稳恒磁场

10.1 电流 电动势

电流密度

$$oldsymbol{j} = rac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}S_{\perp}}oldsymbol{n_0} \Rightarrow j = rac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}S} \Rightarrow \mathrm{d}I = oldsymbol{j}\mathrm{d}oldsymbol{S} \Rightarrow I = \int_S oldsymbol{j}\mathrm{d}oldsymbol{S} \ j = nqv \, ec{oldsymbol{g}} j = nev$$

电动势

- 电源:提供 F_k 的装置
- F_k : 非静电力,把正电荷从电势较低点(比如电源负极)送到电势较高点(如电源正极)的作用力。

$$m{E_k} = rac{m{F_k}}{q},$$
 电源电动势 $E = \oint_L m{E_k} \mathrm{d}m{l} = \int_-^+ m{E_k} \mathrm{d}m{l}$

10.2 磁场 磁感应强度

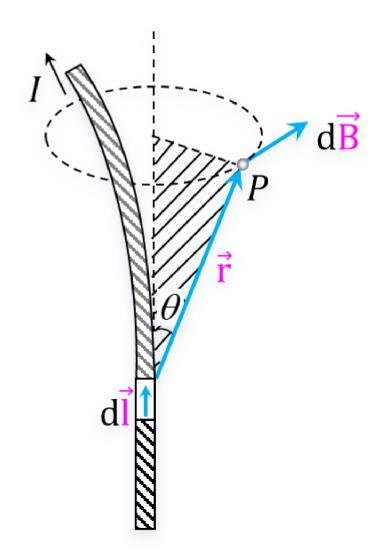
- 磁力是运动电荷之间相互作用的体现
- 磁感应强度 $m{B}$: 大小为 $rac{F_{
 m max}}{qv}$,方向是试验电荷所受磁场力为零时的方向, $m{v} imes m{B}$ 和 $m{F}$ 同向
- 磁通量 Φ_m : 穿过磁场中某一曲面的磁感线数量

磁场中的高斯定理

 $\oint_S m{B} \mathrm{d} m{S} = 0$,说明了磁场是无源场

毕奥-萨伐尔定律

计算的是任一电流元在空间某点产生的磁感应强度。



$$\mathrm{d}m{B} = rac{\mu_0}{4\pi} \cdot rac{I\mathrm{d}m{l} imes m{e_r}}{m{r}^2} = rac{\mu_0}{4\pi} \cdot rac{I\mathrm{d}m{l} imes m{r}}{m{r}^3}$$

其中 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \mathrm{T \cdot m/A}$ (或 H/m) 是真空中的磁导率。

用数学式表示: $dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin \varphi}{r^2}$ 。

应用

1. 无限长直导线

令 $\mathrm{d}l = a\sec^2\beta\mathrm{d}\beta$ ($l = a\tan\beta$) , $B = \int_L \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I\mathrm{d}l\sin\alpha}{r^2} = \frac{\mu_0I}{4\pi a} (\sin\beta_2 - \sin\beta_1)$, 面 $\beta_1 \to -\frac{\pi}{2}$,得 $B = \frac{\mu_0I}{2\pi a}$ 。

2. 半无限长直导线

$$eta_1=0,\;\;eta_2 orac{\pi}{2},\;\;$$
得 $B=rac{\mu_0I}{4\pi a}$ 。

3. 有限长直导线

$$B=rac{\mu_0 I}{4\pi r_0}(\cos heta_1-\cos heta_2)$$

4. 圆环中心点

$$B=rac{\mu_0 I}{2R}$$

5. 圆环轴上一点

由 对 称 性 , **
$$B_{\perp} = \int \mathrm{d}B_{\perp} = 0$$
**; $\mathrm{d}B_p = \mathrm{d}B\sin\theta$, $B = \int \mathrm{d}B_p = \int \mathrm{d}B\sin\theta = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{IR}{r^3} \int_0^{2\pi R} \mathrm{d}l = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I\pi R^2}{x^3}$

