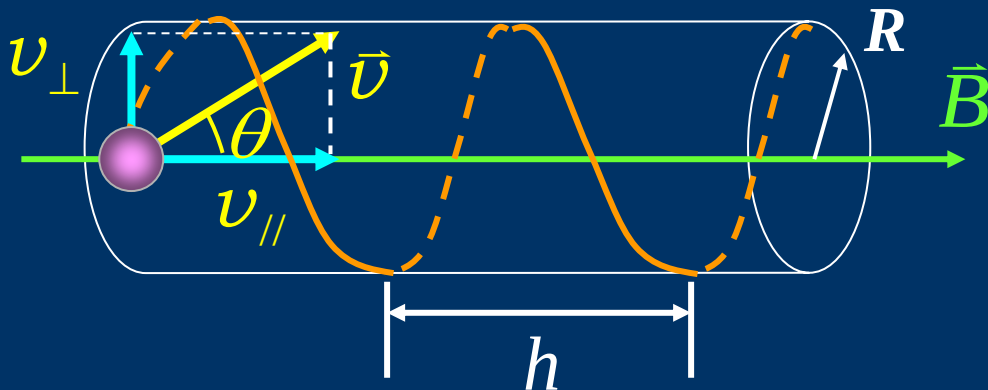


例：粒子的速度 $\vec{v}$ 与磁感应强度为 $\vec{B}$ 的匀强磁场斜交成 θ 角

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

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



若只有 $v_{\perp}$ 分速度

则粒子在垂直于 $\vec{B}$ 的平面内作匀速圆周运动。

若只有 $v_{//}$ 分速度

预一学习过这样问题的处理方法吗？

磁场对带电粒子没有作用力，粒子将沿平行于 $\vec{B}$ 的方向作匀速直线运动。

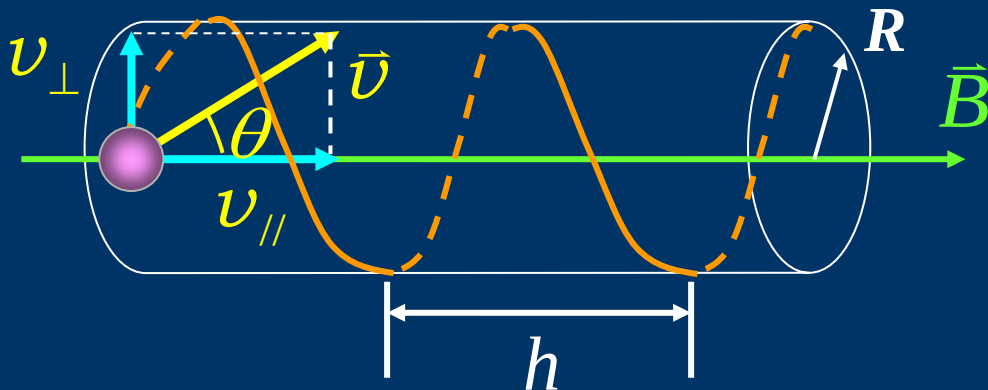
带电粒子作螺旋运动

如何描述螺旋运动？ 需要哪些参数呢？

例：粒子的速度 $\vec{v}$ 与磁感应强度为 $\vec{B}$ 的匀强磁场斜交成 θ 角

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

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



回旋半径 $R = \frac{mv_{\perp}}{qB} = \frac{mv \sin \theta}{qB}$ $qvB \sin \frac{\pi}{2} = m \frac{v^2}{R}$

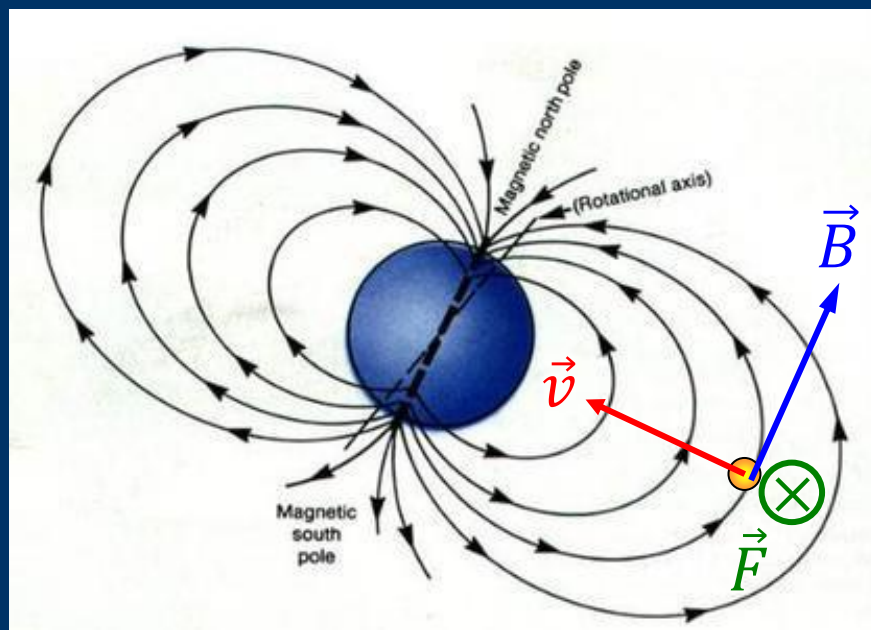
螺距 $h = v_{\parallel} T = \frac{2\pi m v \cos \theta}{qB}$ $R = \frac{mv}{qB}$

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

例 宇宙射线是朝向地球高速运动的带电粒子。大约 $\frac{7}{8}$ 的粒子是质子，以 $\frac{2c}{3}$ 的平均速度朝着地球运动。假设一个质子正对着赤道运动

求 (1)地磁场对质子的磁力方向

(2)地磁场如何保护我们免受宇宙射线的轰击



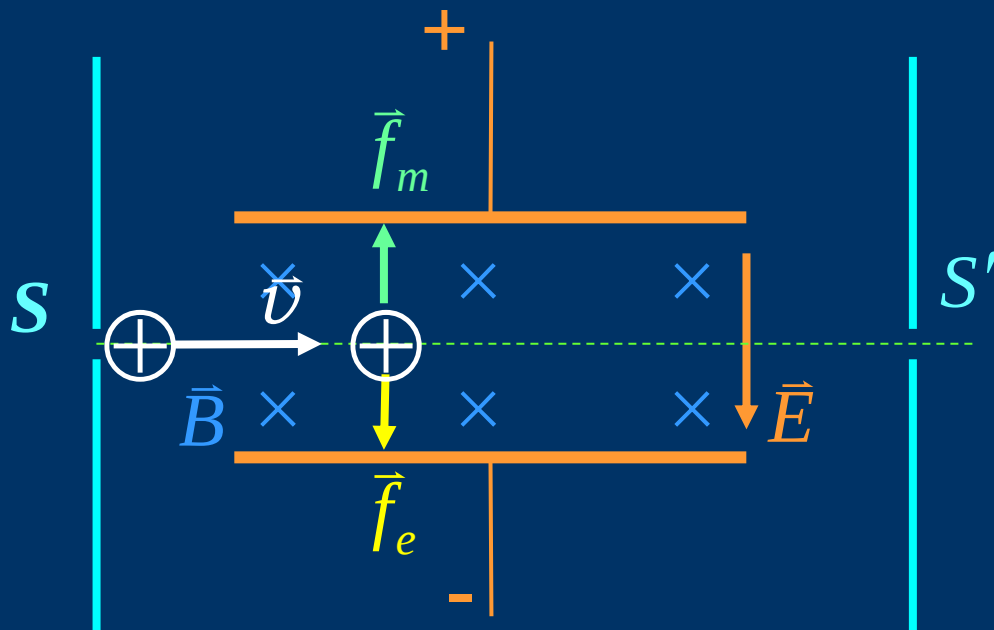
磁力使质子向PPT页面偏转

例 一束带有电荷 q 粒子的速率 v 不完全相同，进入相互垂直的电场和磁场。可算出通过 S' 出射电荷满足的条件。

$$f_e = f_m$$

$$qE = qvB$$

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



速度选择器(滤速器)

