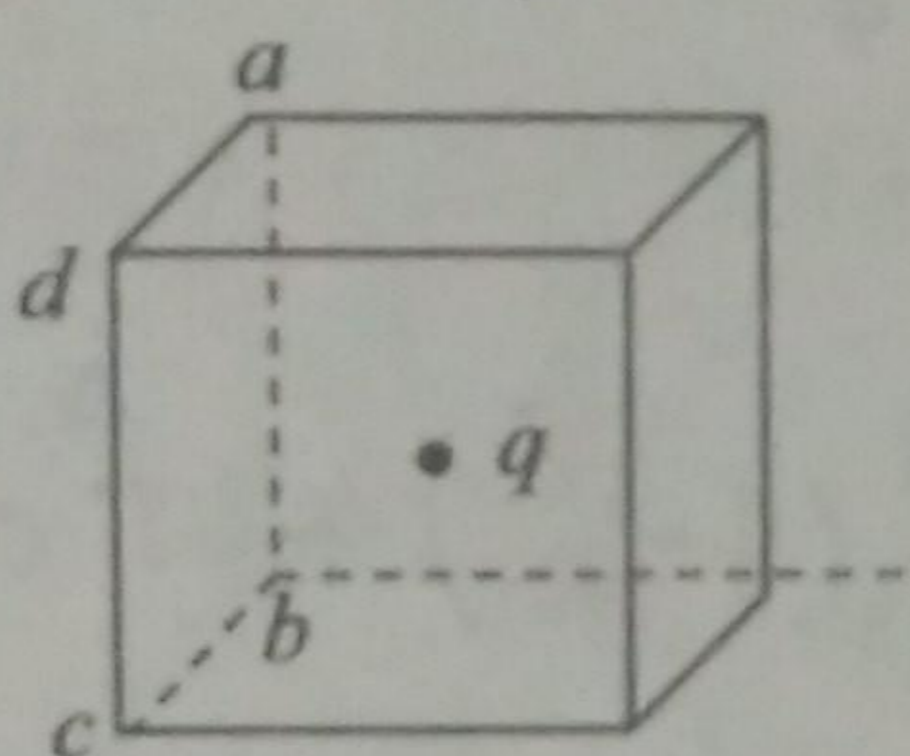
## 第二节 电通量 高斯定律

1. 根据高斯定理  $\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \sum q / \epsilon_0$  可知下述各种说法中，正确的是： [ C ]

- A 闭合面内电荷代数和为零时，闭合面上各点场强一定为零.
- B 闭合面内电荷代数和不为零时，闭合面上各点场强一定处处不为零.
- C 闭合面内电荷代数和为零时，闭合面上各点场强不一定处处为零.
- D 闭合面上各点场强均为零时，闭合面内一定处处无电荷.

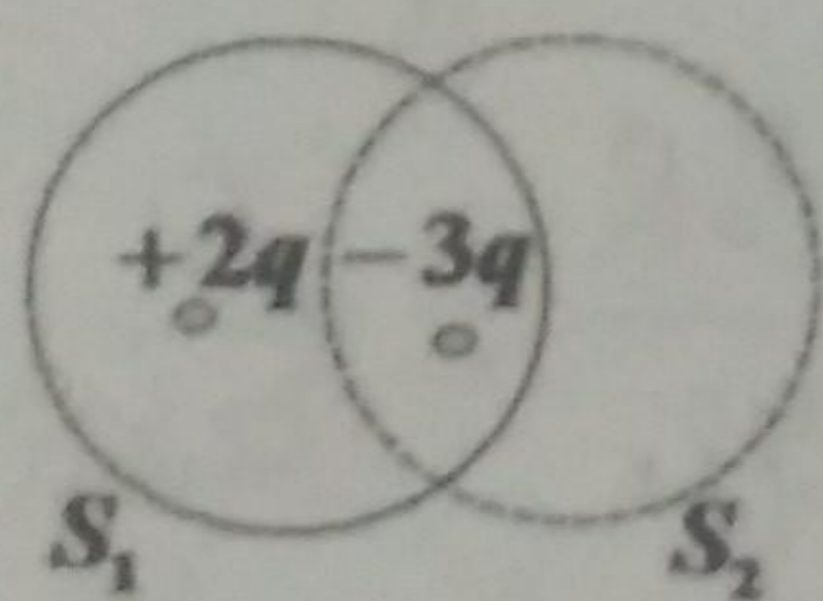
2. 如图所示，一个电量为  $q$  的点电荷位于立方体的中心，则通过侧面  $abcd$  的电通量等于： [ A ]

- A  $\frac{q}{6\epsilon_0}$
- B  $\frac{q}{12\epsilon_0}$
- C  $\frac{q}{24\epsilon_0}$
- D  $\frac{q}{48\epsilon_0}$

