

บทที่ 2 สนามของแรง

2.1 สนามแม่เหล็ก (Magnetic Field, $\vec{B}$)

2.1.1 แม่เหล็ก (Magnet)

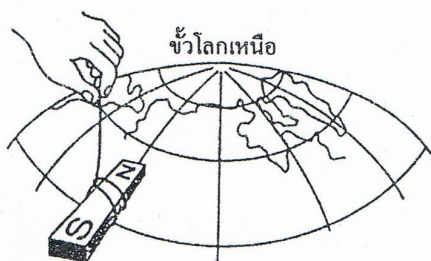
คือ สารที่สามารถดูดและผลักกันเองได้ และสามารถดูดสารแม่เหล็กได้
แรงที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วแม่เหล็กจะเป็นแรงกิริยา ปฏิกริยา คือ มีขนาดเท่ากันแต่มีทิศตรงข้ามกัน

แรงระหว่างขั้วเหนือกับขั้วเหนือ จะเกิด แรงผลัก

แรงระหว่างขั้วใต้กับขั้วใต้ จะเกิด แรงผลัก

แรงระหว่างขั้วใต้กับขั้วเหนือ จะเกิด แรงดูด

เมื่อนำแท่งแม่เหล็กแขวนให้วางตัวอยู่ในแนวระดับและสามารถหมุนได้อย่างอิสระแล้ว ขั้วเหนือของแท่งแม่เหล็กจะชี้ไปทางขั้วโลกเหนือ แสดงว่าที่ขั้วโลกเหนือจะมีสนามแม่เหล็กขั้วใต้ และที่ขั้วโลกใต้จะมีสนามแม่เหล็กขั้วเหนือ



การแบ่งชนิดของแม่เหล็ก

1. แบ่งโดยเอาการกำเนิดเป็นหลัก มีอยู่ 2 ประเภท คือ

1.1 แม่เหล็กธรรมชาติ (Natural Magnet) เป็นแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ
ทางธรณีวิทยาเรียกแร่นี้ว่า Magnetite มีสูตรทางเคมี คือ Fe_3O_4 ไม่ค่อยมีอำนาจเพราะมีอำนาจน้อย

1.2 แม่เหล็กประดิษฐ์ เป็นแม่เหล็กที่ทำขึ้นด้วยวิธีการต่างๆ

2. แบ่งโดยเอาอำนาจที่มีในแม่เหล็กเป็นหลัก มีอยู่ 2 ประเภท คือ

2.1 แม่เหล็กชั่วคราว (Temporary Magnet) มีอำนาจเมื่อมีการบังคับ การบังคับใช้วิธีเหนี่ยวนำ ใช้กระแสไฟฟ้า เหล็กที่ใช้ทำเป็นเหล็กอ่อน

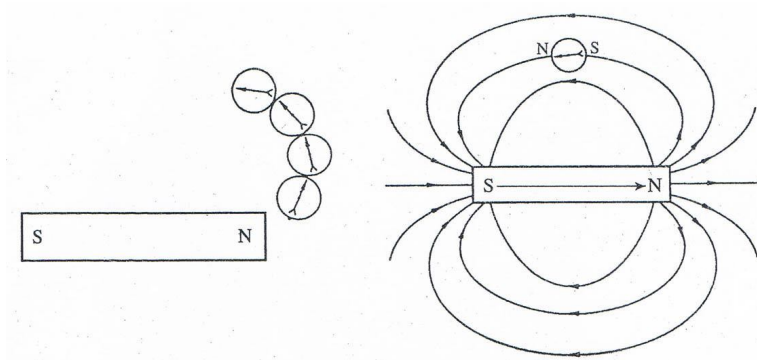
2.2 แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) มีอำนาจอยู่นาน บังคับด้วยวิธีการเดียวกันแต่เหล็กที่ใช้เป็นเหล็กกล้า

สารแม่เหล็ก

คือ สารที่เกิดแรงดูดกับแท่งแม่เหล็กได้ เช่น เหมเหล็ก เหล็ก นิกเกิล โคบอลต์

เส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Line of Force)

คือ เส้นที่แสดงทิศทางของแรงลัพท์ที่แท่งแม่เหล็กทำต่อเข็มทิศหรือผงตะไบเหล็ก หรือเส้นที่แสดงทิศทางของสนามแม่เหล็กลัพท์ที่จุดนั้นน้อย



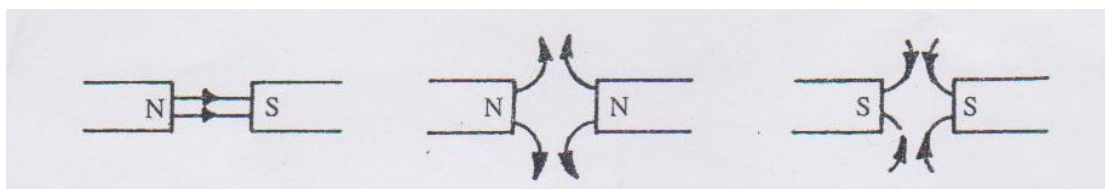
1. เส้นแรงแม่เหล็กรอบๆ แท่งแม่เหล็ก จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง 2 มิติ และพุ่งจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ แต่ภายในแท่งแม่เหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กจะพุ่งจากขั้วใต้ไปขั้วเหนือ
2. เส้นแรงแม่เหล็กโลกบนพื้นที่เล็กๆ จะมีลักษณะเป็นเส้นขนานกันพุ่งไปทางทิศเหนือภูมิศาสตร์
3. เส้นแรงแม่เหล็กไม่ตัดกัน
4. บริเวณใดที่ไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กผ่านบริเวณนี้ จะไม่มีสนามแม่เหล็ก และเรียกจุดนั้นว่า

จุดสะเทิน (Neutural Point)

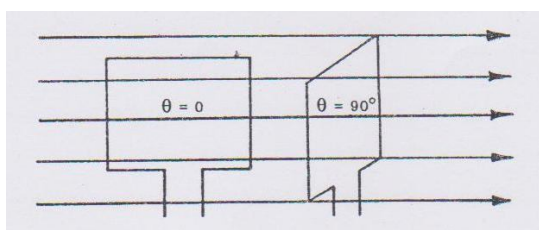
สนามแม่เหล็ก (Magnetic Field , $\vec{B}$)

คือ บริเวณที่แท่งแม่เหล็กส่งแรงไปถึงสารแม่เหล็ก และประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ (ไม่มีผลต่อประจุไฟฟ้าที่อยู่นิ่ง) ตรวจสอบได้ด้วยผงตะไบเหล็ก หรือเข็มทิศ

1. ทิศ สนามแม่เหล็ก พุ่งออกจากขั้วเหนือเข้าหาขั้วใต้



2. ขนาดสนามแม่เหล็ก (B) คือ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กตั้งได้



ให้ B เป็นความเข้มของสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เทสลา(T) หรือ Wb/m^2

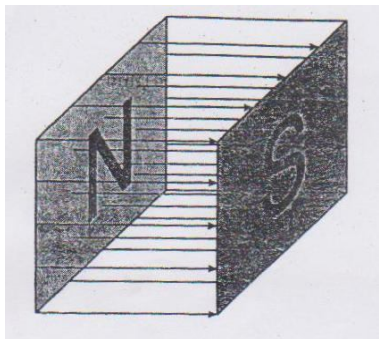
ϕ_B เป็นฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวบเบอร์(Wb)

A เป็นพื้นที่ที่ตั้งฉาก มีหน่วยเป็น ตารางเมตร(m^2)

จากนิยามจะได้ว่า
$$B \sin \theta = \frac{\phi_B}{A}$$

Flux แม่เหล็ก คือ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก ใกล้เคียงแม่เหล็กจะมี Flux แม่เหล็กมาก ห่างจากแม่เหล็กจะมี Flux แม่เหล็กน้อย

3. สนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ



มีเส้นสนามแม่เหล็ก เป็นเส้นตรงขนานกัน มีทิศทางเดียวกัน และมีค่าเท่ากันทุกๆตำแหน่ง สนามแม่เหล็กสม่ำเสมอนำไปใช้ประโยชน์หลายอย่างเช่น การสร้างไฟฟ้า และเครื่องวัดทางไฟฟ้าต่างๆ

แบบฝึกหัด 2.1

1. สนามแม่เหล็กคือ

- บริเวณที่มีแรงกระทำต่อประจุไฟฟ้าที่กำลังเคลื่อนที่ผ่านในบริเวณนั้น ทำให้แนวการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าเบนไปจากเดิม
- จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กตั้งได้ฉากนั้น
- บริเวณที่มีแรงกระทำต่อเข็มทิศที่วางอยู่ในบริเวณนั้น

ง. ถูกทั้งข้อ 1 ข้อ 2 และ ข้อ 3

2. สนามแม่เหล็ก คือ

- บริเวณที่มีแรงกระทำต่อเข็มทิศที่วางอยู่ในบริเวณนั้น
- บริเวณที่มีแรงกระทำต่อประจุไฟฟ้าที่กำลังเคลื่อนที่ผ่านในบริเวณนั้น ทำให้แนวการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าเบนไปจากเดิม
- จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กตั้งได้ฉากนั้น
- ข้อ 1, ข้อ 2, และ ข้อ 3.

