

热身



- 磁场的特点是什么？
- 螺线管内的磁场是均匀磁场吗？
- 无限大载流平面产生的磁场有什么特点？
- 磁场会对什么产生力的作用？



通过本部分的学习，您将：

- 运动电荷点在磁场中所受的力-洛伦兹力
- 洛伦兹力的应用：
选速器、质谱仪、磁聚焦、回旋加速器、霍尔效应



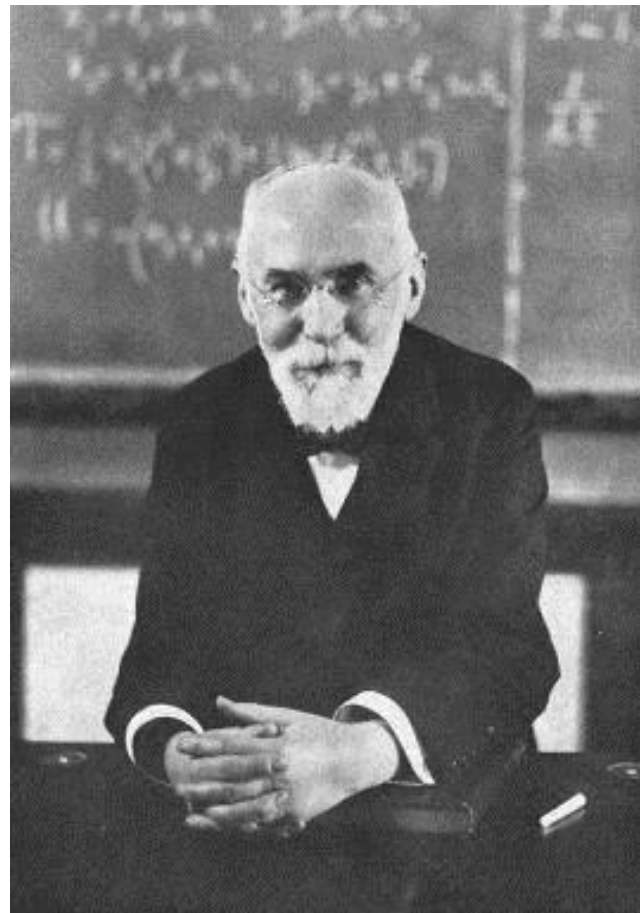
§ 9.3 磁场对运动电荷的作用

演示实验：

<https://tv.sohu.com/v/dXMvNjMzNDEwNjAvMzA1MTkxNzguc2h0bWw=.html>

洛伦兹力—运动电荷在磁场中受到的磁场力。

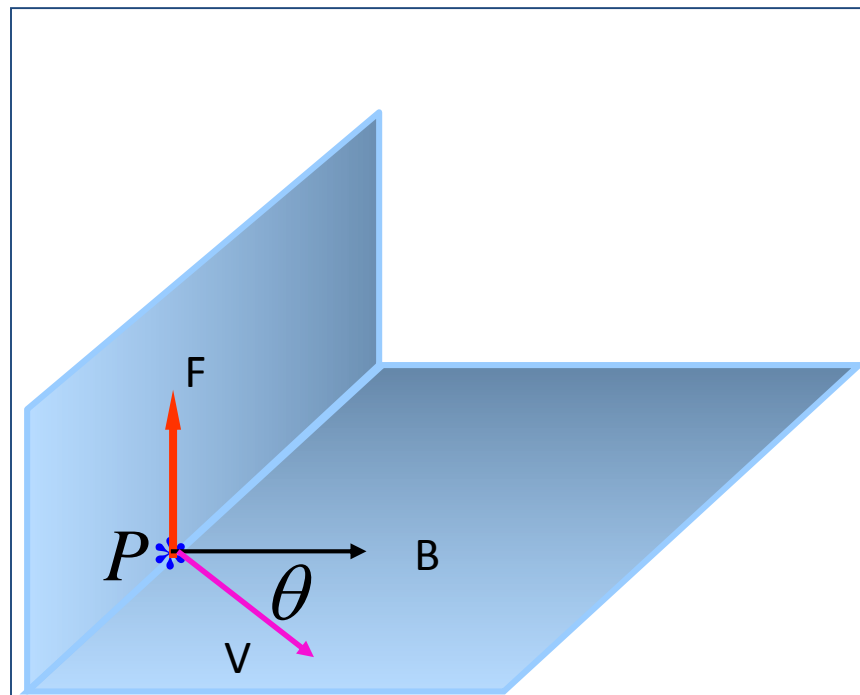
- 创建了经典“电子论”；
- 填补了经典电磁场理论与相对论之间的鸿沟，是经典物理和近代物理间的一位承上启下式的科学巨擘，是第一代理论物理学家的领袖；
- 他与同胞塞曼共享了1902年度诺贝尔物理学奖：光线在磁场的作用下光谱线会发生分裂。



亨德里克·安东·洛伦兹 荷兰
1853~1928

实验证明：电荷的速度为 \vec{v} ，电量为 q ，
在磁场 \vec{B} 中受到的力为：

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$



- ◆标量形式为 $F = qvB \sin \theta$ ，其中 θ 为 B 与 v 的夹角
- ◆ \vec{F} 的方向不但与 \vec{v} 垂直，而且也垂直于 \vec{B}
- ◆ q 应该看作代数量，有正、负之分。



根据牛顿定律，物体受到力的作用，运动状态会发生变化，那么粒子受到洛伦兹力的作用，运动状态会发生怎样的变化？



讨论活动

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$



结合力学知识分析：当一个带电为 q 的粒子，以速度 V 进入匀强磁场 B 中，带电粒子在洛伦兹力的作用下会如何运动？

- V 与 B 同向/反向；
- V 与 B 垂直；
- V 与 B 的夹角任意
- 洛伦兹力是否做功？



- \vec{v} 与 \vec{B} 同向，不受力的作用，匀速运动
- 带电粒子初速度 \vec{v} 与 \vec{B} 垂直，圆周运动



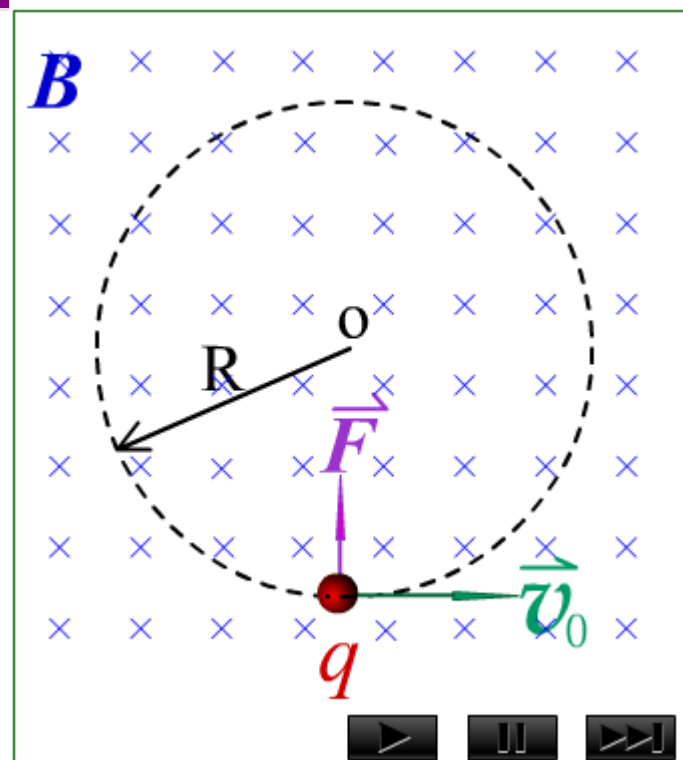
$$qvB = m \frac{v^2}{R}$$

回旋半径: $R = \frac{mv}{qB}$

回旋周期和频率:

