期末考试

答疑时间：2018年6月24日（第18周星期一）、25日（第18周星期二）、：上午：8:30-11:30;

下午：2:00-5:00

答疑地点：X5603

考试时间：2018年6月26日(第18周星期三)上午9:00-11:00

考试地点：见教务网

作业补交时间：第17周星期二上午

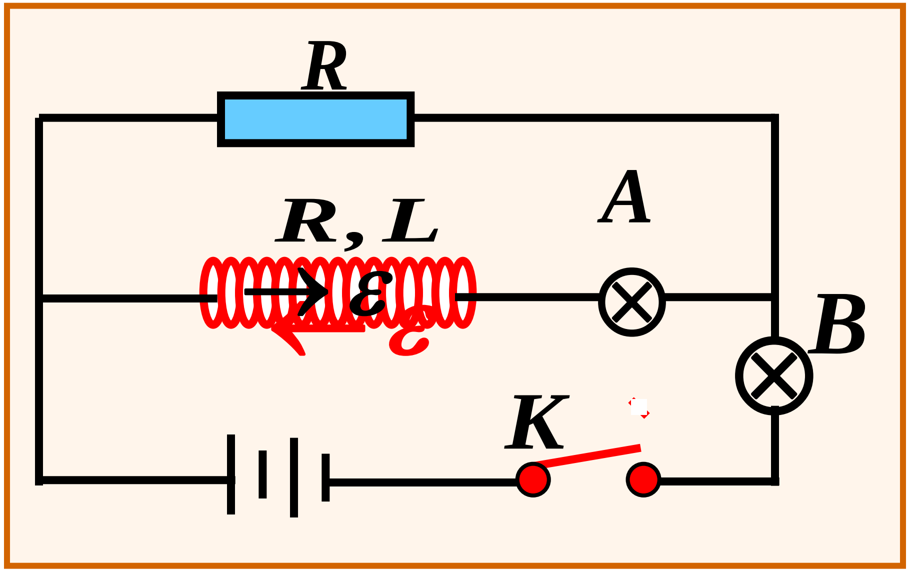
作业

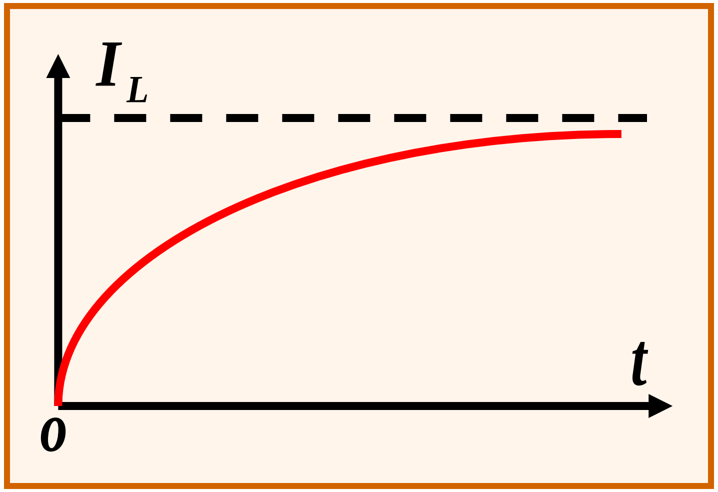
1. No.12(希望在作业题纸中选择、填空各题的相应位置处写出其关键步骤）；
2. 自学本章各例题并完成书上的习题(对照书后的参考答案自己订正)。

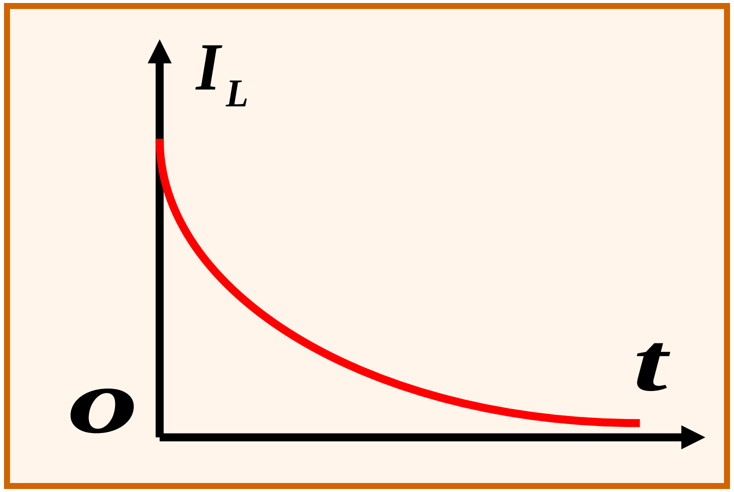
第十七周星期二交作业

四、自感

1. 自感现象







由于回路中电流变化，引起穿过回路包围面积的全磁通变化，从而在回路自身中产生感生电动势的现象叫自感现象

自感电动势 ε_L

2. 自感系数

(1) 定义

由毕–沙定律： $\mathrm{d}B \propto I$

由叠加原理： $\vec{B} = \int \mathrm{d}\vec{B}$ $\quad B \propto I$

磁通链： $\psi_m = N\int_S \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{S}$ $\quad \psi_m \propto I$

$$\psi_m = LI$$

自感系数： $L = \dfrac{\psi_m}{I}$ 单位：亨利（H）

当线圈中通有单位电流时，穿过线圈的全磁通。

L由线圈形状、大小、匝数、周围介质分布等因素决定。

(2) 物理意义

由法拉第定律得: $\varepsilon_L = -\dfrac{\mathrm{d}\psi_m}{\mathrm{d}t} = -\dfrac{\mathrm{d}(LI)}{\mathrm{d}t}$

若 L 为常数, 则: $\varepsilon_L = -L\dfrac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}$

$L = -\varepsilon_L \Big/ \dfrac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}$ 当线圈中电流变化率为一个单位时线圈中自感电动势的大小

注意: ①负号: ε_L总是阻碍I的变化

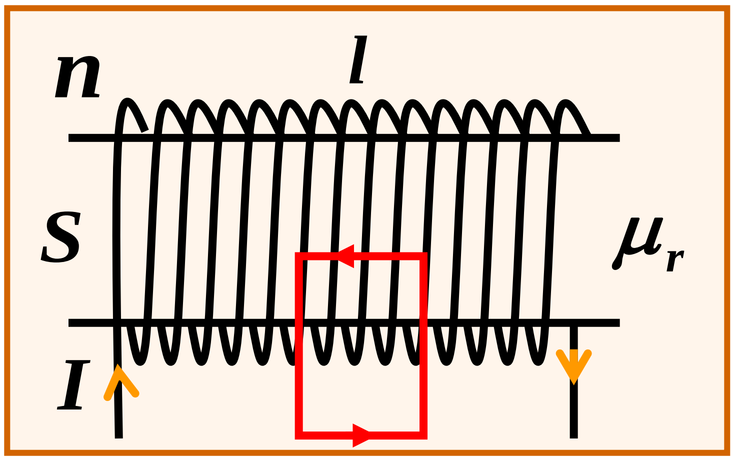
② $\dfrac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}$一定时, $L\uparrow$, $|\varepsilon_L|\uparrow$ 线圈阻碍I变化能力越强。

L :描述线圈电磁惯性的大小

(3) 计算

计算步骤：设 $I \longrightarrow \vec{B}$ 分布 $\longrightarrow$ 求 $\psi_m = N\int_S \vec{B}\cdot d\vec{S} \longrightarrow L = \dfrac{\psi_m}{I}$

例：求长直螺线管自感系数（ n , $V = lS$, $\mu = \mu_0\mu_r$ ）



解：设 I

由安培环路定理 $H = nI$

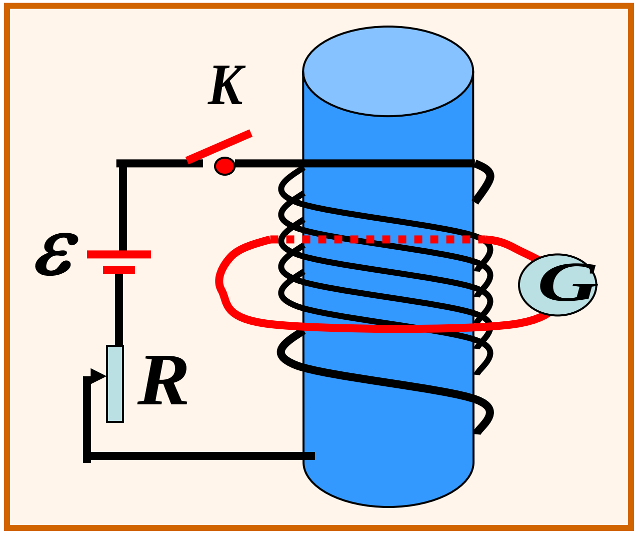
$$B = \mu_0\mu_r H = \mu n I$$

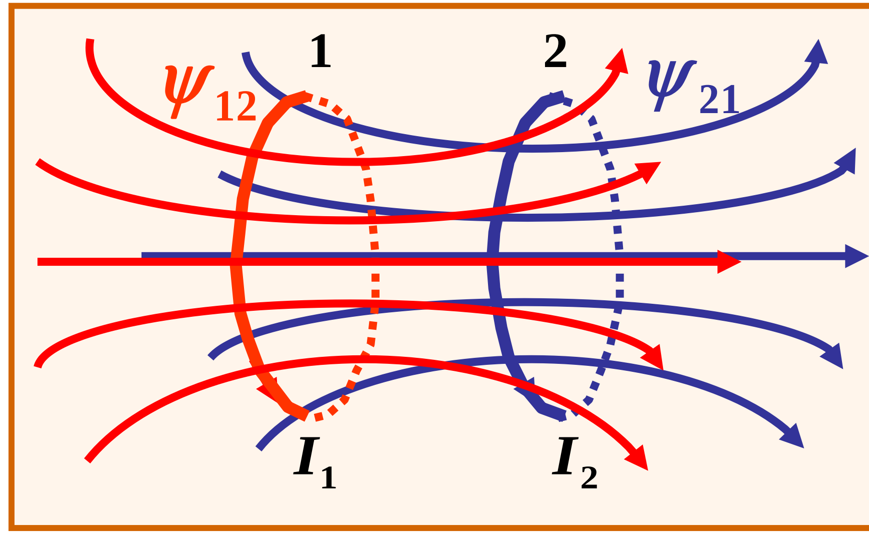
$$\psi_m = NBS = nlBS = \mu n^2 IV$$

$$\boxed{L = \frac{\psi_m}{I} = \mu n^2 V}$$

五、互感

1. 互感现象





I_1变化 ⟶ ψ_{21} 变化 ⟶ 线圈2中产生ε_{21}

I_2变化 ⟶ ψ_{12}变化 ⟶ 线圈1中产生ε_{12}

一个载流回路中电流变化，引起邻近另一回路中产生感生电动势的现象叫互感现象。

互感电动势

2. 互感系数

（1）定义

当线圈几何形状、相对位置、周围介质磁导率均一定时：

$$\left.\begin{aligned} \psi_{21} &= N_2\phi_{21} \propto I_1 \qquad \psi_{21} = M_{21}I_1 \\ \psi_{12} &= N_1\phi_{12} \propto I_2 \qquad \psi_{12} = M_{12}I_2 \end{aligned}\right\} M_{12} = M_{21} = M$$

