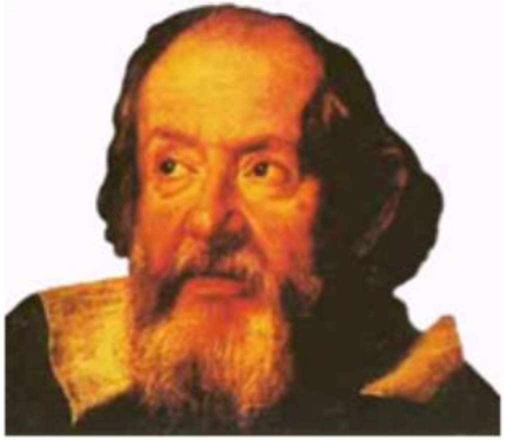
欢迎回到大学物理课堂！

科学的真理不应在古代圣人的蒙着灰尘的书上去找，而应该在实验中和以实验为基础的理论中去找。真正的哲学是写在那本经常在我们眼前打开着的最伟大的书里面的，这本书就是宇宙，就是自然界本身，人们必须去读它。

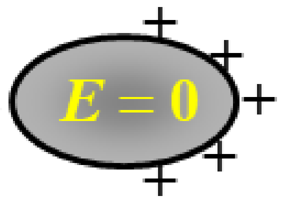
——伽利略(意大利)



2.1 静电场中的导体

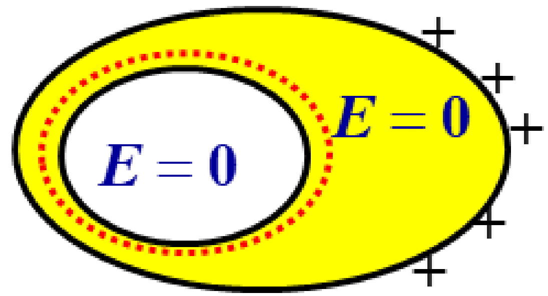
具体分析

(1) 实心导体



(2) 空腔导体

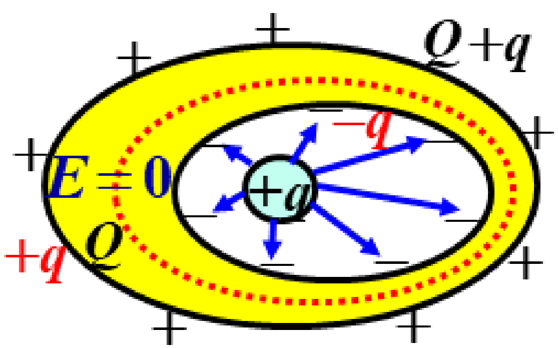
(a) 空腔内无电荷



(b) 空腔内有电荷

内表面电荷 $-q$

外表面电荷？
- 壳中性： q
- 壳带电 Q： $Q+q$



单选题 1分

设置

有两个带电不等的金属球，直径相等，但一个是空心，一个是实心的。现使它们互相接触，则这两个金属球上的电荷

A 不变化。

B 平均分配。

C 空心球电荷多。

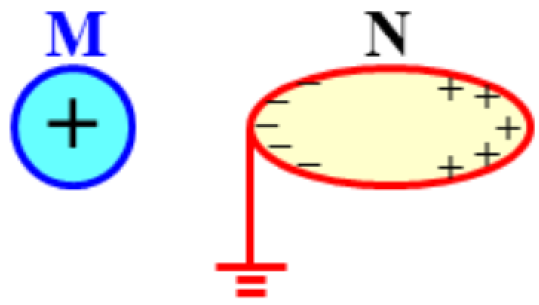
D 实心球电荷多。

提交

单选题 1分

设置

一正电荷M，靠近一不带电的导体N，N的左端感应出负电荷，右端感应出正电荷，若将N的左端接地，如图所示，则



A N带正电荷。

B N带负电荷。

C N上的电荷不动。

D N上的所有电荷都消失。

提交

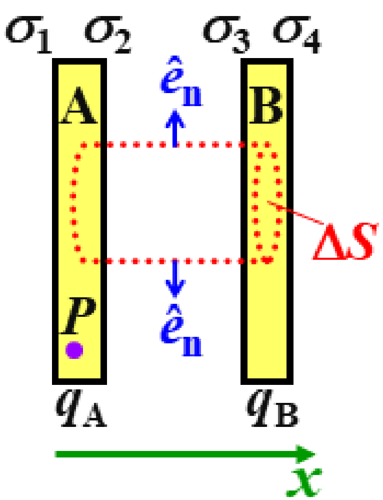
2.1 导体

[例] 两金属板A、B长宽分别相等，且均远大于板间距，带电 q_A、q_B，板面积为 S，求每板的电荷面密度。

解：

$$\oint_S \vec{E}\cdot d\vec{S} = \frac{(\sigma_2+\sigma_3)\Delta S}{\varepsilon_0} = 0$$

$$\sigma_2 = -\sigma_3$$



在A中取一 P 点，

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

$$\sigma_1 = \sigma_4$$

由电荷守恒：

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

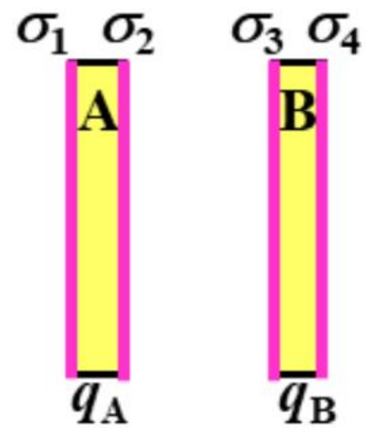
$$q_B = \sigma_3 S + \sigma_4 S$$

$$\begin{cases} \sigma_1 = \sigma_4 = \dfrac{q_A+q_B}{2S} \\ \sigma_2 = -\sigma_3 = \dfrac{q_A-q_B}{2S} \end{cases}$$

2.1 导体

讨论

$$\begin{cases} \sigma_1 = \sigma_4 = \dfrac{q_A + q_B}{2S} \\ \sigma_2 = -\sigma_3 = \dfrac{q_A - q_B}{2S} \end{cases}$$



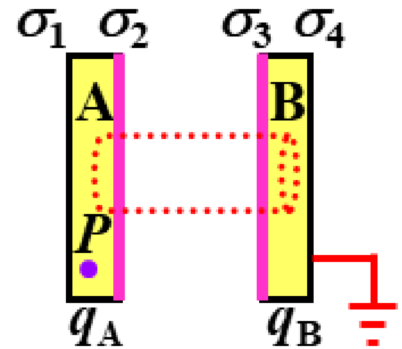
(1) $q_A = -q_B$ $\begin{cases} \sigma_1 = \sigma_4 = 0 \\ \sigma_2 = -\sigma_3 = q_A/S \end{cases}$ 电荷分布在两板内壁

(2) $q_A = q_B$ $\begin{cases} \sigma_1 = \sigma_4 = q_A/S \\ \sigma_2 = \sigma_3 = 0 \end{cases}$ 电荷分布在两板外壁

(3) $q_B = 0$ $\sigma_1 = \sigma_2 = -\sigma_3 = \sigma_4 = \dfrac{q_A}{2S}$

2.1 导体

讨论



(4) B 板接地 $\sigma_4 = 0$

A 板上的电荷仍守恒 $q_A = \sigma_1 S + \sigma_2 S$

由高斯定理仍可得 $\sigma_2 = -\sigma_3$

在 A 中取一 P 点， $\sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3 = 0$

联立求解可得： $\begin{cases} \sigma_1 = \sigma_4 = 0 \\ \sigma_2 = -\sigma_3 = q_A / S \end{cases}$

电荷分布在两板内壁

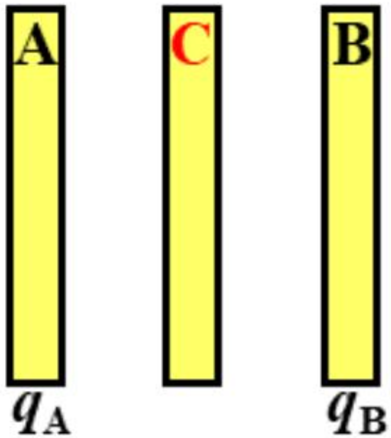
? 板间场强

2.1 导体

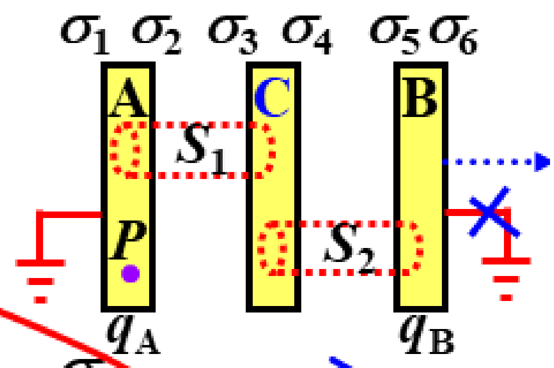
[例] 两金属板 A、B 长宽分别相等，且均远大于板间距，带电 q_A、q_B，其间插入中性金属板 C，三板面积均为 S。

(1) 求每板的电荷面密度。

(2) 如果使 B 板接地，求 AB 间电场强度的大小 E。



插入中性金属板C



做高斯面 S_1， $\sigma_2 = -\sigma_3$

做高斯面 S_2， $\sigma_4 = -\sigma_5$

在A板内取一 P 点 $\sigma_1 = \sigma_6$

$$E_P = \frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma_3}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma_4}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma_5}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma_6}{2\varepsilon_0} = 0$$

电荷守恒
$$\begin{cases} \sigma_3 = -\sigma_4 \\ q_A = (\sigma_1 + \sigma_2)S \\ \cancel{q_B = (\sigma_5 + \sigma_6)S} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sigma_1 = \sigma_6 = \dfrac{q_A + q_B}{2S} \\ \sigma_2 = -\sigma_3 = \sigma_4 = -\sigma_5 = \dfrac{q_A - q_B}{2S} \end{cases}$$

