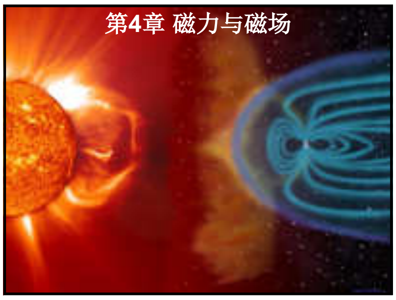


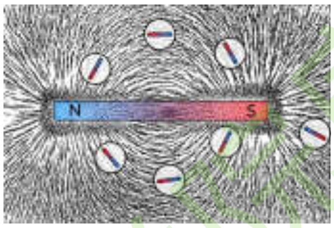
1

第4章 磁力与磁场

§4.1 磁现象与磁力
§4.2 电流的磁场
§4.3 静磁场的基本定理
§4.4 带电粒子在磁场中的运动
§4.5 霍尔效应

2

§4.1 磁现象与磁力



3

§ 4.1.1 磁现象研究历史和磁性的起源

磁现象的研究与应用（即磁学）是一门古老又年轻的学科

磁现象的发现与应用历史悠久

“慈石”，“Love Stone”，“Magnet”

司南、指南针、五石散… “莫可原其理”

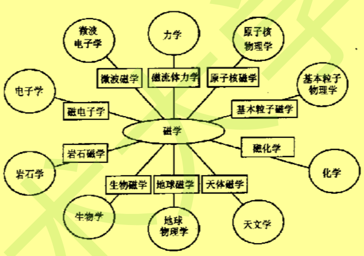
马里古特命名南北极，吉尔伯特《论磁》

磁的应用目前越来越广泛，已形成了许多与磁学相关的交叉学科。

磁现象是一种普遍现象，一切物质都具有磁性。

任何空间都存在磁场。

4



5

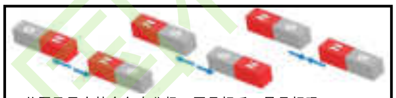
磁的基本现象

对基本磁现象的认识可以分为三个阶段

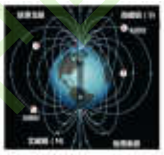
早期阶段：认识磁的基本现象（磁铁 ⟺ 磁铁）

天然磁铁能吸引铁、钴、镍等物质

6



英国马里古特命名南北极，同号相斥，异号相吸



吉尔伯特认为地球就是一个磁体　　至今未发现磁单极子

7

8

电与磁的联系

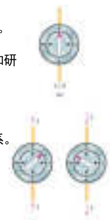
电流磁效应的发现（电流 ⟺ 磁铁，电流 ⟺ 电流）

1820年4月，奥斯特发现电流对磁铁的作用。

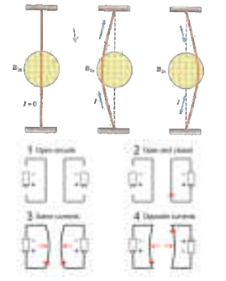
打破了长期以来电学与磁学彼此独立发展和研究的界限。

现代电磁学研究的基础

人们开始认识到电与磁有着不可分割的联系。



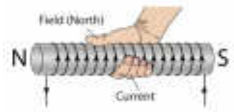
9



磁铁对电流的作用

电流对电流的作用

10



螺线管电流与条形磁铁的等效性

11

物质磁性的起源

安培的“分子电流假说”

1822年，安培提出了一个假说：组成磁铁的最小单元（磁分子）就是分子的圆形电流。即每个分子形成的圆形电流就相当于一根小磁针。

分子圆形电流呈现规律分布时，显示出宏观磁性。

现代量子理论

电子的轨道磁矩和自旋磁矩是物质磁性的主要来源。

12

§ 4.1.2 安培定律

静电学

- 电荷与电荷之间的作用
- 点电荷
- 库仑定律

- 点电荷可以近似得到

稳恒磁场

- 电流与电流之间的作用
- 电流元
- 安培定律

- 稳恒电流只能存在于闭合回路之中，无法孤立得到

13

安培定律建立历史

- 1820年7月21日，奥斯特发表了他著名的实验，即长直电流附近的磁针受力偏转。
- 9月11日，阿喇果在法国科学院介绍了这一成果。
- 9月18日，安培进行了圆电流对磁针的作用的实验。
- 9月25日，安培在法国科学院报告了关于平行载流导线之间的相互作用。
- 10月初，安培提出了螺线管与条形磁铁的等效性。
- 10月30日，法国科学家毕奥和萨伐尔发表了长直导线对磁极的作用力反比于距离的实验结果。在拉普拉斯的参与下得到了著名的定律。
- 12月4日，安培提出了电流相互作用的公式，即安培定律。
- 1821年1月，安培提出了分子电流假说。