例 利用阴极射线管测量电子荷质比 $\frac{q}{m}$

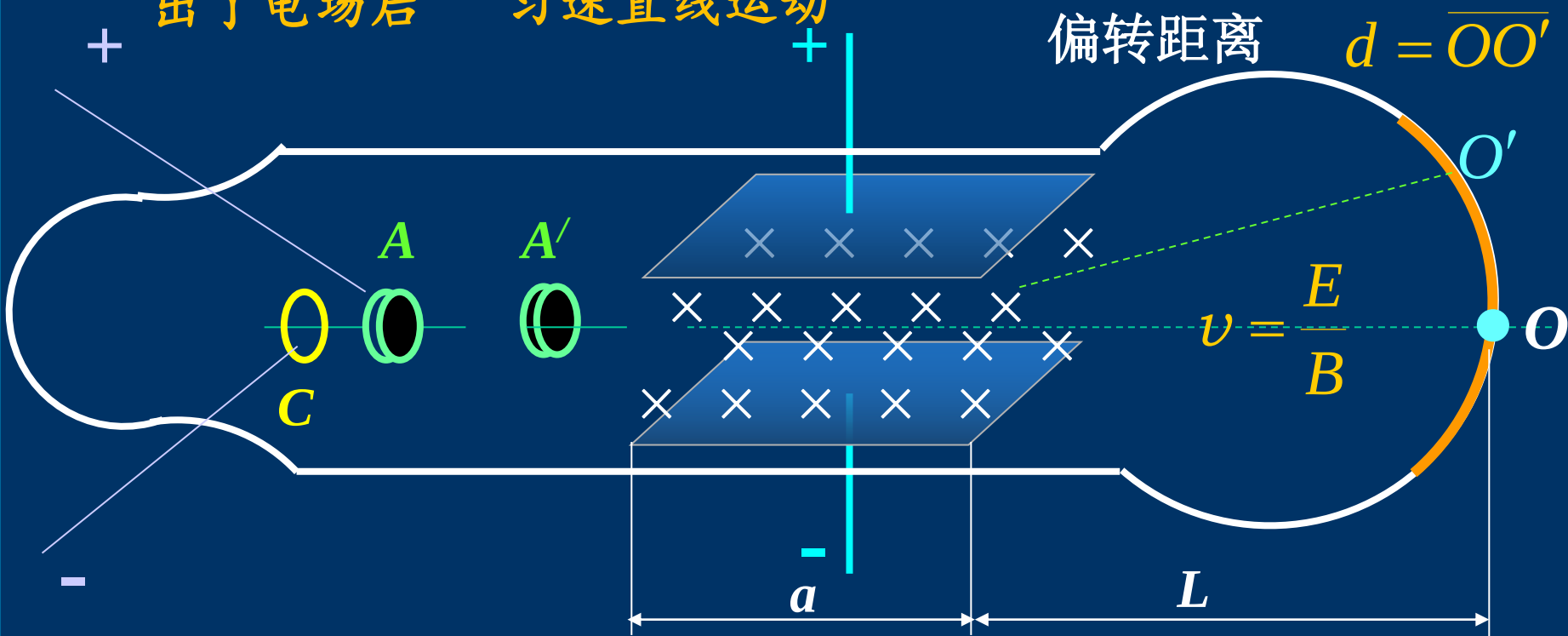
思考：撤去磁场后，电子如何运动呢？

在电场中

水平方向匀速直线运动

竖直方向匀加速直线运动

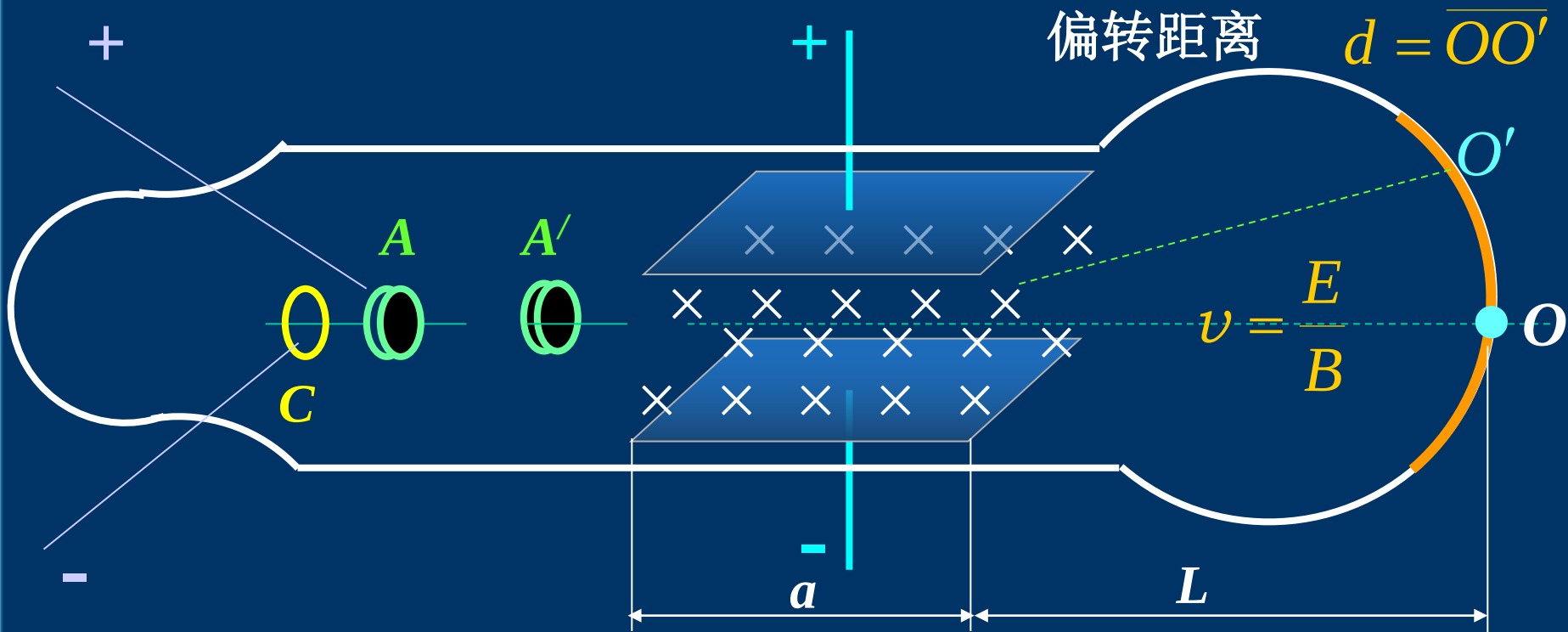
出了电场后 匀速直线运动



例 利用阴极射线管测量电子荷质比 $\frac{q}{m}$

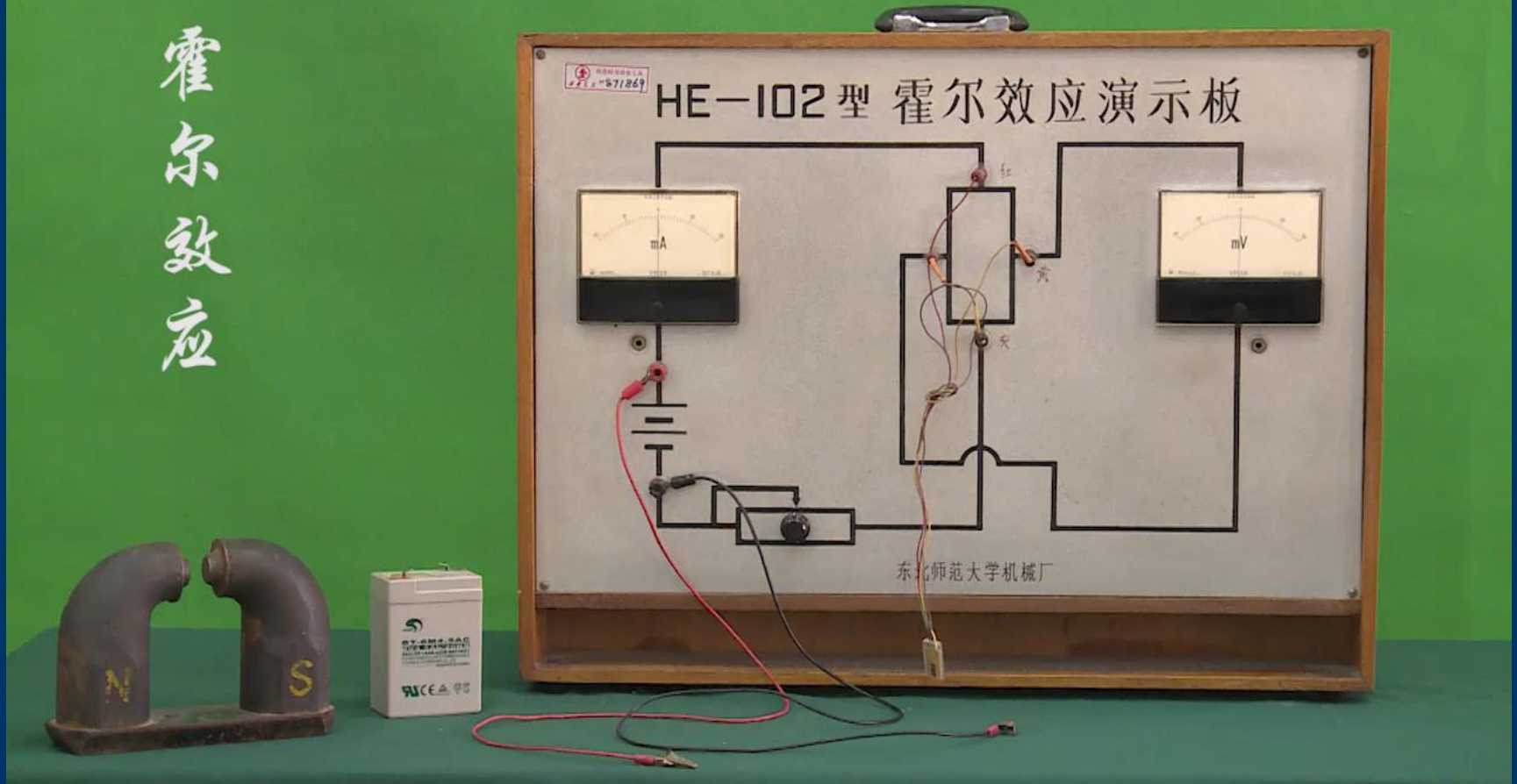
$$v_{//} = v \quad f_e = |q|E \quad a_1 = \frac{|q|E}{m} \quad v_{\perp} = a_1 t \quad v_{\perp} = \frac{|q|E}{m} \cdot \frac{a}{v}$$

$$\frac{d}{L} = \frac{v_{\perp}}{v_{//}} \quad \frac{d}{L} = \frac{|q|Ea}{mv^2} \quad \frac{|q|}{m} = \frac{Ed}{B^2La}$$



