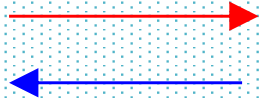


第九章 导体和电介质

前一章我们讨论了真空中的静电场。实际工作中常遇到电场中存在导体和电介质的问题

电荷  电场

导体：导体中存在大量自由电子，在电场作用下，导体中能形成电流，使电荷分布发生变化，进而使电场也发生改变。

电介质：电介质中几乎没有自由电子，但在外场作用下，介质分子内的电荷也能在很小的范围内重新分布，使电场发生改变。

§ 9—1 静电场中的导体

一、静电感应

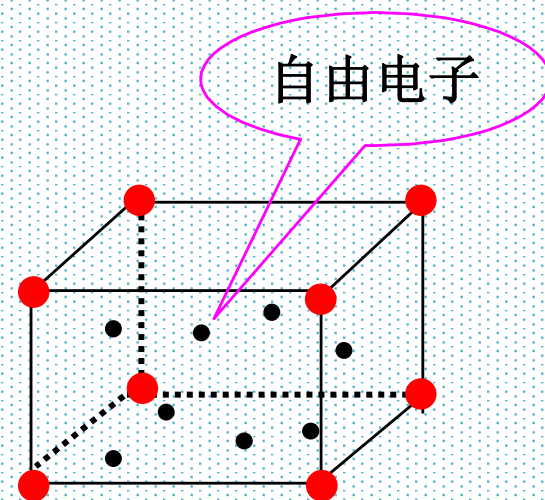
金属导体：自由电子

◆ 导体不带电时：

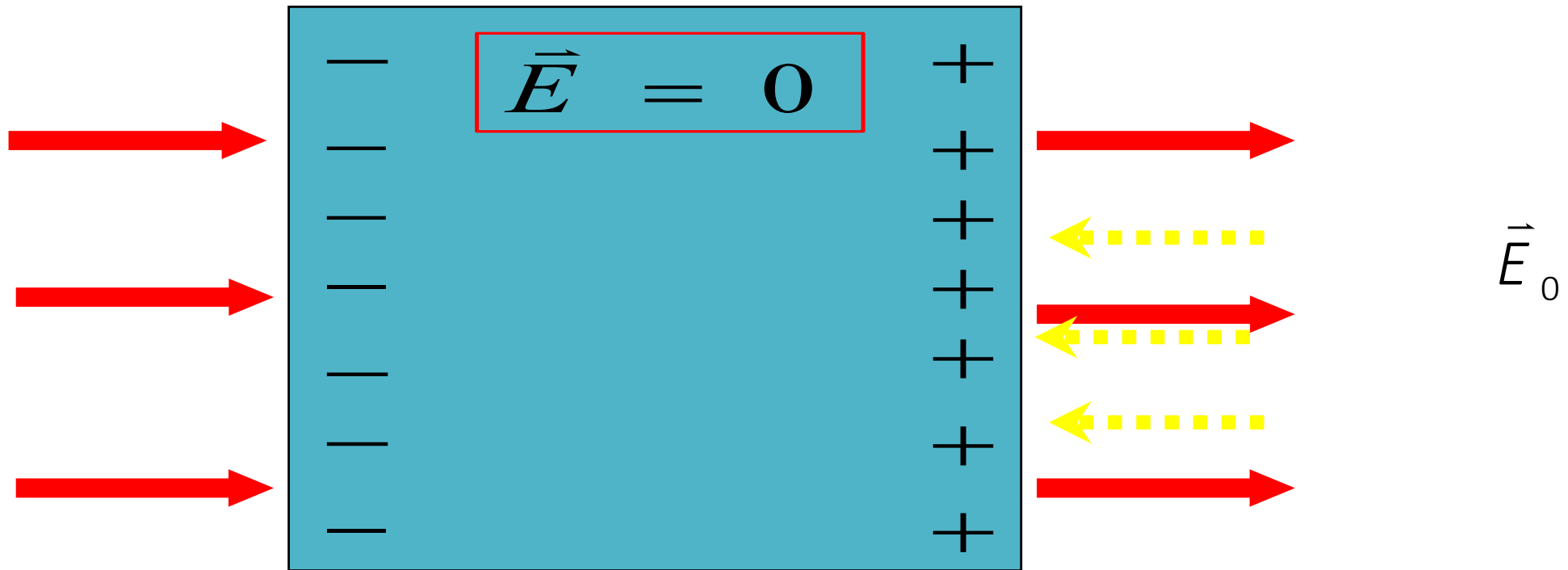
导体中的自由电子都与金属离子的正电荷精确中和，金属不显电性。

◆ 把导体放入静电场中时：

- 自由电子在电场力的作用下发生移动，使得导体上的电荷重新分布，该过程称为**静电感应**。
- 静电感应所产生的电荷称为**感应电荷**。
- 按照电荷守恒，**感应电荷的总电荷量为零**。



