

4. สนามแม่เหล็ก

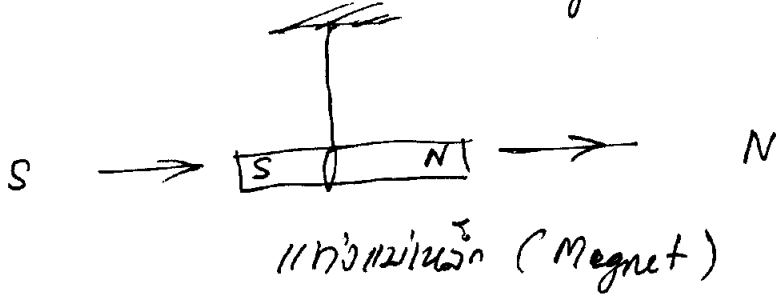
Magnetic Field



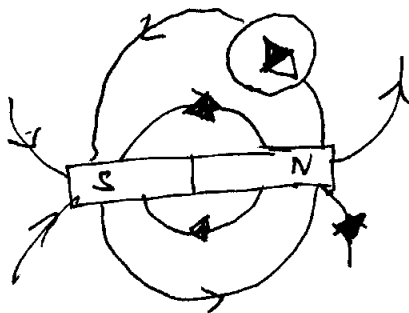
ได้มาจากวงตัวตบถักสนามของ
สนามแม่เหล็กโลก



$B_{\oplus} \approx 0.5 \text{ Gauss} = \boxed{0.5 \times 10^{-4} \text{ T}}$
 earth magnetic field เทสลา



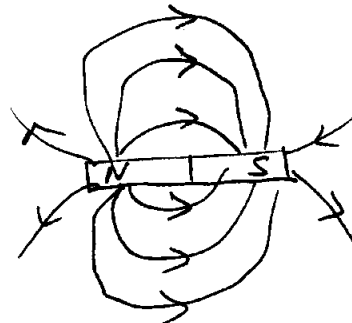
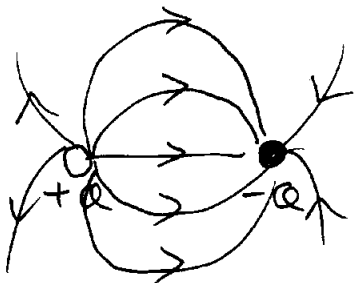
ขั้วเหนือ ขั้วใต้
ขั้วใต้ ขั้วเหนือ



เส้นแรงแม่เหล็ก
ที่จากขั้วเหนือไปขั้วใต้
N S

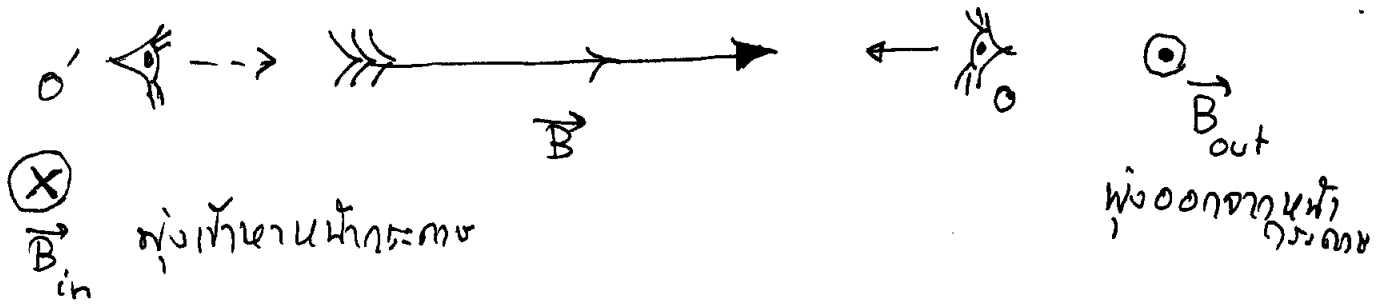
\vec{E}

\vec{B}



"Dipole Field"

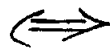
⇒ เปรียบเทียบสนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็กขั้วเหนือ/ขั้วใต้



Lorentz Force

สำหรับ q เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว \vec{v} ในสนามแม่เหล็ก \vec{B} จะมีแรงกระทำ

