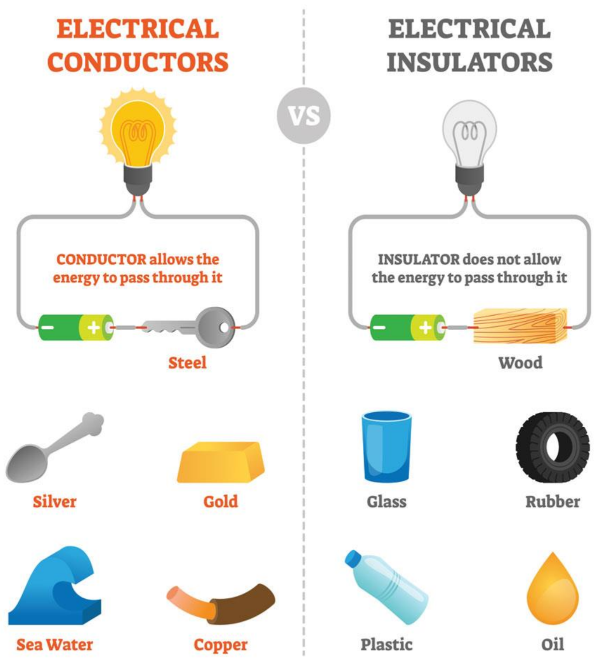
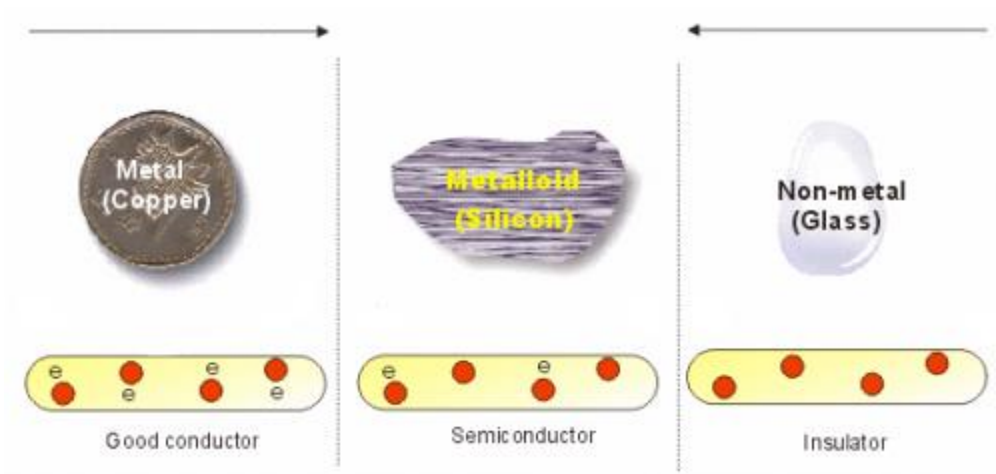
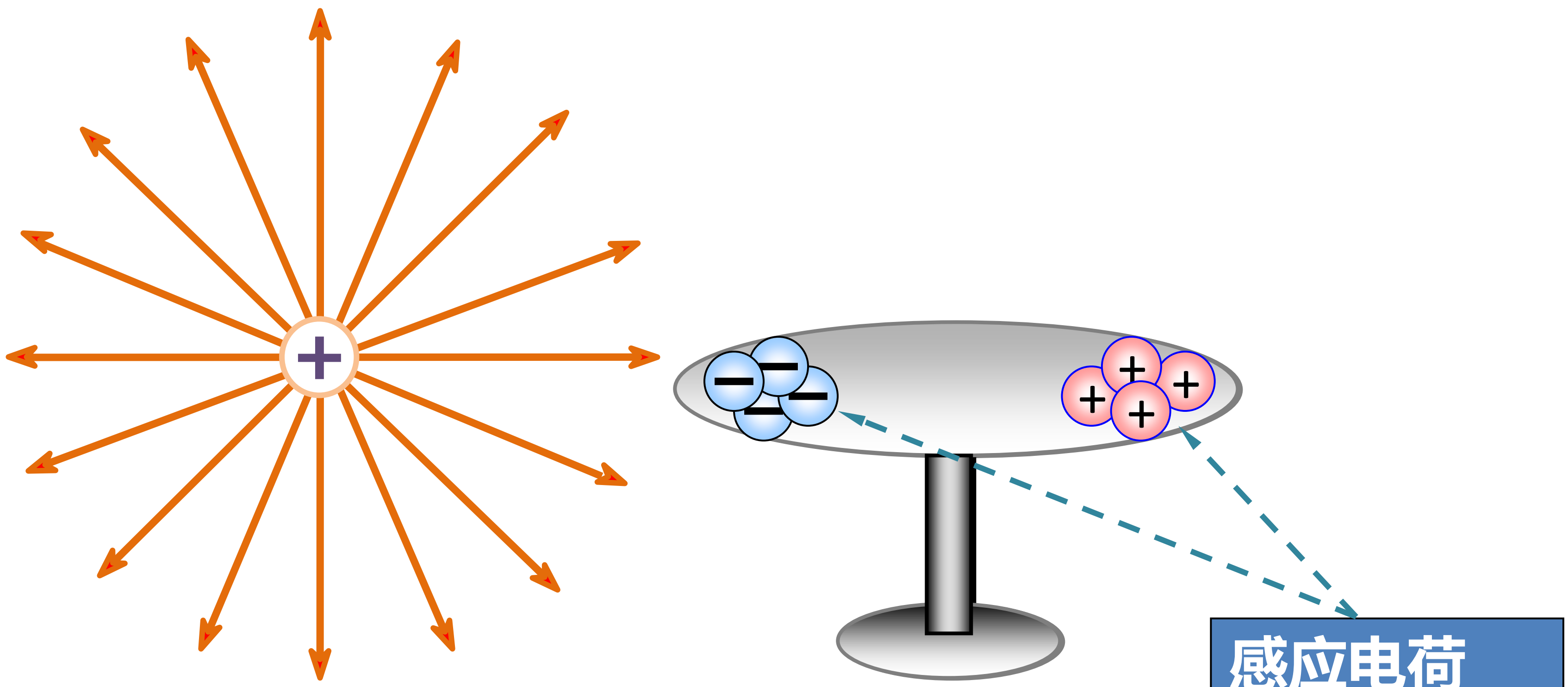
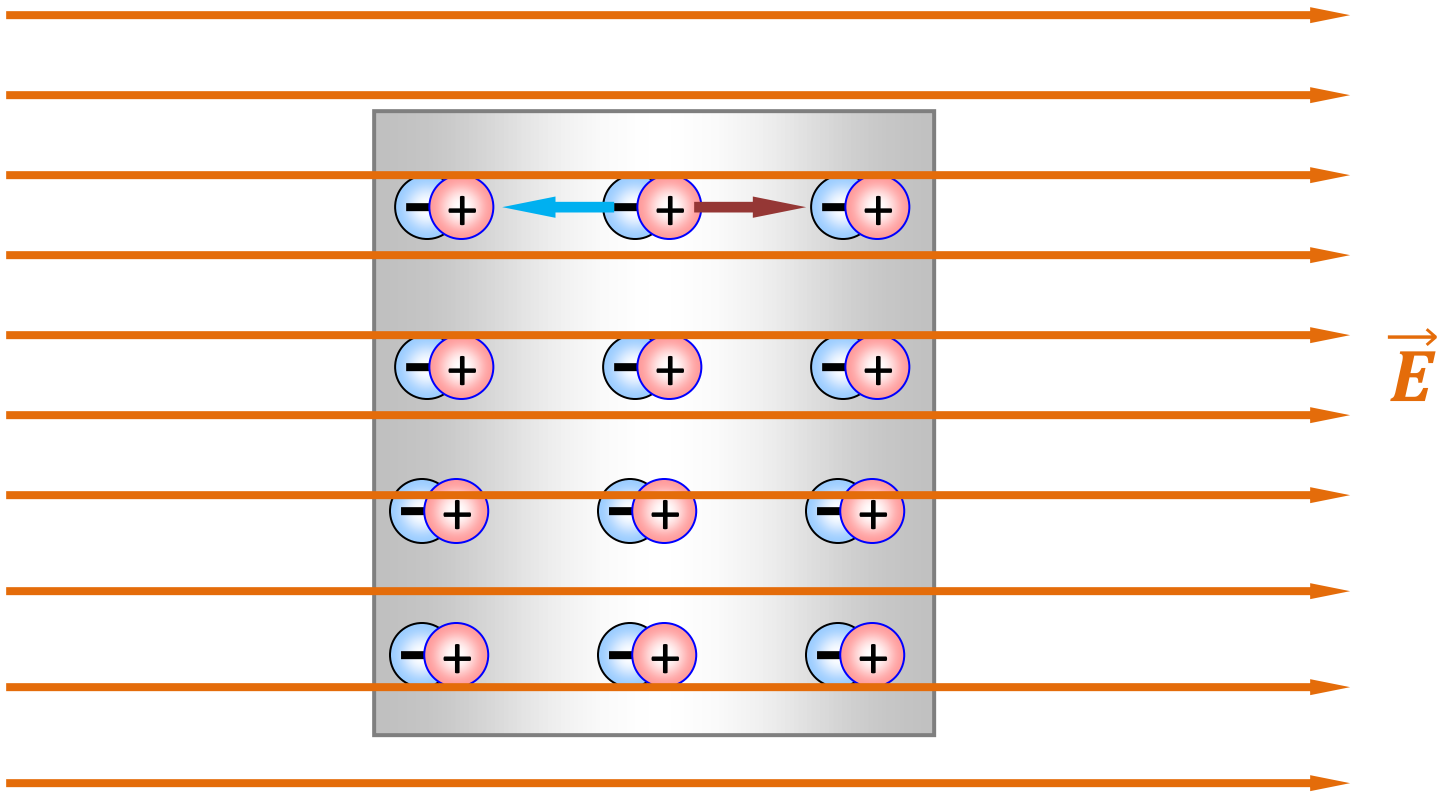
- 库仑定律
- 电场强度
- 高斯定理
- 环路定理、电势
- 电场强度与电势的关系
- 静电平衡、有导体存在时的电场和电势

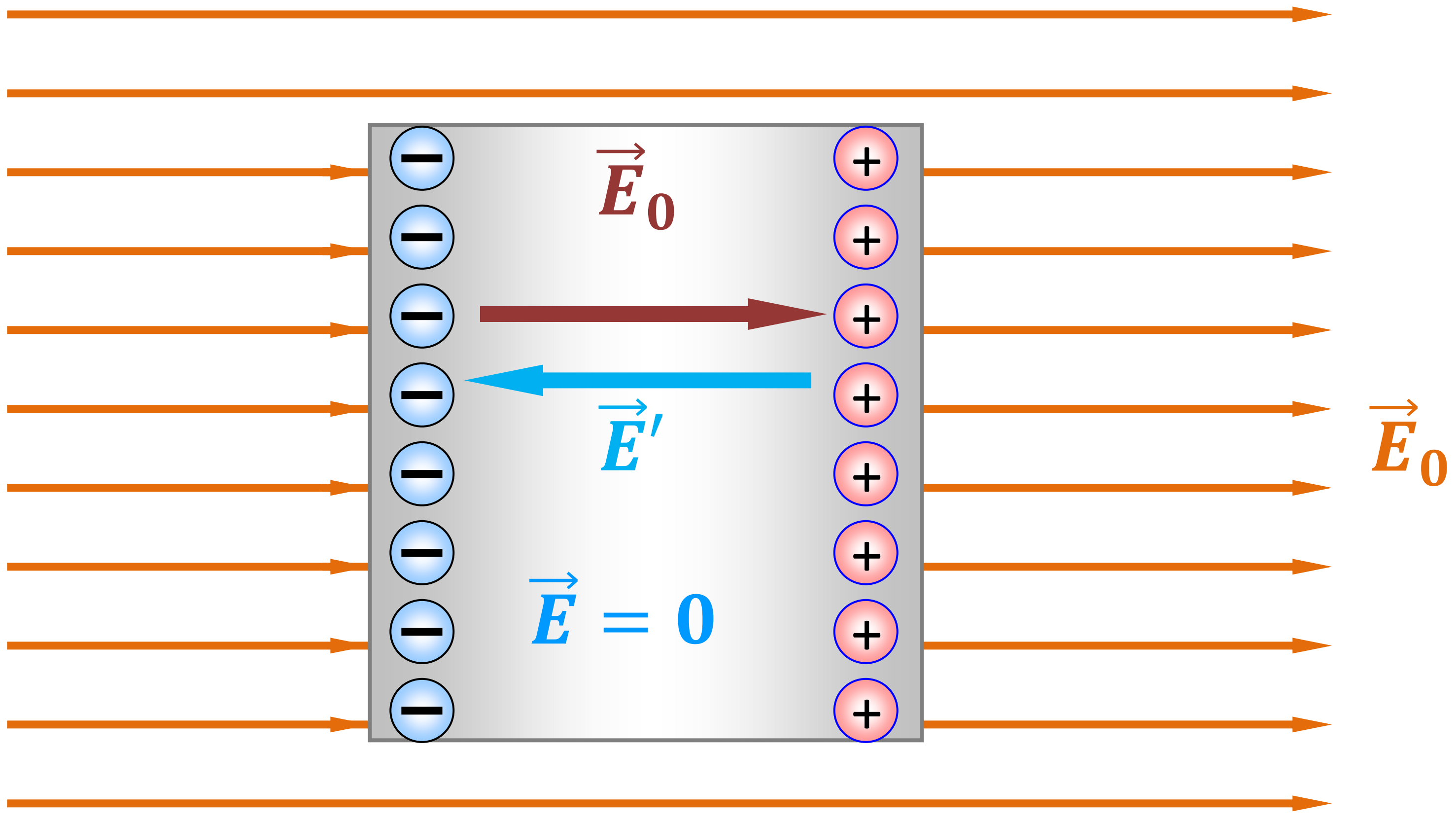
- 导体（conductor）： 存在大量可自由移动的电荷；
- 绝缘体（dielectric）：理论上认为一个自由移动的电荷也没有， 也称为电介质；
- 半导体（semiconductor）：介于上述两者之间。






