

Magnetic Field of a Steady Current in Vacuum

真空中稳恒电流的磁场



▲司南模型

司南由一挖去底的磁石和铜盘方以刻划成地
盘。磁石磁极向上，当磁石停下来时，与地磁
极相斥，磁石指向。



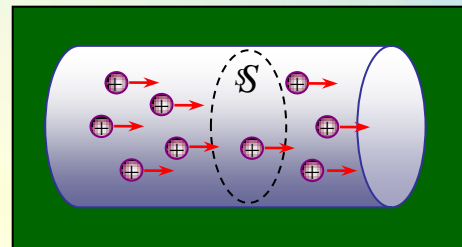
- **§ 1 Magnetic Phenomena Ampere's Hypothesis**
基本磁现象 安培假说
- **§ 2 Magnetic Field Gauss'law in Magnetic Field**
磁感应强度 磁场的高斯定理
- **§ 3 Biot-Savart Law & Its Application**
毕奥 – 萨伐尔定律及其应用
- **§ 4 Ampere's Law & Its Application**
安培环路定理及其应用

- **§ 5 Motion of Charged Particles in Magnetic Field**
带电粒子在磁场中的运动
- **§ 6 Magnetic Force on Current-carrying**
Conductors **磁场对载流导体的作用**
- **§ 7 Magnetic Torque on a Current Loop**
磁场对载流线圈的作用

教学要求

- 1、掌握磁感应强度的概念。
- 2、能用毕奥—萨伐尔定律计算简单电流的磁场分布。
- 3、理解磁场的高斯定理。
- 4、理解和掌握安培环路定理，并能用安培环路定理计算有一定对称分布电流的磁场。
- 5、掌握洛仑兹力公式，能用安培力公式和磁力矩公式计算磁场中电流受力和力矩的简单问题。

一 电流 电动势



1 电流：大量电荷的定向运动。

形成电流的两个基本条件：

(1) 导体中存在自由电荷； (2) 导体中要维持一定的电场。

载流子：导体中承载电荷的粒子。

电流强度 (I)：单位时间内通过导体任一横截面的电量。

电流强度的方向：

导体中正电荷的流向。

$$I = \frac{dq}{dt}$$

单位：**安培**

$$1 \text{ A} = 1 \text{ C} \cdot \text{s}^{-1}$$

恒定电流（直流电）：

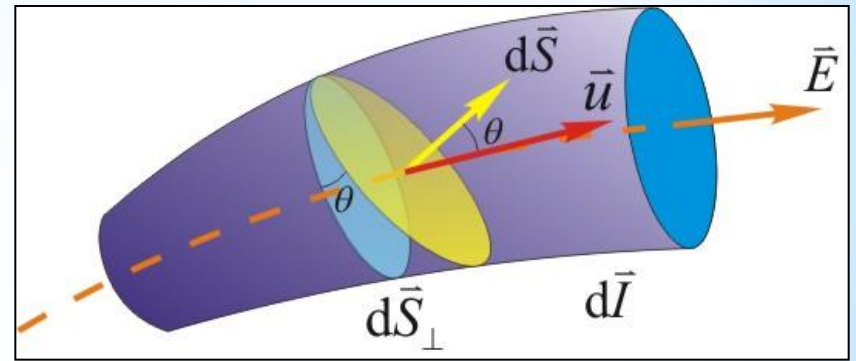
导体中通过任一截面的电流强度不随时间变化 ($I = \text{恒量}$)。

2 电流密度： 导体中单位时间内通过垂直于电流方向单位面积的电量为导体中某点处电流密度 \vec{j} 的大小， \vec{j} 的方向为该点正电荷定向漂移的方向。