14

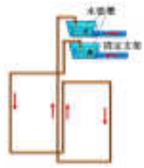
安培的四个示零实验

安培定律并不是直接由实验得到，而是在安培设计的很巧妙的四个示零实验和一个假设的基础上，与相当高超的数学技巧相结合得到的。

安培首先设计了无定向秤

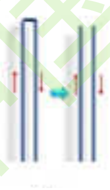
在均匀磁场（如地磁场）中，它所受的合力与合力矩均为零，处于随遇平衡；

在非均匀磁场中，它会发生运动



15

实验一



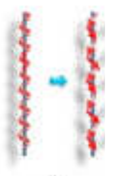
实验：
安培将一对折的通电导线移近无定向秤

结果：
无定向秤无任何反应

结论：
强度相等、方向相反的电流，对别的电流产生的作用力大小相等、方向相反

16

实验二



实验：
安培将对折的通电导线中的一根成螺线形绕在另一根上，移近无定向秤

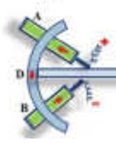
结果：
无定向秤无任何反应

结论：
一段螺旋线导线的作用与直导线的作用相同

许多电流元的合作用是各个电流元作用的矢量叠加

17

实验三



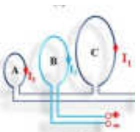
实验：
安培将圆弧形导体架在水银槽上，经水银通电。用各种通电线圈靠近它。改变通电回路。

结果：
圆弧导体不动。

结论：
作用力垂直于电流方向

18

实验四



实验：
安培将三个周长比为1:k:k^2的线圈通上电，A、C固定，电流相等。B可自由活动，电流任意。

结果：
只有间距比为1:k时，B才不受力。

结论：
距离增大k倍时，电流长度需增加k^2倍。

电流元之间的作用力的大小服从平方反比规律？

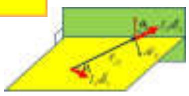
19

安培定律

两个电流元之间的相互作用力：

$$d\vec{F}_{21} = k\frac{I_2 d\vec{l}_2 \times (I_1 d\vec{l}_1 \times \vec{e}_r)}{r_{21}^2}$$

$$k = \frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7}\ NA^{-2}$$



$$d\vec{F}_{21} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I_2 d\vec{l}_2 \times (I_1 d\vec{l}_1 \times \vec{r})}{r_{21}^3}$$

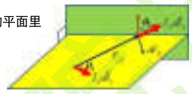
20

安培定律

数值上也可以写为：

$$dF_{21} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I_1 I_2 dl_1 dl_2 \sin\theta_1 \sin\theta_2}{r_{21}^2}$$

方向：
- 在施力电流元与位移构成的平面里
- 与受力电流元垂直



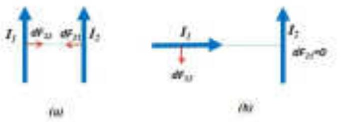
正确性无法用实验来直接检验，因为无法得到稳恒电流元。

21

讨论

电流元之间的相互作用力不一定满足牛顿第三定律

$$d\vec{F}_{21} = k\frac{I_2 d\vec{l}_2 \times (I_1 d\vec{l}_1 \times \vec{e}_r)}{r_{21}^2}$$



22

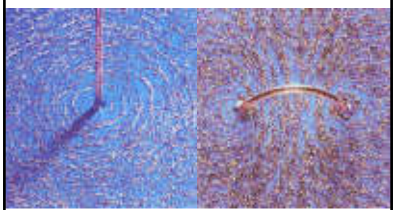
讨论

但两个闭合电流回路的相互作用力满足牛顿第三定律

沿两个闭合回路积分得到的合作用力大小相等、方向相反。

23

§ 4.2 电流的磁场



24

§ 4.2.1 磁感应强度

电流与电流之间的相互作用：

电流产生磁场

磁场对电流作用

用试探电流元$I_0 d\vec{l}_0$来定义磁感应强度$\vec{B}$

电流所受的力垂直于电流方向

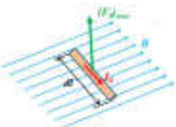
定义电流元所受的力满足：$d\vec{F}_0 = I_0 d\vec{l}_0 \times \vec{B}$

25

$$d\vec{F}_0 = I_0 d\vec{l}_0 \times \vec{B}$$

$$(dF_0)_{max} = I_0 dl_0 B$$

$$B = \frac{(dF_0)_{max}}{I_0 dl_0}$$



磁感应强度的单位为特斯拉(T) $1\,T = 1\,NA^{-1}m^{-1}$

有时候也用高斯作为磁感应强度的单位(Gs，G)

$$1\,T = 10\,kGs$$

26

毕奥-萨伐尔定律 (Biot-Savart Law)

关于电流产生的磁感应强度的定律

磁感应强度的定义：

$$d\vec{F}_0 = I_0 d\vec{l}_0 \times d\vec{B}$$

安培定律：

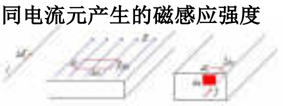
$$d\vec{F}_{21} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I_0 d\vec{l}_0 \times (I d\vec{l} \times \vec{r})}{r^3}$$

比较可得电流元产生的磁感应强度：

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

27

不同电流元产生的磁感应强度



线电流元：$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$

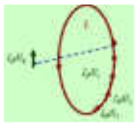
面电流元：$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\vec{i}\, dS \times \vec{r}}{r^3}$

体电流元：$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\vec{J}\, dV \times \vec{r}}{r^3}$

28

叠加原理

$d\vec{F}_0 = I_0 d\vec{l}_0 \times d\vec{B}$



由力的叠加原理可得到磁感应强度的叠加原理

$\vec{F}_0 = I_0 d\vec{l}_0 \times \vec{B}$

$\vec{F}_0 = \int d\vec{F}_0 = \int I_0 d\vec{l}_0 \times d\vec{B} = I_0 d\vec{l}_0 \times \int d\vec{B}$

