

物理学院



大学物理·电磁学

主讲教师：吴喆

第 10章 静电学

10.1 电场 电场的描述

10.2 静电场的高斯定理

10.3 静电场的环路定理；电势

10.4 静电场中的导体

10.5 电介质

10.6 电容和电容器

10.7 静电场的能量



10.4 静电场中的导体

10.4.1 金属导体和电场的相互作用

金属导体特征：体内存在大量的**自由电子**

- (1) 无外场时自由电子无规运动：“电子气” (2) 在外场 \vec{E}_0 中，无规运动+宏观定向运动 “静电感应”

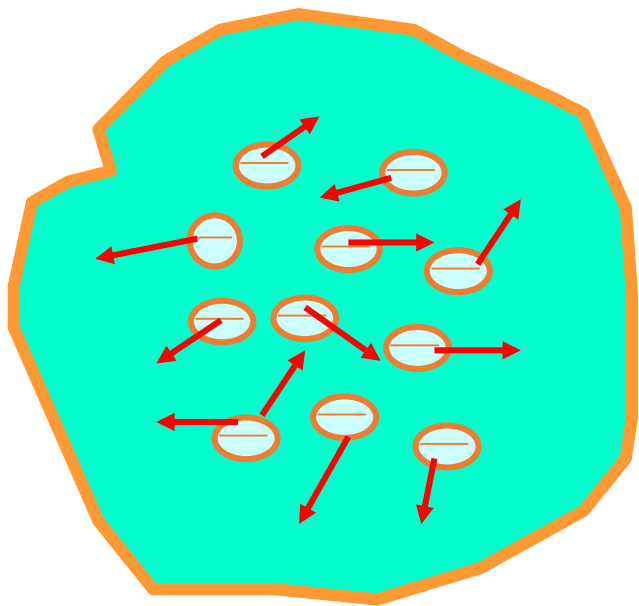


图1 (a) 无外场时的导体

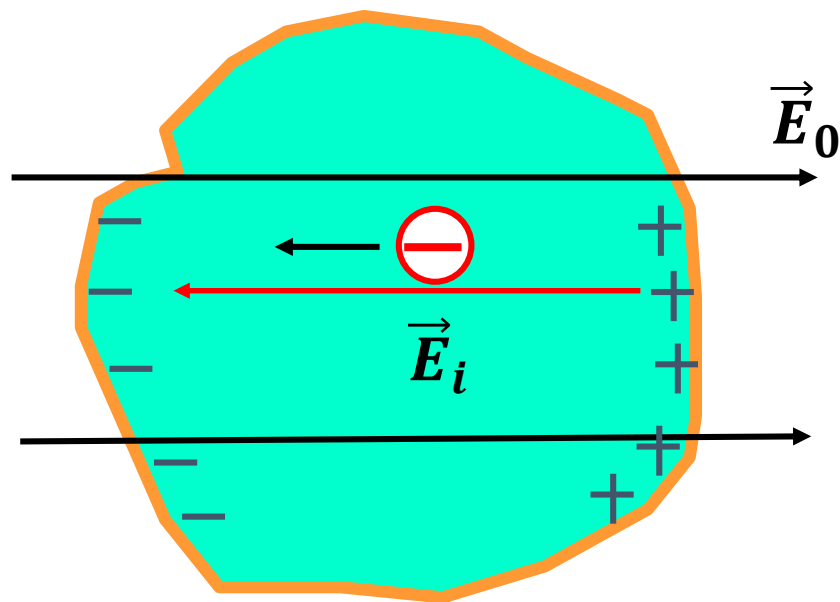


图1 (b) 外场中的导体 (开始阶段)

10.4.2 导体的静电平衡

导体内部及表面均无电荷定向运动，导体上电荷及空间电场分布达到稳定。

静电平衡条件：

或：

(1) 导体内部的场强处处为零, 即 $\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_i = 0$