霍尔效应

霍尔效应



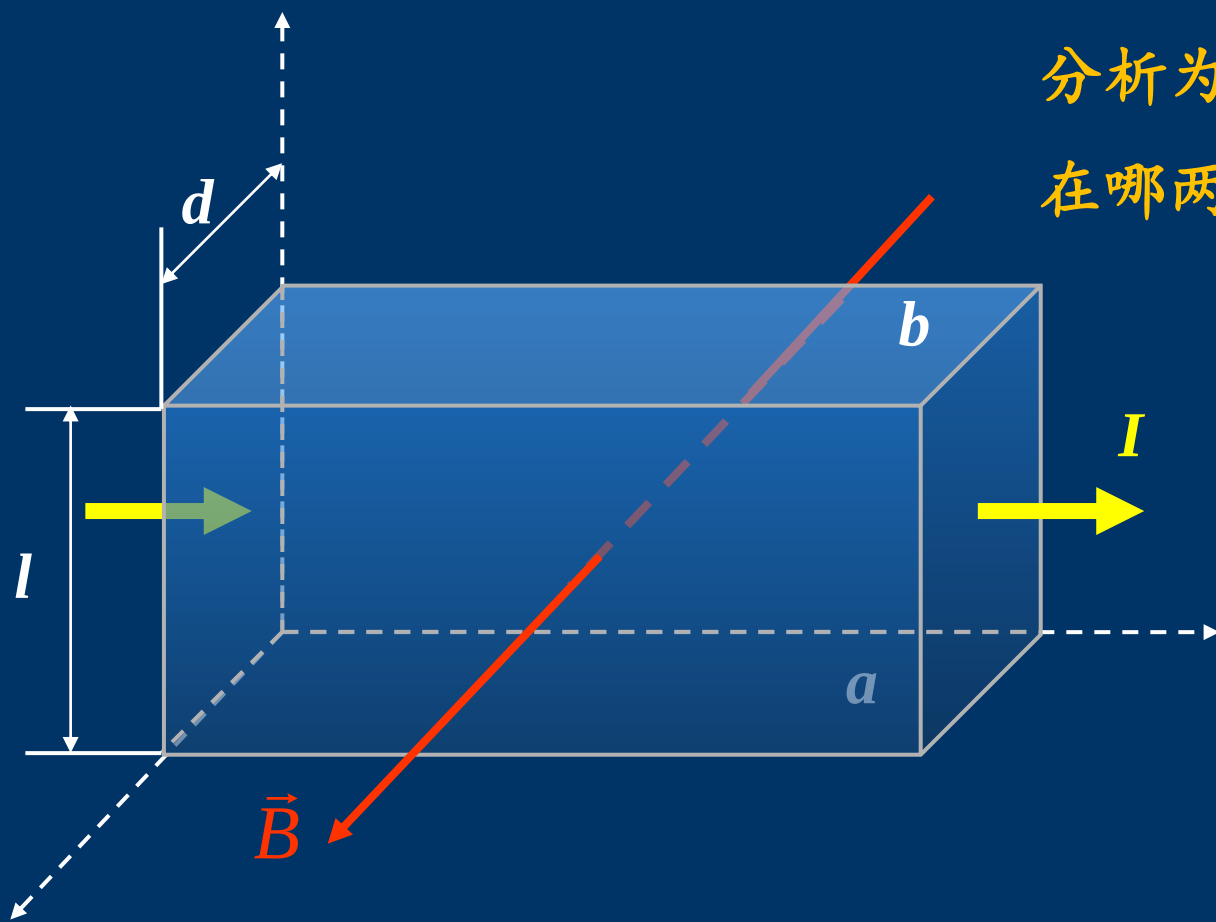
在一个通有**电流**的导体(或半导体)板上，若垂直于板面施加一**磁场**，则在与电流和磁场都垂直的方向上，板面两侧会出现**微弱电势差**。

例 将一块长方形导体放置于如图的均匀磁场中，并通入如图的电流，试分析会发生什么现象？

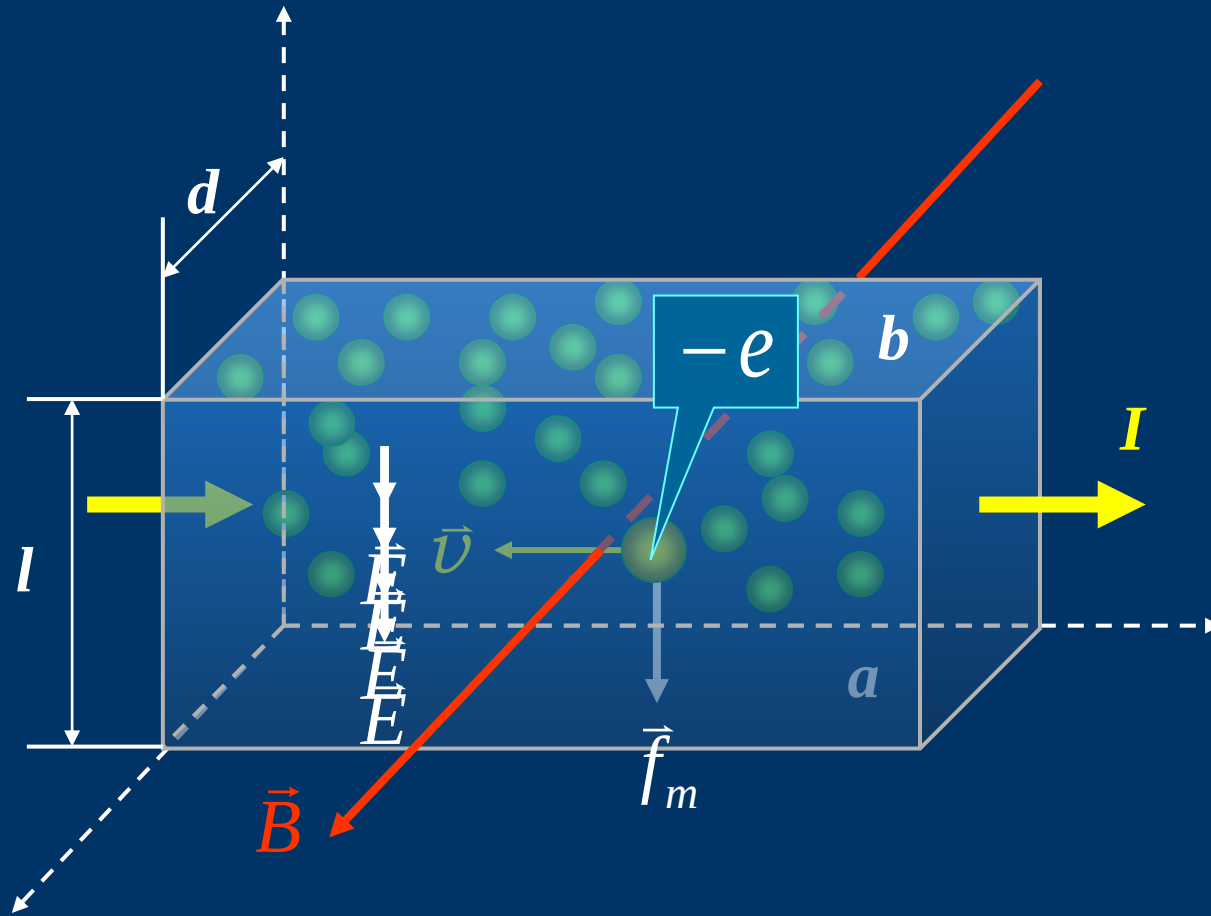
磁场方向与电流方向垂直

分析为何产生电势差？

在哪两个面上产生电势差？



从哪里入手分析呢？



洛伦兹力使电子偏转

上下电场阻碍电子的偏转

在一个通有**电流**的导体(或半导体)板上，若垂直于板面施加一**磁场**，则在与电流和磁场都垂直的方向上,板面两侧会出现**微弱电势差** —— **霍尔效应**

当达到动态平衡时 $f_e = f_m$ $eE = evB$

你有问题吗?

$$\begin{cases} E = vB \\ U_{ab} = El = vBl \\ I = nqvS = nqvld \end{cases}$$

$$U_{ab} = \frac{IB}{nqd} \quad \rightarrow \quad K = \frac{1}{nq} \quad \text{霍尔系数} \quad \text{电荷的正负?}$$

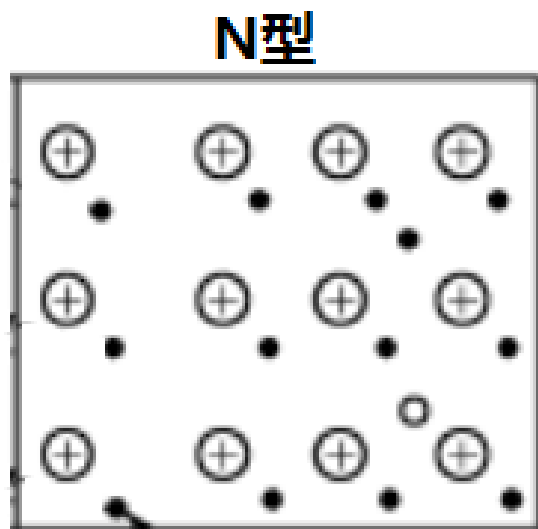
思考：欲使霍尔效应明显，磁场加在霍尔元件的哪个方向？



应用 (1) 通过测量霍尔系数可以确定半导体中的载流子浓度

如何测量半导体中载流子浓度？

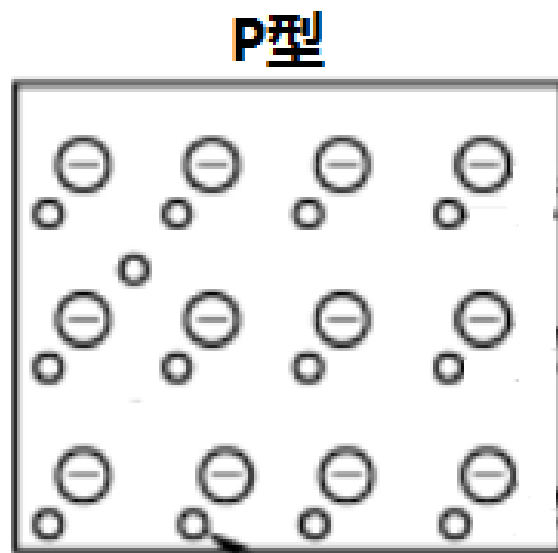
如何研究不同温度、掺杂等对半导体中载流子浓度的影响？



自由电子

$$U_{ab} = \frac{IB}{nqd}$$

$$K = \frac{1}{nq}$$

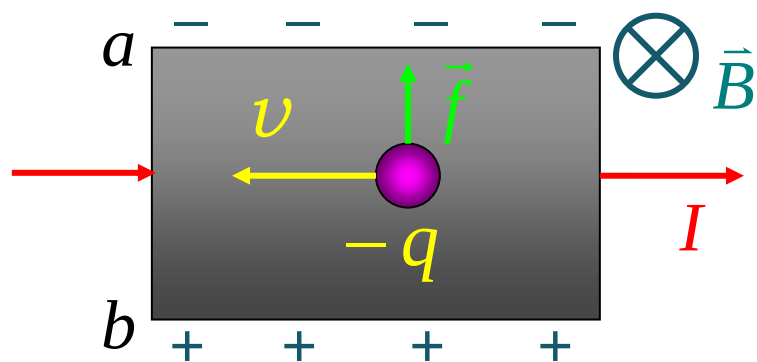


空穴

思考

同样尺寸的金属和半导体导电板，哪个霍尔效应更明显？

应用 (2) 区分半导体材料中载流子的类型 (N-type, 电子型 or P-type, 空穴型)

