

สนามแม่เหล็ก

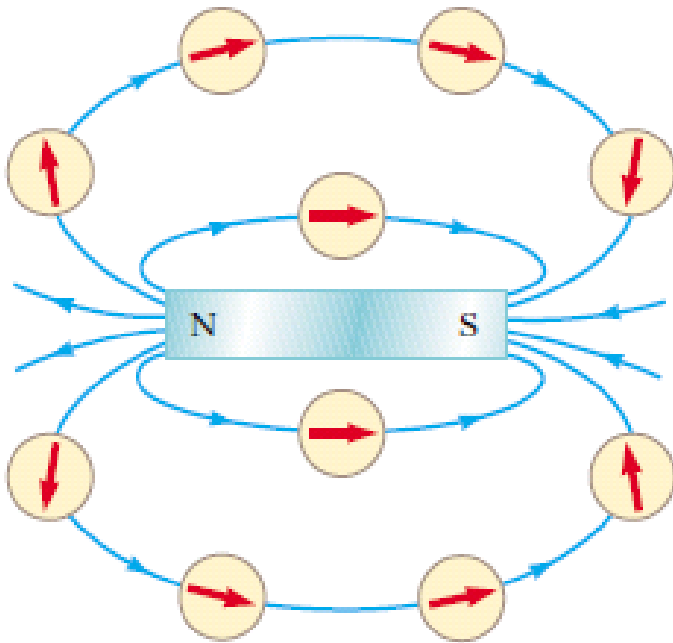
Magnetic Fields



สนามแม่เหล็ก

Magnetic Fields

- แม่เหล็กจะมี 2 ขั้วเสมอ
- โลกเป็นแม่เหล็กถาวรขนาดใหญ่



สนามแม่เหล็ก

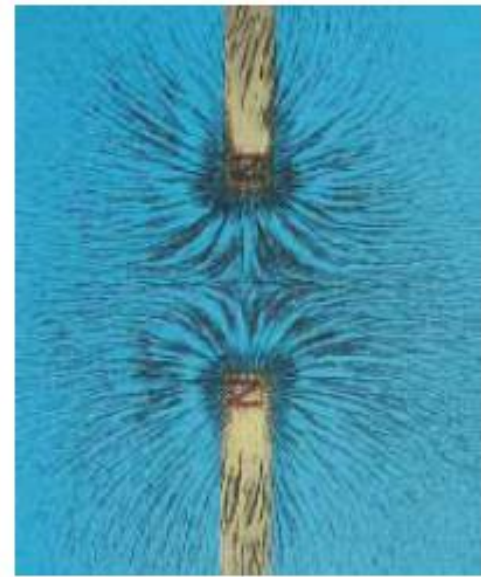
Magnetic Fields



(a)



(b)



(c)

แรงแม่เหล็ก

Magnetic Forces

- We can represent the magnetic field (\vec{B}) by means of drawings with *magnetic field lines*
- We can define a magnetic field \vec{B} at some point in space in terms of the magnetic force \vec{F}_B that the field exerts on a charged particle moving with a velocity \vec{v}
- Magnetic poles exert attractive or repulsive forces on each other and that these forces vary as the inverse square of the distance between interacting poles

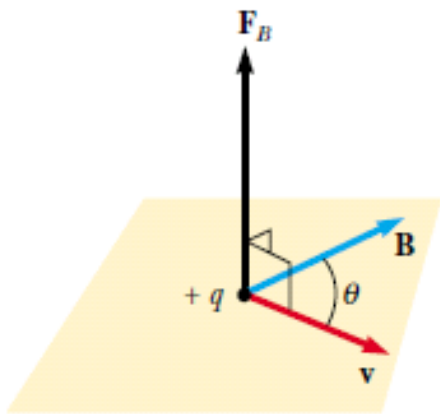
แรงแม่เหล็ก

Magnetic Forces

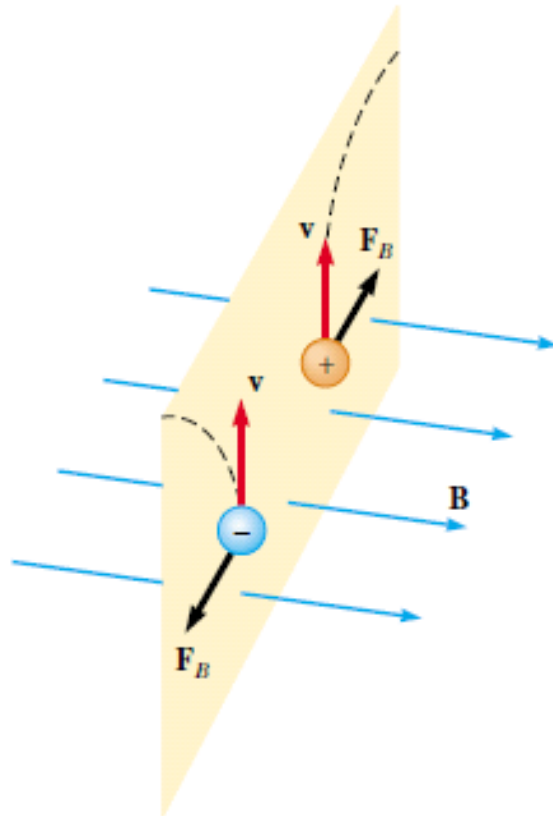
- The magnitude F_B of the magnetic force exerted on the particle is proportional to the charge q and to the speed v of the particle
- The magnitude and direction of \vec{F}_B depend on the velocity of the particle and on the magnitude and direction of the magnetic field \vec{B} (Tesla, $T = \text{N}\cdot\text{s}/(\text{C}\cdot\text{m})$, in SI unit)
- When a charged particle moves parallel to the magnetic field vector, the magnetic force acting on the particle is zero

แรงแม่เหล็ก

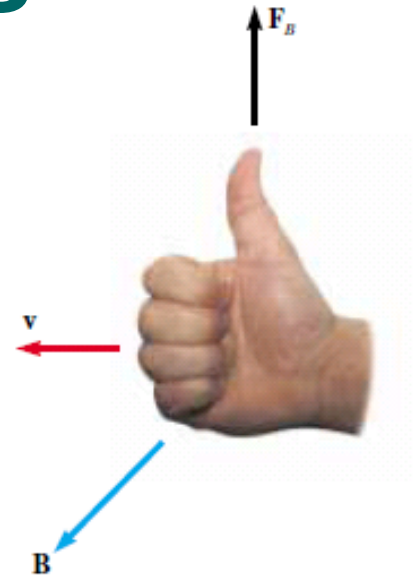
Magnetic Forces



(a)



(b)



