แม่เหล็กและแม่เหล็กไฟฟ้า

MAGNETS AND ELECTROMAGNETISM

แม่เหล็กยกของ (Lifting magnets)

สารแม่เหล็ก

- 800 ปี ก่อนคริสต์ศักราช : ชาวกรีกค้นพบสารแม่เหล็ก (Fe_3O_4) ซึ่งสามารถดูดเหล็กได้

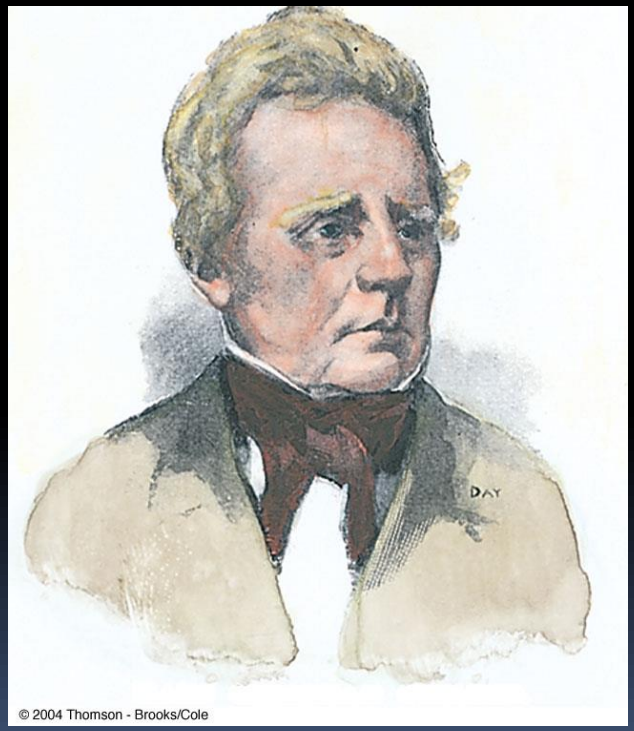
วัสดุมีมากมายหลายชนิด แต่ไม่ทุกชนิดที่สามารถเป็นแม่เหล็กได้ วัสดุที่สามารถเป็นแม่เหล็กได้ เรียกว่า *สารแม่เหล็ก* ในวัสดุที่เป็นสารแม่เหล็กจะมีแรงแม่เหล็กเล็กๆ เรียงตัวกันอย่างสุ่ม อาจจะเป็นระเบียบเป็นบางแห่ง หรือ สะเปะสะปะในบางแห่ง กระจัดกระจายกันไปเต็มเนื้อสาร แท่งแม่เหล็กเล็กๆ นี้ เรียกว่า Magnetic Dipole Moment; เมื่อมีสนามแม่เหล็กภายนอกความเข้มสูงใส่เข้าไปในสารแม่เหล็ก สนามภายนอกนี้จะเหนี่ยวนำ $\vec{P}$ ให้ $\vec{P}$ เรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบตามแนวขั้วเหนือไปยังขั้วใต้

ความเป็นมา

- ศตวรรษที่ 13 ก่อนคริสต์ศักราช : คนจีนเริ่มใช้เข็มทิศซึ่งเป็นสิ่งประดิษฐ์ของชาวอาหรับ
- *800 ปี ก่อนคริสต์ศักราช : ชาวกรีกค้นพบสารแม่เหล็ก (Fe_3O_4) ซึ่งสามารถดูดเหล็กได้*
- ค.ศ. 1269 : Pierre de Maricourt ค้นพบว่าเมื่อวางเข็มทิศรอบ ๆ แม่เหล็กธรรมชาติรูปทรงกลม เข็มทิศจะชี้ในแนวเส้นโค้งรอบ ๆ แม่เหล็กโดยผ่านจุด 2 จุด ซึ่งเรียกว่า ขั้ว (pole)
- *ค.ศ. 1600 : William Gilbert ทำการทดลองเกี่ยวกับแม่เหล็กและแนะนำว่าโลกคือแม่เหล็กถาวรขนาดใหญ่*

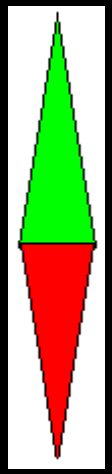
ความเป็นมา (ต่อ)

- ค.ศ. 1819 : Hans Christian Oersted ค้นพบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับอำนาจแม่เหล็ก
- ค.ศ. 1820 :
  - Faraday และ Henry ค้นพบว่าการเปลี่ยนสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้า
  - Maxwell ค้นพบว่าการเปลี่ยนสนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก



- ฮานส์ คริสเตียน เออร์สเตด ผู้ค้นพบความสัมพันธ์แม่เหล็กกับไฟฟ้า

ออร์สเตดได้ทำการทดลองเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่เข็มทิศจะเบนเมื่อมีฝนตกหนักและฟ้าแลบ เพื่อลองดูว่าจะเกิดอะไรขึ้นกับเข็มทิศ ถ้าผ่านกระแสไฟเข้าไปในลวดตัวนำ เขานำลวดตัวนำตั้งฉากกับเข็มทิศและพบว่าไม่มีอะไรเกิดขึ้น แต่หลังจากการบรรยายสิ้นสุด เออร์สเตดลองวางลวดตัวนำขนานกับเข็มทิศ และผ่านกระแสไฟฟ้าไปในลวดตัวนำ กลับพบว่าเข็มทิศกระดิก และเริ่มเบน การค้นพบนี้ทำให้เออร์สเตดเป็นบุคคลแรกที่ค้นพบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแม่เหล็ก หรือนำไปสู่ทฤษฎีความสัมพันธ์ระหว่างแม่เหล็กกับไฟฟ้า (Electro Magnetism Theory)



การค้นพบของ **เออร์สเตด** พบว่าเมื่อมีฟ้าผ่าที่มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นเป็นจำนวนมหาศาลจะส่งผลให้เข็มแบนเปลี่ยนทิศทาง

สมบัติของแท่งแม่เหล็ก

1. ขั้วแม่เหล็ก (Pole)

