

บทที่ 6

สนามแม่เหล็กไฟฟ้าสถิต

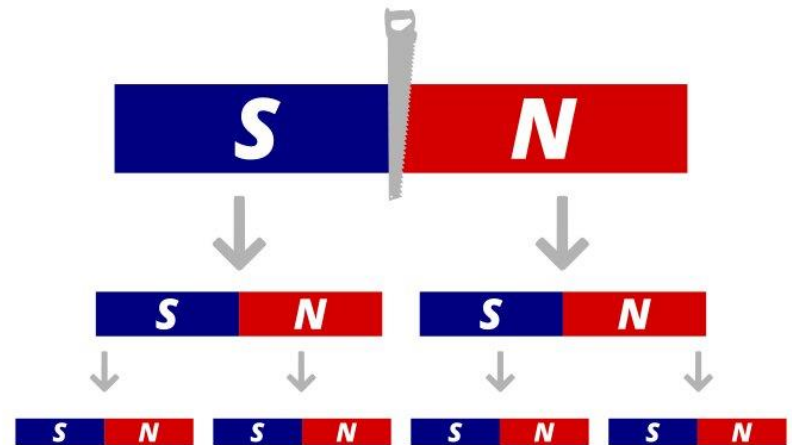
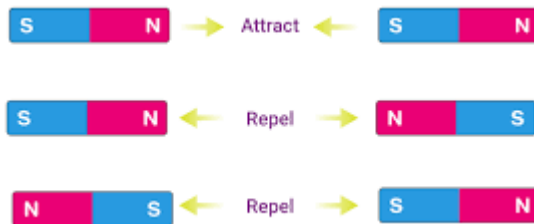
General Physics II

01420112

รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิศร์ ตั้งเจริญ

แม่เหล็ก

- แรงระหว่างขั้วแม่เหล็กมี 2 ชนิด คือ **แรงดูด** เป็นแรงระหว่างขั้วแม่เหล็กต่างชนิดกัน และ **แรงผลัก** ซึ่งเป็นแรงระหว่างขั้วแม่เหล็กที่เหมือนกัน
- **ประจุไฟฟ้า** สามารถเกิดเป็นขั้วเดียว (*monopole*) ได้ แต่ **แม่เหล็ก** ไม่สามารถทำให้เกิดเป็นขั้วเดียวๆ ได้ ต้องเกิดเป็นสองขั้ว (*dipole*) เสมอ แม้ว่าจะแบ่งแท่งแม่เหล็กให้เล็กลงไปจนถึงระดับอะตอมก็ตาม ก็ยังประกอบด้วยขั้วเหนือและขั้วใต้เสมอ



แม่เหล็ก

- สามารถจำลองหรือสร้างเส้นสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบแท่งแม่เหล็กได้ ด้วยการทดลองใช้ผงโลหะหรือเข็มทิศหลายอันวางบริเวณโดยรอบ

Magnetic field pattern surrounding a bar magnet



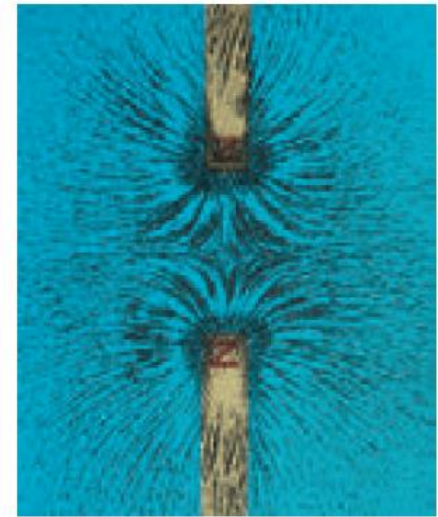
a

Magnetic field pattern between *opposite* poles (N-S) of two bar magnets



b

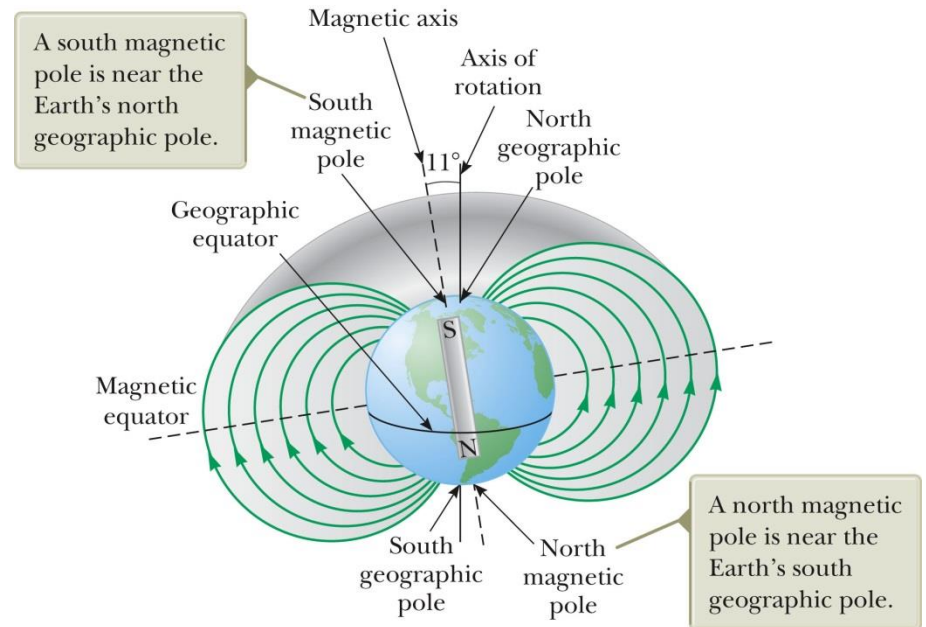
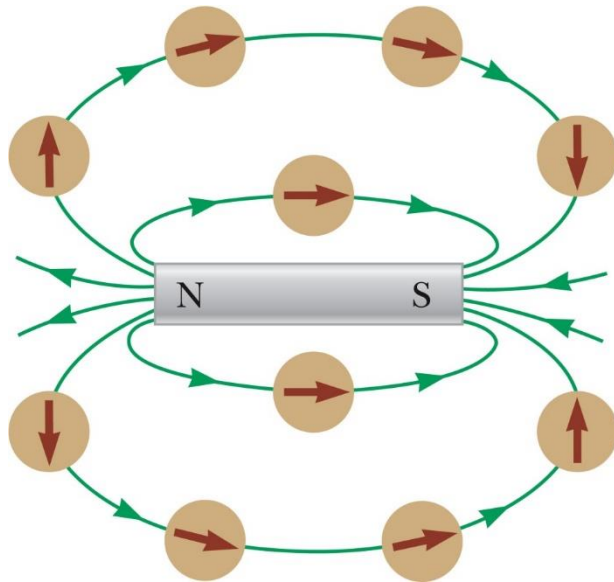
Magnetic field pattern between *like* poles (N-N) of two bar magnets



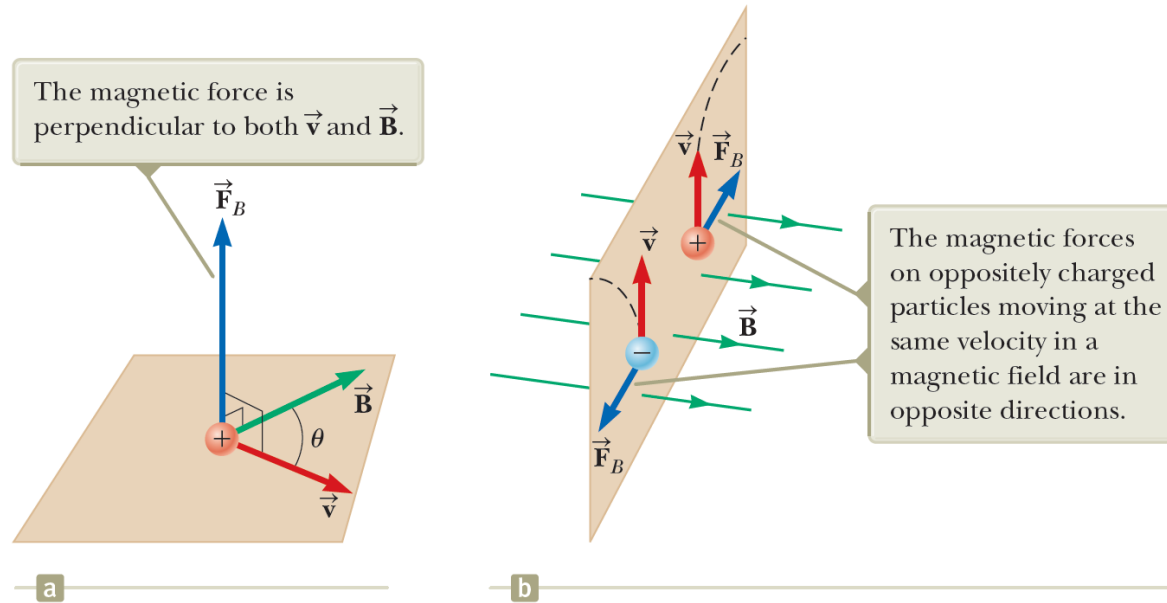
c

แม่เหล็ก

- รวมทั้งยังพบว่าโลกเปรียบเสมือนแท่งแม่เหล็กขนาดยักษ์ที่มี **ขั้วแม่เหล็กเหนือ** (north magnetic pole) อยู่ใกล้กับขั้วโลกใต้ (south geographic pole) และ **ขั้วแม่เหล็กใต้** (south magnetic pole) อยู่ใกล้กับขั้วโลกเหนือ (north geographic pole)

