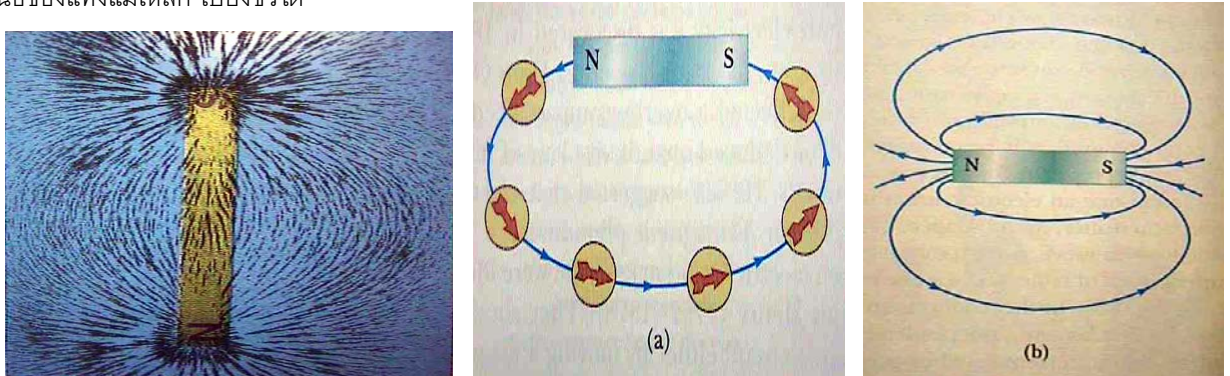


การกำเนิดสนามแม่เหล็ก สามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ การใช้แท่งแม่เหล็กถาวร และการใช้เส้นลวดหรือขดลวดนำกระแส รายละเอียดของแต่ละวิธีจะได้ศึกษาในบทที่ 9 และ 14 ตามลำดับ ในบทนี้จะกล่าวถึงผลที่สนามแม่เหล็กมีต่อ ประจุไฟฟ้า เส้นลวดนำกระแส และวงลวด

### 8.1 เส้นแรงแม่เหล็กและฟลักซ์แม่เหล็ก

เนื่องจากทราบว่าบริเวณรอบ ๆ แท่งแม่เหล็กถาวร มีสนามแม่เหล็ก ความจริงข้อนี้สามารถพิสูจน์ได้โดยใช้เข็มทิศ หรือ โดย นำผงเหล็กมาโรยรอบ ๆ แท่งแม่เหล็ก จะสามารถเห็นเส้นแรงแม่เหล็กดังภาพ เส้นแรงแม่เหล็กบอกถึงขนาดและทิศทางของสนามแม่เหล็ก ณ จุดใด ๆ (ความสัมพันธ์คล้าย ๆ กับในเรื่องเส้นแรงไฟฟ้ากับสนามไฟฟ้า) เส้นแรงแม่เหล็กพุ่งจากขั้วเหนือของแท่งแม่เหล็ก ไปยังขั้วใต้

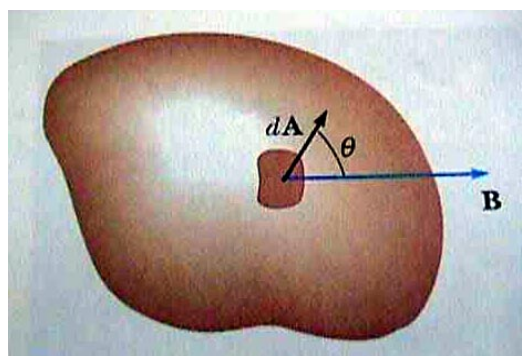


ภาพที่ 8-1 เส้นแรงแม่เหล็กพุ่งออกจากขั้วเหนือเข้าสู่ขั้วใต้

**ฟลักซ์แม่เหล็ก** บอกถึงจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่ใด ๆ นิยามโดย

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (8-1)$$

ในระบบ SI สนามแม่เหล็กมีหน่วยเป็น เทสลา Tesla (T) ฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์ (Wb) หรือ  $T \cdot m^2$



ภาพที่ 8-2 ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านผิวปิดรูปร่างใด ๆ คำนวณได้จากการแบ่งผิวปิดเป็นส่วนย่อย

