

ฟิสิกส์ 2

เรื่องแม่เหล็ก-ไฟฟ้า

ผศ.สุชาติ สุภาพ

พิมพ์และจัดจำหน่ายโดย

สุชาติ สุภาพ

250/1 หมู่ 1 ต.บ้านแพ้ว อําเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร 74120

E - mail suchart11111@hotmail.com

พิมพ์ที่ ตจก.SPS ม.เพชรอนันต์ เขตคันนาวา กรุงเทพฯ ๑ 10230 โทร 080-524-6299

ข้อมูลทางบรรณานุกรม

สุชาติ สุภาพ

ฟิสิกส์ 2 เรื่องแม่เหล็ก-ไฟฟ้า

530

ISBN 978-616-485-191-7

คำนำ

หนังสือ ฟิลิซ 2 เล่ม 2 นี้ เรียบเรียงขึ้น เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชา ฟิลิซของนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ราคาของหนังสือ อาจจะแพงไปบ้าง เนื่องจากการจัดทำแบบปรี้นท์จำนวนไม่มาก หวังว่าผู้อ่านคงจะ เข้าใจและให้การสนับสนุน

หนังสือนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพฑูรย์ เกษณะ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา รองศาสตราจารย์ระ รอดสัมพันธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธ บุณยธรรมมา (ครูวิทยาศาสตร์ดีเด่นระดับอุดมศึกษา) ที่ได้ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์

นอกจากนั้นยังได้รับความช่วยเหลือจากผู้บริหารมหาวิทยาลัยฯ ทุกระดับชั้น ที่ สนับสนุนส่งเสริมการทำผลงานวิชาการ และส่งเสริมการให้บริการทางวิชาการแก่ชุมชน และสังคม จึงขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

สำหรับท่านที่สนใจหนังสือของกระผมแต่หาซื้อไม่ได้ สามารถสั่งซื้อได้ทางไลน์ หรือเฟสบุ๊คสุชาติ สุภาพ

สุชาติ สุภาพ

โทรศัพท์ 083-920-3825



ID LINE

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 7 สนามแม่เหล็ก	4
7.1 ความเป็นแม่เหล็กของสาร เกิดขึ้นได้อย่างไร	4
7.2 สนามแม่เหล็กโลก	5
7.3 แรงแม่เหล็ก ที่กระทำต่อประจุไฟฟ้า	6
7.4 การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า ในสนามแม่เหล็ก	15
7.5 แรงแม่เหล็กบนลวดนำที่มีกระแสไฟฟ้า	24
7.6 แรงบิดที่กระทำต่อลูปกระแสที่อยู๋ในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ	33
7.7 การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า ในสนามแม่เหล็ก	39
7.8 ปรากฏการณ์ฮอลล์	46
บทที่ 8 แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก	50
8.1 กฎของบิโอต์ - ซาวาร์ต	55
8.2 แรงแม่เหล็กระหว่างลวดนำสองเส้นขนานกัน	72
8.3 กฎของแอมแปร์	79
8.4 สนามแม่เหล็กของขดลวดโซลินอยด์	87
8.5 ฟลักซ์แม่เหล็ก	94
8.6 กฎของเกาส์สำหรับสนามแม่เหล็ก	97
8.7 กระแสการกระจัด และกฎของแอมแปร์ที่พิจารณากระแสการกระจัด	98
บทที่ 9 กฎของฟาราเดย์	105
9.1 กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์	106
9.2 กฎของเลนซ์	107
9.3 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของลวดนำในสนามแม่เหล็ก	123
9.4 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และสนามไฟฟ้า	134
9.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	136
9.6 กระแสไหลวน	139

