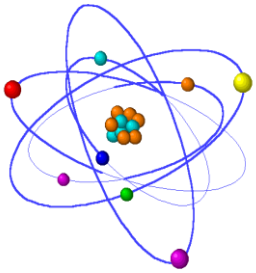


ฟิสิกส์ ม.ปลาย

เรื่องไฟฟ้าและแม่เหล็ก

ผศ.สุชาติ สุภาพ

พิมพ์และจัดจำหน่ายโดย

สุชาติ สุภาพ

133/471 หมู่ 2 (ติดกับ สนง. ที่ดินบางบัวทอง) ต.พิมลราช อ.บางบัวทอง จ.นนทบุรี 11110

E - mail suchart11111@hotmail.com

พิมพ์ที่ หจก. SPS 1999 ม.เพชรอนันต์ เขตคันนายาว กรุงเทพ ฯ 10230

คำนำ

"ไฟฟ้า" และ "แม่เหล็ก" คือสองพลังธรรมชาติที่เปลี่ยนโลกของเราอย่างสิ้นเชิง ตั้งแต่อุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้าน โทรศัพท์มือถือ ไปจนถึงเทคโนโลยีที่ซับซ้อนอย่างรถไฟความเร็วสูง MRI หรือแม้แต่ดาวเทียมในอวกาศ ล้วนมีรากฐานจากความเข้าใจในฟิสิกส์ของไฟฟ้าและแม่เหล็กทั้งสิ้น หนังสือเล่มนี้จัดทำขึ้นสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยมุ่งหวังให้ผู้อ่านเข้าใจหลักการพื้นฐานของไฟฟ้าและแม่เหล็กอย่างถูกต้องและลึกซึ้ง ครอบคลุมเนื้อหาตั้งแต่ กระแสไฟฟ้า วงจรไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก แรงแม่เหล็ก การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ไปจนถึงการประยุกต์ใช้งานในโลกจริง เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และมอเตอร์ ภายในเล่มมีการจัดเรียงเนื้อหาอย่างเป็นระบบ พร้อมภาพประกอบ ตัวอย่างโจทย์ และแบบทดสอบฝึกคิด เพื่อให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ได้อย่างเข้าใจ สนุก และเชื่อมโยงทฤษฎีเข้ากับปรากฏการณ์รอบตัว ขอให้หนังสือเล่มนี้เป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยพานักเรียนก้าวเข้าสู่โลกแห่งฟิสิกส์ด้วยความมั่นใจ และสร้างแรงบันดาลใจให้ก้าวไปสู่การเป็นนักวิทยาศาสตร์ วิศวกร หรือผู้สร้างสรรค์นวัตกรรมในอนาคต

ถ้าท่านสนใจหนังสือนี้ในรูปแบบ E-BOOK ก็มีจำหน่ายที่เว็บไซต์ ร้านนายอินทร์ , MEB , อุ๊กบี, ซีเอ็ด , bytexts , ศูนย์หนังสือจุฬา ฯ และDDebook

สำหรับท่านที่สนใจหนังสือของกระผมแต่หาซื้อตามร้านหนังสือทั่วไปไม่ได้ สามารถซื้อออนไลน์ที่แอปต่าง ๆ โดยสแกน QR โค้ดข้างล่างนี้ ⟨ที่ช้อปปี้มีหนังสือมากที่สุด⟩

สุชาติ สุภาพ

มือถือ 083-920-3825

สารบัญ

หน้า

บทที่ 15 ไฟฟ้าและแม่เหล็ก 4

15.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก 4

15.1.1 สนามแม่เหล็ก 14

15.1.2 สนามแม่เหล็กโลก 14

15.1.3 ฟลักแม่เหล็ก 18

15.1.4 การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก 44

15.2 กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก 51

15.3 แรงกระทำต่อลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก 51

15.4 แรงระหว่างเส้นลวดตัวนำสองเส้นที่ขนานกันและมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 65

15.5 แรงกระทำต่อขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก 75

15.6 การประยุกต์ผลของสนามแม่เหล็กต่อตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน 75

15.7 กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 85

15.8 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำย้อนกลับในมอเตอร์ 99

15.9 หม้อแปลงไฟฟ้า 100

15.10 ค่าของปริมาณที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้ากระแสสลับ 114

15.11 การนำความรู้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าไปใช้ประโยชน์ 142