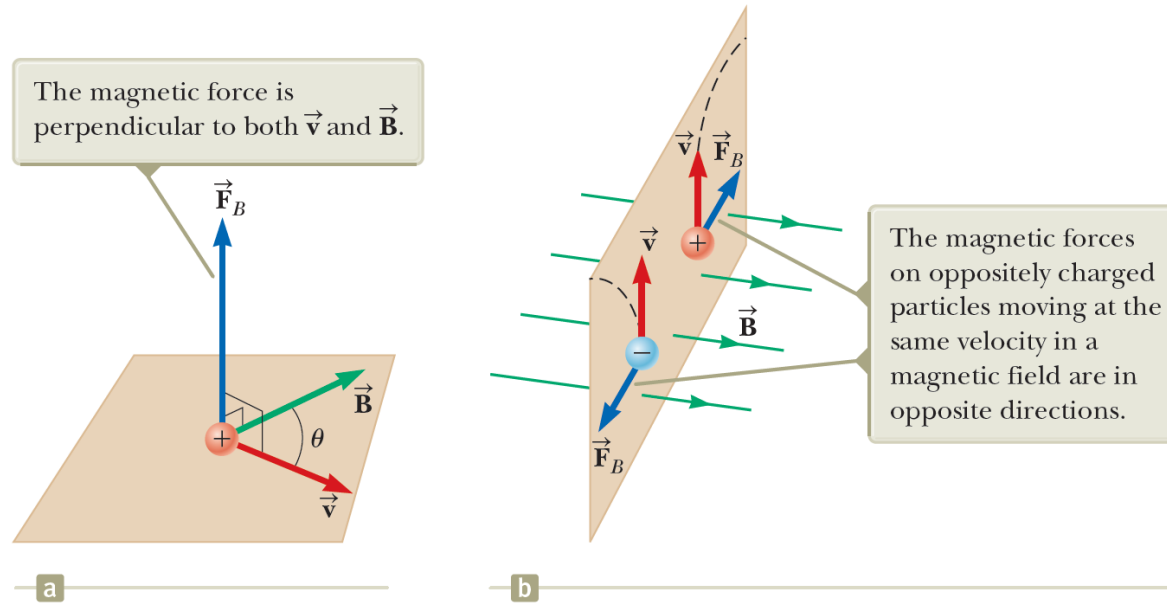


อันตรกิริยาทางแม่เหล็ก



- เมื่ออนุภาคมีประจุเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก B (หน่วยเทสลา T) ด้วยความเร็ว v โดยทำมุม θ กับสนามแม่เหล็กดังกล่าว จะเกิดแรงแม่เหล็ก F_B ที่กระทำต่ออนุภาคมีประจุขึ้นดังรูป
- ขนาดของแรงแม่เหล็ก F_B จะแปรผันตรงกับขนาดประจุ q ความเร็ว v ของประจุ และขนาดของสนามแม่เหล็ก B เสมอ
- แรงแม่เหล็ก F_B ที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุลบ (-) จะมีทิศตรงข้ามกับแรงที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุบวกซึ่งเคลื่อนที่ไปในทางเดียวกัน

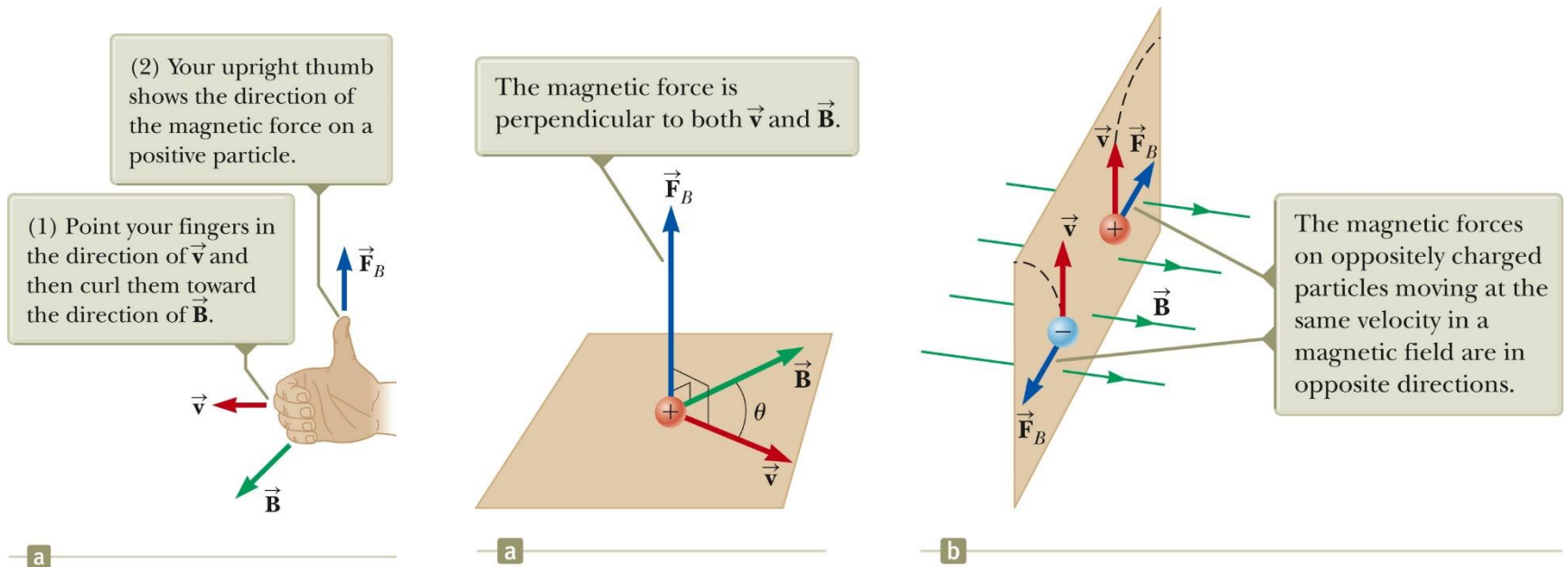
อันตรกิริยาทางแม่เหล็ก



- เมื่ออนุภาคมีประจุเคลื่อนที่ในทิศขนานกับทิศทางของสนามแม่เหล็ก แรงแม่เหล็ก F_B ที่กระทำต่ออนุภาคมีประจุจะมีค่าเป็นศูนย์
- เมื่ออนุภาคมีประจุเคลื่อนที่ในทิศที่ไม่ขนานกับทิศทางของสนามแม่เหล็ก แรงแม่เหล็ก F_B จะกระทำในทิศทางตั้งฉากกับทั้งความเร็ว v ของอนุภาคและสนามแม่เหล็ก B ดังกล่าว