单选题 1分

设置

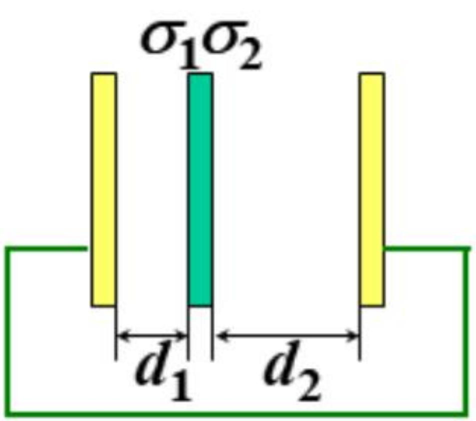
三块互相平行的导体板，相互之间的距离 d_1 和 d_2 比板面积线度小得多，**外面二板用导线连接。中间板上带电，**设左右两面上电荷面密度分别 σ_1 和 σ_2，如图所示。则比值 σ_1/σ_2 为

A d_1/d_2。

B d_2/d_1。

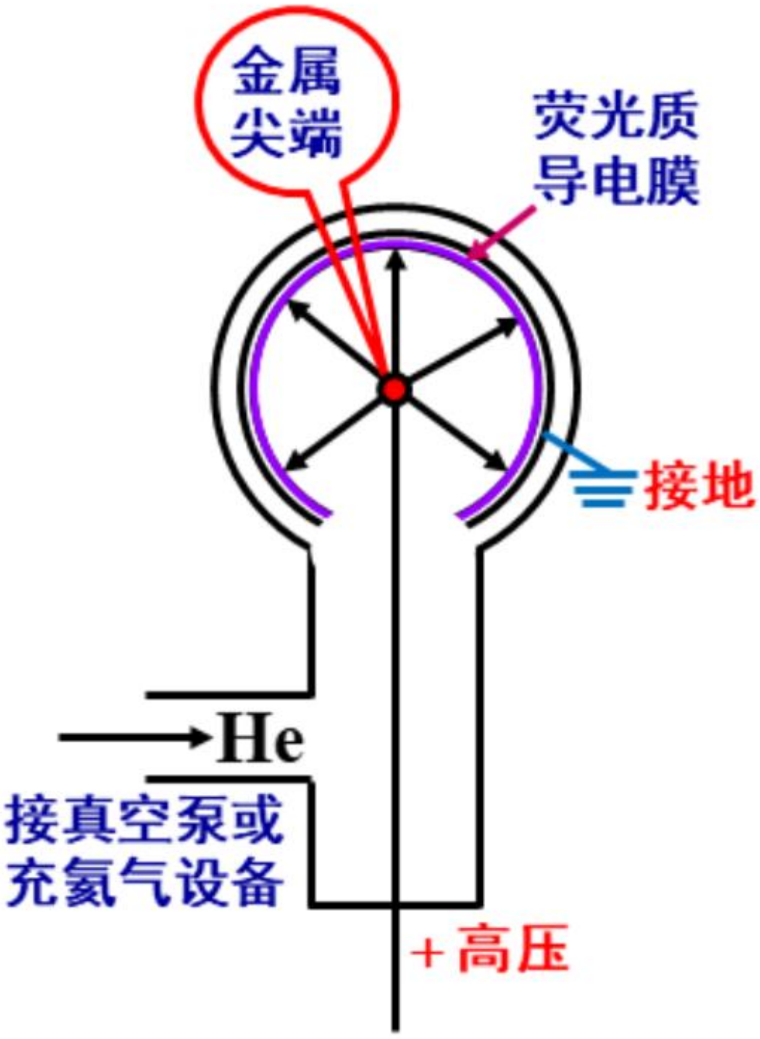
C 1。

D d_2^2/d_1^2。



提交

2.1 导体



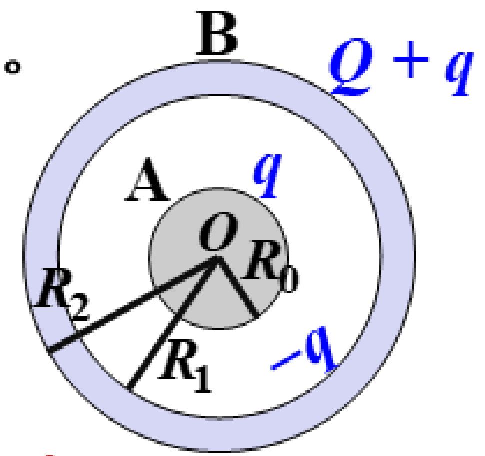
场致发射离子显微镜

2.1 导体

[例]　金属球A与金属球壳B同心放置。

已知：球A半径为R_0，带电为q，壳B内外半径分别为R_1、R_2，带电为Q。

求：1）场强分布；



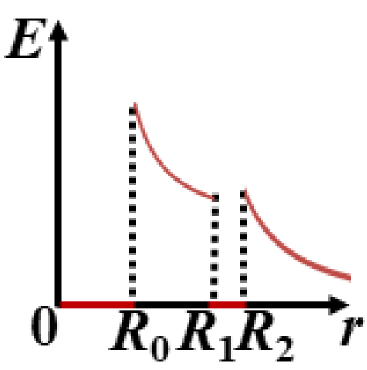
解：1）由高斯定理可得：

$$r < R_0, \qquad E_1 = 0$$

$$R_0 < r < R_1, \quad \vec{E}_2 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\hat{e}_r$$

$$R_1 < r < R_2, \quad E_3 = 0$$

$$r > R_2, \qquad \vec{E}_4 = \frac{q+Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\hat{e}_r$$



(此结果可由场强叠加原理获得)

2.1 导体

[例] 实心导体球被同心导体球壳包围，导体球带电 q，壳带电 Q，求：（1）场强分布；（2）内球电势 φ_1；（3）外壳接地，$\varphi_1 = ?$

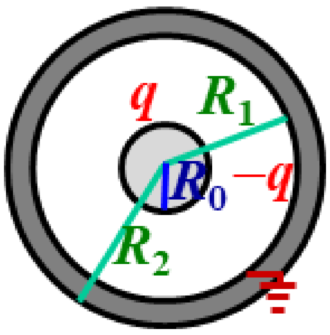
解：（2）

$$\varphi_1 = \int_r^\infty \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = \int_r^\infty E\mathrm{d}r$$

$$= \int_r^{R_0} 0\,\mathrm{d}r + \int_{R_0}^{R_1} \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\mathrm{d}r + \int_{R_1}^{R_2} 0\,\mathrm{d}r + \int_{R_2}^{\infty} \frac{q+Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\mathrm{d}r$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R_0} + \frac{-q}{4\pi\varepsilon_0 R_1} + \frac{q+Q}{4\pi\varepsilon_0 R_2}$$

此结果也可用电势叠加原理获得。

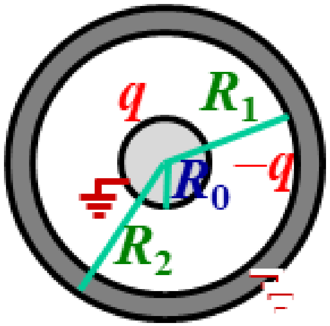


（3）$\varphi_1 = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 R_0} + \dfrac{-q}{4\pi\varepsilon_0 R_1}$

2.1 导体

[例] 实心导体球被同心导体球壳包围，导体球带电 q，壳带电 Q，求：(1) 场强分布；(2) 内球电势 φ_1；(3) 外壳接地，$\varphi_1 = ?$ (4) 拆开接地线后将内球接地，$\varphi_2 = ?$

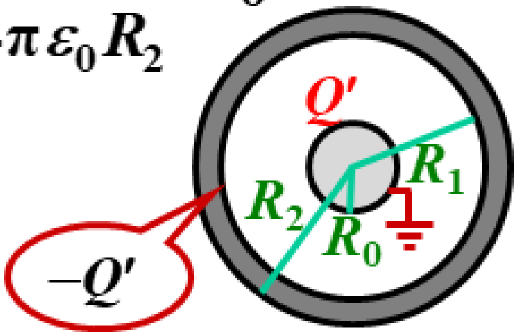
解：(2) $\varphi_1 = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 R_0} + \dfrac{-q}{4\pi\varepsilon_0 R_1} + \dfrac{q+Q}{4\pi\varepsilon_0 R_2}$



(3) $\varphi_1 = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 R_0} + \dfrac{-q}{4\pi\varepsilon_0 R_1}$

(4) $\varphi_1 = \dfrac{Q'}{4\pi\varepsilon_0 R_0} + \dfrac{-Q'}{4\pi\varepsilon_0 R_1} + \dfrac{Q'-q}{4\pi\varepsilon_0 R_2} = 0$ $(Q'-q)$

$$Q' = \frac{q}{R_2}\left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)^{-1}$$



2.1 导体

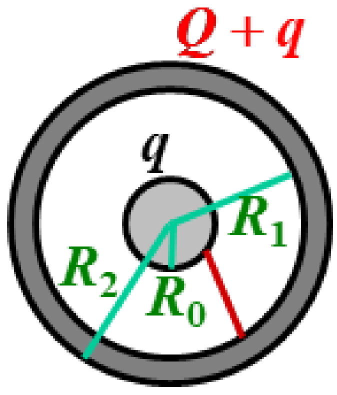
[例] 实心导体球被同心导体球壳包围，导体球带电 q，壳带电 Q，求：(1) 场强分布；(2) 内球电势 φ_1；(3) 外壳接地，$\varphi_1=?$ (4) 拆开接地线后将内球接地，$\varphi_2=?$ (5) 无上述接地过程，用导线连接两导体，$\varphi_1=?$ 电场分布结果又如何?