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

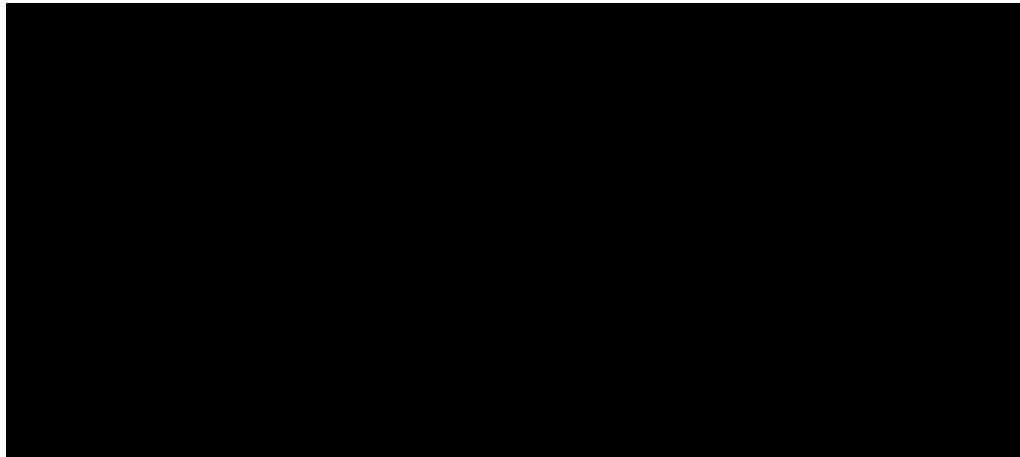
$$f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$$



带电粒子做匀速率圆周运动，R与速度有关，但是周期与速度无关！



- 带电粒子的速度 V 不垂直于磁场 B ，带电粒子螺旋前进





设带电粒子初速度 \vec{v} 与 \vec{B} 成 θ 角:

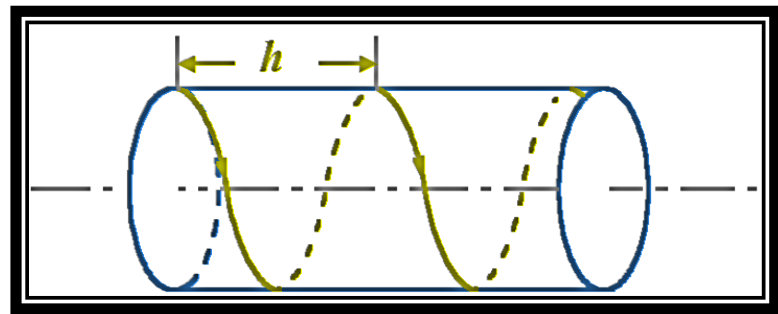
$$\vec{v} \Rightarrow \begin{cases} v_{//} = v \cos \theta \\ v_{\perp} = v \sin \theta \end{cases}$$

带电粒子参与两方面的运动: 圆周运动、匀速直线运动。合成: 运动轨迹为螺旋线。

螺距为:

$$h = v_{//} T = \frac{2\pi m}{qB} v_{//}$$

半径为:
$$R = \frac{mv_{\perp}}{qB}$$





■ 洛伦兹力与速度垂直，因此只改变电荷的运动方向，而不做功。

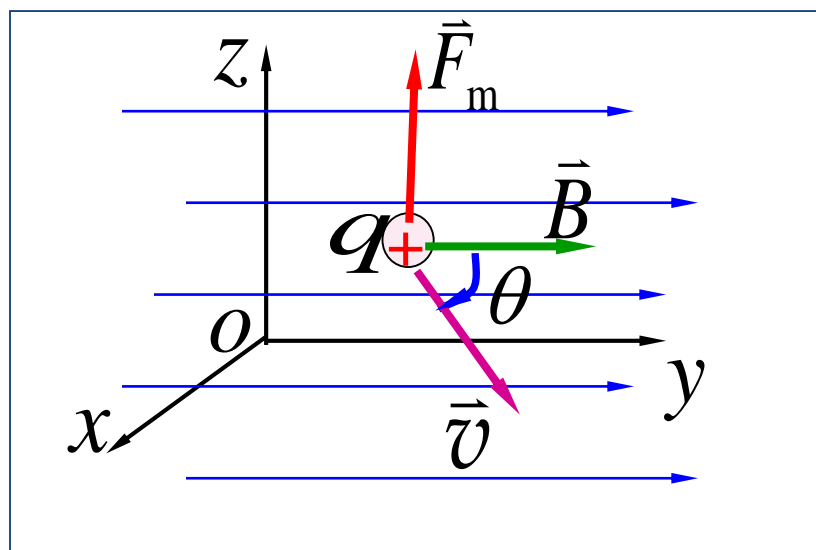
带电粒子在电场和磁场中所受的力

电场力 $\vec{F}_e = q\vec{E}$

磁场力 (洛伦兹力)

