

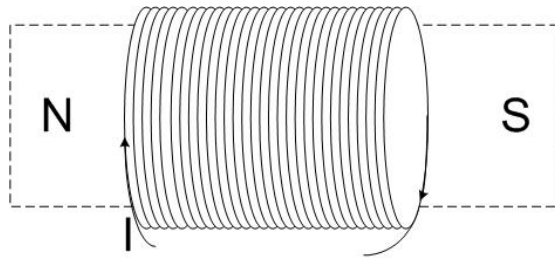
บทที่ 11

สนามแม่เหล็กไฟฟ้า

11.1 ความเป็นมาเรื่องสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

มนุษย์รู้จักอำนาจแม่เหล็กจากแม่เหล็กธรรมชาติซึ่งเป็นสารประกอบประเภทแมกเนไทต์ (Fe_3O_4) สามารถดูดเศษเหล็กได้ นำไปใช้ประโยชน์ในการบอกทิศ เพราะเมื่อให้แท่งเหล็กหมุนได้อย่างอิสระ มันจะวางตัวในแนวเหนือใต้ แท่งแม่เหล็กสามารถดูดเหล็กชิ้นเล็ก ๆ ขั้วแม่เหล็กชนิดเดียวกันจะผลักกัน ขั้วแม่เหล็กต่างชนิดกันจะดูดกัน

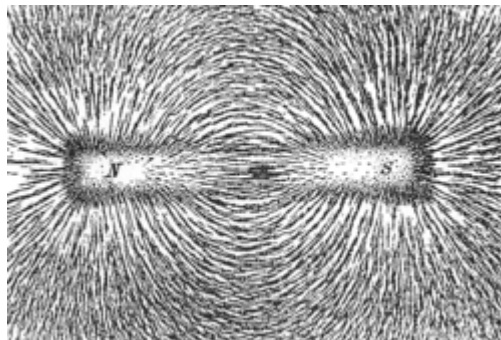
ค.ศ. 1819 ฮันส์ คริสเตียน เออร์สเตด (Hans Christian Oersted) พบว่าเมื่อนำเข็มทิศมาวางขนานกับเส้นลวดตัวนำที่มีกระแสไหลผ่านจะทำให้เข็มของเข็มทิศเบนไปจากเดิม แสดงว่าเมื่อนำกระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวดทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ต่อมาเออร์สเตดได้ทำการทดลองเพื่อหาลักษณะของสนามแม่เหล็กโดยนำเส้นลวดที่ยาวมากมาขดเป็นขดลวดโซเลนอยด์แล้วผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไป ปรากฏว่าเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นภายในแกนของขดลวดโซเลนอยด์ ดังรูป 11.1



รูปที่ 11.1 การทดลองของเออร์สเตด

สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีลักษณะคล้ายแม่เหล็กถาวร คือมีขั้วเหนือและขั้วใต้ ถ้านำแท่งแม่เหล็กถาวรเข้ามาใกล้ ๆ ก็เกิดแรงกระทำต่อแท่งแม่เหล็กนั้น เป็นที่เชื่อกันในปัจจุบันว่า ปรากฏการณ์ต่างๆ ของสนามแม่เหล็กนั้นเกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าทั้งสิ้น

แท่งแม่เหล็กหรือตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะมีอำนาจแม่เหล็กรอบๆ เรียกบริเวณที่แท่งแม่เหล็กหรือตัวนำสามารถแสดงอำนาจแม่เหล็กว่า **สนามแม่เหล็ก** (Magnetic Induction, \vec{B}) ซึ่งเป็นปริมาณที่บ่งบอกแรงกระทำบนประจุที่กำลังเคลื่อนที่ สนามแม่เหล็กเป็นปริมาณเวกเตอร์และมีทิศพุ่งจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้



