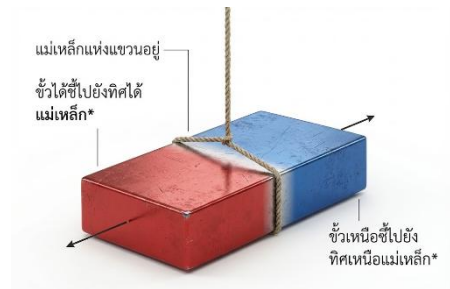


บทที่ 15 ไฟฟ้าและแม่เหล็ก

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแม่เหล็ก

แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก

กว่า 20 ปีมาแล้วที่ ชาวกรีกได้พบว่าแร่ชนิดหนึ่งสามารถดูดวัตถุที่เป็นเหล็กได้ เรียกสารนี้ว่า **แมกนีไทต์ (magnetite)** และเรียกวัตถุที่ดูดเหล็กว่า **แม่เหล็ก (magnet)** โดยทั่ว ๆ ไป แม่เหล็กจะหมายถึง แม่เหล็กธรรมชาติ ซึ่งมีส่วนผสมส่วนใหญ่คือ Fe_3O_4 ซึ่งมีสมบัติสามารถออกแรงดูดเหล็กและนิเกิลได้



วัสดุแม่เหล็ก

1. **เฟอร์โรแมกเนติก (ferromagnetic)** หมายถึง วัตถุที่มีความเป็นแม่เหล็ก แม้ว่าจะไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอกมากกระทำกับวัตถุนั้น อาทิเช่น เหล็ก โคบอล และนิเกิล
2. **พาราแมกเนติก (paramagnetic)** หมายถึง วัตถุที่มีความเป็นแม่เหล็กได้เล็กน้อยเมื่อมีสนามแม่เหล็กภายนอกกระทำ ความเป็นแม่เหล็กของสารพาราแมกเนติกจะลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเพราะความร้อนจะไปรบกวนการเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็ก อาทิเช่น อลูมิเนียม แคลเซียม และ แพลททินัม
3. **ไดอาแมกเนติก (diamagnetic)** หมายถึง วัตถุที่มีอำนาจแม่เหล็กน้อยมากแม้ว่าจะมีสนามแม่เหล็กสูงภายนอกกระทำ อาทิเช่น น้ำ

การจำแนกวัสดุแม่เหล็ก (Classification of Magnetic Materials)

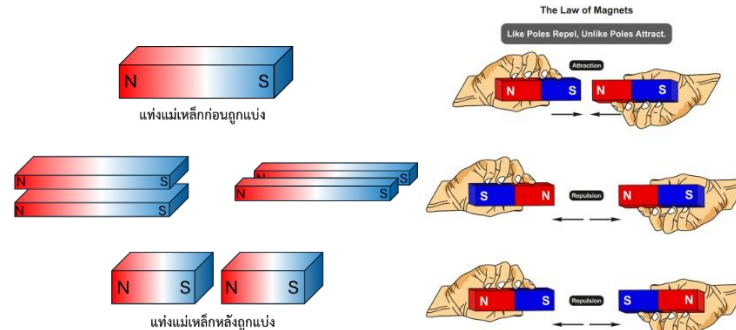
1. เฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic) เหล็ก (Fe), โคบอลต์ (Co), นิกเกิล (Ni)	2. พาราแมกเนติก (Paramagnetic) อะลูมิเนียม (Al), แพลทินัม (Pt)	3. ไดอาแมกเนติก (Diamagnetic) น้ำ (Water), ทองแดง (Cu)
ไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอก (No External B-Field)	ไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอก	ไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอก
มีสนามแม่เหล็กภายนอก (With External B-Field, B_{ext})	มีสนามแม่เหล็กภายนอก	มีสนามแม่เหล็กภายนอก
สภาพแม่เหล็กสูงมาก (Strong Magnetism)	สภาพแม่เหล็กอ่อน (Weak Magnetism) *สภาพแม่เหล็กลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Magnetism decreases with increasing temperature)	สภาพแม่เหล็กต้านอ่อนๆ (Weak Opposing Magnetism)

ลูกศรสีแดงเล็ก = โมเมนต์แม่เหล็กอะตอม (Atomic Magnetic Moment)

ลูกศรสีน้ำเงินใหญ่ = สนามแม่เหล็กภายนอก (External Magnetic Field)

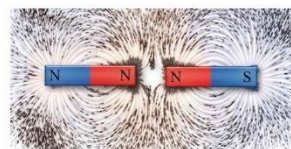
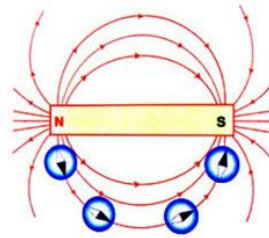
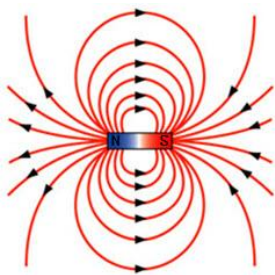
สมบัติของแท่งแม่เหล็ก

ต่อมาได้พบว่าแม่เหล็กนี้มี 2 ขั้ว ขั้วเหนือ และ ขั้วใต้ ถ้าเป็นขั้วแม่เหล็กเดียวกันก็จะผลักกัน และถ้าเป็นขั้วต่างกันก็จะดูดกัน คล้ายกับประจุไฟฟ้า แต่แม่เหล็กจะไม่สามารถอยู่ขั้วเดียวได้ เหมือนประจุไฟฟ้า ถ้าเราแบ่งแม่เหล็กออกไปเรื่อย ๆ จะพบว่ามีขั้วเหนือ-ใต้เสมอ

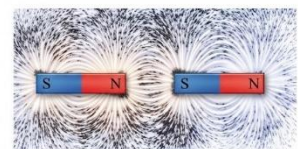


1. สนามแม่เหล็ก (magnetic field)

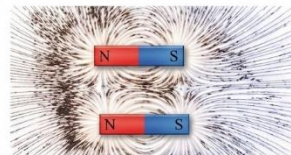
สนามแม่เหล็กจะมีทิศพุ่งออกจากขั้วเหนือ ไปขั้วใต้ ดังรูป



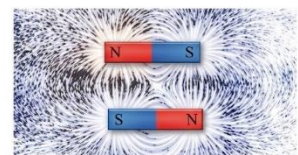
ก. หันขั้วชนิดเดียวกันเข้าหากัน



ข. หันขั้วต่างชนิดกันเข้าหากัน



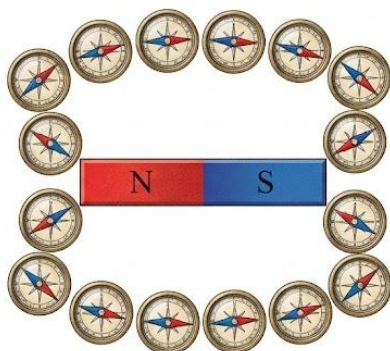
ค. หันขั้วชนิดเดียวกันไปทางเดียวกัน



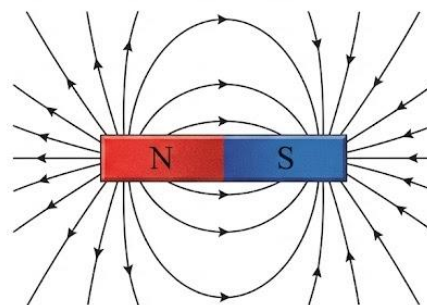
ง. หันขั้วต่างชนิดไปทางเดียวกัน

เส้นแรงแม่เหล็กและสนามแม่เหล็กจากแท่งแม่เหล็ก 2 แท่ง

เมื่อวางเข็มทิศในที่ตำแหน่งต่างๆ กันรอบแท่งแม่เหล็กจะพบว่าแนวการวางตัวของเข็มทิศอยู่ในแนวของเส้นสนามแม่เหล็กเช่นกัน โดยหัวขั้วเหนือของเข็มทิศไปที่ขั้วแม่เหล็กใต้

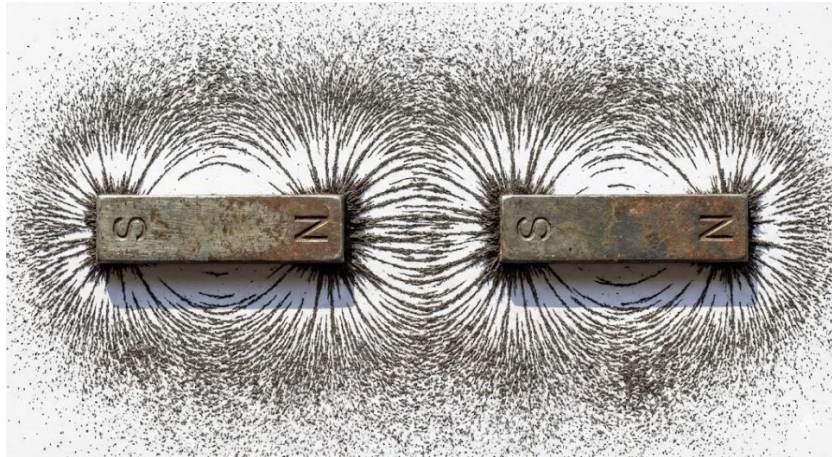


ก. การเรียงตัวของเข็มทิศตามแนวเส้นสนามแม่เหล็ก

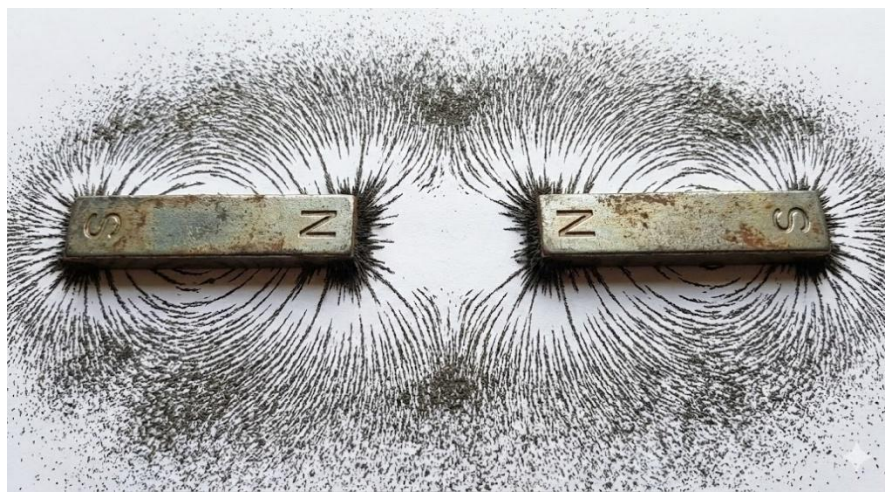


ข. เส้นสนามแม่เหล็กมีทิศทางออกจากขั้วเหนือ
เข้าสู่ขั้วใต้ของแท่งแม่เหล็ก

เส้นแรงแม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก

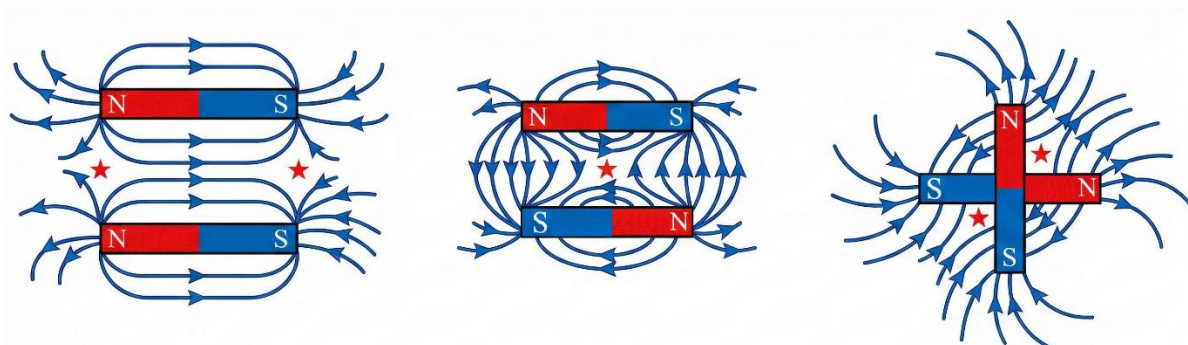


เส้นแรงแม่เหล็กและสนามแม่เหล็กจากแท่งแม่เหล็ก 2 แท่ง



เมื่อวางแท่งแม่เหล็กที่มีขั้วเหมือนกันไว้ใกล้กัน จะสังเกตได้ว่าจะมีบริเวณระหว่างขั้วแม่เหล็กนั้นที่เส้นสนามแม่เหล็กมีความหนาแน่นน้อยลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าบริเวณดังกล่าวมีความเข้มของสนามแม่เหล็กต่ำ และจุดที่ความเข้มของสนามแม่เหล็กมีค่าเป็นศูนย์เรียกว่า **จุดสะเทิน (neutral point)**

จุดสะเทิน คือ จุดที่อยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กมากกว่าหนึ่งสนามโดยมีความเข้มของสนามแม่เหล็กหักล้างกันจนเป็นศูนย์

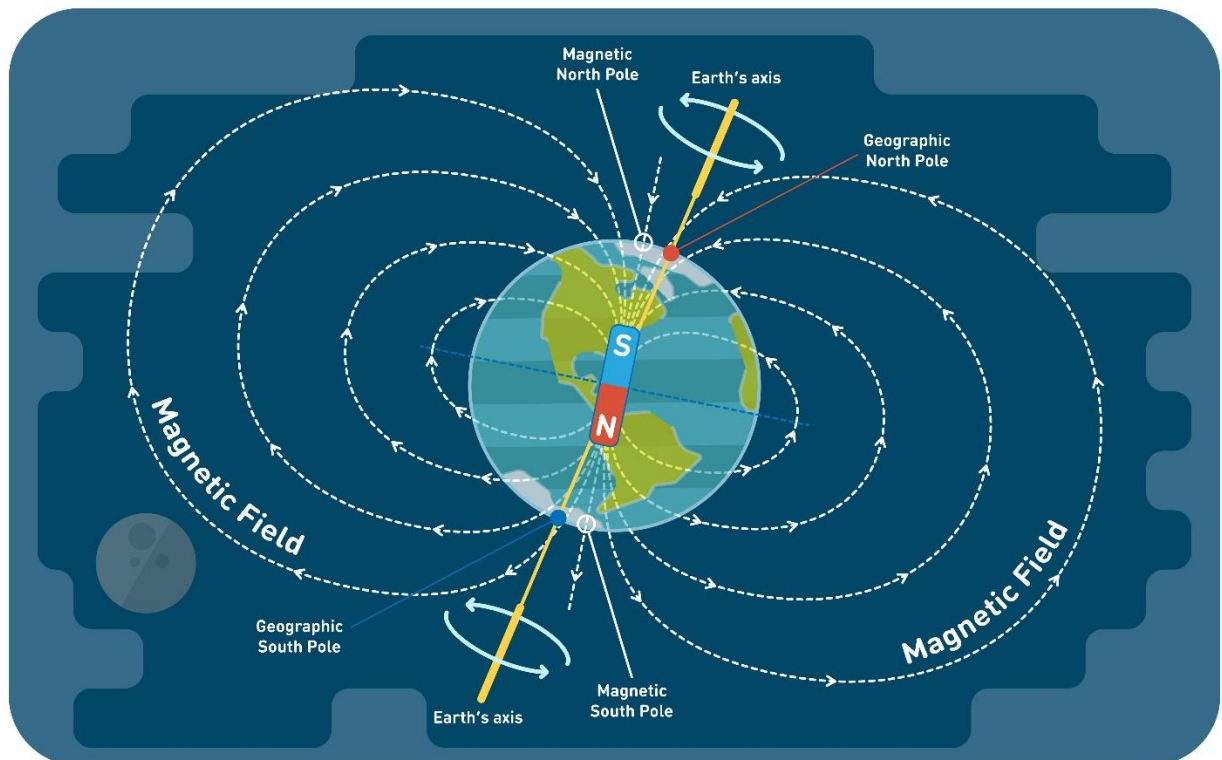


สนามแม่เหล็กโลก (Magnetosphere)

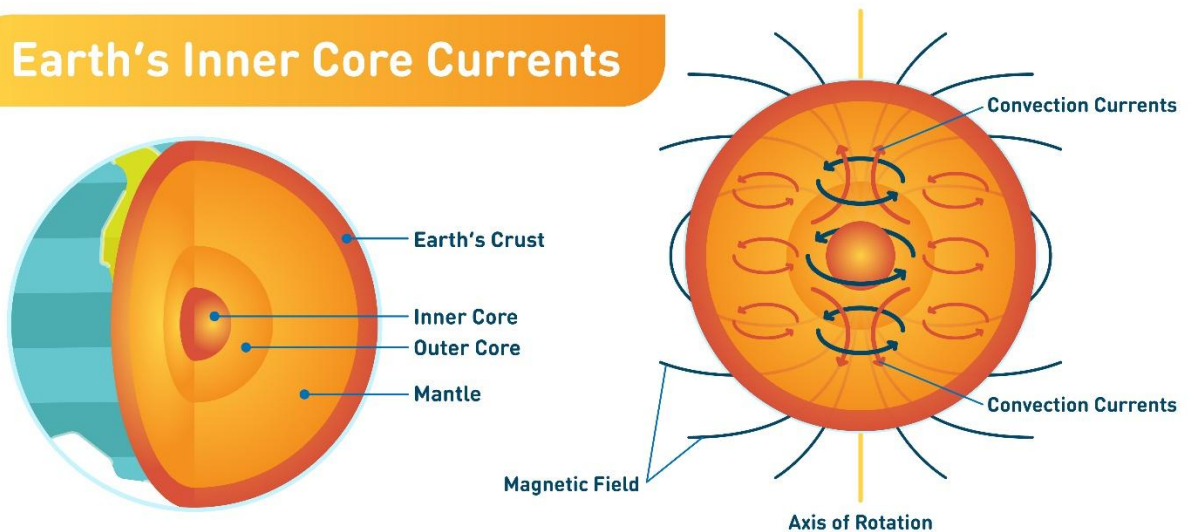
สนามแม่เหล็กโลกและแมกนีโตสเฟียร์ (The Geomagnetic Field and Magnetosphere)

1. กำเนิดของสนามแม่เหล็กโลก (The Origin: Geodynamo) สนามแม่เหล็กโลก (Geomagnetic field) ไม่ได้เกิดจากแท่งแม่เหล็กถาวรที่ฝังอยู่ใจกลางโลก แต่มีต้นกำเนิดมาจากการเคลื่อนที่ของวัสดุที่นำไฟฟ้าภายในโลกที่เรียกว่า "กระบวนการจีโอไดนาโม" (Geodynamo mechanism)

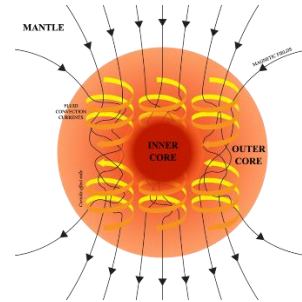
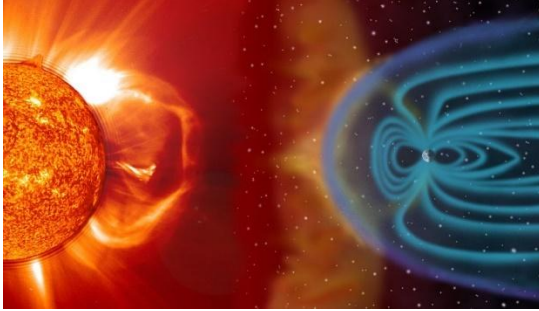
EARTH MAGNETIC FIELD



Earth's Inner Core Currents



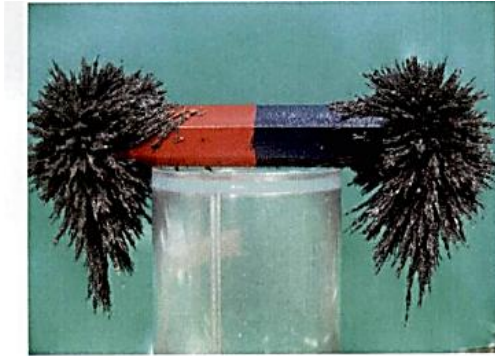
ลึกลงไปที่แกนโลกชั้นนอก (Outer Core) ซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวร้อนจัด ประกอบด้วยโลหะหนักอย่าง เหล็กและนิกเกิลหลอมเหลว ของเหลวโลหะที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้านี้มีการเคลื่อนที่ไหลเวียนตลอดเวลา (Convection currents) ซึ่งขับเคลื่อนโดยความร้อนจากแกนโลกชั้นในและการเย็นตัวลงที่ขอบชั้นเนื้อโลก ผสมกับแรงโคริโอลิส (Coriolis force) ที่เกิดจากการหมุนรอบตัวเองของโลก การเคลื่อนที่ของสารตัวนำไฟฟ้านี้ เหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขนาดใหญ่ และกระแสไฟฟ้านี้เองที่เป็นผู้สร้างสนามแม่เหล็กหลักของโลกขึ้น



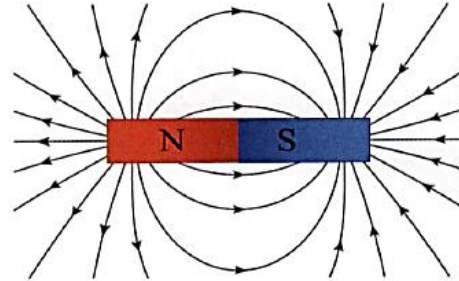
สนามแม่เหล็กโลกเกิดจากการกระบวนการณ์ไดนาโม (dynamo) ของโลก กล่าวคือโลหะหนักที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อยู่ในแกนโลกมีการหมุนวน ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่เอียงทำมุมประมาณ 11.5 องศาจากแกนหมุนของโลก ที่ผิวโลกมีความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกประมาณ 30,000 - 60,000 นาโนเทสลา และความเข้มจะค่อยๆ ลดลงเมื่ออยู่ห่างจากผิวโลกมากขึ้น

1.1 ฟลักซ์แม่เหล็ก (magnetic flux) ; (ϕ)

"ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux) หมายถึง ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมด ที่พุ่งผ่านพื้นที่ตั้งฉากที่กำหนด (หน่วยเป็น เวเบอร์) โดยบริเวณขั้วของแท่งแม่เหล็กจะมีเส้นแรงแม่เหล็กหนาแน่นมากกว่าบริเวณที่ห่างออกไป ทำให้มีค่าฟลักซ์แม่เหล็กสูง"