เป็นจุดบนแท่งแม่เหล็กซึ่งมีแรงแม่เหล็กปรากฏอยู่อย่างเข้ม

2. ชนิดของขั้วแม่เหล็ก

แม่เหล็กมี 2 ขั้ว คือ ขั้วเหนือ (N) กับ ขั้วใต้ (S)

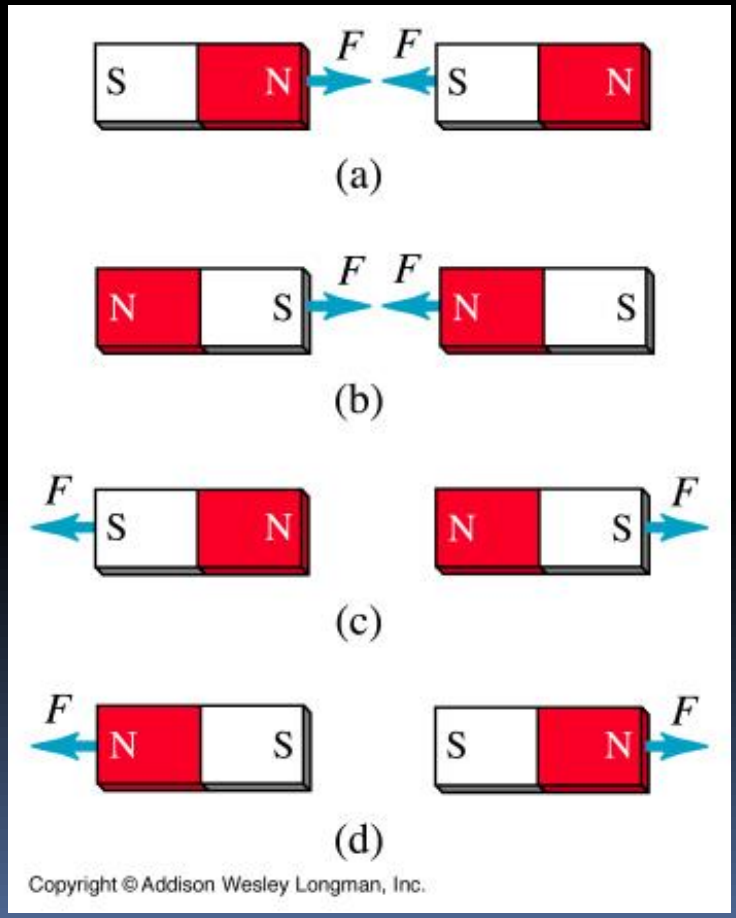
ถ้าทำแท่งแม่เหล็กตกแตกแบ่งเป็น 2 ส่วน แม่เหล็กจะมีขั้วอย่างไร

ถ้าแขวนแท่งแม่เหล็กให้แกว่งได้โดยอิสระ มันจะชี้ทิศทางที่แน่นอนตลอดเวลา คือ ปลายหนึ่งชี้ทิศเหนือ อีกปลายชี้ทิศใต้

3. แรงกระทำระหว่างขั้วแม่เหล็ก

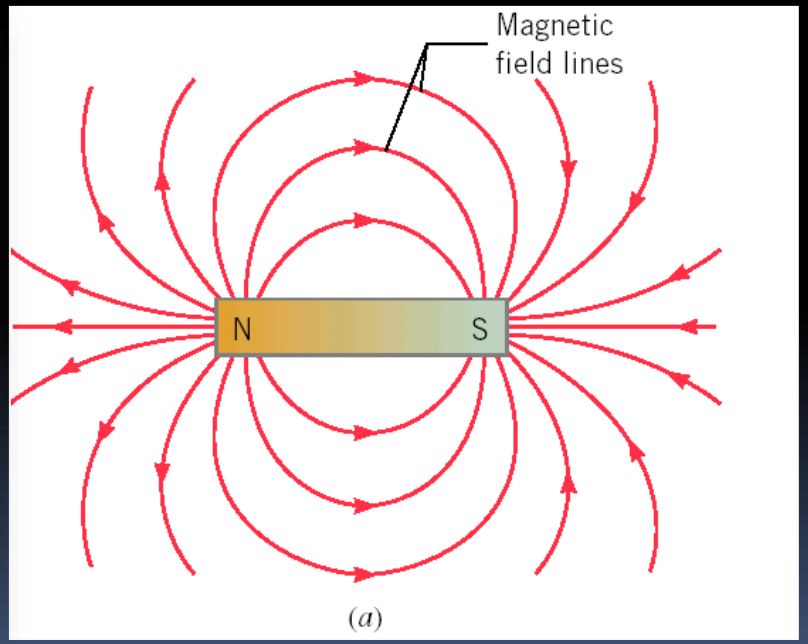
เมื่อนำแท่งแม่เหล็ก 2 แท่งมาไว้ใกล้ๆ กัน ก็จะเกิดแรงกระทำต่อกัน โดยมี 2 ลักษณะ คือ

- **ขั้วที่เหมือนกันจะผลักกัน**
- **ขั้วที่ต่างกันจะดูดกัน**

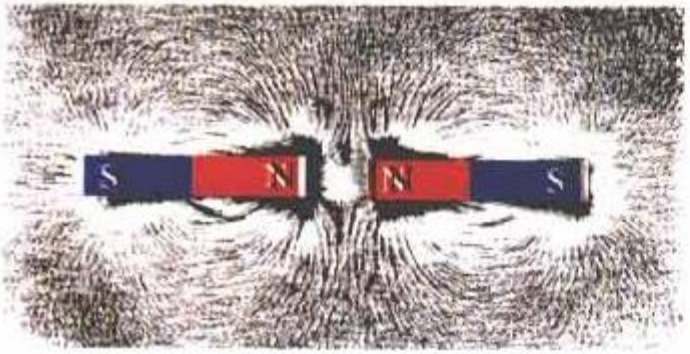


เส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic field lines)