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

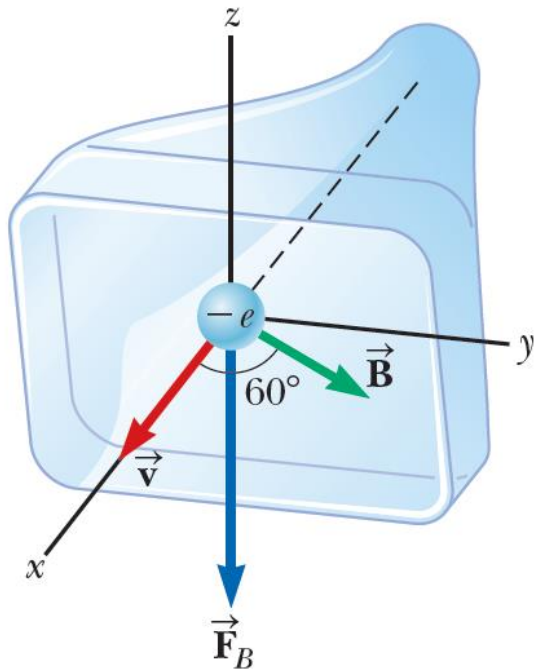
อันตรกิริยาทางแม่เหล็ก



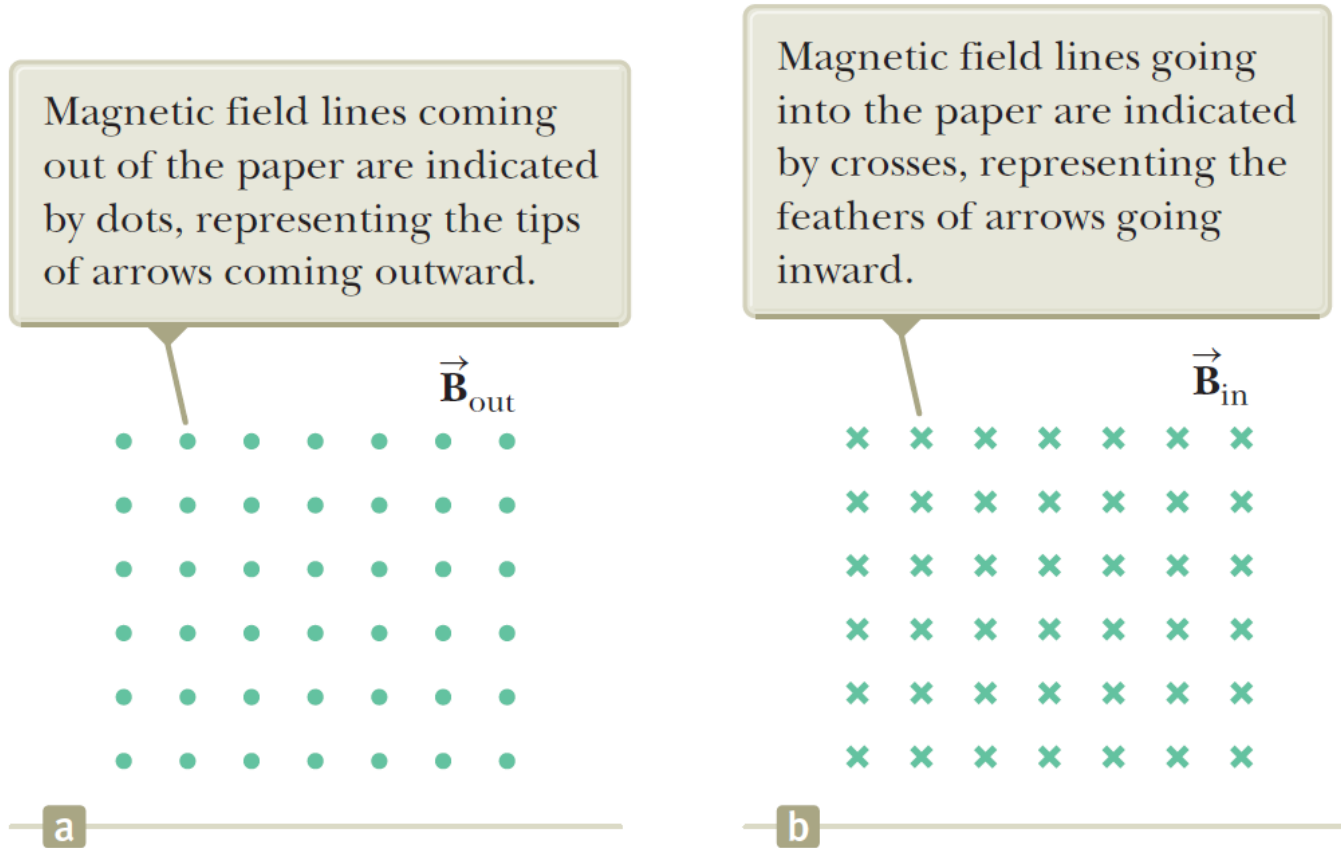
- ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของแรงแม่เหล็ก F_B ที่ตั้งฉากกับทิศทางของทั้งความเร็ว v ของอนุภาคที่มีประจุ และทิศทางของสนามแม่เหล็ก B สามารถอธิบายได้ด้วยกฎมือขวา (right-hand rule) ดังรูปด้านบนและสมการด้านล่าง

$$F_B = |q|vB \sin \theta$$

ตัวอย่างที่ 6.1 อิเล็กตรอนในหลอดสุญญากาศของโทรทัศน์แบบเก่าวิ่งไปข้างหน้าด้วยความเร็ว $8.0 \times 10^6 \text{ m/s}$ ตามแนวแกน x ดังรูป ขดลวดที่พันอยู่รอบหลอดก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีขนาด 0.025 T และมีทิศทางทำมุม 60° กับแกน x (อยู่ในระนาบ xy) จงหา ก) แรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออิเล็กตรอน และ ข) ความเร่งของอิเล็กตรอนดังกล่าว

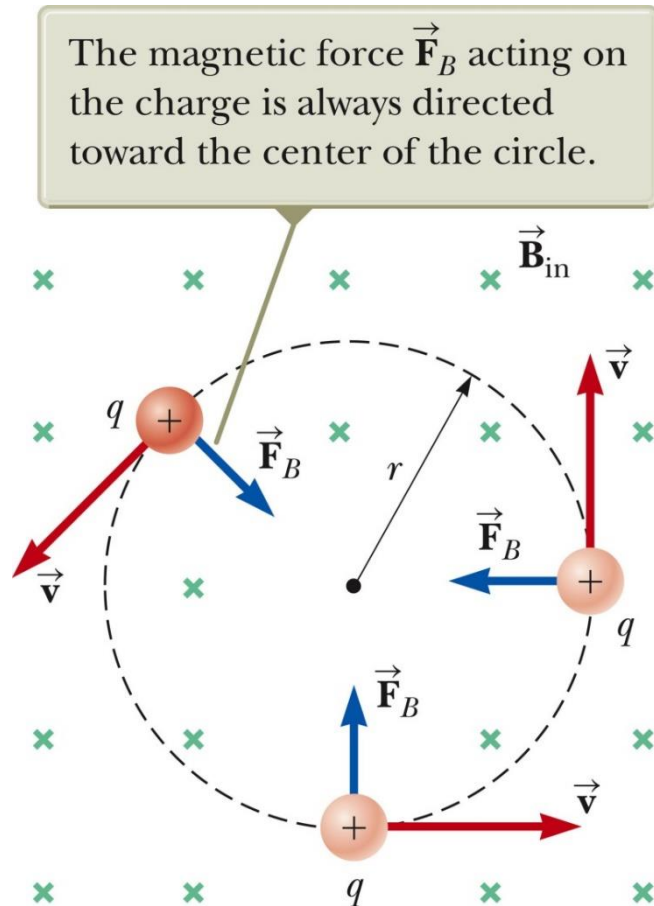


การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ



รูปแสดงสนามแม่เหล็ก B ที่ตั้งฉากกับหน้าจอ (ซ้าย) มีทิศพุ่งออก และ (ขวา) มีทิศพุ่งเข้า

การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ



จากกฎข้อที่สองของนิวตัน

$$\Sigma F = F_B = ma$$

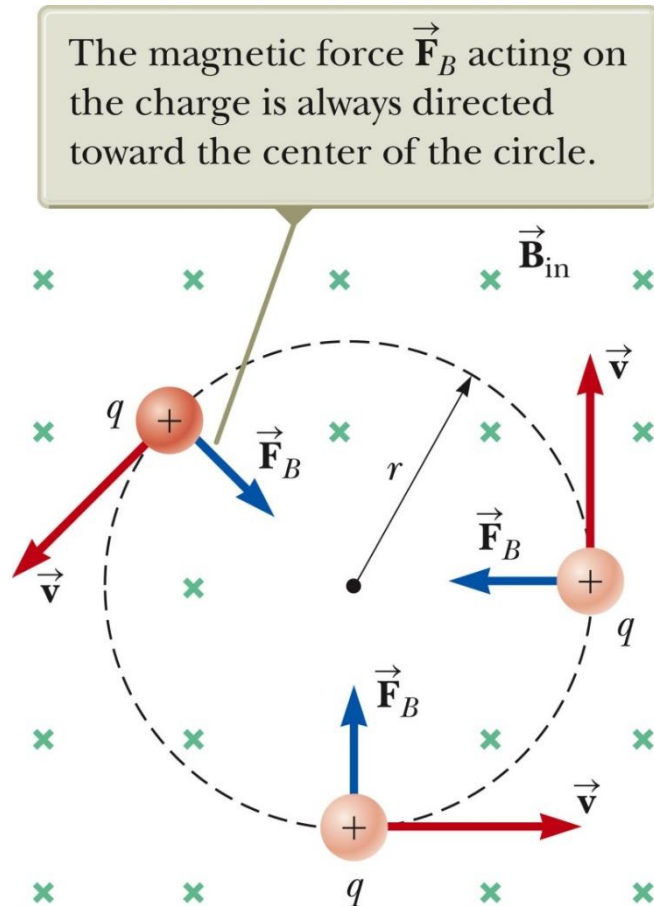
เนื่องจากอนุภาคมีประจุเคลื่อนที่แบบวงกลมจึงมีความเร่งสู่ศูนย์กลาง

$$F_B = qvB = \frac{mv^2}{r}$$

จึงได้รัศมีของการเคลื่อนที่แบบวงกลมคือ

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

การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ



จากความเร็วเชิงมุม

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m}$$

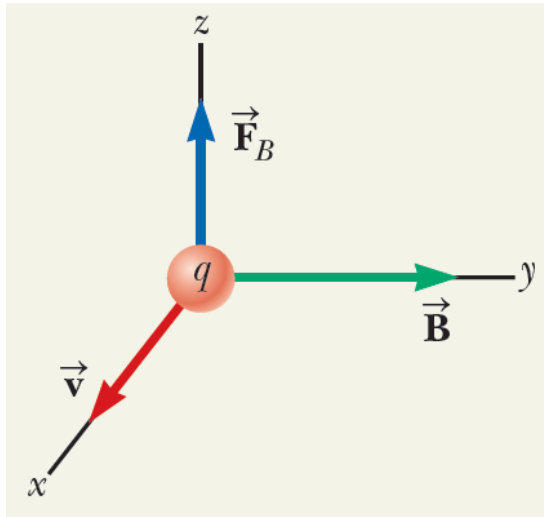
คาบของการเคลื่อนที่เท่ากับเส้นรอบวงหารด้วยอัตราเร็วของอนุภาค

