第10章 Maxwell方程组 电磁场

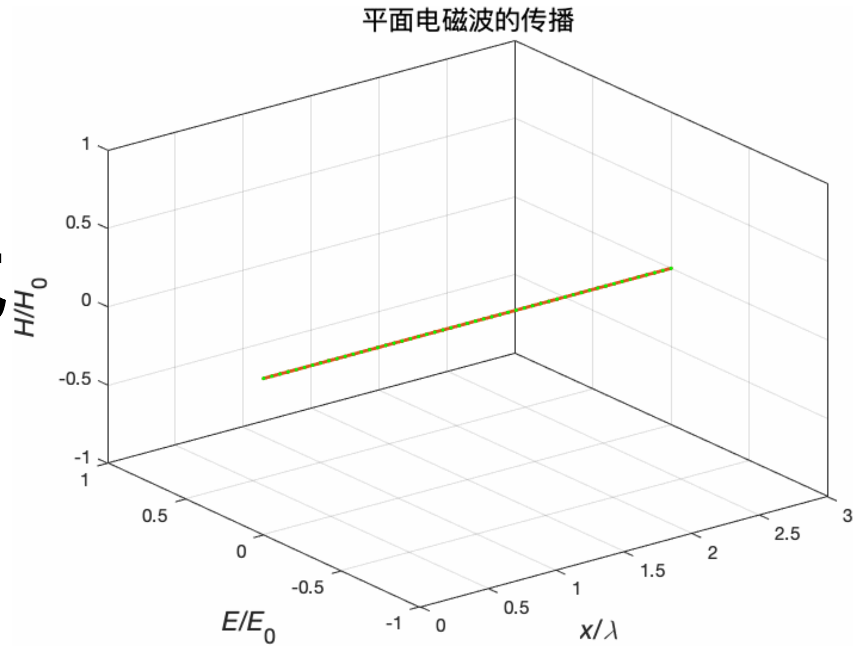
§1 位移电流

§2 全电流安培环路定理

§3 Maxwell方程组积分形式

§4 电磁波

§5 电磁波能量与电磁波谱



产生电场的原因

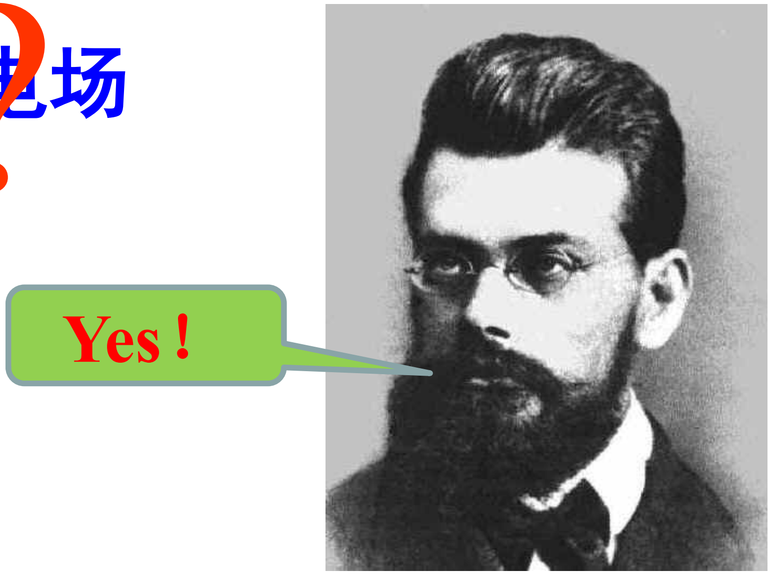
1、电荷

2、变化的磁场

产生磁场的原因

1、电流

2、变化的电场？



§1. 位移电流

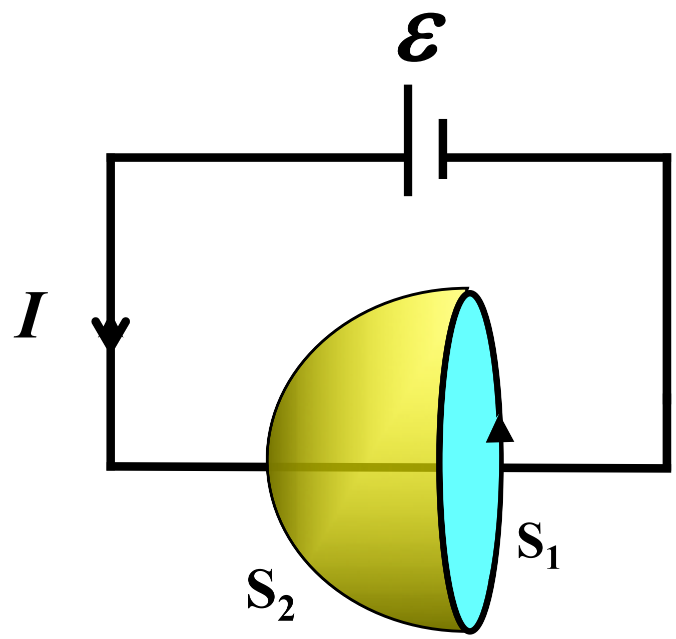
一、安培环路定理失效

恒定磁场中，磁感应强度$\vec{B}$沿任何闭合路径L的线积分（环路积分）等于路径L所包围的电流强度的代数和的 μ_0 倍

$$\oint \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = \mu_0 \sum_i I_{int}$$