载流子 浓度 n ；

载流子电量 q ；

载流子漂移速度 \vec{u}



$$dI = q n u dS_{\perp} = q n u dS \cos \theta = q n \vec{u} \cdot d\vec{S}$$

电流密度矢量：

$$\vec{j} = q n \vec{u}$$

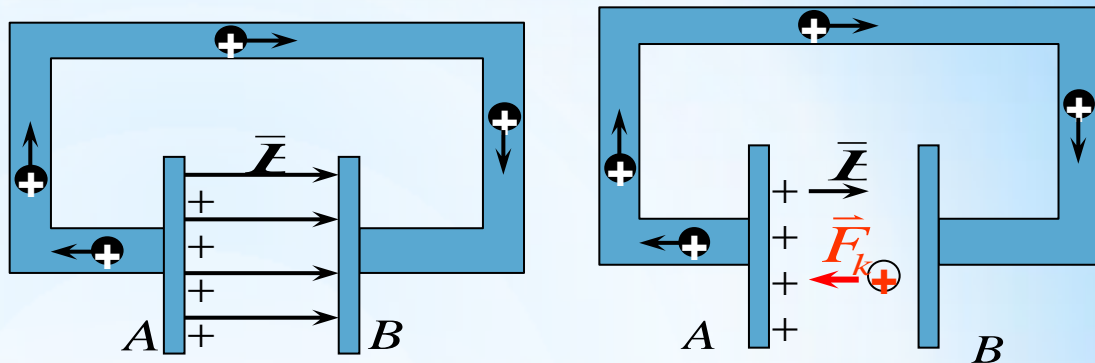
$$\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$$

通过任意曲面的电流强度：

$$I = \iint_S \vec{j} \cdot d\vec{S}$$

3 电源：

提供非静电力的装置



外电路： 电源外部的电路，电流从高电势向低电势运动。

内电路： 电源内部正、负两极之间的电路，电荷克服静电力做功，从低电势向高电势运动。

非静电场： 非静电力与试验电荷电量的比值

$$\vec{E}_k = \frac{\vec{F}_k}{q}$$

电动势： 将单位正电荷沿闭合回路移动一周的过程中，非静电力所做的功。

$$\varepsilon = \oint_l \vec{E}_k \cdot d\vec{l} = \int_{\text{内}} \vec{E}_k \cdot d\vec{l}$$

$$\varepsilon = \frac{W}{q} = \oint_l \vec{E}_k \cdot d\vec{l}$$

结论： 电源电动势在数值上等于把单位正电荷从负极经电源内部移到正极时非静电性电场力所作的功。

电源电动势的方向： 电源内部电势升高的方向。 **负极** → **正极**

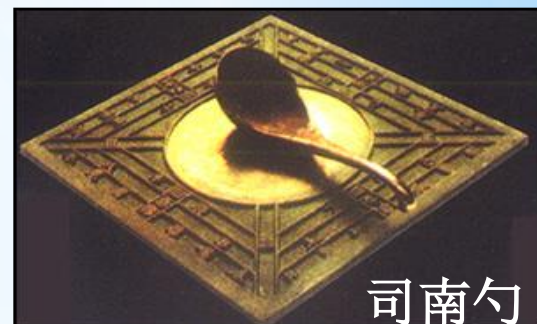
2-1 磁的基本现象 安培假说

Magnetic Phenomena Ampere's Hypothesis

一、Magnetic Phenomena 磁的基本现象

1. 人们最早认识的磁现象：

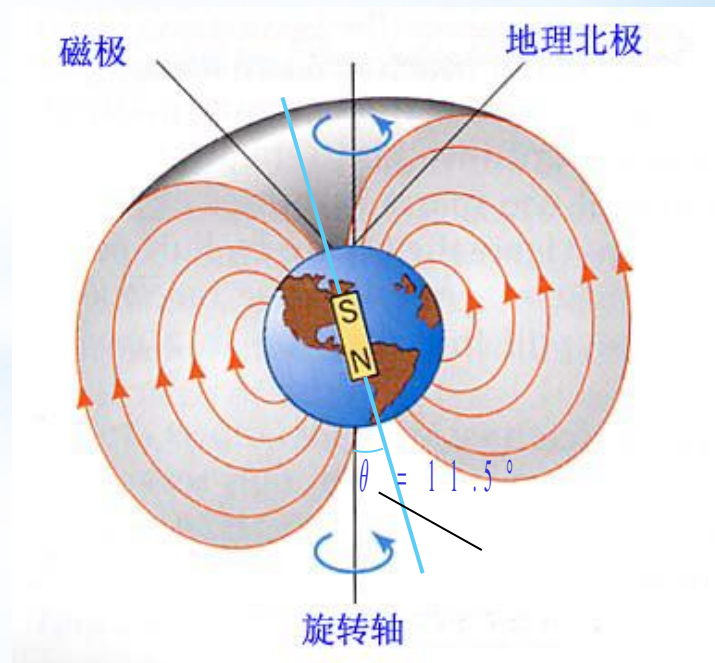
- (1) 具有磁性，能吸引铁、钴、镍等物质。
- (2) 具有磁极，分磁北极 N 和磁南极 S 。
- (3) 磁极之间存在相互作用，同性相斥，异性相吸。
- (4) 磁极不能单独存在。