รูปที่ 11.2 เส้นแรงแม่เหล็กริงออกจากขั้วเหนือของแม่เหล็กและโค้งเข้าไปยังขั้วใต้

สนามแม่เหล็กสามารถใช้เส้นแรงแม่เหล็ก (Line of Induction) บอกทิศและขนาดของสนามแม่เหล็กได้ สนามแม่เหล็กมีหน่วยเป็น เวเบอร์ต่อตารางเมตรหรือ เทสลา (Tesla) สนามแม่เหล็ก 1 เทสลา หมายถึงความเข้มของสนามที่ทำให้เกิดแรง 1 N บนประจุ 1 C ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 m/s ในทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กที่มีค่าสูงสุดที่สร้างได้ในห้องปฏิบัติการประมาณ 10 W/m^2 สนามแม่เหล็กโลกมีค่าประมาณ 10^{-5} W/m^2 เท่านั้น

11.2 ความเข้มสนามแม่เหล็ก

เมื่อพิจารณาเส้นแรงแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็กแท่งหนึ่งจะพบว่าเส้นแรงแม่เหล็กมี 3 มิติ โดยเฉพาะบริเวณใกล้ขั้วแม่เหล็กจะมีเส้นแรงแม่เหล็กอยู่อย่างหนาแน่น เรากล่าวได้ว่าบริเวณนั้นมีฟลักซ์แม่เหล็กหนาแน่นมาก หรือบริเวณนั้นเป็นบริเวณที่สนามแม่เหล็กมีค่ามาก เราสามารถนิยามค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสนามแม่เหล็กได้ดังนี้

ฟลักซ์แม่เหล็ก คือจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเวเบอร์ (W) ใช้สัญลักษณ์ ϕ

ความเข้มสนามแม่เหล็ก คือ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งตั้งฉากกับพื้นที่หนึ่งตารางหน่วย ใช้สัญลักษณ์ B ดังนั้นจากนิยามจะได้ว่า

$$B = \frac{\phi}{A} \quad (11.1)$$

โดย B = ความเข้มสนามแม่เหล็กมีหน่วยเป็น เวเบอร์ต่อตารางเมตร หรือ เทสลา

ϕ = ฟลักซ์แม่เหล็ก

A = พื้นที่

ตัวอย่างที่ 11.1 เมื่อฟลักซ์แม่เหล็กขนาด 2×10^{-4} เวเบอร์ พุ่งผ่านพื้นที่ 10 ตารางเซนติเมตร ซึ่งวางตั้งฉากกับฟลักซ์แม่เหล็ก จงหาความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก

วิธีทำ จาก $B = \frac{\phi}{A}$

แทนค่า $B = \frac{2 \times 10^{-4}}{10 \times 10^{-4}} = 0.2T$

คำตอบ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กเท่ากับ 0.2 เทสลา

11.3 การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก

ถ้าประจุ q เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v เข้าไปในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก B พบว่าแรงที่สนามแม่เหล็กกระทำกับประจุนั้นที่ทิศตั้งฉากกับความเร็ว และตั้งฉากกับทิศของสนามแม่เหล็กดังรูปที่ 11.3 โดยแรงมีขนาดแปรตามขนาดของความเร็ว และขนาดของสนามแม่เหล็ก แรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุเขียนได้เป็น

$$F = qvB \sin \theta \quad (11.2)$$

เมื่อ

F มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

v มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที (m/s)

q มีหน่วยเป็น คูลอมป์ (C)

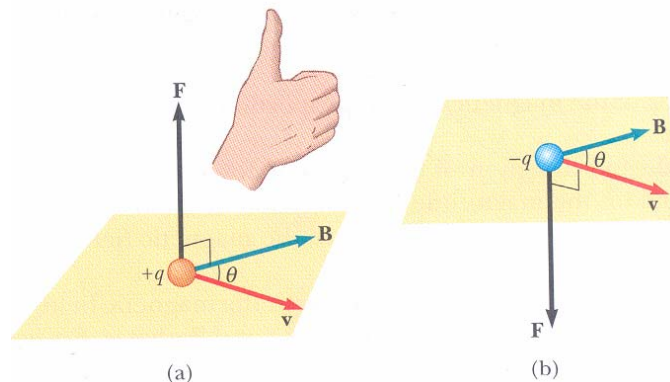
B มีหน่วยเป็น นิวตัน/(คูลอมป์-เมตร/วินาที) (N.s/C.m) หรือ กิโลกรัม/วินาที-คูลอมป์ (kg/s.C) หรือ เทสลา (T)