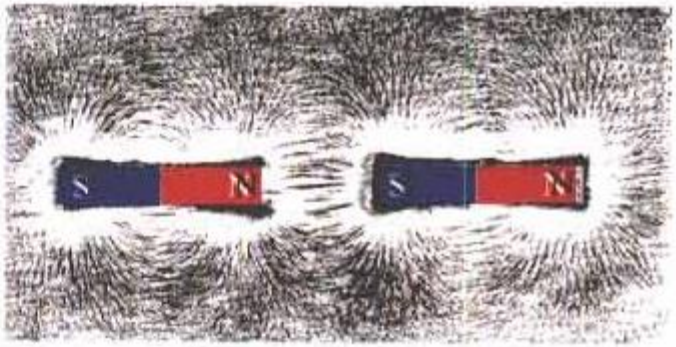
เป็นเส้นแสดงทิศของสนามแม่เหล็กรอบๆ แท่งแม่เหล็ก และแสดงความเข้มของสนามแม่เหล็กด้วย เส้นแรงออกมาจากขั้วเหนือเข้าทางขั้วใต้ ซึ่งทิศทางเส้นแรงแม่เหล็กนั้นนิยมใช้หัวลูกศรชี้ให้เห็นชัด



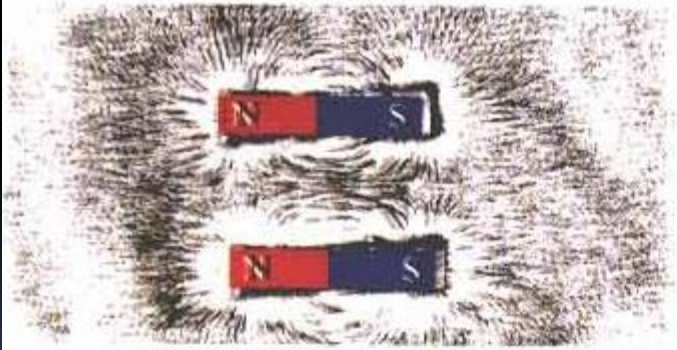
ลักษณะของเส้นแรงแม่เหล็ก



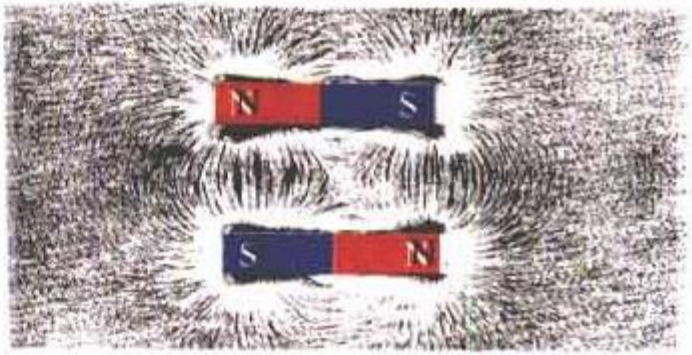
ก. หันขั้วชนิดเดียวกันเข้าหากัน



ข. หันขั้วต่างชนิดกันเข้าหากัน



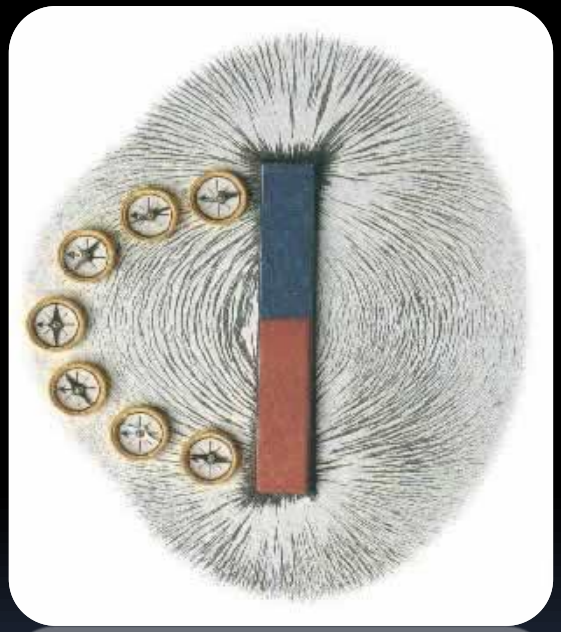
ค. หันขั้วชนิดเดียวกันไปทางเดียวกัน



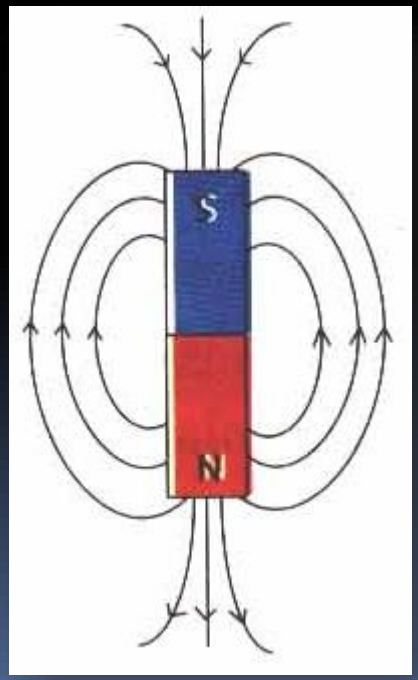
ง. หันขั้วต่างชนิดไปทางเดียวกัน

สนามแม่เหล็ก (Magnetic Field)