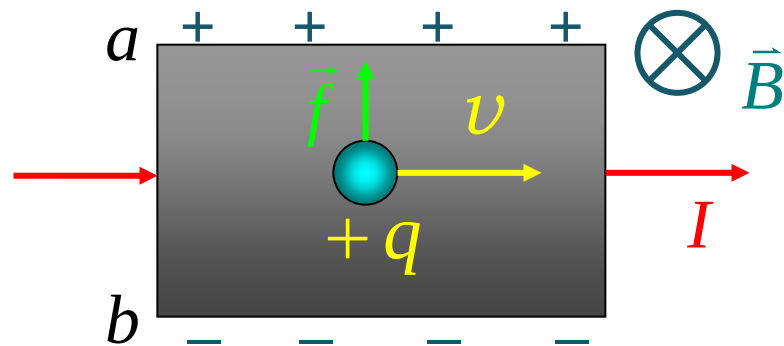


N 型 (电子型) 半导体

$$u_a < u_b$$

$$K < 0$$

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



P 型 (空穴型) 半导体

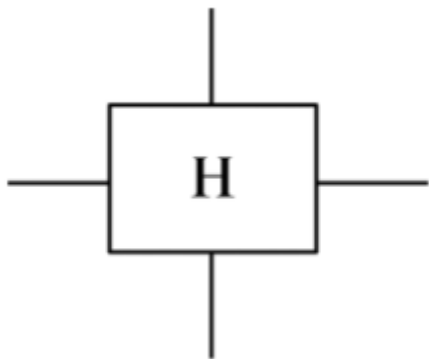
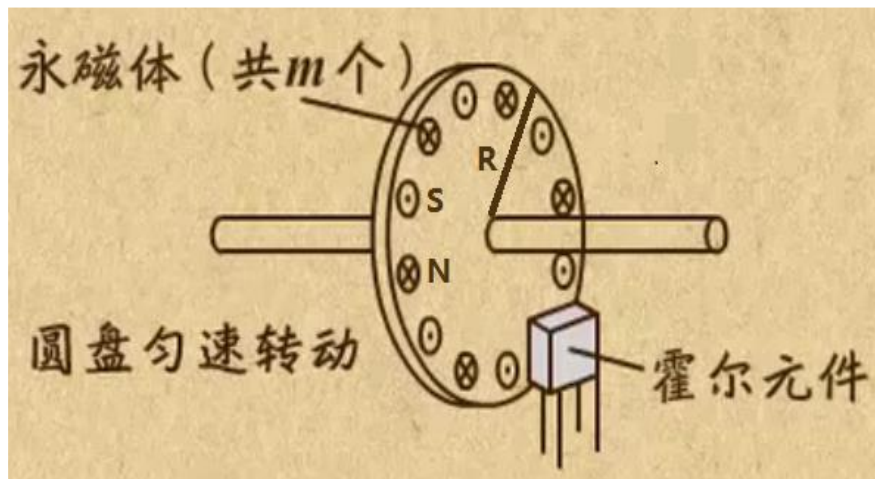
$$u_a > u_b$$

$$K > 0$$

$$U_{ab} = K IB/d$$



应用 (3) 汽车中的霍尔效应速度传感器

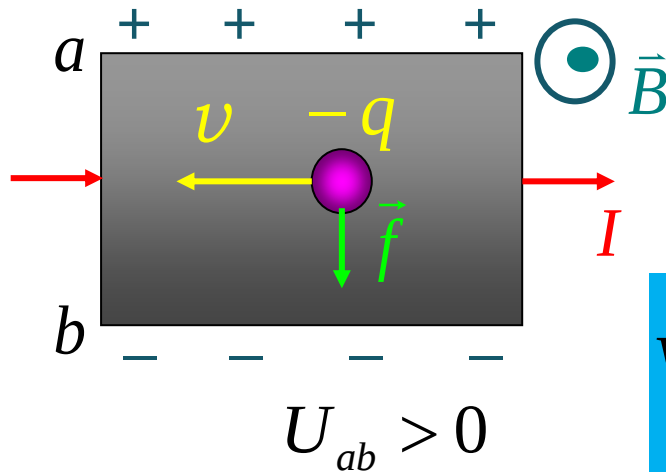
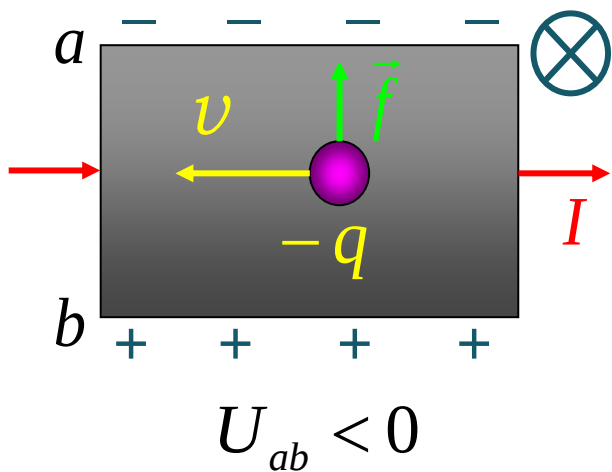
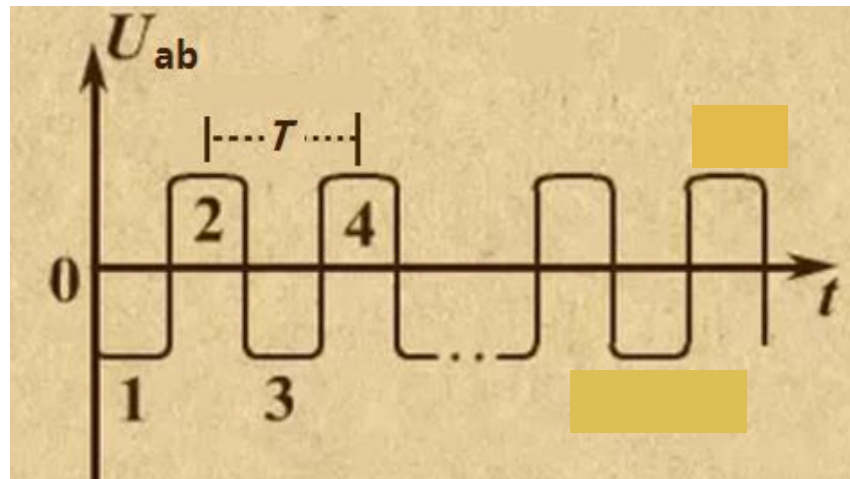
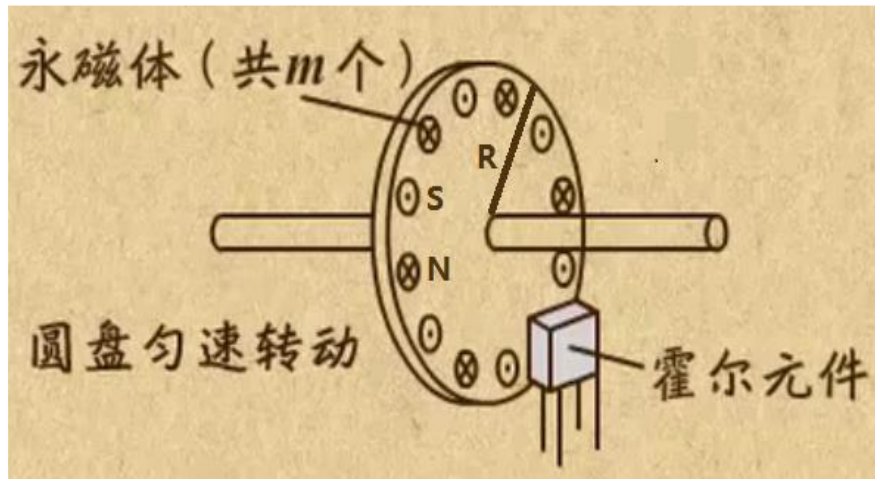