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

$$|\vec{F}_B| = |q\vec{v} \times \vec{B}| = qvB \sin \theta$$



ขนาดของสนามแม่เหล็ก

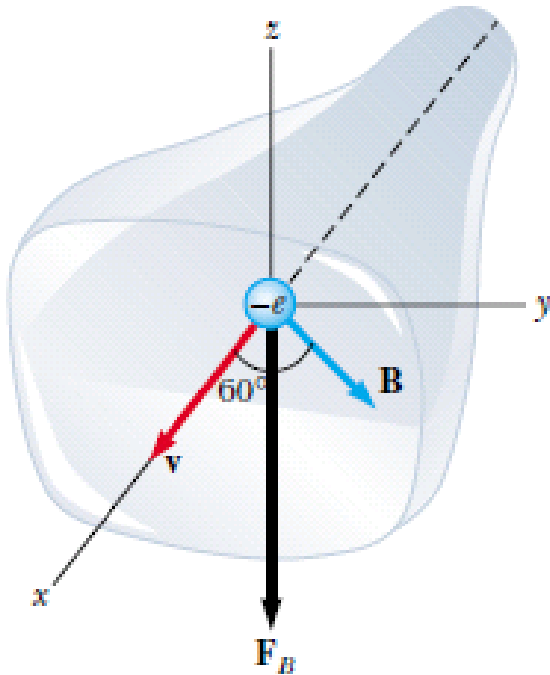
Magnetic Field Magnitudes

Some Approximate Magnetic Field Magnitudes

Source of Field	Field Magnitude (T)
Strong superconducting laboratory magnet	30
Strong conventional laboratory magnet	2
Medical MRI unit	1.5
Bar magnet	10^{-2}
Surface of the Sun	10^{-2}
Surface of the Earth	0.5×10^{-4}
Inside human brain (due to nerve impulses)	10^{-13}

ตัวอย่าง

- อิเล็กตรอนตัวหนึ่งเคลื่อนที่เข้าไปชนกับหลอดภาพ TV ด้วยอัตราเร็ว 8.0×10^6 m/s ตามแนวแกน x ดังรูป ที่คอของหลอด TV จะมีขดลวดพันรอบๆ เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กขนาด 0.025 T ในทิศทำมุม 60° กับแกน X และอยู่บนระนาบ XY จงคำนวณหาแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออิเล็กตรอน



วิธีทำ

$$\mathbf{v} = (8.0 \times 10^6 \hat{\mathbf{i}}) \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned}\mathbf{B} &= (0.025 \cos 60^\circ \hat{\mathbf{i}} + 0.025 \sin 60^\circ \hat{\mathbf{j}}) \text{ T} \\ &= (0.013 \hat{\mathbf{i}} + 0.022 \hat{\mathbf{j}}) \text{ T}\end{aligned}$$

$$\mathbf{F}_B = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

$$= (-e) [(8.0 \times 10^6 \hat{\mathbf{i}}) \text{ m/s}] \times [(0.013 \hat{\mathbf{i}} + 0.022 \hat{\mathbf{j}}) \text{ T}]$$

$$= (-e) [(8.0 \times 10^6 \hat{\mathbf{i}}) \text{ m/s}] \times [(0.013 \hat{\mathbf{i}}) \text{ T}]$$

$$+ (-e) [(8.0 \times 10^6 \hat{\mathbf{i}}) \text{ m/s}] \times [(0.022 \hat{\mathbf{j}}) \text{ T}]$$

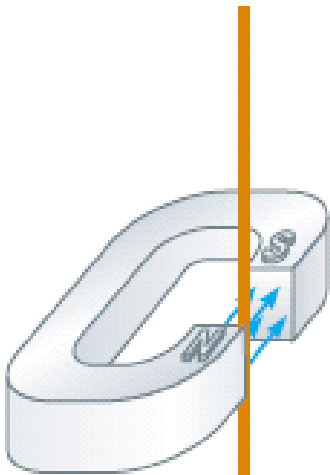
$$= (-e) (8.0 \times 10^6 \text{ m/s}) (0.013 \text{ T}) (\hat{\mathbf{i}} \times \hat{\mathbf{i}})$$

$$+ (-e) (8.0 \times 10^6 \text{ m/s}) (0.022 \text{ T}) (\hat{\mathbf{i}} \times \hat{\mathbf{j}})$$

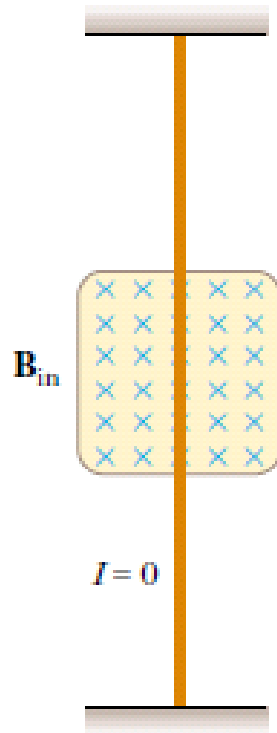
$$= (-1.6 \times 10^{-19} \text{ C}) (8.0 \times 10^6 \text{ m/s}) (0.022 \text{ T}) \hat{\mathbf{k}}$$

$$\mathbf{F}_B = (-2.8 \times 10^{-14} \text{ N}) \hat{\mathbf{k}}$$

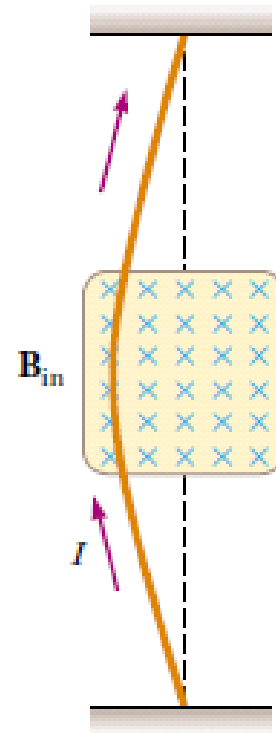
แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อตัวนำที่มีกระแส



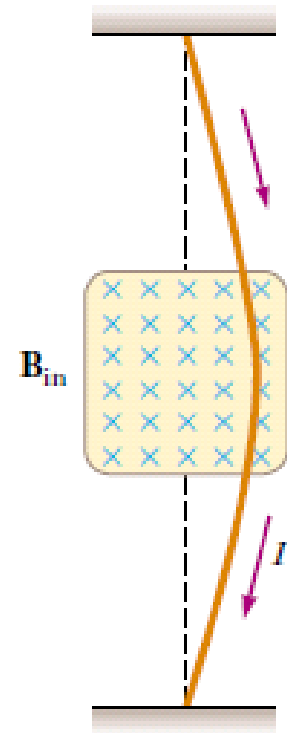
(a)



(b)



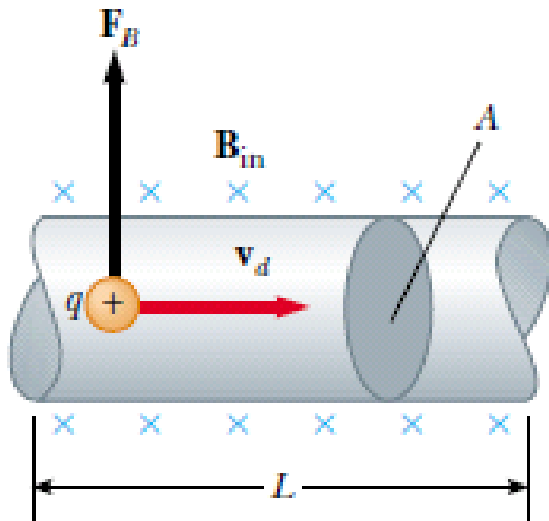
(c)



(d)

แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อตัวนำที่มีกระแส

- แรงแม่เหล็กลัพธ์ที่กระทำต่อลวดตัวนำที่มีกระแสไหลขณะอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กจะเป็นผลรวมของแต่ละแรงที่กระทำต่อประจุที่เคลื่อนที่ในตัวนำนั้น



