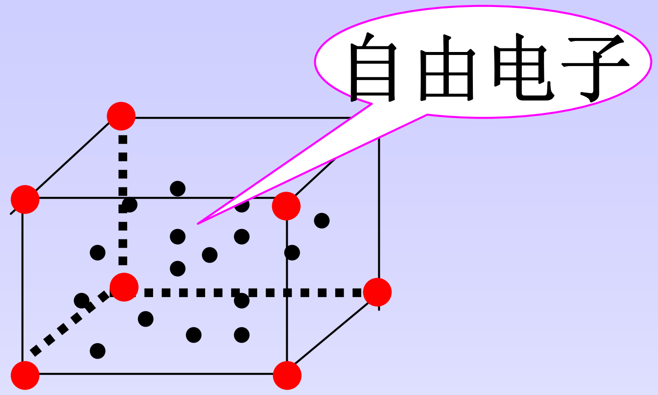
静电场中的导体和电介质

10-1 静电场中的导体

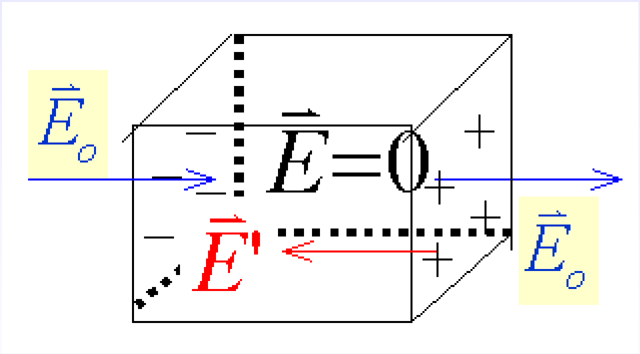
本章只限于讨论各向同性均匀金属导体，与电场的相互影响。



当无外电场或导体不带电，整个导体或导体上的任一部分都呈电中性。

当有外电场，在场与导体的相互作用的过程中，自由电子将重新分布。

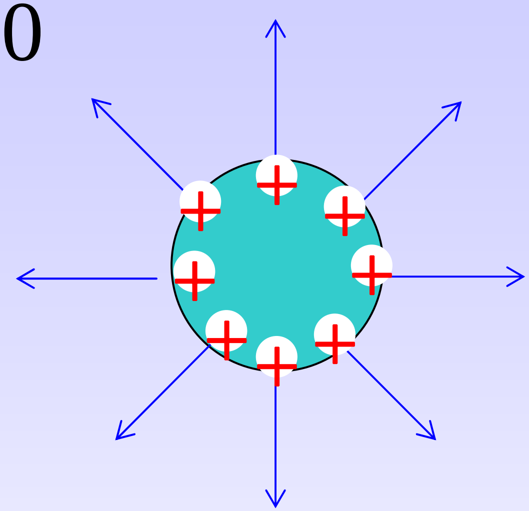
$$E_0 = E'_{inside} \qquad \vec{E}_{inside} = 0$$



