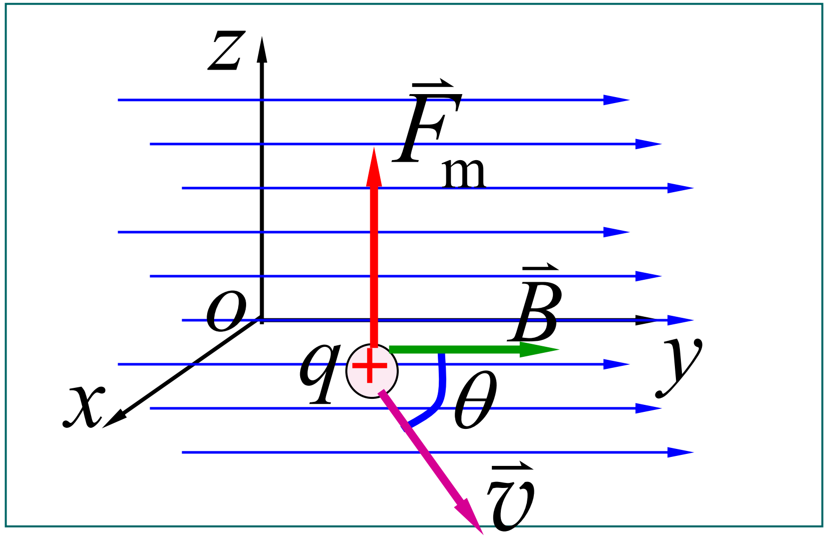
一　带电粒子在电场和磁场中所受的力

电场力 $\boxed{\vec{F}_{\mathrm{e}} = q\vec{E}}$



磁场力（洛仑兹力）

$$\boxed{\vec{F}_{\mathrm{m}} = q\vec{v}\times\vec{B}}$$

方向：即以右手四指 $\vec{v}$ 由经小于 180° 的角弯向 $\vec{B}$，拇指的指向就是正电荷所受洛仑兹力的方向.

运动电荷在电场和磁场中受的力

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

例 1 一质子沿着与磁场垂直的方向运动, 在某点它的速率为 $3.1\times10^{6}\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$. 由实验测得这时质子所受的洛仑兹力为 7.4×10^{-14} N.求该点的磁感强度的 大小.

解 由于$\vec{v}$ 与垂直 $\vec{B}$ ，可得

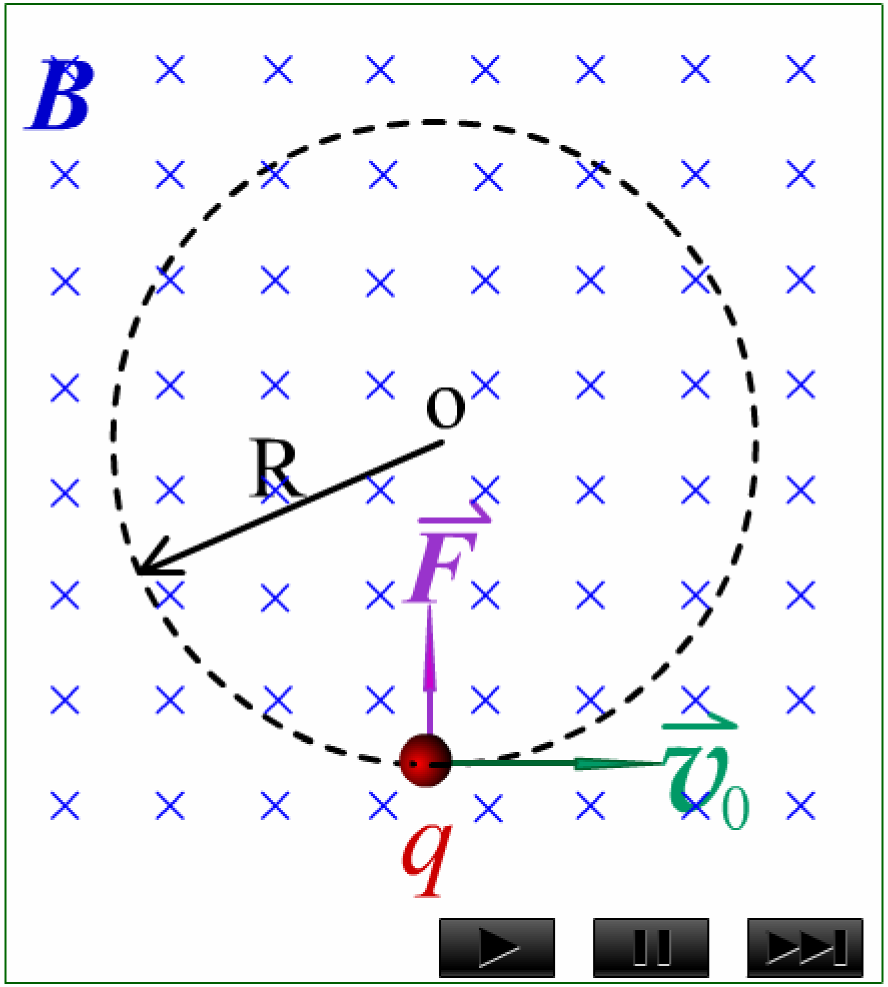
$$B=\frac{F}{qv}=\frac{7.4\times10^{-14}}{1.6\times10^{-19}\times3.1\times10^{6}}\mathrm{T}=0.15\mathrm{T}$$

问 1）洛仑兹力作不作功?

2）负电荷所受的洛仑兹力方向?