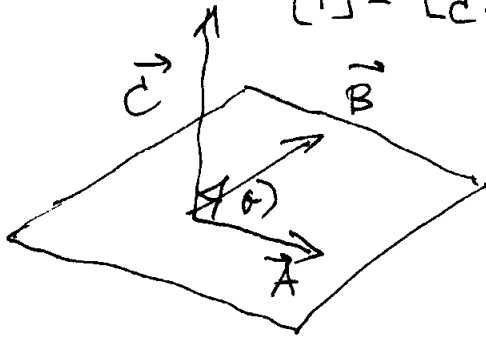
$$\vec{F}_B = q(\vec{v} \times \vec{B})$$



$$\vec{F}_E = q\vec{E}$$

$$[T] \equiv \left[\frac{N}{C \cdot m/s} \right]$$

$$\left[\frac{N}{C} \right]$$



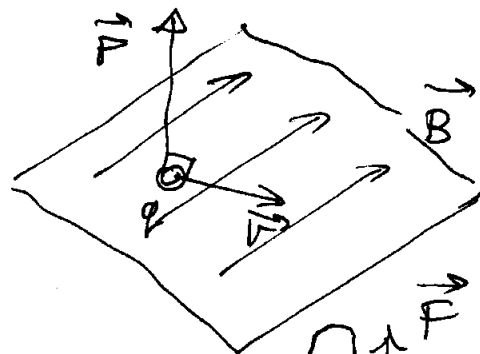
$$\vec{C} \uparrow \perp \text{plane} = q \underbrace{\vec{v}}_{\text{A}} \times \underbrace{\vec{B}}_{\text{B}}$$

$$\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

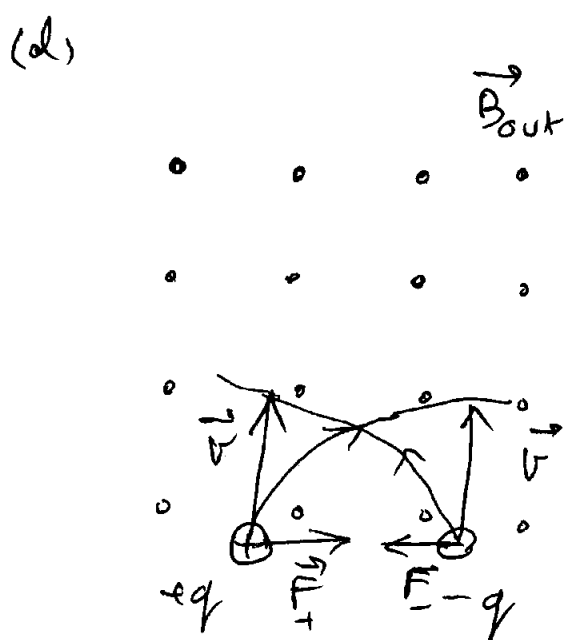
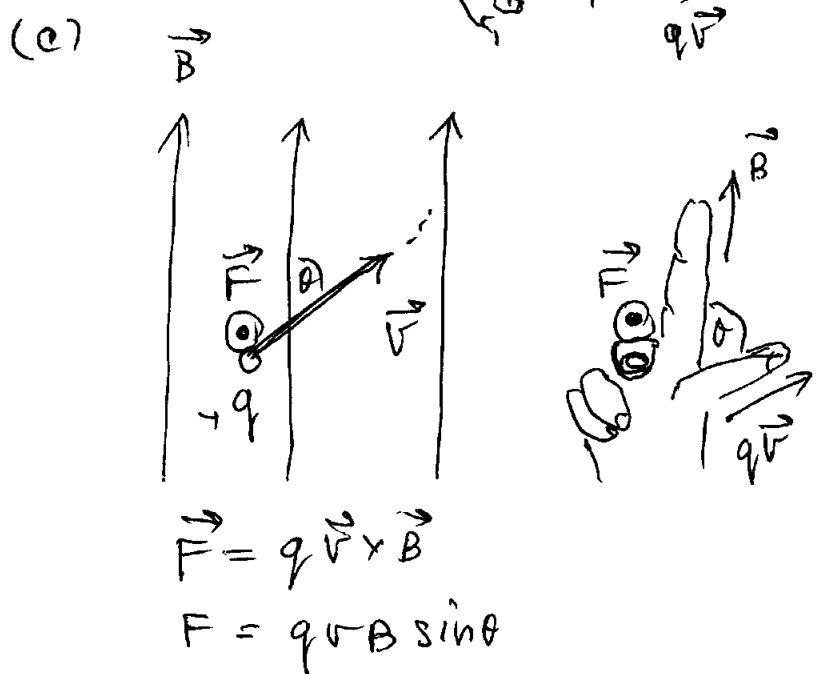
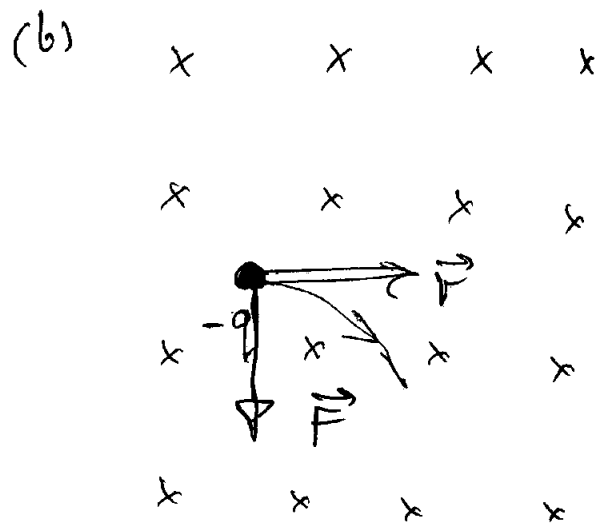
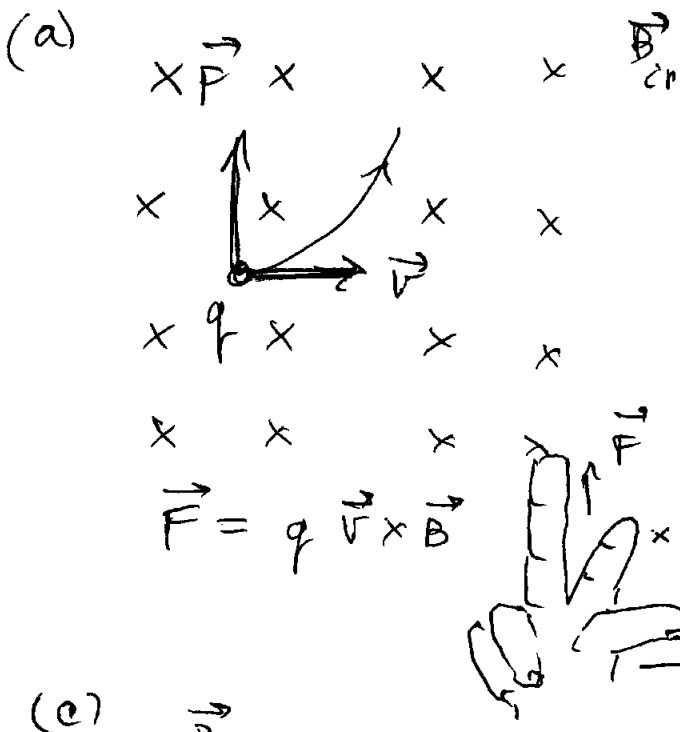
$$\vec{C} \perp \text{กับ } \vec{A} \text{ และ } \vec{B}$$