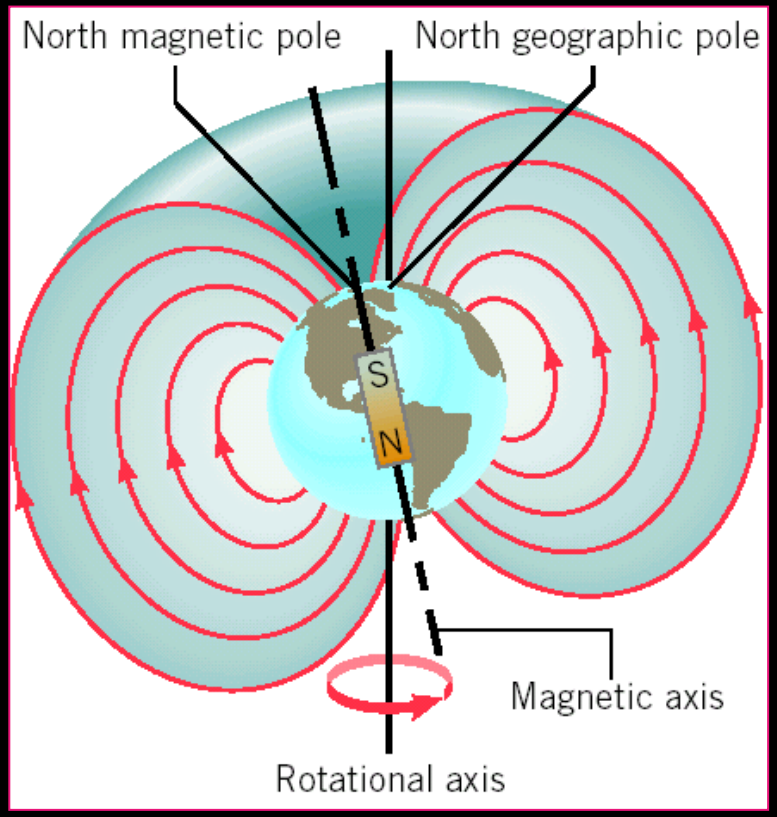
เป็นอำนาจทางแม่เหล็กที่แผ่ออกมาจากแม่เหล็ก มีทิศทางตามแนวของเส้นแรงแม่เหล็ก



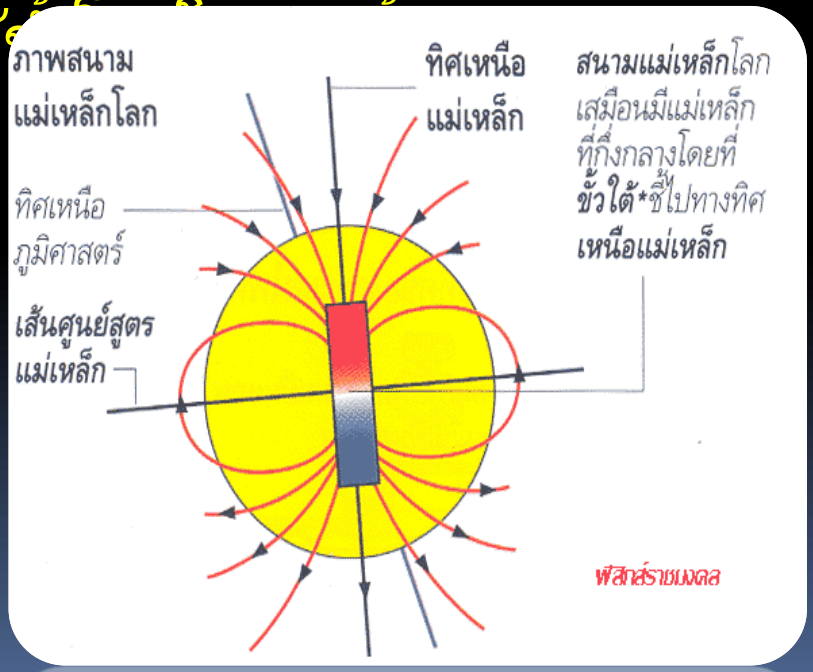
เมื่อนำเข็มทิศมาวางใกล้ ๆ แท่งแม่เหล็ก จะพบว่าเข็มทิศเบนตามแนวเส้นแรงแม่เหล็ก



ภายนอกเส้นแรงแม่เหล็กจะพุ่งจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ แต่ภายในแท่งแม่เหล็กเส้นแรงจะพุ่งจากขั้วใต้ไป ขั้วเหนือ



โลกมีสนามแม่เหล็ก ซึ่งแสดงสมบัติเหมือนแท่งแม่เหล็กขนาดใหญ่ที่ใจกลางของโลก วางตัวประมาณแนวเหนือใต้ทางภูมิศาสตร์ ที่บริเวณใกล้ขั้วโลกเหนือ จะมีขั้วใต้(S) และที่บริเวณใกล้



ไม่ได้อยู่ในแกนหมุนของโลก แต่อยู่ในตำแหน่งที่ทำมุมกับแกนโลก ประมาณ 11.5 องศา

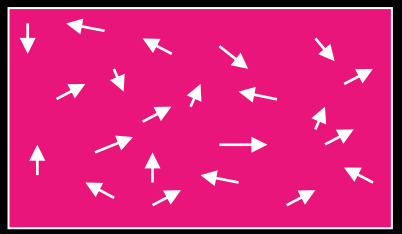
เนื่องจากโลกมีสนามแม่เหล็ก เราจึงใช้เข็มทิศในการบอกทิศทางได้ถูกต้อง นั่นคือ ขั้วเหนือของเข็มทิศจะชี้ทิศเหนือเสมอ เพราะ ขั้วเหนือของเข็มทิศจะดึงดูดขั้วใต้ของแม่เหล็กโลก

ถ้าเราถือเข็มทิศไปวางไว้ใกล้ขั้วโลก การวางตัวเข็มทิศจะเป็นอย่างไร

การเหนี่ยวนำแม่เหล็ก

การที่แม่เหล็กสามารถแผ่สนามแม่เหล็กออกมาได้ เรียกว่า “การเหนี่ยวนำแม่เหล็ก” (Magnetic Induction)

เช่น เหล็ก ซึ่งไม่มีสภาพความเป็นแม่เหล็ก เมื่อนำเข้าใกล้แท่งแม่เหล็กจะถูกดูดได้เพราะเหล็กถูกเหนี่ยวนำให้เป็นแม่เหล็ก