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB}$$

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า

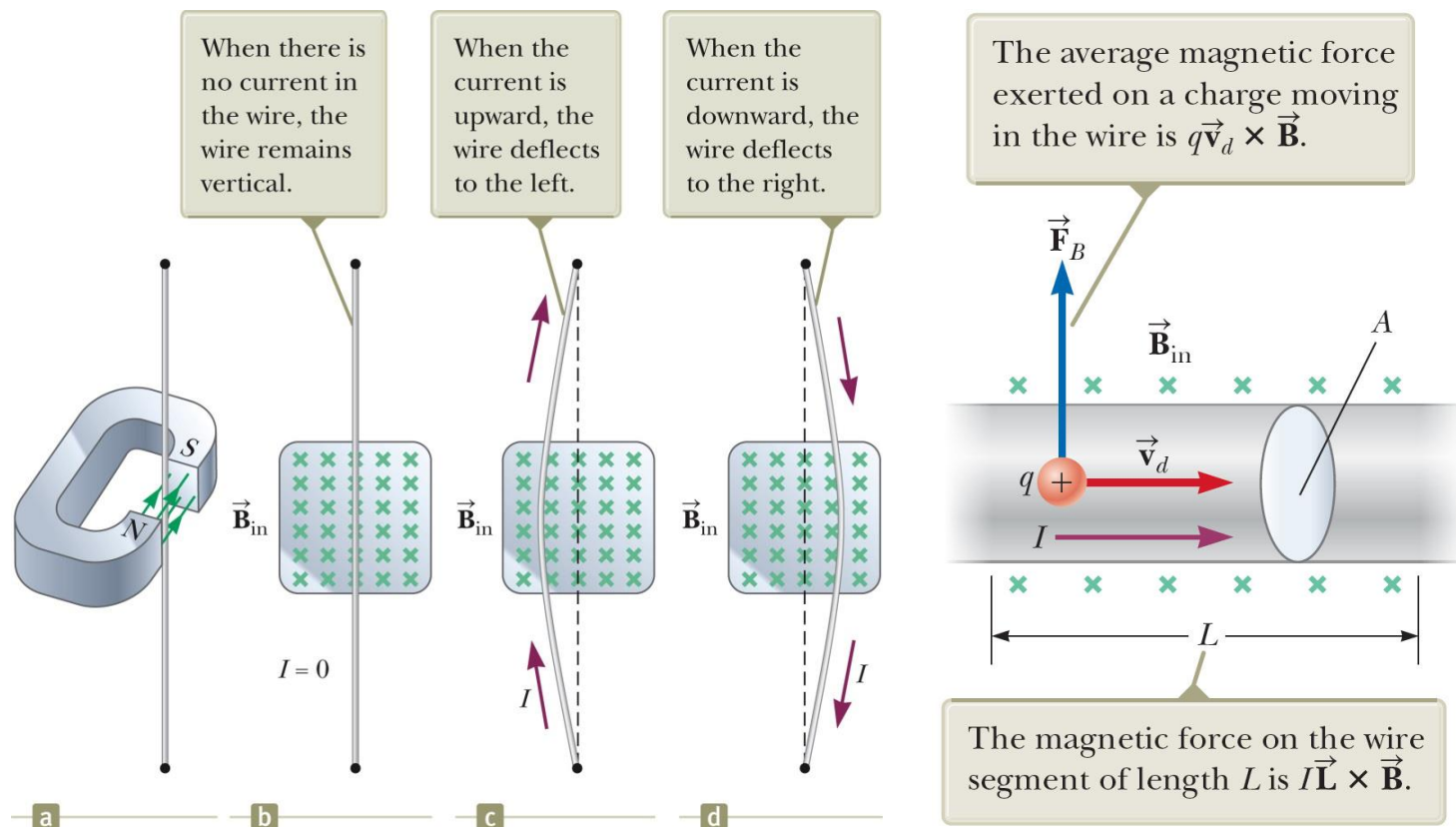
$$\omega = \frac{qB}{m} \quad f = \frac{qB}{2\pi m}$$

ตัวอย่างที่ 6.2 อนุภาคโปรตรอนกำลังเคลื่อนที่แบบวงกลมมีวงโคจรรัศมี 14 cm ในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอที่มีขนาด 0.35 T ซึ่งตั้งฉากกับความเร็วของโปรตรอน จงหาความเร็วของโปรตรอนนี้

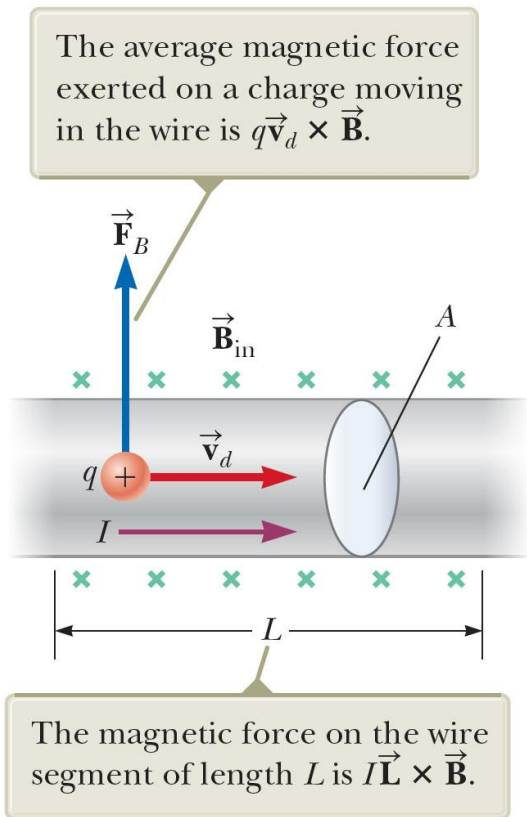


แรงแม่เหล็กบนตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

- อนุภาคมีประจุที่เคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กจะมีแรงแม่เหล็กกระทำต่ออนุภาค
- ขดลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านก็จะถูกแรงแม่เหล็กกระทำด้วยเช่นกัน



แรงแม่เหล็กบนตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน



เนื่องจากปริมาตรของขดลวดตัวนำคือ AL

ดังนั้นจำนวนประจุในส่วนหนึ่งส่วนใดของขดลวดจึงมีค่าเท่ากับ

$$nAL$$

เมื่อ n เป็นจำนวนประจุที่เคลื่อนที่ต่อหน่วยปริมาตร

ด้วยเหตุนี้แรงแม่เหล็กรวมที่กระทำบนส่วนหนึ่งส่วนใดของขดลวดตัวนำที่มีความยาว L คือ

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

เนื่องจาก $I = nqv_dA$ ดังนั้นสมการข้างต้นจึงกลายเป็น

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

แรงแม่เหล็กบนตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

พิจารณาส่วนหนึ่งส่วนใดของเส้นลวดตัวนำที่มีรูปร่างใดๆ แต่มี
ภาคตัดขวางที่สม่ำเสมอในสนามแม่เหล็กดังรูป แรงแม่เหล็กจะ
ออกแรงกระทำบนส่วนเล็กๆ ของเวกเตอร์ความยาว $d\vec{S}$ ใน
สนามแม่เหล็ก \vec{B} ดังสมการ

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

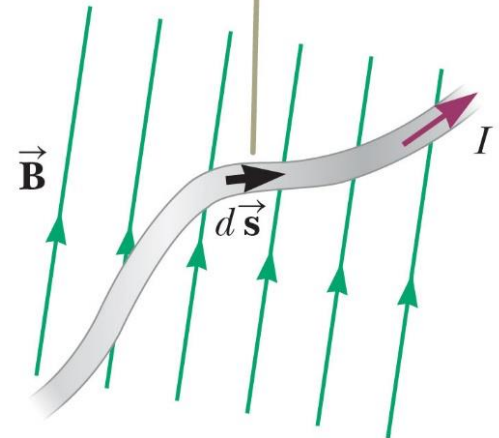
ซึ่งสามารถคำนวณแรงลัพธ์ \vec{F}_B ที่กระทำบนเส้นลวดตัวนำ
ดังกล่าวด้วยการอินทิเกรตสมการข้างต้นตลอดช่วงความยาว
ของเส้นลวดตัวนำนี้

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

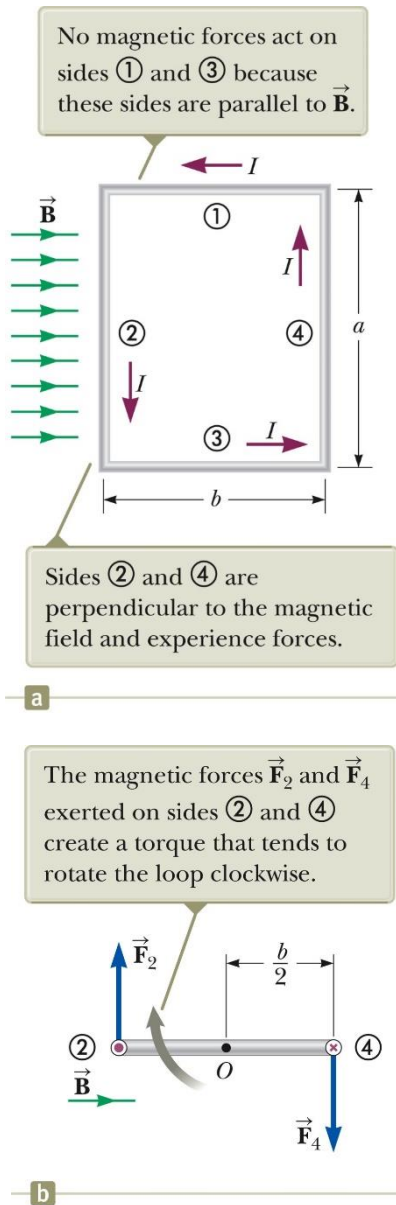
เมื่อ a และ b คือจุดปลายของเส้นลวดตัวนำ ซึ่งเมื่ออินทิเกรต
แล้ว ขนาดและทิศทางของสนามแม่เหล็กจะเป็นไปตามเวกเตอร์

$d\vec{S}$ ที่อาจจะเปลี่ยนแปลงไปตามแต่ละตำแหน่ง

The magnetic force on any
segment $d\vec{S}$ is $I d\vec{S} \times \vec{B}$ and
is directed out of the page.