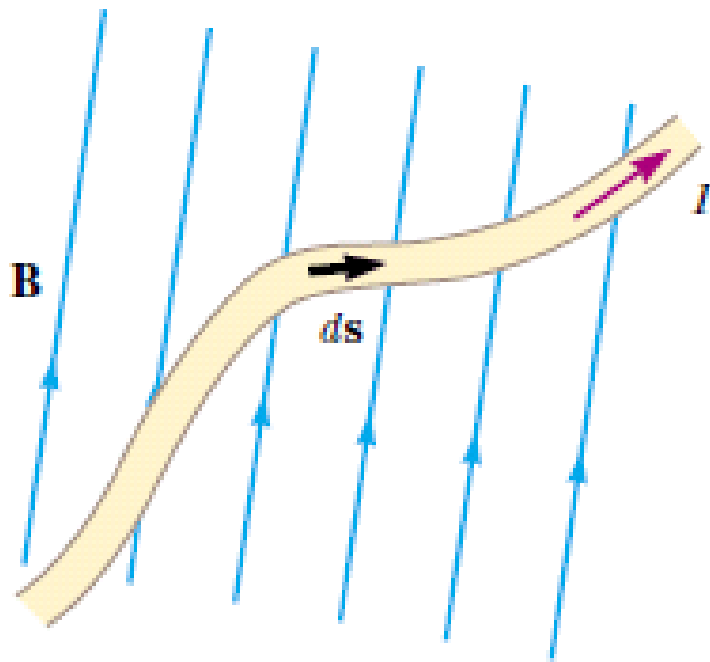
$$\vec{F}_B = q(\vec{v}_d \times \vec{B})nAL$$



$$\vec{F}_B = I\vec{L} \times \vec{B}$$

n : จำนวนประจุต่อปริมาตร

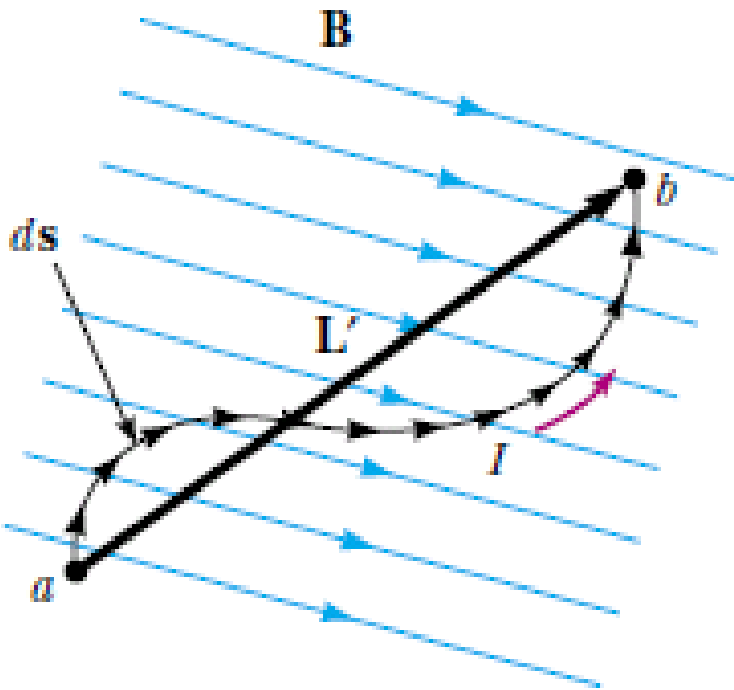
แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อตัวนำที่มีกระแส



$$d\vec{F}_B = I d\vec{s} \times \vec{B}$$

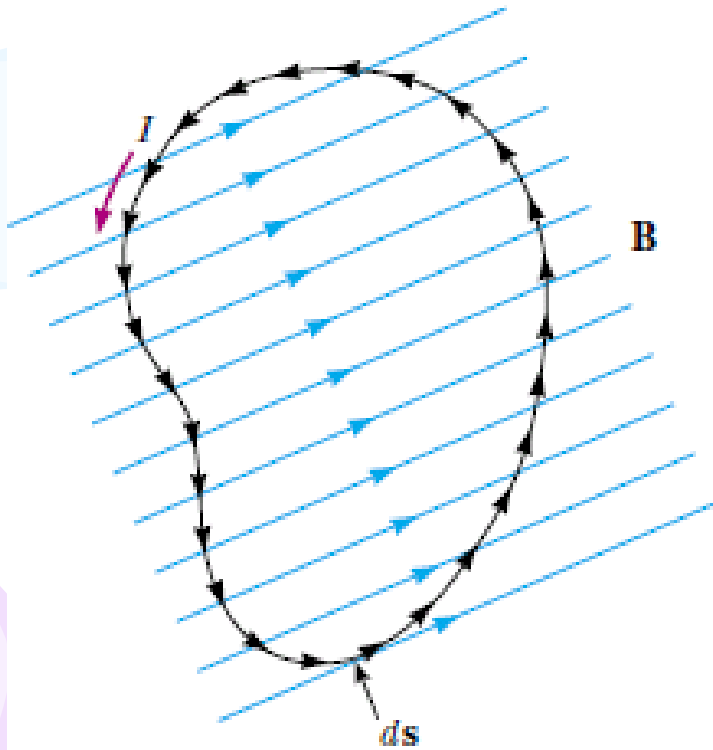
$$\vec{F}_B = I \int_a^b d\vec{s} \times \vec{B}$$

แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อตัวนำที่มีกระแส



- แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดตัวนำโค้ง
ขณะวางอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็ก
สม่ำเสมอจะมีค่าเท่ากับแรงแม่เหล็กที่
กระทำต่อลวดตัวนำเส้นตรงเสมอ

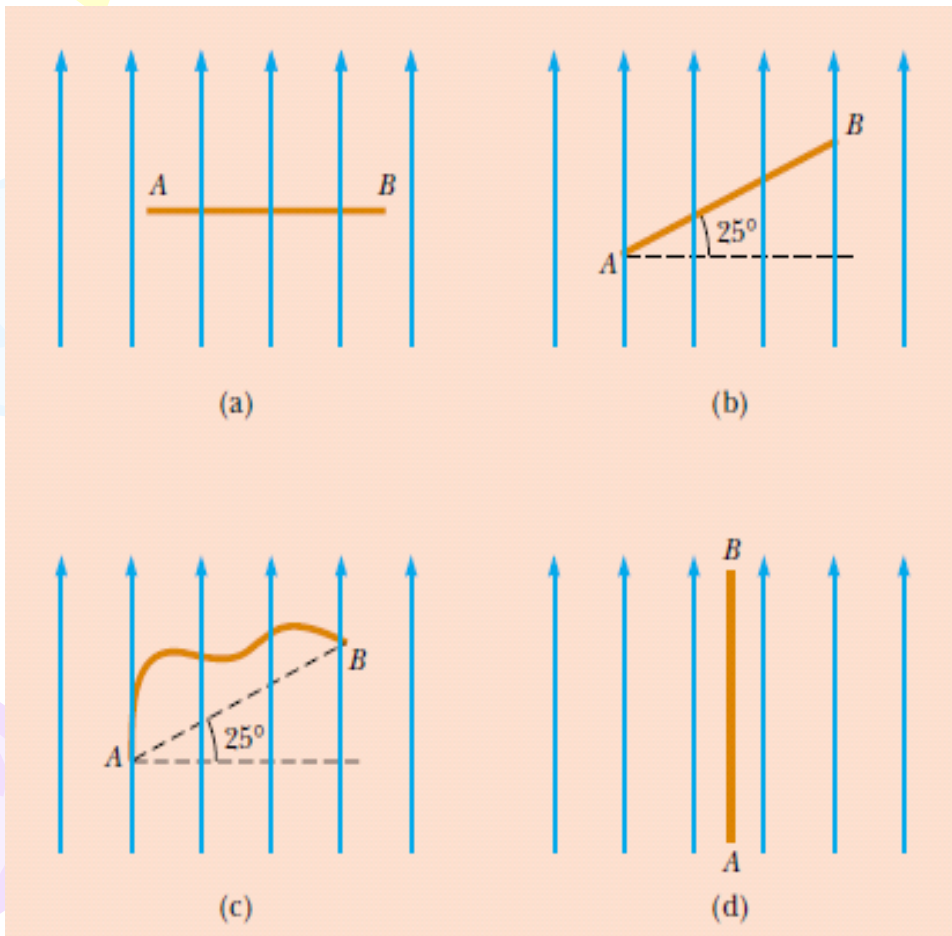
แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อตัวนำที่มีกระแส