$$\oint \vec{H}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = \sum_i I_{int0}$$

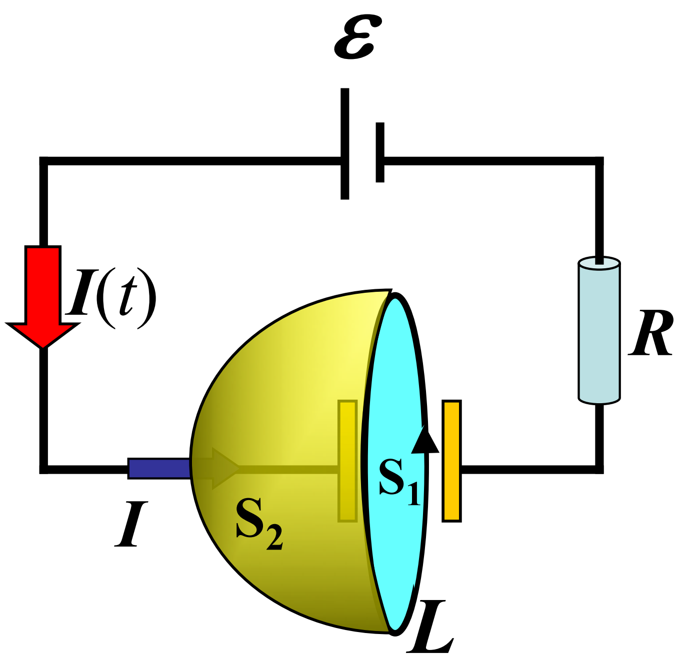
I_{int} 与L套连的电流



§1. 位移电流

一、安培环路定理失效

稳恒：$\oint_L \vec{H}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = I$



非稳恒：

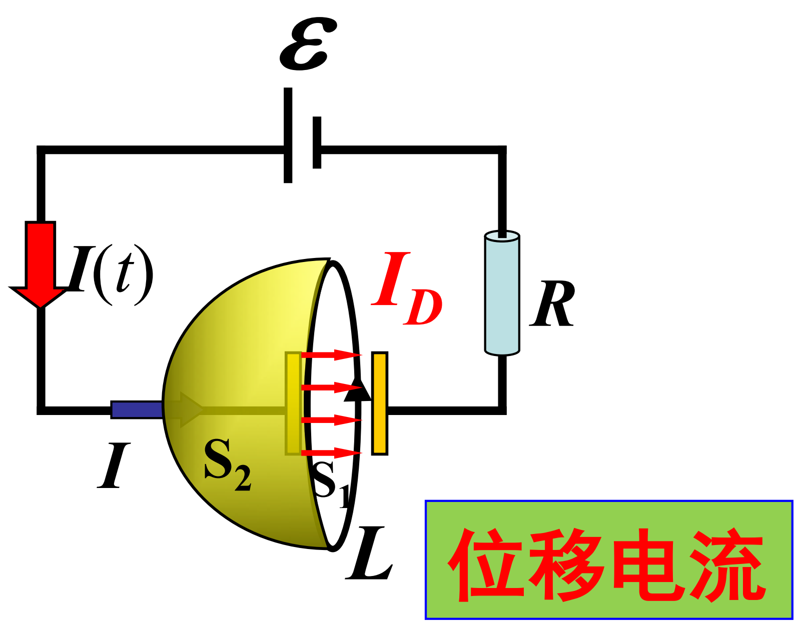
$$\oint_L \vec{H}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = ?\begin{cases} 0 \Leftarrow S_1 \\ I \Leftarrow S_2 \end{cases}$$

