

Capturing the electric field: Capacitors

捕捉电场:电容器

Capacitor: 电容器

电容器内部的电场是均匀的(恒定的)。

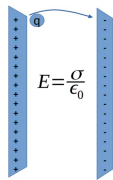
在电容器外面，电场是零。

C≡ $\frac{Q}{V}$

c 电容 capacitance (单位F 法拉) [F] farad

Q

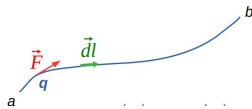
v 电压



Work and energy: 功和能量

$$W = \int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{l} = - \int_a^b q \vec{E} \cdot d\vec{l} = q \int_a^b \nabla V \cdot d\vec{l}$$

$$W = qV(b) - qV(a) = qV$$



Charging Capacitor: 充电电容

为电容器充电所做的功，从q = 0到q = Q

$$W = \int_0^Q \frac{q}{C} dq$$

$$W = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

因为 Q = CV

$$W = \frac{1}{2} CV^2$$

能量储存在电容里

容量增加。这意味着你可以在这样的电容器中存储更多的能量。

Conductors and Dielectrics (insulators) : 导体和电介质 (绝缘体)

1. Conductors

Inside the conductor

$E = 0$ no electric field

$\rho = 0$ no free charges

On the surface of the conductor

$E_t = 0$ no tangential component

$E_n = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ perpendicular component

电偶极矩

dipole moment

从 -q 指向 +q 的矢径 r 和电量 q 的乘积定义为电偶极子的电矩，也称电偶极矩。

数学表达式

$$p = qr$$

2. Dielectrics (insulators)

Tangential 切向的分量

Perpendicular 垂直的分量

电偶极子 (electric dipole) 是两个等量异号点电荷组成的系统。

电偶极子的特征用电偶极矩 $p = ql$ 描述。

在距离远超过两个点电荷相隔距离之处，物理电偶极子所产生的电场，可以近似为其电偶极矩所产生的电场。

电偶极子在均匀外电场 E 中所受的合力和合力矩

合力 = $E \cdot q$ (向量) = 0

$$\vec{F} = \vec{E}q$$

合力矩 = 半径 x F (向量) $\neq 0$

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$$

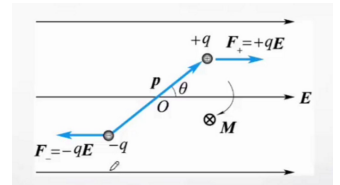
力偶矩的大小为

$$M = rF \sin \theta$$

$$M = F \cdot \frac{l}{2} \sin \theta + F \cdot \frac{l}{2} \sin \theta = Fl \sin \theta = qEl \sin \theta = pE \sin \theta$$

考虑到力矩 M 的方向，上式写成矢量式为

$$\vec{M} = \vec{p} \times \vec{E}$$



所以电偶极子在电场作用下总要使电矩 p 转到 E 的方向上，达到稳定平衡状态。

极化矢量: Polarisation vector

$$\vec{P} \equiv \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\sum_i \vec{p}_i}{\Delta V}$$

极化矢量是电偶极矩的体积密度

3. Relationship

$$\vec{P} \sim \vec{E}$$

外部电场E越大，电介质的极化P越大

Linear dielectric 线性电介质

$$\vec{P} \sim \vec{E}$$

Piezoelectric materials 压电材料 (不是线性的)

$$\vec{P} = \epsilon_0 \chi_e \vec{E}$$

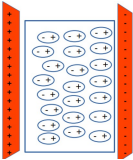
χ_e - electric susceptibility

Electric field in dielectrics 电介质中的电场

$$\vec{E} = \vec{E}_{\text{ext}} + \vec{E}_{\text{int}}$$

\vec{E}_{ext} generated by free charges

\vec{E}_{int} generated by bound charges



$$\vec{D} = \epsilon_0 (1 + \chi_e) \vec{E} = \epsilon \vec{E} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}$$

Permittivity of the material 材料的介电常数

$$\epsilon = \epsilon_0 (1 + \chi_e)$$

relative permittivity (dielectric constant) 相对介电常数 (介电常数)

$$\epsilon_r = 1 + \chi_e = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

这个常数材料与材料之间不同。

$$\vec{D} = \epsilon_0 (1 + \chi_e) \vec{E} = \epsilon \vec{E} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 (1 + \chi_e) \vec{E} = \epsilon \vec{E} = \epsilon_0 (\epsilon_r \vec{E})$$

$$C = \epsilon_r C_{\text{vac}}$$

Permittivity 介电常数