感应电荷


$\vec{E}$



$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}' = 0$$

导体内电场强度　　**外电场强度**　　**感应电荷电场强度**

静电感应（electrostatic induction）

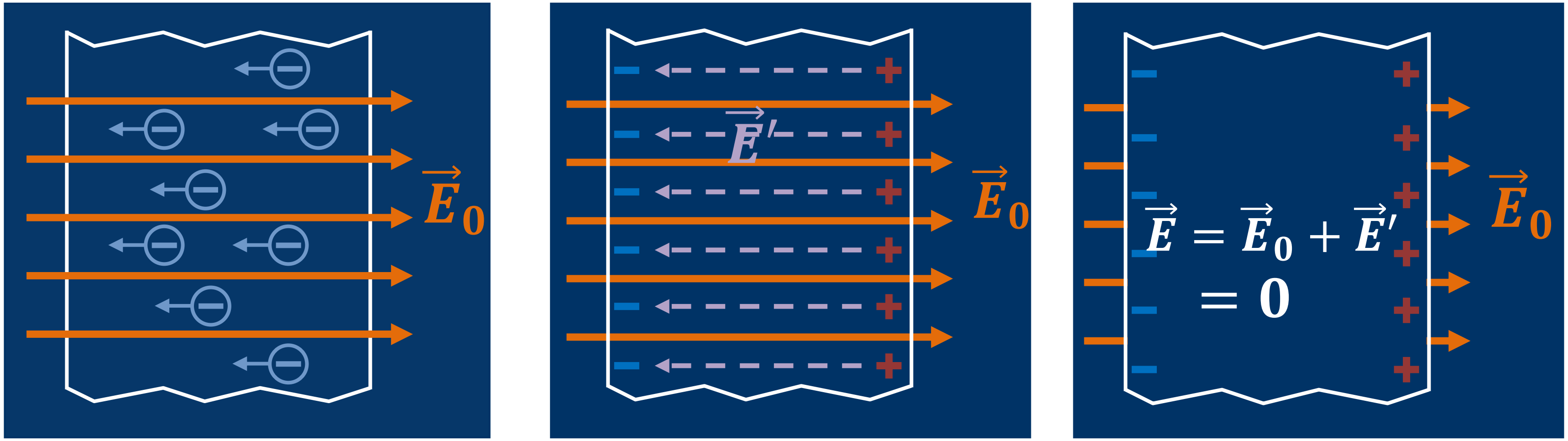
导体内的自由电子在外场作用下发生定向运动，而使导体上电荷重新分布的现象。

静电平衡（electrostatic equilibrium）

若导体内部和表面无电荷的定向移动， 则导体处于静电平衡状态。

- 静电感应

导体静电平衡的微观过程



在外电场的作用下，导体中出现电荷重新分布。

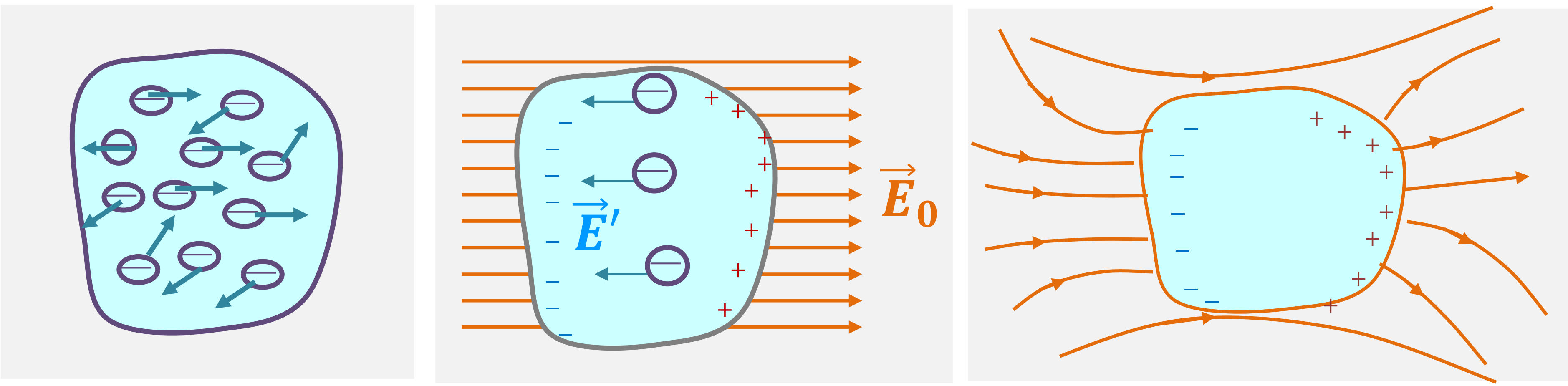
静电平衡（electrostatic equilibrium）

导体内部及表面没有电荷作定向运动的状态。
导体上电荷及空间电场分布达到稳定状态。

无外场时自由电子无规运动： “电子气”

在外场$\vec{E}_0$中：
1. 无规则热运动；
2. 宏观定向运动

导体内电荷重新分布，出现附加电场$\vec{E}'$
直至平衡状态

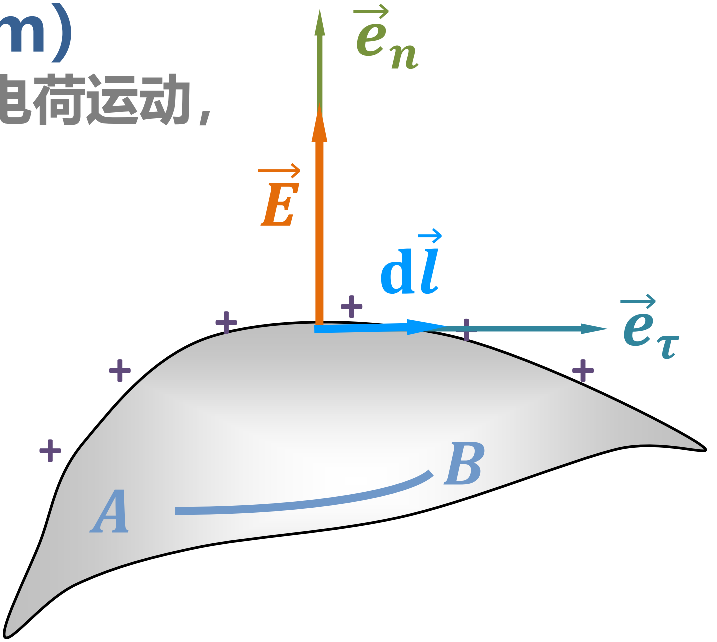


$$\begin{cases} \vec{E}_{内} = \vec{E}_0 + \vec{E}' = 0 \\ \vec{E}_{表面} = \vec{E}_0 + \vec{E}' \end{cases}$$

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}'$$

静电平衡（electrostatic equilibrium）

导体内部和表面上任何一部分都没有宏观电荷运动，则导体处于静电平衡状态。



◆ 导体静电平衡的条件

$$E_{内} = 0$$

$$\vec{E}_{表面} \perp 导体表面$$

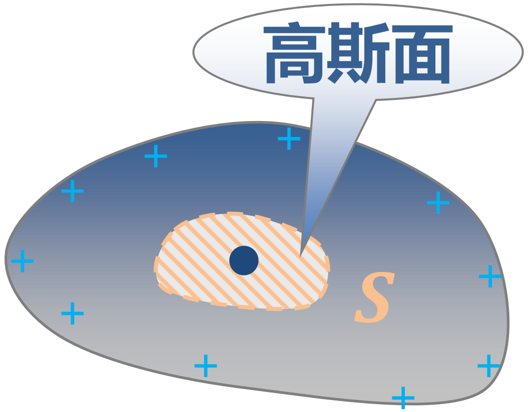
- **静电平衡导体的电场强度**
  - 导体内部任何一点处的电场强度为零；
  - 导体表面处的电场强度的方向，与导体表面垂直。

- **静电平衡导体的电势**
  - 导体上各点电势相等，即导体是等势体。
  - 导体表面是等势面。

$$\because \vec{E} \perp \mathrm{d}\vec{l} \qquad \therefore -\Delta U = \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = 0$$

$$U_{ab} = \int_a^b \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = 0$$

静电平衡导体上的电荷分布



由导体的静电平衡条件和静电场的基本性质，可以得出导体上的电荷分布（有外场而且导体带电）。

◆ 导体内无净电荷，电荷只能分布在导体表面

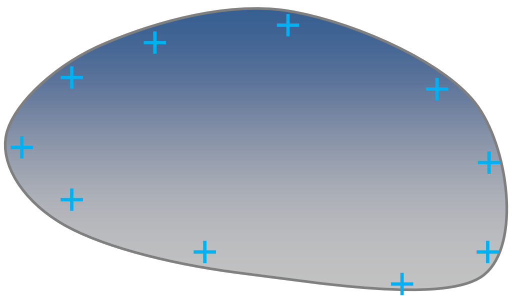
实心带电导体

（即只有外表面的导体）

证明：在导体内任取体积元$\mathrm{d}V$

$$\oint_S \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{S} = 0 \xrightarrow{\text{由高斯定理}} \sum_i q_i = \int_V \rho\,\mathrm{d}V = 0$$

$$E_{内} = 0$$



由于体积元任取 → 导体中各处 $\rho = 0$

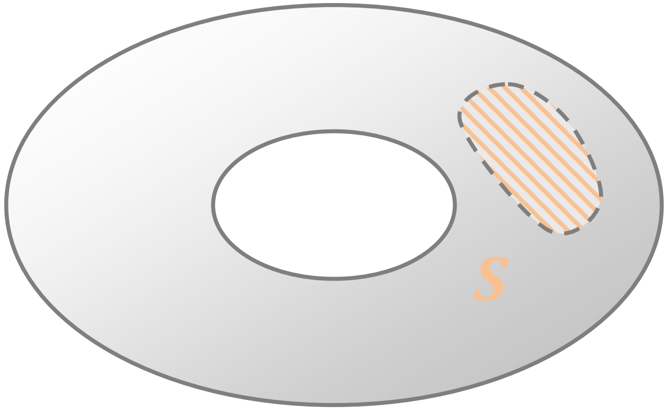
□ 实心导体，净电荷只分布在导体表面。

□ 空腔导体，且空腔内无电荷，净电荷只能分布于外表面！

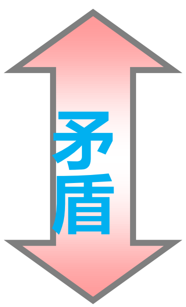
□ 空腔导体，且空腔内有电荷，在内外表面都分布有电荷分布！

□ 空腔导体，且空腔中无电荷，净电荷只能分布于外表面！（内表面无电荷）

$$\oint_S \vec{E}\cdot d\vec{S}=0 \quad \xrightarrow{\text{由高斯定理}} \quad \sum_i q_i = 0$$



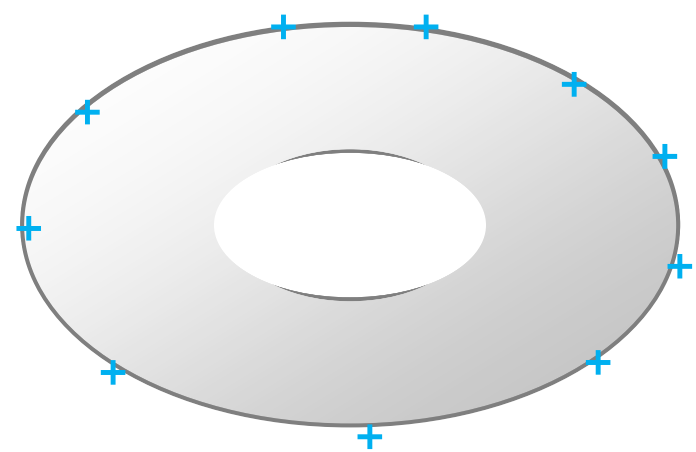
若内表面带电



$$U_{AB}=\int_A^B \vec{E}\cdot d\vec{l} \neq 0$$

导体是等势体

$$U_{AB}=\int_A^B \vec{E}\cdot d\vec{l} = 0$$



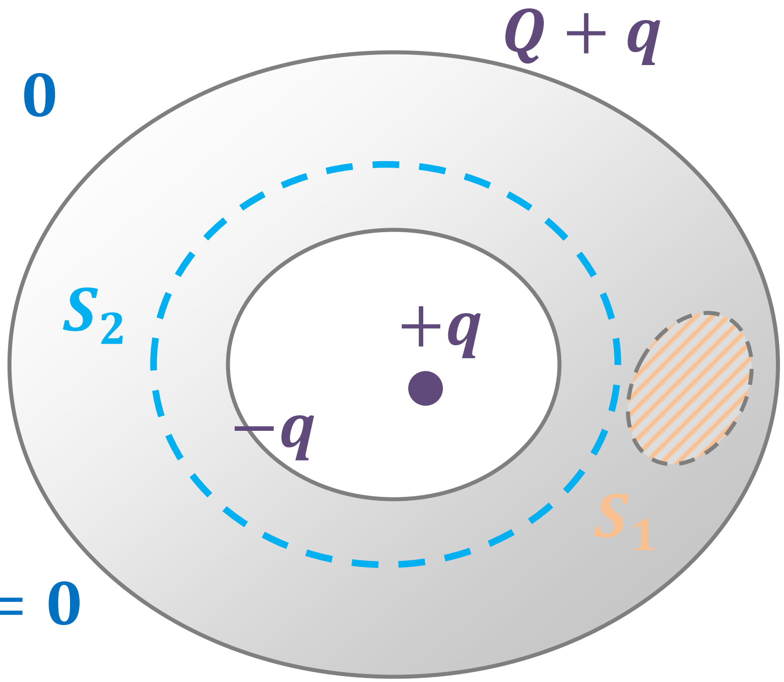
所以导体内表面不带电

电场线不能进入腔内 --- 静电屏蔽。

□ 空腔导体，且空腔中有电荷，在内外表面都分布有电荷分布！

$$\oint_S \vec{E}\cdot d\vec{S} = 0 \xrightarrow{\text{由高斯定理}} \sum_i q_i = 0$$

➡ 电荷分布在表面上



内表面上有电荷吗?

$$\oint_S \vec{E}\cdot d\vec{S} = 0 \xrightarrow{\text{由高斯定理}} \sum_i q_i = 0$$

➡ $q_{内表面} = -q$

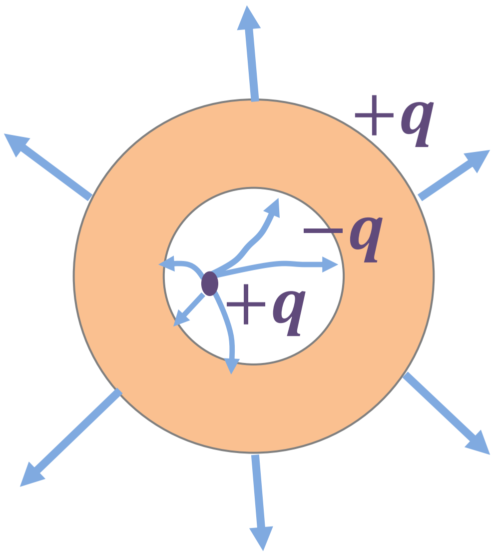
✓ 当空腔内有电荷$+q$时，内表面因静电感应出现等值异号的电荷$-q$，外表面有感应电荷$+q$（电荷守恒）。

① 空腔原不带电，腔内电荷q，腔内、外表面电量?