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

บทที่ 15
ไฟฟ้าและแม่เหล็ก

ลองจินตนาการถึงโลกที่ไม่มีไฟฟ้า ไม่มีแสงสว่าง ไม่มีสมาร์ตโฟน ไม่มีคอมพิวเตอร์ หรือแม้แต่พัดลมกับตู้เย็นก็คงไม่ทำงาน สิ่งเหล่านี้ล้วนเกิดขึ้นได้เพราะ "ไฟฟ้า" ซึ่งเป็นพลังงานที่เราใช้กันในชีวิตประจำวันแทบทุกด้าน และถ้าพูดถึงไฟฟ้า ก็ต้องพูดถึง "แม่เหล็ก" ด้วย เพราะทั้งสองสิ่งนี้มีความเกี่ยวข้องกันอย่างลึกซึ้ง จนเป็นหัวข้อสำคัญในวิชาฟิสิกส์ที่เรียกว่า ไฟฟ้าและแม่เหล็ก และเมื่อเราเข้าสู่ แม่เหล็ก เราจะพบว่า สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าไม่เพียงแต่เกี่ยวข้องกัน แต่ยังสามารถเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาได้ ซึ่งเป็นพื้นฐานของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, มอเตอร์, และ หม้อแปลงไฟฟ้า เรื่อง ไฟฟ้าและแม่เหล็ก ไม่ใช่แค่เนื้อหาวิชาฟิสิกส์เท่านั้น แต่ยังเป็นประตูสู่เทคโนโลยีที่เปลี่ยนโลก และเป็นพื้นฐานของวิทยาศาสตร์ วิศวกรรม และนวัตกรรม อย่างแท้จริง

ไฟฟ้า

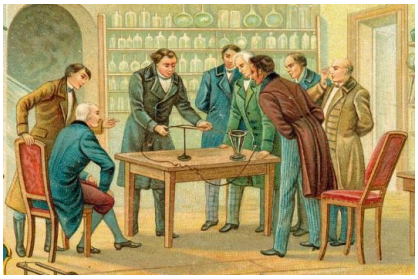
ไฟฟ้าหมายถึงพลังงานรูปแบบหนึ่งที่เกิดจากการแยกตัวออกมาของประจุไฟฟ้า หรือการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้า ปัจจุบันมีการนำเอาพลังงานไฟฟ้ามาใช้ในงานด้านต่าง ๆ อย่างมากมาย จนอาจถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่ ๕ ของมนุษย์

แม่เหล็ก

แม่เหล็กหมายถึงแร่ หรือโลหะที่มีสมบัติดูดวัตถุอื่นที่ทำด้วยสารแม่เหล็กได้ แม่เหล็กเป็นแร่หรือโลหะที่มีสมบัติดูดเหล็กได้ในประวัติศาสตร์ พบว่าสารแม่เหล็กในหินแมกแนเซียน โดยบริเวณรอบสารแม่เหล็กจะมีสนามแม่เหล็กแผ่ออกมา ปัจจุบันพบว่ามีสารอื่นที่ทำให้เป็นแม่เหล็กได้ เช่น นิเกิล โคบอล แมงกานีส ในปี ค.ศ.1600 **William Gilbert** เสนอว่าโลกก็เป็นแม่เหล็กถาวรด้วยเหมือนกัน

15.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

เออร์สเตด ศาสตราจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ ประจำมหาวิทยาโคเปนเฮเกน ประเทศเดนมาร์ก พบความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กด้วยความบังเอิญ ในขณะบรรยายวิชาฟิสิกส์ในหัวข้อ คุณสมบัติของกระแสไฟฟ้า เขาพบว่าสายไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าไหล จะทำให้เข็มทิศเบี่ยงเบนไปจากแนวเหนือใต้ได้