(1) 导体是**等势体**；

(2) 导体表面附近的场强方向垂直于导体表面。

(2) 导体表面是等势面，且表面电势与内部相等。

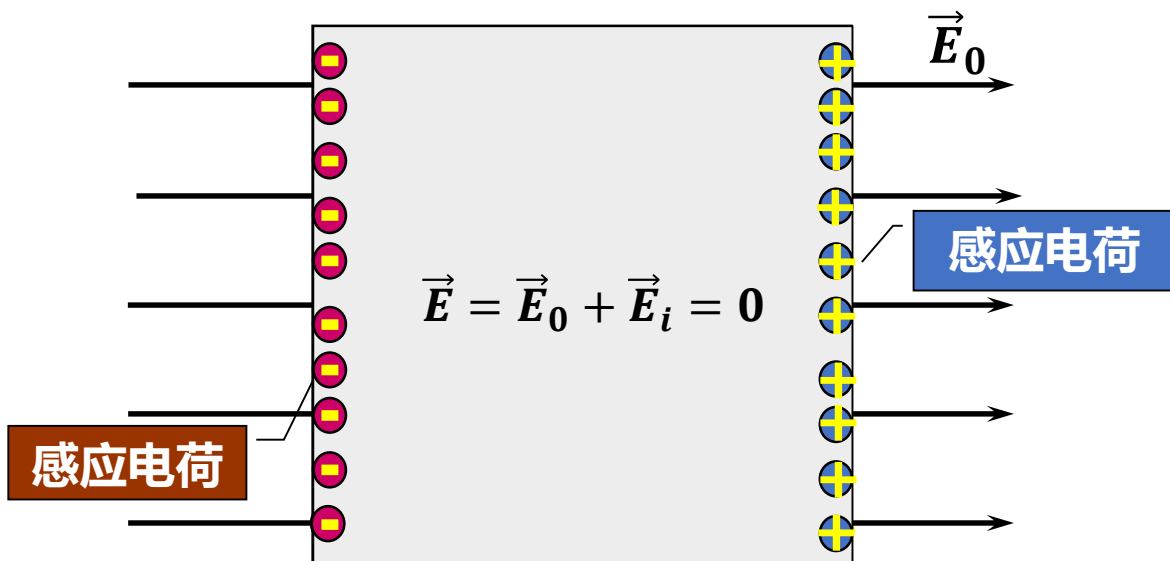


图2 导体的静电平衡条件

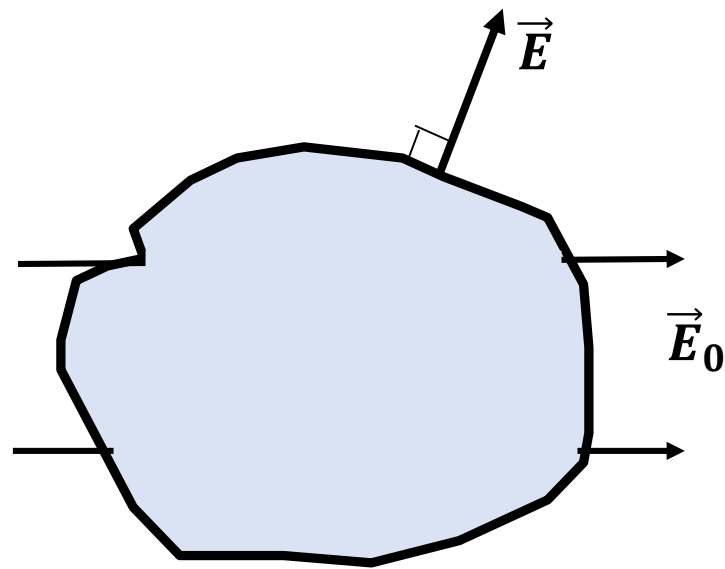


图3 静电平衡的导体

10.4.3 静电平衡时导体中的电荷分布

(1) 实心导体的电荷只能分布在导体的表面上

在导体内任取一高斯面 S (宏观小, 微观大)

$$\oint_S \vec{E}_{\text{内}} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q_{\text{内}} = \int_V \frac{1}{\epsilon_0} \rho dV$$