霍尔元件的图示表示





应用 (3) 汽车中的霍尔效应速度传感器



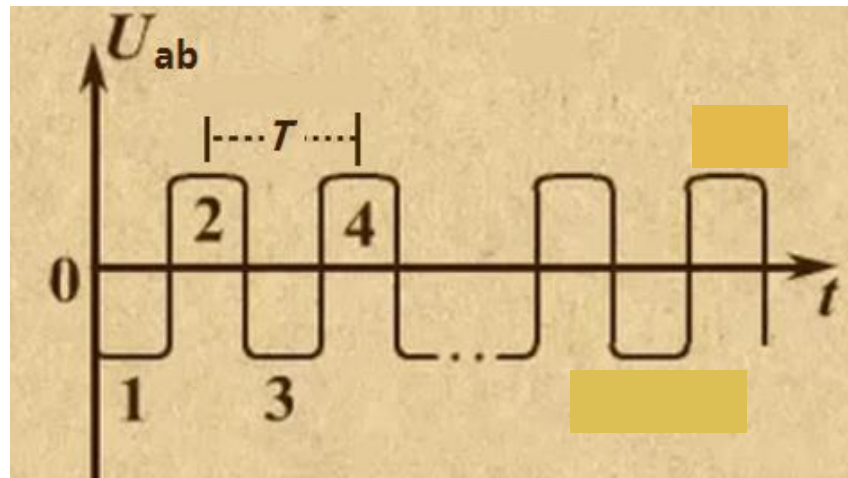
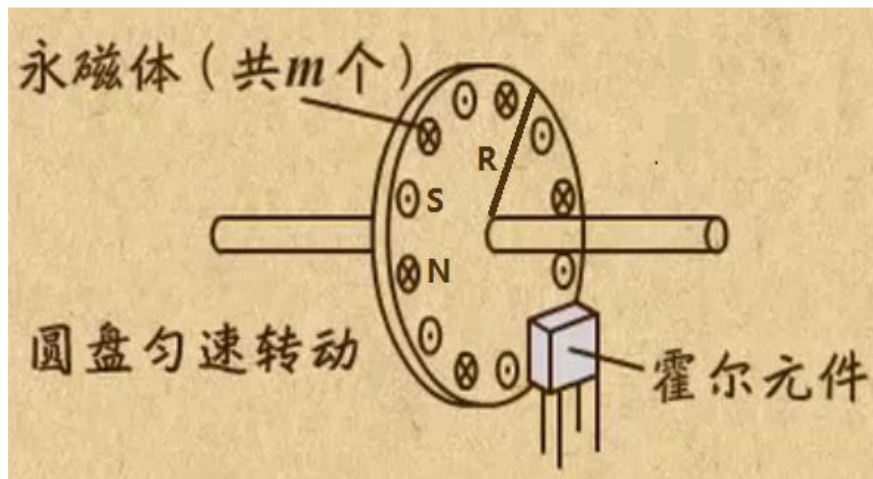
车轮转动周期 $T_{\text{轮}} = m \frac{T}{2}$

车轮的转动速率

$$V_{\text{轮}} = \frac{2\pi R}{T_{\text{轮}}} = \frac{4\pi R}{mT}$$

霍尔效应速度传感器具有成本低、灵敏度高等优势

应用 (3) 汽车中的霍尔效应速度传感器



建立霍尔效应所需要的时间为 $10^{-12} \sim 10^{-14} \text{ s}$

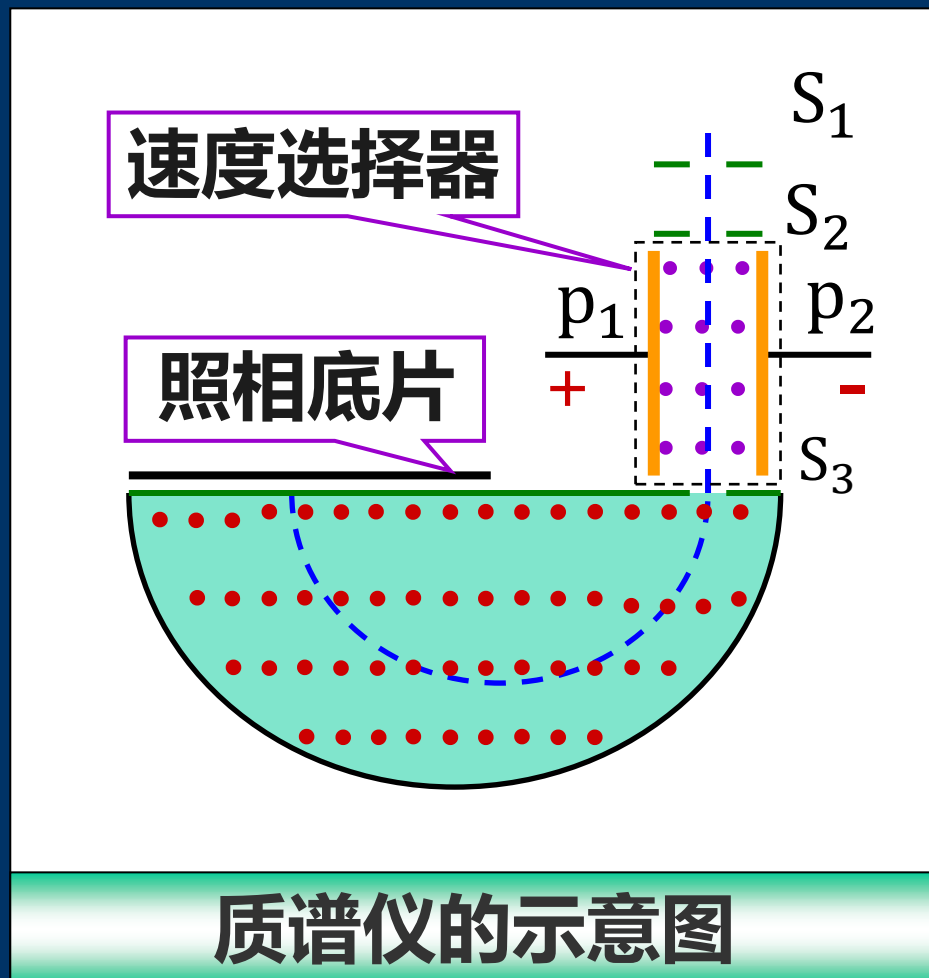
车轮转动周期 $T_{\text{轮}} = m \frac{T}{2}$

车轮的转动速率

$$V_{\text{轮}} = \frac{2\pi R}{T_{\text{轮}}} = \frac{4\pi R}{mT}$$

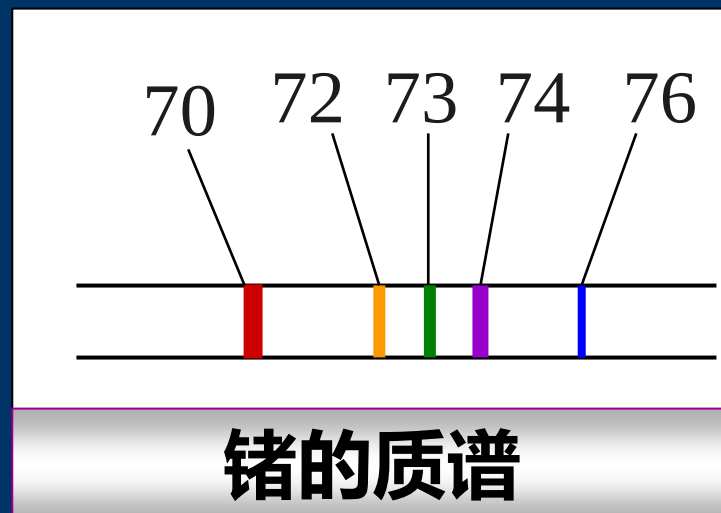
霍尔效应速度传感器具有成本低、灵敏度高等优势

□ 带电粒子受电磁场作用的现代技术运用-质谱仪



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

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

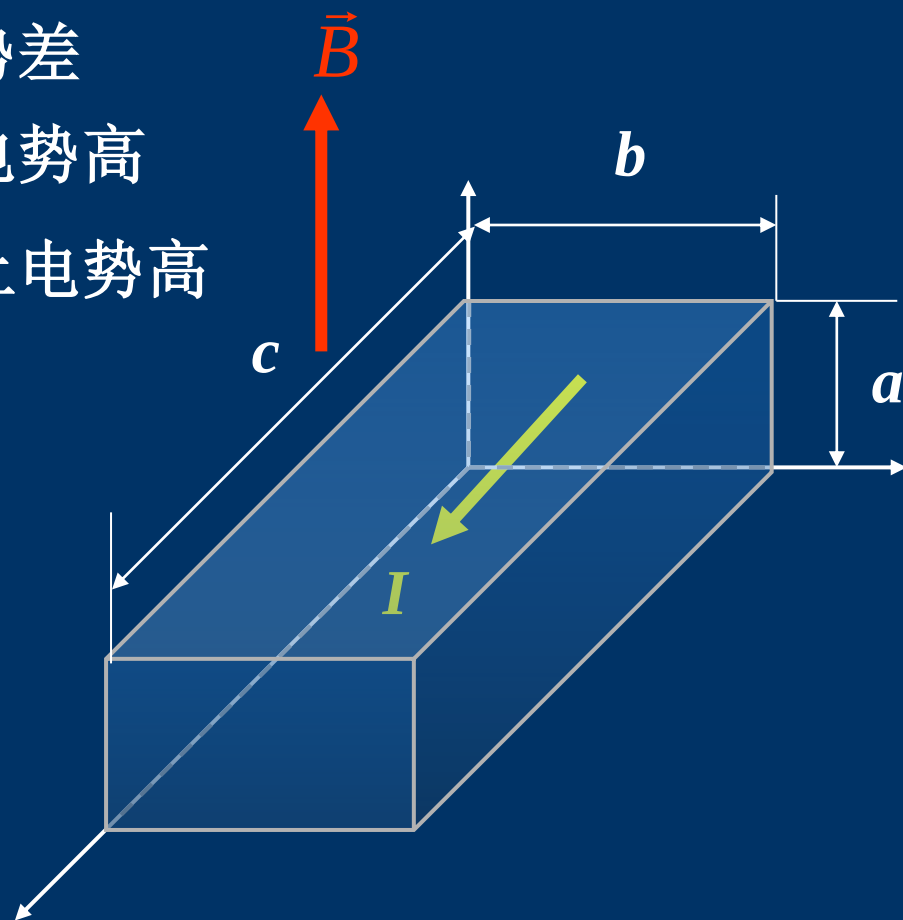


例 $a = 0.10\text{cm}$ $b = 0.35\text{cm}$

$c = 1.0\text{cm}$ $I = 1.0\text{mA}$

$B = 3000\text{G}$ $U = 6.55\text{mV}$

- 求 (1) 在哪两个面上产生了电势差
(2) 如果是导体，哪个面上电势高
(3) 载流子是空穴，哪个面上电势高



例 $a = 0.10\text{cm}$ $b = 0.35\text{cm}$

$c = 1.0\text{cm}$ $I = 1.0\text{mA}$

$B = 3000\text{G}$ $U_{AA'} = 6.55\text{mV}$

求 (1) 该半导体是 p 型, n 型?