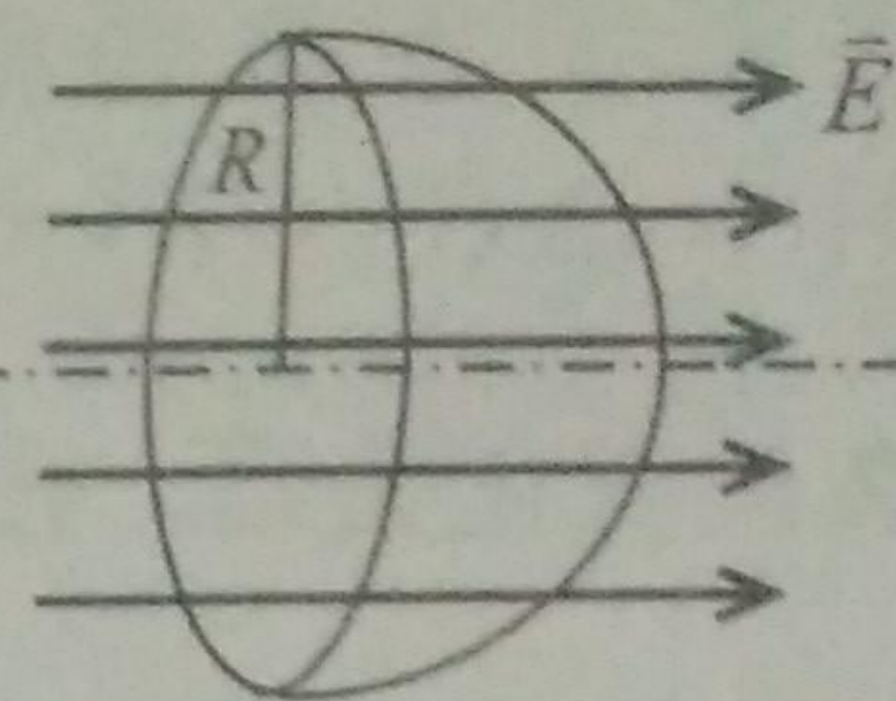


3. 如图所示，两个高斯面的电通量正确的是 [ B ]

- A  $\Phi_{S_1} = \frac{2q}{\epsilon_0}$
- B  $\Phi_{S_1} = \frac{-q}{\epsilon_0}$
- C  $\Phi_{S_2} = \frac{q}{\epsilon_0}$
- D  $\Phi_{S_2} = 0$



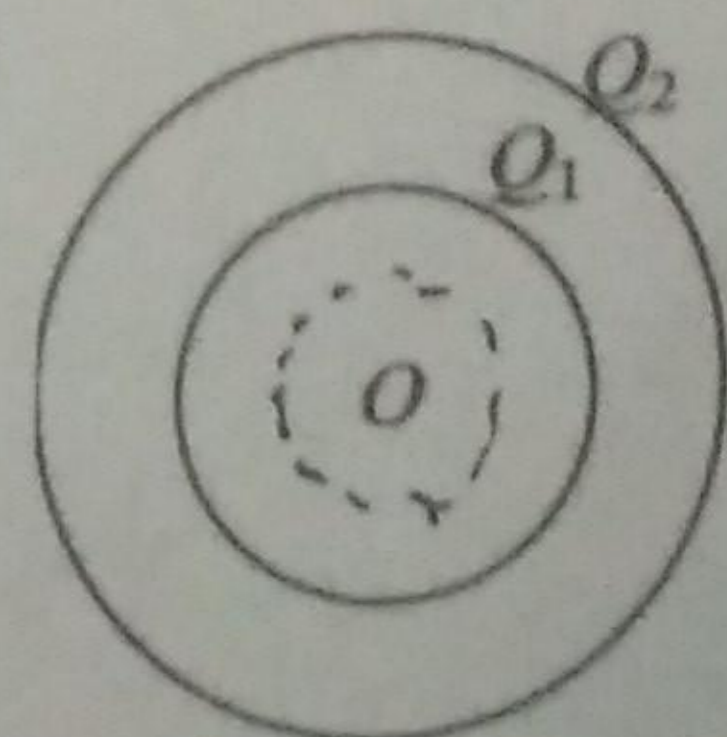
4. 半径为  $R$  的半球面置于场强为  $\vec{E}$  的均匀电场中，其对称轴与场强方向一致，如图所示。则通过该半球面的电场强度通量为



$\underline{\underline{2R^2 E}}$

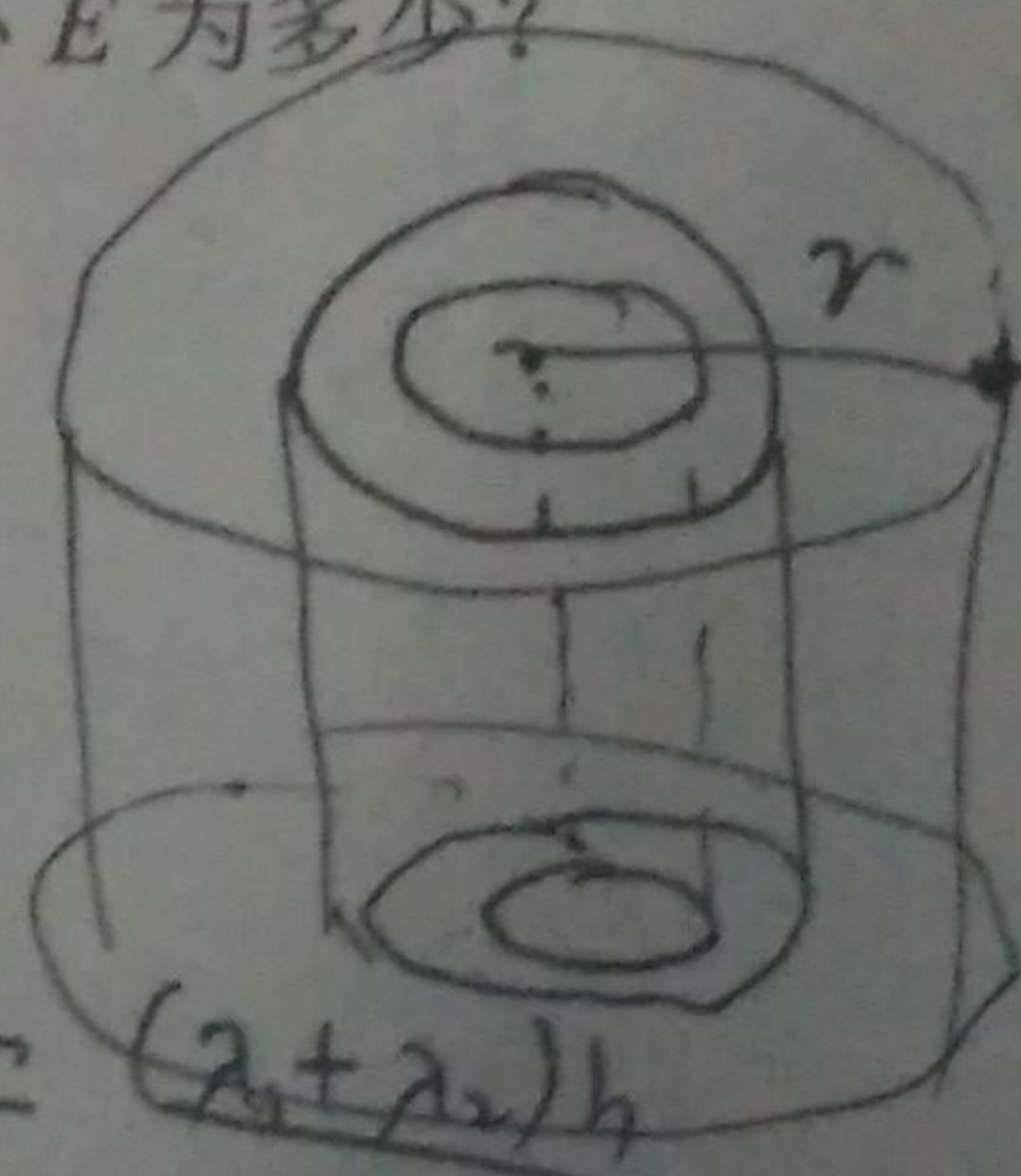
5. 如图所示，两个同心的均匀带电球面，内球面半径  $R_1$  带电荷  $Q_1$ ，外球面半径  $R_2$  带电荷  $Q_2$ ，使用高斯定理求空间各处场强的大小 作高斯面球面