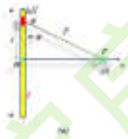
$\vec{B} = \int d\vec{B}$

29

【例4.1】长直线电流I，求在距离为r_0处一点P的磁场。

【解】沿电流方向取一电流元$Id\vec{l}$

代入毕奥-萨伐尔定律：



$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{(Id\vec{l} \times \vec{r})}{r^3}$

$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Idl\sin\phi}{r^2}$

$r = \frac{r_0}{\sin\phi}$

$l = -r_0\cot\phi$

$dl = \frac{r_0 d\phi}{\sin^2\phi}$

30

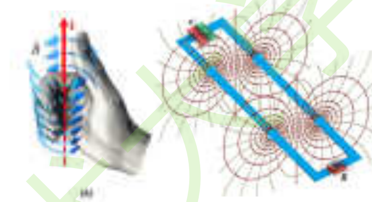
$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Idl\sin\phi}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\left(\frac{r_0 d\phi}{\sin^2\phi}\right)\sin\phi}{\left(\frac{r_0}{\sin\phi}\right)^2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0}\sin\phi\, d\phi$

$B = \int dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0}\int_{\phi_1}^{\phi_2}\sin\phi\, d\phi = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0}(\cos\phi_1 - \cos\phi_2)$

对无限长直导线：$\phi_1 = 0$，$\phi_2 = \pi$

$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_0}$

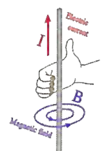
31

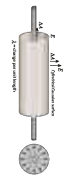


32

$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$

$E = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$



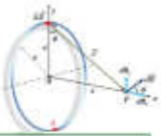


稳恒电流　　静止电荷

33

【例4.2】半径为a的圆电流I，求轴线上距离圆心为x的P点处的磁场。

【解】由对称性可知，只有x分量



$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{(Id\vec{l} \times \vec{r})}{r^3}$

$dB_x = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Idl\cos\theta}{r^2}$

$B_x = \oint_L dB_x = \oint_L \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Idl\cos\theta}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\cos\theta}{r^2}\oint_L dl$

$B_x = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\cos\theta}{r^2}2\pi a = \frac{\mu_0}{2}\frac{Ia\cos\theta}{r^2} = \frac{\mu_0}{2}\frac{Ia^2}{r^3}$

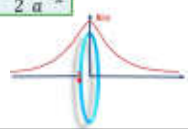
34

圆形电流的磁矩　$\vec{\mu} = I\vec{S} = I\pi a^2\vec{e}_x$

则轴线上　$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{\vec{\mu}}{r^3}$

圆心处　$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{\vec{\mu}}{a^3} = \frac{\mu_0}{2}\frac{I}{a}\vec{e}_x$

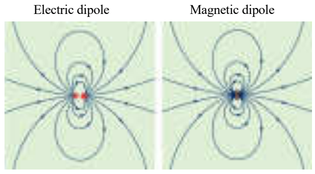
无限远处　$\vec{B} \approx \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{\vec{\mu}}{x^3}$



35

电偶极子　　磁偶极子

Electric dipole　　Magnetic dipole

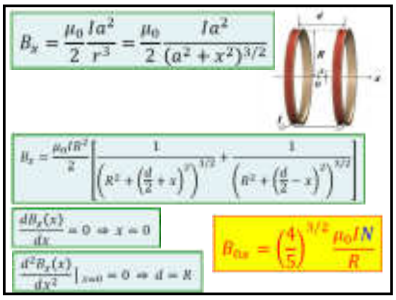


$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 r^3}[3(\vec{p}\cdot\vec{e}_r)\vec{e}_r - \vec{p}]$

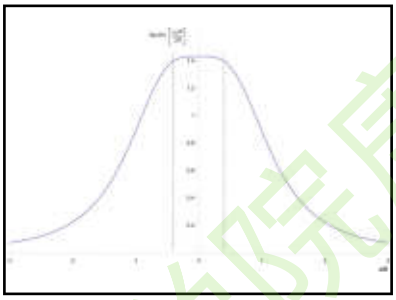
$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi r^3}[3(\vec{\mu}\cdot\vec{e}_r)\vec{e}_r - \vec{\mu}]$

