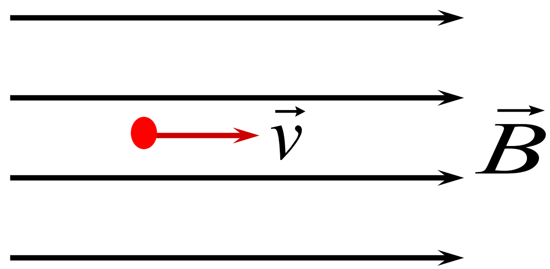
13.4 磁场对运动电荷和电流的作用

一、磁场对运动电荷的作用：$\boxed{\vec{f}_m = q\vec{v}\times\vec{B}}$

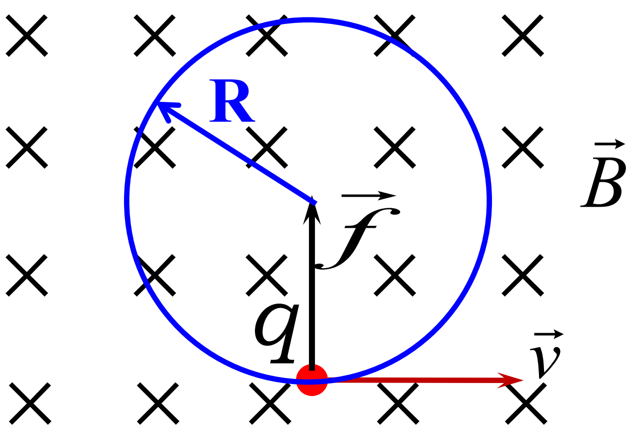
① $\vec{v}$ 与 $\vec{B}$ 平行



$\vec{f}=0 \quad \vec{v}=$ 恒矢量

粒子做匀速直线运动

② $\vec{v}$ 与 $\vec{B}$ 垂直

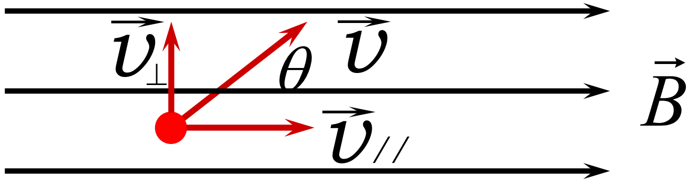


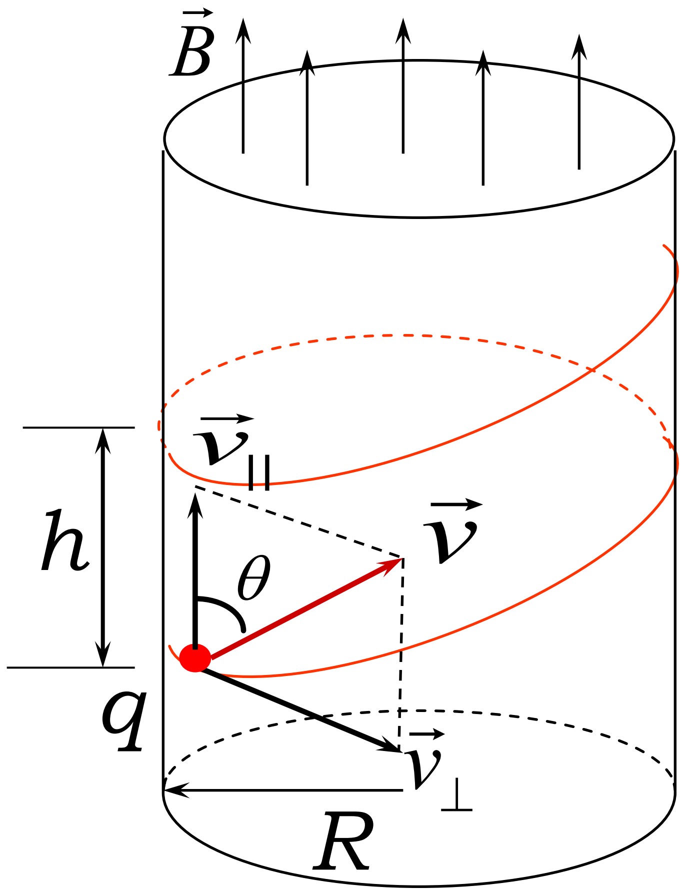
$$f=qvB=m\frac{v^2}{R}$$

$$R=\frac{mv}{qB} \qquad T=\frac{2\pi R}{v}=\frac{2\pi m}{qB}$$

粒子做匀速圆周运动

③ $\vec{v}$与$\vec{B}$成θ角





$$v_{\parallel} = v\cos\theta \qquad v_\perp = v\sin\theta$$

$$R = \frac{mv_\perp}{qB} = \frac{mv\sin\theta}{qB}$$

$$T = \frac{2\pi R}{v_\perp} = \frac{2\pi m}{qB}$$