(4) $$\varphi_1=\frac{Q'}{4\pi\varepsilon_0 R_0}+\frac{-Q'}{4\pi\varepsilon_0 R_1}+\frac{Q'-q}{4\pi\varepsilon_0 R_2}=0$$

$$Q'=\frac{q}{R_2}\left(\frac{1}{R_0}-\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)^{-1}$$

$$\varphi_2=\frac{Q'-q}{4\pi\varepsilon_0 R_2}$$

(5) $$\varphi_1=\varphi_{外球壳}=\frac{q+Q}{4\pi\varepsilon_0 R_2}$$

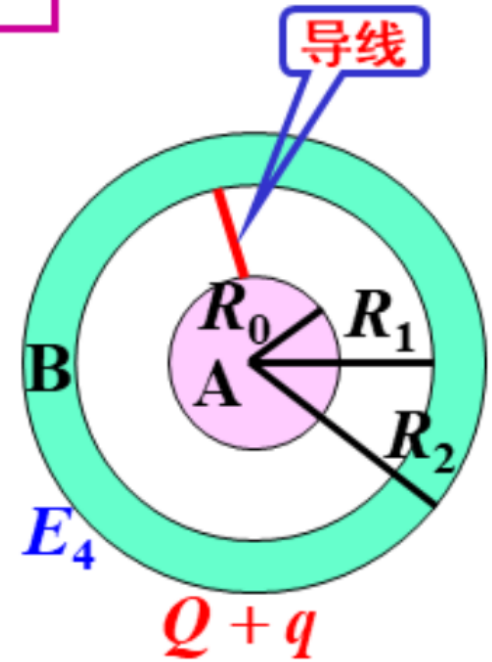


2.1 导体

(5) 如果用导线将A和B连接起来，

只有B壳外表面带电：$Q+q$

$$\varphi_1=\varphi_{外球壳}=\frac{q+Q}{4\pi\varepsilon_0 R_2}$$



相应的电场强度的分布为：

$$\begin{cases} r<R_0, & E_1=0 \\ R_0<r<R_1, & E_2=0 \\ R_1<r<R_2, & E_3=0 \\ r>R_2, & \vec{E}_4=\dfrac{q+Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\hat{e}_r \end{cases}$$

不变。

单选题 1分

设置

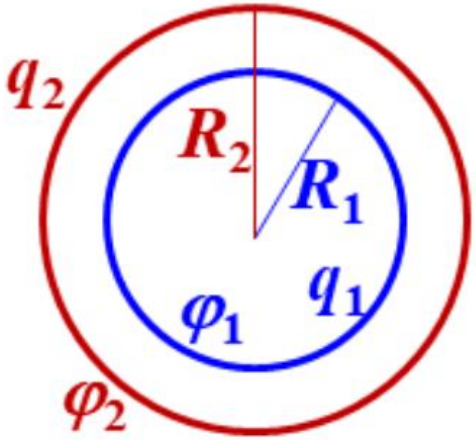
两同心薄金属球壳，半径分别为 R_1 和 R_2（$R_2 > R_1$），若分别带上电荷量为 q_1 和 q_2 的电荷，则两者的电势分别为 φ_1 和 φ_2（选无穷远处为电势零点）。现用导线将两球壳相连接，则它们的电势为：

A φ_1

B φ_2

C $\varphi_1 + \varphi_2$

D $(\varphi_1 + \varphi_2)/2$



提交

单选题 1分

设置

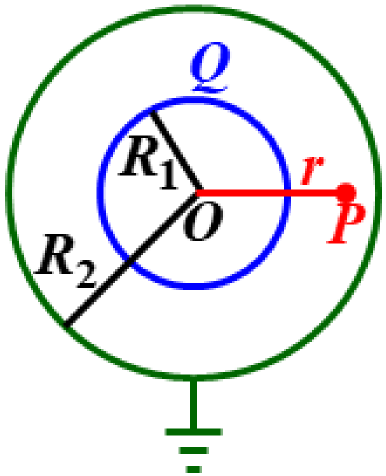
两个同心导体球壳。内球壳半径为 R_1，均匀带有电荷量 Q；外球壳半径为 R_2，壳的厚度忽略，原先不带电，但与地相连接。设地为电势零点，则在两球之间，距离球心为 r 处的 P 点的场强大小及电势分别为：

A $E=\dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$, $\varphi=\dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$

B $E=\dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$, $\varphi=\dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\dfrac{1}{R_1}-\dfrac{1}{r}\right)$

C $E=\dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$, $\varphi=\dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\dfrac{1}{r}-\dfrac{1}{R_2}\right)$

D $E=0$, $\varphi=\dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R_2}$



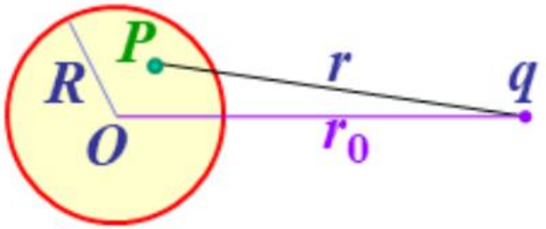
提交

2.1 导体

[例] 一个不带电的金属球接近点电荷 $+q$，当距离为 r_0 时，求：

(1) 感应电荷在导体球内到点电荷 q 距离为 r 的 P 点处的电场强度和电势；

(2) 若将金属球接地，球上的净电荷。

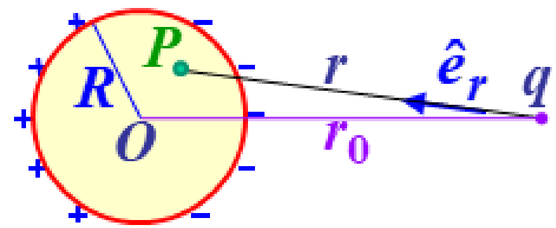


2.1 导体

[例] 一个不带电的金属球接近点电荷 $+q$，当距离为 r 时，求：

(1) 感应电荷在导体球内到点电荷 q 距离为 r 的 P 点处的电场强度和电势；(2) 若将金属球接地，球上的净电荷。

解：(1) P 点处的总场强 $\vec{E}=0$



$+q$ 在 P 点处的场强为

$$\vec{E}_1=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\hat{e}_r \qquad 由\ \vec{E}=\vec{E}_1+\vec{E}_2=0$$

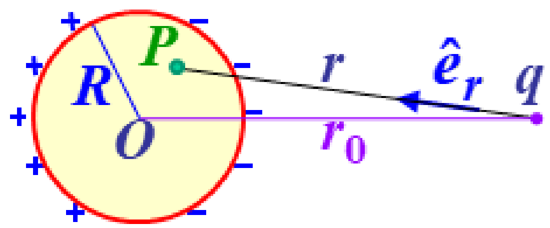
感应电荷在 P 点处场强 $\vec{E}_2=-\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\hat{e}_r$

P 点处的总电势 $\varphi=\varphi_O=\varphi_{1O}+\varphi_{2O}$

$+q$ 在 O 点处的电势为 $\varphi_{1O}=\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_0}$

2.1 导体

感应电荷在 P 点处总场强 $\vec{E}_2=-\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\hat{e}_r$



P 点处的总电势 $\varphi=\varphi_O=\varphi_{1O}+\varphi_{2O}=\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_0}$

$+q$ 在 O 点处的电势为 $\varphi_{1O}=\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_0}$

感应电荷在 O 点处电势 $\varphi_{2O}=0$

$+q$ 在 P 点处的电势为 $\varphi_1=\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$ 由 $\varphi=\varphi_1+\varphi_2$

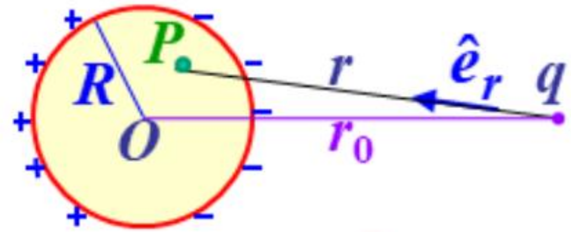
感应电荷在 P 点处电势 $\varphi_2=\varphi-\varphi_1=\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_0}-\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$

2.1 导体

[例] 一个不带电的金属球接近点电荷 $+q$，当距离为 r 时，求：

(1) 感应电荷在导体球内到点电荷 q 距离为 r 的 P 点处的电场强度和电势；(2) 若将金属球接地，球上的净电荷。

解：(1)



感应电荷在 P 点处的场强 $\vec{E}_2 = -\dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\hat{e}_r$

感应电荷在 P 点处的电势 $\varphi_2 = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_0} - \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$

(2) 设感应电荷量为 Q， 接地即 $\varphi = 0$，

$$\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R} + \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_0} = 0 \quad \Longrightarrow \quad Q = -\frac{R}{r_0} q$$

2.2 静电场中的电介质

静电场中的导体

导体静电平衡的条件

导体内部 $E_{内}=0$，$\vec{E}_{表面}\perp$ 表面。

$\Updownarrow$ $\Updownarrow$

导体成为等势体，表面成为等势面。

静电平衡时导体上电荷的分布

1. 导体带电只能在表面！

2. 表面附近： $\boxed{\vec{E}=\dfrac{\sigma}{\varepsilon_0}\hat{e}_n}$ $\boxed{\sigma=\varepsilon_0 E}$

