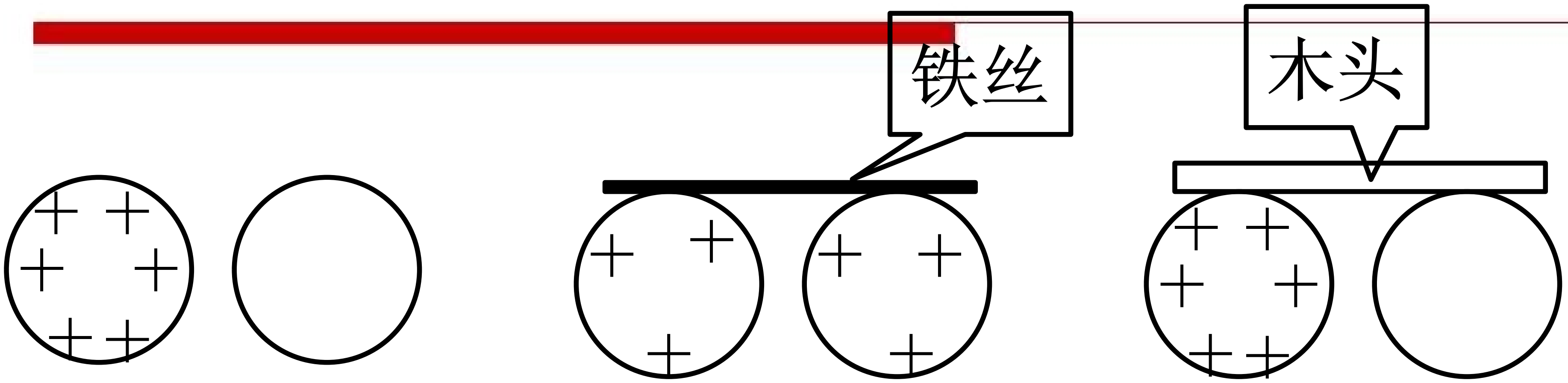
第13章 静电场中的导体和电介质

导体、绝缘体和半导体



导体	绝缘体	半导体
一些电子可以自由移动	所有电子均被原子核紧紧束缚	介于二者之间
主要是金属材料	其它大部分材料	少量材料

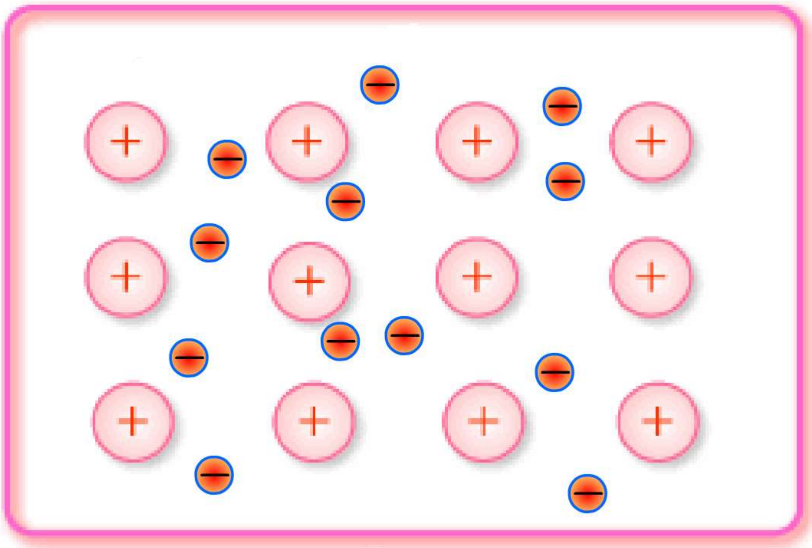
§13.1 静电场中的导体

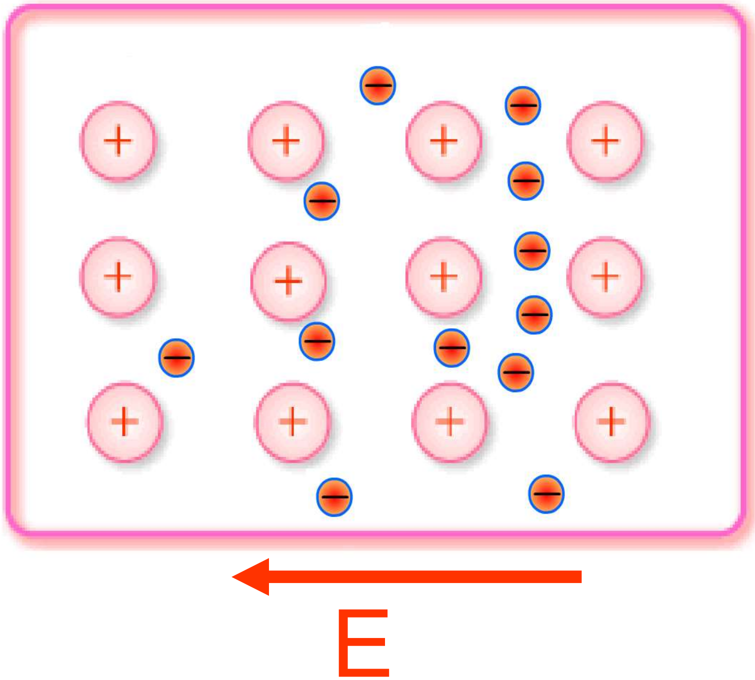
- 为什么要讨论静电场中的导体?
- 前一章主要讨论的是真空中的静电场，事实上，真是的世界不可能只存在静止电荷，还存在着各种物质。根据各种物质在静电场中的表现出的性质，可以将物质分为导体、半导体和绝缘体。
- 最常见的导体：导线，仪器金属外壳。