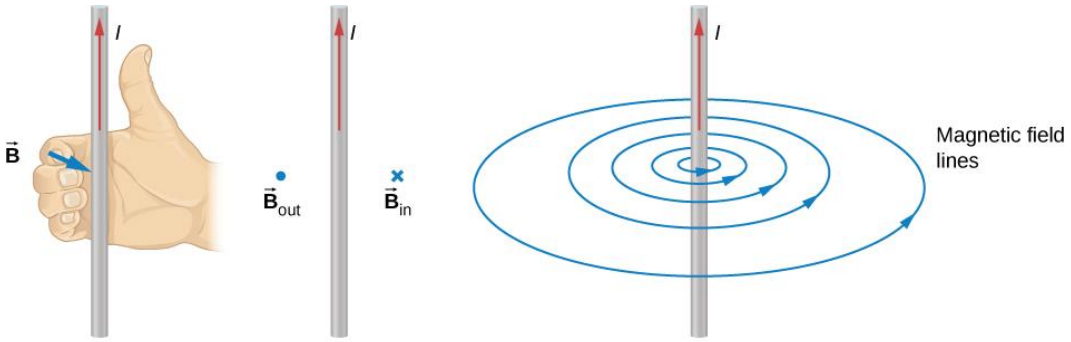
รูป 15.1 การทดลองของเออร์สเตด

ในช่วงนั้นนักวิทยาศาสตร์หลายคนพยายามแข่งขันกันเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เออร์สเตดพบ คนที่อธิบายได้ดีและชัดเจนคือ แอมแปร์ , บิโอต์ และซาวาร์ต จึงมีการตั้งเป็นกฎของแอมแปร์ และกฎของบิโอต์ - ซาวาร์ต ทั้งกฎของแอมแปร์ และกฎของบิโอต์ – ซาวาร์ต เป็นกฎที่ใช้ในการคำนวณหาสนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมาจากเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลได้เหมือนกัน กฎของแอมแปร์ เหมาะที่จะนำมาใช้หาสนามแม่เหล็กที่มีลักษณะสมมาตร เช่น สนามแม่เหล็กจากขดลวดโซลินอยด์ ขดลวดทอรอยด์ หรือเส้นลวดเส้นตรงที่มีกระแสไฟฟ้าไหล ส่วนกฎของบิโอต์ – ซาวาร์ต เหมาะที่จะนำมาใช้หาสนามแม่เหล็กที่มีลักษณะไม่สมมาตร เช่น เส้นลวดที่โค้งงอและมีกระแสไฟฟ้าไหล ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการพบของเออร์สเตด นำไปสู่ทฤษฎีความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับกระแสไฟฟ้า

ความเป็นแม่เหล็กของสารเกิดขึ้นได้อย่างไร

แอมแปร์ได้เสนอว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลวนในระดับอะตอมเป็นต้นเหตุของปรากฏการณ์ทางแม่เหล็กทุกอย่าง สนามแม่เหล็กจากสารแม่เหล็กเกิดขึ้นได้ 3 ทาง ดังนี้

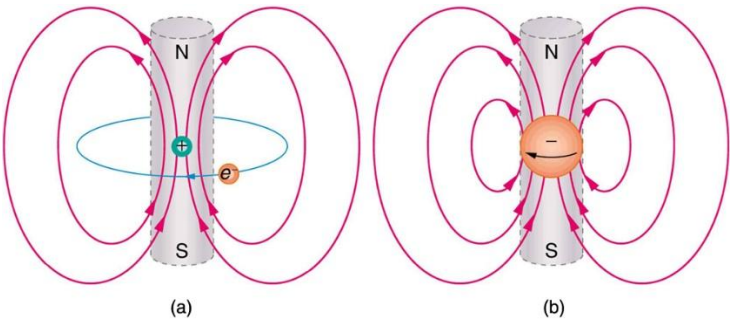
1) เกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้า เช่นสนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมาจากเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหล



รูป 15.2 สนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมาจากเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้า

2) อิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียสในอะตอม เช่นสนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมาจากแท่งแม่เหล็กถาวร

3) อิเล็กตรอนหมุนรอบตัวเอง หรือที่เรียกว่า ***electron spin*** เช่นสนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมาจากแท่งแม่เหล็กถาวร



รูป 1. 53 (a) อิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียส (b) อิเล็กตรอนหมุนรอบตัวเอง

สนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมาจากแท่งแม่เหล็กธรรมชาติส่วนใหญ่เกิดมาจากการหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอน ส่วนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากสารอื่นส่วนมักเกิดจากการโคจรรอบนิวเคลียสของอิเล็กตรอน ถึงแม้ในทางทฤษฎีไม่ได้บอกว่าแม่เหล็กจะต้องมี 2 ขั้ว แต่ในความเป็นจริง จะพบว่าแม่เหล็กมี 2 ขั้วเสมอ