二 带电粒子在磁场中运动举例

1．回旋半径和回旋频率



$$\vec{v}_0 \perp \vec{B}$$

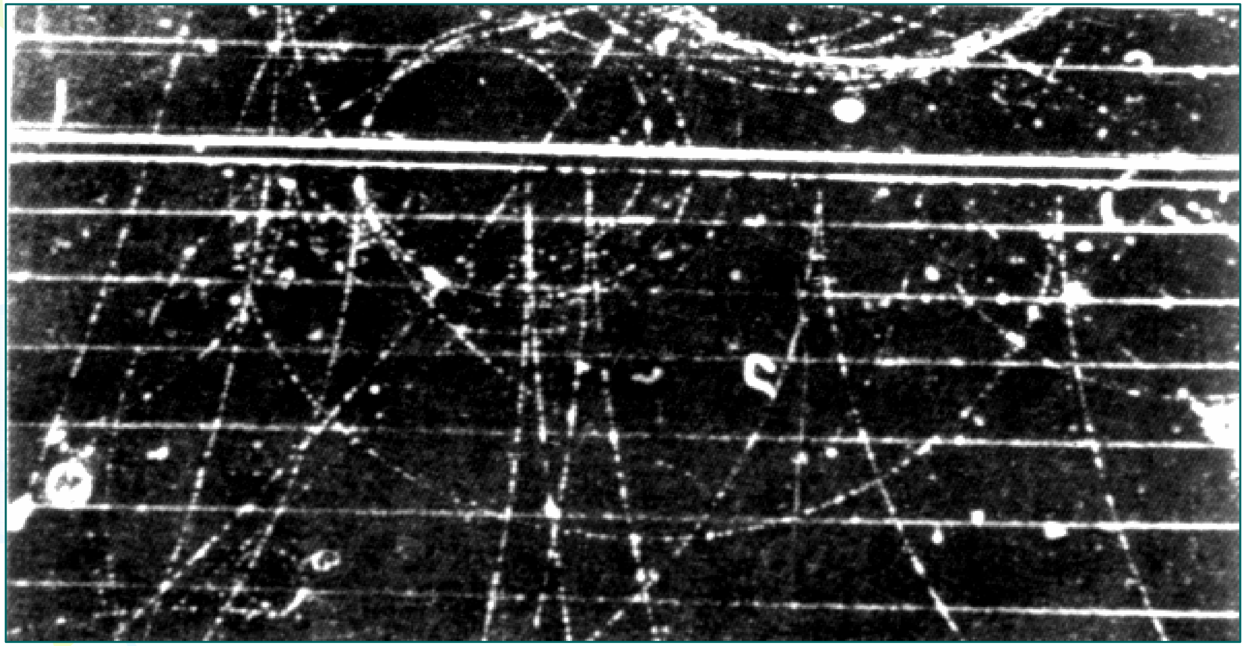
$$qv_0B = m\frac{v_0^2}{R}$$

$$R = \frac{mv_0}{qB}$$

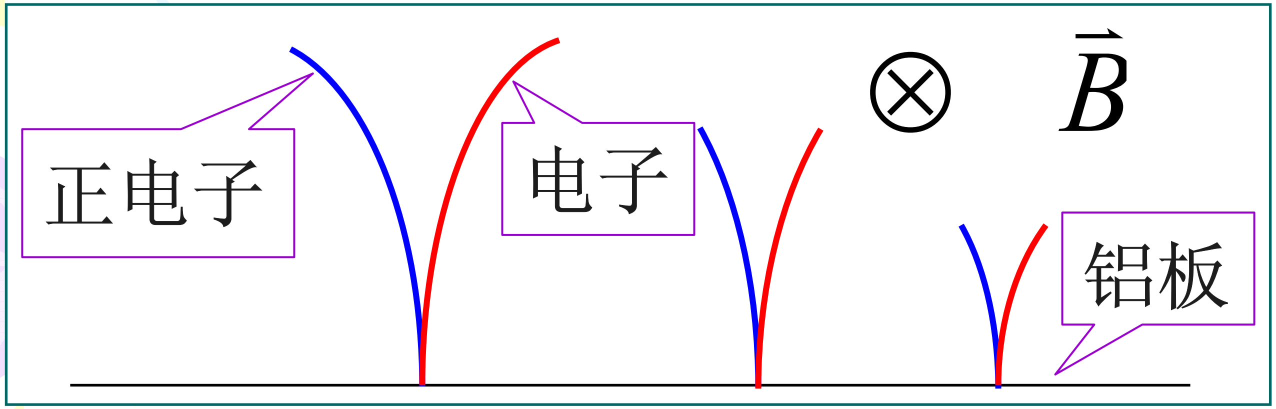
$$T = \frac{2\pi R}{v_0} = \frac{2\pi m}{qB}$$