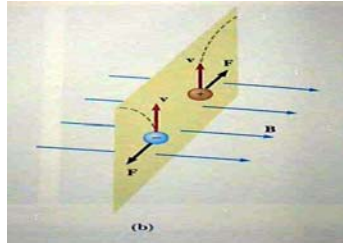
กรณีสนามแม่เหล็กคงที่ และมุมระหว่าง B กับ A คงที่

$$\Phi_B = BA \cos \theta \quad (8-2)$$

## 8.2 แรงที่สนามแม่เหล็กกระทำต่อประจุ

เมื่ออนุภาคมีประจุอยู่ในสนามแม่เหล็ก  $\mathbf{B}$  จะมีแรงกระทำต่ออนุภาคนั้น ตามสมการ

$$\vec{\mathbf{F}} = q\vec{\mathbf{v}} \times \vec{\mathbf{B}} \quad (8-3)$$



ภาพที่ 8-3 แรงที่สนามแม่เหล็กกระทำต่อประจุที่เคลื่อนที่

จากสมการที่ 8-3 แรงแม่เหล็กกระทำในทิศตั้งฉากกับทั้งความเร็วและสนามแม่เหล็ก ขนาดของแรงคือ

$$|\vec{\mathbf{F}}| = qvB \sin \theta \quad (8-4)$$

เมื่ออนุภาคมีประจุ เคลื่อนที่ ขนาน กับสนามแม่เหล็ก แรงที่กระทำจะมีค่าเป็นศูนย์

ส่วนในกรณีอนุภาคมีความเร็วตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก อนุภาคจะเคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก โดยมีแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง

$$\begin{aligned} F &= qvB = \frac{mv^2}{r} \\ r &= \frac{mv}{qB} \Rightarrow \frac{v}{r} = \frac{qB}{m} = \omega \\ T &= \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB} \end{aligned} \quad (8-5)$$

หากประจุมีความเร็วทำมุมใด ๆ (นอกเหนือจากตั้งฉาก หรือขนาน) กับสนามแม่เหล็ก จะเกิดการเคลื่อนที่เป็นแบบเกลียว

**ตัวอย่างที่ 1 :** (Serway29.7) Bending an Electron Beam อิเล็กตรอนถูกเร่งจากสภาพหยุดนิ่งด้วยความต่างศักย์ 350V และเข้าสู่สนามแม่เหล็กที่ทำให้มีการเคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี 7.5 cm จงหาขนาดของสนามแม่เหล็ก

วิธีทำ :

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}mv^2 &= |e|\Delta V \\ v &= \sqrt{\frac{2|e|\Delta V}{m}} = \sqrt{\frac{2(1.6 \times 10^{-19})(350)}{9.11 \times 10^{-31}}} = 1.11 \times 10^7 \text{ m/s} \\ B &= \frac{mv}{|e|r} = \frac{(9.11 \times 10^{-31})(1.11 \times 10^7)}{(1.6 \times 10^{-19})(0.075)} = 8.4 \times 10^{-4} \text{ T} \end{aligned}$$

## 8.3 แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดที่มีกระแสไหล

เมื่อสนามแม่เหล็กก่อให้เกิดแรงกระทำต่ออนุภาคที่มีประจุ ก็ย่อมสามารถก่อแรงกระทำต่อเส้นลวดที่มีกระแสไหลอยู่ได้ แรงนี้ส่งผ่านจากอนุภาคนำกระแส (อิเล็กตรอน) ไปยังลวด สามารถคำนวณได้ดังนี้

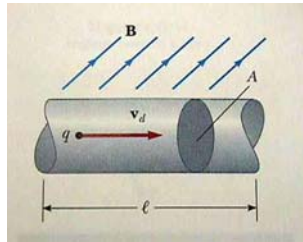
$$\vec{\mathbf{F}} = (q\vec{\mathbf{v}}_d \times \vec{\mathbf{B}})nA\ell \quad (8-6)$$