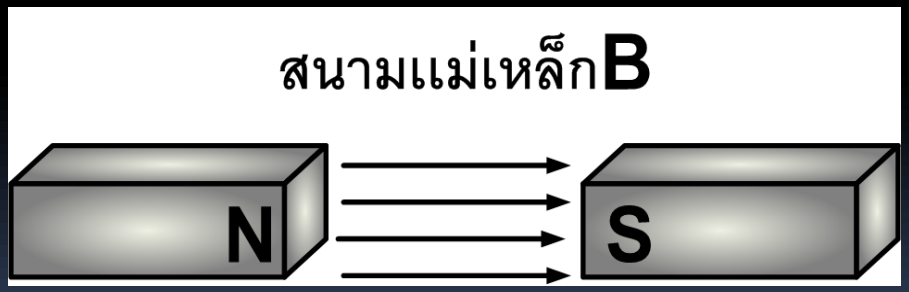


นั่นคือ ขั้วเหนือของแม่เหล็กจะเหนี่ยวนำให้ ด้านใกล้ของเหล็กเป็นขั้วใต้

ความเข้มสนามแม่เหล็ก (B)

ค่าของ $\vec{B}$ จะบอกถึงความแรงของแม่เหล็ก หรือความเข้มของสนามแม่เหล็ก ถ้า มีค่ามาก แสดงว่า แม่เหล็กมีความแรงมาก หรือมีความเข้มของสนามแม่เหล็กสูงนั่นเอง ค่าของ $\vec{B}$ มีหน่วยเป็น นิวตันต่อแอมป์แปร์ หรือ เทสลา (Tesla) โดยอาจมีหน่วยอื่นอีก คือ เวเบอร์ต่อตารางเมตร และ เกาส์ โดยที่

$$1 \text{ Tesla} = 1 \text{ Weber/m}^2 = 10^4 \text{ Gauss}$$



$B = \varnothing / A$

ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux)

- ถ้าพิจารณาพื้นที่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก เรียกเส้นสนามแม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่นี้ว่า ฟลักซ์แม่เหล็ก (magnetic flux)
- ให้ Φ เป็นขนาดของฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่ มีหน่วย เวเบอร์(weber)
- A เป็นพื้นที่ที่ตั้งฉากกับฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็นตารางเมตร
- B เป็นความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก $B = \Phi/A$ หน่วยเป็นเวเบอร์ต่อตารางเมตรหรือเทสลา (tesla T)

ตัวอย่าง 1 เมื่อฟลักซ์แม่เหล็กขนาด 2×10^{-4} เวเบอร์ พุ่งผ่านพื้นที่ 10 ตารางเซนติเมตร ซึ่งวางตั้งฉากกับฟลักซ์แม่เหล็ก จงหาความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก

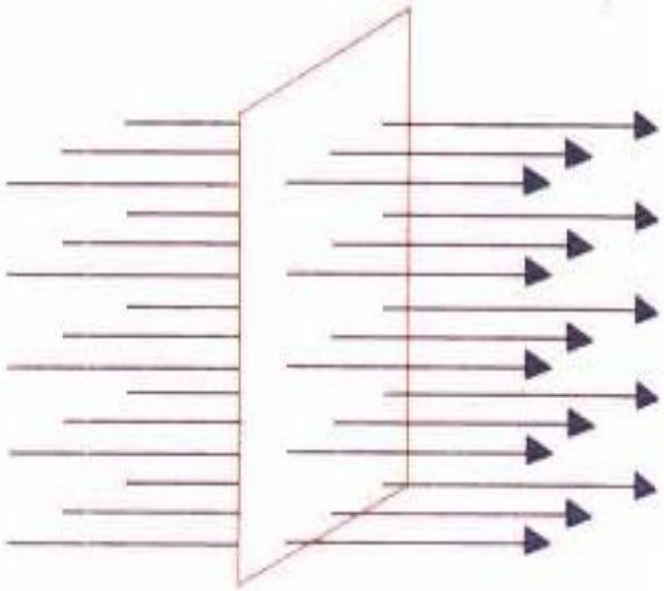
วิธีทำ จาก $B = \frac{\Phi}{A}$

ในที่นี้ Φ = ฟลักซ์แม่เหล็ก = 2×10^{-4} Wb

A = พื้นที่ = 10×10^{-4} m^2

แทนค่าจะได้ $B = \frac{2 \times 10^{-4} \text{Wb}}{10 \times 10^{-4} \text{m}^2} = 0.2$ T