- แรงแม่เหล็กลัพธ์ที่กระทำต่อวงลวดปิดที่มีกระแสเนื่องจากวางอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอจะมีค่าเท่ากับศูนย์

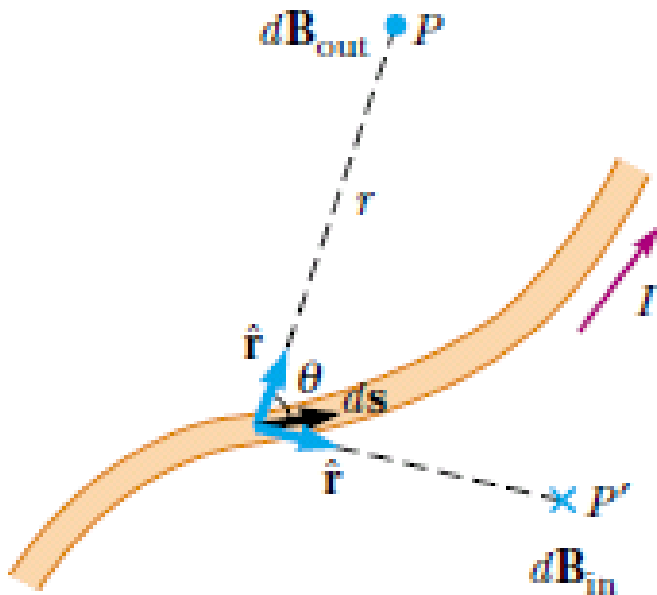
Quiz

- จงเรียงลำดับขนาดของแรงแม่เหล็กต่อลวดตัวนำที่มีกระแสขณะวางอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอจากมากไปน้อย



แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก

- กฎของบิโอต-ซาวาร์ต (Biot-Savart Law)

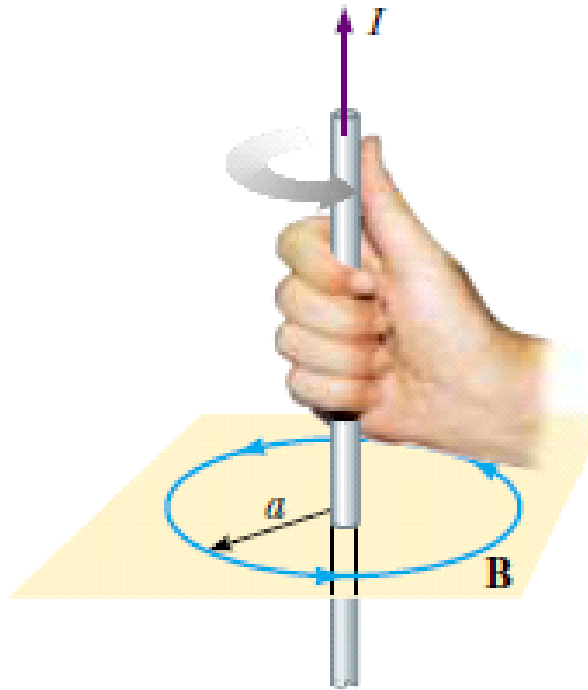


$\mu_0 : 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$

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

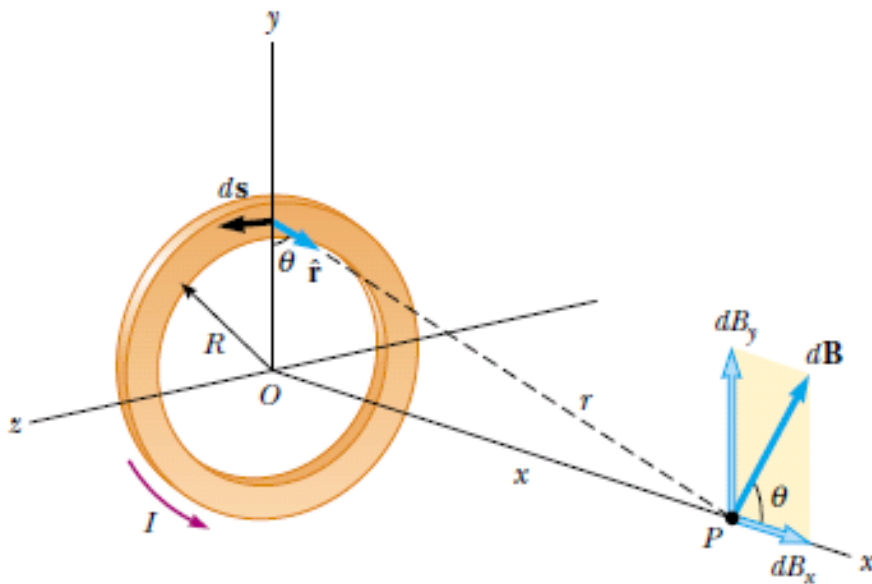
$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2}$$

แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก



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

แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก



$$B_x = \frac{\mu_0 I R^2}{2(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}}$$