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

运动电荷在电场和
磁场中受的力

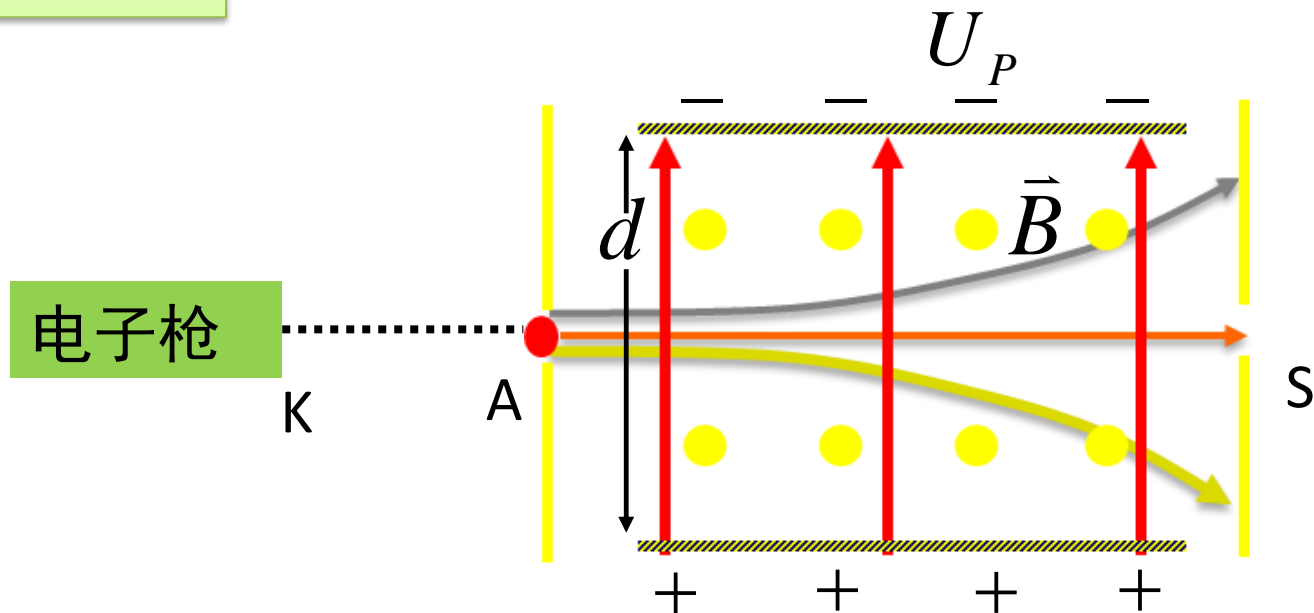


$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

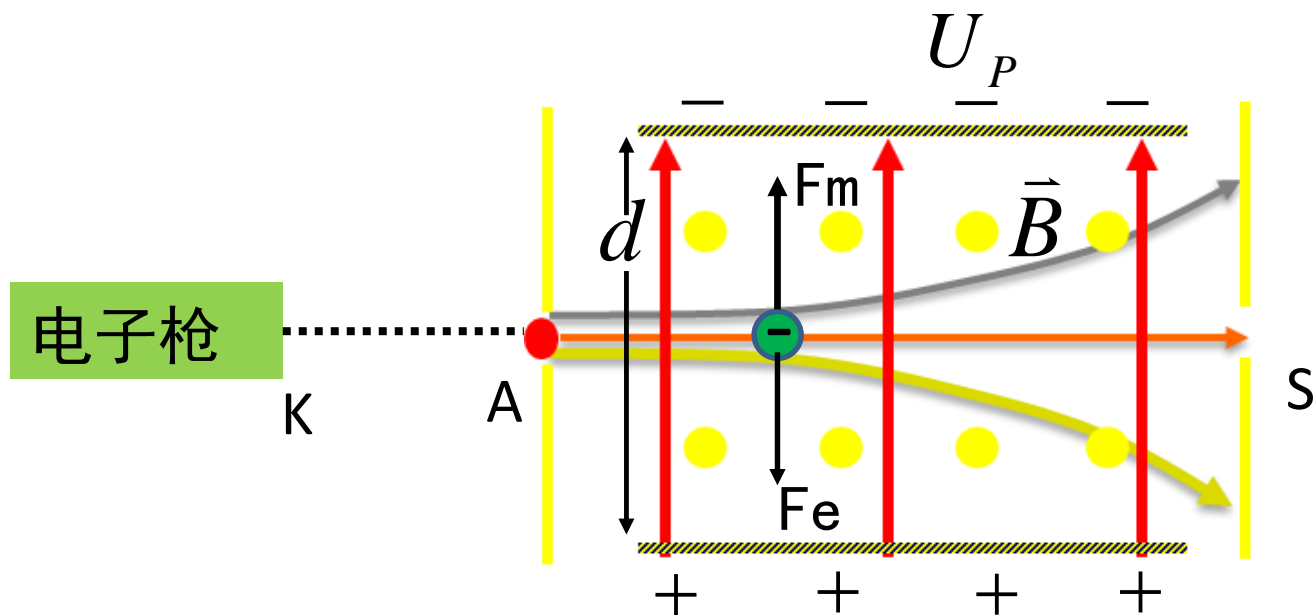


洛伦兹力的应用

1、选速器



沿KA方向，从电子枪中射出速率大小不一的电子。当电子通过方向互相垂直的均匀磁场和电场后，只有一定速率的电子能够沿直线前进通过小孔S。设产生均匀电场的电压为 U_P ，极板间距为 d ，磁场的磁感应强度为 B 。求通过S的电子的速率