ทิศทางตามกฎมือขวา

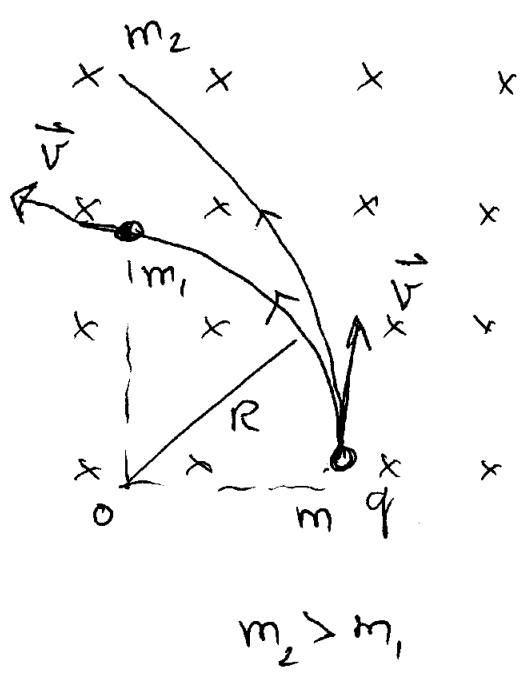
$$C = AB (\sin \theta)$$



"Right Hand Rule"



กรณี $\vec{v} \perp \vec{B}$ ให้อัตราการเคลื่อนที่ในวงกลมคงที่



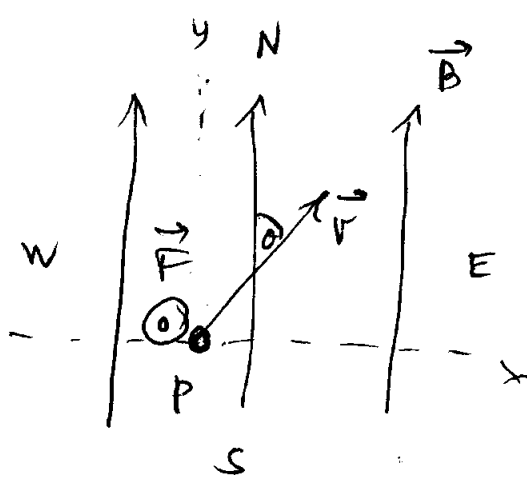
$$qvB = \frac{mv^2}{R}$$

$$R = \frac{mv}{qB}$$

รัศมีโคจรของอนุภาค
 "Cyclotron Radius"