คำตอบ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กเท่ากับ 0.2 เทสลา

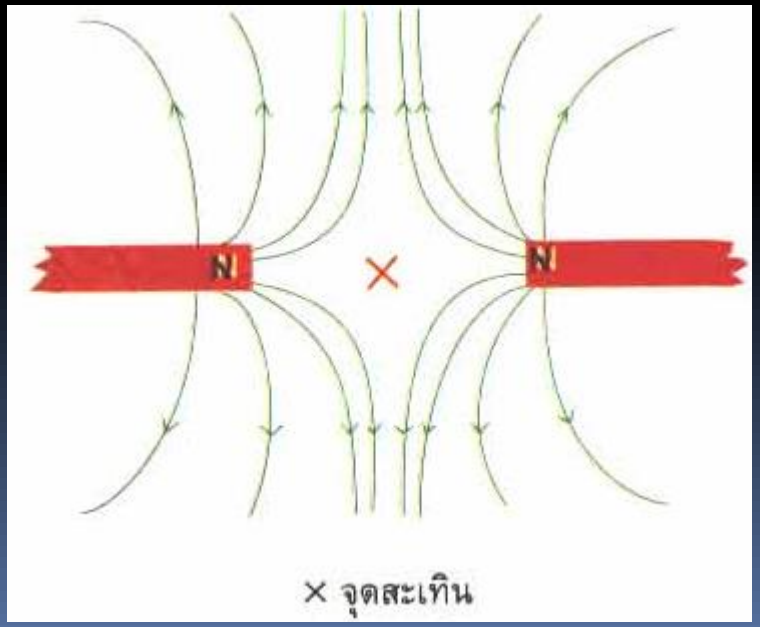


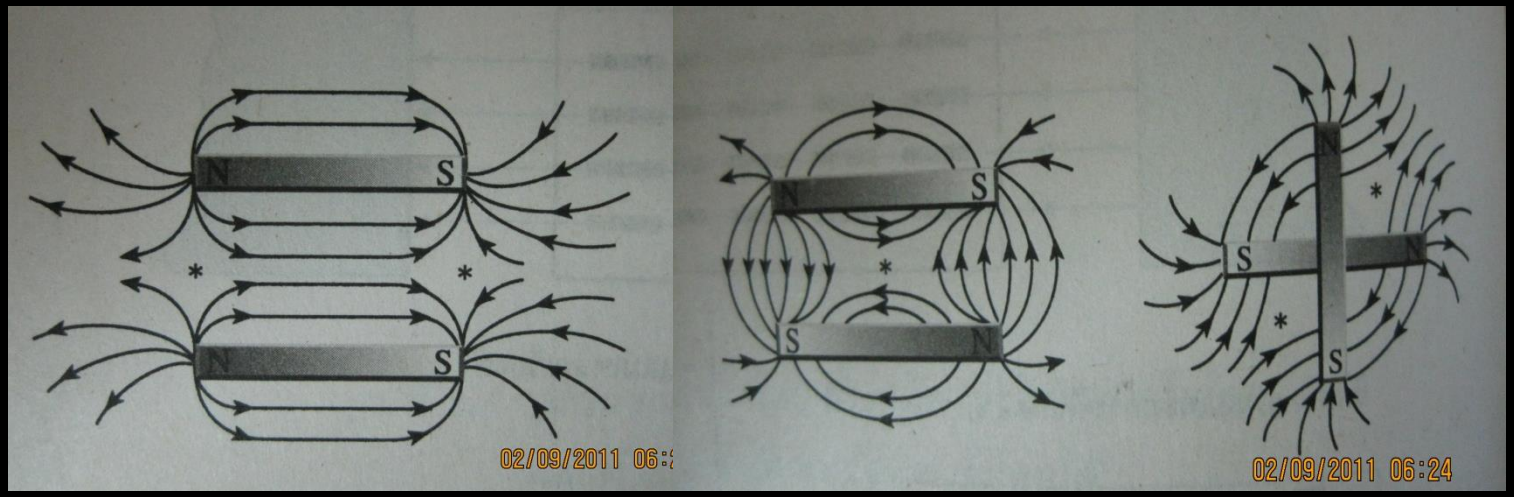
รูปประกอบตัวอย่าง

จุดสะเทิน

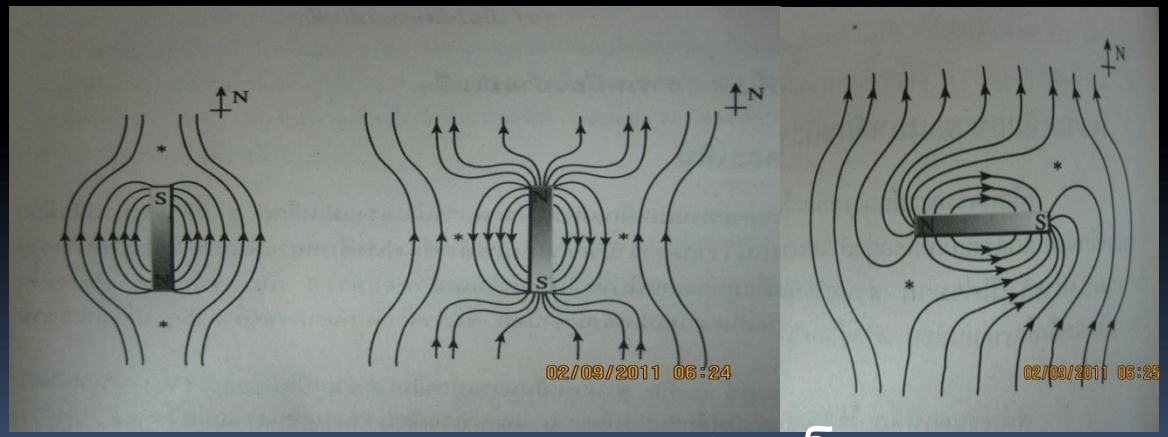
จุดสะเทินในสนามแม่เหล็ก คือ จุดที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กหักล้างกันจนเป็นศูนย์

- จุดสะเทินที่เกิดจากแท่งแม่เหล็ก โดยไม่เกี่ยวข้องกับสนามแม่เหล็กโลก
- จุดสะเทินเกิดจากแท่งแม่เหล็ก โดยมีสนามแม่เหล็กโลกมาเกี่ยวข้อง