เนื่องจาก

$$I = nqv_d A \quad (8-7)$$

ดังนั้น

$$\vec{F} = I \vec{\ell} \times \vec{B} \quad (8-8)$$

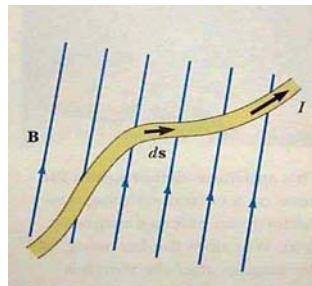


ภาพที่ 8-4 ลวดเส้นตรงที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก

ในกรณีลวดไม่เป็นเส้นตรง ต้องแบ่งเป็นส่วย่อย ds

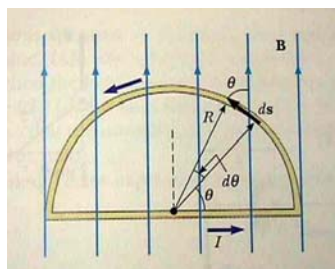
$$d\vec{F} = I d\vec{s} \times \vec{B}$$

$$\vec{F} = I \int_a^b ds \mathbf{B} \sin \theta \quad (8-9)$$



ภาพที่ 8-5 ลวดเส้นโค้งที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก

**ตัวอย่างที่ 2 :** (Serway29.2) Semicircular Conductor เส้นลวดถูกตัดให้เป็นรูปครึ่งวงกลม มีรัศมี R และต่อให้เป็นวงปิดดังภาพ เส้นลวดนี้มีกระแสไหล I และวางตัวในระนาบ xy ให้สนามแม่เหล็กพุ่งผ่านลวดนี้ตามแกน y จงคำนวณแรงที่สนามแม่เหล็กกระทำกับ (a) เส้นลวดส่วนที่เป็นเส้นตรง (b) เส้นลวดส่วนที่เป็นส่วนโค้ง



ภาพที่ 8-6 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 3

วิธีทำ : แบ่งลวดออกเป็น 2 ส่วน

(a) เส้นลวดส่วนที่เป็นเส้นตรง  $F = ILB \sin \theta = 2RIB$

(b) เส้นลวดส่วนที่เป็นส่วนโค้ง  $dF = I ds B \sin \theta$

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

$$dF = I(ds B \sin \theta) = IB \sin \theta R d\theta$$

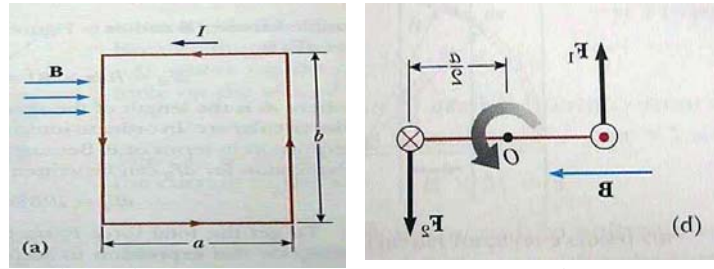
$$F = \int_0^\pi IB \sin \theta R d\theta = IRB \int_0^\pi \sin \theta d\theta$$

$$F = IRB [-\cos \theta]_0^\pi = -IRB(\cos \pi - \cos 0) = 2IRB$$

เนื่องจากแรงที่กระทำในข้อ (a) และ (b) มีขนาดเท่ากัน แต่มี ทิศตรงข้ามดังนั้นแรงลัพธ์ที่กระทำจึงเป็นศูนย์

### 8.4 ทอร์กที่กระทำต่อวงลวดในสนามแม่เหล็ก

เมื่อวางกรอบลวดที่มีกระแสไหลในสนามแม่เหล็ก จะทำให้วงลวดหมุนได้ สามารถคำนวณทอร์กของระบบ และใช้ความรู้เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบหมุนมาอธิบายการเคลื่อนที่ของกรอบลวดซึ่งกว้าง  $a$  ยาว  $b$  มีพื้นที่  $A$  ได้



ภาพที่ 8-7 เมื่อวงลวดอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะเกิดทอร์กที่ทำให้ลวดหมุนได้

พิจารณาแรงแม่เหล็ก ที่กระทำต่อลวดด้านซ้าย (ยาว  $b$ ) จะได้แรง  $F_1$  ส่วนลวดด้านขวา (ยาว  $b$  เช่นกัน) จะได้แรง  $F_2$  ที่มีทิศตรงกันข้าม ค่าแรงได้ดังนี้