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

2．电子的反粒子 电子偶



1930年狄拉克预言自然界存在正电子

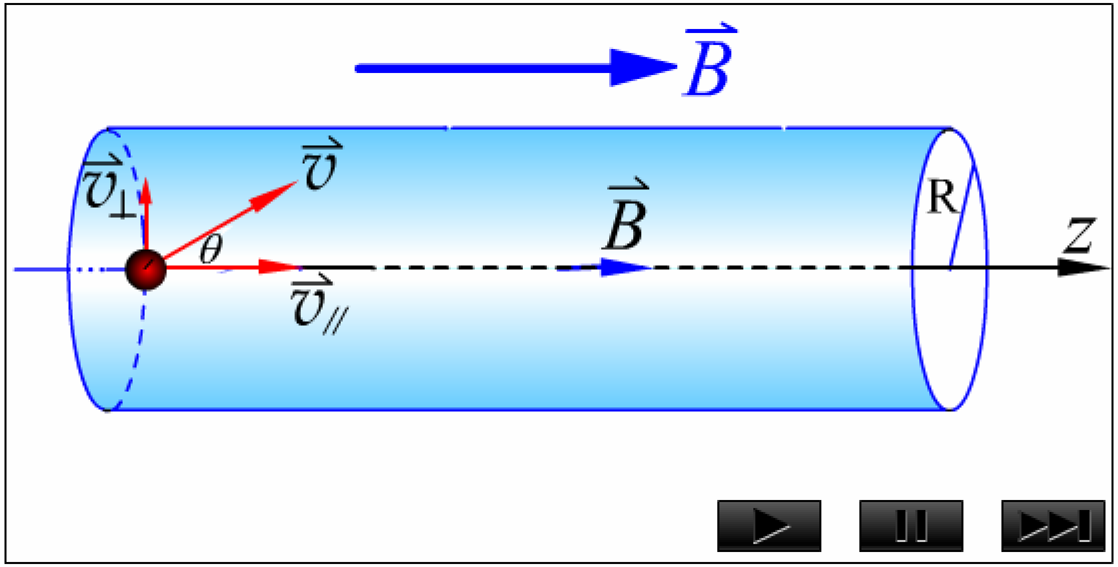


显示正电子存在的云室照片及其摹描图

3． 磁聚焦

洛仑兹力 $\vec{F}_{\mathrm{m}} = q\vec{v}\times\vec{B}$ （洛仑兹力不做功）

$\vec{v}$ 与 $\vec{B}$ 不垂直



$$\vec{v} = \vec{v}_{/\!/} + \vec{v}_\perp$$

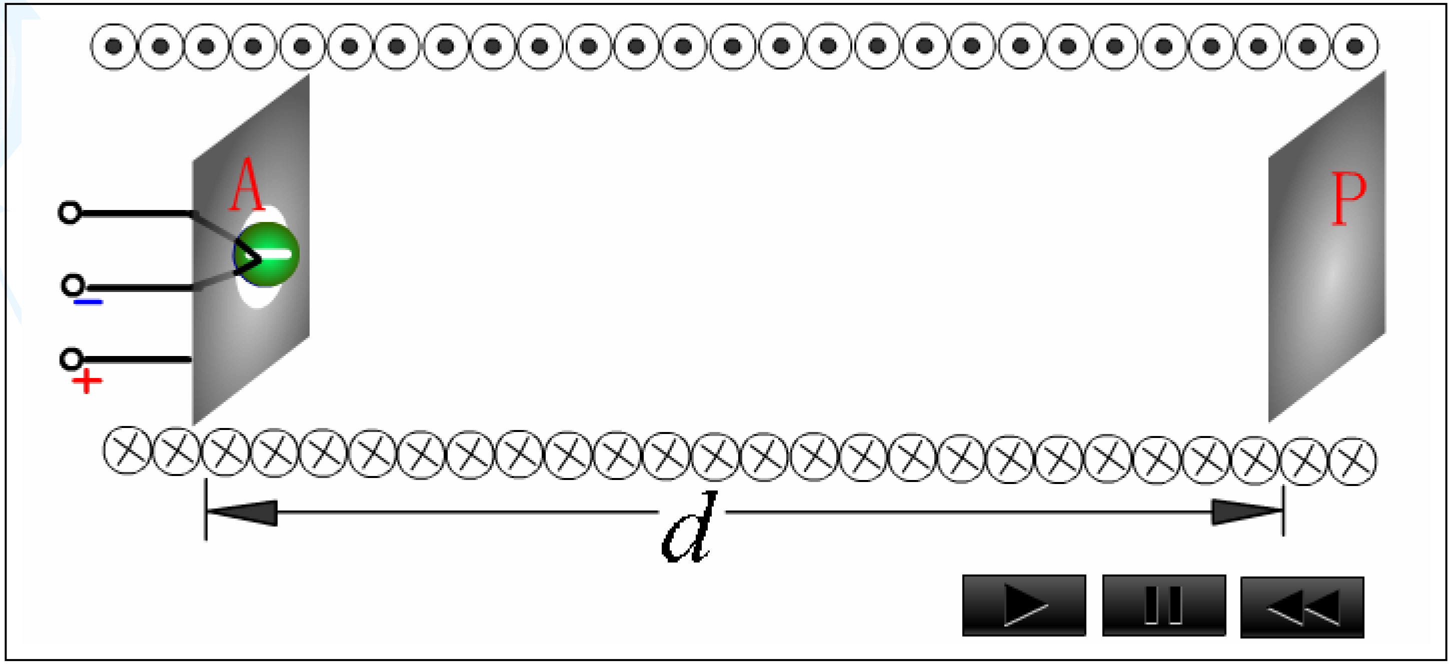
$$v_{/\!/} = v\cos\theta$$

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

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

螺距 $d = v_{/\!/}T = v\cos\theta\dfrac{2\pi m}{qB}$

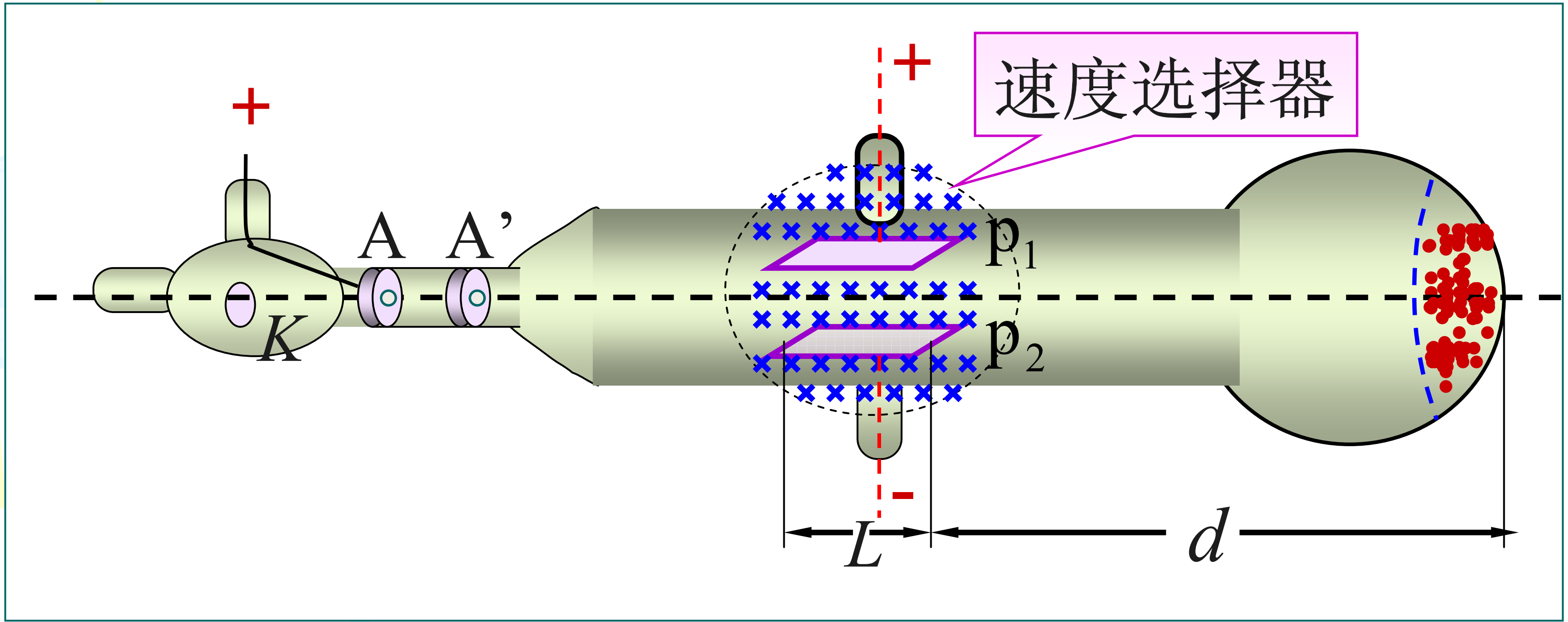
◆ **磁聚焦** 在均匀磁场中某点 ***A*** 发射一束初速相差不大的带电粒子, 它们的 $\vec{v}_0$ 与 $\vec{B}$ 之间的夹角 θ 不尽相同，但都较小，这些粒子沿半径不同的螺旋线运动，因螺距近似相等，都相交于屏上同一点，此现象称之为磁聚焦 .



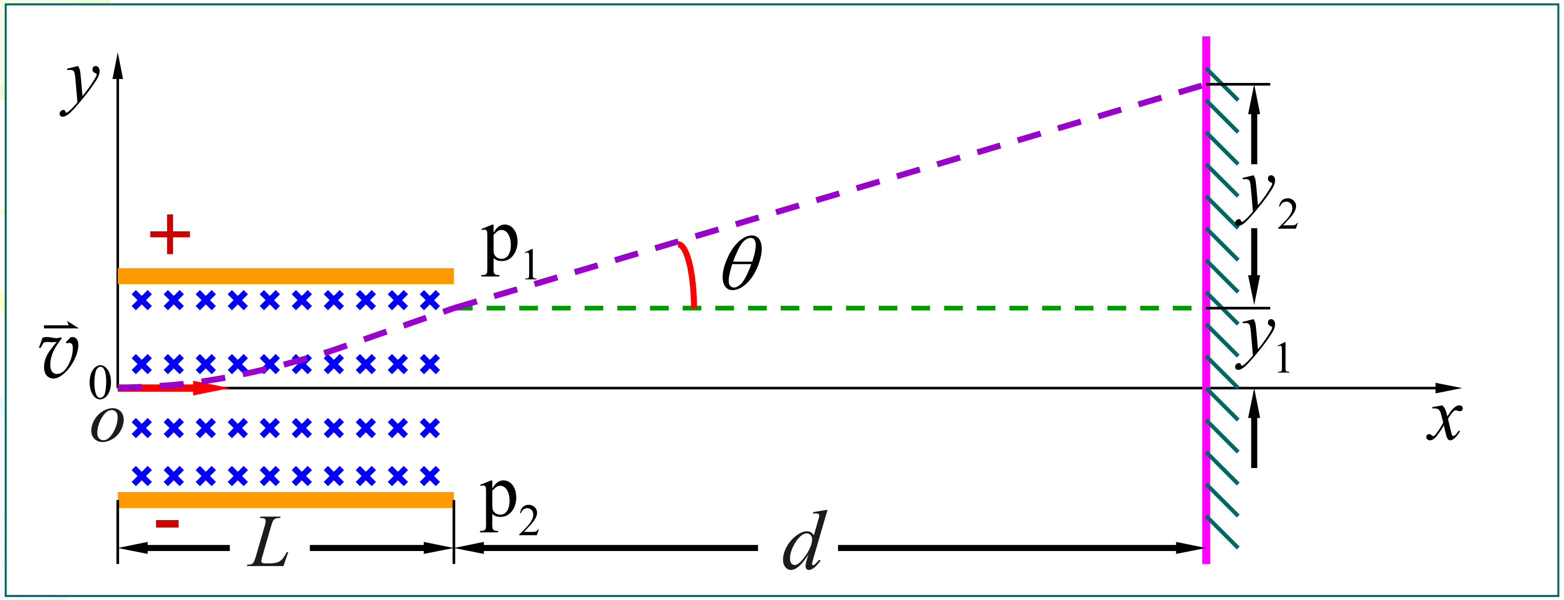
◆ **应用** 电子光学，电子显微镜等 .

