

物理学院



# 大学物理·电磁学

主讲教师：吴喆

# 第 11章 静磁学

## 11.1 磁现象的电本质

## 11.2 毕奥-萨伐尔定律

## 11.3 静磁场的高斯定理

## 11.4 安培环路定理

## 11.5 介质静磁学

## 11.6\* 铁磁性

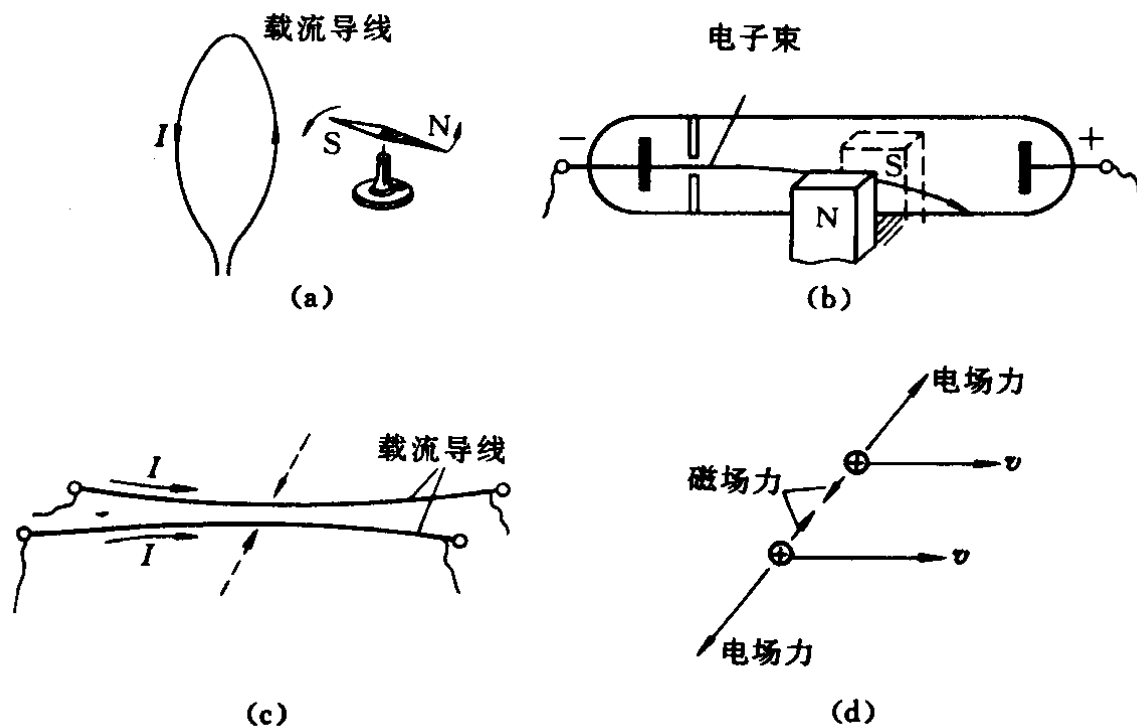
## 11.7 磁场对运动电荷的作用



## 11.1 磁现象的电本质

### 11.1.1 磁现象

- 早期磁现象：磁铁  $\longleftrightarrow$  磁铁间的相互作用
- 1819年, 奥斯特实验（电流与磁铁间有力的作用），逐渐揭开了磁现象与电现象的内在联系。



(1) 电流对磁铁有力的作用;

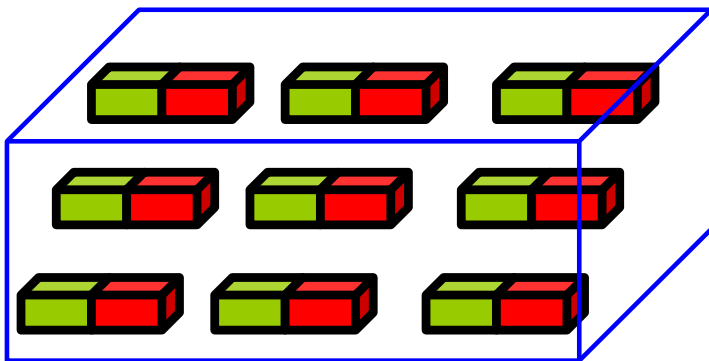
(2) 磁场对运动电荷有力的作用;

(3) 电流对电流有力的作用.