在磁极区域，磁性较强



地球是一个巨大的永磁体。

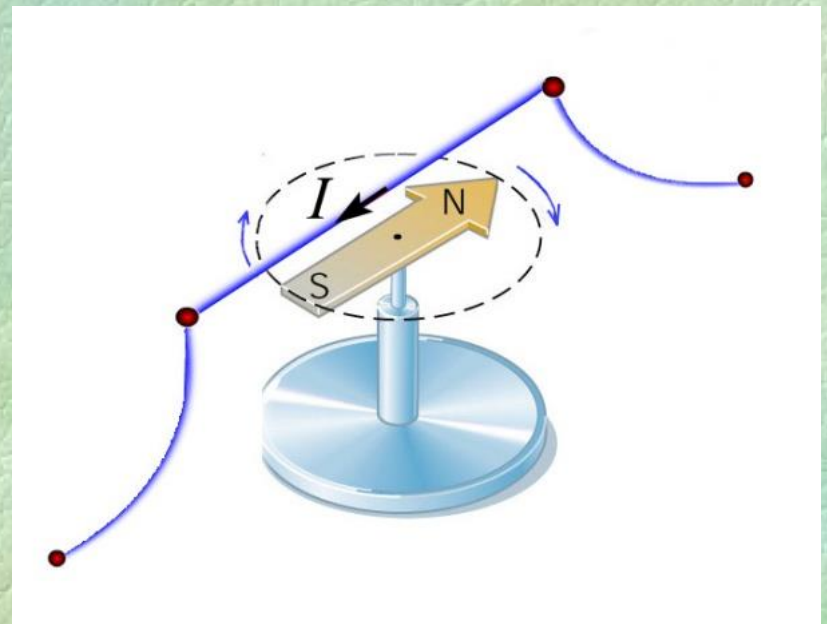


2. 电流与磁铁的相互作用：

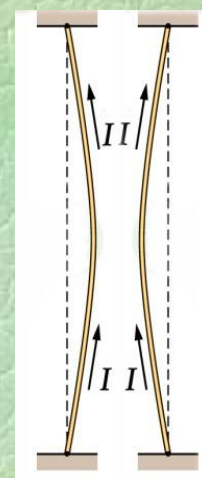
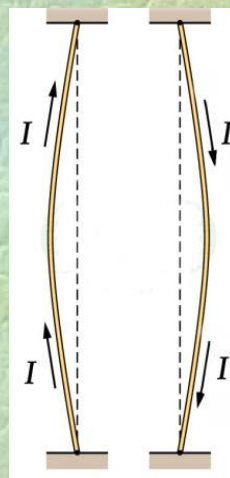
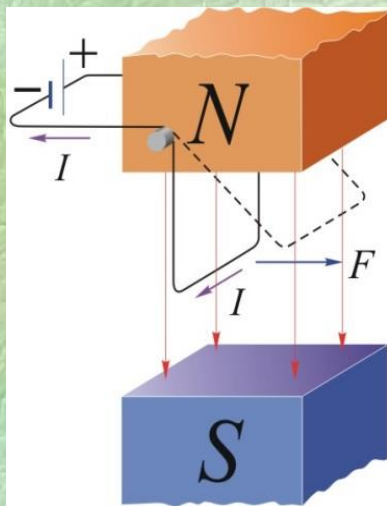
1820年，丹麦物理学家奥斯特发现电流对磁铁有作用力，旋转力。

电流

小磁针



3. 安培发现：电流在磁场中受力的作用，电子束在磁场中受力的作用，电流与电流之间的相互作用。



磁现象与电荷的运动有着密切的关系。运动电荷既能产生磁效应，也能受磁力的作用。

二、Ampere's Hypothesis 安培假说

1) 磁的本质:

All Magnetic phenomena result from the motion of the charge. 一切磁现象均起源于电荷的运动.