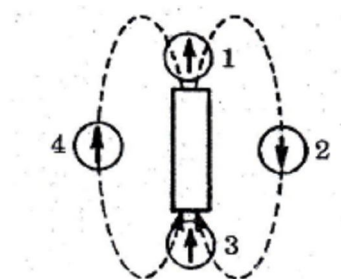
3. เมื่อนำเข็มทิศเล็กๆ มาวางที่ตำแหน่งหมายเลข 1, 2, 3 และ 4 ซึ่งอยู่ใกล้แท่งแม่เหล็ก ดังรูป ปลายเหนือของเข็มทิศควรชี้ตามรูปใด

1. 1, 2 และ 3

2. 1 และ 3

3. 2 และ 4

4. 4 เท่านั้น



4. ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วยพื้นที่ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กผ่านในแนวตั้งฉาก เรียกว่า ปริมาณใด

1. ความเข้มของสนามแม่เหล็ก

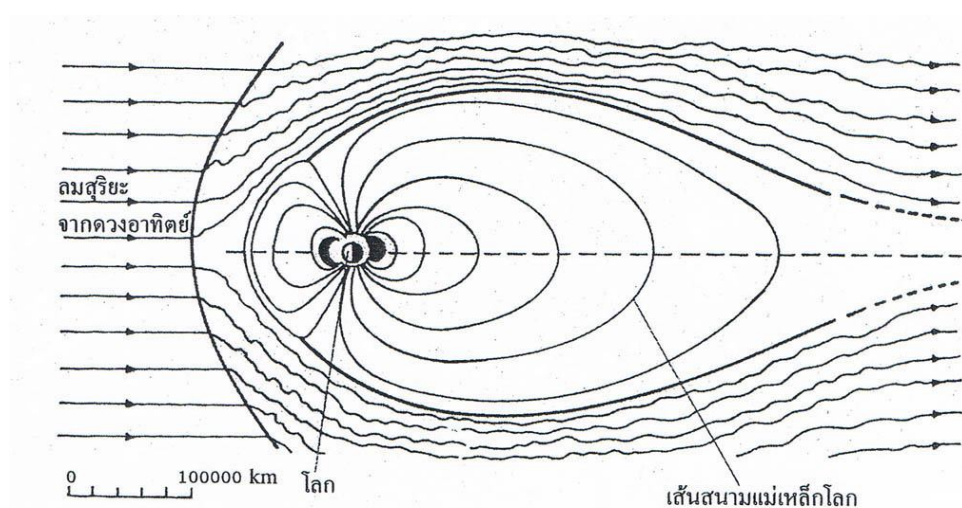
2. ขนาดของเส้นแรงแม่เหล็ก

3. จำนวนฟลักซ์แม่เหล็ก

4. ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก

ประโยชน์ของสนามแม่เหล็ก

คือจะเป็นโล่ป้องกันอันตรายจาก ลมสุริยะ(solar wind) ซึ่งเป็นกระแสนิวเคลียสที่มีประจุส่วนใหญ่เป็นโปรตอนและอิเล็กตรอนที่ถูกขับออกมาจากดวงอาทิตย์ โดยสนามแม่เหล็กโลกจะป้องกันมิให้อนุภาคเหล่านั้นทำลายชั้นบรรยากาศ



จุดสะเทิน (Neutral Point)

จุดสะเทิน เป็นจุดในบริเวณสนามแม่เหล็ก โดยที่ความเข้มเนื่องจากสนามแม่เหล็กต่างๆ เกิดการหักล้างกันจนเป็นศูนย์ และเป็นตำแหน่งที่ไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กผ่าน ถ้านำเข็มทิศไปวางไว้ตรงจุดสะเทินจะไม่มีแรงแม่เหล็กกระทำต่อเข็มทิศ เป็นผลให้เข็มทิศสามารถวางตัวได้อย่างเสรีได้ทุกทิศทาง

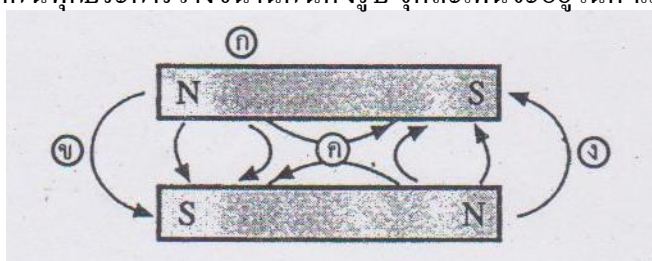
แบบฝึกหัด 2.1.1

1. ข้อความใดแสดงความหมายของ “จุดสะเทิน” ได้ถูกต้องที่สุด

1. ตำแหน่งที่ไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กผ่าน
2. ตำแหน่งที่ไม่มีแรงกระทำต่อเข็มทิศ
3. ตำแหน่งที่มีสนามแม่เหล็กมารวมกันแล้วเป็นศูนย์
4. ตำแหน่งที่เข็มทิศจะวางตัวในแนวใดก็ได้

2. แม่เหล็ก 2 แท่ง ขนาดเท่ากันทุกประการวางขนานกันดังรูป จุดสะเทินจะอยู่ในตำแหน่งใด

1. ก
2. ข
3. ค
4. ง



2.1.2 ผลของสนามแม่เหล็กต่อการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า

การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก

เมื่อประจุ q เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v ผ่านเข้าไปในสนามแม่เหล็ก B ในทิศทำมุม θ กับสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงแม่เหล็กกระทำต่อประจุ ขนาด F ตามสูตร

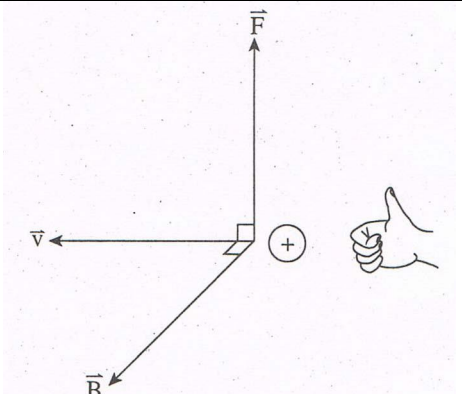
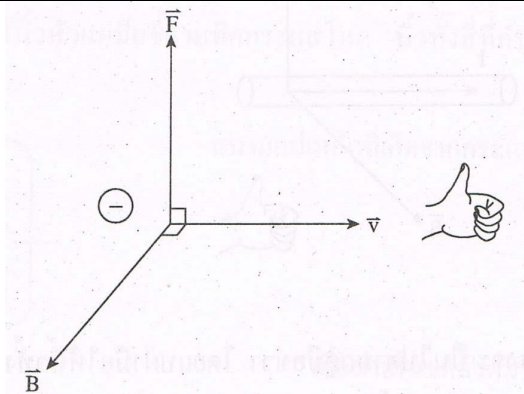
$$F = qvB \sin \theta$$