静电平衡条件 $\vec{E}_{\text{内}} = 0$ $\therefore \rho = 0$, 净电荷只分布于外表面

(2) 腔内无带电体的导体空腔, 电荷只能分布在外表面上。

紧贴内表面作高斯面 S

$$\oint_S \vec{E}_{\text{内}} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q_{\text{内}} = \frac{1}{\epsilon_0} \int_{\text{内表面}} \sigma dS = 0 \quad \text{即空腔内表面无净电荷。}$$

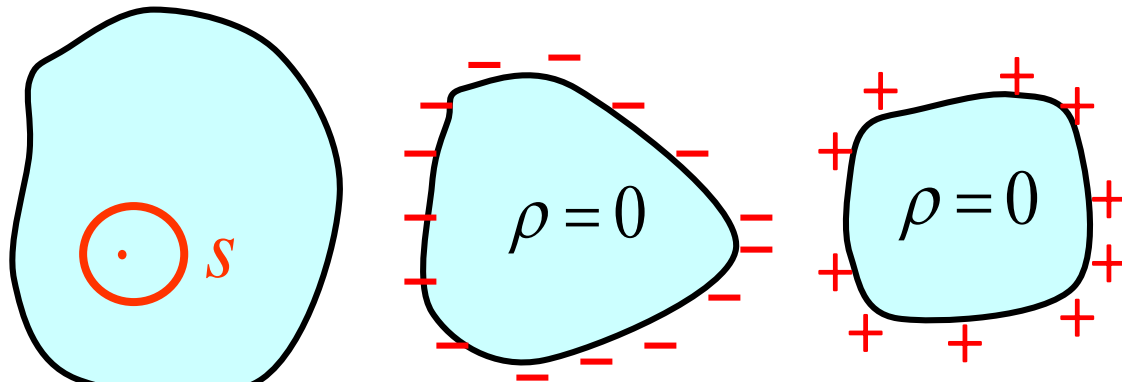


图4 实心导体的电荷分布

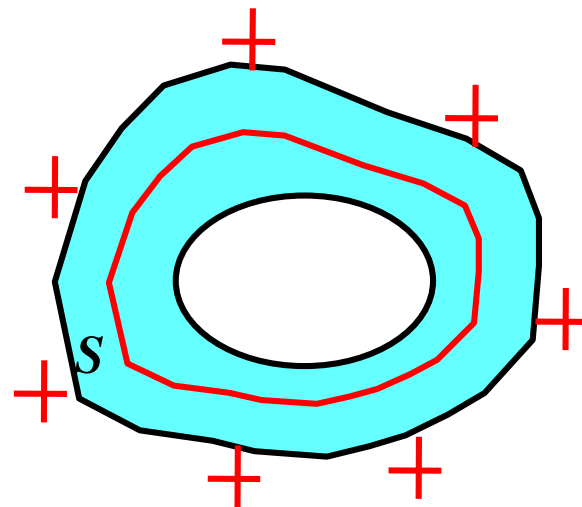


图5 空心导体的电荷分布

(2) 腔内无带电体的导体空腔，电荷只能分布在外表面上。

空腔内表面无净电荷。但是否会出现 $\sigma_{\text{内}} \neq 0$ 的情况？如图6。

$\rho = 0, \sigma = 0$ 净电荷只能分布于外表面，如图7。