36

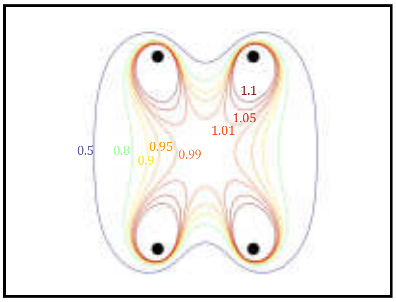
37



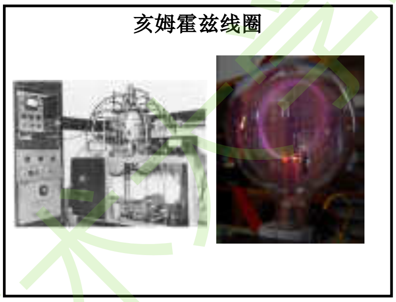
38



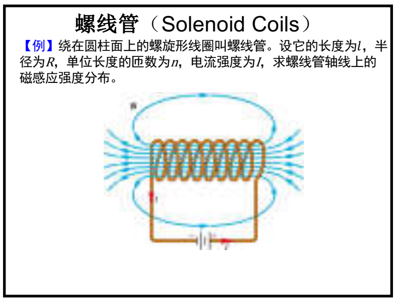
39



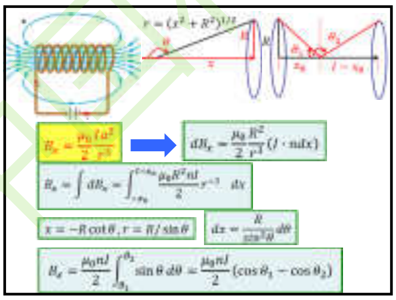
40



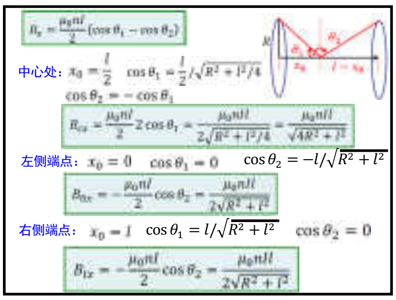
41



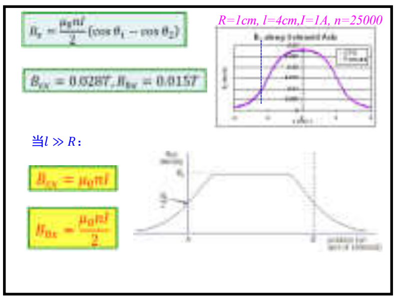
42



43



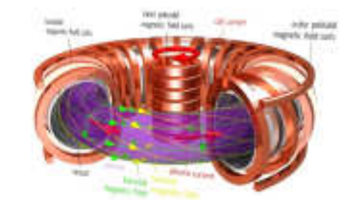
44



45

托克马克中的磁场

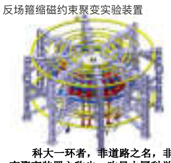
Tokamak



46

科大一环 (KTX)

反场箍缩磁约束聚变实验装置　　Keda Torus eXperiment




科大一环者，非道路之名，非珍珠钻石之实，我国首台反场箍缩磁约束聚变装置之称也。昨日中国科学报头版推出，人民日报、人民网、安徽财经、科学网、环球网、合肥晚报诸媒体，纷纷跟进，俨然网络熟词也。余嗟曰：名成一日，事成十年。

……

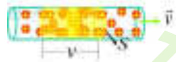
科大一环者，聚变之一道，其价不输珍珠钻石也。

物理学院 刘万东 教授

47

运动电荷产生的磁场

一束载流子定向运动



$$\vec{j} = nq\vec{v}$$

取一电流元 $\vec{j}dV$

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\vec{j}dV \times \vec{r}}{r^3}$$

电流元中的电荷数

$$dN = ndV$$

单个运动电荷产生的磁场

$$\vec{B} = \frac{d\vec{B}}{dN} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\vec{j}\,dV \times \vec{r}}{ndV\,r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q\vec{v} \times \vec{r}}{r^3}$$

48

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q\vec{v} \times \vec{r}}{r^3} \qquad \vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q\vec{r}}{r^3}$$

$$\vec{B} = \vec{v} \times \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q\vec{r}}{r^3} = \mu_0\varepsilon_0\vec{v} \times \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q\vec{r}}{r^3} = \mu_0\varepsilon_0\,\vec{v} \times \vec{E}$$

$$\vec{B} = \frac{1}{c^2}\,\vec{v} \times \vec{E}$$ ← 相对论下依然成立

相对论下：

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q\vec{e}_r}{r^2}\frac{1-\beta^2}{(1-\beta^2\sin^2\theta)^{3/2}}$$

49

运动电荷产生的磁场

一个电子做匀速圆周运动产生的磁场

圆心处：$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{ev}{a^2}\vec{e}_x$

轴线其他地方：对时间求平均，垂直于轴线部分抵消

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{ev}{r^2}\frac{a}{r}\vec{e}_x = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{eva}{r^3}\vec{e}_x$$

50

§ 4.2.2 磁场对电流的力与力矩

均匀磁场中的力

线电流：$d\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B}$　　$\vec{F} = \int_L Id\vec{l} \times \vec{B}$

面电流：$d\vec{F} = \vec{i}\,dS \times \vec{B}$　　$\vec{F} = \iint_S \vec{i}\,dS \times \vec{B}$

体电流：$d\vec{F} = \vec{j}\,dV \times \vec{B}$　　$\vec{F} = \iiint_V \vec{j}\,dV \times \vec{B}$

运动电荷：$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$

51

均匀磁场中的力矩

线电流：$\vec{M} = \int_L \vec{r} \times (Id\vec{l} \times \vec{B})$

面电流：$\vec{M} = \iint_S \vec{r} \times (\vec{i} \times \vec{B})dS$

体电流：$\vec{M} = \iiint_V \vec{r} \times (\vec{j} \times \vec{B})dV$

运动电荷：$\vec{M} = q\vec{r} \times (\vec{v} \times \vec{B})$

52

【例】求一电流强度为I的载流线圈在均匀磁场B中所受的力与力矩。

【解】由于 $d\vec{l} = d\vec{r}$

$$\vec{F} = \oint_L I\,d\vec{r} \times \vec{B} = I\left(\oint_L d\vec{r}\right) \times \vec{B} = 0$$

