静电场中的导体和电介质

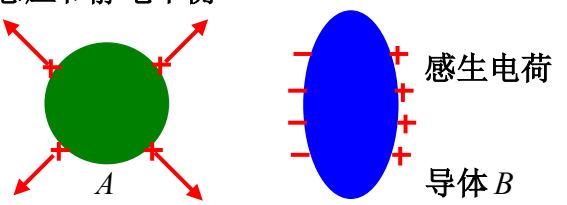
第 1 节　静电场中的导体

一、导体的静电平衡条件

1、导体的结构

金属导体=金属正离子+自由电子，自由电荷

2、静电感应和静电平衡



静电平衡状态

3、导体的静电平衡条件

$\vec{E}=\vec{E}_A+\vec{E}_B$，　$\vec{E}_{B内}=\vec{E}_A+\vec{E}_B$

B 内任一自由电子，$\vec{F}=e\vec{E}_{B内}=0$

$\boxed{\vec{E}_{B内}=0}$

导体内部不能有电力线存在

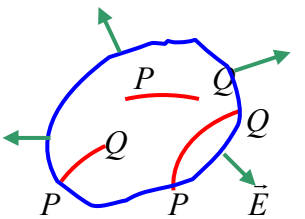
推论：（1）导体是一个等势体，导体表面是一个等势面

（2）$\vec{E}_{表面}\perp$导体表面

证明：（1）U_P-U_Q

$=\int_P^Q \vec{E}\cdot d\vec{l}=0$，

$U_P=U_Q$



（2）电力线与等势面处处正交

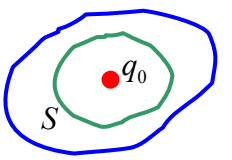
二、导体上的电荷分布

1、导体内无净电荷，电荷只分布在导体表面上

证明：反证法，设导体内有

一未被抵消的净电荷 q_0

$\oint_S \vec{E}\cdot d\vec{S}=q_0/\varepsilon_0\neq 0$



$\Rightarrow S$ 上 $\vec{E}$ 不能处处为零，与静电平衡条件矛盾

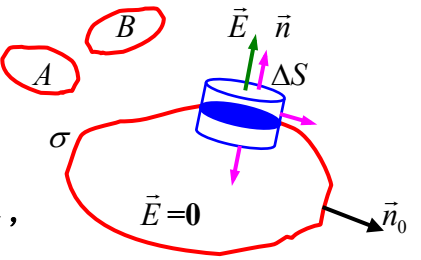
2、导体表面附近的 $\vec{E}$

$\oint_S \vec{E}\cdot d\vec{S}=\oint_S E\cos\theta dS$，

$=\int_{侧} E\cos\theta dS+\int_{上} E\cos\theta dS$，

$+\int_{下} E\cos\theta dS=E\Delta S=\dfrac{\sigma\Delta S}{\varepsilon_0}$，

$\boxed{E=\dfrac{\sigma}{\varepsilon_0}，\quad \vec{E}=\dfrac{\sigma}{\varepsilon_0}\vec{n}_0}$



导体

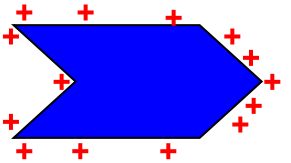
（1）只适用于导体表面附近

（2）$E \propto \sigma$

（3）$\vec{E}$ 是所有电荷产生的

3、表面曲率对电荷分布的影响　尖端放电

孤立导体



表面曲率大（凸而尖），σ 大

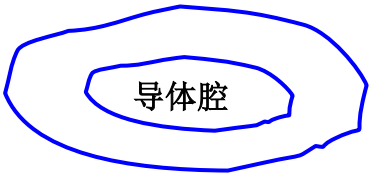
表面曲率小（平坦），　σ 小

凹的地方，　　σ 更小

尖端处，σ 较大，E 较大

$E >$ 空气击穿场强，尖端放电

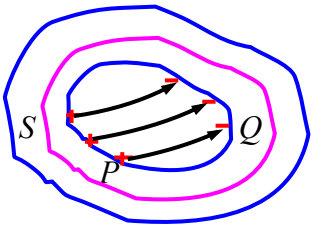
三、导体壳（腔内无带电体）



（1）内表面上无净电荷，电荷只分布在外表面上

（2）腔内无电场，腔内处处等电势且等于导体壳的电势

证明：（1）



$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0$，$\Rightarrow \sum_{内} q_i = 0$

内表面上电荷代数和为零

（i）内表面不带电，原命题得证

（ii）内表面带等量异号电荷╳

反证法：

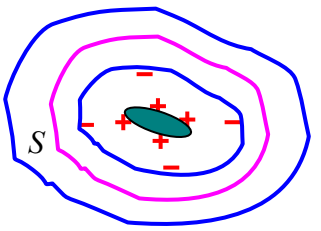
$U_P - U_Q = \int_P^Q \vec{E} \cdot d\vec{l} > 0$，$U_P > U_Q$，矛盾