θ คือมุมระหว่าง v และ B

ถ้า θ เท่ากับ 0 องศา หรือ 180 องศา เป็นกรณีความเร็ว v มีทิศทางขนาน (หรือขนานตรงกันข้าม) กับทิศทางของ B ปรากฏว่าไม่เกิดแรงแม่เหล็ก

ถ้า θ เท่ากับ 90 องศา เป็นกรณีที่ v ตั้งฉากกับ B จะได้ขนาดของแรงแม่เหล็กเท่ากับ qvB

ถ้า θ เป็นมุมอื่นๆ ขนาดของแรงแม่เหล็กเท่ากับ $qvB \sin \theta$



รูปที่ 11.3 ทิศของแรงที่กระทำกับประจุในสนามแม่เหล็ก

ตัวอย่างที่ 11.2 โปรตอน 1 ตัวเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็กโลกในแนวตั้งฉากกับทิศของสนามด้วยความเร็ว 10^7 m/s ความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกที่เส้นศูนย์สูตรประมาณ 10^9 T จงหาแรงที่กระทำบนโปรตอนโดยสนามนี้ และเปรียบเทียบกับขนาดของแรงโน้มถ่วง

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{แรงแม่เหล็กที่กระทำบนโปรตอน} &= qvB \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \\ &= (1.6 \times 10^{-19})(10^7)(10^{-5}) \\ &= 1.6 \times 10^{-17} \text{ N} \\ \text{แรงโน้มถ่วงบนโปรตอน} &= mg \\ &= (1.6 \times 10^{-27})(9.81) \\ &= 1.6 \times 10^{-26} \text{ N} \end{aligned}$$

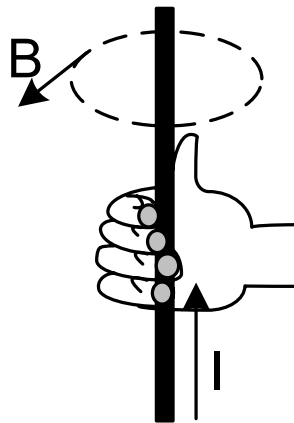
คำตอบ แรงแม่เหล็กมีค่าประมาณ 10^9 เท่าของแรงโน้มถ่วง

11.4 กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก

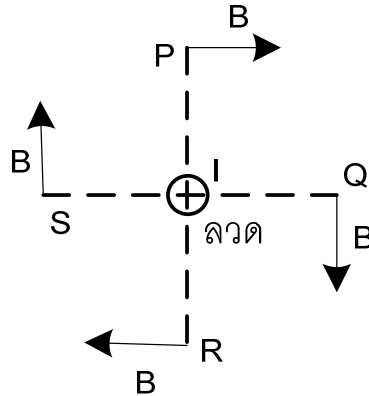
เออร์สเตด พบว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำจะเกิดสนามแม่เหล็กรอบลวดตัวนำนั้น สำหรับลวดตัวนำที่มีรูปร่างต่างกัน สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นก็จะมีรูปร่างต่างกันไปด้วย

11.4.1 สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าไหลในเส้นลวดตรงยาว

เมื่อทำการทดลองผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเส้นลวดตรงยาวยาวพบว่าเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ เส้นลวดตรงยาวนั้น ซึ่งขนาดของความเข้มสนามแม่เหล็กจะมีค่าแปรผันตามกระแสไฟฟ้า และเป็นปฏิภาคผกผันกับระยะห่างจากเส้นลวด ทิศของสนามแม่เหล็กสามารถหาได้จากกฎมือขวา โดยใช้มือขวากำเส้นลวดให้นิ้วหัวแม่มือชี้ตามทิศของกระแส นิ้วทั้งสี่จะแสดงทิศของสนามแม่เหล็กรอบเส้นลวดตัวนำนั้น