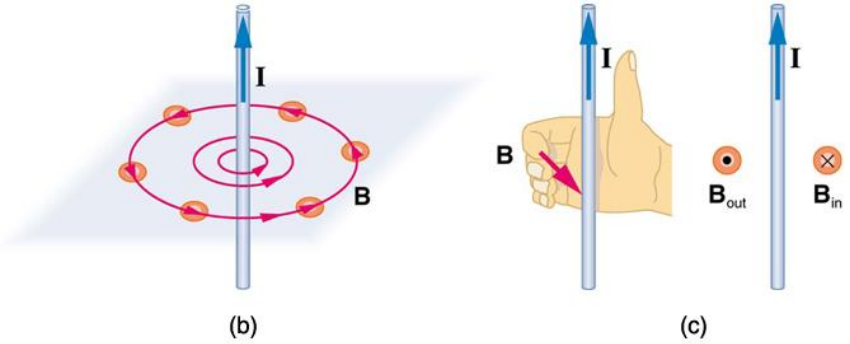
ความเข้มสนามแมเหล็กมีหน่วยเป็น “เทสลา” (T) หรือเกาส์ (G)

1 เทสลา = 1 เวเบอร์/ตารางเมตร 1 เกาส์ = 10^{-4} เทสลา

1 เทสลา = 10000 เกาส์

ทิศของสนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมาจากเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหล

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในสายไฟฟ้าหรือตัวนำใด ๆ จะมีสนามแม่เหล็กแผ่ออกมาก ทิศของสนามแม่เหล็กหาได้จากกฎมือขวา



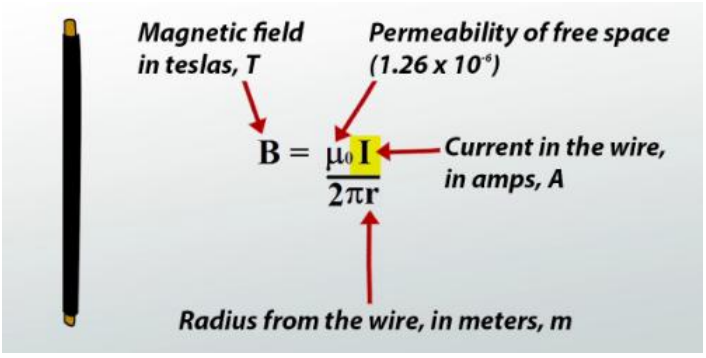
รูป 1.54 ทิศของสนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมาจากเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหล

โดยความเข้มของสนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมามีค่าขึ้นอยู่กับระยะห่างตามสมการ

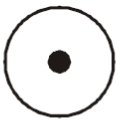
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

เมื่อ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} Tm/A$ I คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลในเส้นลวด

r คือระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของเส้นลวด



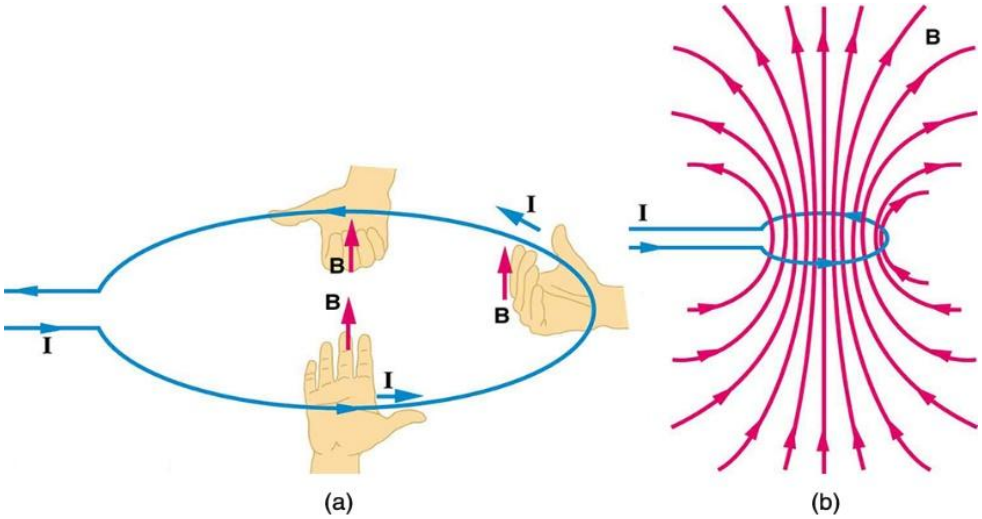
Magnetic field going into the page



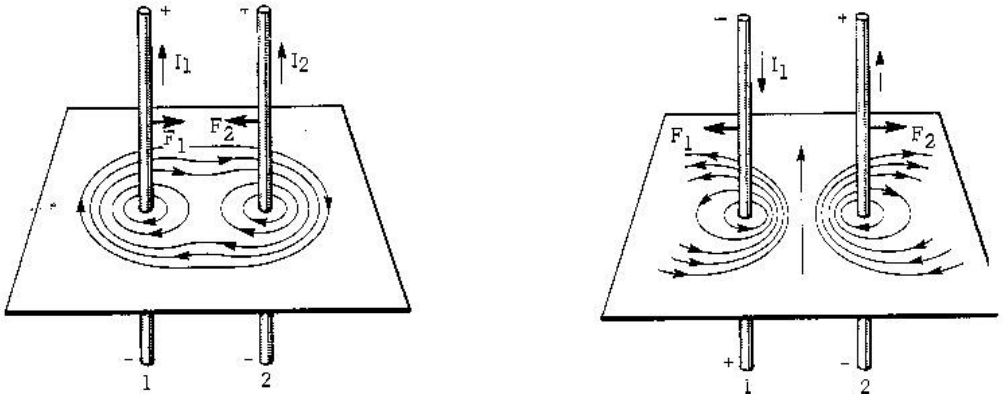
Magnetic field coming out of the page.

รูป 15.5 สนามแม่เหล็กพุ่งเข้าในกระดาษ สนามแม่เหล็กพุ่งออกจากหน้ากระดาษ

รูป 15.6 การทดลองที่แสดงให้เห็นว่าเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้าจะมีสนามแม่เหล็กแผ่ออกมาโดยรอบ

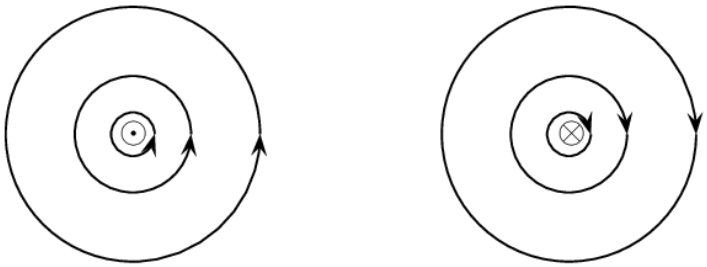


รูป 15.7 สนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมาจากเส้นลวดที่ขดเป็นวงกลม



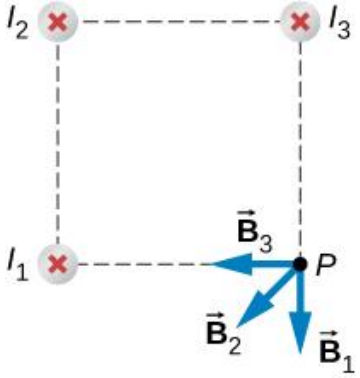
(ก) (ข)

รูป 15.8 (ก) เส้นลวดตัวนำ 2 เส้นที่มีกระแสไฟฟ้าไหลทางเดียวกันจะผลักกัน (ข) ไหลสวนทางกันก็จะดูดกัน



รูป 15.9 ทิศของสนามแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในเส้นลวดตัวนำ

ตัวอย่าง สายไฟสามเส้นวางเรียงกันที่มุมของสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยสายไฟสามเส้นมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเท่ากันคือ 2 แอมป์ จงหาขนาดของสนามแม่เหล็กที่จุด P ถ้าความยาวของแต่ละด้านของสี่เหลี่ยมเท่ากับ 1 เซนติเมตร



วิธีทำ สนามแม่เหล็กที่จุด P มี 3 สนาม คือ B_1, B_2 และ B_3

$$B_1 = B_3 = \frac{\mu_o I}{2\pi R}$$

$$= \frac{(4\pi\times10^{-7}\ \text{Tm/A})(2\,\text{A})}{2\pi(0.01\,\text{m})} = 4\times10^{-5}T \qquad (1)$$

$$B_2 = \frac{\mu_o I}{2\pi R}$$

$$= \frac{(4\pi\times10^{-7}\ \text{Tm/ A})(2\,\text{A})}{2\pi(0.01414\,\text{m})} = 2.83\times10^{-5}T \qquad (2)$$

