电磁学.

§九. 真空中静电场

电荷. 守恒. 量子化, $e=1.6\times10^{-19}C$. 相对论不变.

库仑定律 $F_{12} = -F_{21} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}$

电场力叠加. $\vec{F_1} = \sum_{i=2}^{n} \vec{F_{1i}}$

电场. $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}$ 电场叠加.

$dq=\rho dV$. $dq=\sigma dS$. $dq=\lambda dl$.

电通量.

$d\phi_e = EdS\cos\theta = \vec{E}\cdot d\vec{S}$.

$\phi_e = \int_S \vec{E}\cdot d\vec{S}$.

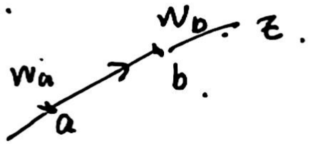
高斯定理.

$\phi_e = \iint_S \vec{E}\cdot d\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon_0}\sum q_i$. (有源).

—— 大学下.

电势能. 静电场环路定理 (无旋).

电场为保守场, $\oint \vec{E}\, d\vec{l} = 0$.



$A_{ab} = \int_a^b \vec{F}\cdot d\vec{r} = W_a - W_b = -\Delta W$.

$W(x) = W(x_0, x) = \int_x^{x_0} \vec{F}\cdot d\vec{r}$.

$W_p = A_{p\infty} = q_0 \int_p^\infty \vec{E}\cdot d\vec{l}$.

电势.

$U_p = \frac{W_p}{q_0} = \int_p^\infty \vec{E}\cdot d\vec{l}$. $U_{ab} = U_a - U_b$.

$A_{ab} = q_0 U_{ab}$. $W_a = q_0 U_a$.

电势叠加. $U_p = \sum_{i=1}^{n} U_{pi}$

连续: $\Rightarrow dU = \frac{dq}{4\pi\varepsilon_0 r}$. $U = \int dU$.

$\Rightarrow U = \int_p^\infty \vec{E}\, d\vec{l}$.

等势面.

电势梯度.

$\vec{E} = -\nabla U$.

§十三、静电场中的导体和电介质.

静电感应，静电平衡 → $\begin{cases}\text{内部 } \vec{E}=\vec{0} \\ \text{外部 } \vec{E}\perp S. \\ \text{等势体，等势面.}\end{cases}$

↙ 内部无净电荷，电荷在表面。 $E=\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$

分布规律： $\sigma \propto$ 曲率.

空腔：

① 腔内无电荷时，内表面无电荷，导体内部及空腔内 $E=0$.

② 腔内有电荷时，可激发导体内外表面电荷，但腔内电荷位置不影响导体外表面电荷分布. (接地时、 $u=0$. 结合电荷守恒).

⇒ 静电屏蔽.

电容

$C=\frac{q}{u}$. $\quad C=\frac{q}{u_A-u_B}$.

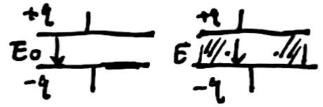
孤立球 $C=4\pi\varepsilon_0 R$.

$E\to u\to C$.

串联： $\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\cdots+\frac{1}{C_n}$.

并联： $C=C_1+C_2+\cdots+C_n$.

电介质.



$E=\frac{E_0}{\varepsilon_r}$ ↳ 相对介电常数. $\quad C=\varepsilon_r C_0$.

极化.(无极：位移. 有极：取向).

$\vec{P}=\frac{\sum\vec{p}}{\Delta V}$ 电极化强度矢量. $\quad P=\chi_e\varepsilon_0 E$ → 合场强!

↳ 电极化率.

$\sigma'=P\cos\theta=\vec{P}\cdot\vec{e}_n$.

电介质中场强. $E=\frac{E_0}{1+\chi_e}=\frac{E_0}{\varepsilon_r}$.

$\varepsilon_r=(1+\chi_e)$ $\quad \varepsilon=\varepsilon_r\varepsilon_0$. ↳ 介电常数. $\quad \varepsilon_0, \chi_e, \varepsilon_r$.