这时，导体内部和表面都无电荷定向移动，这一状态称为导体的静电平衡状态。

一、静电平衡下的导体的性质

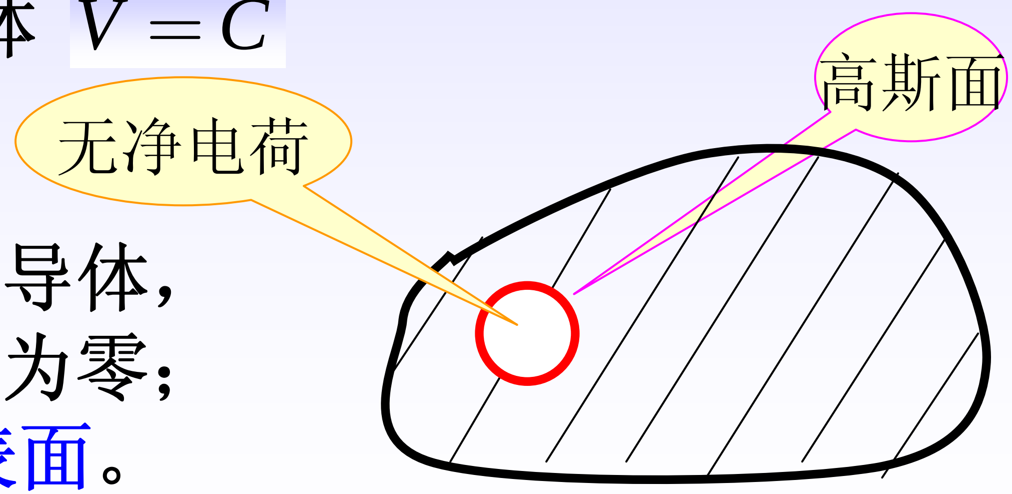
1 导体内部场强处处为零 $\vec{E}_{inside}=0$



导体表面邻近处的场强必定和导体表面垂直。

$$\vec{E}_{surface}\perp surface$$

导体是一个等势体 $V=C$

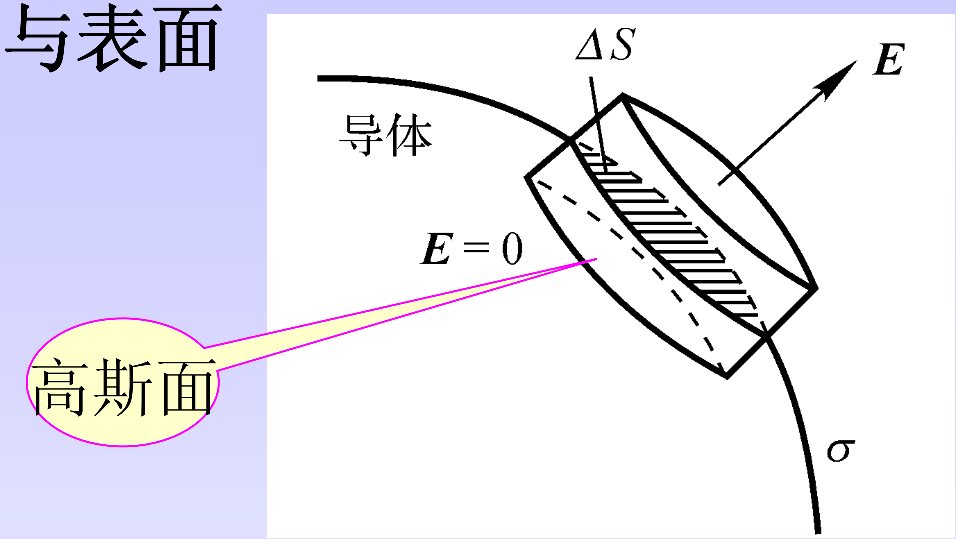


2 处于静电平衡下的导体，其内部各处净电荷为零；电荷只能分布在表面。

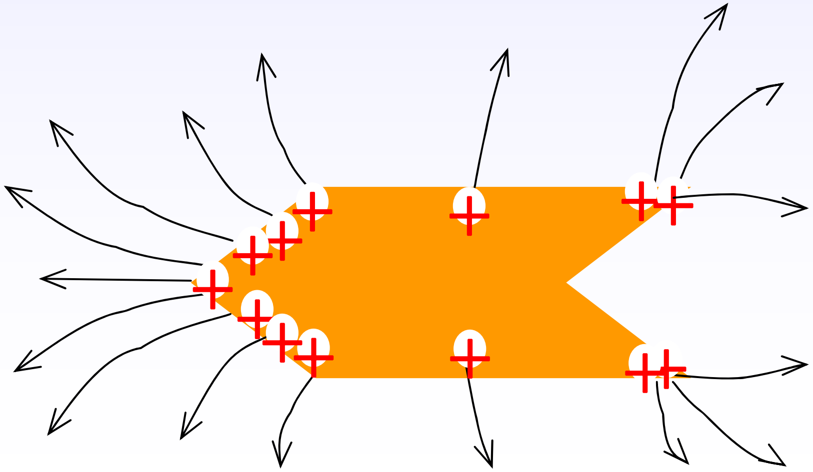
3 导体表面邻近处的场强与表面电荷面密度成正比。

$$\because E\Delta S = \sigma \Delta S / \varepsilon_0$$

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