ทอร์กเนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่วนลูปภายในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ



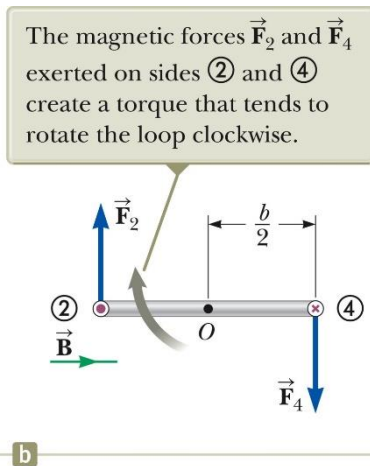
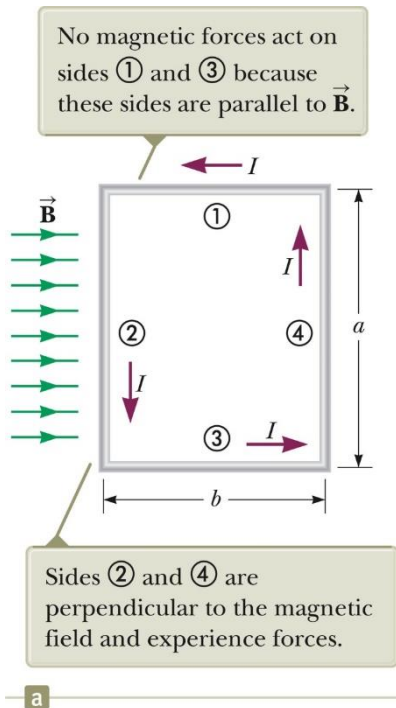
- พิจารณาวงปิดสี่เหลี่ยมที่นำกระแส I ขนาด $a \times b$ ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ จะพบว่า ณ ตำแหน่งหมายเลข 1 และ 3 แรงแม่เหล็กจะมีค่าเท่ากับศูนย์ (เนื่องจากวางตัวในแนวขนานกับสนามแม่เหล็ก B)

$$F_B = ILB \sin \theta = IbB \sin 180^\circ = 0$$

- ในทางกลับกัน ณ ตำแหน่งหมายเลข 2 และ 4 (ซึ่งเส้นลวดตัวนำวางตัวในแนวตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก B) แรงแม่เหล็กจะมีค่าเท่ากับ

$$F_2 = F_4 = IaB \sin 90^\circ = IaB$$

ทอร์กเนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่วนลูปภายในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ



- พิจารณาทอร์กที่เกิดจากแรงแม่เหล็ก B ณ ตำแหน่งหมายเลข 2 และ 4 ซึ่งมีทิศตรงข้ามกันแต่มีจุด O เป็นจุดหมุนร่วมกัน จะพบว่า

$$\tau_{\max} = F_2 \frac{b}{2} + F_4 \frac{b}{2}$$

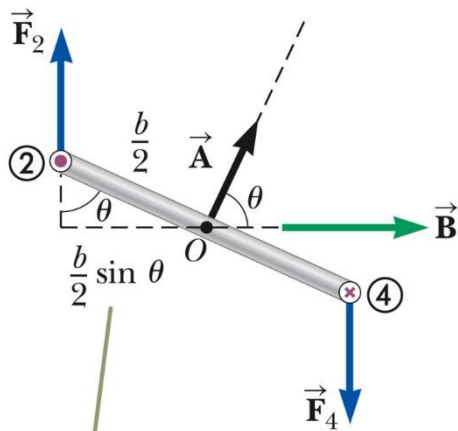
$$\tau_{\max} = (IaB) \frac{b}{2} + (IaB) \frac{b}{2}$$

$$\tau_{\max} = IabB$$

- เนื่องจากพื้นที่ปิดล้อมด้วยลูป A มีขนาดเท่ากับ ab ดังนั้น

$$\tau_{\max} = IAB$$

ทอร์กเนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่วนลูปภายในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ



When the normal to the loop makes an angle θ with the magnetic field, the moment arm for the torque is $(b/2) \sin \theta$.

- ในกรณีระนาบตั้งฉากของลูปวงปิดทำมุมใดๆ (ไม่เท่ากับ 90°) กับสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ ดังรูป

$$\tau = F_2 \frac{b}{2} \sin \theta + F_4 \frac{b}{2} \sin \theta$$

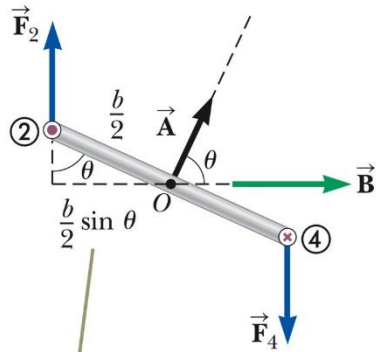
$$\tau = IaB \left(\frac{b}{2} \sin \theta \right) + IaB \left(\frac{b}{2} \sin \theta \right)$$

$$\tau = IabB \sin \theta$$

- เนื่องจากพื้นที่ปิดล้อมด้วยลูป A มีขนาดเท่ากับ ab ดังนั้น

$$\tau = IAB \sin \theta$$

ทอร์กเนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่วนลูปภายในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ



When the normal to the loop makes an angle θ with the magnetic field, the moment arm for the torque is $(b/2) \sin \theta$.

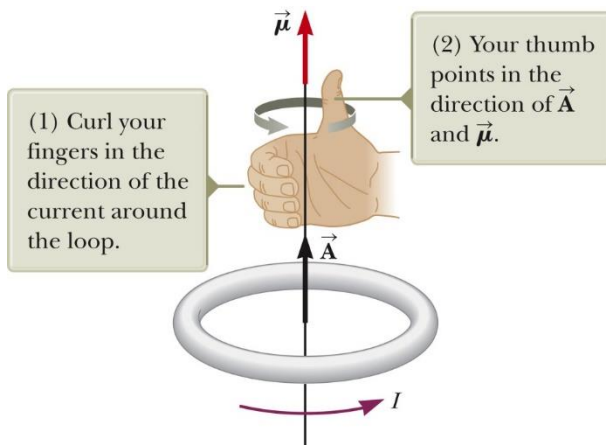
- ดังนั้นทอร์กที่กระทำบนกระแสไฟฟ้าวนลูปที่วางตัวอยู่ในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ B คือ

$$\vec{\tau} = I \vec{A} \times \vec{B}$$

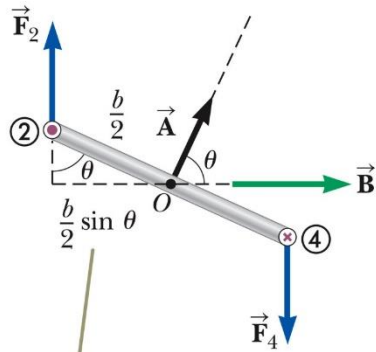
เมื่อ \vec{A} เป็นเวกเตอร์ตั้งฉากกับระนาบลูปที่มีขนาดเท่ากับพื้นที่ของลูป

- ในการหาทิศทางของ \vec{A} สามารถใช้กฎมือขวาดังรูป โดยนิ้วทั้งสี่ของมือขวาจะงอไปในทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า และเนื่องจากโมเมนต์ขั้วคู่แม่เหล็ก (magnetic dipole moment; $\vec{\mu}$) มีค่าเท่ากับ

$$\vec{\mu} = I \vec{A}$$



ทอร์กเนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่วนลูปภายในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ



When the normal to the loop makes an angle θ with the magnetic field, the moment arm for the torque is $(b/2) \sin \theta$.

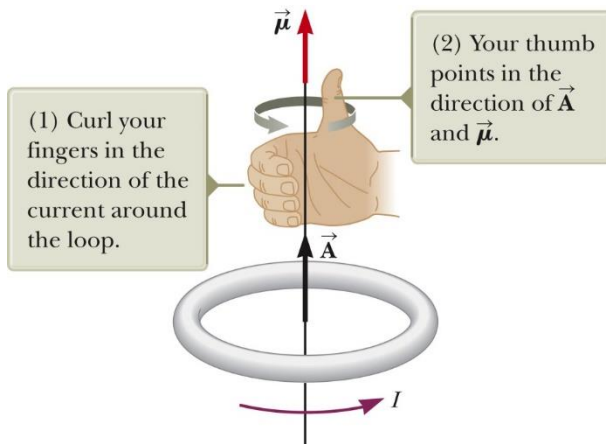
$$\vec{\mu} = I \vec{A}$$

- $\vec{\mu}$ มักเรียกว่าโมเมนต์แม่เหล็ก มีหน่วยคือ แอมแปร์-เมตร² ($A \cdot m^2$) ซึ่งหากพันขดลวด N รอบ โมเมนต์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นภายในขดลวดจะมีค่าเท่ากับ