② 空腔原带电Q，腔内电荷q，腔内、外表面电量?

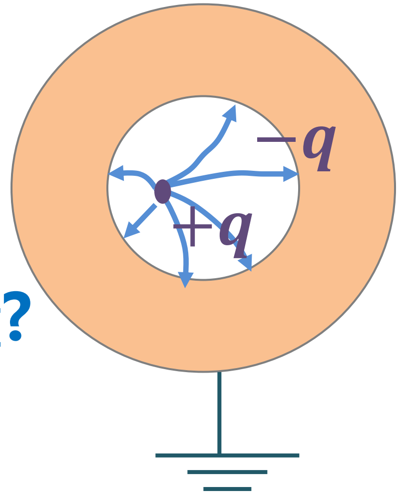
□ 空腔导体，且空腔中有电荷

- ◆ 空腔内表面感应电荷与腔内电荷等值异号。
- ◆ 导体外表面电荷由导体电荷守恒决定。



腔不接地： 腔内不受腔外电荷影响，
腔外要受腔内电荷影响。

腔接地： 内外电场互不影响。



□ 空腔原不带电，腔内电荷q，腔内、外表面电量?

$q_{内表面} = -q$ $\quad$ $q_{外表面} = q$

□ 空腔原带电Q，腔内电荷q，腔内、外表面电量?