（2）腔内 $\vec{E}$ 处处为零

腔内处处等电势且等于导体壳的电势

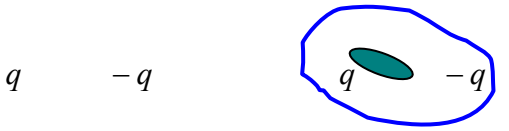
四、导体壳（腔内有带电体）

1、导体壳内表面上电荷与腔内带电体上电荷代数和为零

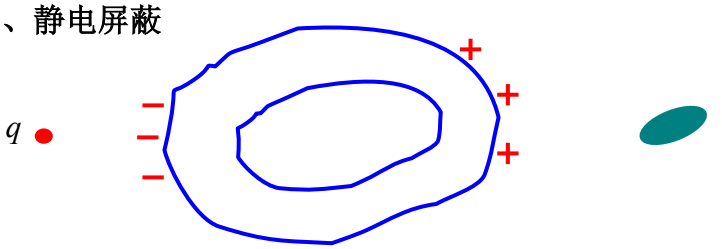


证明：$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0$

$\Rightarrow \sum_{内} q_i = 0$



2、静电屏蔽

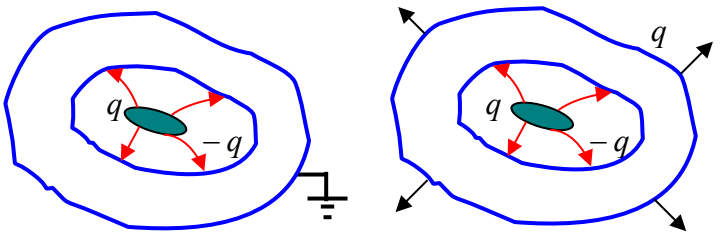


（1）q 在导体内及空腔内是否产生电场？

（2）为什么说导体及空腔内无电场？

结论：导体外表面就好象是一个保护层

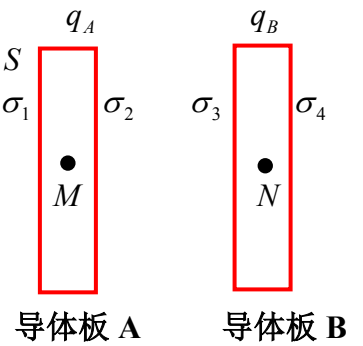
使其内部不受外电场影响：静电屏蔽



例：

求：电荷分布及电场分布

B 接地？



解：$(\sigma_1+\sigma_2)S=q_A$ （1）

$(\sigma_3+\sigma_4)S=q_B$ （2）

$$E_M=\frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0}-\frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0}-\frac{\sigma_3}{2\varepsilon_0}-\frac{\sigma_4}{2\varepsilon_0}=0 \quad (3)$$

$$E_N=\frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0}+\frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0}+\frac{\sigma_3}{2\varepsilon_0}-\frac{\sigma_4}{2\varepsilon_0}=0 \quad (4)$$

$$\sigma_1-\sigma_2-\sigma_3-\sigma_4=0$$

$$\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3-\sigma_4=0$$

$$\sigma_1=\sigma_4$$

$$\sigma_2=-\sigma_3$$

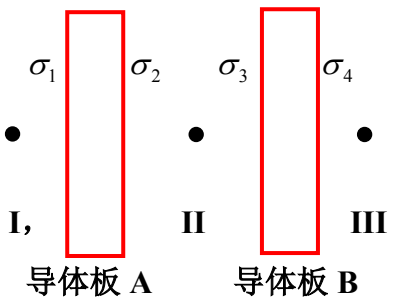
$$\sigma_1+\sigma_2=q_A/S$$

$$\sigma_1-\sigma_2=q_B/S$$

$$\sigma_1=(q_A+q_B)/(2S)=\sigma_4$$

$$\sigma_2=(q_A-q_B)/(2S)=-\sigma_3$$

q_A q_B



$$E_I=-\frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0}-\frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0}-\frac{\sigma_3}{2\varepsilon_0}-\frac{\sigma_4}{2\varepsilon_0}=-\frac{\sigma_1}{\varepsilon_0}=-\frac{q_A+q_B}{2\varepsilon_0 S}$$

$$E_{II}=\frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0}+\frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0}-\frac{\sigma_3}{2\varepsilon_0}-\frac{\sigma_4}{2\varepsilon_0}=\frac{\sigma_2}{\varepsilon_0}=\frac{q_A-q_B}{2\varepsilon_0 S}$$

$$E_{III}=\frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0}+\frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0}+\frac{\sigma_3}{2\varepsilon_0}+\frac{\sigma_4}{2\varepsilon_0}=\frac{\sigma_4}{\varepsilon_0}=\frac{q_A+q_B}{2\varepsilon_0 S}$$

$$E=\frac{\sigma}{\varepsilon_0}，\quad E_I=\frac{\sigma_1}{\varepsilon_0}，\quad E_{II}=\frac{\sigma_2}{\varepsilon_0}，\quad E_{III}=\frac{\sigma_4}{\varepsilon_0}$$