三 带电粒子在电场和磁场中运动举例

1．电子比荷的测定

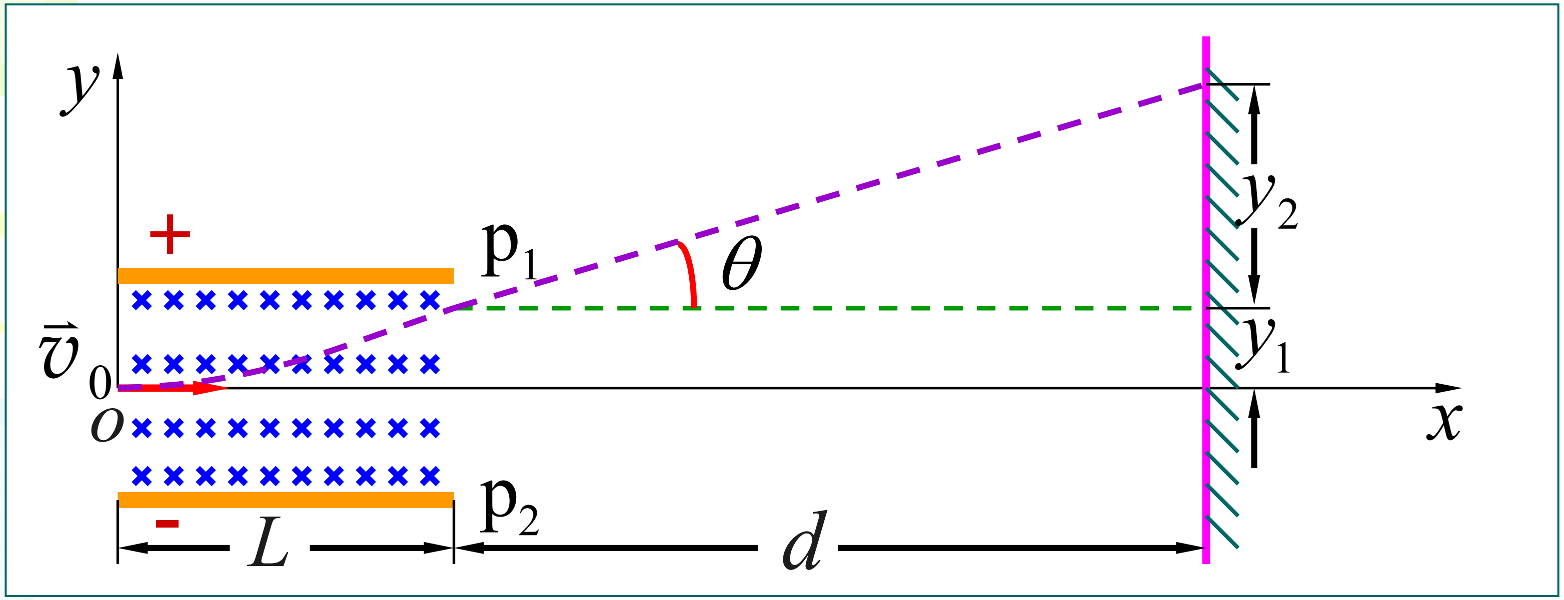


$$e\vec{E} = e\vec{v}_0 \times \vec{B} \qquad v_0 = \frac{E}{B}$$



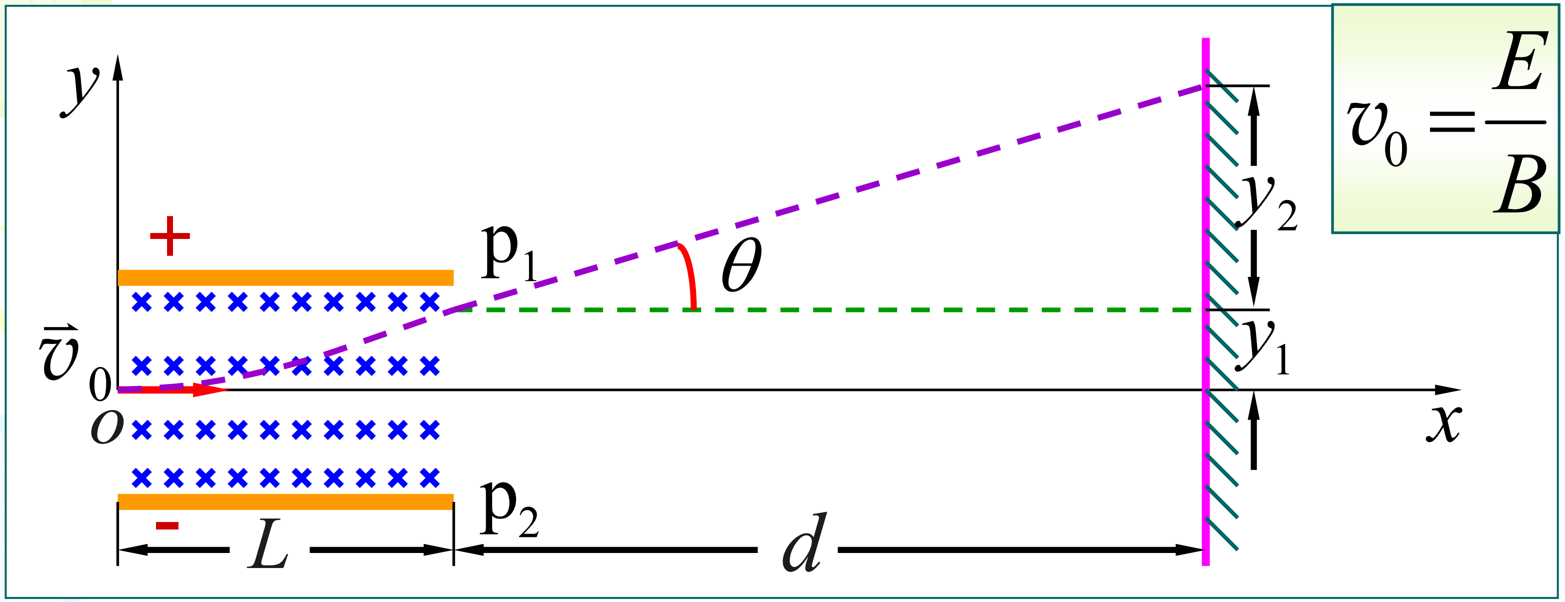
$$y_1=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\frac{eE}{m_e}\left(\frac{L}{v_0}\right)^2 \qquad v_y=at=\frac{eE}{m_e}\frac{L}{v_0}$$

$$\theta=\arctan\frac{v_y}{v_0}=\arctan\frac{eEL}{m_e v_0^2} \qquad y_2=d\tan\theta=\frac{eE}{m_e}\frac{Ld}{v_0^2}$$



$$y_1 = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}\frac{eE}{m_e}\left(\frac{L}{v_0}\right)^2 \qquad y_2 = d\tan\theta = \frac{eE}{m_e}\frac{Ld}{v_0^2}$$