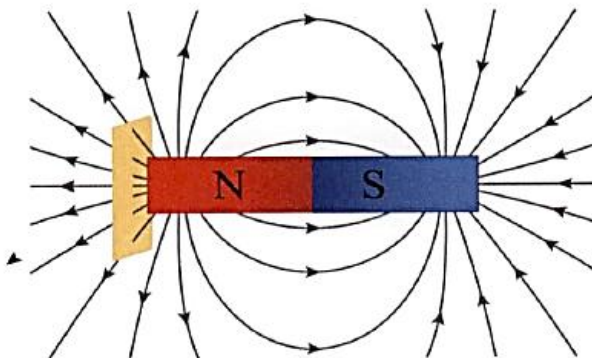


ก. ผงเหล็กบริเวณขั้วแม่เหล็กแบบ 3 มิติ

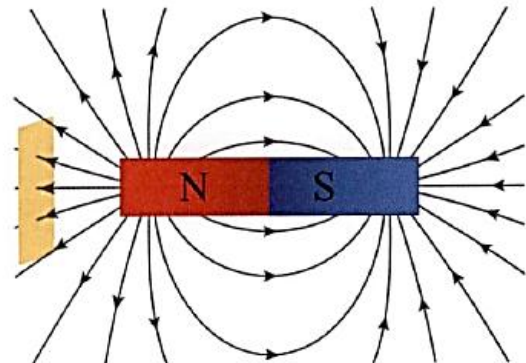


ข. เส้นสนามแม่เหล็กใน 2 มิติ

รูปสนามแม่เหล็กรอบแท่งแม่เหล็ก



ก. จำนวนเส้นสนามแม่เหล็กที่ผ่านหนึ่งหน่วยพื้นที่บริเวณใกล้ขั้วแม่เหล็ก



ข. จำนวนเส้นสนามแม่เหล็กที่ผ่านหนึ่งหน่วยพื้นที่บริเวณห่างออกไปจากขั้วแม่เหล็ก

รูปความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก

ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) ; (B)

อัตราส่วนระหว่างฟลักซ์แม่เหล็กต่อพื้นที่ที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก เรียกว่า **ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (magnetic fluxdensity) หรือ ขนาดของสนามแม่เหล็ก**

"ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) หรือขนาดสนามแม่เหล็ก หมายถึง **จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่** (หน่วยเป็น เทสลา) ซึ่งที่ขั้วของแท่งแม่เหล็กจะมีเส้นแรงแม่เหล็กชิดกันมาก (หนาแน่นสูง) แสดงว่ามีสนามแม่เหล็กเข้มข้นกว่าบริเวณอื่น"

$$B = \frac{\phi}{A} \quad \text{----- (1)}$$

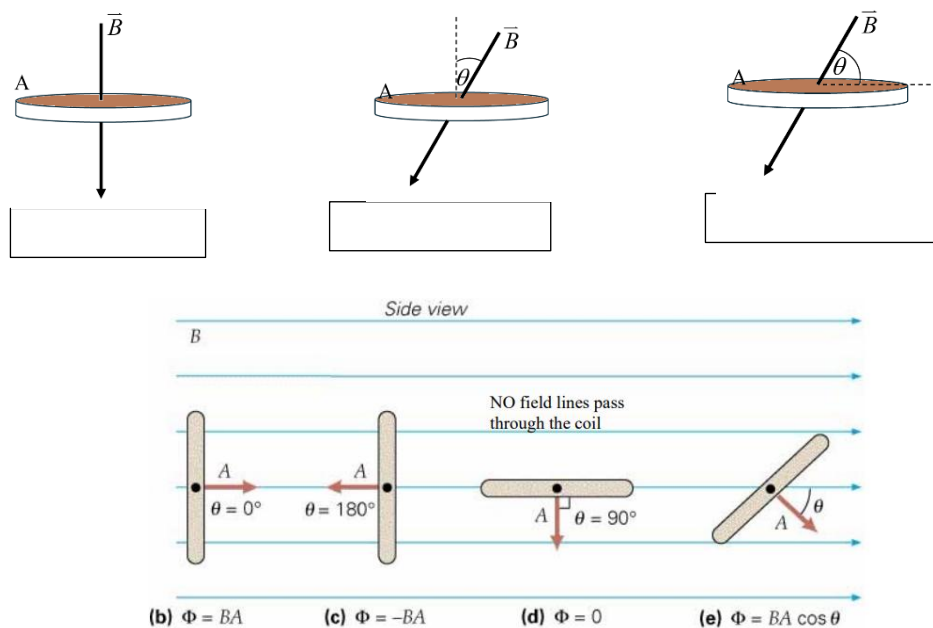
โดยที่ ϕ เป็นขนาดฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่ที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์ (weber หรือ Wb)

A เป็นพื้นที่ที่ตั้งฉากกับฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็นตารางเมตร

B เป็นความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กหรือขนาดของสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นเทสลา (tesla หรือ T)

หน่วยที่ใช้วัดสนามแม่เหล็กในระบบ SI คือ เทสลา (Tesla: T) นอกจากนี้แล้วยังมีหน่วย เกาส์ (Gauss: G) โดยที่ $1 \text{ Tesla} = 10,000 \text{ Gauss (G)}$

ในกรณีที่ฟลักซ์แม่เหล็กไม่ตั้งฉากกับพื้นที่สามารถแยกแวกเตอร์ของฟลักซ์แม่เหล็กได้ดังรูป



รูปแสดงแวกเตอร์ของฟลักซ์แม่เหล็กที่ทำมุมต่าง ๆ กับพื้นที่

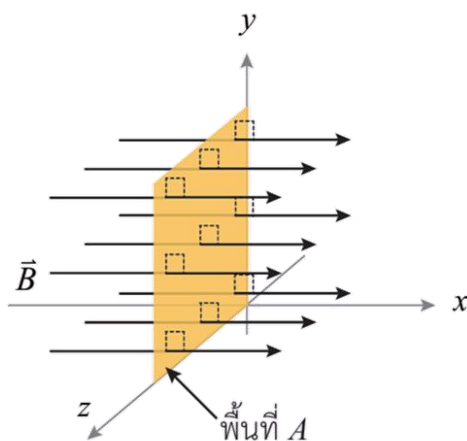
ตารางสนามแม่เหล็กจากแหล่งต่าง ๆ

แหล่ง	ขนาดสนามแม่เหล็ก (T)
แม่เหล็กโลก	$2 \times 10^{-5} - 6 \times 10^{-5}$
แม่เหล็กติดตู้เย็น	$5 \times 10^{-3} - 10 \times 10^{-3}$
แม่เหล็กนีโอไดเมียม	1.0 - 1.4
แม่เหล็กเครื่องเอ็มอาร์ไอ	0.5 - 3.0
แม่เหล็กตัวนำยิ่งยวด	2 - 32

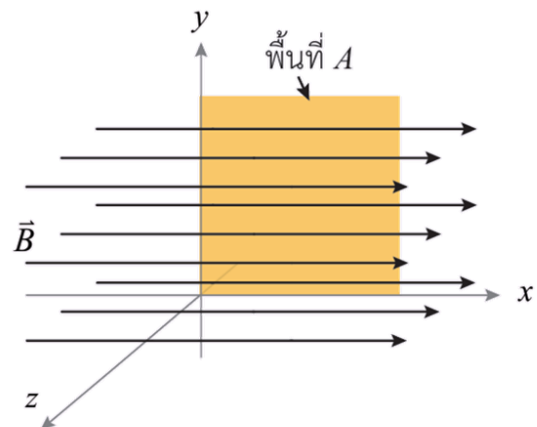
ตัวอย่าง

1. จงหาฟลักซ์แม่เหล็กในแต่ละข้อต่อไปนี้ โดยพื้นที่ A มีค่าเท่ากับ 0.8 ตารางเมตร และมีสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอตลอดพื้นที่เท่ากับ 0.5 เทสลา ในแนวแกน x

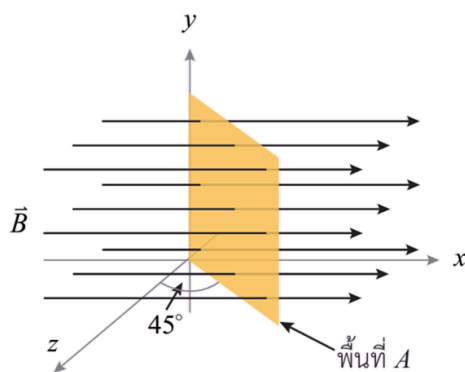
1.1 พื้นที่ A อยู่ในระนาบ yz



1.2 พื้นที่ A อยู่ในระนาบ xy



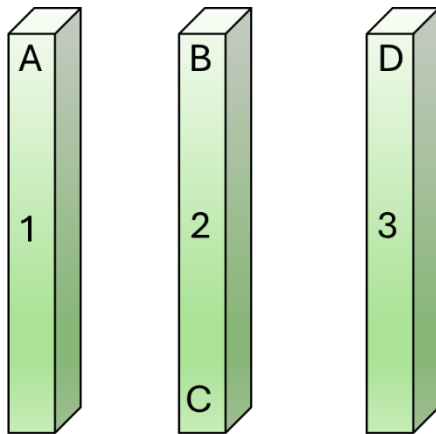
1.3 พื้นที่ A ระนาบทำมุม 45 องศา กับแกน z



2. ฟลักซ์แม่เหล็ก $2\pi \times 10^{-3}$ เวเบอร์ ผ่านตั้งฉากกับระนาบของขดลวดวงกลมรัศมี 10 เซนติเมตร จงหาความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก และถ้าหมุนขดลวดไป 60 องศา ฟลักซ์แม่เหล็กจะเปลี่ยนไปอย่างไร

แบบฝึกหัดที่ 1.1

1. แท่งโลหะสามแท่งดังรูป



เมื่อนำปลายเข้าใกล้กัน ผลคือปลาย A กับ B ดึงดูดกัน ปลาย A กับ C ดึงดูดกัน แต่ปลาย C กับ D ผลักกัน จากข้อมูลนี้ แท่งโลหะใดบ้างเป็นแท่งแม่เหล็ก ([เฉลย](#))

- | | |
|-----------------------|--------------------|
| 1. แท่งที่ 1 เท่านั้น | 2. แท่ง 2 เท่านั้น |
| 3. แท่ง 1, 2 | 4. แท่ง 2, 3 |

2. “ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กหรือฟลักซ์แม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กนั้นพุ่งผ่านอย่างตั้งฉาก”ข้อความนี้สอดคล้องกับข้อใด ([เฉลย](#))

- | | |
|------------------------------|------------------------|
| 1. ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก | 2. ความหนาแน่นแม่เหล็ก |
| 3. ความแรงของแม่เหล็ก | 4. เส้นแรงแม่เหล็ก |

3. จากการทดลองโดยใช้ผงตะไบเหล็กหาเส้นแรงแม่เหล็ก เราจะทราบอะไร ([เฉลย](#))

- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| 1. ค่าขนาดของสนามแม่เหล็ก | 2. ทิศทางของสนามแม่เหล็ก |
| 3. ตำแหน่งของจุดสะเทิน | 4. ถูกต้องทุกข้อ |

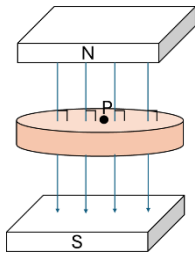
4. บริเวณบนพื้นโลกที่มีค่าสนามแม่เหล็กโลกตามแนวตั้งสูงที่สุดคือบริเวณใด ([เฉลย](#))

- | | |
|-------------------|-----------------------|
| 1. ประเทศไทย | 2. ตอนเหนือของรัสเซีย |
| 3. ประเทศสิงคโปร์ | 4. ประเทศอังกฤษ |

5. บริเวณบนพื้นโลกที่มีค่าสนามแม่เหล็กโลกตามแนวราบสูงที่สุดคือบริเวณใด ([เฉลย](#))

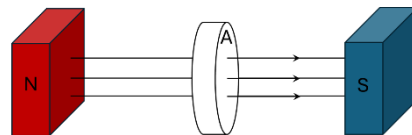
- | | |
|------------------|------------------|
| 1. ขั้วโลกเหนือ | 2. ขั้วโลกใต้ |
| 3. เส้นศูนย์สูตร | 4. ถูกต้องทุกข้อ |

6. จากรูป ถ้าฟลักซ์แม่เหล็ก (ϕ) มีค่า 10^{-2} เวเบอร์ และ A เป็นพื้นที่มีขนาด 10^{-1} ตารางเมตร แม่เหล็กบริเวณ P จะเป็นเท่าไร (เฉลย)



1. 0.4 T
2. 0.3 T
3. 0.2 T
4. 0.1 T

7. จากรูป กำหนดพื้นที่ A เท่ากับ 10^{-2} ตารางเมตร มีฟลักซ์แม่เหล็กเนื่องจากแท่งแม่เหล็กถาวรพุ่งผ่านอย่างตั้งฉาก 10^{-4} เวเบอร์ ต่อมาสนามแม่เหล็กถูกบิดไปจากแนวเดิม 60° สนามแม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่ A จะเป็นเท่าไร (เฉลย)



1. 1 gauss
2. 5 gauss
3. 10 gauss
4. 50 gauss

8. ถ้าผูกแท่งแม่เหล็กยาวที่จุดศูนย์ถ่วงด้วยเชือกเบาไม่มีแรงบิดในตัว แล้วนำไปห้อยอยู่นิ่งๆเหนือผิวโลก แท่งแม่เหล็กจะวางตัวอย่างไร (เฉลย)

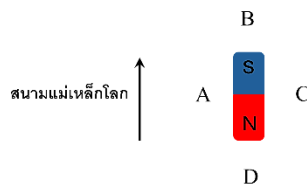
1. วางตัวตามแนวทิศเหนือ-ใต้ของโลก
2. วางตัวตามทิศตะวันออก-ตะวันตกของโลก
3. วางตัวตามทิศของสนามแม่เหล็กโลก
4. วางตัวตามอิสระ

9. ถ้านำเข็มทิศวางในสนามแม่เหล็กตรงจุดสะเทิน สิ่งที่เกิดขึ้นคือข้อใด (เฉลย)

1. เข็มทิศวางตัวในแนวเส้นแรงแม่เหล็ก
2. เข็มทิศวางตัวอิสระ
3. เข็มทิศส่ายไปส่ายมา
4. คำตอบเป็นอย่างอื่น

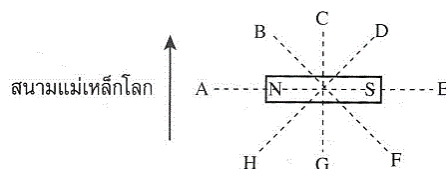
10. จากรูป วางแท่งแม่เหล็ก NS ไว้ในสนามแม่เหล็กโลก จุดใดบ้างที่สนามแม่เหล็กเป็นศูนย์ (เฉลย)

1. A, C
2. B, D
3. A, B
4. D, C



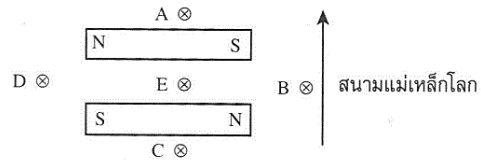
11. จากรูป วางแท่งแม่เหล็ก NS ไว้ในสนามแม่เหล็กโลก จุดใดบ้างที่สนามแม่เหล็กเป็นศูนย์ (เฉลย)

1. A, E
2. B, F
3. C, G
4. D, H

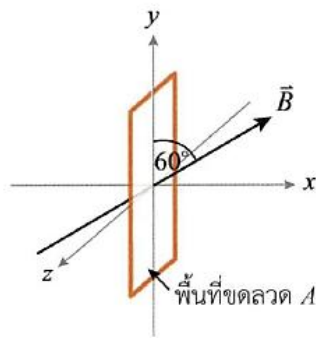


12. แม่เหล็กสองแท่งวางขนานกัน ขั้วตรงข้ามกันในสนามแม่เหล็กโลก ดังรูป ณ จุดใดบ้างที่สนามแม่เหล็กอาจเป็นศูนย์ได้ (เฉลย)

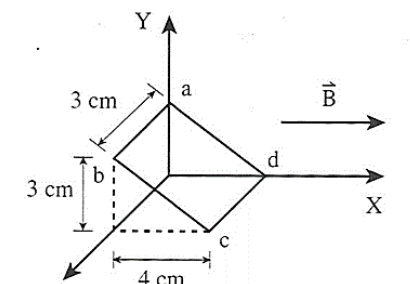
1. E
2. E, D และ B
3. D และ B
4. A และ C



13. ถ้ามีสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอขนาด 0.20 เทสลา ผ่านขดลวดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีด้านยาว 20 เซนติเมตรและด้านกว้าง 10 เซนติเมตร ในทิศทางทำมุม 60 องศา กับระนาบของขดลวด จงหาฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวด (เฉลย)



1. 2.12×10^{-3} Wb
 2. 2.54×10^{-3} Wb
 3. 3.46×10^{-3} Wb
 4. 5.22×10^{-3} Wb
14. จงหาฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดสี่เหลี่ยมผืนผ้า abcd ถ้ามีสนามแม่เหล็ก B ขนาดสม่ำเสมอ 2 เทสลา ในทิศที่ขนานแกน X ดังรูป (เฉลย)



1.2 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำ

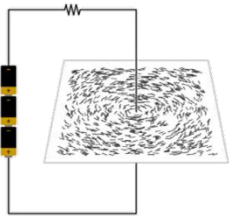
กฎของแอมแปร์

กฎของแอมแปร์กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำ I และสนามแม่เหล็ก B ที่เกิดจากกระแสไฟฟ้า I โดยเขียนในรูปสมการดังนี้

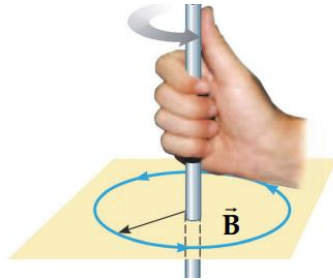
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I_{in}$$

1. สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าผ่านในลวดตรงยาว

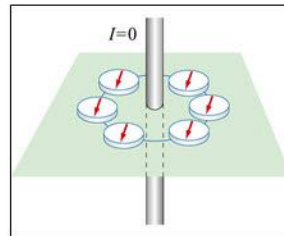
เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในลวดตัวนำตรงยาวจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบๆ ตัวนำนั้น การหาทิศของสนามแม่เหล็กรอบลวดตรง หาได้โดยกฎมือขวา ซึ่งทำได้ดังรูป



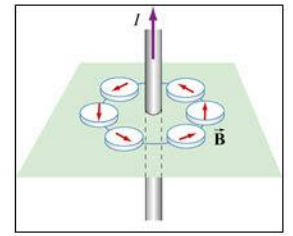
การเกิดสนามแม่เหล็กรอบลวดตัวนำ



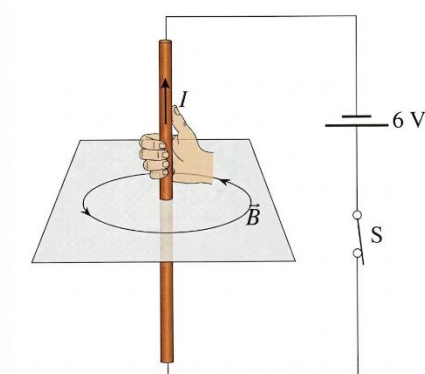
การหาทิศทางของสนามแม่เหล็กจากลวดตัวนำ



ทิศทางของสนามแม่เหล็กเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน



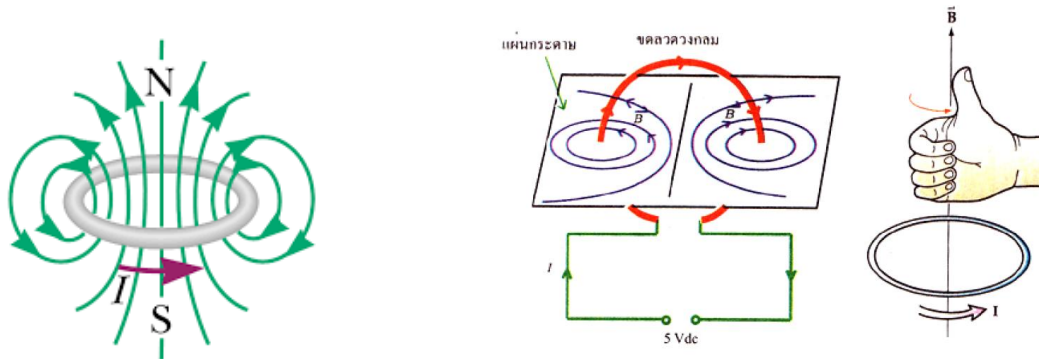
ทิศทางของสนามแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน



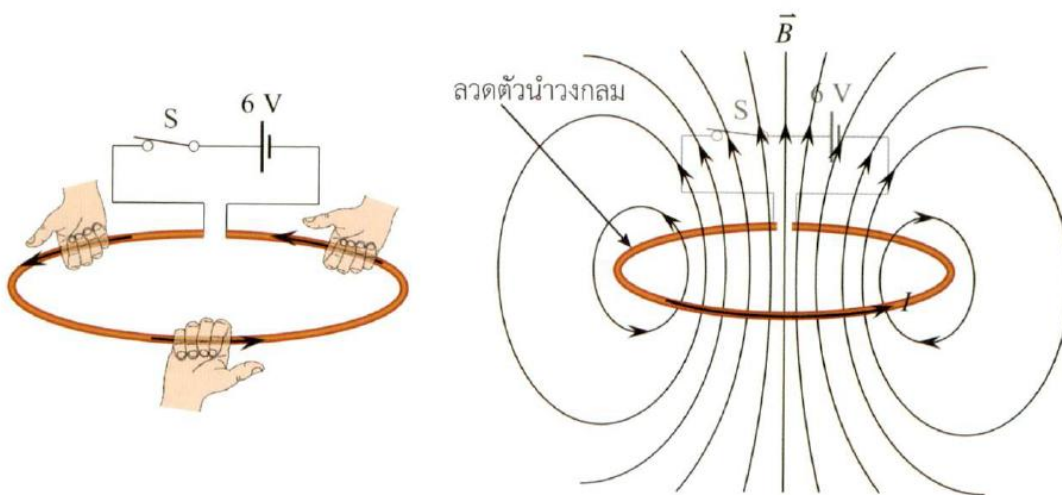
รูป 15.12 การหาทิศทางสนามแม่เหล็กรอบเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านโดยใช้มือขวา

2. สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดวงกลม

เมื่อนำเส้นลวดมาขดเป็นวงกลม แล้วผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดนั้น จะเกิดสนามแม่เหล็กดังรูป



จากการตรวจสอบทิศของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดกับทิศทางของกระแสไฟฟ้าพบว่าเป็นไปตามกฎมือขวา โดยทิศทางของกระแสไฟฟ้าตามแนวโค้งของขดลวดแทนด้วยนิ้วทั้งสี่ ทิศของหัวแม่มือแทนทิศของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิด

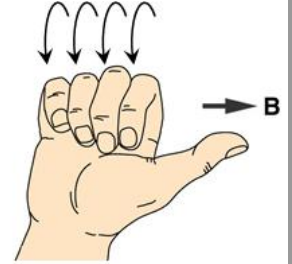
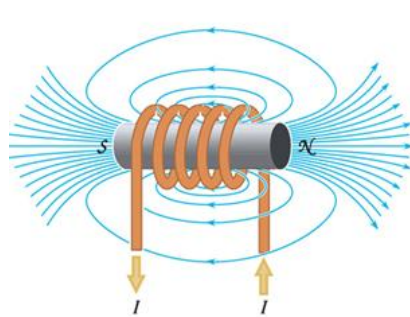
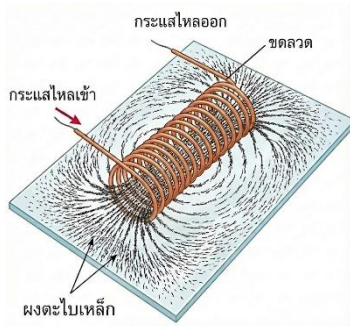