3. 孤立导体处于静电平衡时，曲率越大的地方（表面凸出的尖锐部分），电荷面密度也大。

有导体存在时静电场场量的计算原则

1. 静电平衡的条件；2. 基本性质方程；3. 电荷守恒定律

2.2 静电场中的电介质

总结 有导体存在时静电场的分析与计算

1. 分析方法：

三方法结合 $\begin{cases}\text{电荷守恒} \\ \text{静电平衡条件} \\ \text{高斯定理}\end{cases}$

2. 常见导体组：板状导体组

球状导体组

柱状导体组

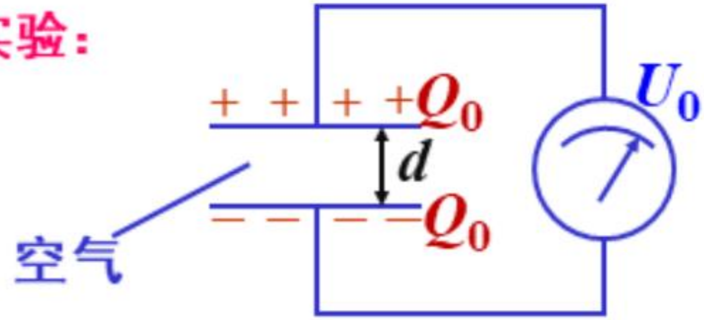
2.2 静电场中的电介质

电介质的特征：内部没有可自由移动的电荷。

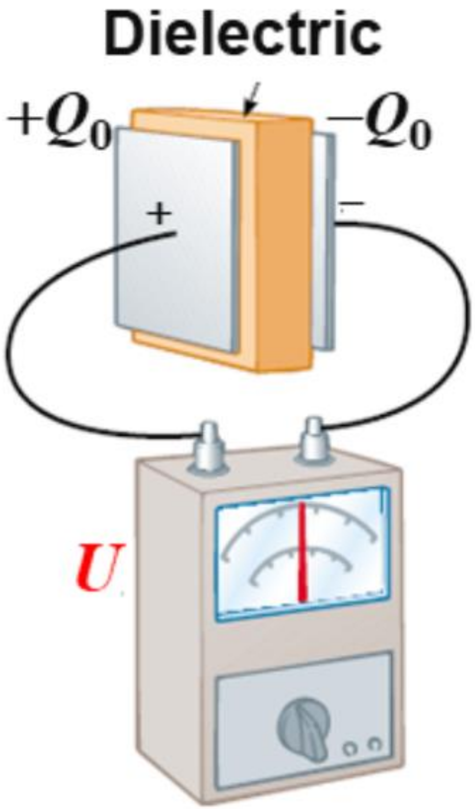
本章所讨论的电介质限于各向同性的电介质。

§ 2.2.1　电介质对电场的影响

实验：



$$U_0 = E_0 d$$



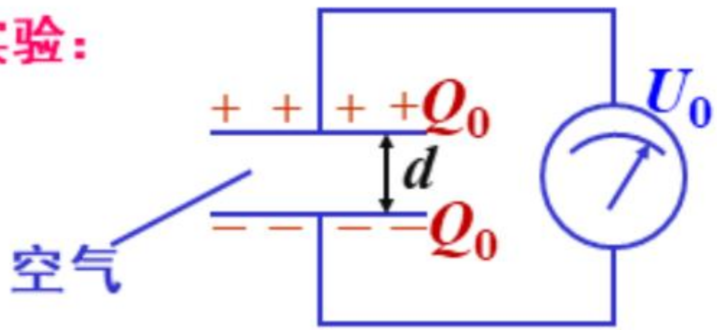
2.2 静电场中的电介质

电介质的特征：内部没有可自由移动的电荷

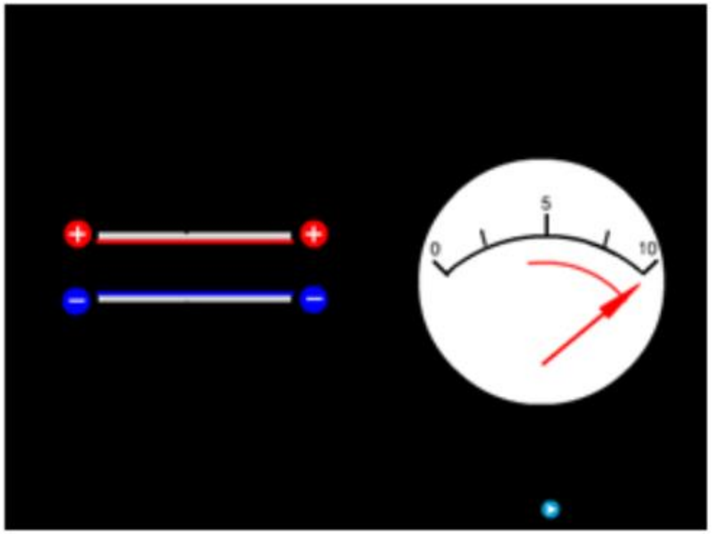
本章所讨论的电介质限于各向同性的电介质。

§2.2.1　电介质对电场的影响

实验：



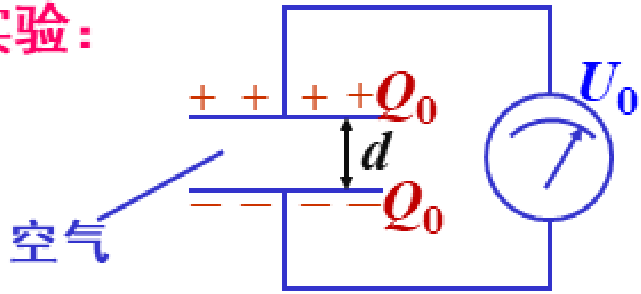
$$U_0 = E_0 d$$



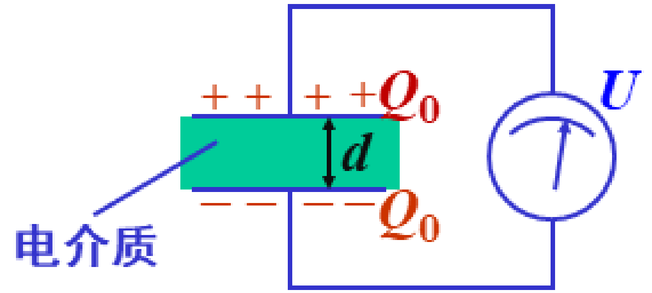
$$U = U_0/\varepsilon_r < U_0$$

2.2 静电场中的电介质

实验：



$$U_0 = E_0 d$$



$$U = Ed$$

$$U = U_0 / \varepsilon_r < U_0$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$$

$$E = E_0 / \varepsilon_r < E_0$$

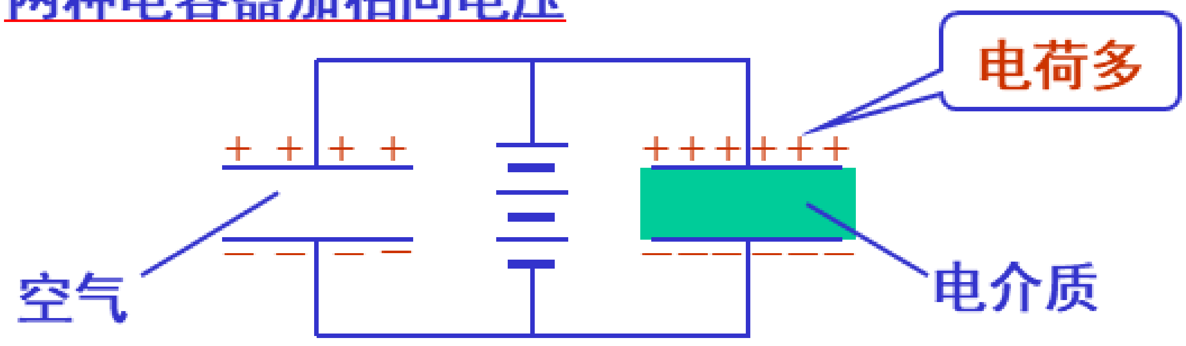
电介质的介电常数

电介质的相对介电常数，≥1

结论：电容器的电荷量不变时，电介质的插入使两板间的电场减弱了，场强减为真空时的$1/\varepsilon_r$。

2.2 静电场中的电介质

两种电容器加相同电压



ε_r 标志电介质对静电场影响的程度，是反映物质电学性能的一个重要参数。

真空	$\varepsilon_r = 1$
空气（0°C，1atm）	$\varepsilon_r = 1.00059$
纯水（0°C，1atm）	$\varepsilon_r = 80.2$
玻璃	$\varepsilon_r = 5 — 10$
钛酸钡	$\varepsilon_r = 10^3 — 10^4$

