

静电屏蔽

导体空壳

- 导体空壳一般分为两类
 - 壳内没有带电体
 - 壳内有带电体
- 讨论两类空壳在静电平衡时的电场、电势和电荷分布，只讨论达到平衡的情况，不考虑动态问题。

1、实心导体

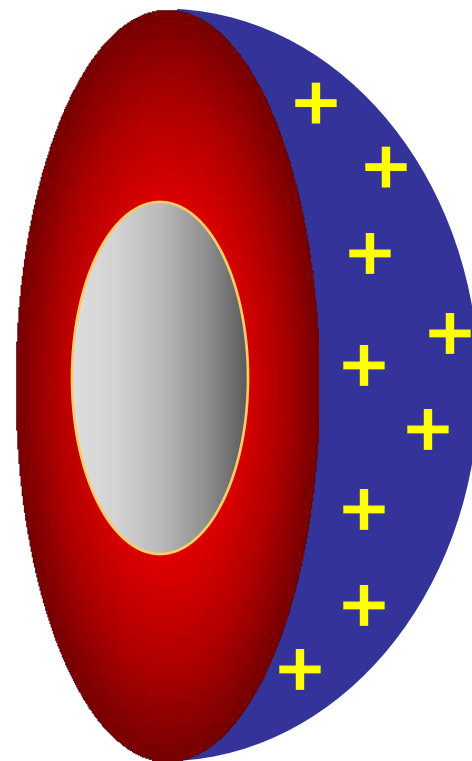
电荷分布在导体表面，导体内部场强处处为零。

2、空壳导体

(1) 壳内无带电体：

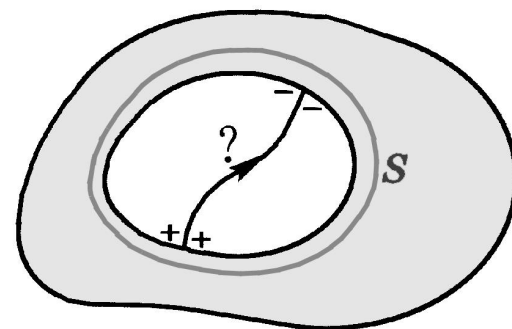
电荷分布在导体表面，导体内部及壳体的内表面处处无净电荷。空壳内处处 $E=0$ ，空壳内处处电势相等

——和实心导体一样。



壳内无带电体

- 证明：作Gauss面如图



$$\Phi_E = \oiint_{S_{\text{内}}} \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0$$

