

大学基础物理学

University Fundamental Physics

电子工程系@华东师范大学

李波

2019年





目 录

5.1 带电粒子在磁场中的运动

5.2 霍尔效应

5.3 载流导线在磁场中受的力

5.4 载流导线在磁场中受的力矩

5.5 平行载流导线间的相互作用力

5.1 带电粒子在磁场中的运动

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

① \vec{v} 与 \vec{B} 平行

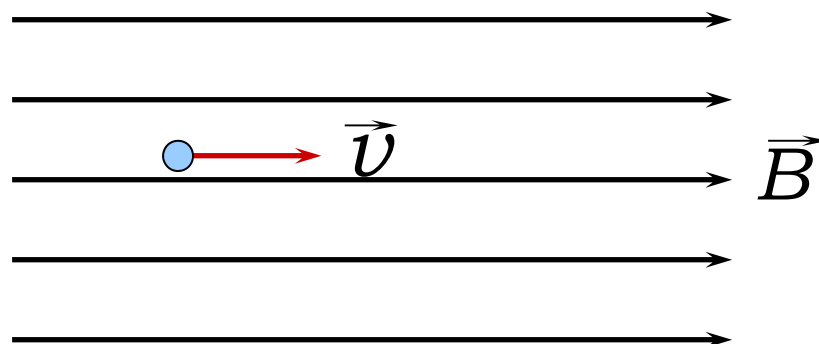
$$\vec{f} = 0 \quad \vec{v} = \text{恒量}$$