4 孤立导体处于静电平衡时，它的表面各处的面电荷密度与各处表面的曲率有关，曲率越大的地方，面电荷密度越大。



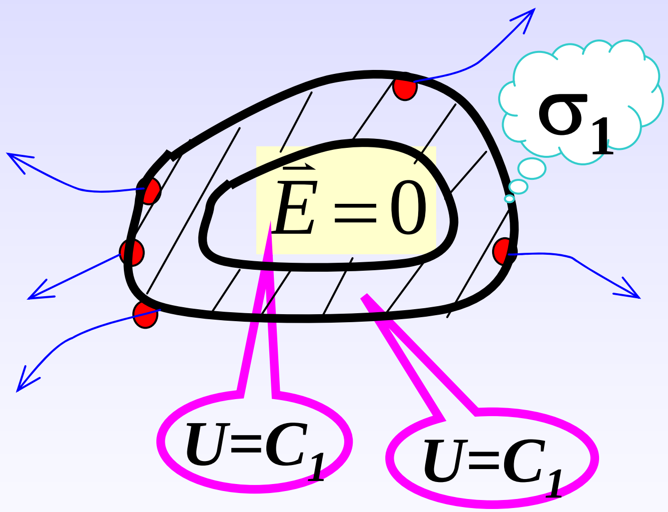
尖端放电(*point charge*)就与面电荷密度、场强有关。

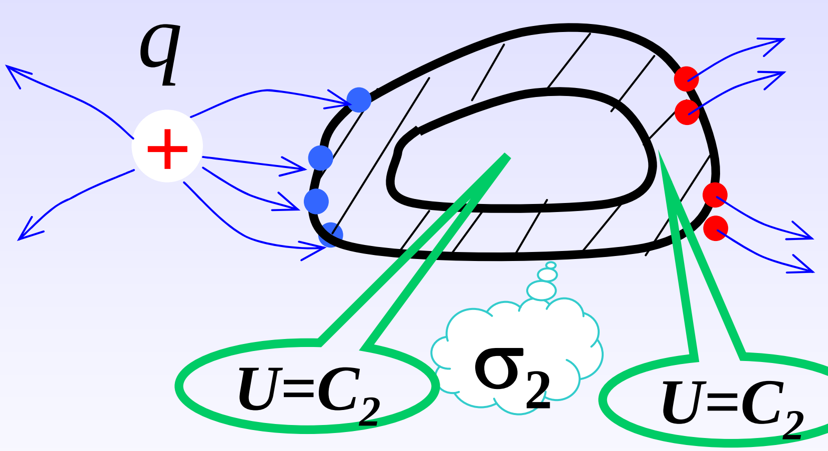
二、静电平衡下空腔导体的性质

1 第一类空腔（内部无带电体）

(1)空腔内表面不带任何电荷，电荷只能分布在空腔外表面。

(2)空腔内部及导体内部电场强度处处为零，即它们是等电势。

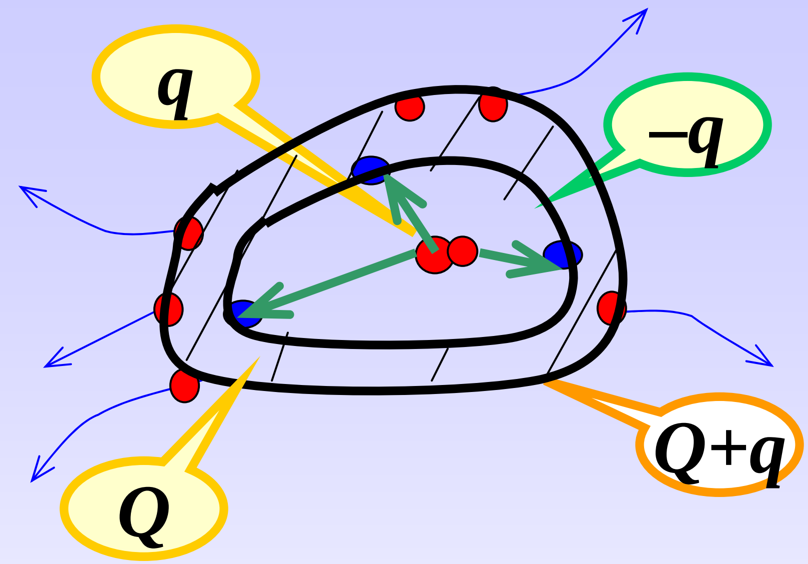




空腔导体可以屏蔽外电场，使腔内电场不受腔外电场的影响。

2第二类空腔（内部有带电体）

(1)空腔内表面有感应电荷。用高斯定律可证，内表面所带总电量与空腔内带电体的电量相等、符号相反。

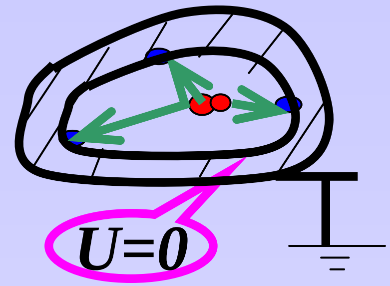


(2)空腔外表面上的感应电荷可用电荷守恒定律进行计算。

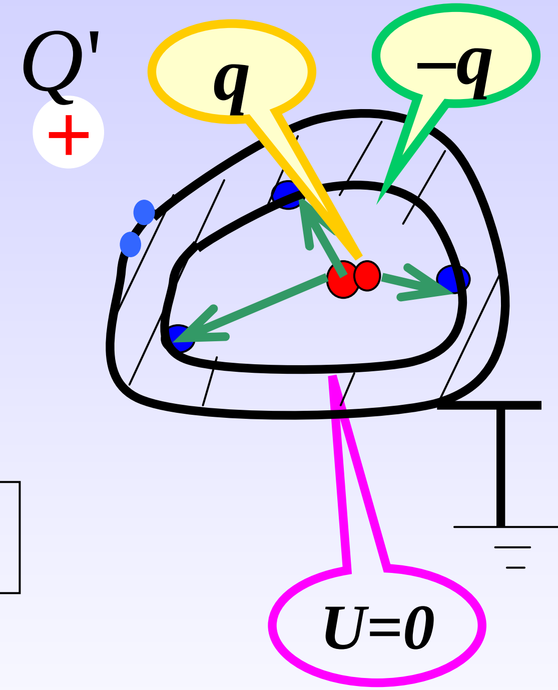