螺距

$$h = v_{//}T = v\cos\theta \cdot T$$

$$= \frac{2\pi mv\cos\theta}{qB}$$

③ $\vec{v}$ 与 $\vec{B}$ 成 θ 角

$$v_{\parallel} = v\cos\theta \qquad v_{\perp} = v\sin\theta$$

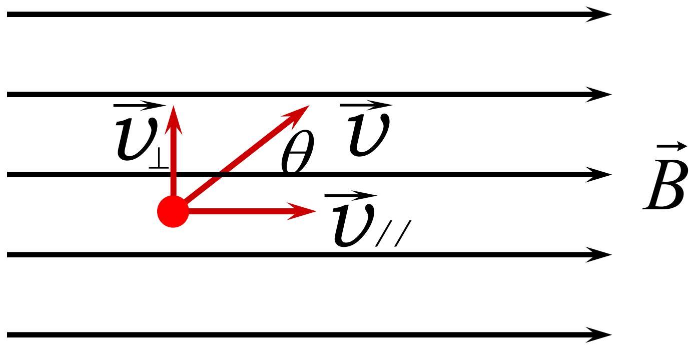
$$R = \frac{mv_{\perp}}{qB} = \frac{mv\sin\theta}{qB}$$

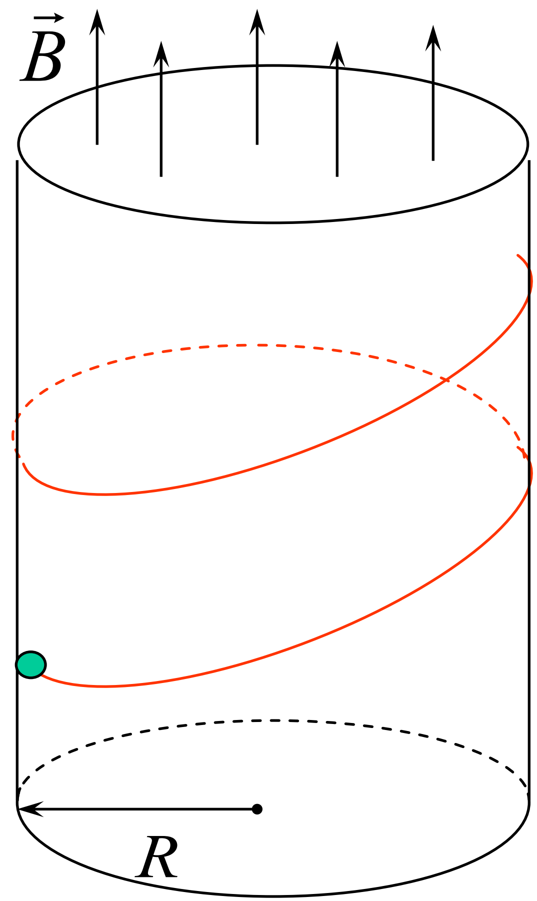
$$T = \frac{2\pi R}{v_{\perp}} = \frac{2\pi m}{qB}$$

螺距

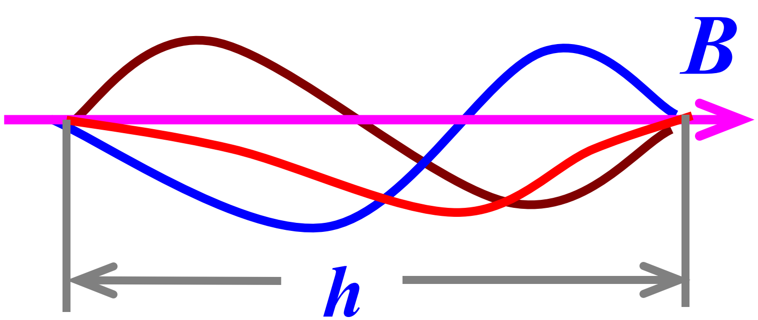
$$h = v_{//}T = v\cos\theta \cdot T$$

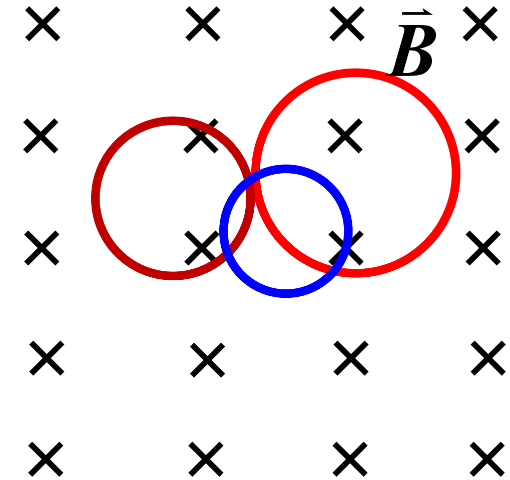
$$= \frac{2\pi mv\cos\theta}{qB}$$





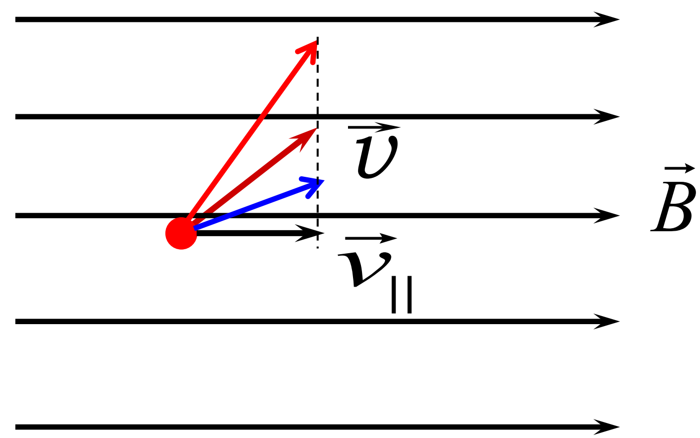
* 磁聚焦(*magnetic focusing*)