② \vec{v} 与 \vec{B} 垂直

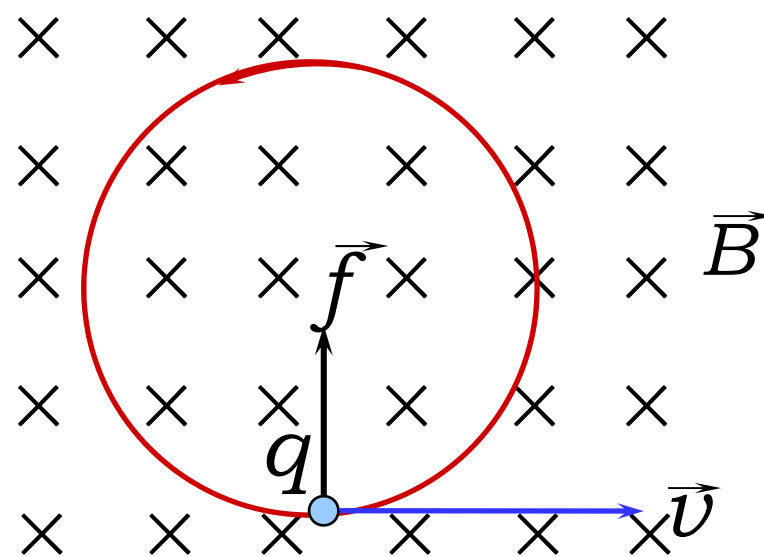
$$f = qvB$$

$$qvB = m \frac{v^2}{R} \quad R = \frac{mv}{qB}$$

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



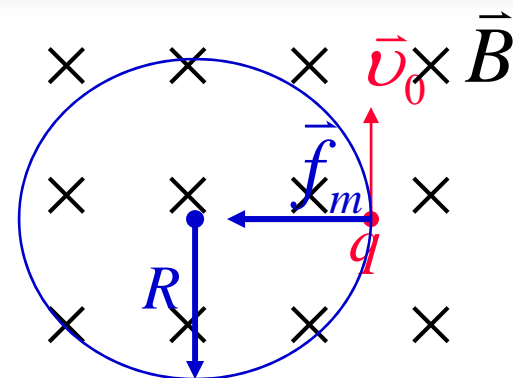
粒子做匀速直线运动



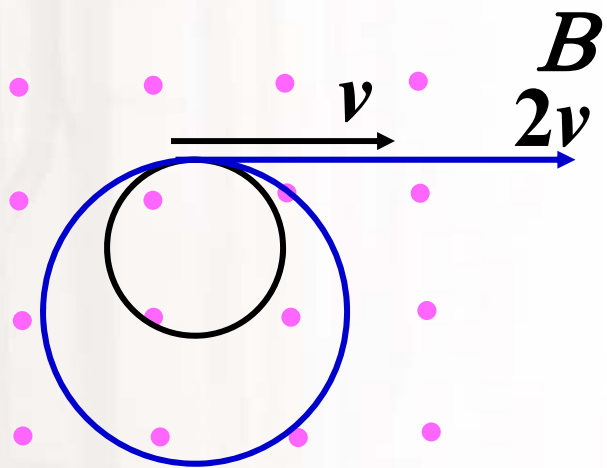
粒子做匀速圆周运动

- 圆周半径 $R = \frac{m v_0}{q B}$

由上式可知 圆周运动半径与垂直磁场的速度有关



- 粒子运动的周期 $T = \frac{2\pi R}{v_0} = \frac{2\pi m}{q B}$ 与速度无关



如两个质子 v 和 $2v$ 同时回到原出发点

③ \vec{v} 与 \vec{B} 成 θ 角

$$v_{//} = v \cos \theta$$

$$v_{\perp} = v \sin \theta$$

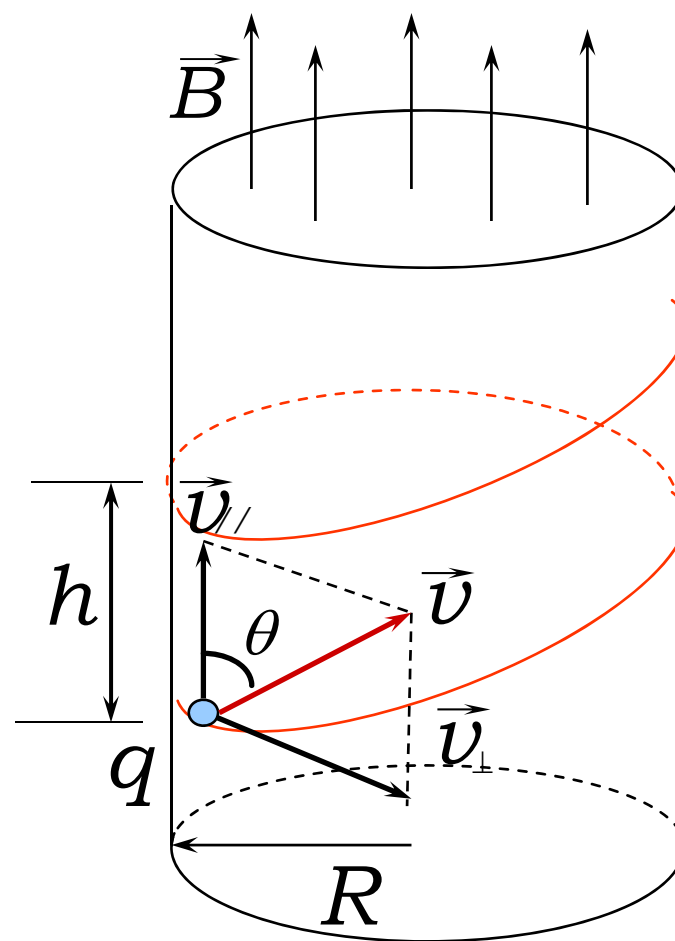
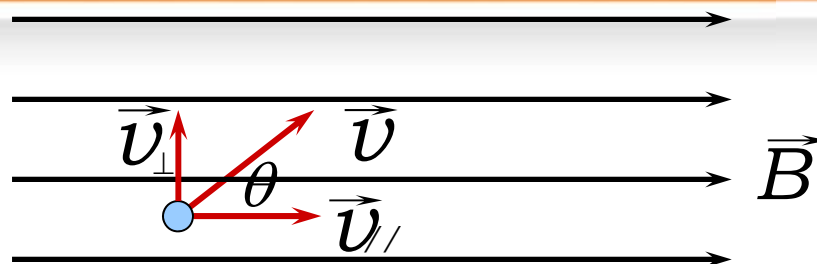
$$R = \frac{mv_{\perp}}{qB} = \frac{mv \sin \theta}{qB}$$