(3)空腔外表面上的电荷分布与腔内带电体的位置无关，只取决于导体外表面的形状。

(4)导体内部场强等于零；腔内场的分布决定于腔内带电体及腔内表面形状；腔外场的分布决定于腔外表面电荷的分布及腔外导体。

若第二类空腔导体接地时，并且腔外没有带电体时，外表面上的感应电荷被大地电荷中和，所以不带电荷。



若第二类空腔导体接地，并且腔外有带电体时，外表面上的感应电荷被大地电荷部分中和，所带电荷的多少必须保证腔腔外表面以及腔外电荷在导体内产生的场强为零。

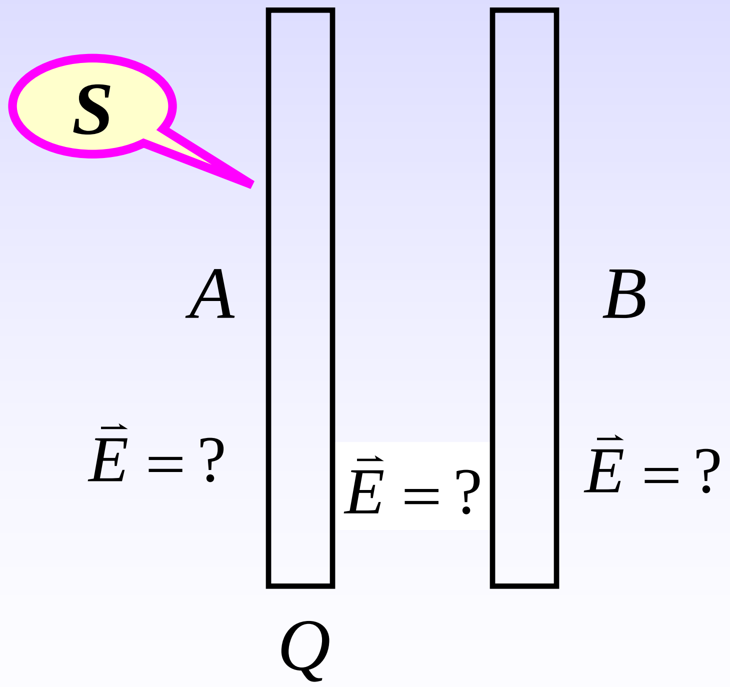


接地空腔导体，内部场将不影响外部场

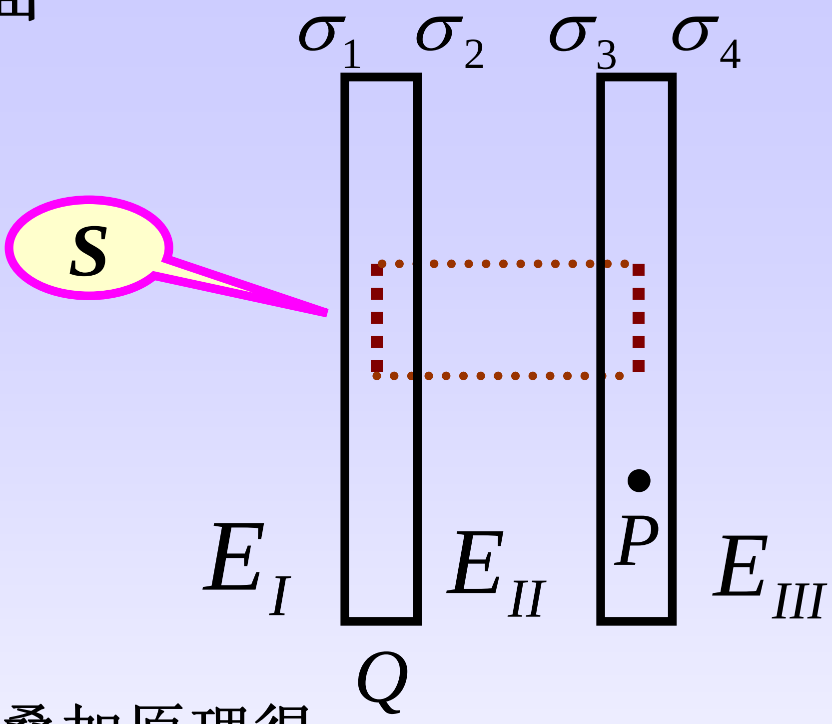
根据上面分析可知：任何空腔导体内的电场不受外电场的影响；接地后的空腔导体，腔内电场也不影响腔外。

静电屏蔽

[例题1] 面积为 S，带电量 Q 的一个无限大金属板，与另一不带电的金属平板平行放置。求静电平衡时，板上电荷分布及周围电场分布；若第二板接地，情况又怎样？



设静电平衡后，金属板各面所带电荷面密度如图所示