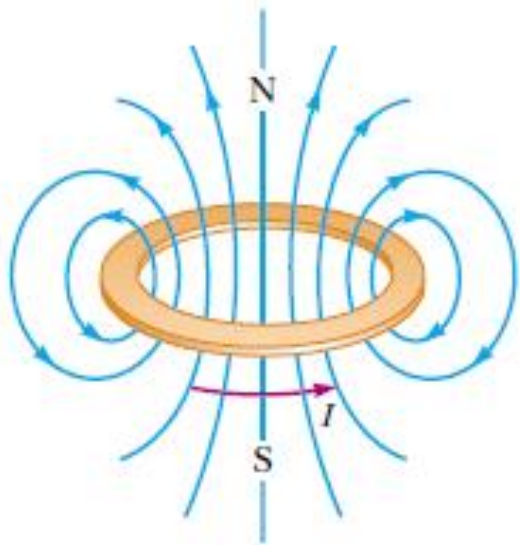
At $x=0$

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

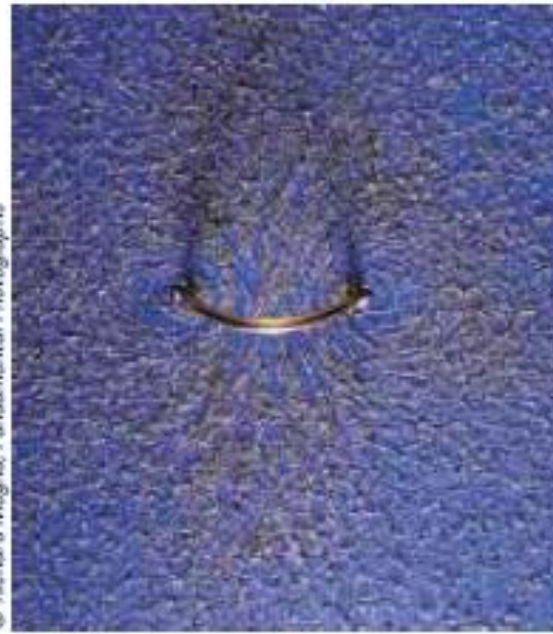
If $x \gg R$

$$B \approx \frac{\mu_0 I R^2}{2x^3}$$

Magnetic Field on the Axis of a Circular Current Loop

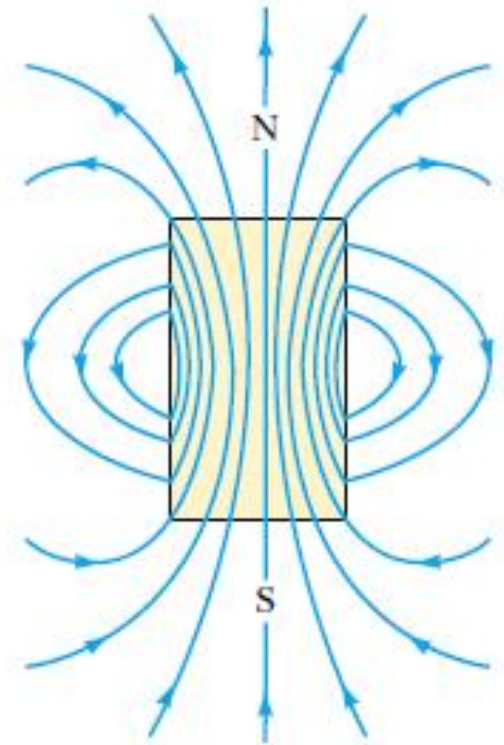


(a)



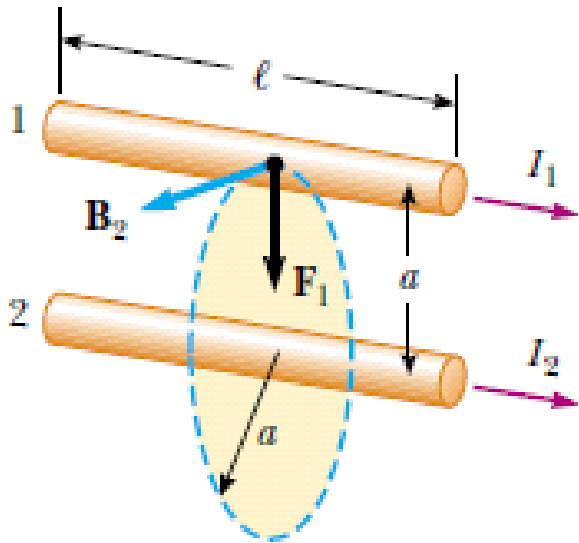
© Richard Megna, Fundamental Photographs

(b)



(c)

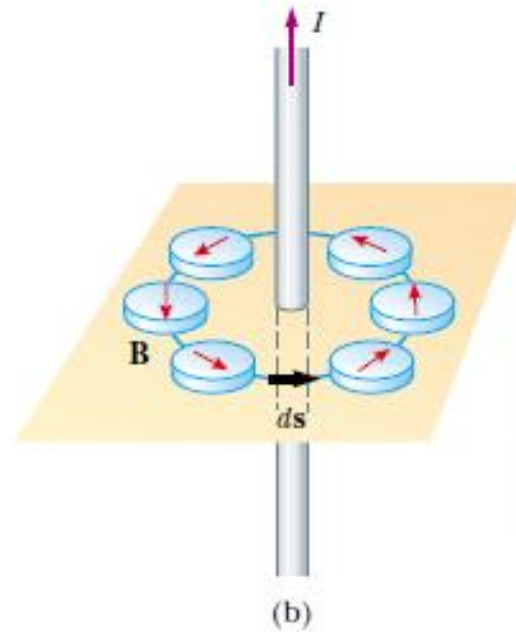
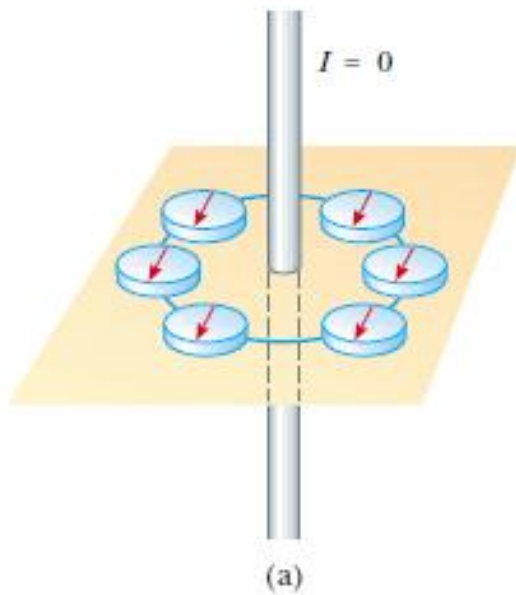
แรงแม่เหล็กระหว่างตัวนำที่มีกระแสสองตัวที่วางขนานกัน



- ถ้ากระแสไหลในทิศเดียวกันจะเกิดแรงดูดกัน
- ถ้ากระแสไหลในทิศตรงกันข้ามจะเกิดแรงผลักกัน

$$F_1 = I_1 l B_2 = I_1 l \left(\frac{\mu_0 I_2}{2\pi a} \right) = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi a}$$

กฎของแอมแปร์ (Ampère's Law)



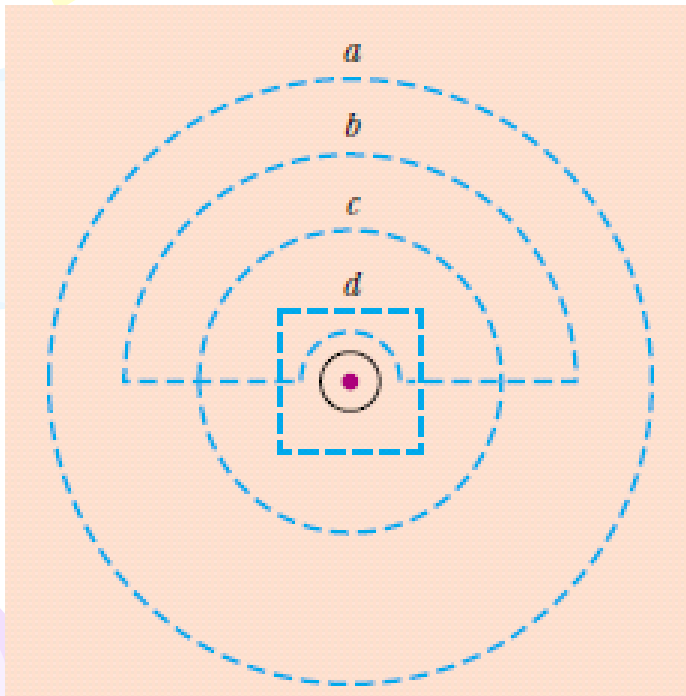
© Richard Megna, Fundamental Photographs

กฎของแอมแปร์ (Ampère's Law)

- การอินทิเกรตตามเส้นของ $\vec{B} \cdot d\vec{s}$ รอบเส้นทางปิดใดๆจะมีค่าเท่ากับ $\mu_0 I$ เสมอ เมื่อ I คือ กระแสทั้งหมดที่เคลื่อนที่ผ่านผิวที่ล้อมรอบด้วยเส้นทางปิด