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

螺距 h :

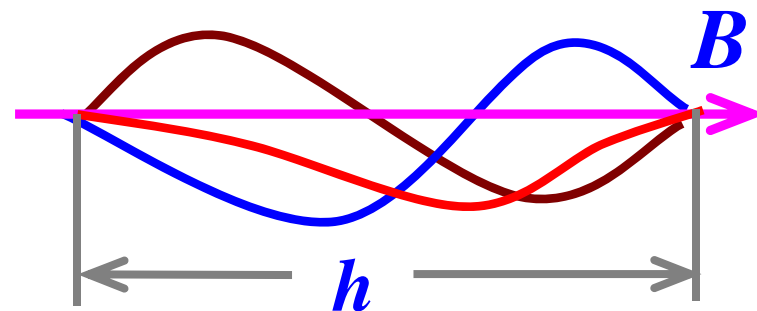
$$h = v_{//} T = v \cos \theta \cdot T$$

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



* 磁聚焦 *magnetic focusing*

一束发散角不大的带电粒子束，若这些粒子沿磁场方向的分速度大小又一样，它们有相同的螺距，经过一个周期它们将重新会聚在另一点。这种发散粒子束会聚到一点的现象叫磁聚焦。



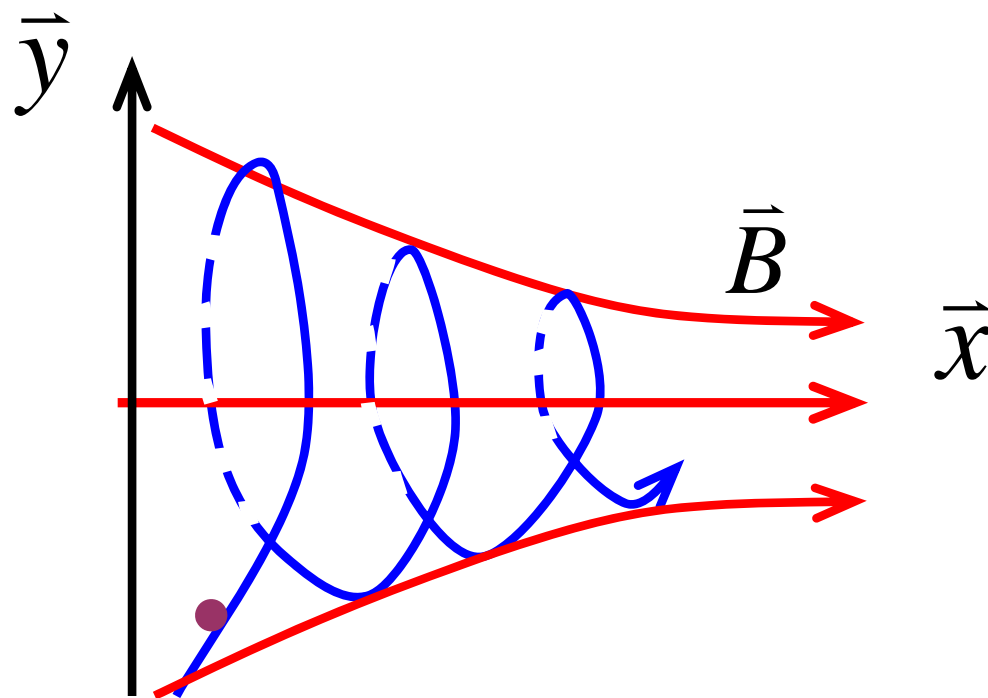
它广泛应用与电真空器件中如电子显微镜 *electron microscope* 中。它起了光学仪器中的透镜类似的作用。