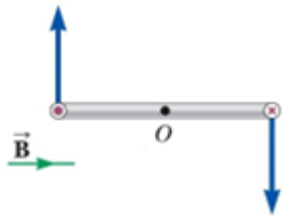
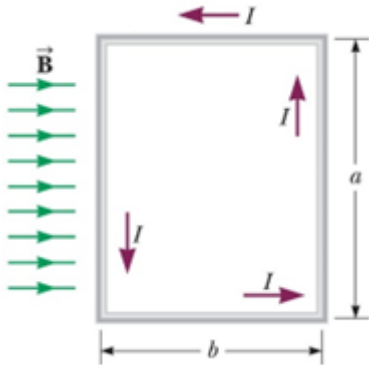
$$\vec{\mu}_{coil} = NI \vec{A}$$

$$\vec{\tau}_{coil} = \vec{\mu}_{coil} \times \vec{B}$$

$$\tau_{coil} = \mu_{coil} B \sin \theta$$

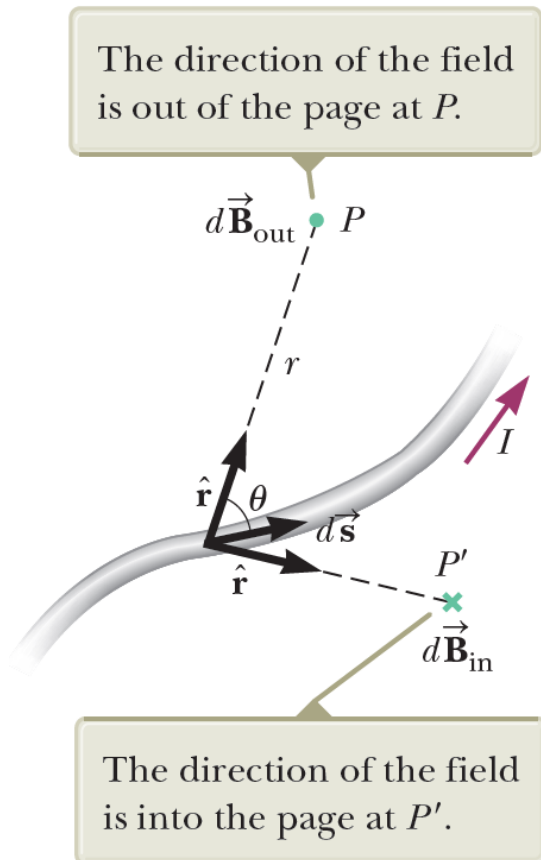


ตัวอย่างที่ 6.3 ขดลวดสี่เหลี่ยมขนาด $2.0 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$ ประกอบด้วยเส้นลวดพันอยู่ 20 รอบ และนำกระแสไฟฟ้า 2.0 A หากใส่สนามแม่เหล็กสม่ำเสมอขนาด 0.25 T เข้าไปให้ขนานกับระนาบของขดลวด จงหา ก) ขนาดของโมเมนต์ขั้วคู่แม่เหล็กของขดลวด และ ข) ขนาดของทอร์กที่กระทำบนลูป



กฎของบิโอต์-ซาวาร์ต

- ซอง-บาติสต์ บิโอต์ (Jean-Baptiste Biot: 1774-1862) และฟีลิกซ์ ซาวาร์ต (Felix Savart: 1791-1841) ได้ทำการทดลองเชิงปริมาณเกี่ยวกับแรงอันเนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าบนแม่เหล็กที่วางอยู่ใกล้ๆ



- จากการสังเกตเขาพบว่าสนามแม่เหล็ก $d\vec{B}$ ที่จุด P จะมีความสัมพันธ์กับส่วนของเส้นลวดที่มีความยาว $d\vec{S}$ ซึ่งมีกระแสไฟฟ้าคงที่ I ไหลผ่านดังสมการ

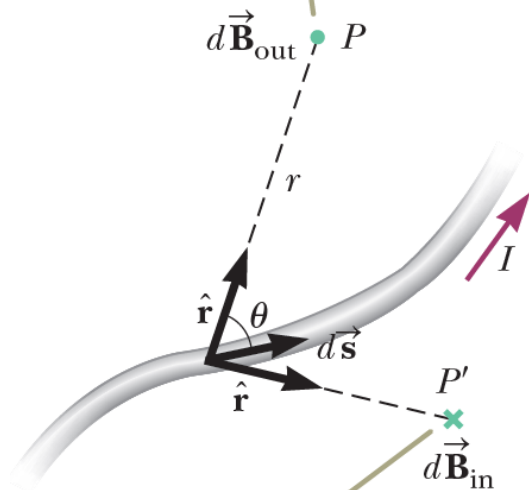
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{S} \times \vec{r}}{r^2}$$

เมื่อ μ_0 คือค่าคงที่ ซึ่งเรียกว่า สภาพซึมซาบของสุญญากาศ (permeability of free space)

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

กฎของบีโอดต์-ซาวาร์ต

The direction of the field is out of the page at P .



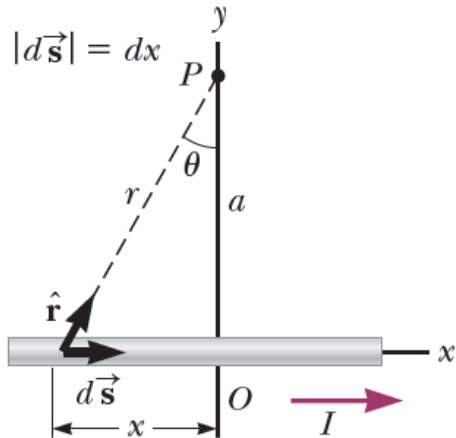
The direction of the field is into the page at P' .

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

- สนามแม่เหล็ก $d\vec{B}$ ในสมการข้างต้นถูกสร้างขึ้นที่จุดหนึ่งโดยกระแสไฟฟ้าในส่วนเล็ก $d\vec{S}$ ของเส้นลวดตัวนำ เพื่อที่จะหาสนามแม่เหล็กรวม \vec{B} ที่ถูกสร้างขึ้นที่ตำแหน่งต่างๆ โดยความยาวทั้งหมดของเส้นลวดตัวนำนี้ ต้องทำการอินทิเกรตสมการดังกล่าว

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

สนามแม่เหล็กที่อยู่รอบเส้นลวดตัวนำตรงบาง

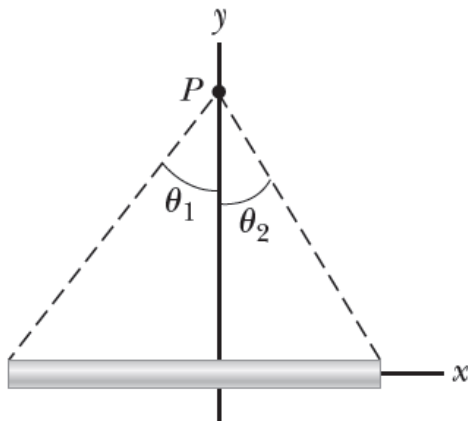


a

- ในกรณีที่มีความยาวค่าหนึ่ง

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

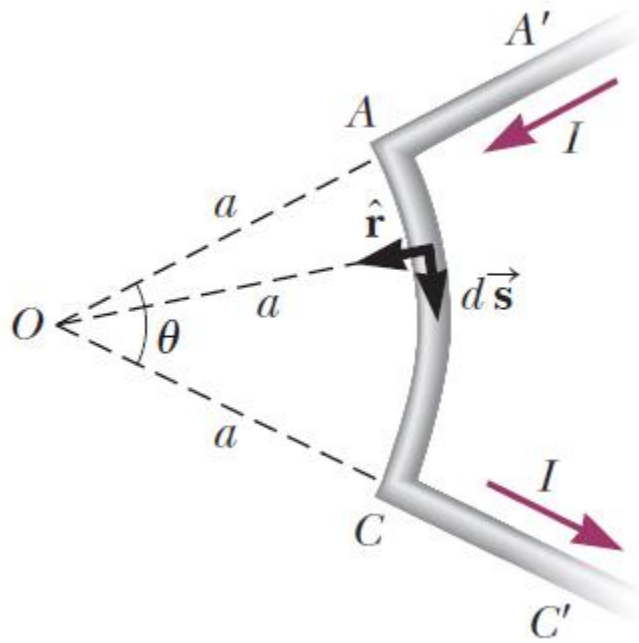
- ในกรณีที่มีความยาวเป็นอนันต์



b

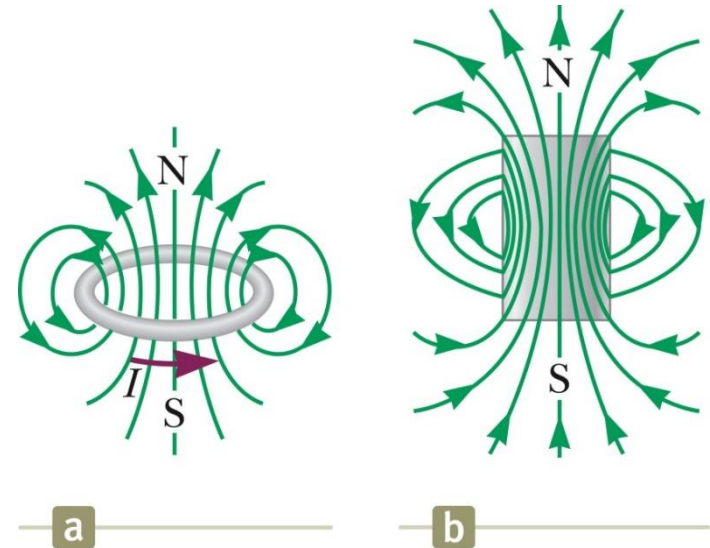
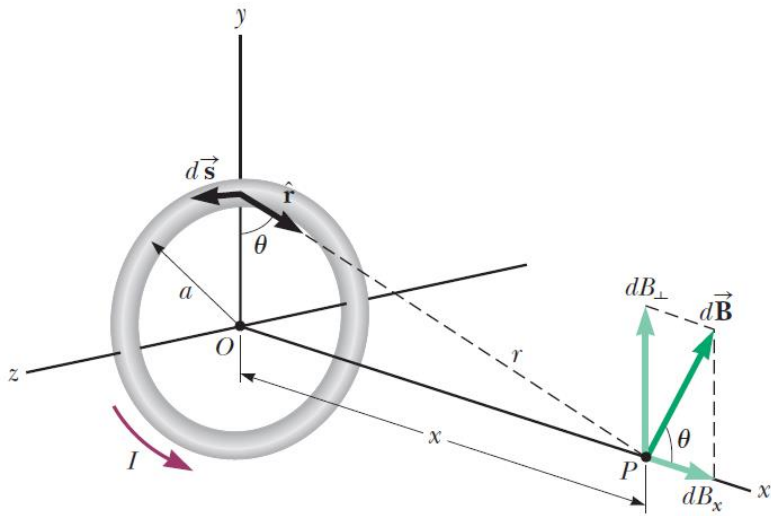
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