%%%%%%%%%

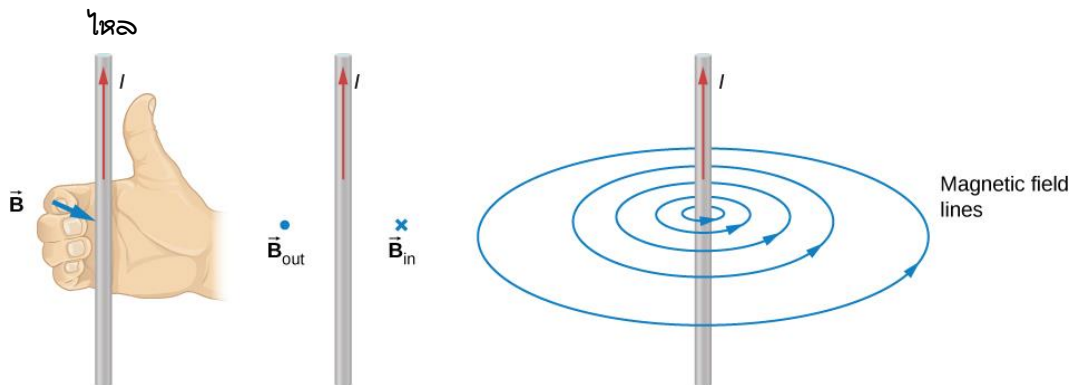
บทที่ 7 สนามแม่เหล็ก

แม่เหล็กเป็นแร่หรือโลหะที่มีสมบัติดูดเหล็กได้ในประวัติศาสตร์ พบว่า สารแม่เหล็กในหินแมกเนไซต์ (หินเหล็ก) โดยบริเวณรอบสารแม่เหล็กจะมีสนามแม่เหล็กแผ่ออกมา ปัจจุบันพบว่ามีการอื่นที่ทำให้เป็นแม่เหล็กได้ เช่น นิกเกิล โคบอล แมงกานีส ในปี ค.ศ. 1600 William Gilbert เสนอว่าโลกก็เป็นแม่เหล็กถาวรด้วยเหมือนกัน

7.1 ความเป็นแม่เหล็กของสาร เกิดขึ้นได้อย่างไร

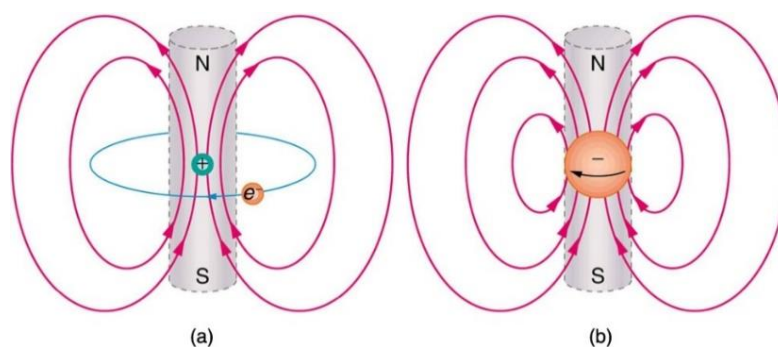
แอมแปร์ได้เสนอว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลวนในระดับอะตอมเป็นต้นเหตุของปรากฏการณ์ทางแม่เหล็กทุกอย่าง สนามแม่เหล็กจากสารแม่เหล็กเกิดขึ้นได้ 3 ทาง ดังนี้

- 1) เกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้า เช่นสนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมาจากเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหล



รูป 7.1 สนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมาจากเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้า

- 2) อิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียสในอะตอม เช่นสนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมาจากแท่งแม่เหล็กถาวร
- 3) อิเล็กตรอนหมุนรอบตัวเอง หรือที่เรียกว่า electron spin เช่นสนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมาจากแท่งแม่เหล็กถาวร



รูป 7.2 (a) อิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียส (b) อิเล็กตรอนหมุนรอบตัวเอง