电介质中 Gauss定理.

$\oint_S \vec{D}\cdot d\vec{S}=\sum q_0$.

电位移

$\vec{D}=\varepsilon_0\vec{E}+\vec{P}$.
$=(1+\chi_e)\varepsilon_0\vec{E}$
$=\varepsilon_r\varepsilon_0\vec{E}=\varepsilon\vec{E}$.

静电场的能. $W=\int u\,dq$

积分. 点电荷： $W=\frac{1}{2}qu$.

点电荷系统： $W=\frac{1}{2}\sum q_i u_i$.

电容器： $W=\frac{q^2}{2C}=\frac{1}{2}qu$.

电场能量

$w_e=\frac{W}{V}=\frac{1}{2}\varepsilon E^2=\frac{1}{2}DE$

$W=\int_V w_e\,dV$. $\quad$ 求力：虚功.

第十四. 电流与磁场.

电流. 载流子. $I = \frac{dq}{dt}$

电流密度. $j = \frac{dI}{dS_{\perp}}$. $I = \int_S \vec{j}\, d\vec{S}$.

漂移运动. v_d 漂移速度.

$\vec{j} = -ne\vec{v}_d$.

稳恒电流. $\oint \vec{j}\, d\vec{S} = 0$.

欧姆定律

$I = \frac{U}{R}$. $R = \rho\frac{l}{S}$. $\gamma = \frac{1}{\rho}$. $\rho_t = \rho_0(1+\alpha T)$.
↳ 电导率.

微分形式: $\vec{j} = \gamma\vec{E}$.

电动势.

$\mathcal{E} = \frac{A_k}{q}$. $U = \mathcal{E} - Ir$.

磁场.

磁感应强度 $\vec{B}$. $\vec{F} = q\vec{v}\times\vec{B}$. 磁感应线.

毕奥-萨伐尔定律.

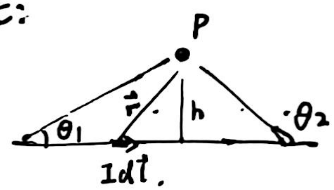
$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Id\vec{l}\times\vec{r}}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Idl\sin\theta}{r^2}$

真空磁导率. $\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}\ N/A^2$.

叠加原理.

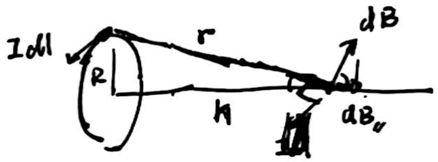
$\vec{B} = \int d\vec{B}$.

结论:



$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I}{h}[\cos\theta_1 - \cos\theta_2]$.

无限长: $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi h}$.

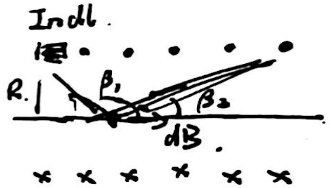


$B = \frac{\mu_0}{2}\frac{IR^2}{r^3}$.

圆心处: $B = \frac{\mu_0}{2}\frac{I}{R}$.

圆弧: $B = \frac{\mu_0}{2}\frac{I}{R}\frac{\theta}{2\pi}$.

磁矩 $\vec{p}_m = NIS\cdot\vec{e}_n$.



$B = \frac{\mu_0}{2}nI[\cos\beta_2 - \cos\beta_1]$

$L \gg R$ 时 $B = \mu_0 nI$.

运动电荷磁场.

$\vec{B} = \mu_0\varepsilon_0\vec{v}\times\vec{E}$. ($v \ll c$)

磁通量 $\Phi = \iint_S B\cdot dS$. $T\cdot m^2$, Wb.

磁场高斯定理. $\oint_S B\cdot dS = 0$. 无源.

安培环路定理. $\int_L B\cdot dl = \mu_0\sum I$. (闭合载流导线)
有旋.

磁场~~中的磁介质~~.

磁场对电流的作用.

安培力. $d\vec{F} = Id\vec{l}\times\vec{B}$.　　I叉B! 顺序.