ก. การหาทิศทางสนามแม่เหล็กภายในลวด
ตัวนำวงกลมโดยใช้มือขวา

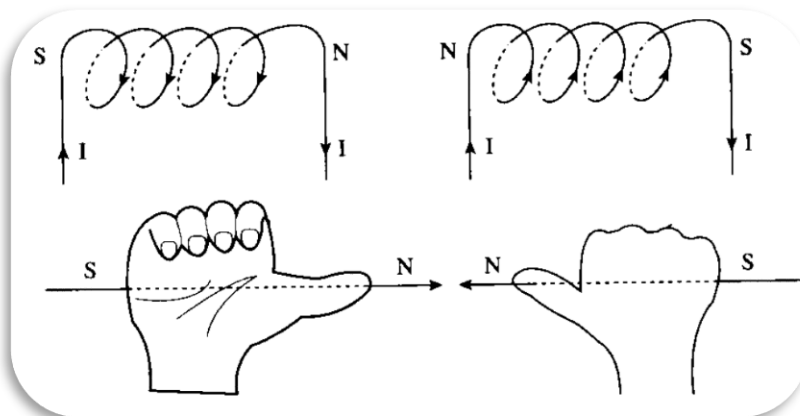
ข. ทิศทางสนามแม่เหล็กภายในลวดตัวนำวงกลม

3. สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดโซเลนอยด์

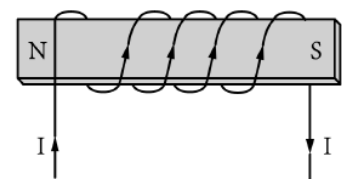
โซเลนอยด์คือ ขดลวดที่ขดเป็นรูปร่างคล้ายสปริง เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดโซเลนอยด์จะเกิดสนามแม่เหล็กรอบ ๆ ขดลวดโซเลนอยด์ ดังรูป



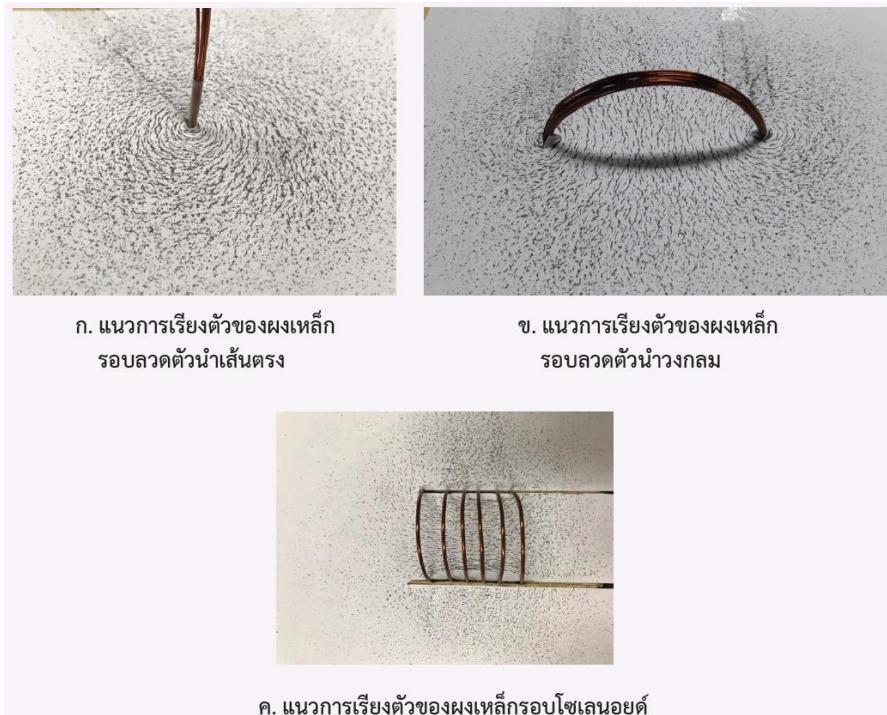
การหาทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าผ่านลวดโซเลนอยด์ให้ใช้กฎมือขวาดังรูป



ถ้านำแท่งเหล็กอ่อน (soft iron) สอดไว้ภายในโซเลนอยด์ เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าในโซลินอยด์ แท่งเหล็กอ่อนจะกลายเป็นแม่เหล็กทันที ซึ่งเป็นแม่เหล็กชั่วคราว แม่เหล็กที่เกิดจากแม่เหล็กชนิดนี้เรียกว่า แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnet)



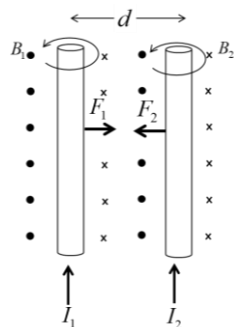
แม่เหล็ก 2 ขั้ว



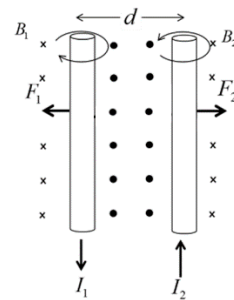
รูปแสดงการเรียงตัวของผงแม่เหล็กรอบลวดตัวนำแบบต่าง ๆ

แรงระหว่างลวดตัวนำสองเส้นที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านและขนานกัน

เมื่อนำเส้นลวดตรง 2 เส้น มาวางขนานกันแล้วผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในลวดทั้งสองจะเกิดแรงกระทำต่อเส้นลวดทั้งสองเนื่องจากสนามแม่เหล็กดังรูป



ถ้ากระแส I ทิศเดียวกันเกิดแรงดูดกัน



กระแส I สวนกันเกิดแรงผลักกัน

การหาขนาดของแรงระหว่างลวดคู่ขนานที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน

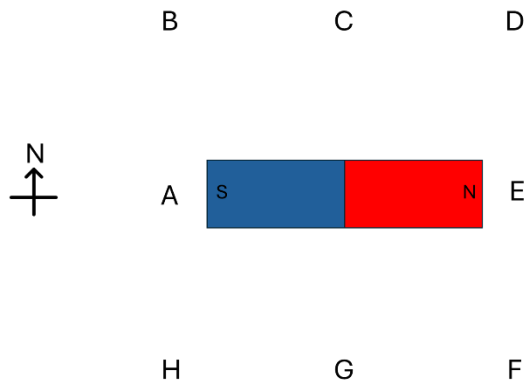
ลวดสองเส้นวางขนานกันห่างกันเป็นระยะ d มีกระแสไฟฟ้าผ่าน I_1, I_2 ตามลำดับลวดมีความยาว ℓ

ได้ว่า

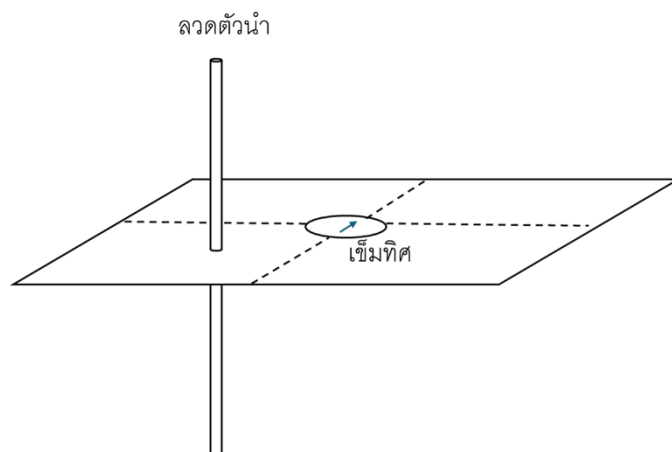
$$F = 2 \times 10^{-7} \frac{I_1 I_2 \ell}{d}$$

ตัวอย่าง

1. เมื่อวางแท่งแม่เหล็กแท่งหนึ่งไว้ที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรโลกในลักษณะทิศทางการวางตัวดังรูปบริเวณใดบ้างที่อาจมีจุดสะเทิน

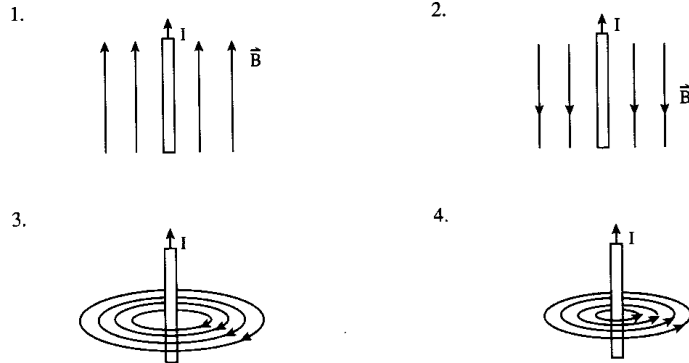


2. วางลวดตัวนำเส้นตรงที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าผ่านให้อยู่ในแนวตั้งและใกล้เข็มทิศ ดังรูป ต่อมาให้กระแสไฟฟ้าขนาดมากพอผ่านลวดตัวนำนี้ในทิศทางจากบนลงล่าง เข็มทิศจะชี้ไปทิศทางใด



แบบฝึกหัดที่ 1.2

1. รูปข้อใดที่แสดงทิศทางและลักษณะของสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ ที่เกิดรอบตัวนำมีกระแสไฟฟ้าคงตัว I ได้ถูกต้อง (เฉลย)



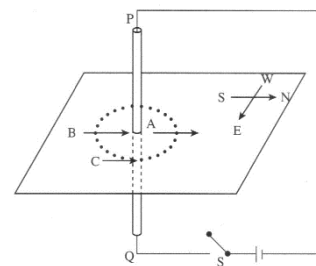
2. ขนาดของสนามแม่เหล็กที่เกิดรอบตัวนำแท่งตรงมีกระแสไฟฟ้าไม่ขึ้นกับปริมาณใดในข้อต่อไปนี้ (เฉลย)

1. กระแสไฟฟ้า
2. ระยะห่างจากแท่งตัวนำ
3. สิ่งแวดล้อม
4. คำตอบเป็นอย่างอื่น

3. A, B และ C เป็นเข็มทิศเบาวางอยู่บนกระดาษราบ เส้นลวดตัวนำ PQ ตั้งฉากกับกระดาษ และต่อกับสวิตช์ S อนุกรมกับเซลล์ไฟฟ้า ดังรูป เมื่อสับสวิตช์ S ลง คำกล่าวต่อไปนี้ข้อใดถูกต้อง (เฉลย)

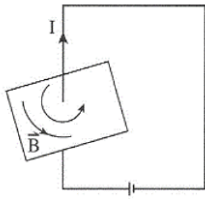
- ก. ปลายเหนือของ A จะเบนไปทางตะวันตก
- ข. ปลายเหนือของ B จะเบนไปทางตะวันออก
- ค. ปลายเหนือของ C ยังคงชี้ไปยังทิศเหนือดังเดิม

1. ก และ ข
2. ก และ ค
3. ข และ ค
4. ข้อ ก ข และ ค

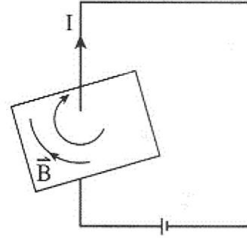


4. จงพิจารณาการทดลองตามรูปการทดลองที่ถูกต้องคือข้อใด (เฉลย)

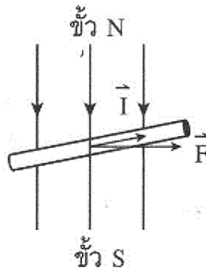
1.



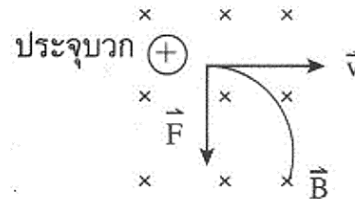
2.



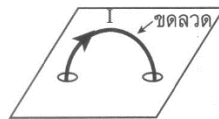
3.



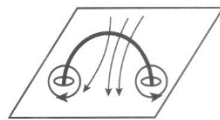
4.



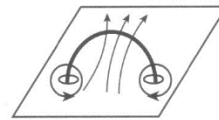
5. จากรูป ขดลวดครึ่งวงกลมมีกระแสไฟฟ้า I ไหล สนามแม่เหล็กในระนาบตั้งฉากกับครึ่งวงกลมในข้อใดที่ถูกต้อง (เฉลย)



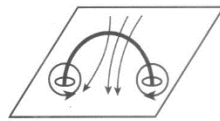
1.



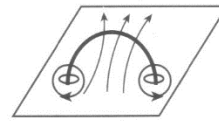
2.



3.

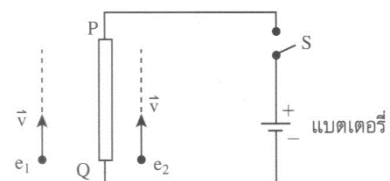


4.



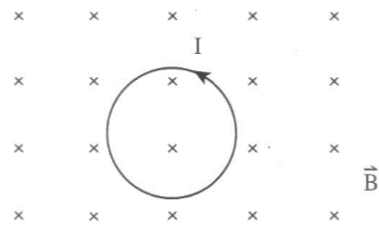
6. จากรูป e_1 และ e_2 เป็นอิเล็กตรอนซึ่งกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v ในแนวขนานกับลวดตัวนำ PQ เมื่อสับสวิตช์ S อิเล็กตรอนทั้งสองจะเคลื่อนที่อย่างไร (เฉลย)

1. e_1 และ e_2 เคลื่อนที่เข้าหาลวด PQ
2. e_1 และ e_2 เคลื่อนที่ออกจากลวด PQ
3. e_1 เคลื่อนเข้าหาลวด PQ และ e_2 เคลื่อนออกจากลวด PQ
4. e_1 เคลื่อนออกจากลวด PQ และ e_2 เคลื่อนเข้าหาลวด PQ



7. จากรูป ลวดวงกลมตัวนำยัดหยุ่นมีกระแสไฟฟ้า I วางในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ เมื่อนำลวดนี้ออกไปพ้นจากบริเวณสนามแม่เหล็ก วงลวดจะเป็นอย่างไร (เฉลย)

1. ขนาดและรูปร่างเหมือนเดิม
2. ขนาดเล็กลง
3. ขนาดโตขึ้น
4. รูปร่างบิดเบี้ยว

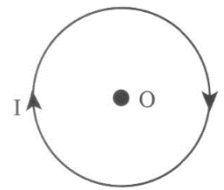


8. ลวดตัวนำเส้นตรง 2 เส้นวางขนานกัน แต่ละเส้นมีกระแสไฟฟ้า 0.5 แอมแปร์เท่ากันไหลในทิศทางเดียวกัน สนามแม่เหล็กบริเวณกึ่งกลางระหว่างลวดตัวนำทั้งสองมีค่าเท่าไร (เฉลย)

1. ศูนย์
2. สนามแม่เหล็กจากลวดเส้นที่ 1
3. สนามแม่เหล็กจากลวดเส้นที่ 2
4. คำตอบเป็นอย่างอื่น

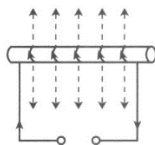
9. พิจารณาลวดวงกลมที่มีกระแสไฟฟ้า I ผ่านดังแสดงในรูป สนามแม่เหล็กลัพธ์ที่จุดศูนย์กลาง O ของวงกลมควรจะมีทิศทางอย่างไร (ไม่ต้องคิดสนามแม่เหล็กโลก) (เฉลย)

1. ทิศพุ่งขึ้นตั้งฉากกับกระดาษ
2. ทิศพุ่งลงตั้งฉากกับกระดาษ
3. ทิศอยู่ในระนาบของกระดาษ
4. ไม่มีทิศเพราะสนามแม่เหล็กเป็นศูนย์

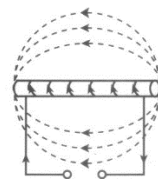


10. รูปในข้อใดต่อไปนี้ที่แสดงลักษณะสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดโซเลนอยด์ได้ดีที่สุด (เฉลย)

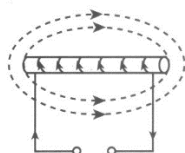
1.



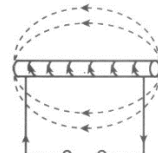
2.



3.



4.



11. แกนที่สอดใส่เข้าไปในขดลวดโซเลนอยด์ชนิดใดที่ทำให้เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดโซเลนอยด์ “แล้วได้สนามแม่เหล็กในแกนของขดลวดมากที่สุด (เฉลย)

- | | |
|----------------|----------|
| 1. เหล็ก | 2. ไม้ |
| 3. อะลูมิเนียม | 4. อากาศ |

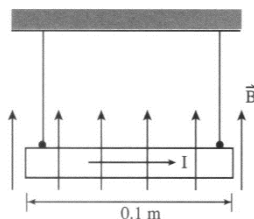
12. เส้นลวด 2 เส้น มีกระแสไฟฟ้า I_1 และ I_2 ไหลสวนกัน จะเกิดปรากฏการณ์ดังข้อใด (เฉลย)

1. แรงดูดระหว่างลวด
2. แรงผลักระหว่างลวด
3. ไม่มีแรงใดๆ ระหว่างลวดทั้งสอง
4. อาจเกิดทั้งแรงดูดและแรงผลัก ทั้งนี้ขึ้นกับขนาดของกระแสไฟฟ้า

13. จากรูป ลวดตัวนำ PQ มีมวล 0.1 กิโลกรัม แขนงด้วยเชือกเบา 2 เส้น ให้วางตัวในแนวระดับ ถ้ามีกระแสไฟฟ้า 10 แอมแปร์ ไหลผ่าน PQ และวางระบบนี้ในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ 1 เทสลา จงหา แรงดึงในเส้นเชือก

(เฉลย)

1. 0 N
2. 1 N
3. $\sqrt{2}$ N
4. $\frac{\sqrt{2}}{2}$ N

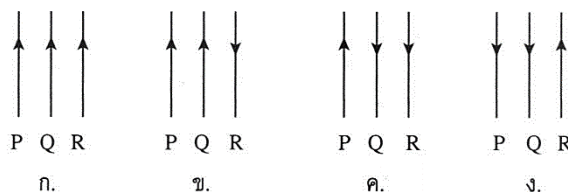


14. ถ้ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดโซเลนอยด์เพิ่มเป็น 2 เท่า และจำนวนรอบลดลงเป็น $1/2$ เท่าของเดิม สนามแม่เหล็กของโซเลนอยด์ควรจะเป็นอย่างไร (เฉลย)

1. ลดลง
2. เพิ่มขึ้น
3. คงเดิม
4. เพิ่มขึ้น 2 เท่า

15. P, Q และ R เป็นลวดตัวนำยาววางขนานกัน และมีกระแสไฟฟ้าไหลเท่ากันแต่มีทิศทางตามทิศของลูกศร ดังรูป อยากทราบว่าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อลวด Q ในรูปใดบ้างที่มีค่าเท่ากัน (เฉลย)

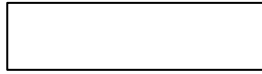
1. ก และ ข
2. ก และ ค
3. ข และ ง
4. ข และ ค



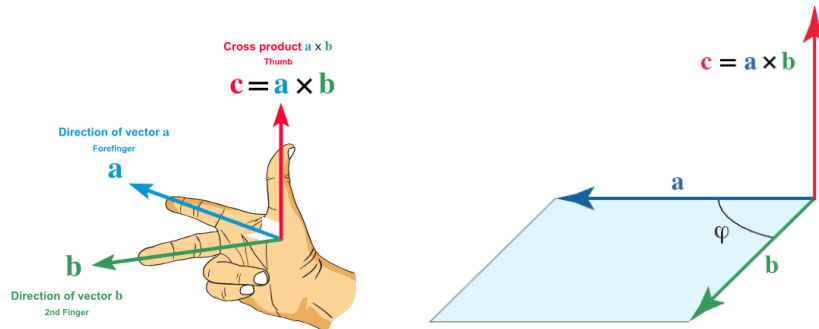
การคูณเวกเตอร์แบบ Vector product หรือ Cross product

$$\vec{a} \times \vec{b} = \vec{c}$$

ได้ว่า ขนาดของเวกเตอร์ลัพธ์



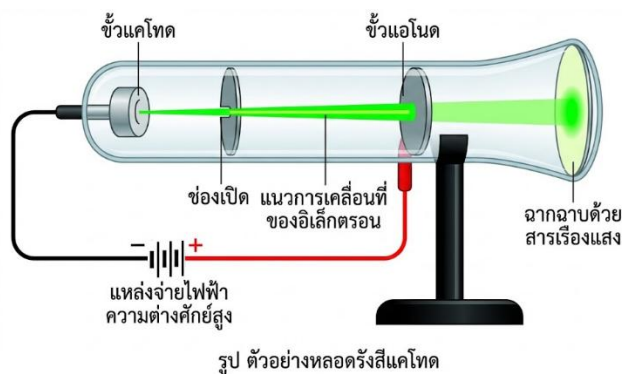
ทิศทาง $\vec{c}$ จะต้องตั้งฉากกับระนาบ AB หรือ $\vec{c} \perp \vec{a}$ หรือ $\vec{c} \perp \vec{b}$



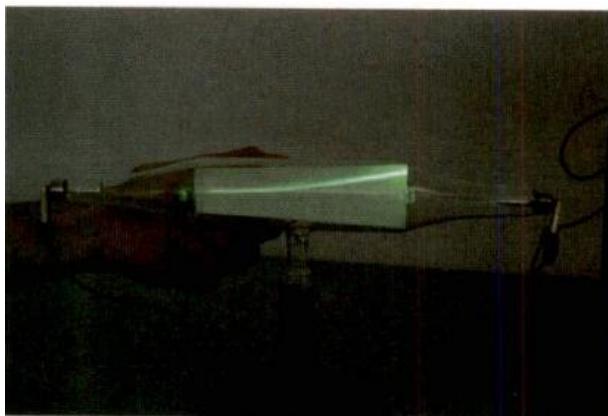
การหาทิศทางของเวกเตอร์ลัพธ์โดยใช้กฎมือขวาดังรูป

2. แรงแม่เหล็ก

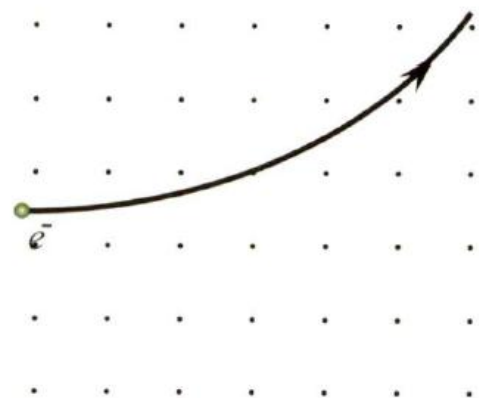
2.1 แรงแกระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า ซึ่งเคลื่อนที่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก



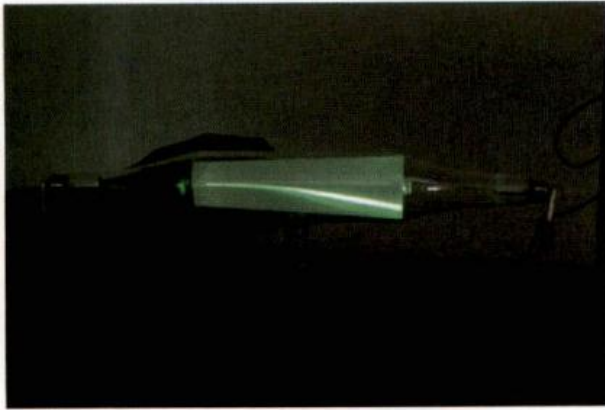
เมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโวลต์สูงเข้ากับขั้วแคโทดและแอโนดทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากแผ่นแคโทด เคลื่อนที่ผ่านฉากที่ฉาบด้วยสารเรืองแสง ไปยังแผ่นแอโนด ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าแผ่นแคโทด ทำให้ปรากฏเป็นแนวสว่างขึ้น เรียกว่าแนวการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน



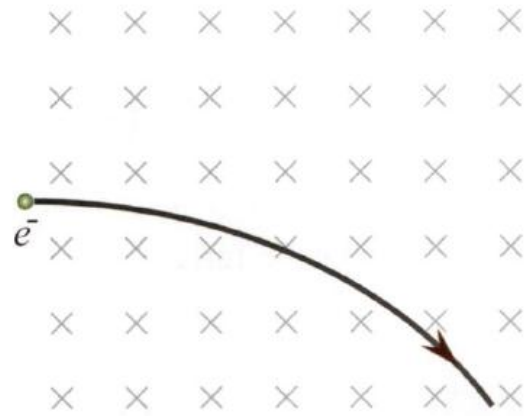
ก. การเบนของแนวการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเมื่อนำขั้วเหนือของแท่งแม่เหล็กเข้าใกล้



ข. อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เบนโค้งขึ้นเมื่อสนามแม่เหล็กมีทิศทางออกจากฉาก



ก. การเบนของแนวการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน
เมื่อนำขั้วได้ของแท่งแม่เหล็กเข้าใกล้



ข. อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เบนโค้งลง
เมื่อสนามแม่เหล็กมีทิศทางเข้าสู่ฉาก

ให้อนุภาคมวล m มีประจุ q เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว $\vec{v}$ เข้าไปในสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ ปรากฏว่าเกิดแรง $\vec{F}$ กระทำต่อประจุเนื่องจากสนามแม่เหล็ก ซึ่งอาจหาความสัมพันธ์ได้จาก

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

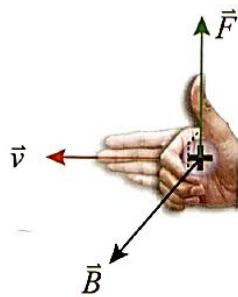
ได้ว่าขนาดของแรงที่กระทำต่อประจุมีค่า $F = qvB \sin \theta$ ----- (2)

เมื่อ F คือ แรงที่กระทำต่อประจุที่เคลื่อนที่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก
หรือแรงลอเรนตซ์ (Lorentz Force)

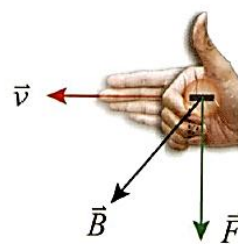
v คือ อัตราเร็วของอนุภาค (เมตร/วินาที)

q คือ ประจุไฟฟ้า (หน่วย คูลอมบ์)

B คือ สนามแม่เหล็ก (หน่วย เทสลา)



ข. ทิศทางของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคที่มี
ประจุไฟฟ้าบวก โดยใช้มือขวา

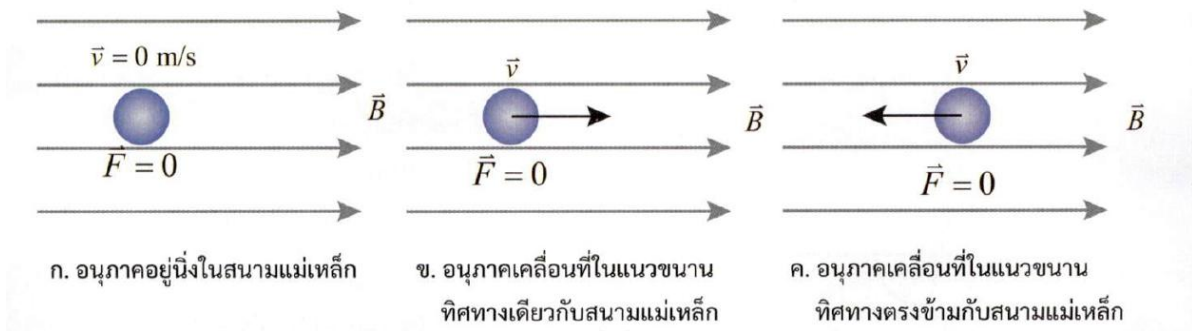


ค. ทิศทางของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคที่มี
ประจุไฟฟ้าลบ โดยใช้มือขวา

การหาทิศทางของแรงกระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก

เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กอาจแบ่งแนวการเคลื่อนที่เป็น 3 ลักษณะ คือ

1. เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าอยู่นิ่ง หรือเคลื่อนที่ในแนวขนานกับสนามแม่เหล็ก

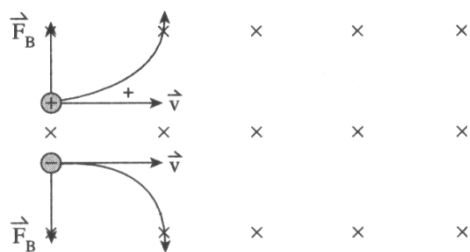


$$F = q(0)B \sin \theta = qvB \sin 0^\circ = qvB \sin 180^\circ = 0$$

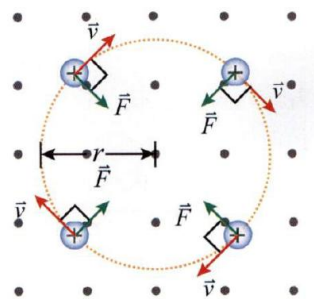
ดังนั้นจะไม่เกิดแรงกระทำต่ออนุภาคนี้ ทางเดินของอนุภาคจะหยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร็วคงที่

2. เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ($\theta = 90^\circ$)

เมื่อ $\vec{F}_B \perp \vec{v}$ ตลอดเวลา ทำให้ทางเดินของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า $+q$ นี้มีทางเดินเป็นเส้นส่วนโค้งแบบวงกลม ซึ่งมีรัศมี R และมีคาบ T ดังรูป



อนุภาคเคลื่อนที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก



อนุภาคเคลื่อนที่เป็นวงกลมในสนามแม่เหล็ก

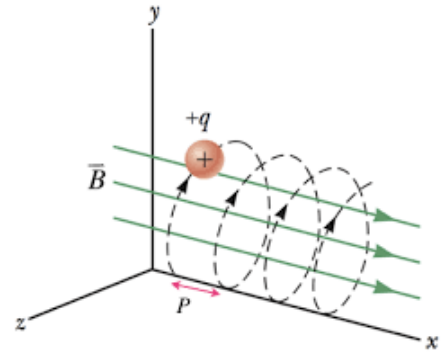
พิจารณารัศมีการเคลื่อนที่แบบวงกลม (r) ของอนุภาคมีประจุไฟฟ้าโดยแรงแม่เหล็กตั้งฉากกับความเร็วตลอดเวลาและไม่มีแรงอื่น ๆ มากระทำ และทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง จะได้

$$\text{แรงแม่เหล็ก} = \text{แรงสู่ศูนย์กลาง}$$

3. เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ทำมุม θ กับสนามแม่เหล็ก

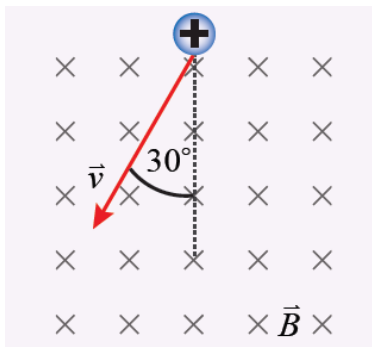
เมื่อให้อนุภาคมวล m ที่มีประจุไฟฟ้า $+q$ เคลื่อนที่เข้าสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ $\vec{B}$ ด้วยความเร็ว $\vec{v}$ ทำมุม θ กับสนามแม่เหล็ก

$$F = qvB \sin \theta$$



ตัวอย่าง

1. อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า q เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว $\vec{v}$ เข้าไปในสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ ดังรูป



ขนาดของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคนี้นี้มีขนาดเท่าใด

2. อิเล็กตรอนอนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวขนาด 2×10^6 เมตรต่อวินาที เข้าไปในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอขนาด 5.0×10^{-3} เทสลา ในทิศทางทำมุม 30 องศา กับสนามแม่เหล็กขนาดของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออิเล็กตรอนมีค่าเท่าใด (ตอบ 8.0×10^{-16} นิวตัน)

3. อนุภาคแอลฟามีมวล 6.68×10^{-27} กิโลกรัม และมีประจุ $+3.20 \times 10^{-19}$ คูโลมบ์ เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3×10^6 เมตรต่อวินาที ในทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอขนาด 1.0 เทสลาเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคแอลฟาเป็นวงกลมที่มีรัศมีเท่าใด (ตอบ 6.26×10^{-2} เมตร)

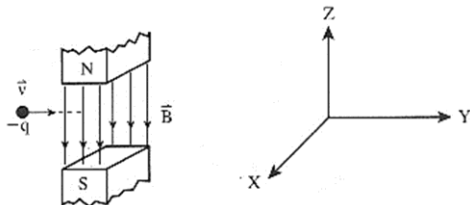
4. โปรตอนมีมวล 1.67×10^{-27} กิโลกรัม และประจุ 1.60×10^{-19} คูโลมบ์ ถูกเร่งจากหยุดนิ่งผ่านความต่างศักย์ 640 โวลต์ แล้วจึงเคลื่อนเข้าไปในบริเวณสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอในทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ทำให้เส้นทางการเคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี 4.0 เซนติเมตร จงหา

ก. ขนาดของความเร็วของโปรตอน (ตอบ 3.50×10^5 เมตรต่อวินาที)

ข. ขนาดสนามแม่เหล็ก (ตอบ 9.13×10^{-2} เทสลา)

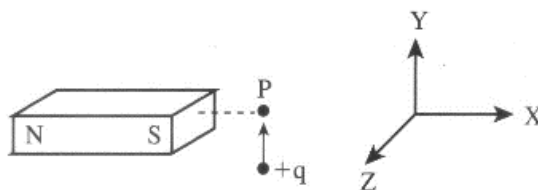
แบบฝึกหัดที่ 2

- เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านบริเวณสนามหนึ่ง กรณีใดที่ความเร็วของอิเล็กตรอนไม่เปลี่ยนแปลง ([เฉลย](#))
 - ขนานกับสนามแม่เหล็ก
 - ขนานกับสนามไฟฟ้า
 - ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก
 - ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า
- ประจุไฟฟ้า $+10^{-6}$ คูอมบ์ เคลื่อนที่เข้าไปในสนามแม่เหล็กขนาด 1 เทสลา ในทิศทำมุม 37° กับสนามแม่เหล็ก ด้วยความเร็วขนาด 3×10^6 เมตรต่อวินาที จงคำนวณแรงลอเรนตซ์ที่เกิดบนประจุไฟฟ้านี้ ([เฉลย](#))
 - 1.2 N
 - 1.4 N
 - 1.6 N
 - 1.8 N
- จากรูป อิเล็กตรอนซึ่งมีประจุ -1.6×10^{-19} คูอมบ์ ถูกยิงเข้าไปในบริเวณสนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็ก NS ขนาด 1 เทสลา ด้วยความเร็ว 5×10^6 เมตรต่อวินาที จงคำนวณแรงลอเรนตซ์ที่เกิดขึ้น ([เฉลย](#))
 - 1.6×10^{-13} N
 - 5.0×10^{-13} N
 - 8.0×10^{-13} N
 - 8.5×10^{-13} N



- จากปัญหาข้อ 3 แรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออิเล็กตรอนมีทิศทางชี้ไปทางใด ([เฉลย](#))
 - +X
 - X
 - +Z
 - Z
- จากรูป ประจุ $+q$ เคลื่อนที่ขึ้นไปในทิศ +Y เมื่อมาถึงจุด P จะมีแรงแม่เหล็กกระทำกับประจุ $+q$ ในทิศใด ([เฉลย](#))

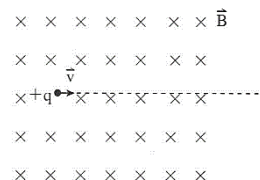
- +X
- X
- +Z
- Z



6. $\vec{B}$ เป็นสนามแม่เหล็กมีทิศพุ่งตั้งฉากลงไปในกระดาษมีขนาด 3.5×10^{-3} เทสลา ینگอิเล็กตรอนด้วยความเร็ว 5.0×10^7 เมตรต่อวินาที เข้าไปในทิศตั้งฉากกับ $\vec{B}$ จะมีแรงกระทำต่ออิเล็กตรอนด้วยขนาดเท่าไร ในหน่วยของนิวตัน (เฉลย)



1. 2.8×10^{-14}
 2. 0.7×10^{-10}
 3. 1.0×10^2
 4. 1.8×10^5
7. จากปัญหาข้อ 6 อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่อย่างไร (เฉลย)
1. เบี่ยงเบนลึกเข้าไปในกระดาษ
 2. เบี่ยงเบนออกนอกกระดาษ
 3. เบี่ยงเบนขึ้น
 4. เบี่ยงเบนลง
8. ถ้าเรายืนบนพื้นราบหันหน้าไปทางทิศใต้ ขณะนั้นมีรังสีคอสมิกซึ่งมีประจุไฟฟ้าบวกพุ่งเข้าสู่ผิวโลกในแนวตั้งจากที่สูงมาก เมื่อเคลื่อนที่ต่ำลงมาเส้นทางการเคลื่อนที่จะเบนไปในแนวทิศใด (เฉลย)
1. ทิศตะวันตก
 2. ทิศตะวันออก
 3. ทิศเหนือ
 4. ทิศใต้
9. อนุภาคมวล m มีประจุ $+q$ เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ v เข้าไปในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ B ในทิศขนานและตรงข้ามกับ B อนุภาคนี้อาจเคลื่อนที่อย่างไร (เฉลย)
1. เคลื่อนที่เป็นวงกลม
 2. เคลื่อนที่เป็นเกลียว
 3. เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง
 4. คำตอบเป็นอย่างอื่น
10. จากรูป ประจุ $+q$ เคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ B ในทิศทางตั้งฉาก ถ้าประจุมีความเร็ว v โดยมีขนาดคงที่เสมอ ข้อใดสรุปได้ถูกต้อง (เฉลย)
1. ประจุเคลื่อนที่ในแนววงกลม
 2. ประจุเคลื่อนที่ในแนวตรงทิศทางเดิม
 3. ประจุเคลื่อนที่เป็นขึ้น
 4. ประจุเคลื่อนที่เป็นลง



11. เมื่อให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ B โดยไม่ตั้งฉากกับ B อิเล็กตรอนจะมีแนวเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กเป็นอย่างไร (เฉลย)
1. เส้นตรงเบนออกจากแนวเดิม
 2. ส่วนของวงกลม
 3. ส่วนของวงรี
 4. เส้นโค้งเป็นเกลียว

12. ถ้ายิงอนุภาคที่มีประจุบวกให้เคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณหนึ่ง ปรากฏว่าอนุภาคเคลื่อนที่ผ่านบริเวณนั้นไปได้ด้วยความเร็วคงที่ ข้อใดสรุปไม่ถูกต้อง ([เฉลย](#))
1. ในบริเวณนั้นมีทั้งสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า
 2. ในบริเวณนั้นไม่มีสนามแม่เหล็กแต่มีสนามไฟฟ้า
 3. ในบริเวณนั้นไม่มีสนามไฟฟ้าแต่มีสนามแม่เหล็ก
 4. ในบริเวณนั้นไม่มีทั้งสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า
13. ในเครื่องเร่งอนุภาคบางแบบ อนุภาคจะถูกทำให้วิ่งเป็นวงกลมโดยใช้สนามแม่เหล็กที่มีทิศตั้งฉากกับแนวที่อนุภาควิ่ง ถ้าสนามแม่เหล็กมีขนาด B และอนุภาคมีมวล m ประจุ q เวลาที่อนุภาควิ่งแต่ละรอบจะต้องเป็นเท่าไร ([เฉลย](#))
1. $\frac{2\pi q}{mB}$
 2. $\frac{2\pi m}{qB}$
 3. $\frac{2\pi B}{mq}$
 4. $\frac{2\pi qB}{m}$
14. อนุภาคมวล m ประจุ $+q$ กำลังเคลื่อนที่ในทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กขนาด B เป็นวงกลมรัศมี R จงหาพลังงานจลน์ของอนุภาคนี้อยู่ ([เฉลย](#))
1. $\frac{1}{2} \frac{(BqR)^2}{m}$
 2. $\frac{1}{2} m \left(\frac{Bq}{R} \right)^2$
 3. $\frac{1}{2} m (BqR)^2$
 4. $\frac{R}{m} (Bq)^2$

15. อนุภาคแอลฟาและโปรตอนถูกเร่งจากความต่างศักย์เดียวกัน แล้วต่างก็เคลื่อนที่เข้าไปในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอในทิศที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กนั้น รัศมีการเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กของอนุภาคแอลฟาจะเป็นกี่เท่าของโปรตอน (เฉลย)

1. $\frac{1}{\sqrt{2}}$

2. $\sqrt{2}$

3. $\frac{1}{2}$

4. 2

16. ในการเร่งอนุภาคประจุ 3.2×10^{-19} คูโลมบ์ มวล 2.5×10^{-25} กิโลกรัม จากความเร็วต้นเป็นศูนย์ ผ่านสนามไฟฟ้าที่มีค่าสม่ำเสมอ 10^7 โวลต์ต่อเมตร เป็นระยะทาง 0.1 เมตร แล้วเข้าสู่สนามแม่เหล็กที่มีค่าสม่ำเสมอ ปรากฏว่าอนุภาคนี้อยู่เป็นส่วนหนึ่งของวงกลมในสนามแม่เหล็กโดยมีรัศมี 0.5 เมตร สนามแม่เหล็กจะมีค่าเท่าใดในหน่วยเทสลา (เฉลย)

1. 2.5

2. 1.25

3. 5

4. 3.5

17. อนุภาคมีประจุถูกเร่งผ่านความต่างศักย์ 10^6 โวลต์ แล้วจึงผ่านเข้าไปในสนามแม่เหล็กที่มีค่าคงที่ขนาด 2.0 เทสลา โดยที่ทิศทางของอนุภาคตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ถ้าอนุภาคนั้นมีมวล 1.5×10^{-27} กิโลกรัม และรัศมีทางเดินของอนุภาคในสนามแม่เหล็กมีค่า 0.5 เซนติเมตร จำนวนประจุบนอนุภาคมีกี่คูโลมบ์ (เฉลย)

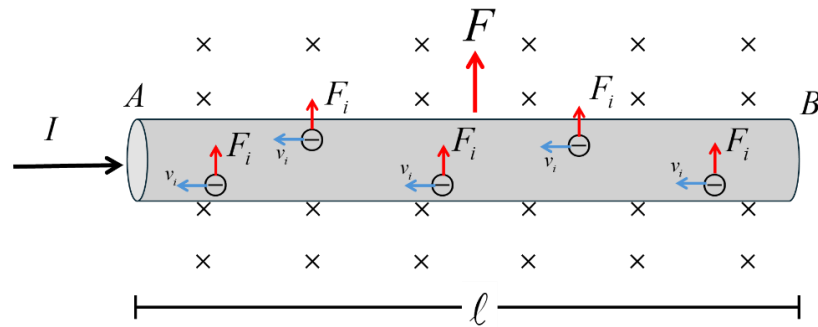
1. 1.5×10^{-19}

2. 1.5×10^{-18}

3. 3.0×10^{-17}

4. 1.5×10^{-17}

2.2 แรงที่กระทำต่อลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน เมื่อวางอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก



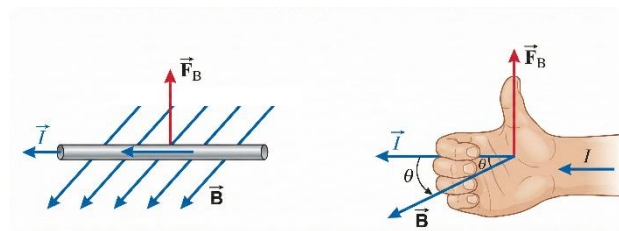
เมื่อมีกระแสไฟฟ้า I ไหลผ่านลวดตัวนำ l ตามทิศของ l อยู่ในสนามแม่เหล็ก B อิเล็กตรอนในโลหะจะเคลื่อนที่จาก B ไป A ทำให้เกิดแรง F_i กระทำต่ออิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ ส่งผลให้เกิดแรง F กระทำต่อลวดตัวนำนั้น

เป็นไปตามสมการ

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$$

หรือ ขนาดของแรงมีค่า.....