本讲基本要求

掌握静电平衡下导体的性质。
掌握静电屏蔽。

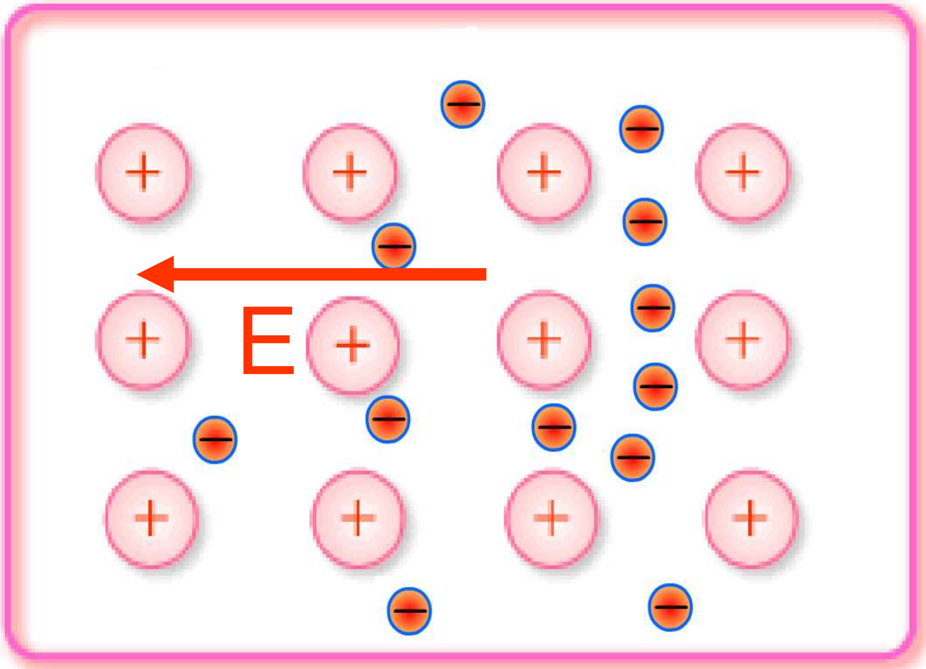
§13.1 静电场中的导体





13.1.1 导体的静电平衡条件

- **静电平衡**



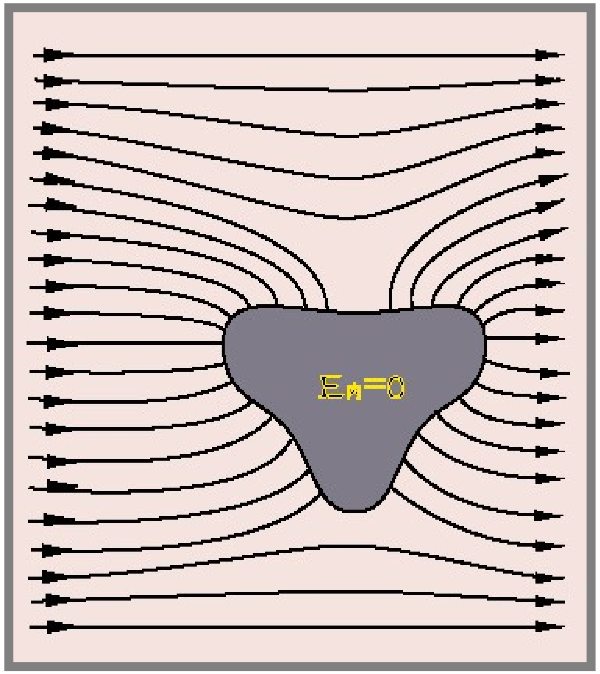
静电平衡状态: 导体内部和表面上任何一部分都没有电荷的宏观定向运动

13.1.1 导体的静电平衡条件

(1) $E_{内} = 0$

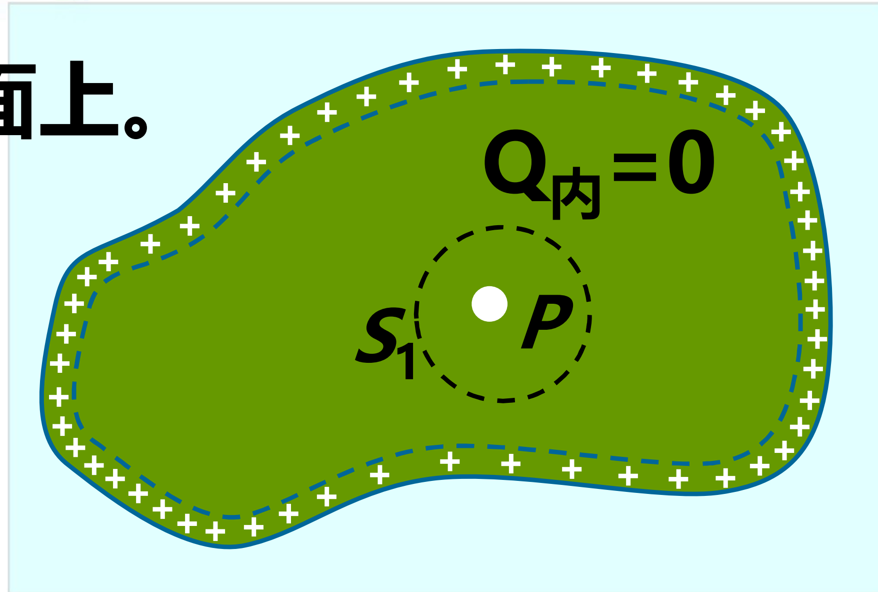
导体是等势体，表面是等势面。

导体外表面附近的电场强度处处与导体表面垂直。



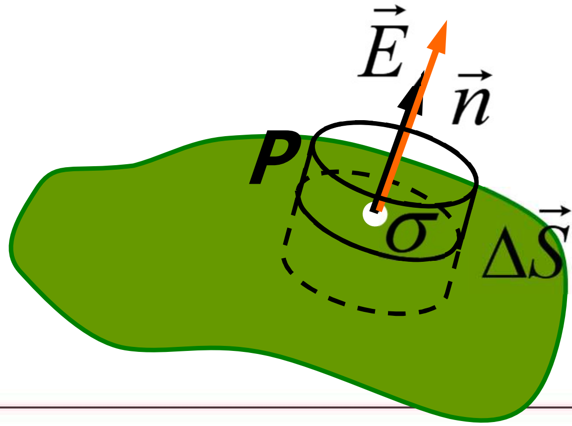
13.1.2 静电平衡导体上电荷的分布