$\vec{F} = \int_L Id\vec{l}\times\vec{B}$.

载流平面线圈磁力矩

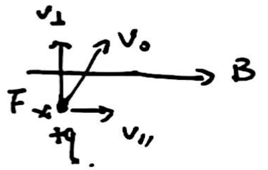
$d\vec{M} = \vec{r}\times(Id\vec{l}\times\vec{B})$.

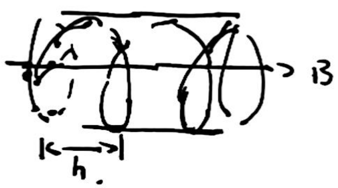
均匀: $\vec{M} = \vec{p}_m\times\vec{B} = NBIS\sin\theta$.

部分磁力做功.

$dA = I\,d\phi$.

带电粒子在磁场中的~~作用~~运动.





沿B: 匀直

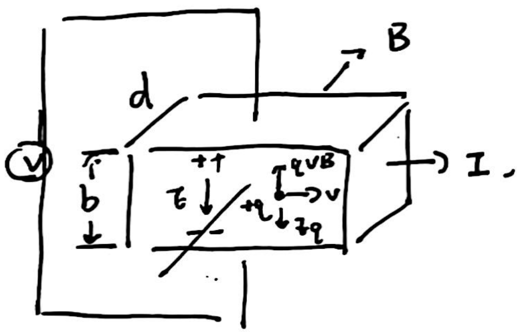
垂B: 匀圆周.

$R = \frac{mv_\perp}{qB}$.　$T = \frac{2\pi m}{qB}$.　$h = \frac{2\pi m}{qB}v_{//}$.

应用: 质谱仪, 回旋加速器. (同步). 磁聚焦.

找回高中记忆即可.

霍尔效应.



$qvB = Eq$.　$I = nqSv$.　$U = E\cdot b$

$\Rightarrow U = \frac{IB}{nqd}$.

$R_H = -\frac{1}{ne}$ 或 $R_H = \frac{1}{nq}$.

↳ 霍尔系数.

§十五、磁场中的磁介质.

磁介质的分类.

$B = B_0 + B'$.

顺磁质. $B > B_0$

抗磁质. $B < B_0$

铁磁质. $B \gg B_0$.

固有磁矩 $\vec{p}_m$ · 外场作用.正向.

附加磁矩 $\Delta\vec{p}_m$ 进动.反向.

$\sum \vec{p}_m \gg \sum \Delta\vec{p}_m$.

$\sum \vec{p}_m = 0$.

磁化强度 $\vec{m} = \dfrac{\sum \vec{p}_m}{dV}$.

$|\vec{m}| = j_m$ → 磁化电流线密度.

$\oint_L \vec{m} \cdot d\vec{l} = \sum I_m$.

磁场强度.

$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 (\sum I_0 + \sum I_m)$

$\Rightarrow \oint_L (\dfrac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{m}) d\vec{l} = \sum I_0$.

磁场强度 $\vec{H} = \dfrac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{m}$.

有介质时的安培环路定理

$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum I_0$.

有介质时的磁场高斯定理

$\int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$. (仍无源).

$\vec{H}, \vec{B}, \vec{m}$ 关系.

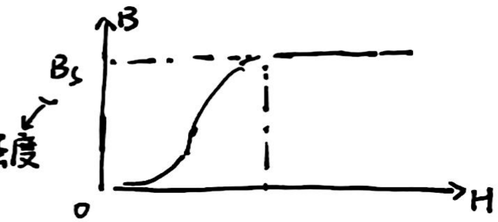
$\vec{m} = \chi_m \vec{H}$. (χ_m → 磁化率.)

$\vec{B} = \mu_0 (1+\chi_m) \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H} = \mu \vec{H}$. ($\mu_r$ → 相对; μ → 磁导率.)

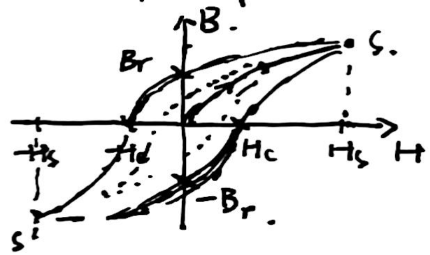
铁磁质.