由电荷守恒：

$$(\sigma_1+\sigma_2)S=Q$$

$$\sigma_3+\sigma_4=0$$

做如图所示高斯面可得：

$$\sigma_2+\sigma_3=0$$

金属板内任一点的场强为零，由叠加原理得：

$$\frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0}+\frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0}+\frac{\sigma_3}{2\varepsilon_0}-\frac{\sigma_4}{2\varepsilon_0}=0$$

以上四个方程联立可求出：

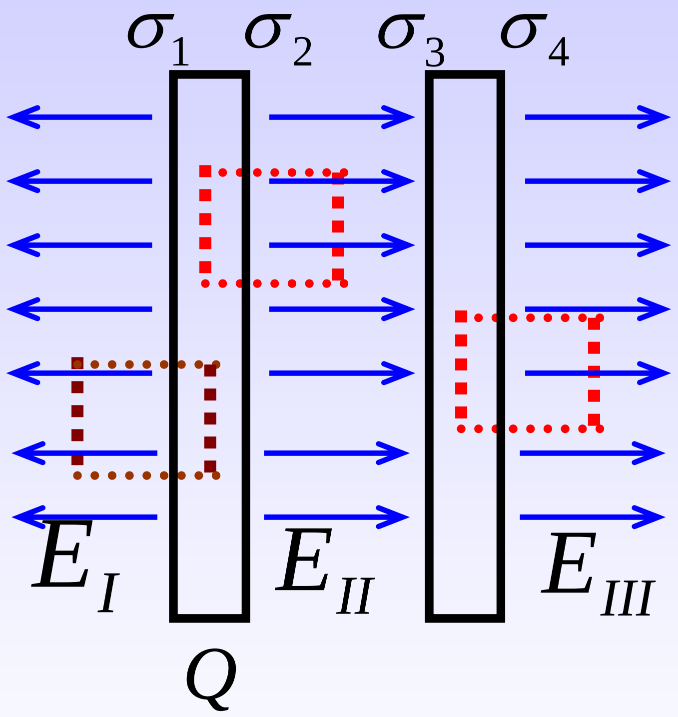
$$\sigma_1=\frac{Q}{2S}\qquad \sigma_2=\frac{Q}{2S}\qquad \sigma_3=-\frac{Q}{2S}\qquad \sigma_4=\frac{Q}{2S}$$