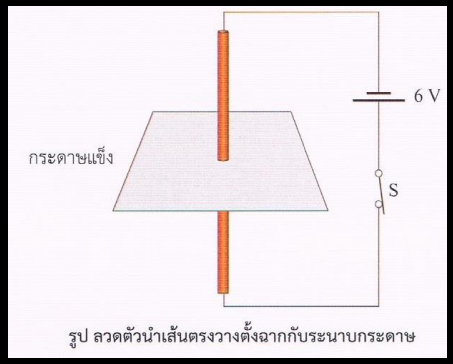


จุดสะเทินที่เกิดจากแท่งแม่เหล็ก โดยไม่เกี่ยวข้องกับสนามแม่เหล็กโลก

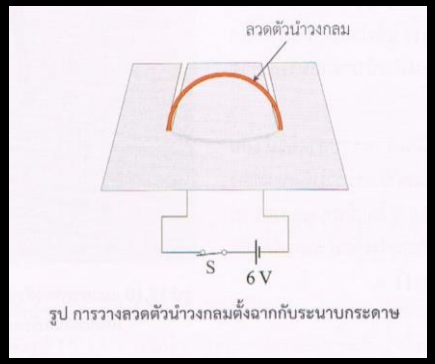


จุดสะเทินเกิดจากแท่งแม่เหล็ก โดยมีสนามแม่เหล็กโลกมาเกี่ยวข้อง

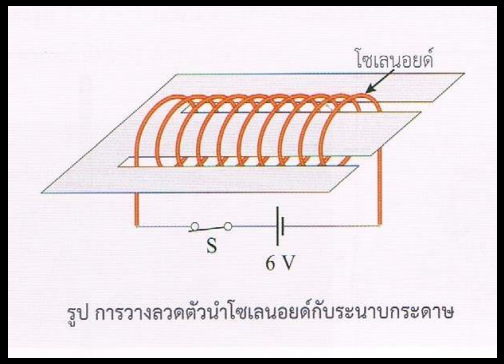
การทดลองหาทิศสนามแม่เหล็ก



รูป ลวดตัวนำเส้นตรงวางตั้งฉากกับระนาบกระดาษ



รูป การวางลวดตัวนำวงกลมตั้งฉากกับระนาบกระดาษ

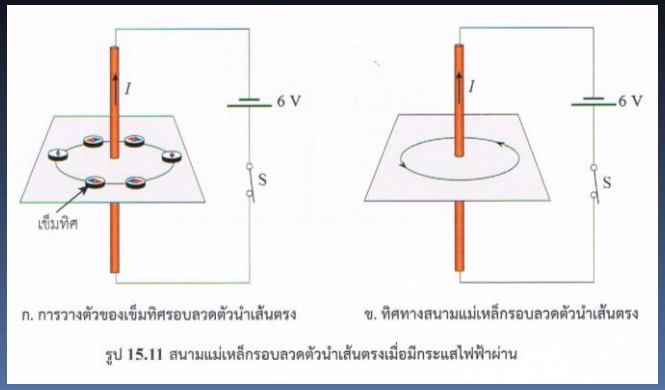


รูป การวางลวดตัวนำโซเลนอยด์กับระนาบกระดาษ

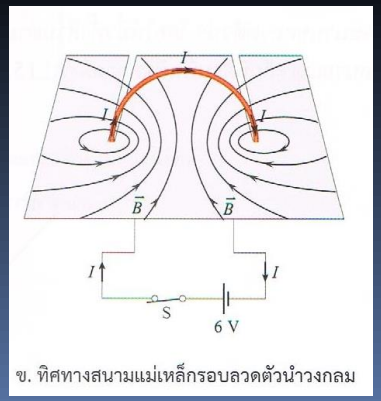
รูป 15.10 แนวการเรียงตัวของผงเหล็กรอบลวดตัวนำ

ก. การเรียงตัวของผงเหล็กรอบลวดตัวนำวงกลม

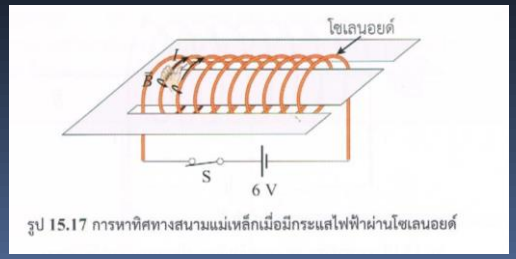
รูป 15.16 การเรียงตัวของผงเหล็กเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านโซเลนอยด์



รูป 15.11 สนามแม่เหล็กรอบลวดตัวนำเส้นตรงเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่าน



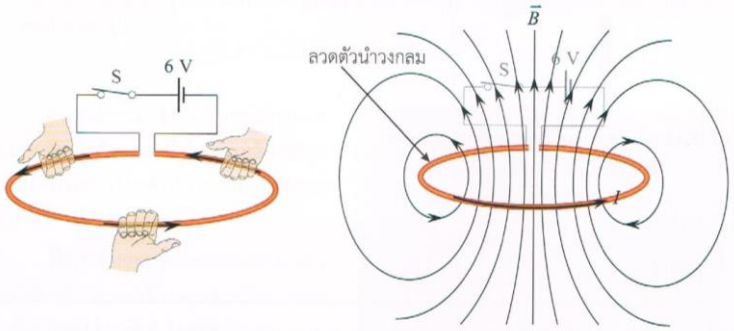
ข. ทิศทางสนามแม่เหล็กรอบลวดตัวนำวงกลม



รูป 15.17 การหาทิศทางสนามแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านโซเลนอยด์

การหาทิศของสนามแม่เหล็กจากกฎมือ

จากรูป 15.13 ข. จะเห็นว่าสนามแม่เหล็กบริเวณภายในของลวดตัวนำวงกลมมีทิศทางเดียวกัน หากพิจารณากรณีตัวนำวงกลมอยู่ในแนวขนานกับระนาบระดับ ใช้นิ้วหัวแม่มือของมือขวาชี้ไปตามทิศทางของกระแสไฟฟ้าของลวดตัวนำวงกลมในแต่ละส่วน จะได้ทิศทางของสนามแม่เหล็กตามทิศทางการวนของนิ้วทั้งสี่ ดังรูป 15.14 ก. จึงสรุปได้ว่าบริเวณพื้นที่ภายในขดลวดตัวนำวงกลม สนามแม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากกับระนาบของลวดตัวนำ สามารถเขียนเส้นสนามแม่เหล็กภายในลวดตัวนำวงกลมได้ดังรูป 15.14 ข.

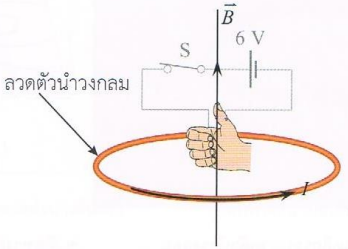


ก. การหาทิศทางสนามแม่เหล็กภายในลวดตัวนำวงกลมโดยใช้มือขวา

ข. ทิศทางสนามแม่เหล็กภายในลวดตัวนำวงกลม

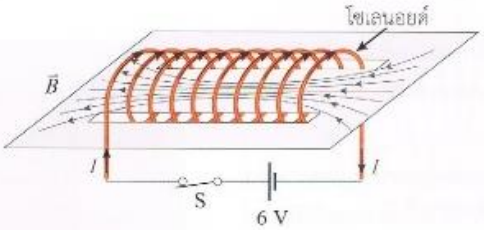
รูป 15.14 สนามแม่เหล็กรอบลวดตัวนำวงกลมเมื่อระนาบขดลวด