● 带电粒子在非均匀磁场中的运动

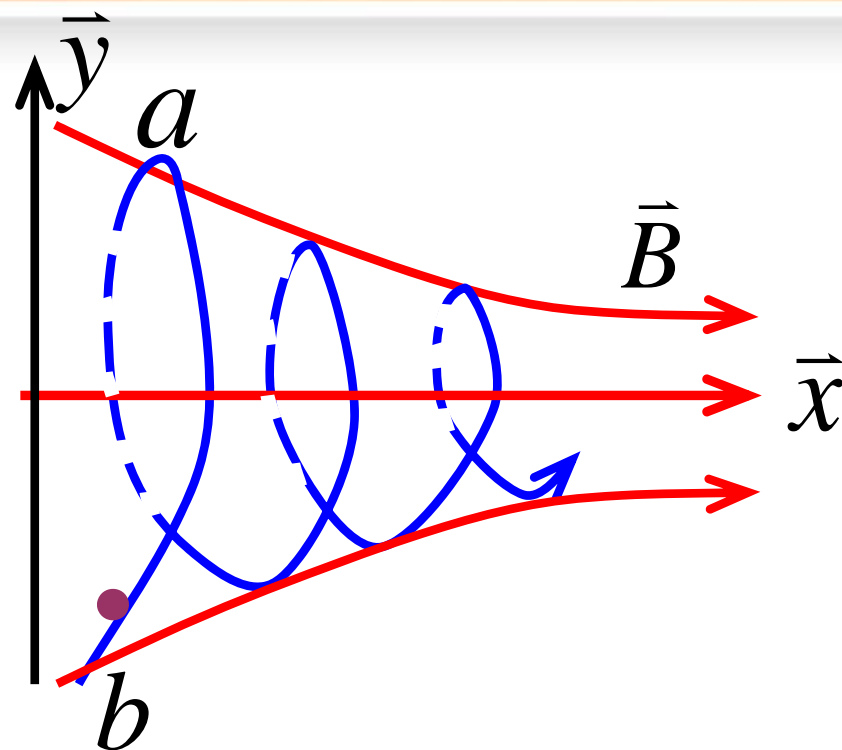
一个带电粒子进入轴对称会聚磁场，如图所示，在 YZ 平面内的速度分量与磁场的 X 分量的洛伦兹力，使其在 YZ 平面内做圆周运动。

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

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



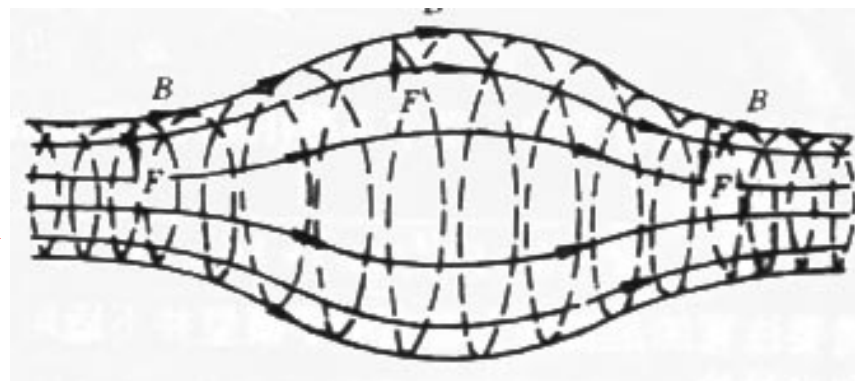
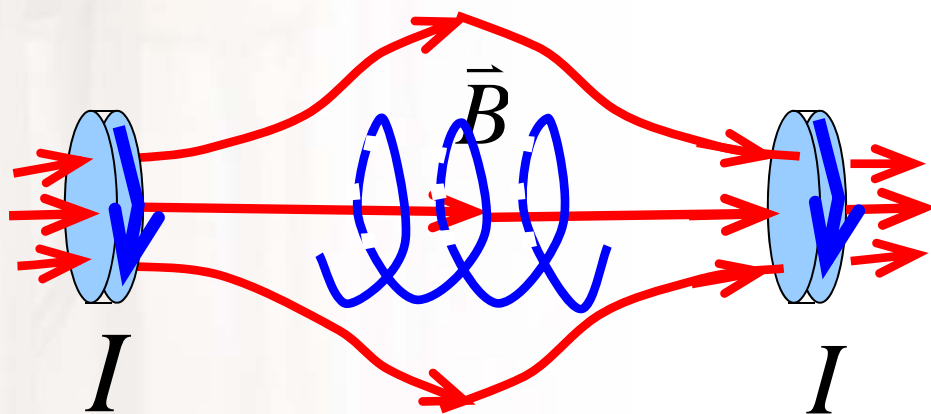
由于磁场的非均匀，洛伦兹力的大小要变化，所以不是匀速圆周运动。且半径逐渐变小。