二、静电平衡



当： $\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}' = 0$ 导体达到**静电平衡**

导体达到**静电平衡**， **自由电荷停止了定向流动**。

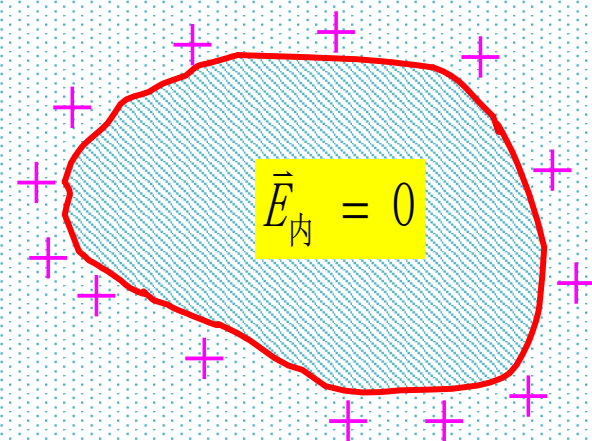
静电感应的时间极短，若非特别说明，把导体当做已经处于静电平衡的状态来讨论。

三、导体静电平衡条件 $\vec{E}_{\text{内}} = \vec{E}_0 + \vec{E}' = 0$

1、电场强度条件

●静电平衡导体中的电场强度为零

●导体表面的场强与表面垂直



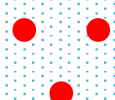
2、电势条件

静电平衡导体是一个等势体，表面是一个等势面。

$$E = -grad(V)$$

推论一

静电平衡后，导体内的**净电荷**为零，**电荷**只分布于**导体表面**。


$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0 = \frac{q_{\text{内}}}{\epsilon_0}$$