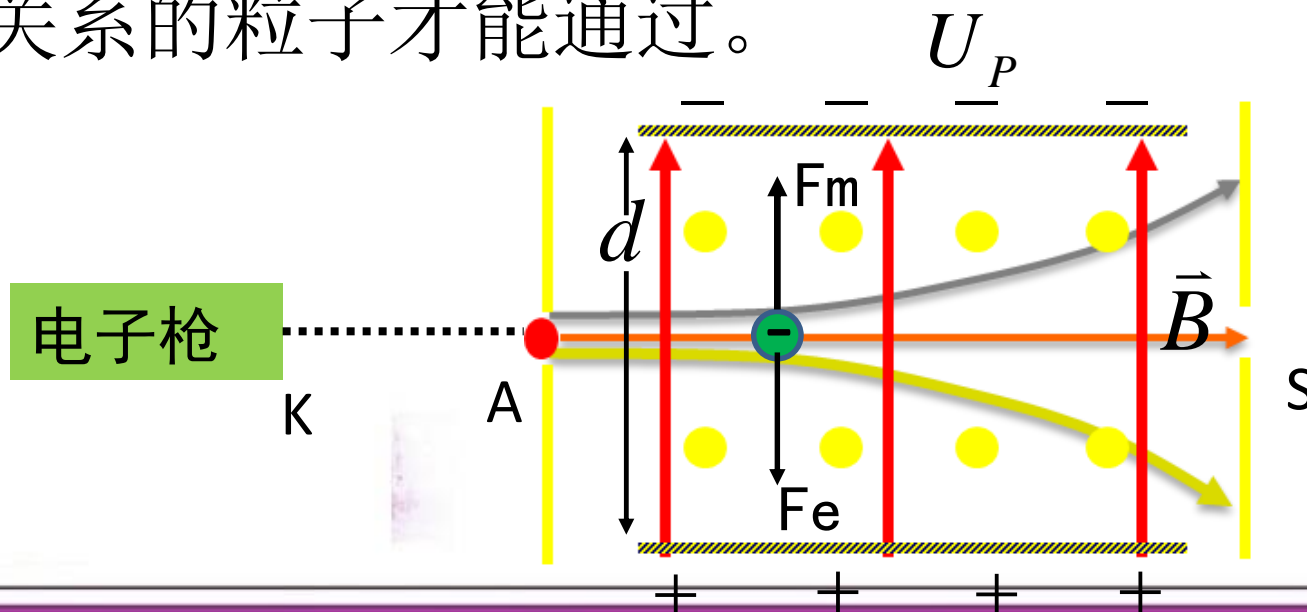
直线通过的粒子满足：

$$F_{\text{电}} = F_{\text{磁}}$$

$$\because F_{\text{电}} = q \frac{U_P}{d}, F_{\text{磁}} = qvB$$

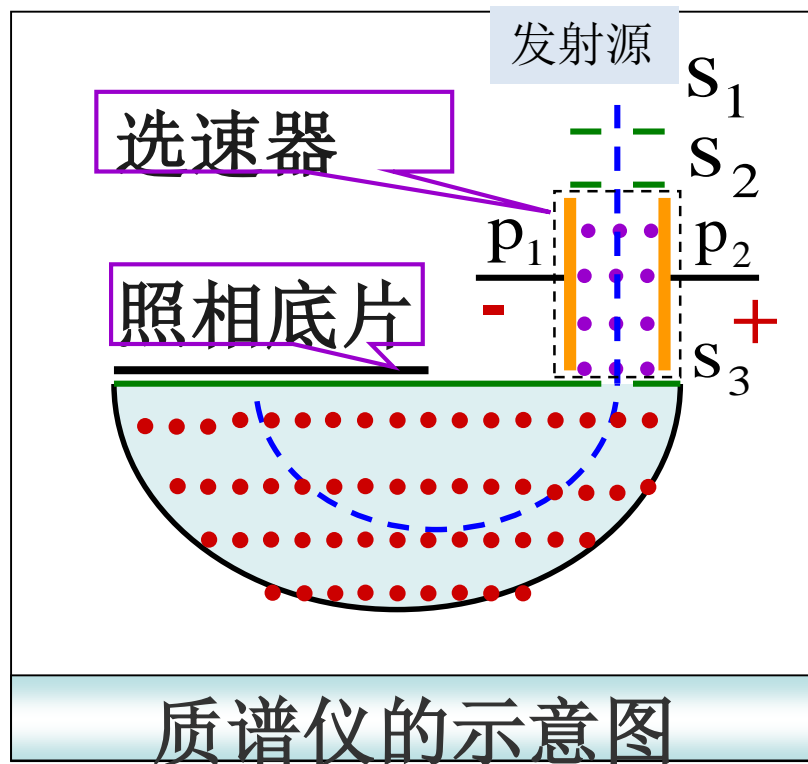
$$\therefore q \frac{U_P}{d} = qvB \Rightarrow v = \frac{U_P}{Bd}$$

U_P 一定, B 一定, d 一定,
 v 为常数。即只有满足这
 一关系的粒子才能通过。



2、质谱仪

分离和检测不同同位素的仪器。

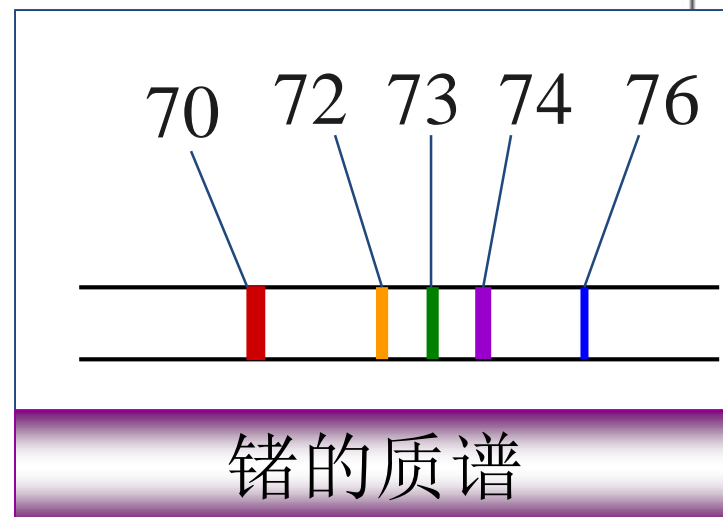
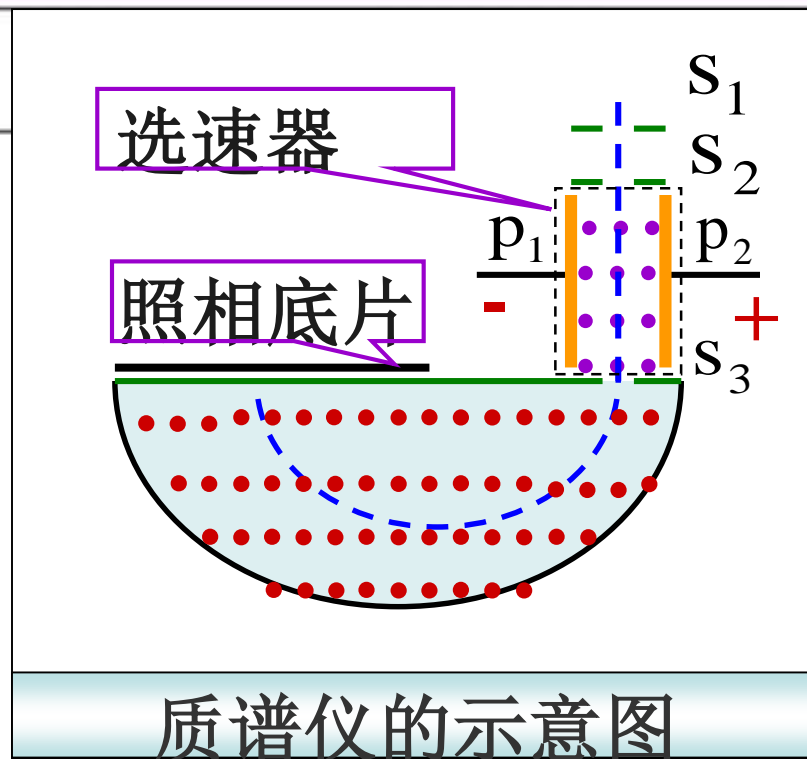


同样速度不同质量的粒子进入半圆磁场后会发生什么现象？

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

$$R = \frac{mv}{qB} \Rightarrow R = Km$$

不同质量的粒子，半径不同，这样可以把各种粒子分开。





3、磁聚焦

磁聚焦：在均匀磁场中点 A 发射一束初速度相差不大的带电粒子，它们的 \vec{v}_0 与 \vec{B} 之间的夹角 θ 不同，但都较小，这些粒子沿半径不同的螺旋线运动，因螺距近似相等，相交于屏上同一点，此现象称为磁聚焦。

应用

电子光学，电子显微镜等。



磁聚焦原理:

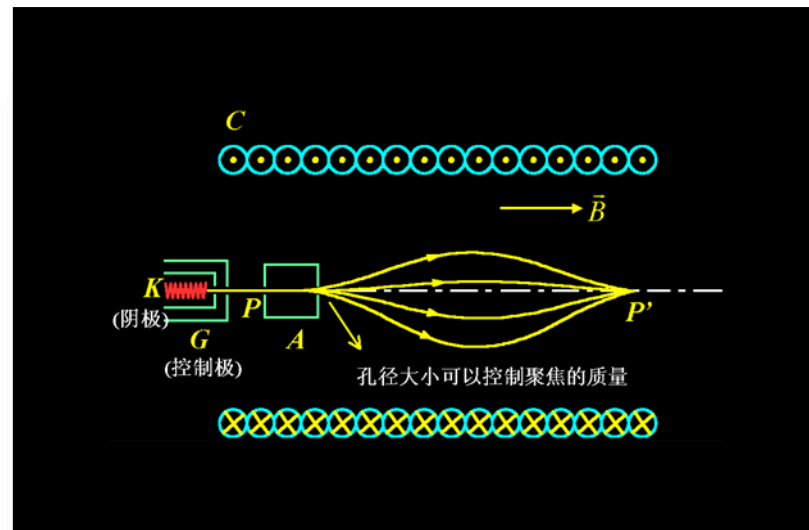
- 若在磁场中的某点 P 发射一束具有相同 $v_{//}$ 分量的同种带电粒子，尽管它们的 v_{\perp} 分量如何不同，轨道半径不同，但它们都必将沿 \vec{B} 的方向会聚于距发射点 P 为 h 、 $2h$ 、.....处，这个过程称为磁聚焦。