（P_{331} 例2）

互感系数 M $\boxed{M = \dfrac{\psi_{21}}{I_1} = \dfrac{\psi_{12}}{I_2}}$ 单位：亨利（H）

当一回路中通过单位电流时，引起的通过另一回路的全磁通。

M由两回路几何形状、相对位置、周围介质磁导率等因素决定。

(2) 物理意义

互感电动势：

$$\varepsilon_{21}=-\frac{\mathrm{d}\psi_{21}}{\mathrm{d}t}=-M\frac{\mathrm{d}I_1}{\mathrm{d}t}$$

$$\varepsilon_{12}=-\frac{\mathrm{d}\psi_{12}}{\mathrm{d}t}=-M\frac{\mathrm{d}I_2}{\mathrm{d}t}$$

$$M=-\frac{\varepsilon_{21}}{\frac{\mathrm{d}I_1}{\mathrm{d}t}}=-\frac{\varepsilon_{12}}{\frac{\mathrm{d}I_2}{\mathrm{d}t}}$$

M：当一个回路中电流变化率为一个单位时，在相邻另一回路中引起的互感电动势。

(3) 计算

计算步骤：设$I_1 \longrightarrow I_1$的磁场分布$\vec{B}_1 \longrightarrow$穿过回路2的$\psi_{21}$

$$\psi_{21} = N_2 \int_{S_2} \vec{B}_1 \cdot \mathrm{d}\vec{S} \longrightarrow \text{得 } M = \frac{\psi_{21}}{I_1}$$

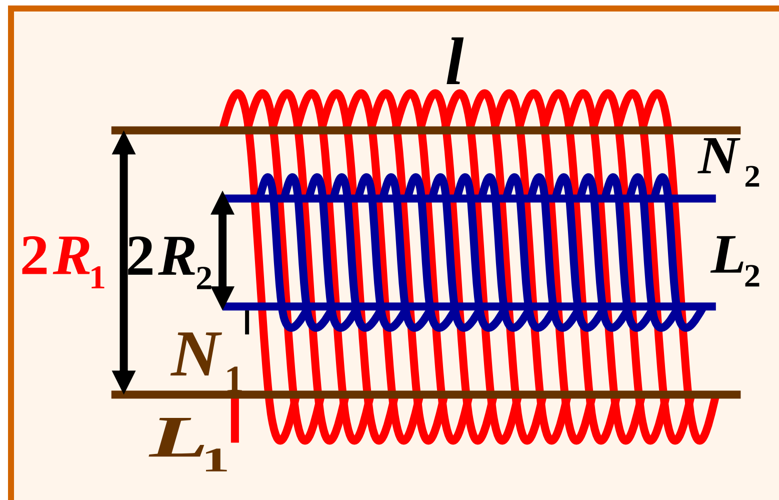
例 (P_{296} 例8)：求两共轴长直细螺线管的互感系数。

已知：R_1, N_1, L_1, l, R_2, N_2, L_2, l

求：M

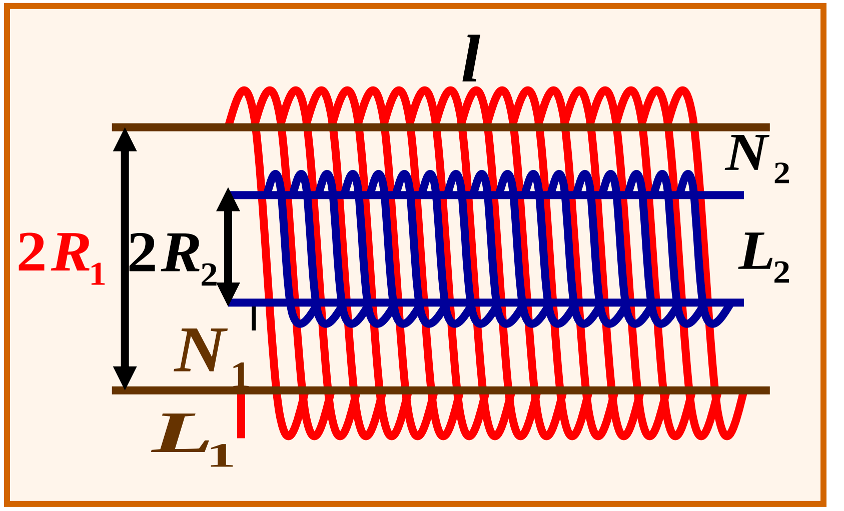
解：设内管通电流I_2

(教材设外管电流I_1求解)



$$B_2 = \begin{cases} \mu n_2 I_2 = \mu \dfrac{N_2}{l} I_2 & (r < R_2) \\ 0 & (r > R_2) \end{cases}$$

穿过外管的全磁通：



$$\psi_{12} = N_1 \int_{s_1} \vec{B}_2 \cdot \mathrm{d}\vec{S} = N_1 B_{2内} \cdot S_2$$

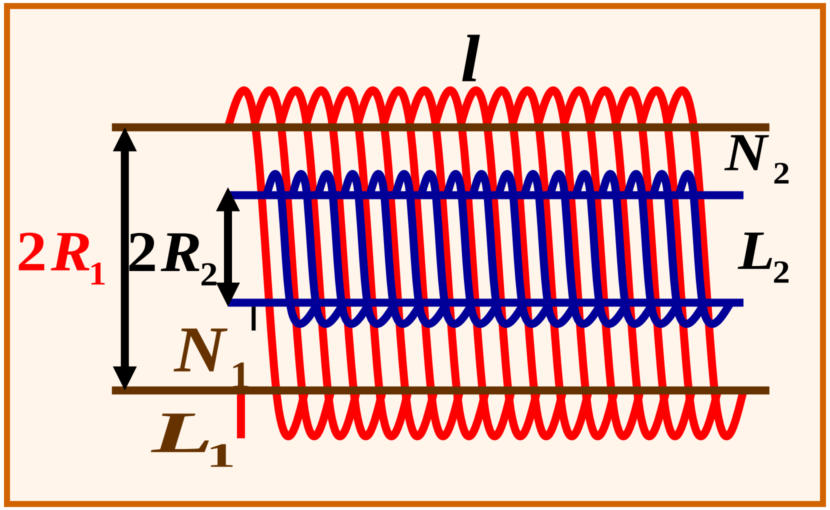
$$= \mu \frac{N_1 N_2}{l} I_2 \cdot \pi R_2^2$$

$$M = \frac{\psi_{12}}{I_2} = \mu \frac{N_1 N_2}{l} \pi R_2^2$$

又：$L_1 = \mu n_1^2 V_1 = \mu \left(\frac{N_1}{l}\right)^2 l \cdot \pi R_1^2 = \mu \frac{N_1^2}{l} \pi R_1^2$

$$L_2 = \mu \frac{N_2^2}{l} \pi R_2^2$$

$$\boxed{M = \frac{R_2}{R_1} \sqrt{L_1 L_2}}$$



一般情况： $M = K\sqrt{L_1 L_2}$

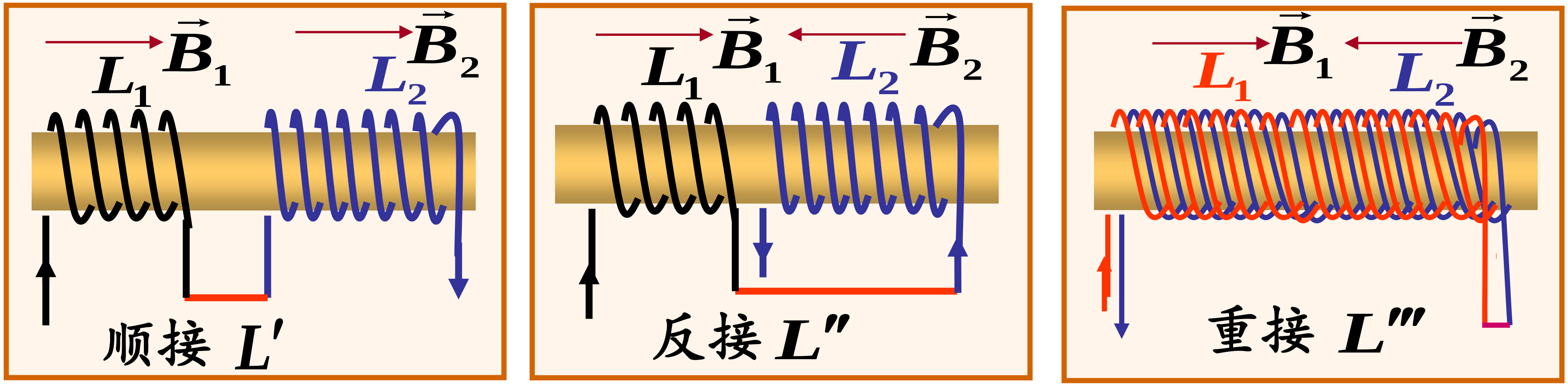
K： 耦合系数

$(0 \le K \le 1)$

两螺线管共轴，且 $R_1 = R_2$ ． $K = 1$：完全耦合

两螺线管轴相互垂直，$K = 0$：不耦合

两个线圈串联时：对每个线圈$\varepsilon_i = \varepsilon_i ' + \varepsilon_i ''$，总$\varepsilon = \sum \varepsilon_i$