必然会有电力线起始于内表面上带正电荷处，
内表面不是等势面 ——
导体也不是等势体，矛盾

$$S_{\text{面内}} \sum q = 0$$

内表面电荷代数和为零？

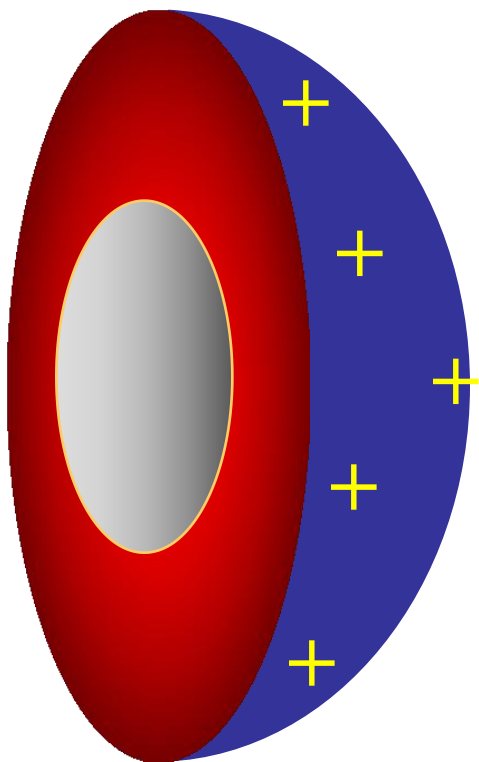
内表面无电荷 $\sum q = 0 \rightarrow$

$$\sigma_{e\text{内}} = 0$$

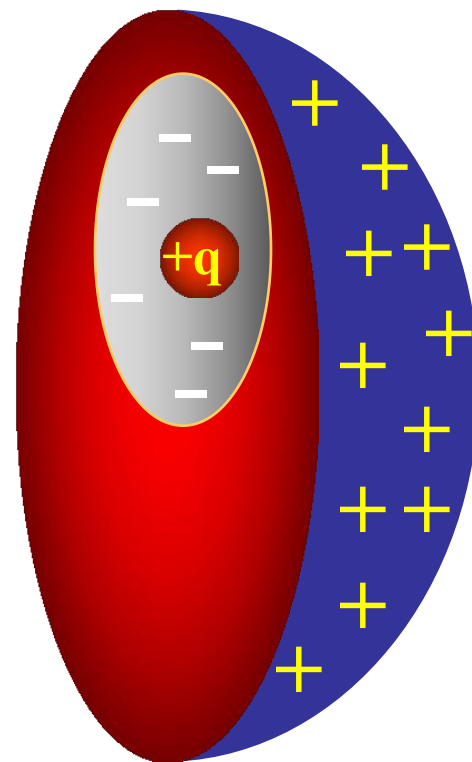
(2) 壳内有带电体:

壳体内表面所带的电量和壳内带电体所带的电量等量异号，壳体外表面所带的电量由电荷守恒定律决定。

未引入 q 时



放入 q 后

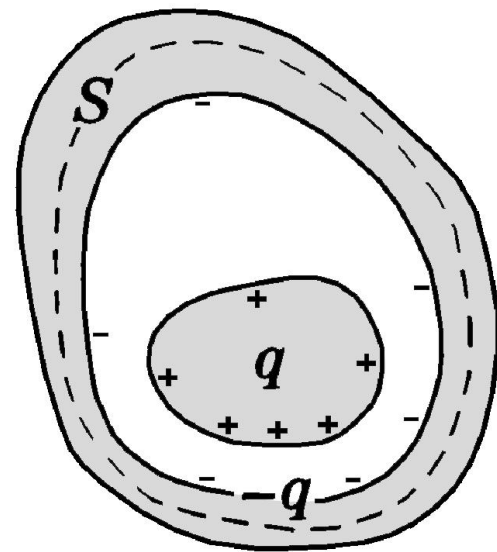


- 导体内表面上所带电荷与壳内电荷的代数和为零

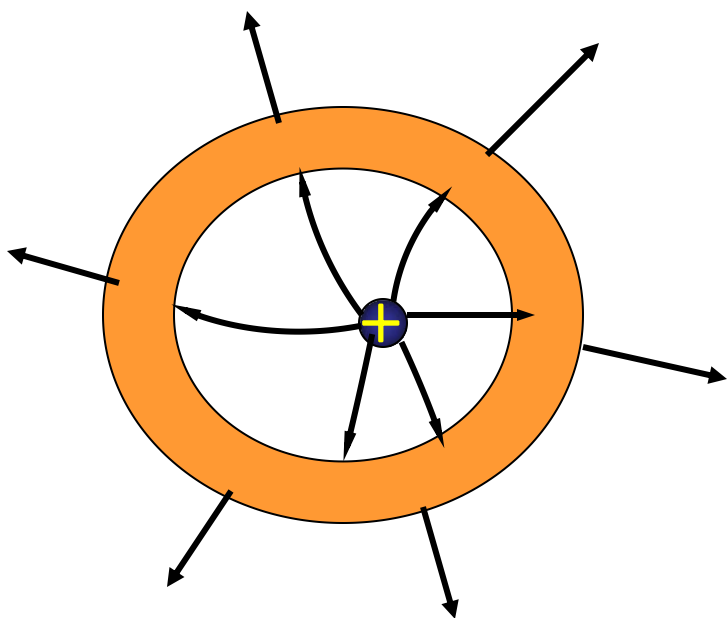
证明：作Gauss面如图

$$E_{\text{内}}=0 \Rightarrow \Phi_E = \oiint_{S_{\text{内}}} \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0$$

