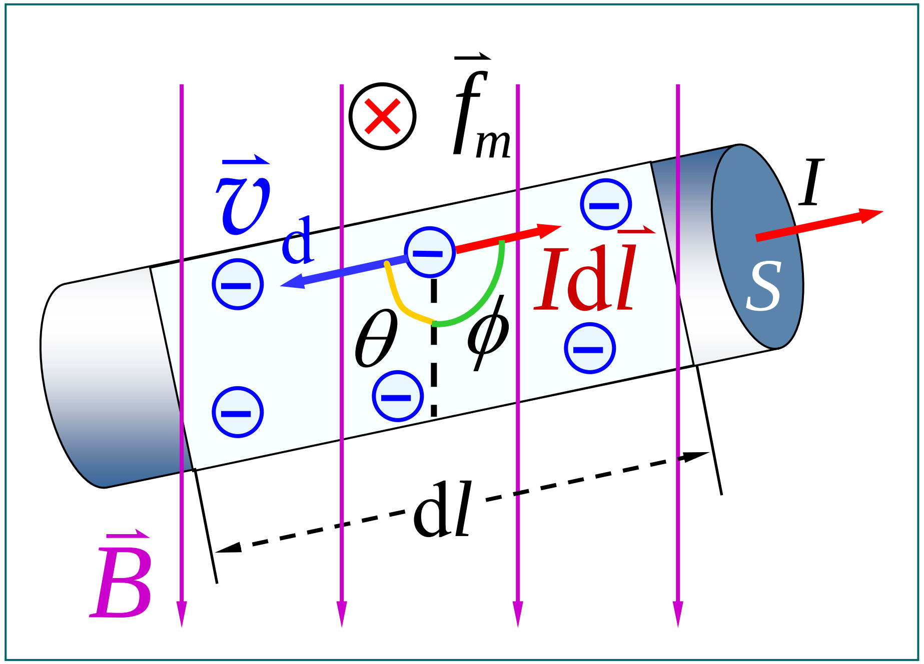
一 安 培 力



洛伦兹力 $\vec{f}_m = -e\vec{v}_d \times \vec{B}$

$$f_m = ev_d B \sin\theta$$

$$dF = nev_d S dl B \sin\theta$$

$$dF = IdlB\sin\theta = IdlB\sin\phi$$

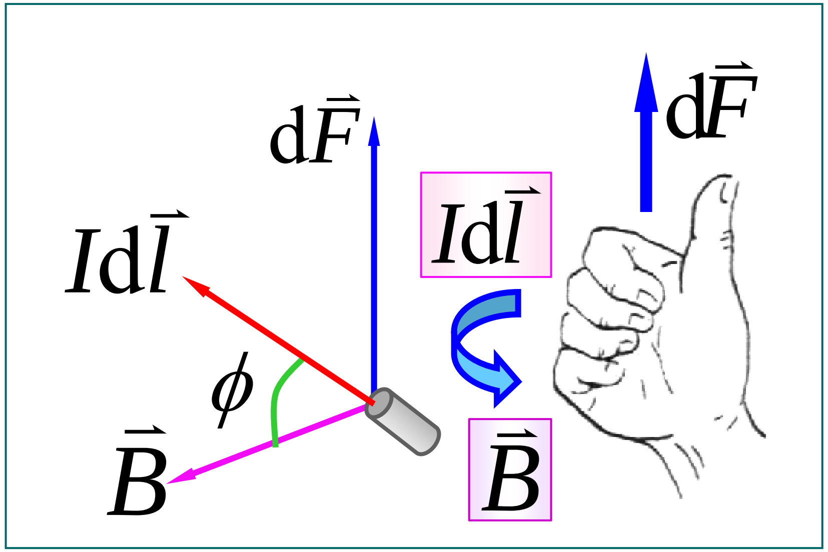
$$\boxed{I = nev_d S}$$

由于自由电子与晶格之间的相互作用，使导线在宏观上看起来受到了磁场的作用力．

安培定律 磁场对电流元的作用力 $d\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B}$

安培定律　$\boxed{\mathrm{d}\vec{F} = I\mathrm{d}\vec{l} \times \vec{B}}$　$\mathrm{d}F = I\mathrm{d}lB\sin\phi$

◆ 意义　磁场对电流元作用的力，在数值上等于电流元 $I\mathrm{d}\vec{l}$ 的大小、电流元所在处的磁感强度 $\vec{B}$ 大小以及电流元和磁感应强度之间的夹角 ϕ 的正弦之乘积，$\mathrm{d}\vec{F}$ 垂直于 $I\mathrm{d}\vec{l}$ 和 $\vec{B}$ 所组成的平面，且 $\mathrm{d}\vec{F}$ 与 $I\mathrm{d}\vec{l} \times \vec{B}$ 同向 .