任意时刻空间每一点的磁场都是确定的，对于确定的回路，积分只有唯一确定的值。

定理需要修正！方程的右边还有一个物理量！

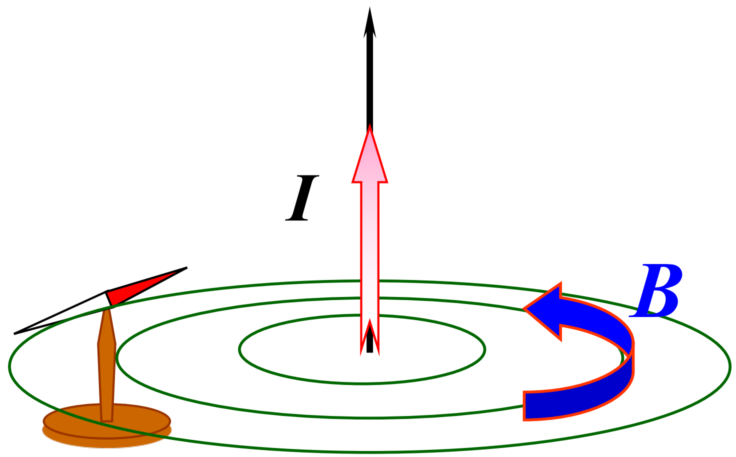
§ 1. 位移电流

二、位移电流



Maxwell 假设：

变化的电场在空间激发了磁场。

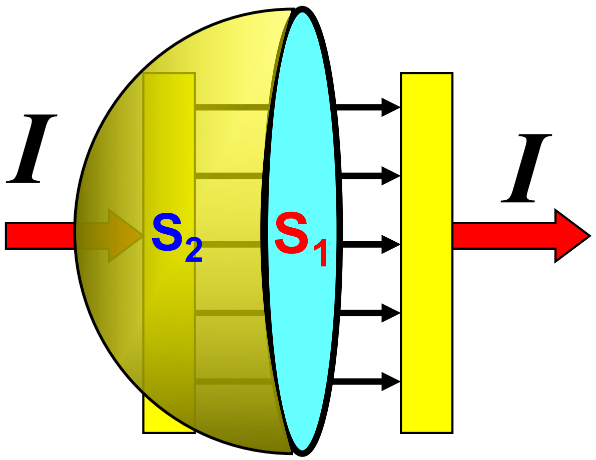


就“产生磁场”而言，

变化的电场与传导电流等价。

§ 1. 位移电流

二、位移电流



电容器极板面积S, 电荷面密度σ

极板电量：$q = \sigma S$

极板间电位移：$D = \sigma$

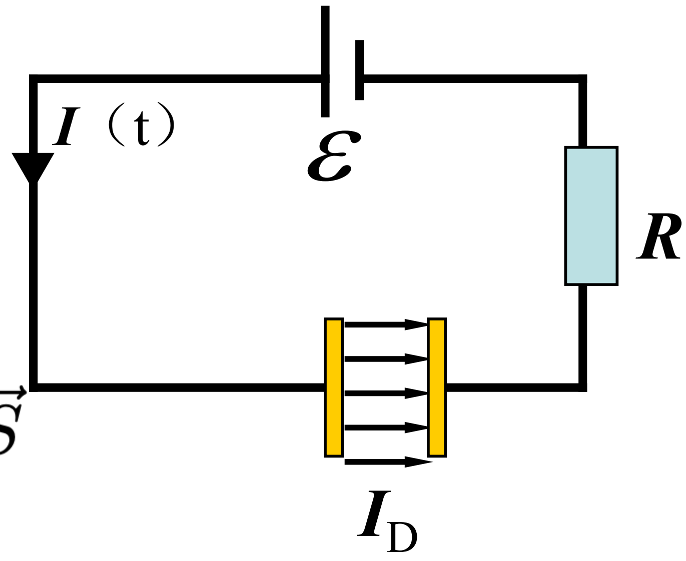
电位移通量：$\Phi_D = \vec{D} \cdot \vec{S} = \sigma S = q$

$$I = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}\Phi_D}{\mathrm{d}t}$$

$$I_D = \frac{\mathrm{d}\Phi_D}{\mathrm{d}t}$$ 位移电流

§ 1. 位移电流

二、位移电流



空间电位移分布不均匀：$\Phi_D = \iint_S \vec{D} \cdot \mathrm{d}\vec{S}$

$$I_D = \frac{\mathrm{d}\Phi_D}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\iint_S \vec{D} \cdot \mathrm{d}\vec{S}\right) = \iint_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \cdot \mathrm{d}\vec{S}$$