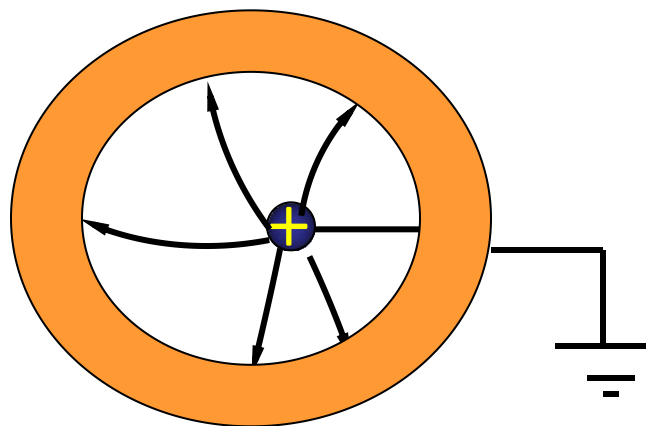
$$\sum q = 0 = q + x \Rightarrow x = -q$$



所以壳体内表面所带的电量和壳内带电体所带的电量等量异号，壳体外表面所带的电量由电荷守恒定律决定，壳外导体和电场不影响壳内电场。



壳内电荷的位置不影响
导体外电场



外表面接地，壳
外电场消失。

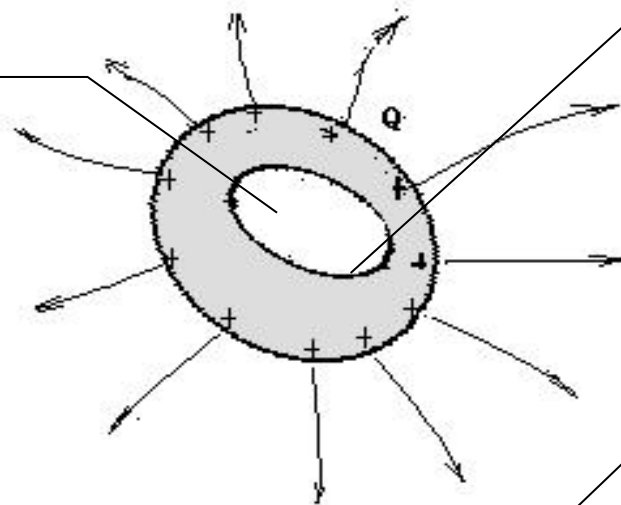
静电屏蔽现象

静电平衡状态