(2)净电荷只能分布在导体表面上。



导体表面上某点的面电荷密度与该点电场强度的大小成正比

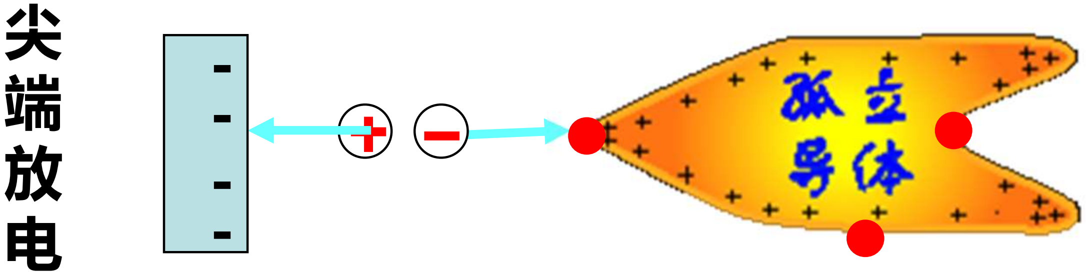
$$\Phi_e = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = E \cdot \Delta S = \frac{\sigma \Delta S}{\varepsilon_0}$$

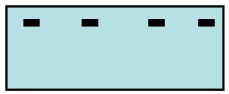


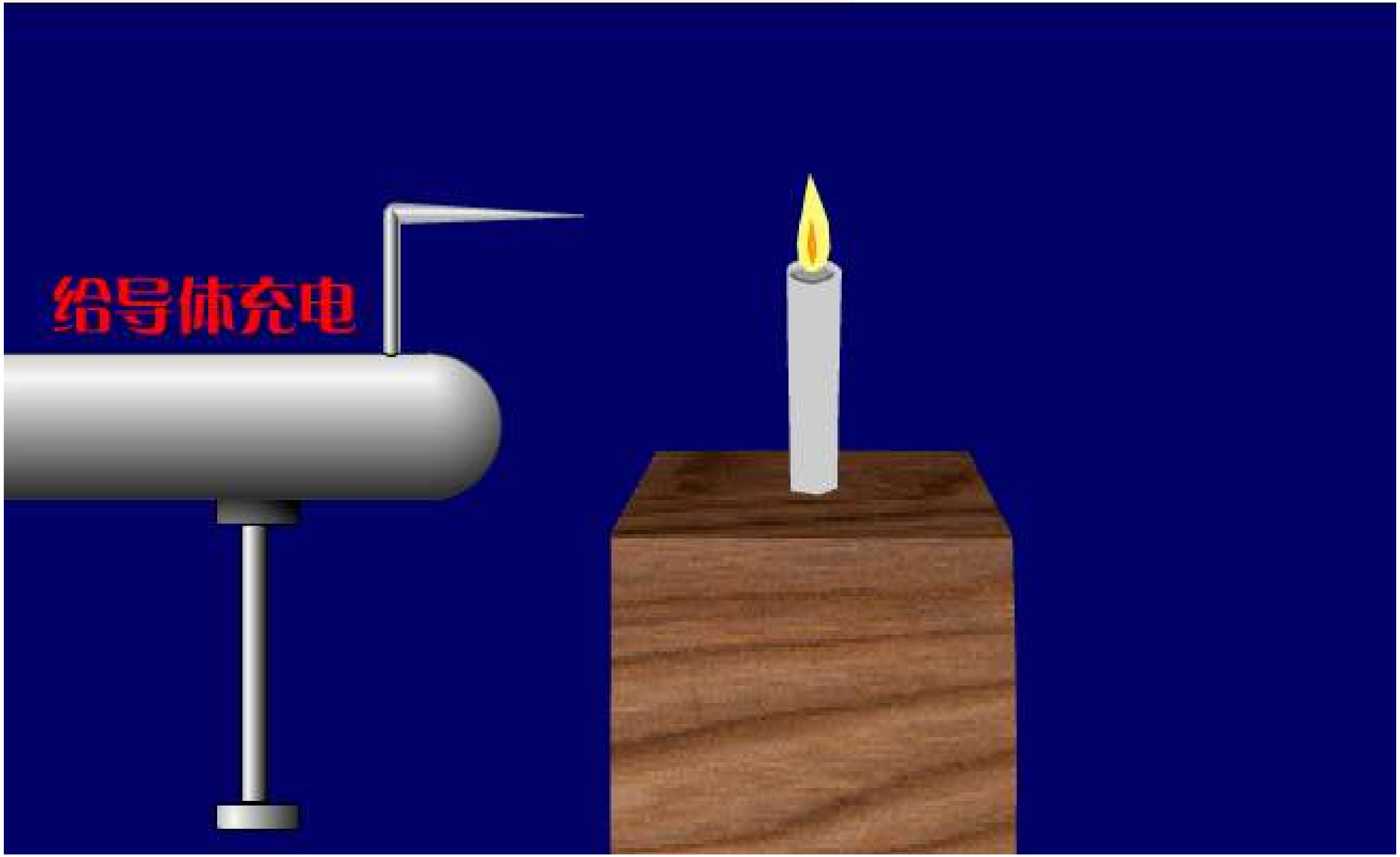
$$\Rightarrow E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