推论二

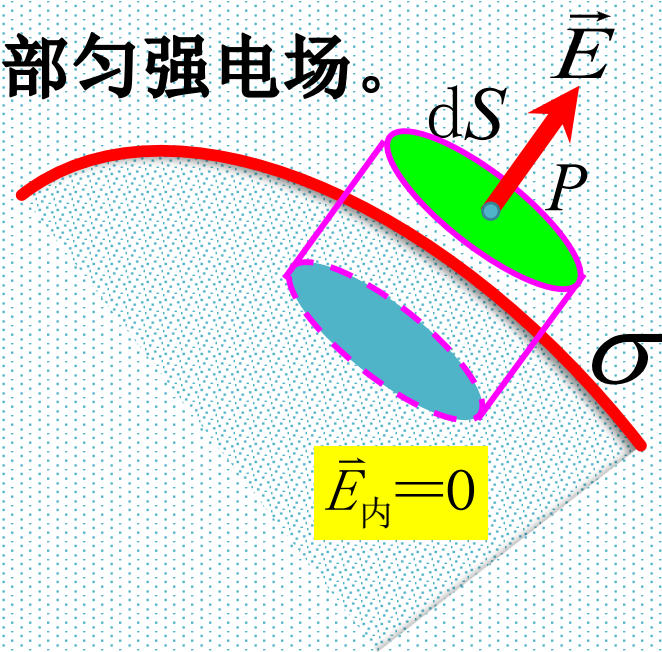
静电平衡后，导体表面附近的电场强度的大小与表面电荷密度的关系：

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

导体表面附近电场可看做**局部匀强电场**。

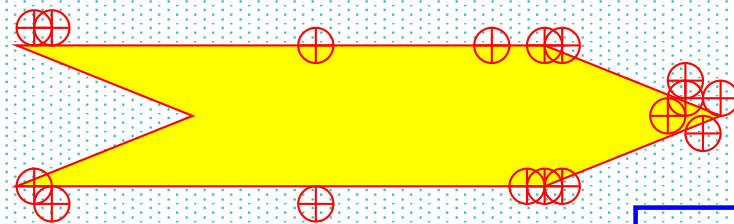
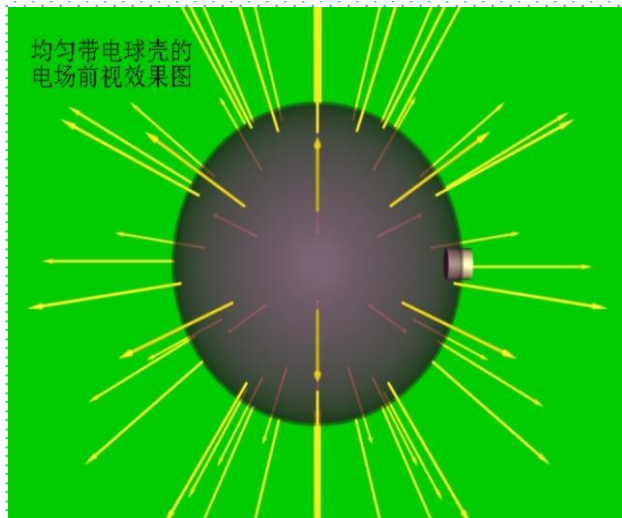
∴ 由高斯定理： $\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q_{\text{内}}}{\epsilon_0}$

$$\Rightarrow E dS = \frac{\sigma dS}{\epsilon_0} \Rightarrow E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$