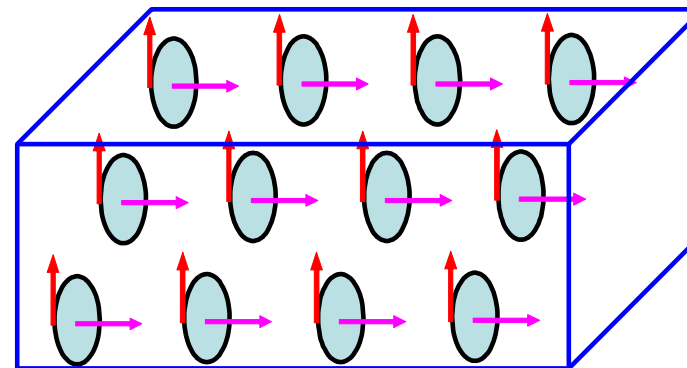
## 11.1 磁现象的电本质

### 11.1.2 磁现象电本质的物理模型

库伦假说



安培假说



**库伦假说：**把宏观磁现象归结为微观粒子的磁现象

**安培假说：**把宏观磁现象归结为微观大量分子电流的电本质

## 11.1 磁现象的电本质

### 11.1.3 磁现象电本质的相对论解释

#### (1) 电场变换

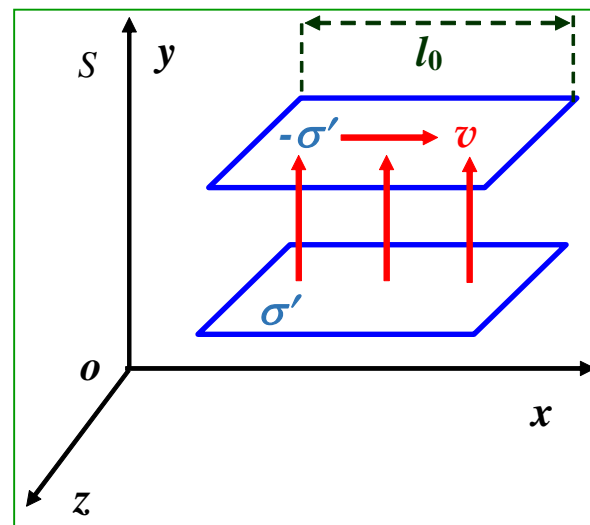
**特例1：垂直于运动电荷方向的电场变换**

电荷相对于  $S'$  **静止**    板外  $\vec{E} = 0$     板内  $\vec{E}_y = \frac{\sigma'}{\epsilon_0} \vec{j}$

电荷相对于  $S$  运动，速度为  $v$

$$\left. \begin{aligned} l &= l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2} \\ \sigma &= \frac{\sigma'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \gamma \sigma' \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{aligned} \text{板外 } \vec{E}' &= 0 \\ \text{板内 } \vec{E}'_y &= \frac{\gamma \sigma'}{\epsilon_0} \vec{j} \end{aligned} \right.$$