มุม θ มี 3 แบบ ดังนี้

1. $\theta = 0^\circ$	2. $\theta = 90^\circ$	3. $0^\circ < \theta < 90^\circ$
$F = 0$	$F = qvB$	$F = qvB \sin \theta$
ประจุเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง	ประจุเคลื่อนที่เป็นวงกลม	ประจุเคลื่อนที่เป็นรูปตะปูเกลียว

กำหนดให้ F คือ แรงที่แม่เหล็กกระทำต่อประจุ(N) q คือ ประจุไฟฟ้า(C)
 v คือ ความเร็ว(m/s) B คือ สนามแม่เหล็ก(T)
 θ คือ มุมระหว่างความเร็ว v (ทิศที่ประจุวิ่ง) กับสนามแม่เหล็ก B

การหาทิศของแรงแม่เหล็กจะหาได้จากการใช้มือแสดง โดยแยกเป็น 2 กรณี ตามชนิดของประจุ คือ

1. ประจุบวก หาได้จากการใช้มือขวาแบฝ่ามือให้นิ้วทั้งสี่ชี้ตามความเร็ว v แล้วงอนิ้วทั้งสี่ให้วนไปตามทิศสนามแม่เหล็ก B นิ้วหัวแม่มือที่กางอยู่จะชี้ทิศของแรง F ที่เกิดขึ้น 	2. ประจุลบ หาได้จากการใช้มือซ้ายแบฝ่ามือให้นิ้วทั้งสี่ชี้ตามความเร็ว v แล้วงอนิ้วทั้งสี่ให้วนไปตามทิศสนามแม่เหล็ก B นิ้วหัวแม่มือที่กางอยู่จะชี้ทิศของแรง F ที่เกิดขึ้น 
--	---

เนื่องจาก แรงแม่เหล็ก F_B ที่กระทำต่อประจุที่วิ่งในสนามแม่เหล็กนี้เป็นแรงที่ตั้งฉากจึงส่งผลให้ประจุวิ่งเบี่ยงเบนเป็นทางโค้งวงกลม ตามสมการการเคลื่อนที่แบบวงกลม

$$F = \frac{mv^2}{R} = m\omega^2 R \quad \text{เมื่อ} \quad \omega = \frac{\theta}{t} = \frac{2\pi}{T}$$

รัศมีของประจุที่วิ่งในสนามแม่เหล็กในแนวตั้งฉาก จะได้ว่า

$$F_B = F_C$$

$$qvB = \frac{mv^2}{R}$$

$$R = \frac{mv}{qB}$$

และเบี่ยงเบนเป็นมุม θ ในเวลา t จะได้ว่า

$$t = \frac{m\theta}{qB} \quad \text{และ} \quad T = \frac{2\pi m}{qB}$$

อย่างไรก็ตาม ถ้ามีแรงอื่น ๆ มาหักล้าง เช่น แรงไฟฟ้าจากสนามไฟฟ้าก็อาจทำให้ประจุวิ่งเป็นเส้นตรง
ก็มี $\Sigma F = 0$ ก็ได้

แบบฝึกหัด 2.1.2

1. สิ่งต่อไปนี้ อะไรบ้างที่มีผลต่อทิศทางของแรงที่กระทำต่ออนุภาคมีประจุที่วิ่งในแนวตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก

ก. ทิศทางของสนามแม่เหล็ก ข. ขนาดของประจุ

ค. ขนาดของสนามแม่เหล็ก ง. ชนิดของประจุ

ข้อที่ถูกต้องคือ

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

2. อนุภาคมีประจุไฟฟ้าบวกวิ่งตัดสนามแม่เหล็กโดยไม่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก แนวทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคนี้เป็นอย่างไร

1. เส้นตรง 2. วงกลม 3. วงรี 4. เกลียว

3. อิเล็กตรอนวิ่งด้วยความเร็ว 10^7 เมตรต่อวินาที เข้าไปในทิศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กขนาด 10^{-5} เทสลา ขนาดของแรงที่กระทำต่ออิเล็กตรอนเป็นเท่าใด

ก. 1.6×10^{-16} N ข. 1.6×10^{-17} N ค. 1.6×10^{-18} N ง. 1.6×10^{-19} N

4. อนุภาคมวล 0.5 กรัม มีประจุ 2.5×10^{-8} C เคลื่อนที่ด้วยความเร็วตามแนวระดับ 8×10^6 เมตรต่อวินาที เข้าไปในสนามแม่เหล็กซึ่งมีทิศตั้งฉากกับความเร็ว ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนมีรัศมีความโค้ง 2 เมตร จงหาขนาดของสนามแม่เหล็ก

ก. 5×10^{10} T ข. 5×10^{11} T ค. 8×10^{10} T ง. 8×10^{11} T

2.1.3 ผลของสนามแม่เหล็กต่อการเคลื่อนที่ของตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน

แรงที่แม่เหล็กกระทำต่อลวดที่มีกระแสไหลในสนามแม่เหล็ก

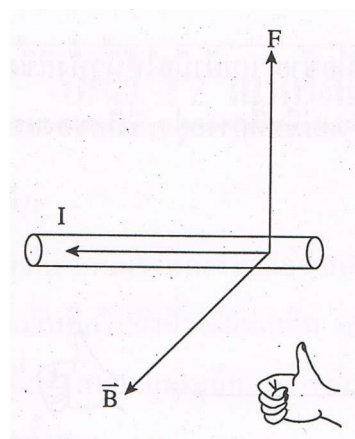
เมื่อประจุเคลื่อนที่ในลวด แสดงว่าลวดนั้นมีกระแสไฟฟ้าไหล ดังนั้น จึงเกิดแรงแม่เหล็กกระทำต่อลวดได้ตามสมการ

$$F = I l B \sin \theta$$

เมื่อ F คือ แรงที่แม่เหล็กกระทำต่อลวด(N) l คือ ความยาวของเส้นลวด (m)
 B คือ สนามแม่เหล็ก(T) θ คือ มุมระหว่าง I กับ B

ทิศของแรงจะเป็นไปตามกฎมือขวา โดยแบฝ่ามือให้นิ้วทั้งสี่ชี้ตามทิศกระแส I งอนิ้วทั้งส่วนไปตามทิศสนามแม่เหล็ก B นิ้วหัวแม่มือที่กลางอยู่จะชี้ทิศของแรง F ที่กระทำต่อลวด

แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดที่มีกระแสไหลในสนามแม่เหล็ก จะกระทำต่อลวดทั้งเส้นที่อยู่ในสนามแม่เหล็กจึงส่งผลให้ลวดเคลื่อนที่ไปทั้งเส้น ซึ่งจะเป็นการเคลื่อนที่แบบมีความเร่งตามกฎนิวตัน คือ $\Sigma F = ma$ และถ้ามีแรงเคลื่อนอื่น ๆ มากระทำต่อลวดอีก ก็อาจทำให้ลวดอยู่ในสภาพสมดุล คือ $\Sigma F = 0$ ก็ได้

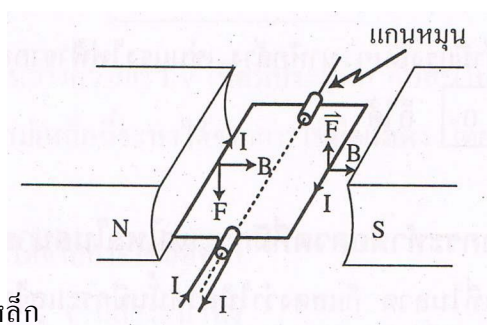


โมเมนต์ของลวดที่มีกระแสไหลในสนามแม่เหล็ก

ขดลวดพื้นที่ A อยู่ในสนามแม่เหล็ก B โดยแกนของขดลวดตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กแล้วให้กระแสไฟฟ้า I ไหลในขดลวด จะเกิดแรงคู่ควบเนื่องจากแรงแม่เหล็กกระทำต่อขดลวดทำให้ขดลวดหมุน มีขนาดโมเมนต์ของแรงคู่ควบ เป็นตามสมการ

$$M = INBA \cos \theta$$

เมื่อ M คือ โมเมนต์ของแรงคู่ควบ (N-m)
 I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวด (A)
 N คือ จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)
 A คือ พื้นที่ของขดลวด (m^2)
 θ คือ มุมระหว่างระนาบของขดลวดกับสนามแม่เหล็ก