$$y = y_1 + y_2 = \frac{1}{2}\frac{eE}{m_e}\left(\frac{L}{v_0}\right)^2 + \frac{eE}{m_e}\frac{Ld}{v_0^2}$$



$$v_0=\frac{E}{B}$$

$$y=\frac{e}{m_e}\frac{E}{v_0^2}\left(Ld+\frac{L^2}{2}\right)$$

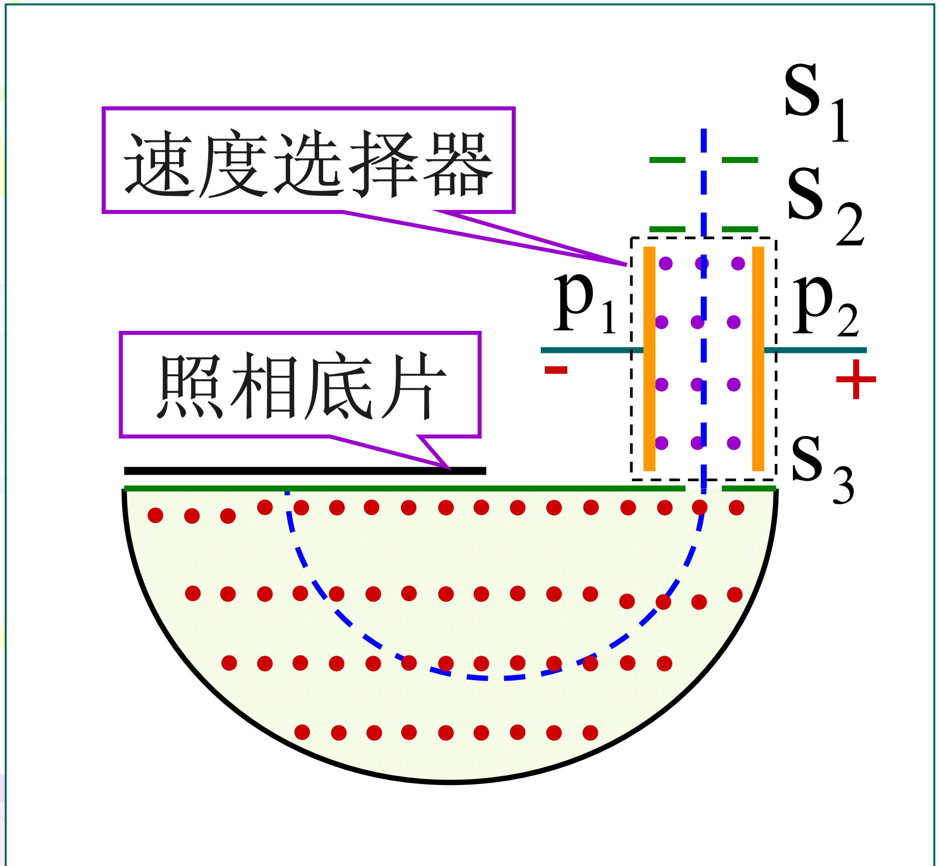
$$\frac{e}{m_e}=\frac{v_0^2}{E}y\left(Ld+\frac{L^2}{2}\right)^{-1}$$