6. 半圆环中心处

$$B = rac{\mu_0 I}{4R}$$

7. 螺线管内部(近似成外部的 B为0、内部的 B均匀)

$$B = rac{\mu_0}{2} n I(\coseta_2 - \coseta_1)$$

无限长: $B = \mu_0 nI$ 半无限长: $B = \frac{\mu_0 nI}{2}$

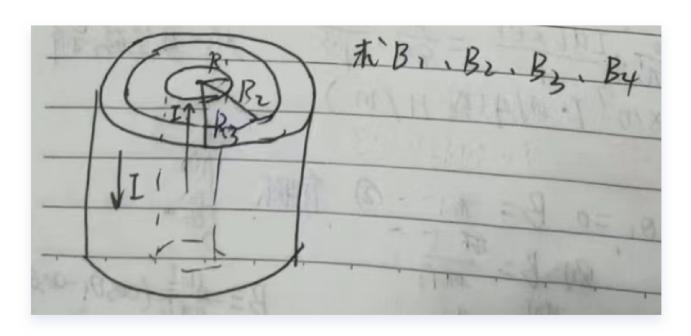
10.3 安培环路定理

$$\oint m{B} \mathrm{d}m{l} = \mu_0 \sum I_i = \mu_0 I$$

在恒定电流的磁场中,磁感应强度沿任何闭合路径一周的线积分(即环路积分),等于闭合路径 内所包围并穿过的电流的代数和的 μ_0 倍,而与路径的形状大小无关。

应用

只要选择一条合适的回路, 就可以算出B。



10.4 磁场对载流导体的作用

安培定律

$$\mathrm{d}m{F}=\mathrm{d}m{I} imesm{B},\mathrm{d}m{I}=I\mathrm{d}m{l}\Rightarrowm{F}=\int_L\mathrm{d}m{F}$$

注意, 这不是磁力矩。

反应载流线圈性质的物理量。

$$oldsymbol{m} = ISoldsymbol{e}_n$$

I是线圈中的电流,S是载流线圈所围面积, $m{e}_n$ 是线圈平面的法向(右手定则)。 如果线圈有N匝,则有 $m{m}=NISm{e}_n$ 。

磁力矩M

$$oldsymbol{M} = oldsymbol{m} imes oldsymbol{B}$$

磁力的功

$$W = I\Delta\Phi$$

10.5 磁场对运动电荷的作用

洛伦兹力

$$oldsymbol{f} = qoldsymbol{v} imes oldsymbol{B}$$

洛伦兹关系式

如果带电粒子在同时存在电场和磁场的空间运动,则有

$$oldsymbol{F} = q(oldsymbol{E} + oldsymbol{v} imes oldsymbol{B})$$

带电粒子在均匀磁场中的运动

- 1. $\boldsymbol{v} \parallel \boldsymbol{B}$, $\sin \theta = 0$, 带电粒子受洛伦兹力为0, 做匀速直线运动
- 2. $m{v} \perp m{B}, \; m{f} = qvB$ 提供向心力 $F = rac{mv^2}{R}, \;$ 做匀速圆周运动, $R = rac{mv}{qB}$
- 3.v与B斜交成 θ 角,带电粒子做螺旋运动。

霍尔效应

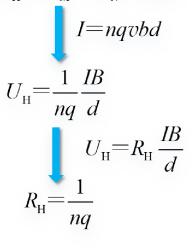
10.5.3 霍耳效应

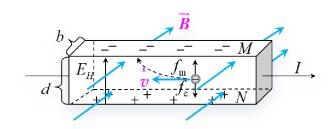
电场力: $f_{e} = qE = q \frac{U_{M} - U_{N}}{h}$

洛仑兹力: $f_{\rm m} = qvB$

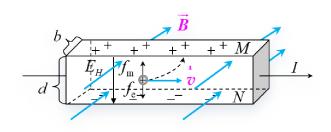
平衡条件: $qvB = q \frac{U_M - U_N}{h}$

电势差: $U_{\rm H} = U_{\rm M} - U_{\rm N} = bvB$





负电荷定向运动



正电荷定向运动

10.6 磁介质

• 有磁介质时,总磁场: $oldsymbol{B} = oldsymbol{B}_0 + oldsymbol{B}' = \mu_0 \mu_r oldsymbol{H} = \mu oldsymbol{H}$

磁导率μ: μ = μ₀μ_r

• 相对磁导率 μ_r : $\mu_r = \frac{B}{B_0}$

磁化强度 H

磁介质中的安培环路定理

$$\oint_L \boldsymbol{H} \mathrm{d} \boldsymbol{l} = \sum I$$

$$oldsymbol{\mu}_0=(1-rac{1}{\mu_r})rac{oldsymbol{B}}{\mu_0}$$