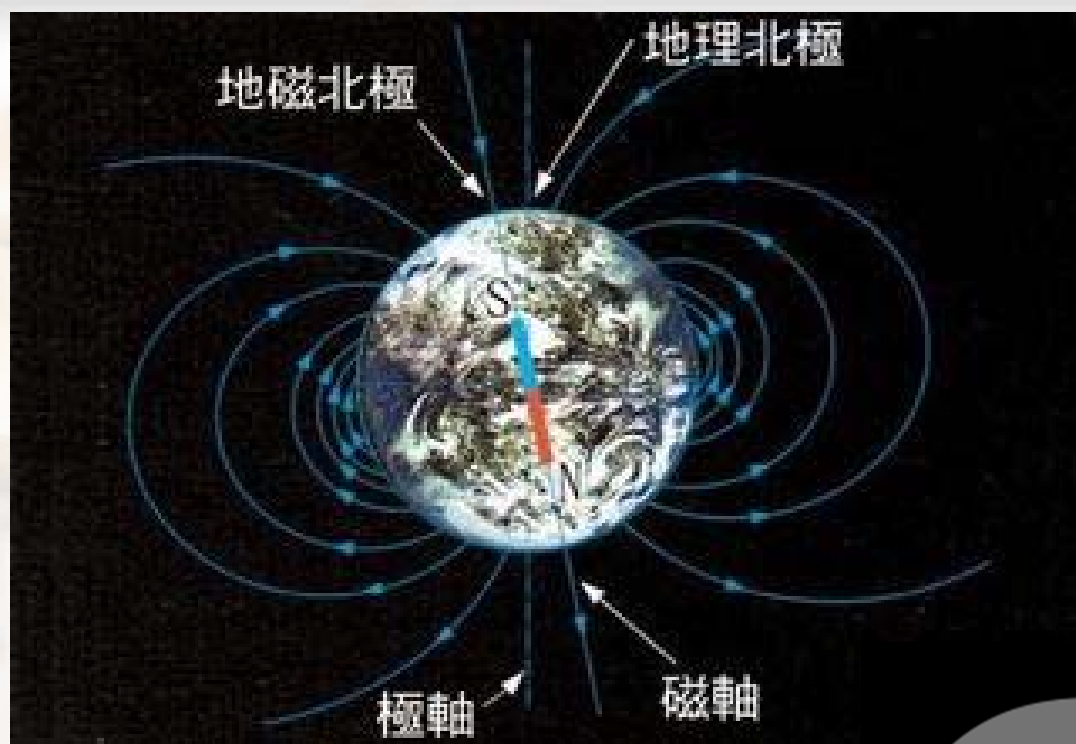
最后使沿强磁场的运动被抑制，而被迫反转。象被“反射”回来一样。这称之为磁镜 *magnetic lens*.