รูปที่ 11.4 แสดงการใช้กฎมือขวากำหาทิศของสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 11.5 สนามแม่เหล็กรอบเส้นลวดตัวนำตรงยาว

พิจารณาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่จุด P ซึ่งห่างจากเส้นลวดตัวนำตรงยาวเป็นระยะทาง a และมีกระแสไฟฟ้าไหลเท่ากับ I ดังรูปที่ 11.5

$$\begin{aligned} \text{จากนิยามจะได้ } B &\propto \frac{1}{a} \\ \therefore B &= \frac{kI}{a} \end{aligned} \quad (11.3)$$

โดยที่ B = ความเข้มสนามแม่เหล็ก

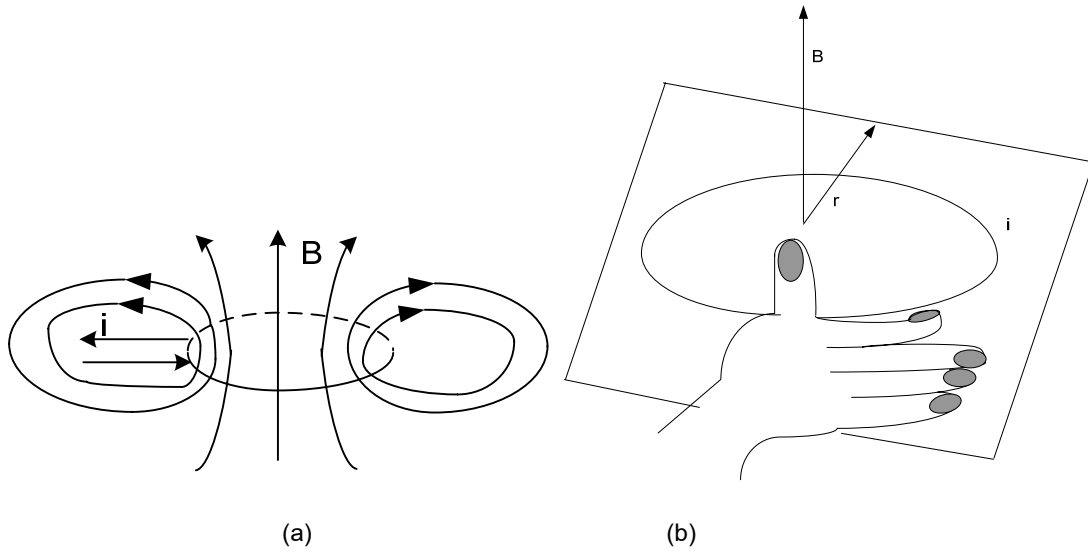
I = กระแสไฟฟ้าที่ไหลในเส้นลวด

a = ระยะห่างตั้งฉากกับเส้นลวด

k = ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ $\frac{\mu_0}{2\pi}$ โดยที่ μ_0 คือสภาพซึมได้ของแม่เหล็กในสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ $4\pi \times 10^{-7}$ H/m

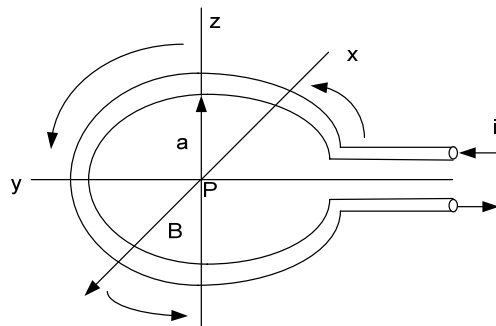
11.4.2 สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดวงกลม

ถ้าให้กระแสไฟฟ้าไหลในลวดวงกลม จะเกิดสนามแม่เหล็กรอบเส้นลวด ดังรูปที่ 11.6 (a) การหาทิศให้หมุนปลายนิ้วทั้งสี่ของมือขวาไปตามทิศการไหลของกระแสไฟฟ้า จะได้ทิศของหัวแม่มือแทนทิศของสนามแม่เหล็กดังรูปที่ 11.6 (b)