1.  $r < R_1$  时,  $\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0 = E \cdot S \Rightarrow E = 0$   
 2.  $R_1 < r < R_2$ ,  $\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = E \cdot S = \frac{Q_1}{\epsilon_0}$   
 $\Rightarrow E = \frac{Q_1}{\epsilon_0 S} = \frac{Q_1}{4\pi \epsilon_0 r^2}$   
 3.  $r > R_2$ ,  $\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = E \cdot 4\pi r^2 = \frac{Q_1 + Q_2}{\epsilon_0} \Rightarrow E = \frac{Q_1 + Q_2}{4\pi \epsilon_0 r^2}$



6. 两个“无限长”内外半径分别为  $R_1$  和  $R_2$  的共轴圆柱面，均匀带电，沿轴线方向单位长度带电荷分别为  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$ ，则在外圆柱面外面、距离轴线为  $r$  处的电场强度大小  $E$  为多少？

高斯面：圆柱面 (高为 h)  
 $\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \oint_{\text{柱面}} \vec{E} \cdot d\vec{S}$   
 $= E \cdot 2\pi r \cdot h = \frac{\sum q}{\epsilon_0} = \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)h}{\epsilon_0}$   
 $\therefore E = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2\epsilon_0 r}$



7. 一非均匀带电球体电荷密度的分布可以表示为:

$$\rho(r) = \rho_0(1 - r/R) \quad r \leq R \quad \rho_0 = 3Q/\pi R^3 \quad \rho(r) = 0 \quad r \geq R, \text{ 求电场强度}$$

随 R 的变化关系, 在什么位置电场强度有极大值?

1'  $r \leq R$ ,  $\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = E \cdot 4\pi r^2 = \frac{1}{\epsilon_0} \int \rho dv$

$$= \frac{1}{\epsilon_0} \int_0^r \frac{3Q}{2R^3} \left(1 - \frac{r}{R}\right) 4\pi r^2 dr$$

$$\Rightarrow E = \frac{\rho_0 r(4R - 3r)}{12\epsilon_0 R} = \frac{Qr(4R - 3r)}{4\pi\epsilon_0 R^4}$$

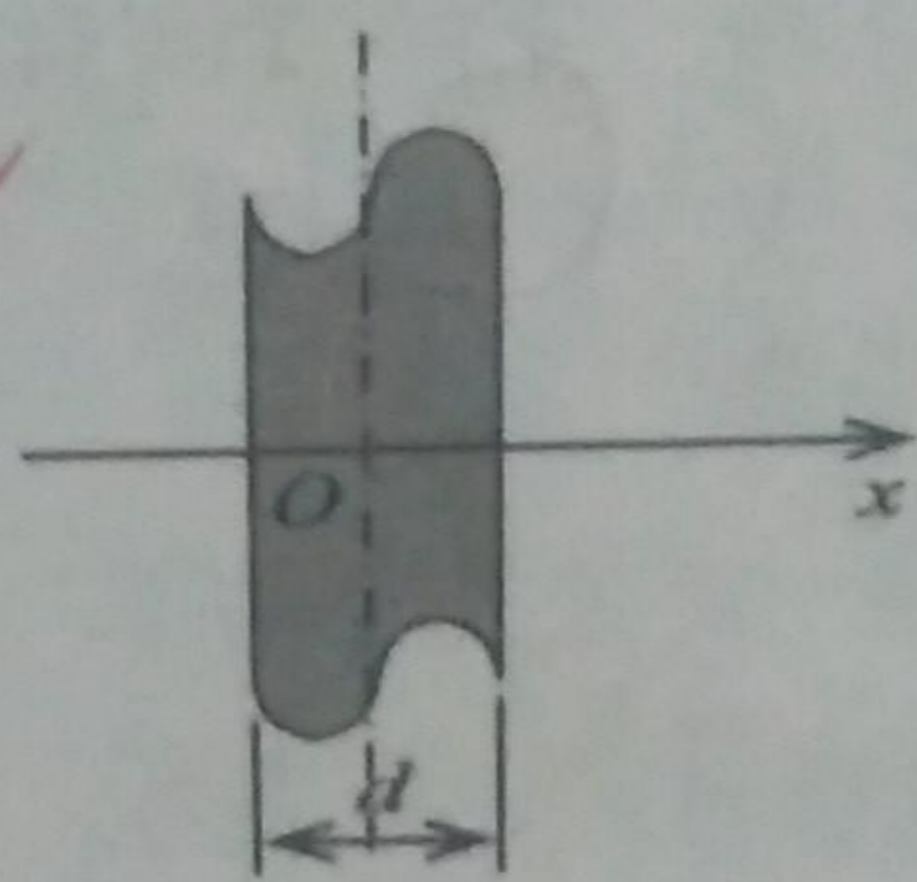
$r > R$ :