运用高斯定理可得各区间的场强：　　设 $Q>0$

$$E_I=\frac{Q}{2\varepsilon_o S}$$ 方向向左

$$E_{II}=\frac{Q}{2\varepsilon_o S}$$ 方向向右

$$E_{III}=\frac{Q}{2\varepsilon_o S}$$ 方向向右



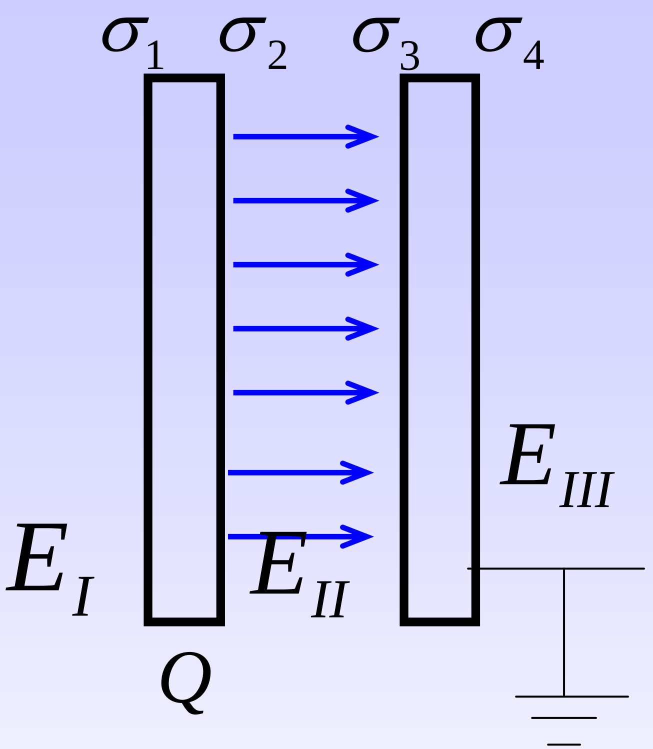
因接地 $\sigma_4 = 0$

电荷守恒 $(\sigma_1 + \sigma_2)S = Q$

由高斯定理得: $\sigma_2 + \sigma_3 = 0$

金属板内场强为零得:

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



联立解出:

$\sigma_4 = 0$ $\sigma_1 = 0$

$\sigma_2 = \dfrac{Q}{S}$ $\sigma_3 = -\dfrac{Q}{S}$

$E_I = 0$ $E_{III} = 0$

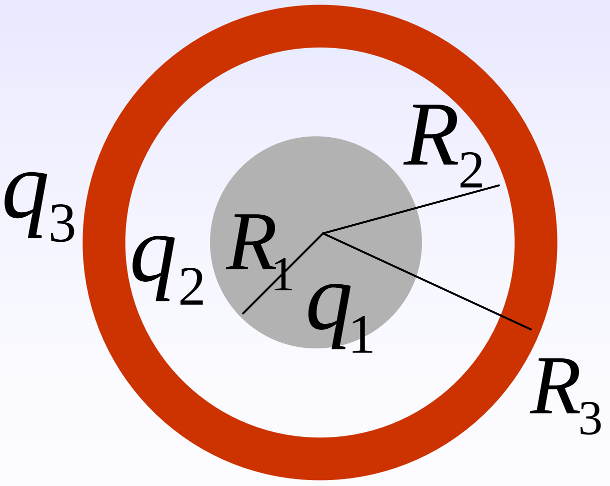
$E_{II} = \dfrac{Q}{\varepsilon_o S}$ 方向向右