รูปที่ 11.6.6 การหาทิศสนามแม่เหล็กจากกระแสไหลในลวดตัวนำวงกลมโดยใช้กฎมือขวา

ขนาดความเข้มสนามแม่เหล็กที่จุดศูนย์กลางของลวดวงกลมมีค่าแปรผันตามจำนวนรอบของลวด และกระแสไฟฟ้าแต่เป็นปฏิภาคผกผันกับรัศมี



รูปที่ 11.7 สนามแม่เหล็กที่จุดศูนย์กลางของขดลวดวงกลม

จากรูปที่ 11.7 กำหนดให้กระแสไฟฟ้า I ไหลในขดลวดวงกลมรัศมี a และมีจุดศูนย์กลางของขดลวดที่จุด P จะได้ขนาดของความเข้มสนามแม่เหล็กที่จุดศูนย์กลางมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{จากความสัมพันธ์จะได้} \quad B &\propto \frac{NI}{a} \\
 \therefore B &= \frac{kNI}{a} \qquad (11.4)
 \end{aligned}$$

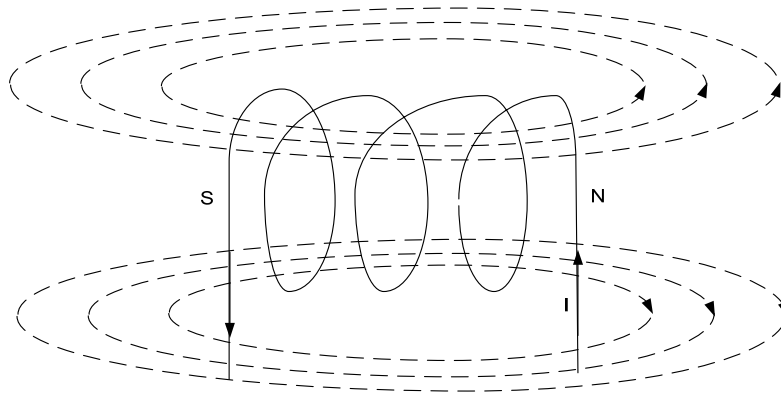
โดยที่ I = กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวด

a = รัศมีของขดลวดวงกลม

N = จำนวนรอบของขดลวดวงกลม

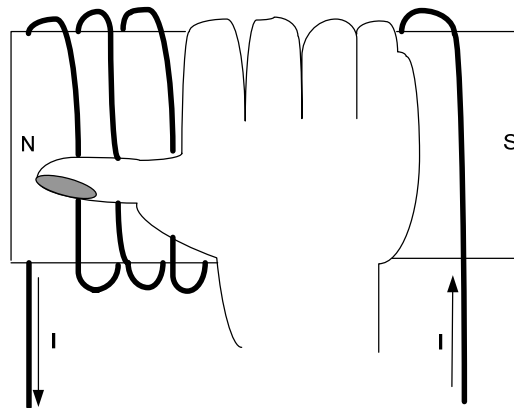
11.4.3 สนามแม่เหล็กจากกระแสไหลในขดลวดโซเลนอยด์

ขดลวดโซเลนอยด์ คือ ขดลวดวงกลมที่พันซ้อนกันหลายรอบตามแนวยาว ในทางทฤษฎีความยาวของขดลวดโซเลนอยด์จะต้องยาวมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางมาก ๆ เส้นแรงแม่เหล็กจึงจะหนาแน่นภายในวง และปลายทั้งสองจะเกิดขั้วแม่เหล็กต่างชนิดกันโดยที่ขั้วแม่เหล็กจะมากเป็นทวิคูณตามจำนวนของขดลวดของโซเลนอยด์ ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กจะพุ่งออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ดังแสดงในรูปที่ 11.8