แบบฝึกหัด 2.1.3

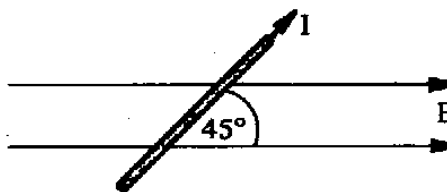
1. ลวดยาว 2 เมตร มีกระแสไหลผ่าน 10 แอมแปร์ เส้นลวดวางทำมุม 30 องศา กับสนามแม่เหล็ก 1.25 เทสลา จงหาขนาดของแรงที่กระทำต่อลวดนี้
2. ขดลวดสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว 100 cm กว้าง 20 cm มีขดลวดพัน 25 รอบ มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวงจร 100 A ความเข้มสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดเท่ากับ 0.3 T จงหาโมเมนต์ของแรงคู่ควบในขดลวด เมื่อขดลวดวางในแนวขนานกับทิศของสนามแม่เหล็ก

3. ลวดยาว 10 เซนติเมตร วางอยู่ในสนามแม่เหล็ก

ดั่งรูป ถ้าสนามแม่เหล็กเป็น 3×10^{-2} เทสลา

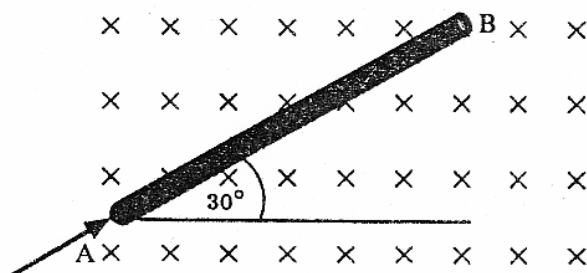
และเกิดแรงลวดเส้นนี้ 6×10^{-4} นิวตัน

จงหาค่ากระแสที่ผ่านลวดนี้ ในหน่วยแอมแปร์



4. ลวด AB ยาว 1 เมตร มีกระแสไหลผ่าน 0.2 แอมแปร์ จาก A ไป B ลวดอยู่ในสนามแม่เหล็ก 0.4 เทสลา

โดยวางตัวดั่งรูป แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดเป็นเท่าใด



1. 4×10^{-3} N

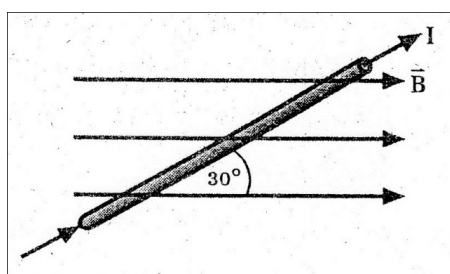
2. 8×10^{-3} N

3. 4×10^{-2} N

4. 8×10^{-2} N

5. ลวดยาว 10 cm มีกระแสไฟฟ้าผ่าน 5 A วางในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ 3 เทสลา โดยลวดเอียงทำมุม 80°

กับสนามแม่เหล็ก ดั่งรูป จงหาขนาดของแรงที่สนามแม่เหล็กกระทำต่อลวดเส้นนี้



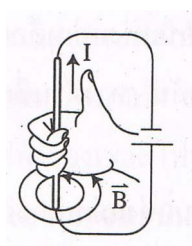
1. 1.5 N

2. 1.25 N

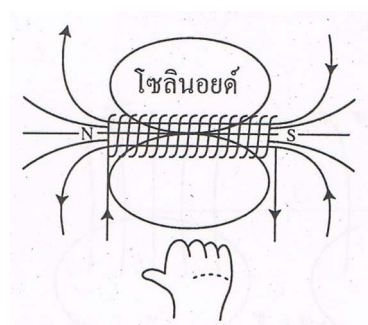
3. 0.75 N

4. 0.45 N

สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไหลในเส้นลวดและขดลวดโซลินอยด์



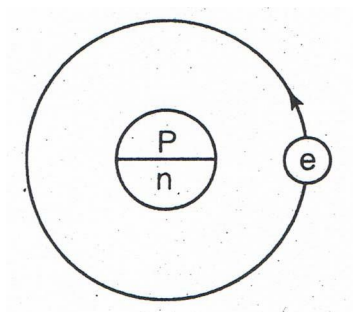
กระแสที่ไหลในขดลวดจะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมารอบ ๆ ลวด นั้นโดยจะมีทิศทางตามกฎมือขวา คือใช้มือขวาให้นิ้วหัวแม่มือชี้ตาม ทิศกระแสไหล นิ้วทั้งสี่ที่กำวนรอบลวดจะแสดงสนามแม่เหล็กที่ เกิดขึ้นรอบ ๆ สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแส $B = 2 \times 10^{-7} \frac{I}{d}$



เมื่อนำเส้นลวดมาขดเป็นวง เกิดเป็นขดลวดโซลินอยด์ แล้วให้กระแส ไหล สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีสภาพเหมือนเป็นแท่งแม่เหล็ก โดย ขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะหาได้จากการใช้มือขวา กำให้นิ้วทั้งสี่ส่วนตามกระแสที่ ไหลในขดลวด นิ้วหัวแม่มือจะชี้ไปด้านปลายที่เป็นขั้วเหนือของแม่เหล็กที่ ถูกสร้างขึ้นมา

2.2 สนามไฟฟ้า (Electric field)

ประจุไฟฟ้า



โครงสร้างอะตอม

อนุภาค	ประจุ	มวล
อิเล็กตรอน	$-1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$	$9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$
โปรตอน	$+1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$	$1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$
นิวตรอน	กลาง	$1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$

ประจุไฟฟ้า คือ อำนาจทางไฟฟ้า

ชนิดของประจุมี 2 แบบ คือ ประจุบวก และประจุลบ

1. ประจุบวก คือ จำนวนโปรตอนมากกว่าจำนวนอิเล็กตรอน ($p > e$)
2. ประจุลบ คือ จำนวนอิเล็กตรอนมากกว่าโปรตอน ($e > p$)

หมายเหตุ วัตถุที่เป็นกลางทางไฟฟ้า คือ มีโปรตอนเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอน ($p = e$)

โดย $Q = ne$

$$n = \frac{Q}{e}$$

$Q =$ ประจุทั้งหมด เป็นคูลอมบ์

$n =$ จำนวนอนุภาค

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ คูลอมบ์}$$

แรงระหว่างประจุมี 2 แบบ คือ แรงดูดและแรงผลัก

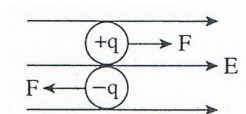
ประจุเหมือนกันออกแรงผลักกัน	ประจุต่างกันออกแรงดูดกัน
 แรงผลัก	 แรงดูด

- หลัก
1. ประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกันจะผลักกัน ประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันจะดูดกัน
 2. แรงดูดหรือแรงผลักนั้นเป็นแรงผลักนั้นเป็นแรงต่างกระทำร่วมกัน ตามกฎข้อที่ของนิวตัน
 3. วัตถุที่มีประจุไฟฟ้าจะดูดวัตถุที่เป็นกลางเสมอ

สนามไฟฟ้า (Electric field)

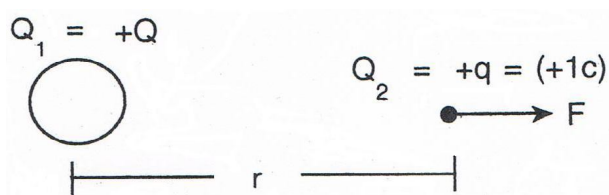
สนามไฟฟ้า (E) คือ แรงที่กระทำต่อประจุทดสอบหนึ่งหน่วยซึ่งวางไว้ที่ตำแหน่งใด ๆ เป็นปริมาณเวกเตอร์ มีหน่วยเป็น นิวตันต่อคูลอมบ์

$$E = \frac{F}{q} \quad \text{หรือ} \quad F = qE$$



โดยทิศของแรง F จะเป็นทิศเดียวกับสนามไฟฟ้า E เมื่อ q เป็นประจุบวก แต่ทิศของแรง F จะเป็นทิศตรงข้ามกับสนามไฟฟ้า E เมื่อ q เป็นประจุลบ

สนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ

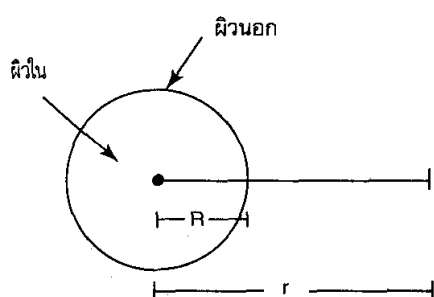


จากสมการ $E = \frac{F}{q}$

แทนค่า F ด้วย $\frac{KQ_1Q_2}{r^2}$ จะได้ว่า $E = \frac{KQ_1Q_2}{r^2q} = \frac{K(+Q)(+q)}{r^2q}$

จะได้ว่า $E = \frac{KQ}{r^2}$

สนามไฟฟ้าในตัวนำทรงกลม



เมื่อ E คือ สนามไฟฟ้า

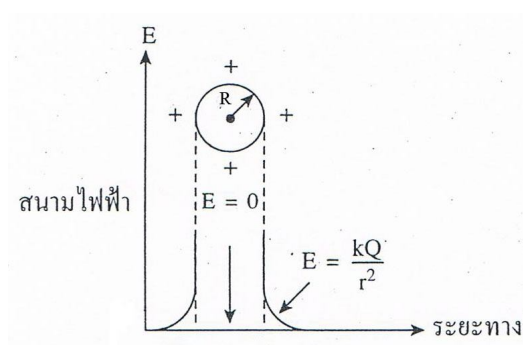
Q คือ ประจุไฟฟ้า

R คือ รัศมีทรงกลม

r คือ ระยะห่าง

K คือ ค่าคงที่เท่ากับ $9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$

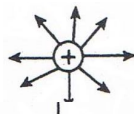
สูตรสนามไฟฟ้า		
ภายในตัวนำทรงกลม	ที่ผิวตัวนำทรงกลม	ที่ผิวนอกตัวนำทรงกลม
$E = 0$	$E = \frac{KQ}{R^2}$	$E = \frac{KQ}{r^2}$



เส้นแรงไฟฟ้า (Electric line of force)

คุณสมบัติของเส้นแรงไฟฟ้า

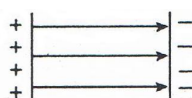
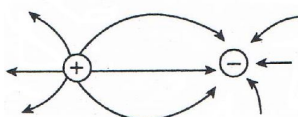
1. ประจุบวกเส้นแรงไฟฟ้าพุ่งออก



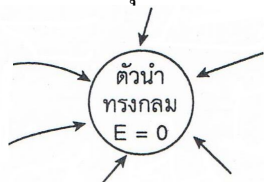
2. ประจุลบเส้นแรงไฟฟ้าพุ่งเข้า



3. มีทั้งประจุบวกและลบเส้นแรงไฟฟ้าจะพุ่งจากบวกไปลบ

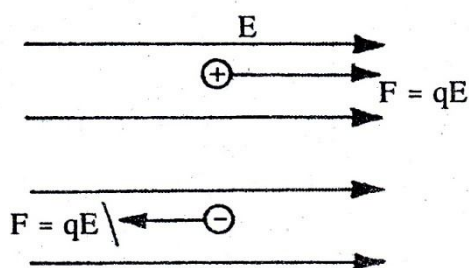


4. เส้นแรงไฟฟ้าจะไปหยุดหนึ่งที่ผิวของตัวนำทรงกลมไม่พุ่งเข้าไปข้างใน



แรงในสนามไฟฟ้า

ในบริเวณสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ถ้ามีประจุไฟฟ้าอยู่ในบริเวณ จะเกิดแรงกระทำบนประจุไฟฟ้า ทำให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในสนามไฟฟ้า



ประจุบวก มีแรงกระทำทิศเดียวกับ E
ประจุลบ มีแรงทิศตรงกันข้ามกับ E

จาก

$$F = qe$$

$$ma = qE$$

$$a = \frac{qE}{m}$$

สนามไฟฟ้าในแผ่นโลหะคู่ขนาน

ประจุบวกทิศของ F กับ E ทิศเดียวกัน	ประจุลบทิศของ F กับ E ทิศตรงกันข้าม

สูตรสนามไฟฟ้าแม่เหล็กคู่ขนาน $E = \frac{V}{d}$

E = สนามไฟฟ้า หน่วย นิวตัน/คูลอมบ์

V = ความต่างศักย์ระหว่างแผ่น หน่วย โวลต์

d = ระยะห่าง หน่วย เมตร

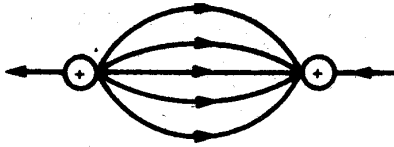
ต้องจำ สนามไฟฟ้าเป็นปริมาณเวกเตอร์ทิศทางแต่ไม่ต้องแทนค่าเครื่องหมายประจุ

แบบฝึกหัด 2.2

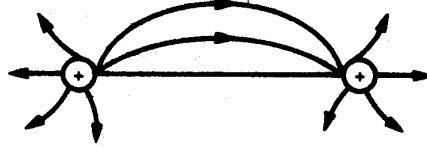
- หยดน้ำมันมวล 5×10^{-13} kg ถูกทำให้เคลื่อนที่ลงในแนวดิ่ง ด้วยความเร็วคงตัวในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าขนาด 5×10^6 N/C ประจุไฟฟ้าบนหยดน้ำมันมีค่าเท่าไร
 - 1.6×10^{-21} C
 - 1.6×10^{-20} C
 - 1.6×10^{-19} C
 - 1.6×10^{-18} C
- ที่ตำแหน่ง X ห่างจากจุดประจุขนาด 1.08×10^{-1} C เป็นระยะ 1.8 m จะมีขนาดของสนามไฟฟ้าเป็นเท่าไร
 - 3.0×10^8 N/C
 - 9.0×10^8 N/C
 - 2.7×10^9 N/C
 - 5.4×10^9 N/C
- ตัวนำทรงกลมลูกหนึ่งรัศมีผิวใน 8 cm รัศมีผิวนอก 10 cm มีประจุ 2×10^{-10} C อยากทราบว่าสนามไฟฟ้าที่ผิวในและผิวนอกของทรงกลมมีขนาดเท่าไร
 - 0 , 281 N/C
 - 281 , 0 N/C
 - 0 , 180 N/C
 - 180 , 0 N/C
- สนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งติดกับผิวตัวนำด้านนอกจะมีทิศทางใด
 - ตั้งฉากกับผิว
 - สัมผัสผิว
 - ขึ้นกับรูปร่างของผิว
 - ทำมุมกับผิวน้อยกว่า 45°
- ข้อใดไม่ใช่สมบัติของเส้นแรงไฟฟ้า
 - ตั้งฉากกับผิวของตัวนำ
 - ช่วยหาทิศของสนามไฟฟ้าได้
 - ผ่านตัวนำได้ แต่ไม่ผ่านฉนวน
 - ออกจากประจุบวก เข้าหาประจุลบ
- อนุภาคอันหนึ่งหนัก 10^{-2} N เคลื่อนที่เข้าไปในแผ่นโลหะคู่ขนานที่มีความต่างศักย์ 1.0 โวลต์ โดยมีทิศการเคลื่อนที่ขนานกับแผ่นคู่ขนานเป็น 10^{-2} เมตร จงหาว่าอนุภาคนั้นมีประจุเท่าใด
 - 0.5×10^{-4} C
 - 0.2×10^{-4} C
 - 1.0×10^{-4} C
 - 2.0×10^{-4} C

7. ทรงกลมที่มีประจุ 2 ทรงกลม ต่างมีประจุบวกที่มีขนาดเท่ากัน วางห่างกันระยะทางขนาดหนึ่ง
เส้นแรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในข้อใดถูกต้อง

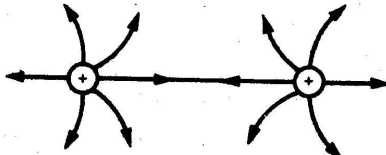
ก.