结论：电容器的电荷量不变时，电介质的插入使两板间的电场减弱了，场强减为真空时的 $1/\varepsilon_r$。

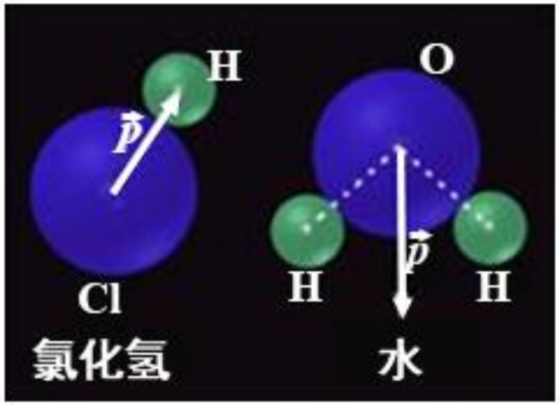
2.2 静电场中的电介质

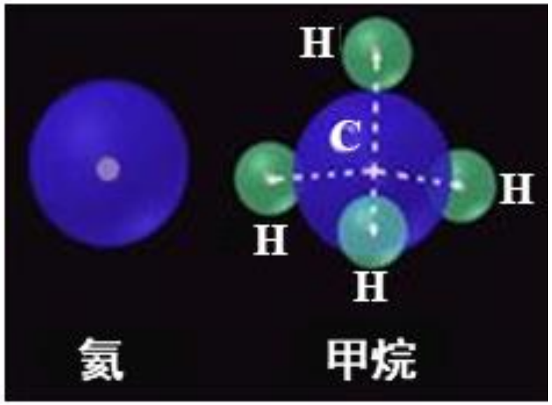
§2.2.2 电介质的极化（Polarization）

一、电介质的微观图象

重心模型：　有极分子（polar molecules）　　无极分子（nonpolar molecules）

$\vec{p}=q\vec{l}$



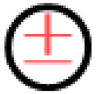


2.2 静电场中的电介质

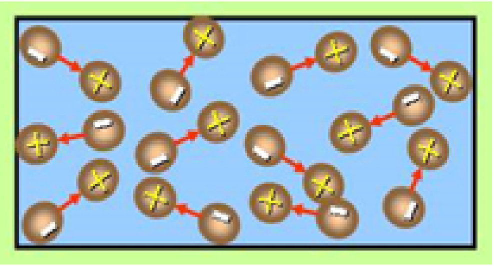
§2.2.2 电介质的极化（Polarization）

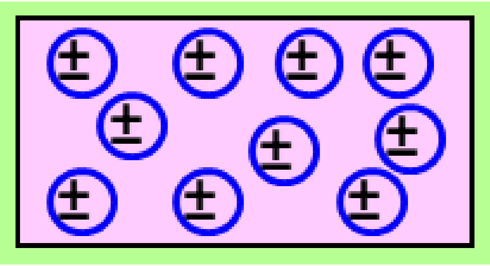
一、电介质的微观图象

重心模型：

有极分子（polar molecules）	无极分子（non molecules）
	
$\vec{p} = q\vec{l}$	
有极分子电介质	无极分子电介质

无外场时：





热运动——紊乱、电中性

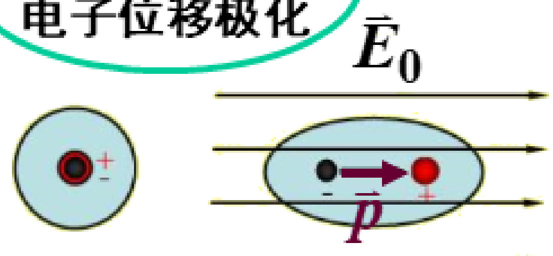
2.2 静电场中的电介质

二、有电场时电介质的极化过程

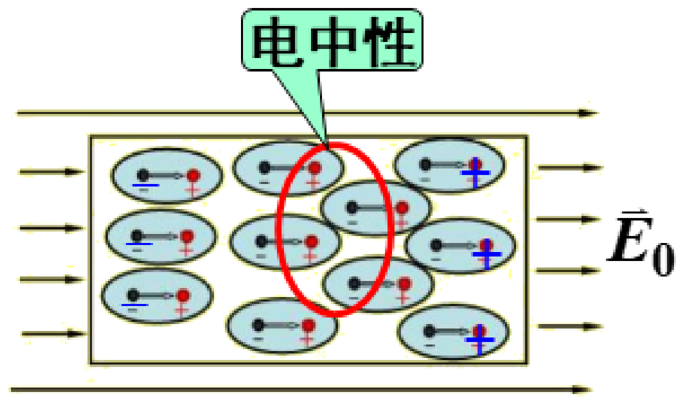
1. 无极分子电介质（如 H_2、N_2）的极化

——位移极化（Displacement polarization）

$m_e << m_{质子}$
电子位移极化



产生感生电矩



边缘出现电荷分布
称为极化电荷
（polarization charges）

或称束缚电荷
（bound charges）

2.2 静电场中的电介质

二、有电场时电介质的极化过程

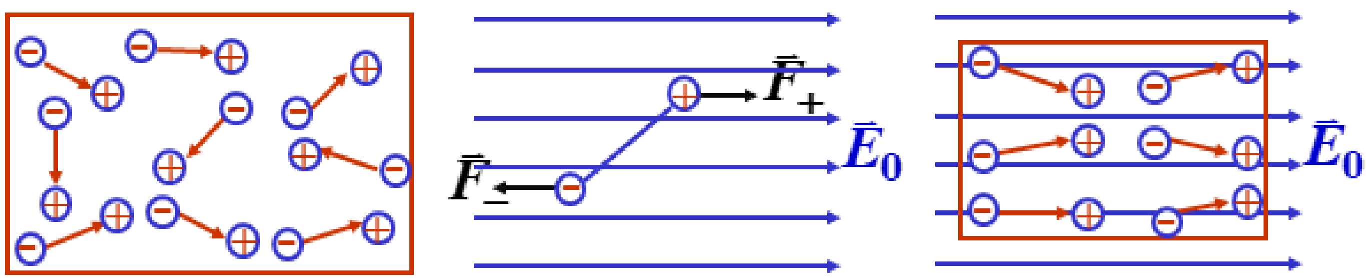
1. 无极分子电介质(如H_2、N_2)的极化

——位移极化(Displacement polarization)

$m_e << m_{质子}$
电子位移极化

2. 有极分子电介质(如SO_2、H_2S)的极化

——取向极化(Orientation polarization)



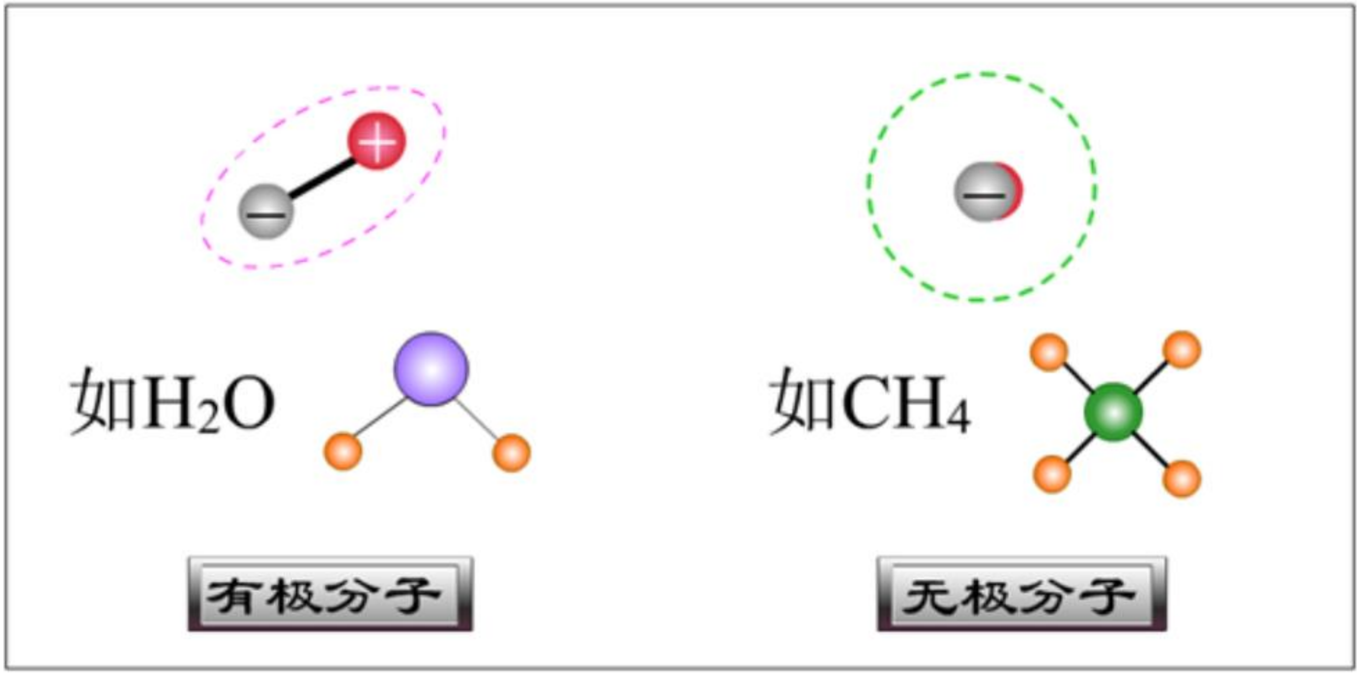
固有电矩沿外电场取向

2.2 静电场中的电介质

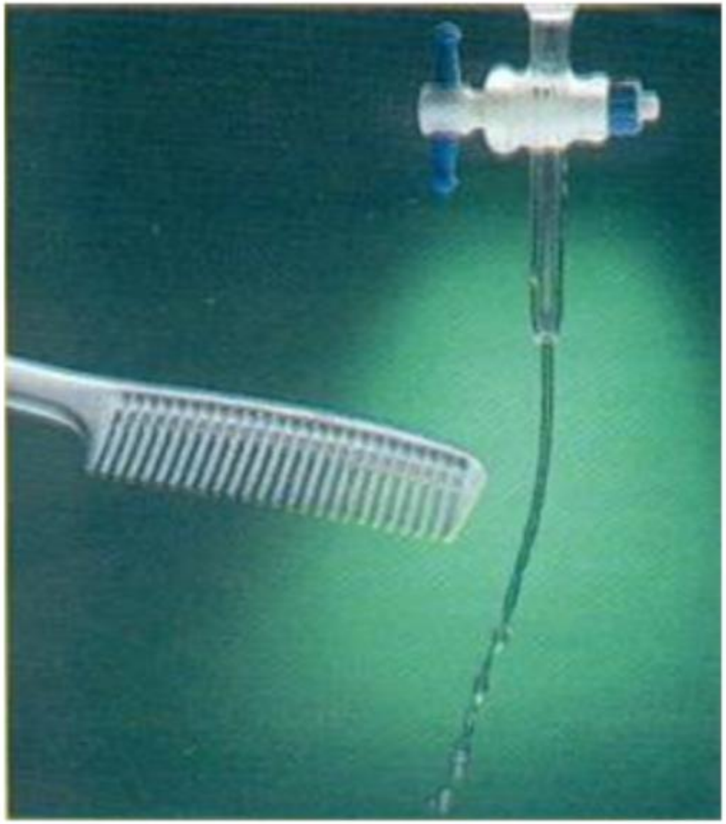
二、有电场时电介质的极化过程

无极分子电介质：氢、甲烷、石蜡等

有极分子电介质：水、有机玻璃等



2.2 静电场中的电介质



2.2 静电场中的电介质

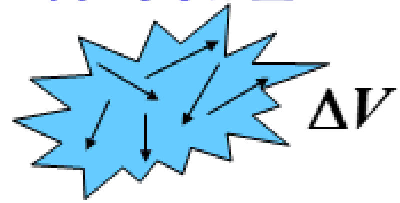
§2.2.3 电极化强度（Electric Polarization）

—— 描述极化强弱的物理量

1. 定义 $\vec{P}=\lim\dfrac{\sum_i \vec{p}_i}{\Delta V}$

$\vec{p}_i$ 第 i 个分子的电偶极矩

小体积元内分子电偶极矩的矢量和



宏观上无限小
微观上无限大
的体积元 ΔV

单位 $\mathrm{C/m^2}$

2. $\vec{P}$与$\vec{E}$ 的关系

实验证明：电场不太强、各向同性介质（isotropy linearity）

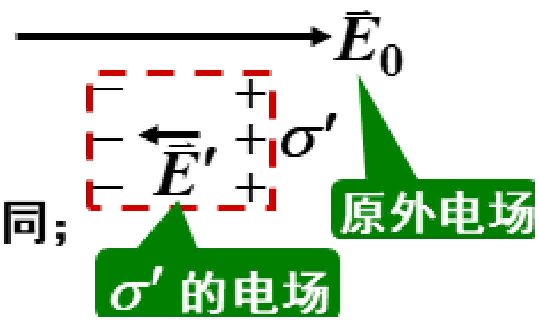
$$\boxed{\vec{P}=\varepsilon_0(\varepsilon_r-1)\vec{E}=\varepsilon_0\chi\vec{E}}$$