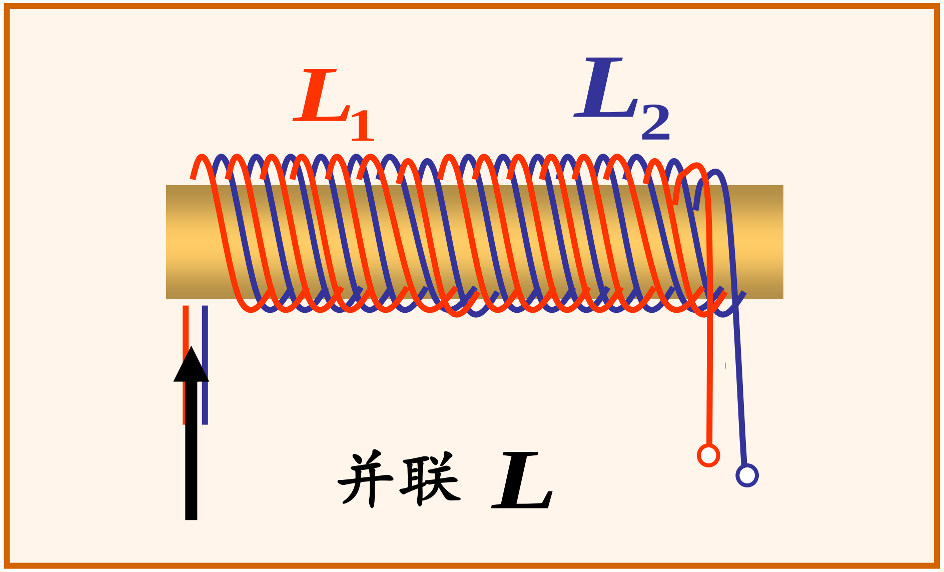


顺接：$\psi = L_1 I + L_2 I + 2MI$　等效自感 $L' = \dfrac{\psi}{I} = L_1 + L_2 + 2M$

反接：$\psi = L_1 I + L_2 I - 2MI$　等效自感 $L'' = \dfrac{\psi}{I} = L_1 + L_2 - 2M$

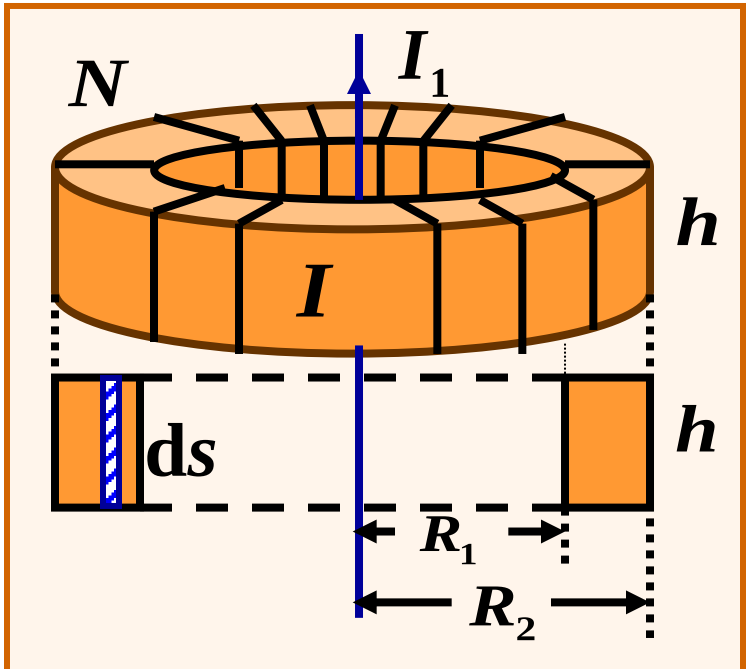
重接：$\psi = L_1 I + L_2 I - 2MI = 0$　等效自感 $L''' = 0$

两个线圈并联时：$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2$



等效自感 $\boxed{L = L_1 = L_2}$

例： 矩形截面螺绕环尺寸如图，密绕 N 匝线圈，其轴线上置一无限长直导线，当螺绕环中通有电流 $I = I_0\cos\omega t$ 时，直导线中的感生电动势为多少？



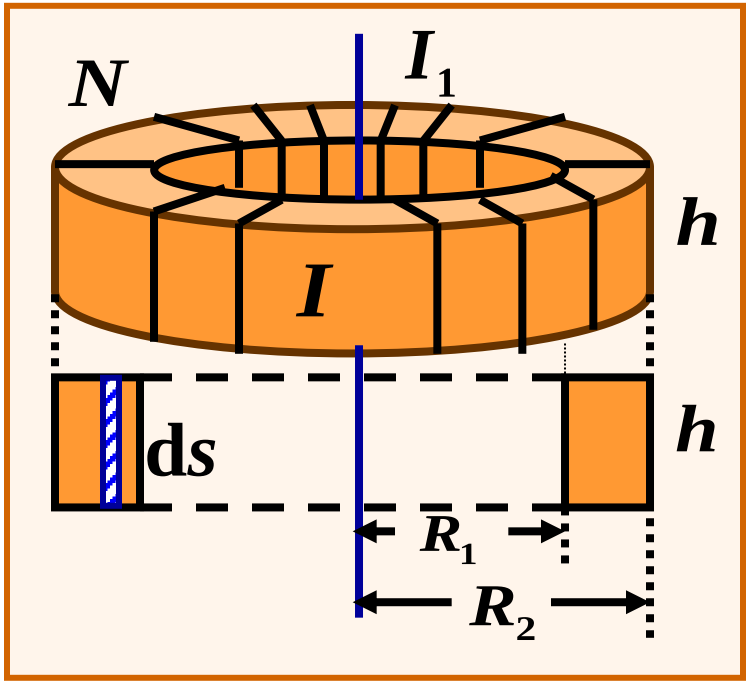
解： 这是一个互感问题

先求M.

设直导线中通有电流 I_1

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$$

$$\psi_{21} = N\phi_{21} = N\int_{s_2}\vec{B}_1\cdot d\vec{S} = \frac{N\mu_0 I_1 h}{2\pi}\int_{R_1}^{R_2}\frac{dr}{r} = \frac{N\mu_0 I_1 h}{2\pi}\ln\frac{R_2}{R_1}$$



$$\psi_{21}=\frac{N\mu_0 I_1 h}{2\pi}\ln\frac{R_2}{R_1}$$

$$M=\frac{\psi_{21}}{I_1}=\frac{\mu_0 Nh}{2\pi}\ln\frac{R_2}{R_1}$$

$$\varepsilon_1=-M\frac{\mathrm{d}I_2}{\mathrm{d}t}=-\frac{\mu_0 Nh}{2\pi}\ln\frac{R_2}{R_1}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(I_0\cos\omega t)$$

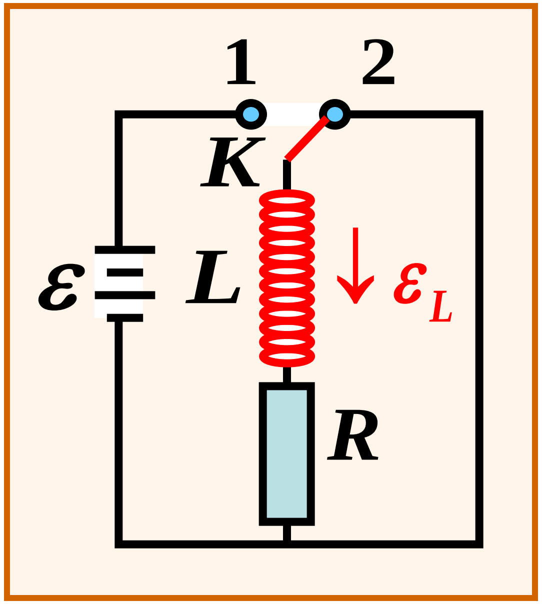
$$=\frac{\mu_0 NhI_0\omega}{2\pi}\ln\frac{R_2}{R_1}\cdot\sin\omega t$$

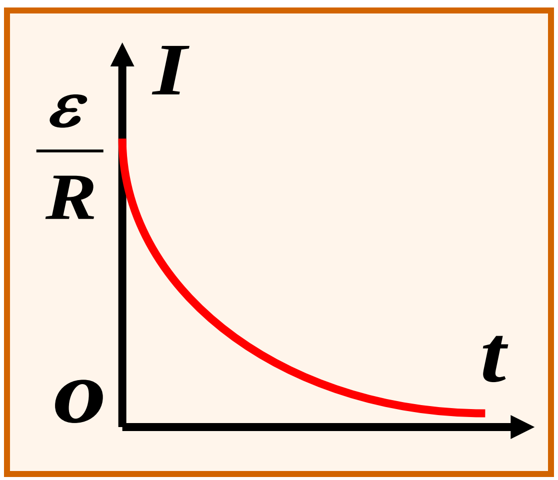
第二节　磁场能量

一、自感磁能

二、磁场能量

一、自感磁能





$$K \rightarrow 1 \qquad I_0 = \frac{\varepsilon}{R}$$

K 由 $1 \rightarrow 2$

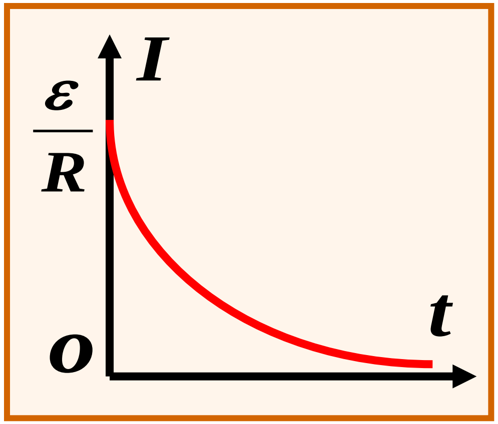
$$\varepsilon_L = -L\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t} = IR$$

$$\frac{\mathrm{d}I}{I} = -\frac{R\mathrm{d}t}{L}$$

$$\int_{I_0}^{I}\frac{\mathrm{d}I}{I} = -\int_0^t \frac{R}{L}\mathrm{d}t$$

$$\ln\frac{I}{I_0} = -\frac{R}{L}t$$

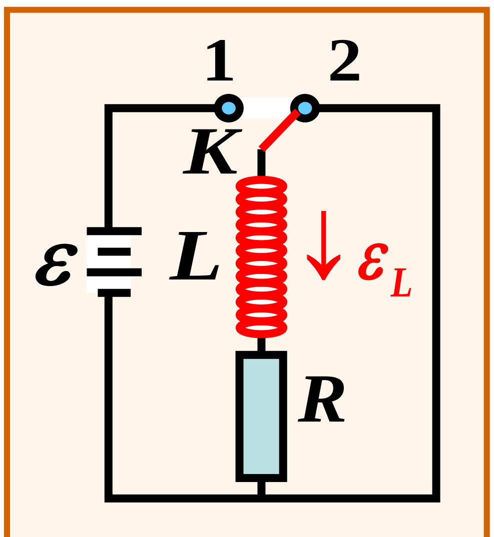
$$I = I_0 e^{-\frac{R}{L}t} = \frac{\varepsilon}{R}e^{-\frac{R}{L}t}$$



$$I = I_0 e^{-\frac{R}{L}t} = \frac{\varepsilon}{R} e^{-\frac{R}{L}t}$$

电流由 $I \to 0$ 过程中自感电动势所做的功等于线圈中储存的磁能。

自感磁能:储存在通电线圈中的能量。



$$\mathrm{d}A = \varepsilon_L I \mathrm{d}t = -L\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t} \cdot I \mathrm{d}t = -LI\mathrm{d}I$$

$$A = \int \mathrm{d}A = -\int_I^0 LI\mathrm{d}I = \frac{1}{2}LI^2$$

自感磁能:$W_m = A = \frac{1}{2}LI^2$

二、磁场能量

自感磁能 $W_m = \frac{1}{2}LI^2$

对长直螺线管 $L = \mu n^2 V$，　　$I = \frac{B}{\mu n}$

$$W_m = \frac{1}{2}(\mu n^2 V)\cdot(\frac{B}{\mu n})^2 = \frac{B^2}{2\mu}\cdot V \qquad w_m = \frac{W_m}{V} = \frac{B^2}{2\mu}$$