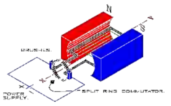
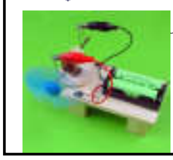
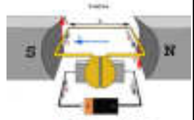
$$\vec{M} = \oint_L \vec{r} \times (Id\vec{r} \times \vec{B}) = I\left(\frac{1}{2}\oint_L \vec{r} \times d\vec{r}\right) \times \vec{B} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

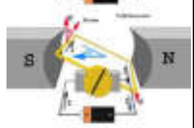
磁矩：$\vec{\mu} = I\vec{S}$

闭合线圈在均匀磁场中受力为零，力矩不为零

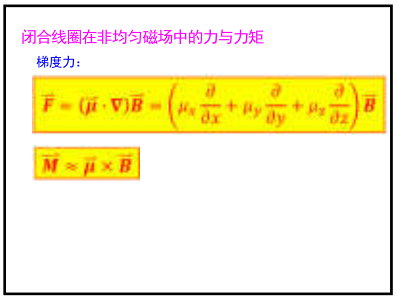
53

直流电动机

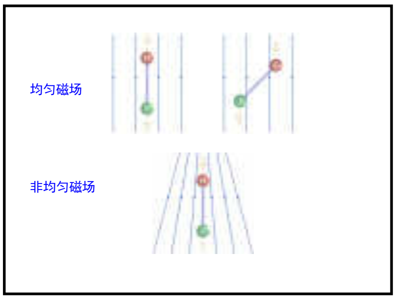






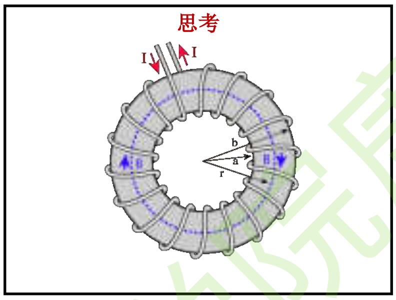
54



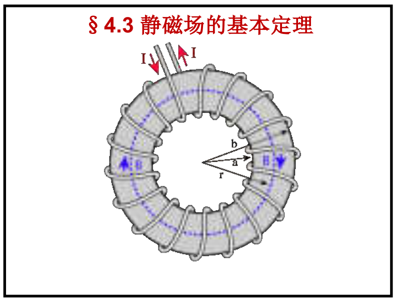
55



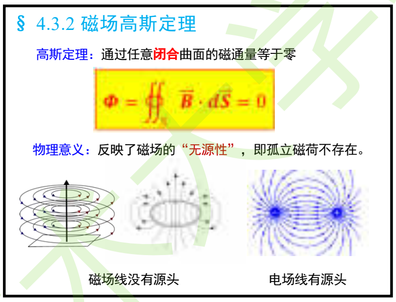
56



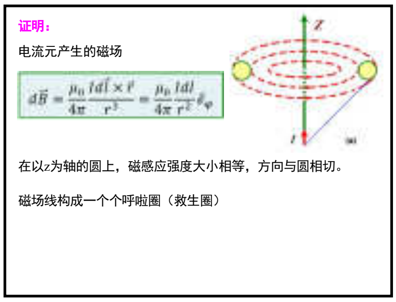
57



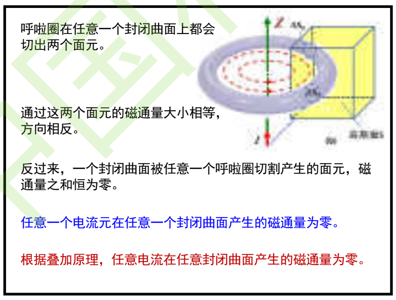
58



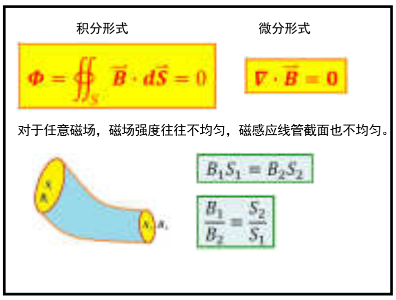
59



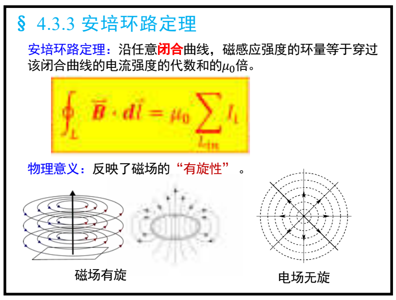
60



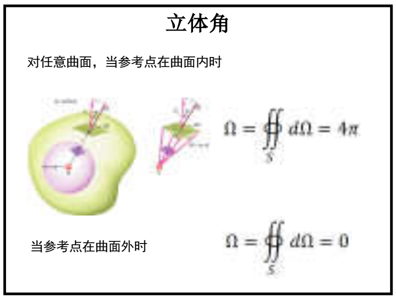
61



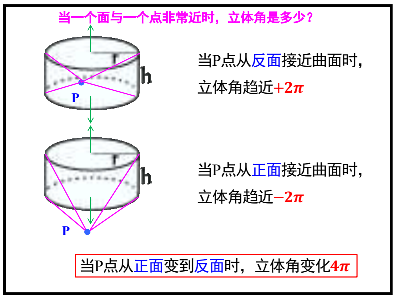
62



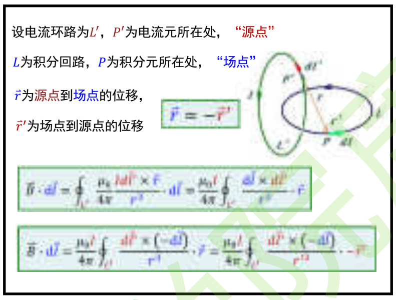
63



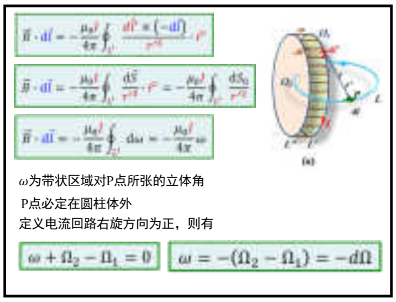
64



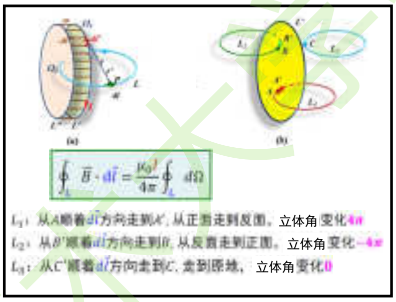
65



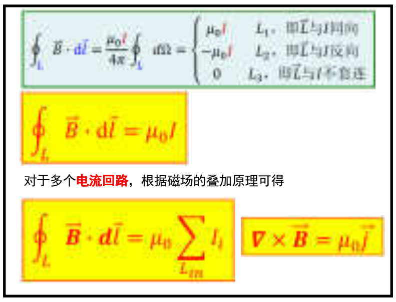
66



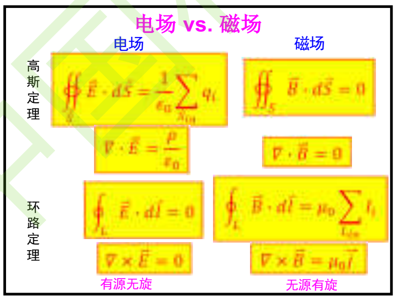
67



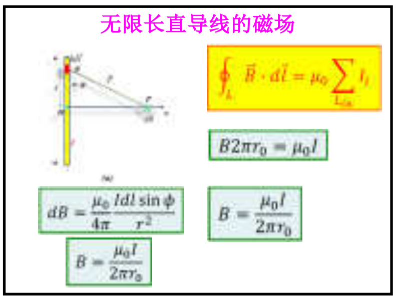
68



