

เอกสารประกอบการบรรยาย: วิชา 2304102 ฟิสิกส์ทั่วไป 2
ครั้งที่ 10 ภาคการศึกษาปลาย พ.ศ. 2551
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วันที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551

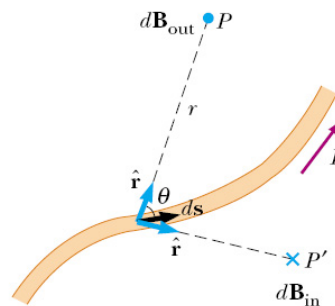
สารบัญ

- | | |
|-------------------------------|---|
| 1 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากไฟฟ้า | 1 |
| 2 ฟลักซ์แม่เหล็ก | 6 |

1 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากไฟฟ้า

กฎของบิโอต์–สแวงด์

กฎของบิโอต์–สแวงด์ (Biot–Savart Law): สนามแม่เหล็ก ($\vec{B}$) เกิดจากการไหลของกระแสไฟฟ้า



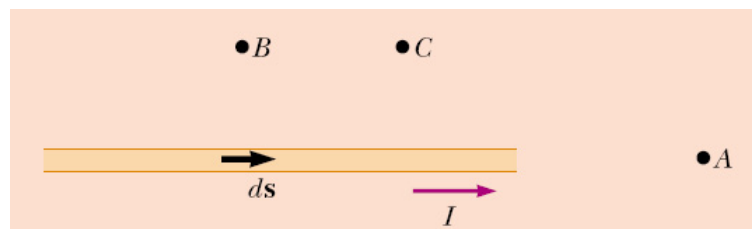
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2}$$

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

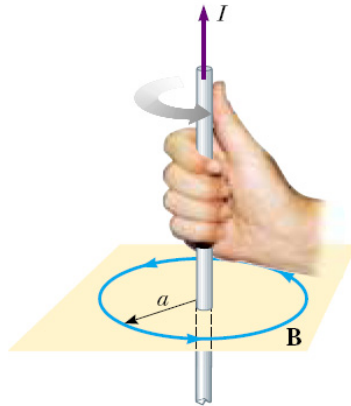
μ_0 = สภาพซึมซับได้ของสุญญากาศ (permeability of free space) = $4\pi \times 10^{-7}$ Tm/A

ตัวอย่าง

จากรูปบริเวณใดมีสนามแม่เหล็กมากและน้อยที่สุด

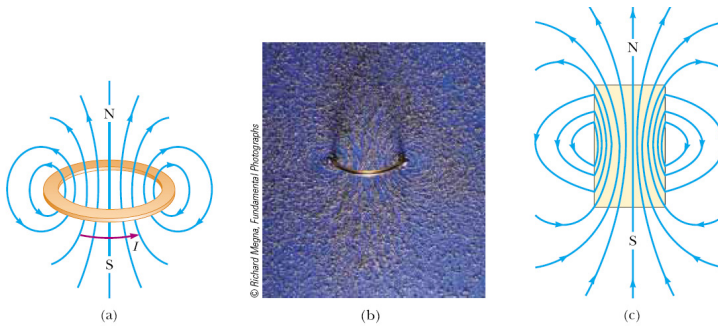


สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในเส้นลวดตรง



$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

สนามแม่เหล็กของกระแสในห่วงลวด

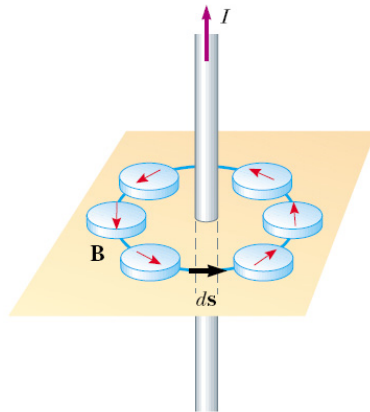


ที่จุดกึ่งกลางของห่วง

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

กฎของแอมแปร์

กฎของแอมแปร์ (Ampère's Law): การอินทิเกรตรอบเส้นสนามแม่เหล็กใดๆ จะเท่ากับค่าชาบซึมได้คูณกับกระแสที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กนั้น



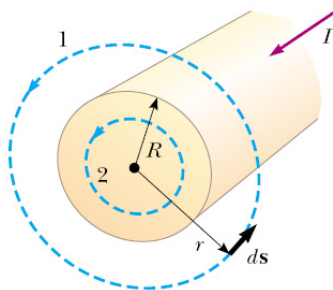
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I$$