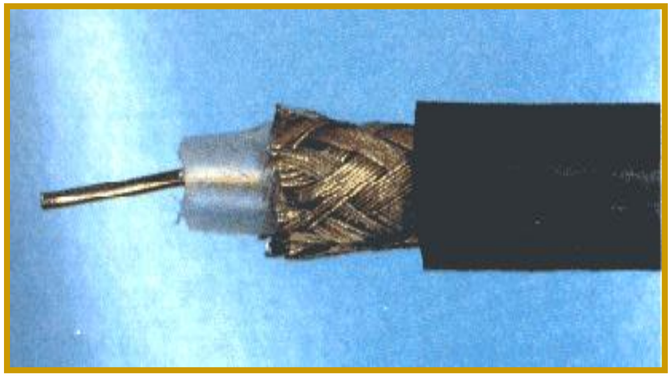
可以推广到一般情况：

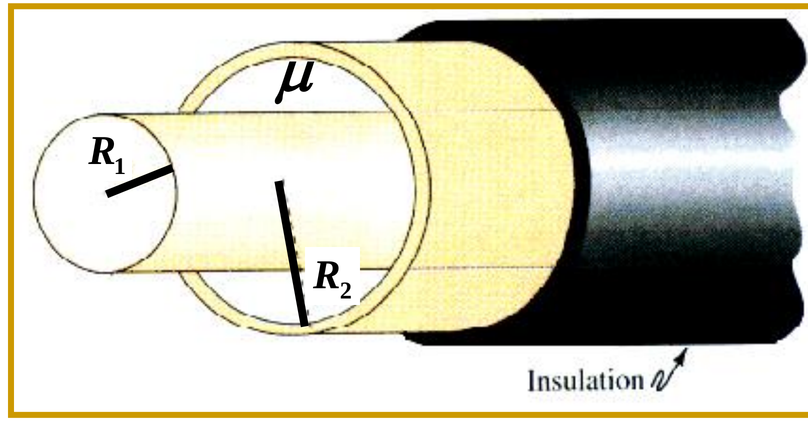
1. 磁能密度：磁场单位体积内的能量

$$w_m = \frac{B^2}{2\mu} = \frac{1}{2}BH$$

2. 磁场能量：$W_m = \int_V w_m \mathrm{d}V = \int_V \frac{B^2}{2\mu}\mathrm{d}V = \int_V \frac{1}{2}BH\mathrm{d}V$

自学：已知同轴薄筒电缆R_1，R_2, μ, l求L

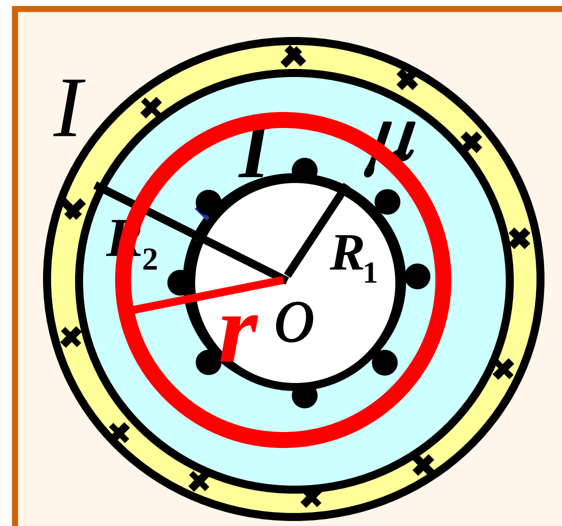




解：设电缆中通有如图流向电流I

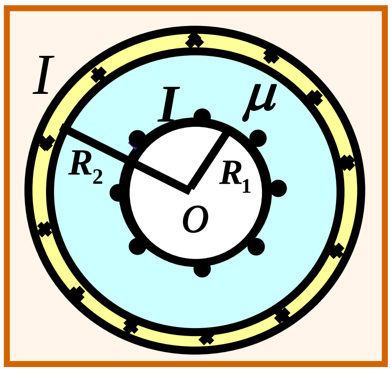
由安培环路定理：

$$B=\begin{cases}0 & (r<R_1\ ,\ r>R_2)\\ \dfrac{\mu I}{2\pi r} & (R_1<r<R_2)\end{cases}$$



取体积元 $\mathrm{d}V=l\cdot 2\pi r\mathrm{d}r$

$$W=\int_V \frac{B^2}{2\mu}\mathrm{d}V=\int_{R_1}^{R_2}\frac{\mu^2 I^2}{2\mu(2\pi r)^2}\cdot 2\pi rl\,\mathrm{d}r=\frac{\mu I^2 l}{4\pi}\ln\frac{R_2}{R_1}$$



$$\left.\begin{aligned} W&=\frac{\mu I^2 l}{4\pi}\ln\frac{R_2}{R_1} \\ W&=\frac{1}{2}LI^2 \end{aligned}\right\}\ \frac{1}{2}LI^2=\frac{\mu l I^2}{4\pi}\ln\frac{R_2}{R_1}$$

得： $L=\dfrac{\mu l}{2\pi}\ln\dfrac{R_2}{R_1}$

第三节　　位移电流

一、问题的提出

二、位移电流

三、安培环路定理的推广

一、问题的提出

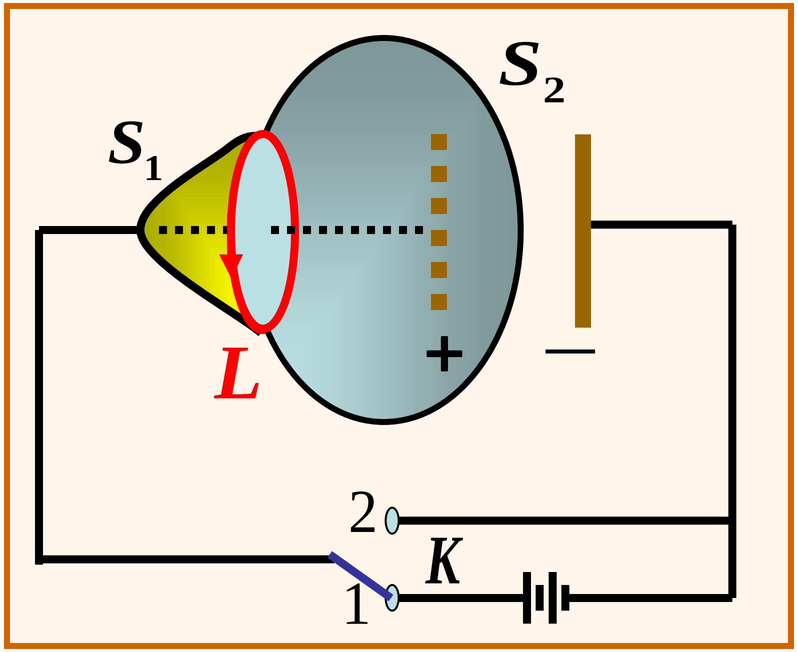
稳恒磁场的安培环路定理：

$$\oint_L \vec{H}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = \sum_{(L内)} I_0$$

穿过以L为边界的任意曲面的传导电流

问题：非稳恒情况如何？

非稳恒情况举例：电容器充放电



取回路L，作以L为边界的曲面

- 导线穿过S_1
- 导线不穿过S_2

对S_1：$\oint_L \vec{H}\cdot d\vec{l} = I$

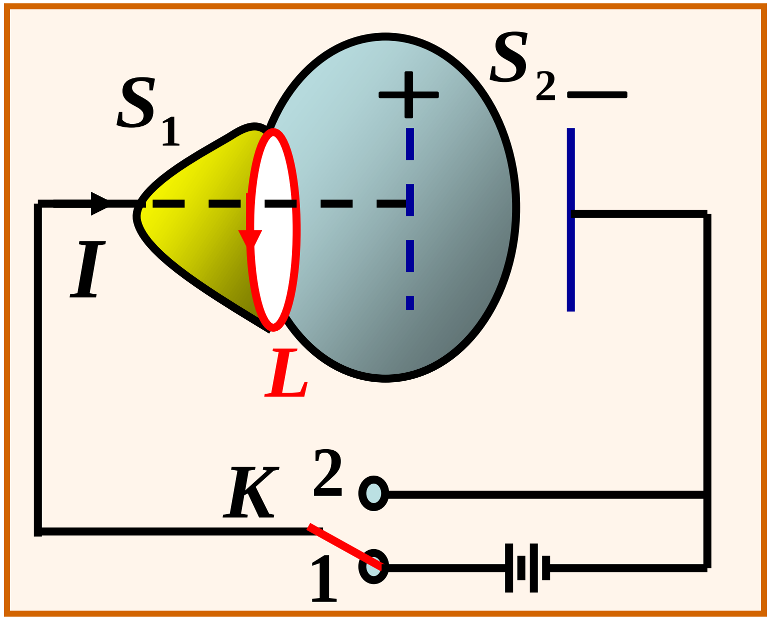
对S_2：$\oint_L \vec{H}\cdot d\vec{l} = 0$

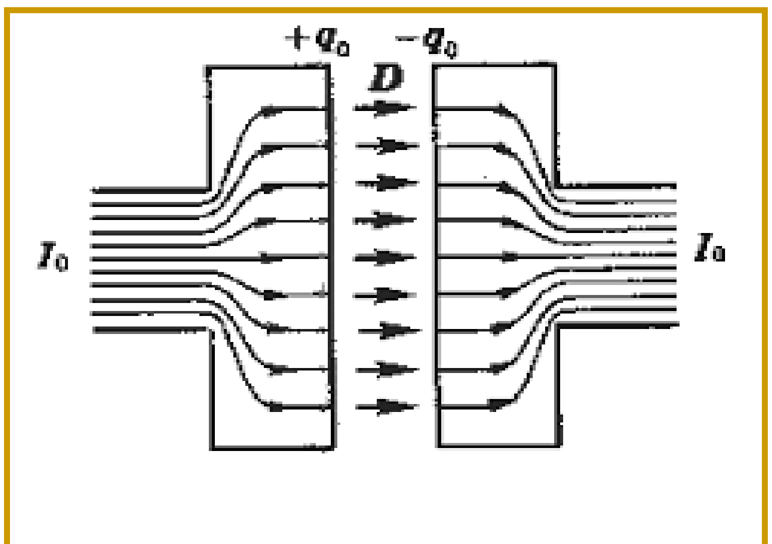
矛盾！

矛盾说明将安培环路定理推广到一般情况时需要进行补充和修正。

出现矛盾的原因：非稳恒情况下传导电流不连续！

$$\oint_{S_1+S_2} \vec{j}\cdot d\vec{S} = -I \neq 0$$（ I 流入S_1，不流出S_2 ）





传导电流不连续的后果：
电荷在极板上堆积量变化。

电荷密度随时间变化
（充电 $\sigma\uparrow$，放电 $\sigma\downarrow$）
极板间出现变化电场.