**结论1：垂直于电荷运动方向上，电场增强  $\gamma$  倍**





## 11.1 磁现象的电本质

### 11.1.3 磁现象电本质的相对论解释

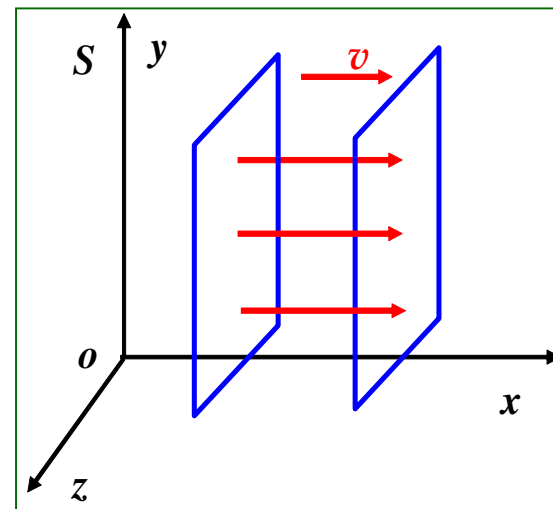
#### (1) 电场变换

**特例2：平行于运动电荷方向的电场变换**

相对论效应只引起板间距减小

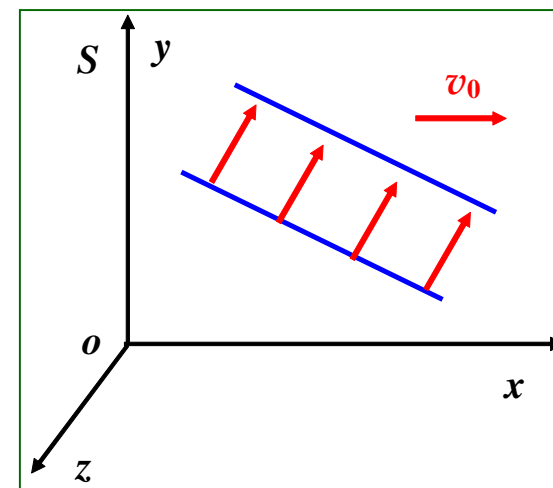
$$\vec{E}_x = \vec{E}'_x = \sigma' / \epsilon_0$$

**结论2：平行于电荷运动方向上，电场保持不变**



**特例3：与运动电荷方向成夹角的电场变换**

$$\left. \begin{aligned} \vec{E} &= E_x \vec{i} + E_y \vec{j} + E_z \vec{k} \\ \vec{v}_0 &= v_0 \vec{i} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} E_x = E'_x \\ E_y = \gamma_0 E'_y \\ E_z = \gamma_0 E'_z \\ \gamma_0 = \frac{1}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}} \end{cases}$$



## 11.1 磁现象的电本质

### 11.1.3 磁现象电本质的相对论解释

(2) 运动电荷受力 设电荷相对  $S$  系速度  $\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k}$

• 狭义相对论力的变换:

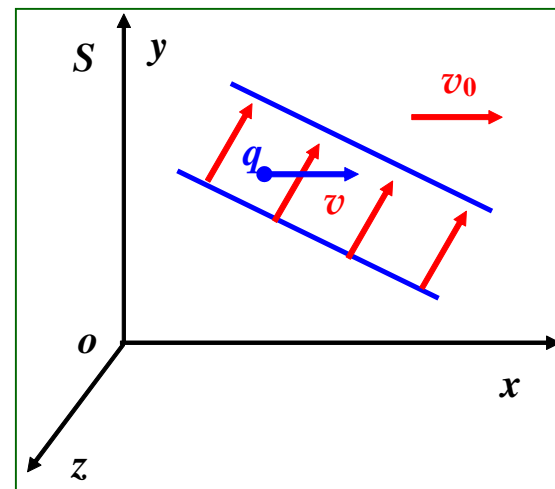
$$\begin{cases} F_x = \frac{F'_x + \frac{v}{c^2} \cdot \vec{F}' \cdot \vec{v}'}{1 + v_0 v'_x / c^2} \\ F_y = \frac{F'_y}{\gamma_0 (1 + v_0 v'_x / c^2)} \\ F_z = \frac{F'_z}{\gamma_0 (1 + v_0 v'_x / c^2)} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} \\ \vec{B} = \vec{v}_0 / c^2 \times \vec{E} \end{cases}$$

• 在  $S'$  系中电荷的速度:

$$\begin{cases} v'_x = \frac{v_x - v_0}{1 - v_0 v_x / c^2} \\ v'_y = \frac{v_y \sqrt{1 - v_0^2 / c^2}}{1 - v_0 v_x / c^2} \\ v'_z = \frac{v_z \sqrt{1 - v_0^2 / c^2}}{1 - v_0 v_x / c^2} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} F_x = qE_x + q(E_y v_y + E_z v_z) v_0 / c^2 \\ F_y = qE_y + q v_0 v_x E_y / c^2 \\ F_z = qE_z + q v_0 v_x E_z / c^2 \end{cases}$$