ใช้วิเคราะห์อนุภาคที่มีประจุ
 mass-spectrometer

Ex



$$|\vec{B}_{\text{earth}}| = 50 \mu\text{T}$$

อนุกรม

$$m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ [kg]}$$

$$|\vec{v}| = 1.67 \times 10^4 \text{ (m/s)}$$

NE ทำมุม 30° กับแกน y

หรือ \vec{F}, \vec{a}

$$\vec{B} = 50 \times 10^{-6} \text{ [T]} \hat{j}$$

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} \leftarrow \hat{n} \hat{z} \hat{k}$$

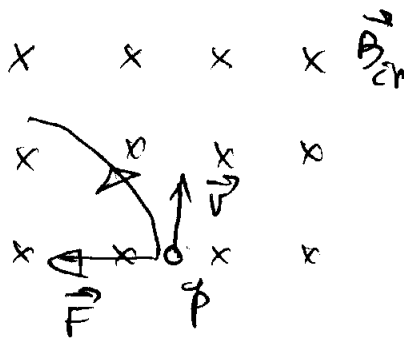
$$F = q v B \sin \theta = \cancel{1.67 \times 10^{-19}} (1.6 \times 10^{-19}) (1.67 \times 10^4) (5 \times 10^{-5}) \left(\frac{1}{2}\right)$$

$$= \frac{1.6 \times 1.67 \times 5}{2} \times 10^{-19+4-5} \text{ [N]}$$

$$F = \boxed{6.7 \times 10^{-20} \text{ [N]} \hat{n} \hat{z}}$$

$$a = \frac{F}{m_p} = \frac{6.7 \times 10^{-20}}{1.67 \times 10^{-27}} = \boxed{4 \times 10^7 \text{ [m/s}^2\text{]}}$$