解决问题思路：

寻找极板上传导电流与极板间变化电场之间的关系。

寻找极板上传导电流与极板间变化电场之间的关系：

传导电流	板间电场	结论
$I=\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(\sigma S)=S\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}t}$ $j=\frac{I}{S}=\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}t}$	$E=\sigma/\varepsilon$ $D=\varepsilon E=\sigma$ $\frac{\mathrm{d}D}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}t}$	大小关系： $j=\frac{\mathrm{d}D}{\mathrm{d}t}$

通过分析可知：$\vec{j}$ 与 $\frac{\mathrm{d}\vec{D}}{\mathrm{d}t}$ 同向

$$\vec{j} = \frac{\mathrm{d}\vec{D}}{\mathrm{d}t}$$

若 $\frac{\mathrm{d}D}{\mathrm{d}t} > 0$，$\vec{j}$ 与 $\vec{D}$ 同向，

若 $\frac{\mathrm{d}D}{\mathrm{d}t} < 0$，$\vec{j}$ 与 $\vec{D}$ 反向。

$$I = \int_S \vec{j} \cdot \mathrm{d}\vec{S} = \int_S \frac{\mathrm{d}\vec{D}}{\mathrm{d}t} \cdot \mathrm{d}\vec{S} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\int_S \vec{D} \cdot \mathrm{d}\vec{S} = \frac{\mathrm{d}\phi_D}{\mathrm{d}t}$$

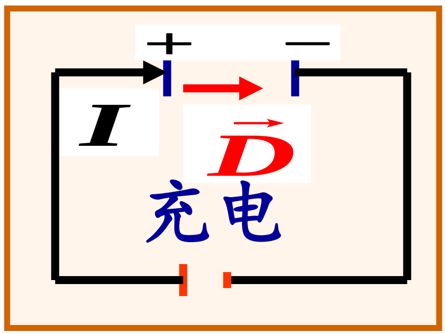
其中ϕ_D为穿过极板的电位移通量。

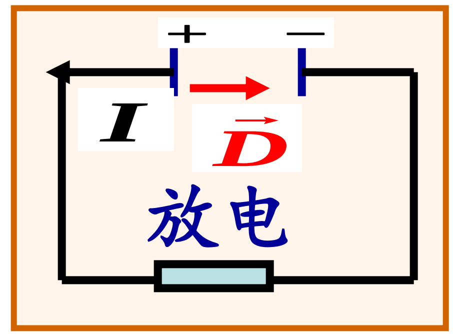
(1)板间电场的电位移矢量 $\vec{D}$ 对时间的变化率 $\mathrm{d}\vec{D}/\mathrm{d}t$ 等于极板上的传导电流密度 $\vec{j}$ 。

(2)穿过极板的电位移通量 ϕ_D 对时间变化率 $\mathrm{d}\phi_D/\mathrm{d}t$ 等于极板上的传导电流 I 。

问题的解决办法：

将 $\mathrm{d}\phi_D/\mathrm{d}t$ 视为一种电流，$\mathrm{d}\vec{D}/\mathrm{d}t$ 为其电流密度。





传导电流密度 $\vec{j}$ 在极板上中断，可由 $\mathrm{d}\vec{D}/\mathrm{d}t$ 接替。

传导电流 I 在极板上中断，可由 $\mathrm{d}\phi_D/\mathrm{d}t$ 接替。

非稳恒情况不连续电流 $\longrightarrow$ 连续电流，解决了非稳恒情况电流的连续性问题。

二、位移电流

位移电流密度矢量：$\vec{j}_D = \dfrac{\mathrm{d}\vec{D}}{\mathrm{d}t}$　位移电流：$I_D = \dfrac{\mathrm{d}\phi_\mathrm{D}}{\mathrm{d}t}$

上式揭示变化电场与电流的等效关系：就电流的磁效应而言，变化的电场(位移电流)与电流等效。

传导电流与位移电流的比较

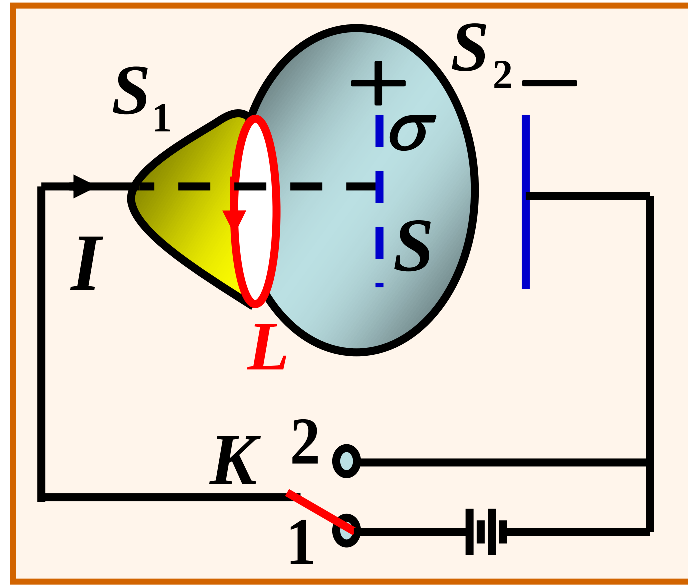
	传导电流I_0	位移电流I_D
起源	自由电荷宏观定向运动	变化电场和极化电荷的微观运动
特点	产生焦耳热只在导体中存在	无焦耳热，在导体、电介质、真空中均存在。
共同点	都能激发磁场	

三、安培环路定理的推广

1. 全电流 $I_{全} = I_0 + I_D$

对任何电路，全电流总是连续的

$$\oint_{S_1+S_2} (\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) \cdot \mathrm{d}\vec{S} = 0$$



2. 推广的安培环路定理

$$\oint_L \vec{H} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = \sum_{(L内)} I_{全} = \sum_{(L内)} (I_0 + I_D) = \int_S (\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) \cdot \mathrm{d}\vec{S}$$

对于电容器充放电：

$$\oint_L \vec{H} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = I_{全} = \begin{cases} I & 对\ S_1 \\ I_D = I & 对\ S_2 \end{cases}$$

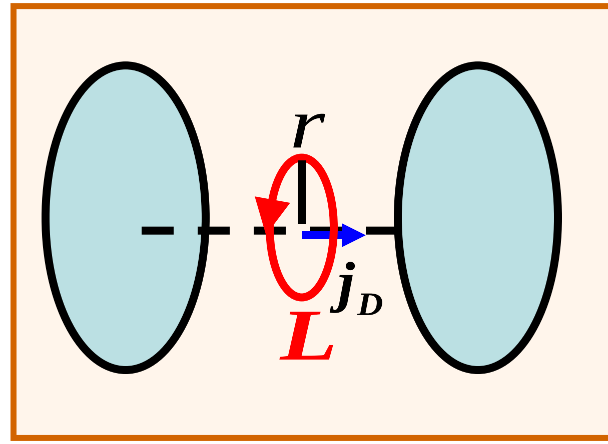
不矛盾！

例题:已知一平行板电容器内交变电场强度为:

$$E = 720\sin 10^5 \pi t\ (\mathrm{V/m})。$$

求:(1) 电容器内位移电流密度的大小;

(2) 电容器内到两板中心连线距离0.01米处磁场强度的峰值(不计传导电流的磁场)。



解:(1) $E = 720\sin 10^5 \pi t$, $D = 720\varepsilon_0 \sin 10^5 \pi t$

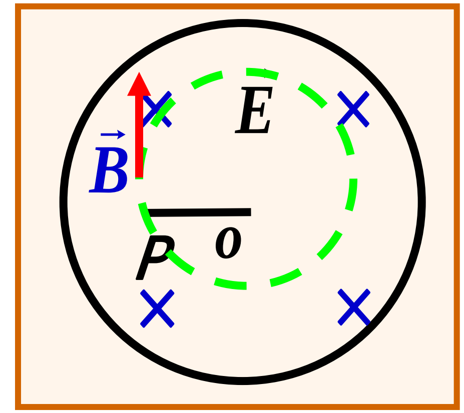
$$j_D = \frac{\mathrm{d}D}{\mathrm{d}t} = 720\times 10^5 \pi\varepsilon_0 \cos 10^5 \pi t\ \ (\mathrm{A\cdot m^{-2}})$$

(2) 由安培环路定理: $\oint_L \vec{H}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = \int_S \vec{j}_D \cdot \mathrm{d}\vec{S}$ $\quad H\cdot 2\pi r = j_D \pi r^2$

$$H = \frac{j_D r}{2} = 3.60\times 10^5 \pi\varepsilon_0 \cos 10^5 \pi t$$

$$H_m = 3.6\times 10^5 \pi\varepsilon_0 \approx 10^{-5}\ \mathrm{A\cdot m^{-1}}$$

练习：图示为一圆柱体的横截面，圆柱体内有一均匀电场$\vec{E}$，其方向垂直纸面向内，$\vec{E}$大小随时间t线性增加，P为柱体内与轴线相距为r的一点，则：



(1) P点的位移电流密度的方向为垂直纸面向里。

(2) P点感生磁场的方向为垂直OP连线向上。

解：(1) 由$\vec{D}=\varepsilon\vec{E}$知：$\vec{D}$的方向为垂直纸面向里，且

$$\frac{\mathrm{d}D}{\mathrm{d}t}=\varepsilon\frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}t}>0 \qquad \therefore \vec{j}=\frac{\mathrm{d}\vec{D}}{\mathrm{d}t}$$与$\vec{D}$同向，垂直纸面向里。