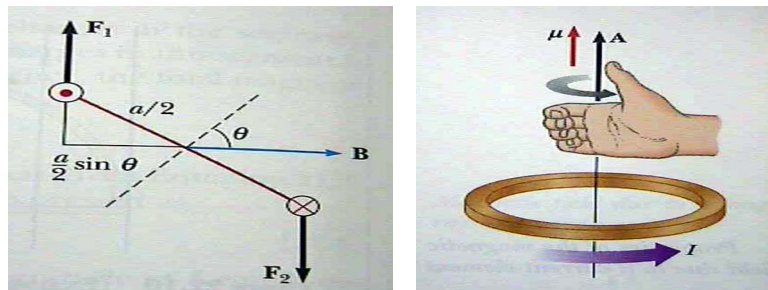
$$F_1 = F_2 = IbB \quad (8-10)$$

แรงทั้งสองนี้มีขนาดเท่ากันหักล้างกันเป็นศูนย์ แต่ทำให้เกิดทอร์กที่ก่อให้เกิดการหมุน ค่าแรงทอร์กของระบบได้ดังนี้

$$\tau_{\max} = F_1 \cdot \frac{a}{2} + F_2 \cdot \frac{a}{2} = (IbB) \frac{a}{2} + (IbB) \frac{a}{2} = IabB = IAB \quad (8-11)$$

เมื่อวงลวดหมุนไปเป็นมุม  $\theta$  ใด ๆ ทอร์กจะเปลี่ยนไปดังนี้

$$\begin{aligned} \tau &= F_1 \cdot \frac{a}{2} \sin \theta + F_2 \cdot \frac{a}{2} \sin \theta = (IbB) \frac{a}{2} \sin \theta + (IbB) \frac{a}{2} \sin \theta \\ &= IabB \sin \theta = IAB \sin \theta \end{aligned} \quad (8-12)$$



ภาพที่ 8-8 เมื่อวงลวดทำมุมใด ๆ กับสนามแม่เหล็ก ทอร์กจะเปลี่ยนไปตามค่ามุม

ส่วนค่าผลคูณของกระแสและพื้นที่เรียกว่า **ค่าโมเมนต์แม่เหล็ก**

สามารถเขียนสมการทอร์กในรูปเวกเตอร์ได้ดังนี้

$$\vec{\tau} = I\vec{A} \times \vec{B} \quad (8-13)$$

โดยที่  $\vec{A}$  คือเวกเตอร์พื้นที่ที่มีทิศตั้งฉากกับระนาบพื้นที่ ส่วนจะมีทิศใดนั้นขึ้นอยู่กับว่ากระแสไหลวนไปทางใด สามารถใช้กฎมือขวา โดยให้นิ้วทั้งสี่แทนกระแส ส่วนหัวแม่มือแทนทิศเวกเตอร์  $\vec{A}$  กระแสและเวกเตอร์  $\vec{A}$  นำไปสู่การนิยาม โมเมนต์แม่เหล็ก ( $\mu$  หน่วยเป็น  $A \cdot m^2$ )

$$\vec{\mu} = I\vec{A} \quad (8-14)$$

ทอร์กจึงมีค่า

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B} \quad (8-15)$$

สมการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับลวดรูปใด ๆ และหากวงลวดมีจำนวน  $N$  รอบแล้ว ค่าทอร์กจะเป็น  $N$  เท่าของกรณีลวดรอบเดียว

**ตัวอย่างที่ 3 :** (Serway29.3) Moment of the coil ขดลวดรูปสี่เหลี่ยมขนาด  $5.4 \text{ cm} \times 8.5 \text{ cm}$  พัน 25 รอบ มีกระแส  $15 \text{ mA}$  ไหลผ่าน

วิธีทำ :

- (a) ถ้ามีสนามแม่เหล็ก  $0.35 \text{ T}$  ในทิศขนานกับระนาบของขดลวด จงหาขนาดของโมเมนต์ และทอร์กบนขดลวด

$$\mu = NIA = (25)(15 \times 10^{-3})(0.054 \times 0.085) = 1.72 \times 10^{-3} \text{ A.m}^2$$

$$\tau = \mu B \sin \theta = (1.72 \times 10^{-3})(0.35)(1) = 6.02 \times 10^{-4} \text{ N.m}$$

- (b) เมื่อขดลวดหมุนไปจนสนามแม่เหล็กทำมุมกับ  $30^\circ$  องศา กับระนาบของขดลวด จงหาขนาดของทอร์ก

$$\tau = \mu B \sin 60^\circ = (1.72 \times 10^{-3})(0.35)\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = 5.21 \times 10^{-4} \text{ N.m}$$

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(	ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(	แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(	คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1</b> <span style="float: right;"></span> ผ่านทางอินเทอร์เน็ต	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2</b> <span style="float: right;"></span> ผ่านทางอินเทอร์เน็ต	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป</b> <span style="float: right;"></span> ผ่านทางอินเทอร์เน็ต	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