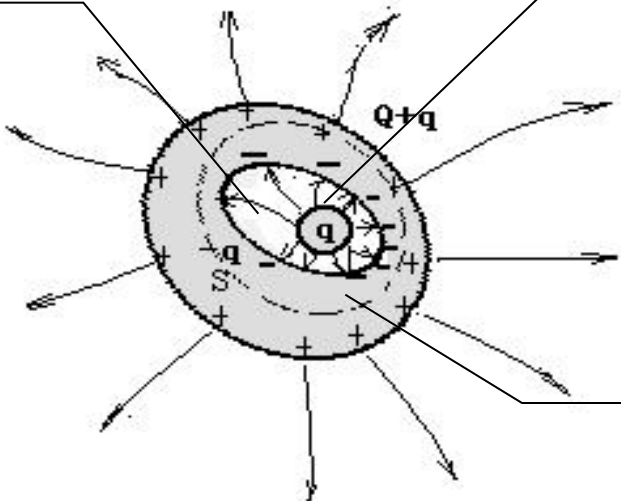
空壳提供了一个静电屏蔽的条件

不论导体壳本身是否带电，还是外界是否存在电场，壳内和导体内都无电场

不论导体壳本身是否带电，还是外界是否存在电场，都不影响壳内的场强分布



起到了保护作用，使其不受壳外表面电荷分布以及外界电场的作用——静电屏蔽



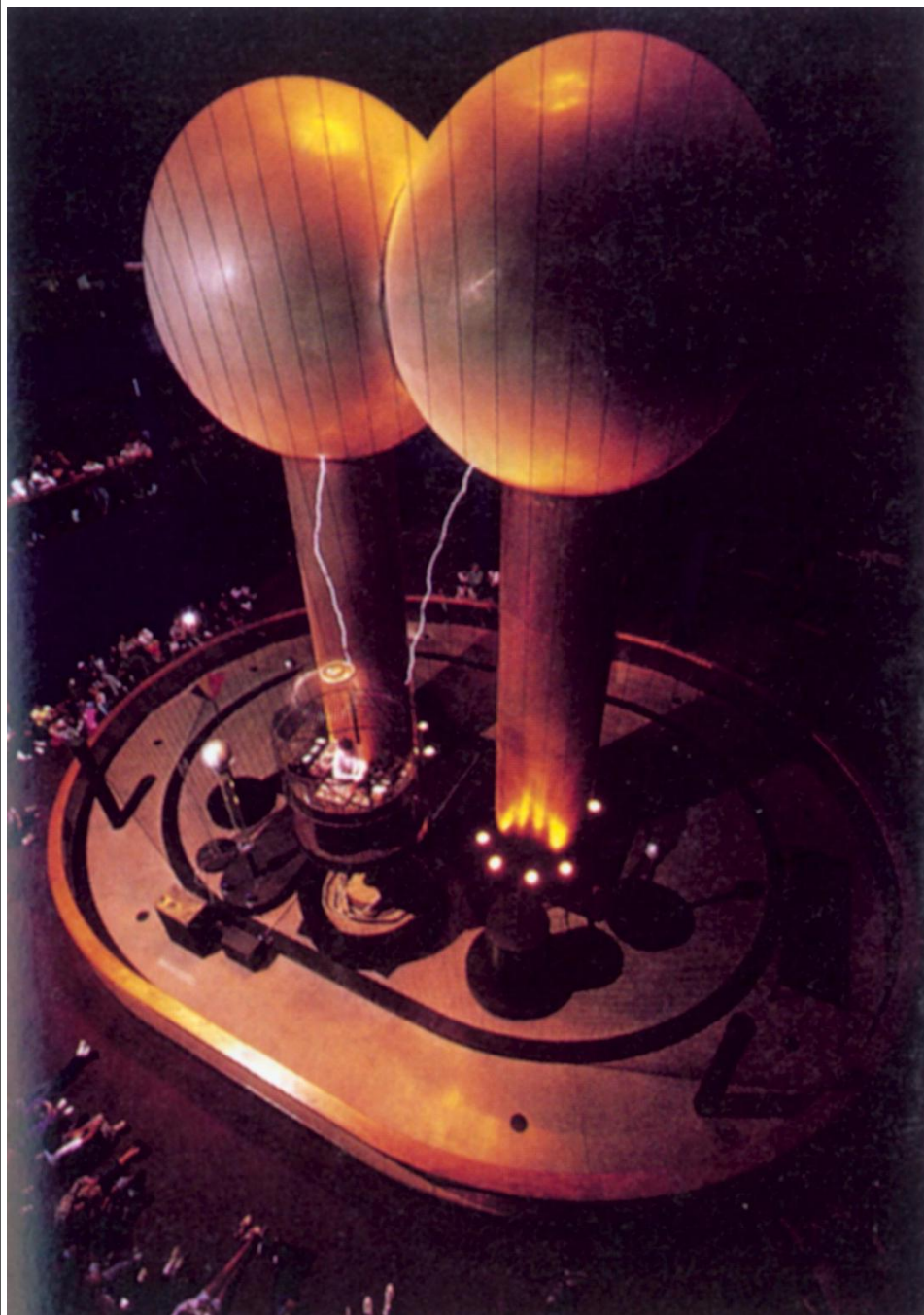
外 $\xrightarrow{\text{无影响}}$ 内
外 $\xleftarrow{\text{有影响}}$ 内