รูปที่ 11.8 ขั้วแม่เหล็กของโซเลนอยด์

การหาทิศของสนามแม่เหล็กหรือขั้วแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไหลในลวดโซเลนอยด์ให้ใช้กฎมือขวาดังรูปที่ 11.9 ให้ใช้มือขวากำรอบขดลวดโซเลนอยด์ โดยใช้นิ้วทั้งสี่เวียนตามทิศของกระแสที่ไหลในขดลวด นิ้วหัวแม่มือจะแทนทิศของสนามแม่เหล็กหรือขั้วเหนือของสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 11.9 การหาขั้วแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดโซเลนอยด์

ขนาดความเข้มสนามแม่เหล็กอันเนื่องมาจากกระแสไหลในลวดโซเลนอยด์ มีค่าแปรผันตามกระแสไฟฟ้าและจำนวนรอบของลวดต่อความยาว 1 หน่วย

กำหนดให้ขดลวดโซเลนอยด์ขดหนึ่งมีจำนวนรอบต่อหน่วยความยาวเป็น n รอบต่อหน่วยความยาว และมีกระแสไฟฟ้า I ไหลผ่านทำให้เกิดสนามแม่เหล็กในขดลวดเท่ากับ B

$$\begin{aligned} \text{จากนิยามจะได้} \quad & B \propto nl \\ \text{หรือ} \quad & B = knl \end{aligned} \quad (11.5)$$

โดยที่ B = ความเข้มสนามแม่เหล็กในลวดโซเลนอยด์

n = จำนวนรอบของขดลวดโซเลนอยด์ต่อความยาว

l = กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดโซเลนอยด์

11.5 การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

ไมเคิล ฟาราเดย์ นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษได้ค้นพบว่า ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก ณ บริเวณใด การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กนี้จะเหนี่ยวนำทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นในตัวนำซึ่งนำไปวางอยู่ ณ บริเวณนั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นไปตามความสัมพันธ์

$$E = \frac{N\Delta\phi}{\Delta t} \quad (11.6)$$

โดยที่ E = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

N = จำนวนขดลวด

$\Delta\phi$ = การเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก

Δt = เวลาที่สนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลง

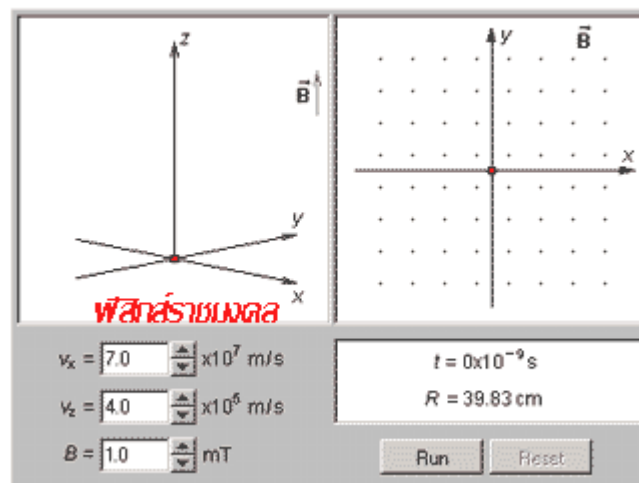
ต่อมา เลนซ์ ได้ทำการทดลองหาทิศทางของกระแสเหนี่ยวนำที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก และได้พบว่า ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีทิศเพื่อทำให้ทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลในทิศที่ทำให้เกิดผลต้านการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก ดังนั้นเมื่อรวมกฎของฟาราเดย์และเลนซ์เข้าด้วยกันจะได้ว่า