$\chi=\varepsilon_r-1$ 介质电极化率

注意

$\vec{P}$与$\vec{E}$ 的方向一致

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



均匀极化：　各点$\vec{P}$大小、方向相同；

不均匀极化：各点$\vec{P}$不相同。

2.2 静电场中的电介质

3. 极化强度 $\vec{P}$ 与极化电荷 σ' 的关系

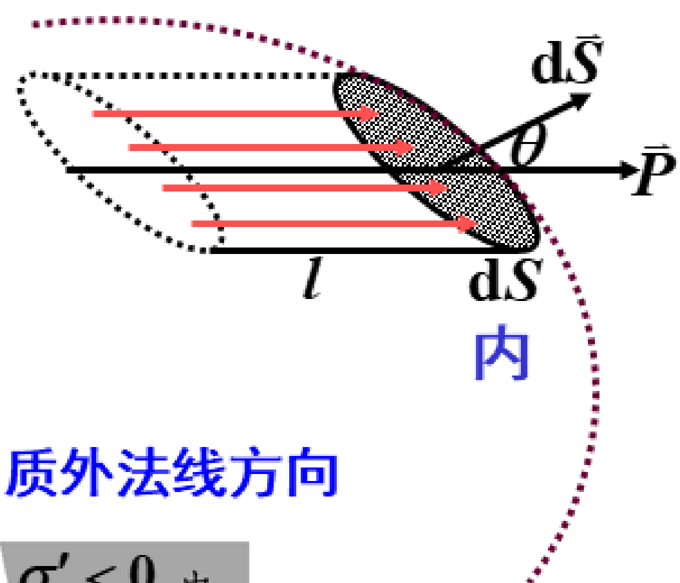
$$P=\frac{l\sigma'\,\mathrm{d}S}{l\cos\theta\,\mathrm{d}S}$$

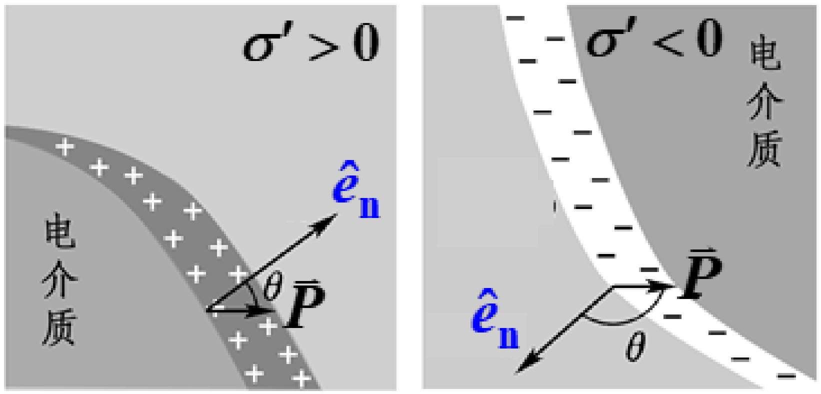
$$=\frac{\sigma'}{\cos\theta}$$

$$\sigma'=P\cos\theta=P_{\mathrm{n}}$$

$$\boxed{\sigma'=\vec{P}\cdot\hat{e}_{\mathrm{n}}}$$

$\hat{e}_{\mathrm{n}}$： 介质外法线方向

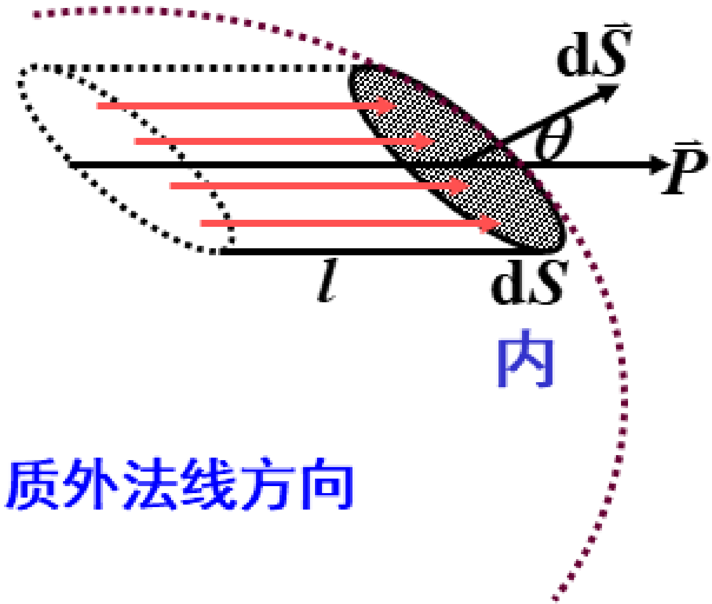




2.2 静电场中的电介质

3. 极化强度 $\vec{P}$ 与极化电荷 σ' 的关系

$$P=\frac{l\sigma'\mathrm{d}S}{l\cos\theta\,\mathrm{d}S}=\frac{\sigma'}{\cos\theta}$$



$$\sigma'=P\cos\theta=P_{\mathrm{n}}$$

$$\boxed{\sigma'=\vec{P}\cdot\hat{e}_{\mathrm{n}}}$$

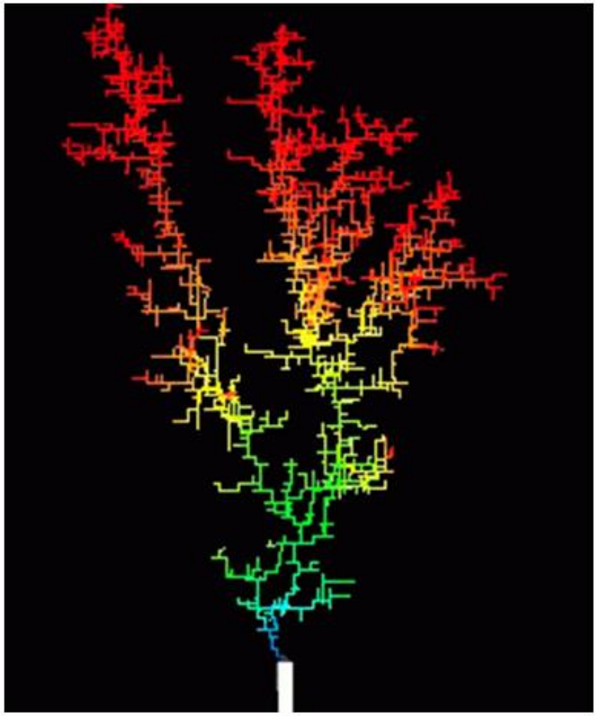
$\hat{e}_{\mathrm{n}}$： 介质外法线方向

4. 击穿现象

—— 当外电场很强时，电介质分子有可能被“拉断”，电介质就被击穿。

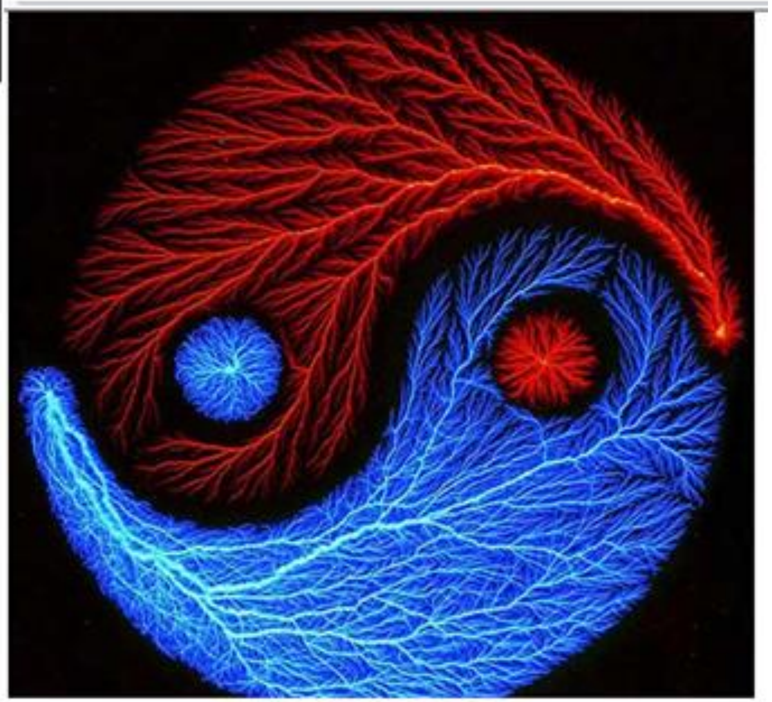
介电强度(击穿场强)：电介质不被击穿的最大场强。

2.2 静电场中的电介质



2.2 静电场中的电介质

2.2 静电场中的电介质

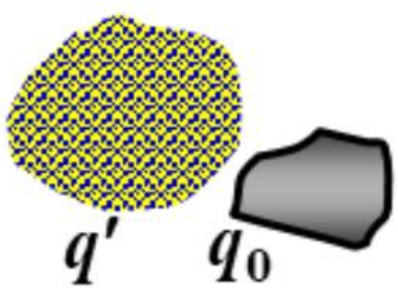


2.2 静电场中的电介质

$$\sigma' = \vec{P} \cdot \hat{e}_{\mathrm{n}}$$

$$\begin{tikzcd}
\vec{E}_0 \arrow[r] & \vec{P} \arrow[r] & q'(\sigma',\ \rho') \arrow[d] \\
& \vec{E} \arrow[u] & \vec{E}' \arrow[l]
\end{tikzcd}$$

$$\vec{P} = \varepsilon_0(\varepsilon_{\mathrm{r}} - 1)\vec{E}$$



2.2 有电介质的高斯定理

一、电位移矢量 $\vec{D}$（Electric displacement vector）

定义 $\vec{D}=\varepsilon_0\vec{E}+\vec{P}$

单位：$\mathrm{C/m^2}$

均匀各向同性介质中 $\vec{P}=\varepsilon_0(\varepsilon_r-1)\vec{E}=\varepsilon_0\chi\vec{E}$