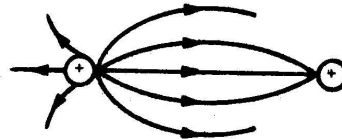
ข.



ค.



ง.



8. จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้

- 1). ณ ตำแหน่งใดๆ ที่มีแรงทางไฟฟ้ากระทำต่อประจุไฟฟ้าได้ บริเวณนั้นมีสนามไฟฟ้า
- 2). เส้นแรงไฟฟ้าจะมีทิศพุ่งออกจากประจุลบเข้าสู่ประจุบวก
- 3). สนามไฟฟ้าเป็นปริมาณเวกเตอร์

ข้อที่ถูกต้องคือ

1. ข้อ 1, 2

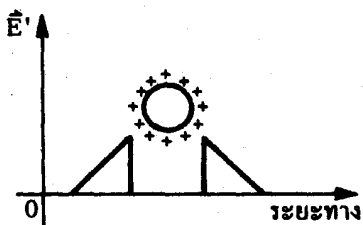
2. ข้อ 1, 3

3. ข้อ 2, 3

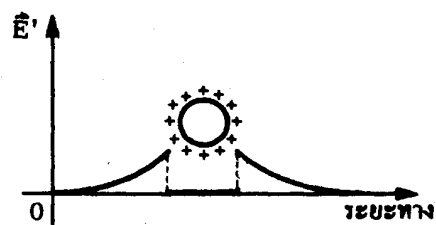
4. ข้อ 1, 2 และ 3

9. รูปแสดงสนามไฟฟ้าของทรงกลมตัวนำเทียบกับระยะทางต่อไปนี้ ข้อใดที่ท่านเห็นว่าถูกต้อง

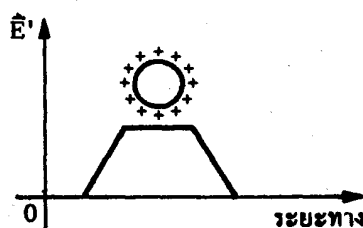
ก.



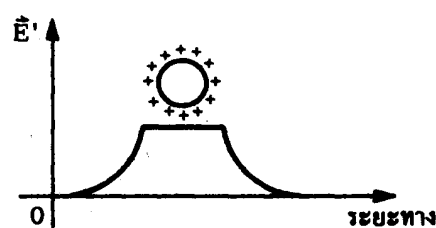
ข.



ค.



ง.



10. แผ่นโลหะสองแผ่นวางขนานกัน อยู่ห่างกัน 1 มิลลิเมตร ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง
เท่ากับ 90 โวลต์ สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะคู่นี้มีค่าเท่าใด

1. 3,000 N/C

2. 9,000 N/C

3. 30,000 N/C

4. 90,000 N/C

2.3 สนามโน้มถ่วง (g)

สนามโน้มถ่วง

1. มีทิศพุ่งสู่ศูนย์กลางของโลก
2. ทำให้เกิดแรงโน้มถ่วง ซึ่งเป็นแรงดึงดูดที่กระทำต่อมวลของวัตถุ
3. มีค่าต่างกันตามตำแหน่งทางภูมิศาสตร์

การหาค่าสนามโน้มถ่วง (g)

$$\begin{aligned} \text{จาก } \frac{GMm}{r^2} &= mg \\ g &= \frac{GM}{r^2} \quad (g \propto \frac{1}{r^2}) \\ \frac{g_1}{g_2} &= \frac{M_1}{M_2} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \end{aligned}$$

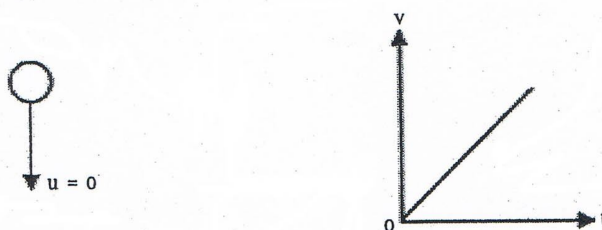
น้ำหนัก(w) คือ แรงที่โลกดึงดูดวัตถุ น้ำหนักเป็นปริมาณเวกเตอร์

$$\text{จาก } w = mg$$

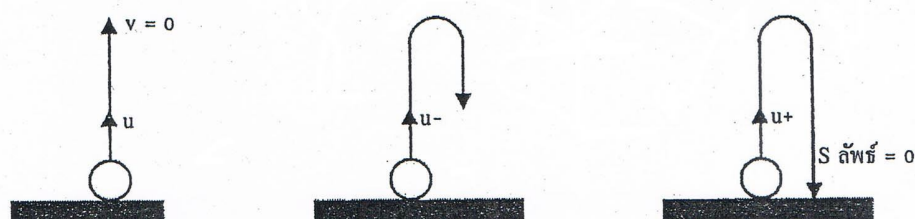
$$\begin{aligned} \text{จะได้ } \frac{w_1}{w_2} &= \frac{m_1 g}{m_2 g} = \frac{m_1}{m_2} \quad \rightarrow \quad \text{ถ้า } g \text{ คงที่} \\ \frac{w_1}{w_2} &= \frac{mg_1}{mg_2} = \frac{g_1}{g_2} \quad \rightarrow \quad \text{ถ้า } m \text{ คงที่} \end{aligned}$$

การเคลื่อนที่ของวัตถุในสนามโน้มถ่วง

1. การปล่อยวัตถุตกลงมา ความเร็วจะมากขึ้นเมื่อเวลามากขึ้น



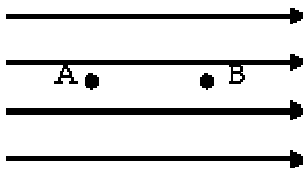
2. การขว้างวัตถุขึ้นไป ความเร็วจะน้อยลง เมื่อเวลามากขึ้น เมื่อขึ้นไปสูงสุดแล้วตกลงมา



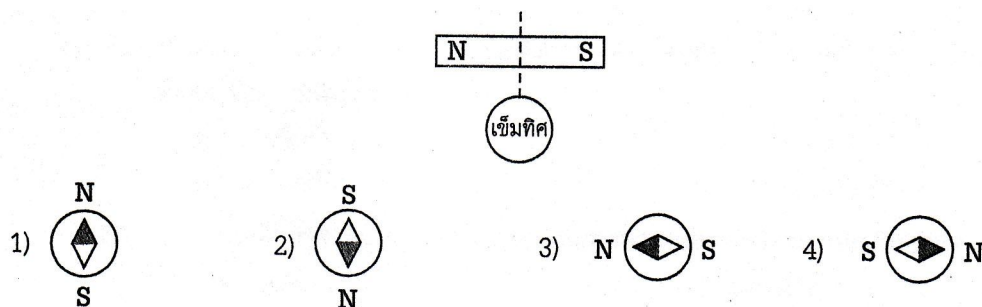
แบบฝึกหัด 2.3

- น้ำหนักของวัตถุหนึ่งที่เส้นศูนย์สูตร และที่ขั้วโลกเท่ากันหรือไม่
 - เท่ากับ เพราะเป็นวัตถุชิ้นเดียวกัน
 - เท่ากัน เพราะแรงดึงดูดของโลกมีค่าเท่ากัน
 - ไม่เท่ากัน เพราะความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกมีค่าไม่เท่ากัน
 - ไม่เท่ากัน เพราะอุณหภูมิไม่เท่ากัน
- มวล 2 ก้อน มีขนาด m_1 และ m_2 เมื่อชั่งมวลทั้งสองที่บริเวณเส้นศูนย์สูตร ได้อัตราส่วนระหว่างมวลทั้งสอง $m_1/m_2 = 1.5$ ถ้านำมวลทั้งสองไปชั่งที่ขั้วโลกเหนือจะได้อัตราส่วนระหว่างมวลทั้งสอง (m_1/m_2) เป็นเท่าใด
 - เท่ากับ 0
 - น้อยกว่า 1.5
 - เท่ากับ 1.5
 - มากกว่า 1.5
- ถ้ามวลของโลกเป็น 81 เท่ากับมวลของดวงจันทร์ และมีรัศมีโลกเป็น เป็นสี่เท่าของรัศมีดวงจันทร์ ความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลางที่ผิวของดวงจันทร์จะมีค่าเท่า
 - 1.25 m/s^2
 - 1.97 m/s^2
 - 2.5 m/s^2
 - 3.4 m/s^2
- นักบินอวกาศจะมีน้ำหนักที่เท่าของน้ำหนักที่ชั่งบนโลก ถ้าอยู่บนดาวเคราะห์ที่มีรัศมีครึ่งหนึ่งของโลก และมีมวลเป็น $1/8$ ของมวลโลก
 - 0.25
 - 0.50
 - 0.75
 - 1.25