(2) 载流子的浓度 n

解 (1) $U_{AA'} = U_A - U_{A'} > 0$

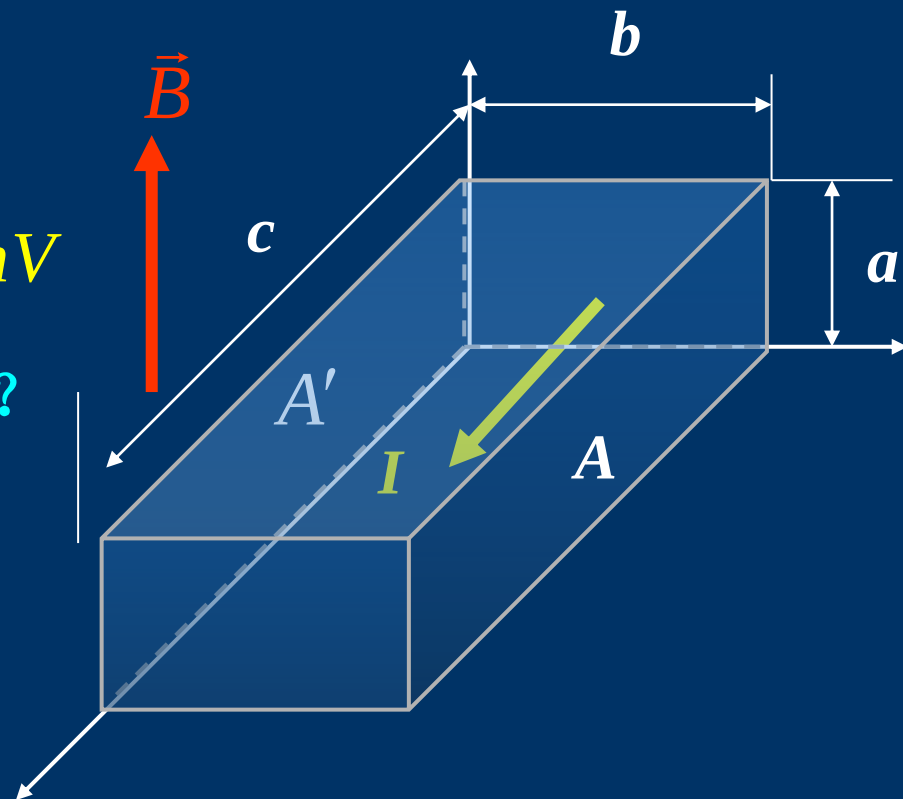
A 面上积聚正电荷

A' 面上积聚负电荷

所以该半导体是 n 型

(2) $U = \frac{IB}{nqd} \rightarrow U = \frac{IB}{nqa}$

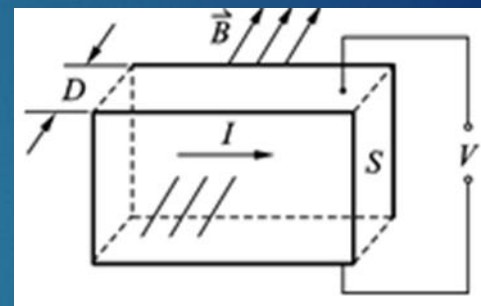
$n = 2.86 \times 10^{20} \text{ 个}/\text{m}^3$



1

一通有电流 I 的导体，厚度为 D ，横截面积为 S ，放置于磁感应强度为 $\vec{B}$ 的均匀磁场中，磁场方向垂直于导体的侧表面，如图所示。现测得导体上下两面的电势差为 V ，则此导体的霍尔系数为

- A $\frac{IB}{VD}$
- B $\frac{VD}{IB}$
- C $\frac{VS}{IBD}$
- D $\frac{IBD}{VS}$



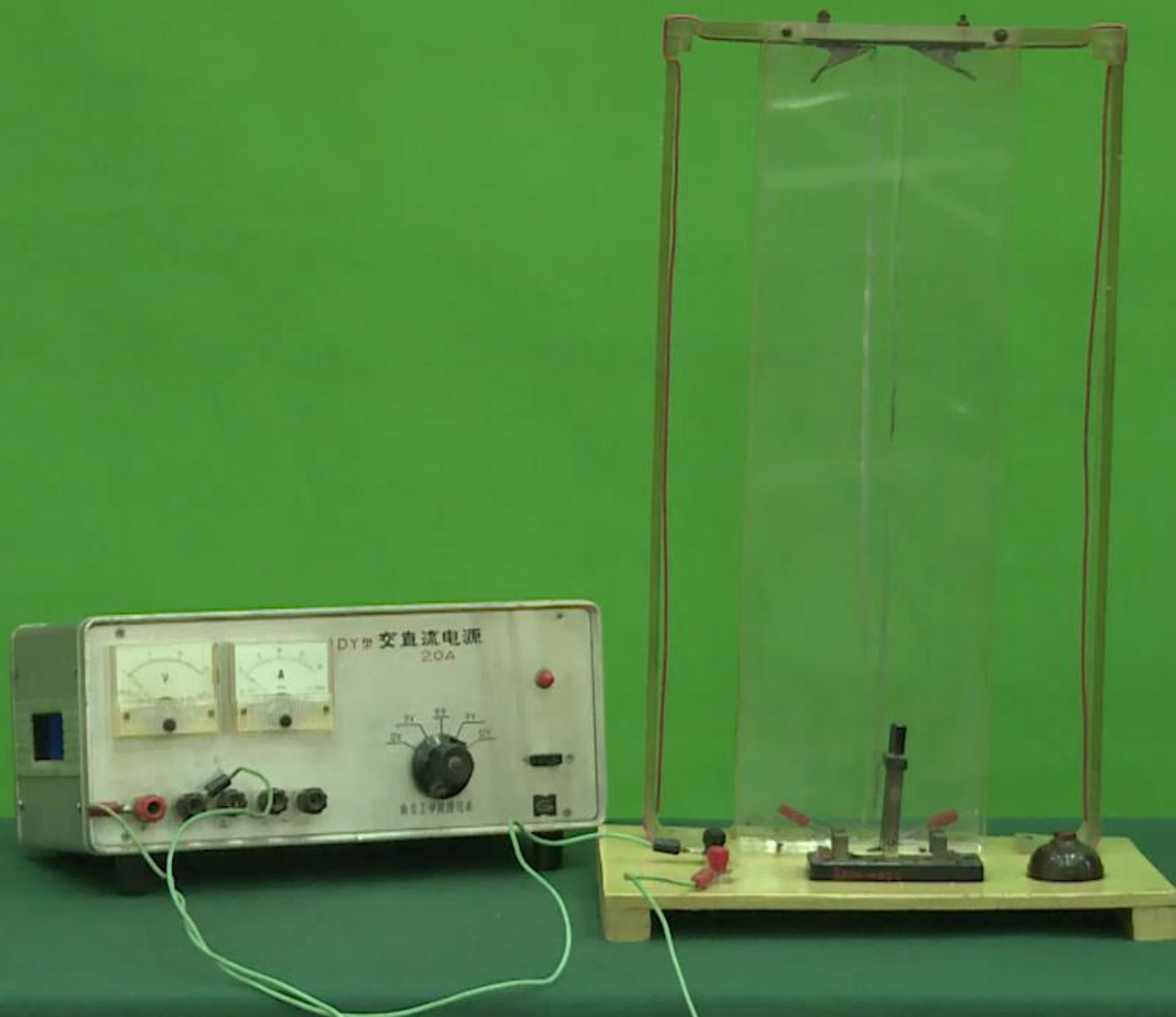
提交

$$U_{ab} = \frac{IB}{nqd}$$

$$K = \frac{1}{nq}$$

三. 放置于磁场中的载流导线所受的磁力

安培力



三. 一段长为 L 长直载流导线所受的磁力

$$\vec{f}_m = q\vec{v} \times \vec{B} \quad \text{入手分析的思路?}$$

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

$$N = n \cdot L \cdot S$$

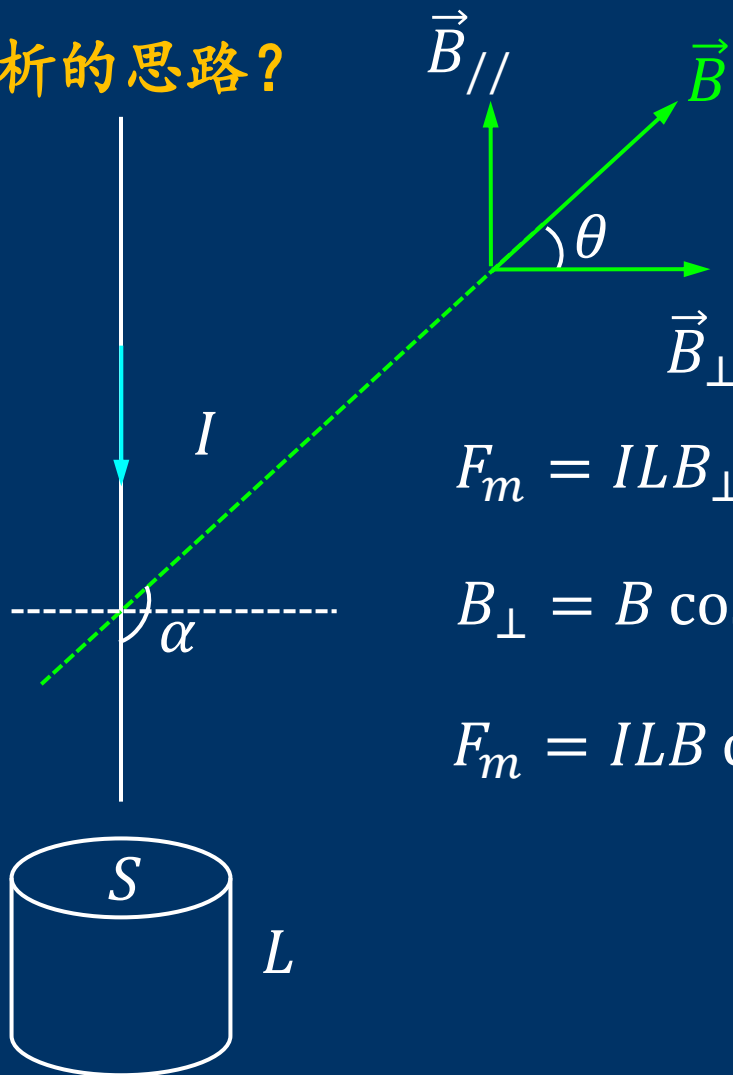
$$\vec{F}_m = nLSq\vec{v} \times \vec{B}$$