----- (3)



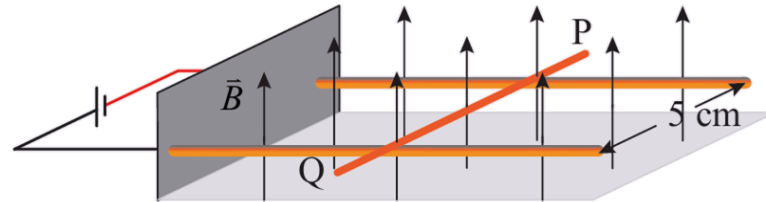
หมายเหตุ การหาทิศทางของแรง $\vec{F}$ ให้ใช้หลักการ cross vector จาก $\vec{l}$ ไป $\vec{B}$

ความรู้เรื่องแรงที่กระทำต่อลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเมื่อวางอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก (หรือที่เรียกว่าแรงลอเรนซ์) มีการนำไปใช้งานในหลายด้าน ตัวอย่างเช่น

1. มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motors): มอเตอร์ไฟฟ้าทำงานโดยใช้หลักการของแรงลอเรนซ์ เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงที่ทำให้ขดลวดหมุน ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า
2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generators): เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานโดยการหมุนขดลวดในสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดตามหลักการของแรงลอเรนซ์
3. ลำโพง (Speakers): ลำโพงใช้หลักการของแรงลอเรนซ์ในการสร้างเสียง โดยเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงที่ทำให้ขดลวดและกรวยลำโพงเคลื่อนที่ สร้างคลื่นเสียงที่เราได้ยิน.
4. รถไฟแม่เหล็ก (Maglev Trains): รถไฟแม่เหล็กใช้หลักการของแรงลอเรนซ์ในการลอยตัวและเคลื่อนที่ โดยใช้สนามแม่เหล็กในการยกและขับเคลื่อนรถไฟ ทำให้ลดแรงเสียดทานและเพิ่มความเร็ว

ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 1) ลวด PQ มวล 20 กรัม วางบนรางตัวนำคู่ขนานในระนาบระดับที่ต่อกับวงจรไฟฟ้าและอยู่ในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอที่มีขนาด 0.2 เทสลา ดังรูป

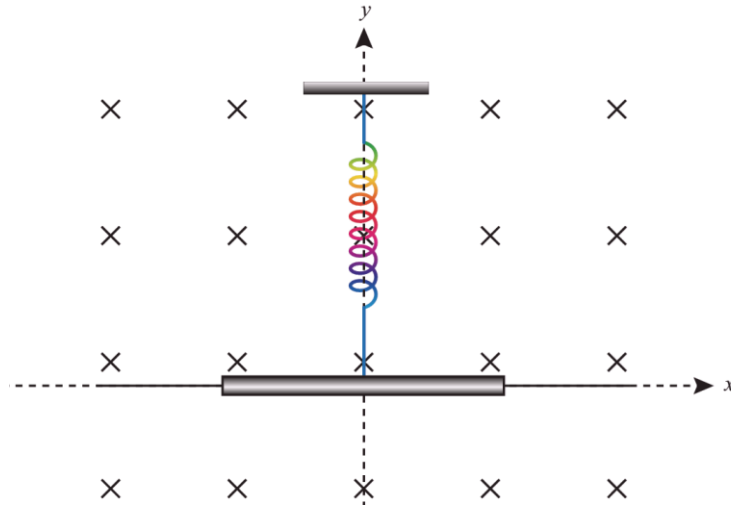


ถ้ามีกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำ 4 แอมแปร์

ก. ลวดนี้จะเคลื่อนที่ในทิศทางใด

ข. ลวดนี้มีความเร่งเท่าใด (ตอบ 2 m/s^2)

ตัวอย่าง 2) ลวดตัวนำเส้นหนึ่งมีมวล 25 กรัม และยาว 10 เซนติเมตร แขนงจุดกึ่งกลางของลวดไว้กับ สปริงพลาสติกที่มีค่าคงตัวสปริง k ทำให้สปริงยืดออกเล็กน้อยและลวดตัวนำวางตัวในแนว แกน x อยู่ในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอขนาด 0.4 เทสลา ที่มีทิศทางชี้เข้าตั้งฉากกับกระดาษ ดังรูป

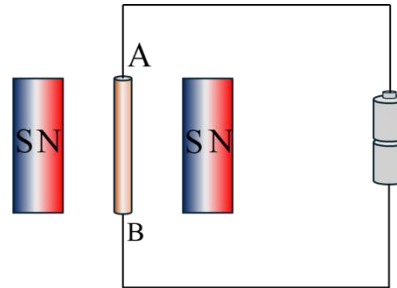
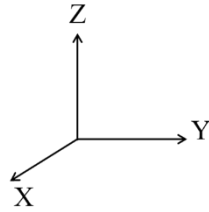


เมื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำ 8.0 แอมแปร์ ในทิศทาง $+x$ แรงแม่เหล็กจะทำให้สปริงหด กลับขึ้นไปเป็นระยะ 1.0 เซนติเมตร จงหาค่าคงตัวสปริง k โดยไม่คำนึงถึงน้ำหนักของสายไฟ (ตอบ 32 N/m)

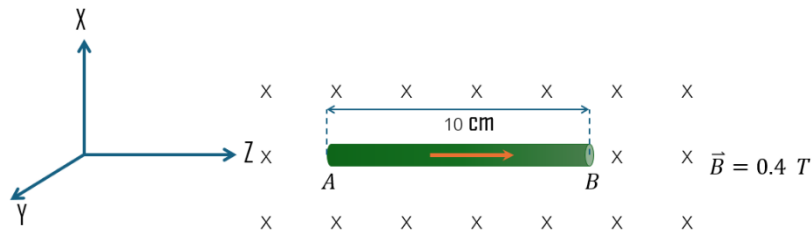
แบบฝึกหัดที่ 3

1. จากรูป เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำ AB จะมีแรงลอเรนซ์กระทำในทิศใด (เฉลย)

1. -X
2. +X
3. -Z
4. +Z



2. จากรูป ลวดตัวนำ AB มีกระแสไฟฟ้า 0.5 แอมแปร์ ไหลผ่านวางในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ 0.4 เทสลาจะเกิดแรงแม่เหล็กกระทำกับลวด AB เท่าไร (เฉลย)

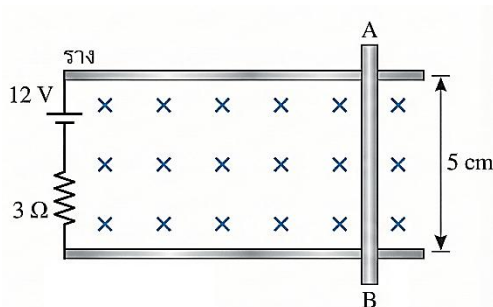


1. 0.04 N
2. 0.03 N
3. 0.02 N
4. 0.01 N

3. จากปัญหาข้อ 2. ทิศทางของแรงแม่เหล็กหรือแรงลอเรนซ์ที่กระทำต่อลวด AB ไปทางใด (เฉลย)

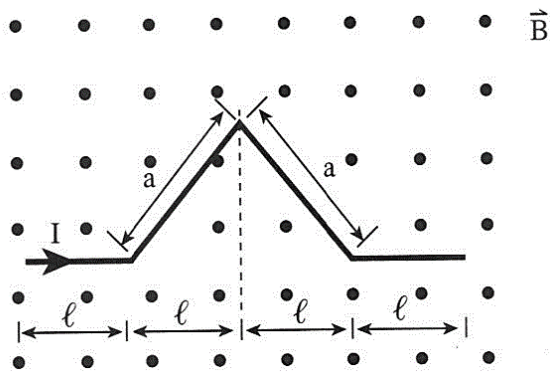
1. +X
2. +Y
3. +Z
4. คำตอบเป็นอย่างอื่น

4. ลวดแข็งตรง AB พาดอยู่บนรางตัวนำซึ่งต่อเป็นวงจรกับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ และความต้านทาน 3 โอห์ม ดังรูป ถ้า AB อยู่ในสนามแม่เหล็กมีทิศตั้งฉากกับขดลวดมีค่า 0.15 เทสลา สนามแม่เหล็กจะทำให้เกิด แรงกระทำต่อลวด AB เท่าไร (เฉลย)

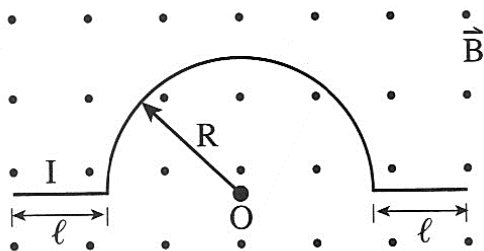


1. 0.04 N
2. 0.03 N
3. 0.02 N
4. 0.01 N

5. จากปัญหาข้อ 4. ทิศทางของแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กกระทำต่อลวด AB ไปทางใด (เฉลย)
1. พุ่งขึ้นแนวดิ่ง
 2. พุ่งลงแนวดิ่ง
 3. พุ่งไปทางซ้ายมือ
 4. พุ่งไปทางขวามือ
6. จากรูป ลวดตัวนำมีกระแสไฟฟ้า I วางในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ B แรงที่กระทำต่อลวดตัวนำคือข้อใด (เฉลย)
1. $2IB(\ell + a)$
 2. $4IB\ell$
 3. $4IB(\ell + a)$
 4. $4IB\ell + 2IBa$

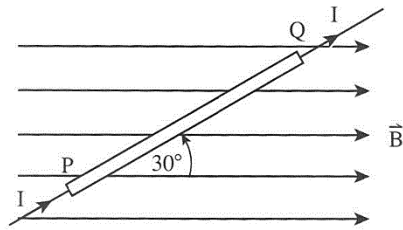


7. จากรูป ลวดตัวนำมีกระแสไฟฟ้า 10 แอมแปร์ วางในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ 10^{-2} เทสลา ถ้า $\ell = 0.5$ เมตร และ $R = 0.5$ เมตร แรงลัพธ์ที่กระทำกับลวดเป็นเท่าไร ไม่คิดแรงดึงดูดของโลก (เฉลย)



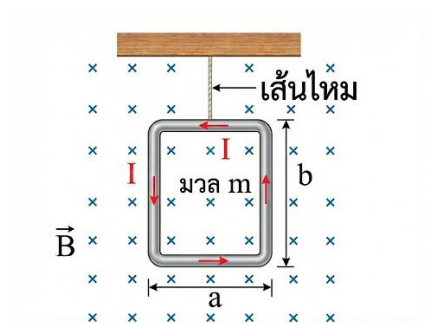
1. 0.2 นิวตัน พุ่งขึ้น
2. 0.2 นิวตัน พุ่งลง
3. 0.1 นิวตัน พุ่งขึ้น
4. 0.1 นิวตัน พุ่งลง

8. ลวดเส้นหนึ่งยาว 5.0 เซนติเมตร มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 4 แอมแปร์ วางอยู่ในสนามแม่เหล็กขนาดสม่ำเสมอ 10^{-3} เทสลา โดยลวดเอียงทำมุม 30° กับสนามแม่เหล็ก ดังรูป จงหาขนาดของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดเส้นนี้ (PQ) (เฉลย)



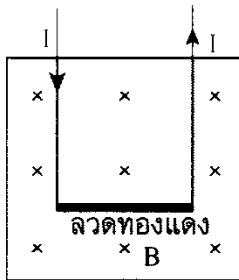
1. 0.8×10^{-4} N
 2. 1.0×10^{-4} N
 3. 1.7×10^{-4} N
 4. 2.0×10^{-4} N
9. จากปัญหาข้อ 8. ถ้าสนามแม่เหล็ก B กลับชี้ตรงข้ามกับทิศทางเดิม จงหาขนาดของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวด PQ (เฉลย)

1. 0.8×10^{-4} N
 2. 1.0×10^{-4} N
 3. 1.7×10^{-4} N
 4. 2.0×10^{-4} N
10. ขดลวดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามวล m ขนาดกว้าง a และยาว b ถูกแขวนไว้ด้วยเส้นไหมโดยให้ระนาบของขดลวดตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก B ถ้ากระแสไฟฟ้าไหลในขดลวด I จงหา B เมื่อเส้นไหมไม่ตึงพอดี (เฉลย)



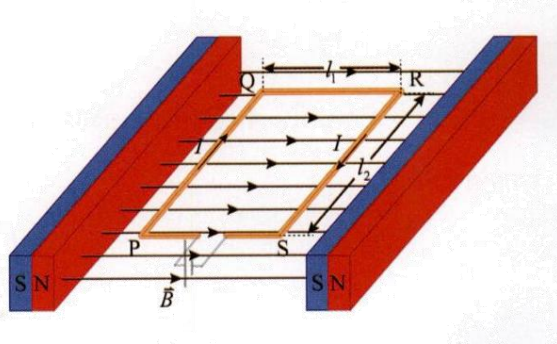
1. $\frac{mg}{Ib}$
2. $\frac{Ib}{mg}$
3. $\frac{Ia}{mg}$
4. $\frac{mg}{Ia}$

11. ลวดทองแดงยาว 0.5 เมตร มวล 0.02 กิโลกรัม แขนงอยู่ในแนวระดับด้วยลวดตัวนำเบาในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กขนาด 3.6 เทสลา ทิศตั้งฉากกับลวดดั่งรูป ขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดแรงยกบนลวดเท่ากับน้ำหนักของลวดเองเป็นเท่าใด [\(เฉลย\)](#)



1. 0.11 A
 2. 0.18 A
 3. 0.22 A
 4. 0.33 A
12. แท่งตัวนำยาว 10 เซนติเมตร มวล 0.05 กิโลกรัม มีกระแสไฟฟ้าผ่าน 25 แอมแปร์ เมื่อนำไปไว้ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กขนาดสม่ำเสมอ ปรากฏว่าแท่งตัวนำนี้สามารถลอยนิ่งอยู่ในสนามแม่เหล็ก จงหาว่าขนาดของสนามแม่เหล็กมีค่ากี่เทสลา [\(เฉลย\)](#)
1. $\frac{1}{3}$
 2. $\frac{1}{5}$
 3. $\frac{1}{7}$
 4. $\frac{1}{9}$

3. โมเมนต์ของแรงคู่ควบกระทำต่อขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน เมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก



พิจารณาขดลวดตัวนำสี่เหลี่ยมมุมฉาก (PQRS) ดังรูป

แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อด้าน PQ คือ $F = I l_2 B$

แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อด้าน QR คือ $F = 0$

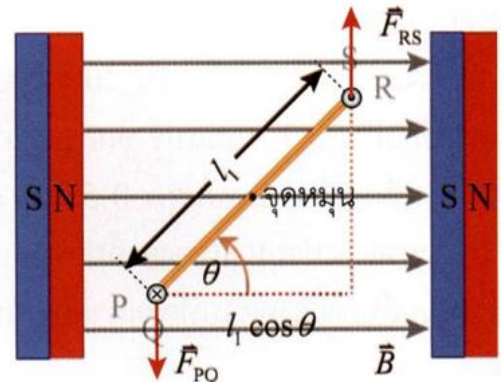
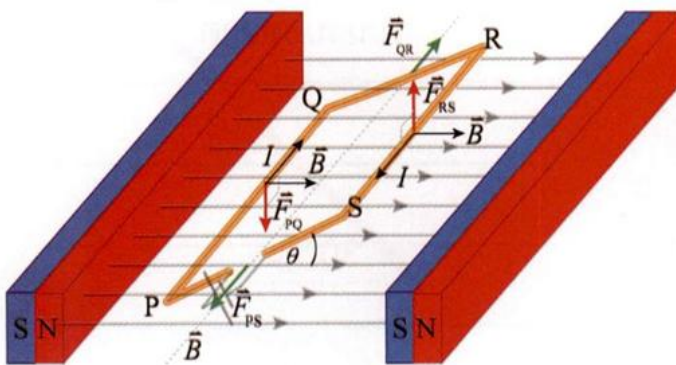
แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อด้าน RS คือ $F = I l_2 B$

แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อด้าน SP คือ $F = 0$

พิจารณาด้าน PQ และ RS พบว่าแรงที่กระทำมีขนาด

เท่ากัน ทิศทางตรงข้ามกัน และขนานกัน ทำให้เกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบ M

$$M = (I l_2 B) l_1 \text{ และ } l_1 l_2 \text{ คือ พื้นที่ของขดลวด PQRS ดังนั้น } M = IBA$$



ถ้าหมุนขดลวดตัวนำสี่เหลี่ยมมุมฉาก (PQRS) ให้ระนาบขดลวดทำมุม θ กับสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ ระยะห่างระหว่างแนวแรงทั้งสองจะมีค่า $l_1 \cos \theta$ ดังนั้น ขนาดของโมเมนต์ของแรงคู่ควบมีค่า

$$M = IBA \cos \theta$$

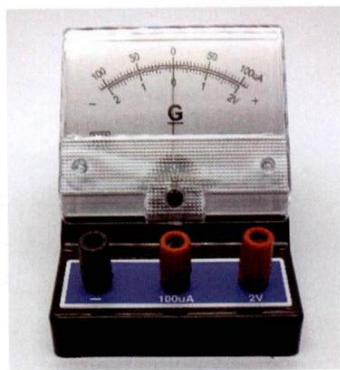
ในกรณีขดลวดตัวนำจำนวน N รอบ จะทำให้เกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบกระทำต่อขดลวดเป็นจำนวน N เท่าของขดลวด 1 รอบ จะได้ขนาดโมเมนต์ของแรงคู่ควบกระทำต่อขดลวด ตามสมการ

$$M = NIBA \cos \theta$$

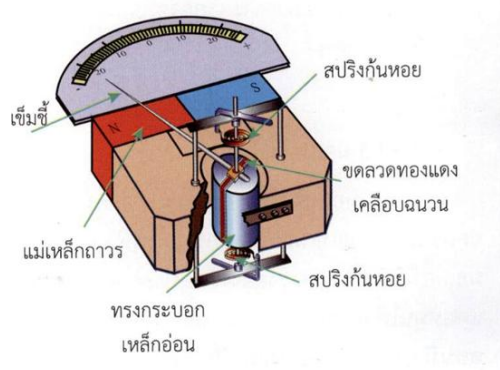
โดยที่ M คือ ขนาดของโมเมนต์ของแรงคู่ควบ
 N คือ จำนวนรอบของขดลวด
 B คือ ขนาดของสนามแม่เหล็ก
 A คือ พื้นที่ของขดลวด

แกลแวนอมิเตอร์ (galvanometer) เป็นเครื่องวัดทางไฟฟ้า ประกอบด้วยขดลวดทองแดงเคลือบฉนวนพันหลายรอบบนกรอบรูปสี่เหลี่ยมที่ติดเข็มชี้และแกนหมุนได้คล่องทำให้ขดลวดหมุนรอบทรงกระบอกเหล็กอ่อนที่ตรึงอยู่กับที่ โดยปลายของแกนหมุนติดกับสปริงกันหอย ทรงกระบอกเหล็กอ่อนทำให้แรงแม่เหล็ก (ที่ทำให้เกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบกระทำต่อขดลวด) ตั้งฉากกับระนาบขดลวดตลอดเวลา จึงทำให้โมเมนต์ของแรงคู่ควบจากกระแสไฟฟ้าที่กระทำต่อขดลวดขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดลวดเท่านั้น

เมื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่าน ขดลวดจะหมุนพร้อมกับเข็มชี้เบนไป และแกนหมุนทำให้สปริงกันหอยบิดตัวจนกระทั่งโมเมนต์ของแรงบิดกลับของสปริงกันหอยเท่ากับโมเมนต์ของแรงคู่ควบที่กระทำต่อขดลวด ขดลวดและเข็มชี้จะหยุดนิ่ง มุมที่เข็มชี้เบนไปจึงขึ้นกับกระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดลวด โดยทั่วไปแกลแวนอมิเตอร์มีวัตถุประสงค์ให้ความไวต่อกระแสไฟฟ้าจึงใช้เส้นลวดที่มีขนาดเล็กมาก เพื่อให้ขดลวดมีน้ำหนักน้อย และสปริงกันหอยที่มีค่าคงตัวสปริงน้อย ๆ เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านเพียงเล็กน้อย ก็สามารถทำให้เข็มชี้เบนได้



ก. แกลแวนอมิเตอร์



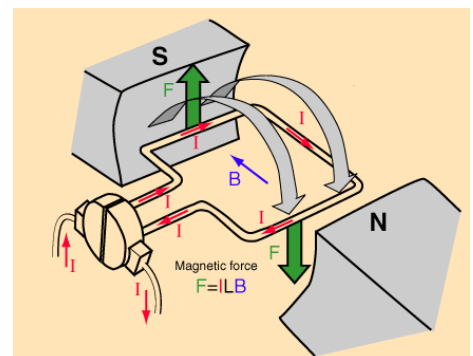
ข. ส่วนประกอบภายในแกลแวนอมิเตอร์

แกลแวนอมิเตอร์ สามารถนำไปดัดแปลงให้วัดกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น เรียกว่า แอมมิเตอร์ โดยการต่อตัวต้านทานค่าเหมาะสมแบบขนานกับแกลแวนอมิเตอร์และสามารถดัดแปลงให้สามารถวัดความต่างศักย์ได้มากขึ้น เรียกว่า โวลต์มิเตอร์ โดยต่อตัวต้านทานค่าเหมาะสมแบบอนุกรมกับแกลแวนอมิเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

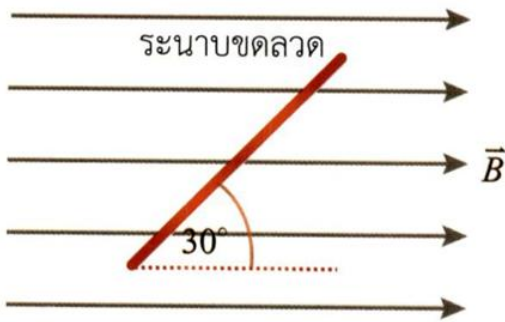
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นการประยุกต์ใช้ความรู้โมเมนต์ของแรงคู่ควบที่กระทำต่อขดลวดในสนามแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไฟฟ้า ผ่านทำให้สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลได้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่าย ประกอบด้วย ขดลวดทองแดงเคลือบฉนวน พันเป็นรูปสี่เหลี่ยมติดกับแกนหมุนได้คล่องในสนามแม่เหล็ก และส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางของกระแสไฟฟ้าในขดลวด คือ คอมมิวเตเตอร์วงแหวนผ่าซีก (split-ring commutator) และแปรงสัมผัส (contact brush)

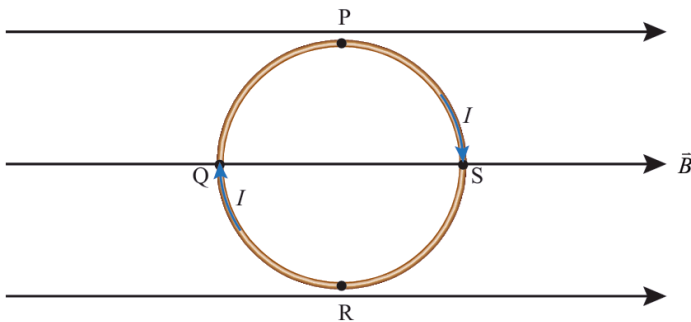


ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 1) ขดลวดสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีพื้นที่ 100 ตารางเซนติเมตร มีจำนวน 200 รอบ และมีกระแสไฟฟ้าผ่าน 0.1 แอมแปร์ ขดลวดนี้วางอยู่ในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอขนาด 0.5 เทสลา โดยระนาบของขดลวดทำมุม 30 องศา กับสนามแม่เหล็กดังรูป โมเมนต์ของแรงคู่ควบที่กระทำต่อขดลวดมีค่าเท่าใด



ตัวอย่าง 2) ขดลวดวงกลมมีจำนวนรอบ 20 รอบ และรัศมี 8.0 เซนติเมตร วางขดลวดนี้ไว้ในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอขนาด 2.0 เทสลา และมีทิศขนานกับระนาบของขดลวด ถ้ามีกระแส 10 แอมแปร์ ผ่านขดลวด ในทิศดังรูป



จงหาโมเมนต์ของแรงคู่ควบรอบแกนหมุน [\(เฉลย\)](#)

ก. ที่ผ่านจุด P กับ R

ข. ที่ผ่านจุด Q กับ S

แบบฝึกหัดที่ 5

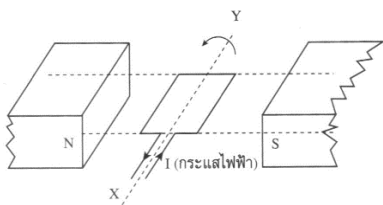
1. ขดลวดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีจำนวนรอบ 100 รอบ และมีพื้นที่ 100 ตารางเซนติเมตร ขณะที่ระนาบของขดลวดวางตัวขนานกับสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ 10^{-4} เทสลา จะมีโมเมนต์บิดขดลวดเท่าไร เมื่อขดลวดมีกระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์ (เฉลย)