带电粒子进入轴对称的会聚磁场，它便被约束在一根磁力线附近的很小范围内，它只有纵向沿磁力线的运动，而无横向跨越。或说在横向运输过程中它受到很大的限制。

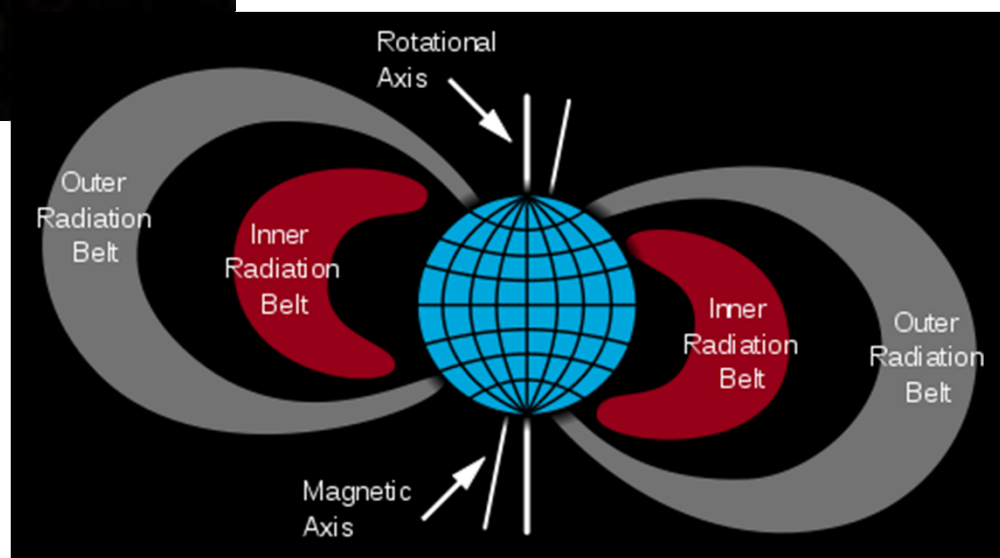
* 磁约束



用于受控热核反应中



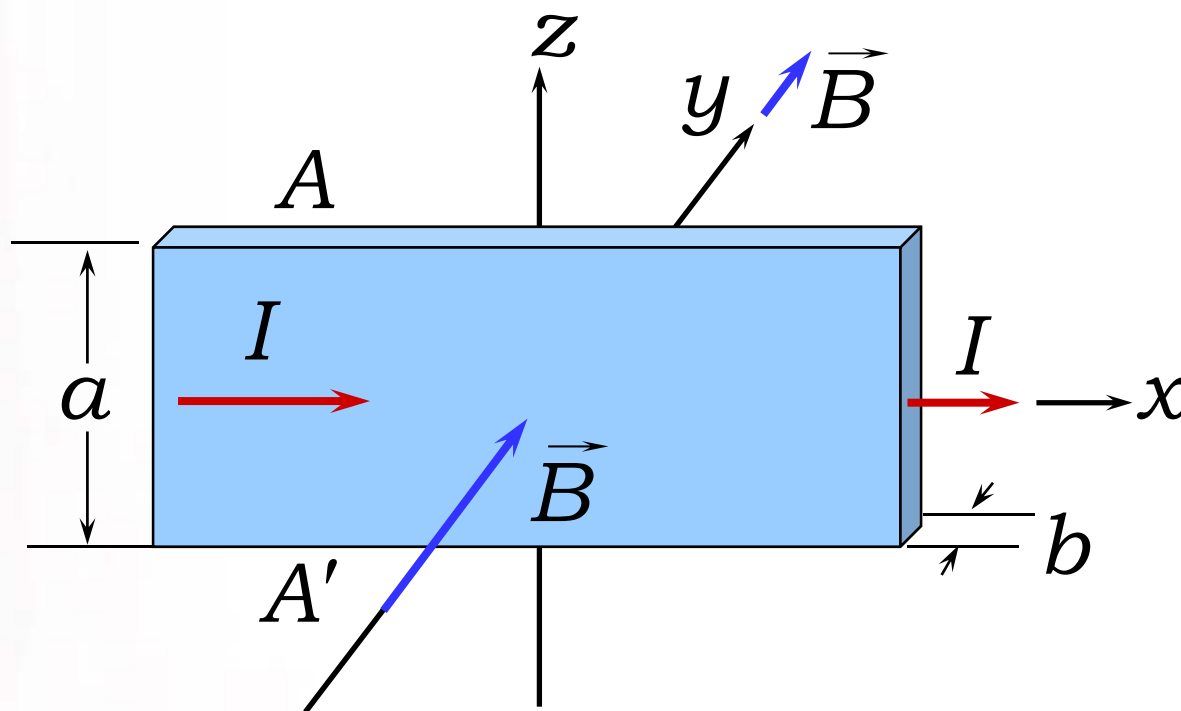
范艾仑辐射带





5.2 霍尔效应

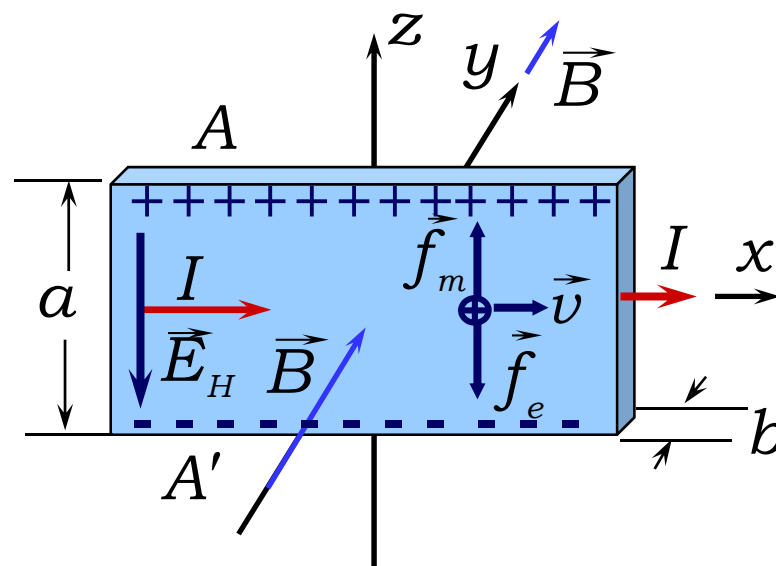
厚度 b 宽为 a 的导电薄片，沿 x 轴通有电流强度 I ，当在 y 轴方向加以匀强磁场 B 时，在导电薄片两侧（ A, A' ）产生一电位差 U_H 这一现象称为霍尔效应。



霍耳效应原理：

带电粒子在磁场中运动受到洛仑兹力。

$$q > 0 \quad \vec{f}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$$





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

$$f_e = f_m \quad F_{\text{合}} = 0 \quad \therefore E_H = vB$$

此时载流子将作匀速直线运动，同时 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。