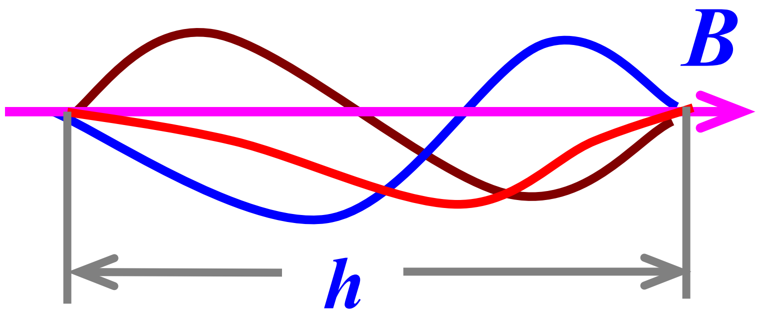


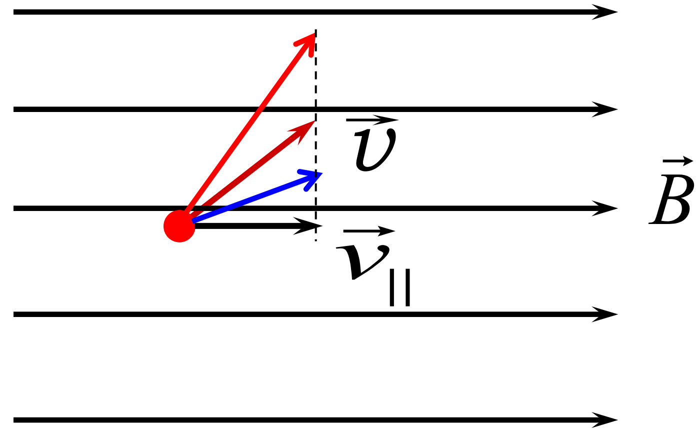
螺距 $h = v_{//}T = v\cos\theta \cdot T$

$$= \frac{2\pi m v\cos\theta}{qB}$$



* 磁聚焦(*magnetic focusing*)

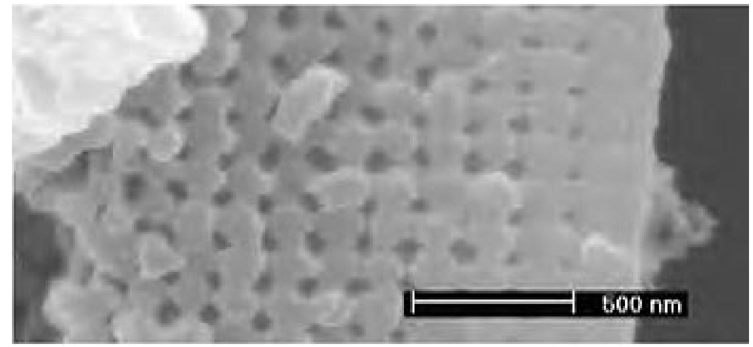


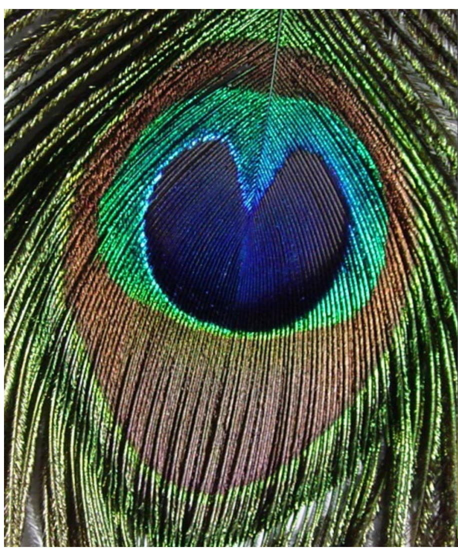


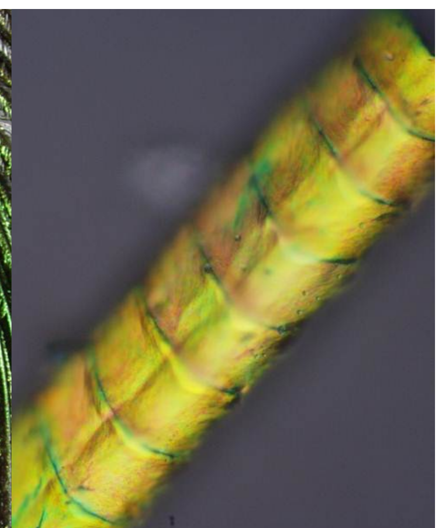
一束发散角不大的带电粒子束，若它们沿磁场方向的分速度大小一样，它们有相同的螺距，即经过一个周期它们将重新会聚在另一点，在磁场中这种带电发散粒子束汇聚到一点的现象叫磁聚焦。