$$E = -\frac{N\Delta\phi}{\Delta t} \quad (11.7)$$

แบบฝึกหัดบทที่ 11

1. สมมติที่บริเวณขั้วโลก สนามแม่เหล็กมีทิศตั้งฉากกับผิวโลก ถ้าอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าจากอวกาศพุ่งมายังบริเวณขั้วโลกในทิศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กโลก จงเขียนแผนภาพแสดงแนวการเคลื่อนที่ของอนุภาคนั้น พร้อมคำอธิบาย
2. เพราะเหตุใดเส้นลวดตัวนำขนานกันสองเส้นที่มีกระแสไฟฟ้าไหลในทิศตรงกันข้าม จึงผลักกัน
3. เมื่อกระแส I กำลังเพิ่มขึ้นจะมีปรากฏการณ์เกิดขึ้นบริเวณรอบๆ เส้นลวดตัวนำอย่างไร จงอธิบาย
4. เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ B โดยไม่ตั้งฉากกับ B อิเล็กตรอนจะมีแนวการเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กอย่างไร จงอธิบาย
5. โปรตรอน 1 ตัวเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็กโลกในแนวตั้งฉากกับทิศทางของสนามด้วยความเร็ว 10^7 m/s ความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกที่เส้นศูนย์สูตรประมาณ 10^{-5} เทสลา จงหาแรงที่กระทำบนโปรตรอนโดยสนามนี้ และเปรียบเทียบกับขนาดของแรงโน้มถ่วง
6. ให้นักศึกษาทำการทดลองเสมือนจริง เรื่องการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็กที่ <http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/Explore/ChargedParticles/ChargedParticlesthai1.htm>

การเคลื่อนที่ของประจุในสนามแม่เหล็ก 1



กำหนดให้ $B = +2.0$ mT บนแกน $+Z$ ให้ $v_z = 0$ และ v_x มีค่าสูงสุด $= 8.0 \times 10^7$ m/s กดปุ่ม RUN สังเกตว่าเกิดอะไรขึ้น

7. ให้นักศึกษาทำการทดลองเสมือนจริง เรื่องแม่เหล็ก ที่

<http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/virtual1/magnetic/magnetic.htm>

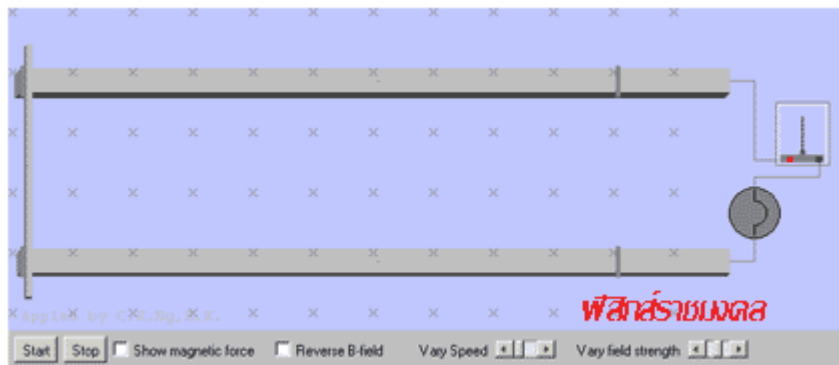


ก. ให้กดเมาส์ที่เข็มเพื่อดูเข็มกับแม่เหล็กถาวร ให้คุณสังเกตว่า อะไรเกิดขึ้น จงอธิบายอย่างละเอียด

ข. เมื่อใช้ค้อนตีเข็มหมด อะไรเกิดขึ้นต่อจากนั้น จงอธิบาย

8. ให้นักศึกษาทำการทดลองเสมือนจริง เรื่องไฟฟ้าที่เกิดจากแม่เหล็ก ที่

<http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/virtual1/C-K-NG/Inductionthai.html>




ก. ให้กดปุ่ม "Start" สังเกตที่มิเตอร์ ว่าเกิดอะไรขึ้น

ข. เพิ่มความเร็ว และความเข้มของสนามแม่เหล็ก เกิดอะไรขึ้น

ค. กดปุ่ม "Reverse B - field " เข็มของมิเตอร์ขึ้นอย่างไร แตกต่างกับไม่เปลี่ยนแปลงอย่างไร ทำไมถึงเป็นเช่นนั้น

ง. กดปุ่ม "Stop" และลากแท่งโลหะไปมา ด้วยเมาส์ มีอะไรเกิดขึ้นกับมิเตอร์ และหลอดไฟ

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	

 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 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
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 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
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป 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	