[例题2] 一个带电金属球半径R_1，带电量q_1，放在另一个带电球壳内，其内外半径分别为R_2、R_3，球壳带电量为 q。（1）试求此系统的电荷、电场分布以及球与球壳的电势。（2）如果用导线将球壳和球接一下又将如何？

解1）设球壳内外表面电量分别为q_2 和q_3

由空腔导体的性质： $q_2 = -q_1$

由电荷守恒： $q_3 = q + q_1$



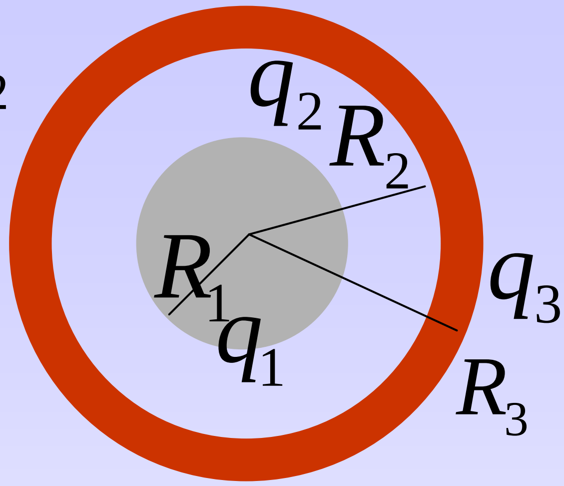
由导体静电平衡性质：

$E = 0 \quad R_2 < r < R_3 \quad r < R_1$

再由高斯定律：

$$E=\frac{q_1}{4\pi\varepsilon_o r^2} \qquad R_1<r<R_2$$

$$E=\frac{q_1+q}{4\pi\varepsilon_o r^2} \qquad r>R_3$$



金属球**A**与金属壳**B**的电势：

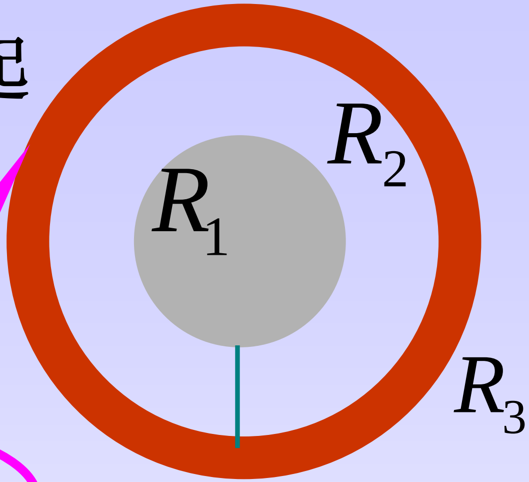
$$U_A=\int_{R_1}^{\infty}\vec{E}\cdot d\vec{l}=\int_{R_1}^{R_2}\frac{q_1}{4\pi\varepsilon_o r^2}dr+\int_{R_3}^{\infty}\frac{q_1+q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}dr$$

$$=\frac{q_1}{4\pi\varepsilon_o}\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)+\frac{q_1+q}{4\pi\varepsilon_0 R_3}$$

球面电势迭加

$$U_B=\int_{R_3}^{\infty}\vec{E}\cdot d\vec{l}=\int_{R_3}^{\infty}\frac{q_1+q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}dr=\frac{q_1+q}{4\pi\varepsilon_0 R_3}$$

