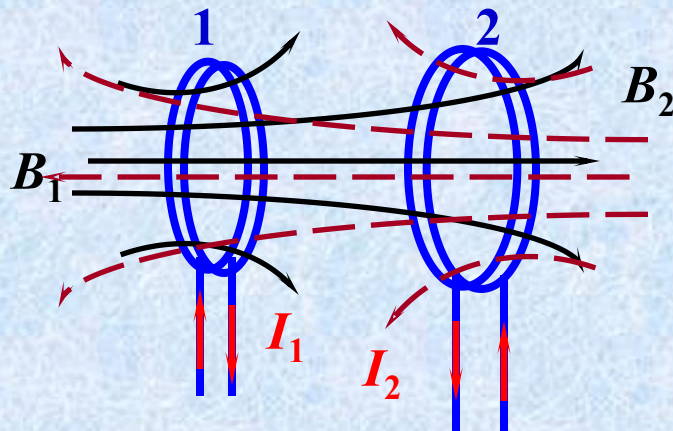


§ 5-2 互感和自感

一、互感现象 (*mutual induction phenomenon*)

互感现象：一个线圈中电流发生变化会在周围空间会产生变化的磁场，使处于此空间的另一个线圈中会产生感应电动势。



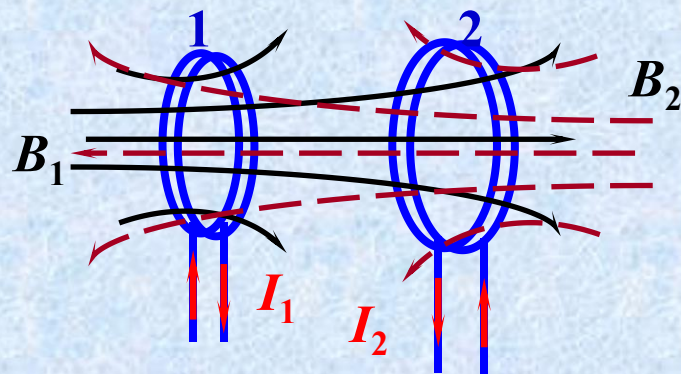
$\Phi_{12} = M_{12} I_1$; M_{12} 是线圈1对线圈2的互感系数，简称**互感**。

**线圈2中产生
感应电动势**

$$\mathcal{E}_2 = -\frac{d\Phi_{12}}{dt} = -\frac{d}{dt}(M_{12} I_1)$$

在线圈的形状、大小和相对位置保持不变，且周围不存在铁磁质的情况下，互感 M_{12} 为常量，上式化为

$$\varepsilon_2 = -M_{12} \frac{dI_1}{dt}$$



同样通有电流 I_2 的线圈2

在空间产生磁场 B_2 ， B_2 在线圈1中产生的磁通量为 Φ_{21} ，并且 Φ_{21} 正比于 I_2 ， $\Phi_{21} = M_{21} I_2$ ，

电流 I_2 变化，1中产生感应电动势

$$\varepsilon_1 = -M_{21} \frac{dI_2}{dt}$$

ε_2 和 ε_1 称为互感电动势，方向可按照楞次定律确定。

理论和实验都可以证明 $M_{21} = M_{12}$ 。

当线圈内或周围空间没有铁磁质时，互感 M 由线圈的几何形状、大小、匝数和相对位置所决定，若存在非铁磁质，还与磁介质的磁导率有关，但与线圈中电流无关；当线圈内或周围空间存在铁磁质时，互感除与以上因素有关外，还决定于线圈中的电流。

互感单位是**H(亨利)**： $1\text{H}=1\text{Wb}\cdot\text{A}^{-1}=1\text{V}\cdot\text{s}\cdot\text{A}^{-1}$ ，多采用mH(毫亨)或 μH (微亨)： $1\text{H}=10^3\text{mH}=10^6\mu\text{H}$ 。

互感应用：无线电和电磁测量。电源变压器,中周变压器,输入输出变压器,电压互感器,电流互感器。

互感危害：电路间互感干扰。

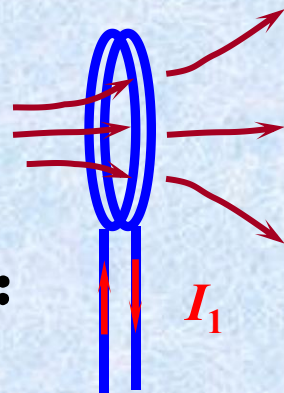
二、自感现象 (*self-induction phenomenon*)

自感现象： 当一个线圈中的电流变化时，激发的变化磁场引起了线圈自身的磁通量变化，从而在线圈自身产生感应电动势。

所产生的感应电动势称为**自感电动势**。

过线圈的磁通量与线圈自身电流成正比：

$\Phi = LI$, L 为自感系数，简称**自感**。



线圈中电流 I 发生变化，自身磁通量 Φ 也相应变化，在线圈中将产生自感电动势。根据法拉第电磁感应定律，

$$\text{自感电动势 } \varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(LI)$$

当线圈的大小和形状保持不变，且附近不存在铁磁质时，自感 L 为常量

$$\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt}$$

自感单位也是 H (亨利)与互感相同。

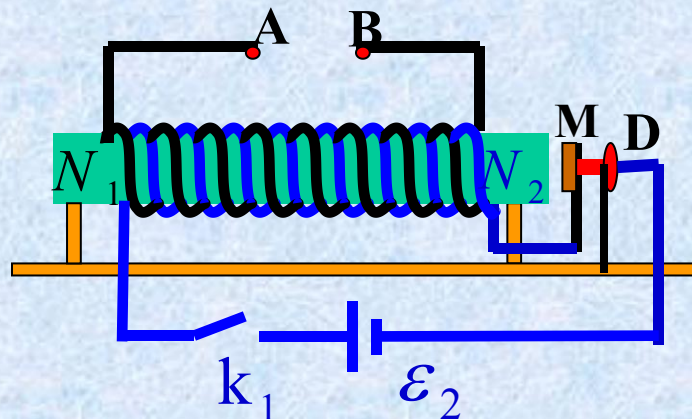
自感应用：日光灯镇流器；高频扼流圈；自感线圈与电容器组合构成振荡电路或滤波电路。