(2)：由题$\vec{j}$均匀，圆柱体为半径为R的均匀载流圆柱体，其产生的感生磁场与I呈右旋关系，故：P磁场：垂直OP连线向上。

第四节　麦克斯韦方程组的积分形式

一、麦克斯韦方程组的积分形式

二、麦克斯韦方程组的意义

一、麦克斯韦方程组的积分形式

		高斯定理	环路定理
磁场		$\boxed{\oint_S \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{S}=0}$	$\boxed{\oint_L \vec{H}\cdot \mathrm{d}\vec{l}=\int_S (\vec{j}+\frac{\partial \vec{D}}{\partial t})\cdot \mathrm{d}\vec{S}}$
电场	静电场	$\oint_S \vec{D}^{(1)}\cdot \mathrm{d}\vec{S}=\sum_{S内} q_0=\int_V \rho \mathrm{d}V$	$\oint_L \vec{E}^{(1)}\cdot \mathrm{d}\vec{l}=0$
	感生电场	$\oint_S \vec{D}^{(2)}\cdot \mathrm{d}\vec{S}=0$	$\oint_L \vec{E}^{(2)}\cdot \mathrm{d}\vec{l}=-\int \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\cdot \mathrm{d}\vec{S}$
	一般电场	$\vec{D}=\vec{D}^{(1)}+\vec{D}^{(2)}$ $\boxed{\oint_S \vec{D}\cdot \mathrm{d}\vec{S}=\int_V \rho \mathrm{d}V}$	$\vec{E}=\vec{E}^{(1)}+\vec{E}^{(2)}$ $\boxed{\oint_L \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{l}=-\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\cdot \mathrm{d}\vec{S}}$

麦克斯韦方程组：

$$
\left\{
\begin{aligned}
&\oint_S \vec{D}\cdot \mathrm{d}\vec{S} = \int_V \rho \mathrm{d}V \\
&\oint_S \vec{B}\cdot \mathrm{d}\vec{S} = 0 \\
&\oint_L \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\cdot \mathrm{d}\vec{S} \\
&\oint_L \vec{H}\cdot \mathrm{d}\vec{l} = \int_S (\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t})\cdot \mathrm{d}\vec{S}
\end{aligned}
\right.
$$

二、麦克斯韦方程组的意义

1.是对电磁场宏观实验规律的全面总结和概括，是经典物理三大支柱之一。

方　程	实 验 基 础	意 义
$\oint_S \vec{D}\cdot d\vec{S}=\int_V \rho dV$	库仑定律 感生电场假设	电场性质
$\oint_S \vec{B}\cdot d\vec{S}=0$	未发现磁单极	磁场性质
$\oint_L \vec{E}\cdot d\vec{l}=-\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\cdot d\vec{S}$	法拉第电磁 感应定律	变化磁场 产生电场
$\oint_L \vec{H}\cdot d\vec{l}=\int_S (\vec{j}+\frac{\partial \vec{D}}{\partial t})\cdot d\vec{S}$	安培定律 位移电流假设	变化电场 产生磁场

2.揭示了电磁场的统一性和相对性

- 电磁场是统一的整体
- 电荷与观察者相对运动状态不同时，电磁场可以表现为不同形态。

空间带电体 $\begin{cases} \text{对相对其静止的观察者——静电场} \\ \text{对相对其运动的观察者} \begin{cases} \text{电场} \\ \text{磁场} \end{cases} \end{cases}$

3.预言了电磁波的存在

（自由空间 $\rho = 0$ ，$\vec{j} = 0$）

$$\left.\begin{aligned} \oint_L \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{l} &= -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \mathrm{d}\vec{S} \\ \oint_L \vec{H} \cdot \mathrm{d}\vec{l} &= \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \cdot \mathrm{d}\vec{S} \end{aligned}\right\} \text{变化电场} \rightleftarrows \text{变化磁场}$$

因此：电磁波可脱离电荷、电流在空间传播。

4.预言了光的电磁本性

电磁波的传播速率 $\boxed{v=\dfrac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}=c}$

麦克斯韦对两个预言坚信不疑

5.是经典物理 — 近代物理桥梁

创新物理概念(两个假设)：涡旋电场、位移电流

严密逻辑体系

简洁数学形式

正确科学推论(两个预言)：电磁波，光的电磁本性

6.局限性

(1) 是在承认电荷连续分布基础上建立的宏观经典理论，未和物质微观结构联系起来。

(2) 方程为不完全对称的。

$$
\left\{
\begin{aligned}
&\oint_S \vec{D} \cdot \mathrm{d}\vec{S} = \int_V \rho \mathrm{d}V \\
&\oint_S \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{S} = 0 \\
&\oint_L \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \mathrm{d}\vec{S} \\
&\oint_L \vec{H} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = \int_S (\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) \cdot \mathrm{d}\vec{S}
\end{aligned}
\right.
$$

期末总复习

一、基本概念、基本原理、基本公式（教材、教案）

（模型法、隔离法，微元分析法、对称分析法、守恒定律法…）

模型：电介质：电偶极子；磁介质：分子圆电流

二、例题和练习题（教案）

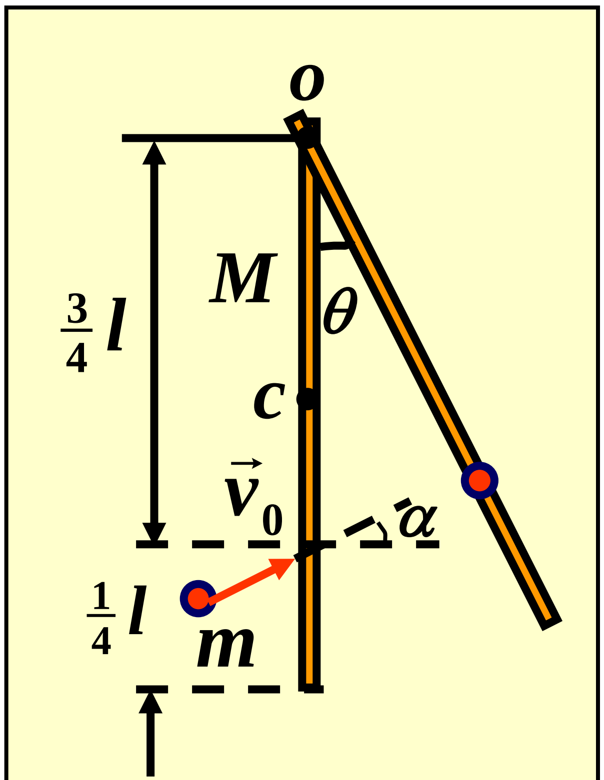
习题（教材）

三、作业（打印）

四、例题：

例：已知：M, l, m, α, v_0；击中$\frac{3}{4}l$ 处

求：击中时 ω；$\theta_{\max}=?$（只列方程）



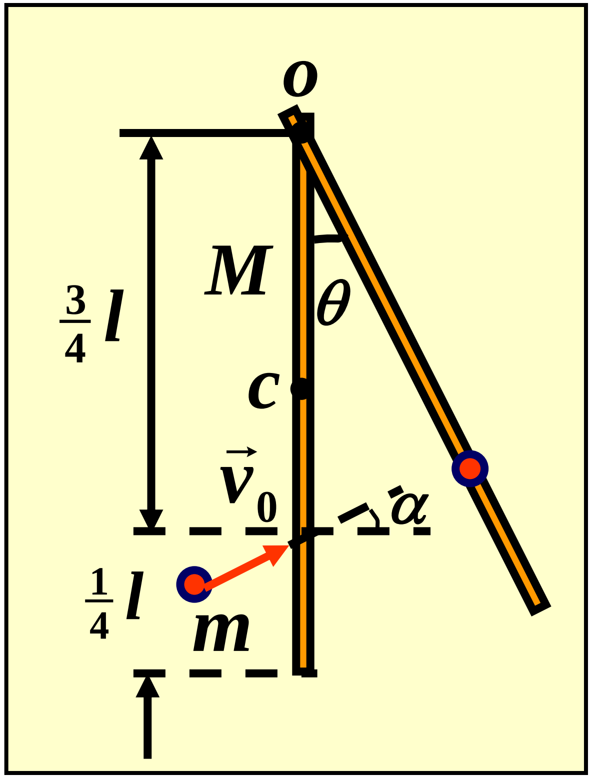
分几个阶段求解，各遵循什么规律?

分两个阶段

1）相撞：质点 ⟷ 定轴刚体

对 O 轴角动量守恒

2）摆动：M + m + 地球系统E守恒



1）相撞：质点 ⟷ 定轴刚体

对 O 轴角动量守恒

撞前：

$$L_m = \left|\vec{r}\times m\vec{v}_0\right| = \frac{3}{4}lmv_0\sin\left(\frac{\pi}{2}+\alpha\right)$$

$$= \frac{3}{4}lmv_0\cos\alpha$$

$$L_M = 0 \quad \therefore L = L_m + L_M = \frac{3}{4}lmv_0\cos\alpha$$

撞后：$L' = J\omega = [m\left(\frac{3}{4}l\right)^2 + \frac{1}{3}Ml^2]\omega$

$$\therefore \quad \frac{3}{4}lmv_0\cos\alpha = \left(\frac{9}{16}m + \frac{1}{3}M\right)l^2\omega$$

2）摆动：$M + m +$ 地球系统 E 守恒

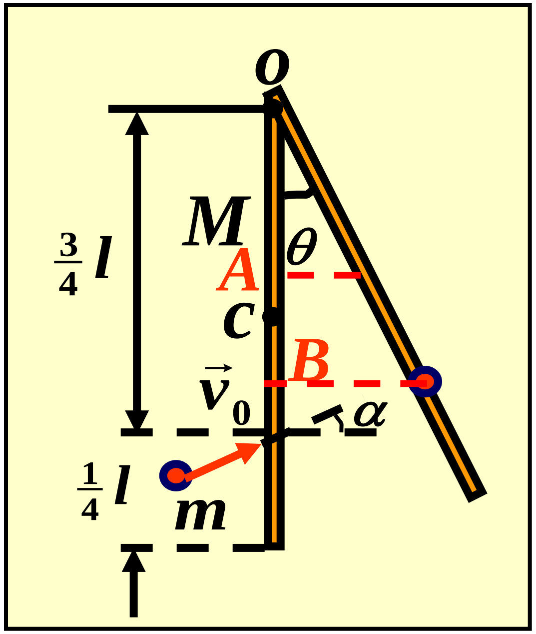
	动能 E_k	势能E_p
初态	$\frac{1}{2}\left(\frac{9}{16}m+\frac{1}{3}M\right)l^2\omega^2$	m: $\frac{1}{4}mgl$　　M: $\frac{1}{2}Mgl$
末态	0	m: $mgl\left(1-\frac{3}{4}\cos\theta\right)$
		M: $Mgl\left(1-\frac{1}{2}\cos\theta\right)$

$$\frac{1}{2}\left(\frac{9}{16}m+\frac{1}{3}M\right)l^2\omega^2+\frac{1}{4}mgl+\frac{1}{2}Mgl$$

$$=0+mgl\left(1-\frac{3}{4}\cos\theta\right)+Mgl\left(1-\frac{1}{2}\cos\theta\right)$$

$$\therefore \frac{1}{2}\left(\frac{9}{16}m+\frac{1}{3}M\right)l^2\omega^2$$

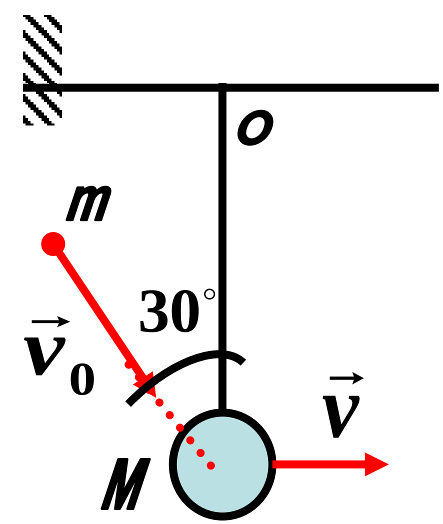
$$=\left(\frac{M}{2}+\frac{3}{4}m\right)gl\left(1-\cos\theta\right)$$