位移电流密度：

$$\vec{J}_D = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

1、大小与**电位移**对时间的变化率 $\dfrac{\partial D}{\partial t}$ 相关。

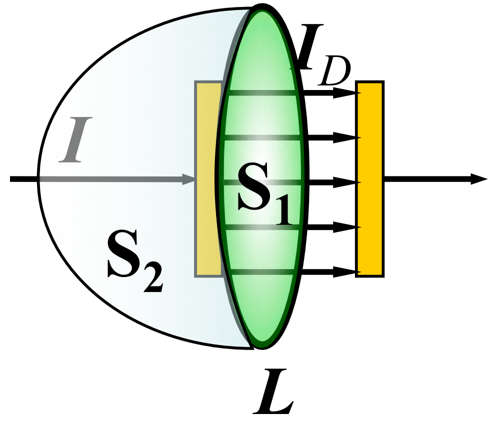
2、在产生磁场的作用方面与传导**电流**等价。

位移电流：$I_D = \int_S \vec{J}_D \cdot \mathrm{d}\vec{S} = \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \cdot \mathrm{d}\vec{S}$

位移电流

§ 2. 全电流安培环路定理

$$\oint_L \vec{H}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = I + I_D \begin{cases} 0 + I_D \leftarrow \mathrm{S}_1 \\ I + 0 \leftarrow \mathrm{S}_2 \end{cases}$$



全电流： $I_t = I + I_D$

$$\left.\begin{aligned} I &= \int_S \vec{J}\cdot \mathrm{d}\vec{S} \\ I_D &= \int_S \vec{J}_D \cdot \mathrm{d}\vec{S} = \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}\cdot \mathrm{d}\vec{S} \end{aligned}\right\} \vec{J}_t = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\oint_L \vec{H}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = \iint_S \left(\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}\right)\cdot \mathrm{d}\vec{S} \rightarrow \nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

Maxwell 方程之一

位移电流的特点

1、只要电场随时间变化，就有相应的位移电流

本质是变化的电场

(1) 在无传导电流的介质中 $I_{\mathrm{D}} = I_{\mathrm{t}}$

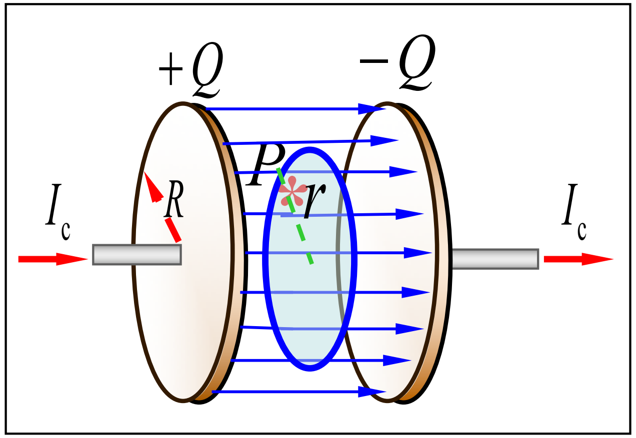
(2) 在导体中，低频时$I_D << I$，可忽略；高频时不可略。

2、位移电流与传导电流是完全不同的概念，仅在产生磁场方面二者等价

(1) I 有电荷流动，通过导体会产生焦耳热

(2) I_{D}无电荷流动。高频时介质也发热，那是分子反复极化造成

例 有一圆形平行平板电容器 **R**=3.0cm.现对其充电,使电路上的传导电流 $I_c = \mathrm{d}Q/\mathrm{d}t = 2.5\mathrm{A}$,若略去边缘效应,求（1）两极板间的位移电流;（2）两极板间离开轴线的距离为 r =2.0cm 的 P 点处的磁感应强度 .



解 (1) 通过圆形回路电位移通量

$$\left.\begin{aligned}\Psi &= D(\pi r^2)\\ D &= \sigma\end{aligned}\right\} \quad \Psi = \frac{r^2}{R^2}Q$$

$$I_D = \frac{\mathrm{d}\Psi}{\mathrm{d}t} = \frac{r^2}{R^2}\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t}\Big|_{r=R} = 2.5\ \mathrm{A}$$

(2) $$\oint_l \vec{H}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = I + I_D = I_D \qquad H(2\pi r) = \frac{r^2}{R^2}\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t}$$

$$H = \frac{r}{2\pi R^2}\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t} \rightarrow B = \frac{\mu_0 r}{2\pi R^2}\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t} = 1.11\times 10^{-5}\ \mathrm{T}$$