$$E \cdot 4\pi r^2 = \frac{1}{\epsilon_0} \int \rho dv = \frac{1}{\epsilon_0} \int_0^R \frac{3Q}{2R^3} \left(1 - \frac{r}{R}\right) 4\pi r^2 dr$$

$$\Rightarrow E = \frac{\rho_0 R^3}{12\epsilon_0 r^2} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

2'  $\frac{dE}{dr} = 0 \Rightarrow r = \frac{2}{3}R$  时,  $E = E_{\max} = \frac{\rho_0 R}{9\epsilon_0} = \frac{Q}{32\pi\epsilon_0 R^2}$

8. 图示一厚度为  $d$  的“无限大”均匀带电平板, 电荷体密度为  $\rho$ . 求板内外的场强分布, 并画出场强随坐标  $x$  变化的图线, 画  $E-x$  图线(设原点在带电平板的中央平面上,  $Ox$  轴垂直于平板).



作圆柱面为高斯面.

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = 2\pi r^2 E = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$Q = \begin{cases} \pi r^2 \cdot 2x \cdot \rho & x < \frac{d}{2} \\ \pi r^2 \cdot d \cdot \rho & x > \frac{d}{2} \end{cases}$$

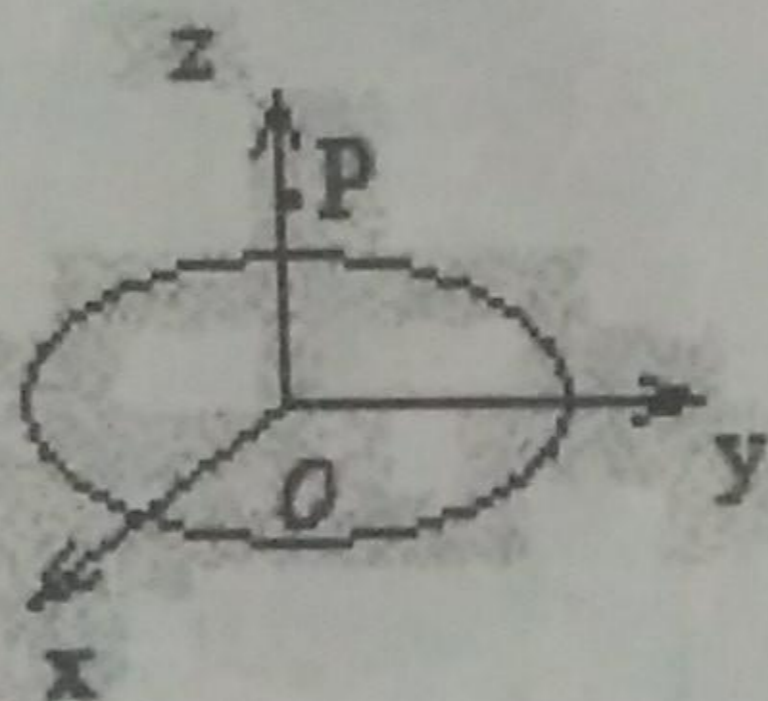
$$\therefore E = \begin{cases} \frac{\rho x}{\epsilon_0} & x < \frac{d}{2} \\ \frac{\rho d}{2\epsilon_0} & x > \frac{d}{2} \end{cases}$$

### 第三节 电势 电势能

1. 有  $N$  个电量均为  $q$  的点电荷，以两种方式分布在相同半径的圆周上：一种是无规则地分布，另一种是均匀分布。比较这两种情况下，过圆心  $O$  并垂直于圆平面的  $z$  轴上任一点  $P$  (如图所示) 的场强与电势，则有

[ C ]