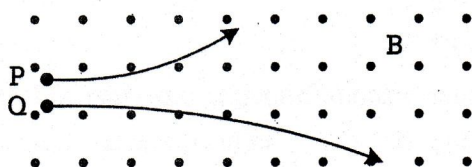
ข้อสอบฟิสิกส์ O-NET เรื่อง สนามของแรง

- (O-NET49) จุด A และ B อยู่ภายในสนามไฟฟ้าที่มีทิศตามลูกศรดังรูปข้อใดต่อไปนี้เป็นข้อที่ถูกต้อง
 - วางประจุลบที่ A ประจุลบจะเคลื่อนที่ไปที่ B
 - วางประจุบวกที่ B ประจุบวกจะเคลื่อนที่ไปที่ A
 - สนามไฟฟ้าที่ A สูงกว่าสนามไฟฟ้าที่ B
 - สนามไฟฟ้าที่ A มีค่าเท่ากับสนามไฟฟ้าที่ B
- (O-NET49) A , B และ C เป็นแผ่นวัตถุ 3 ชนิด ที่ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าโดยการถู ซึ่งได้ผลดังนี้ A และ B ผลักกัน ส่วน A และ C ดึงกัน ข้อใดต่อไปนี้เป็นข้อที่ถูกต้อง
 - A และ C มีประจุบวก แต่ B มีประจุลบ
 - B และ C มีประจุลบ แต่ A มีประจุบวก
 - A และ B มีประจุบวก แต่ C มีประจุลบ
 - A และ C มีประจุลบ แต่ B มีประจุบวก
- (O-NET50) สนามแม่เหล็กที่เป็นส่วนหนึ่งของคลื่นแสงนั้น มีทิศทางตามข้อใด
 - ขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของแสง
 - ขนานกับสนามไฟฟ้า แต่ตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของแสง
 - ตั้งฉากกับทั้งสนามไฟฟ้าและทิศการเคลื่อนที่ของแสง
 - ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าแต่ขนานกับทิศของการเคลื่อนที่ของแสง

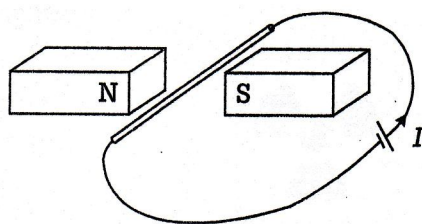
4. (O-NET50) โดยปกติเข็มทิศจะวางตัวตามแนวทิศเหนือ-ใต้ เมื่อนำเข็มทิศมาวางใกล้ๆ กับกึ่งกลางแท่งแม่เหล็ก ที่ตำแหน่งดังรูป เข็มทิศจะชี้ในลักษณะใด



5. (O-NET50) ถ้าอนุภาค P และ Q เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก B ที่มีทิศพุ่งออกตั้งฉากกับกระดาษ มีการเบี่ยงเบนดังรูป ถ้านำอนุภาคทั้งสองไปวางไว้ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ แนวการเคลื่อนที่จะเป็นอย่างไร



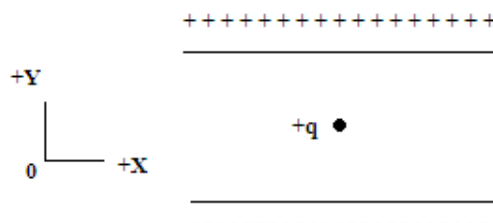
1. เคลื่อนที่ไปทางเดียวกันในทิศทางเดียวกันในทิศทางตามเส้นสนามไฟฟ้า
 2. เคลื่อนที่ไปทางเดียวกันในทิศทางตรงข้ามกับสนามไฟฟ้า
 3. เคลื่อนที่ในทิศตรงข้ามกันโดยอนุภาค P ไปทางเดียวกับสนามไฟฟ้า
 4. เคลื่อนที่ในทิศตรงข้ามกันโดยอนุภาค Q ไปทางเดียวกับสนามไฟฟ้า
6. (O-NET50) วางลวดไว้ในสนามแม่เหล็กดังรูป เมื่อให้กระแสไฟฟ้าเข้าไปในเส้นลวดตัวนำจะเกิดแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กกระทำต่อลวดนี้ ในทิศทางใด



1. ไปทางซ้าย (เข้าหา N)
 2. ไปทางขวา (เข้าหา S)
 3. ลงข้างล่าง
 4. ขึ้นด้านบน
7. (O-NET50) อนุภาคโปรตอนเคลื่อนที่เข้าไปในทิศขนานกับสนามแม่เหล็กซึ่งมีทิศพุ่งเข้ากระดาษ แนวการเคลื่อนที่ของอนุภาคโปรตอนเป็นอย่างไร
1. วิ่งต่อไปเป็นเส้นตรงด้วยความเร็วคงตัว
 2. เบนไปทางขวา
 3. เบนไปทางซ้าย
 4. วิ่งต่อไปเป็นเส้นตรงและถอยหลังกลับในที่สุด

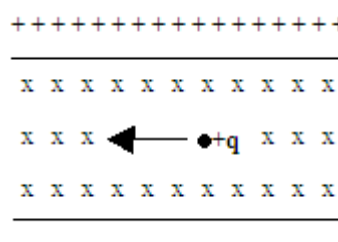
8. (O-NET51) ถ้ามีอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า $+q$ อยู่ในสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นคู่ขนานดังรูป ถ้าเดิมอนุภาคอยู่นิ่ง ต่อมาอนุภาคจะเคลื่อนที่อย่างไร

1. ทิศ $+X$ ด้วยความเร่ง
2. ทิศ $-X$ ด้วยความเร่ง
3. ทิศ $+Y$ ด้วยความเร่ง
4. ทิศ $-Y$ ด้วยความเร่ง

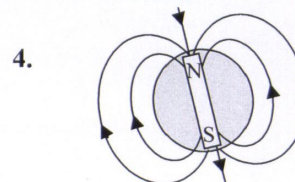
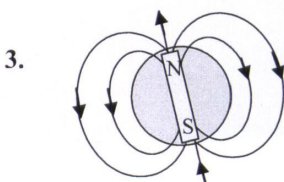
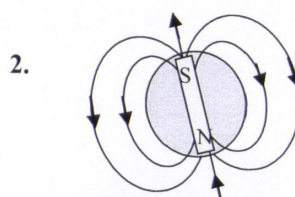
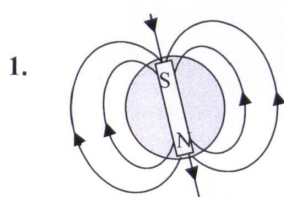


9. (O-NET51) ขณะที่อนุภาคมีประจุไฟฟ้า $+q$ มวล m เคลื่อนที่ในแนวระดับในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กดังรูปอนุภาคจะมีการเคลื่อนที่อย่างไร

1. โค้งขึ้น
2. โค้งลง
3. โค้งออกมาจากกระดาษ
4. โค้งเข้าไปในกระดาษ

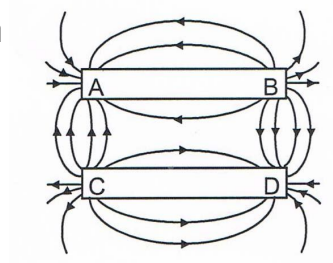


10. (O-NET51) สนามแม่เหล็กโลกมีลักษณะตามข้อใด (ข้างบนเป็นขั้วเหนือภูมิศาสตร์)