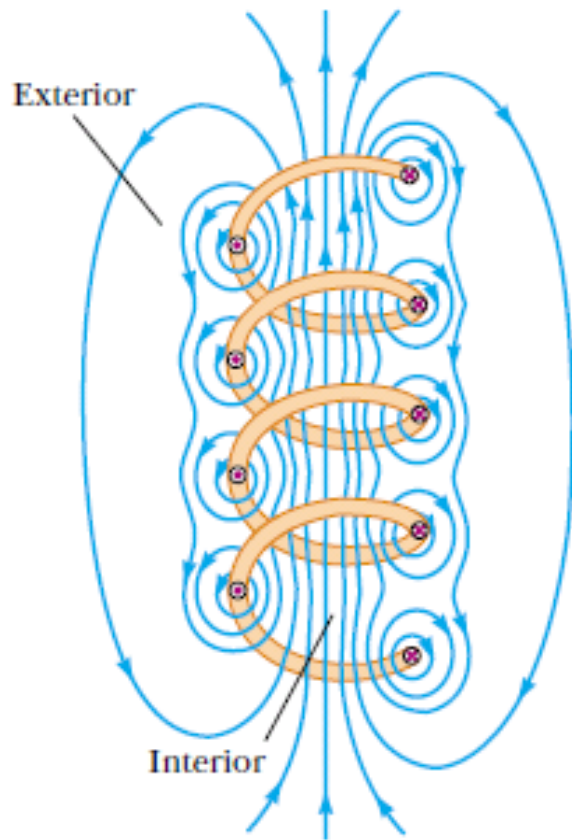
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = B \oint ds = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} (2\pi r) = \mu_0 I$$

Quiz



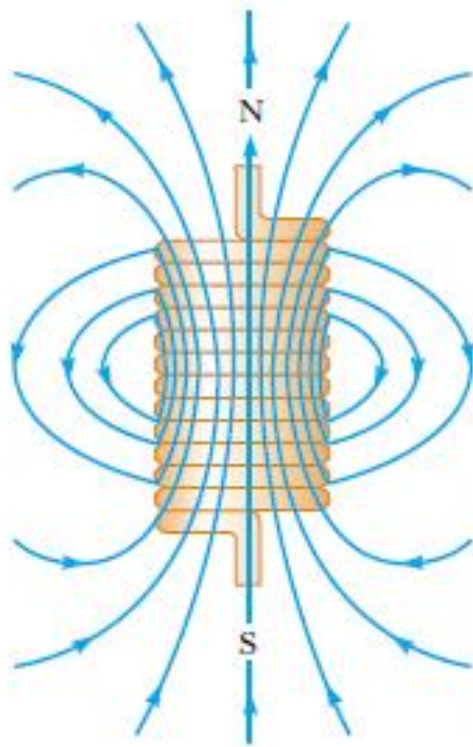
- จงเรียงลำดับขนาดของ $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$ บนเส้นทางปิด a, b, c, และ d ดังรูป จากมากไปน้อย

สนามแม่เหล็กในโซลินอยด์

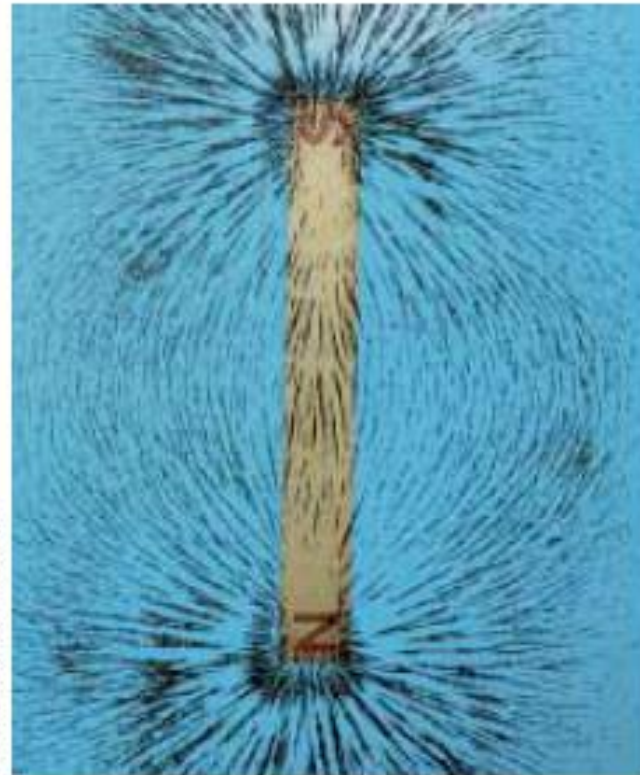


- โซลินอยด์ (solenoid)
เป็นขดลวดตัวนำยาวที่เกิดจากการพัน
ลวดตัวนำเป็นเกลียว

สนามแม่เหล็กในโซลินอยด์



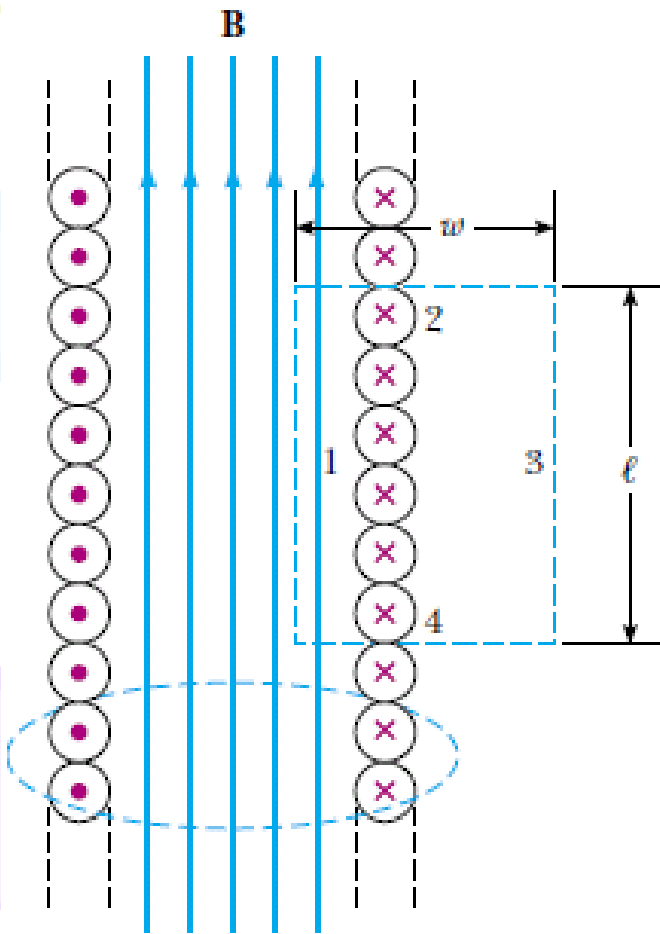
(a)



(b)

Henry Leap and Jim Lehman

สนามแม่เหล็กในโซลินอยด์



$$\oint_{\text{Path1}} \vec{B} \cdot d\vec{s} = \int_{\text{Path1}} \vec{B} \cdot d\vec{s} = B \int_{\text{Path1}} ds = Bl$$