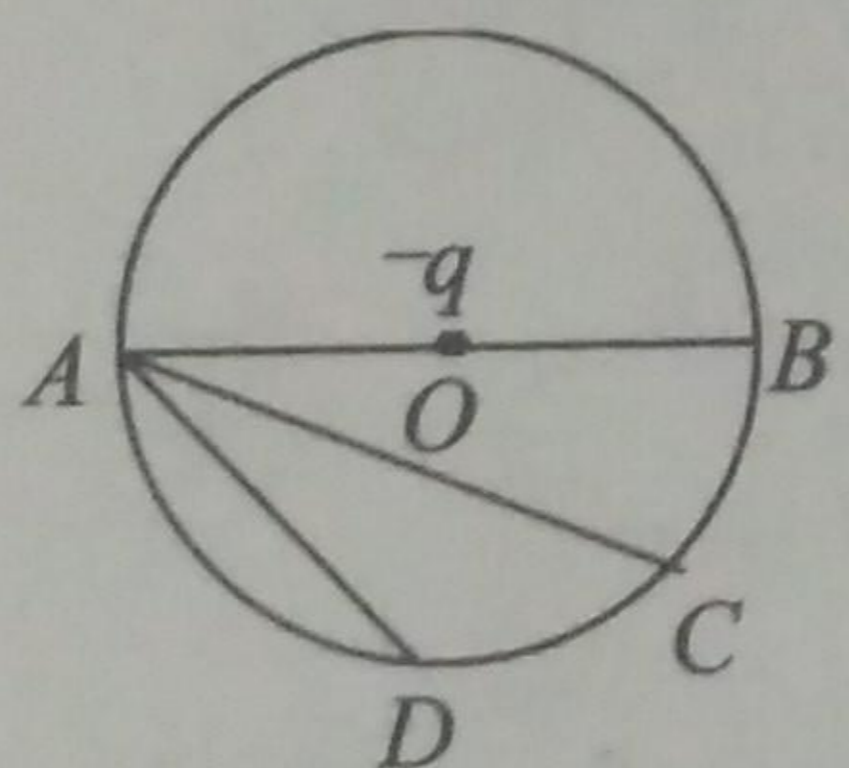
- A 场强相等，电势相等.
- B 场强不等，电势不等.
- C 场强分量  $E_z$  相等，电势相等.
- D 场强分量  $E_z$  相等，电势不等.



2. 点电荷  $-q$  位于圆心  $O$  处， $A, B, C, D$  为同一圆周上的四点，如图所示。现将一试验电荷从  $A$  点分别移动到  $B, C, D$  各点，则

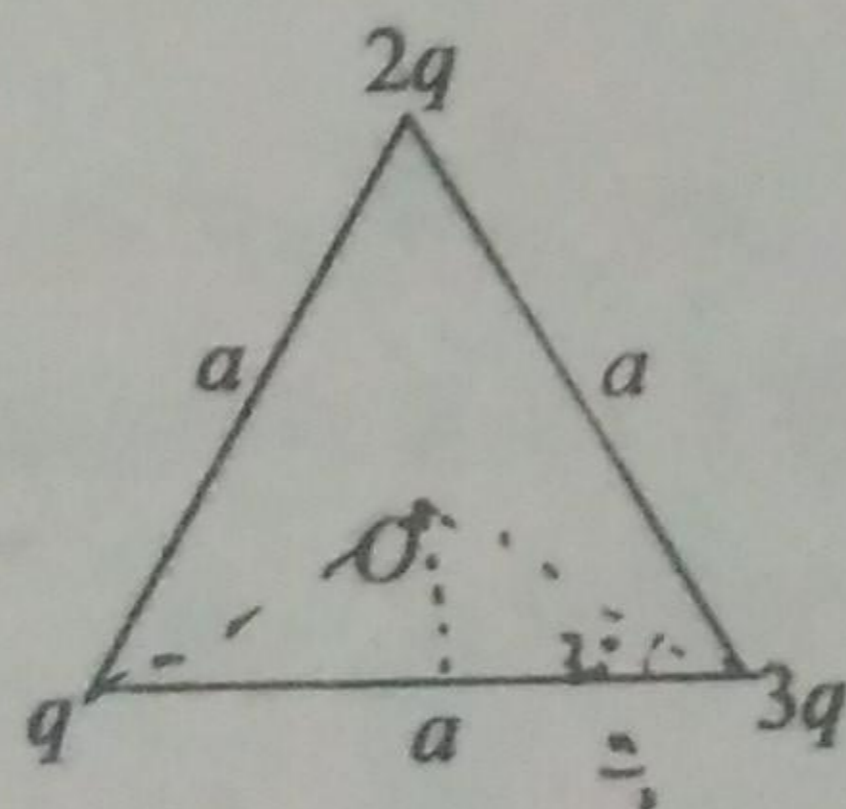
[ D ]

- A 从  $A$  到  $B$ ，电场力作功最大.
- B 从  $A$  到  $C$ ，电场力作功最大.
- C 从  $A$  到  $D$ ，电场力作功最大.
- D 从  $A$  到各点，电场力作功相等.



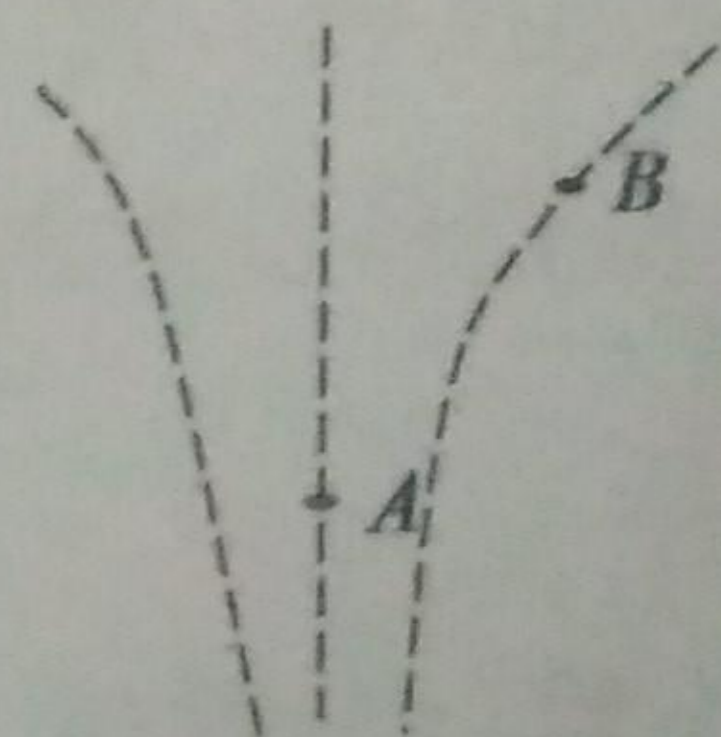
3. 如图所示，一等边三角形边长为  $a$ ，三个顶点上分别放置着电量为  $q, 2q, 3q$  的正点电荷，设无穷远处为电势零点，则三角形中心  $O$  处的电势  $V =$