通电后，启辉器辉光放电，金属片受热形变互相接触，形成闭合回路，电流流过，日光灯灯丝加热释放电子。同时，启辉器接通辉光熄灭，金属片冷却断开，电路切断，镇流器线圈中产生比电源电压高得多的自感电动势，使灯管内气体电离发光。

自感危害：电路断开时，产生自感电弧。

感应圈：

在实际应用中常用两个同轴长直螺线管之间的互感来获得高压。



如图中所示：在硅钢铁芯上绕有 N_1 、 N_2 的两个线圈，且 $N_2 \gg N_1$ ，由断续器（ MD ）将 N_1 与低压电源连接，接通电源后，断续器使 N_1 中的电流反复通断，通过互感获得感应电动势，从而在次级线圈 N_2 中获得达几万伏的高压。

例如：汽车和煤气炉的点火器、电警棍等都是感应圈的应用。

例1：如图所示，一长度为 l 的直螺线管横截面积为 S ，匝数为 N_1 。在此螺线管的中部，密绕一匝数为 N_2 的短线圈，假设两组线圈中每一匝线圈的磁通量都相同。求两线圈的互感。

解：如果在线圈1中通以电流 I_1 ，则在线圈中部产生的磁感应强度为

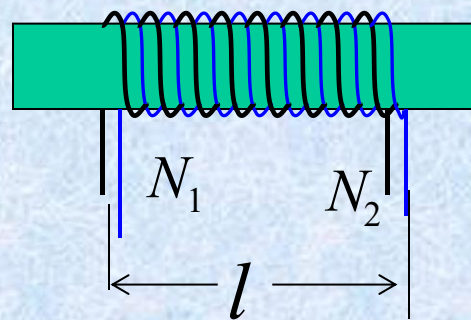
$$B = \mu_0 \frac{N_1}{l} I$$

磁场在线圈2中产生的磁通量为

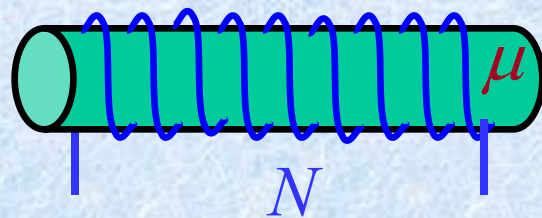
$$\Phi = N_2 BS = \mu_0 \frac{N_1 N_2}{l} SI$$

所以两线圈的互感为

$$M = \frac{\Phi}{I} = \mu_0 \frac{N_1 N_2}{l} S$$



例2：一长度为 l 、截面积为 S 的长直螺线管，密绕线圈的总匝数为 N ，管内充满磁导率为 μ 的磁介质。求此螺线管的自感。



解：在长直螺线圈管内部的

磁场可以认为是均匀的，并无限长螺线管内磁感应强度的公式

$$B = \mu H = \mu \frac{N}{l} I$$

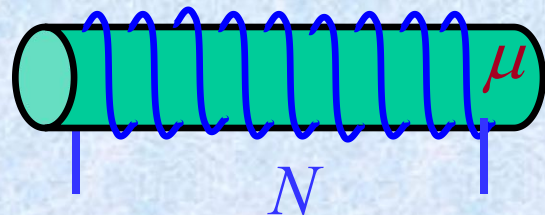
通过每匝磁通量相等 $\varphi = BS = \mu \frac{N}{l} IS$

总磁通量为 $\Phi = N\varphi = \mu \frac{N^2}{l} IS$

单位长度上的匝数表示为 $n=N/l$ ，将螺线管的体积表示 $V=Sl$ ，则 $\Phi=\mu n^2 I V$

所以螺线管的自感为

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



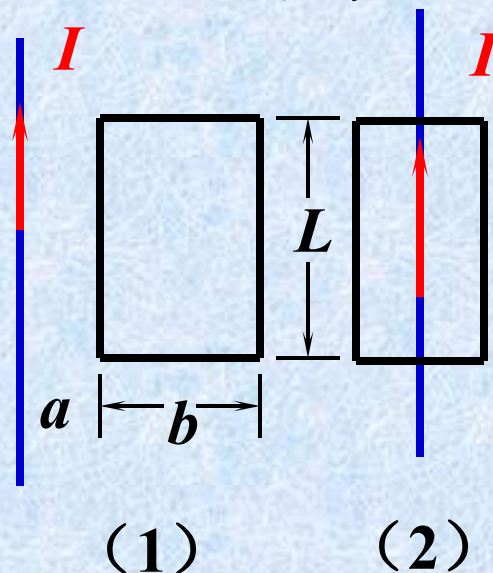
自感与线圈的体积成正比，与单位长度上匝数的平方成正比，还与介质的磁导率成正比。

例3： 求无限长直导线和矩形线框的互感系数。

解：对图（1）有：

$$\because \Phi = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int_a^{a+b} \frac{\mu I}{2\pi x} \cdot L dx$$

$$\therefore \Phi = \frac{\mu I L}{2\pi} \ln \frac{a+b}{a}$$



由互感系数的定义： $M = \frac{\Phi}{I} = \frac{\mu L}{2\pi} \ln \frac{a+b}{a}$

对图（2）：由于长直导线磁场的对称性，通过矩形线框的磁通量为零，所以它们的互感系数为零。