（2）如果用导线将球和球壳接在一起



则金属球壳**B**的内表面和金属球**A**球表面的电荷会完全中和

$$q_1 = 0, \quad q_2 = 0,$$

$$q_3 = q + q_1$$

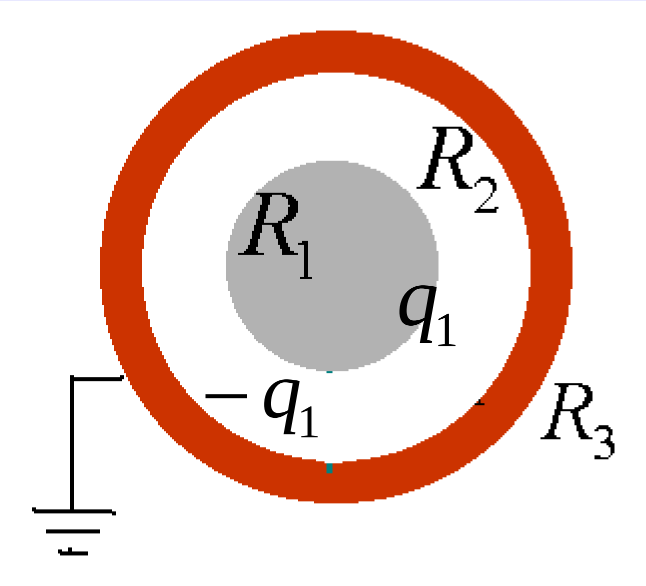
球壳外表面仍保持有 $q_1 + q$ 的电量，而且均匀分布。

$$E = 0 \quad r < R_3 \qquad E = \frac{q_1 + q}{4\pi\varepsilon_o r^2} \qquad r > R_3$$

$$U_A = U_B = \int_{R_3}^{\infty} \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_{R_3}^{\infty} \frac{q_1 + q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} dr = \frac{q_1 + q}{4\pi\varepsilon_0 R_3}$$

（3）如果外球接地，结果又将如何？

则球壳内表面电量为-q_1, 外表面电量为零。



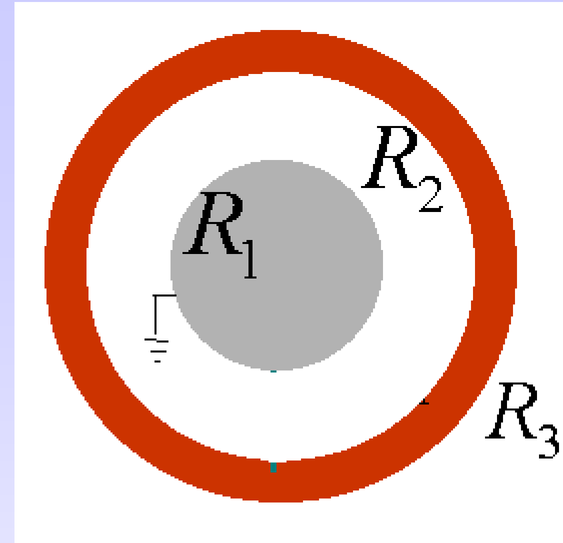
$$E = 0 \quad r < R_1 \qquad r > R_2$$

$$E = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_o r^2} \qquad R_1 < r < R_2$$

$$U_B = 0$$

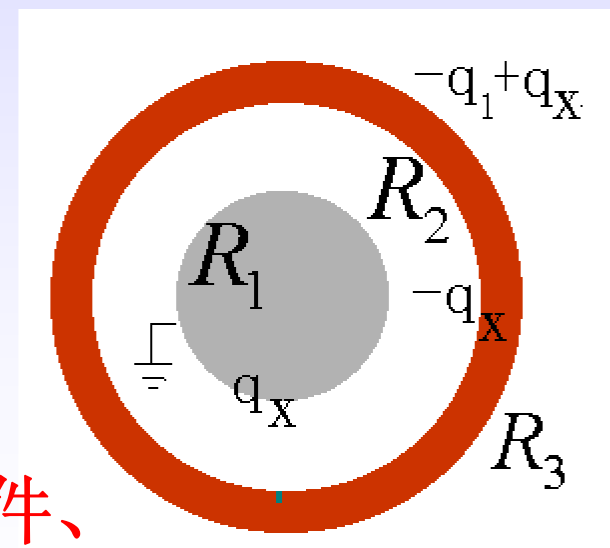
$$U_A = \int_{R_1}^{\infty} \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_{R_1}^{R_2} \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_o r^2} dr = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_o}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

（4）如果外球接地后再拆除，又将内球接地，内球带电多少？



设内球带电为q_x，则球壳内表面的电量为$-q_x$,球壳外表面的电量为$-q_1+q_x$。

$$U_A=\frac{q_x}{4\pi\varepsilon_0 R_1}+\frac{-q_x}{4\pi\varepsilon_0 R_2}+\frac{-q_1+q_x}{4\pi\varepsilon_0 R_3}=0$$



$$q_x=\frac{R_1R_2}{R_2R_3+R_1R_2-R_1R_3}\cdot q_1$$

利用高斯定律、电荷守恒、静电平衡条件、带电体相接后等电势的概念。

作业

10-1

10-4

10-6

10-11