推论三

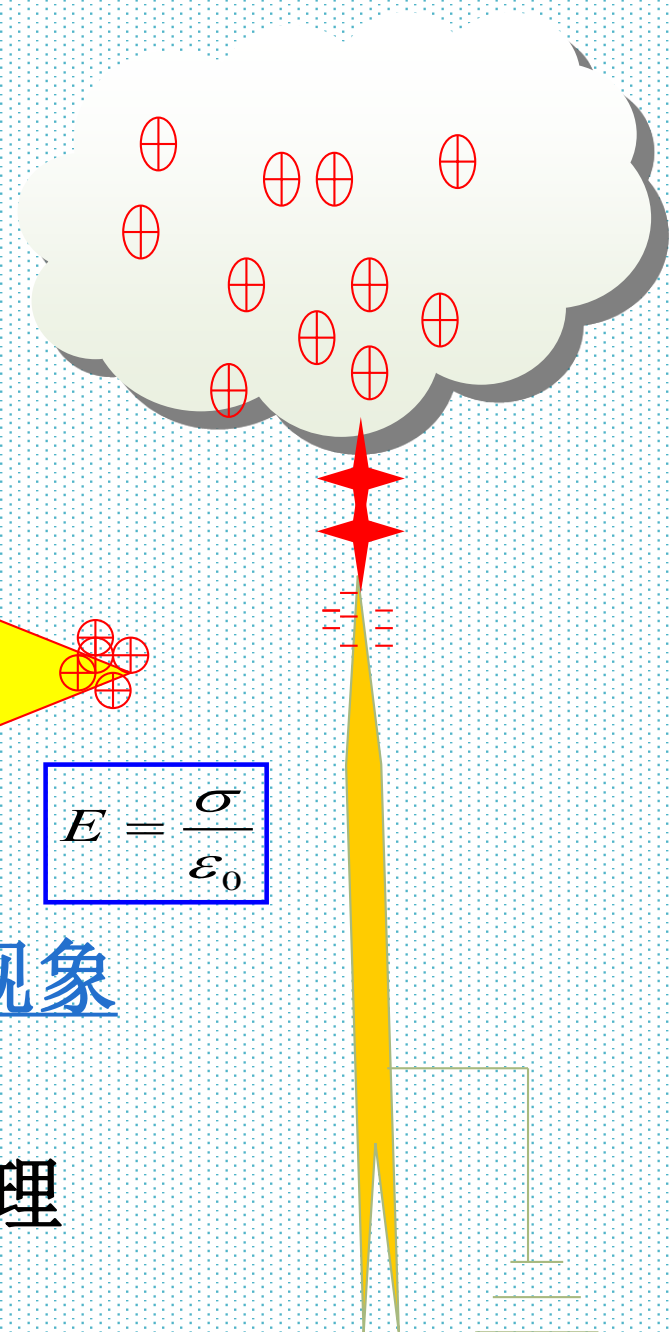
若没有其它电场的影响，导体表面曲率越大的地方电荷面密度也越大。



$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

→ 尖端放电现象

避雷针工作原理

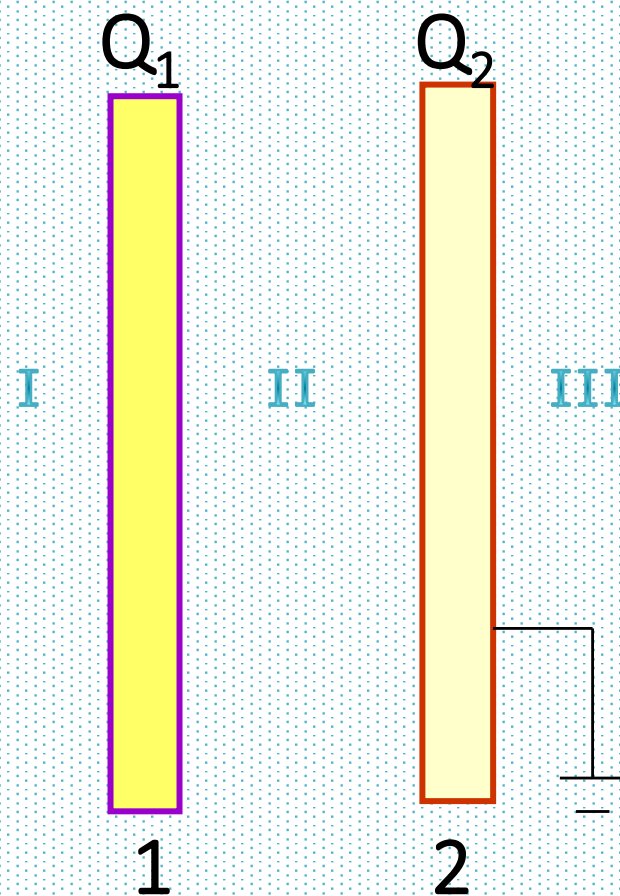


例题1、如图：两个面积较大的平行导体，板面积均为 S ，距离为 d ，分别带电 Q_1 、 Q_2 ，1). 试求两个导体板的四个表面上电荷分布的面密度。

2). 求I, II, III区的场强：

3). 两导体板间的电势差：

4). 按图接地后，各面的电荷密度：



二 导体空腔和静电屏蔽

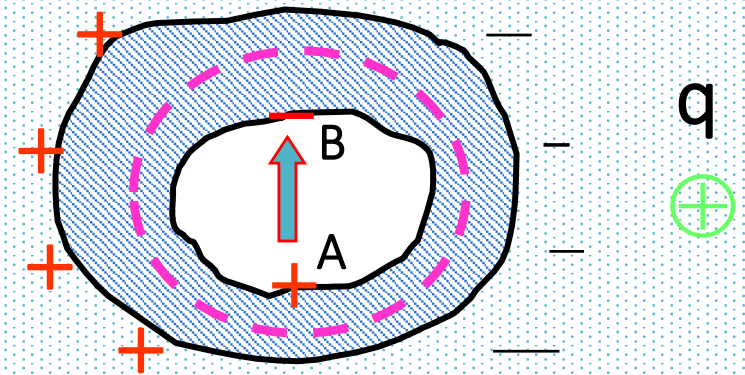