เช่น กรณีวงกลม $\vec{B}$ ตั้งฉากกับ $d\vec{s}$

$$\begin{aligned} \oint \vec{B} \cdot d\vec{s} &= B \oint ds \\ &= \frac{\mu_0 I}{2\pi r} (2\pi r) \\ &= \mu_0 I \end{aligned}$$

ตัวอย่าง

จงหาสนามแม่เหล็กของเส้นลวดที่ระยะ $r \geq R$ และ $r < R$



กรณีที่ $r \geq R$ จากกฎของแอมแปร์จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \oint \vec{B} \cdot d\vec{s} &= B(2\pi r) = \mu_0 I \\ B &= \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \end{aligned}$$

กรณีที่ $r < R$ พบว่ากระแส I' ที่อยู่ภายใน r หาได้จาก

$$\frac{I'}{I} = \frac{\pi r^2}{\pi R^2}$$

$$I' = \frac{r^2}{R^2} I$$

จากกฎของแอมแปร์หาได้ว่า

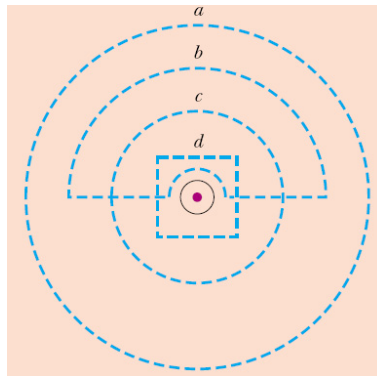
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = B(2\pi r)$$

$$= \mu_0 I' = \mu_0 \frac{r^2 I}{R^2}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} r$$

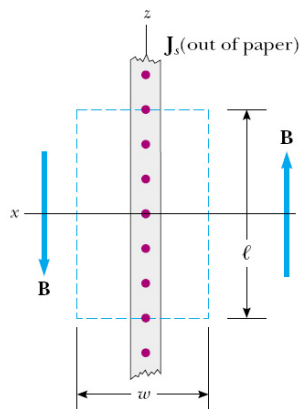
ตัวอย่าง

จงเรียงลำดับค่าของ $\oint \vec{B} \cdot \vec{s}$ ต่อไปนี้ จากมากไปน้อย



ตัวอย่าง

จงหาสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสที่มีความหนาแน่นต่อความยาวตามแนวแกน Z เป็น J_s ฟุ้งออกตามแนวแกน Y ในแผ่นตัวนำขนาดใหญ่



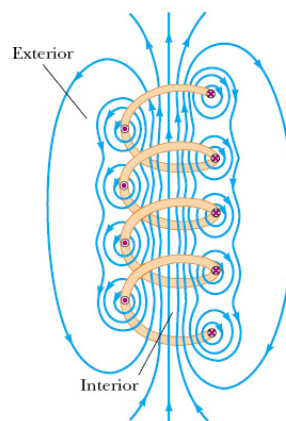
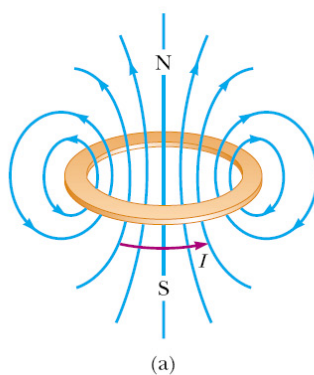
เนื่องจากกรณีนี้สนามแม่เหล็กที่ตั้งฉากกับแผ่นตัวนำเป็น 0 ดังนั้นสนามที่รอบสี่เหลี่ยมด้าน w จึงไม่นำมาคิด คิดแต่สนามแม่เหล็กด้านขนานกับแผ่นตัวนำตามแกน Z จากกฎของแอมแปร์