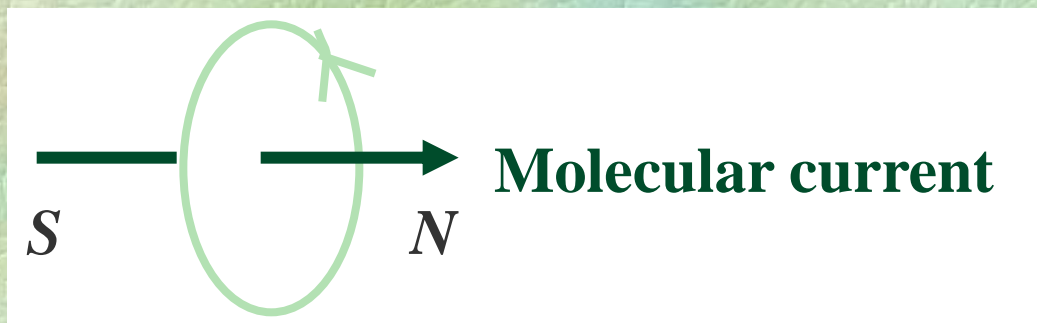
运动电荷在空间激发磁场，磁场对场中的运动电荷有相互作用。



电荷产生电场，但只有运动的电荷才产生磁场。

2) 安培假说

1821年，安培提出一切磁现象的根源是电流。 磁性物质的分子中存在回路电流，称为分子电流。分子电流相当于基元磁铁，物质对外显示出磁性，取决于物质中分子电流对外界的磁效应的总和。



2-2 磁场和磁感应强度

Magnetic field

Magnetic induction



稳定磁场： 磁场分布不会随时间发生变化，一般可由恒定电流激发而在电流周围空间产生。

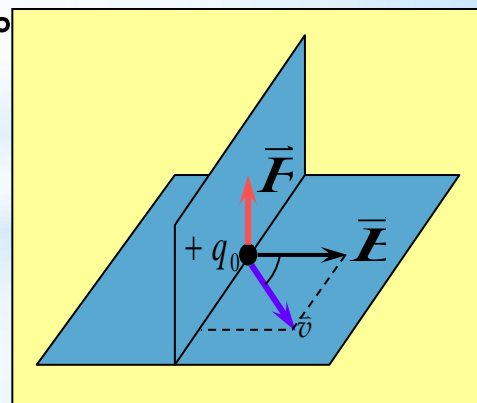
反映磁场性质的物理量：**磁感应强度** \vec{B}

磁感应强度 \vec{B} 的方向： 小磁针在场点处时其N 极的指向。

实验：(1) 点电荷 q_0 以同一速率 v 沿不同方向运动。

实验结果：

1. $\vec{F} \perp \vec{v}$
2. \vec{F} 的大小随 \vec{v} 而变化
3. 电荷 q_0 沿磁场方向运动时, $\vec{F} = 0$
4. 电荷 q_0 垂直磁场方向运动时, $\vec{F} = \vec{F}_{\text{max}}$



(2) 在垂直于磁场方向改变运动电荷的速率 v , 改变点电荷的电量 q_0 。

结论:

1. 在磁场中同一场点, F_{\max}/q_0v 为一恒量;
2. 在磁场中不同场点, F_{\max}/q_0v 的量值不同。

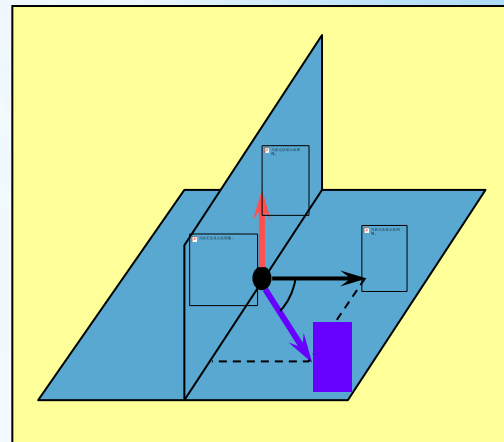
定义磁感应强度 \underline{B} 的大小:

$$B = \frac{F_{\max}}{q_0 v}$$

国际单位: 特斯拉 (T)