$\vec{D}=\varepsilon_0\varepsilon_r\vec{E}=\varepsilon\vec{E}$　ε：介质的介电常数

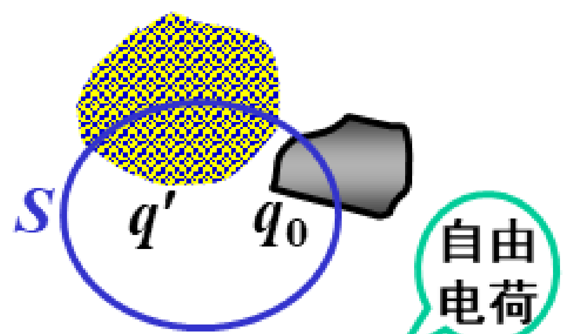
$\vec{D}$ 与 $\vec{E}$ 方向相同，点点对应

二、$\vec{D}$ 的高斯定理

$$\vec{E}=\vec{E}_0/\varepsilon_r$$

$$\oint_S \vec{E}_0\cdot d\vec{S}=\sum q_{0\mathrm{int}}/\varepsilon_0$$

$$\oint_S \vec{E}\cdot d\vec{S}=\frac{1}{\varepsilon_0\varepsilon_r}\sum q_{0\mathrm{int}}$$



$$\oint_S \vec{D}\cdot d\vec{S}=\sum q_{0\mathrm{int}}$$

2.2 静电场中的电介质

讨论

$$\oint_S \vec{D}\cdot d\vec{S} = \sum q_{0\text{int}}$$

(1) 若无电介质，则 $\vec{P}=0$，还原为真空中的高斯定理。

(2) $\vec{P}=\varepsilon_0(\varepsilon_r-1)\vec{E} \longrightarrow \vec{D}=\varepsilon_0\vec{E}+\vec{P}$

$$\vec{D}=\varepsilon_0\varepsilon_r\vec{E}=\varepsilon\vec{E}$$

(3) $\vec{D}$ 的高斯定理普遍成立，当自由电荷和电介质分布具一定对称性时，

$q_{0\text{int}}$

$\vec{D}$ 的高斯定理 $\downarrow$

$\vec{D}$

$\vec{D}=\varepsilon_0\varepsilon_r\vec{E}$ $\downarrow$

$\vec{E}$

$\vec{P}=\varepsilon_0(\varepsilon_r-1)\vec{E}$ $\downarrow$

$\vec{P}$

$\sigma'=\vec{P}\cdot\hat{e}_n$ $\downarrow$

σ'

$q'=\int\sigma' dS$ $\downarrow$

q'

单选题 1分

设置

关于高斯定理，下列说法中哪一个是正确的?

A 高斯面内不包围自由电荷，则面上各点电位移矢量$\vec{D}$为零。

B 高斯面上处处$\vec{D}$为零，则面内必不存在自由电荷。

C 高斯面$\vec{D}$的通量仅与面内自由电荷有关。

D 以上说法都不正确。

提交

单选题 1分

设置

在一静电场中，作一闭合曲面S，若有$\oint_S \vec{D}\cdot d\vec{S}=0$（式中$\vec{D}$为电位移矢量），则$S$面内必定

A 既无自由电荷，也无束缚电荷。

B 没有自由电荷。

C 自由电荷和束缚电荷的代数和为零。

D 自由电荷的代数和为零。

提交

单选题 1分

设置

关于静电场中的电位移线，下列说法中，哪一种是正确的？

A 起自正电荷，止于负电荷，不形成闭合线，不中断。

B 任何两条电位移线互相平行。

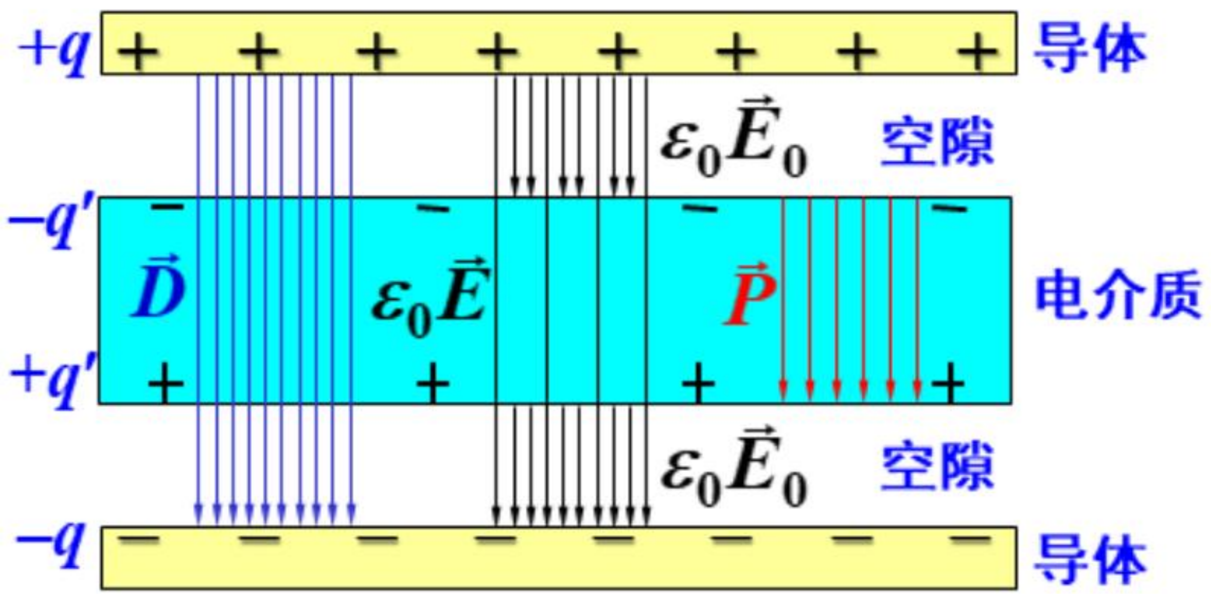
C 起自正自由电荷，止于负自由电荷，任何两条电位移线在无自由电荷的空间不相交。

D 电位移线只出现在有电介质的空间。

提交

2.2 静电场中的电介质

三种力线（$\vec{D}$、$\vec{E}$、$\vec{P}$）的分布特点：

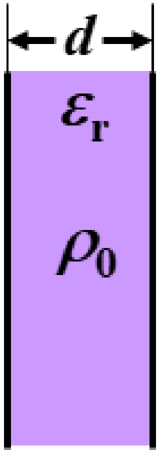


$$\vec{D}=\varepsilon_0\vec{E}+\vec{P}$$

2.2 静电场中的电介质

[例] 一无限大各向同性均匀介质平板，厚度为 d，相对介电常数为 ε_r，内部均匀分布电荷体密度为 ρ_0 的自由电荷。

求：介质板内、外的 $\vec{D}$、$\vec{E}$、$\vec{P}$。



2.2 静电场中的电介质

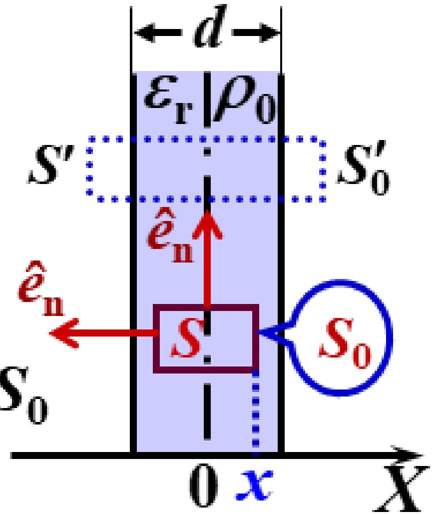
[例] 一无限大各向同性均匀介质平板，厚度为 d，相对介电常数为 ε_r，内部均匀分布电荷体密度为 ρ_0 的自由电荷。求：介质板内、外的 $\vec{D}$、$\vec{E}$、$\vec{P}$。

解：带电体有面对称，

故 $\vec{D}$、$\vec{E}$、$\vec{P}$ 垂直于平板。

$$\oint_S \vec{D}\cdot d\vec{S} = \sum q_{0\text{int}}$$

$$\oint_S \vec{D}\cdot d\vec{S} = \underbrace{\int_{侧} \vec{D}\cdot d\vec{S}}_{=0} + \int_{两底} \vec{D}\cdot d\vec{S} = 2DS_0$$