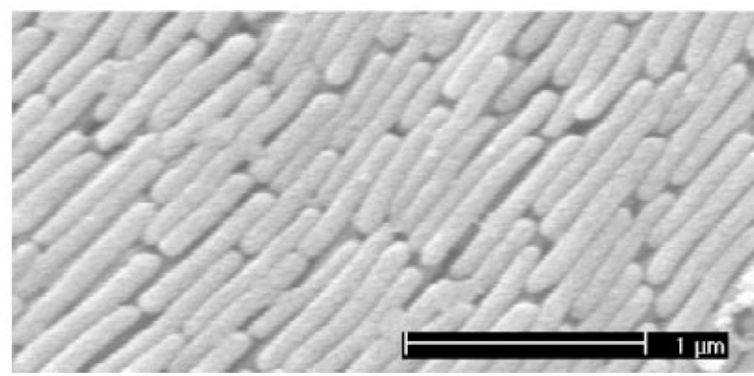
磁聚焦广泛应用在电真空器件中，如电子显微镜*electron microscope*，它起了光学仪器中的透镜类似的作用。

电子显微镜 *electron microscope*









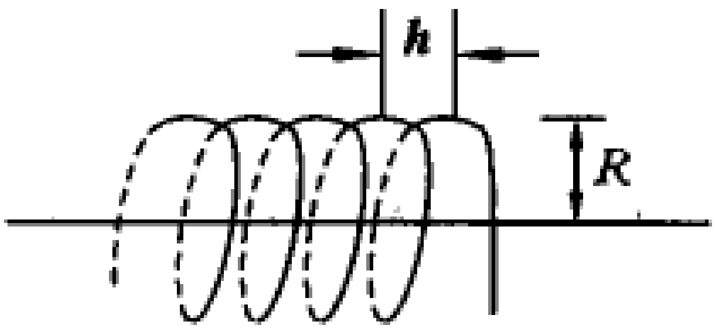
绚丽多彩的极光

在地磁两极附近，由于磁感线与地面垂直，外层空间入射的带电粒子可直接射入高空大气层内，它们和空气分子的碰撞产生的辐射就形成了极光。

作业1：

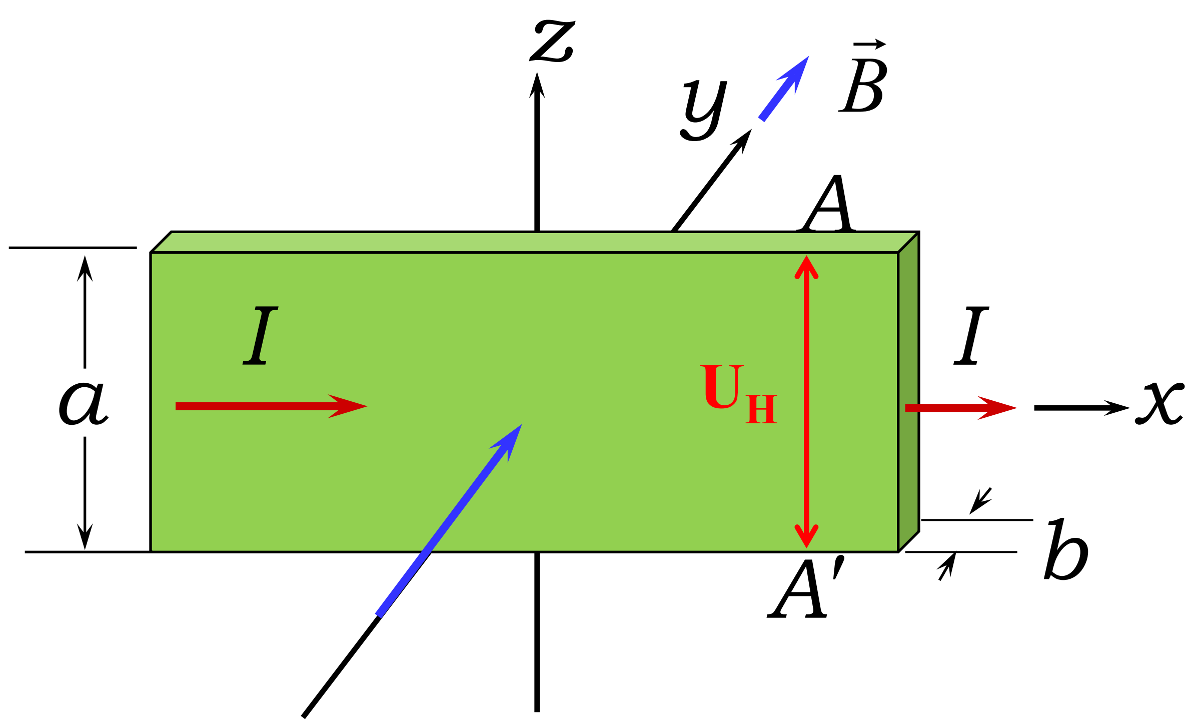
一电子在B=20G的磁场里沿着半径R=20cm的螺旋线运动，螺距h=5.0cm，如图所示，求电子的速度。