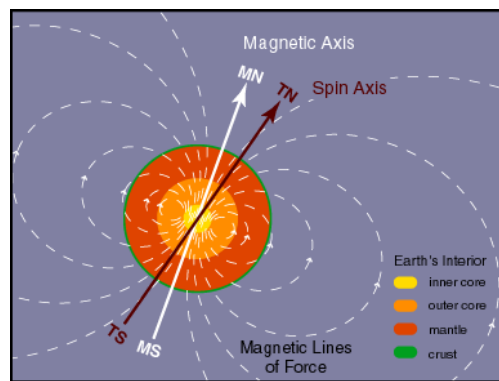
สนามแม่เหล็กที่แผ่ออกมาจากแท่งแม่เหล็กธรรมชาติส่วนใหญ่เกิดมาจากการหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอน ส่วนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากสารอื่นส่วนมากเกิดจากการโคจรรอบนิวเคลียสของอิเล็กตรอน ถึงแม้ในทางทฤษฎีไม่ได้บอกว่าแม่เหล็กจะดังมี 2 ขั้ว แต่ในความเป็นจริง จะพบว่าแม่เหล็กมี 2 ขั้วเสมอ

ความเข้มสนามแม่เหล็กมีหน่วยเป็น "เทสลา" (T) หรือเกาส์ (G)

$$\begin{aligned} 1 \text{ เทสลา} &= 1 \text{ เวเบอร์/ตารางเมตร} & 1 \text{ เกาส์} &= 10^{-4} \text{ เทสลา} \\ 1 \text{ เทสลา} &= 10000 \text{ เกาส์} \end{aligned}$$

7.2 สนามแม่เหล็กโลก

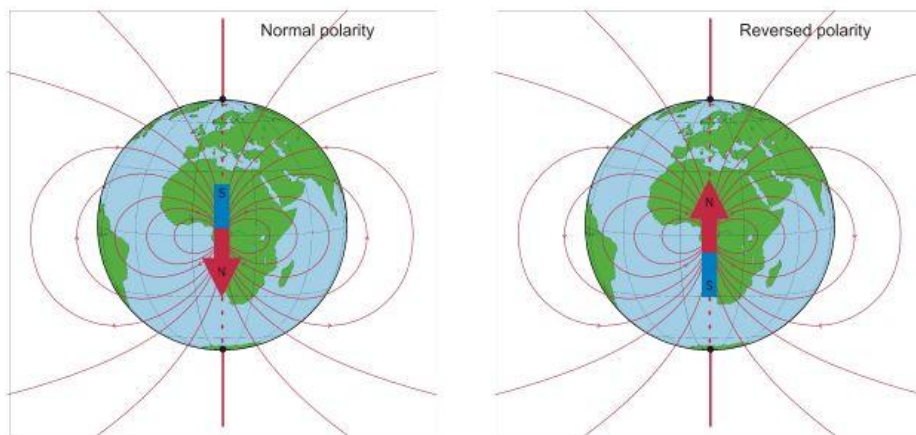
สนามแม่เหล็กของโลกเป็นสนามแม่เหล็ก 2 ขั้วชนิดหนึ่ง ซึ่งขั้วหนึ่งอยู่บริเวณขั้วโลกเหนืออีกขั้วหนึ่งอยู่บริเวณขั้วโลกใต้ เส้นที่เชื่อมระหว่างขั้วทั้งสองด้าน มีความเอียงประมาณ 11.3° กับแกนการหมุนของโลก



รูป 7.3 จุดกำเนิด และมุมเอียงของสนามแม่เหล็กโลก

สนามแม่เหล็กโลกเกิดจากโลหะหนักในแกนโลกที่หลอมเหลวที่อยู่บริเวณแกนโลก มีการไหลแบบหมุนวน ความเข้มสนามแม่เหล็กโลกที่บริเวณผิวโลกมีค่าประมาณ 30 - 60 ไมโครเทสลา และจะค่อยๆ ลดลงเมื่อความสูงจากผิวโลกมากขึ้น