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I$$

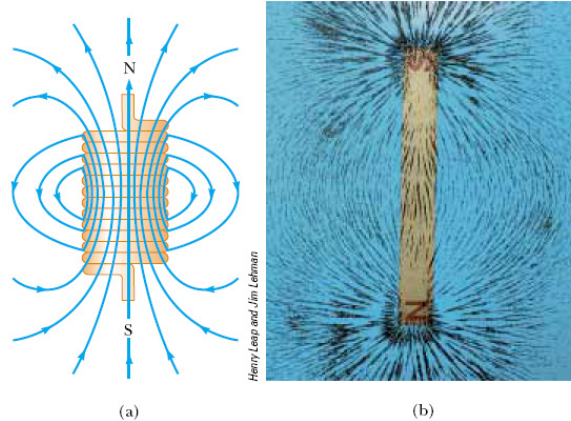
$$2B\ell = \mu_0 J_s \ell$$

$$B = \mu_0 \frac{J_s}{2}$$

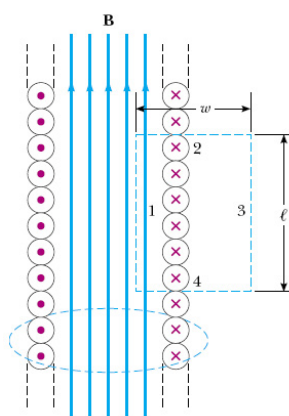
สนามแม่เหล็กเมื่อห้วงวางซ้อนกัน



สนามแม่เหล็กของโซลินอยด์



สนามแม่เหล็กภายในโซลินอยด์อุดมคติ



ให้ $\vec{B}$ ภายในสม่ำเสมอ และภายนอกเป็นศูนย์ ดังนั้นจึงเหลือเส้นทางที่ 1 อย่างเดียว ถ้ามีขดลวด N ขด จากกฎของแอมแปร์

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 NI$$

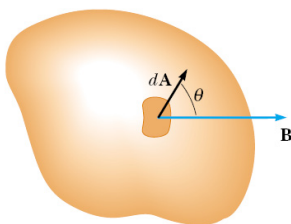
$$B\ell = \mu_0 NI$$

$$B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I = \mu_0 nI$$

2 ฟลักซ์แม่เหล็ก

นิยามฟลักซ์แม่เหล็ก

ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux, Φ): ขนาดสนามแม่เหล็กที่มีในหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉาก อาจแทนได้ด้วยความหนาแน่นของเส้นสนามแม่เหล็ก



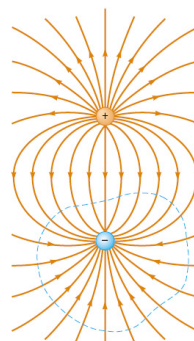
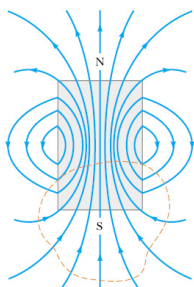
$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$$\Phi_B = BA \cos \theta$$

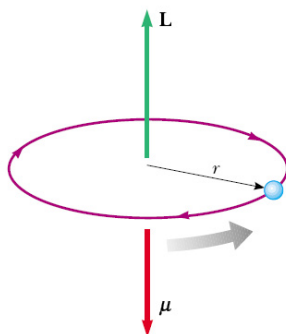
กฎของเกาส์สำหรับสนามแม่เหล็ก

ฟลักซ์แม่เหล็กในพื้นผิวปิดใดๆ รวมกันต้องเท่ากับศูนย์ หรือ เส้นสนามแม่เหล็กเมื่อเข้าพื้นผิวปิดจะต้องออกจากพื้นผิวปิดเสมอ

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$



โมเมนต์แม่เหล็กในอะตอม



อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยระยะทาง $2\pi r$ ด้วยคาบ T s ดังนั้น อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว $v = 2\pi r/T$ เมื่อแทน $2\pi/T = \omega$ จะได้

$$\begin{aligned} v &= \frac{2\pi r}{T} = \omega r \\ I &= \frac{e}{T} = \frac{e\omega}{2\pi} \\ &= \frac{ev}{2\pi r} \end{aligned}$$

จากนิยามของโมเมนต์แม่เหล็ก

$$\begin{aligned} \mu &= IA = I\pi r^2 \\ &= \left(\frac{ev}{2\pi r}\right)\pi r^2 = \frac{1}{2}evr \end{aligned}$$

จากนิยามของโมเมนต์เชิงมุม $L = m_e vr$

$$\mu = \left(\frac{e}{2m_e}\right)L$$

เนื่องจากอิเล็กตรอนมีประจุเป็นลบ ดังนั้น $\vec{\mu}$ จึงมีทิศตรงข้ามกับ $\vec{L}$ สสารส่วนใหญ่ประกอบด้วยอิเล็กตรอน เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ย่อมทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก แต่สสารไม่แสดงความเป็นแม่เหล็ก เพราะมีการหักล้างกันของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากอิเล็กตรอนแต่ละตัว