Ex



$$B = 1 \text{ [T]}$$

$$v = 1 \times 10^6 \text{ [m/s]}$$

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} \text{ ทำมุม 90°}$$

$$F = q v B$$

$$= (1.6 \times 10^{-19}) (1 \times 10^6) (1)$$

$$F = 1.6 \times 10^{-13} \text{ [N]} \text{ ทำมุม 90°}$$

Ex $|q_A| = |q_B|$

$v_A = v_B$

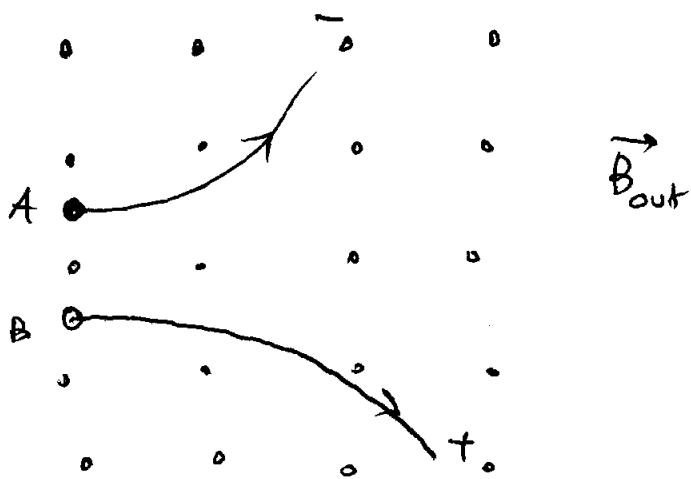
$R = \frac{mv}{qB}$

$R_A < R_B$

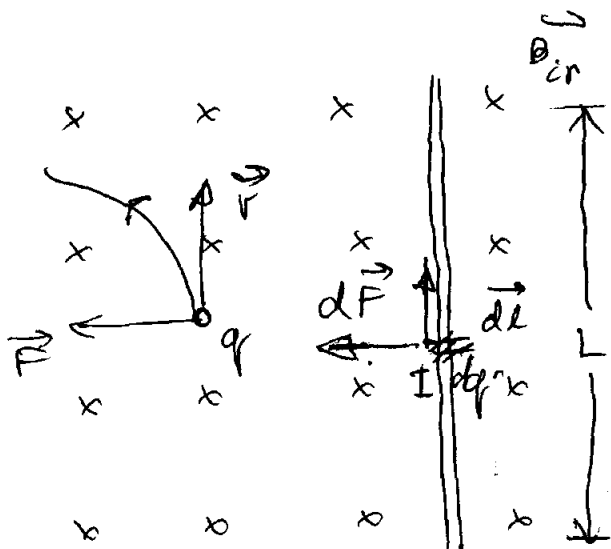
$m_A < m_B$

$q_A \rightarrow (-)$

$q_B \rightarrow (+)$



แนวทัก: ทำกับเส้น ลากตัวแปร: 11 เหนือ 16 เหนือ 11 เหนือ 11 เหนือ 11



$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$

$I = \frac{dq}{dt}$ $\vec{v} = \frac{d\vec{l}}{dt}$

$d\vec{F} = dq \vec{v} \times \vec{B}$ $\vec{v} \perp \vec{B}$

$dF = dq v B$

$= dq \frac{dl}{dt} B$

$\int dF = \int I B dl$

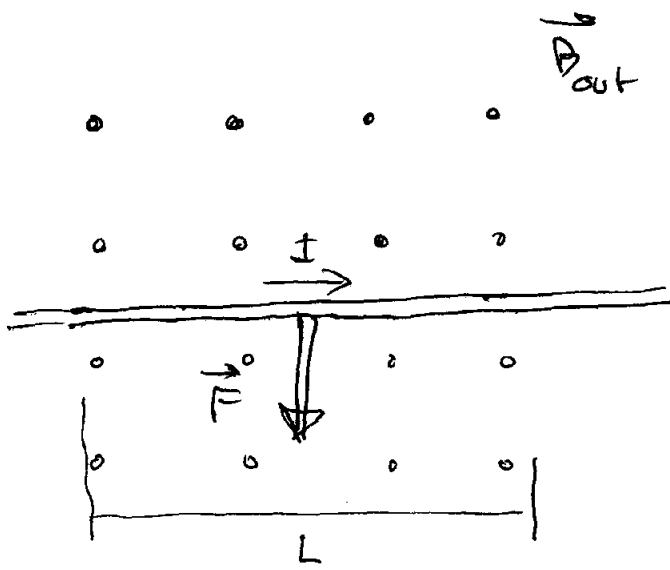
$F = IBL$

ทิศตามกฎมือขวา

กรณี I ทำมุม θ กับ B

$F = IBL \sin \theta$

Ex



$$B = 2 \text{ [T]}$$

$$I = 10 \text{ [A]}$$

$$L = 5 \text{ [m]}$$

$$F = IBL \sin \theta$$

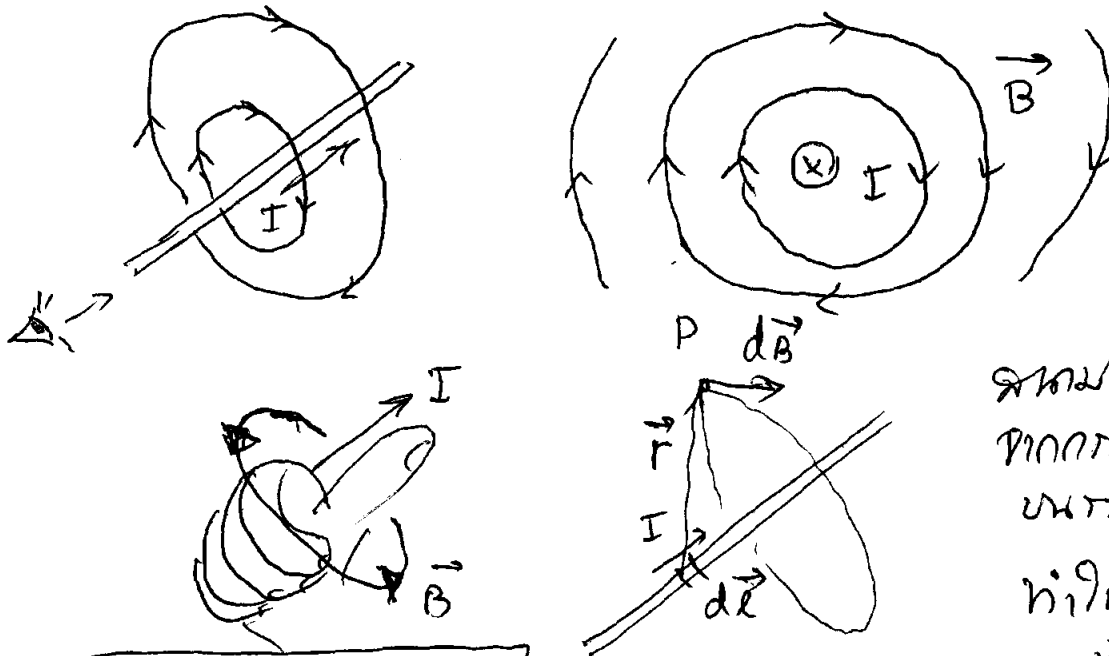
$$= (10)(2)(5) \sin 90^\circ$$

$$= \boxed{100 \text{ [N]}}$$

ทิศทางลง

Biot-Savart's Law กฎของบิโอต - ซาฟาร์ต

"ปริมาณแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบๆ บริเวณที่มีกระแสหรือไฟฟ้าไหล"