常用单位: 高斯 (G)

$$1T = 10^4 G$$

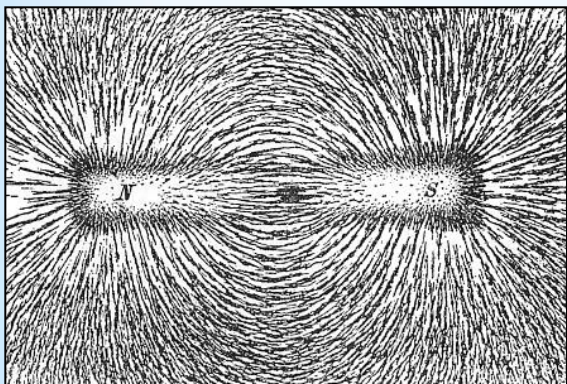


2-3 磁感应线

Magnetic Field lines

磁感应线 (B 线) :

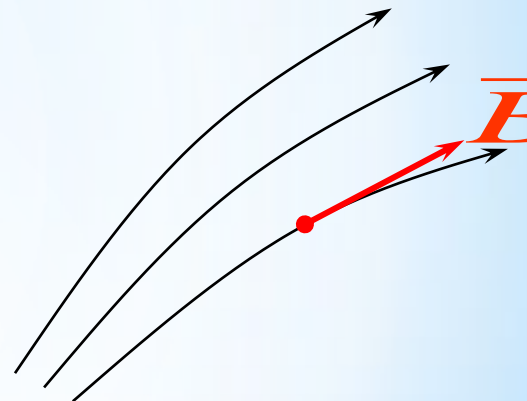
1. 磁感应线上任一点的切线方向与该点的磁感应强度的方向一致。
2. 通过垂直磁感应强度 \mathbf{B} 的单位面积上的磁感应线条数等于该处 \mathbf{B} 的大小。



