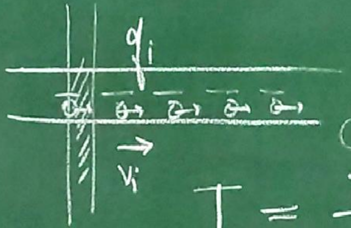
1/ **Magnetostatic**

توزیع بار -▷ حرکت -▷ میدان مغناطیسی

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

-▷ (جریان بار پایا) فرض Steady state



$$I = \frac{q}{\Delta t} \quad \text{Ampere}$$

توزیع جریان : $J \equiv \dfrac{I}{\Delta A_\perp}$ جریان عبوری در واحد سطح عمود

electrostatic $\dfrac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ Magnetostatic $\dfrac{\partial \vec{J}}{\partial t} = 0$

۲: رابطه پیوستگی (موضعی)

$$I = \int_S J \, da_\perp = \int \vec{J} \cdot d\vec{a}$$

ایده: پایستگی بار

2/ Gauss law

$$\oint_S \vec{J}\cdot d\vec{a} = \int_v (\vec{\nabla}\cdot\vec{J})\,d\tau = -\frac{d}{dt}\underbrace{\int_v \rho\, d\tau}_{\text{بار کل در المان حجم}} = -\int_v \frac{\partial \rho}{\partial t}\, d\tau$$

II کاهش بار IV

جریان به سمت بیرون باشد ($\vec{J}\cdot\hat{n}>0$ بیرون)

برای هر المان حجم داریم:

$$\boxed{\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla}\cdot\vec{J} = 0}$$

Conservation of Charge

بدون چشمه و چاهک

electrostatic: $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \rightarrow \vec{\nabla}\cdot\vec{J} = 0$

magnetostatic: $\frac{\partial \vec{J}}{\partial t} = 0$

$$\sum_i q_i v_i \xrightarrow{\text{پیوسته}} \int_{\text{line}} I\, d\vec{l} \rightarrow \int_{\text{Surface}} \vec{K}\, da \rightarrow \int_V \vec{J}\, d\tau$$

در نیرو/میدان ترکیب qv ظاهر می‌شود

جریان در واحد طول

جریان در واحد سطح

3/

Potential φ ← Maxwell I, III $\left\{ \vec{\nabla}\cdot ,\ \vec{\nabla}\times \right.$ ← (تولیدِ $\vec{E}$ ز پدیده ایستا، ذرات باردار ساکن) قانون کولن — الکترواستاتیک

سیر تاریخی مغناطواستاتیک

معادله لاپلاس (پواسون)

Maxwell II, IV $\left\{ \vec{\nabla}\cdot ,\ \vec{\nabla}\times \right.$ ← (تولیدِ $\vec{B}$ ز پدیده ایستا) قانون بیو-ساوار — مغناطواستاتیک

Multipole Expans.

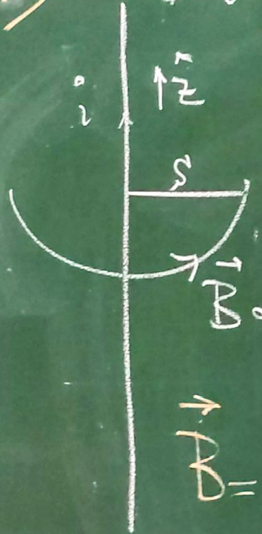
دوقطبی الکتریکی

میدان $\vec{E}$ در ماده

Potential ($\vec{A}$ پتانسیل برداری) → معادله پواسون برای $\vec{A}$ → Multipole Expansion → (دوقطبی مغناطیسی) mag. → فصل 7

gauge freedom آزادی پیمانه ای

4/ Biot-Savart $\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{\vec{I} \times \hat{r}}{r^2} dl' = \frac{\mu_0}{4\pi} I \int \frac{\vec{dl'} \times \hat{r}}{r^2}$



$\vec{r} = \vec{r} - \vec{r}'$

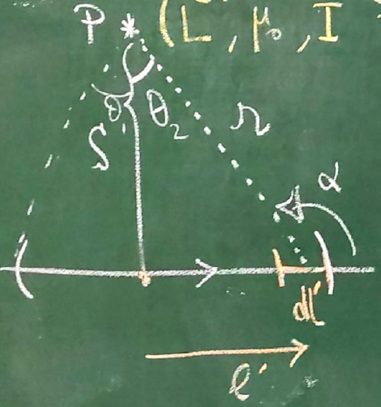
"Source"

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ N/A^2$

$\vec{B} \propto \hat{\phi}$

(همواره $\vec{B}$ تابع L^{-1}, μ_0, I)

$$\begin{cases} \vec{dl'} \times \hat{r} = dl' \sin\alpha = dl' \cos\theta \\ l' = s \tan\theta \rightarrow dl' = \frac{s}{\cos^2\theta} d\theta \\ s = r\cos\theta \end{cases}$$



$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi s} \hat{\phi}$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left(\frac{\cos^2\theta}{s^2}\right)\left(\frac{s}{\cos^2\theta}\right)(\cos\theta)\, d\theta$$

$$= \frac{\mu_0 I}{4\pi s} (\sin\theta_2 - \sin\theta_1)$$

اگر $l \rightarrow \infty$ $\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi s} \hat{\phi}$

4/

$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi}\int \frac{\vec{J}(r') \times \hat{\imath}}{\imath^2}\, d\tau'$$

field point

جای r

$\vec{\nabla}_r \cdot$

$\vec{\nabla}_r \times$

$$\vec{\nabla}\cdot\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\int \vec{\nabla}\cdot\left(\vec{J} \times \frac{\hat{\imath}}{\imath^2}\right) d\tau'$$

$$\vec{\nabla}\cdot(\vec{A}\times\vec{B}) = \vec{B}\cdot(\vec{\nabla}\times\vec{A}) - \vec{A}\cdot(\vec{\nabla}\times\vec{B})$$

$$\vec{\nabla}\cdot\left(\vec{J}\times\frac{\hat{\imath}}{\imath^2}\right) = \frac{\hat{\imath}}{\imath^2}\cdot \underbrace{\vec{\nabla}\times\vec{J}}_{=0} - \vec{J}\cdot\underbrace{\left(\vec{\nabla}_r\times\frac{\hat{\imath}}{\imath^2}\right)}_{=0}$$

$$\vec{\nabla}\cdot\vec{B} = 0$$

Maxwell's III. قانون!

N S

در طبیعت تک قطبی مغناطیسی وجود ندارد.

Rotation $\vec{x}'_i = R_{ij} x_j$

Translation $\vec{x} \to \vec{x}' + \vec{\alpha}$

Parity $\vec{X} \to -\vec{X}$

Time reversal $t \to -t$

q $(\vec{E}, \vec{B})$

$\vec{B}=0, \vec{E}$: نسبی

$\vec{B}, E=0$ اصلا ندارد هوی

$O+$ $\overset{+}{O}$ $\overset{-}{O}$

q^0

$O-$ $-O$ $+O$