ปริมาณแม่เหล็ก เกิด
รอบๆ กระแสไฟฟ้า I
บน dl = ส่วนของ dl
ที่จุด P
ให้ชื่อเป็น r

$$\vec{dB} = k_m \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^2}$$

$$\vec{dE} = k_e \frac{dq}{r^2} \vec{r}$$

$$k_m = \frac{\mu_0}{4\pi} = 1 \times 10^{-7} \left[\frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}} \right]$$

$$k_e = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} = 9 \times 10^9 \left[\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \right]$$

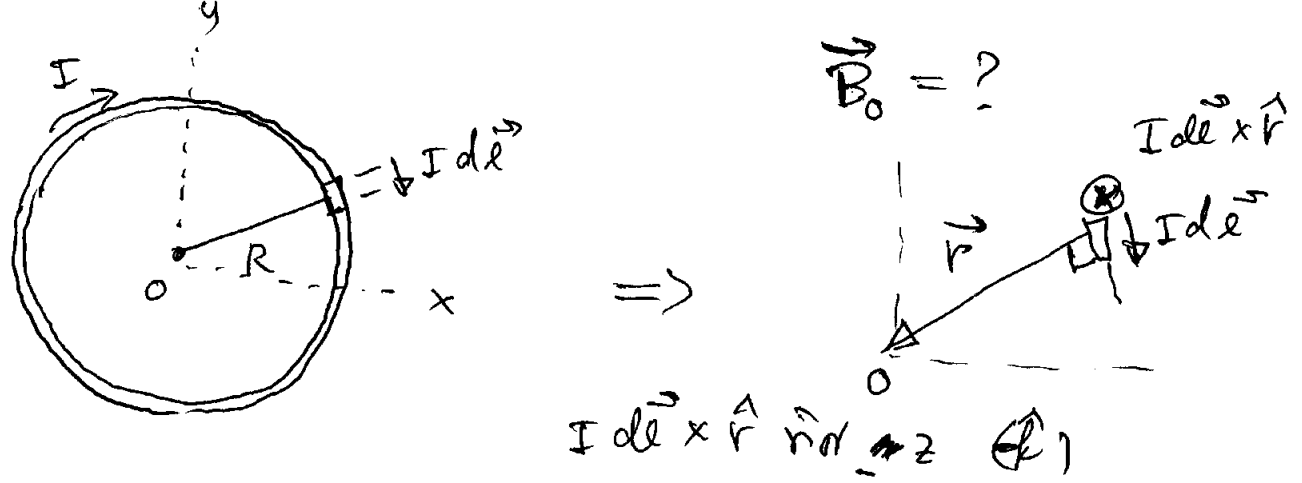
$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \left[\frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}} \right]$$

สภาพสนามไฟฟ้ารอบๆ ประจุบวก

$$\vec{B}_p(\vec{r}) = \int d\vec{B} = \int \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^2}$$

กฎของบิโอต-ซาวาร์

Exo
หาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่จุดศูนย์กลางของวงกลม รัศมี R กระแส I

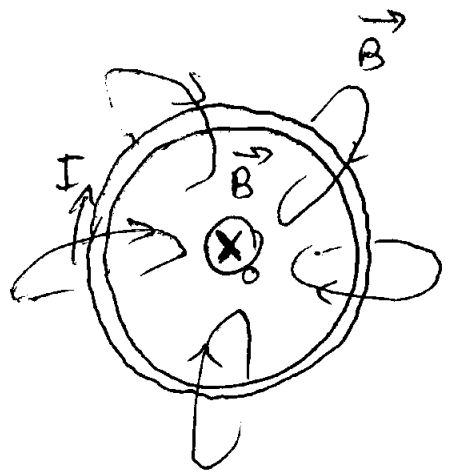


$$\vec{B} = \int \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^2} \quad r = R$$

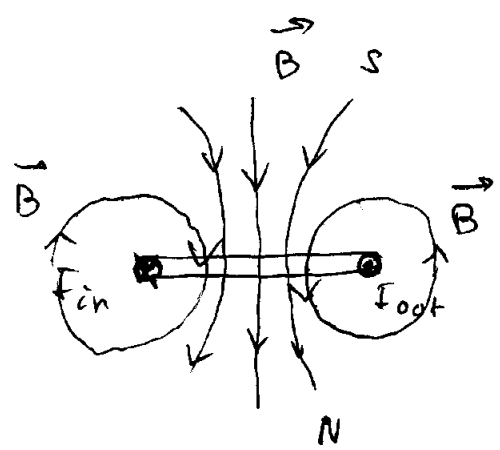
$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} \int dl \quad \text{หนีหน้า } \hat{k}$$

$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} (2\pi R) = \boxed{\frac{\mu_0 I}{2R}}$$