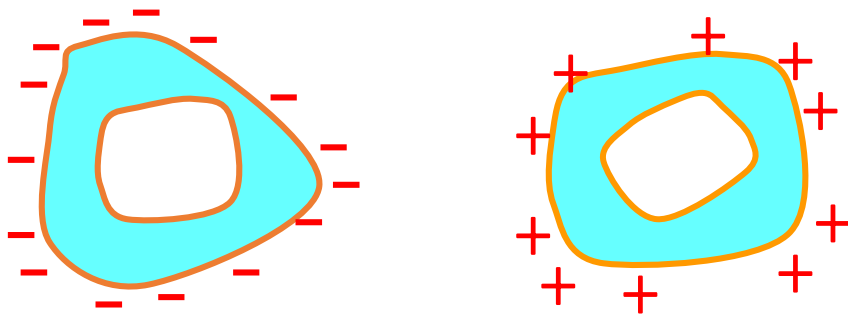


图7 空心导体带（左）负电荷（右）正电荷

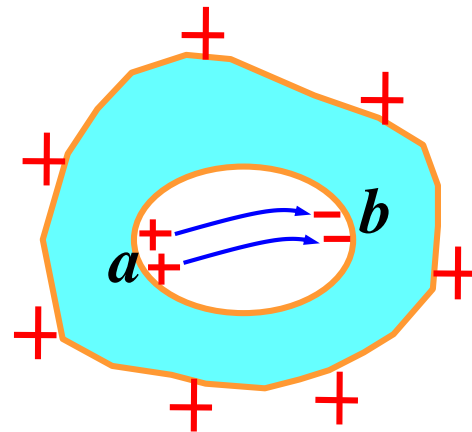


图6 内部出现等量异号电荷

(3) 腔内有带电体 q 的导体空腔，若带电 Q

则空腔内表面带电 $-q$ ，空腔外表面带电 $q+Q$ 。

紧贴内表面作高斯面 S $\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} (q + q_{\text{内}})$

$$q_{\text{内}} = -q$$

由**电荷守恒定律**可得

$$q_{\text{外}} = Q + q$$

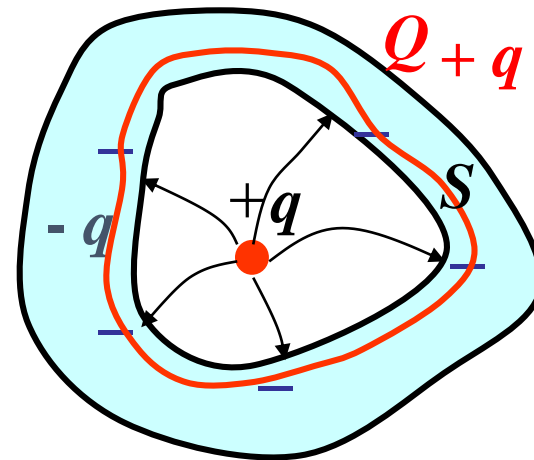


图8 腔内右电荷的空心导体的电荷分布

10.4.4 静电屏蔽

- 电场线不能进入腔内，即：**静电屏蔽**。
- 静电屏蔽的两种方式：
 - (1) 不接地的空心导体，保护内部物体不受外电场的影响
 - (2) 接地的空心导体，保护外界不受导体内部电场的影响。