◆ 有限长载流导线所受的安培力

$$\vec{F} = \int_l \mathrm{d}\vec{F} = \int_l I\mathrm{d}\vec{l} \times \vec{B}$$

例 1 如图一通有电流 I 的闭合回路放在磁感应强度为 $\vec{B}$ 的均匀磁场中，回路平面与磁感强度 $\vec{B}$ 垂直．回路由直导线 AB 和半径为 r 的圆弧导线 BCA 组成，电流为顺时针方向，求磁场作用于闭合导线的力.

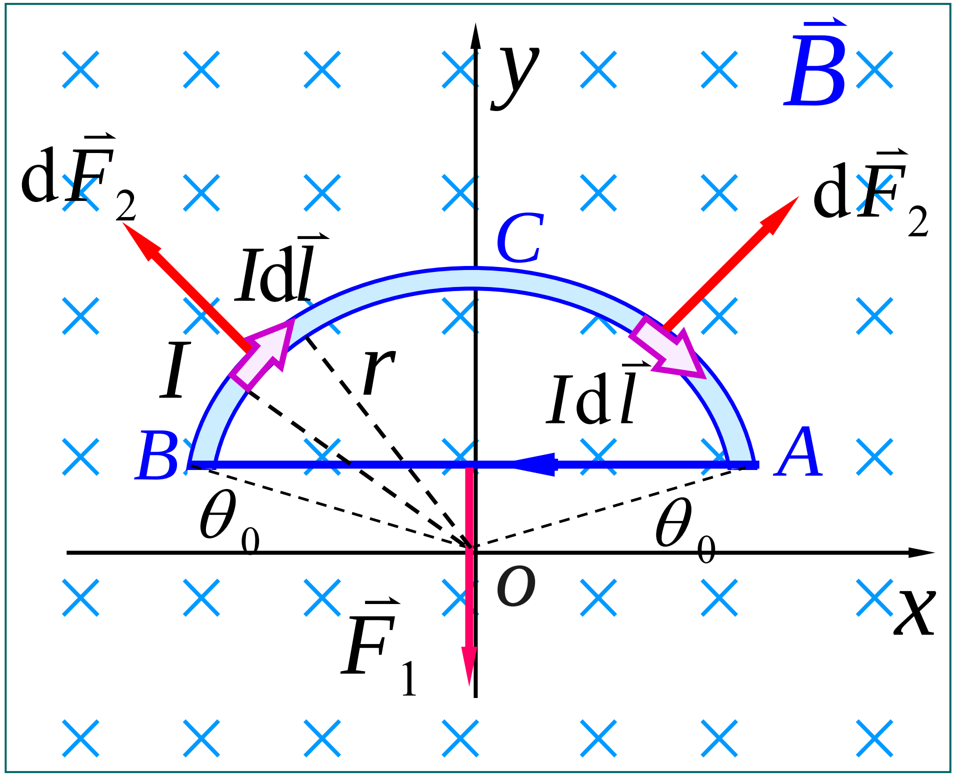
解 $\vec{F}_1 = -I\,\overline{AB}B\vec{j}$