若外壳接地，内、外均无影响



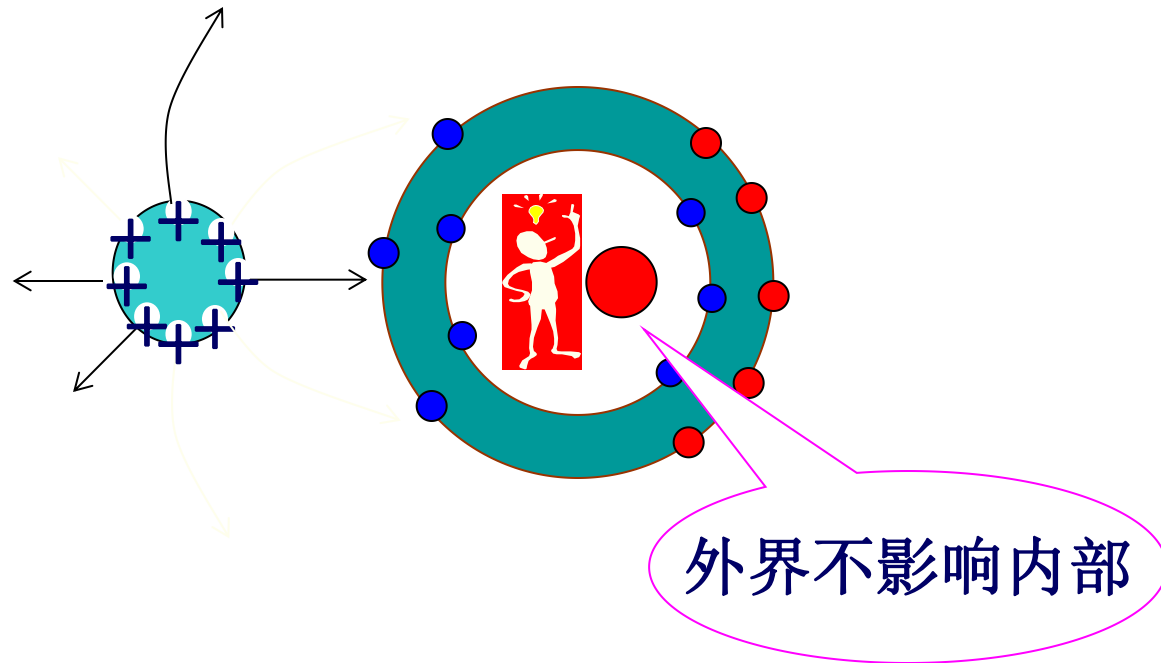
FIGURE 26-20 A large spark jumps to the car's body and then exits by moving across the insulated left front tire (note the flash there), leaving the person inside unharmed.