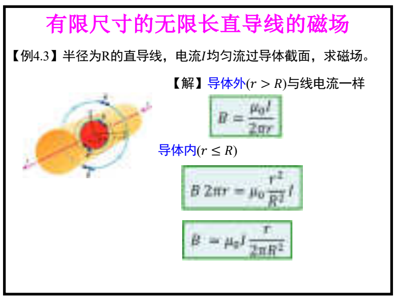
69



70

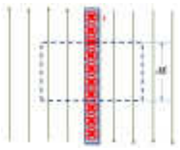


71



72

无限大面电流的磁场分布



两侧磁场大小相等，方向相反

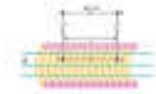
$$2B\Delta L = \mu_0 i\,\Delta L$$

$$B = \frac{\mu_0 i}{2}$$

匀强磁场

73

理想螺线管的磁场分布



由对称性可知管内和管外磁场均平行于螺线管的长轴

由安培环路定理可知管内管外均为匀强磁场

由环形电流在轴线上的磁感应强度易得理想螺线管轴线上

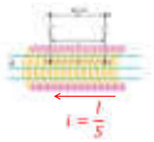
$$B_{r=0} = \mu_0 nI \qquad B_i = \mu_0 nI$$

$$B_iL - B_eL = \mu_0 nLI \qquad B_e = 0$$

螺线管表面电磁力的压强是多少？

74

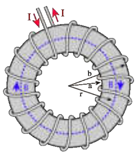
事实上，管外磁场有垂直分量



$$B_{\perp i} = 0$$

$$B_{\perp e} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

75



$$B\,2\pi r = \mu_0 NI$$

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$$

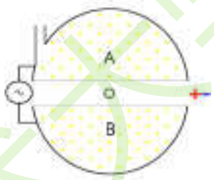
当环比较细时，$a \approx b \approx R$

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi R} = \mu_0 nI$$

与无限长直螺线管结果一致

76

§ 4.4 带电粒子在磁场中的运动



77

§ 4.4.1 带电粒子在均匀场中的运动

洛伦兹力

带电粒子在磁场中的受力 $\vec{F} = q\vec{v}\times\vec{B}$

$$\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = q\vec{v}\times\vec{B}$$

$$m\frac{d\vec{v}}{dt}\cdot\vec{v} = \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}mv^2\right) = q\left(\vec{v}\times\vec{B}\right)\cdot\vec{v} = 0$$