$$I = nqvS$$

$$\vec{F}_m = I\vec{L} \times \vec{B}$$

$$F_m = ILB \sin \alpha$$

方向：垂直黑板向外



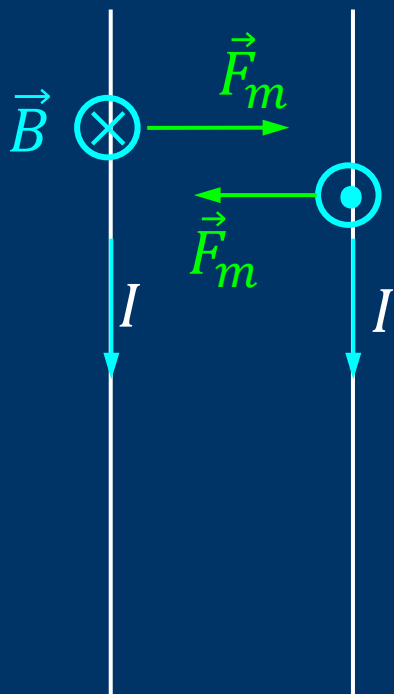
$$F_m = ILB_\perp$$

$$B_\perp = B \cos \theta$$

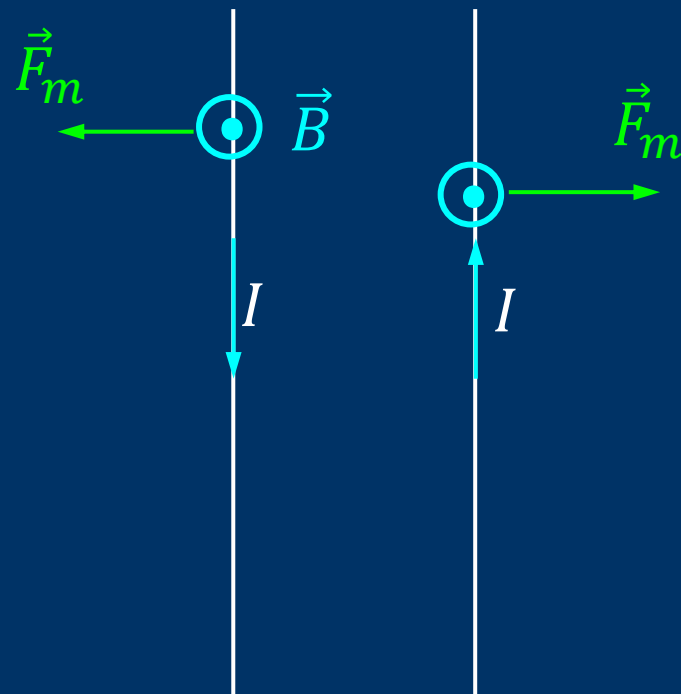
$$F_m = ILB \cos \theta$$

你是否可以发现计算的简单方法?

$$\vec{F}_m = I\vec{L} \times \vec{B}$$



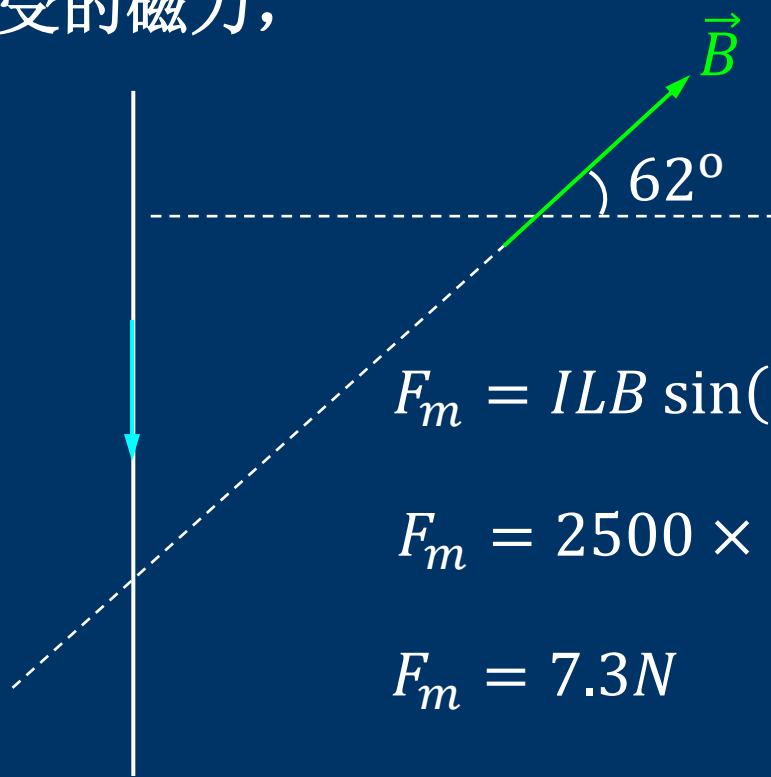
吸引



排斥

例 一根长125米的输电线水平放置，并通有2500A向南的电流。
此处的地磁场为0.5G(1T=10⁴G)、向北、与水平方向成62度

求 输电线所受的磁力，



$$\vec{F}_m = I\vec{L} \times \vec{B}$$

$$F_m = ILB \sin(90^\circ + 62^\circ)$$

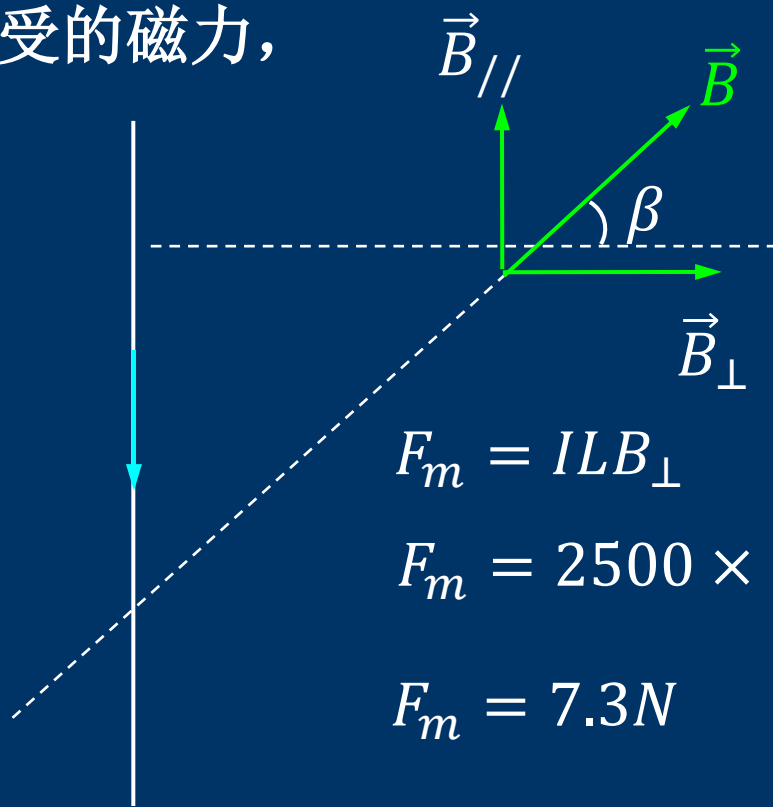
$$F_m = 2500 \times 125 \times 0.5 \times 10^{-4} \cos 62^\circ$$

$$F_m = 7.3 \text{ N}$$

方向垂直纸面向外

例 一根长125米的输电线水平放置，并通有2500A向南的电流。
此处的地磁场为0.5G(1T=10⁴G)、向北、与水平方向成62度

求 输电线所受的磁力，



$$\vec{B}_{\perp} \quad B_{\perp} = B \cos \beta$$

$$F_m = ILB_{\perp}$$

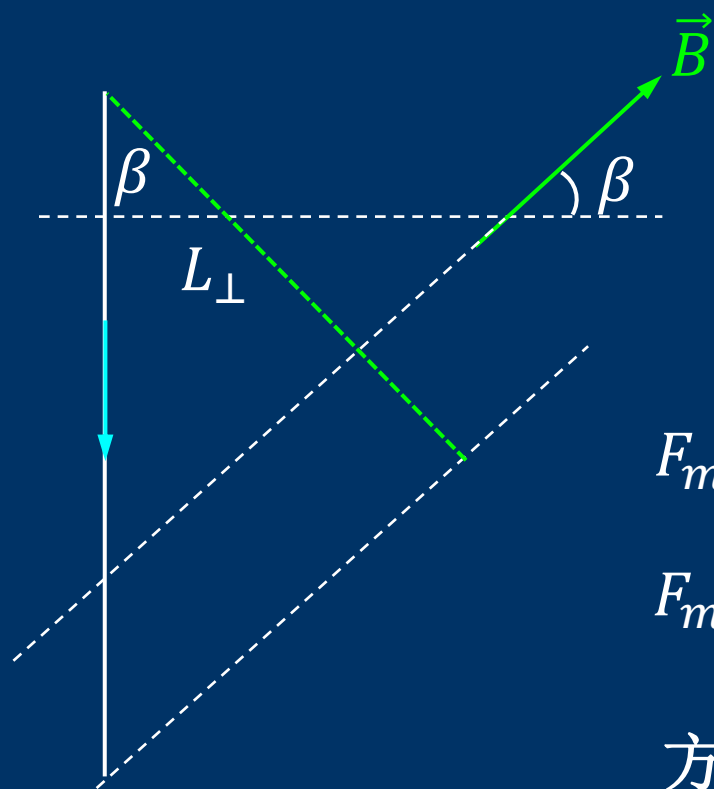
$$F_m = 2500 \times 125 \times 0.5 \times 10^{-4} \cos 62^{\circ}$$