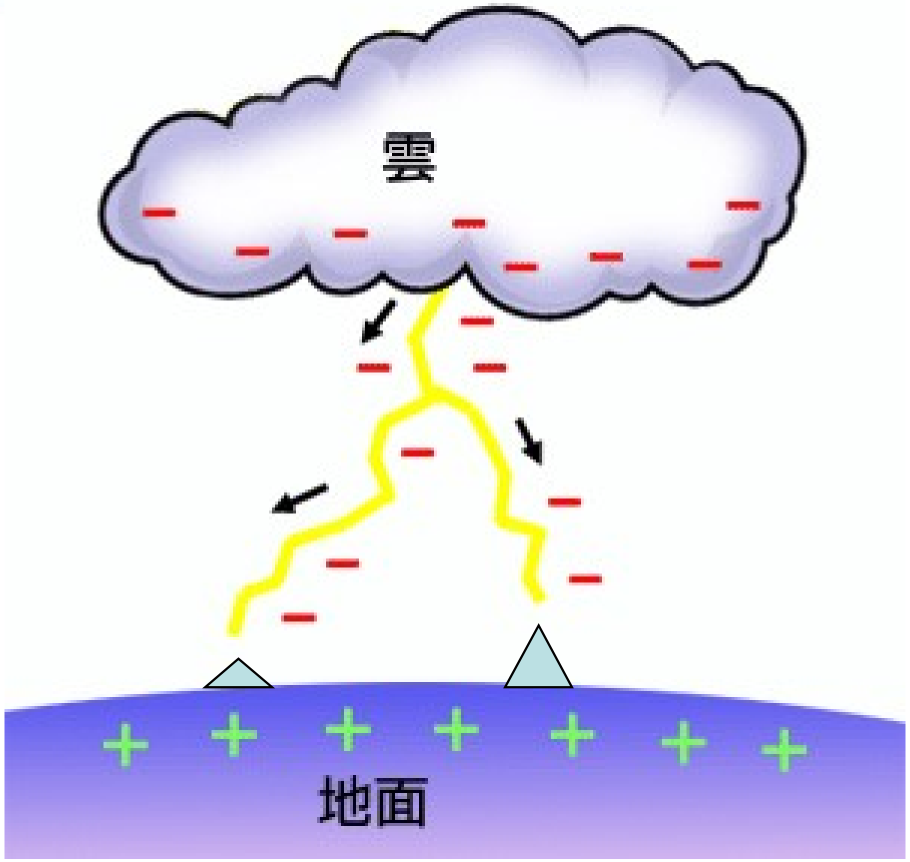
(3) 电荷面密度与导体表面的曲率有关

$$\sigma_A > \sigma_B > \sigma_C$$





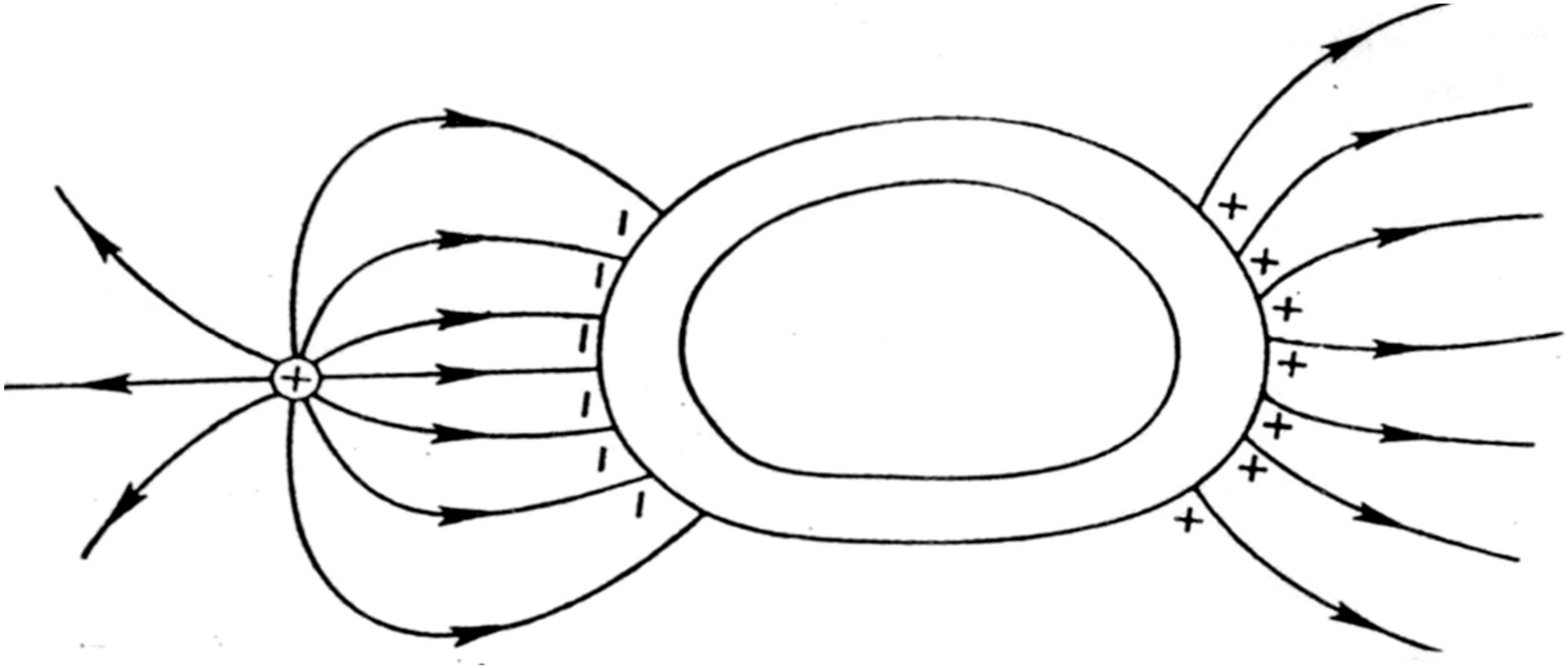

给导体充电


雲
地面

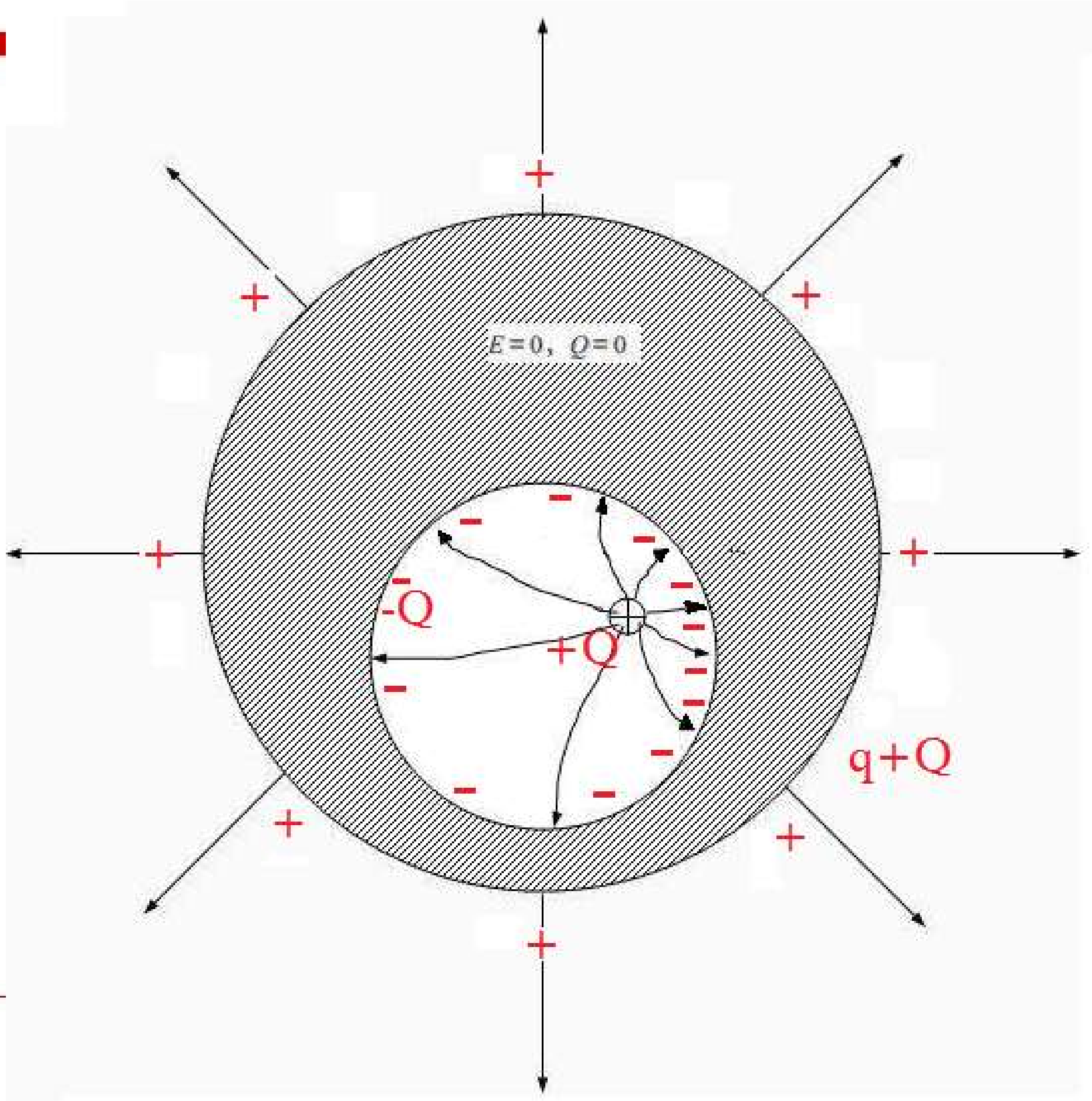
13.1.3 导体空腔与静电屏蔽

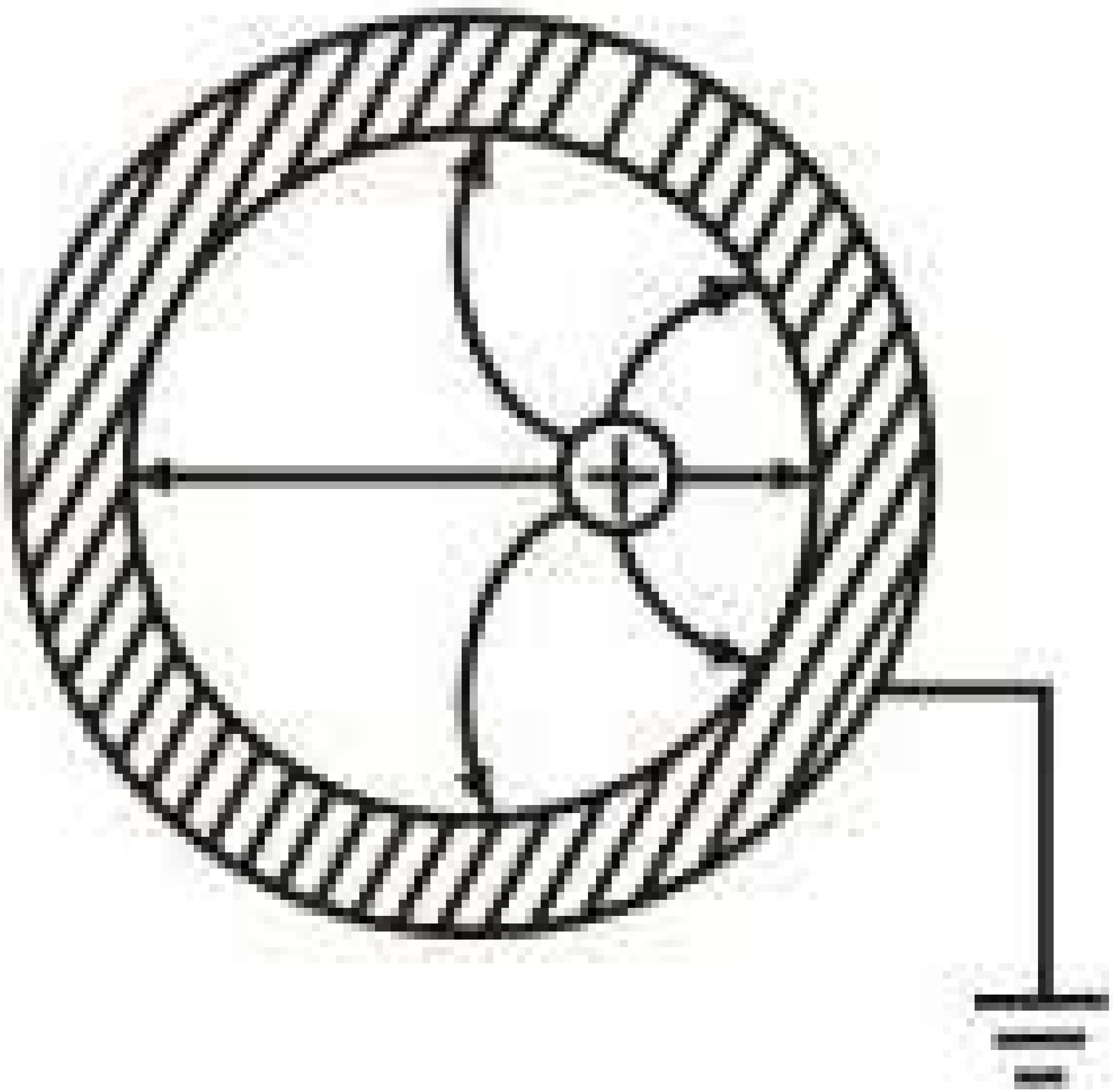
1.导体空腔的静电平衡特性

①腔内无带电体的情形。

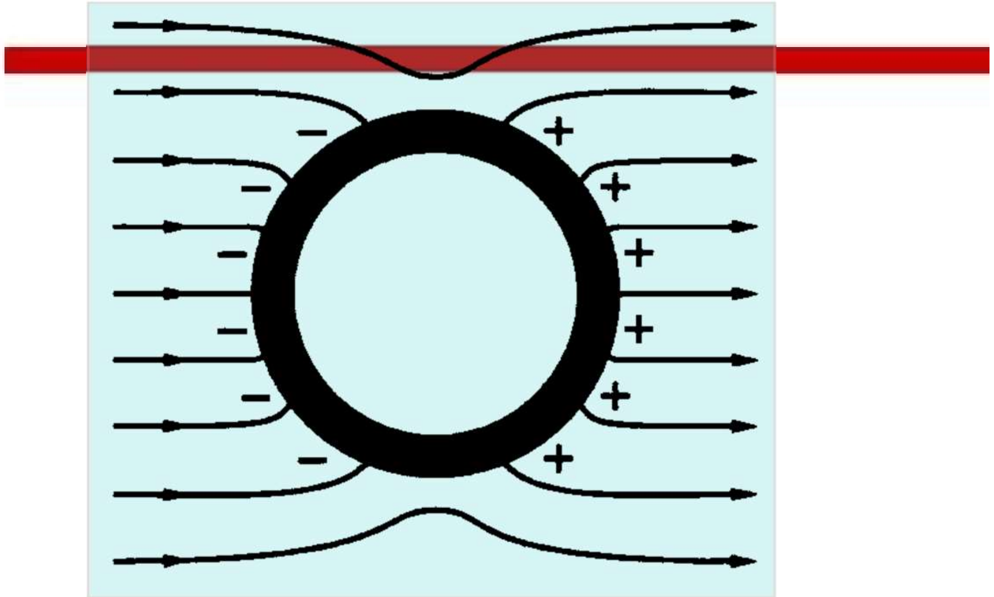


②腔内有带电体的情形。

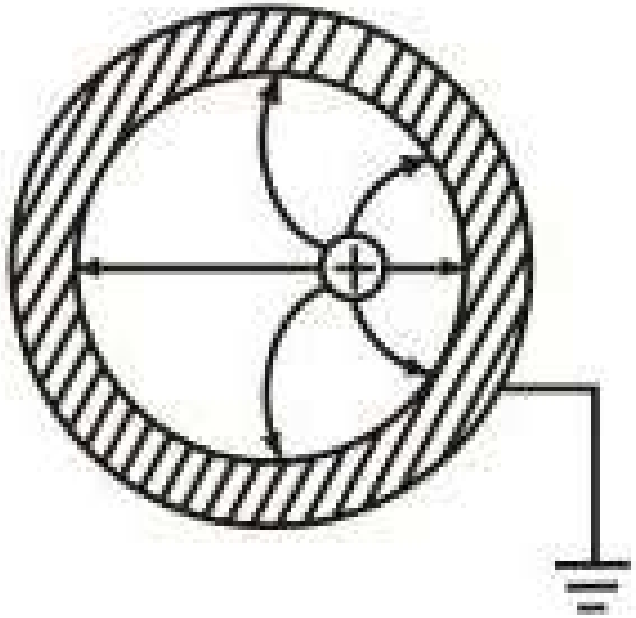




2 静电屏蔽



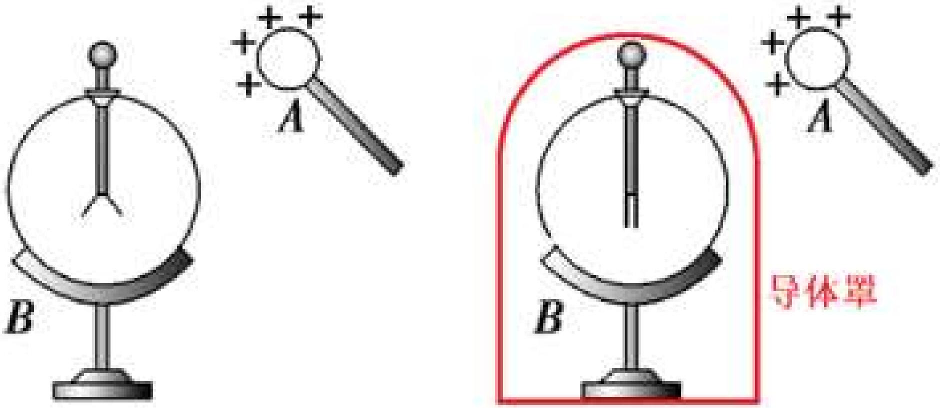
（腔内的物体不受外界电场的影响）



（内外隔绝）

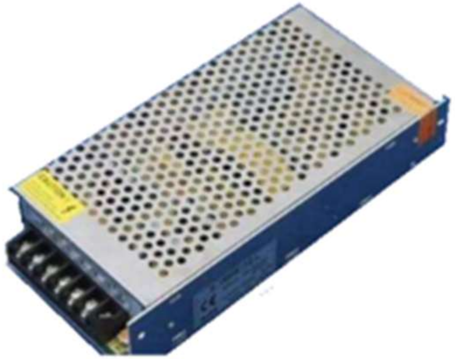