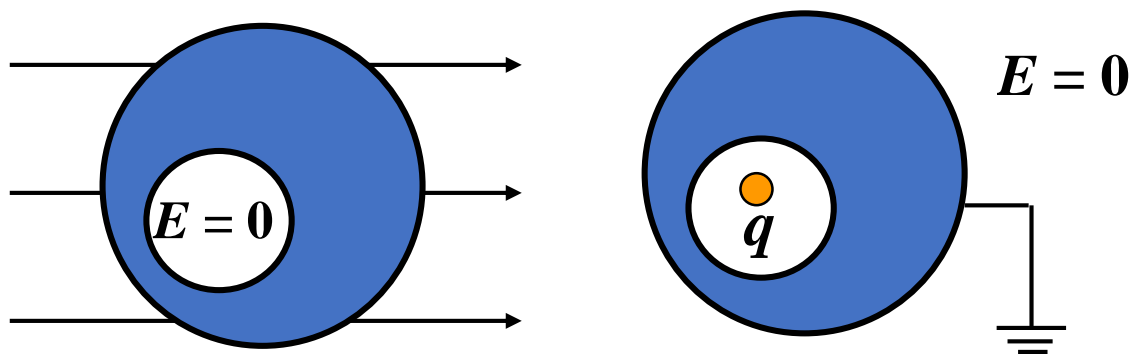


图 10 空心导体的静电屏蔽 (左) 不接地; (右) 接地

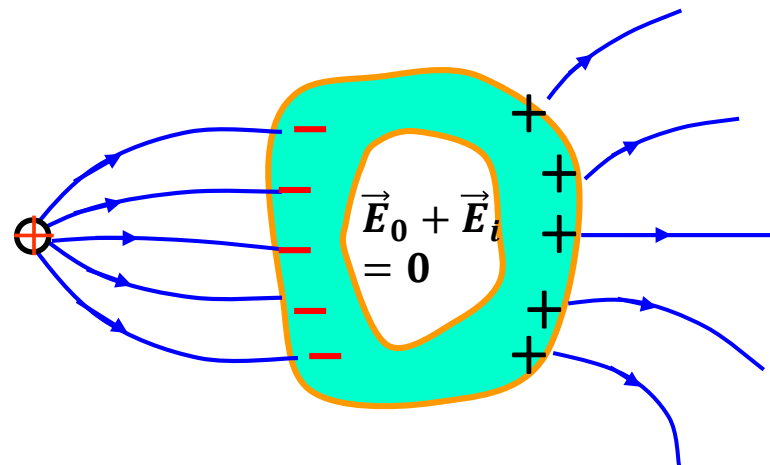


图 9 空心导体的静电屏蔽



图 11 法拉第笼

10.4.5 导体表面附近的场强

过导体表面紧邻处 P 点作平行于表面的面元 ΔS ，以 ΔS 为底，过 P 点的法向为轴，作如图高斯面 S 。

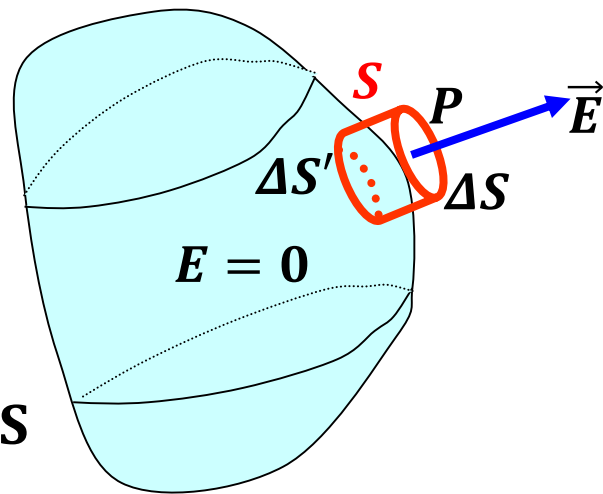


图 12 导体附近的场强 (示意图)

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \int_{\Delta S} \vec{E} \cdot d\vec{S} + \int_{\Delta S'} \vec{E} \cdot d\vec{S} + \int_{S_{\text{侧}}} \vec{E} \cdot d\vec{S} = E\Delta S = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \sigma\Delta S$$

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \vec{e}_n$$

导体表面附近的场强，大小与该处面电荷密度 σ 成正比，方向垂直于导体表面。

- 带电导体表面附近的电荷密度 σ 分布与表面的曲率相关

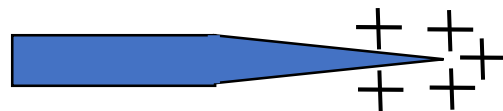


图 13 带电导体的尖端效应



图 14 避雷针



物理学院

谢谢大家!