$q_{内表面} = -q$ $\quad$ $q_{外表面} = Q + q$

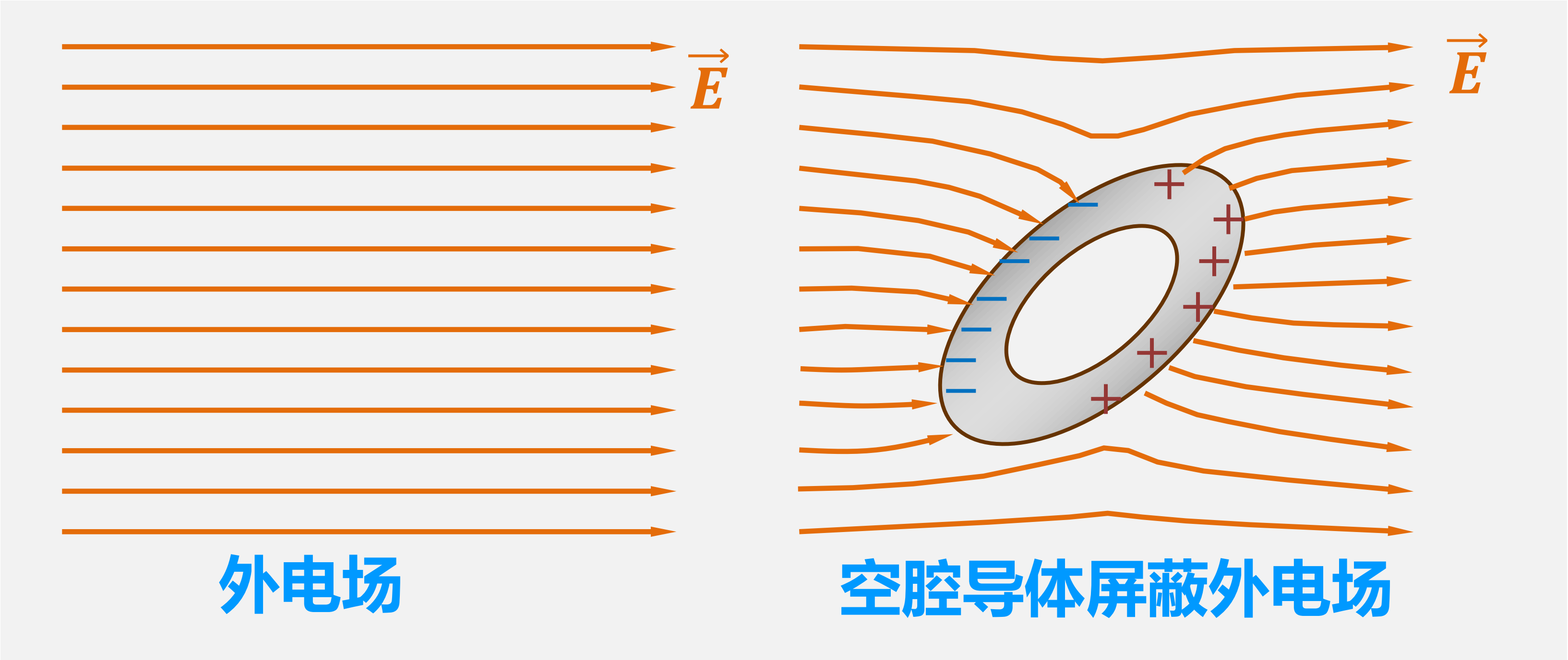
□ 空腔能屏蔽腔内电荷q的电场吗？ 空腔导体外表面接地

静电屏蔽

◆ 屏蔽外电场

◆ 屏蔽腔内电场

$$\vec{E}_{\text{腔内}} = \vec{E}_{\text{壳外表面电量}} + \vec{E}_{\text{壳外带电体}} = 0$$

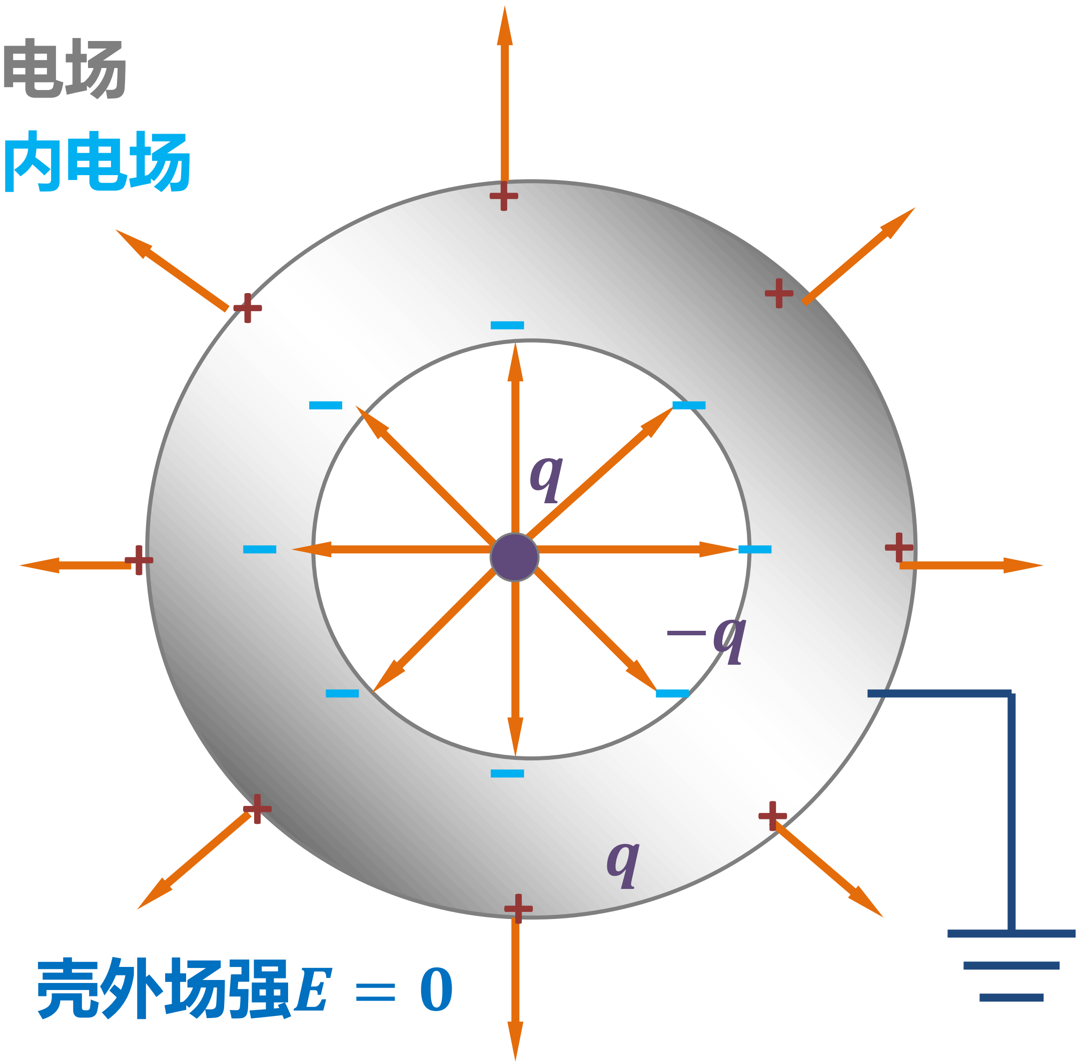


空腔导体可以屏蔽外电场，使空腔内物体不受外电场影响。
腔内的场与腔外 (包括壳的外表面) 的电量及分布无关。
这时，整个空腔导体和腔内的电势也必处处相等。

静电屏蔽

◆ 屏蔽外电场

◆ 屏蔽腔内电场



接地空腔导体将使外部空间不受空腔内的电场影响。

接地导体电势为零

问：空间各部分的电场强度如何分布？

◆ 壳外空间无带电体

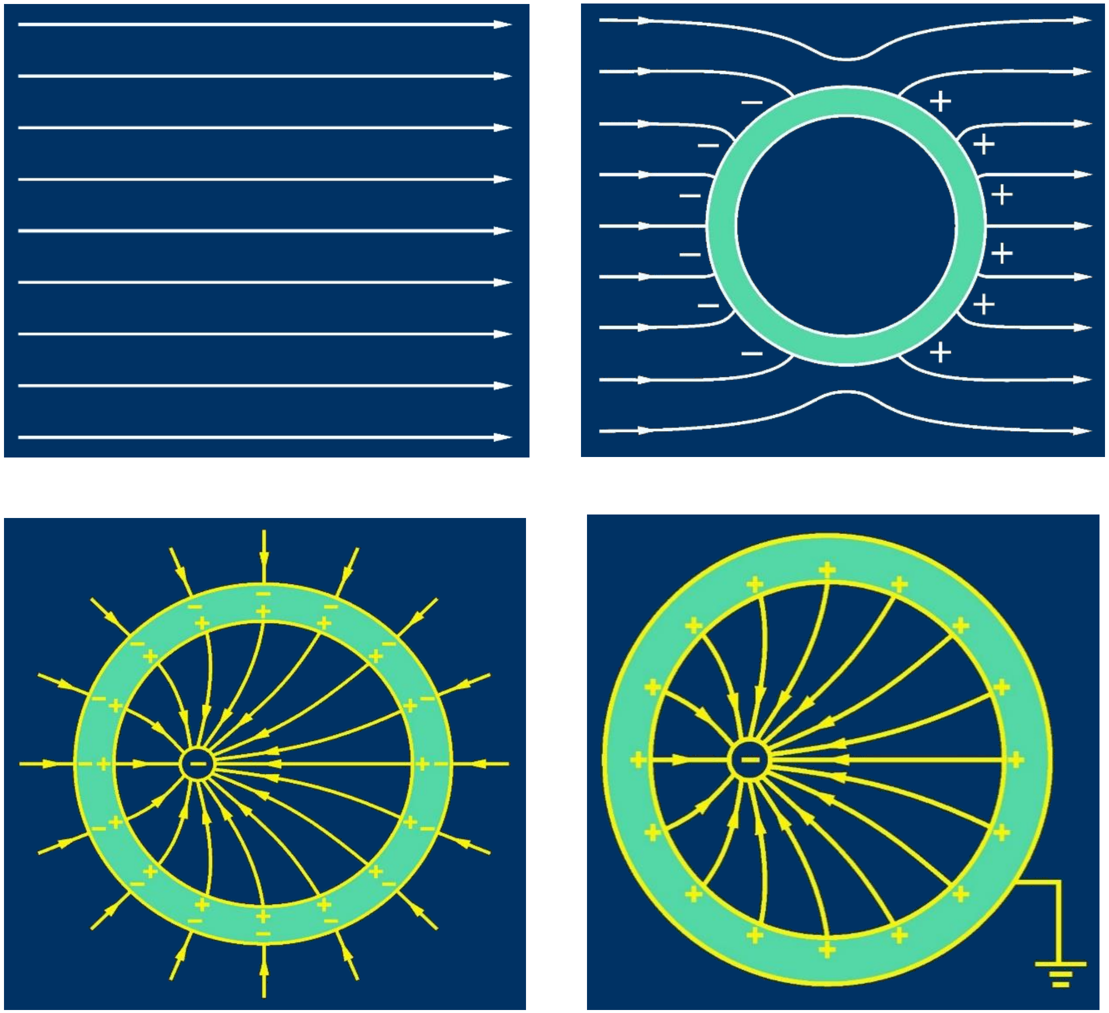
接地壳外表面电荷为零；壳外场强$E=0$

◆ 壳外空间有带电体

接地壳外表面电荷不为零；

由电动力学可严格证明：壳外场由外部情况决定，不受壳内电荷的影响。

静电屏蔽（Electrostatic shielding）



腔内场：

只与内部带电量及内部几何条件 及介质有关 （无论接地与否）

腔外场：（接地）

只由外部带电量和外部几何条件及介质决定

腔内电荷q的位置移动

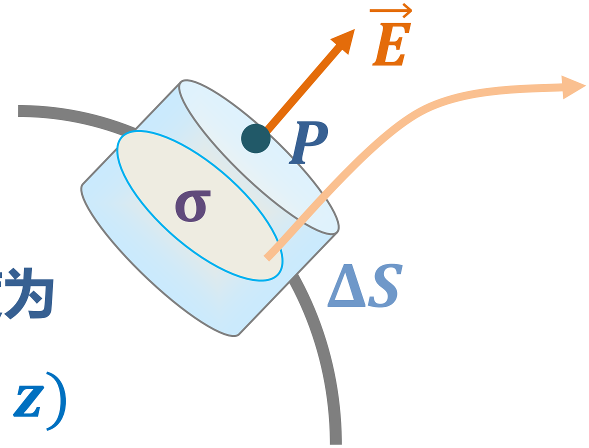
对$\sigma_{内}$、$\vec{E}_{内}$分布有影响；

对$\sigma_{外}$、$\vec{E}_{外}$分布无影响。

◆ 高压带电检修

◆ 导体表面电场强度与电荷面密度的关系

静电平衡时导体表面电荷面密度与表面紧邻处场强成正比



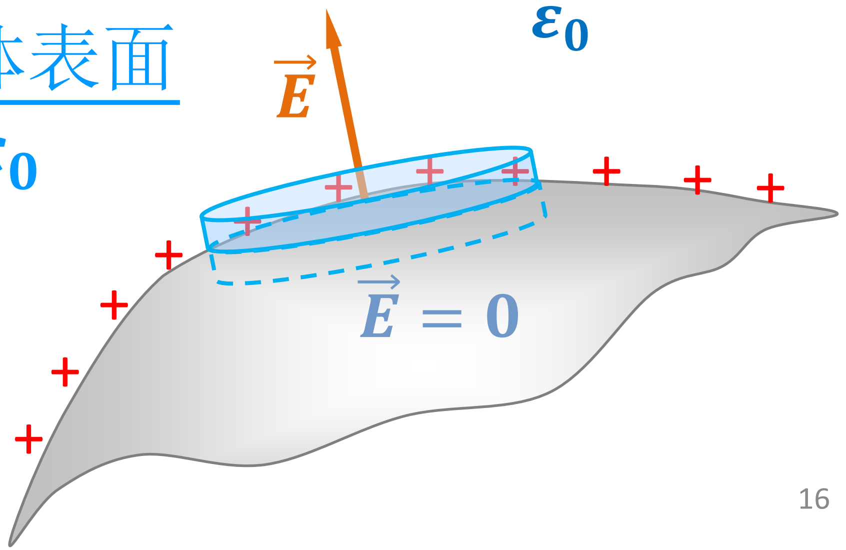
设导体表面电荷面密度为 $\sigma(x,y,z)$

设P是导体外紧靠导体表面的一点，相应的电场强度为

确定电场强度E和电荷密度σ的关系： $\vec{E}_{表}(x,y,z)$

$$\oint_S \vec{E}\cdot d\vec{S} = \int_{S_{侧面}} \vec{E}\cdot d\vec{S} + \int_{S_{上底}} \vec{E}\cdot d\vec{S} + \int_{S_{下底}} \vec{E}\cdot d\vec{S} = E\Delta S + 0 + 0 = \frac{\sigma\Delta S}{\varepsilon_0}$$

$$\Rightarrow \quad E_{表面外附近} = \frac{\sigma_{导体表面}}{\varepsilon_0}$$



$\vec{E}$ 是总场强，
是空间所有电荷产生的；
是导体表面附近的场强。

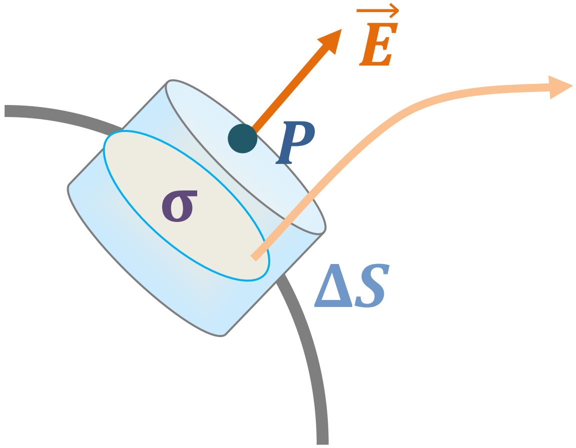
◆ 导体表面电场强度与电荷面密度的关系

静电平衡时导体表面电荷面密度与表面紧邻处场强成正比

$$E_{表} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

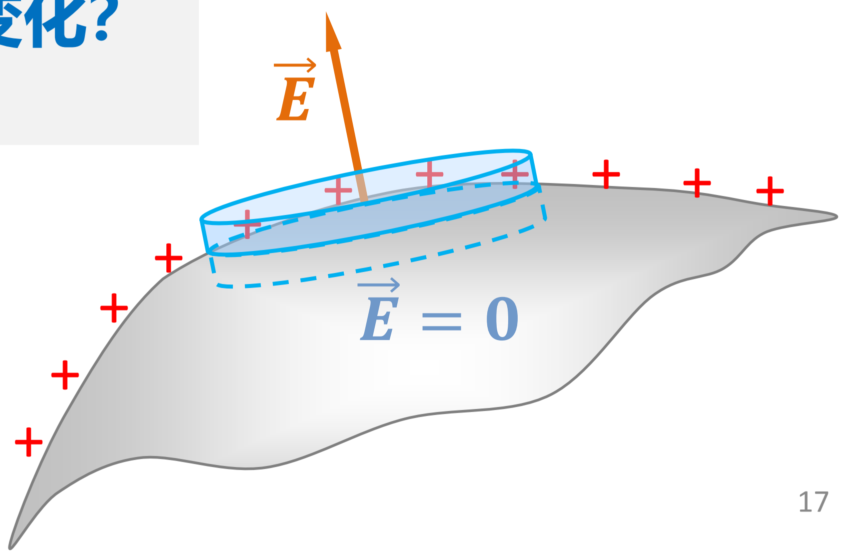
$\vec{E}$ 是总场强，
是空间所有电荷产生的；
是导体表面附近的场强。

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\vec{e}_n$$

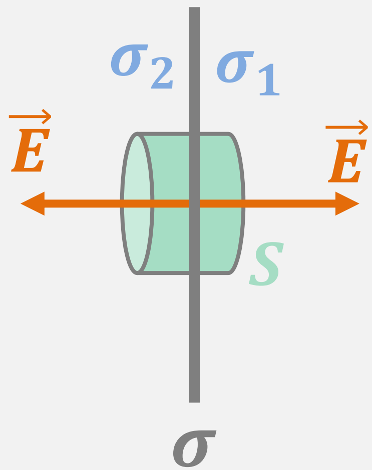


设带电导体表面某点电荷密度为 σ ，外侧附近场强$E = \sigma/\varepsilon_0$，现将另一带电体移近，该点场强是否变化？公式$E = \sigma/\varepsilon_0$是否仍成立？

导体表面σ变化，
外侧附近场强E变化，
而 $E = \sigma/\varepsilon_0$ 仍然成立。



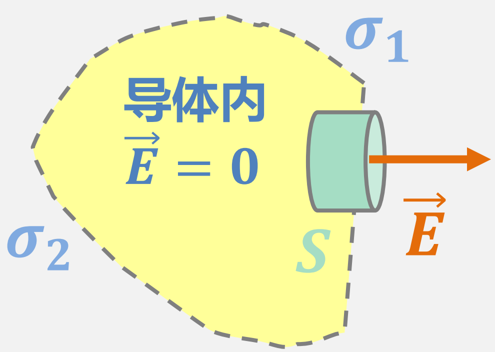
无限大带电平面： $E=\sigma/2\varepsilon_0$
带电导体表面附近： $E=\sigma/\varepsilon_0$
是否矛盾?



$$\oint_s \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{S}=2E\Delta S=\frac{\sigma\Delta S}{\varepsilon_0}$$

$$E=\sigma/2\varepsilon_0$$

如果计及带电面的厚度，
式中 $\sigma=\sigma_1+\sigma_2\approx 2\sigma_1$



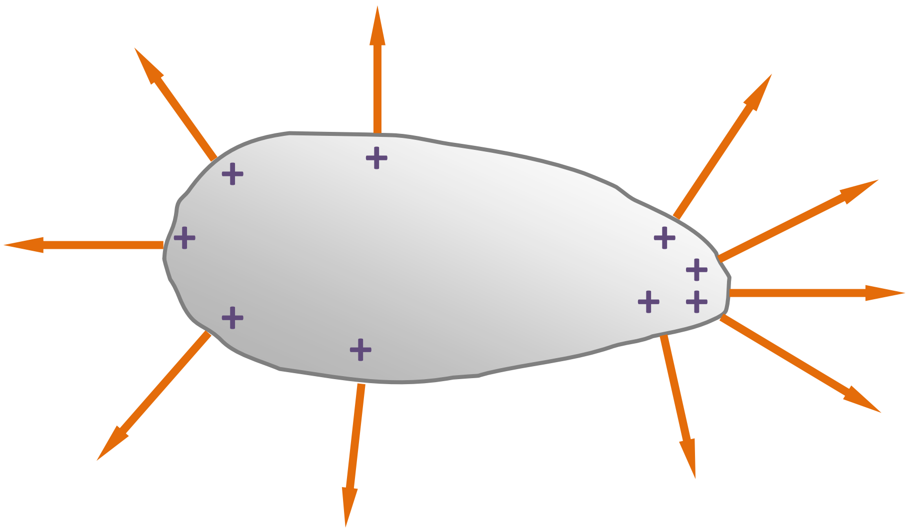
$$\oint_s \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{S}=E\Delta S=\frac{\sigma\Delta S}{\varepsilon_0}$$

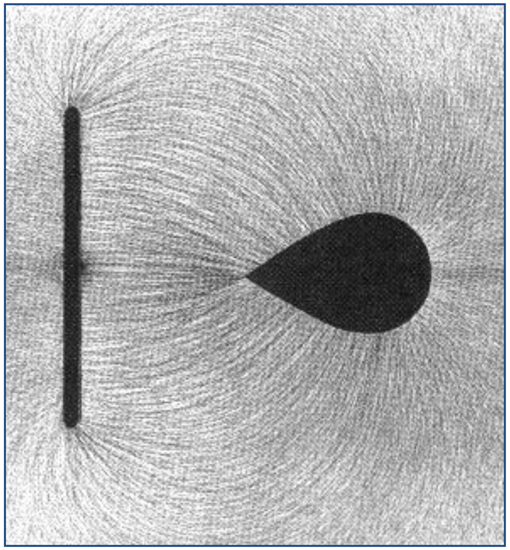
$$E=\sigma/\varepsilon_0$$

这里的$\vec{E}$不是一个带电平面产生的，
式中 $\sigma=\sigma_1$，不产生矛盾。

◆ 导体表面电荷分布与导体形状以及周围环境有关。

$$E_{\text{表面外附近}} = \frac{\sigma_{\text{导体表面}}}{\varepsilon_0}$$





$\sigma\downarrow$, $E\downarrow$

$\sigma\uparrow$, $E\uparrow$

带电导体尖端附近电场最强

带电导体尖端附近的电场特别大，可使尖端附近的空气发生电离而成为导体产生放电现象，即**尖端放电**。

- **尖端放电现象的利与弊**

尖端放电会损耗电能，还会干扰精密测量和对通讯产生**危害**。然而尖端放电也有很广泛的**应用**。

尖端放电 (Point Discharge)

孤立导体处于静电平衡时，它的表面各处面电荷密度与各点表面的曲率有关，曲率越大的地方 (表面凸出的尖锐部分)，面电荷密度也大；曲率为负(凹进去)的地方电荷面密度更小。