利用导体的静电平衡特性，使局部空间不受电场影响的现象叫做静电屏蔽

导电纤维织成的均压服



静电屏蔽的实验演示

静电屏蔽袋

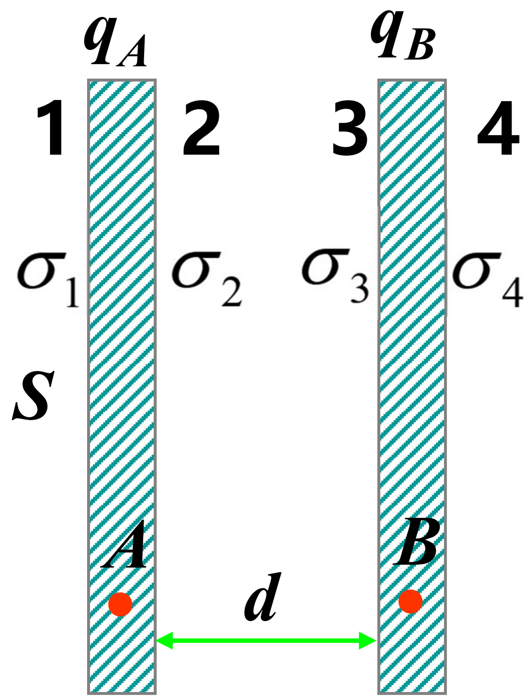


仪器仪表屏蔽外壳

例 两块等面积的金属平板，分别带电荷q_A和q_B，平板面积均为S，两板间距为d，且满足面积的线度远大于d。

求 静电平衡时两金属板各表面上的电荷面密度。

解 如图示，设4个表面的电荷面密度分别为$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$，则



$$\sigma_1 S + \sigma_2 S = q_A, \quad \sigma_3 S + \sigma_4 S = q_B \quad ①$$

在两板内分别取任意两点A和B，则

$$\left.\begin{aligned} E_A &= \frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma_3}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma_4}{2\varepsilon_0} = 