静电屏蔽：达到静电平衡的导体空腔能隔断空腔内、外电荷的相互影响。

1、第一类导体空腔：空腔内无带电体

空腔和导体内场强为零

空腔内表面也不能有电荷分布

电荷只能分布在导体外表面

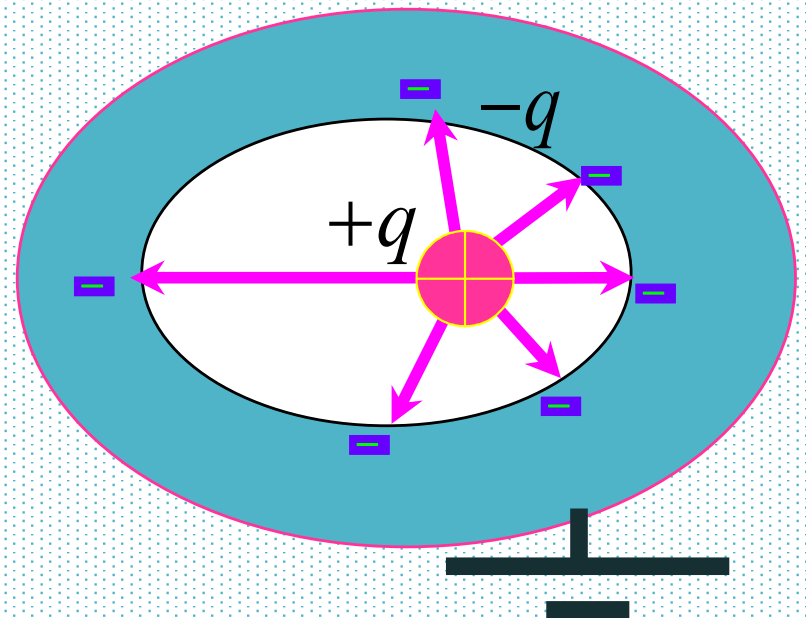
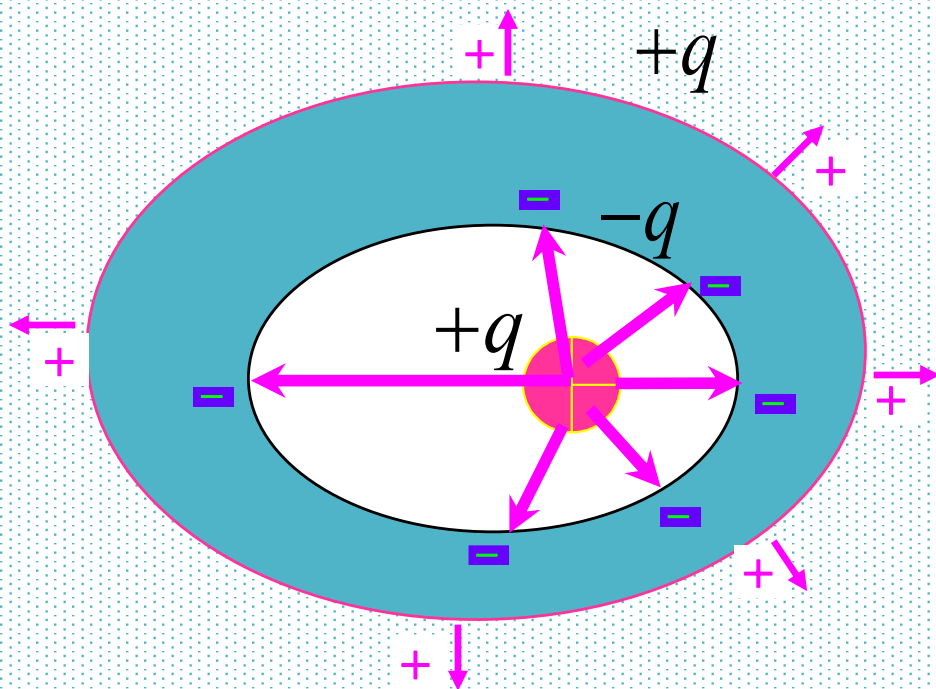


净效果：空腔外的电荷 q 在空腔内激发的电场与空腔外表面上的感应电荷产生的电场叠加后，使空腔和导体内的合场强为零。这种静电屏蔽也叫**外屏蔽**。

2、第二类导体空腔：腔内有带电体

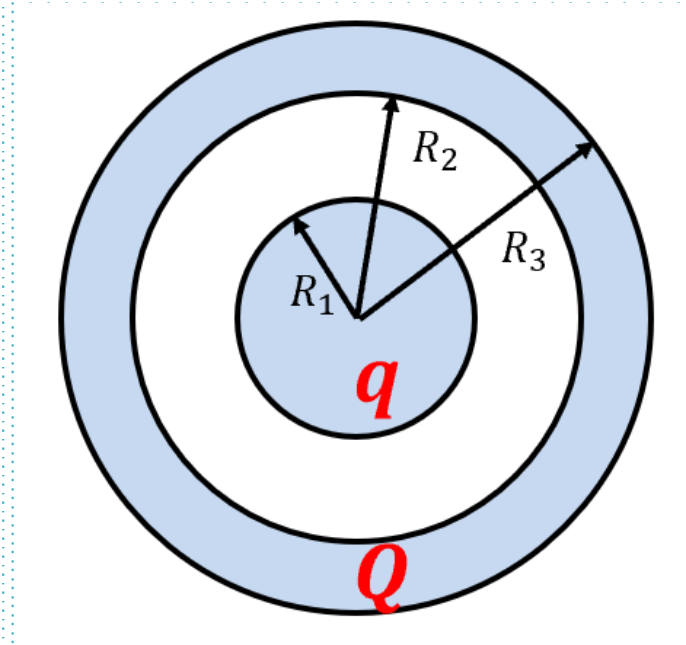
当达到静电平衡，**导体内**的场强为零，所以导体空腔**内表面**上的感应电荷为 $-q$ ，**外表面**上的感应电荷为 $+q$ 。