讨论：$q_B=-q_A$，

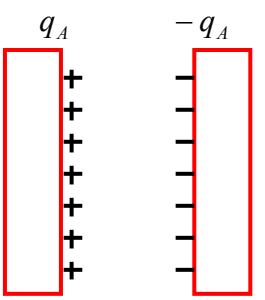
$\sigma_1=\sigma_4=0$

$\sigma_2=q_A/S=-\sigma_3$

$E_I=0$

$E_{II}=\dfrac{\sigma_2}{\varepsilon_0}=\dfrac{q_A}{\varepsilon_0 S}$

$E_{III}=0$



B 接地，$\sigma_4=0$

$(\sigma_1+\sigma_2)S=q_A$ （1）

$E_M=\dfrac{\sigma_1}{2\varepsilon_0}-\dfrac{\sigma_2}{2\varepsilon_0}-\dfrac{\sigma_3}{2\varepsilon_0}=0$ （2）

$E_N=\dfrac{\sigma_1}{2\varepsilon_0}+\dfrac{\sigma_2}{2\varepsilon_0}+\dfrac{\sigma_3}{2\varepsilon_0}=0$ （3）

$\sigma_1-\sigma_2-\sigma_3=0$

$\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3=0$

$\sigma_1=0$

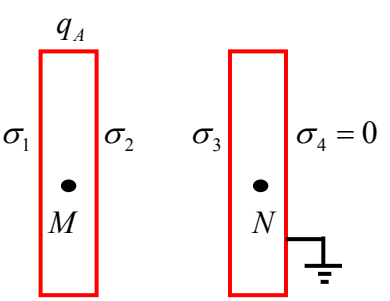
$\sigma_2=-\sigma_3$

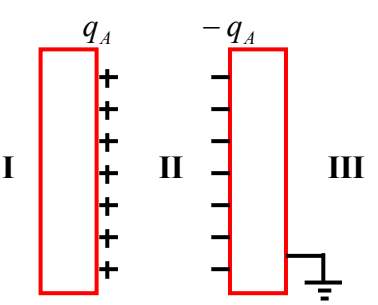
$\sigma_2=q_A/S=-\sigma_3$

$E_I=0$

$E_{II}=\dfrac{\sigma_2}{\varepsilon_0}=\dfrac{q_A}{\varepsilon_0 S}$

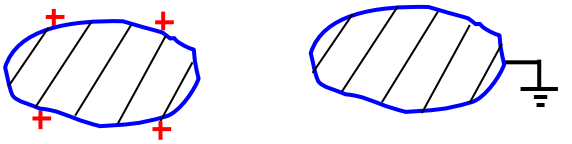
$E_{III}=0$





五、导体接地

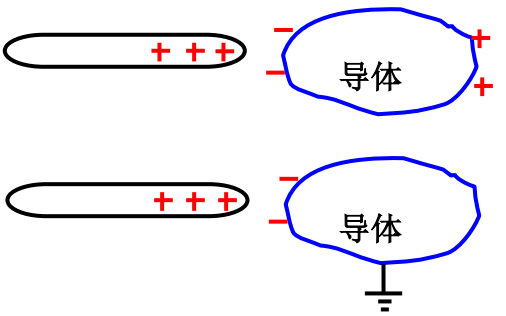
1、孤立导体接地，失去全部电荷



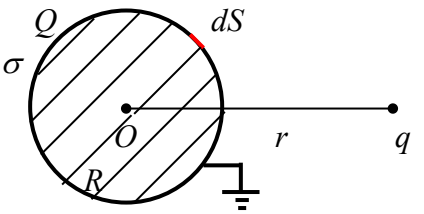
2、非孤立导体接地，导体可能带电，可能不带电

可能带正电，可能带负电

例：



例：接地导体球旁，放一点电荷 q，计算导体球上的感生电量 Q



解：$dQ=\sigma dS$，$Q=\int\sigma dS$

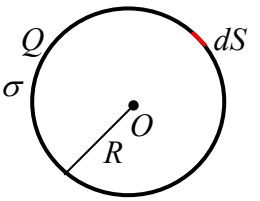
$$U_O=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}+\int\frac{\sigma dS}{4\pi\varepsilon_0 R}=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}+\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R}=0,\quad Q=-\frac{R}{r}q$$

讨论：

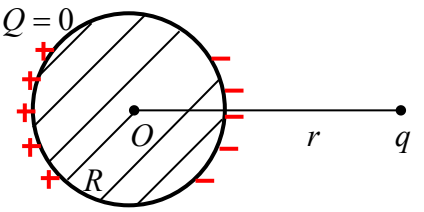
（1）非均匀带电球面

$U_O=?$

$$U_O=\int\frac{\sigma dS}{4\pi\varepsilon_0 R}=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R}。$$



（2）导体球不接地，近旁放一点电荷 q，计算导体球的电势



$$U_O=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}+\int\frac{\sigma dS}{4\pi\varepsilon_0 R}=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}+\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R}=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

例：导体球 A，导体球壳 B