洛伦兹力不对粒子做功，功率为零。动能不变。速率不变。

78

带电粒子在均匀磁场中的运动

设磁场的方向为z

$$\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = q\vec{v}\times\vec{B}$$

$$\begin{cases} F_x = m\dfrac{dv_x}{dt} = qv_yB \\ F_y = m\dfrac{dv_y}{dt} = -qv_xB \\ F_z = m\dfrac{dv_z}{dt} = 0 \end{cases}$$

$$\frac{d^2v_x}{dt^2} = \frac{qB}{m}\frac{dv_y}{dt} = -\left(\frac{qB}{m}\right)^2 v_x$$

$$v_x = v_\perp\cos(\omega t + \varphi) \qquad \omega = \frac{qB}{m}$$

$$v_y = \frac{m}{qB}\frac{dv_x}{dt} = -v_\perp\sin(\omega t + \varphi)$$

z方向作匀速直线运动

$$v_x^2 + v_y^2 = v_\perp^2 = v_{x0}^2 + v_{y0}^2$$

$$v_\perp = \sqrt{v_{x0}^2 + v_{y0}^2}$$

横向速率恒定

79

$$\begin{cases} v_x = v_\perp\cos(\omega t + \varphi) \\ v_y = -v_\perp\sin(\omega t + \varphi) \end{cases} \qquad \begin{cases} x = x_0 + \dfrac{v_\perp}{\omega}\sin(\omega t + \varphi) \\ y = y_0 + \dfrac{v_\perp}{\omega}\cos(\omega t + \varphi) \end{cases}$$

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = \left(\frac{v_\perp}{\omega}\right)^2 = R^2$$