1. 1×10^{-4} N.m
2. 2×10^{-4} N.m
3. 3×10^{-4} N.m
4. 4×10^{-4} N.m

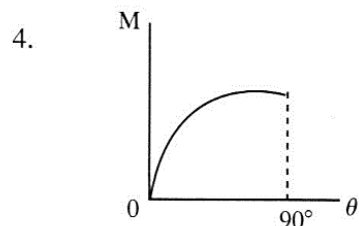
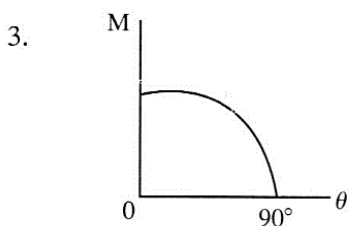
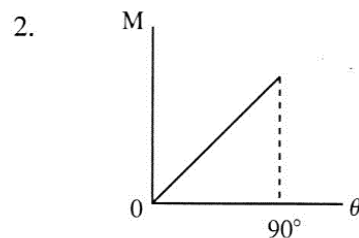
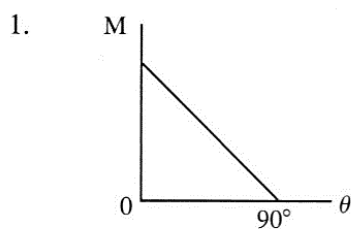
2. จากปัญหาข้อ 1. ถ้าระนาบของขดลวดทำมุม 37 องศา กับสนามแม่เหล็ก จะมีโมเมนต์บิดขดลวดเท่าไร (เฉลย)

1. 1.3×10^{-4} N.m
2. 1.4×10^{-4} N.m
3. 1.5×10^{-4} N.m
4. 1.6×10^{-4} N.m

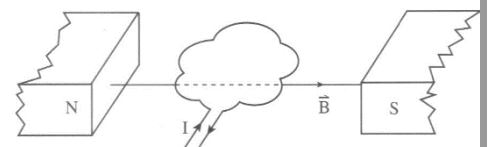
3. จากรูป ขดลวดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสามารถหมุนรอบแกน XY ได้เมื่อขดลวดหมุนรอบแกน XY จากตำแหน่งในรูป



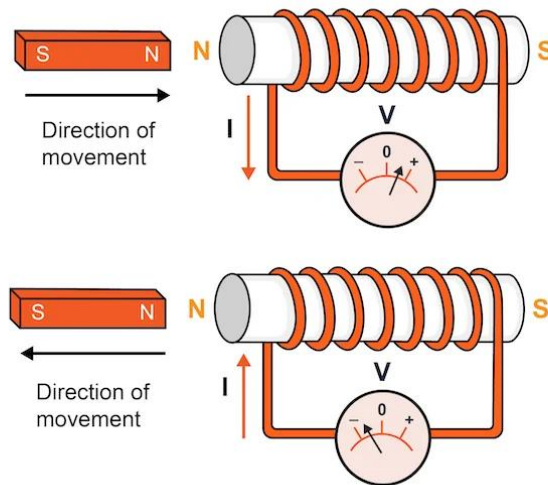
ไปจนกระทั่งระนาบของขดลวดตั้งฉากกับตำแหน่งเดิม กราฟในข้อใดที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ที่กระทำต่อขดลวดและมุม θ ได้ถูกต้อง เมื่อ θ คือ มุมระหว่างระนาบขดลวดกับสนามแม่เหล็ก (เฉลย)



4. ขดลวดตัวนำรูปวงกลมรัศมี 0.2 เมตร แขนงขดลวดด้วยเชือกในแนวดิ่ง โดยให้ระนาบของขดลวดทำมุม 30 องศา กับทิศตะวันออก-ตะวันตก ถ้าขดลวดมีจำนวนรอบ 400 รอบ มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ขดลวด 7 แอมแปร์ สนามแม่เหล็กโลกตามแนวราบ ณ ตำแหน่งที่แขนงขดลวดมีความเข้มเท่ากับ 0.5 เทสลา โมเมนต์ของแรงคู่ควบที่เกิดขึ้นมีค่ากี่นิวตัน-เมตร (เฉลย)
1. 76.5
 2. 88.0
 3. 125.7
 4. 140.0
5. ขดลวดตัวนำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีพื้นที่ 10 ตารางเซนติเมตร วางอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก 5 เทสลา ถ้าจำนวนขดของลวดตัวนำเท่ากับ 400 รอบ จงหาโมเมนต์ของแรงคู่ควบที่เกิดขึ้นเมื่อระนาบขดลวดทำมุม 60° กับแนวของสนามแม่เหล็กและค่าของกระแสที่ผ่านขดลวดเท่ากับ 6 แอมแปร์ (เฉลย)
1. 6.00×10^4 Nm
 2. 6.00 Nm
 3. 1.16×10^5 Nm
 4. 1.16 Nm
6. ขดลวดตัวนำมีพื้นที่หน้าตัด 0.1 ตารางเมตร มีกระแส 10 แอมแปร์ วางในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ 3 เทสลา ถ้าขดลวดมีจำนวนรอบเท่ากับ 500 รอบ จงคำนวณโมเมนต์สูงสุดที่บิดขดลวด (เฉลย)
1. 100 Nm
 2. 500 Nm
 3. 1,000 Nm
 4. 1,500 Nm
7. จากรูป ขดลวดตัวนำจำนวน 1 รอบ ถ้าให้กระแสไฟฟ้า 10 แอมแปร์ เข้าไปทำให้เกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบสูงสุด 10^{-1} นิวตัน-เมตร เมื่อขดลวดวางในสนามแม่เหล็กซึ่งสม่ำเสมอมีค่า 0.1 เทสลา จงประมาณค่าพื้นที่ของระนาบขดลวดว่าเป็นเท่าไร (เฉลย)
1. 0.1 m^2
 2. 2.0 m^2
 3. 5.0 m^2
 4. 10.0 m^2



4. กระแสเหนี่ยวนำ (Induced current)



เมื่อทำให้แท่งแม่เหล็ก เคลื่อนที่เข้าหาขดลวด ทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดขดลวดเปลี่ยนแปลง จึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในขดลวด เรียกว่ากระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (induced electric current) และเรียกการทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในตัวนำด้วยสนามแม่เหล็กว่า การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic induction)

การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ทำได้โดยการเคลื่อนแท่งแม่เหล็กหรือขดลวด อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้งสองอย่างก็ได้ เพื่อทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดขดลวดเปลี่ยนแปลง โดยฟาราเดย์ได้ทำการทดลอง และเสนอกฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ (Faraday's law of induction) สรุปได้ว่าเมื่อมีฟลักซ์แม่เหล็กที่ตัดขดลวดตัวนำมีการเปลี่ยนแปลงทำให้เกิด อีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำ (induced electromotive force) ในขดลวดตัวนำนั้นมีความขึ้นกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของ ฟลักซ์แม่เหล็กที่ตัดขดลวดตัวนำส่วนทิศทางของกระแสเหนี่ยวนำเป็นไปตามกฎของเลนซ์ (Lenz's law)

การหาอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำ $\mathcal{E}$ ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก ϕ อย่างสม่ำเสมอ

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t}$$

โดย $\mathcal{E}$ เป็นอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำ

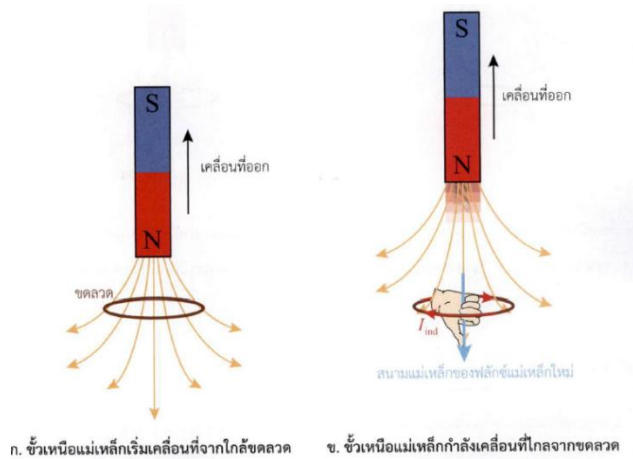
$\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t}$ เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กที่ตัดขดลวดตัวนำเทียบกับเวลา

เครื่องหมายลบในสมการเป็นไปตามกฎของเลนซ์ มีความหมายว่า อีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น มีทิศทางด้าน การเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กที่มาเหนี่ยวนำ

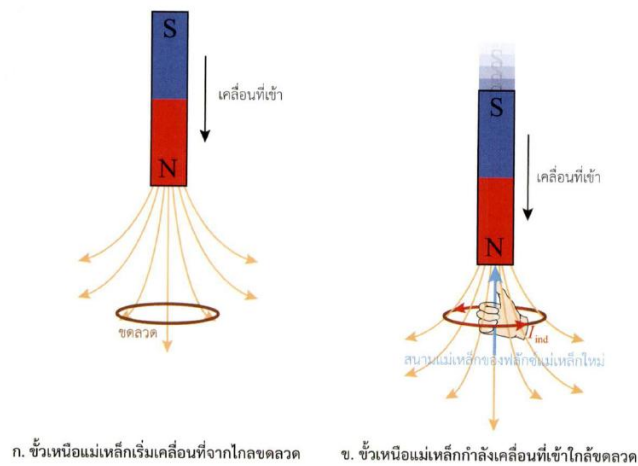
กระแสเหนี่ยวนำที่เกิดในขดลวดตัวนำ

เมื่อเคลื่อนแท่งแม่เหล็กเข้าหรือออกจากขดลวด จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดดังรูป

จากกฎของเลนซ์ กล่าวว่า “กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะไหลในทิศทางที่สร้างสนามแม่เหล็กต่อต้านการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กที่มาเหนี่ยวนำ”



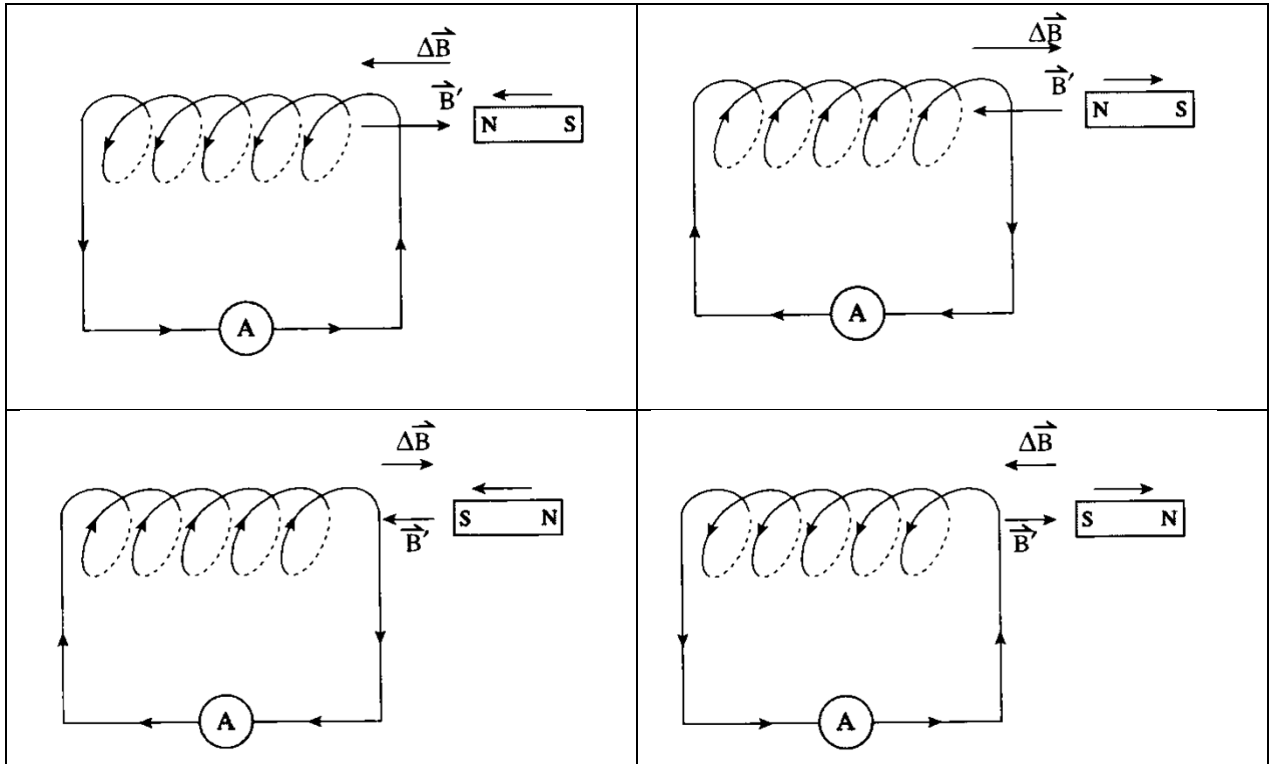
การเกิดอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำและกระแสเหนี่ยวนำในขดลวดเมื่อฟลักซ์แม่เหล็กลดลง



การเกิดอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำและกระแสเหนี่ยวนำในขดลวดเมื่อฟลักซ์แม่เหล็กเพิ่มขึ้น

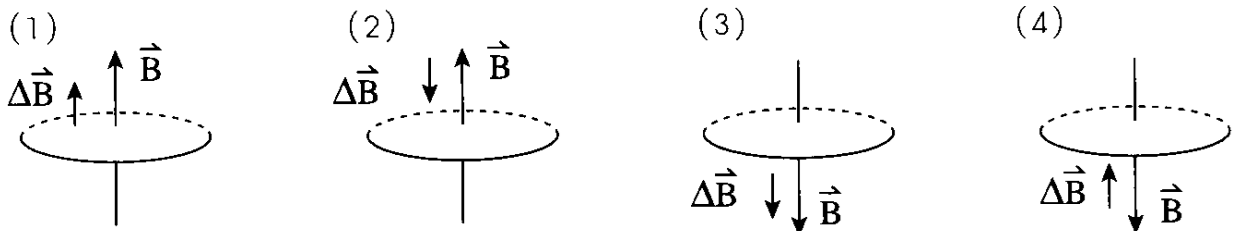
การหาทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ มีขั้นตอนดังนี้

1. หาทิศของการเปลี่ยนแปลงแม่เหล็ก ($\Delta \vec{B}$)
2. กำหนดทิศทางของสนามแม่เหล็ก (เหนี่ยวนำ) ที่ขดลวดสร้างขึ้น ($\vec{B}'$) จะมีทิศทางต้านการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก ($\Delta \vec{B}$) เสมอ (ตามกฎของเลนซ์)
3. หาทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดโดยอาศัยกฎมือขวาให้นิ้วหัวแม่มือชี้ทิศสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ ($\vec{B}'$) ปลายนิ้วทั้งสี่แทนทิศของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด



ตัวอย่าง จากรูป จงหาทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในลวดวงกลม

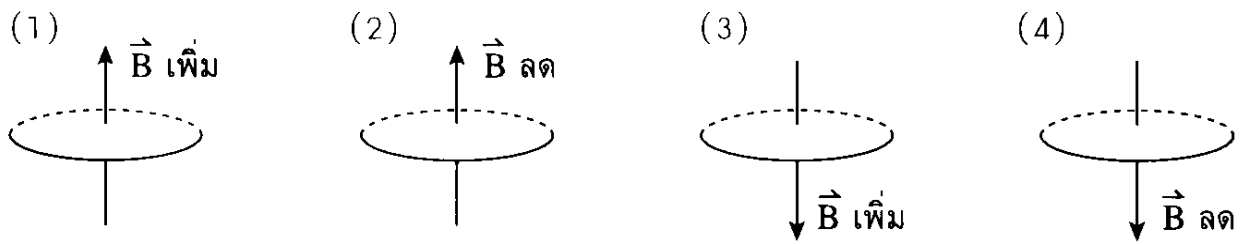
ก.



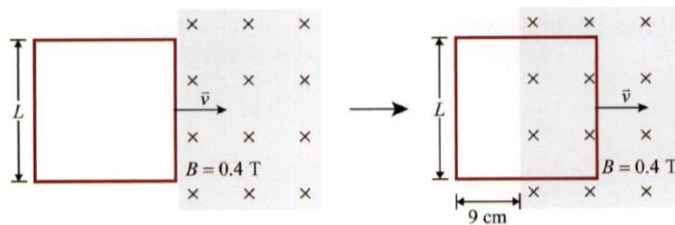
ข.



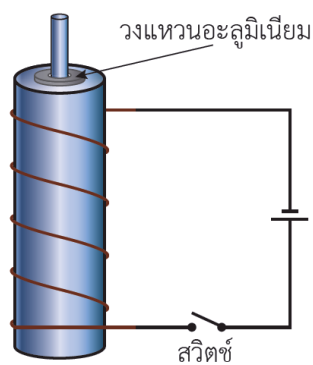
ค.



ตัวอย่าง 2 ขดลวดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขดหนึ่งยาวด้านละ 20 เซนติเมตร กำลังเคลื่อนที่ไปทางขวาเข้าไปในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ 0.4 เทสลา ด้วยอัตราเร็ว 3.0 เมตรต่อวินาที จงหาอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำและทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด ในขณะที่เหลือบริเวณนอกสนามอีก 9 เซนติเมตรจากทางด้านหนึ่ง ดังรูป [\(เฉลย\)](#)

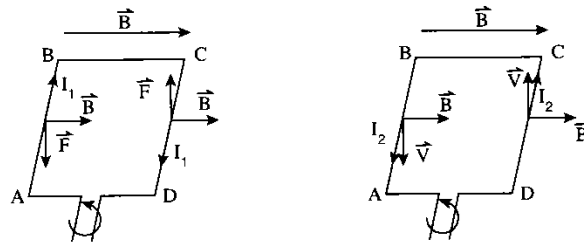


ชิ้นงานสืบเสาะ ขดขวดพันกับแท่งเฟอร์ไรท์ เมื่อเปิดสวิตช์จะทำให้วงแหวนอะลูมิเนียมจะกระเด็นขึ้นจากตำแหน่งเดิม จงสืบเสาะและอธิบายปรากฏดังกล่าว



แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับในมอเตอร์กระแสตรง

ให้กระแสไฟฟ้า I_1 ผ่านในขดลวดที่วางในสนามแม่เหล็ก ขดลวดหมุนดังรูป ก.



ก. แสดงการทำงานของมอเตอร์

ข. แสดงการเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เมื่อขดลวดหมุนตัดกับสนามแม่เหล็ก จะเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ I_2 ดังรูป ทิศทางของกระแสไฟฟ้าจะตรงข้ามกับกระแสที่ใส่เข้าไป จึงเรียกว่ากระแสไฟฟ้าต้านกลับ เรียกแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นขณะมอเตอร์หมุนนี้ว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ

$$I = \frac{\mathcal{E} - e}{R + r}$$

เมื่อ	$\mathcal{E}$	คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าของแหล่งกำเนิด
	e	คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ
	I	คือ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดลวดทั้งหมด
	R	คือ ความต้านทานของขดลวด
	r	คือ ความต้านทานภายในของแหล่งกำเนิด

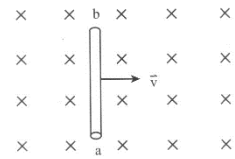
แบบฝึกหัดที่ 6

1. ถ่านไฟฉายมีความต้านทานภายใน 1.0 โอห์ม มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 1.5 โวลต์ ต่อกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งขดลวดไม่มีความต้านทานภายใน ขณะที่มอเตอร์หมุนวัดกระแสไฟฟ้าได้ 0.2 แอมแปร์ จงหา แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้านกลับ (back e.m.f.) ของมอเตอร์ ([เฉลย](#))

1. 1.0 V
2. 1.1 V
3. 1.2 V
4. 1.3 V

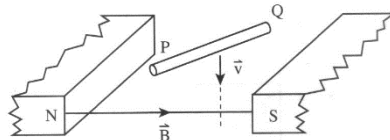
2. ลวดตัวนำเส้นหนึ่งเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอในทิศทางดังรูป ด้วยความเร็วคงที่ ข้อความต่อไปนี้ข้อใดถูกต้องที่สุด (เฉลย)

1. ศักย์ไฟฟ้าที่ปลาย a และปลาย b เท่ากัน
2. ศักย์ไฟฟ้าที่ปลาย a สูงกว่าศักย์ไฟฟ้าที่ปลาย b
3. ศักย์ไฟฟ้าที่ปลาย b สูงกว่าศักย์ไฟฟ้าที่ปลาย a
4. จะมีกระแสไฟฟ้าไหลจาก A ไปยัง b



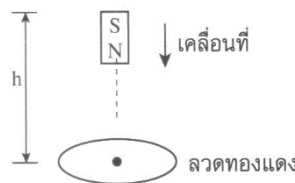
3. แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดระหว่างปลาย PQ ยาว 0.2 เมตร ซึ่งเป็นแท่งอะลูมิเนียมจะเป็นเท่าใดเมื่อ PQ เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2.5 เมตรต่อวินาที ตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กสม่ำเสมอขนาด 0.85 เทสลา ดังรูป (เฉลย)

1. 0.05 โวลต์
2. 1.7 โวลต์
3. 2.13 โวลต์
4. 0.43 โวลต์



4. จากรูป แท่งแม่เหล็ก NS กำลังเคลื่อนเข้าหาหลอดแดงวงกลมจากความสูง h ในขณะที่ N ของแท่งแม่เหล็กเคลื่อนเข้าหาหลอด การไหลของอิเล็กตรอนในหลอดแดงจะเป็นอย่างไร (เฉลย)

1. ลดลง
2. เพิ่มขึ้น
3. คงเดิม
4. ไม่มีการไหลของอิเล็กตรอน

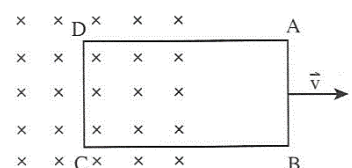


5. จากปัญหาข้อ 4. ทิศทางการไหลของอิเล็กตรอนในหลอดแดงจะเป็นอย่างไรเมื่อมองจากด้านบนลงมา (เฉลย)

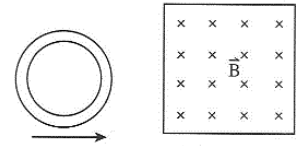
1. ตามเข็มนาฬิกา
2. ทวนเข็มนาฬิกา
3. กลับไปกลับมา
4. ไม่มีการไหลของอิเล็กตรอน

6. จากรูป ขดลวดตัวนำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ABCD กำลังเคลื่อนไปทางขวาด้วยความเร็ว v ตัดกับสนามแม่เหล็กที่พุ่งเข้าตั้งฉากกับกระดาษ กระแสเหนี่ยวนำที่เกิดจะมีทิศตามข้อใด (เฉลย)