จากกฎของแอมแปร์

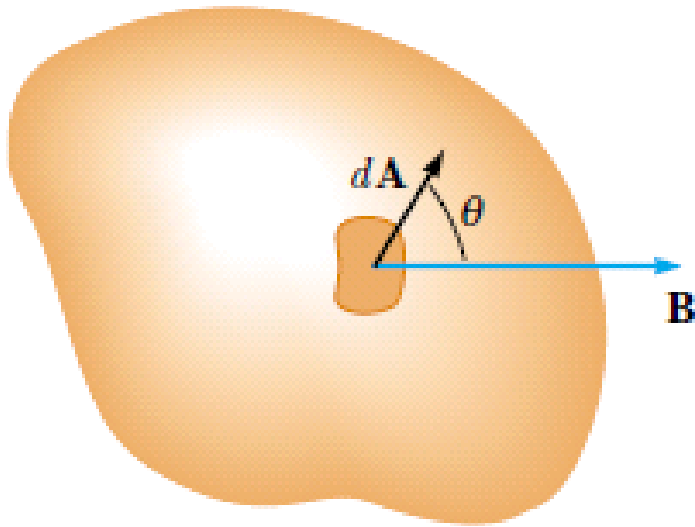
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 NI = Bl$$

N : จำนวนรอบของขดลวด

$$B = \mu_0 nI$$

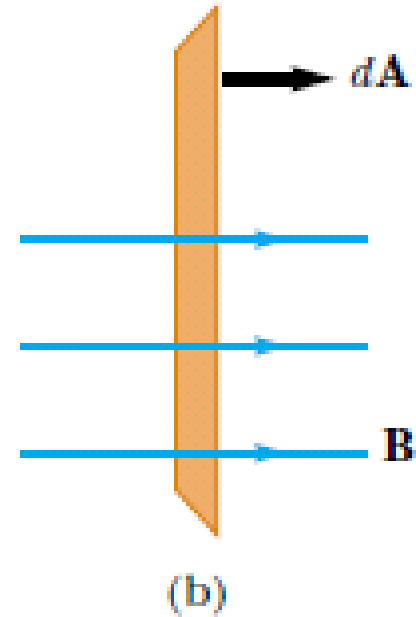
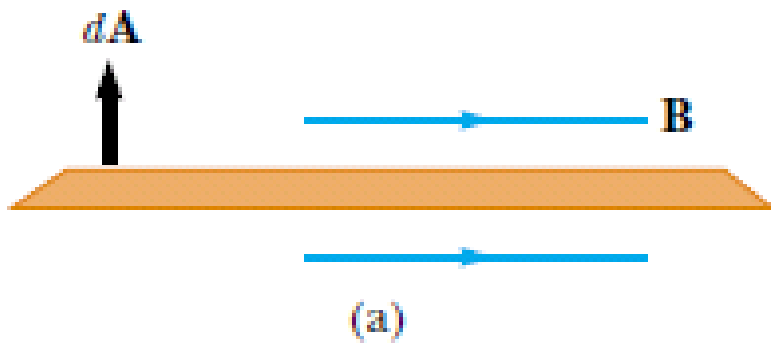
n : จำนวนรอบต่อความยาว

Magnetic Flux



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

ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux)

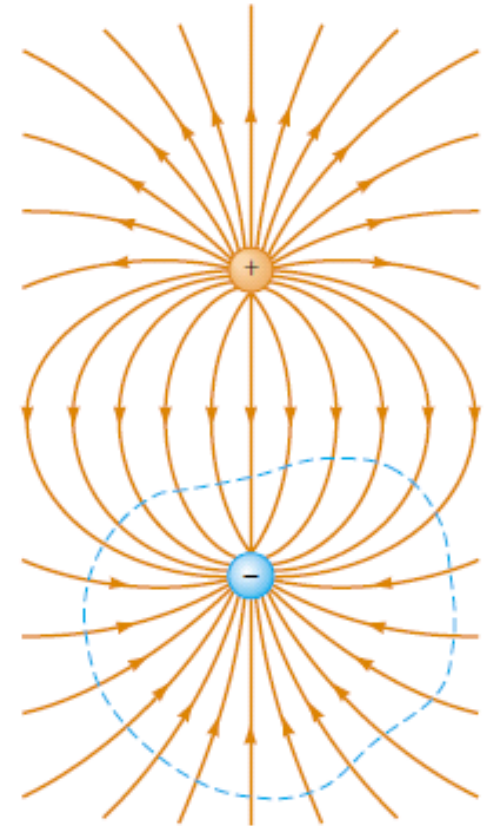
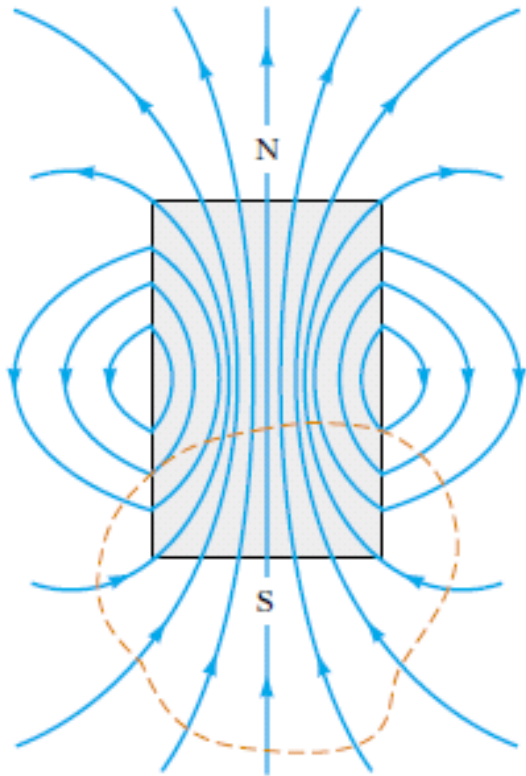