$$R = \frac{v_\perp}{\omega} = \frac{mv_\perp}{qB}$$

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

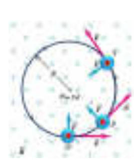
在与磁场垂直的平面里做匀速圆周运动

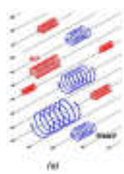
在与磁场平行的方向做匀速直线运动

轨迹为以磁场方向为轴的螺旋运动

周期与粒子速度无关

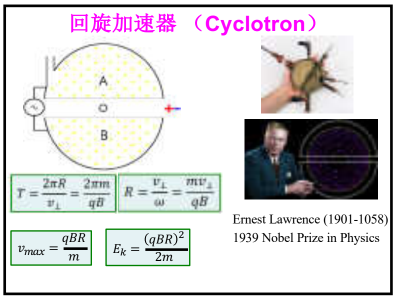
80



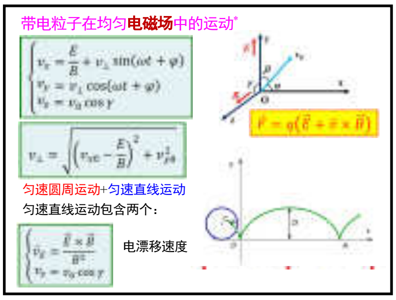


螺距：$h = v_{\parallel}T = \frac{2\pi m v_{\parallel}}{qB}$

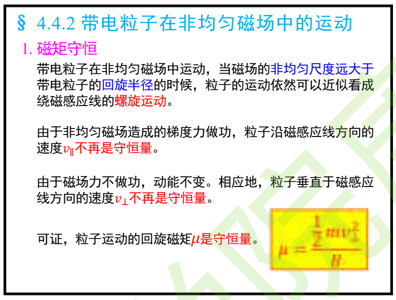
81



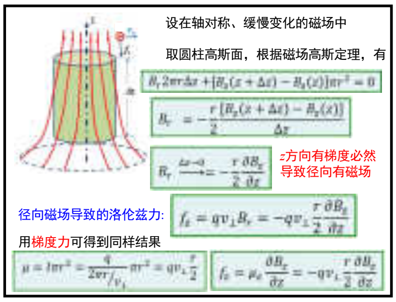
82



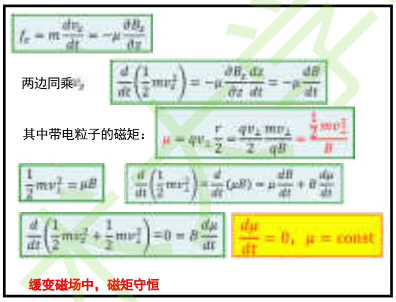
83



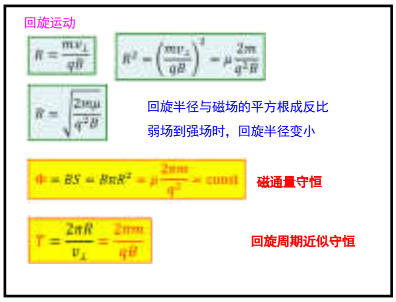
84



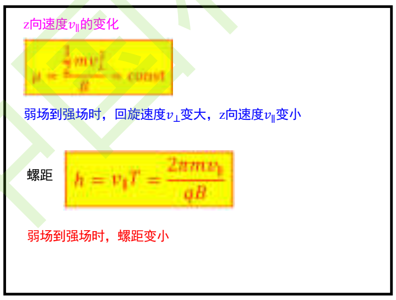
85



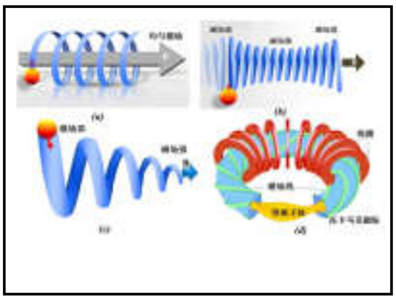
86



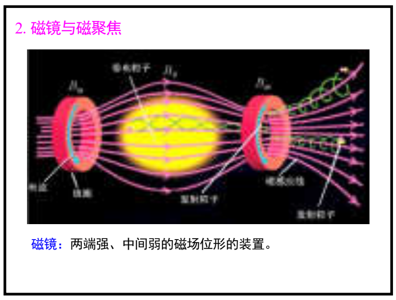
87



88



89



90

$$\mu = \frac{\frac{1}{2}mv_\perp^2}{B} = \text{const}$$

弱场到强场时，回旋速度$v_\perp$变大，z向速度$v_\parallel$变小

$v_\parallel = 0$时，粒子不能再往前走，返回，永远无法逃出磁镜

设粒子在磁镜最弱处运动速度与磁场夹角为θ，设到达磁场最强处恰好$v_\parallel = 0$，根据磁矩守恒，有

$$\mu = \frac{\frac{1}{2}mv_\perp^2}{B} = \frac{\frac{1}{2}mv^2\sin^2\theta}{B_0} = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{B_m}$$

$$\sin\theta_m = \sqrt{\frac{B_0}{B_m}} = \sqrt{\frac{1}{R_m}}$$

$\theta \geq \theta_m$，粒子被约束在磁镜里

$\theta < \theta_m$，粒子穿过磁镜而损失

91



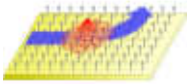
92

磁聚焦


加上磁场后，小角度内发射的粒子在经过一个周期后回到同一个点，达到聚焦目的。

93

§4.5 霍尔效应

94

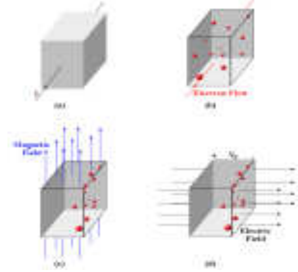
霍尔效应是磁电效应的一种。这一现象是霍尔与1879年在研究金属的导电机制时发现。

电流流过处在磁场中的金属时，在垂直于电流和磁场方向上，金属导体出现电势差。

但当时电子还没有被发现，人们无法解释霍尔现象。金属的霍尔效应也很弱，没有得到应用。

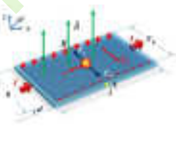
后来发现半导体也有霍尔效应，而且比金属强得多。随着半导体技术的发展，霍尔效应得到广泛的应用。

95



96

电子流过处在磁场中的半导体时，会因受到洛伦兹力而偏转



$$\vec{F}_m = -e\vec{v} \times \vec{B} = evB\vec{e}_y$$

载流子堆积在半导体一侧，会形成电场，给载流子施加电场力。

$$\vec{F}_e = -e\vec{E}_h = -e\frac{V_h}{b}\vec{e}_y$$

$$evB = e\frac{V_h}{b}$$

电场力抵消洛伦兹力，最终达到平衡。载流子不再偏转，电势差不在变化。

$$V_h = vBb$$

97

$$I = jS = nev \cdot bd$$

$$v = \frac{I}{nebd}$$

$$V_h = vBb = \frac{IB}{ned} = R_h\frac{IB}{d} = K_h IB$$

$$R_h = \frac{1}{ne} = \frac{1}{\rho_e}$$

Hall constant R_h (cm³/As)			
metals	[illegible]	InSb	[illegible]
Ge	[illegible]	GaAs	[illegible]
Si	[illegible]		

霍尔系数。与载流子密度有关，表征材料产生霍尔效应的本领。

$$K_h = \frac{R_h}{d}$$

霍尔元件的灵敏度。表征元件产生霍尔效应的本领。灵敏度越大，产生的电势差越大。

98

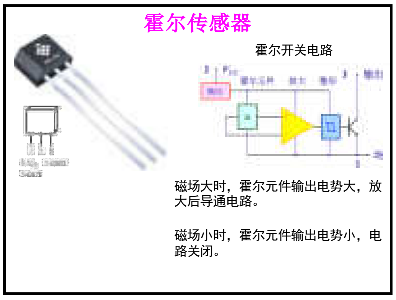
霍尔效应的应用

可测载流子的浓度。

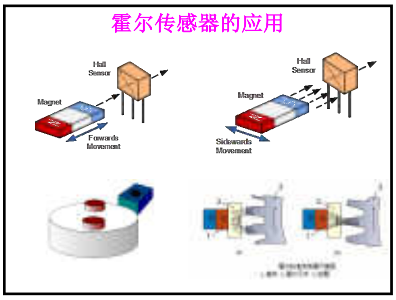
可测载流子带正电荷还是负电荷。即判断半导体是P型还是N型。

可测磁感应强度。是磁场测量的常用方法。

99


霍尔传感器
霍尔开关电路
磁场大时，霍尔元件输出电势大，放大后导通电路。
磁场小时，霍尔元件输出电势小，电路关闭。

100


霍尔传感器的应用
Hall Sensor
Magnet
Forwards Movement
Hall Sensor
Magnet
Sidewards Movement

101