สนามแม่เหล็กอันเนื่องมาจากส่วนโค้งของเส้นลวด



$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} \theta$$

สนามแม่เหล็กบนแกนของลูปกระแสรูปร่างกลม



- ณ ตำแหน่ง x ใดๆ

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

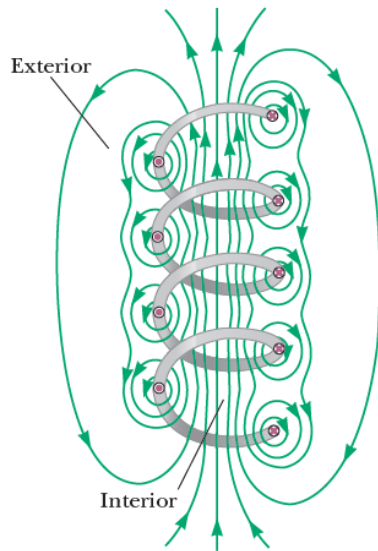
- ในกรณี $x \gg a$

$$B_x = \frac{\mu_0 I a^2}{2x^3}$$

- ณ จุดกึ่งกลางของวงปิด ($x = 0$)

$$B_x = \frac{\mu_0 I}{2a}$$

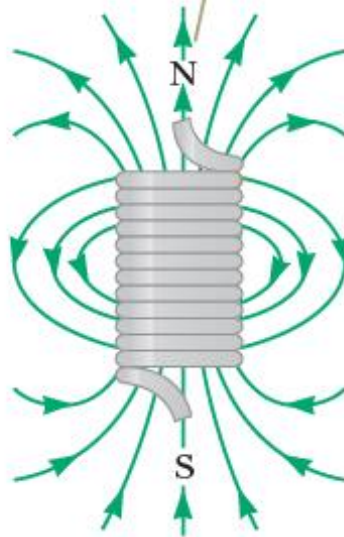
สนามแม่เหล็กของขดลวดโซลินอยด์



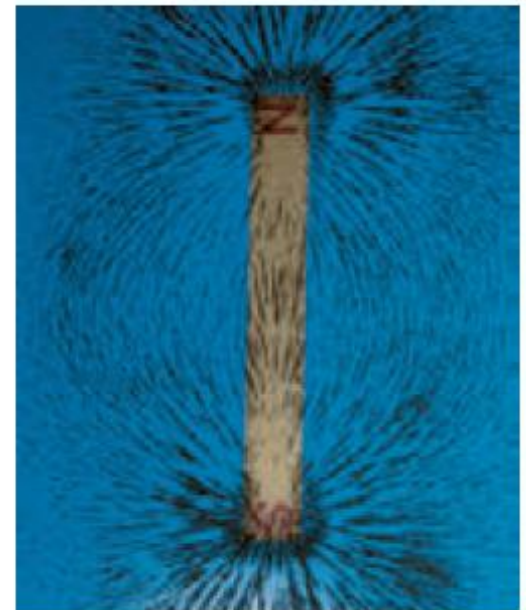
$$B = \mu_0 \frac{N}{l} I = \mu_0 n I$$

เมื่อ $n = N/l$ คือจำนวนของ
รอบต่อหนึ่งหน่วยความยาว

The magnetic field lines resemble those of a bar magnet, meaning that the solenoid effectively has north and south poles.



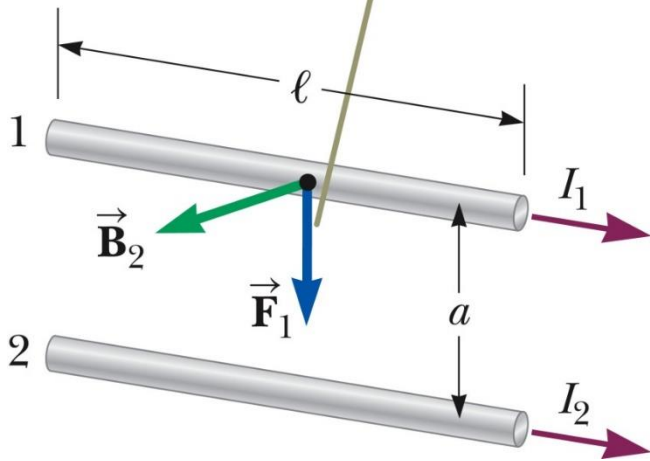
a



b

แรงแม่เหล็กระหว่างเส้นลวดตัวนำที่วางขนานกัน

The field \vec{B}_2 due to the current in wire 2 exerts a magnetic force of magnitude $F_1 = I_1 \ell B_2$ on wire 1.



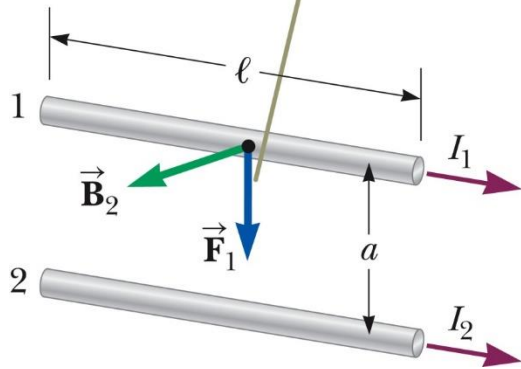
- เส้นลวดตัวนำที่มีกระแสไหลผ่านทั้ง 2 เส้น ย่อมต้องออกแรงแม่เหล็กกระทำซึ่งกันและกัน จากรูปเส้นลวดตัวนำหมายเลข 1 จะได้รับอิทธิพลจากสนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้นโดยเส้นลวดตัวนำหมายเลข 2 แรงแม่เหล็ก F_1 ที่ได้เป็นดังรูป จาก

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi a}$$

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

แรงแม่เหล็กระหว่างเส้นลวดตัวนำที่วางขนานกัน

The field \vec{B}_2 due to the current in wire 2 exerts a magnetic force of magnitude $F_1 = I_1 \ell B_2$ on wire 1.



$$F_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} l$$

สามารถแสดงขนาดในเทอมของแรงต่อหน่วยความยาวได้ดังสมการ

$$\frac{F_1}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a}$$

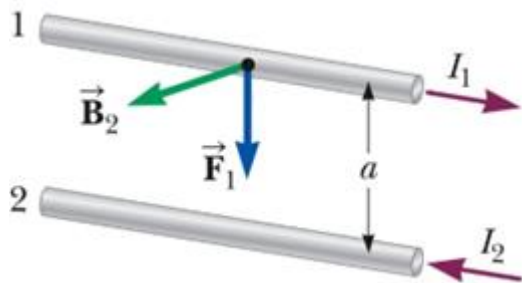
เมื่อพิจารณาเส้นลวดตัวนำหมายเลข 2 จะได้ผลลัพธ์ที่เหมือนกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า

- ตัวนำในแนวขนานกันและนำกระแสในทิศเดียวกันจะออกแรงดึงดูดกัน
- ตัวนำในแนวขนานกันและนำกระแสในทิศตรงข้ามกันจะออกแรงผลักกัน
- ส่วนแรงต่อหน่วยความยาวระหว่างตัวนำจะมีขนาดเท่ากันเสมอ

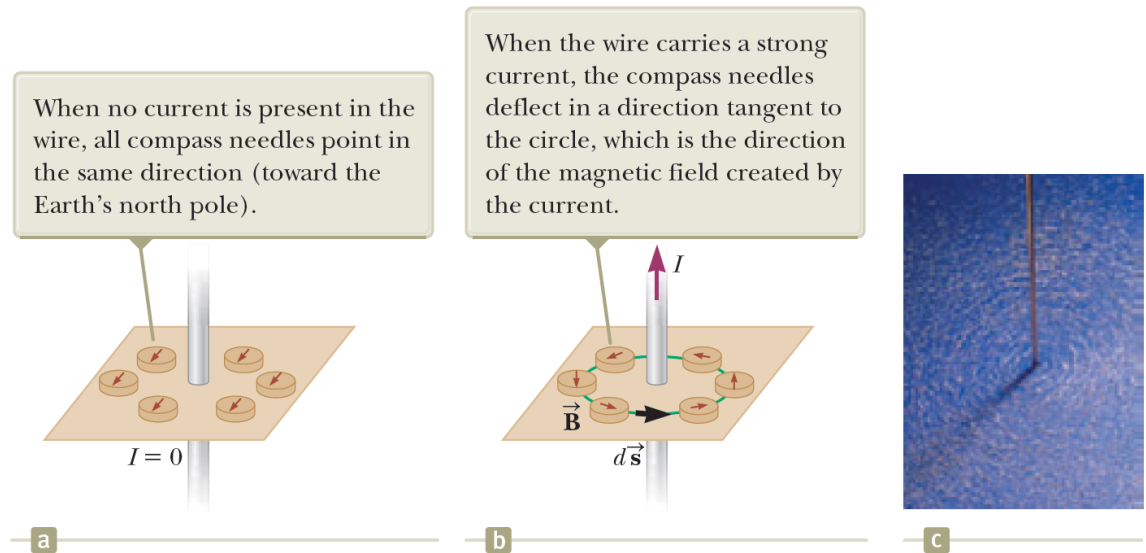
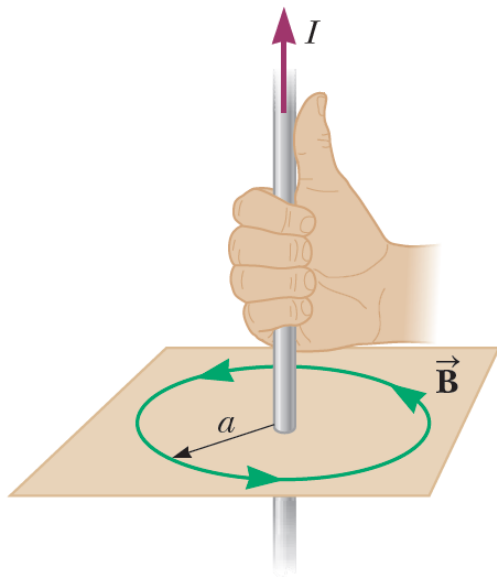
นอกจากนั้นสมการข้างต้นถูกใช้ในการนิยาม “แอมแปร์” ดังนี้