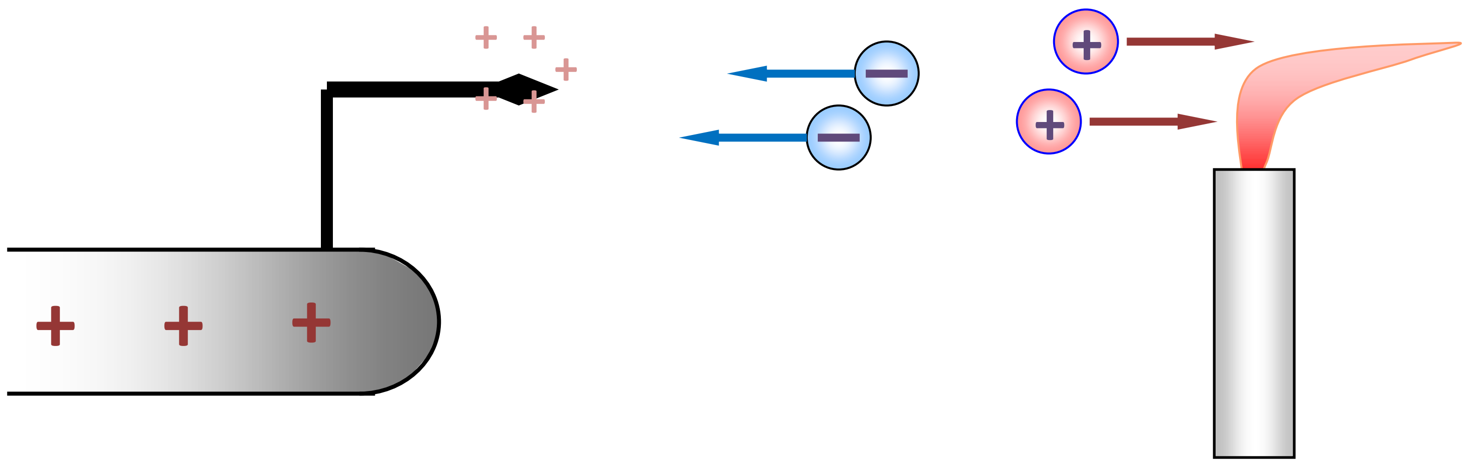
◆高压线光晕

夜间高压输电线上可以看到的“光晕”是由于输电线附近的离子与空气分子碰撞时会使分子处于激发状态，从而长生的光辐射。

◆ 场离子显微镜（FIM)

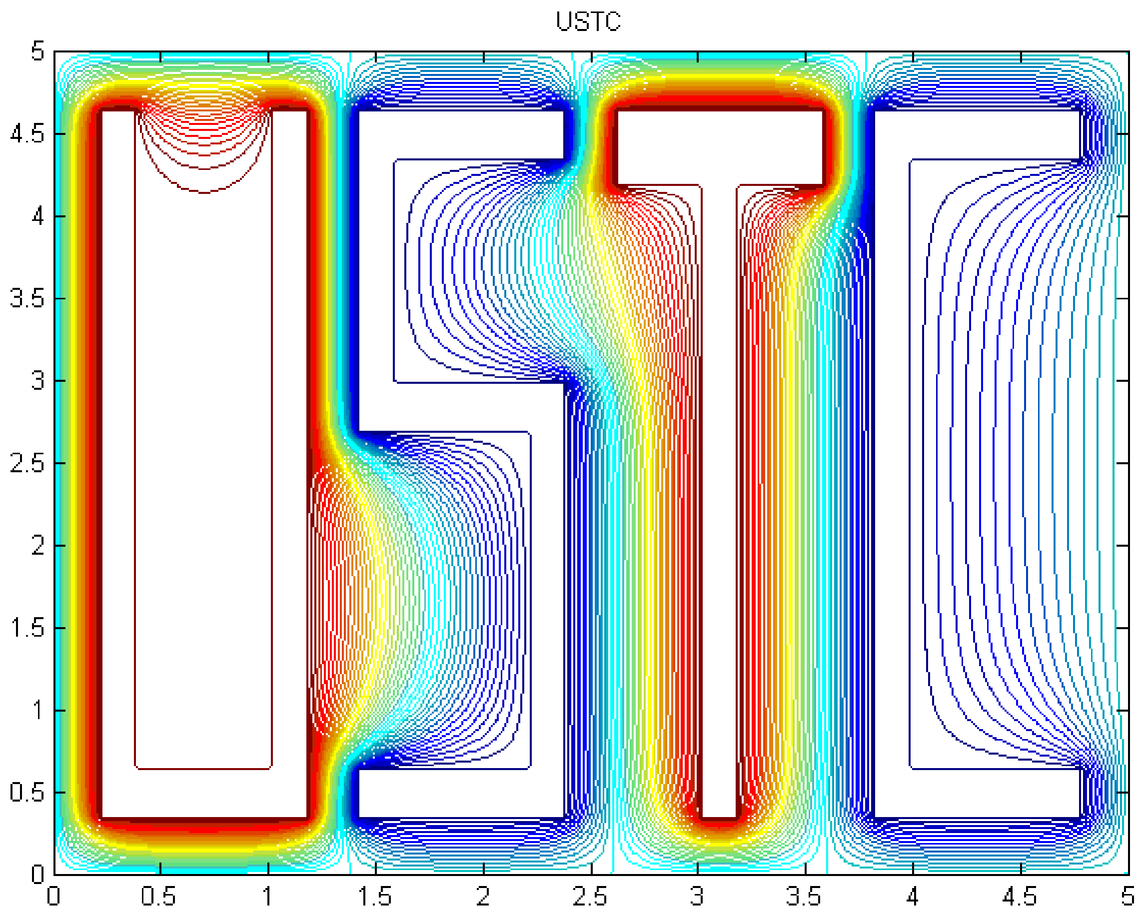
尖端放电 (Point Discharge)

◆ 电风实验



◆ 避雷针

尖端放电现象的利用



U、 S、 T、 C 四个字母都是电极，电压分别为30V、−15V 、30V、−15V

计算有导体存在时的$\vec{E}$、U分布

求解思路：

要计算静电平衡时的电场分布，首先要知道其电荷分布。

静电平衡条件
电荷守恒定律
→ 导体上的电荷分布 → 计算$\vec{E}$、U分布（方法同前）

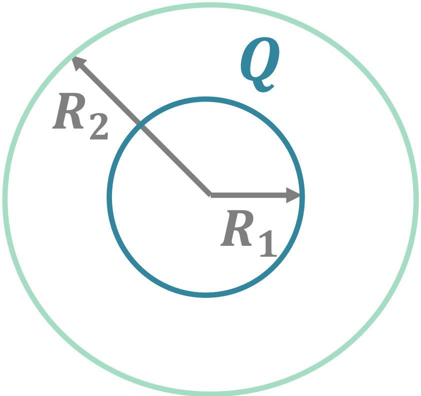
□ 电势的计算（两种基本方法）

- 场强积分法（由定义求）
- 叠加法

□ 场强$\vec{E}$分布的基本方法

- 由点电荷$\vec{E}$公式和$\vec{E}$叠加原理
- 由高斯定理求

半径分别为R_1和R_2（$R_2 > R_1$）的两个相互绝缘的同心导体球壳（忽略球壳的厚度），开始时内球壳带电量为Q，外球壳不带电。然后将外球壳接地，静电平衡后拆去接地导线，将内球壳接地，求静电平衡后内球壳所带电量。



解：外球壳接地，可知外球壳电势为零。

令外球壳带电量为x，可得

$$U = U_1 + U_2 = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R_2} + \frac{x}{4\pi\varepsilon_0 R_2} = 0$$

所以外球壳带电量为$-Q$

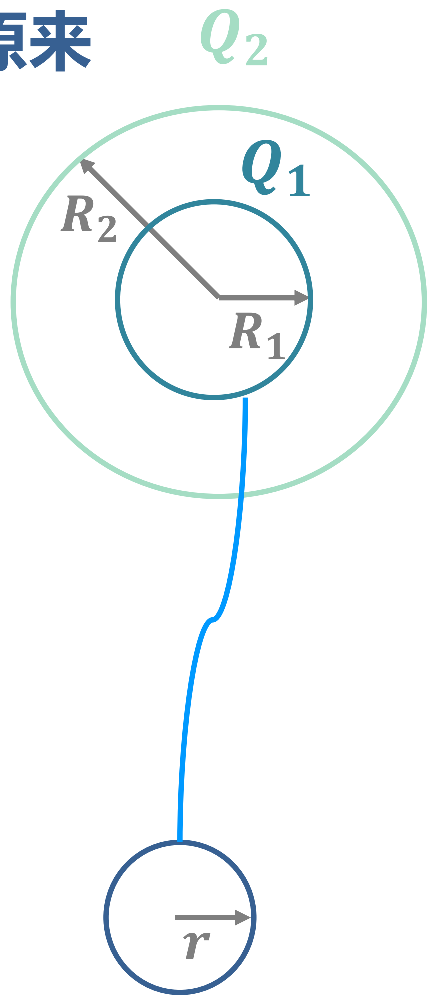
接着内球壳接地，可知内球壳电势为零。

令内球壳带电量为y，可得

$$U = U_1' + U_2' = \frac{y}{4\pi\varepsilon_0 R_1} + \frac{-Q}{4\pi\varepsilon_0 R_2} = 0$$

所以内球壳带电量为$\frac{R_1}{R_2}Q$

半径分别为R_1和R_2（$R_2 > R_1$）的两个同心导体薄球壳，分别带有电荷Q_1和Q_2，今将内球壳用细导线与远处半径为r的导体球相联，如图所示，忽略因连接导线在外球壳挖的小洞，导体球原来不带电，试求相联后导体球所带电荷q。



解：设相联后导体球带电q，

取无穷远处为电势零点，

则导体球电势 $$U_0 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

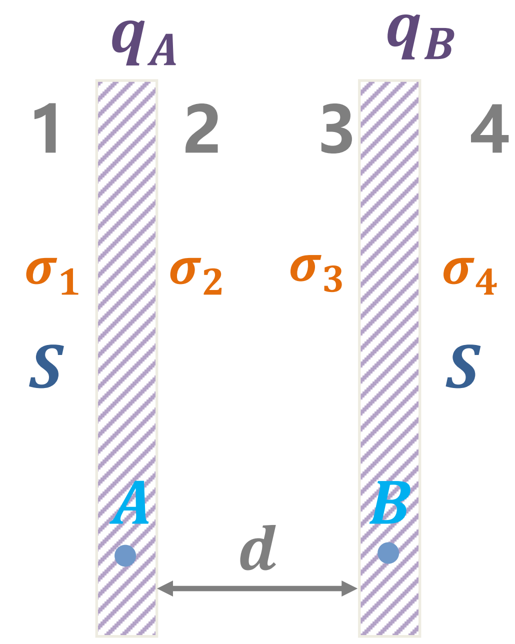
内球壳电势 $$U_1 = \frac{Q_1 - q}{4\pi\varepsilon_0 R_1} + \frac{Q_2}{4\pi\varepsilon_0 R_2}$$

导体球和内球壳等电势，即

$$\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r} = \frac{Q_1 - q}{4\pi\varepsilon_0 R_1} + \frac{Q_2}{4\pi\varepsilon_0 R_2}$$

解得 $$q = \frac{r(R_2 Q_1 + R_1 Q_2)}{R_2(R_1 + r)}$$

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q_1、q_2、q_3和q_4，由电荷守恒，得

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

$$\sigma_3 S + \sigma_4 S = q_B \quad ①$$

在两板内分别取任意两点A和B，则

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

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

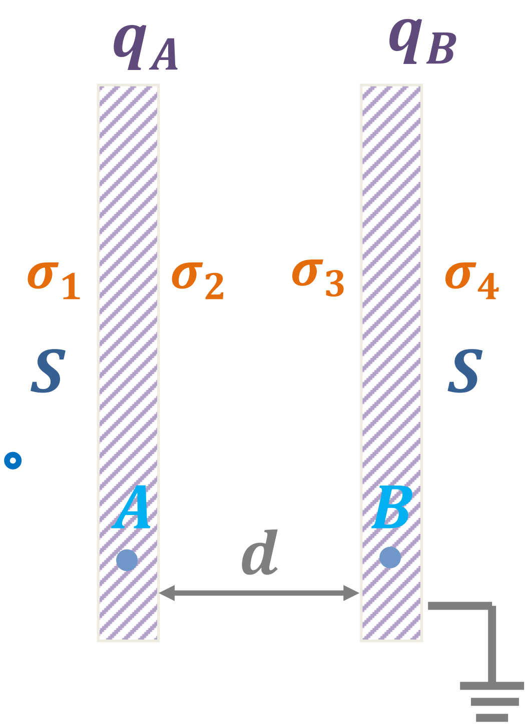
相背面σ等大同号，相对面σ等大异号。

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。



- 若$q_A = -q_B = q$，则

$$\sigma_1 = \sigma_4 = 0$$

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

电荷只分布在两板的内侧面，外侧面不带电。

- 若$q_A = q_B = q$，则

$$\sigma_1 = \sigma_4 = q/S$$

$$\sigma_2 = \sigma_3 = 0$$

电荷只分布在两板的外侧面，内侧面不带电。

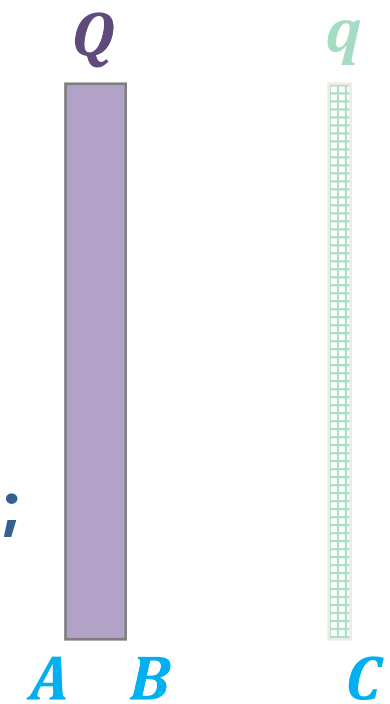
- 若B板接地，则 $\sigma_1 = \sigma_4 = 0$ $\sigma_2 = -\sigma_3 = q/S$