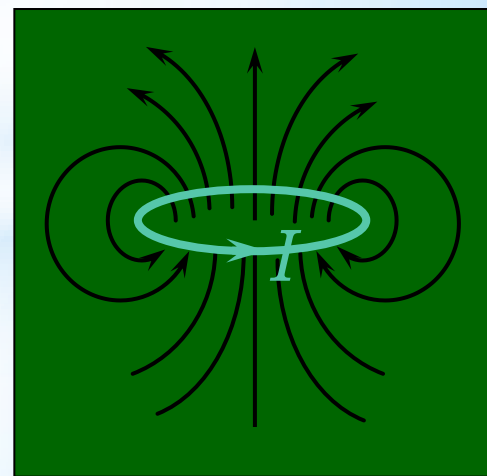
条形磁铁周围的磁感应线



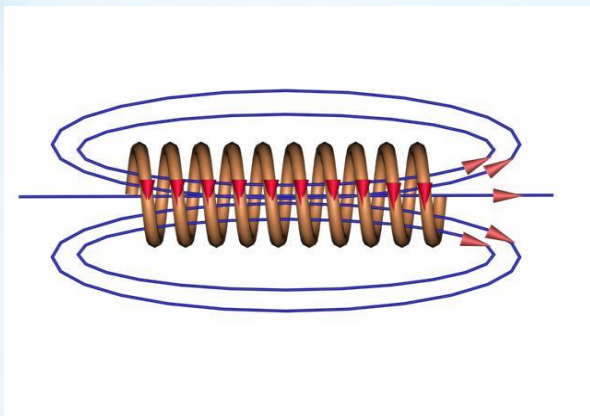
直线电流的磁感应线



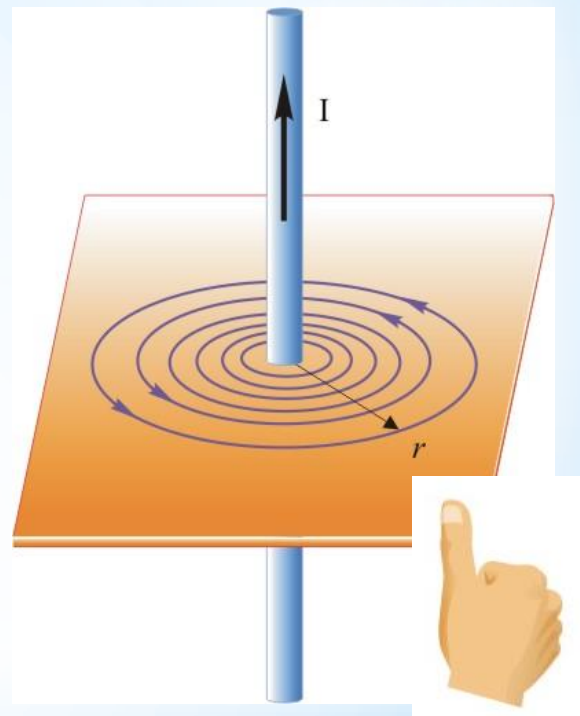
圆电流的磁感应线



通电螺线管的磁感应线



磁感应线为一组环绕电流的闭合曲线。



磁感应线的特点：

- 1、磁感应线是连续的，不会相交。
- 2、磁感应线是围绕电流的一组闭合曲线，没有起点，没有终点。

2-4 磁通量 磁场中的高斯定理

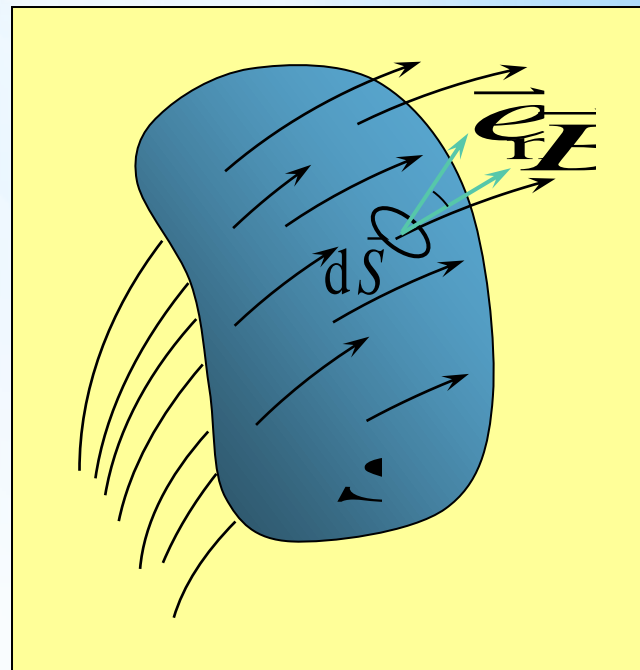
Magnetic Flux Gauss's Law in Magnetics

1.磁通量 Φ_m ：通过磁场中某一曲面的磁感应线条数。

$$d\Phi_m = B dS \cos \theta$$

$$\Phi_m = \iint_s \vec{B} \cdot d\vec{S} = \iint_s B \cos \theta dS$$

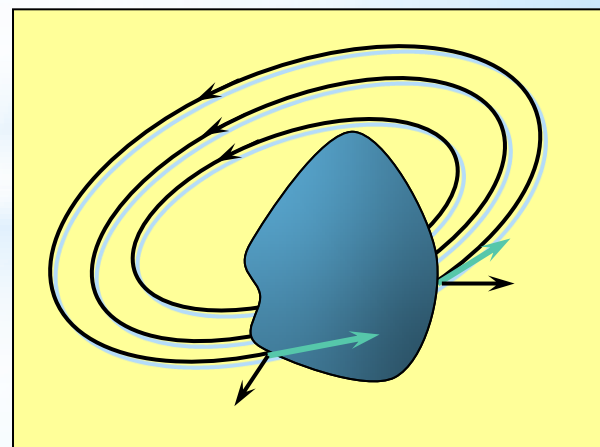
单位：“韦伯”（Wb）



封闭曲面，取曲面外法线方向为正方向。

当 $\theta < \frac{\pi}{2}$ ， \vec{B} 线穿出曲面， $\Phi_m > 0$

当 $\theta > \frac{\pi}{2}$ ， \vec{B} 线穿进曲面， $\Phi_m < 0$

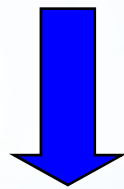


磁场线是无头无尾的闭合线。

2. 磁场的高斯定理：

在磁场中通过任意**闭合曲面**的磁感应强度通量等于零。

$$\oiint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$



磁场是无源场