- 或者 v 相同， θ 很小：

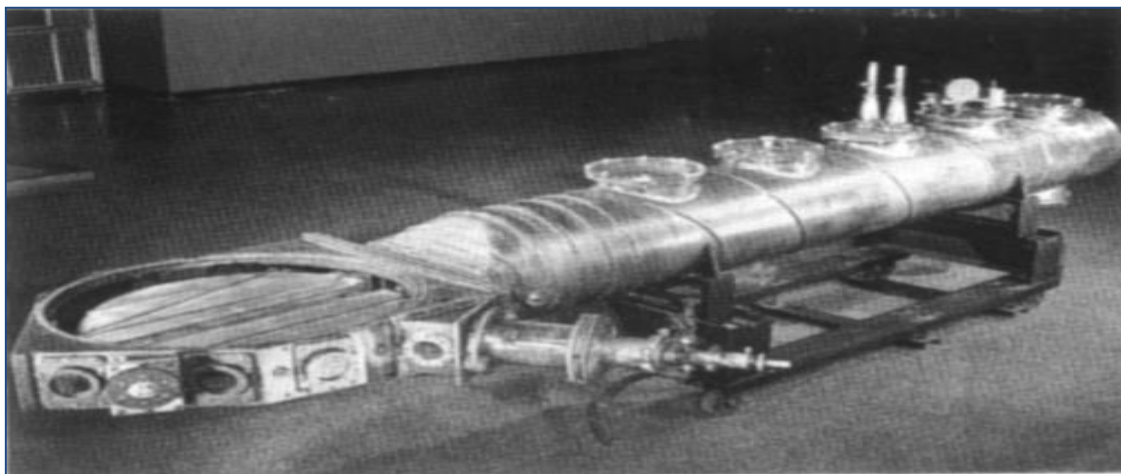
$$v_{//} = v \cos \theta \approx v$$

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

$$h \approx \frac{2\pi m}{qB} v$$



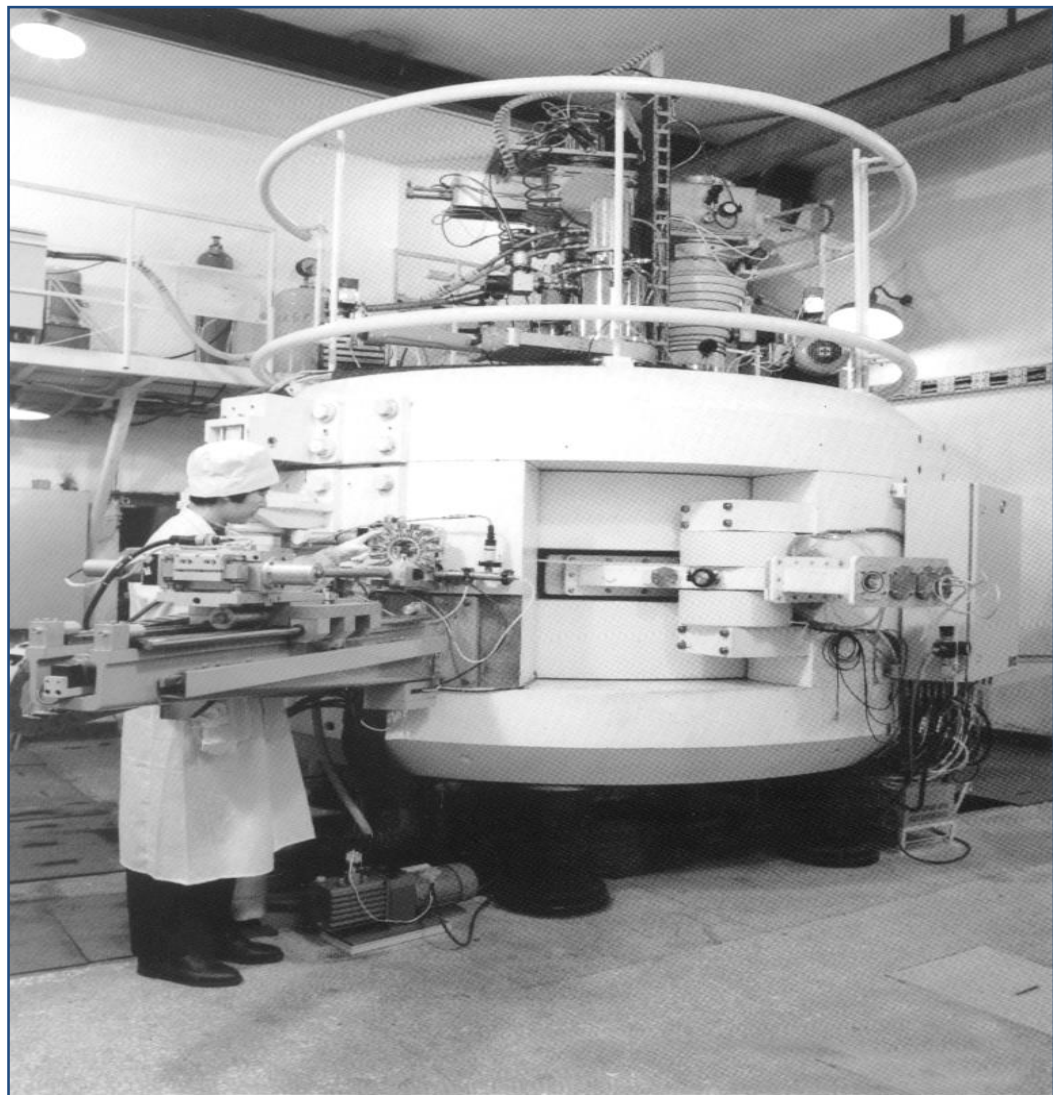
4 回旋加速器



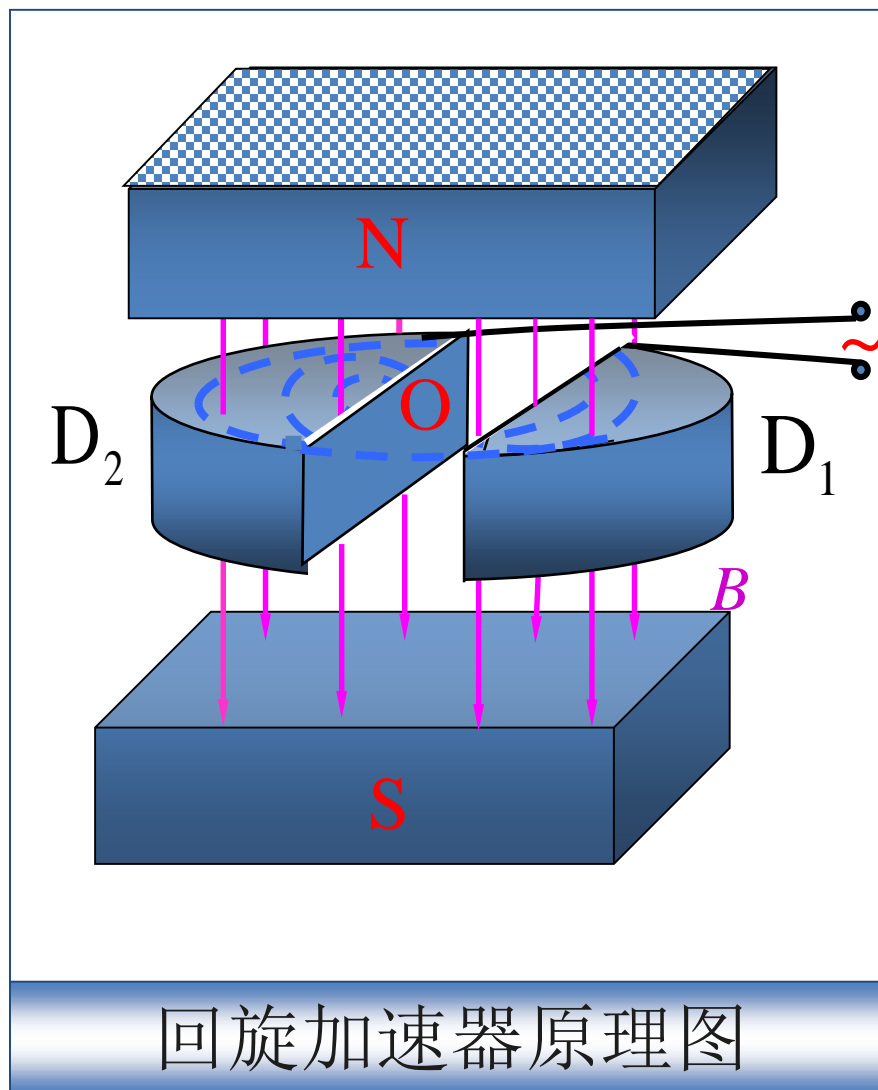
劳伦斯 美国
1901-1958

1932年劳伦斯研制第一台回旋加速器的D型室.