รวมสนามแม่เหล็กในแนวแกน x $\quad B_{net\,x} = -4\times10^{-5}T - 2.83\times10^{-5}T\cos45^o = -6\times10^{-5}T$

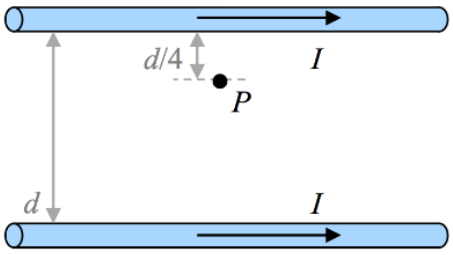
รวมสนามแม่เหล็กในแนวแกน y $\quad B_{net\,y} = -4\times10^{-5}T - 2.83\times10^{-5}T\sin45^o = -6\times10^{-5}T$

สนามแม่เหล็กสุทธิ $\quad B_{net} = \sqrt{(B_{net\,x})^2+(B_{net\,y})^2}$

$$B_{net} = \sqrt{(-6\times10^{-5}T)^2+(-6\times10^{-5}T)^2}$$

$$B_{net} = 8.48\times10^{-5}T$$ ตอบ

ตัวอย่าง เส้นลวดตัวนำสองเส้นมีกระแสไฟฟ้า I ไหลผ่านเหมือนกันดังรูป จงหาสนามแม่เหล็กที่จุด P



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

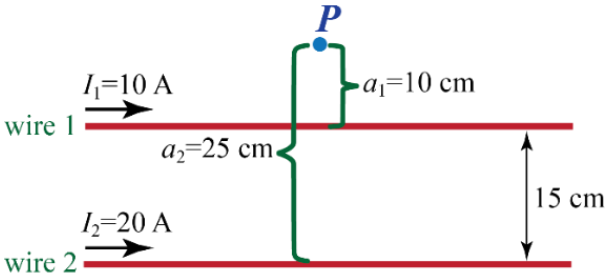
ให้สนามไฟฟ้าพุ่งเข้าเป็น + สนามไฟฟ้าพุ่งออกเป็น +

$$B = \frac{-\mu_0 I}{2\pi\left(\frac{d}{4}\right)} + \frac{-\mu_0 I}{2\pi\left(\frac{3d}{4}\right)}$$

$$B = \frac{-4\mu_0 I}{3\pi d}$$ มีทิศพุ่งเข้าหากระดาษ ตอบ

คำถามระหว่างบทเรียน

1) ถ้ามีกระแสไฟฟ้าไหลในเส้นลวดตัวนำสองเส้นดังรูป จงหาความเข้มสนามแม่เหล็กที่จุด P



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

ให้สนามไฟฟ้าพุ่งเข้าเป็น + สนามไฟฟ้าพุ่งออกเป็น -

$$B = \frac{-\mu_0 I_1}{2\pi(0.1)} + \frac{-\mu_0 I_2}{2\pi(0.25)}$$

$$B = \frac{-\mu_0 I_1}{0.2\pi} + \frac{-\mu_0 I_2}{0.5\pi}$$

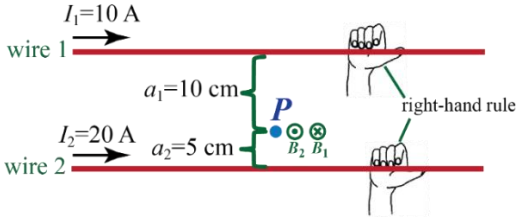
$$B = \frac{-0.5\mu_0(10) - 0.2\mu_0(20)}{0.1\pi}$$

$$B = \frac{-9\mu_0}{0.1\pi}$$

$$B = \frac{-9(4\pi \times 10^{-7})}{0.1\pi}$$

$B = 3.6 \times 10^{-5}$ T มีทิศพุ่งออกกระดาษ ตอบ

2) ถ้ามีกระแสไฟฟ้าไหลในเส้นลวดตัวนำสองเส้นดังรูป จงหาความเข้มสนามแม่เหล็กที่จุด P



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

ให้สนามไฟฟ้าพุ่งเข้าเป็น + สนามไฟฟ้าพุ่งออกเป็น -

$$B = \frac{+\mu_0 I_1}{2\pi(0.1)} + \frac{-\mu_0 I_2}{2\pi(0.05)}$$

$$B = \frac{+\mu_0 I_1}{\pi(0.2)} + \frac{-\mu_0 I_2}{\pi(0.1)}$$