上述计算的条件 $v<<c$

电子比荷

$$\frac{e}{m_e}=\frac{E}{B^2}y\left(Ld+\frac{L^2}{2}\right)^{-1}$$

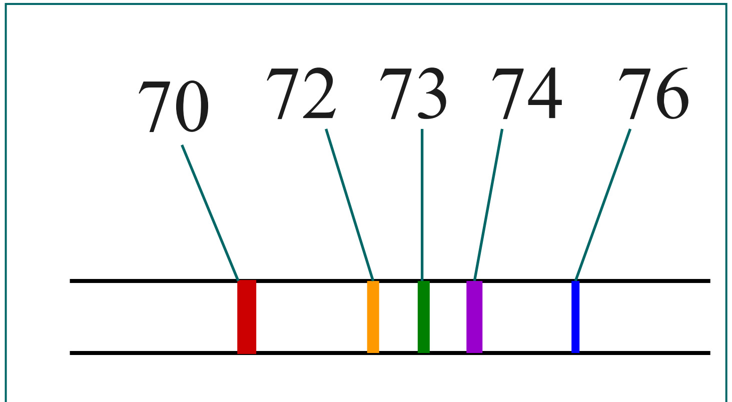
2．质谱仪



质谱仪的示意图

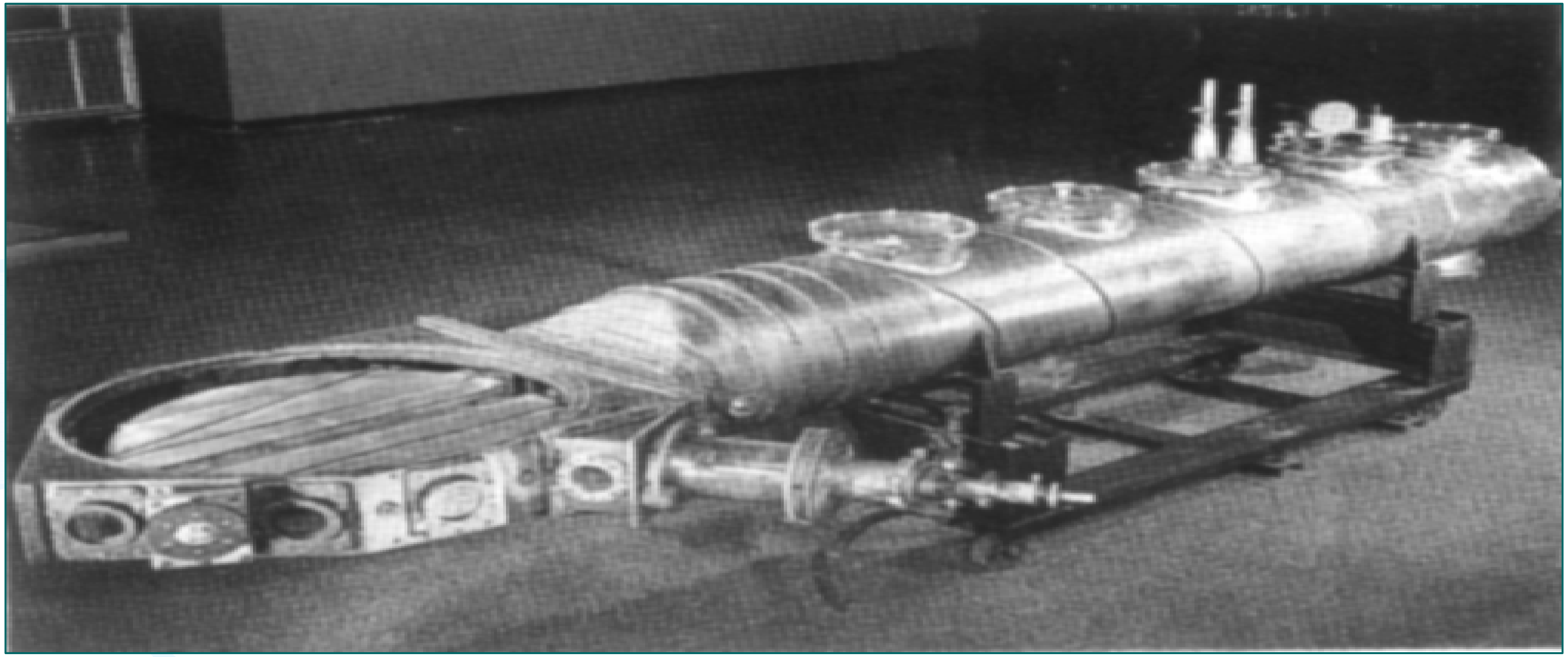
$$qvB' = m\frac{v^2}{R}$$

$$m = \frac{qB'R}{v}$$



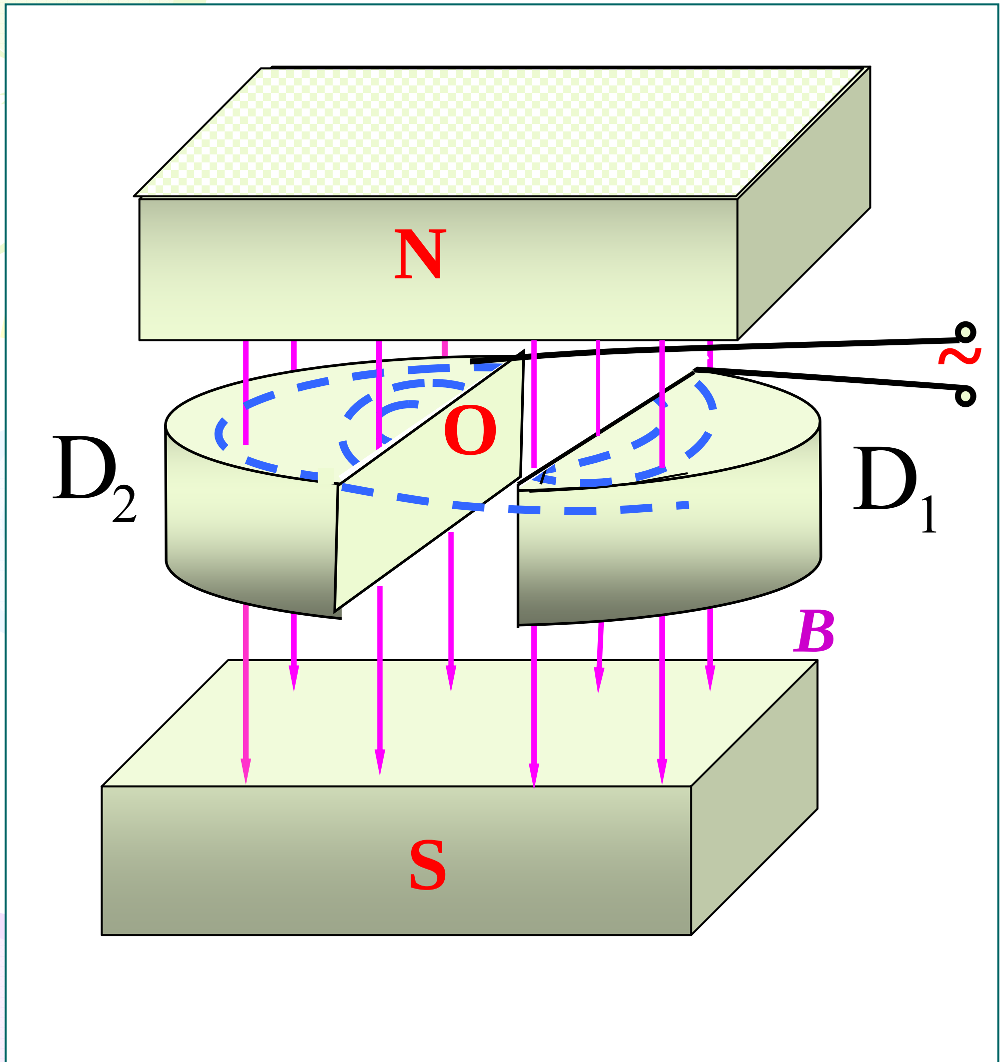
锗的质谱

3．回旋加速器



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**1MeV**的能量，为此**1939**年劳伦斯获得诺贝尔物理学奖**.**



回旋加速器原理图

频率与半径无关

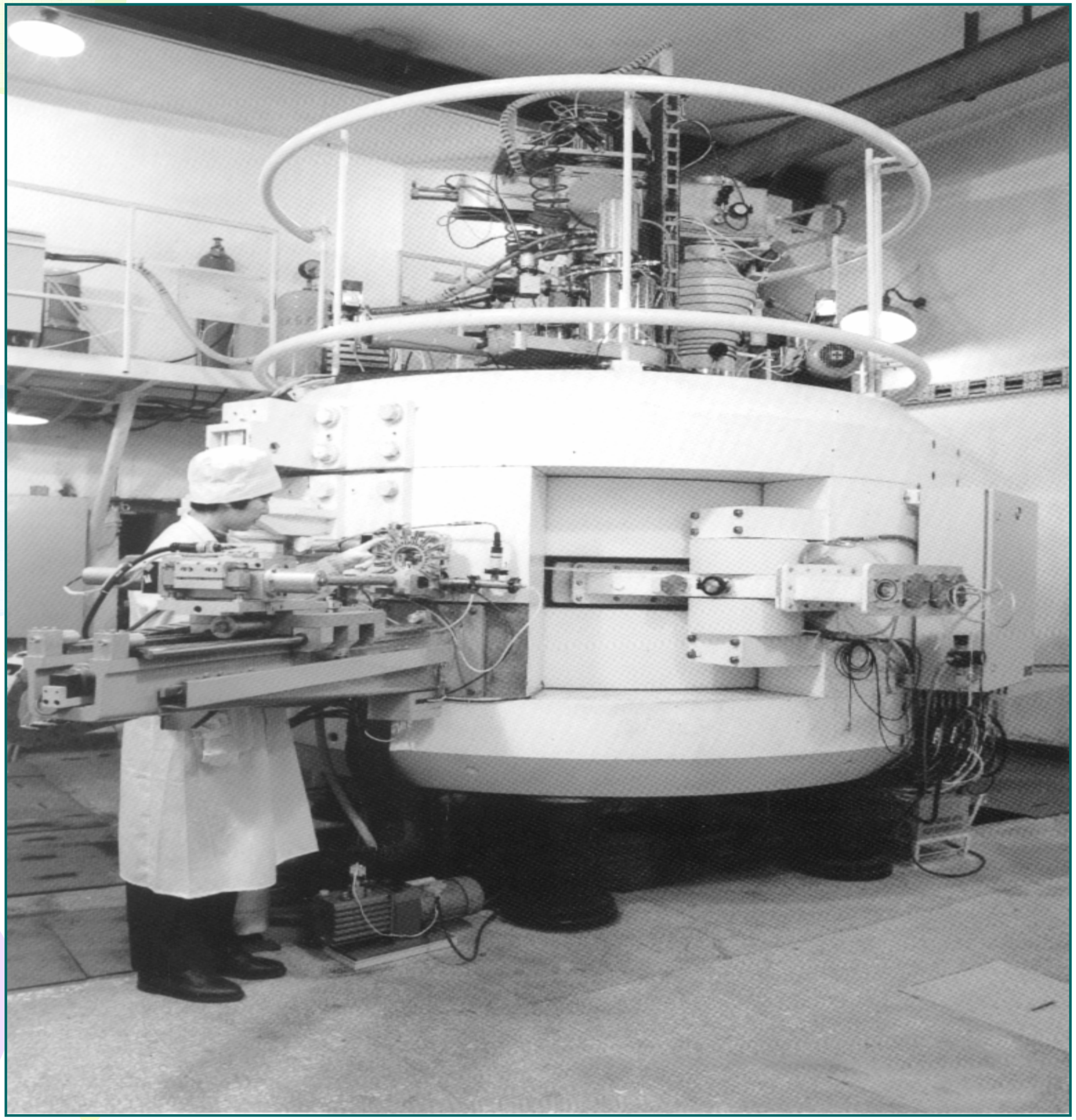
$$f=\frac{qB}{2\pi m}$$

到半圆盒边缘时

$$v=\frac{qBR_0}{m}$$

$$E_k=\frac{1}{2}mv^2$$

$$E_k=\frac{q^2B^2R_0^2}{2m}$$



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．

例 2　有一回旋加速器，他的交变电压的频率为 $12\times10^{6}\,\mathrm{Hz}$，半圆形电极的半径为0.532m．问 加速氘核所需的磁感应强度为多大？氘核所能达到的最大动能为多大？其最大速率有多大？（已知氘核的质量为 $3.3\times10^{-27}\,\mathrm{kg}$，电荷为 $1.6\times10^{-19}\,\mathrm{C}$）．