此加速器可将质子和氘核加速到1 MeV的能量，为此1939年劳伦斯获诺贝尔物理学奖.



我国于1994年建成的第一台强流质子加速器，可产生数十种中短寿命放射性同位素。



磁场：回旋作用

电场：加速作用

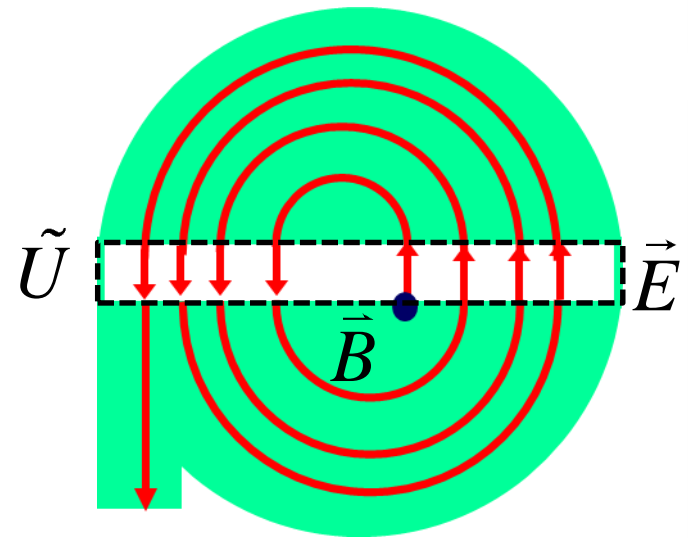
交变电场的周期

等于粒子在磁场中作

圆周运动的周期：
$$T = \frac{2\pi m}{qB}$$

粒子末速度：由 $R = \frac{mv}{qB}$ 得：
$$v = \frac{qBR}{m}$$

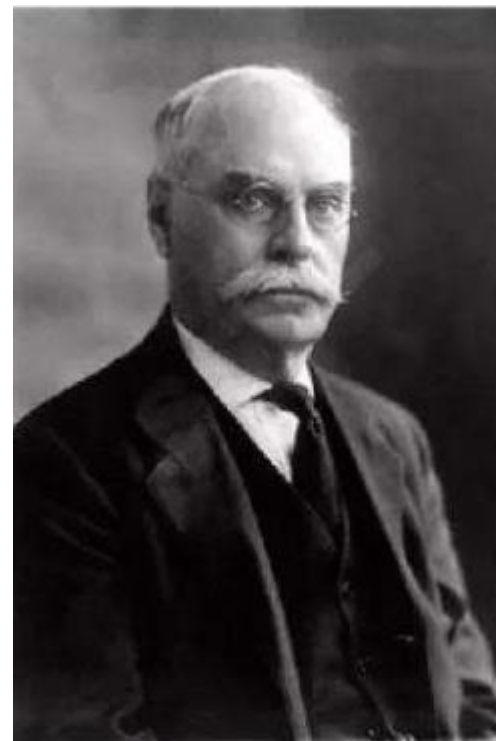
末动能：
$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$$
 （受限制）