已知电子的荷质比$e/m=1.76\times10^{11}$C/kg。



二、 霍尔效应

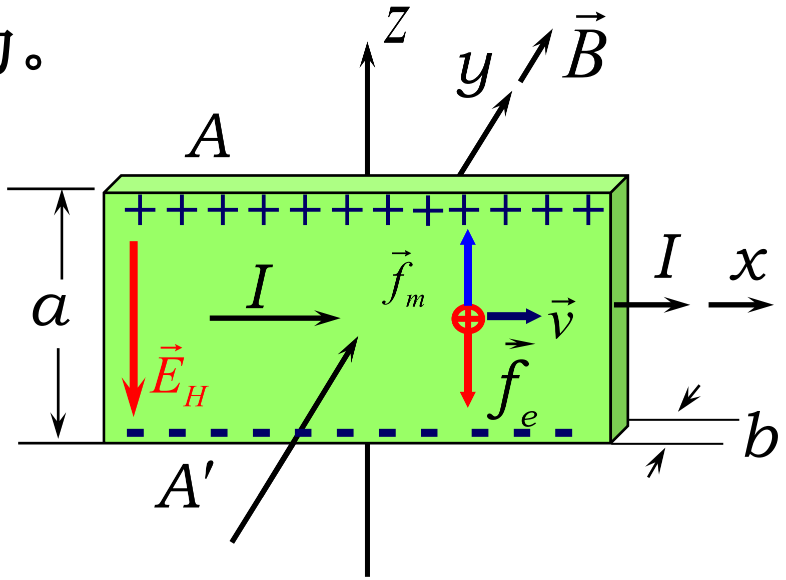
厚度b宽为a 的导电薄片，沿x 轴通有电流强度 I，当在y 轴方向加以匀强磁场B 时, 在导电薄片两侧 (A, A') 产生一电势差 U_H 这一现象称为**霍耳效应**。



霍耳效应原理：

$U_H = U_A - U_{A'}$

带电粒子在磁场中运动受到洛仑兹力。



$q > 0$

$$\vec{f}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$$

$$\vec{f}_e = q\vec{E}_H$$

平衡时 $\vec{F}_{合} = 0 \qquad \vec{f}_e = \vec{f}_m$

$$E_H = vB$$

平衡时，载流子将作匀速直线运动，A、A’两侧停止电荷的继续堆积，从而在A、A’两侧建立一个稳定的电势差：

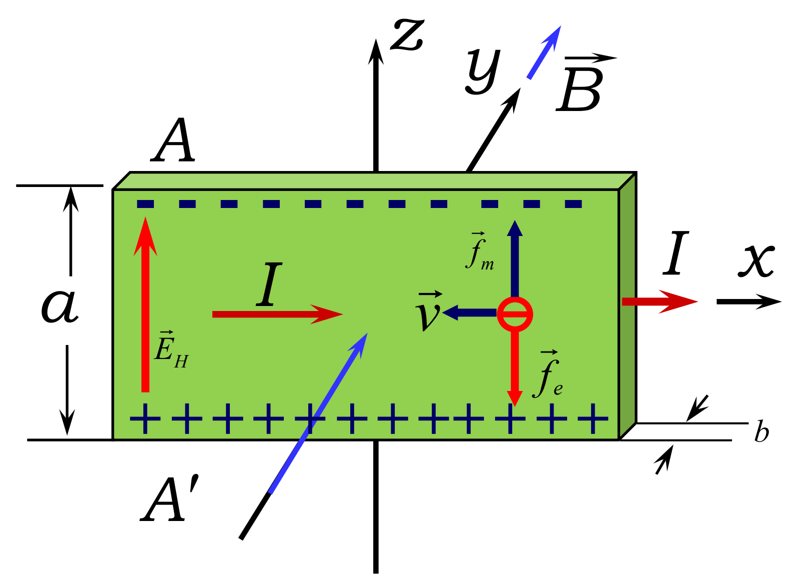
$$\left.\begin{array}{l} E_H = \dfrac{U_H}{a} \\ E_H = vB \end{array}\right\} \quad \left.\begin{array}{l} U_H = avB \\ I = nqvab \end{array}\right\} \quad U_H = \frac{1}{nq}\frac{IB}{b}$$

$$\boldsymbol{U_H = R_H \frac{IB}{b}}$$

$$\boxed{\boldsymbol{R_H = \frac{1}{nq}}}$$

$q > 0$ 霍尔系数$R_H>0$，霍尔电压$U_H>0$

$$U_H = U_A - U_{A'}$$



$\boxed{q<0}$

$$\vec f_m = q\vec v \times \vec B \qquad \vec f_e = q\vec E_H$$

$$\vec F_{合} = 0 \qquad \vec f_e = \vec f_m$$

$$\left.\begin{array}{l}\left.\begin{array}{l} E_H = vB \\ E_H = \dfrac{U_H}{a} \end{array}\right\} U_H = avB \\ \qquad\qquad\quad I = nqvab \end{array}\right\} U_H = \frac{1}{nq}\frac{IB}{b}$$

$$\boldsymbol{U_H = R_H \frac{IB}{b}}$$

$$\boxed{\boldsymbol{R_H = \frac{1}{nq}}}$$

总结:

① $q>0$ 时，$R_H>0$，$U_H>0$

② $q<0$ 时，$R_H<0$，$U_H<0$

霍耳效应的应用

$$U_H = R_H \frac{IB}{b}$$

1、确定半导体的类型

n 型半导体载流子为电子；

p 型半导体载流子为带正电的空穴。

2、根据霍耳系数大小的测定，可以确定载流子的浓度

3、磁场B

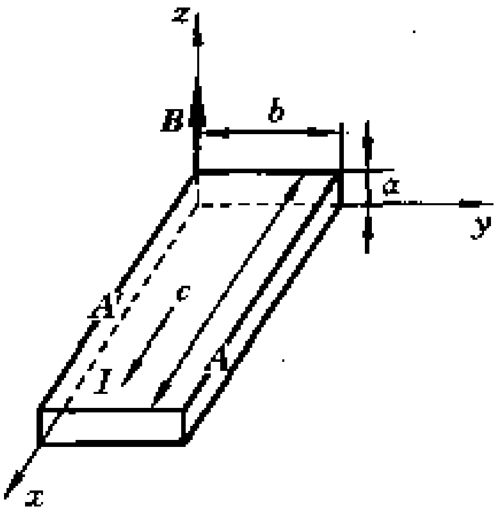
霍耳效应已在测量技术、电子技术、计算技术等各个领域中得到普遍的应用。

作业2：

有一块半导体样品的体积是a×b×c， a=0.1cm，b=0.35cm，c=1cm，如图所示。沿着x方向有电流I=1.0mA，在z方向有均匀磁场B=0.3T，导体两侧电势差$V_{AA'}$=6.55mA。

求（1）半导体中参与导电的载流子是正电荷还是负电荷？

（2）载流子浓度是多少？



三、载流导线在磁场中受的力

如何研究载流导线受到磁场的作用?

载流子受洛伦兹力的作用 ----通过碰撞传给导线

-----载流导线受到磁力的作用

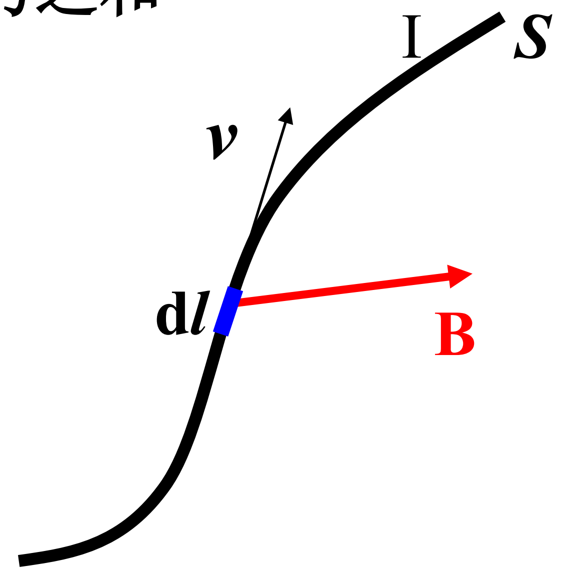
载流导线受力=等于每个载流子受力之和

d*l*段的载流子个数: **n*****S*****d*****l***

每个载流子受力: $q\vec{v}\times\vec{B}$

载流子受力总和:

$$d\vec{F} = nSdlq\vec{v}\times\vec{B}$$

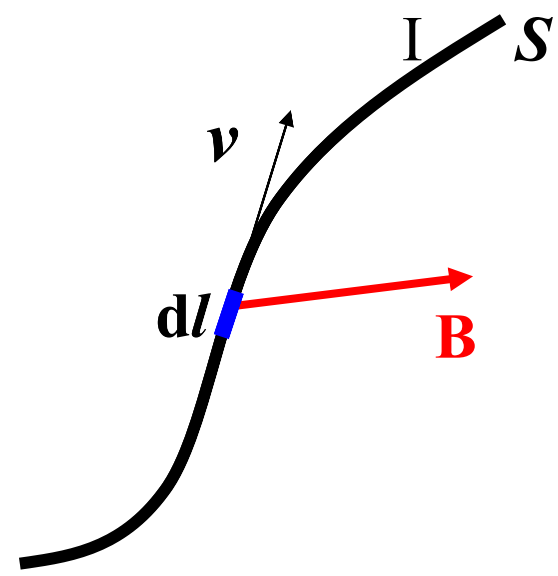


载流子受力总和: $d\vec{F} = nsdlq\vec{v} \times \vec{B}$

$$dlq\vec{v} = d\vec{l}\,qv$$ dl和v方向相同

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

$$I = nsqv$$ 电流强度



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

$$\vec{F} = \int_l d\vec{F} = \int_l Id\vec{l} \times \vec{B}$$ ——安培力

安培定律

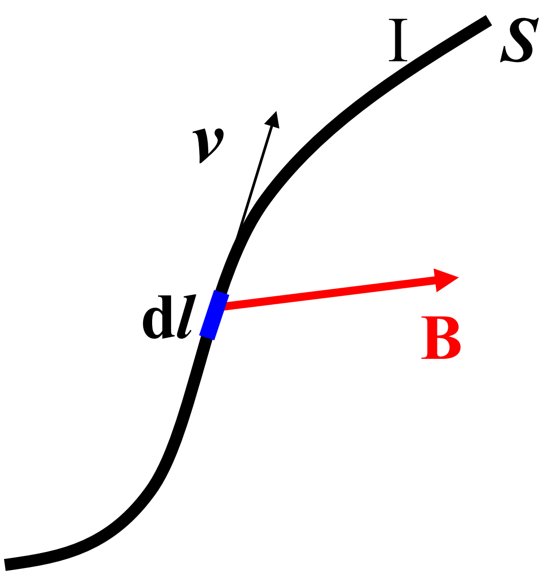
位于磁场中某点处的电流元$I d\vec{l}$将受到磁场的作用力$d\vec{F}$，$d\vec{F}$的大小与电流强度I、电流元的长度dl、磁感应强度$\vec{B}$的大小以及$I d\vec{l}$与$\vec{B}$的夹角的正弦成正比。