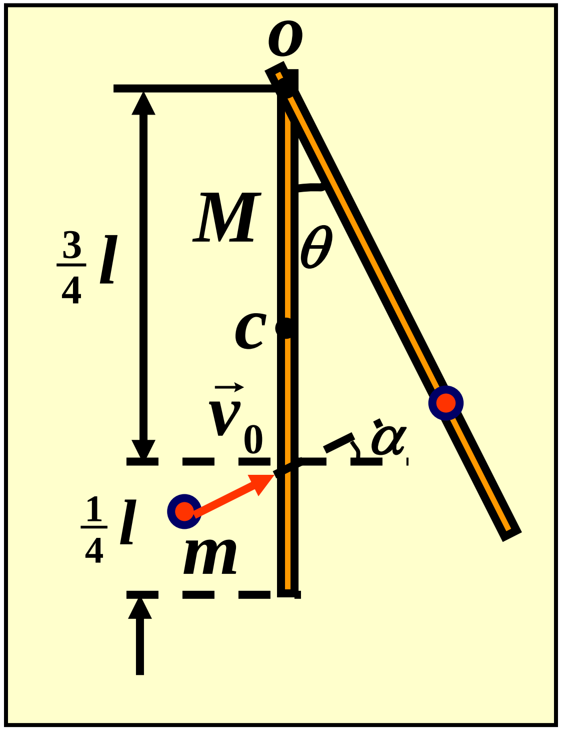


$$\begin{cases} \dfrac{3}{4} lmv_0 \cos\alpha = \left(\dfrac{9}{16}m + \dfrac{1}{3}M\right) l^2 \omega \\ \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{9}{16}m + \dfrac{1}{3}M\right) l^2 \omega^2 = \left(\dfrac{M}{2} + \dfrac{3}{4}m\right) gl(1-\cos\theta) \end{cases}$$

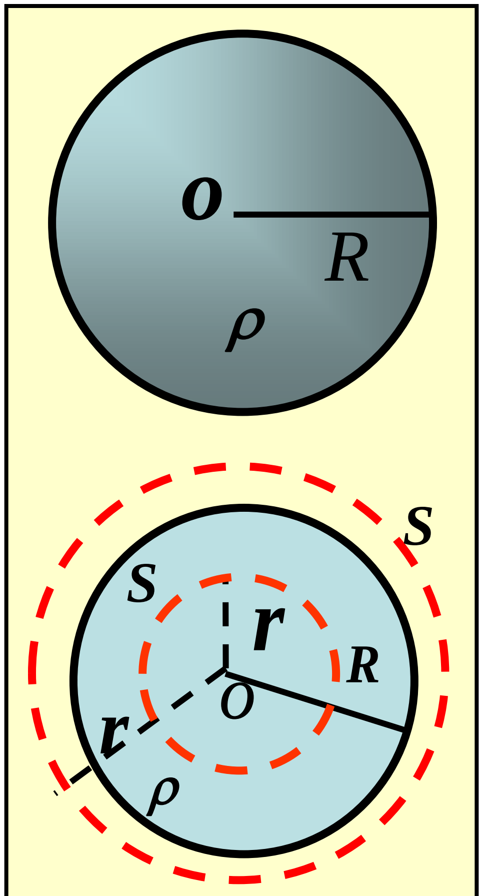
由此可解出所求值

例：





例1（P_{258} 9.14）：求半径为R，电荷体密度 $\rho = k/r$（k为常数，$r \leq R$）的带电球体内外的场强 。



思考：选用哪种方法求解更方便?

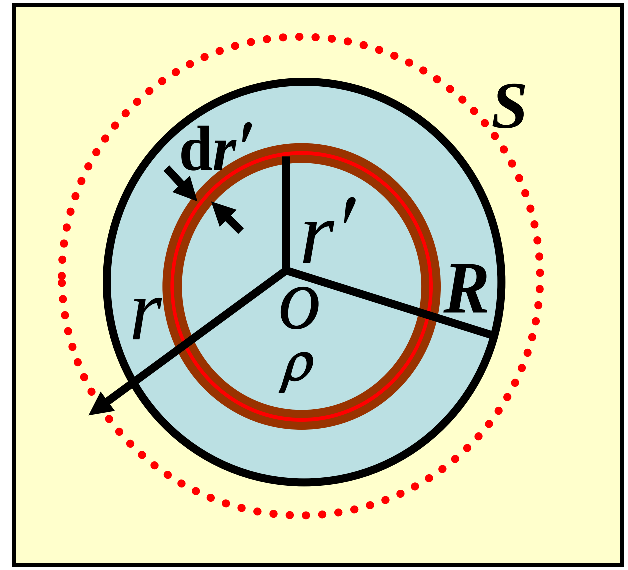
$\rho = k/r$ 未破坏电场分布的球对称性。用高斯定理求解方便。

解:高斯面为:半径为 r的同心球面S

$$\oint_s \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{S} = E \cdot 4\pi r^2$$

$$\sum q_{内} = \rho \cdot V = \frac{\kappa}{r} \cdot \frac{4}{3} \pi r^3$$

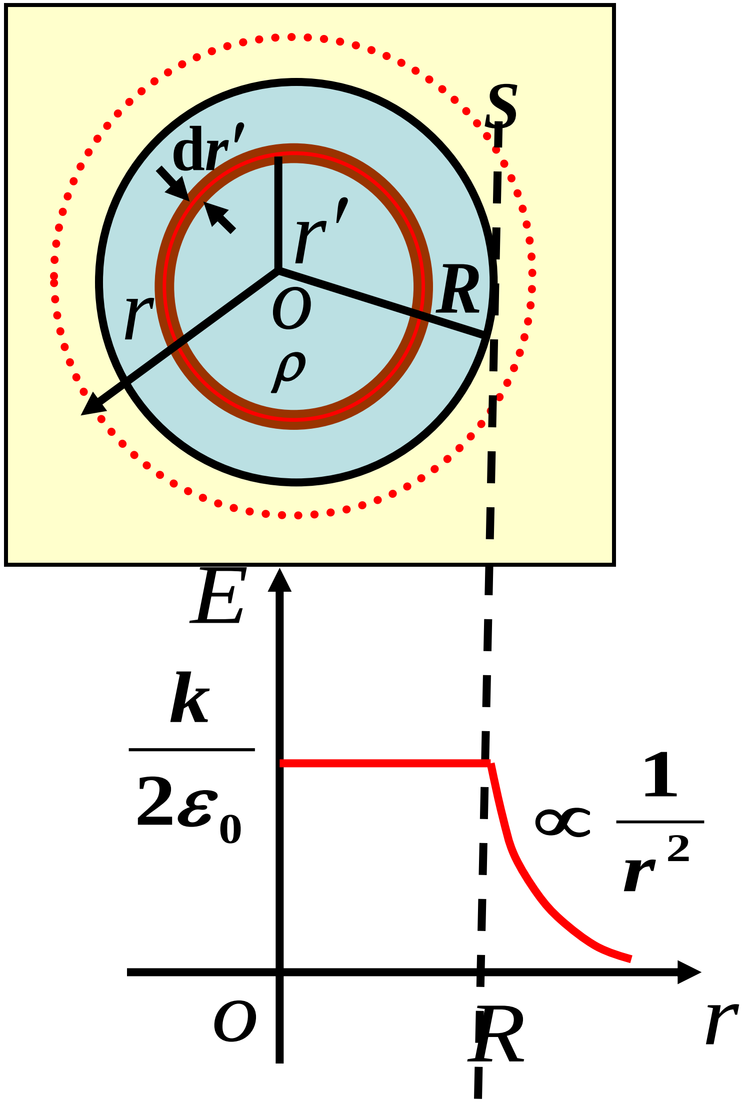
对否？ 



$$\mathrm{d}q = \rho \mathrm{d}V = \frac{k}{r'} \cdot 4\pi r'^2 \mathrm{d}r'$$

$$r > R: \sum q_{内} = \int \mathrm{d}q = \int \rho \mathrm{d}V = \int_0^R \frac{k}{r'} \cdot 4\pi r'^2 \mathrm{d}r' = 2\pi k R^2$$

$$r < R: \sum q_{内} = \int \mathrm{d}q = \int \rho \mathrm{d}V = \int_0^r \frac{k}{r'} \cdot 4\pi r'^2 \mathrm{d}r' = 2\pi k r^2$$



由高斯定理得：

$$E\cdot 4\pi r^2=\frac{1}{\varepsilon_0}\sum q_{内}$$

$$\therefore E_{内}=\frac{2\pi k r^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}=\frac{k}{2\varepsilon_0}$$

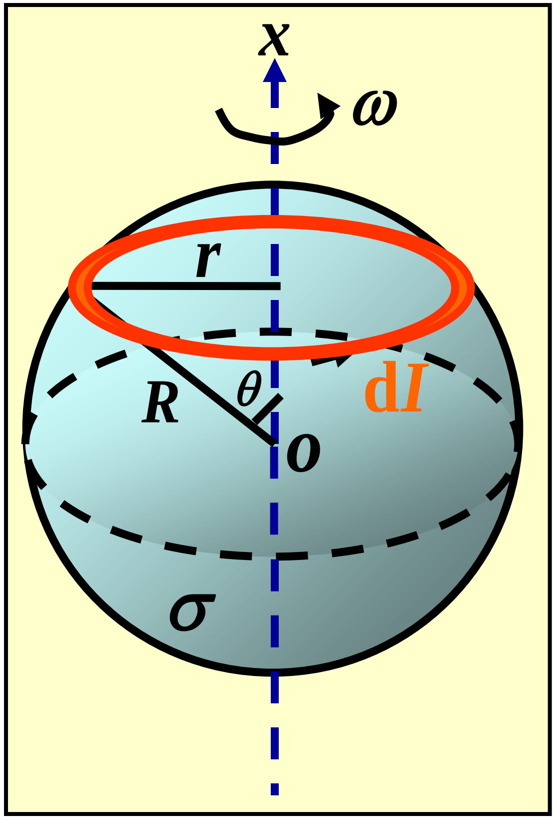
$$E_{外}=\frac{2\pi k R^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}=\frac{kR^2}{2\varepsilon_0 r^2}$$