1. DCBAD
2. CBDAC
3. BCDAB
4. ADBCA

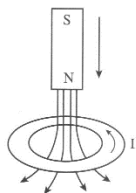


7. เมื่อนำขดลวดตัวนำไฟฟ้าเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กโดยผ่านจากด้านซ้ายไปขวา ดังรูป กระแสไฟฟ้าในขดลวดจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร (เฉลย)

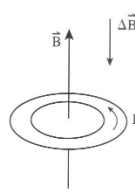


1. เกิดกระแสไฟฟ้าวนตามเข็มนาฬิกาขณะเข้าสู่สนามแม่เหล็ก และกระแสนวนเข็มนาฬิกาขณะออกจากสนามแม่เหล็ก
2. เกิดกระแสไฟฟ้าวนทวนเข็มนาฬิกาขณะเข้าสู่สนามแม่เหล็ก และกระแสตามเข็มนาฬิกาขณะออกจากสนามแม่เหล็ก
3. เกิดกระแสวนตามเข็มนาฬิกาตั้งแต่เข้าสู่สนามแม่เหล็กจนพ้นจากสนามแม่เหล็ก
4. เกิดกระแสวนทวนเข็มนาฬิกาตั้งแต่เข้าสู่สนามแม่เหล็กจนพ้นจากสนามแม่เหล็ก

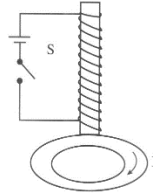
8. กระแสเหนี่ยวนำในขดลวดเกิดขึ้นได้เมื่อสนามแม่เหล็กผ่านในขดลวดมีการเปลี่ยนแปลง รูปใดแสดงทิศของกระแสเหนี่ยวนำ I ได้ถูกต้อง (เฉลย)



ก. เคลื่อนที่ขั้วเหนือของแม่เหล็กเข้าหาขดลวด



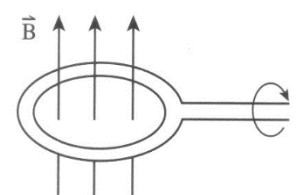
ข. สนามแม่เหล็กมีค่าลดลง



ค. ขณะสับสวิตช์ S

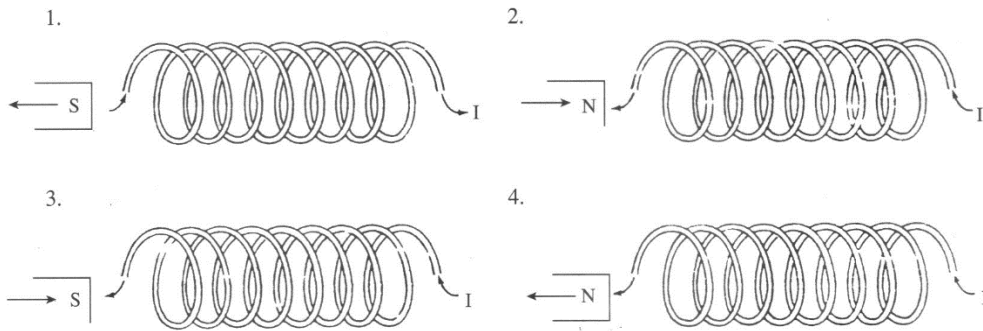
1. ก ข และ ค
2. ก และ ข
3. ค. เท่านั้น
4. คำตอบเป็นอย่างอื่น

9. ขดลวดขดหนึ่งประกอบด้วยลวด 500 รอบ มีภาคตัดขวาง 4 ตารางเซนติเมตร วางอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กขนาดสม่ำเสมอ 0.6 เทสลา และมีทิศทางตั้งฉากกับภาคตัดขวางของขดลวด ค่าการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านทุกรอบของขดลวดเมื่อบิดขดลวดไป 90° ตามทิศทางลูกศรในรูป เป็นเท่าใด (เฉลย)

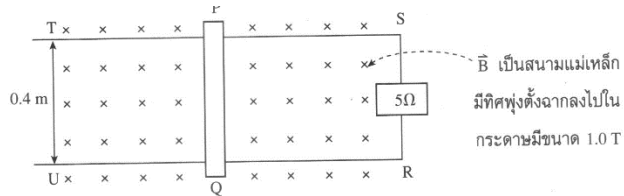


1. $+2.4 \times 10^{-4}$ Wb
2. +0.12 Wb
3. -2.4×10^{-4} Wb
4. -0.12 Wb

10. ถ้า $\rightarrow$ และ $\leftarrow$ แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กและทิศทางการไหลของกระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวด N และ S แทนขั้วเหนือและใต้ของแท่งแม่เหล็ก รูปที่ตรงกับความเป็นจริงคือข้อใด ([เฉลย](#))



11. PQ เป็นตัวนำวางอยู่บนรางโลหะ TS และ UR โดย PQ เคลื่อนที่ไปทางซ้ายด้วยความเร็ว 8 เมตรต่อวินาที ระหว่าง S และ R มีความต้านทานต่ออยู่ 5 โอห์ม แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในตัว PQ มีค่า เท่าใดในหน่วยของโวลต์ ([เฉลย](#))



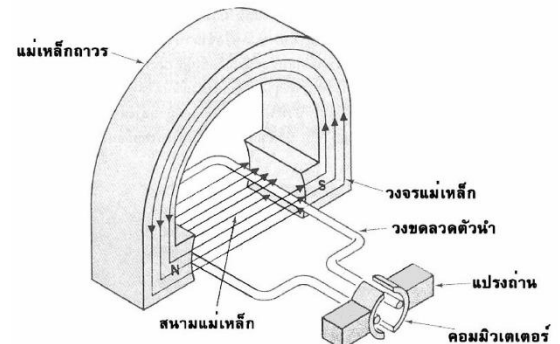
1. 1.8
2. 3.2
3. 17.5
4. 40.0

ความรู้เพิ่มเติม

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

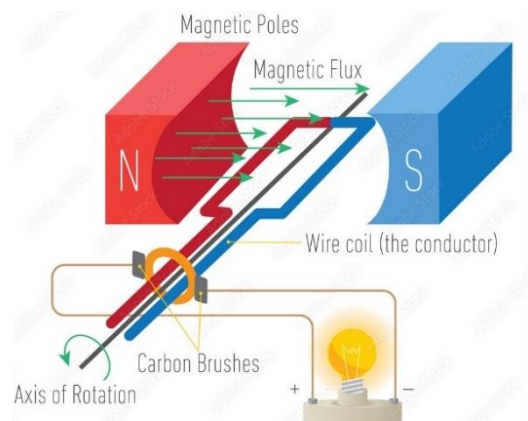
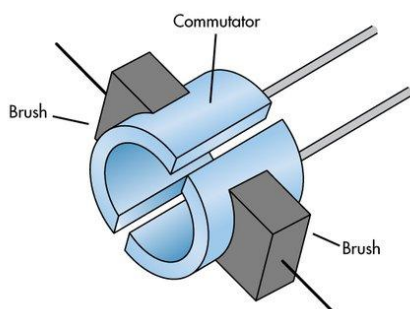
พื้นฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะผลิตไฟฟ้าออกมาโดยการหมุนของกลุ่มขดลวดตัวนำที่เคลื่อนที่ผ่านไปในสนามแม่เหล็ก ดังนั้นพลังงานที่ต้องจ่ายให้กับเครื่องกำเนิดจึงเป็นพลังงานกลที่ต้องการเพื่อที่จะนำไปใช้ในการหมุนขดลวดตัวนำ พลังงานกลนี้สามารถได้มาจากหลายทางด้วยกัน เช่น เครื่องยนต์ดีเซล เครื่องกังหันไอน้ำ มอเตอร์ไฟฟ้า การไหลของน้ำ เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ฯลฯ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น (the basic dc generator) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ แม่เหล็กถาวร ขดลวดตัวนำ คอมมิวเตเตอร์ แปรงถ่าน



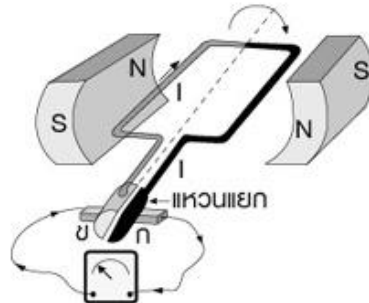
หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator)

1. การเคลื่อนที่ของขดลวดในสนามแม่เหล็ก: เมื่อขดลวดตัวนำนั้นเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตามกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law of Electromagnetic Induction) ซึ่งหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า
2. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator): ส่วนนี้ทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสสลับที่เกิดขึ้นในขดลวดให้กลายเป็นกระแสตรง (DC) โดยการหมุนเปลี่ยนทิศทางการเสไฟฟ้า

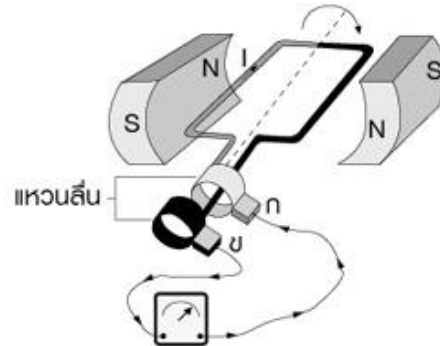


3. แปรงถ่าน (Brushes): เป็นตัวเชื่อมต่อไฟฟ้าจากคอมมิวเตเตอร์ไปยังภายนอกเครื่องกำเนิด ทำให้กระแสไฟฟ้ากระแสตรงนั้นสามารถถูกใช้ได้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอก
4. สนามแม่เหล็ก: สามารถใช้ได้ทั้งแม่เหล็กถาวรและแม่เหล็กไฟฟ้าในการสร้างสนามแม่เหล็ก ส่วนนี้จะสร้างสนามแม่เหล็กคงที่เพื่อให้ขดลวดผ่าน

กระแสไฟฟ้าจากกรณีที่เราแปรงสัมผัสต่อกับวงแหวนผ่าซีกมีทิศทางเดียว เรียกกระแสไฟฟ้านี้ว่า กระแสตรง (Direct Current : DC) แต่สำหรับกระแสไฟฟ้ากรณีที่เราแปรงสัมผัสต่อกับวงแหวนแยก จะมีทิศทางสลับไปมา เรียกกระแสไฟฟ้านี้ว่า กระแสสลับ (Alternating Current : AC)



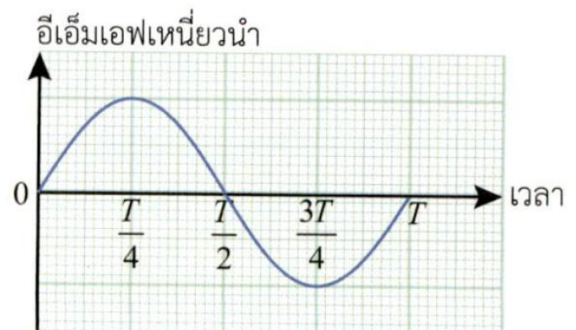
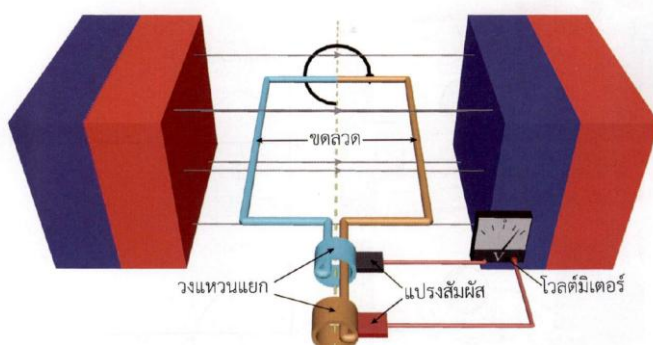
รูปแสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง



รูปแสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสลับ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

พิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ประกอบด้วยขดลวดหมุนได้คล่องอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก ปลายขดลวดแต่ละด้านต่อกับวงแหวนแยกที่หมุนไปพร้อมกับขดลวด และแต่ละอยู่กับแปรงสัมผัสอันเดิมตลอดเวลา ซึ่งต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอก เช่น โวลต์มิเตอร์ เมื่อขดลวดหมุนด้วยอัตราเร็วเชิงมุม ω คงตัว ครบหนึ่งรอบโดยใช้เวลา T อีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นสามารถเขียนได้ดังกราฟ



กราฟการเปลี่ยนแปลงของอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำจะอยู่ในรูปของฟังก์ชันแบบไซน์สามารถเขียนสมการอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับขณะเวลา t ใด ๆ ได้ดังนี้

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \sin \omega t$$

เมื่อ $\varepsilon(t)$ เป็นอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำขณะเวลา t ใด ๆ

ε_0 เป็นอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำสูงสุด

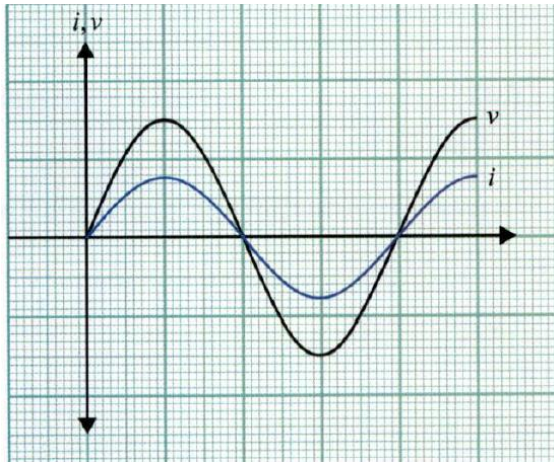
ω เป็นความถี่เชิงมุม (เท่ากับอัตราเร็วเชิงมุมของการหมุนขดลวด)

การประยุกต์ใช้หลักการอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำ

- [แบล็กส์ตแบบขดลวดของหลอดฟลูออเรสเซนต์](#)
- [มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ](#)
- [กีตาร์ไฟฟ้า](#)
- [เตาแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำ](#)

7. ไฟฟ้ากระแสสลับ

7.1 ค่าอาร์เอ็มเอสของความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าของไฟฟ้ากระแสสลับ



ไฟฟ้ากระแสสลับ คือ เหตุการณ์ที่แหล่งกำเนิดไฟฟ้าให้ค่าอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำ $\mathcal{E}$ ไม่คงที่มีค่าแปรผันตามเวลาแบบฟังก์ชัน sin คือ $\mathcal{E}_{(t)} = \mathcal{E}_m \sin \omega t$

เมื่อ $\mathcal{E}_m$ คือ ค่าสูงสุดของค่าอีเอ็มเอฟ

ω คือ อัตราเร็วเชิงมุม

t คือ เวลาที่เปลี่ยนไป

ทำให้ค่ากระแสไฟฟ้า (i) และความต่างศักย์ (v) ในวงจรแปร

ผันตามเวลาแบบเดียวกันคือ

$$i =$$

$$v =$$

เนื่องจากปริมาณไฟสลับเป็นค่าไม่คงที่ จึงต้องหาค่าที่จะใช้เป็นตัวแทน ซึ่งหาโดยวิธียกกำลังสองก่อนแล้วหาค่าเฉลี่ยแล้วจึงถอดรากที่สอง เรียกว่า ค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย (root mean square หรือค่า rms ของปริมาณนั้น) ซึ่งค่าตัวแทนนี้จะเป็ค่าที่จะวัดได้เมื่อใช้มิเตอร์วัดจึงเรียกชื่อว่า ค่ามิเตอร์ และเมื่อใช้คำนวณกำลังไฟฟ้า(เฉลี่ย) ก็จะต้องใช้ค่านี้คำนวณจึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ค่ายังผล

$$\text{ค่า rms} = \text{ค่ามิเตอร์} = \text{ค่ายังผล} = \frac{\text{ค่าสูงสุดของปริมาณนั้น}}{\sqrt{2}}$$

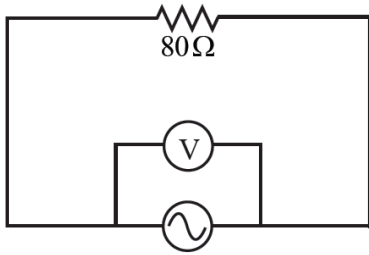
ตัวอย่าง 1. ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีกระแสไฟฟ้า i และเวลา ตามสมการ $i = 2 \sin \pi t$ จงหา

ก. กระแสไฟฟ้าสูงสุด

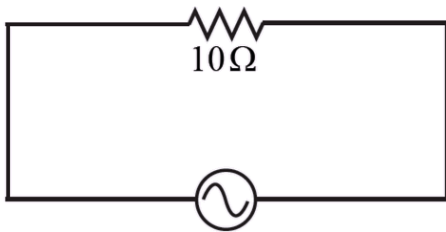
ข. ความถี่

ค. กระแสไฟฟ้ายังผล

ตัวอย่าง 2. ตัวต้านทานที่มีความต้านทาน $80\ \Omega$ ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับโดยมีโวลต์มิเตอร์อยู่ในวงจรดังรูป ถ้ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ผ่านความต้านทาน $50\ \Omega$ มีค่า 0.8 แอมแปร์ โวลต์มิเตอร์ V อ่านค่าได้เท่าใด



ตัวอย่าง 3 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีตัวต้านทานที่มีความต้านทาน $10\ \Omega$ ต่ออยู่ในวงจรดังรูป



ถ้ากระแสไฟฟ้าในวงจรเป็นไปตามสมการ $i = 2\sin(100\pi t)$ จงหา

ก. ความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟฟ้า

ข. สมการความต่างศักย์ที่เป็นฟังก์ชันกับเวลา

ตัวอย่าง 4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ต่ออยู่กับตัวต้านทานตัวหนึ่ง จงหา

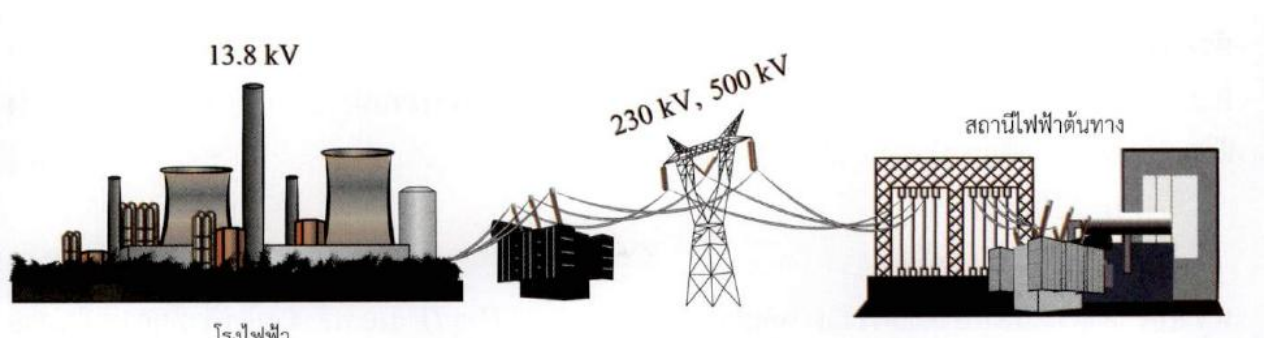
ก. ความต่างศักย์สูงสุดระหว่างปลายของตัวต้านทานนี้ เมื่อวัดความต่างศักย์ได้ 45 โวลต์

ข. กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ผ่านตัวต้านทาน เมื่อวัดกระแสไฟฟ้าได้ 2.5 แอมแปร์

การผลิตและการส่งไฟฟ้ากระแสสลับ

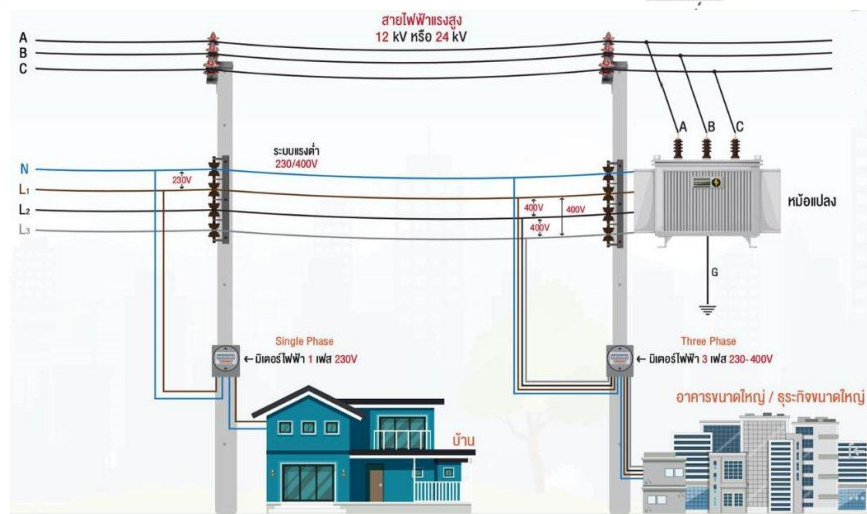
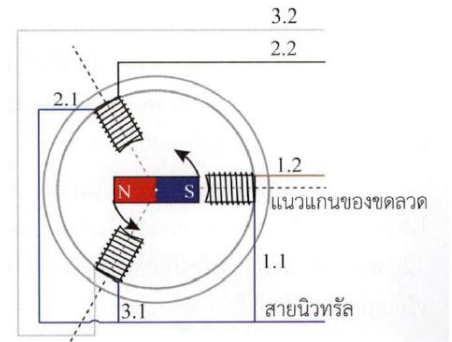
การผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ

การผลิตไฟฟ้ากระแสสลับโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นเป็นการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า ด้วยการทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กที่ตัดผ่านขดลวดมีการเปลี่ยนแปลง เพื่อทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับสามารถทำได้ทั้งการหมุนขดลวดตัดผ่านฟลักซ์แม่เหล็ก และการหมุนแท่งแม่เหล็กเพื่อให้ฟลักซ์แม่เหล็กตัดผ่านขดลวด



การผลิตไฟฟ้ากระแสสลับด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขดลวด 1 ชุด ไฟฟ้ากระแสสลับที่ผลิตได้จะถูกส่งจากเครื่องกำเนิดด้วยสายส่ง 2 เส้น เรียกระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส แต่โรงไฟฟ้าจะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขดลวด 3 ชุด ในการหมุนแม่เหล็กแต่ละรอบทำให้สามารถผลิตไฟฟ้ากระแสสลับออกมาทั้ง 3 ชุด เรียกว่าระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้งานตามโรงไฟฟ้าจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟสมีขดลวดตัวนำอยู่ 3 ชุด โดยแนวแกนของขดลวดแต่ละชุดทำมุม 120 องศาซึ่งกันและกัน