即：$dF = BIdl\, sin(Idl, B)$

$d\vec{F}$是$I d\vec{l}$与$\vec{B}$的右手螺旋方向。

写成矢量式：$\boxed{d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}}$

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



——安培定律

一段载流导线受到的安培力：

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

*均匀磁场中载流直导线所受安培力

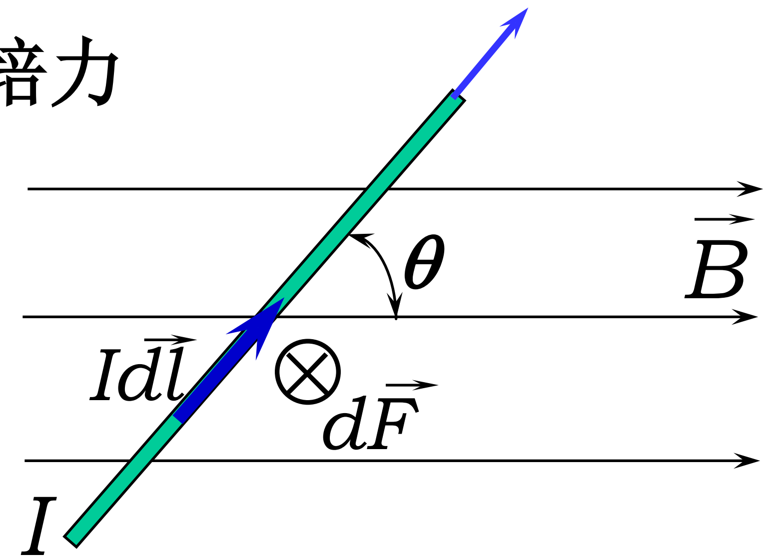
任取电流元 $Id\vec{l}$

受力大小 $dF=BIdl\sin\theta$

受力方向 $\otimes$

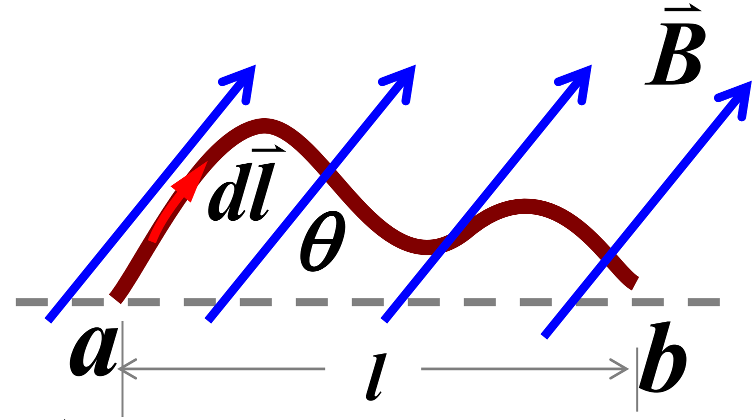
积分 $F=\int_L BIdl\sin\theta=BIL\sin\theta$

即：$F=BIL\sin\theta$



例1: 有一段弯曲导线 ab 通有电流I，求此导线在如图所示均匀磁场中受的力?

$$\vec{F} = \int_a^b I d\vec{l} \times \vec{B}$$



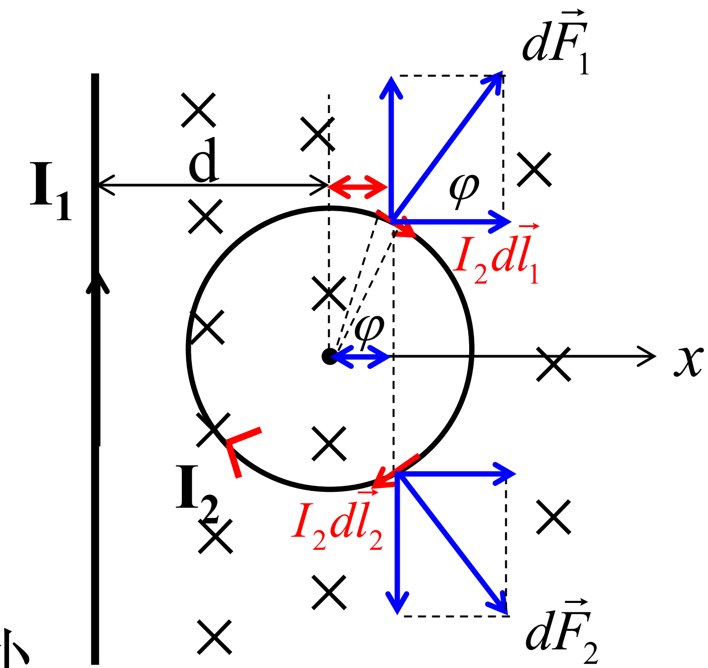
$$\vec{F} = I\left(\int_a^b d\vec{l}\,\right) \times \vec{B} = I\vec{l} \times \vec{B}$$

$$\therefore F = IlB\sin\theta$$

矢量和 $\int_a^b d\vec{l} = \vec{l}$

$\vec{l}$与磁感应强度$\vec{B}$在同一平面内，因此该力方向垂直于纸面向外。

例：载有电流I_1的无限长直导线，旁边有一平面圆形线圈，线圈半径R，中心到直导线的距离是d，线圈载有电流I_2，线圈和直导线在同一个平面内。试求I_1作用于线圈回路上的力。