解　由粒子的回旋频率公式，可得

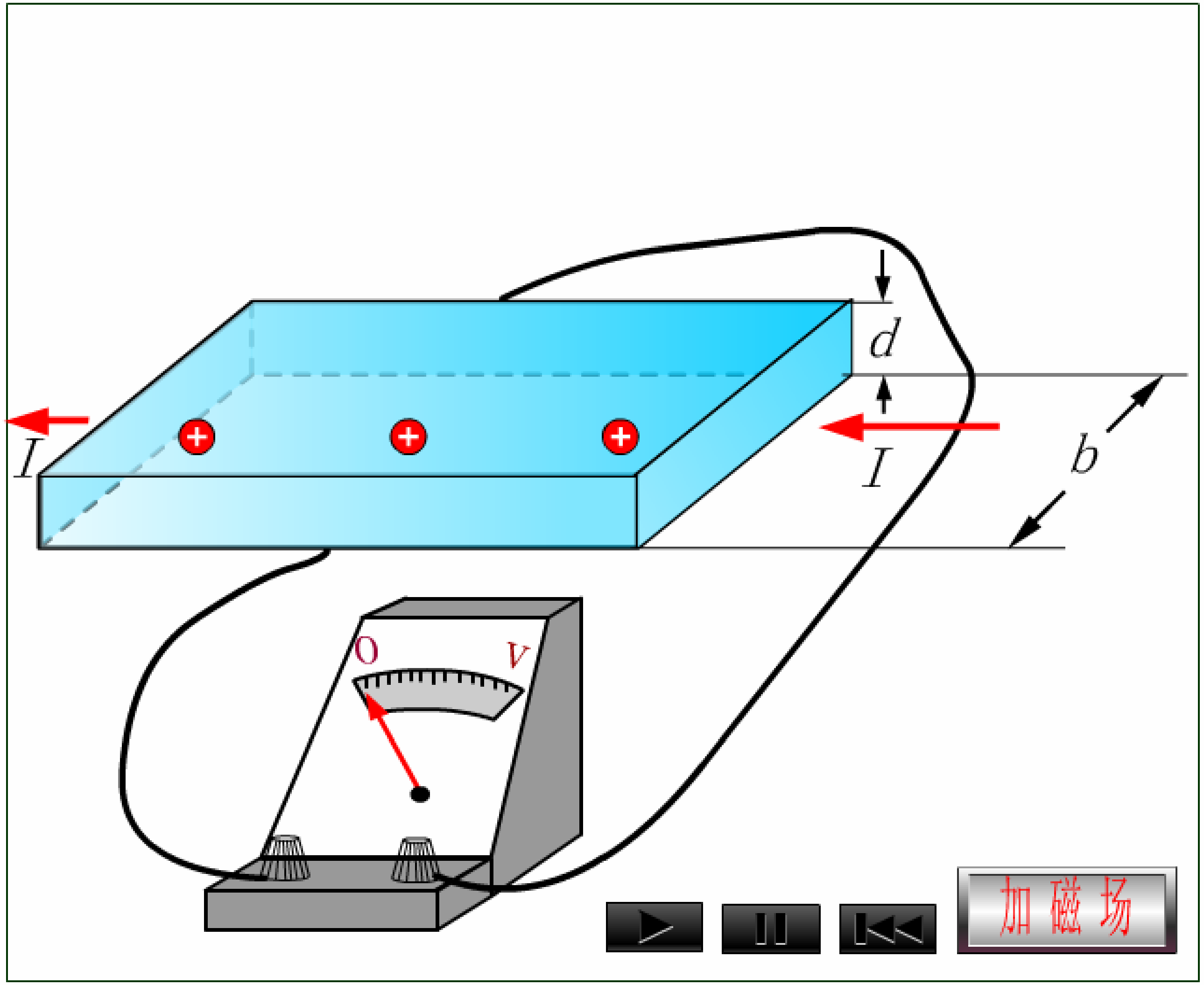
$$B=\frac{2\pi mf}{q}=\frac{2\pi\times3.3\times10^{-27}\times12\times10^{6}}{1.6\times10^{-19}}\mathrm{T}=1.56\mathrm{T}$$

$$E_{\mathrm{k}}=\frac{q^{2}B^{2}R_{0}^{2}}{2m}=16.7\mathrm{MeV}$$

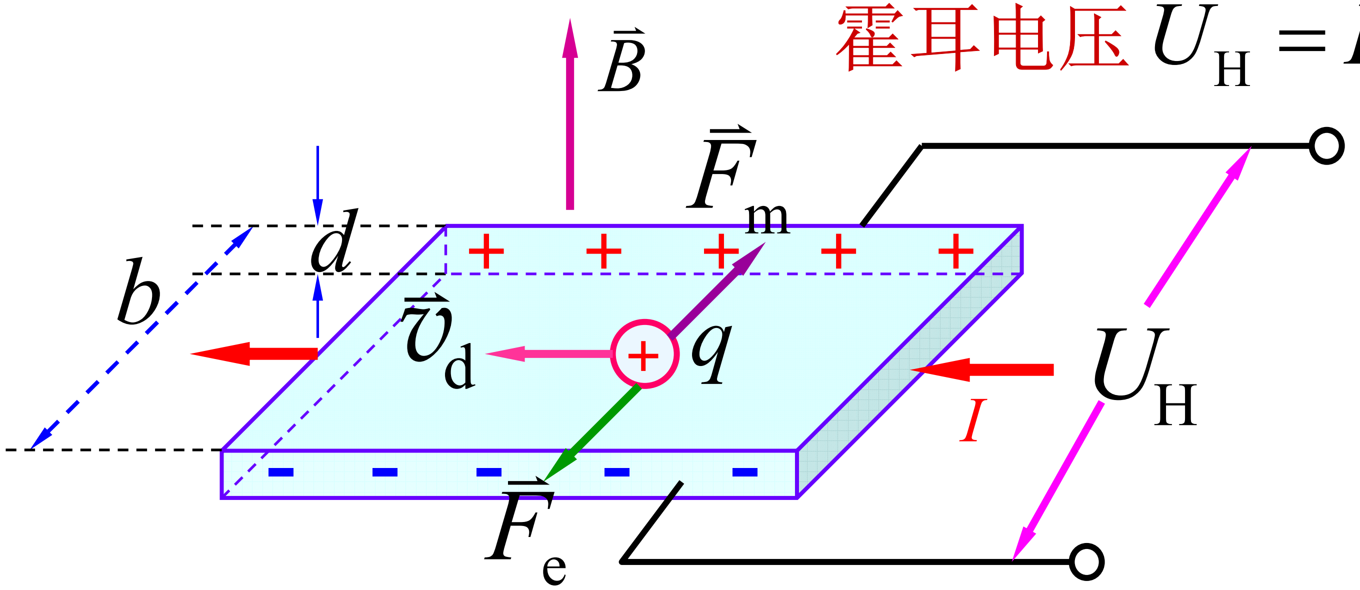
$$v=\frac{qBR_{0}}{m}=4.02\times10^{7}\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