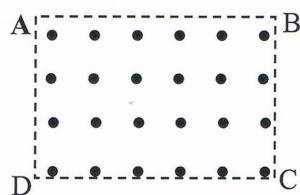


11. (O-NET52) จากแผนภาพแสดงลักษณะของเส้นสนามแม่เหล็กที่เกิดจากแท่งแม่เหล็กสองแท่ง ข้อใดบอกถึงขั้วแม่เหล็กที่ตำแหน่ง A, B, C และ D ได้ถูกต้อง

1. A และ C เป็นขั้วเหนือ B และ D เป็นขั้วใต้
2. A และ D เป็นขั้วเหนือ B และ C เป็นขั้วใต้
3. B และ C เป็นขั้วเหนือ A และ D เป็นขั้วใต้
4. B และ D เป็นขั้วเหนือ A และ C เป็นขั้วใต้



12. (O-NET52) บริเวณพื้นที่สี่เหลี่ยม ABCD เป็นบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอซึ่งมีทิศพุ่งออกตั้งฉากกับกระดาษดังรูป ข้อใดต่อไปนี้ที่ทำให้อนุภาคโปรตอนเคลื่อนที่เบนเข้าหาด้าน AB ได้



1. ยิงอนุภาคโปรตอนเข้าไปในบริเวณ จากทางด้าน AD ในทิศตั้งฉากกับเส้น AD
 2. ยิงอนุภาคโปรตอนเข้าไปในบริเวณ จากทางด้าน BC ในทิศตั้งฉากกับเส้น BC
 3. ยิงอนุภาคโปรตอนเข้าไปในบริเวณ จากทางด้าน AD ในทิศตั้งฉากกับเส้น AC
 4. ยิงอนุภาคโปรตอนเข้าไปในบริเวณ จากทางด้าน DC ในทิศตั้งฉากกับเส้น DB
13. (O-NET52) วางอนุภาคอิเล็กตรอนในบริเวณซึ่งมีเฉพาะสนามไฟฟ้าที่มีทิศไปทางขวาดังรูป อนุภาคอิเล็กตรอนจะมีการเคลื่อนที่เป็นไปตามข้อใด



1. เคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง เบนขึ้นข้างบน
 2. เคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง เบนลงข้างล่าง
 3. เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงขนานกับสนามไฟฟ้า ไปทางขวา
 4. เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงขนานกับสนามไฟฟ้า ไปทางซ้าย
14. (O-NET53) วัตถุอันหนึ่งเมื่ออยู่บนโลกที่มีสนามโน้มถ่วง พบว่ามีน้ำหนักเท่ากับ W_1 ถ้านำวัตถุนี้ไปไว้บนดาวเคราะห์อีกดวงพบว่ามีน้ำหนัก W_2 จงหามวลของวัตถุนี้

1. $\frac{W_1}{g}$
2. $\frac{W_2}{g}$
3. $\frac{W_1 + W_2}{g}$
4. $\frac{W_2 + W_1}{2g}$

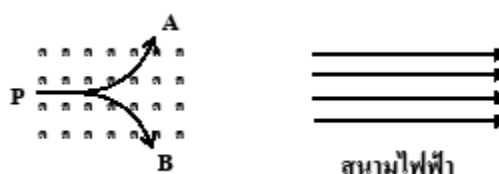
15. (O-NET53) ในรูปซ้าย A และ B คือเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค 2 อนุภาคที่ถูกยิงมาจากจุด P ไปทางขวา เข้าไปในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก (ดูรูปซ้าย) ถ้านำอนุภาคทั้งสองไปวางลงในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าดังรูปขวา จะเกิดอะไรขึ้น (ค. แทนสนามแม่เหล็กที่มีทิศพุ่งเข้าและตั้งฉากกับกระดาษ)

1. A เคลื่อนที่ไปทางขวา ส่วน B เคลื่อนที่ไปทางซ้าย

2. A เคลื่อนที่ไปทางซ้าย ส่วน B เคลื่อนที่ไปทางขวา

3. ทั้ง A และ B ต่างก็เคลื่อนที่ไปทางขวา

4. ทั้ง A และ B ต่างก็อยู่นิ่งกับที่



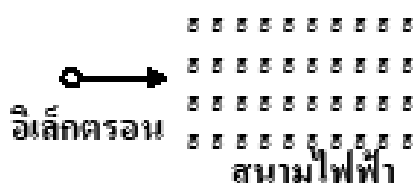
16. (O-NET53) ยิงอนุภาคอิเล็กตรอนเข้าไปในแนวตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอที่มีทิศพุ่งออกจากกระดาษ เส้นทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะเป็นอย่างไร (g แทนทิศสนามไฟฟ้าพุ่งออกและตั้งฉากกับกระดาษ)

1. เบนขึ้น

2. เบนลง

3. เบนพุ่งออกจากกระดาษ

4. เบนพุ่งเข้าหากระดาษ



17. (O-NET53) วางเข็มทิศอันหนึ่งบนโต๊ะเข็มทิศชี้ขึ้นในลักษณะดังรูปให้นำประจุบวกไปวางไว้ทางด้านซ้ายของเข็มทิศจะเกิดอะไรขึ้น

1. เข็มทิศชี้ไปทางขวา

2. เข็มทิศชี้ไปทางซ้าย

3. เข็มทิศชี้ลง

4. เข็มทิศชี้ทางเดิม



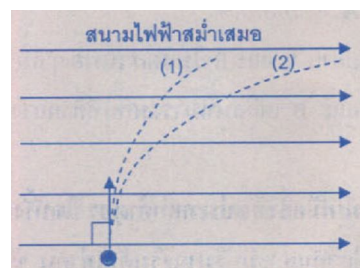
18. (O-NET54) แนวการเคลื่อนที่ของอนุภาคโปรตอนที่ถูกยิงเข้ามาในทิศตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอเป็นดังเส้นทางหมายเลข (1) ถ้ามีอนุภาค X ถูกยิงเข้ามาในทิศทางเดียวกันและมีเส้นทางเดินดังหมายเลข (2) ข้อสรุปใดที่เป็นไปไม่ได้เลย

1. อนุภาค x ดังกล่าวมีประจุบวก

2. อนุภาค x ดังกล่าวอาจเป็นโปรตอนเข้าสู่สนามไฟฟ้าด้วยอัตราเร็วที่ต่ำกว่า

3. อนุภาค x ดังกล่าวมีประจุเท่ากับโปรตอนก็จะมีมวลที่น้อยกว่า

4. อนุภาค x ดังกล่าวอาจเป็นนิวเคลียสที่มีเพียงโปรตอนสองตัว



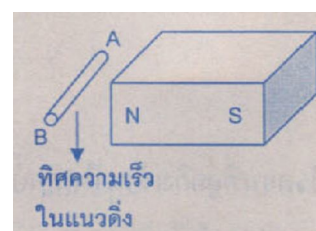
19. (O-NET54) เส้นลวดโลหะ AB กำลังตกลงมาในแนวตั้ง ขณะที่เส้นลวดดังกล่าวกำลังเคลื่อนที่เข้าใกล้ขั้วเหนือ(N) ของแม่เหล็กดังรูป อิเล็กตรอนในเส้นลวดโลหะจะมีสภาพอย่างไร

1. เคลื่อนที่จากปลาย A เป็น B

2. เคลื่อนที่จากปลาย B เป็น A

3. อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปที่ปลาย A และ B ในสัดส่วนพอๆกัน

4. อิเล็กตรอนจากปลาย A และ B เคลื่อนที่มารวมกันที่กึ่งกลางเส้นลวด



20. (O-NET54) ระหว่างแรงอนุภาคซึ่งอยู่ภายในนิวเคลียสประกอบด้วยแรงใดบ้าง

1. แรงนิวเคลียร์เท่านั้น

2. แรงนิวเคลียร์และแรงไฟฟ้า

3. แรงนิวเคลียร์และแรงดึงดูดระหว่างมวล

4. แรงนิวเคลียร์ แรงไฟฟ้า และแรงดึงดูดระหว่างมวล