当导体空腔接地时，导体的电势为零。

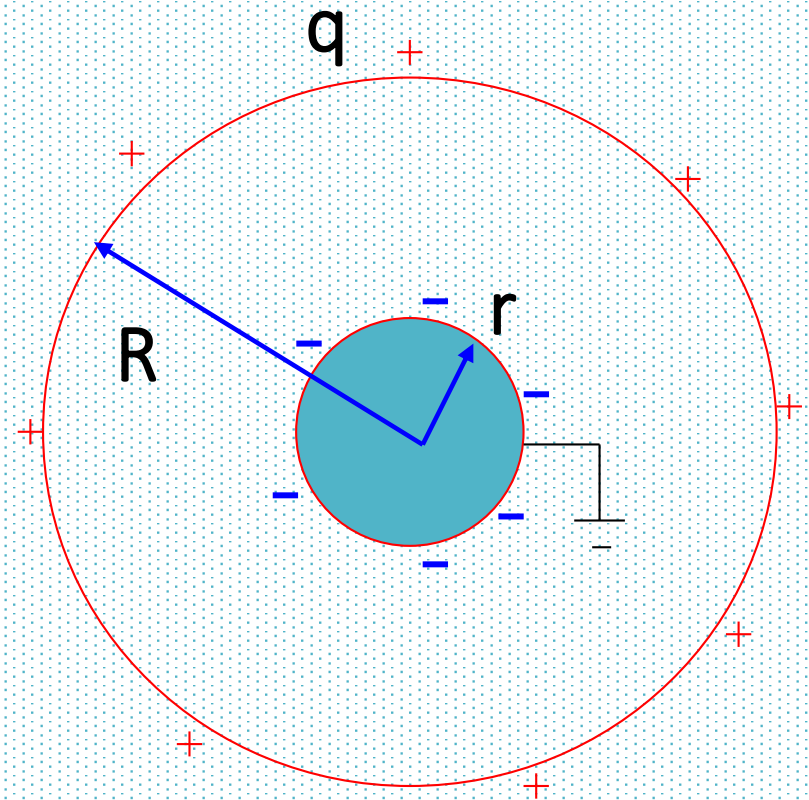


这种静电屏蔽也叫**内屏蔽**

[例题 2] 半径为 R_1 的导体球，带电为 q ，球外有一内、外半径分别为 R_2 和 R_3 的同心导体球壳，壳上带电 Q ，（1）求导体球、球壳的电势？（2）若用导线连接球和球壳，它们的电势为多少？（3）若外球接地，求它们的电势？



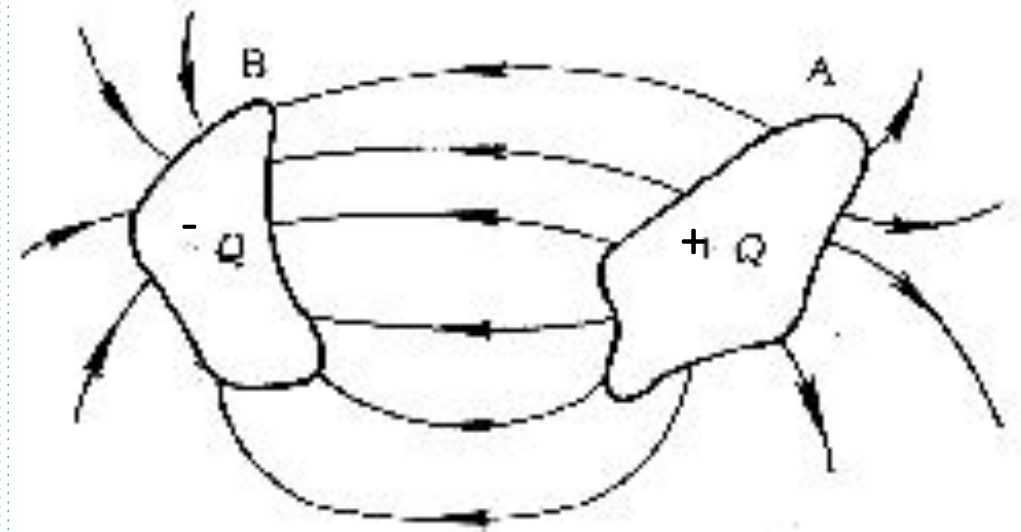
例题3、在一个半径为 R ，均匀带电 q 的球面内有一个半径为 r 的不带电的导体球，求导体球接地后其上的感应电荷大小。