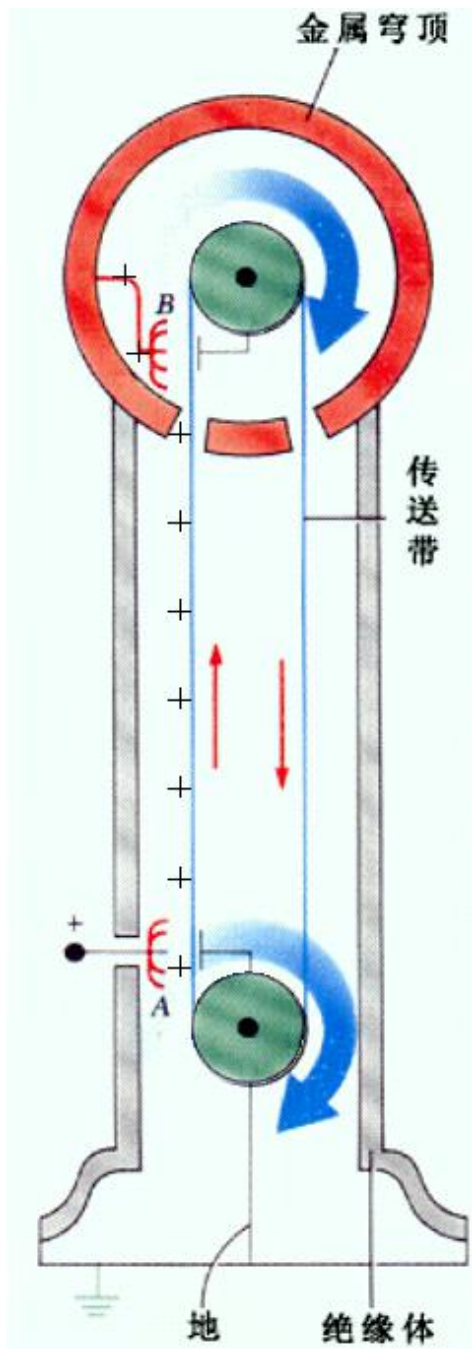




应用

- 在电子仪器、或传输微弱信号的导线中都常用金属壳或金属网作静电屏蔽。
- 高压设备都用金属导体壳接地做保护



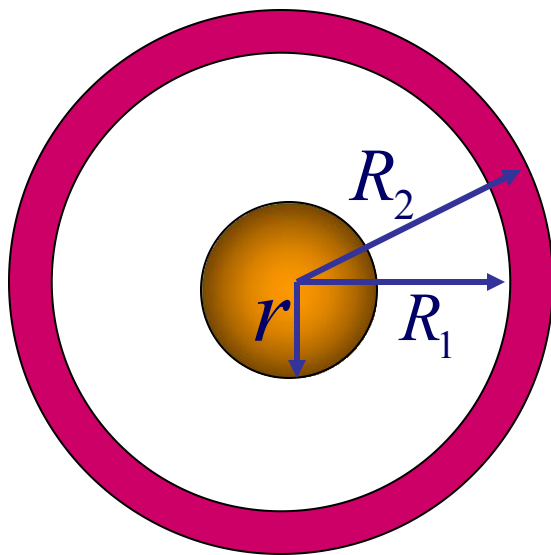


范德格拉夫起电机示意图

- 原理：
利用导体处于静电平衡状态时，**所带电荷全部分布在导体表面和尖端放电原理**，使导体球的表面所带的电荷不断增加，从而使导体球和地之间的电势差 U 不断增大。
- 静电加速器能量：最高能量为几十Mev

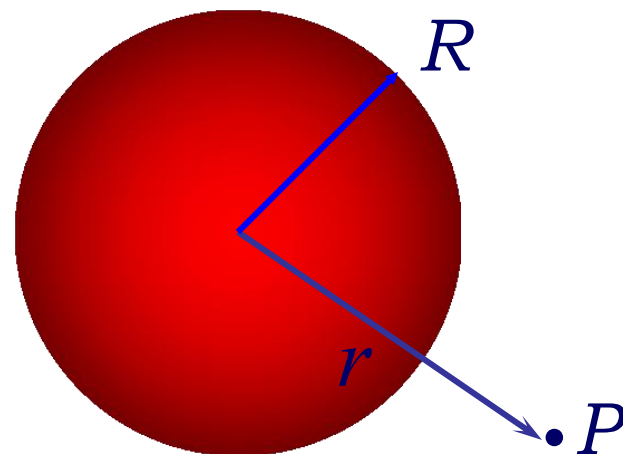
例： 在内外半径分别为 R_1 和 R_2 的导体球壳内，有一个半径为 r 的导体小球，小球与球壳同心，让小球与球壳分别带上电荷量 q 和 Q 。试求：

- (1) 小球的电势 U_r ，球壳内、外表面的电势；
- (2) 小球与球壳的电势差；
- (3) 若球壳接地，再求小球与球壳的电势差。



均匀带电球面的电势分布

$$U = \begin{cases} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R} & r < R \\ \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} & r > R \end{cases}$$