$$F_m = 7.3 \text{ N}$$

方向垂直纸面向外

例 一根长125米的输电线水平放置，并通有2500A向南的电流。
此处的地磁场为0.5G(1T=10⁴G)、向北、与水平方向成62度

求 输电线所受的磁力. 你参考上面的方法，看看还可以如何计算？



$$\vec{F}_m = I\vec{L} \times \vec{B}$$

$$L_{\perp} = L \cos \beta$$

$$F_m = IL_{\perp}B = IL \cos \beta B$$

$$F_m = 2500 \times 125 \cos 62^{\circ} \times 0.5 \times 10^{-4}$$

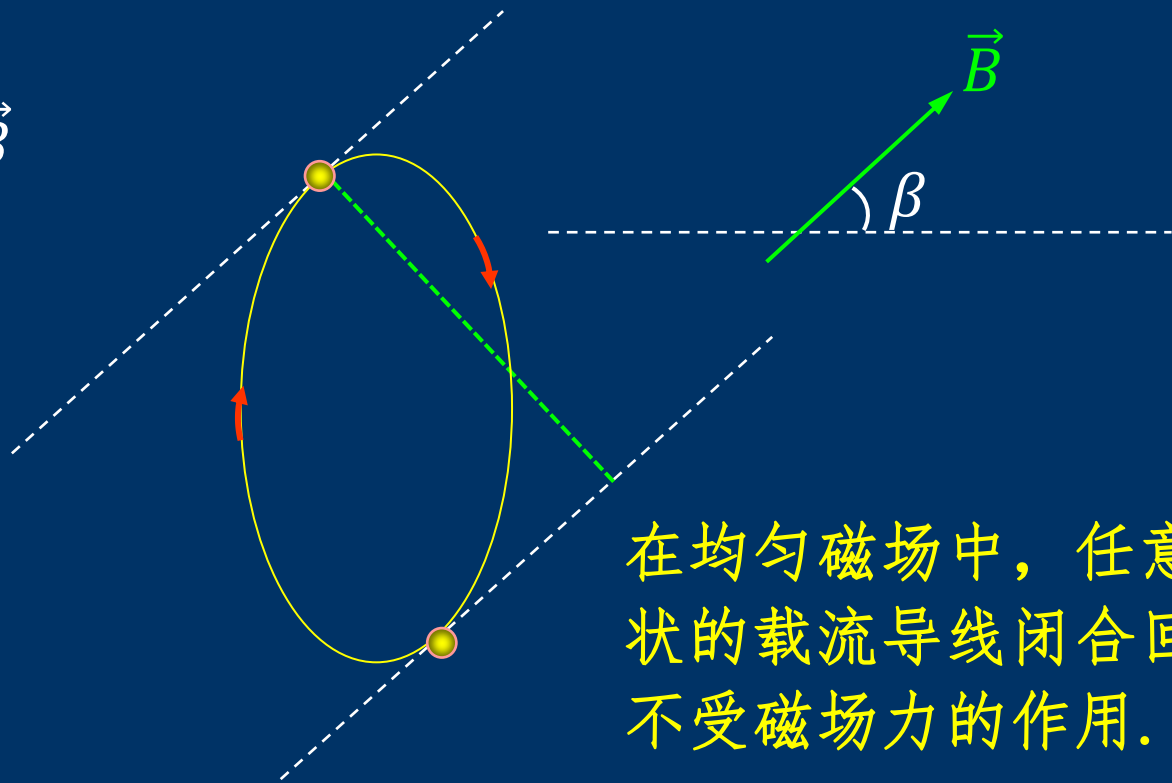
$$F_m = 7.3 \text{ N}$$

方向垂直纸面向外

例 载流闭合线圈位于匀强磁场中

求 闭合线圈所受的磁力

$$d\vec{F}_m = I d\vec{L} \times \vec{B}$$



在均匀磁场中，任意形状的载流导线闭合回路不受磁场力的作用。

讨论：(1) 如何入手分析？

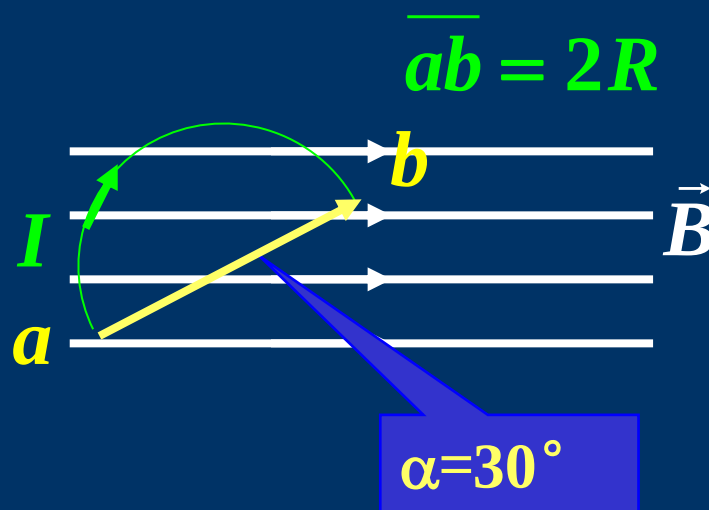
(2) 分析后结果为？

例 在均匀磁场中放置一半径为 R 的半圆形导线，电流强度为 I ，导线两端连线与磁感强度方向夹角 $\alpha=30^\circ$

求 此段圆弧电流受的磁力。

解 $|\vec{F}| = I |\overrightarrow{ab}| B \sin \alpha = IBR$

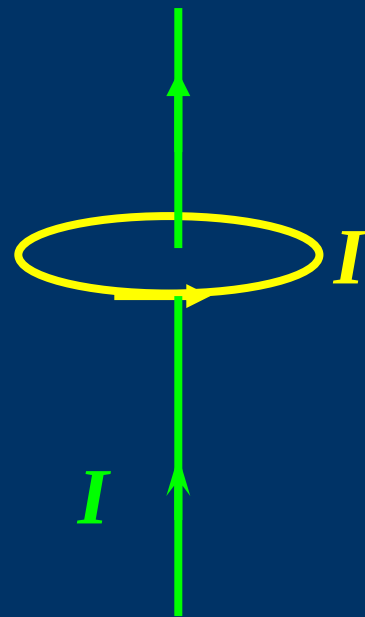
方向 $\otimes \vec{F}$



例 如图，无限长直导线过圆电流的中心，且垂直圆电流平面。
电流强度均为 I

求 相互作用力

解 $|\mathrm{d}\vec{F}| = 0$



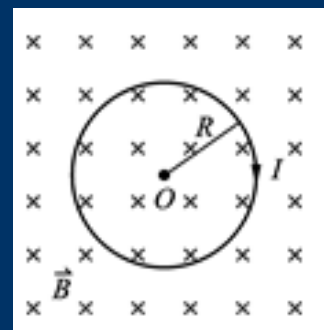
一线圈半径为 R ，载有电流 I ，放在均匀磁场的磁感应强度为 $\vec{B}$ 的外磁场中，如图所示，此线圈中所受合力为

A $2IBR$

B 0

C IBR

D $4IBR$



讨论: (1) 如果载流导线位于非均匀场呢? $d\vec{F}_m = I d\vec{L} \times \vec{B}$

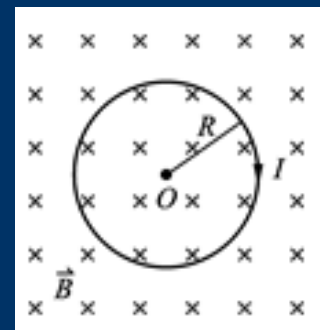
一线圈半径为 R ，载有电流 I ，放在均匀磁场的磁感应强度为 $\vec{B}$ 的外磁场中，如图所示，此线圈中所受力矩为

A $2IBR^2$

B 0

C IBR^2

D $4IBR^2$



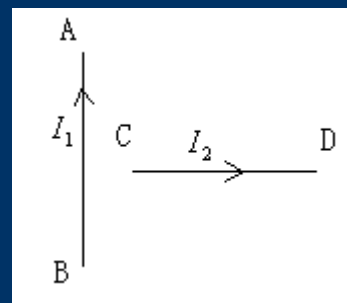
讨论：(1) 力矩的定义？

(2) 如果线圈朝外转过一个角度呢？

一根位于PPT平面内、竖直放置的无限长直导线，载有向上电流 I ，在PPT平面内距离其垂直距离为 a 的地方平行放置一长度为 L 、载有向上电流 I 的线段，则该线段所受的安培力的方向

- ☒ A 位于PPT平面内、垂直指向无限长直导线
- ☐ B 位于PPT平面内、垂直背离无限长直导线
- ☐ C 垂直于无限长直导线
- ☐ D 平行于无限长直导线

如图，在无限长载流直导线AB的一侧，放着一条有限长的可以自由运动的载流直导线CD，CD和AB相垂直，则CD最终的运动状态是



- ☒ A CD和AB反平行，且离开AB运动
- ☐ B CD和AB平行，且靠近AB运动，最终和AB重合
- ☐ C CD水平向上不断作加速运动
- ☐ D CD水平向下不断作加速运动

思考：分析CD运动过程