一张面积很大的塑料平面薄膜C，如图所示，经摩擦方式在其表面均匀分布有电荷q，一块带电量为Q的导体平板AB，与薄膜平行放置，设板和薄膜相距为d（忽略板厚），面积均为S（S为单面面积，薄膜只考虑一个面），且d远远小于薄膜板线度，忽略边缘效应，求：

（1）导体板两个表面的自由电荷面密度σ_A与σ_B；

（2）空间各处电场强度的分布；

（3）导体板与塑料膜之间的电势差。



解：（1）由电荷守恒可得

$$\sigma_A S + \sigma_B S = Q$$

$$\sigma_C S = q$$

设水平向右为正方向，由静电平衡时，导体板内场强为零可得：

$$E_{AB内} = \frac{\sigma_A}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma_B}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma_C}{2\varepsilon_0} = 0$$

联立上式求解可得：

$$\sigma_A = \frac{Q+q}{2S}$$

$$\sigma_B = \frac{Q-q}{2S}$$

(2）在平板AB的左边：

$$E_1=-\frac{\sigma_A}{2\varepsilon_0}-\frac{\sigma_B}{2\varepsilon_0}-\frac{\sigma_C}{2\varepsilon_0}=-\frac{Q+q}{2\varepsilon_0 S}$$

在平板AB与薄膜C之间：

$$E_2=\frac{\sigma_A}{2\varepsilon_0}+\frac{\sigma_B}{2\varepsilon_0}-\frac{\sigma_C}{2\varepsilon_0}=\frac{Q-q}{2\varepsilon_0 S}$$

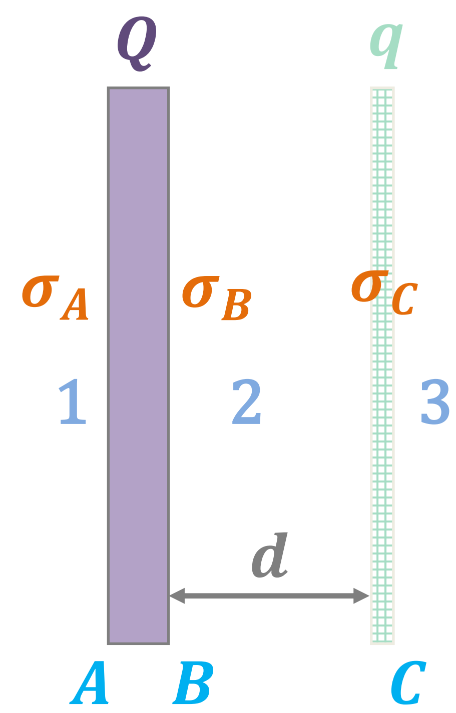
在薄膜C右边：

$$E_3=\frac{\sigma_A}{2\varepsilon_0}+\frac{\sigma_B}{2\varepsilon_0}+\frac{\sigma_C}{2\varepsilon_0}=\frac{Q+q}{2\varepsilon_0 S}$$

(3）导体板与塑料薄膜之间的电势差

$$U_{BC}=E_{BC}d$$

$$=\left(\frac{\sigma_A}{2\varepsilon_0}+\frac{\sigma_B}{2\varepsilon_0}-\frac{\sigma_C}{2\varepsilon_0}\right)d=\frac{Q-q}{2\varepsilon_0 S}d$$



有一外半径$R_1 = 10\text{cm}$和内半径$R_2 = 7\text{cm}$的金属球壳，在球壳内放一半径$R_3 = 5\text{cm}$的同心金属球，若使球壳和金属球均带有$q = 10^{-8}\text{C}$ 的正电荷，求两球体上的电荷如何分布？球心的电势为多少？

解：根据静电平衡条件求电荷分布

作球形高斯面S_1

$$E_1 = 0 \qquad (r < R_3)$$

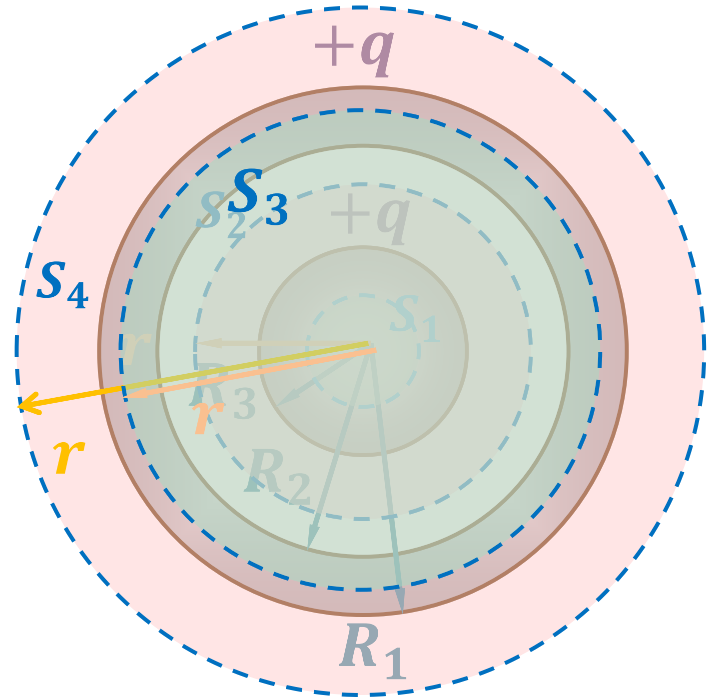
作球形高斯面S_2

$$\oint_{S_2} \vec{E}_2 \cdot \mathrm{d}\vec{S} = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

$$E_2 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}, \quad R_3 < r < R_2$$

作球形高斯面S_3

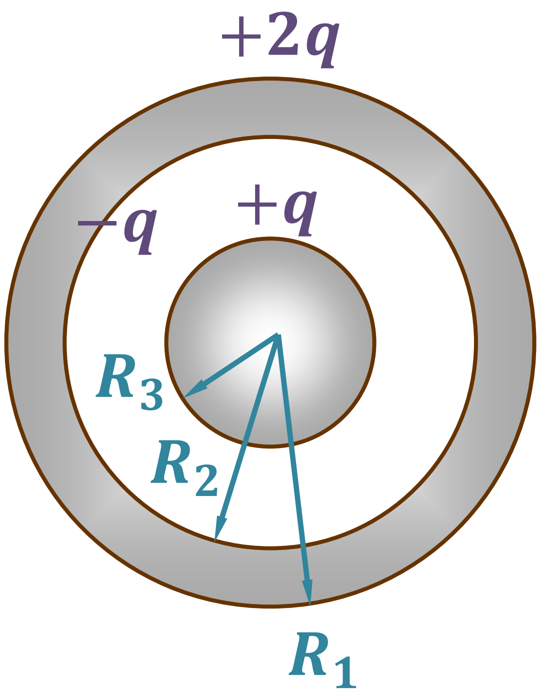
$$E_3 = 0 \quad (R_1 < r < R_2)$$



作球形高斯面S_4

$$E_4 = \frac{2q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \quad (R_1 < r)$$

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



$$U_O = \int_0^{\infty} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{l}$$

$$= \cancel{\int_0^{R_3} \vec{E}_1 \cdot \mathrm{d}\vec{l}} + \int_{R_3}^{R_2} \vec{E}_2 \cdot \mathrm{d}\vec{l} + \cancel{\int_{R_2}^{R_1} \vec{E}_3 \cdot \mathrm{d}\vec{l}} + \int_{R_1}^{\infty} \vec{E}_4 \cdot \mathrm{d}\vec{l}$$

$$U_O = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_2} + \frac{2}{R_1}\right) = 2.31 \times 10^3\ \mathrm{V}$$

带电量q、半径R_1的导体球A外，有一内半径R_2、外半径R_3的同心导体球壳B，求

(1) 外球壳的电荷分布及电势。

(2) 将B接地再重新绝缘，结果如何?

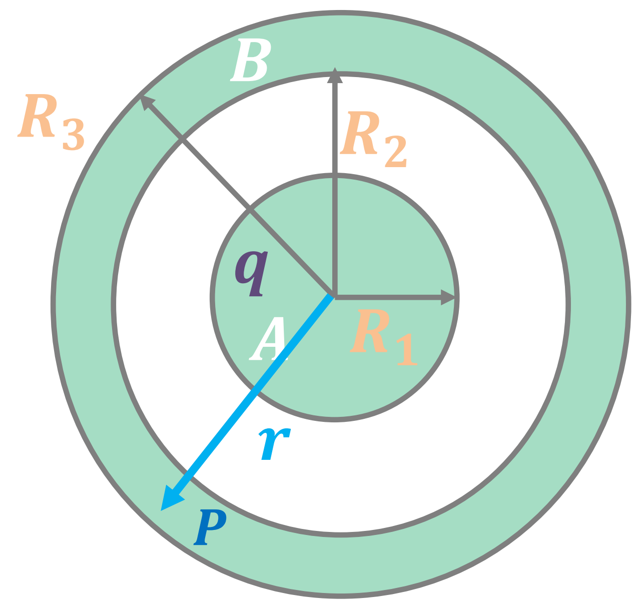
(3) 再将A球接地，B电荷分布及电势如何变化?

解：(1) $q_{B内表面}=-q$，

$q_{B外表面}=q$，

$$U_B=U_P=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}+\frac{(-q)}{4\pi\varepsilon_0 r}+\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R_3}$$

$$=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R_3}$$



(2) 将B接地再重新绝缘，

$U_B=U_{地}=0$

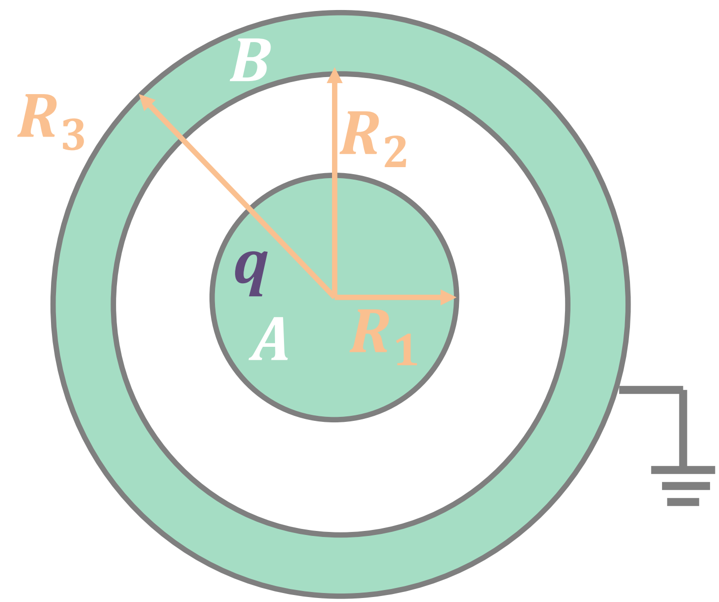
$q_{B内表面}=-q$，　$q_{B外表面}=0$

带电量q、半径R_1的导体球A外，有一内半径R_2、外半径R_3的同心导体球壳B，求

(1) 外球壳的电荷分布及电势。

(2) 将B接地再重新绝缘，结果如何?

(3) 再将A球接地，B电荷分布及电势如何变化?



解：(2) 将B接地再重新绝缘，

$$U_B = U_{地} = 0$$

$$q_{B内表面} = -q, \quad q_{B外表面} = 0$$

(3) 将A球接地，

设A带电q'，则$q_{B内表面} = -q'$，

$$q_{B外表面} = q' - q,$$

$$U_A = U_{地} = \frac{q'}{4\pi\varepsilon_0 R_1} + \frac{(-q')}{4\pi\varepsilon_0 R_2} + \frac{q'-q}{4\pi\varepsilon_0 R_3} = 0$$

带电量q、半径R_1的导体球A外，有一内半径R_2、外半径R_3的同心导体球壳B，求

(1) 外球壳的电荷分布及电势。

(2) 将B接地再重新绝缘，结果如何?