$$E_H = \frac{U_H}{a} \quad \begin{matrix} U_H = avB \\ I = nqvab \end{matrix} \quad U_H = \frac{1}{nq} \frac{IB}{b}$$

$$q < 0 \quad \vec{f}_m = -|q|\vec{v} \times \vec{B}$$

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

$$f_e = f_m \therefore E_H = v'B \quad F_{\text{合}} = 0$$

$$E_H = \frac{U_H}{a} \quad U_H = av'B$$

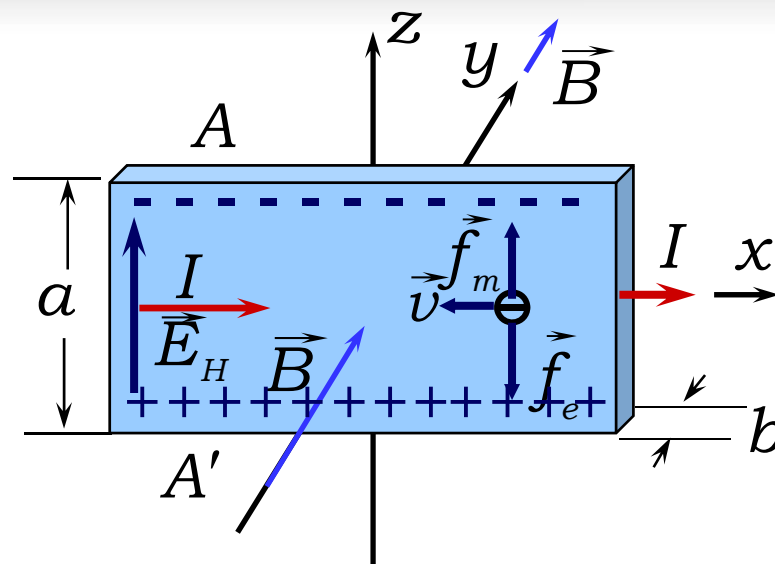
$$I = nqv'ab$$

$$U_H = \frac{1}{nq} \frac{IB}{b}$$

总结:

$$\textcircled{1} q > 0 \text{ 时, } R_H > 0, \quad U_H > 0$$

$$\textcircled{2} q < 0 \text{ 时, } R_H < 0, \quad U_H < 0$$





霍耳效应的应用

$$U_H = \frac{1}{nq} \frac{IB}{b}$$

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。

谢谢！