0 \\ E_B &= \frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0} + \frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0} + \frac{\sigma_3}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma_4}{2\varepsilon_0} = 0 \end{aligned}\right\}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3 - \sigma_4 = 0 \\ \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 - \sigma_4 = 0 \end{cases}$$

例 两块等面积的金属平板，分别带电荷q_A和q_B，平板面积均为S，两板间距为d，且满足面积的线度远大于d。

求 静电平衡时两金属板各表面上的电荷面密度。

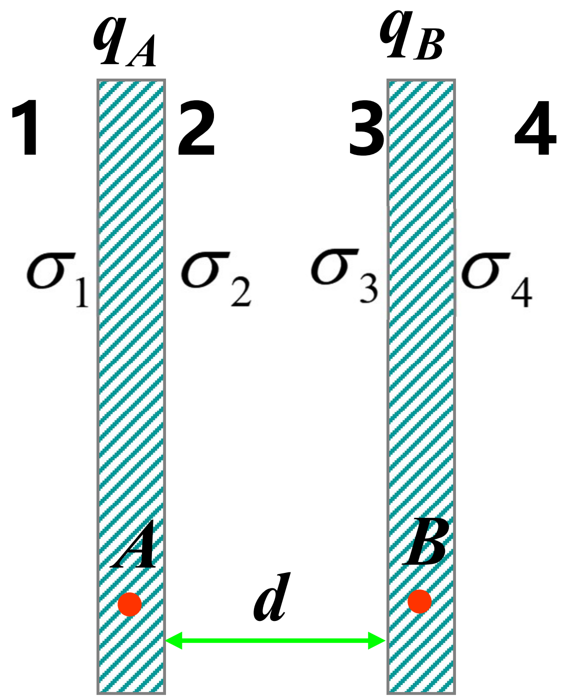
$$\sigma_1 = \sigma_4, \quad \sigma_2 = -\sigma_3$$

代入①，得

$$\sigma_1 = \sigma_4 = \frac{q_A + q_B}{2S}$$

$$\sigma_2 = -\sigma_3 = \frac{q_A - q_B}{2S}$$

可见，A、B 两板的内侧面带等量异号电荷；两板的外侧面带等量同号电荷。

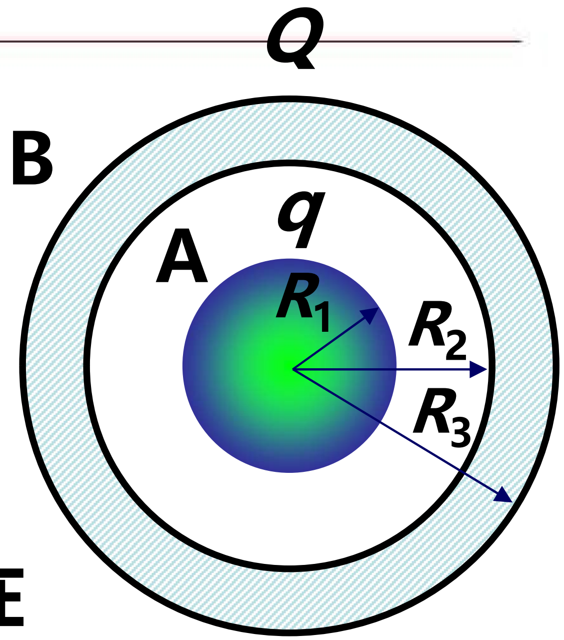


◆ 特别地，若$q_A = -q_B = q$，则

$$\sigma_1 = \sigma_4 = 0 \qquad \sigma_2 = -\sigma_3 = q/S$$

电荷只分布在两板的内侧面，外侧面不带电。

例 半径为R_1的金属球A带电为q (>0)，在它外面有一同心放置的金属球壳B，其内外半径分别为R_2和 R_3，带电为 Q (>0)。如图所示，当此系统达到静电平衡时，