$|x| \le d/2$，$\quad 2DS_0 = \rho_0 2|x| S_0$，$\qquad D = \rho_0 |x|$

$|x| \ge d/2$，$\quad 2DS'_0 = \rho_0 d S'_0$，$\qquad D = \dfrac{\rho_0}{2} d$

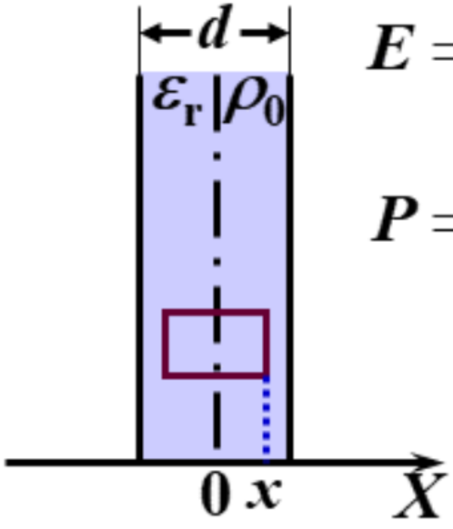
2.2 静电场中的电介质

$|x| \le \frac{d}{2}$, $D = \rho_0 |x|$

$$E = \frac{D}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} = \frac{\rho_0 |x|}{\varepsilon_0 \varepsilon_r}$$

$$\vec{P} = \varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)\vec{E}$$

$$P = (\varepsilon_r - 1)\frac{\rho_0 |x|}{\varepsilon_r}$$



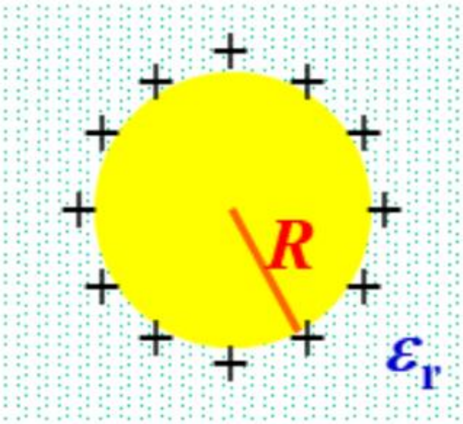
$|x| \ge \frac{d}{2}$, $D = \frac{\rho_0}{2} d$

$$E = \frac{D}{\varepsilon_0} = \frac{\rho_0 d}{2\varepsilon_0}$$ 均匀场

$$P = \varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)E = 0$$

2.2 静电场中的电介质

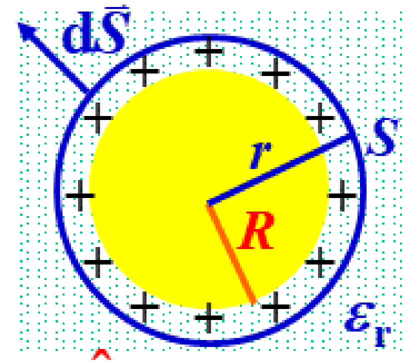
[例] 带电金属球（R，q），浸在油中（ε_r），求球外的场强及金属表面处油面上的束缚电荷 q'。



2.2 静电场中的电介质

[例] 带电金属球 (R, q)，浸在油中 (ε_{r})，求球外的场强及金属表面处油面上的束缚电荷 q'。

解：在介质内作高斯面 S $\quad \oint_S \vec{D}\cdot \mathrm{d}\vec{S} = q$



由对称性 $\quad \oint_S \vec{D}\cdot \mathrm{d}\vec{S} = D4\pi r^2 = q$

$$\vec{D} = \frac{q}{4\pi r^2}\hat{e}_r, \quad \vec{E} = \frac{\vec{D}}{\varepsilon} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_{\mathrm{r}} r^2}\hat{e}_r$$

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}' \qquad\qquad q' = q\left(\frac{1}{\varepsilon_{\mathrm{r}}} - 1\right)$$

$$\frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_{\mathrm{r}} r^2} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} + \frac{q'}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \qquad \varepsilon_{\mathrm{r}} > 1$$

(q' 与 q 反号)

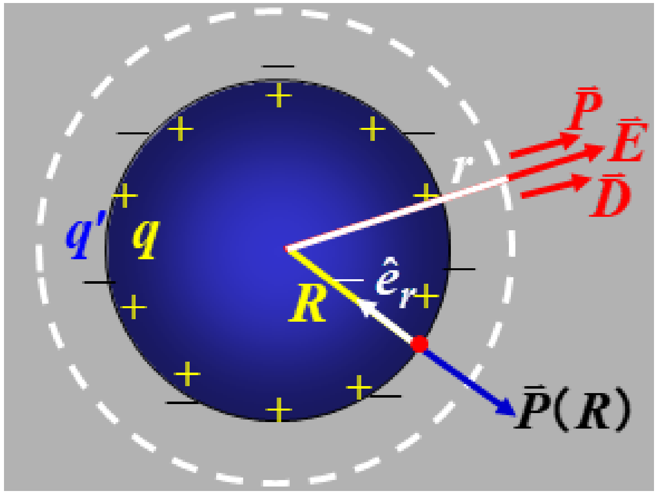
2.2 静电场中的电介质

另一解法：

$$\vec{P}=\varepsilon_0(\varepsilon_r-1)\vec{E}$$

$$=\varepsilon_0(\varepsilon_r-1)\frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r r^2}\hat{e}_r$$

$$=\left(1-\frac{1}{\varepsilon_r}\right)\frac{q}{4\pi r^2}\hat{e}_r$$



球表面的油面上的束缚电荷：

$$\sigma'=\vec{P}(R)\cdot(-\hat{e}_r)=-\left(1-\frac{1}{\varepsilon_r}\right)\frac{q}{4\pi R^2}$$

$$q'=4\pi R^2\cdot\sigma'=-\left(1-\frac{1}{\varepsilon_r}\right)q$$

q' 总与 q 反号，数值小于 q。

单选题 1分

设置

一导体球外充满相对介电常数为 ε_r 的均匀电介质，若测得导体表面附近场强大小为 E，则导体球面上的自由电荷面密度 σ 为

A $\varepsilon_0 E$

B $\varepsilon_0 \varepsilon_r E$

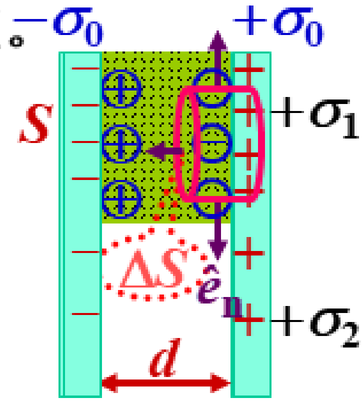
C $\varepsilon_r E$

D $(\varepsilon_0 \varepsilon_r - \varepsilon_0) E$

提交

2.2 静电场中的电介质

[例] 两平行放置的金属板间原为真空，分别带等量异号电荷 $+\sigma_0$、$-\sigma_0$，板间电压为 U_0，保持板上电荷量不变，将板间一半空间充入介质(ε_r)，求：板间电压。



解：作高斯面

$$\oint_S \vec{D}_1 \cdot d\vec{S} = \sum q_{0int}$$

$$\int_S \vec{D}_1 \cdot d\vec{S} = \int_{左} \vec{D}_1 \cdot d\vec{S} + \underbrace{\int_{右} \vec{D}_1 \cdot d\vec{S}}_{=0} + \underbrace{\int_{侧} \vec{D}_1 \cdot d\vec{S}}_{=0}$$

$$\int_S \vec{D}_1 \cdot d\vec{S} = D_1 \Delta S = \sigma_1 \Delta S$$

$$\because U = E_1 d = E_2 d$$

$$D_1 = \sigma_1, \quad E_1 = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_0 \varepsilon_r}$$

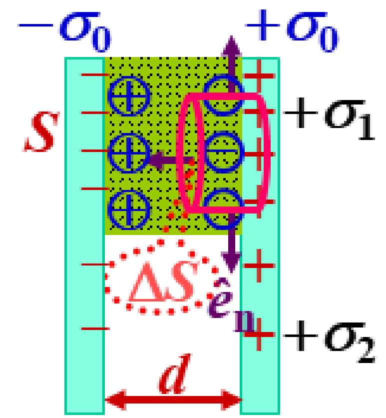
$$\therefore E_1 = E_2$$

$$E_2 = \frac{\sigma_2}{\varepsilon_0} \quad \left\{ \begin{array}{l} \sigma_2 = \dfrac{\sigma_1}{\varepsilon_r} \\ \dfrac{S}{2}\sigma_1 + \dfrac{S}{2}\sigma_2 = \sigma_0 S \end{array} \right. \qquad \left\{ \begin{array}{l} \sigma_1 = \dfrac{2\varepsilon_r}{1+\varepsilon_r}\sigma_0 \ (> \sigma_0) \\ \sigma_2 = \dfrac{2}{1+\varepsilon_r}\sigma_0 \ (< \sigma_0) \end{array} \right.$$

2.2 静电场中的电介质

$$\because U = E_1 d = E_2 d \qquad \therefore E_1 = E_2$$

$$E_2 = \frac{\sigma_2}{\varepsilon_0}\ , \quad E_1 = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_0 \varepsilon_r}$$



$$\begin{cases} \sigma_1 = \dfrac{2\varepsilon_r}{1+\varepsilon_r}\sigma_0 (> \sigma_0) \\ \sigma_2 = \dfrac{2}{1+\varepsilon_r}\sigma_0 (< \sigma_0) \end{cases}$$

$$E_1 = E_2 = \frac{\sigma_2}{\varepsilon_0} = \frac{2}{(1+\varepsilon_r)}\frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} = \frac{2}{1+\varepsilon_r}E_0$$

$$U = E_2 d = \frac{2}{1+\varepsilon_r}E_0 d = \frac{2}{1+\varepsilon_r}U_0, \qquad \frac{1}{\varepsilon_r} < \frac{2}{1+\varepsilon_r} < 1$$

课后作业

下课

本周作业

p.169：9,11,12,14,16,18

SPOC作业