$$\frac{3\sqrt{3}q}{2\pi\epsilon_0 a}$$



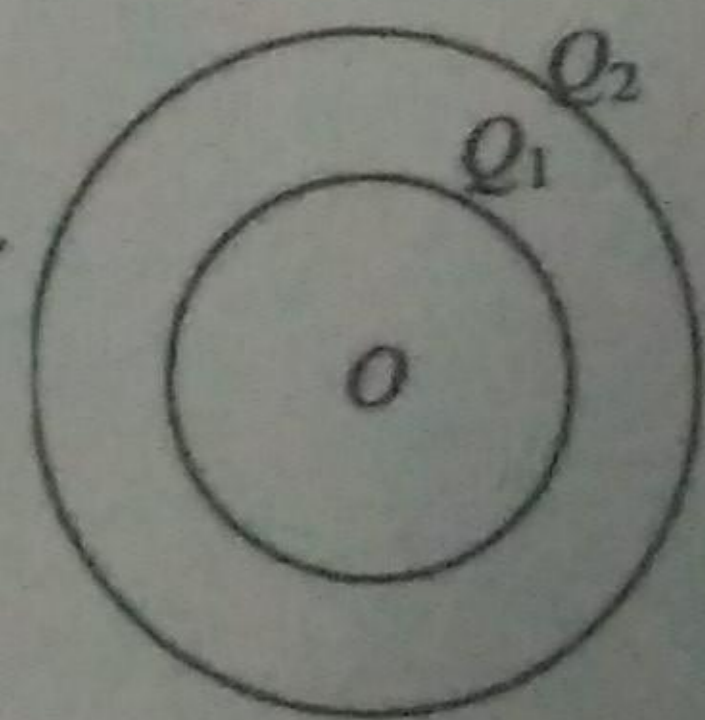
4. 把一个均匀带有电荷  $+Q$  的球形肥皂泡由半径  $r_1$  吹胀到  $r_2$ ，则半径为  $R (r_1 < R < r_2)$  的球面上任一点的场强大小  $E$  由  $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2}$  变为  $0$ ；电势  $V$  由  $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}$  变为  $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r_2}$  (选无穷远处为电势零点).

5. 如图所示，虚线表示等势面，则  $E_A > E_B$  (填写 “>” “<” 或 “=”) 如果  $A$  点有带正电的电荷点运动到  $B$  电场力做正功，则  $V_A > V_B$  (填写 “>” “<” 或 “=”)



6. 如图所示，两个同心的均匀带电球面，内球面半径  $R_1$  带电荷  $Q_1$ ，外球面半径  $R_2$  带电荷  $Q_2$ ，求空间各处的电势 (设无穷远为电势零点).

$$\therefore \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{\sum q}{\epsilon_0} \quad \text{取 } S \text{ 为同心球面.}$$



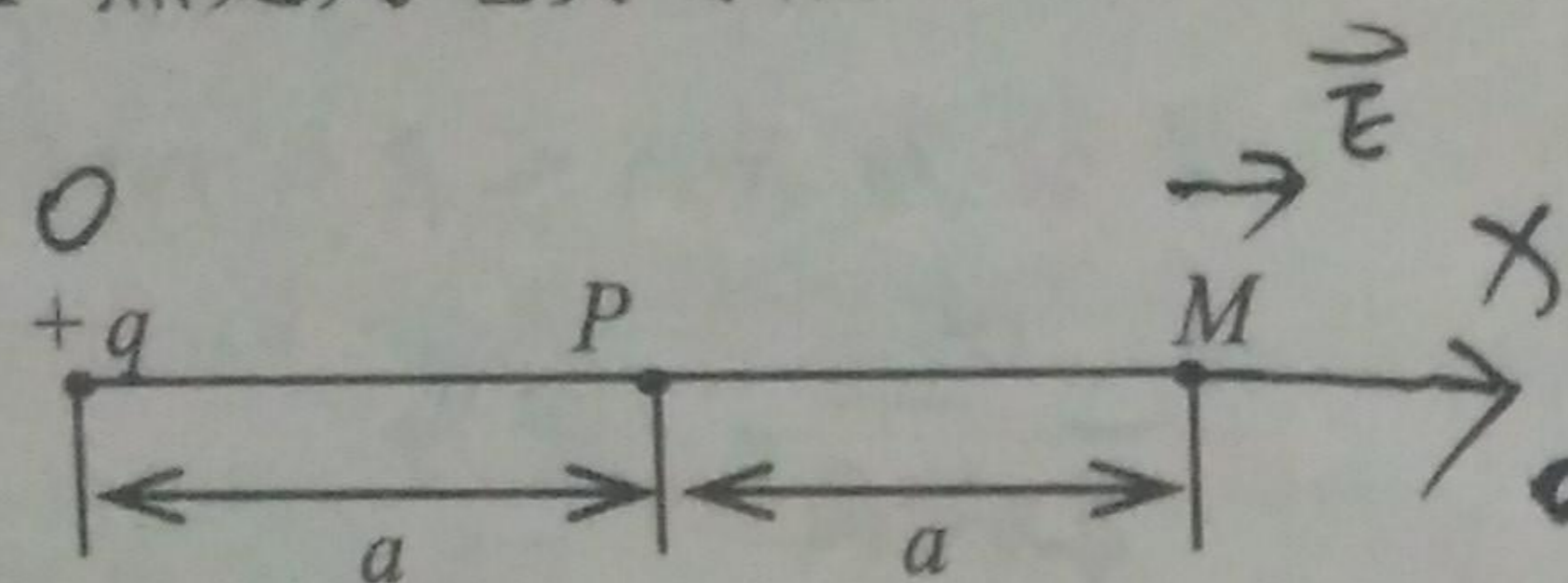
$$\therefore E = \begin{cases} 0 & r < R_1 \\ \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 r} & R_1 < r < R_2 \\ \frac{Q_1 + Q_2}{4\pi\epsilon_0 r} & r > R_2 \end{cases}$$