นอกจากวิธีการข้างต้นอาจหาทิศทางของสนามแม่เหล็กได้อีกวิธีหนึ่ง ดังนี้ กำมือขวาบนระนาบขดลวดตัวนำ โดยให้นิ้วทั้งสี่วนตามทิศทางของกระแสไฟฟ้า นิ้วหัวแม่มือจะชี้ไปตามทิศทางของสนามแม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่ขดลวดดังรูป 15.15



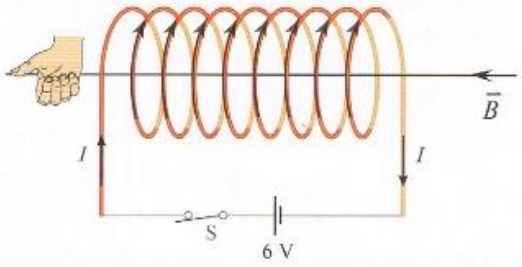
รูป 15.15 การหาทิศทางของสนามแม่เหล็กของลวดตัวนำวงกลมที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านอีกวิธีหนึ่ง

จะเห็นว่าบริเวณภายในของขดลวดวงกลมสองวงที่อยู่ถัดกัน ทิศทางของสนามแม่เหล็กจะมีทิศทางเดียวกัน เมื่อพิจารณาขดลวดวงกลมซ้อนกันหลายวง สนามแม่เหล็กจึงรวมกันทำให้เกิดสนามแม่เหล็กบริเวณแกนของโซเลนอยด์มีขนาดมากกว่าบริเวณอื่น ทิศทางสนามแม่เหล็กด้านนอกโซเลนอยด์จะมีทิศทางออกจากปลายด้านหนึ่ง และเข้าสู่ปลายอีกด้านหนึ่งตามแกนโซเลนอยด์ มีลักษณะคล้ายกับสนามแม่เหล็กจากแท่งแม่เหล็ก จึงสรุปได้ว่าโซเลนอยด์ที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน สามารถเขียนเส้นสนามแม่เหล็กได้ ดังรูป 15.18



รูป 15.18 เส้นสนามแม่เหล็กของโซเลนอยด์เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่าน

การหาทิศทางของสนามแม่เหล็กในแนวแกนของโซเลนอยด์ อีกวิธีหนึ่งคล้ายกับการหาทิศทางของสนามแม่เหล็กของลวดตัวนำวงกลม โดยใช้มือขวา วนนิ้วทั้งสี่ไปตามทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านลวดตัวนำ นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศทางของสนามแม่เหล็ก ดังรูป 15.19



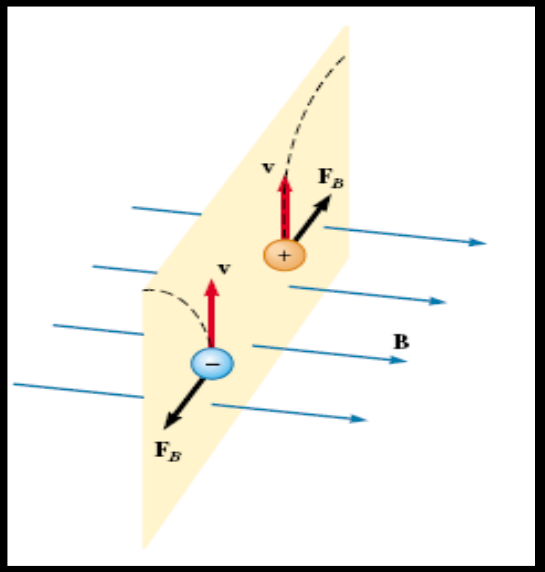
รูป 15.19 การหาทิศทางสนามแม่เหล็กของโซเลนอยด์โดยใช้มือขวา

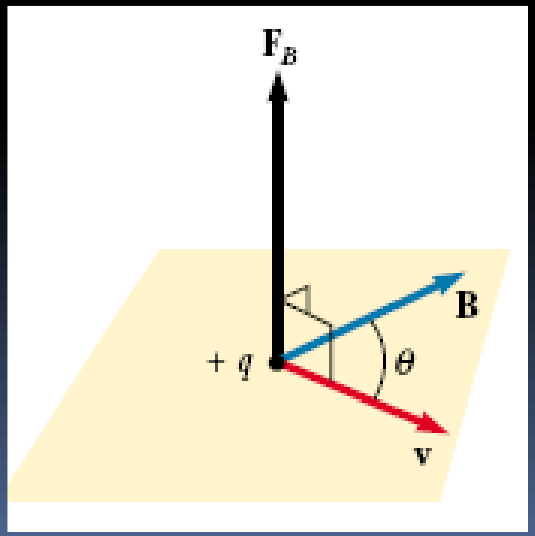
การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก

- เมื่ออนุภาคที่มีประจุเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก จะมีแรง

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

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





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

ถ้า q = 0 หรือ 180 องศา คืออนุภาคเคลื่อนที่ขนานกับสนามแม่เหล็ก แรงที่กระทำจะเป็นศูนย์

ถ้า q = 90 องศา คืออนุภาคเคลื่อนที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก แรงที่กระทำกับอนุภาคจะมีค่ามากที่สุด คือ F =qvB

ภาพอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก

ตัวอย่าง 2 อิเล็กตรอนตัวหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 1.6×10^{7} m/s ในทิศทางจากซ้ายไปขวา เข้าไปในสนามแม่เหล็กขนาดสม่ำเสมอ 9.1×10^{-3} เทสลา และสนามมีทิศทางตั้งฉากเข้าหากระดาษ จงหาขนาดและทิศทางของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออิเล็กตรอน

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

$$F = qvB\sin\theta$$

$$\theta = 90^\circ \quad \sin\theta = 1$$

$$q_{electron} = 1.6\times10^{-19}\ C$$

$$F = qvB$$

$$= 1.6\times10^{-19}\ C \times 1.6\times10^{7}\ m/s \times 9.1\times10^{-3}\ T$$

$$= 2.3\times10^{-14}\ N$$ มีทิศทางลงดังภาพ ตามกฎมือขวา