เนื่องจากสนามแม่เหล็กโลกเกิดจากกระแสไหลวนในหินหลอมเหลวที่อยู่ภายในโลก สนามแม่เหล็กโลกในอดีต ปัจจุบัน และอนาคตจึงมีค่าไม่เท่ากัน และในอดีตสนามแม่เหล็กโลกก็เคยมีการกลับขั้วมาแล้วหลายครั้ง และในอนาคตสนามแม่เหล็กโลกก็จะมีการกลับขั้วอีก แต่ยังไม่มีการทราบว่าจะเกิดขึ้นเมื่อไร



รูป 7.4 การกลับขั้วสนามแม่เหล็กโลก

หมายเหตุ : มนุษย์ทราบว่าสนามแม่เหล็กโลกเคยมีการกลับขั้วมาแล้ว โดยการศึกษาจากแนวไร่องัวยาวของสนามแม่เหล็กในเนื้อหินโบราณ ในยุคต่าง ๆ

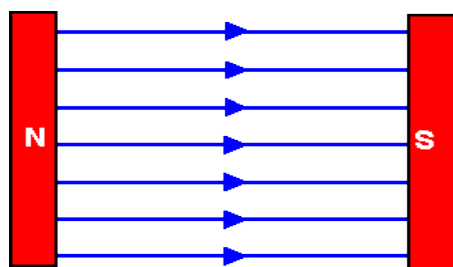


รูป 7.5 การไร่องัวยาวของสนามแม่เหล็กในเนื้อหิน

สนามแม่เหล็กโลกมีความเข้มสนามแม่เหล็กประมาณ 0.5 เกาส์

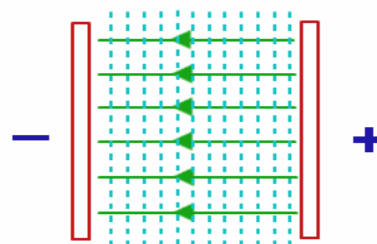
7.3 แรงแม่เหล็ก ที่กระทำต่อประจุไฟฟ้า

ถ้าเราเอาประจุไฟฟ้ามาวางไว้ในสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กจะไม่ออกแรงกระทำต่อประจุไฟฟ้านั้น ในทำนองเดียวกันถ้าเราเอาเข็มทิศมาวางไว้ในสนามไฟฟ้า สนามไฟฟ้าก็ไม่ออกแรงกระทำต่อเข็มทิศเช่นเดียวกัน



(a)

รูป 7.6 (a) สนามแม่เหล็ก



(b)

(b) สนามไฟฟ้า

แต่ถ้าจึงประจุไฟฟ้าให้เคลื่อนที่เข้ามาในสนามแม่เหล็ก โดยทิศของความเร็วไม่อยู่ในแนวเดียวกับสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กจะออกแรงกระทำต่อประจุไฟฟ้านั้น โดยขนาดและทิศของแรง คำนวณหาได้จากสมการ

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (7-1)$$

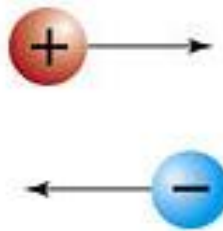
หรือขนาดของแรงแม่เหล็กคือ

$$|F| = qvB \sin \theta \quad (7-2)$$

เมื่อ q มีหน่วยเป็น คูลอมบ์ (C) B มีหน่วยเป็นเทสลา (T) θ คือมุมระหว่าง $\mathbf{v}$ กับ $\mathbf{B}$

หมายเหตุ

ประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่นอกจากจะมีสนามไฟฟ้าแผ่ออกมาแล้ว ยังมีสนามแม่เหล็กแผ่ออกมาด้วย ดังนั้น ประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่จะเป็นเสมือนแท่งแม่เหล็กเล็ก ๆ แท่งหนึ่ง



รูป 7.7 บริเวณรอบ ๆ ประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ จะมีสนามแม่เหล็ก