1. $B \gg B_0$. $B' \gg B_0$. μ_r $10^2 \sim 10^3$. (磁畴).
2. μ_r 不是常量.
3. 外场停止作用后保留部分磁性.
4. 居里点. T_c. $\forall T > T_c$, 铁磁质为顺磁质.

起始磁化曲线

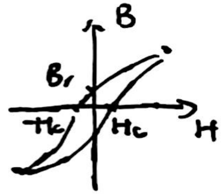


磁滞回线.



B_r: 剩磁.

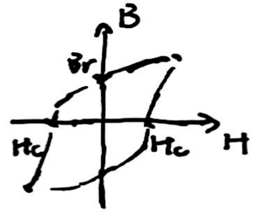
H_c. 矫顽力.



软磁材料.

H_c小.

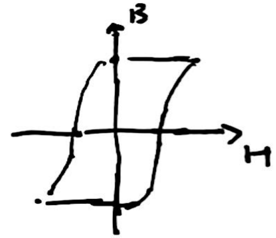
交变磁场



硬磁材料

H_c大. B_r大

永磁铁.



矩形材料

$B_r \approx B_s$.

信息储存.

§十六. 电磁感应

电生磁：电流的磁效应.

磁生电：电磁感应.

法拉第电磁感应定律，

$\varepsilon_i = -\frac{d\phi}{dt}$ （负号即楞次定律）.

$\varepsilon_i = -\frac{d\psi}{dt}$. $\psi = \sum_i^N \phi_i$. 全磁通.

$\varepsilon_i = -N\frac{d\phi}{dt}$.

动生电动势.（切割磁感线运动）.

$d\varepsilon_i = (\vec{v}\times\vec{B})dl$.

$\varepsilon_i = \int_L (\vec{v}\times\vec{B})dl$

铜棒平动 $\varepsilon_i = Blv$

铜棒/盘转动 $\varepsilon_i = \frac{1}{2}Bl\omega^2$.

也可用法拉第计算：与假想不切割磁感线的

假想导体组成回路.

感生电动势.（磁场变化）.

涡旋电场.

$\oint_L \vec{E}\,d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\,d\vec{S}$.

有旋无源电场.

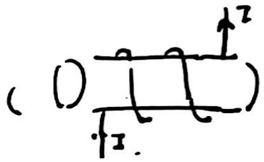
E与 $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ 反右螺旋.

也可用法拉第计算：补径向直导线.

自感.

$L = \frac{d\psi}{dI}$. 通常 $L = \frac{\psi}{I}$ 或 $\psi = LI$.

$\varepsilon_i = -L\frac{di}{dt}$.

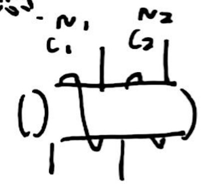


$B = \frac{\mu_0 NI}{l}$. $\psi = \frac{\mu_0 N^2 IS}{l}$

$d\psi = \frac{\mu_0 N^2 S}{l}dI$.

$\varepsilon_i = \frac{d\psi}{dt} = -\frac{\mu_0 N^2 S}{l}\frac{dI}{dt}$.

互感.



$\psi_{21} = \mu_0\frac{N_1N_2}{l}I_1\pi r^2$

$\varepsilon_{21} = -\frac{d\psi_{21}}{dt} = -\underbrace{\frac{\mu_0 N_1 N_2 \pi r^2}{l}}_{M_{21}}\frac{dI_1}{dt}$.

$M = \frac{\psi_{21}}{I_1} = \frac{\psi_{12}}{I_2}$.

$M^2 = L_1L_2$.

一般 $M = k\sqrt{L_1L_2}$.
k 偶合系数

自感磁能.

$W_m = \frac{1}{2}LI_0^2$.

磁能密度

$w_m = \frac{1}{2}\vec{B}\cdot\vec{H}$.

$W_m = \int w_m\,dV$.