“เมื่อขนาดของแรงต่อหน่วยความยาวระหว่างเส้นลวดยาวสองเส้นซึ่งวางขนานและห่างกัน 1 m และมีกระแสไหลผ่านเท่ากัน คือ 2×10^{-7} N/m กระแสในเส้นลวดแต่ละเส้นถูกนิยามให้มีค่าเท่ากับ 1 A”

ตัวอย่างที่ 6.4 เส้นลวดตัวนำจำนวน 2 เส้นซึ่งมีความยาวเส้นละ 6 m เท่ากัน วางขนานกันดังรูป โดยมีระยะห่างระหว่างกันเท่ากับ 2 mm หากมีกระแสไฟฟ้า ขนาด 4 A ไหลผ่านเส้นลวดทั้งสองในทิศตรงข้ามกัน จงหาแรงที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นลวดตัวนำเหล่านี้



กฎของแอมแปร์

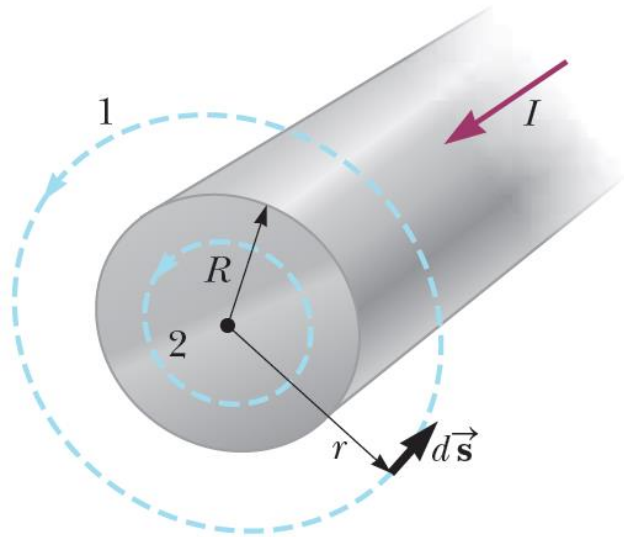


กฎของแอมแปร์ (Ampere's law) เป็นกฎที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำใดๆ

“อินทิกรัลตามเส้นของ $\vec{B} \cdot d\vec{S}$ รอบเส้นทางปิดใดๆ จะมีค่าเท่ากับ $\mu_0 I$ เสมอ เมื่อ I คือกระแสไฟฟ้าคงตัวทั้งหมดที่ไหลผ่านพื้นที่ผิวใดๆ ที่ถูกล้อมรอบด้วยเส้นทางปิดนั้น”

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

สนามแม่เหล็กที่เกิดจากเส้นลวดยาวที่มีกระแสไหลผ่าน



- ในกรณี $r \geq R$

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

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

สนามแม่เหล็กที่เกิดจากเส้นลวดยาวที่มีกระแสไหลผ่าน

- ในกรณี $r < R$

กระแส I' ที่ผ่านระนาบวงกลม 2 จะน้อยกว่ากระแสไฟฟ้ารวม I

กำหนดอัตราส่วนของกระแสไฟฟ้า I' ที่ล้อมรอบด้วยวงกลม 2 กับกระแสไฟฟ้าทั้งหมด I จะเท่ากับอัตราส่วนของพื้นที่ πr^2 ที่ถูกล้อมรอบโดยวงกลม 2 ที่มีพื้นที่ตัดขวางเส้นลวด πR^2

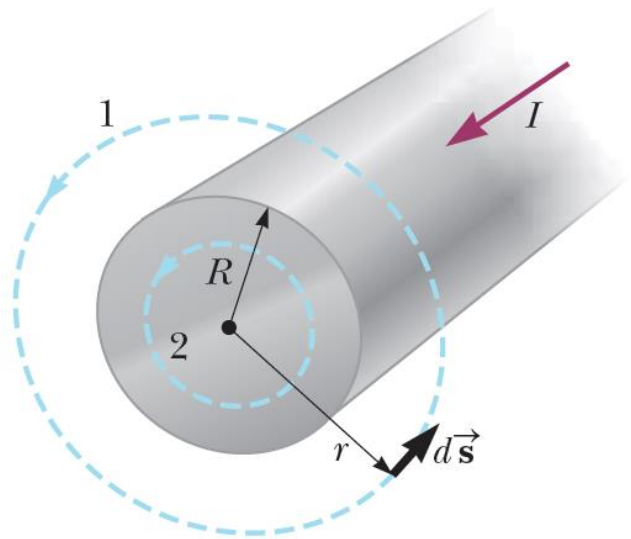
$$\frac{I'}{I} = \frac{\pi r^2}{\pi R^2} \rightarrow I' = \frac{r^2}{R^2} I$$

ใช้กฎของแอมแปร์กับวงกลม 2

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = B(2\pi r) = \mu_0 I' = \mu_0 \left(\frac{r^2}{R^2} I \right)$$

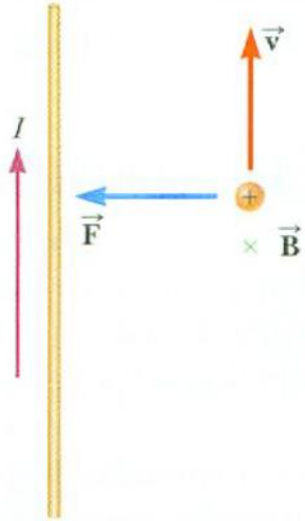
ดังนั้นจึงได้ว่า

$$B = \left(\frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} \right) r$$

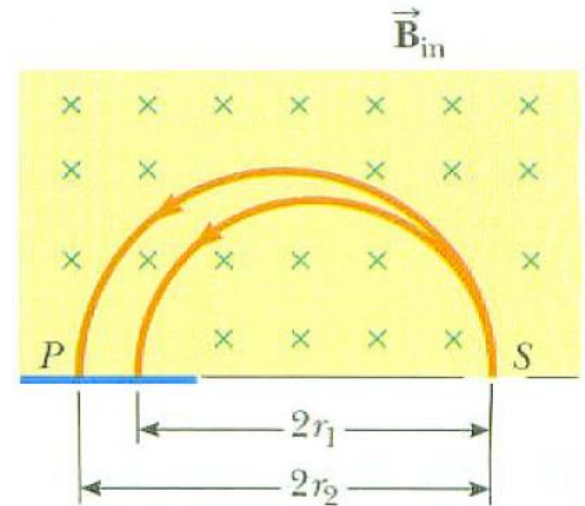


การบ้านครั้งที่ 6

ข้อที่ 1 เส้นลวดตัวนำเส้นหนึ่งมีกระแสไฟฟ้า 5.0 A ไหลผ่าน ต่อมามีโปรตอนตัวหนึ่งเคลื่อนที่ผ่านเข้ามาใกล้ในทิศทางขนานกับเส้นลวดตัวนำดังกล่าว (มีทิศทางเดียวกับการไหลของกระแสไฟฟ้า) ด้วยความเร็ว $1.50 \times 10^3 \text{ m/s}$ โดยมีระยะห่าง 4 mm ดังรูป จงหา ก) ขนาดและของสนามแม่เหล็กที่เส้นลวดตัวนำนี้สร้างขึ้น และ ข) ขนาดและทิศทางของแรงแม่เหล็กที่เส้นลวดตัวนำนี้กระทำต่อโปรตอนตัวนี้



ข้อที่ 2 อะตอม 2 ตัวพุ่งออกจากช่องเปิด S ด้วยความเร็ว $1.0 \times 10^6 \text{ m/s}$ และเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็กขนาด 0.1 T ที่มีทิศพุ่งเข้าดังรูป ถ้าอะตอมตัวแรกประกอบด้วยโปรตอน 1 ตัวซึ่งมีมวล $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ และอะตอมตัวที่สองประกอบด้วยโปรตอนและนิวตรอนอย่างละ 1 ตัวซึ่งมีมวลรวม $3.34 \times 10^{-27} \text{ kg}$ จงหาระยะห่างระหว่างอะตอมทั้งคู่ภายหลังจากพุ่งโค้งเข้าชนเป้าโลหะที่จุด P



ข้อที่ 3 เส้นลวดตัวนำเส้นหนึ่ง (ซึ่งวางตัวในแนวทิศตะวันตก-ตะวันออก) มีความยาว 36 m และมีกระแสไฟฟ้า 22.0 A ไหลผ่าน หากกำหนดให้สนามแม่เหล็กโลก (ซึ่งมีขนาด $0.5 \times 10^{-4} \text{ T}$) มีทิศทางในแนวตั้งฉาก (จากทิศใต้พุ่งขึ้นไปสู่ทิศเหนือ) จงหาขนาดและทิศทางของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อเส้นลวดตัวนำนี้