§ 9—3 电容器

电容器**电容**的定义：

$$C = \frac{Q}{U}$$



升高**单位电压**所需的**电量**为该导体的电容。

性质： C 只与导体本身形状、大小、相对位置及导体周围电介质的性质有关，是导体本身的**固有属性**。而与其是否带电及带电 Q 多少无关。

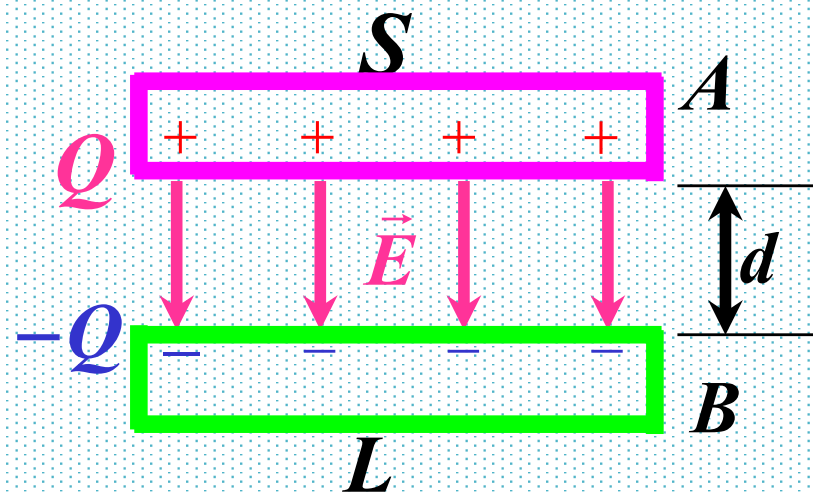
单位：法拉 $F = C/V$

常用单位：微法 $\mu F = 10^{-6} F$

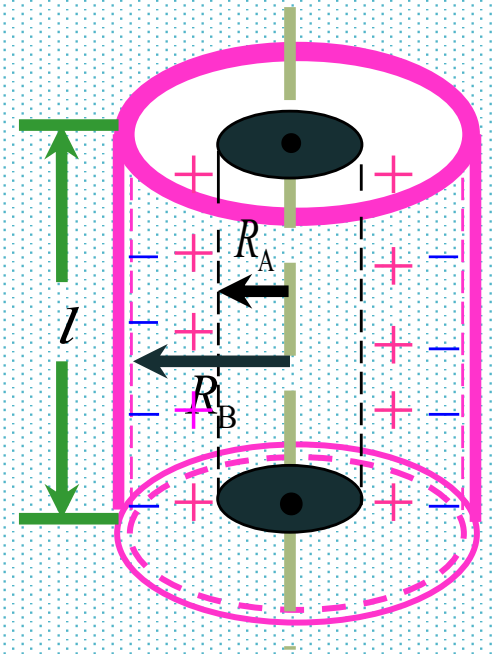
皮法 $pF = 10^{-12} F$

一 常见的电容器

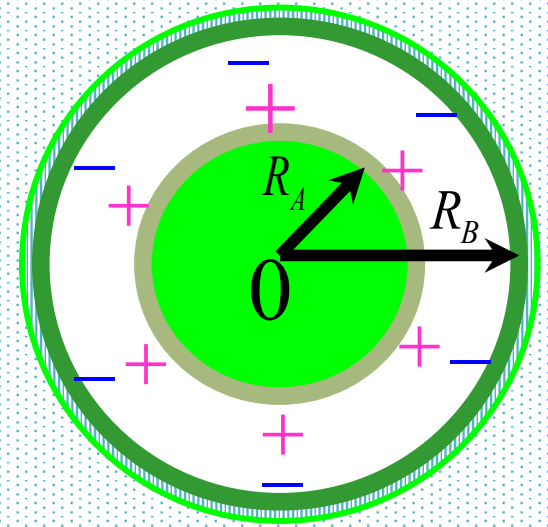
1 平板电容器(真空) ($L \gg d$) (可视为二无穷大平行板)



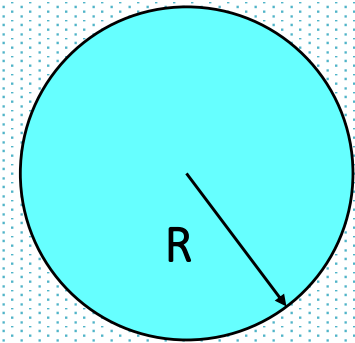
2 圆柱形电容器(真空)



3 球形电容器(真空)