**结论: 磁场力是运动电荷产生的电场力的相对论效应部分**

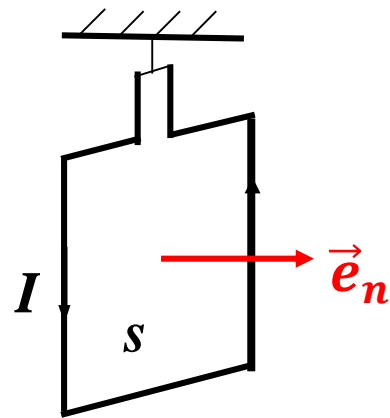
## 11.1 磁现象的电本质

### 11.1.4 磁感应强度

- 试验线圈 (电流、尺寸都很小的载流线圈) 的**磁矩**定义为:

$$\vec{p}_m = NIS\vec{e}_n$$

式中  $N$  为线圈的匝数,  $S$  为线圈包围的面积,  $\vec{e}_n$  为载流线圈平面正法向单位矢量, 其方向与电流流向呈右螺旋关系。



- 规定:** 将试验线圈悬在磁场中, 试验线圈处于**平衡位置**时, 线圈正法线所指方向即为该点**磁场**  $\vec{B}$  的方向。

- 定义:**

$$B = \frac{M_{max}}{p_m}$$

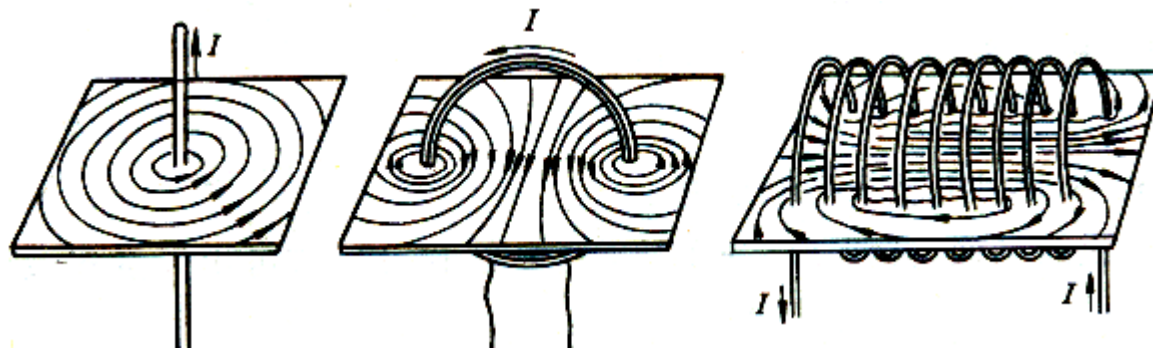
$\vec{e}_n \perp \vec{B}$  时,  $M_{max}$  是线圈受到的最大磁力矩, 且  $M_{max} \propto p_m$

- 在SI制中, 磁感应强度的单位是**特斯拉(T)**  $1\text{T} = 1\text{N} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ,  $1\text{GS} = 10^{-4}\text{T}$



## 11.1 磁现象的电本质

### 11.1.5 磁感应线 (磁力线)



#### 磁感应强度 $\vec{B}$ (矢量)

- 磁感应线上每一点的切线方向与该点的磁感应强度 $\vec{B}$ 的方向一致。
- 通过某点垂直于磁场方向的单位面积上的磁感应线条数等于该点 $\vec{B}$ 的大小。

#### 磁感应线的特点:

- 磁感应线是无头无尾的闭合曲线(或两端伸向无穷远处)。磁场是**涡旋场**。
- 磁感应线与载流电路互相套合，二者的方向遵从**右手螺旋法则**。
- 任两条磁感应线都不相交。

思考

磁场的散度和旋度？世界上是否存在磁单极子？





物理学院

# 谢谢大家!