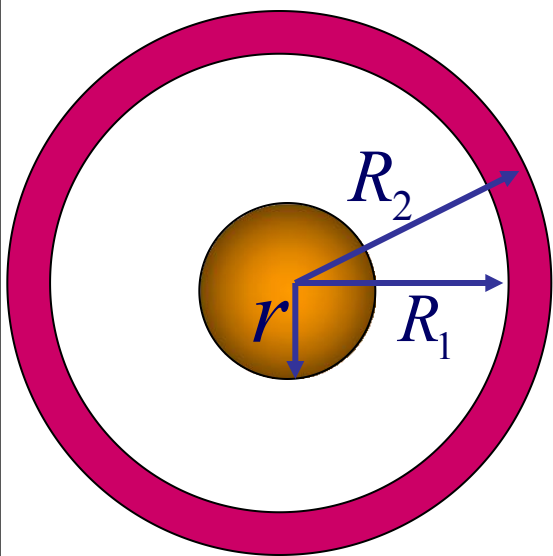
电场形式取决于场点在面内还是面外

解：（1）由对称性可以肯定，小球表面上和球壳内外表面上的电荷分布是均匀的。小球上的电荷 q 将在球壳的内外表面上感应出 $-q$ 和 $+q$ 的电荷，而 Q 只能分布在球壳的外表面上，故球壳外表面上的总电荷量为 $q+Q$ 。利用电势叠加原理，小球和球壳内外表面的电势分别为

$$U_r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q}{r} - \frac{q}{R_1} + \frac{q+Q}{R_2} \right)$$

$$U_{R_1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q}{R_1} - \frac{q}{R_1} + \frac{q+Q}{R_2} \right) = \frac{q+Q}{4\pi\epsilon_0 R_2}$$

$$U_{R_2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q}{R_2} - \frac{q}{R_2} + \frac{q+Q}{R_2} \right) = \frac{q+Q}{4\pi\epsilon_0 R_2}$$



球壳内外表面的电势相等。

(2) 两球的电势差为

$$U_r - U_R = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R_1} \right)$$

(3) 若外球壳接地，则球壳外表面上的电荷消失 $q+Q=0$ 。两球各个的球面的电势分别为

$$U_r = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R_1} \right) \quad U_{R_1} = U_{R_2} = 0$$

两球的电势差仍为

$$U_r - U_R = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R_1} \right)$$

由结果可以看出，不管外球壳接地与否，两球的电势差恒保持不变；

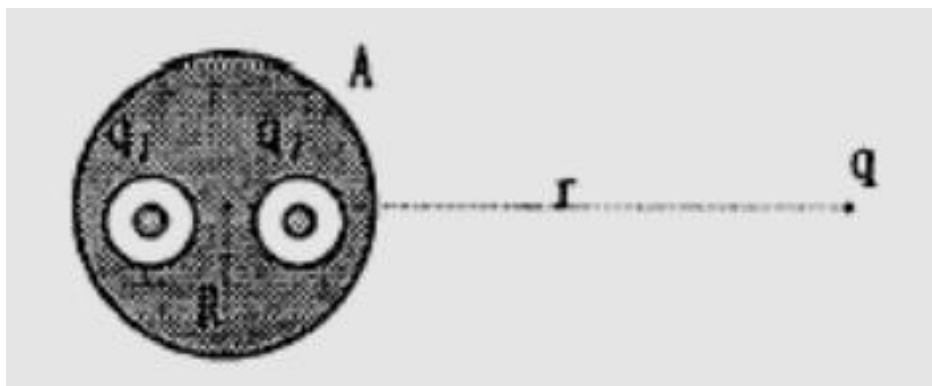
如果两球用导线相连或小球与球壳相接触，则不论 q 是正是负，也不管球壳是否带电，电荷 q 总是全部迁移到球壳的外边面上，直到 $U_r - U_R = 0$ 为止。

课下思考：引力能否屏蔽？

课下作业

如图所示，在金属球A内有两个球形空腔，此金属球整体不带电，在两空腔中心各放置一个点电荷 q_1 和 q_2 。此外在金属球A之外远处放置一个点电荷 q （ q 至A中心的距离为 r ，远大于球A的半径 R ）。

求①作用在A、 q_1 、 q_2 、 q 四物体上的静电力是多少？②点电荷 q 和点电荷 q_1 、 q_2 的静电力分别是多少？



谢谢