4．霍耳效应

霍耳效应



霍耳电压 $U_{\mathrm{H}}=R_{\mathrm{H}}\dfrac{IB}{d}$



$$qE_{\mathrm{H}}=qv_{\mathrm{d}}B$$

$$I=qnv_{\mathrm{d}}S=qnv_{\mathrm{d}}bd$$

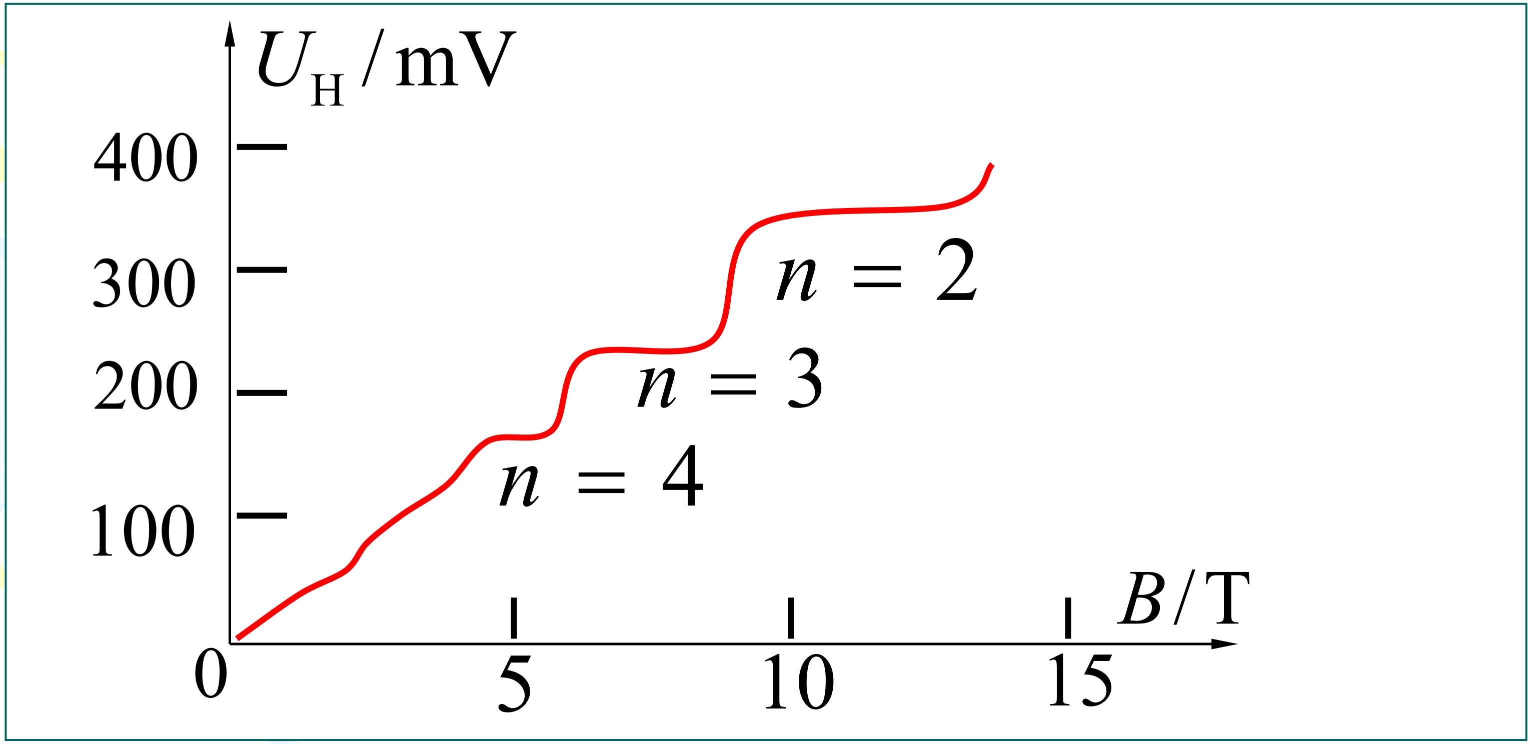
$$E_{\mathrm{H}}=v_{\mathrm{d}}B$$

$$U_{\mathrm{H}}=v_{\mathrm{d}}Bb$$

$$U_{\mathrm{H}}=\frac{IB}{nqd}$$

霍耳系数 $R_{\mathrm{H}}=\dfrac{1}{nq}$

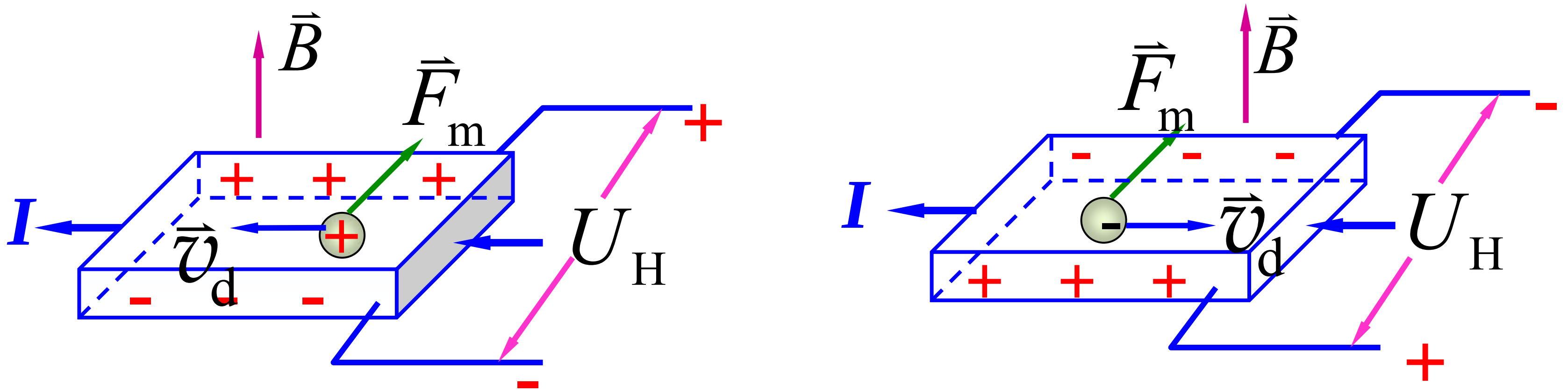
◆ 量子霍尔效应（1980年）



◆ 霍耳电阻 $R'_H = \dfrac{U_H}{I}$　　$R'_H = \dfrac{h}{ne^2}\quad (n = 1,2,\cdots)$

霍耳效应的应用

1）判断半导体的类型



P 型半导体　　**N** 型半导体

2）测量磁场

霍耳电压　$U_{\mathrm{H}} = R_{\mathrm{H}} \dfrac{IB}{d}$