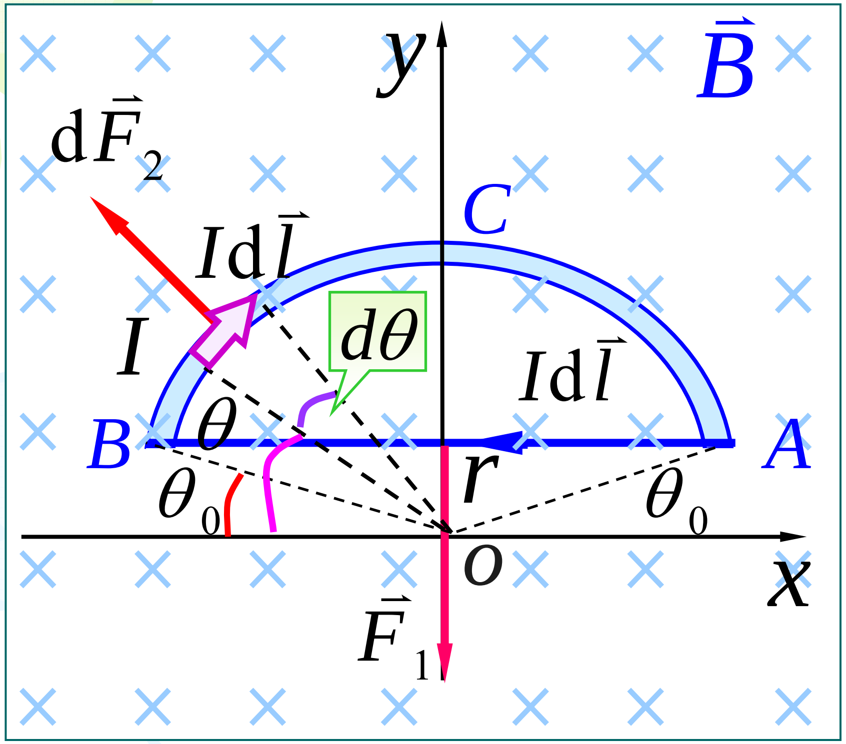
根据对称性分析

$$F_{2x} = 0$$

$$\vec{F}_2 = F_{2y}\,\vec{j}$$

$$F_2 = \int \mathrm{d}F_{2y} = \int \mathrm{d}F_2 \sin\theta$$





$$F_2 = \int \mathrm{d}F_{2y} = \int \mathrm{d}F_2 \sin\theta$$

$$= \int BI\mathrm{d}l \sin\theta$$

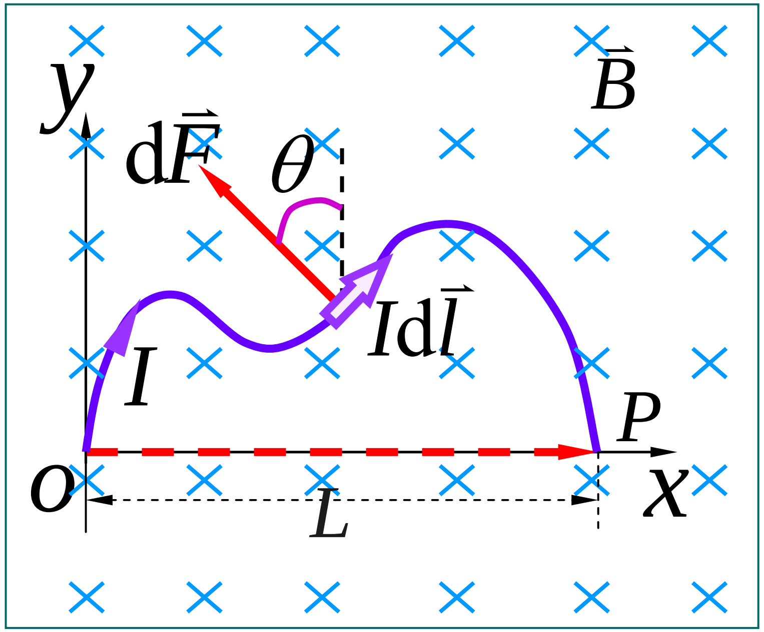
因 $\mathrm{d}l = r\mathrm{d}\theta$

$$F_2 = BIr\int_{\theta_0}^{\pi-\theta_0} \sin\theta \,\mathrm{d}\theta$$

$$\vec{F}_2 = BI(2r\cos\theta_0)\vec{j} = BI\,\overline{AB}\,\vec{j}$$

由于 $\vec{F}_1 = -BI\,\overline{AB}\,\vec{j}$　　故 $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$

例 2　求如图不规则的平面载流导线在均匀磁场中所受的力，已知 $\vec{B}$ 和 I.



解　取一段电流元 $I\mathrm{d}\vec{l}$

$$\mathrm{d}\vec{F} = I\mathrm{d}\vec{l} \times \vec{B}$$

$$\mathrm{d}F_x = \mathrm{d}F\sin\theta = BI\mathrm{d}l\sin\theta$$

$$\mathrm{d}F_y = \mathrm{d}F\cos\theta = BI\mathrm{d}l\cos\theta$$

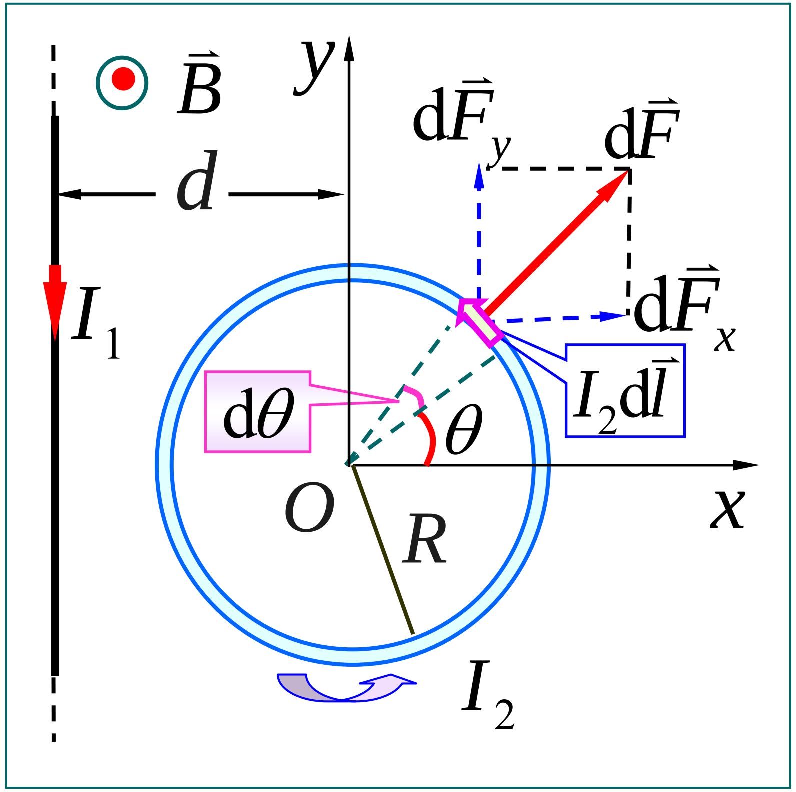
$$F_x = \int \mathrm{d}F_x = BI\int_0^0 \mathrm{d}y = 0$$

$$F_y = \int \mathrm{d}F_y = BI\int_0^l \mathrm{d}x = BIl$$

$$\vec{F} = \vec{F}_y = BIl\vec{j}$$

结论　任意平面载流导线在均匀磁场中所受的力，与其始点和终点相同的载流直导线所受的磁场力相同.

例 3　半径为R载有电流I_2的导体圆环与电流为I_1的长直导线 放在同一平面内（如图），　直导线与圆心相距为d，　且$R < d$　两者间绝缘，　求 作用在圆电流上的磁场力.



解　$$B = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I_1}{d + R\cos\theta}$$

$$\mathrm{d}F = BI_2\mathrm{d}l = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi}\frac{\mathrm{d}l}{d + R\cos\theta}$$

$$\mathrm{d}l = R\mathrm{d}\theta$$

$$\mathrm{d}F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi}\frac{R\mathrm{d}\theta}{d + R\cos\theta}$$

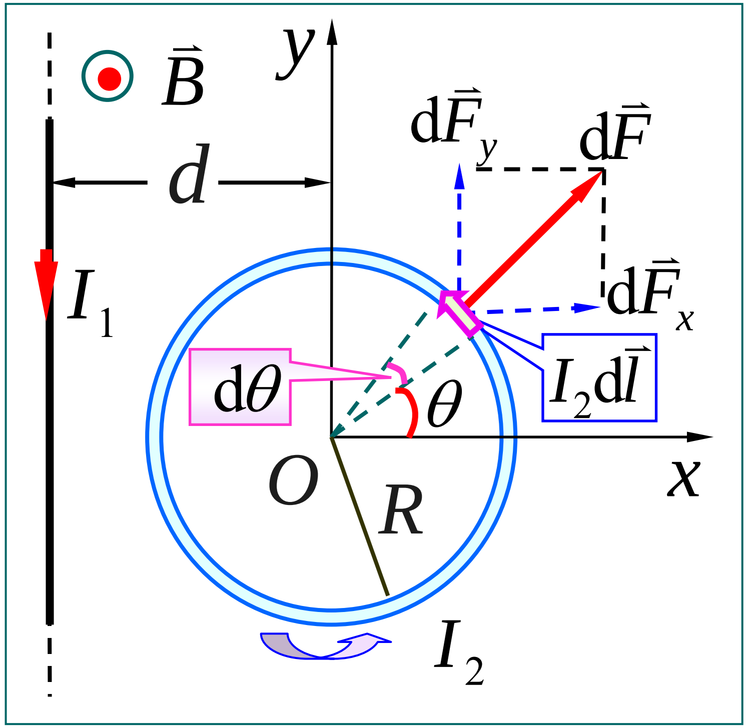
$$\mathrm{d}F_x=\mathrm{d}F\cos\theta=\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi}\frac{R\cos\theta\mathrm{d}\theta}{d+R\cos\theta}$$

$$\mathrm{d}F_y=\mathrm{d}F\sin\theta=\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi}\frac{R\sin\theta\mathrm{d}\theta}{d+R\cos\theta}$$

$$F_x=\frac{\mu_0 I_1 I_2 R}{2\pi}\int_0^{2\pi}\frac{\cos\theta\mathrm{d}\theta}{d+R\cos\theta}$$

$$=\mu_0 I_1 I_2\left(1-\frac{d}{\sqrt{d^2-R^2}}\right)$$

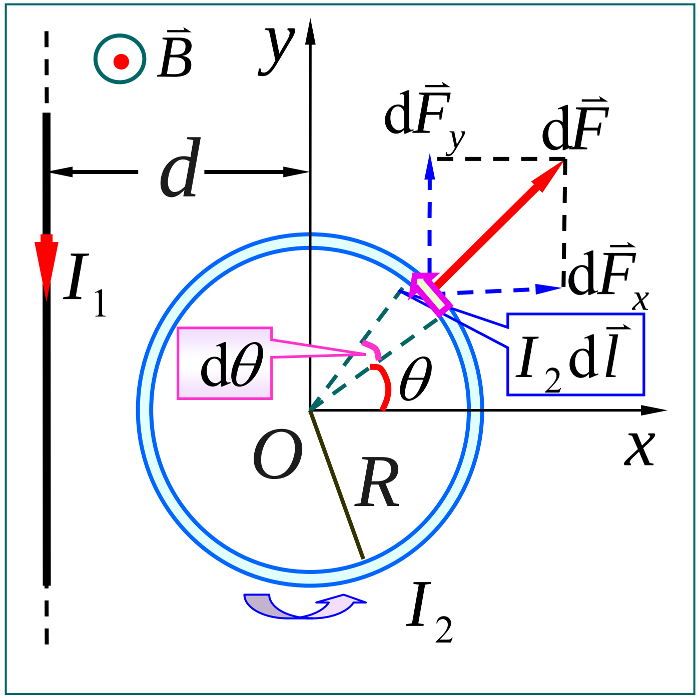
$$F_y=\frac{\mu_0 I_1 I_2 R}{2\pi}\int_0^{2\pi}\frac{\sin\theta\mathrm{d}\theta}{d+R\cos\theta}=0$$



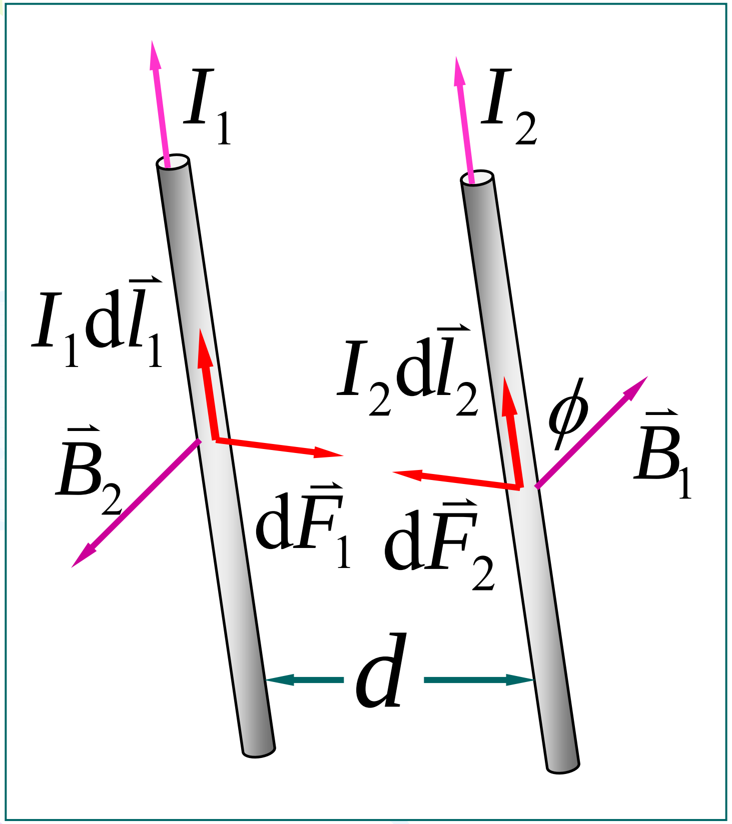
$$F_x=\frac{\mu_0 I_1 I_2 R}{2\pi}\int_0^{2\pi}\frac{\cos\theta\mathrm{d}\theta}{d+R\cos\theta}=\mu_0 I_1 I_2\left(1-\frac{d}{\sqrt{d^2-R^2}}\right)$$

$$F_y=\frac{\mu_0 I_1 I_2 R}{2\pi}\int_0^{2\pi}\frac{\sin\theta\mathrm{d}\theta}{d+R\cos\theta}=0$$

$$\vec{F}=F_x\vec{i}=\mu_0 I_1 I_2\left(1-\frac{d}{\sqrt{d^2-R^2}}\right)\vec{i}$$



二 电流的单位 两无限长平行载流直导线间的相互作用



$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d} \qquad B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d}$$

$$dF_2 = B_1 I_2 dl_2 \sin\phi$$

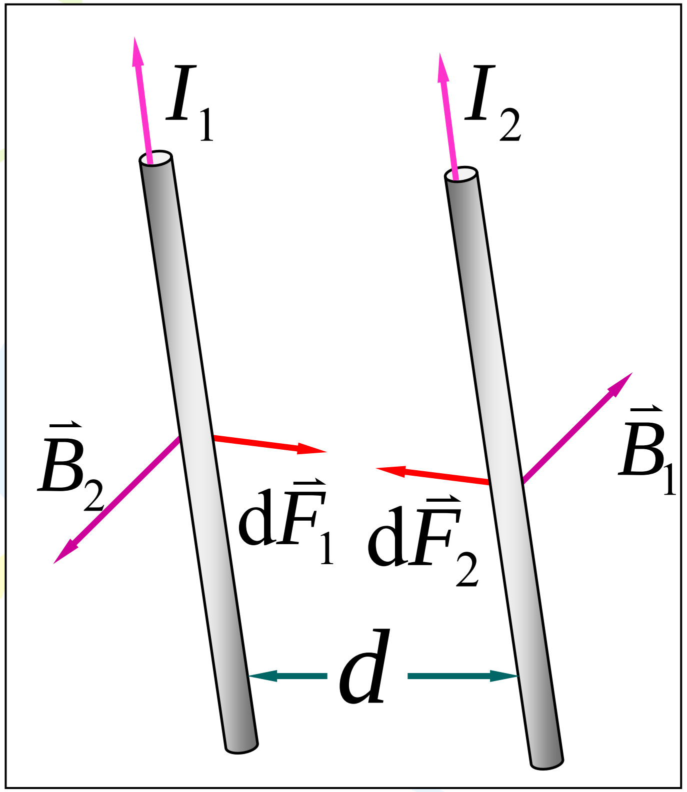
$$\phi = 90^\circ, \sin\phi = 1$$

$$dF_2 = B_1 I_2 dl_2 = \frac{\mu_0 I_1 I_2 dl_2}{2\pi d}$$

$$dF_1 = B_2 I_1 dl_1 = \frac{\mu_0 I_2 I_1 dl_1}{2\pi d}$$

$$\frac{dF_2}{dl_2} = \frac{dF_1}{dl_1} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

◆ 国际单位制中电流单位安培的定义



在真空中两平行长直导线相距 1 m，通有大小相等、方向相同的电流，当两导线每单位长度上的吸引力为 $2\times10^{-7}\,\mathrm{N\cdot m^{-1}}$ 时，规定这时的电流为 1 A（安培）.

可得 $\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}\,\mathrm{N\cdot A^{-2}}$

$$= 4\pi\times10^{-7}\,\mathrm{H\cdot m^{-1}}$$

$$\frac{\mathrm{d}F_1}{\mathrm{d}l_1} = \frac{\mathrm{d}F_2}{\mathrm{d}l_2} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi\, d}$$

问 若两直导线电流方向相反二者之间的作用力如何？