* ความเข้มสนามแม่เหล็กที่จุดศูนย์กลางของวงกลม

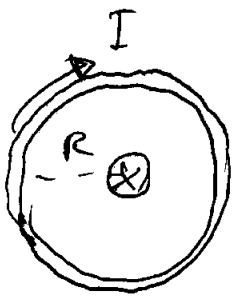


ด้านบน
Top view

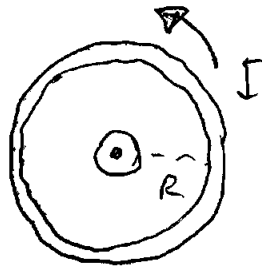


ด้านข้าง
Side View

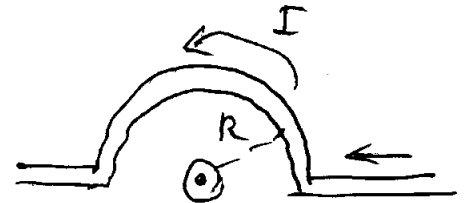
⇒ กฎของแอมแปร์ใช้หาความเข้มสนามแม่เหล็กได้



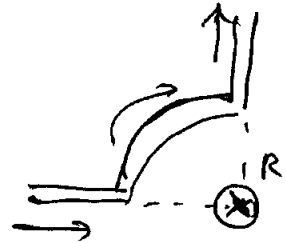
$$B_{in} = \frac{\mu_0 I}{2R}$$



$$B_{out} = \frac{\mu_0 I}{2R}$$



$$B_{out} = \frac{\mu_0 I}{4R}$$

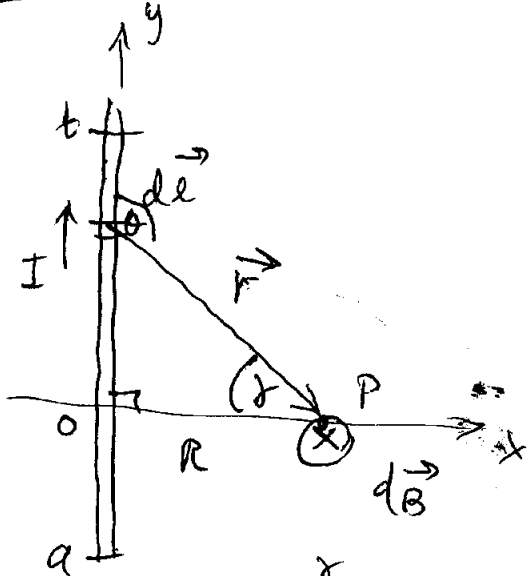


$$B_{in} = \frac{\mu_0 I}{8R}$$

$$\vec{B}_P = \sum_c \vec{B}_{P_i}$$

รวมสนามแม่เหล็กจากทุกขั้ว/ลวด

Exo สนามแม่เหล็กจากลวดตรงยาว



$$\vec{B}_P = \int \frac{\mu_0 I d\vec{x} \times \vec{r}}{4\pi r^2}$$

$$d\vec{x} \times \vec{r} = dx \sin\theta \hat{n} - z \hat{k}$$

$$B_P = \int \frac{\mu_0 I dy \sin\theta}{4\pi r^2}$$

$$\sin\theta = \cos\alpha$$

$$B_P = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dy \cos\alpha}{r^2}$$

$$\Leftrightarrow E_x = \int_{\alpha_2}^{\alpha_1} \frac{k dq \cos\alpha}{r^2} = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{k \lambda dy \cos\alpha}{r^2}$$

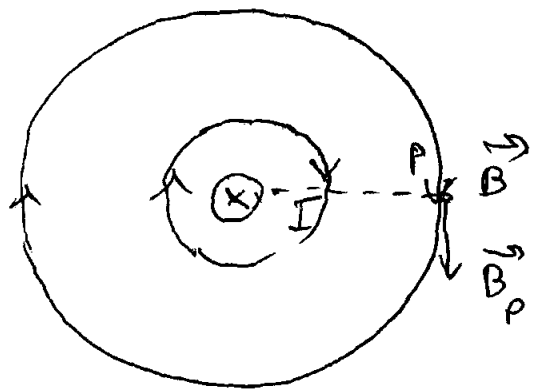
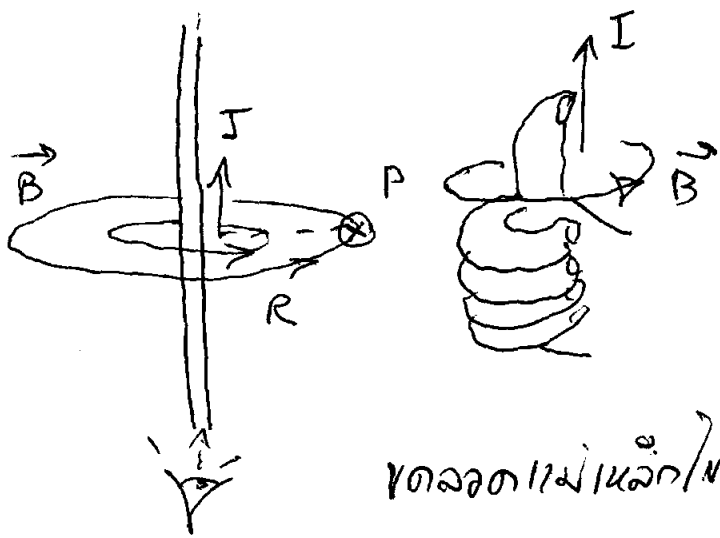
$$\vec{n} - \hat{k} \quad B_P = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} [\sin\alpha_1 - \sin\alpha_2]$$