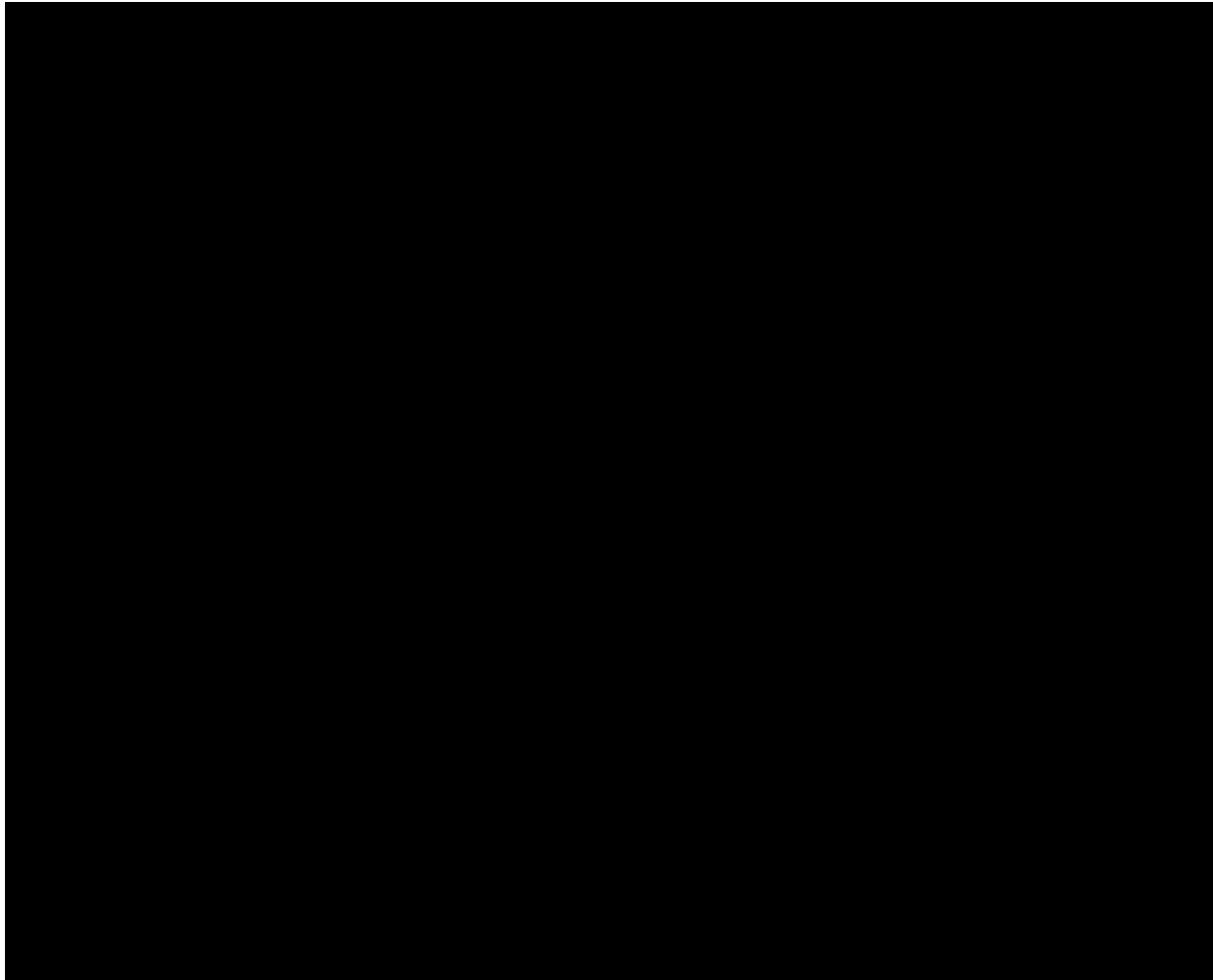
4 霍尔效应



1879年，美国24岁的霍尔发现：
“电流通过金属，在磁场的作用下产生横向电动势”。



E. H. Hall, 美国
1855—1938





产生的背景：金属的导电机制并不清楚

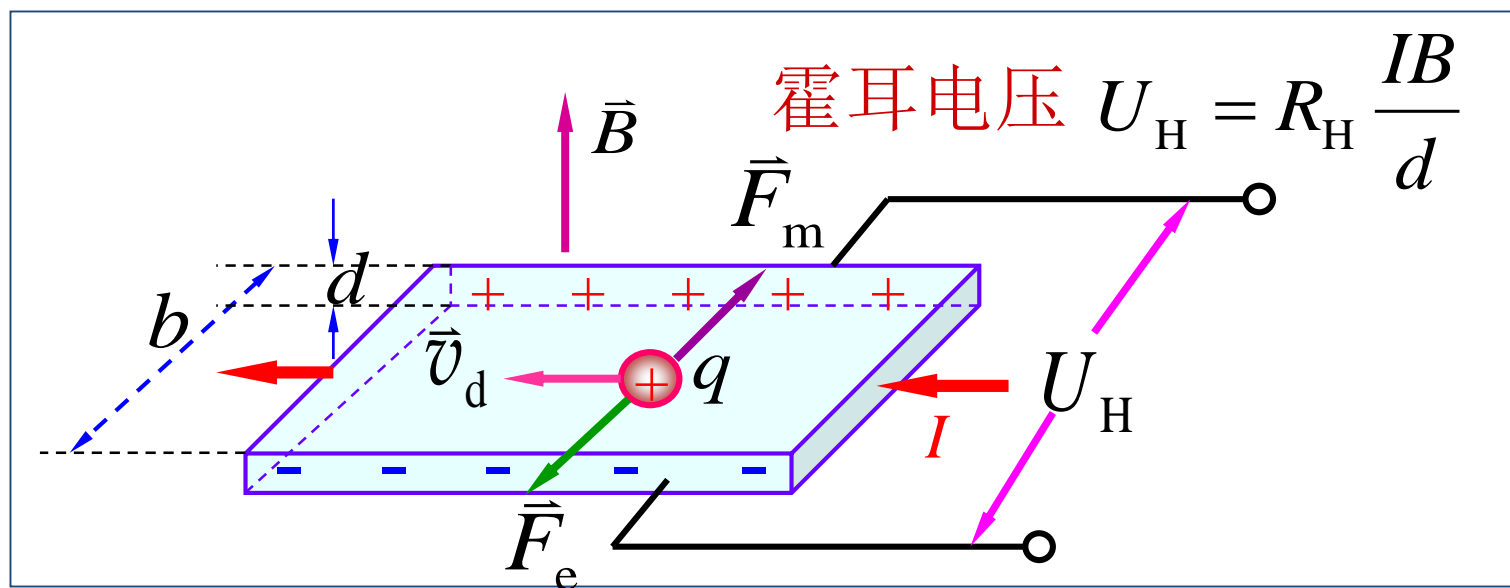
麦克斯韦：推动在流体导线切割磁力线的力不是作用在电流中…，在导线中，电流的本身完全不受铁磁体接近或其他电流的影响；

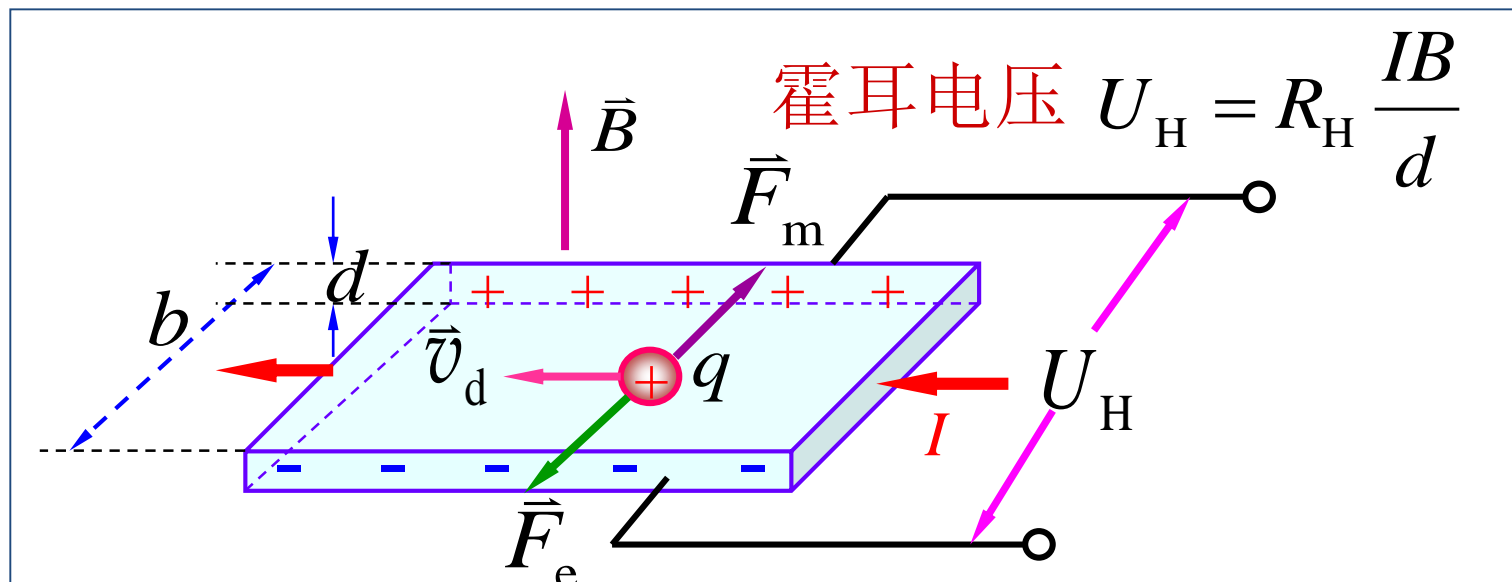
瑞典物理学家爱德朗： 磁铁作用在固态导体的电流上，恰如作用在自由运动的导体上一样