求 (1) 各表面上的电荷分布；

(2) 电场强度分布；

(3) 电势分布及球A与球壳B的电势差。

解 (1) 电量分布

球 A： 根据对称性，电量均匀分布在球 A 的表面上，电量为q。

球壳 B： 由于静电感应，球壳B内表面的电量为：$-q$；外表面的电量为: $Q+q$。

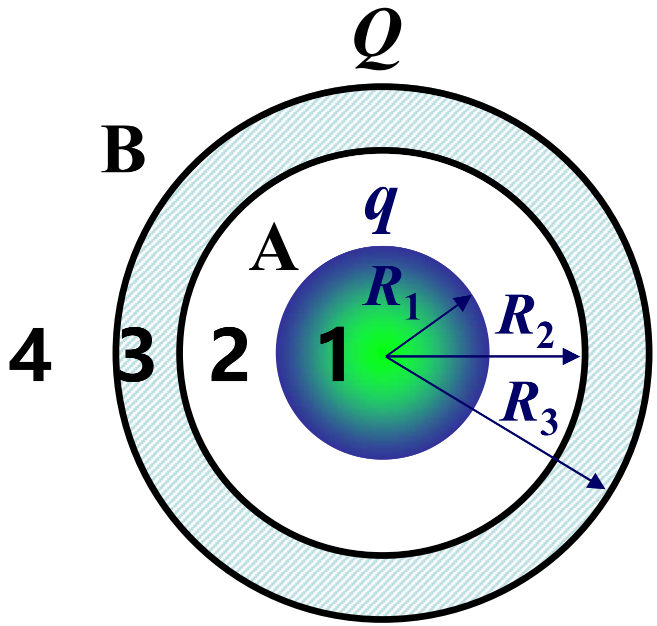
◆ 整个系统相当于在真空中的三个均匀带电的球面。

例 半径为R_1的金属球A带电为q (>0)，在它外面有一同心放置的金属球壳B，其内外半径分别为R_2和 R_3，带电为 Q (>0)。如图所示，当此系统达到静电平衡时，

(2) 电场强度分布

由高斯定理及静电平衡条件，得

$$
\begin{cases}
E_1 = 0 & (r < R_1) \\
E_2 = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} & (R_1 < r < R_2) \\
E_3 = 0 & (R_2 < r < R_3) \\
E_4 = \dfrac{q+Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} & (R_3 < r)
\end{cases}
$$



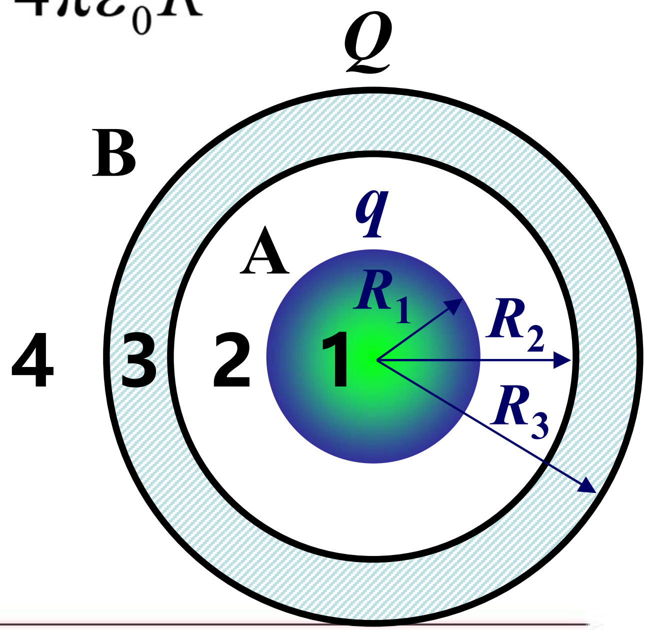
例 半径为R_1的金属球A带电为q (>0)，在它外面有一同心放置的金属球壳B，其内外半径分别为R_2和 R_3，带电为 Q (>0)。如图所示，当此系统达到静电平衡时，

(3)电势分布

取无穷远为电势零点，半径为R，电量为q的均匀带电球壳的电势分布为

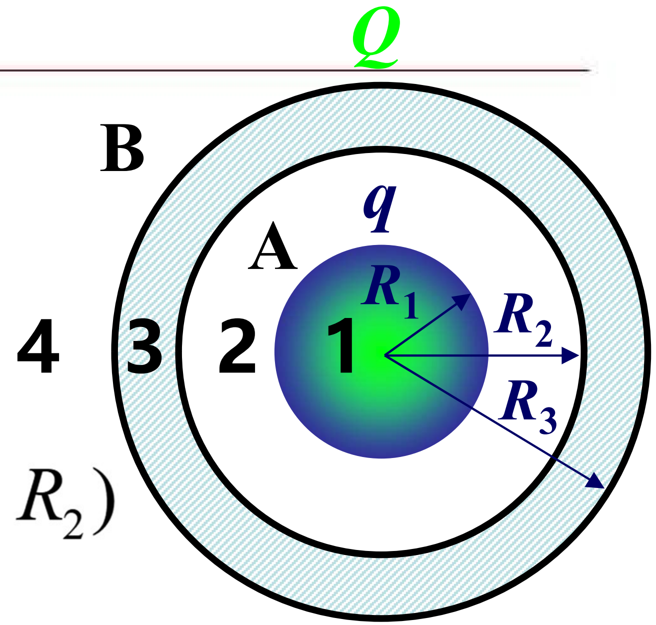
$$V_{外}=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r} \qquad V_{内}=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R}$$

由(1)知，此系统相当于半径分别为R_1，R_2和 R_3，带电量分别为 q，$-q$和 $q+Q$的三个均匀带电球面。



例 半径为R_1的金属球A带电为$q\ (>0)$，在它外面有一同心放置的金属球壳B，其内外半径分别为R_2和R_3，带电为$Q\ (>0)$。如图所示，当此系统达到静电平衡时，

利用叠加原理，得



$$
\begin{cases}
V_1 = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\dfrac{q}{R_1} - \dfrac{q}{R_2} + \dfrac{q+Q}{R_3}\right) & (r < R_1) \\[2ex]
V_2 = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\dfrac{q}{r} - \dfrac{q}{R_2} + \dfrac{q+Q}{R_3}\right) & (R_1 < r < R_2) \\[2ex]
V_3 = \dfrac{q+Q}{4\pi\varepsilon_0 R_3} & (R_2 < r < R_3) \\[2ex]
V_4 = \dfrac{q+Q}{4\pi\varepsilon_0 r} & (R_3 < r)
\end{cases}
$$

球A与球壳B的电势差为 $$U_{AB} = V_1 - V_3 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$