$$E_P = \frac{k\lambda}{R} [\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1]$$

ลวดตรงยาวมาก $\alpha_1 \rightarrow -90^\circ$ $\alpha_2 \rightarrow +90^\circ$

$$B_P = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$

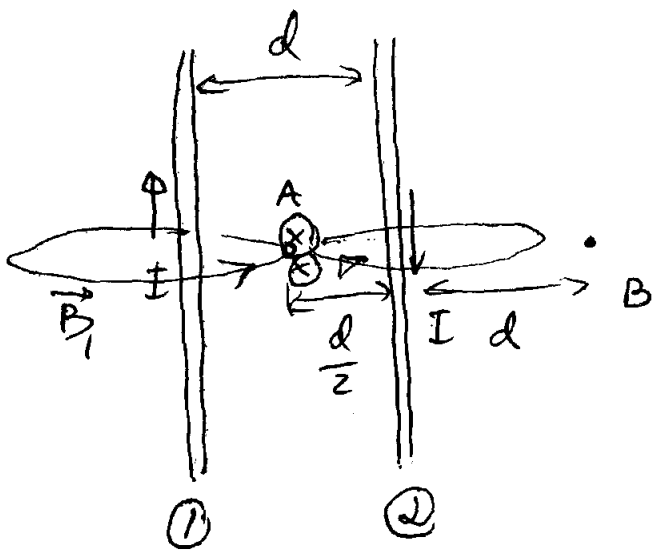
ทิศทางตามกฎมือขวา



ขดลวดแม่เหล็ก/ไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวดรอบและสายตัวถัง

Exo

หาค่าสนามแม่เหล็กที่ A และ B

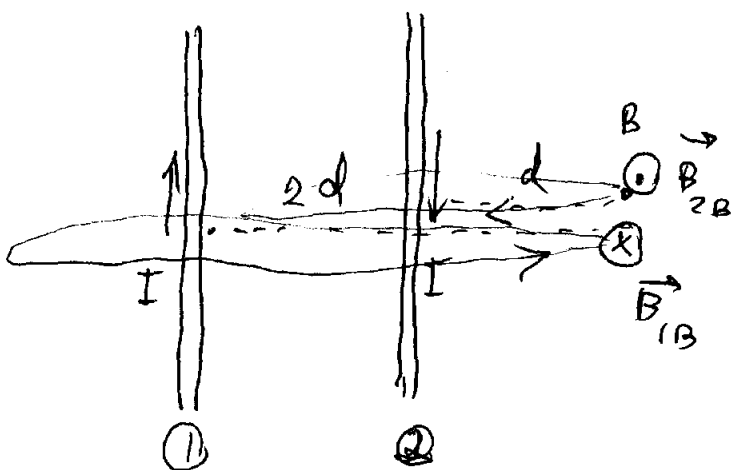


$$\begin{aligned} \vec{B}_A &= \vec{B}_{1A} + \vec{B}_{2A} \\ &= B_{1A} (-\hat{k}) + B_{2A} (-\hat{k}) \end{aligned}$$

ใส่ค่าลงไป

$$= \left[\frac{\mu_0 I}{2\pi(\frac{d}{2})} + \frac{\mu_0 I}{2\pi(\frac{d}{2})} \right] (-\hat{k})$$

$$\vec{B}_A = \frac{2\mu_0 I}{\pi d} (-\hat{k}) \quad \text{ทิศพุ่งเข้า}$$



$$\begin{aligned} \vec{B}_B &= \vec{B}_{1B} + \vec{B}_{2B} \\ &= B_{1B} (-\hat{k}) + B_{2B} (+\hat{k}) \end{aligned}$$

ใส่ค่าลงไป

$$= \frac{\mu_0 I}{2\pi(2d)} (-\hat{k}) + \frac{\mu_0 I}{2\pi d} (+\hat{k})$$

$$\vec{B}_B = \frac{\mu_0 I}{4\pi d} (+\hat{k}) \quad \text{ทิศพุ่งออก}$$