变身科学家



问题： 请根据已学知识，求解霍尔电压的大小，并与实验结果对比。

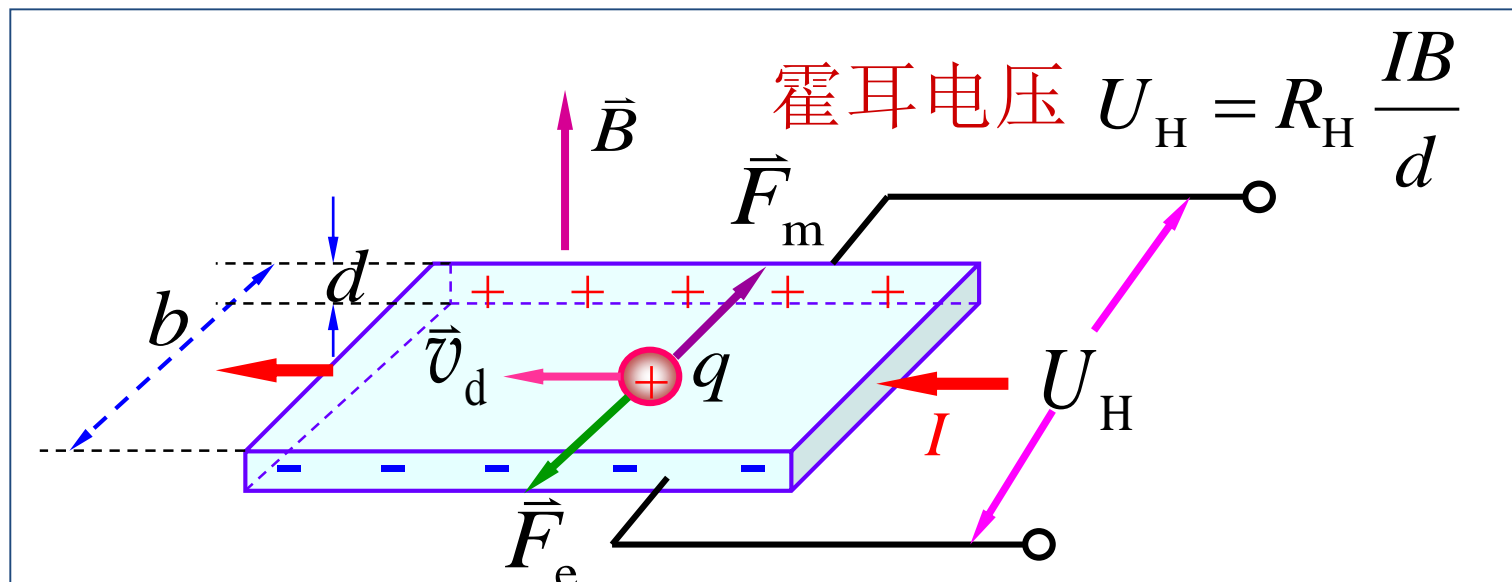




电场力 $F_e = qE_H = q \frac{U_H}{b}$

洛伦兹力 $F_L = qv_d B$

$$q \frac{U_H}{b} = qv_d B \quad \Rightarrow \quad U_H = \frac{bqv_d B}{q}$$



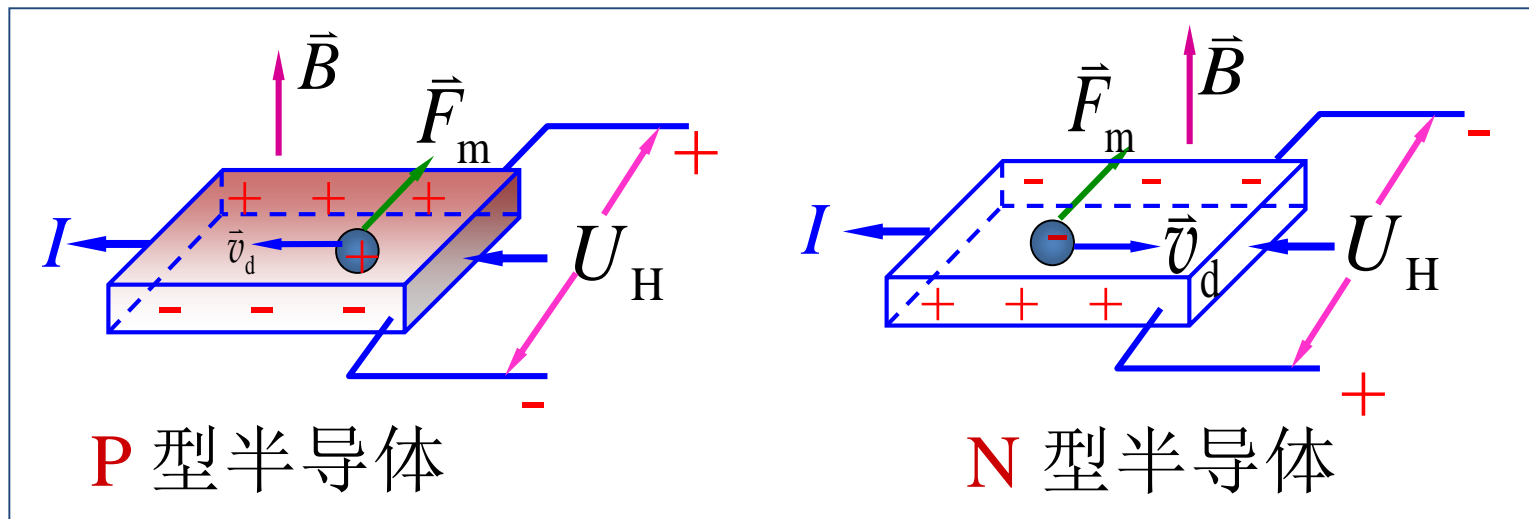
$$U_H = \frac{bq v_d B}{q} = \frac{nbdq v_d B}{ndq} = \frac{1}{nq} \frac{IB}{d}$$

$$U_H = \frac{1}{nq} \frac{IB}{d} = R_H \frac{IB}{d}$$

霍耳系数 $R_H = \frac{1}{nq}$

霍耳效应的应用

(1) 判断半导体的类型



(2) 测量磁场

霍耳电压
$$U_H = R_H \frac{IB}{d}$$



霍尔的论文

“论磁铁对电流的新作用”

发表在《美国数学杂志》上。

新闻界：“过去50年中电学方面最重要的发现”

开尔文：“霍尔的发现可和法拉第相比拟”

启示

不迷信权威，尊重科学，敢于向权威挑战！
不怕失败，反复实践，坚韧不拔的精神！

插曲 英国物理学家洛奇（O.Lodge）曾有类似想法，
但慑于麦柯斯韦的权威，放弃实验。遗憾！



本次课的学习目标，您掌握了吗？

- 运动电荷点在磁场中所受的力-洛伦兹力
- 洛伦兹力的应用：
选速器、质谱仪、磁聚焦、回旋加速器、霍尔效应