例 空气击穿场强为 3kV/mm ，若要求一个导体球电势达到 30kV ，球半径至少为多大？



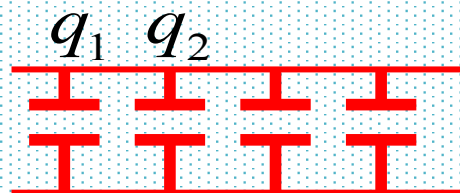
二 电容器的串并联

1 电容器的并联(扩容)

$$U = U_1 = U_2 = \dots$$

$$q = q_1 + q_2 + \dots$$

$$C = \frac{q}{U} = \frac{q_1}{U} + \frac{q_2}{U} + \dots = C_1 + C_2 + \dots$$



2 电容器的串联(耐压)

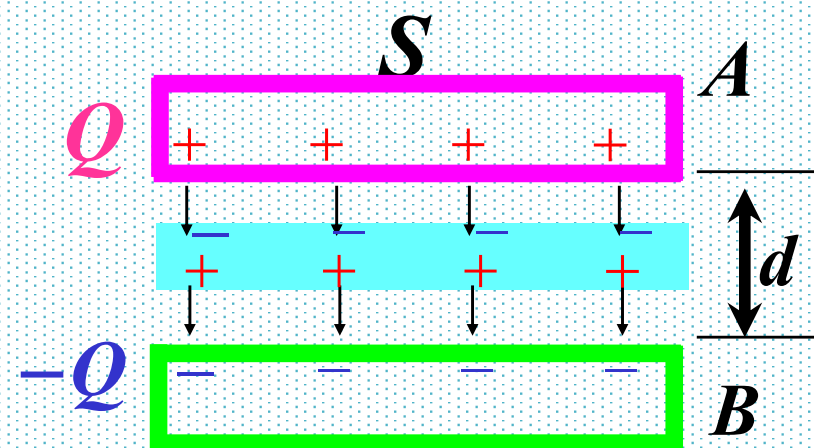
$$U = U_1 + U_2 + \dots$$

$$q = q_1 = q_2 = \dots$$

$$\frac{1}{C} = \frac{U}{q} = \frac{U_1}{q} + \frac{U_2}{q} + \dots = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$$



例1 一平板电容器面积为 S , 两板间距 d 在两板间加一块导体板, 面积也为 S , 厚度为 $d/2$, 且与两极板平行, 求此时电容器的电容。



§ 9—4 静电场的能量

将 dq 的电量被从负极搬运到正极做功 $dA = Udq$

整个过程做功

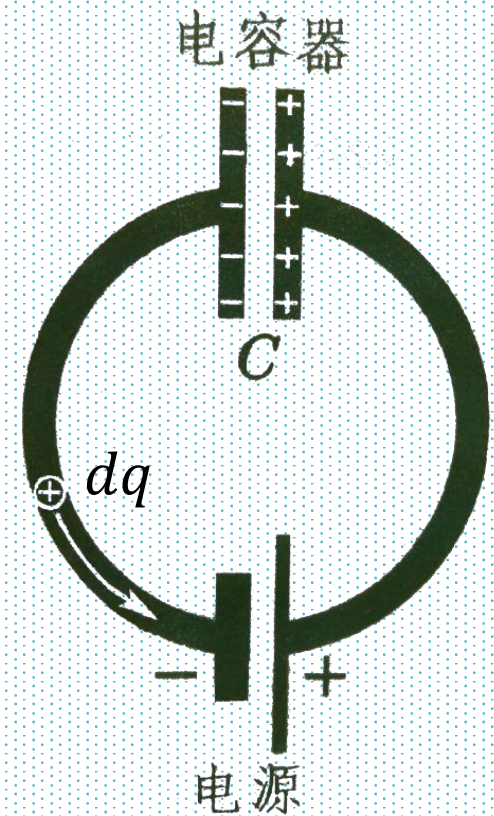
$$A = \int_0^Q dA = \int_0^Q U dq = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{Q^2}{2C}$$

平板电容器的电能:

$$W_e = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 \frac{S}{d} (Ed)^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 Sd = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 V$$

单位体积内的电场能量——**电场能量密度**:

$$\omega_e = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$$



体积V中的电场能量:

①匀强场 $W_e = \omega_e V$

②非匀强电场

$$W_e = \int_V \omega_e dV = \int_V \omega_e dV = \int_V \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 dV$$

例 两个电容器的电容均为 C ，分别用电压为 U 和 $2U$ 的电源充电后断开电源，再将两个电容器并联，在并联过程中系统的能量变化了多少？