解：在圆环上取长度是 $d\vec{l}$ 的电流元，其受力

$$d\vec{F} = I_2 d\vec{l} \times \vec{B}$$

根据对称性，在垂直x方向的合外力为零

该力沿着x轴方向分量 $dF_x = I_2 dl B \cos\varphi$

$$dl = R d\varphi$$

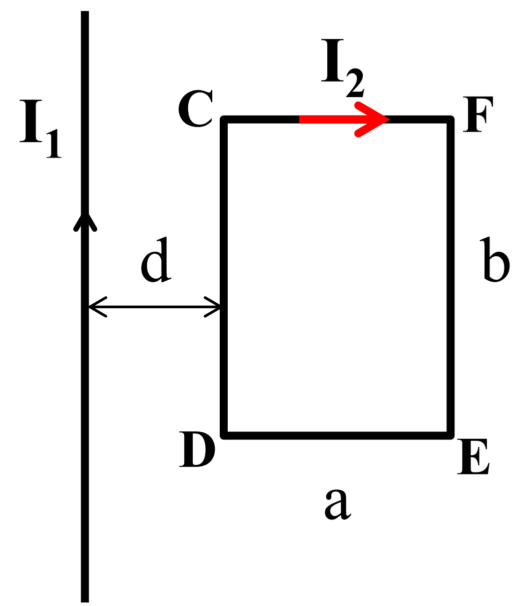
无限长直导线电流I_1在该点的磁感应强度大小

$$B = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi(d + R\cos\varphi)}$$

沿着x轴方向受力 $F_x = \int dF_x = \int \frac{\mu_0 I_1 I_2 R\cos\varphi d\varphi}{2\pi\left(d + R\cos\varphi\right)} = \mu_0 I_1 I_2 \left(1 - \frac{d}{\sqrt{d^2 - R^2}}\right)$

作业3：

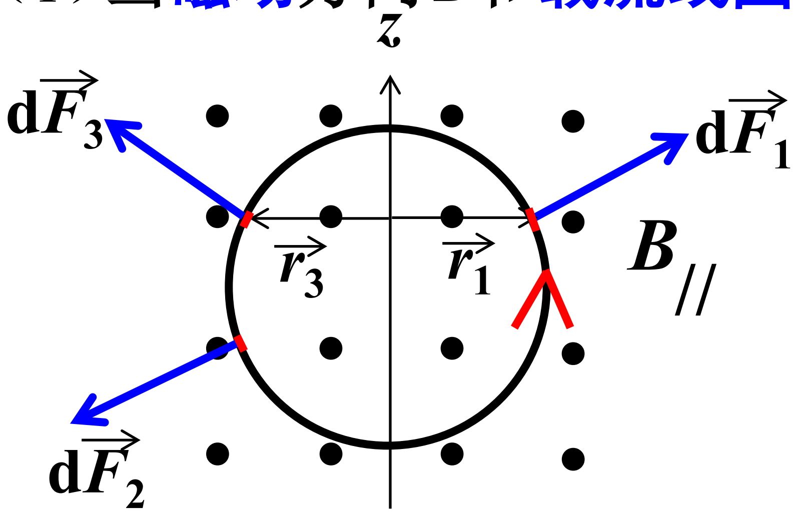
如图所示，无限长直导线通有电流I_1=20A，在矩形线圈CDEF中通有电流I_2=10A，AB与线圈共面，且CD、EF都与AB平行。已知a=9cm，b=20cm，d=1cm。求矩形线圈受到的合外力和合力矩。



四、 磁场对载流线圈的作用

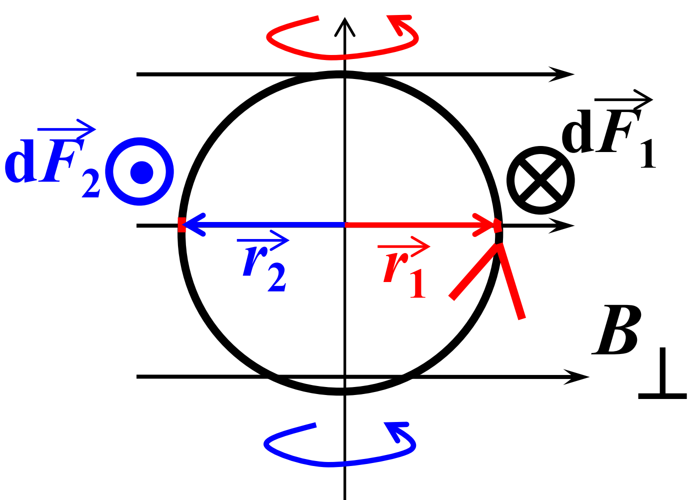
均匀磁场对载流线圈的作用

（1）当**磁场**方向 $\vec{B}$ 和**载流线圈面元**方向 $\vec{S}$ 平行



合力为零， 合力矩为零

（2）当**磁场**方向 $\vec{B}$ 和**载流线圈面元**方向 $\vec{S}$ 垂直



合力为零 ,合力矩不为零

载流线圈面元方向 $\vec{S}$ 和电流满足右手螺旋定则