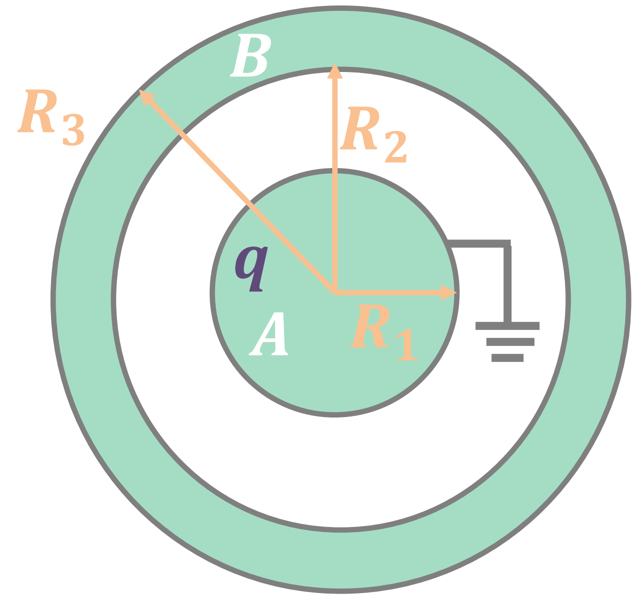
(3) 再将A球接地，B电荷分布及电势如何变化?

$$q' = \frac{R_1 R_2 q}{R_2 R_3 - R_1 R_3 + R_1 R_2} < q$$

即A导体球所带部分电荷入地。

$$q_{B外表面} = q' - q$$

$$= \frac{(R_1 - R_2) R_3 q}{R_2 R_3 - R_1 R_3 + R_1 R_2} < 0$$

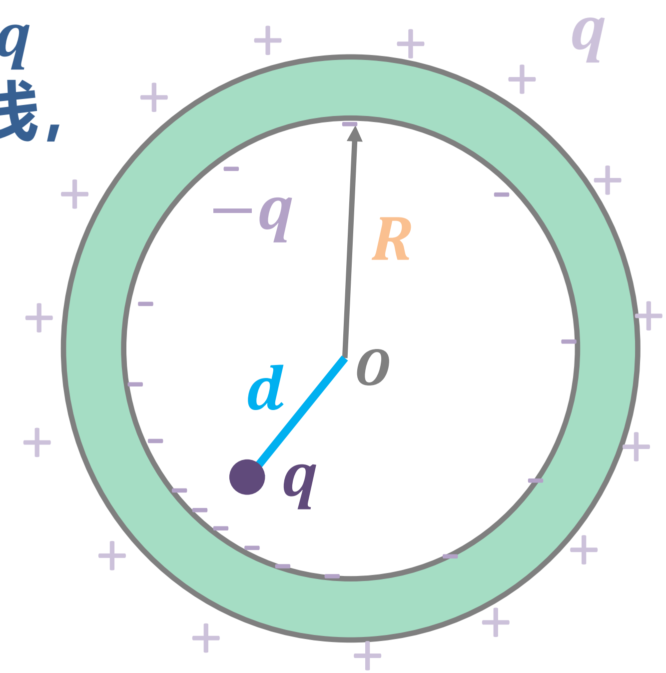


$$U_B = \frac{q_{B外表面}}{4\pi\varepsilon_0 R_3}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{(R_1 - R_2) q}{R_2 R_3 - R_1 R_3 + R_1 R_2} < 0$$

U_B 减小

内半径为R的导体球壳原来不带电，在腔内离球心距离为d（$d<R$）处，固定一电量q的点电荷，用导线将球壳接地后再撤去地线，求球心处电势。



解：（1）接地前的电荷分布。

由静电平衡条件，腔内壁非均匀分布的负电荷对外效应等效于：在与q同位置处放置$-q$。

$$q_{内表面}=-q$$

$$q_{外表面}=q$$

（2）外壳接地后电荷分布如何变化？

$$U_{壳}=U_{地}$$

$$=U_q+U_{内表面}+U_{外表面}$$

$$=0$$

$$\Rightarrow q_{外表面}=0$$

导体内表面电荷分布不变 $q_{内表面}=-q$

（3）由叠加法求球心处电势。

$$U_O=U_q+U_{内表面}$$

$$=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 d}+\frac{-q}{4\pi\varepsilon_0 R}$$

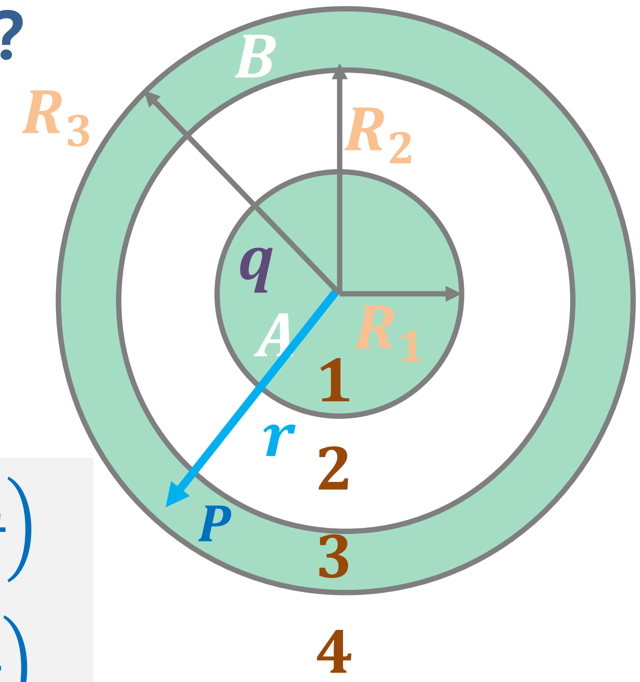
$$=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{d}-\frac{1}{R}\right)$$

带电量q_1、半径R_1的导体球A外，有一带电量q_2、内半径R_2、外半径R_3的同心导体球壳B，求

(1) 图中1，2，3，4 各区域的$\vec{E}$和U分布，并画出 $E-r$ 和 $U-r$ 曲线。

(2) 若将球与球壳用导线连接，情况如何?

(3) 将外球壳接地，情况如何?



解：(1) $q_A = q_1$

$$q_{B内表面} = -q_1$$

$$q_{B外表面} = q_1 + q_2$$

$$E_1 = 0$$

$$E_2 = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 r_2^2}$$

$$E_3 = 0$$

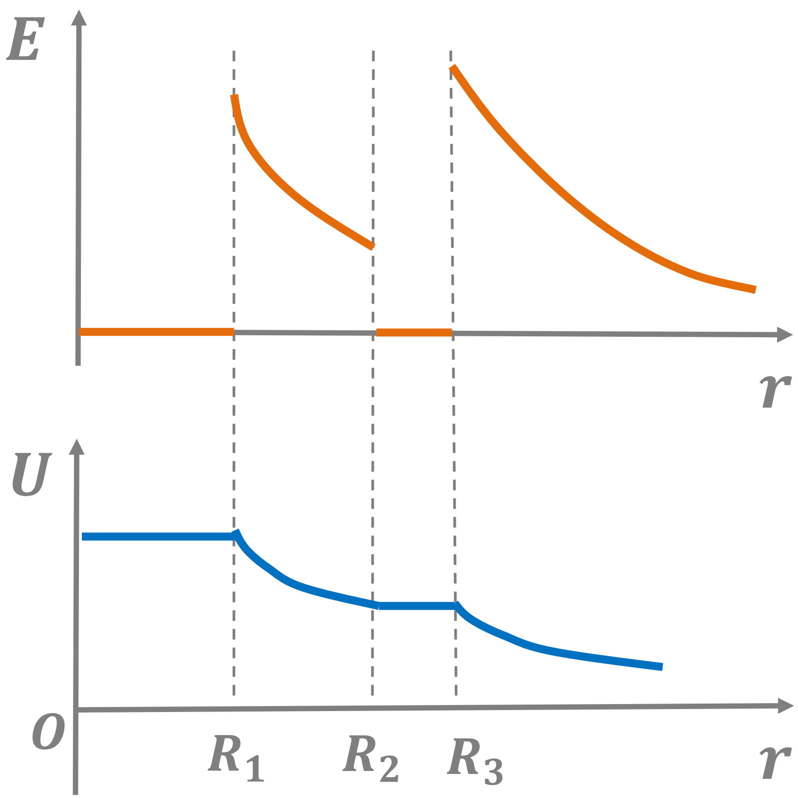
$$E_4 = \frac{q_1+q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_4^2}$$

$$U_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{R_1} - \frac{q_1}{R_2} + \frac{q_1+q_2}{R_3}\right)$$

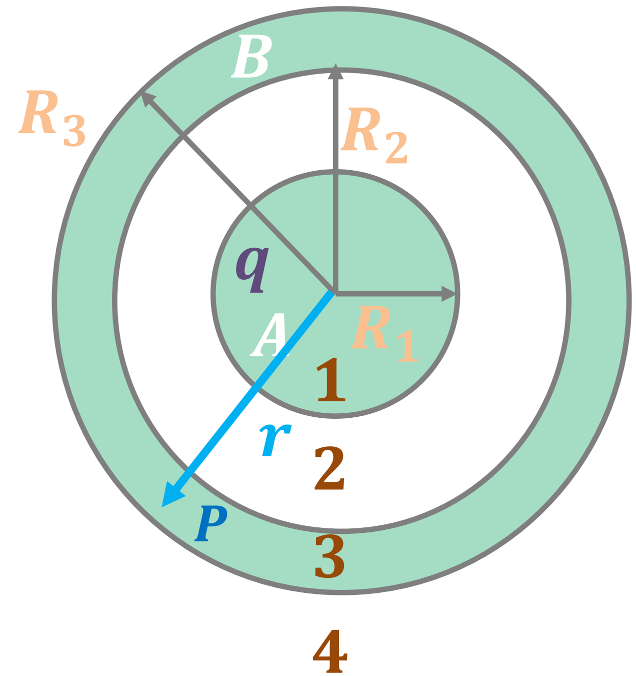
$$U_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{r_2} - \frac{q_1}{R_2} + \frac{q_1+q_2}{R_3}\right)$$

$$U_3 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1+q_2}{R_3}$$

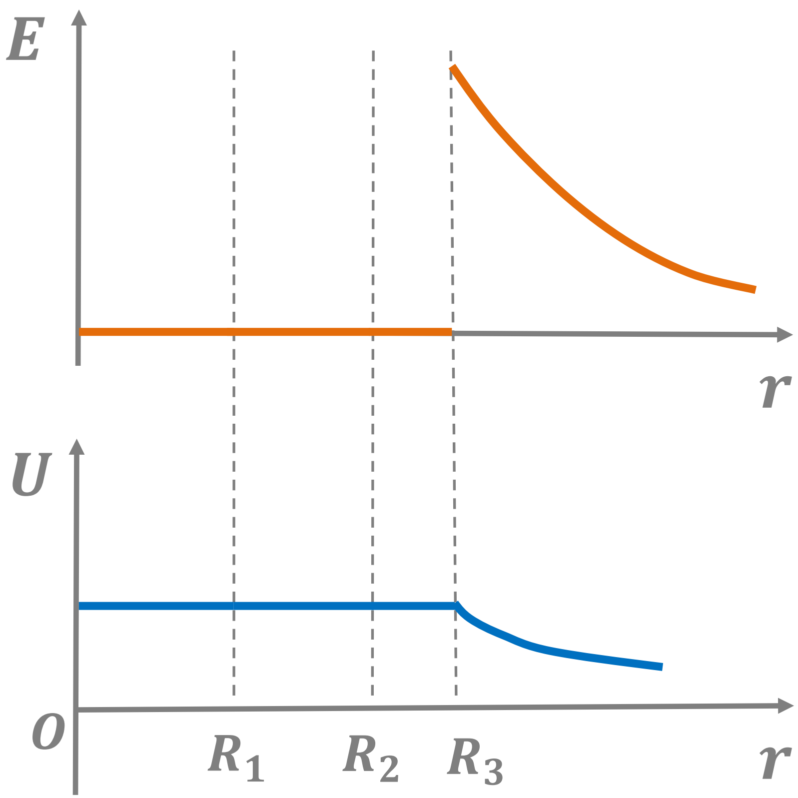
$$U_4 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1+q_2}{r_4}$$



$E-r$ 和 $U-r$ 曲线



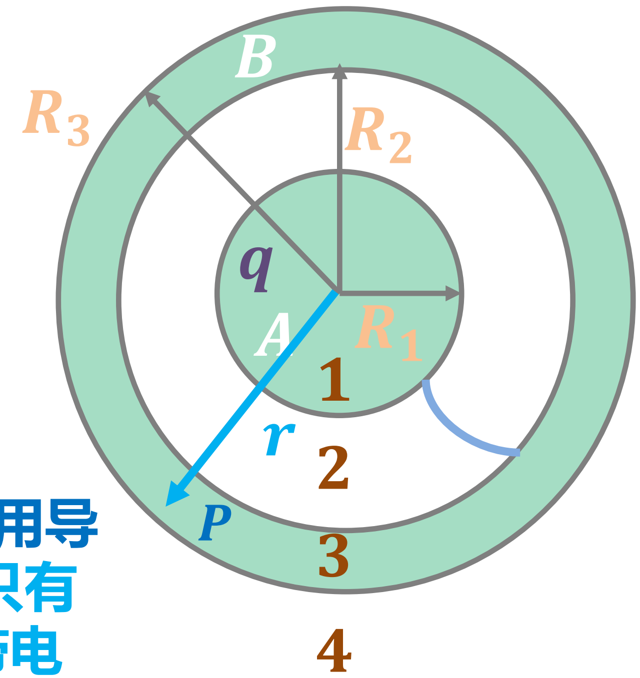
(2) 若将球与球壳用导线连接，情况如何?



$E-r$ 和 $U-r$ 曲线

解：(2) $q_A = q_{B内表面} = 0$

$q_{B外表面} = q_1 + q_2$



球A与球壳B用导线连接，则只有B壳外表面带电

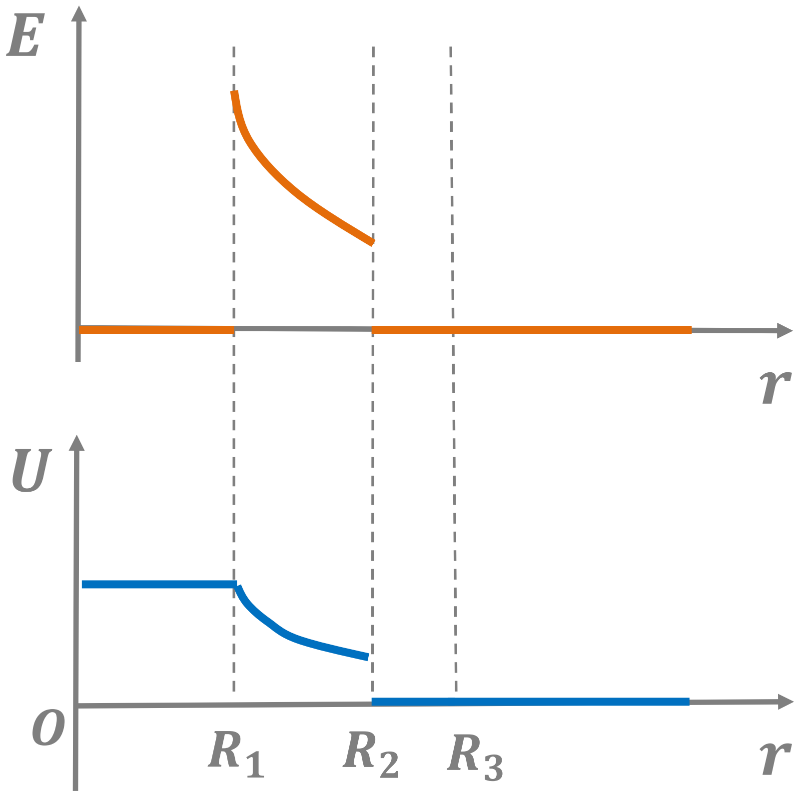
$$E_1 = E_2 = E_3 = 0$$

$$E_4 = \frac{q_1+q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_4^2}$$

$$U_1 = U_2 = U_3 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1+q_2}{R_3}$$

$$U_4 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1+q_2}{r_4}$$

(3) 若将外球壳接地，情况如何?