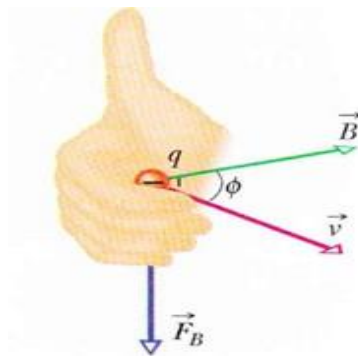
ทิศของแรงหาได้จากกฎมือขวา

ในการหาทิศของแรงที่สนามแม่เหล็กกระทำต่อประจุไฟฟ้าที่มีประจุไฟฟ้าบวกให้ใช้กฎมือขวา โดยให้นิ้วทั้งสี่ชี้ไปทางทิศของความเร็ว วนนิ้วทั้งสี่ไปหาสนามแม่เหล็ก นิ้วหัวแม่มือจะชี้ไปทางทิศของแรง ดังรูป



รูป 7.8 หาทิศของแรงแม่เหล็กโดยใช้กฎมือขวา

ถ้าเป็นประจุลบก็หาทิศของแรงโดยใช้กฎมือขวาเหมือนกัน แต่ถ้าหัวแม่มือชี้ไปทางใดแสดงว่าแรงที่กระทำต่อประจุลบจะมีทิศตรงข้าม



ทิศของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อประจุลบก็หาได้จากกฎมือขวา

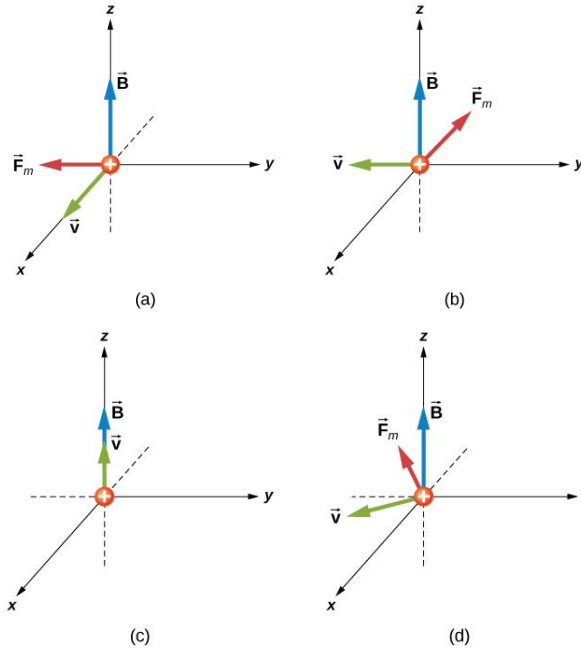
ตัวอย่างอนุภาคแอลฟา $q = 3.2 \times 10^{-19} \text{ C}$ เคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอที่มีความเข้ม 1.5 T ตามแกน z ดังรูป จงหาแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคแอลฟา เมื่ออนุภาคแอลฟาเคลื่อนที่

a) ในทิศ $+x$ ด้วยความเร็ว $5 \times 10^4 \text{ m/s}$

b) ในทิศ $-y$ ด้วยความเร็ว $5 \times 10^4 \text{ m/s}$

c) ในทิศ $+z$ ด้วยความเร็ว $5 \times 10^4 \text{ m/s}$

d) ด้วยความเร็ว $(2\hat{i} - 3\hat{j} + \hat{k}) \times 10^4 \text{ m/s}$



วิธีทำ จาก

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

$$\mathbf{F}_{(a)} = (3.2 \times 10^{-19} \text{ C})(5 \times 10^4 \text{ m/s} \hat{i}) \times (1.5 \text{ T} \hat{k})$$

$$\mathbf{F}_{(a)} = -2.4 \times 10^{-14} \text{ N} \hat{j} \quad \text{ตอบ}$$

$$\mathbf{F}_{(b)} = (3.2 \times 10^{-19} \text{ C})(-5 \times 10^4 \text{ m/s} \hat{j}) \times (1.5 \text{ T} \hat{k})$$