$$\text{由 } V = \int_r^\infty \vec{E} \cdot d\vec{r} \quad \text{得}$$

$$V = \begin{cases} \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 R_1} \end{cases}$$

$$V = \begin{cases} \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 R_1} + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 R_2} & r < R_1 \\ \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{R_2} \right) & R_1 < r < R_2 \\ \frac{Q_1 + Q_2}{4\pi\epsilon_0 r} & r > R_2 \end{cases}$$

7. 在点电荷+q的电场中, 若取图中P点处为电势零点, 求M点电势。



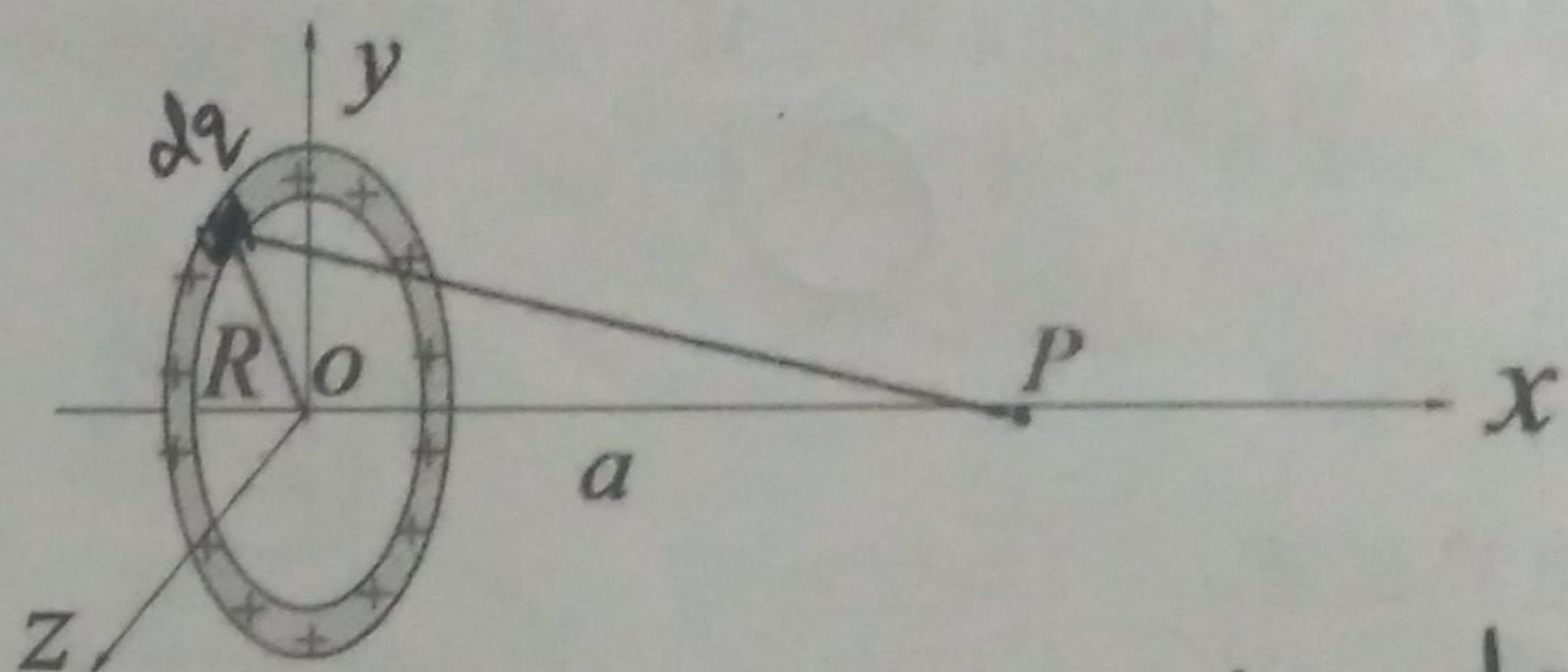
$$V_M = \int_M^P \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

$$= \int_{2a}^a \frac{q}{4\pi\epsilon_0 x^2} dx \cdot \cos 0^\circ$$

$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0 x} \Big|_{2a}^a$$

$$= -\frac{1}{8\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{a}$$

8. 图示为一个均匀带电的圆环, 其电荷线密度为 $\lambda$ , 半径为R. 设无穷远处为电势零点, 求(1)圆环中轴线OX上距离O点为a处的电势 $V_a$ . (2)一个电量为q的点电荷沿着中轴线从距离O点为a处运动到距离O点为b的地方, 求电场力所做的功W



1'.  $dq$  贡献:  $dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{dq}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\lambda dl}{\sqrt{a^2+R^2}}$

$$V = \int dV = \int_0^{2\pi R} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\lambda dl}{\sqrt{a^2+R^2}}$$

$$= \frac{1}{2\epsilon_0} \cdot \frac{R\lambda}{\sqrt{a^2+R^2}}$$

2'.  $W = -\Delta E_p = qU_{ab} = q \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} = q(V_a - V_b)$

$$= \frac{qR\lambda}{2\epsilon_0} \left( \frac{1}{\sqrt{a^2+R^2}} - \frac{1}{\sqrt{b^2+R^2}} \right)$$