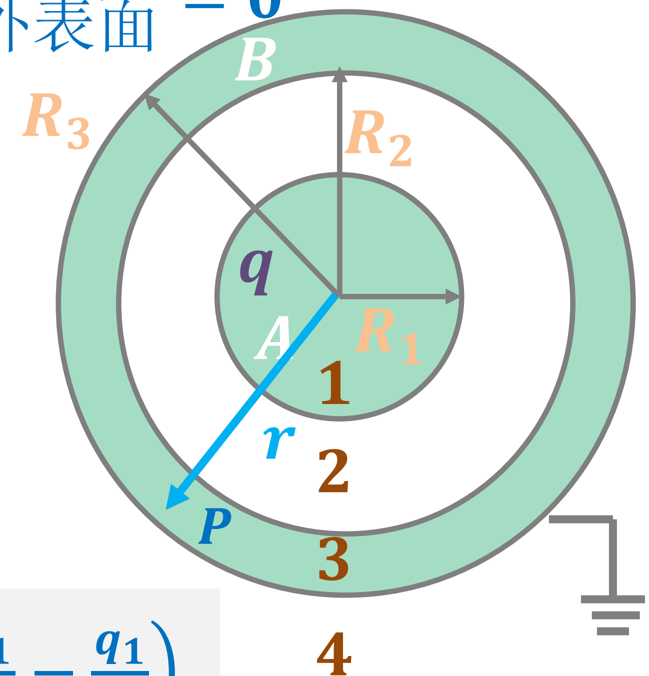
$E-r$ 和 $U-r$ 曲线

$$E_1 = 0$$
$$E_2 = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 r_2^2}$$
$$E_3 = E_4 = 0$$

解：(3) $q_A = q_1$

$q_{B内表面} = -q_1$

$q_{B外表面} = 0$



$$U_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{R_1} - \frac{q_1}{R_2}\right)$$

$$U_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{r_2} - \frac{q_1}{R_2}\right)$$

$$U_3 = U_4 = 0$$

将不带电的孤立导体置于某电场中，其上电荷和电势分布如何?

(A) 净电荷为零，电势为零
(B) 净电荷为零，电势不一定为零
(C) 电荷分布在导体外表面，电势为零
(D) 导体上无电荷，电势不一定为零

下列哪些与尖端放电现象无关?

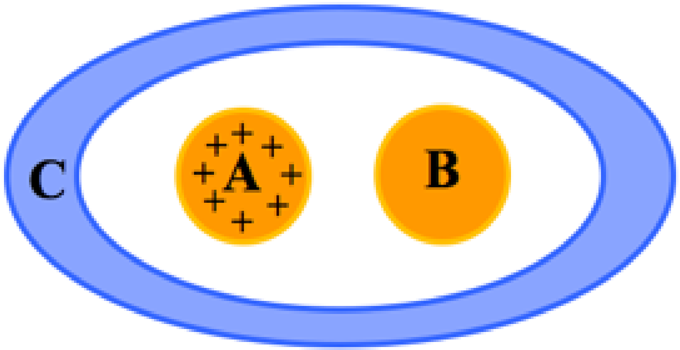
(A) 避雷针 (B) 电风 (C) 高压线光晕 (D) 高压带电检修

地球表面附近的电场强度约为100 N/C，方向垂直地面向下。假设地球上的电荷都均匀分布在地表面上，则地面的电荷面密度σ的大小是多少（SI）？($\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$(SI))

(A) 8.85×10^{-10}　(B) 17.7×10^{-10}
(C) 4.43×10^{-10}　(D) 无法算出

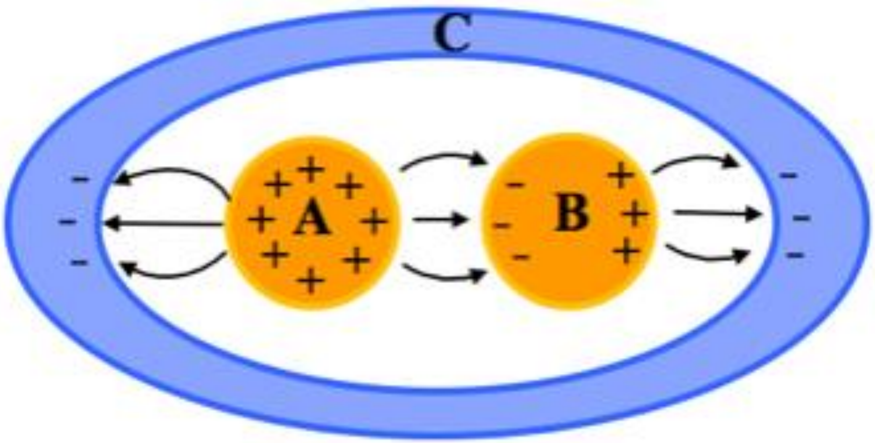
将地球视为导体，由导体表面场强和电荷面密度的关系 $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$，
地面电荷面密度为$\sigma = \varepsilon_0 E = 8.85 \times 10^{-10}(\mathrm{C/m^2})$

如图所示，一封闭的导体壳C内有两个导体A和B。B、C不带电，A带正电，则A、B、C三导体的电势U_A、U_B、U_C的大小关系是



(A) $U_B = U_A = U_C$　　(B) $U_C > U_A = U_B$

(C) $U_C > U_B > U_A$　　(D) $U_A > U_B > U_C$



由静电感应现象，感应电荷和电力线如图所示，电力线指向电势降低的方向，因此$U_A > U_B > U_C$

一个未带电的空腔导体球壳，其内外半径分别为R_1和R_2。在腔内球心处固定一电量为$+q$的点电荷，用导线把球壳接地后，再把地线撤去，选无穷远处为电势零点，则与球心相距d（$d < R_1$）处的P点和球壳的电势各为多少?

(A) $0,\ \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 R_2}$　　(B) $\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 d},\ 0$

(C) $\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 R_1},\ \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 R_2}$　　(D) $\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\dfrac{1}{d}-\dfrac{1}{R_1}\right),\ 0$

由静电感应现象，导体球壳内表面带电$-q$，外表面带电$+q$。
球壳接地后，外球壳电势为零，根据外球壳电势为零可计算出外球壳电荷为0。

点电荷$+q$ 在P点产生的电势为

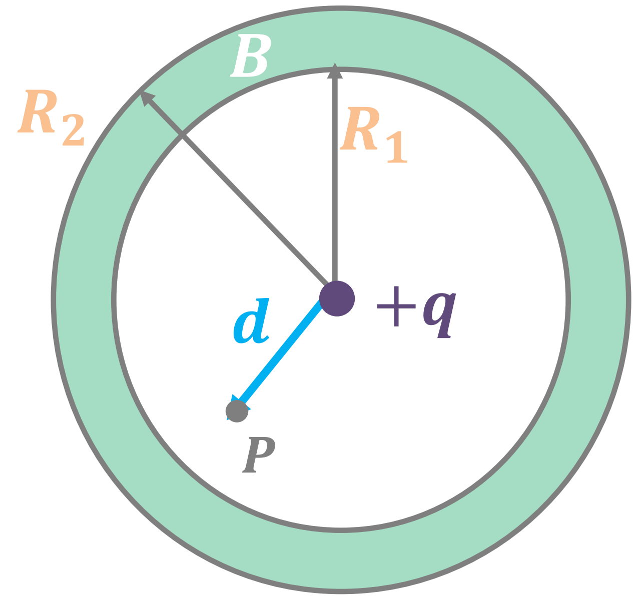
$$U_1 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 d}$$

导体球壳内表面在腔内产生的电势为

$$U_2 = \frac{-q}{4\pi\varepsilon_0 R_1}$$

所以与球心相距d（$d < R_1$）处的P点的电势为

$$U = U_1 + U_2 = \frac{-q}{4\pi\varepsilon_0 R_1} + \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 d}$$



有一个半径为R的不带电导体球，在球外距离球心r处放置一个点电荷$+q$，金属球上的感应电荷在球心处产生的电场强度的大小如何？此时导体球的电势是多少？

(A) $\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$，$\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$　　(B) $\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$，$\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 R}+\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$

(C) 0，$\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$　　(D) 0，$\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 R}+\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$

解：点电荷在球心处激发的电场强度

$E_q=\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$，**方向沿着球体半经方向远离球心。**

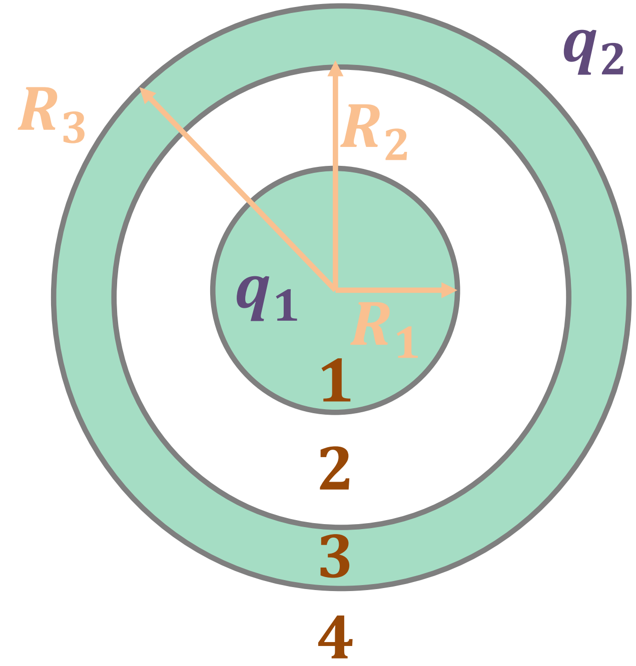
根据静电平衡条件，球体内电场强度处处为零，

则 $\vec{E}_q+\vec{E}_{球}=0$，**所以** $\vec{E}_{球}=-\vec{E}_q$

导体球上的感应电荷在球心处产生的电场强度的大小为 $\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$

此时导体球是个等势体，导体球上净电荷为零，故在球心处的电势和为零，所以导体球的电势决定于球外电荷q，即 $U=\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$。

如图，半径为R_1的实心导体球带电量为q_1，其外部同心放置一个内外半径分别为R_2和R_3的球壳，带电量为q_2。若将球与球壳用导线连接，空间四个区域的电场是怎么样的?



(A) 0，$E=\dfrac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 R_1^2}$，0，$E=\dfrac{q_1+q_2}{4\pi\varepsilon_0 R_3^2}$

(B) 0，0，0，$E=\dfrac{q_1+q_2}{4\pi\varepsilon_0 R_3^2}$

(C) 0，$E=\dfrac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 R_1^2}$，0，$E=\dfrac{q_2}{4\pi\varepsilon_0 R_3^2}$

(D) 0，0，0，$E=\dfrac{q_2}{4\pi\varepsilon_0 R_3^2}$

当球与球壳用导线连接后，二者构成了一个以区域2为空腔的一个新的球壳，总带电量为q_1+q_2。根据静电平衡后导体电荷的分布规律可知，电荷只分布在外表面，即半径为R_3的球面上。
所以空间1，2，3的电场强度均为0，
区域4的电场强度为 $E=\dfrac{q_1+q_2}{4\pi\varepsilon_0 R_3^2}$

导体的静电感应

静电平衡时 $E_{内} = 0$

$\vec{E}_{表面} \perp$ 导体表面

或：导体是等势体

表面是等势面

电荷只分布在表面

导体表面附近的场强大小遵循 $E = \dfrac{\sigma_1}{\varepsilon_0}$，方向垂直于导体表面。

静电屏蔽

导体壳不接地，只有外屏蔽效应：外部电场不影响内部，内部电场影响外部。

导体壳接地，有全屏蔽效应：外部、内部电场互不影响。

尖端放电

孤立导体曲率越大（即越尖锐）的地方，电荷越密集。

有导体存在时静电场的分析与计算

- □ 三方法结合
  - 电荷守恒
  - 静电平衡条件
  - 高斯定理

- □ 常见导体组：
  - 板状导体组
  - 球状导体组

在静电平衡时，

- 若导体**空腔内无带电体**，导体空腔上的电荷只能分布在导体空腔的**外表面**上；
- 若导体**空腔内有带电体**，导体空腔上的净电荷及感应电荷只能分布在导体空腔的**内、外表面**上，且导体**空腔的内表面所带电荷与腔内带电体的电荷的代数和为零**。

1. 当一带电体系中的电荷静止不动，从而电场分布不随时间变化时，我们说该带电体系达到了静电平衡。
2. 处于静电平衡的均匀导体，其体内的电势处处为零。
3. 处于静电平衡的均匀导体，其表面的场强也应该处处为零。
4. 处于静电平衡的均匀导体，其表面无净电荷，净电荷只能分布在导体内部。
5. 处于静电平衡的空腔导体，其内表面是否带电，可以用静电场的环路定理进行分析。
6. 处于静电平衡的空腔导体，其内表面是否带电，可以结合静电平衡条件和高斯定理进行分析。
7. 处于静电平衡的空腔导体，其外表面是否带电，可以用电荷守恒定律进行分析。
8. 如果空腔导体内部有电荷，它必然会影响导体外的电场。

腔内电荷量发生变化，导体外的电场将随之改变。但如果把空腔导体外表面**接地**，这样导体与大地等电势，空腔就屏蔽了内电荷对外电场的影响。