$$\Phi_B = BA \cos \theta$$

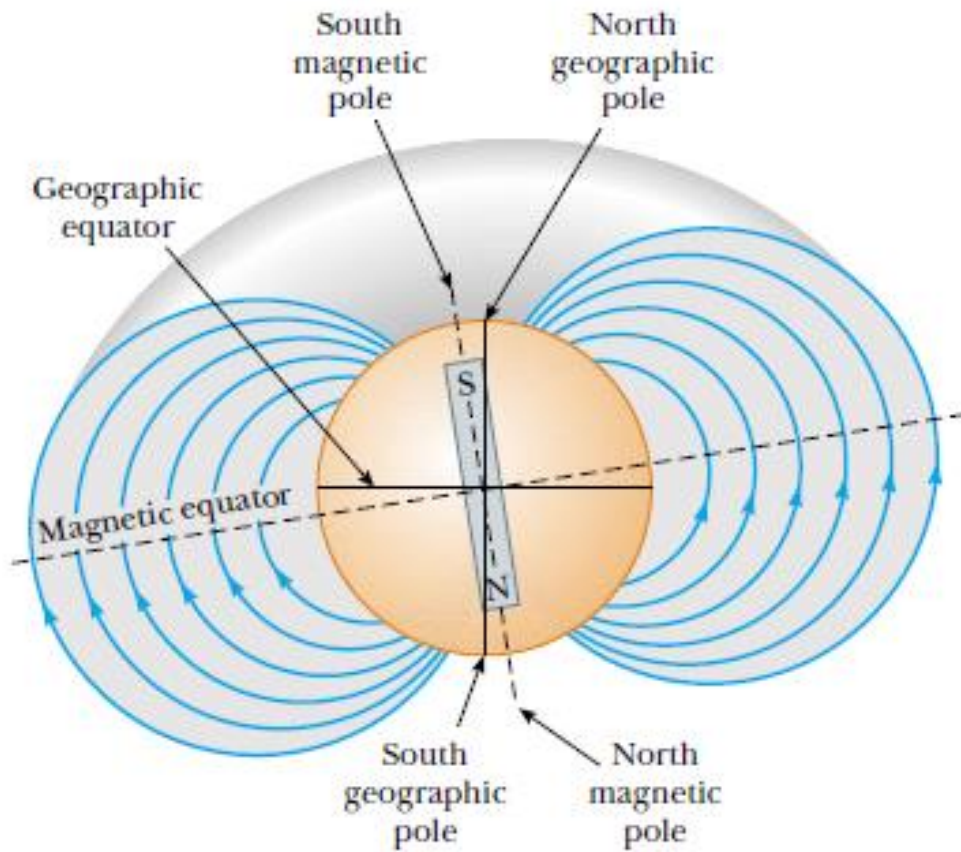
กฎของเกาส์ในแม่เหล็ก

Gauss's Law in Magnetism

- ฟลักซ์แม่เหล็กทั้งหมดที่ผ่านผิวปิดใดๆมีค่าเท่ากับศูนย์เสมอ



สนามแม่เหล็กโลก





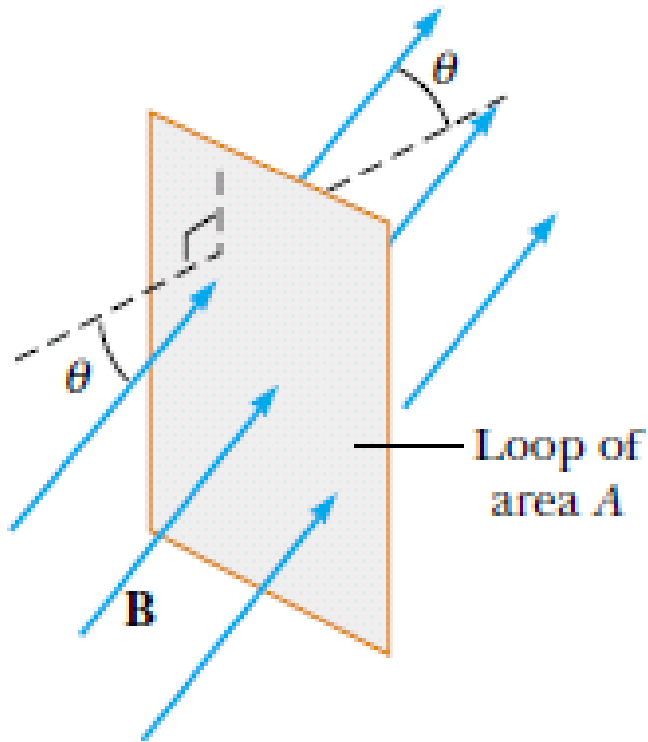
กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์

Faraday's Law of Induction

- เราสามารถทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในวงจรที่สองได้โดยการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก
- แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเกิดขึ้นที่วงจรที่สอง โดยการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก
- แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเกิดขึ้นที่วงจรใดๆจะแปรผันตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านวงจรนั้น

กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์

Faraday's Law of Induction



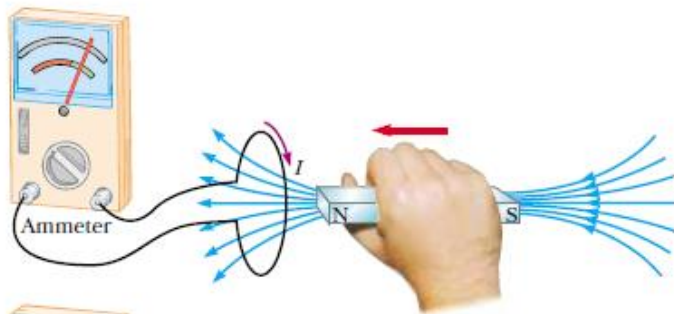
$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

ขดลวดมี N ลูป

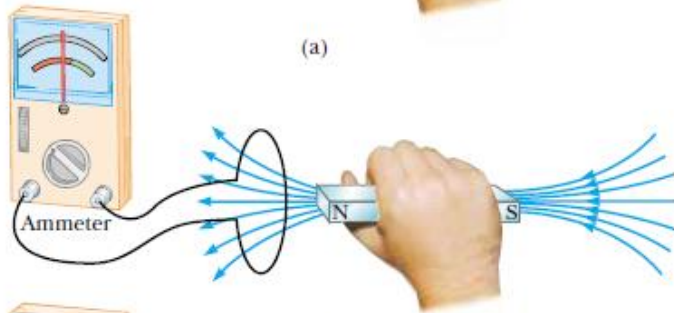
$$\mathcal{E} = -N\frac{d\Phi_B}{dt}$$

กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์

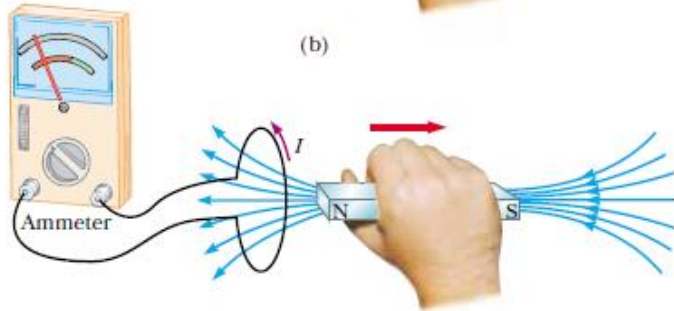
Faraday's Law of Induction



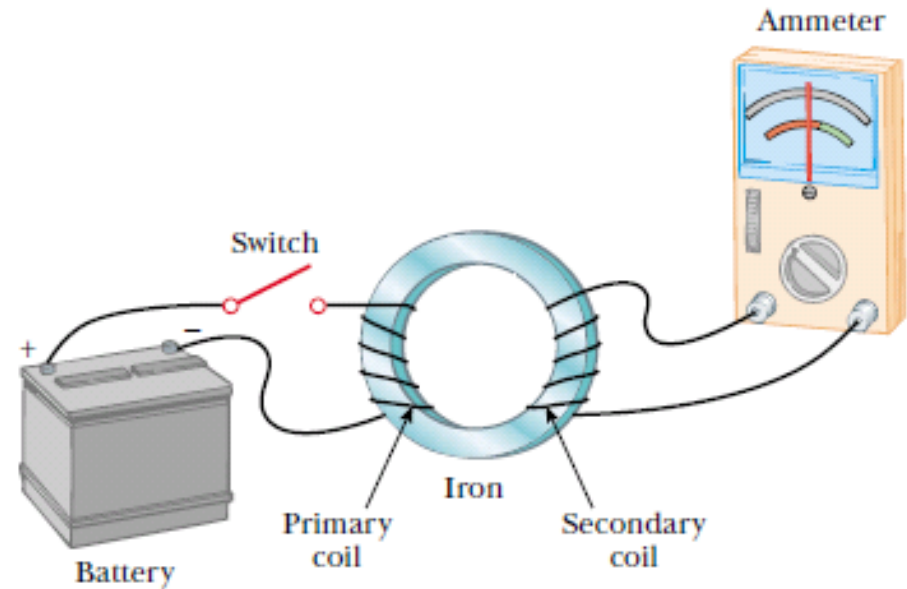
(a)



(b)



(c)





กฎของเลนซ์

Lenz's Law

- กระแสเหนี่ยวนำในลูปใดๆมีทิศทางไปตามทิศที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กในทิศตรงกันข้ามกับการอัตราการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กขณะผ่านลูปปิดในลูป

กฎของเลนซ์

Lenz's Law