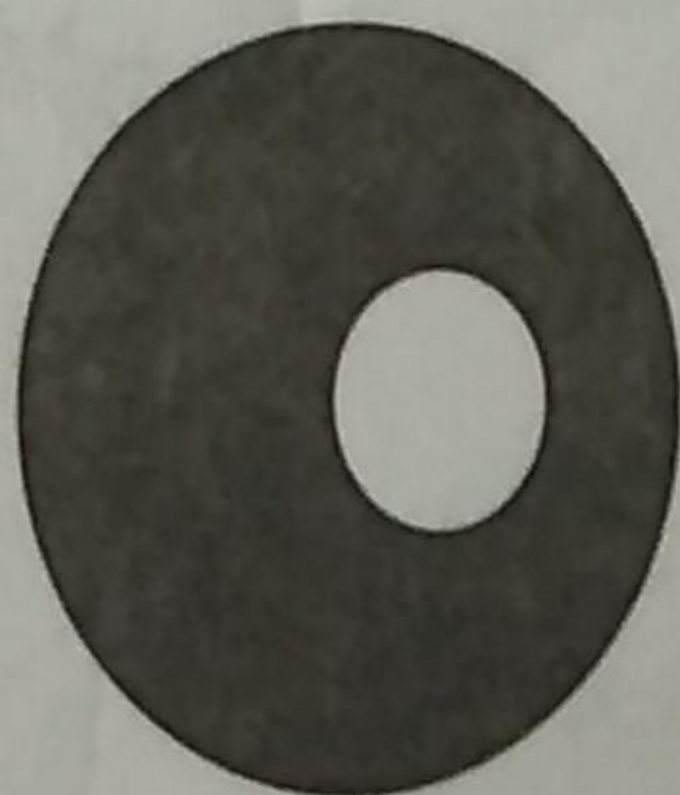
# 静电场中的导体与电介质

## 第一节 静电场中的导体 (1)

1. 一球形导体球内有一球形空腔, 两者的球心不重合, 如图所示, 如果将某正电荷置于空腔的球心处, 则导体球表面的感应电荷密度:

[ D ]

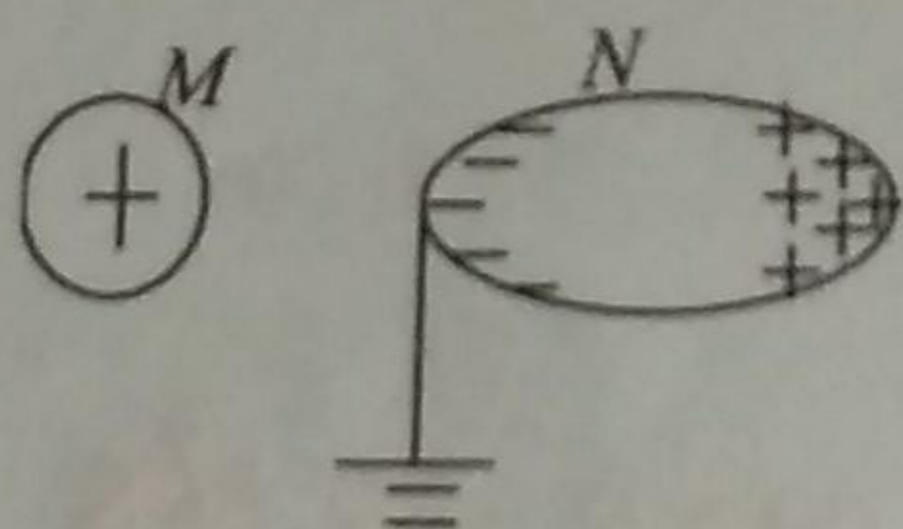
- A 内、外球面上都不均匀
- B 在内球面上是均匀的, 外球面上不均匀
- C 在内球面上不均匀的, 外球面上是均匀
- D 内、外球面上都均匀



2. 一带正电荷的物体 M, 靠近一原不带电的金属导体 N, N 的左端感生出负电荷, 右端感生出正电荷. 若将 N 的左端接地, 如图所示, 则 N 上的电荷如何变化?

[ B ]

- A N 上的负感应电荷被大地电荷中和;
- B N 上有正感应电荷被大地电荷中和;
- C N 上的感应电荷分布不变;
- D N 上不再有感应电荷.



3 任意带电体在导体体内(不是空腔导体的腔内) 会 (填: 会或不会)产生电场, 处于静电平衡下的导体, 空间所有电荷(含感应电荷)在导体体内产生电场的 矢量和 (填: 矢量和标量) 叠加为零.

4. 处于静电平衡下的导体 是 (填: 是或不是) 等势

体, 导体表面 是 (填: 是或不是) 等势面, 导体表面附近的电场线与导体表面相互 垂直, 导体体内的电势 等于 (填: 大于, 等于或小于) 导体表面的电势.

5. 一点电荷电量为  $-2.0\mu\text{C}$  位于导体球壳的球心处, 球壳内外半径分别是 4 和 6cm, 球壳外是均匀带电的绝缘体, 所带电荷密度为  $3.75 \times 10^{-4}\text{C}/\text{m}^3$ , 则距离点电荷 9cm 处的电场强度是  $1.33 \times 10^6 \text{V}/\text{m}$ .

6. 电量为  $-Q$  的点电荷置于一金属空腔 (电中性) 内, 则空腔外表面的净电荷总量是  $-Q$ , 如果空腔外侧与地面通过导线连接, 则空腔表面的净电荷总量是  $+Q$ .

7. 一带电大导体平板, 板的两表面电荷面密度之和为  $\sigma$ , 置于电场强度为  $E_0$  的均匀电场中, 平板法线与外场平行, 设外电场分布不因导体的引入而改变, 则板附近左右两侧的合场强分别为  $E_0 - \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ ,  $E_0 + \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ .

