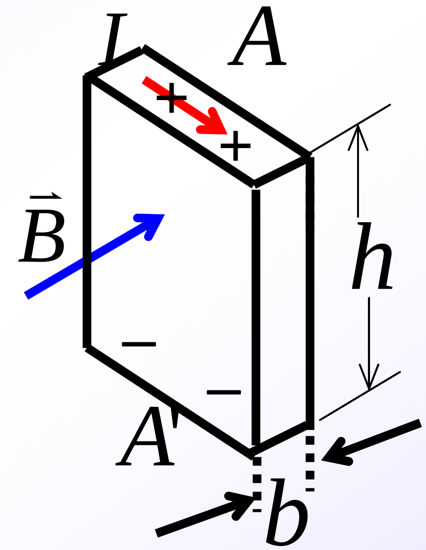
四、霍耳效应

*现象　1879年霍耳发现把一载流导体放在磁场中，如果磁场方向与电流方向垂直，则在与磁场和电流二者垂直的方向上出现横向电势差，这一现象称之为霍耳现象。



*实验结果

$$V_{AA'} \propto \frac{IB}{b}$$

$$V_{AA'} = k\frac{IB}{b}$$

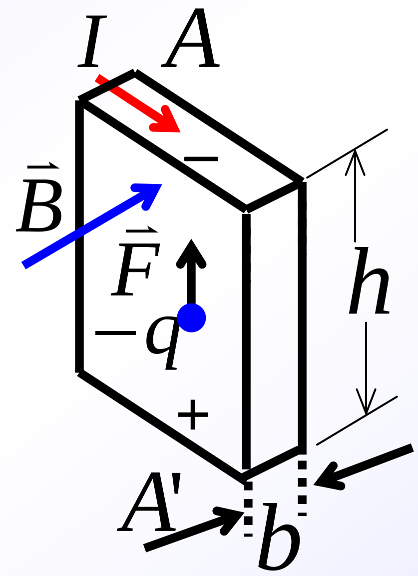
载流子的正负决定 $V_{AA'}$ 的正负

$V_{AA'} > 0 \quad q > 0$

$V_{AA'} < 0 \quad q < 0$

实验上称 k 为霍耳系数，与材料有关。

*霍耳效应的经典解释



以载流子是负电荷为例,其定向**漂移速度为*u*与电流反向**。

电场力与洛仑兹力平衡时，电子的漂移达到动态平衡，从而在***AA'***方向上形成一恒定电场—— 霍耳电场

横向电势差

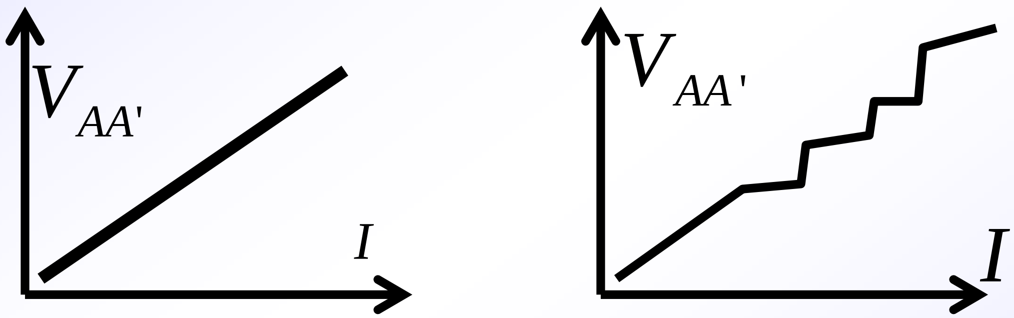
$$qE_H = quB \qquad V_{AA'} = -E_H h = -uBh$$

$$I = nbhqu \qquad V_{AA'} = -\frac{1}{nq}\frac{IB}{b} = k\frac{IB}{b} \qquad k = -\frac{1}{nq}$$

*霍耳效应的应用

测量载流子类型
测量载流子浓度
测量磁感应强度

测量交直流电路中的电流和功率。

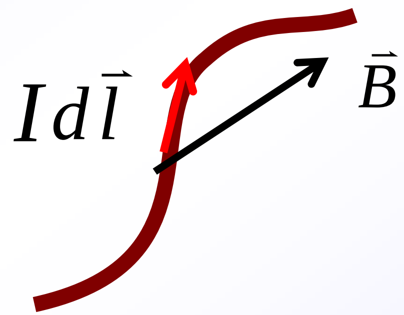


九十年代，发现量子霍耳效应，即曲线 $V_{AA'} \sim I$ 当 B,b,k 为常数时，出现台阶，而不为线性关系。85年获诺贝尔奖金。

12-6 磁场对载流导线的作用力-----安培力

一、安培定律

$$d\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B}$$



所以，一段载流导线在磁场中受力为：

$$\vec{F} = \int_L Id\vec{l} \times \vec{B}$$

求安培力的基本步骤：

1.取一电流元 $d\vec{F}$

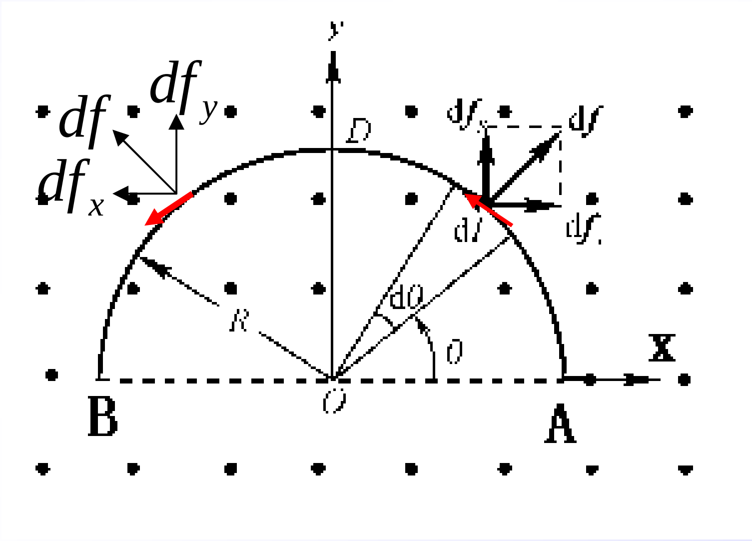
2. dF_x dF_y dF_z

3. $F_x = \int \mathrm{d}F_x$ $F_y = \int \mathrm{d}F_y$ $F_z = \int \mathrm{d}F_z$

4. $\vec{F} = F_x\vec{i} + F_y\vec{j} + F_z\vec{k}$

例题：求均匀磁场中半圆形载流导线所受的磁力

解： $df = IdlB$　　　$F_x = 0$

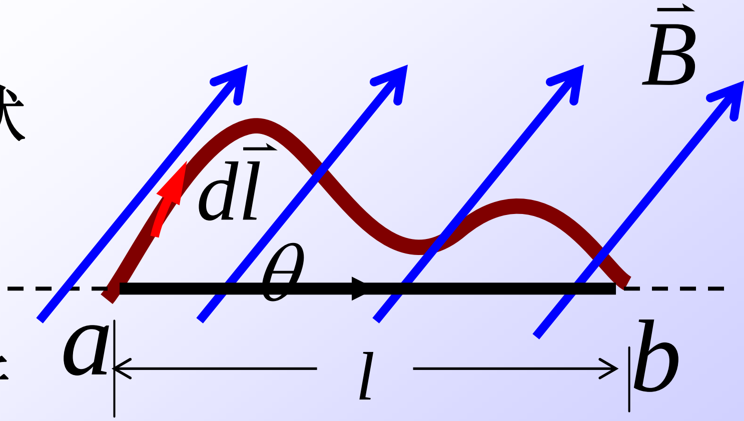


$$df_y = IBdl\sin\theta$$

$$F = \int df_y = \int_0^{\pi} IBR\sin\theta d\theta = 2BIR$$

$$\vec{F} = 2BIR\vec{j}$$

结论：1.在均匀场中，两定点间任意形状的载流导线所受的磁力可由两定点间的等效直流线来代替。

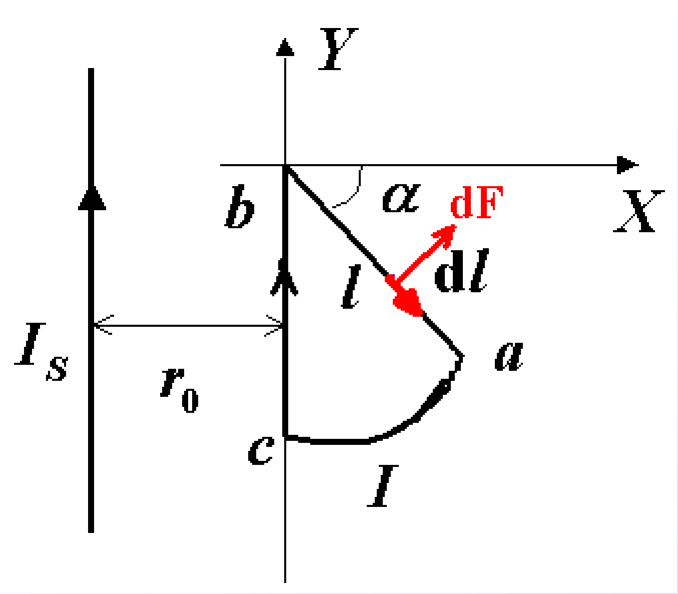


2.在均匀场中，任意闭合电流线所受的磁力等于零。

【例题】一无限长直导线通有电流 I_s，及与该导线共面的载流线圈，位置如图所示，其中ca段是以b为中心，半径为R的圆弧。则ab段受到的安培力多大?

解：

$$B=\frac{\mu_0 I_s}{2\pi(r_0+l\cos\alpha)}$$



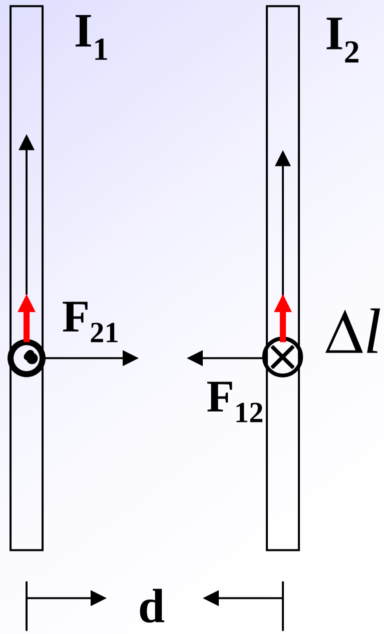
$$dF=IBdl=\frac{\mu_0 I_s Idl}{2\pi(r_0+l\cos\alpha)}$$

$$F=\int_0^R IBdl=\int_0^R\frac{\mu_0 I_s Idl}{2\pi(r_0+l\cos\alpha)}$$

$$=\frac{\mu_0 II_s}{2\pi\cos\alpha}\ln\frac{r_0+R\cos\alpha}{r_0}$$

二、两平行电流间的相互作用力 安培的定义

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



$$F_{21} = I_1 \Delta l \cdot B_2 ; \qquad F_{12} = I_2 \Delta l \cdot B_1$$

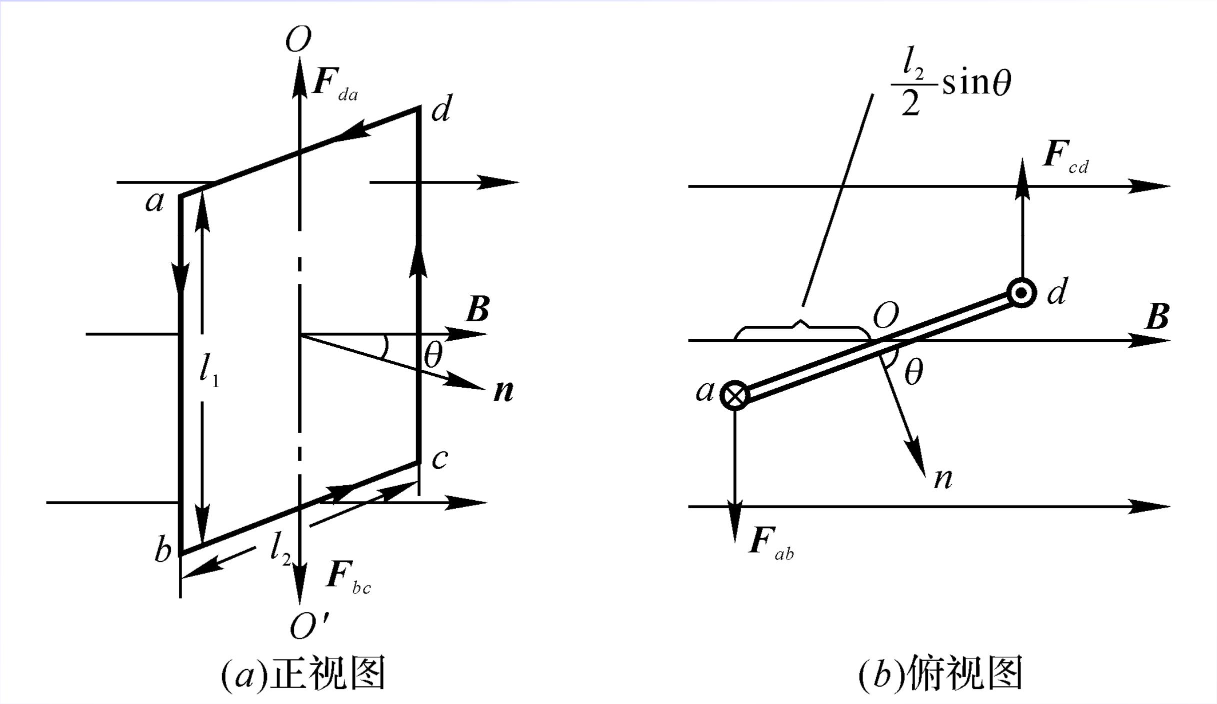
$$F_{12} = F_{21} = \Delta l \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

令 $I_1 = I_2$ 　　单位长度受力为 $f = \dfrac{\mu_0 I^2}{2\pi d}$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ N/A^2$$

当 **d=1 m, F=2×10^{-7} N** 时， 定义此时电流为 **1** 安培，即：**I=1 (A)**

三、磁场对平面载流线圈的作用



$$F_{bc}=BIl_2\sin(\frac{\pi}{2}-\theta)=BIl_2\cos\theta \qquad F_{da}=BIl_2\sin(\frac{\pi}{2}+\theta)=BIl_2\cos\theta$$

$$F_{ab}=F_{cd}=BIl_1$$

$$M=F_{ab}l_2\sin\theta=BIl_1l_2\sin\theta=BIS\sin\theta=p_mB\sin\theta$$

$$\vec{M}=\vec{P}_m\times\vec{B} \qquad \vec{P}_m=NIS\vec{n}$$

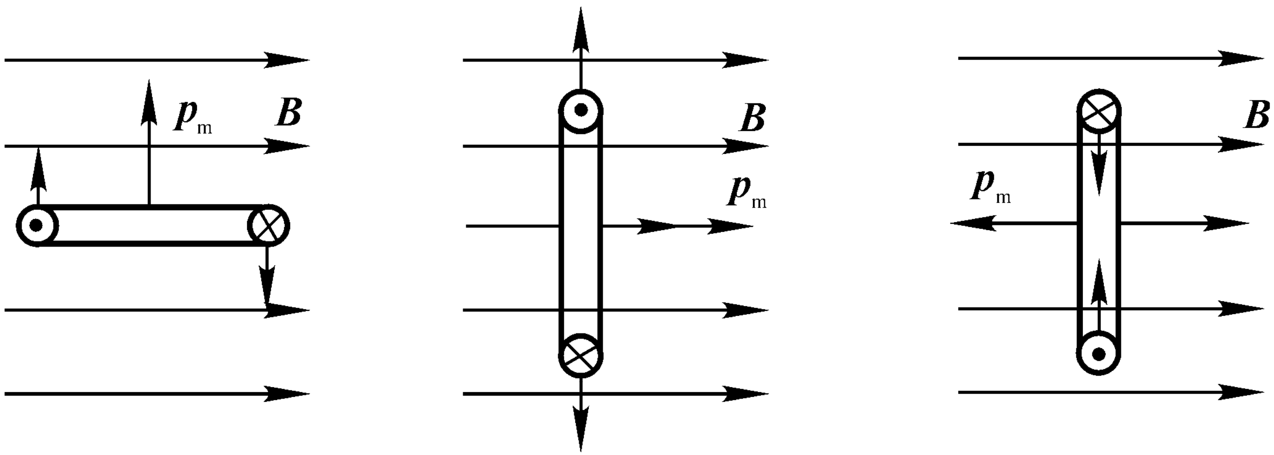
此公式对任意平面线圈都适用,但仅适用于匀强磁场

讨论:

$(1)\theta = \dfrac{\pi}{2}$ $\vec{n} \perp \vec{B}$ 力矩最大

$(2)\theta = 0$ $\vec{n} /\!/ \vec{B}$ 力矩为零 稳定平衡

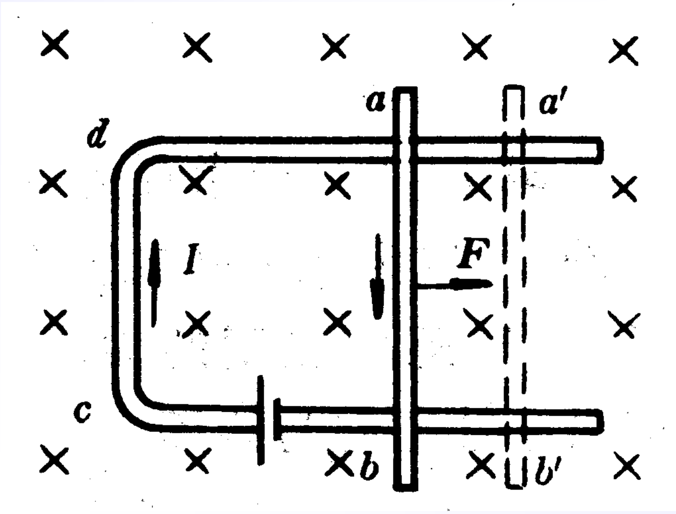
$(3)\theta = \pi$ $\vec{n}$和$\vec{B}$反平行 $M = 0$ 不稳定平衡



$\theta = \pi/2$ 力矩最大 $\theta = 0$ 稳定平衡 $\theta = \pi$ 非稳定平衡

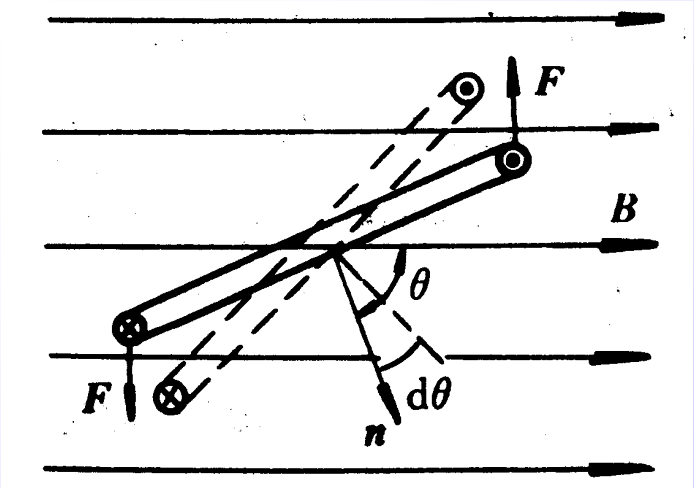
四、磁场力的功

1.载流导线在磁场中运动时



$$A = Faa' = IBlaa' = IB\Delta S$$
$$= I\Delta\Phi$$

2.载流线圈在磁场中转动时



$$M = IBS\sin\theta$$

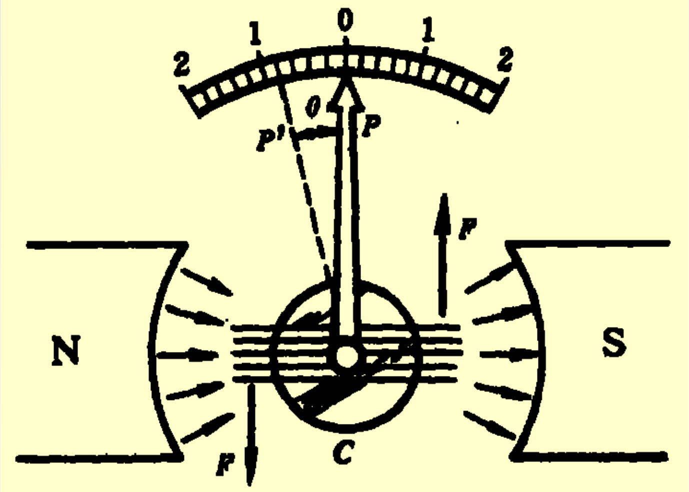
$$dA = -Md\theta = -IBS\sin\theta d\theta$$
$$= Id(BS\cos\theta) = Id\Phi$$

$$A = \int_{\phi_1}^{\phi_2} \mathrm{I}d\phi \Rightarrow A = I\Delta\phi$$

注意上述结论的适用条件是闭合载流回路

例题：如图磁电式电流计，N=250　$S = 2\times10^{-4} m^2$　$B = 0.2T$

游丝的纽转系数 $k = 3.3\times10^{-8} N\cdot m\cdot \deg^{-1}$ ，当线圈通有电流后，线圈偏转30^0，问流过的电流有多大？



解：　$M = NBIS$

线圈在此力矩作用下转动时，游丝卷紧，产生的反力矩与转角成正比：

$$M' = k\theta$$

两力矩平衡时：　$NBIS = k\theta$

$$I = \frac{k}{NBS}\theta = K\theta,\quad K = \frac{k}{NBS}$$

线圈转角与电流成正比，此即磁电式电流计工作原理。

$$I = 9.9\times10^{-5} A$$

若在电流计中通一脉冲电流，电流计怎样偏转?

设脉冲持续时间t_0，线圈将受一冲量矩作用：

$$G=\int_0^{t_0} M\mathrm{d}t=\int_0^{t_0} NBIS\,\mathrm{d}\,t=NBS\int_0^{t_0} I\,\mathrm{d}\,t=NBSq$$

$\int_0^{t_0} I\,\mathrm{d}\,t=q$ 为脉冲电流通过时的总电量。

由于t_0极短，脉冲通过时，线圈获得一角速度ω_0，按角动量原理： $G=J\omega_0$

$$\frac{1}{2}k\theta^2=\frac{1}{2}J\omega_0^2 \qquad q=\frac{\sqrt{kJ}}{NBS}\theta$$

此即冲击电流计的工作原理

作业：

12-8

12-21

12-26

12-28