แผนภาพระบบไฟฟ้า

การสูญเสียกำลังไฟฟ้าในสายไฟฟ้า

เนื่องจากสายไฟฟ้ามีความต้านทาน R ดังนั้น กระแสไฟฟ้า I ที่ผ่านสายไฟฟ้าจะทำให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้า P_{loss} ที่ความต้านทานในสายไฟฟ้าในรูปความร้อน ตามสมการ

$$P_{loss} = I^2 R$$

จะเห็นได้ว่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้ากับความต้านทานในสายไฟฟ้าขึ้นกับกระแสไฟฟ้าที่ผ่านสายไฟฟ้า ดังนั้นถ้าต้องการให้สูญเสียกำลังไฟฟ้าในสายไฟฟ้าน้อย จะต้องให้กระแสไฟฟ้าที่ผ่านสายไฟฟ้ามีค่าน้อย ๆ จึงต้องใช้ความต่างศักย์สูง ดังสมการ

$$P = VI$$

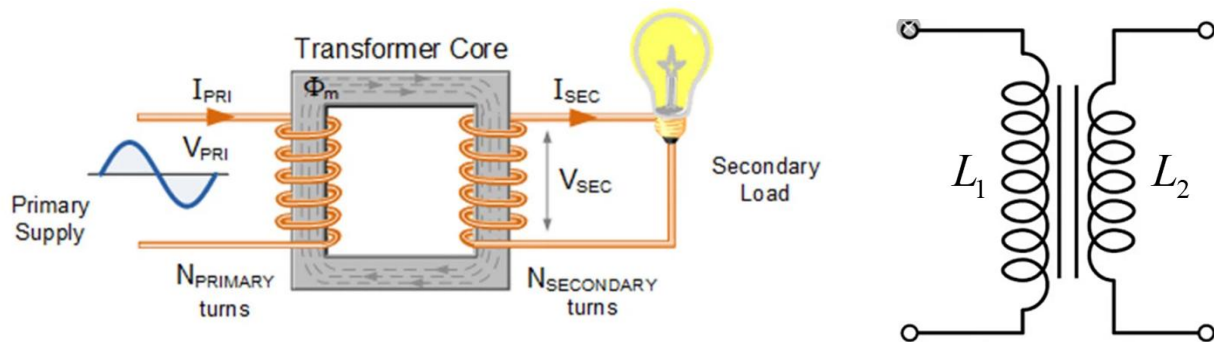
ตัวอย่าง การส่งกำลังไฟฟ้า 88 กิโลวัตต์ จากต้นทาง ถ้ากำหนดให้สายไฟฟ้าที่ใช้ส่งมีความต้านทาน 0.25 โอห์ม หากส่งกำลังไฟฟ้าจำนวนนี้เป็นเวลา 10 วินาที จงหาพลังงานที่สูญเสียไปในสายไฟฟ้า เมื่อส่งด้วยความต่างศักย์ต่อไปนี้

ก. 220 โวลต์

ข. 22 000 โวลต์

8. หม้อแปลง (Transformer)

หม้อแปลงไฟฟ้า คือ เครื่องมือที่ใช้เพิ่มหรือลดความต่างศักย์กระแสสลับให้สูงขึ้นหรือต่ำลงโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้าระหว่างขดลวด ขดลวดที่ต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ เรียกว่าขดลวดปฐมภูมิ (Primary Coil) ส่วนขดลวดอีกด้านเรียกว่า ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Coil)

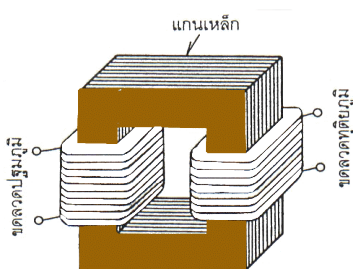


หม้อแปลงมี 2 ชนิด คือ

1. หม้อแปลงขึ้น (Step - up Transformers) จะมีขดลวดปฐมภูมิน้อยกว่าขดลวดทุติยภูมิ ทำให้ V, E เพิ่มขึ้น
2. หม้อแปลงลง (Step - down Transformers) จะมีขดลวดปฐมภูมิมากกว่าขดลวดทุติยภูมิ ทำให้ V, E ลดลง

ส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็กจะมีส่วนประกอบหลักอยู่ 3 ประการ คือ แกนเหล็ก ขดลวด ตัวนำ และฉนวน



1. แกนเหล็ก (Core) แกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กบางๆ เพื่อลดปริมาณของกระแสไหลวน (Eddy Current) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า ถ้าแผ่นเหล็กแต่ละแผ่นเหล็กมีความหนามากก็จะทำให้มีกระแสไหลวนมีค่าสูง ซึ่งจะมีผลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า เพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็กมากขึ้น

2. ขดลวด (Coil or Winding) โดยทั่วไปแล้วหม้อแปลงไฟฟ้าจะประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด ขดลวดด้านที่รับพลังงานเข้ามามีตัวนำ เรียกว่า ขดลวดปฐมภูมิ (Primary winding) และขดลวดที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าออกไปยังโหลดเรียกว่าขดลวดทุติยภูมิ (Secondary winding) ซึ่งขดลวดตัวนำที่นำมาพันในหม้อแปลงไฟฟ้านั้นจะเป็นลวดตัวนำหุ้มฉนวน

3. ฉนวน (Insulator) ฉนวนที่ใช้ในหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็กนั้นจะประกอบด้วยฉนวนที่ใช้สำหรับคั่นระหว่างแกนเหล็กกับขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า

หลักการงานของหม้อแปลง

เมื่อเราจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับให้กับขดปฐมภูมิ ก็จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงไป-มา โดยเส้นแรงแม่เหล็กดังกล่าวก็จะวิ่งไป-มา ตามแกน และไปตัดกับขดทุติยภูมิ ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดทุติยภูมิที่ต่อกับโหลด (Load) โดยแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น จะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กและจำนวนรอบของขดลวด

ถ้าหม้อแปลงไม่มีการสูญเสียพลังงาน จะได้

พลังงานไฟฟ้าของขดลวดปฐมภูมิ = พลังงานไฟฟ้าของขดลวดทุติยภูมิ

$$W_1 = W_2$$

$$V_1 I_1(t) = V_2 I_2(t)$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

โดยที่ อีเอ็มเอฟในหม้อแปลงจะสัมพันธ์กับจำนวนรอบของลวด ($\mathcal{E} \propto N$)

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

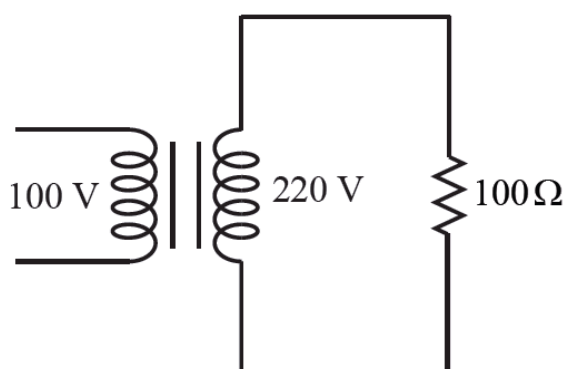
เมื่อ $\mathcal{E}_1$ แทน อีเอ็มเอฟ (ความต่างศักย์, V_1) ในขดลวดปฐมภูมิ

$\mathcal{E}_2$ แทน อีเอ็มเอฟ (ความต่างศักย์, V_2) ในขดลวดทุติยภูมิ

N_1 แทน จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ N_2 แทน จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

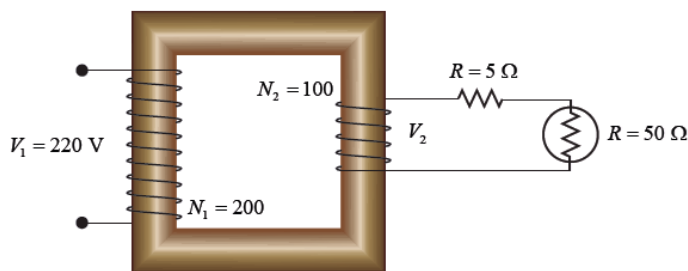
I_1 แทน กระแสไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิ I_2 แทน กระแสไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิ

ตัวอย่าง วงจรหม้อแปลงอุดมคติ (ไม่คำนึงถึงการสูญเสียพลังงาน) ต่อกับตัวต้านทาน ดังรูป ถ้าต่อฟิวส์ที่ขดลวดปฐมภูมิจะต้องมีขนาดที่เหมาะสมกี่แอมแปร์



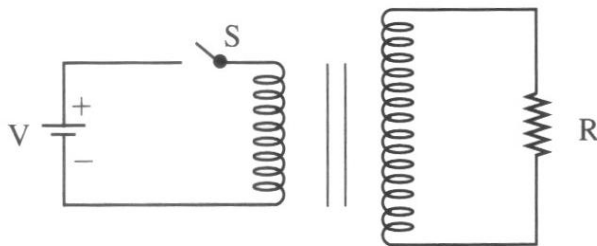
ตัวอย่าง หม้อแปลงเครื่องหนึ่งมีขดลวดปฐมภูมิ 200 รอบ ขดลวดทุติยภูมิ 50 รอบ ต่อกับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ ความต่างศักย์ 220 โวลต์ ถ้าเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต่อกับขดลวดทุติยภูมิมีกำลังไฟฟ้า 100 วัตต์ เครื่องใช้ไฟฟ้ามีความต้านทานเท่าใด ทั้งนี้ให้ถือว่าไม่มีการสูญเสียพลังงานใน หม้อแปลง (ตอบ 30.25 โอห์ม)

ตัวอย่าง หม้อตุ๋นไฟฟ้าหม้อหนึ่งมีความต้านทาน 50 โอห์ม ไม่สามารถใช้กับไฟบ้าน 220 โวลต์ ได้โดยตรงต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแปลงลง ถ้าหม้อแปลงที่ใช้มีความต้านทานของขดลวดปฐมภูมิน้อยมาก แต่ความต้านทานของขดลวดทุติยภูมิเป็น 5 โอห์ม จำนวนขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิเป็น 200 และ 100 รอบ ตามลำดับ กำลังไฟฟ้าของหม้อตุ๋นจะมีค่าเท่าไร (ตอบ 200 วัตต์)



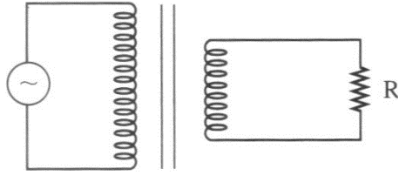
แบบฝึกหัดที่ 7

- ข้อใดต่อไปนี้ไม่ถูกต้อง (เฉลย)
 - หม้อแปลงไฟฟ้าสามารถแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าให้สูงขึ้นหรือต่ำลงก็ได้
 - หม้อแปลงไฟฟ้าอาศัยหลักการเดียวกันกับไดนาโม
 - หม้อแปลงไฟฟ้าสามารถใช้กับไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าคงที่ได้
 - หม้อแปลงไฟฟ้ามีกระแสไหลวน (eddy current) เกี่ยวข้อง
- ข้อใดเป็นสาเหตุของการสูญเสียพลังงานของหม้อแปลงไฟฟ้า (เฉลย)
 - ความต้านทานของลวดทองแดง
 - กระแสไฟฟ้า
 - ความต่างศักย์ไฟฟ้า
 - ความจุไฟฟ้า
- ต่อวงจรดังรูป เมื่อปิดสวิตช์ S ให้กระแสผ่านวงจรได้จะมีกระแสผ่านตัวต้านทาน R หรือไม่ (เฉลย)



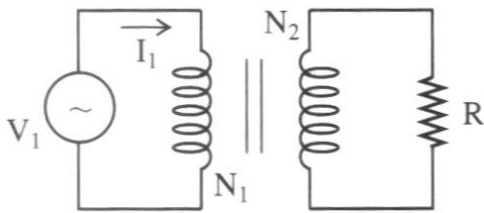
- มีกระแสผ่านตัวต้านทาน R ตลอดเวลา เพราะมีการเหนี่ยวนำเกิดขึ้นตลอดเวลา
 - มีกระแสผ่านตัวต้านทาน R ในช่วงเวลาสั้นๆ หลังจากเปิดสวิตช์หรือปิดสวิตช์
 - ไม่มีกระแสผ่านตัวต้านทาน R เลย เพราะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง
 - มีกระแสผ่านตัวต้านทาน R ตลอดแต่มีค่าน้อยมาก เพราะมีกระแสรั่วไหลได้บ้าง
4. หม้อแปลงมีแกนเหล็กเพื่อให้ฟลักซ์แม่เหล็กผ่านจากขดลวดปฐมภูมิไปยังขดลวดทุติยภูมิ จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้ (เฉลย)
- แกนเหล็กมีสมบัติเป็นเหล็กอ่อน
 - แกนเหล็กมีสมบัติเป็นสารแม่เหล็กถาวร
 - หม้อแปลงที่มีประสิทธิภาพดี ต้องมีกระแสวนในแกนเหล็กมาก
 - หม้อแปลงที่มีประสิทธิภาพดี ต้องมีกระแสวนในแกนเหล็กน้อย
- ข้อความที่ถูกต้องคือข้อใด
- ก และ ค
 - ข และ ง
 - ข และ ค
 - ก และ ง

5. จากรูป เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งขดลวดปฐมภูมิมี 1,200 รอบ ต่อกับไฟฟ้ากระแสสลับ 240 โวลต์ ขดลวดทุติยภูมิมี 60 รอบ ต่อกับความต้านทาน R ขนาด 3 โอห์ม จงคำนวณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R [\(เฉลย\)](#)



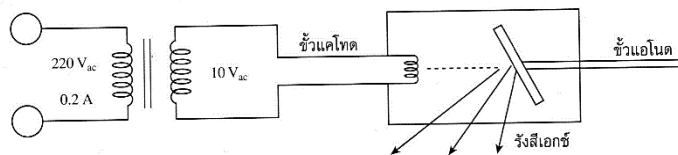
1. 2 A
2. 4 A
3. 6 A
4. 8 A

6. จากรูป วงจรหม้อแปลงไฟฟ้า อยากทราบว่า I มีค่าเท่าไร [\(เฉลย\)](#)



1. $\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \frac{V_1}{R}$
2. $\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \frac{V_1}{R}$
3. $\frac{N_2 V_1}{N_1 R}$
4. $\frac{N_1 V_1}{N_2 R}$

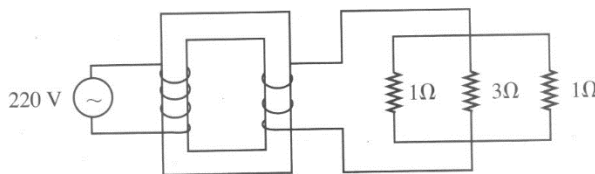
7. พิจารณาวจรหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้จุดไส้หลอดรังสีเอกซ์ [\(เฉลย\)](#)



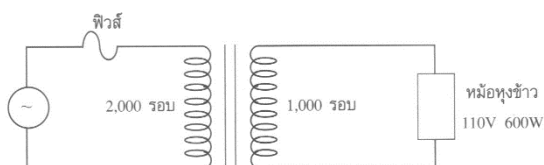
กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไส้หลอดรังสีเอกซ์มีค่าเท่าใด

1. 9 mA
2. 0.44 A
3. 4.4 A
4. 22 A

8. จากปัญหาข้อ 7 ถ้ามีการสูญเสียพลังงานในหม้อแปลงไฟฟ้าในอัตรา 8.8 วัตต์ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดรังสีเอกซ์จะเป็นเท่าใด [\(เฉลย\)](#)
1. 0.352 A
 2. 0.44 A
 3. 3.52 A
 4. 4.4 A
9. หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแปลงลง ขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิมีจำนวนรอบเท่ากับ 100 รอบ และ 2,000 รอบ ตามลำดับ พบว่าหม้อแปลงนี้มีการสูญเสียพลังงาน 20 เปอร์เซ็นต์ ถ้ากระแสไฟฟ้าทางดำนปฐมภูมิมีค่า 2 แอมแปร์ ถาว่ากระแสไฟฟ้าทางดำนทุติยภูมิจะเป็นเท่าไร [\(เฉลย\)](#)
1. 0.02 A
 2. 0.04 A
 3. 0.06 A
 4. 0.08 A
10. จำนวนขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงมี 550 รอบ ทุติยภูมิ 30 รอบ กระแสที่ผ่านความต้านทาน 3 โอห์ม (ดังรูป) มีกี่แอมแปร์ [\(เฉลย\)](#)



1. 1
 2. 2
 3. 3
 4. 4
11. หม้อแปลงอุดมคติตัวหนึ่งมีจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิเป็น 2,000 รอบ และจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิเป็น 1,000 รอบ เมื่อนำมาใช้ในวงจรดังรูป ขนาดของฟิวส์ที่นำมาใช้จะต้องมีค่าน้อยที่สุดเท่าไร [\(เฉลย\)](#)

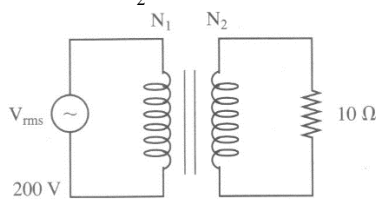


1. 2 A
2. 3 A
3. 5 A
4. 11 A

12. หม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งใช้ไฟฟ้า 110 โวลต์ มีขดลวดปฐมภูมิ 80 รอบ ถ้าต้องการให้หม้อแปลงนี้สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ 2,200 โวลต์ ขดลวดทุติยภูมิต้องมีจำนวนรอบเท่าไร [\(เฉลย\)](#)

1. 8,000 รอบ
2. 1,600 รอบ
3. 2,400 รอบ
4. 3,200 รอบ

13. จากรูป ถ้า $\frac{N_1}{N_2} = 10$ จงหาค่าของกระแสไฟฟ้า I ในวงจรปฐมภูมิ [\(เฉลย\)](#)



1. 0.20 A
2. 0.25 A
3. 0.30 A
4. 0.35 A

14. หม้อแปลงอันหนึ่งเมื่อมีความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ 220 โวลต์ 0.25 แอมแปร์ ความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิจะเท่ากับ 12 โวลต์ 4.0 แอมแปร์ ตามลำดับ ถ้าวัดว่าเมื่อเริ่มใช้หม้อแปลงนี้ไป 1 นาที จะมีความร้อนเกิดขึ้นจากหม้อแปลงนี้เท่าใด (กำหนด ให้ความต่างเฟสของความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ทั้งทางด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ) [\(เฉลย\)](#)

1. 360 J
2. 420 J
3. 550 J
4. 720 J

Take home ท้ายบท

1. อนุภาคประจุบวก $+3.0 \times 10^{-19}$ คูโลมบ์ ถูกยิงเข้าไปในเครื่องคัดเลือกความเร็วที่มีสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอขนาด 0.4 เทสลา ด้วยความเร็ว 2.0×10^6 เมตรต่อวินาที ในทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออนุภาคนี้นี้มีขนาดกี่นิวตัน

1. 1.2×10^{-13} N
2. 2.4×10^{-13} N
3. 1.2×10^{-12} N
4. 2.4×10^{-12} N
5. 6.0×10^{-13} N

2. อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 8.0×10^5 เมตรต่อวินาที ในทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอหากวัดแรงแม่เหล็กที่กระทำได้เท่ากับ 6.4×10^{-14} นิวตัน สนามแม่เหล็กนี้มีขนาดกี่เทสลา

1. 0.2T
2. 0.4T
3. 0.5T
4. 0.8T
5. 1.2T

3. อนุภาคชนิดหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 4.0×10^6 เมตรต่อวินาที ตัดตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กขนาด 2.0 เทสลา เกิดแรงกระทำขนาด 1.28×10^{-12} นิวตัน อนุภาคนี้อ่อนุภาคใด

1. นิวตรอน
2. โพซิตรอน ($1.6 \times 10^{-19}\text{C}$)
3. อนุภาคแอลฟา ($3.2 \times 10^{-19}\text{C}$)
4. ไอออน Li^{3+} ($4.8 \times 10^{-19}\text{C}$)
5. อนุภาคที่ไม่มีประจุ

4. อิเล็กตรอนถูกเร่งจากหยุดนิ่งผ่านความต่างศักย์ $V = 450$ โวลต์ ก่อนพุ่งเข้าสู่สนามแม่เหล็กสม่ำเสมอขนาด 2.0×10^{-2} เทสลา ในทิศตั้งฉาก แรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออิเล็กตรอนมีค่าประมาณเท่าใด

(กำหนด $m_e = 9 \times 10^{-31}$ kg , $q = 1.6 \times 10^{-19}$ C)

1. 1.6×10^{-14} N
2. 3.2×10^{-14} N
3. 4.1×10^{-14} N
4. 1.6×10^{-13} N
5. 4.1×10^{-13} N

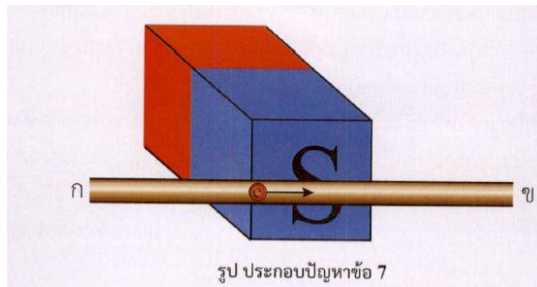
5. อนุภาคแอลฟา ($m = 6.4 \times 10^{-27}$ kg, $q = 3.2 \times 10^{-19}$ C) เคลื่อนที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก 2.0 เทสลา ด้วยความเร็ว 1.0×10^6 เมตรต่อวินาที รัศมีวงโคจรของอนุภาคแอลฟาเป็นเท่าใด

1. 1.0 cm
2. 2.0 cm
3. 10.0 cm
4. 20.0 cm
5. 32.0 cm

6. ในการทดลองวัดมวลด้วยแมสสเปกโตรมิเตอร์ ดิวเทอรอน 2_1H ถูกเร่งจนมีความเร็ว 2.0×10^6 เมตรต่อวินาที เข้าสู่สนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ แล้วเคลื่อนที่เป็นส่วนโค้งวงกลมรัศมี 20 เซนติเมตร สนามแม่เหล็กที่ใช้มีขนาดเท่าใด

1. 0.16 T
2. 0.32 T
3. 0.64 T
4. 1.60 T
5. 3.20 T

7. พิจารณารูปภาพ ลวดตัวนำทองแดง กข วางพาดผ่านหน้าแท่งแม่เหล็ก โดยหันขั้วใต้ (S) เข้าหาลวดตัวนำ หากมีการจ่ายประจุให้เกิด กระแสอิเล็กตรอน ไหลผ่านลวดในทิศทางจาก ก ไป ข ดังแสดงในรูป



ข้อใดอธิบาย ทิศทางของสนามแม่เหล็ก บริเวณที่ลวดวางอยู่ และ ทิศทางของแรงแม่เหล็ก ที่กระทำต่อลวด เส้นนี้ได้ถูกต้อง

1. สนามแม่เหล็กมีทิศพุ่งออกจากขั้ว S และ แรงแม่เหล็กมีทิศพุ่งขึ้นด้านบน
2. สนามแม่เหล็กมีทิศพุ่งออกจากขั้ว S และ แรงแม่เหล็กมีทิศพุ่งลงด้านล่าง
3. สนามแม่เหล็กมีทิศพุ่งเข้าหาขั้ว S และ แรงแม่เหล็กมีทิศพุ่งขึ้นด้านบน
4. สนามแม่เหล็กมีทิศพุ่งเข้าหาขั้ว S และ แรงแม่เหล็กมีทิศพุ่งลงด้านล่าง
5. สนามแม่เหล็กมีทิศพุ่งเข้าหาขั้ว S แต่ไม่มีแรงกระทำ เนื่องจากทองแดงไม่ใช่สารแม่เหล็ก