沿径向

会计算：

柱形电容器、球形电容器的电容、电压、极板间的电场、电容器能量。

例2(与P_{310} 10.6类似):均匀带电球面(R ,σ), 绕直径以ω 匀速旋转, 求球心处$\vec{B}_0$



解:旋转带电球面 $\xrightarrow{\text{等效}}$ 环形电流集合

取半径 r 的环带

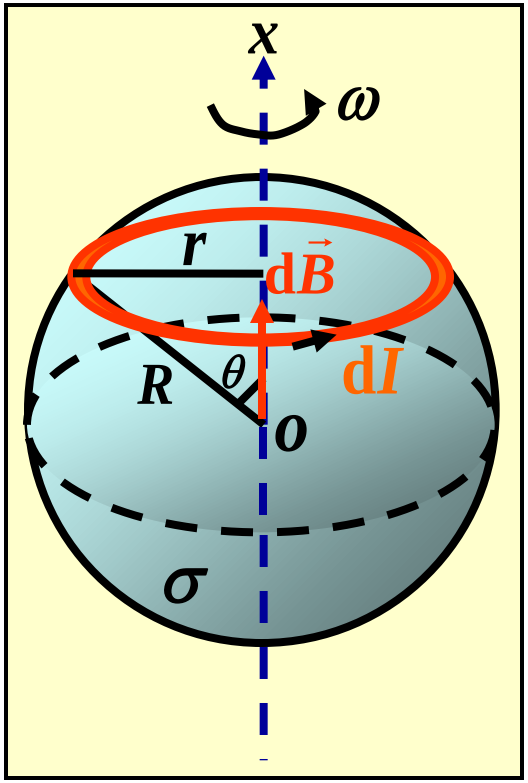
$$\mathrm{d}q = \sigma \mathrm{d}S = \sigma \cdot 2\pi r R \mathrm{d}\theta$$

$$= \sigma \cdot 2\pi R^2 \sin\theta \mathrm{d}\theta$$

等效圆电流:

$$\mathrm{d}I = \frac{\omega \mathrm{d}q}{2\pi} = \sigma R^2 \omega \sin\theta \mathrm{d}\theta$$

注意: 任何电量dq旋转产生的圆电流为: $dI = \dfrac{\omega \mathrm{d}q}{2\pi}$



$$\mathrm{d}B = \frac{\mu_0 r^2 \mathrm{d}I}{2(r^2 + x^2)^{3/2}}$$

$$= \frac{\mu_0 \sigma R^2 \omega \sin\theta \mathrm{d}\theta \cdot R^2 \sin^2\theta}{2R^3}$$

$$= \frac{R}{2}\mu_0 \sigma \omega \sin^3\theta \mathrm{d}\theta$$

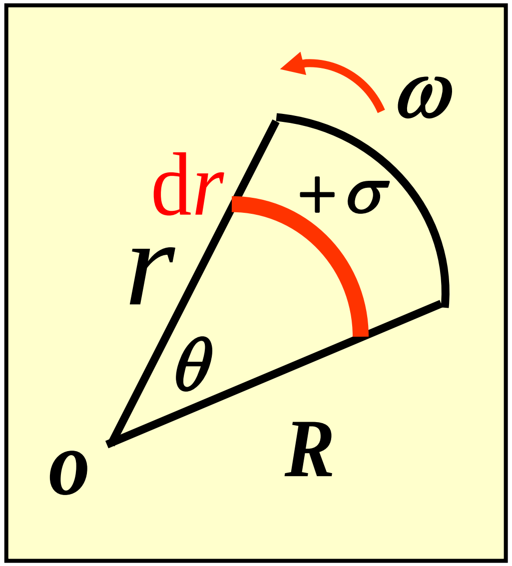
方向如图

$$B = \int \mathrm{d}B = \frac{\mu_0}{2} R\sigma\omega \int_0^{\pi} \sin^3\theta \mathrm{d}\theta = \frac{2}{3}\mu_0 R\sigma\omega$$

方向：沿x方向

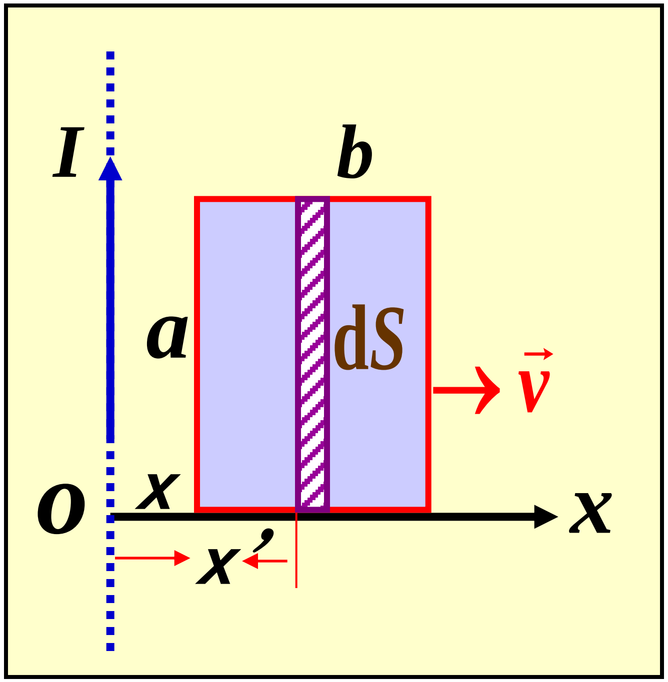
写成矢量式：$\vec{B} = \frac{2}{3}\mu_0 R\sigma\vec{\omega}$

一定要会计算磁矩！



要会计算O点的磁场和磁矩！

例3(P$_{343}$ 11.9):已知:$I = I_0\cos\omega t, a, b, \vec{v}$, 求:$\varepsilon = ?$



解:同时存在$\varepsilon_{动}$,$\varepsilon_{感}$

直接由法拉第电磁感应定律求解

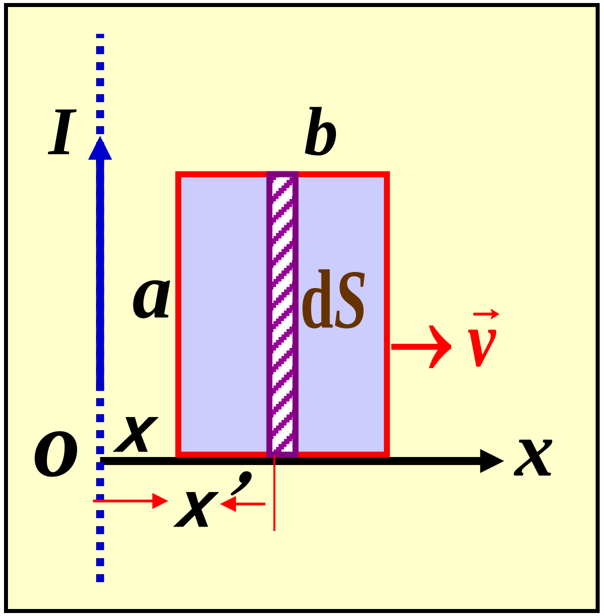
设t时刻矩形线圈左边处于x处

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x'} \qquad \mathrm{d}S = a\,\mathrm{d}x'$$

$$\mathrm{d}\phi_m = \vec{B}\cdot\mathrm{d}\vec{S} = \frac{\mu_0 I a}{2\pi}\frac{\mathrm{d}x'}{x'}$$

$$\phi_m = \int \mathrm{d}\phi_m = \int_x^{x+b} \frac{\mu_0 I a}{2\pi}\frac{\mathrm{d}x'}{x'} = \frac{\mu_0 I a}{2\pi}\ln\frac{x+b}{x}$$

$$= \frac{\mu_0 a}{2\pi} I_0 \cos\omega t \cdot \ln\frac{x+b}{x}$$



$$\phi_m = \frac{\mu_0 a}{2\pi} I_0 \cos\omega t \cdot \ln\frac{x+b}{x}$$

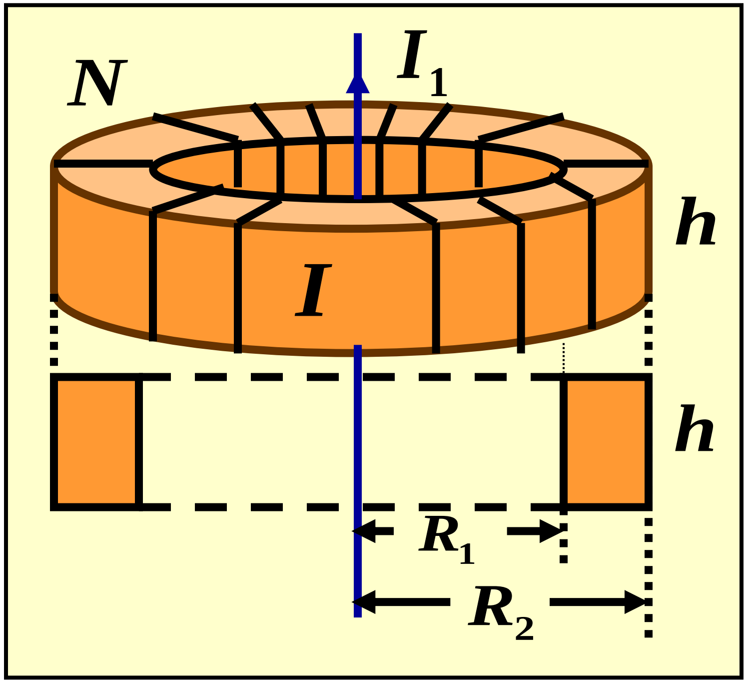
$$\varepsilon = -\frac{\mathrm{d}\phi_m}{\mathrm{d}t}$$

$$\varepsilon = \frac{\mu_0 I_0 a}{2\pi}\left[\omega \sin\omega t \cdot \ln\frac{x+b}{x} + \cos\omega t \cdot \frac{b}{(x+b)x}\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right]$$

$$= \frac{\mu_0 I_0 a}{2\pi}\left[\underbrace{\omega \sin\omega t \cdot \ln\frac{x+b}{x}}_{\text{第一项：}\varepsilon_{\text{感}}} + \underbrace{\frac{bv}{(x+b)x}\cos\omega t}_{\text{第二项：}\varepsilon_{\text{动}}}\right]$$

第一项：$\varepsilon_{\text{感}}$

第二项：$\varepsilon_{\text{动}}$



要会计算互感系数和感应电动势！