1

Magnetic field in Matter

هدف اصلی این بخش

توضیح کیفی درگیری مواد مغناطیسی

Magnetization → مغناطش

پارامغناطیس : spin electron هم جهت

دیامغناطیس

فرومغناطیس

منشأ مغناطیس

اجسام مغناطیسی

$\vec{m} = I\vec{a}$

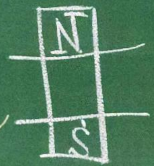
مدل دوقطبی :

حلقه های کوچک جریان

Ampère PoV

Gilbert. P.o.V

سرکار



شبیه

هیچ گاه تک قطبی مغناطیسی $\vec{\nabla}\cdot\vec{B} = 0$

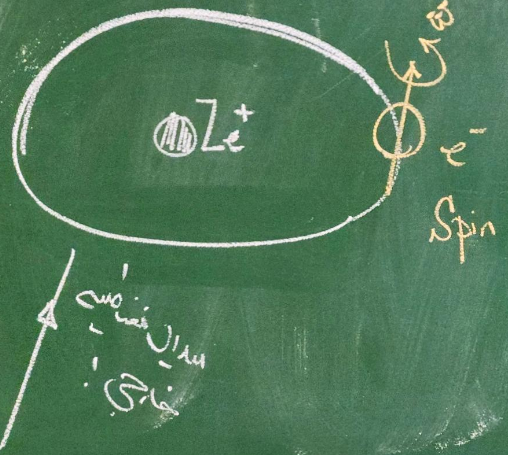
2/

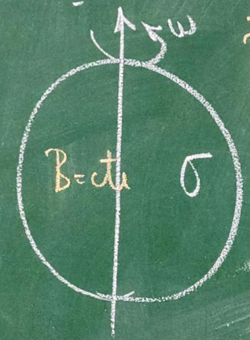
Magnetic Matter ⟷ Ampère P.O.V

Q.M.

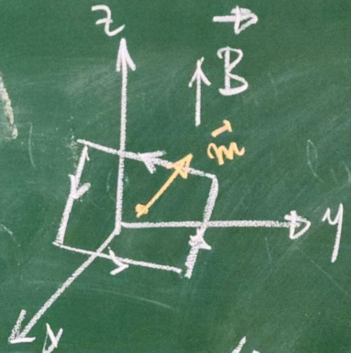
* David Tong (Q.M. / Condused Matter)

اسپین الکترون → $\vec{m}$:





$\vec{B}$: magnet dipole



$$\vec{\tau} = \vec{m} \times \vec{B}$$

$$\vec{\tau}_e = \vec{p} \times \vec{E}$$

اصل طرد پائولی : اتم ها که تعداد الکترون زوج
هستند، ۲ الکترون در یک مدار کل اسپین را ندارند!

$1s^2 : 2s^2\ 2p^6 : 3s^2$ ↑↓

3) ؟ : آوردن اتم ورد : میدان مغناطیسی خارجی =D جهت

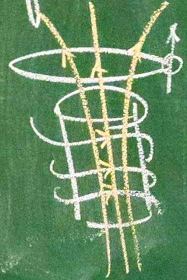
paramagnetism, Ca Al Na

(Hysteresis حافظ مغناطیسی) (Thermal Noise) هم‌جهتی کامل برقرار نمی‌شود!

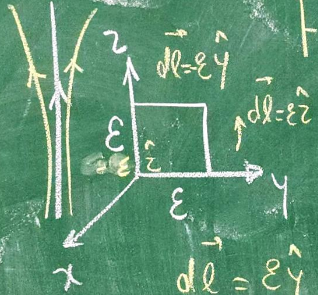
Non-local.

$$\vec{F} = \vec{\nabla}(\vec{m}\cdot\vec{B})$$

uniform $\vec{B}$, $\vec{F}=0$



ایده:



$$\vec{F} = I\oint \vec{dl}\times\vec{B}$$

$$\vec{B}(0,\varepsilon,z) \simeq \vec{B}(0,0,z) + \varepsilon\frac{\partial\vec{B}}{\partial y}$$

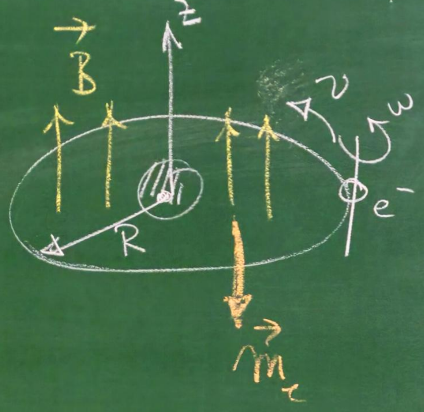
analogue:

$\vec{p} \to \vec{m}$

$\varepsilon_0 \to 1/\mu_0$

$\vec{E} \to \vec{B}$

4 Magnetic field in Matter



$$T = \frac{2\pi R}{v} \quad , \quad I \equiv \frac{-e}{T} = \frac{-ev}{2\pi R}$$

$$\vec{m} = I\pi R^2 \hat{z} = -\frac{1}{2} e v R \hat{z}$$

↓ magnetic dipole

تصحیح به خاطر میدان مغناطیسی

$Z=1$

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{R^2} = m_e \frac{v^2}{R} \Rightarrow \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{R^2} + e\bar{v}B = m_e\frac{\bar{v}^2}{R}$$

1-

5)

$$m_e \frac{v^2}{R} + e\bar{v}B = m_e \frac{\bar{v}^2}{R}$$

$$\frac{e\bar{v}R}{m_e}B = \underbrace{(\bar{v}-v)}_{\Delta v}\underbrace{(\bar{v}+v)}_{2\bar{v}}$$

$$\boxed{\Delta v \simeq \frac{eRB}{2m_e}}$$

تغییرات در سرعت الکترون $\Longrightarrow$ تغییر در دوقطبی مغناطیسی

$$\Delta\vec{m} = -\frac{1}{2}e\,\Delta v\,R\,\hat{z} = -\frac{1}{4}\frac{e^2R^2B}{m_e}$$

دیامغناطیس: تغییرات ممان مغناطیسی **خلاف** جهت میدان مغناطیسی خارجی

"Speed-up" سیم پیچ‌ها که تحریک می‌شوند مانند مغناطیس خواهند

خاصیت دیامغناطیس: $\vec{B}_{ext} \to 0$

الهام گرفته از قفس

Magnetization $\vec{M}(\vec{r}') \equiv$ magnetic dipole / Volume

6/

$$\vec{A}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\vec{m}\times\hat{\mathscr{r}}}{\mathscr{r}^2} = \frac{\mu_0}{4\pi}\int d\tau' \frac{\vec{M}(\vec{r}')\times\hat{\mathscr{r}}}{\mathscr{r}^2}$$

$$\nabla'\frac{1}{\mathscr{r}} = \frac{\hat{\mathscr{r}}}{\mathscr{r}^2}$$

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

$$\vec{A}(r) = \frac{\mu_0}{4\pi}\int\left[\vec{M}(\vec{r}')\times\left(\vec{\nabla}'\frac{1}{\mathscr{r}}\right)\right]d\tau'$$

$\hat{n}\,da'$

$$m = Ia : \frac{q}{t}L^2$$

$$M = \frac{q}{tL}$$

$$\vec{A}(r) = \frac{\mu_0}{4\pi}\int\frac{1}{\mathscr{r}}\left[\vec{\nabla}'\times\vec{M}(\vec{r}')\right]dt' + \frac{\mu_0}{4\pi}\oint\frac{1}{\mathscr{r}}\left[\vec{M}(\vec{r}')\times d\vec{a}'\right]$$

حجمی جریان درداخل سطح $\vec{J}_b = \vec{\nabla}\times\vec{M}$

جریان سطحی $\vec{K}_b = \vec{M}\times\hat{n}$

$\hat{n}$ (عمود بر سطح)

7/

Pol.

$$\rho_b = -\vec{\nabla}\cdot\vec{P}$$

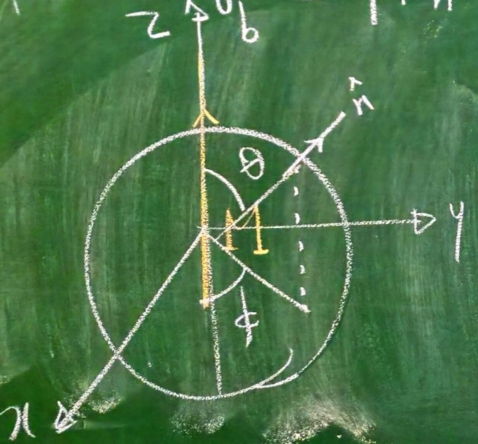
$$\sigma_b = \vec{P}\cdot\hat{n}$$

Mag.

$$\vec{J}_b = \vec{\nabla}\times\vec{M}$$

$$\vec{K}_b = \vec{M}\times\hat{n}$$

معادل الکت با کره چرخان به شعاع R با چگالی
بار سطحی σ که با سرعت زاویه‌ای $\vec{\omega}$ می‌چرخد.



$$\begin{cases} \vec{J}_b = \vec{\nabla}\times\vec{M} = 0 \\ \vec{K}_b = M\sin\theta\,\hat{\phi} \end{cases}$$

$$K = \sigma\omega R\sin\theta$$

بس $\quad \sigma\omega R \rightarrow M$

$$\vec{m} = \frac{4\pi}{3}R^3 M$$

$$\frac{q}{L^2}\,\frac{1}{t}\,L = \frac{q}{Lt}$$

$$\vec{B}_{\text{داخل}} = \frac{2}{3}\mu_0\vec{M}$$

$$\vec{A}_{\text{خارج}} = \frac{\mu_0}{4\pi}\,\frac{\vec{m}\times\hat{r}}{r^2}$$