$$\mathbf{F}_{(b)} = -2.4 \times 10^{-14} \text{ N} \hat{i} \quad \text{ตอบ}$$

$$\mathbf{F}_{(c)} = (3.2 \times 10^{-19} \text{ C})(5 \times 10^4 \text{ m/s} \hat{k}) \times (1.5 \text{ T} \hat{k})$$

$$\mathbf{F}_{(c)} = 0 \quad \text{ตอบ}$$

$$\mathbf{F}_{(d)} = (3.2 \times 10^{-19} \text{ C}) \{ (2\hat{i} - 3\hat{j} + \hat{k}) \times 10^4 \text{ m/s} \} \times (1.5 \text{ T} \hat{k})$$

$$\mathbf{F}_{(d)} = (-14.4\hat{i} - 9.6\hat{j}) \times 10^{-15} \text{ N} \quad \text{ตอบ}$$

$$|\mathbf{F}_{(d)}| = \sqrt{(-14.4)^2 + (-9.6)^2} \times 10^{-15} \text{ N}$$

$$|\mathbf{F}_{(d)}| = 1.7 \times 10^{-14} \text{ N} \quad \text{ตอบ}$$

ตัวอย่าง ประจุไฟฟ้าขนาด 3 ไมโครคูลอมบ์ มีความเร็ว $\mathbf{v} = 3\mathbf{i} + 5\mathbf{j} - 6\mathbf{k}$ เมตร/วินาที อยู่ในสนามแม่เหล็ก $\mathbf{B} = -2\mathbf{i} + 7\mathbf{j} - 4\mathbf{k}$ เทสลา จงหาขนาดของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อประจุไฟฟ้าในแนวแกน z

วิธีทำ จาก

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

$$\mathbf{F} = (3 \times 10^{-6} \text{ C}) \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ 3 & 5 & -6 \\ -2 & 7 & -4 \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{F} = (3 \times 10^{-6})(22\mathbf{i} + 24\mathbf{j} + 31\mathbf{k})$$

$$\mathbf{F} = (66\mathbf{i} + 72\mathbf{j} + 93\mathbf{k}) \times 10^{-6} \text{ N}$$

ขนาดของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อประจุไฟฟ้าในแนวแกน z = 93 ไมโครนิวตัน

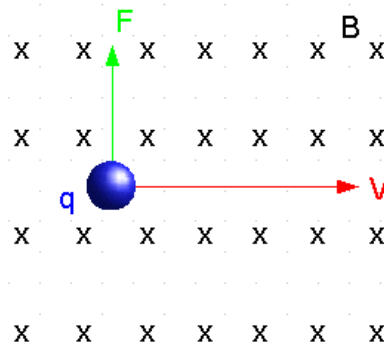
ตอบ

ตัวอย่าง ถ้าจึงประจุบวกเข้าไปในสนามแม่เหล็กในทิศที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก อัตราูป อจากทราบว่าแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อประจุบวกมีทิศทางใด ?



วิธีทำ จาก

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



ตัวอย่าง อิเล็กตรอนถูกยิงเข้าไปในสนามแม่เหล็ก โดยความเร็วและสนามแม่เหล็กมีค่าดังนี้

$\mathbf{v} = (4 \times 10^5)\mathbf{j} + (5 \times 10^5)\mathbf{k}$ เมตร/วินาที และ $\mathbf{B} = (3 \times 10^{-5})\mathbf{i}$ เทสลา จงหาแรงแม่เหล็ก

วิธีทำ จาก

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

$$\mathbf{F} = (1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(10^5 \text{ m/s}) \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ 0 & 4 & 5 \\ 3 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{F} = (1.6 \times 10^{-14})(15\mathbf{j} - 12\mathbf{k})$$

$$\mathbf{F} = 24 \times 10^{-14} \mathbf{j} - 19.2 \times 10^{-14} \mathbf{k}$$

ตอบ